



Proceedings book

4th – 7th December 2018

Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies,
University Ss."Cyril and Methodius", Skopje, Macedonia

CIP - Каталогизација во публикација
Национална и универзитетска библиотека "Св. Климент Охридски", Скопје

620.92:502.131.1(062)

STUDENT conference "Energy efficiency and sustainable development"
(2018) (6 ; Skopje)

Proceedings book [Електронски извор] / Sixth student conference
"Energy efficiency and sustainable development" SCEESD, 4th-7th
December, 2018, Skopje. - Skopje : Faculty of electrical engineering and
information technologies, 2018

Начин на пристап (URL): <https://skeeor.feit.ukim.edu.mk>. - Текст во PDF
формат, содржи 301 стр., илустр. - Наслов преземен од екранот. - Опис на
изворот на ден 24.01.2019. - Текст на мак. и англ. јазик. - Фусноти кон
текстот. - Библиографија кон трудовите

ISBN 978-9989-630-90-3

а) Енергетска ефикасност - Одржлив развој - Собири
COBISS.MK-ID 109425930





Foreword

Student Conference “Energy Efficiency and Sustainable Development”

SCEESD is a student conference concerning energy efficiency and sustainable development. The basic idea of the conference is to enable exchange of ideas and opinions between students, professors and companies which are involved in the field of power engineering which would contribute to the efforts of solving the complex problems concerning energy efficiency and sustainable development. The research work itself widens our opinions and knowledge about a certain problem which is of exceptional importance for our modern society. SCEESD includes broad and important current research areas such as renewable energy sources, their huge potential and possibilities as well as all problems regarding their utilization, also all of the classical and innovative solutions for improving energy efficiency. Students can work on modern topics as automation or smart grids which consist of integration and regular utilization of electric vehicles leading to an increase of the sustainability and reliability of power supply. Energy efficient materials and zero energy buildings have an enormous potential which students can also explore in frames of the conference.

SCEESD is especially suitable for undergraduate and postgraduate students that would like to work on a paper regarding topics which include energy efficiency and sustainable development in any matter, academic members working in these fields of study as well as all companies which implement methods that are in close relation to these topics.

Organizing committee,



ORGANIZING COMMITTEE

- **Angela Najdoska – president**
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies, Skopje
- **Dimitar Dimitrov – member, responsible for finance**
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies, Skopje
- **Angela Popova – member, responsible for public relations**
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies, Skopje
- **Stojan Spasevski – member, responsible for paper acceptance and review**
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies, Skopje
- **Sara Koljozova – member, responsible for logistics**
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies, Skopje

SCEESD COORDINATOR

- **Prof. Margarita Ginovska, PhD**
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies, Skopje

SCEESD CO-COORDINATOR

- **Ass. Aleksandar Krleski, Msc**
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies, Skopje
- **Ass. Vladimir Gjorgievski, Msc**
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies, Skopje



SCIENTIFIC BOARD

- **Prof. Dimitar Tashkovski, PhD – honorary president of the Scientific board**
Dean, Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies – Skopje
- **Prof. Margarita Ginovska, PhD – president of the Scientific board**
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies – Skopje
- **Prof. Vladimir Dimchev, PhD – member**
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies – Skopje
- **Prof. Vlatko Stoilkov, PhD – member**
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies – Skopje
- **Prof. Hristina Spasevska, PhD – member**
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies – Skopje
- **Prof. Krste Najdenkoski, PhD – member**
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies – Skopje
- **Prof. Goga Cvetkovski, PhD – member**
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies – Skopje
- **Prof. Snezhana Chundeva, PhD – member**
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies – Skopje
- **Prof. Marija Kacarska, PhD – member**
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies – Skopje
- **Prof. Vesna Borozan, PhD – member**
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies – Skopje
- **Prof. Atanas Iliev, PhD – member**
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies – Skopje
- **Prof. Anton Chaushevski, PhD – member**
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies – Skopje
- **Assoc. Prof. Dimitar Dimitrov, PhD – member**
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies – Skopje
- **Assoc. Prof. Lihnida Georgievska-Stojanovska, PhD – member**
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies – Skopje
- **Ass. Prof. Zhivko Kokolanski, PhD – member**
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies – Skopje



- **Assoc. Prof. Todorka Samardjioska, PhD – member**
Faculty of Civil Engineering – Skopje
- **Prof. Risto Filkoski, PhD – member**
Faculty of Mechanical Engineering – Skopje
- **Prof. Oliver Zajkov, PhD – member**
Faculty of Natural Sciences and Mathematics – Skopje



PATRONS

- Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies – Skopje, Macedonia
- “Ss. Cyril and Methodius” University – Skopje, Macedonia
- City of Skopje

SPONSORS

- MEPSO, Electricity Transmission System Operator of Macedonia, Skopje
- ELEM, Macedonian Power Plants, Skopje
- EVN Macedonia
- AmCham Macedonia, The American Chamber of Commerce in Macedonia
- Feroinvest
- ArcelorMittal
- TITAN, Cimentranica Usje, Skopje
- Makpetrol, Skopje
- Chamber of Certified Architects and Certified Engineers of Republic of Macedonia
- Mako Cigré
- Pakomak
- Sixt
- Leks Electric
- Luxury Skopje Apartments



TABLE OF CONTENTS

Authors	Title	Page
A. RENEWABLE ENERGY SOURCES		
Biljana Pankova Angela Najdoska	Placement of photovoltaic generators in households with different roof orientation	2
Iskra Jacheva Iva Nikolova	Experience of using a solar collector in a household	11
Kristina Janevska	Distributed energy resources –photovoltaics plant installed on the roof of one economic entity	18
Stojan Spasevski Marija Cvetkovska	Analysis of the profitability of small photovoltaic systems	27
Jovana Troshanska	Microgrid modeling and optimization	33
Nikola Mitrovic	Comparison of output power between static and rotating solar panel	41
Petar Vidoevski David Gjorgjievski	Battery option analysis for solar energy storage	48
Ilija Stojakovski Gjorgji Sirakovski	Technical and economic aspects of photovoltaic panels depending on the tilt angle and their orientation	55
Bozhan Todorov	Humpback whale inspired design for tidal turbine blades	63
Bunjamin Sulejmani Platin Saliu	Designing of power plants from RES	72
Martina Blazeska Igor Shesho	Electricity generation using the organic rankine cycle in geothermal energy sources	78
Dejan Tasić Alen Krunic	Renewable energy sources in slovenia: determining possible development trend until 2020 with geometric brownian motion	85
Despina Rizova	Biomass energy conversion - technology and application	91
Elena Kochovska Tamara Markovikj	Biogas powerplants in macedonia – potential, characteristics and production of electrical power	97
Filip Todorovski Emilija Dejanoska	Analysis of the possibilities for utilization of waste vegetative biomass for energy purposes	102
Sara Koljozova Dimirar Dimitrov	Possibilities for using wooden waste materials from sawmill companies in the republic of macedonia for pellet production	110
B. ENERGY EFFICIENCY, AUTOMATION AND MEASUREMENTS		
Angela Najdoska Biljana Pankova	Choosing technology and optimal battery management system	119
Anglea Popova Aljosha Sinadinovski	Power factor correction – an overlooked but powerful tool for increasing energy efficiency	125
Erblina Purellku Liridon Lutfiu	Energy efficient motors	134



Mariela Klekovska	Energy efficiency test of an office building using thermal imaging	141
Viktor Rudan	Active power filters used for power quality improvement	150
Stefan Trajkov	Educational equipment for studying the benefits of using solar energy	157
Vojdan Andonov Dejan Dimitriev	Coal thermal power plant vs. Solar photovoltaic power plant: lcoe and npv analysis	163
Zoran Pushev Marko Markovski	Automation of the cleaning process of photovoltaic panels	170
Natasha Dimishkovska Atanas Iliev	Development and implementation of open energy systems in standard power systems	178

C. ELECTRIC VEHICLES AND ENERGY EFFICIENT TRANSPORTATION

Elena Blazhevaska Marija Kalevska	Vehicle-to-grid technology – achievements and challenges	186
Kaja Lazova Andzelo Macura	Energy-efficient transport	195
Ljubica Trendafilova	Batteries charging systems for electric and plug-in hybrid electric vehicles	201
Alen Krunic Dejan Tasic	Statistics and the potential of electric and hybrid vehicles in the european union	208

D. ENERGY EFFICIENT ENVIRONMENT, NEW TECHNOLOGIES AND MATERIALS

Filip Stojanoski	Energy efficiency of led light sources	214
Emilija Dejanoska Filip Todorovski	Comparative analysis of different heating systems in urban areas	221
Aleksandar Gjerasimovski	Influence of the thermal characteristics of buildings on the optimal capacity of combined compressor-ejector polygeneration systems	231
Aleksandra Gjorgjievska	Application of smart sensors in energy efficient electrical devices, machines and appliances	238
Ivan Marinov Denitza Zgureva	Equilibrium adsorption of carbon dioxide onto zeolite sorbents obtained from solid wastes	245
Marija Rizova	Measures, methods and new technologies for the reduction of environmental pollution	253
Simona Miteva	Ultrasound – assisted synthesis of zeolite na-x from coal ash for applications in environment protection technologies	258

E. ENERGY EFFICIENCY IN FACILITIES, CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE

Dragana Krstevska	Energy efficiency and energy saving in schools in rural environment	267
-------------------	---	------------



Dragana Gjorgieva Marija Nikolova	Energy efficient buildings	276
Elena Spasovska Dimitar Dimitrov	Integration of renewable energy sources in nearly zero energy buildings	285
Boštjan Krošelj Uroš Krošelj	Passive house with green roof	292
Uroš Krošelj Boštjan Krošelj	Efficient use of energy in winter greenhouses for more successful farming	297



A. RENEWABLE ENERGY SOURCES



Билјана Панкова, Ангела Најдоска

Факултет за електротехника и информациски технологии, Скопје

¹biljana_pankova@hotmail.com ²anenajd@hotmail.com

ПОСТАВУВАЊЕ НА ФОТОВОЛТАИЧЕН ГЕНЕРАТОР ВО ДОМАЌИНСТВА СО РАЗЛИЧНА ОРИЕНТИРАНОСТ НА ПОКРИВОТ

КУСА СОДРЖИНА

Како резултат на брзиот развој на технологиите, фотоволтаичните системи сè повеќе се употребуваат во производството на електрична енергија. Со масовната употреба на фотоволтаичните системи доаѓа до намалување на нивната цена и подобрување на нивната ефикасност.

Во овој труд е презентирano инсталирањето на фотоволтаичен систем во домаќинствата. Фотоволтаичниот систем којшто беше испитуван е со моќност од 5 kWp и е приклучен на инвертор со моќност 5 kW на АС страната. Врз база на поставеноста на фотоволтаичниот систем се добива различно количество на произведена електрична енергија. Разгледани се четири случаи, кога фотоволтаичниот систем е поставен на југ, на запад, на исток и комбинација од 2,5 kW кон исток и 2,5 kW кон запад. Во сите случаи поставеноста на фотоволтаичниот систем е под агол од 25°. Резултатите од пресметките со употреба на програмот PVsyst се презентирани во вид на соодветни графици. Добиените резултати се споредени со просечната часовна потрошувачка на електрична енергија на македонско семејство. Врз база на оваа споредба, направени се пресметки колку електрична енергија во текот на еден ден се повлекува од електричната мрежа и колку се враќа во мрежата како вишок произведена електрична енергија. Анализата е направена за сите денови од неделата поединечно.

Целта на овој труд е да се претстави оптималната поставеност на фотоволтаичните генератори во домаќинствата, како и груба пресметка за нивната исплатливост. Со нивна употреба за производство на електрична енергија, се придонесува за заштита на животната средина и за зголемување на економскиот развој на Република Македонија.

Клучни зборови: *фотоволтаичен систем, домаќинства, поставеност, електрична енергија*

1 ВОВЕД

Ефектите од глобалното затоплување, како и масовната употреба на конвенционалните извори на енергија сè повеќе и повеќе имаат големо влијание врз животната средина. Со цел да се зачува животната средина се создава и потребата за производство на електрична енергија од обновливи извори на енергија [1]. Познато е дека со употреба на фосилните горива во производството на електрична енергија во атмосферата се испушта големо количество на CO₂, коешто придонесува во зголемување на глобалното затоплување [2]. Соларната енергија е една од најветувачките обновливи извори на енергија. Последниве 10 години, соларната енергија зема силен замав како извор на електрична енергија во светот. Свесни за последиците од глобалното затоплување, економски развиените земји го потпишале Парискиот договор со цел да се зголеми употребата на обновливите извори на енергија [3].

Следејќи ги овие светски трендови и во нашата земја се воведуваат одредени измени во законот за енергетика, една од нив е и либерализацијата на пазарот на струјата. Со овие промени ќе се овозможи голем дел од домаќинствата да имаат можност да инсталираат фотоволтаични системи на своите домови [4]. Домаќинствата можат да ја користат електричната енергија создадена од овие фотоволтаични системи за сопствени потреби или пак вишокот произведена електрична енергија да го враќаат во мрежата.

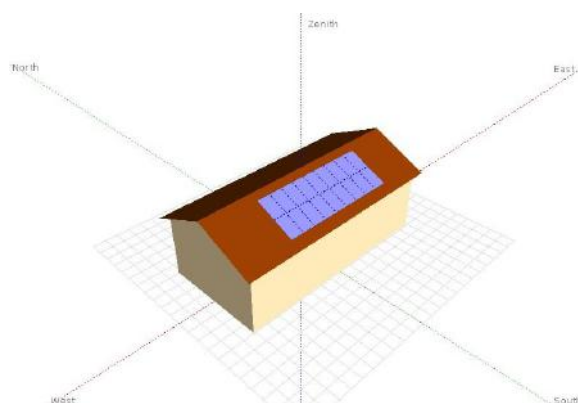
Во овој труд е претставена поставеноста на фотоволтаичните генератори на покривот на домаќинствата во зависност од ориентираноста на самиот систем, како и профилот на потрошувачка на едно просечно македонско семејство.

2 ПОСТАВЕНОСТ НА ФОТОВОЛТАИЧНИОТ СИСТЕМ

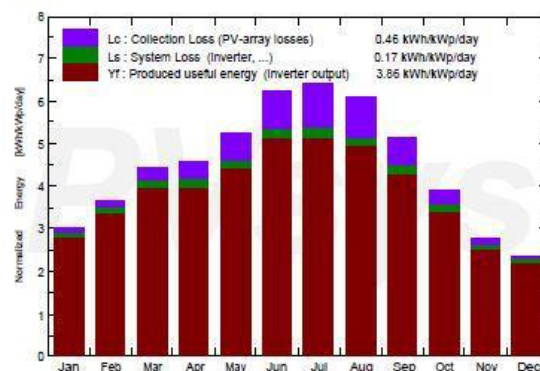
Производството на електрична енергија од фотоволтаичните системи зависи од нивната поставеност [5]. Испитувањата се направени за фотоволтаичен систем со моќност од 5 kWp, поврзан на инвертор со моќност од 5 kW. Со цел да се пресмета оптималната поставеност на фотоволтаичните системи во домаќинствата, анализирани се четири случаи. Во нив фотоволтаичниот систем е поставен под агол од 25°. Во првиот случај системот е поставен кон југ, во вториот кон исток, во третиот кон запад и четвртиот е комбинација од исток и запад. Пресметките се добиени со помош на програмот PVsyst.

2.1 Поставеност на фотоволтаичниот систем кон југ

Поставеноста на фотоволтаичниот генератор кон југ е шематски прикажан на слика 1. Годишното производство на електрична енергија од овој систем по месеци е претставено на слика 2. Вкупната произведена електрична енергија на годишно ниво изнесува 7,09 MWh.



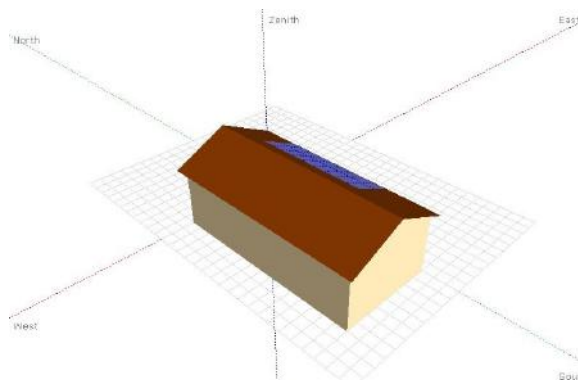
Сл. 1. Поставеност кон југ



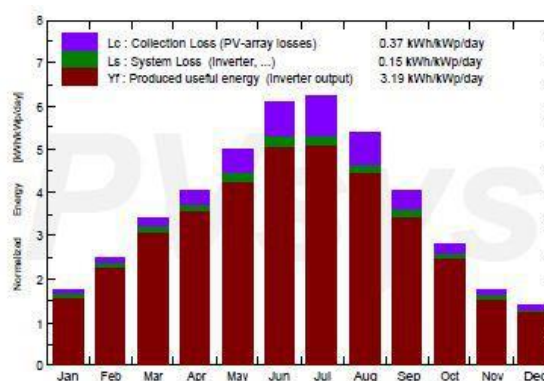
Сл. 2. Годишно производство на ел. енергија

2.2 Поставеност на фотоволтаичниот систем кон исток

Поставеноста на фотоволтаичниот генератор кон исток е прикажана на слика 3. Годишното производство на електрична енергија од овој систем по месеци е претставено на слика 4. Вкупната произведена електрична енергија на годишно ниво изнесува 5,87 MWh.



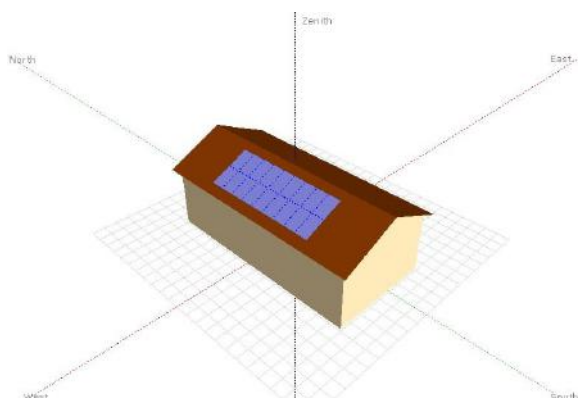
Сл. 3. Поставеност кон исток



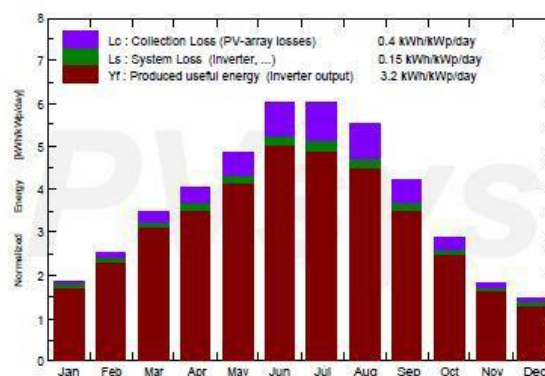
Сл. 4. Годишно производство на ел. енергија

2.3 Поставеност на фотоволтаичниот систем кон запад

Поставеноста на фотоволтаичниот генератор кон запад е прикажана на слика 5. Годишното производство на електрична енергија од овој систем по месеци е претставено на слика 6. Вкупната произведена електрична енергија на годишно ниво изнесува 5,88 MWh.



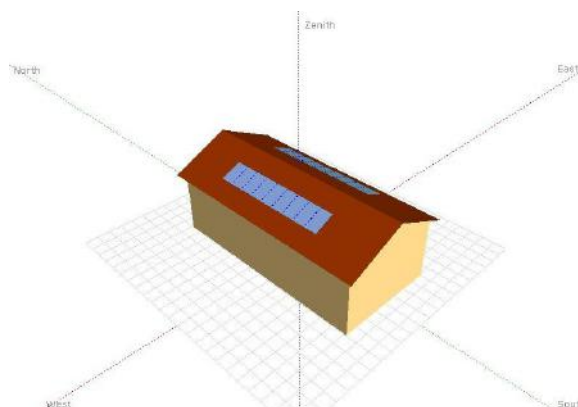
Сл. 5. Поставеност кон запад



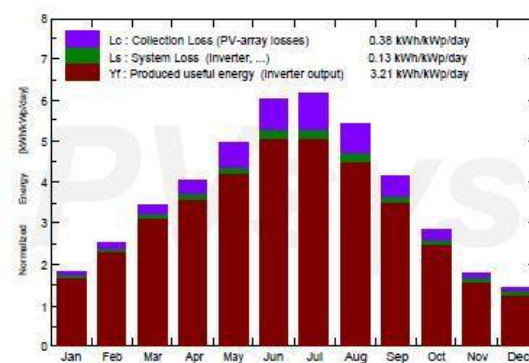
Сл. 6. Годишно производство на ел. енергија

2.4 Поставеност на фотоволтаичниот систем како комбинација од исток и запад

Поставеноста на фотоволтаичниот генератор како комбинација од 2,5 kW кон запад и 2,5 kW кон исток е прикажана на слика 7. Годишното производство на електрична енергија од овој систем по месеци е претставено на слика 8. Вкупната произведена електрична енергија на годишно ниво изнесува 5,82 MWh.



Сл. 7. Поставеност со комбинација кон исток и запад



Сл. 8. Годишно производство на ел. енергија

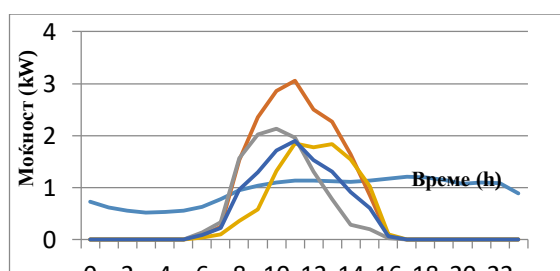
3 ДОБИЕНА МОЌНОСТ ОД ФОТОВОЛТАИЧНИОТ СИСТЕМ ВО ДОМАЌИНСТВАТА

Со цел да се пресмета оптималната поставеност на фотоволтаичниот систем во домаќинствата земени се податоци за часовната потрошувачка на електрична енергија на просечно македонско семејство. Овие податоци се земени во време од една година. Пресметката е направена за работните денови во една седмица, сабота и недела. Часовната потрошувачка на електрична енергија за овие денови е усредната во текот на еден месец поединечно, со цел да биде поедноставно за пресметка. Годишната потрошувачка на едно просечно македонско семејство изнесува 8,34 MWh. Анализата се состои од споредба помеѓу просечната часовна потрошувачка на едно просечно семејство и произведената електрична енергија од фотоволтаичниот систем. Од анализата произлегува колку електрична енергија во текот на еден ден се зема од мрежа, а колку се враќа како вишок. Земената електрична енергија од мрежа се откупува по 10 евро центи, додека пак енергијата којашто се враќа во мрежа се откупува за 4 евро центи [6]. На дијаграмите прикажани подолу е претставена поставеност на

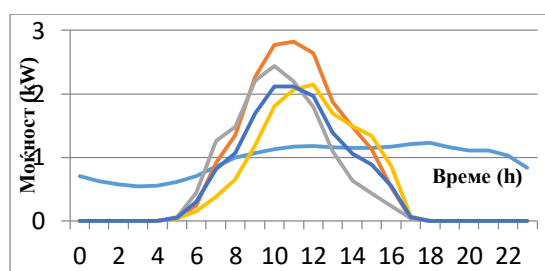
фотоволтаичниот систем во домаќинствата на месечно ниво во текот на една година, во зависност од позицијата на фотоволтаичниот систем. Во табела 1 е прикажано колку електрична енергија во текот на еден месец се зема, а колку се враќа во мрежа во период од еден месец во денари.

3.1 ДОБИЕНА МОКНОСТ ОД ФОТОВОЛТАИЧНИОТ СИСТЕМ ВО РАБОТНИ ДЕНОВИ

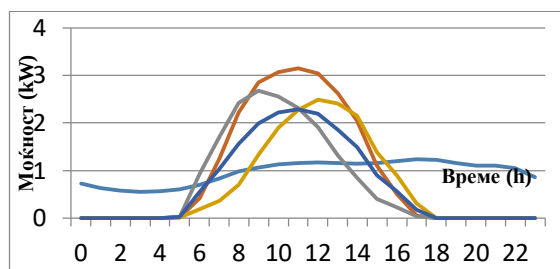
На следните графици е прикажана исплатливоста на фотоволтаичниот систем во работни денови по месеци. Резултатите се усреднати за сите работни денови (од понеделник до петок) во текот на еден месец. Светло сината линија ја означува потрошувачката на електрична енергија соодветно за секој месец, црвената линија ја означува произведената електрична енергија произведена кога системот е поставен кон југ, сивата линија кога системот е поставен кон исток, жолтата линија кога системот е поставен кон запад и темно сината линија означува поставеност на системот со комбинација исток и запад. Легендата е иста за сите останати графици. Истото е направено и за денот сабота и недела одделно.



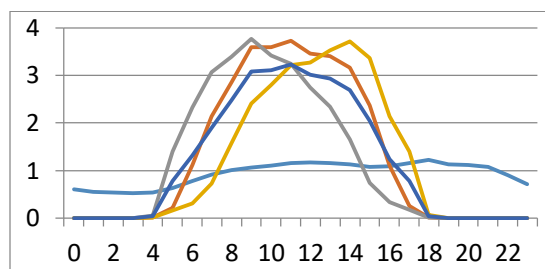
Сл. 9. Јануари



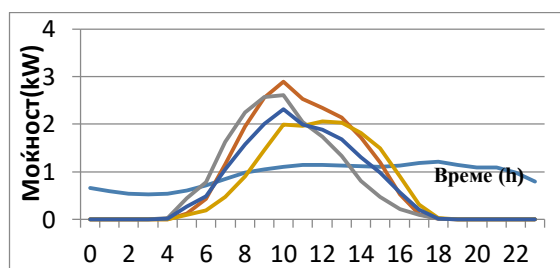
Сл. 10. Февруари



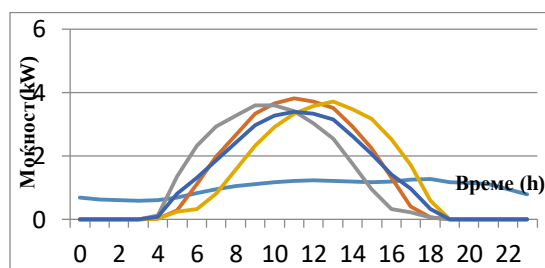
Сл. 11. Март



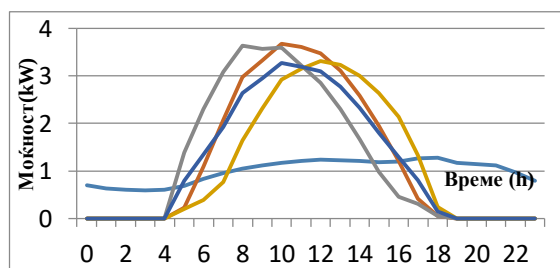
Сл. 12. Април



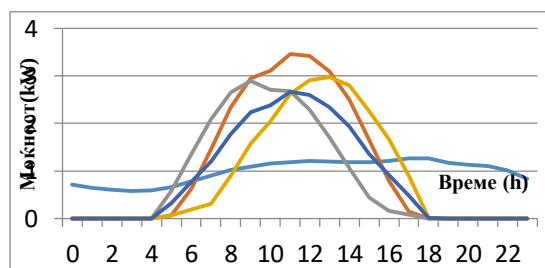
Сл. 13. Мај



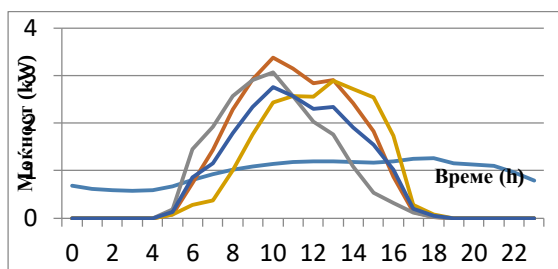
Сл. 14. Јуни



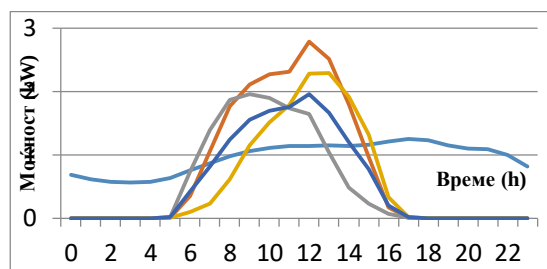
Сл. 15. Јули



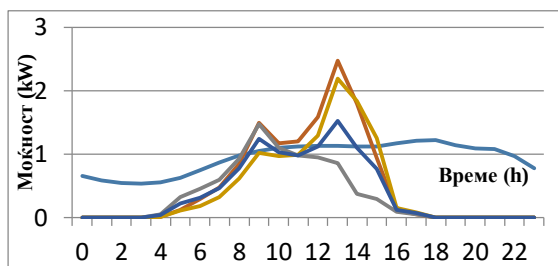
Сл. 16. Август



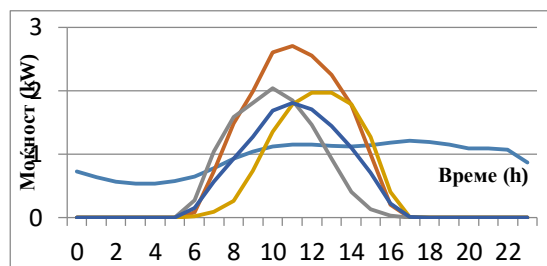
Сл. 17. Септември



Сл. 18. Октомври

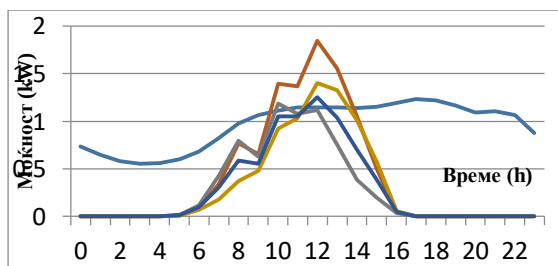


Сл. 19. Ноември

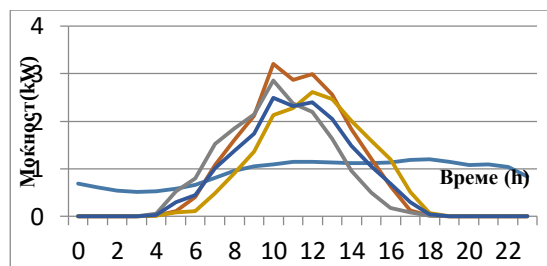


Сл. 20. Декември

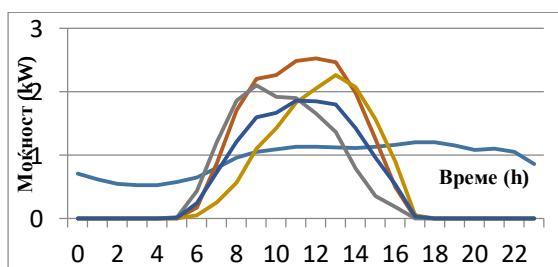
3.2 ДОБИЕНА МОКНОСТ ОД ФОТОВОЛТАИЧНИОТ СИСТЕМ ВО САБОТИТЕ



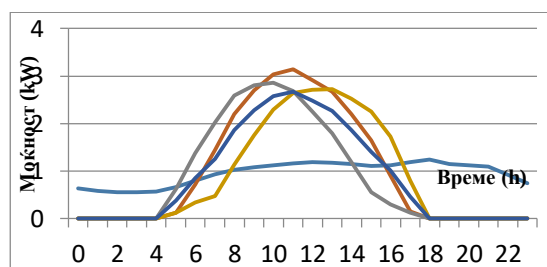
Сл. 21. Јануари



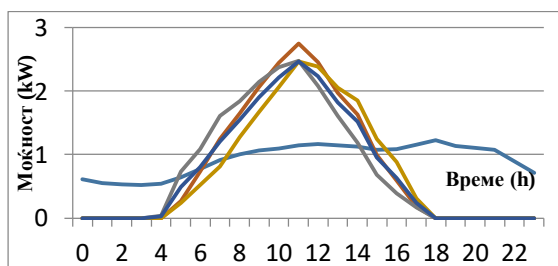
Сл. 22. Февруари



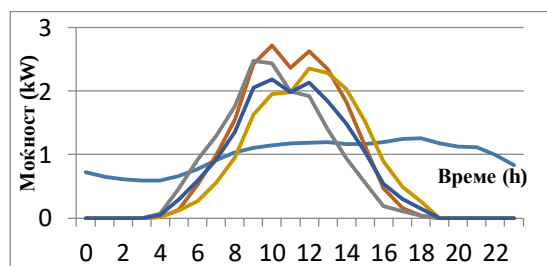
Сл. 23. Март



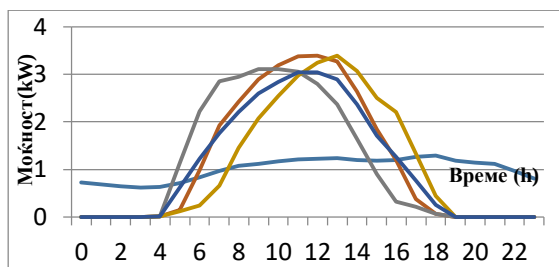
Сл. 24. Април



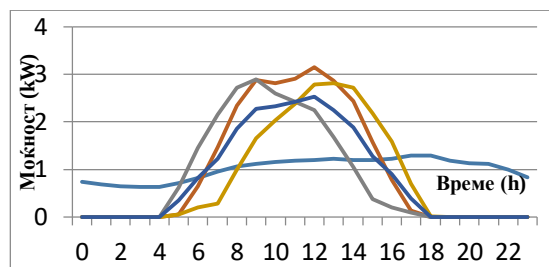
Сл. 25. Мај



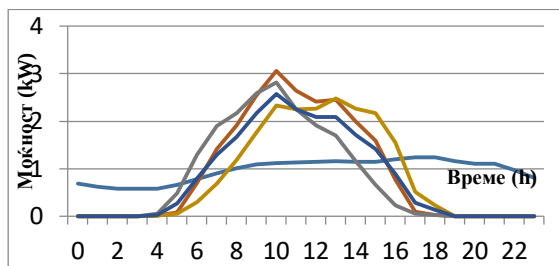
Сл. 26. Јуни



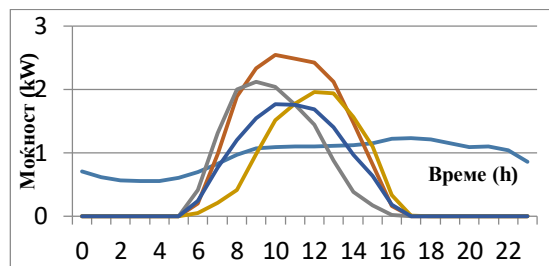
Сл. 27. Јули



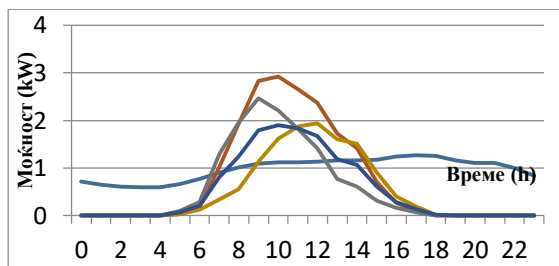
Сл. 28. Август



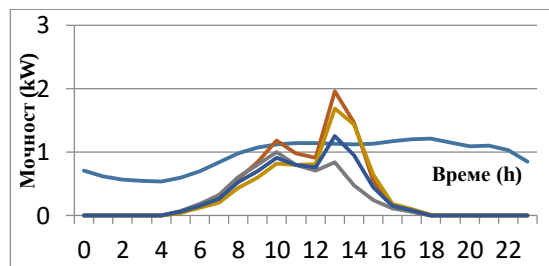
Сл. 29. Септември



Сл. 30. Октомври

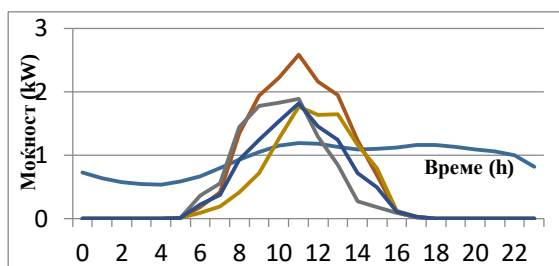


Сл. 31. Ноември

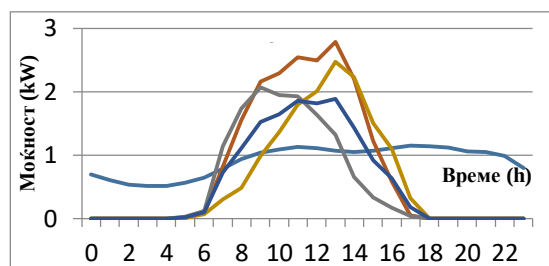


Сл. 32. Декември

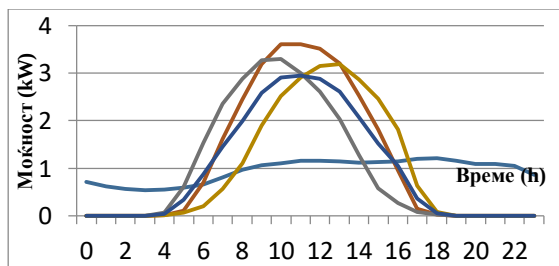
3.3 ДОБИЕНА МОЌНОСТ ОД ФОТОВОЛТАИЧНИОТ СИСТЕМ ВО НЕДЕЛИТЕ



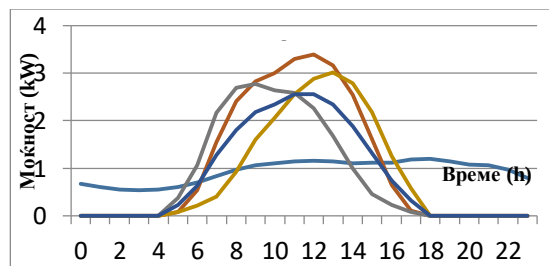
Сл. 33. Јануари



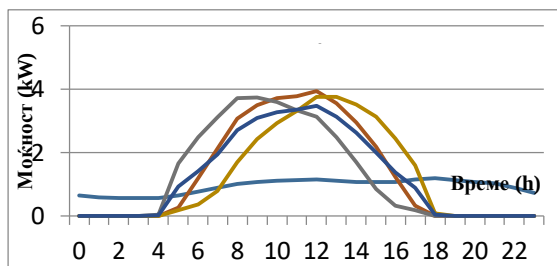
Сл. 34. Февруари



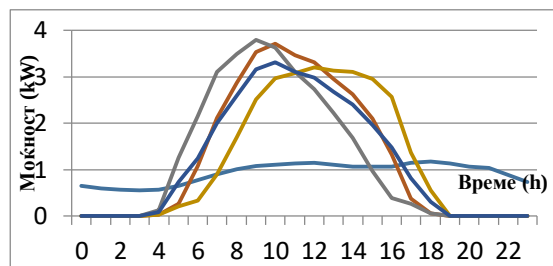
Сл. 35. Март



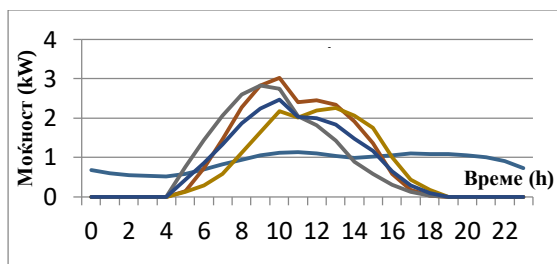
Сл. 36. Април



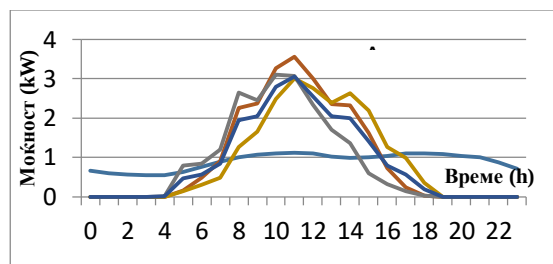
Сл. 37. Мај



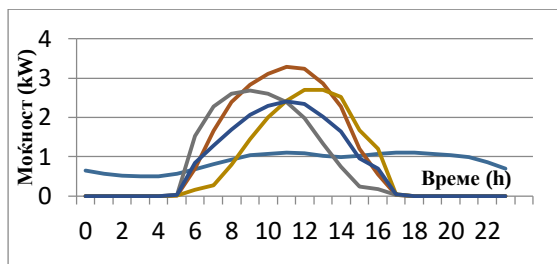
Сл. 38. Јуни



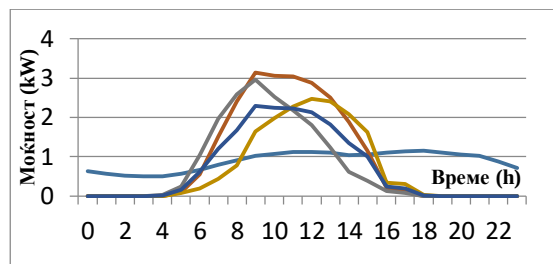
Сл. 39. Јули



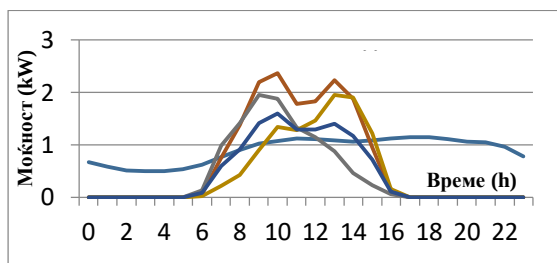
Сл. 40. Август



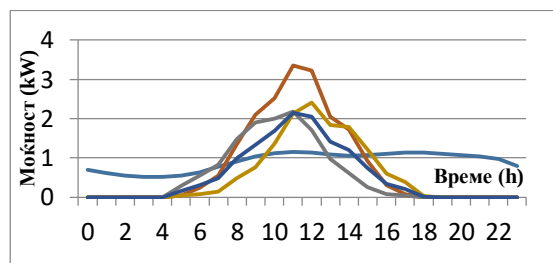
Сл. 41. Септември



Сл. 42. Октомври



Сл. 43. Ноември



Сл. 44. Декември

На табелата подолу се прикажани резултатите добиени од симулацијата. Може да се воочи за секоја поставеност поединечно колку електрична енергија за купува од мрежа, а колку се продава месечно. На крај резултатите се сумирани на годишно ниво во денари.

	Поставеност кон југ		Поставеност кон исток		Поставеност кон запад		Поставеност кон запад и исток	
Месец	купена (ден.)	продадена (ден.)	купена (ден.)	продадена (ден.)	купена (ден.)	продадена (ден.)	купена (ден.)	продадена (ден.)
Јан.	2384	493	6227	1712	2560	155	2473	126
Фев.	2085	548	7225	2106	2153	297	2087	279
Мар.	2019	808	5844	1553	2145	455	2062	445
Апр.	1501	1186	7752	2334	1775	984	1645	935
Мај	1944	703	7013	2037	1953	478	1878	489
Јун.	1858	1133	7075	2030	1753	1020	1657	968
Јул.	1845	1072	6644	1844	1808	874	1706	900
Авг.	2030	921	4969	1178	2014	649	1878	578
Сеп.	1962	877	5044	1230	2030	645	1891	574
Окт.	2180	594	2891	378	2325	314	2191	259
Ное.	2232	292	3525	635	2336	156	2271	75
Дек.	2257	478	2694	302	2454	212	2321	147
Вкупно:	24297	9105	66903	17339	25306	6239	24060	5775

4 ЗАКЛУЧОК

Во овој труд е претставена поставеноста на фотоволтаичните генератори во домаќинствата. Според бројот на сончеви денови и климатските услови, Република Македонија е поволна територија за инсталирање на фотоволтаични системи за производство на електрична енергија. Пресметаните резултати укажуваат дека за 5 kW фотоволтаичен систем инвестицијата изнесува 4 640 евра, површината којашто ќе ја зафаќа овој систем е 29 m². Од испитуваната поставеност на системот резултатите покажаа дека кога фотоволтаичниот генератор е поставен кон југ има најповолно производство на електрична енергија за домаќинства. Од податокот дека годишната потрошувачка на просечно македонско семејство на електрична енергија е 8,34 MWh (46 000 ден.) , се доаѓа до заклучок дека со поставеност на фотоволтаичниот генератор кон југ се заштедува 31 000 ден годишно. Со оваа поставеност на фотоволтаичниот генератор, враќањето на инвестицијата за системот е 9 години. Од овие симулации може да заклучи дека фотоволтаичните системи како извор на електрична енергија се многу поволни за користење за сопствени потреби во домаќинствата. Со искористувањето на сончевата енергија за производство на електрична енергија, не само што се зајакнува економијата на државата, туку и се намалува загадување на животната средина.

5 БЛАГОДАРНОСТ

Би сакале да изразиме огромна благодарност до фирмата Интебако и нејзиниот сопственик г-дин Александар Толевски, кој безрезерно ни помогна во реализацијата на трудот.

6 КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Paddy Finn, Colin Fitzpatrick, „Demand side management of industrial electricity consumption: Promoting the use of renewable energy through real-time pricing“, Applied Energy, 2014, 11-12.
- [2] Reja Amatya, Fikile Brushett, „The Future of Solar energy“, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 2015.
- [3] Markus Gehring, Freedom-Kai Phillips, „Intersection of the Paris Agreement and Carbon Offsetting: Legal and Functional Consideration“, Policy Brief No. 88, 2016.
- [4] Собрание на Република Македонија, „Закон за енергетика“, Службен весник на Република Македонија, бр. 96 од 28.5.2018.
- [5] Falk Antony, Christian Durschner, Karl – Hainz Remmers, „Photovoltaics for Professionals“, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 2013.
- [6] http://www.erc.org.mk/pages.aspx?id=153&fbclid=IwAR2wl_54mONQxKfNnH7V5sfqBir1AZB0qno2_dR46Ay1IEEnEZ4RXbpzUJJY (15.10. 2018).

Biljana Pankova, Angela Najdovska
Faculty of electrical engineering and information technologies, Skopje
¹biljana_pankova@hotmail.com 2anenajd@hotmail.com

PLACEMENT OF PHOTOVOLTAIC GENERATORS IN HOUSEHOLDS WITH DIFFERENT ROOF ORIENTATION

ABSTRACT

Due to the rapid development of the technologies, photovoltaic systems are increasingly used in the electrical energy production. The massive use of photovoltaic systems decreases their prices and improves their efficiency.

This paper presents the cost-effectiveness of the photovoltaic systems in the households. The photovoltaic system that is being tested has power of 20 kWp and is connected to an inverter with a power of 10 kW on the AC side. Based on the placement of the photovoltaic system there is a different amount of produced electrical energy. Four cases are considered: when the position of the photovoltaic system is set to the south, west, east and a combination when power of 10 kWp is set to the south and east. In all cases, the placement of the photovoltaic system is at an angle of 25°. The calculations are made using the Samil Power Design software and the results are presented on graphs. The results are compared with the average hourly electrical energy consumption of a Macedonian family. According to this comparison, there are calculations about how much energy is withdrawn from the electrical grid during the day and how much energy is returned to the electrical grid. The calculations were made for every day of the week.

The aim of this paper is to present the cost-effectiveness of the photovoltaic systems in the households and to increase their use. Their use contributes to environmental protection and increases the economic development of our country.

Key words: *photovoltaic system, households, placement, electricity*



Iskra Jacheva¹, Iva Nikolova²

Faculty of Electrical Engineering and IT, Ss Cyril and Methodius University, Skopje

¹i.jaceva@gmail.com ²nikolovaiva9@gmail.com

EXPERIENCE OF USING A SOLAR COLLECTOR IN A HOUSEHOLD

ABSTRACT

The development of the technology in the last few decades has enabled us to use the solar energy in many effective ways. Although it is not yet an economic competitor compared to conventional energy sources, systems are still being installed thanks to the cost-effectiveness of using this type of clean energy. The production of heat with solar collectors for obtaining hot sanitary water is one of the most acceptable ways for the environment. In the Republic of Macedonia annually there are approximately 280 sunny days, resulting in high cost of use of solar collectors in households.

In that way, this paper examines a case in which the experience of using a solar collector is analyzed over a period before and after its installation on a house in which a five-member family lives. The main objective is to demonstrate the cost-effectiveness of this system by reducing energy consumption and the time of investment recovery.

The obtained results help us to get a realistic assessment of the use of the above mentioned system and the efficiency of using solar energy.

Key words: *solar collector, household, energy efficiency*

1 INTRODUCTION

The twenty-first century is forming into the perfect energy storm. Rising energy prices, diminishing energy availability and security, and growing environmental concerns are quickly changing the global energy panorama. Energy is one of the keys to modern life which is providing the basis necessary for sustained economic development. Finding sufficient supplies of clean and sustainable energy for the future is the global society's most daunting challenge for the twenty-first century. A renewable energy revolution is our hope for a sustainable future. Clearly, the future belongs to clean energy sources and to those who prepare for it now.[1][2]

Solar energy is the energy that is produced by the sun in the form of heat and light. It is one of the most renewable and readily available sources of energy on planet Earth. So far, the development of technologies enables full utilization of the solar energy in two ways:

- By utilizing the heat created by solar radiation, using solar thermal collectors
- With direct conversion into electricity, using photovoltaic cells

In Macedonia, solar energy is used at a symbolic level for heating water in households. But, the geographical position and climate in Macedonia offer a very good perspective on the use of solar energy. The total annual solar radiation varies from a minimum of 1250 KWh / m^2 in the north to a maximum of 1530 KWh / m^2 in the southwest, leading to an average solar radiation of 1385 KWh / m^2 .

1.1 Solar collector

A solar collector is a device that collects and/or concentrates solar radiation from the sun. These devices are primarily used for active solar heating and allow the heating of water for personal use. Solar collectors are generally mounted on the roof and must be very sturdy as they are exposed to a variety of different weather conditions. The use of these solar collectors provides an alternative for traditional domestic water heating using a water heater, potentially reducing energy costs over time.

There are many different types of solar collectors, but all of them are constructed with the same basic premise in mind. Some types of them are: flat-plate thermal solar collectors, evacuated-tube solar collectors, solar-thermal bowl collectors, line focus collectors.[3]

Flat-plate thermal and evacuated-tube solar collectors are the most commonly used types in our country. The vacuum-tube collectors can be used throughout the whole year and throughout the whole day while flat-plate collectors have high efficiency during warm periods and the biggest amount of the energy is produced in the middle of the day. The installation of vacuum-tube collectors is simpler than the one of the flat-plate collectors which is complicated because of their big surface. On the other hand, flat-plate collectors are much cheaper and their construction is much simpler than the one of the vacuum-tube collectors. Also, they are more aesthetically acceptable and with the possibility of integration into the facade. These are the main reasons why flat-plate collector was chosen to be installed on the roof of this house.[4]

There are also, two types of systems for water heating: active and passive system. The difference between these two types is that passive systems do not need pumps to aid water flow and the water tank is placed above the level of the collector.[4]

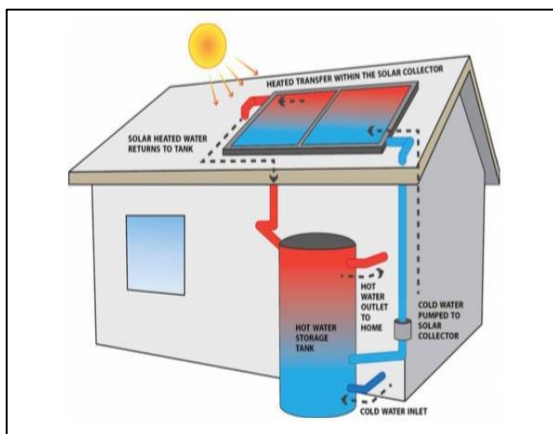


Figure 1. Active system for water heating

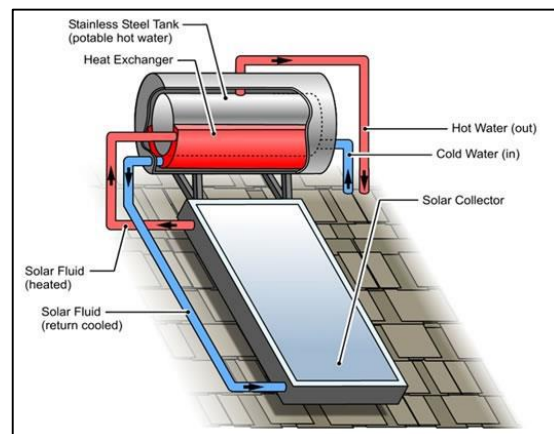


Figure 2. Passive system for water heating

The type of solar collector we are analyzing in this paper is a flat-plate thermal solar collector with passive system for water heating. As shown in the figure 3, flat-plate solar collector that is used by this household consists of the following components:

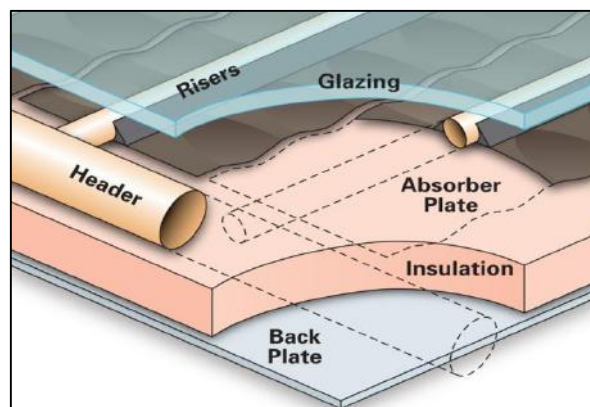


Figure 3. Components of a flat-plate solar collector

1. An absorber plate, treated with a selective surface coating to increase the fraction of incoming radiation absorbed
2. A transparent cover, or glazing, which limits the radiation and convection heat losses
3. A layer of insulation, which reduces conduction losses
4. An enclosure (frame) to contain the different elements
5. Flow tubes through which the heat transfer fluid circulates

2 WORKING PRINCIPLE OF FLAT-PLATE COLLECTORS

The solar collector we are analyzing is south oriented and it's located on the roof surface of the house. Additionally, it consists of two panels with dimensions 2006x1005x85 and it weighs 33kg.



Figure 4. Flat-plate solar collector with water tank placed above

The absorber plate is the main element of the flat-plate collector. It covers the full aperture area of the collector and is made out of metal material such as aluminum. The absorber plate is black, since dark surfaces demonstrate a particularly high degree of sunlight absorption. The purposes of the absorber plate are:

- To take up the maximum possible amount of solar irradiance, which means it has high absorption (0.95)
- To lose a minimum amount of heat back to the surroundings. This loss mechanism is a function of the emittance of the surface (0.05)

The transparent cover, or glazing is made of tempered low iron glass. Glass transmits most radiation in the visible spectrum, but does not transmit much in the infrared region. This phenomenon gives origin to the greenhouse effect inside the collector. Inside the collector the increase in temperature is caused by incoming solar radiation, at the same time as outgoing thermal radiation is blocked by the glass cover.

In flat-plate collectors, the sides and back surface of the absorber plate incorporate good insulation made of rock wool to reduce conduction losses. The insulation thickness is 50 mm which is enough to make this kind of heat loss insignificant.

The enclosure is the collector housing. Its main purposes are: to protect the absorber from the weather, to secure the complete collector and to reduce back and side heat losses. The case must be insulated to avoid loss of useful heat. The enclosure is made from aluminum. The pipes taking hot fluid from a solar collector to a storage tank can reach temperatures to 90°C. Copper is the material which is used for the pipes.

The working principle of a flat-plate collector with passive system for water heating is shown on figure 5.

The water tank has a volume of 200 l and is placed above the level of the collector. It consists of a heat exchanger through which the heated fluid from the collector circulates and there is an electric heater for heating the water in winter conditions or cloudy days. In winter, if the temperature goes over -20°C it is necessary to use Glycol/water mixture.

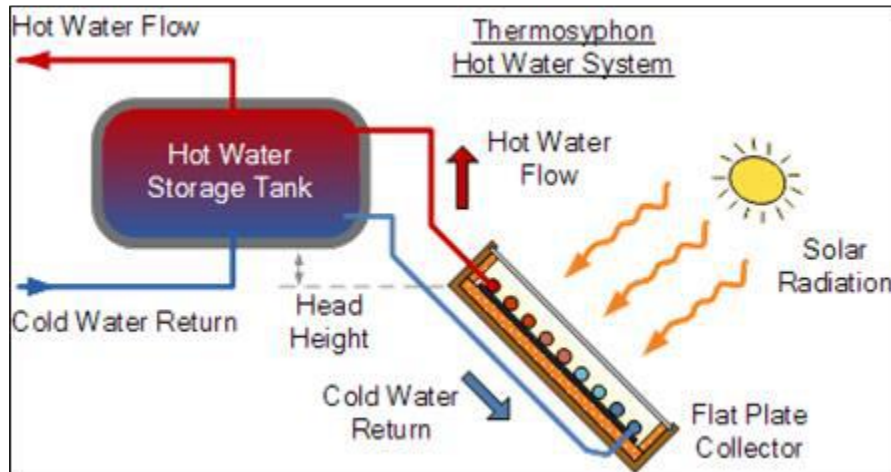


Figure 5. Working principle of a flat-plate collector with Thermosyphon hot water system

The water heated by the sun rises naturally using convection through the solar collectors pipes and enters the storage tank situated above. As the heated water enters the storage tank above, the cooler water is forced out and flows down to the bottom of the collectors aided by gravity as cold water is more dense than hot water. This cycle of hot water rising and cooler water falling is known as a “thermosyphon flow” and continuously repeats unaided while the sun is shining.

3 RESULTS

The research we made on the analyzed collector is for the period before October 2016 (when the collector was mounted) and after its installation. The results are shown through several graphs.

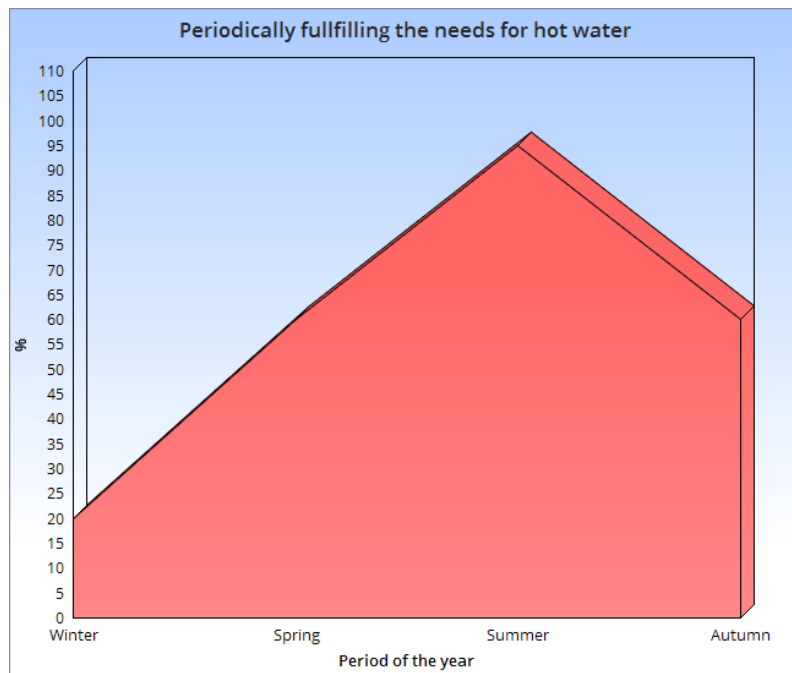


Figure 6. Periodically fulfilling the needs for hot water

The solar heating system fullfills 90-100% of the needs for hot water in summer, 50-70% of the needs in autumn and spring period while in the winter period 10-25%.

On figure 7 is shown the comparison of financial means spent for electricity during a period of 4 years. The financial means spent in 2017 and 2018 are significantly lower than the ones before the installation.

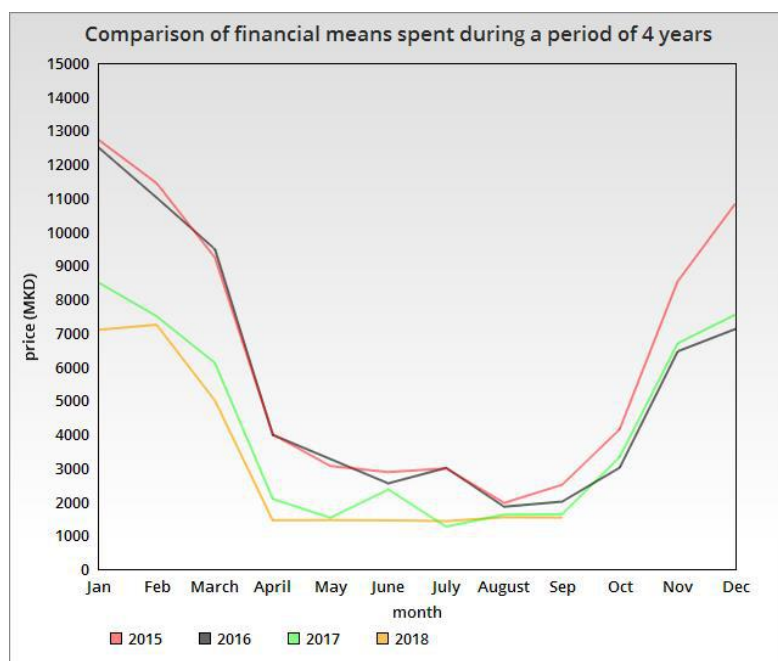


Figure 7. Comparison of financial means spent during a period of 4 year

On figure 8 we can clearly see that the means for electricity spent on an annual basis are lowering each year.

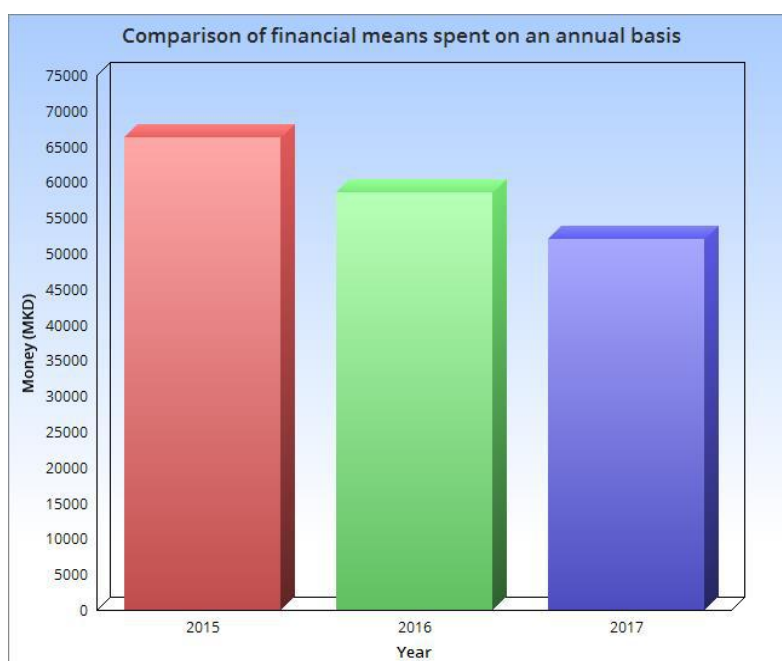


Figure 8. Comparison of financial means spent on an annual basis

The difference of the electricity consumption before and after mounting the collector is clearly shown on figure 9. In some parts of the graph it can be noticed that electricity consumption is lower before setting up the collector on the roof. Also, the energy consumption after placing the collector seem to just 10% lower according to the graph than in the year when there was no collector yet.

This appears as a consequence of adding two more heaters in the household almost in the same time when installing the collector. The heaters consume an average value of 1000 kWh each during the heating season..

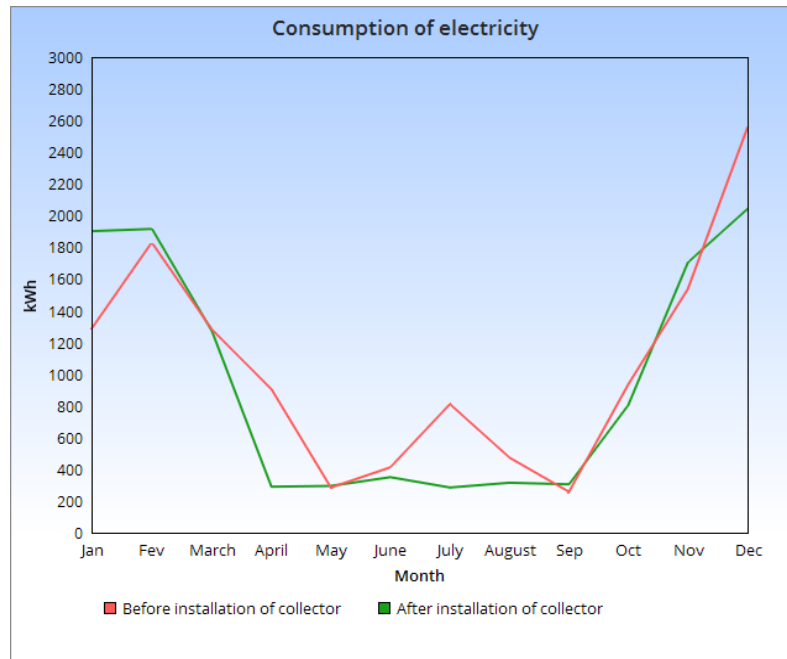


Figure 9. Consumption of electricity

The practice showed that 1 m^2 of solar collector generates savings of about 750 kWh per year or in our case 3000 kWh because we are examining a solar collector with an area of 4 m^2 . If we convert these numbers into money, we get the following results. If we calculate it at a price of 2,78 MKD which is a price for low tariff we are saving 8 340 MKD annually. Additionally, if we calculate it at a price of 5,54 MKD which is a price for high tariff we are saving 16 620 MKD annually. We can assume that average saving is 12 480 MKD annually.

Investment costs for this solar water heating system were 50 000 MKD. Since setting up the collector (two years so far) there were no maintenance costs, but we do not exclude the possibility of possible damages and additional repairing or maintenance costs. Most maintenance issues will be dictated by environmental conditions such as the location of the installation and weather conditions. After calculating the ratio of the collector price and the average saving we get the time of the investment recovery which is 4 years. Since the life span of the collector is 25 years we can consider that after the payback time the collector will work 21 years with profit equal to 262 080 MKD.

Also, we should know that the price of the electricity can grow higher each year, which means that the investment recovery can happen in less than 4 years.

4 CONCLUSION

Solar energy is widely applied to household nowadays because of its advantages. Most importantly, solar energy for water heating is renewable and environmental friendly, which means it's not producing pollution like fossil fuels. As a clean and renewable energy source, it does not release harmful gases like nitrogen oxide or carbon dioxide, which are the causes of global warming.

Solar thermosyphon hot water system is easy to be established in a house. In addition, solar collectors can be easily installed on the rooftops and do not require any wires or cords. Because they are installed on the rooftops, they will not occupy extra place at home, which is very convenient.

In other words, applying solar collectors can save a lot in the electricity bills for a household in a long-term period and even gain some income as we proved with a real case in this paper.

5 REFERENCES

- [1] Robert Foster, Majid Ghassemi, Alma Cota “Solar energy, Renewable Energy and the Environment”, CRC Press Taylor and Francis Group, Boca Raton, 2010.
- [2] Godfrey Boyle, Renewable energy: Power for a sustainable future 2nd edition, Oxford University Press, 2004
- [3] J.M.K.C. Donev et al. (2018). Energy Education - Solar collector [Online]. Available: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Solar_collector?fbclid=IwAR18QLGbZ4xwkzX6Ume0RoDhBqccH6t39v1LLF0j7FJ8aIISeOH9SGxLu70, Accessed: November 27, 2018.
- [4] Dimitar Dimitrov, Presentation for Solar Thermal PowerPlants, Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies, Skopje, 2018



Кристина Јаневска¹

¹ Машински факултет, Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје

¹kristina14.janevska14@gmail.com

ДИСТРИБУИРАНИ ЕНЕРГЕТСКИ ИЗВОРИ – ФОТОВОЛТАИЧНА ЦЕНТРАЛА ИНСТАЛИРАНА НА ПОКРИВ НА СТОПАНСКИ СУБЈЕКТ

КУСА СОДРЖИНА

Дистрибуираните енергетски извори лоцирани од страната на потрошувачите денес и во многу блиска иднина ќе претставуваат голем предизвик и можност за инвеститорите и крајните потрошувачи од една страна и мрежните оператори од друга страна. Технологијата на Дистрибуираните енергетски извори која е дефинирана како производство на енергија “behind the meter” и складирањето на енергија во соодветни складишни (батериски) за дел односно за сите потреби од електричната енергија на консументот. Терминологијата “behind the meter” значи извор на електрична енергија кој генерално не е поврзан на дистрибутивната мрежа туку е надвор (позади) неа. Во услови кога батериите се сеуште скапа опција еден од преодните начини за поголема застапеност на Дистрибуираните енергетски извори е оптимизирањето на потребите од енергија за корисникот односно инсталирање на фотоволтаична централа со помала моќност од потребната и со тоа задоволување на дел од потребите на корисникот, додека останатиот дел би се задоволувал преку постојниот дистрибутивен систем. Поврзувањето со дистрибутивниот систем технолошки и административно е неопходно не само поради фактот што евентуалните вишоци на енергијата произведена во фотоволтаичната централа ќе може да се насочат на друг корисник туку и понатаму со воведувањето на “Net metering” како форма на размена на купена енергија од дистрибутивниот систем и предадените вишоци на произведена енергија. Во услови кога “Net metering” ќе се воведе во идниот либерализиран пазар на електрична енергија тогаш и зголемувањето на моќноста и учеството на Дистрибуираните енергетски извори ќе биде најнормална појава.

Енергетската политика и правилата на дистрибутивниот оператор ќе имаат силно влијание врз интеграцијата на Дистрибуираните енергетски извори. Овие правила од една страна треба да ги земат во предвид конфигурацијата и ограничувањата на мрежата, но од друга страна мора да се воспостави децентрализирана рамка каде ќе се поедностават административните формалности за приклучување на мрежа на овие извори.

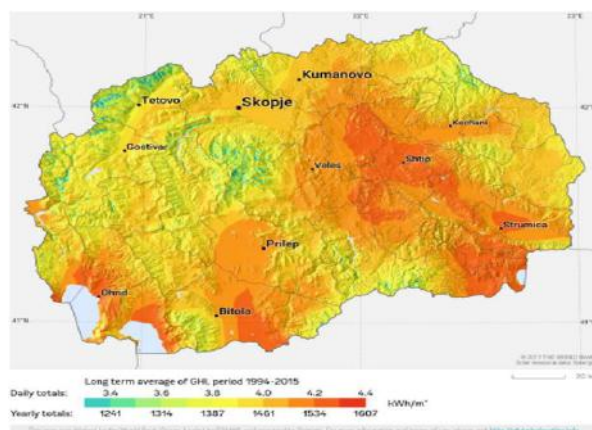
Со воведувањето во сила на новиот закон за енергетика се очекува средување на состојбите во однос на Дистрибуираните енергетски извори. Особено со донесувањето на подзаконските акти точно ќе се дефинира методологијата и начинот на функционирање на Дистрибуираните енергетски извори и нивното поврзување со постојниот дистрибутивен систем а преку него и со останатите учесници во пазарот на електрична енергија.

Во оваа презентација ќе се анализираат делови од основниот проект на Фотоволтаична централа инсталирана на покрив на стопански субјект во Струмица со инсталирана моќност од $P = 100 \text{ kW}$ и начинот на снабдување на овој корисник преку електрична енергија произведена од оваа централа и електрична енергија преземена преку дистрибутивниот систем. Земајќи го во предвид фактот што потребната моќност на овој потрошувач изнесува 180 kW следува дека оваа централа ќе задоволува само дел од потребната електрична енергија.

Клучни зборови: фотоволтаични системи, сончево зрачење, електрична енергија, снабдување со електрична енергија

1 СОНЧЕВОТО ЗРАЧЕЊЕ И ТЕМПЕРАТУРАТА НА ВОЗДУХОТ

Во Фотоволтаичните центри се врши директна трансформација на енергијата на сончевото зрачење во електрична енергија. За да се оценат перформансите на Фотоволтаична централа потребно е да се познаваат податоците на сончевото зрачење за локацијата каде истата е поставена. Според податоците од SOLARGIS,[1] ЈУГОИСТОЧНИОТ ДЕЛ ОД Република Македонија, посебно регионот на Струмица изобилува со голема густина на енергија на сончево зрачење, кое на годишно ниво е прикажано на Слика 1



Слика 1. Мапа на просечна густина на енергија на сончево зрачење во Р. Македонија

Локацијата каде е изградена Фотоволтаичната централа на кровот на субјектот Единство АД Струмица е подложна на голема сончева радијација со просечна годишна густина на енергија на сончево зрачење од 1590 kWh/m². Но, за опстојна и прецизна анализа потребни се часовни податоци и тоа за повеќегодишен период и исто така потребни се податоци за температура на воздухот и брзина на ветерот.

Во Табела 1 прикажани се вредностите на релативните метеоролошки податоци добиени врз основа на 16 годишен период на мерење, каде H_o [kWh/m²] ги претставува Средните месечни вредности на глобално сончево зрачење врз хоризонтална површина, $T_{a,sr}$ [°C] Средните температури, $T_{a,sr \min}$ [°C] минимални средни температури и $T_{a,sr \max}$ [°C] максимални средни температури.

Месец/Параметар	jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep	okt	nov	dek
H_o [kWh/m²]	56	73	117	145	194	205	218	193	147	106	67	46
$T_{a,sr}$ [°C]	-0,8	2,1	6,2	10,8	15,7	20	21,9	21,3	17,1	11,4	5,6	1,2
$T_{a,sr \min}$ [°C]	-4,6	-2,1	0,9	4,8	8,8	11,8	13,3	13,1	9,9	5,8	1,4	-2,5
$T_{a,sr \max}$ [°C]	3,5	6,9	11,5	16,4	21,7	26,5	29	28,7	24,7	18,4	10,8	5,4

Табела 1. Релативни метеоролошки показатели за период од 16 години

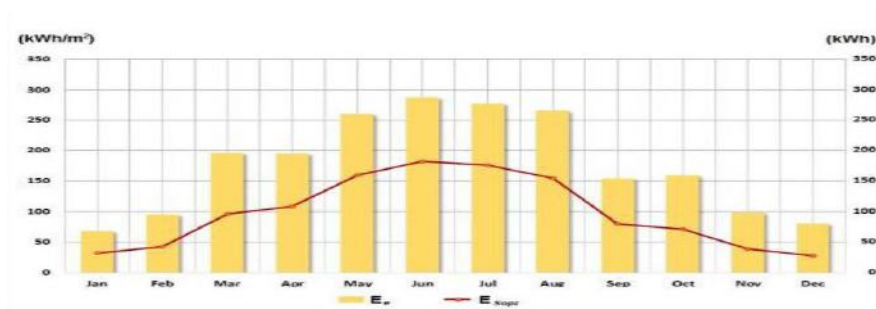
Бидејќи ние го разгледуваме како референтен месец Октомври 2018 година по наведената методологија вредностите за месец Октомври се претставени во Табела 2. Се разбира добиените вредности не можат да се земат како репер туку само како податок кој се споредува во однос на една методологија.

Месец/Параметар	Октомври 18
Ta,sr[oC]	16,0
Ta,sr min[oC]	9,3
Ta,sr max[oC]	22,1
Ho[kWh/m2]	н/а

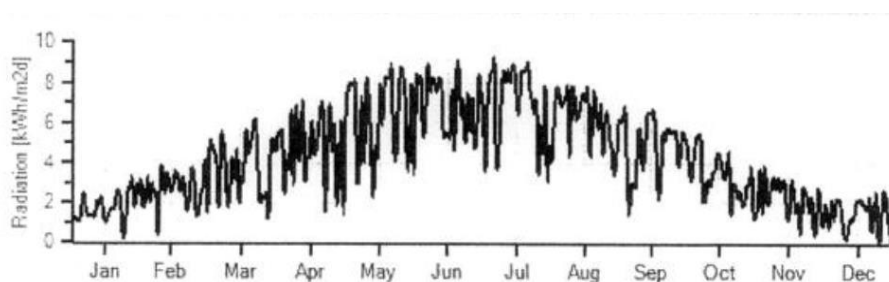
Табела 2. Метролошки показатели за Октомври 2018

Методолошки споредувајќи го Октомври 2018 со базата на метеоролошки показатели од 16 години може да заклучиме дека средните вредности на температурата се над просечните вредности од базата.

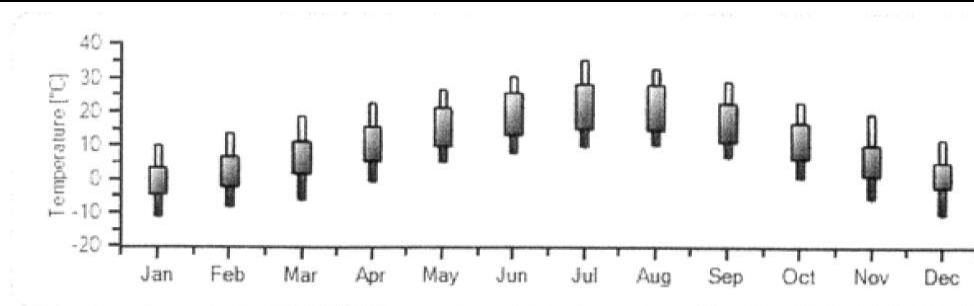
Часовните податоци за глобалното и дифузното сончево зрачење врз хоризонталната површина, како и часовните податоци за температурата на воздухот и брзината на ветерот се генерирани со програмата METEONORM (Ver. 6.0)[2]. За локацијата во Струмица прикажани се сумираните вредности на некои параметри при генерирањето на часовните податоци и тоа: месечните вредности на интензитетот на глобалното и дифузното сончево зрачење врз хоризонталната површина на Слика 2 и дневните вредности на интензитетот на сончевото зрачење врз хоризонтална површина на Слика 3. Дневните вредности на средната, минималната и максималната температура на воздухот се прикажани на Слика 4.



Слика 2. Месечни вредности на интензитетот на глобално и дифузно сончево зрачење врз хоризонтална површина



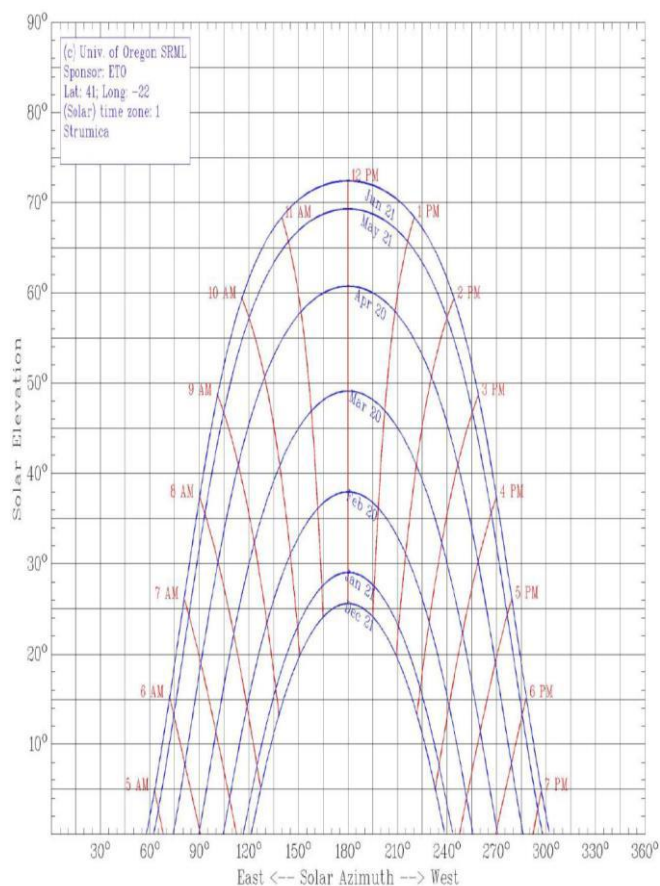
Слика 3. Дневни вредности на интензитетот на сончево зрачење врз хоризонтална површина



Слика 4. Дневни вредности на температурата на воздухот(средна, максимална и минимална)

2 ВИСИНА НА ХОРИЗОНТОТ И ПАТЕКИ НА СОНЦЕТО

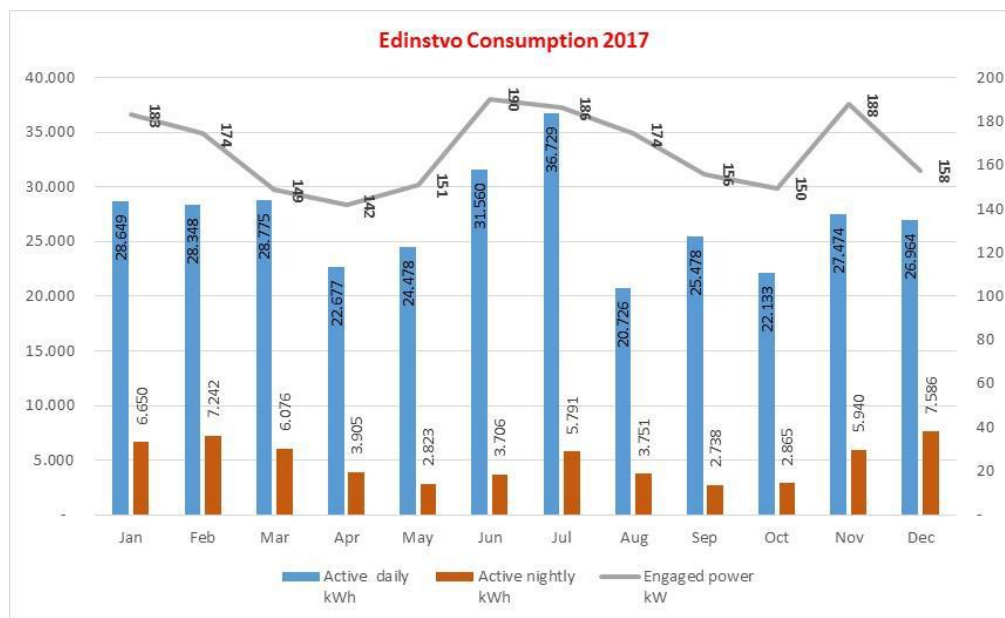
За одредувањето на растојанието помеѓу редовите на групите од фотоволтаични модули, односно за елиминирање или минимизирање на засенувањето на модулите, од битно значење е познавањето на аголот на висина на хоризонтот и промената на аголот на висината на Сонцето на локацијата. На Слика 5 Прикажана е висината на хоризонтот која е компјутерски мапирана со помош на софтверска алатка. На истата слика се прикажани промените на висината на Сонцето за неколку карактеристични денови во годината. Притоа може да се забележи дека висината на хоризонтот има повисок агол т.е. го покрива Сонцето само во раните утрински и доцните попладневни часови. Во тие периоди интензитетот на сончевото зрачење ќе биде мало.



Слика 5. Агол на висина на хоризонтот и промена на аголот на висината на Сонцето.

3 СНАБДУВАЊЕ НА КЛИЕНТОТ СО ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГИЈА

На слика 1 е претставен графикот на основните параметри на Единство Струмица, Пред вклучување на Фотоволтаичната централа.



Слика 6. Основни показатели за потрошувачка на електрична енергија на Единство

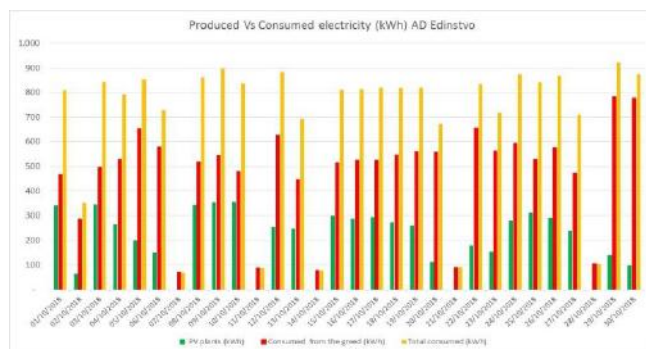
Како основни параметри се Активната дневна моќност, Активната ноќна моќност и Врвната моќност за секој месец во годината. Со оглед на фактот што Фотоволтаичната централа работи неполни два месеца ќе ги споредуваме податоците за месец Октомври 2017 и 2018 година во случаевите кога овој субјект работел пред и по поставувањето на фотоволтаичната централа.

Од графикот на Слика 6 евидентно е дека активната ноќна моќност е занемарлива во однос на активната дневна моќност односно најголемата потрошувачка на енергија е во текот на денот односно овој субјект првенствено работи во прва смена. И токму овој податок е прв индикатор дека поставувањето на кровот на овој субјект на 100 kW фотоволтаична централа е правилна одлука.

Date	PV plants (kWh)	Consumed from the greed (kWh)	Total consumed (kWh)
01/10/2018	342	468	810
02/10/2018	65	288	353
03/10/2018	346	497	843
04/10/2018	264	529	793
05/10/2018	200	654	854
06/10/2018	150	578	728
07/10/2018	-	70	70
08/10/2018	343	518	861
09/10/2018	353	545	898
10/10/2018	355	481	836
11/10/2018	-	87	87
12/10/2018	253	628	881
13/10/2018	246	446	692
14/10/2018	-	79	79
15/10/2018	298	514	812
16/10/2018	288	526	814
17/10/2018	294	526	820
18/10/2018	271	546	818
19/10/2018	260	561	821
20/10/2018	111	560	671
21/10/2018	-	91	91
22/10/2018	179	656	834
23/10/2018	154	563	717
24/10/2018	280	593	873
25/10/2018	311	529	840
26/10/2018	290	576	867
27/10/2018	238	473	711
28/10/2018	-	105	105
29/10/2018	139	783	922
30/10/2018	95	777	873
31/10/2018	246	641,6	887,55
Total	6.370	14.889	21.259

Табела 3. Однос на произведена и потрошена електрична енергија на Единство за месец Октомври

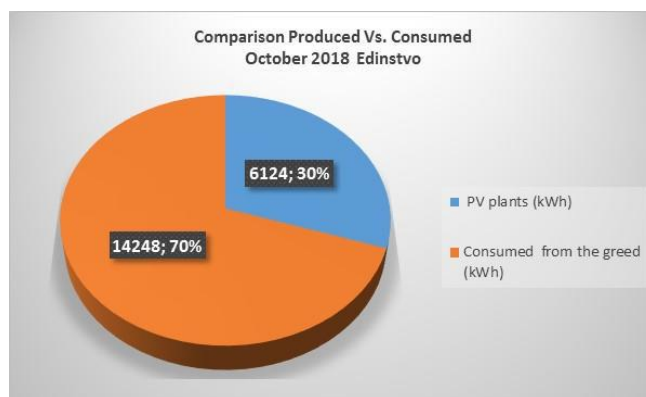
Во Табела 3 се дадени дневните вредности за месец Октомври во однос на потрошената и произведената електрична енергија. [4]



Слика 7. Споредба на произведена и потрошена електрична енергија на Единство во Октомври 2018

Споредбата на произведена и потрошена електрична енергија во однос на вкупно потрошената електрична енергија во Октомври 2018 е прикажана на Слика 7 и 8. Бидејќи се работи за есенски месец коректно е дека само 30% од вкупно потребната енергија се добива од фотоволтаичната централа.

На Слика 9 претставено е предвиденото годишно производство за 100 kW фотоволтаична централа.[3]



Слика 8. Процентуален влог на произведена и потрошена електрична енергија

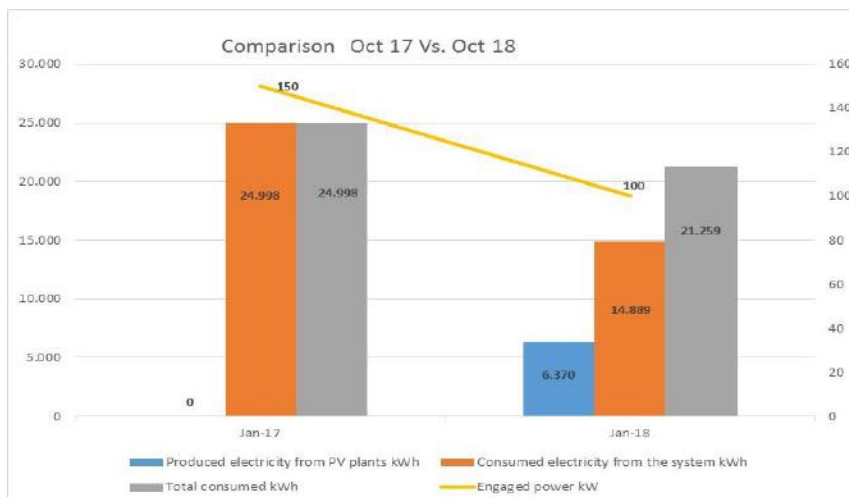


Слика 9. Предвидено годишно производство

Интересно е да се анализира ситуацијата во случај кога потрошувачот е снабдуван со електрична енергија донесена само преку дистрибутивниот систем и кога истиот е снабдуван од фотоволтаичната централа и електрична енергија донесена преку дистрибутивниот систем истовремено.

Month	Produced electricity from PV plants kWh	Consumed electricity from the system kWh	Total consumed kWh	Engaged power kW
Oct-17	-	24.998	24.998	150
Oct-18	6.370	14.889	21.259	100

Табела 4. Основни параметри при снабдување на корисник Октомври 2017 и Октомври 2018



Слика 10. Споредба на основни параметри Октомври 2017 со Октомври 2018

Од графикот на Слика 10 се гледа намалувањето на врвната моќност во услови кога работи фотоволтаичната централа. Повеќе од јасно е дека во летните месеци кога и производството ќе биде поголемо логично следува дека и врвната моќност дополнително ќе се намали а со тоа ќе се намали и трошокот кој го плаќа корисникот за ангажирање на врвна моќност.

4 ЗАКЛУЧОК

- Дистрибуираните енергетски извори се дел од енергетска иднина, а фотоволтаичните центри најбрзо ќе се развиваат во поглед на намалувањето на трошокот на инсталација по kW и во однос на подобрувањето на нивните перформанси;
- Во однос на метеоролошките услови во Македонија има многу погодни услови за изградба на фотоволтаични центри;
- Концептот на комбинирано снабдување на корисникот со произведена електрична енергија од фотоволтаична централа и преземена електрична енергија од дистрибутивниот систем дава одлични резултати ако се направи оптимизација на профилот на корисникот и неговите потреби;

5 КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Податоци од SOLARGIS
- [2] Податоци од програмата METEONORM (Ver. 6.0).
- [3] Извадоци од основен проект за инсталирање на фотоволтаична централа на покрив на стопански субјект во Струмица
- [4] Податоци од практични мерења на електрична енергија за месец октомври од фотоволтаичната централа во Струмица

Kristina Janevska¹

¹Faculty of mechanical engineering, Skopje

[¹kristina14.janevska14@gmail.com](mailto:kristina14.janevska14@gmail.com)

DISTRIBUTED ENERGY RESOURCES –PHOTOVOLTAICS PLANT INSTALLED ON THE ROOF OF ONE ECONOMIC ENTITY

ABSTRACT

Distributed energy resources located by the consumer today and in the near future will become a big challenge and opportunity for the investors and the final consumers in one hand and network operators in other.

Technology of distributed energy resources which is defined as production of energy “behind the meter” and storing the energy in appropriate storage containers (batteries) as part or for all electricity needs of the consumer.

Terminology “behind the meter” explain sources of power energy which general is not connect with the distribution network, but its behind of it.

In this presentation we will analyse parts of basic project of plant installed on the roof of one economic entity in Strumica which has power of $P=100$ KW.

In fact the economic entity has a need of 180 kW, follows that this plant will satisfied just a part of needed energy.

In this presentation first will be analyse aspects of solar radiation and air temperature in Macedonia, technical description about photovoltaic panels, connecting in strings and fields and program simulation based of input parameters , with review of the first measured power and energy immediately after PV plant start production.

Key words: *photovoltaic systems, sun radiation, electricity, electrtricity supply*



Stojan Spasevski¹, Marija Cvetkovska²

¹Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies, University “Ss Cyril and Methodius” - Skopje

¹stojan.spasevski@outlook.com ²cvetkovskamarija03@gmail.com

ANALYSIS OF THE PROFITABILITY OF SMALL PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

ABSTARCT

The exploitation of the energy coming from the sun, as a renewable energy source, allows reducing of the CO₂ emissions in the atmosphere and helps preserving the environment.

The photovoltaics are technology that use direct conversion of the sun energy into electrical energy. The high efficiency and low price of the photovoltaic systems, allows developing a decentralized production of electrical energy within the small consumers and households.

The production from small photovoltaic systems for one's own needs is unlike the production in the larger photovoltaic power plants.

The main goal of this paper is to show that by implementing decentralized production of electrical energy, funds can be saved considerably, meaning that a part of the energy that is produced will be used for own needs. The other part of the produced energy will be placed in the market for selling. The consumption of the electrical energy from grid will be considerably reduced, if a battery is embedded in these photovoltaic systems. One part of the produced energy could be saved and used when the photovoltaic system is not producing electrical energy.

In this paper, a calculator for the cost-effectiveness of decentralized production of electrical energy using photovoltaic systems is created. The parameters used for the calculation of the photovoltaic system are: consumer's need for electrical energy, the cost of the electrical energy, the investment costs and the costs for maintenance of the photovoltaic system. This tool is simple and efficient to calculate the best outcome from photovoltaic production, household demand and electricity price data.

Key words:

Photovoltaic systems, energy storage, electrical energy cost, return on investments

1 SMALL PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

Throughtout the years the costs of photovoltac systems has been reduced, so the instalation of these systems has become more attractive for the private investors.

Small photovoltaic systems can be installed on the rooftops of the houses or comercial buildings. Moreover, for bigger systems they can be installed on the ground, where by combining more than one photovoltaic panel, there is a possibility of installing a photovoltaic field.

The photovoltaic systems contain several parts including: photolvoltaic panels, invertor and a battery (if applied). Also, there is a two-ways energy meter for measuring the energy the has been exchanged with the grid [1].

1.1 Producing electricity from photovoltaic systems

In the process of producing electricity there are several stages. The first stage of the electricity production is based on the intensity of sunlight during the day. The electricity produced is DC so in order for it to be usable, it has to be converted in AC via a DC/AC converter. This power can be used for own consumption, or it can be injected to the grid. A possibility to store the energy is optional with installation of a battery. In this case, the own consumption will increase, which will decrease the energy consumed from the grid.

1.2 Costs for installation of photovoltaic systems

The costs for installing photovoltaic systems is diverse and the price can range depending on the country where the system is installed. The prices of installed power of photovoltaics are decreasing, in the recent years between 2015 and 2016 the cost has significantly decreased for approximately 10€ct/Wp installed capacity around the world. Figure1 shows the change of price in different countries[2].

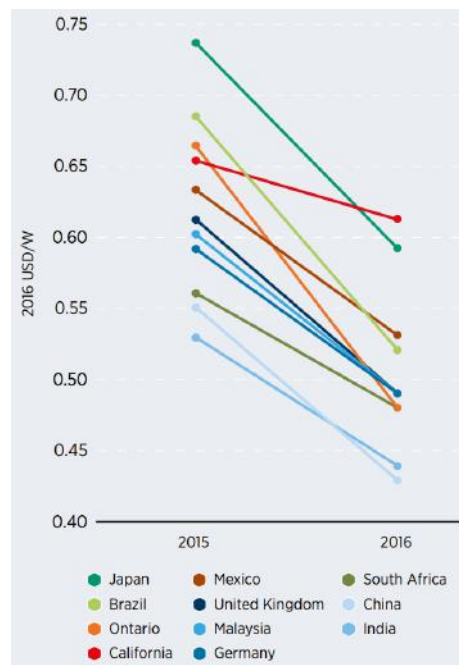


Figure1. Prices of installed photovoltaics

2 CALCULATOR FOR PHOTOVOLTAIC OUTCOME

The calculator for photovoltaic systems is created in Microsoft Excel (Figure 2). It can calculate the break even point of the investment, also the financial as well as technical outcome. The input parameters are for photovoltaic production, household demand and market price of electricity in the country. Using these parameters, the total production of the photovoltaics system and the total financial gain over the years can be easily calculated.

Figure2. Calculator for Photovoltaic outcome

2.2 Output data

2.2.1 Technical output data

The calculated output data include:

- Photovoltaic production (kWh) and photovoltaic full load hours per year (h)
- Available battery capacity (kWh) and full load hours of the battery(h)
- Energy consumed from the photovoltaics (kWh), energy feed in to the grid (kWh), energy saved in the battery(kWh);
- Own consumption (%) and feed in the grid (%)

2.2.2 Financial output data

The financial output data include the total installation costs of the photovoltaic system.

2.2.3 Monthly finance outcome for electricity

There are three scenarios for calculation of the electricity expenses.

a) Base case scenario

The base case scenario is made of the consumption of electricity without installation of photovoltaic system. The calculation uses household demand per year, divided by months.

b) During-loan scenario

This scenario includes electricity feed into the grid, electricity(energy), fees and taxes and monthly loan installment.

c) After-loan scenario

This scenario includes electricity feed into the grid, electricity (energy) and fees and taxes.

2.2.4 Total outcome

This outcome is constructed by the years to break even.

3 DISPATCH STRATEGY FOR THE SYSTEM

On the Figure 4 is shown the dispatch strategy for the photovoltaic system. In order to maximise the profit, the electricity produced from the photovoltaics system for own consumption of the household is used first. In order to increase the own consumption when the photovoltaic systems is producing more than the household demand the excess of electricity is stored in battery, considering the maximum loading and unloading power. If the battery is full charged, the remaining electricity is feed in to the grid and sold on the market. This is one of the most efficient ways to dispatch the small photovoltaic systems[3].

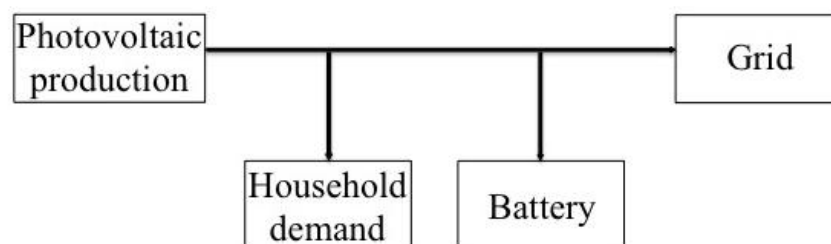


Figure 4. Dispatch strategy

4 RESULTS

The data for the calculation, such as energy market price and photovoltaic production are used for Austria[4,5].

4.1 Input data for the calculation

On Table 1 and Table 2 are given the parameters used in the calculation.

Table 1. Technical parameters used in the calculation

Installed photovoltaic power (kWp)	3
Battery capacity (kWh)	1
Maximum loading/unloading power (kW)	0.4

Table 2. Financial parameters used in the calculation

Interest rate (%)	5
Loan duration (months)	60
Photovoltaic installation costs (€/kWp)	1.600
Battery cost (€/kWh)	1.000
Other fees (€/kWh)	2.614
Grid fee (€/kWh)	4.789
VAT (%)	20

4.2 System outcome

Data for one particular day are used. On the Figure 5 is shown the outcome of the photovoltaic system.

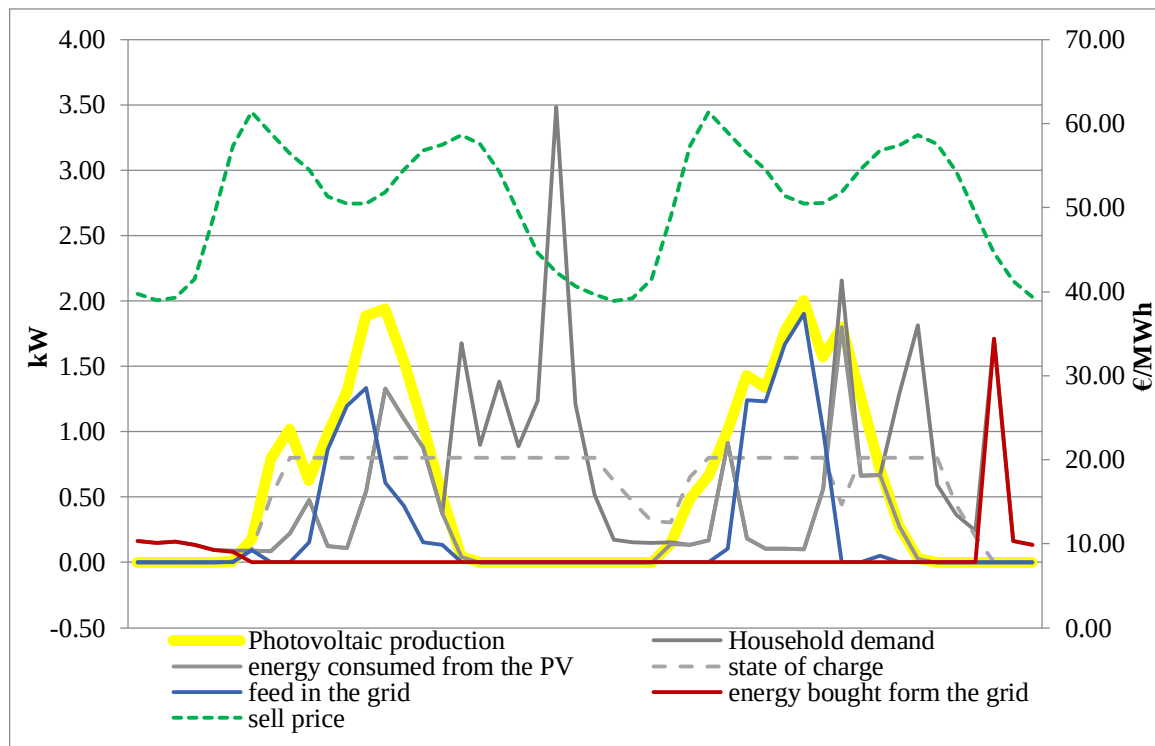


Figure 5. Technical outcome of the system during two day period

The data presented on Figure 5 includes the values of the photovoltaic production, household demand, energy consumed from the photovoltaics, state of charge of the battery, feed in the grid and energy bought from the grid. In conclusion, the household demand is the highest during the evenings. This is a problem since the photovoltaic production is happening during the day when there is sunlight. To overcome this problem, a battery is used to be charged during low household demand and high photovoltaic production. The battery is discharged when there is no photovoltaic production. Electricity price is varying during the day but during the night is smaller than during the day. This means that it is better to sell the electricity from the photovoltaics during the day which is the result of this calculation.

4.3 Financial Outcome

The results from the calculation for the monthly financial outcome are given in Table 3.

Table 3. Monthly financial outcome

Base case scenario balance (€)	-64.39
During-loan scenario balance (€)	-145.01
After-loan scenario balance (€)	-13.67

The result shows that during the loan payment, the household will lose 80.62€ per month but after the loan has been totally paid, the household will gain 50.72€ per month. With this financial strategy, the payback period will be 12.95 years.

5 CONCLUSION

In the last few decades, the photovoltaic technology has become more efficient and caused decreasing of the cost of systems. In the recent years, the cost has significantly decreased for approximately 10€/Wp for installed power around the world. This led to greater photovoltaic production and bigger installed capacity.

One of the reasons photovoltaics are becoming promising technology is because they are one of the cleanest ways to produce electricity. The photovoltaics have zero emissions of CO₂ and other greenhouse gases in the atmosphere during their work. Unlike the conventional energy sources, the photovoltaics are a sustainable way of producing energy because the fuel can be used for many generations in the future.

The dispatch system is created in order to maximize the profit for the installation of photovoltaic system. The household demand is the first to be covered and the excess of electricity is fed into the grid. In order to increase the own consumption, a battery is installed.

It is important to prepare techno-economic analysis for profitability before installing the photovoltaic systems. This program can create a quick and efficient calculation of input data for photovoltaic production, household demand and electricity price and then calculate the payback period for the investment. Another consideration in the analysis is the geographical location which creates a variety in the prices for the photovoltaics production, because of the different price they have in different countries.

6 REFERENCES

- [1] M. Godoy Simoes, F. A. Farret, Renewable Energy Systems: Design and Analysis with Induction Generators, CRC Press LLC, 2004
- [2] <http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC108105/kjna28817enn.pdf>
- [3] Emiliano Dall'Anese, Sairaj V. Dhople and Georgios B. Giannakis, Optimal Dispatch of Photovoltaic Inverters in Residential Distribution Systems, IEEE TRANSACTIONS ON SUSTAINABLE ENERGY, VOL. 5, NO. 2, APRIL 2014
- [4] <https://www.apg.at/en> - Austrian Power Grids
- [5] <https://www.eex.com/en/> - European Energy Exchange



Јована Трошанска

Факултет за електротехника и информациски технологии, Скопје

troshanska@outlook.com

МИКРОМРЕЖИ – МОДЕЛИРАЊЕ И ОПТИМИЗАЦИЈА

КУСА СОДРЖИНА

Промената на економските и пазарните прилики во енергетскиот сектор, законската регулатива, намалувањето на енергетските резерви како и залагањето за подобрување на животната средина доведува до промени во сите сегменти на електроенергетскиот систем. Микромрежата е нов концепт кој што ги опфаќа производството и потрошувачката на електрична енергија во граница на локалната дистрибутивна мрежа. Во овој труд се разгледани основните карактеристики на микромрежите, како и напредното управување и диспечинг на дисперзираните производни единици (ДПЕ). Исто така, направена е анализа на принципите на управување и водење на микромрежите кога се приклучени на дистрибутивна мрежа или кога работат во островски режим на работа.

Овој труд исто така ги опфаќа моделирањето и оптимизацијата на микромрежите, кои како нов концепт во дистрибутивните мрежи овозможуваат зголемување на енергетската ефикасност и доближување на работата на дистрибутивниот систем поблиску до одржливиот развој во енергетскиот сектор. Целта на овој труд е да се разгледаат можностите за примена на микромрежите за обезбедување на напојување на големи објекти, какви што се образовните институции. Моделирањето и оптимизацијата се направени со програмскиот софтвер HOMER PRO, каде што се разгледува пример за училиште кое е поврзано на микромрежа.

Клучни зборови: *микромрежи, моделирање, оптимизација*

1 ВОВЕД

Интересот за широка примена на ДПЕ во дистрибутивните мрежи потекнува од потребата за ефикасно искористување на расположливите ресурси, особено на обновливите извори на енергија (ОИЕ), како и од мерките за поттикнување на искористувањето на производството од ОИЕ. Сепак, нивната интеграција во дистрибутивните мрежи е поврзана со низа технички проблеми, а еден начин да се пристапи кон нивното решавање е воведувањето на иновативни концепти, како што се микромрежите. Практично, примената на новите начини на управување на микромрежите и оптимизацијата на нивната работа придонесува да се олесни интеграцијата на ДПЕ, но истовремено, овозможува и низа придобивки за водењето и управувањето на дистрибутивните системи. Придобивките од микромрежите вклучуваат и подобрена сигурност во работата на дистрибутивните системи, висока оптимизација на расположливите ресурси, а посредно и намалување на емисиите на штетни гасови и намалување на негативните ефекти врз животната средина.

Микромрежите претставуваат дел од нисконапонските дистрибутивни мрежи, вообичаено вклучуваат определен број изводи, потрошувачи, ДПЕ и системи за складирање електрична енергија. Една од главните карактеристики е високото ниво на автоматизација, можноста за управување и на производните единици и на оптоварувањето, како и примената на

информациски и комуникациски технологии заради остварување на функциите на оптимизација и управување.

Микромрежите можат да бидат приклучени на дистрибутивната мрежа или да функционираат автономно, во островски режим на работа. Кога тие се поврзани на дистрибутивната мрежа можат да преземаат и да инјектираат моќност во системот. Во постојан островски режим на работа се оние микромрежи што се изолирани од електроенергетската мрежа на копно, односно што се изградени на географски острови. Но, исто така во овој режим можат да бидат и микромрежите што по потреба или при нарушување се исклучуваат од дистрибутивната мрежа и функционираат самостојно. Оваа можност за преминување во островски режим на работа ја зголемува сигурноста во снабдувањето со електрична енергија поради можноста за користење на системите за складирање на електрична енергија, како и ДПЕ. Но, најчесто во островски режим се напојуваат оние потрошувачи кај кои не смее да дојде до прекин во напојувањето, а се исклучуваат оние кај кои напојувањето не е неопходно.

2 КАРАКТЕРИСТИКИ НА МИКРОМРЕЖИ

2.1 Основни технологии на производство во микромрежите - ДПЕ

Една од главните цели на микромрежите е обединување на придобивките од конвенционалното производство со висока ефикасност и ниски емисии на штетни гасови и искористувањето на ОИЕ за производство на електрична енергија. Најзастапени технологии на производство на електрична енергија во ДПЕ се когенеративни постојки (КПГ) на природен гас и биогорива, електрични центри на термосоларна и ветерна енергија, хидроелектрични центри, фотоволтаични електрични центри (ФЕЦ) и горивни ќелии. Искористувањето на некои од овие технологии во дадена микромрежа зависи од географската позиционираност на територијата каде што е имплементирана микромрежата, од достапноста на ОИЕ, како и од техничко – економските влијанија за нивно искористување. Вообичаено инсталираната моќност на ДПЕ е помеѓу 50 MW и 100 MW, претставуваат дел од дистрибутивната мрежа чие напонско ниво е од 0,4 до 100 kV и не се централизирано планирани од операторот на системот, ниту се централно диспечирани. [1]

2.2 Системи за складирање на електрична енергија (ССЕЕ)

Покрај акцентот кој е ставен на искористување на ОИЕ, сè повеќе се анализира и истражува можноста за примена на ССЕЕ, кои не се директно вклучени во производството, но имаат важна улога во микромрежата и нејзиното функционирање. Складирањето на електрична енергија е една од клучните технологии за да се изгради електроенергетски систем што ќе функционира доверливо и сигурно. Со ССЕЕ се овозможува зголемување на можностите за искористување на ОИЕ. Исто така, се овозможува израмнување на дијаграмот на оптоварувањето, надоместувајќи за дневните и сезонски промени кај ОИЕ.

Складирањето на енергија може да биде искористено за управување на системот, овозможено преку системите за управување на електроенергетскиот систем, односно примената на централизиран или децентрализиран пристап. Користењето на централизираните ССЕЕ обезбедува динамичка стабилност и одржување на фреквенцијата при загуба на напојувањето од страна на напојната точка на микромрежата или при нарушување кога мержата е во островски режим [2]. Со примена на децентрализираните ССЕЕ се врши локално управување кое може да биде и во согласност со работата на ДПЕ, со цел зголемување на ефикасноста во користењето на производните единици и намалување на дебалансите во микромрежата.

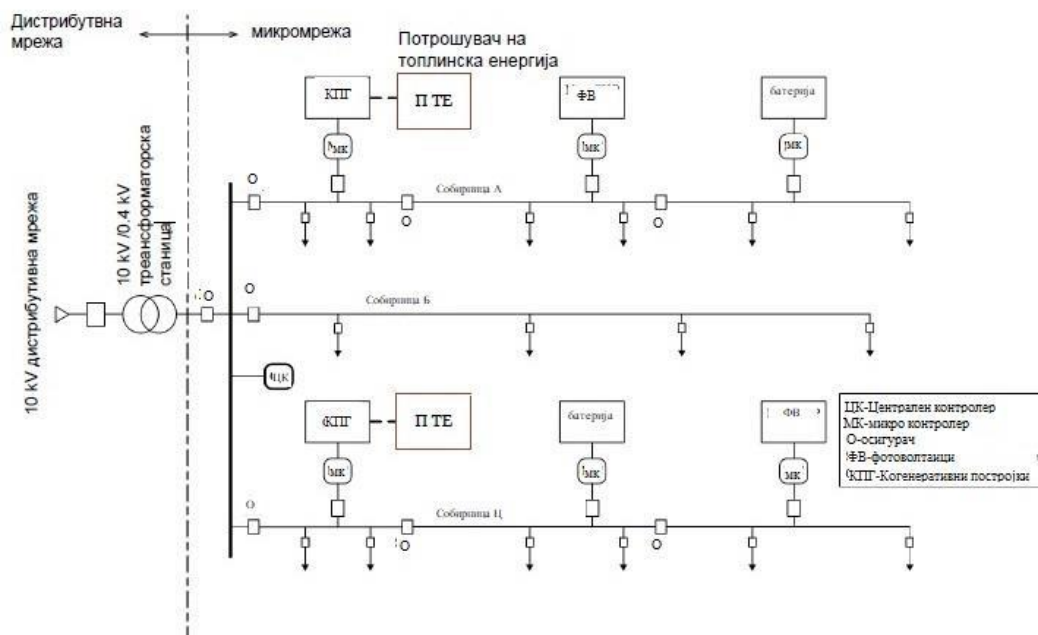
Уште во фазата на проектирање на микромрежите и на ССЕЕ се врши анализа на сите променливи поврзани со работата и управувањето со производството, вклучувајќи го и очекуваниот удел на ОИЕ, како и сите променливи поврзани со имплементацијата на програмите за управување со потрошувачката. Придобивките добиени со користење на единици за складирање на енергија вклучуваат намалување на врвната моќност на

нисконапонската (НН) мрежа, поместување на периодите на врвно оптоварување во НН мрежа, интегрирање на ОИЕ во мрежата, регулација на фреквенцијата и контрола на напонот.

3 СИСТЕМИ ЗА УПРАВУВАЊЕ ВО МИКРОМРЕЖИ

Системите на управување во микромрежите ги опфаќаат потрошувачите, односно сегментот на потрошувачка на електрична енергија, ДПЕ како произведен сегмент, ССЕЕ и главната дистрибутивна мрежа. Со цел добивање податоци за производството и потрошувачката на електрична енергија во микромрежата се користат напредни системи за мерење, односно интелигентни броила вградени кај потрошувачите, мерни уреди поставени во одделни јазли на мрежата и во јазлите каде што се приклучени ДПЕ. Примената на интелигентни броила овозможува далечинско или локално отчитување на податоци во реално време за потрошена или произведена енергија, спроведување на некои сегменти од програмите за управување со оптоварувањето, ограничувања во потрошувачката итн. Мерните инструменти поставени во напојните јазли што немаат можност за далечинско отчитување се поврзуваат со уреди за комуникација, кои понатаму вршат превземање на податоците и нивна обработка.

Уредите за контрола применети во микромрежите се контролери базирани на енергетска електроника. Најниското ниво на контрола се спроведува од микроконтролери наречени локални контролери (ЛК), вградени кај секоја ДПЕ, ССЕЕ или кај потрошувачите. Повисоко ниво на контрола од ЛК се централните контролери (ЦК) со кои се обезбедува одржување на стабилноста и доверливоста на работата на микромрежата, управувајќи со ЛК. Централните контролери се состојат од два модула, модул за управување со енергија и модул за координација на заштитата. Покрај примената на ЛК и ЦК, кога станува збор за концепт на мулти-микромрежни системи се применува и централен автономен контролер (ЦАК), со кој се управува со работата на поединечните ЦК на микромрежата. [3]



Слика 1. Приказ на микромрежа со распоред на контролери, ДПЕ и ССЕЕ

4 ПРИМЕР ЗА МИКРОМРЕЖА

Во програмскиот пакет на HOMER PRO направена е симулација за оптимизација на работата на микромрежа која опфаќа едно училиште. Програмскиот пакет HOMER PRO претставува оптимизациски модел кој ги испитува сите можни комбинации од расположливите

технологии од кои се состои микромрежата, водејќи сметка за обезбедување на потребното напојување на потрошувачите.

Симулациите се вршат во чекори, кои можат да се извршуваат за секоја минута во годината или за секој час. во еден рок и ја симулира работата на хибридна микромрежа за цела година со временски чекори од една минута до еден час. Исто така, овој програмски пакет овозможува и пресметки на различни видови на трошоци, како и прикажување на степенот на искористеност на дистрибуираните извори инсталирани во микромрежата. [4]

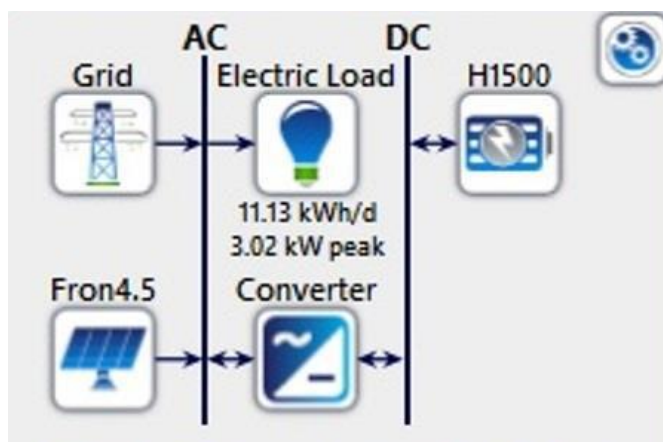
Претпоставката е дека училиштето се наоѓа во рурална област, во источниот дел на Република Македонија. Бидејќи училиштето е заедничко за повеќе населени места кои се оддалечени од поголемите градови, потребно е да има обезбедено дополнителна резерва. Училиштето опфаќа вкупна површина од 940 m² и се состои од 10 училници, 4 тоалети, кујна, простории за наставен кадар, мала спортска сала и библиотека. Во училиштето постојат и компјутеризирани училници. Во случајот не се разгледуваат потребите за затоплување, односно се смета дека тие се задоволени со други извори. Електричната опрема која што се употребува во училиштето се состои од болјери, фрижидери, електрични шпорети, сијалици, проектори, компјутери и слично, со вкупна моќност од 43,7 kW. На следната табела се прикажани моќностите за секој потрошувач поединечно.

Табела 1. Моќности на потрошувачи

Потрошувачи	Моќност (W)
Флуоресцентна светилка	18
Видео проектор	200
Компјутер	300
Фрижидер	1200
Болјер	2000
Електричен шпорет	4000

Пред да се извршат симулациите, се разработува концепт за напојување на училиштето преку мала фотоелектрична централа (ФЕЦ), а дополнително се разгледуваат потребите од воведување на ССЕС. Фотоволтаиците се поставени на покривот, а сисемот ги содржи и другите неопходни елементи – преобразувач и батерија. Откако концептот е поставен, се моделира целиот систем.

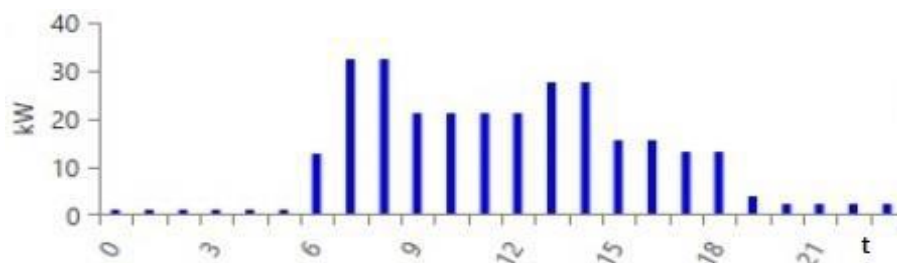
На слика 2 е даден приказ на микромрежата која е применета во училиштето.



Слика 2. Шематски приказ на микромрежата применета во училиштето

Влезните податоци кои се користат за моделирање на мрежата се податоците за потрошувачите и временскиот распоред на нивно користење, податоци за мрежата и трошоците за снабдување со електрична енергија. Покрај тоа, поради изборот на фотоволтаици за напојување во микромрежата, исто така се користат податоци за просечното сончево зрачење на територијата на Македонија, кои се достапни за користење во софтверот. Во моделот исто така се внесуваат технички податоци за опремата, односно ССЕС, фотоволтаиците, конвентор и контролер, кои можат да се изберат од библиотеката расположлива за користење во самиот софтверски пакет.

Како резултат од пресметките добиени со програмскиот софтвер HOMER PRO, се добива следниот дијаграм на оптоварување во текот на 24 часа во работен ден, прикажан на слика 3. Може да се забележи дека во периодите од 7h до 9h и од 13h до 15h во училиштето се достигнуваат максимални вредности на оптоварувањето, бидејќи во тој период од денот работат поголем број потрошувачи (наутро светилките, во раните попладневни часови и кујната во која се подготвува и служи храната). Во ноќните часови може да се забележат ниски вредности на оптоварувањето, бидејќи во тој период се вклучени потрошувачи со мали моќности, како што се штедливите LED светилки.



Слика 3. Дневен дијаграм на оптоварување

На слика 4 прикажано е месечното производство на електрична енергија во текот на една година. Претставено е напојувањето од микромрежата наспроти напојувањето добиено од ФЕЦ. Може да се забележи дека максималното производство на електрична енергија е добиено од фотоволтаиците во текот на летниот период, во месеците јуни, јули и август, а минимално производство има во зимскиот период, во месеците ноември, декември и јануари. Останатиот дел од оптоварувањето на училиштето кој што не може да се задоволи со произведената сончева енергија се надополнува од мрежата.

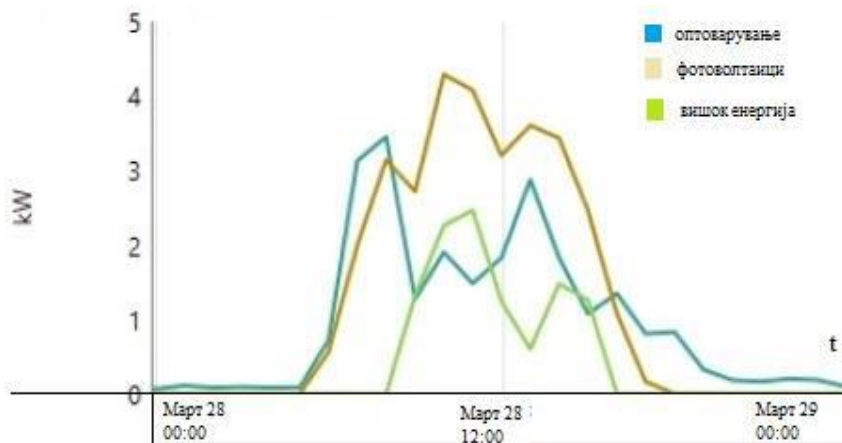


Слика 4. Месечен дијаграм на производство на енергија

Оптоварувањето на училиштето кое троши енергија од микромрежата се нарекува примарно оптоварување бидејќи ги опфаќа сите потрошувачи, во секој период од денот, не зависно дали станува збор за големи или мали потрошувачи. Меѓутоа покрај примарното оптоварување може да се воведи и секундарно (неприоритетно) оптоварување. Станува збор за потрошувачи кои трошат електрична енергија по флексибилен распоред, односно нивното вклучување може да се одложи во друг период од денот, или пак да се користат само дел од потрошувачите, а не сите предвидени. Овој вид оптоварување е важен заради работа на микромрежата во периодите кога таа е исклучена од дистрибутивната мрежа и со расположливите ресурси не може соодветно да одговори на оптоварувањето [5].

Во истражувањето се добиени резултати за два различни начини на напојување на училиштето. Едниот начин е кога тоа е поврзано на мрежа, а другиот кога не е, односно кога напојувањето се покрива од ФЕЦ и батеријата за складирање на енергија.

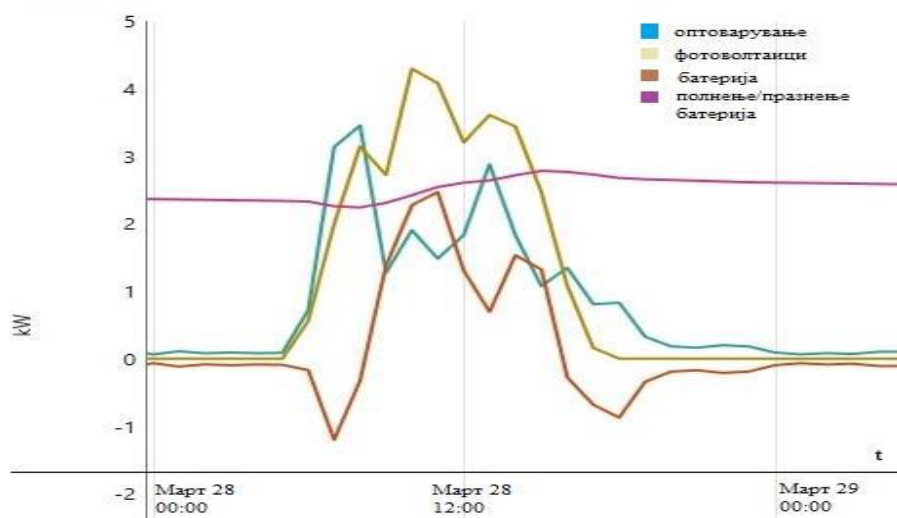
Сликата 5 ги содржи резултатите од симулациите кога училиштето е приклучено на мрежа. Резултатите кои се прикажани на дијаграмот се во периодот од 24 часа во месец март.



Слика 5. Приказ на разгледуваниот систем за еден ден во месец март, кога микромрежата е приклучена на мрежа

На овој графички приказ со сина боја е претставено оптоварувањето на училиштето, со жолта електричната енергија произведена од фотоволтаиците и со зелена е вишокот на електрична енергија. Може да се забележи дека во текот на поголемиот дел од деноноќието мрежата ги задоволува потребите на оптоварувањето. Односно, само мал дел од оптоварувањето на училиштето ја користи електричната енергија од ФЕЦ во периодот од 10h до 14h. Поради ова се појавуваат вишоци на енергија кои се складираат во батериите и понатаму се користат кога мрежата нема да може да го покрие оптоварувањето на училиштето. Не се предвидува продажба на електрична енергија назад во мрежата.

Во случај кога системот не е приклучен на мрежа, за да се покрие оптоварувањето на училиштето како дополнителна резерва се користат фотоволтаиците и батеријата за складирање на електрична енергија. Но, доколку во системот има оптоварување кое не може да се покрие, тогаш за да се надолнат недостатоците од електрична енергија се воведуваат приоритетни и неприоритетни потрошувачи или се инсталира помал дизел агрегат. Резултатите од истражувањето кои се добиваат кога системот не е приклучен на мрежа во периодот од 24 часа за еден ден во месец март се прикажани на слика 6.



Слика 6. Дневен дијаграм на оптоварување без напојување од мрежа

Како што може да се забележи од сликата, повторно со сина боја е претставено оптоварувањето на училиштето, со жолта е претставена енергијата што се произведува од ФЕЦ, со кафена е претставена употребата на батеријата и со виолетова е претставено полнењето на батеријата. Во текот на ноќните часови оптоварувањето е мало, не побарува големо напојување и поради тоа може да се обезбеди со батеријата. Но во периодот од 7h до 9h оптоварувањето го достигнува својот максимум и поголем дел се напојува од фотоволтаиците, а останатиот дел кој што не можат да го покријат фотоволтаиците се надополнува со батеријата.

Во периодот од 10h па се до 14h, оптоварувањето е покриено од страна на ФЕЦ и може да се забележи дека во тој период од денот започнува полнење на батеријата. Додека пак во периодот од 14h до 24h, кога веќе не можат фотоволтаиците да произведуваат електрична енергија, оптоварувањето кое нема големи вредности во овој период од деноноќието може да биде покриено од страна на батеријата. Исто така, може да се забележи и дека во тој период започнало повторно празнење на батеријата.

Во симулациите се применува управување на циклусот на полнење и празнење на батериите. Тие се полнат секогаш кога има вишок на електрична енергија во системот. Исто така, се оптимизира работата на микромрежата преку управување на оптоварувањето – секогаш кога ФЕЦ произведува, таа се користи за да покрие дел од оптоварувањето. Во целиот систем се води сметка и за трошоците, односно се користат изворите поврзани со најмали трошоци.

5 ЗАКЛУЧОК

Главен мотив за воведување на концептот на микромрежите се придобивките што се добиваат од технички, економски и од аспект на животната средина кои ги нудат производствените технологии, системите за складирање на електрична енергија, како и системите за управување. Со намалувањето на преземената електрична енергија од главната електрична мрежа, може да се оптимизира развојот на дистрибутивната мрежа и да се одложи инвестирањето. Она што е клучно да се извлече од овој труд е дека преку добро проектирана и испланирана микромрежа, правилен избор на координација и управување со нејзините елементи, може да се постигнат значајни ефекти, како намалување на врвното оптоварување, зголемување на квалитетот на електрична енергија, како и доверливост на напојувањето на потрошувачите.

6 КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Preety Mathema, „*Optimization of Integrated Renewable Energy System - Microgrid*“, Tribhuvan University, Kathmandu, Nepal, 2018.
- [2] Александра Крколева Матеска, „*Микромрежи*“ - предавања, ФЕИТ, Скопје, 2018.
- [3] Nikos Hatziaargyriou, „*Microgrids – Architectures and Control*“, National Technical University of Athens, Greece, 2014, pages 28-32.
- [4] T. Givler, P. Lilienthal, „*Using HOMER Software, NREL'S Micropowet optimization model, to explore the role of gen-sets in small solar power systems*“, Tehnical report, National laboratory of the US Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, May 2005.
- [5] Anthony Papavasiliou, Alex Dimakis, Thomas Dickhoff, „*Coupling Wind Generators with deferrable loads*“, Tehnical report, 2008.

Jovana Troshanska

Faculty of electrical engineering and information technologies, Skopje

troshanska@outlook.com

MICROGRID MODELING AND OPTIMIZATION

ABSTRACT

The paper presents Microgrid modeling and optimization using a suitable software package. Various operation regimes shall be considered and simulated. The Microgrid shall include generating units based on renewable energy sources and different types of consumers. The paper shall present Microgrid operation in grid-connected and isolated mode.

Key words: *microgrids, modeling, optimization*



Nikola Mitrović¹

¹ Faculty of Electronic Engineering, Niš

¹nikola.mitrovic.nis@gmail.com

COMPARISON OF OUTPUT POWER BETWEEN STATIC AND ROTATING SOLAR PANEL

ABSTRACT

Solar energy is one of the most explored types of renewable energy. This type of energy by itself probably isn't enough to substitute fossil fuels and other conventional resources, but can be used instead of most of modern home applications. How modern trends tend to design circuits and devices that consume smaller amount of energy, solar panels are recognized as possible power sources for some of them. Topics on solar panel are mostly based on how to obtain maximum energy out of limited surface of the panel. On one hand, technology of producing panels need to advance, but on the other hand, improving usage of day length and usage of angle of sunlight is important as well.

This paper offers insight on difference between energy obtained from static solar panel, and solar panel that follows the sun during the day. This difference is shown through different amount of power. For this example, appropriate measuring circuit is also designed. Although the measurement and calculations are given for one solar panel only, with certain approximations, results can be appropriate for solar plants also. In that case, changes in the amount of energy gained can be possible on the side of motors moving the panels.

Key words: *solar energy, solar panel, usage increase.*

1 INTRODUCTION

In recent years, attention towards renewable energy such as wind and solar power has increased dramatically. PV (photovoltaic) sources are used today in many applications such as battery charging, lighting, home power supply, satellite power systems, water pumping, and many more. PV is becoming more famous in the world of power generation because they have the advantages of free pollution, low maintenance, and no noise and wear due to the absence of moving parts

2 WORKING PRINCIPLE

Solar panels are made up of many solar cells. Solar cells are mostly made of silicon, like semiconductors. They are constructed with a positive layer and a negative layer, which together create an electric field, just like in a battery.

2.1 Solar cell technology

The most important components of a PV cell are two layers of semiconductor material commonly composed of silicon crystals [1]. On its own, crystallized silicon is not a very good conductor of electricity, but when impurities are intentionally added, an electric current could be created. The bottom layer of the solar cell is usually doped with boron (B), which bonds with the silicon to facilitate a positive charge, while the top layer is doped with phosphorus (P), which bonds with the silicon to facilitate a negative charge. The surface between the resulting "p-type" and "n-type" semiconductors is called the P-N junction. Electron movement at this surface produces an electric field that allows

electrons to flow only from the p-type layer to the n-type layer. Solar cell's working principle is based on photoelectric effect [2].

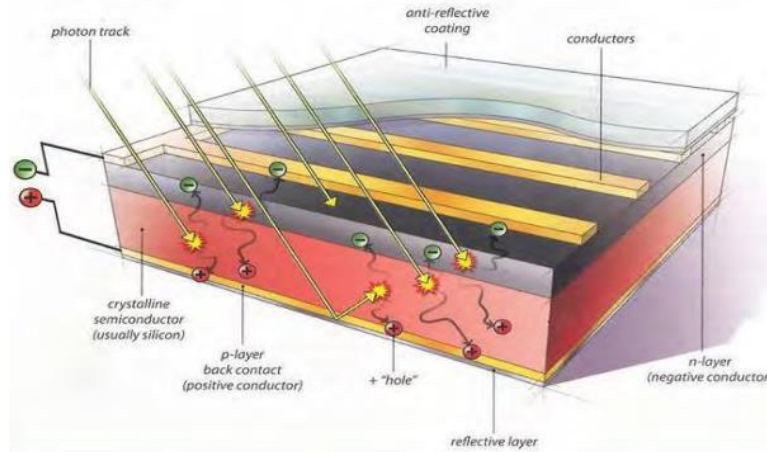


Figure 1. Cross section of solar cell [1]

When photons from sunlight hit the cell, the semiconductor material gets ionized and consequently the atoms of the outermost layers break-free. Owing to the structure of the semiconductor, when the electrons pass the P-N junction situated near the upper surface of the panel, the upper side of the panel facing the sun forms negative voltage and the holes or the positive charges of the P-N junction stick to the rear surface of the panel creating a positive voltage [3]. The rear and upper sides can be connected via a circuit to extract electricity and voltage. A number of solar cells could be electrically connected and mounted on a structure to be called a photovoltaic module.

2.2 Solar cell equivalent circuit

Equivalent circuit of a solar cell consists out of current source, two diodes and serial and parallel resistance [4]. Circuit is constructed using *LTspice* [5] and is given in figure 3.

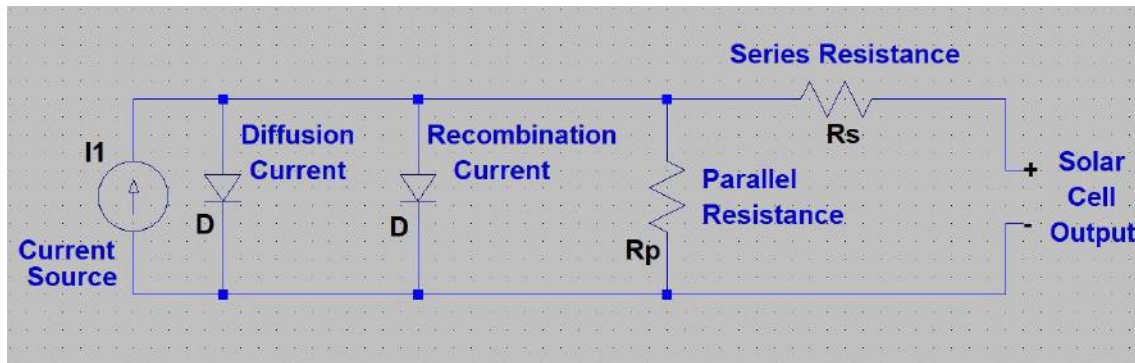


Figure 2. Solar cell equivalent circuit

Current source represents a current generated by photons, that is, photogenerated current. This current is shown as constant source to assumption that solar cell is constantly exposed to sunlight.

Two diodes shown in figure can often be replaced with one diode, depending on whether ideal or real model of solar cell is discussed. One diode always represents a simple p-n junction, and it is consequence of the technology and the working principle of the solar cell. Second diode is consequence of additional recombination of carriers that occurs in the bottom of p-n junction, and it is dependent on parameters of each solar cell for itself. In literature, two diode model is often explained with diffusion current flowing through one diode, and recombination current flowing through another.

Serial resistance represents all resistance that oppose the carriers during current flow. Most important elements of this type of resistance are bulk resistance of the semiconductor, bulk resistance of the electrodes and contact resistance between metal electrodes and semiconductor.

Parallel resistance (also often described as shunt resistance) is resistance that is consequence of solar cell materials. It comprises mostly of defects of crystal structure of semiconductor materials, and of p-n junction edges characteristics.

2.3 Solar cell parameters

The main parameters that are used to characterize the performance of solar cells are the short-circuit current (I_{SC}), the open-circuit voltage (V_{OC}), the fill factor (FF) and the efficiency [6]. These parameters are determined from the IV curve of solar cell, shown in figure 2.

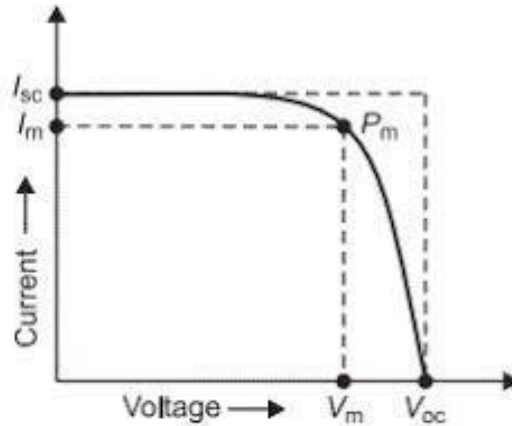


Figure 3. Solar Cell I-V curve [6]

The short-circuit current (I_{SC}) is the current through the solar cell when the voltage across the solar cell is zero. It is the product of the generation and collection of light-generated carriers. For an ideal solar cell at most moderate resistive loss mechanisms, the short-circuit current and the light-generated current are identical.

The open-circuit voltage (V_{OC}) is the maximum voltage available from a solar cell, and this occurs at zero current. The open-circuit voltage corresponds to the amount of forward bias on the solar cell due to the bias of the solar cell junction with the light-generated current.

The short-circuit current and the open-circuit voltage are the maximum current and voltage respectively from a solar cell. However, at both of these operating points, the power from the solar cell is zero. The "fill factor", more commonly known as "FF", is a parameter which, together with V_{oc} and I_{sc} , determines the maximum power from a solar cell. The FF is defined as the ratio of the maximum power from the solar cell to the product of V_{OC} and I_{SC} . Graphically, the FF is a measure of the "squareness" of the solar cell and is also the area of the largest rectangle which will fit in the IV curve, while I_m and V_m respectively are current and voltage for maximum power.

Efficiency is defined as the ratio of energy output from the solar cell to input energy from the sun. In addition to reflecting the performance of the solar cell itself, the efficiency depends on the spectrum and intensity of the incident sunlight and the temperature of the solar cell.

2.4 Impact of angle of light

Sunlight is at its greatest intensity when it is incident directly upon a surface [7]. In these conditions, solar panels generate more power than when the sun is incident at indirect angles. Hence, the ideal angle for a solar panel is perpendicular to incoming sunlight. This angle varies based on the time of day, time of year and location.

As the angle of the sunlight on a solar panel deviates from the perpendicular, the solar-panel power output decreases. This is because the average intensity of the light incident on a flat surface area decreases as the angle decreases from 90 degrees. The sun's maximum elevation in the sky changes depending on latitude. As you get closer to the equator, the sun's maximum angle from the equatorial horizon increases. For example, if you travel south in the Northern Hemisphere, the sun will reach an

increasingly higher maximum point in the sky. Consequently, the optimum angle for a solar panel will vary based on latitude. The sun also changes its path across the sky depending on the season. Its maximum altitude is higher in the summer, lower in the winter. Because of this fluctuation, the optimum tilt angle from the horizontal is equal to the latitude minus 15 degrees during the summer. In the winter, the optimum tilt angle from the horizontal position is equal to the latitude plus 15 degrees.

3 DETERMINATION OF OBTAINED POWER

One of the main characteristic of solar panel is output power. To measure power obtained from the solar panel, appropriate circuit should be designed first. Calculating power will be completed through measuring both voltage and current generated by solar panel. Measuring these values can be done in many ways.

To calculate improvement in power obtaining, two cases are examined. In both cases, power is measured eight times per day using two identical panels. In first, panel is static and it doesn't move during the day. In second, panel is rotated four times during the day according to calculations for sun movement. Calculations are made using *Solar Position Calculator* [8] made by University of Oregon, for exact geographical position for the city of Nis, in Serbia.

Solar panel used in this paper is M60110 [9] shown in figure 3. It's nominal maximum output power is 0.4 W, nominal maximal output voltage is 8 V, and nominal maximum output current 50 mA. It consists out of 10 smaller solar cells, and covers the surface area of 6600 mm² (110 mm x 60 mm).



Figure 4. M60110 solar panel

3.1 Measuring electrical characteristics

Voltage will be measured using microcontroller PIC16F877A [10], and shown using 16x2 LCD display [11]. Selected microcontroller must have pins for analog inputs. In that way, generated analog DC voltage will be converted to the digital signal, and measured. AD Converter of the selected microcontroller has a resolution 10 bits, meaning that voltage range between logic "0" (0 V) and logic "1" (5 V) will be divided in $2^{10} - 1 = 1023$ levels. Each level has a value of $5V/1023 = 4.89$ mV. For example, digital value of 415 respond to analog value of $415 * 4.89$ mV = 2.029 V. With this attribute, PIC16F877A can be used as a voltmeter. Display will be showing both digital and analog value of generated voltage. Circuit for described operation is designed using *Altium Designer 16* [12], and is given in figure 5. Programming of microcontroller was done using *Proton IDE* [13]. On the other hand, current will be measured using multimeter *Pro'sKit MT-1705* [14].

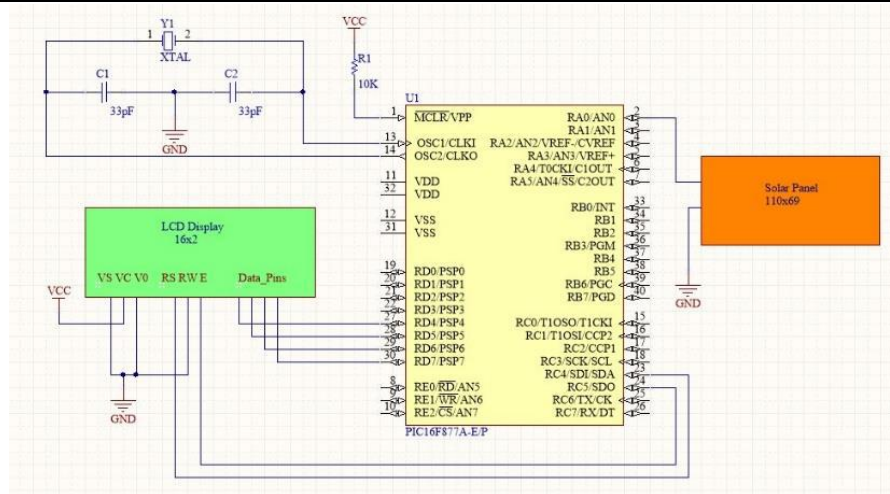


Figure 5. Circuit for measuring voltage

3.2 Measuring characteristics of static and rotated panel

Both voltage and the current for three days for static panel are given in table 1, and for rotated panel in table 2. Difference between output power for all three days is presented in figure 6.

Table 1: Characteristics of static solar panel

	Wednesday, 24.10.2018.		Thursday, 25.10.2018.		Friday, 26.10.2018.	
	V[V]	I [mA]	V [V]	I [mA]	V [V]	I [mA]
11:00	4.70	0.20	5.20	0.3	5.25	0.33
12:00	4.75	0.21	5.25	0.32	5.45	0.38
13:00	4.70	0.21	5.00	0.27	5.10	0.29
14:00	4.00	0.16	4.70	0.21	4.95	0.23
15:00	3.20	0.14	3.95	0.17	4.30	0.19
16:00	2.95	0.11	3.15	0.13	3.80	0.16
17:00	2.15	0.10	2.85	0.10	3.05	0.13
18:00	1.25	0.07	1.40	0.07	1.50	0.08

Table 2: Characteristics of rotated solar panel

	Wednesday, 24.10. 2018.		Thursday, 25.10. 2018.		Friday, 26.10. 2018.	
	V [V]	I [mA]	V [V]	I [mA]	V [V]	I [mA]
11:00	5.95	0.41	6.60	0.48	6.75	0.49
12:00	6.15	0.45	6.75	0.49	6.85	0.51
13:00	5.95	0.42	6.55	0.48	6.70	0.49
14:00	5.45	0.35	6.20	0.44	6.45	0.46
15:00	5.00	0.31	5.95	0.39	6.15	0.45
16:00	4.20	0.22	4.80	0.26	4.95	0.27
17:00	3.35	0.16	3.65	0.17	3.8	0.2
18:00	1.55	0.10	1.70	0.12	1.95	0.15

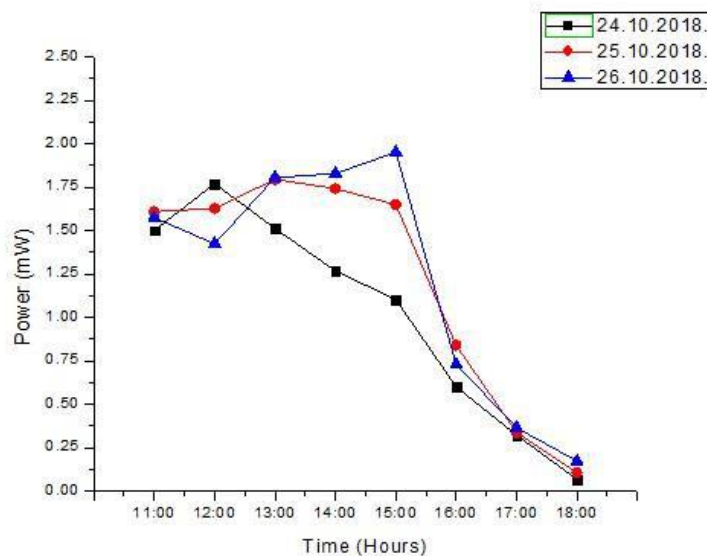


Figure 6. Difference between obtained power

Very important aspect of rotating solar panels is how the rotation should be done. As mentioned before, most efficient position of panels to the sunlight can be calculated. Therefore, system can be designed so that motors work only couple of times per day. This is very important because motors are also using energy to rotate. Energy used in rotation must be also taken in calculations for obtained energy.

One of common designs with rotating solar panel include photoresistors. Voltage of photoresistors is being compared using *Arduino* or some microcontroller, and depending on comparison, servos rotate structure with panel in specific angle for specific amount. Since photoresistors are analog circuits, and also they can be pretty easy deceived by clouds or shadows, redundant rotations of motors can happen. This can lead to power loss, and in some critical cases to situations where more energy is spent on motors than gained by rotating. Therefore, accurate calculations and careful and limited usage of motor can, in majority of cases, obtain more energy.

4 CONCLUSION

Figure 6 leads to conclusion that output power gained from identical solar panel that was rotated is greater than power from the static one. Considering that measuring was performed in late October, difference in summer months will probably be greater. Since the covered surface is only 0.0066 m^2 , connecting more panels in series can deliver a lot more energy. Important aspect is also power usage of motor rotating the panel.

5 ACKNOWLEDGEMENT

Author would like to express gratitude to prof. dr Dragan Pantić for providing basic knowledge about solar circuits. Also, author is grateful to Miloš Marjanović for support in writing this paper.

6 REFERENCES

- [1] Kamrul Islam Chowdhury, Md.Iftekhur-ul-Alam, "Performance Comparison Solar Panel System" http://dspace.bracu.ac.bd/xmlui/bitstream/handle/10361/9118/12221046%2C%2012221071%2C%2012121101_EEE.pdf?sequence=1&isAllowed=y, 31.10.2018.
- [2] Momčilo M. Pejović, "Osnovi fizike", Faculty of Electronic Engineering, University of Niš, 1996.
- [3] Kiran Ranabhat, Leev Patrikeev, Aleksandra Antal'evna Revina, Kirill Andrianov, Valerii Lapshinsky, Elena Sofronova, "An introduction to solar cell technology" 2016, <https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/1451-4117/2016/1451-41171604481R.pdf>, 31.10.2018.

- [4] Arno Smets, “Solar Cell Parameters and Equivalent Circuit”, TU Delft. https://ocw.tudelft.nl/wp-content/uploads/solar_energy_section_9_1_9_3.pdf , 31.10.2018.
- [5] LTspice, <https://www.analog.com/en/design-center/design-tools-and-calculators/ltspice-simulator.html> , 31.10.2018.
- [6] Christiana Honsberg and Stuart Bowden “PVEducation”. <https://www.pveducation.org/> , 31.10.2018.
- [7] Liping Guo, Paul Curtis, Andrew Barendregt, Anthony Surillo, “Sun tracking solar-power system” <https://peer.asee.org/a-sun-tracking-solar-power-system.pdf> , 31.10.2018.
- [8] “Solar Position Calculator” University Oregon <http://solar.dat.uoregon.edu/SolarPositionCalculator.html> , 31.10.2018.
- [9] M60110 datasheet, <http://minisolarworld.com/products/products/6v-minisolar-panels/> , 31.10.2018.
- [10] PIC16F877A datasheet, <https://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC16F877A> , 31.10.2018.
- [11] LCD1602 datasheet, <https://www.sparkfun.com/datasheets/LCD/ADM1602K-NSW-FBS-3.3v.pdf> , 31.10.2018.
- [12] Altium designer 16, <https://www.altium.com/> , 31.10.2018.
- [13] Proton IDE, <http://www.protonbasic.co.uk/> , 31.10.2018.
- [14] Pro'sKit MT-1705, http://sensorfor.com/www/manual/Proskit/MT_1705.pdf , 31.10.2018.



Petar Vidoevski, David Gjorgjevski

Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies, Skopje

vidoevski.petar@gmail.com, david.gjorgjevski@yahoo.com

BATTERY OPTION ANALYSIS FOR SOLAR ENERGY STORAGE

ABSTRACT

The aim of this research is to enumerate the important parameters when choosing batteries for solar energy storage. There are certain specifications that should be considered when evaluating solar battery options, such as how long the solar battery will last or how much power it can provide. The first part of the paper shows the most important parameters when choosing a battery, and the second part involves comparison between lead-acid, li-ion, and saltwater batteries. The compared parameters are voltage, current, cell temperature, maximum capacity, SOC, age, energy density, energy efficiency and cost. In the analysis of the battery model this paper includes Simulink simulation to show how this parameters change in a 1000h time period with various values of depth of discharge, discharge and charge current. We hope that this paper's results can be useful for both students and engineers.

1 INTRODUCTION

Solar power batteries refer to the batteries used in the battery bank of a solar power system. Basically, this is your storage reservoir for any energy you create, but don't use. In other words, batteries collect DC energy from your solar panels and store it for later use. By using a battery storage bank in your solar system not only do you provide a constant level of power to your electrical loads, you can also use your PV batteries to store energy in the day and use it at night or in times of rain or cloudy weather. Batteries make your solar power use much more practical and convenient. With the cost of solar panels dropping dramatically in the last few years, batteries have become the major cost of a solar electrical system. Solar panels, and charge controllers have life expectancies of 25 years plus, your batteries could last for only months if not treated correctly. Knowing how to care for your batteries can mean the difference between your batteries lasting many years or just a few months, and to get optimal performance from your system and maximum life out of your batteries, you must choose the size, type and number of batteries you use carefully.

2 PARAMETERS

While choosing battery for solar storage you will come across some complicated specifications. The most important ones to use during your evaluation are the battery's capacity and power ratings, depth of discharge (DoD), round-trip efficiency and solar battery life.

1. **Capacity and power:** Capacity is the total amount of electricity that a solar battery can store, measured in kilowatt-hours (kWh). While capacity tells you how big your battery is, it doesn't tell you how much electricity a battery can provide at a given moment. To get the full picture, you also need to consider the battery's power rating. Power rating is the amount of electricity that a battery can deliver at one time, measured in kilowatts (kW). A battery with a high capacity and a low power rating would deliver a low amount of electricity (enough to run a few crucial appliances) for a long time. A battery with low capacity and a high power rating could run your entire home, but only for a few hours.

2. **Depth of discharge (DoD):** Most solar batteries need to retain some charge at all times due to their chemical composition. If you use 100 percent of a battery's charge, its useful life will be significantly shortened. The depth of discharge (DoD) of a battery refers to the amount of a battery's capacity that has been used. Most manufacturers will specify a maximum DoD for optimal performance. For example, if a 10 kWh battery has a DoD of 90 percent, you shouldn't use more than 9 kWh of the battery before recharging it. Generally speaking, a higher DoD means you will be able to utilize more of your battery's capacity.
3. **Round-trip efficiency:** A battery's round-trip efficiency represents the amount of energy that can be used as a percentage of the amount of energy that it took to store it. For example, if you feed five kWh of electricity into your battery and can only get four kWh of useful electricity back, the battery has 80 percent round-trip efficiency ($4 \text{ kWh} / 5 \text{ kWh} = 80\%$). Generally speaking, a higher round-trip efficiency means you will get more economic value out of your battery.
4. **Solar battery lifespan:** The life span of solar battery is from 5 and 15 years, so it means you will need to change it at least once to match the 25 to 30 years lifespan of the PV system. Proper maintenance can increase lifespan. Solar batteries are impacted by temperature, so protecting your battery from freezing or sweltering temperatures can increase its useful life. If the temperature of the PV battery drops below -1°C it will require more voltage to reach maximum charge, but when the temperature passes 32°C the battery will get overheated and will require a reduction in charge. To solve this problem, many leading battery manufacturers, like Tesla, provide temperature moderation as a feature. However, if the battery that you buy does not, you will need to consider other solutions like earth-sheltered enclosures. Quality maintenance efforts can definitely impact how long your solar battery will last.

3 LEAD-ACID BATTERIES

There are many types of lead acid batteries, but few a suitable for solar energy storage. Deep cycle lead acid batteries are what is needed for solar storage. A deep cycle battery has been designed for deep discharge and charge cycling. The lead plates in a deep cycle battery are thicker plates that have been designed for many charge and discharge cycles. The most common types of Lead-Acid batteries are:

- **Flooded Lead Acid Batteries:** The conventional type of lead acid battery, flooded cells use a liquid sulfuric acid electrolyte. They provide the lowest cost per amp hour of any lead-acid battery type. These cells are also with the highest maintenance, requiring watering, charge equalizing, and terminal cleaning. Sealed lead acid batteries are similar to flooded lead acid but are just about maintenance free.
- **Deep Cycle Lead Acid Batteries:** Designed for deep cycling applications, these cells are designed to be discharged to 50% of their capacity or more before recharging. This is in stark contrast to the starter battery in your car which is designed to deliver a short, high current burst. The plates are thicker allowing the batteries to deliver a steady current over a long period of time. Lead antimony batteries are a type of deep cycle lead acid battery. Common applications include electric golf carts, floor scrubbers, fork lifts, and older electric vehicles.

The nominal cell voltage is relatively high at 2.05 V. The positive active material is highly porous lead dioxide and the negative active material is finely divided lead. The electrolyte is dilute aqueous sulphuric acid which takes part in the discharge process. On discharge HSO_4 ions migrate to the negative electrode and produce H^+ ions and lead sulfate. At the positive electrode lead dioxide reacts with the electrolyte to form lead sulfate crystals and water. Both electrodes are discharged to lead sulfate which is a poor conductor and the electrolyte is progressively diluted as the discharge proceeds (Fig. 1). On charge the reverse reactions take place. As cells approach top-of-charge and the electrodes have been progressively converted back

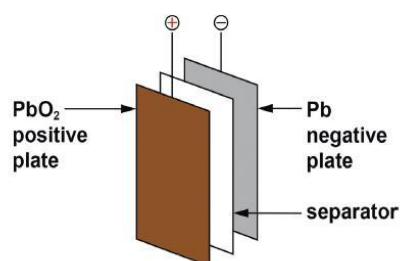


Figure 1 – Chemistry and principal components of a lead-acid battery

to lead dioxide and lead, the specific gravity of the electrolyte rises as the sulfate concentration is increased. Further charging will result in water loss as it is electrolyzed to hydrogen and oxygen but the over-potential at which this occurs is sufficiently high for water loss to be manageable by controlling the charging voltage. Lead acid batteries are very slow to charge so charge controllers employ charging algorithms that help charge the batteries faster by employing higher voltages and currents. These higher voltages and currents also help keep each cell on the battery equally charged which adds to the life of the battery. But these higher voltages and currents must be kept to a minimum on a sealed battery because above a certain voltage the electrolyte in the battery will begin to gasify. This limits the controller's ability to enhance the charging of the battery.

Lead acid batteries are still used because of the low cost and their reliability. They are tolerant of overcharging and have low internal impedance, also they can deliver very high currents. They are available in wide range of sizes and capacities. On the other side they have some big disadvantages: they are very heavy and bulky, they have typical Coulombic charge efficiency only 70% but can be as high as 85% to 90% for special designs, possible danger of overheating during charging, they are not suitable for fast charging, their typical cycle life is 300 to 500 cycles, and they must be stored in a charged state once the electrolyte has been introduced to avoid deterioration of the active chemicals.

4 LITHIUM-ION BATTERIES

Li-ion batteries are one of the most popular batteries and are used in various applications from electronics to energy storage. This battery model utilizes insertion reactions for both positive and negative electrodes with Li ions as charge carriers.

Figure 2 shows the work principle of Li-Ion batteries. During the charge process the cathode releases Li ions to the anode and in the discharge process the anode supplies the cathode. Most Li-ions batteries use carbon materials such as graphite and hard carbon as the anode active materials, also some metal oxides such as lithium titanate ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$) and niobium pentoxide (Nb_2O_5) can be used as active materials.

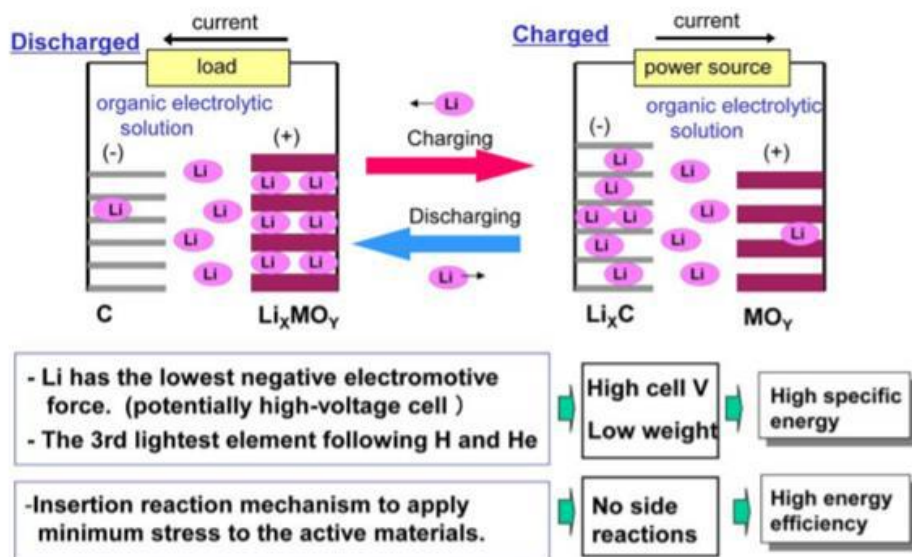


Figure 2 Li ion working principle

The features of Li-ion batteries are as follows: high single-cell voltage, high specific energy, high energy efficiency and long life. Li-ion batteries have high single-cell voltages around 3–4 V, which is due to the lower potentials of the anode active materials. The high specific energies are dependent on the higher cell voltages, because a specific energy is the product of the cell voltage and the specific capacity, where 3–4 V is an extraordinarily high cell voltage for secondary batteries. The specific energies for Li-ion batteries are 1.5 times as large as that for nickel–metal hydride batteries, of which the single-cell voltage is only 1.2 V, despite having specific capacities greater than those of Li-ion

batteries. The high charge–discharge efficiencies, which are the product of the Coulombic (electric current) and voltage efficiencies, are due to the simple cell reactions without any side reactions, and high voltage efficiency, which is also attributed to the high single-cell voltage.

The long life character is attributed due to the simple cell reactions without side reactions and due to insertion reactions without any significant morphological changes in the active materials during normal charge–discharge cycles. This situation is quite different from that of conventional secondary batteries such as the lead–acid battery, where the cell reaction involves dissolution–deposition and represents complete morphological changes during charge–discharge cycles. Another significant feature of Li-ion batteries is the use of an organic electrolyte, which consists of aprotic polar organic solvents and a lithium salt. The electrolyte enables the high voltages involved with Li-ion batteries. However, electrolyte combustibility causes safety issues. Therefore, it is a key technology for Li-ion batteries to minimize the cause and effect of electrolyte combustibility without sacrificing performance. Another great characteristic of the Li-Ion batteries that they are small in size and are not heavy, but they are more expensive than any other model of battery.

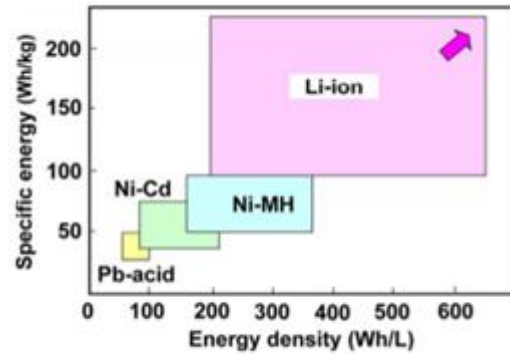


Figure 3 – High specific energy of the Li-ion batteries

To have a better view of the characteristics of Li-Ion batteries in the next figure is shown 3.6v 47Ah LiNiO₂ battery. The results and the model are shown in figure 4 and 5. This simulation represents 100h simulation. At some part of the 100h period DOD (at the 20th hour jumps to 80% and returns to normal (20%) at the 80th hour) and the discharge current (at 60th hour jumps to 4A and at the 80th h comes back to 1A) values change.

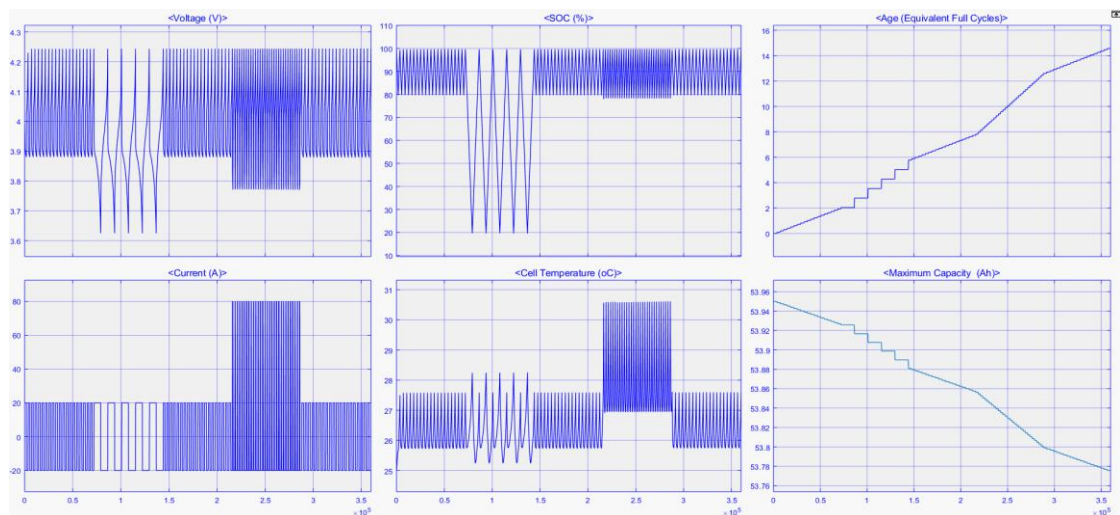


Figure 4 – Results of the Simulink simulation

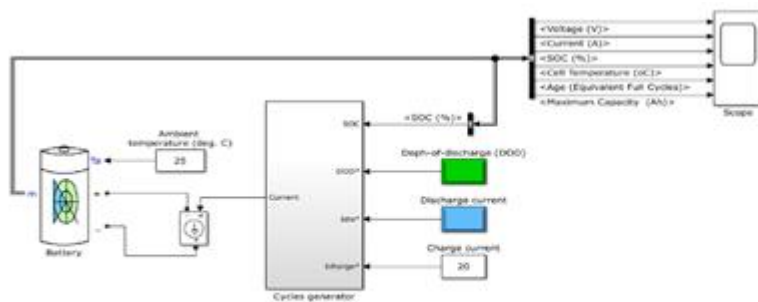


Figure 5 – The Simulink model used in the simulation

The following table shows the difference between li-ion and lead acid batteries.

Parameter	Li-ion	Lead-Acid
Energy Density (Wh/L)	250	80
Specific Energy (Wh/Kg)	150	30
Regular maintenance	No	Yes
Cycle life	1900 at 80 % DoD	1200 at 50 %
Typical state of charge	80%	50%
Temperature sensitivity	Degrades significantly after 45°C	Degrades significantly after 25°C
Efficiency	100% at 20 h rate 99% at 4 h rate 92% at 1 h rate	100% at 20 h rate 80% at 4 h rate 60% at 1 h rate
Voltage increments	3.7V	2V
Fast charging time	8-16h	2-4h
Size	Small	Big
Overheating	No	A big possibility
Initial cost	600 \$/kWh	65 \$/kWh
Recycling rates	Low	High

5 SALTWATER BATTERIES

Scientists at stanford university developed a manganese-hydrogen storage technique to accommodate solar and wind-generated power. The new saltwater batteries are easy to produce as they only require manganese sulfate (a type of salt), water, and simple electrodes for the necessary catalytic reactions to take place. A renewable grid needs backup batteries that store excess power and redistribute it when solar panels and wind turbines aren't running. However, current battery solutions, lithium-ion batteries included, are hard to build on a scale that fits the grid needs. The reasons for this range from their short lifespan to safety concerns to financial constraints. Stanford university's new saltwater batteries solve all these issues. It's low cost and safe because it runs on water and common salt. On top of that, it has a long life cycle as it can charge and recharge for 10,000 cycles (over a decade of use)

before it shows signs of decay. Although the prototype battery researchers tested generates only a small amount of power (20 milliwatt hours), researchers think they can scale their system up to fit grid-scale storage.



Figure 6 – Exploded view of a saltwater battery

6 CONCLUSION

The benefits of a home battery can be considerable, especially if you have solar charger: you can use more solar energy onsite, or save it to use as backup power in the event that the grid goes down. If you have time-of-use (TOU) rates (you pay more per kWh for the electricity that you use during hours of peak electricity demand) for your electricity or pay monthly demand charges, you can even save money by using power from your battery when rates are high.

Home solar batteries are a new technology and their price is largely dependent on the materials that they are made of and how much power they can give you. Installing a battery that can operate off-grid typically also costs more than installing a battery designed to operate while connected to the grid. Solar batteries range from \$5,000 to \$7,000+ and from \$400 dollars per kilowatt hour (kWh) to \$750/kWh, these prices are only for the battery itself, not for the cost of installation or additional necessary equipment. Batteries used in home energy storage typically are made with one of three chemical compositions: lead acid, lithium ion, and saltwater. In most cases, lithium ion batteries are the best option for a solar panel system, though other battery types can be more affordable. Lead acid batteries are a tested technology that has been used in off-grid energy systems for decades. While they have a relatively short life and lower DoD than other battery types, they are also one of the least expensive options currently on the market in the home energy storage sector. For homeowners who want to go off the grid and need to install lots of energy storage, lead acid can be a good option. Lithium ion batteries are lighter and more compact than lead acid batteries. They also have a higher DoD and longer lifespan when compared to lead acid batteries. However, lithium ion batteries are more expensive than their lead acid counterparts. A newcomer in the home energy storage industry is the saltwater battery. Unlike other home energy storage options, saltwater batteries don't contain heavy metals, relying instead on saltwater electrolytes. While batteries that use heavy metals, including lead acid and lithium ion batteries, need to be disposed of with special processes, a saltwater battery can be easily recycled. However, as a new technology, saltwater batteries are relatively untested.

Energy storage technology has been researched for decades, but solar batteries used in home solar-plus-storage systems are relatively new to the market. While solar batteries can offer a significant economic benefit for homeowners in certain situations, their price tag means they don't make financial sense for everybody. On the other hand, solar batteries can be useful in distributed production or microgrids and may improve the lifestyles of a great amount of people in the developing countries.

7 ACKNOWLEDGEMENTS

We would like to thank our mentor prof. dr. Vlatko Stoilkov for his contribution in this paper and for sharing his constructive criticism and professional knowlegde.

8 REFERENCES

- [1] <https://www.energysage.com/solar/solar-energy-storage/what-are-the-best-batteries-for-solar-panels/>;
- [2] <https://www.mpoweruk.com/lithiumP.htm>;
- [3] <https://www.mpoweruk.com/leadacid.htm>;
- [4] http://www.altenergy.org/renewables/lead-acid_batteries.html;
- [5] https://www.energystoragenetworks.com/7-differences-lead-acid-lithium-ion-batteries/?fbclid=IwAR1IY2bjDJ-Ua14drwHA8UEIWxdtjoJSMoAdeDYUQI7eocr1R_MWdabxkDU
- [6] Geoffrey J. Maya, Alistair Davidson , Boris Monahov , “Lead batteries for utility energy storage: A review “, Journal of Energy Storage, 2017 ;
- [7] Horiba, T. (2014). Lithium-Ion Battery Systems. Proceedings of the IEEE ;
- [8] <http://aquionenergy.com/technology/deep-cycle-battery/>;
- [9] <https://news.stanford.edu/2018/04/30/new-water-based-battery-offers-large-scale-energy-storage>;
- [10] <http://www.altenergy.org/renewables/battery-storage.html>;
- [11] <https://www.solar-facts.com/batteries/battery-choice.php>;



Илија Стојковски, Ѓорѓи Сиракоски

¹ Факултет за електротехника и информатички технологии, Скопје

¹ilijastojkovski96@gmail.com ²goko.sirakoski@gmail.com

ВЛИЈАНИЕ НА АГОЛОТ НА НАКЛОН И ОРИЕНТАЦИЈАТА НА ФОТОВОЛТАИЧНИТЕ ПАНЕЛИ ВРЗ ПРОИЗВЕДЕНАТА ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГИЈА ОД ФОТОВОЛТАИЧНИТЕ СИСТЕМИ

АПСТРАКТ

Со брзиот економски раст и подобрувањето на животните стандарди, има значително зголемување на употребата на електрична енергија во многу развиени земји и земји во развој. Постојат многу непосредни негативни ефекти врз животната средина, како што се големи количини на стакленички гасови и емисии на загадувачки материи од согорување на фосилни горива. Енергијата од обновливи извори може да игра суштинска улога во исполнувањето на крајната цел за замена на тие негативни фактори. Инсталациите на фотоволтаични системи заземаат значајно место како технологија за добивање на енергија од обновливи извори бидејќи системите не испуштаат загадувачи и не бараат гориво.

Во руралните и оддалечените области каде што нормалното снабдување со електрична енергија може да не е лесно достапно се користат самостојни фотоволтаични системи. Во модерните урбани градови со многу компактно изградени високи згради, се користи интегриран фотоволтаик како соодветна алтернативна форма за добивање на електрична енергија.

Целта на овој труд е да се определат ориентација како и аголот на наклон на соларните панели гледано од технички аспект. Перформансите на фотоволтаичните системи зависат од нивната ориентација и аголот на наклон. Овие два параметри влијаат на количината на сончевата енергија што се апсорбира од површината на фотоволтаичните панели. Во овој труд фотоволтаичните панели се позиционирани во предефинирани агли. Во овие позиции се мерат вредностите на струјата, напонот, моќноста и интензитетот на сончевото зрачење, а како резултат на тие мерења се одредува поставеност на соларните панели.[1][2]

Клучни зборови: соларни модули, агол на наклон, ориентација, перформанси на фотоволтаичните системи.

1 ВОВЕД

Во научната јавност, медиумите, невладините организации и сл. сè повеќе и сè почесто се зборува за енергијата, за енергетската ефикасност и за чистата еколошка средина. Тоа е така затоа што енергијата како сила која го движи нашиот живот и го диктира нашиот развој е клучен ресурс чие обезбедување не е воопшто лесно, а чие трошење секојдневно се зголемува.

Во овој труд ќе ги разгледаме фотоволтаичните системи кои ја користат сончевата енергија односно сонцето како обновлив извор за производство на електрична енергија.

Историските податоци говорат дека терминот фотоволтаик е изведен од грчкиот збор фотос што значи светлина и единицата за електромоторна сила волт, што предизвикува движење на електрони односно протекување на струја. Единицата, пак, волт, е именувана во

чест на италијанскиот физичар, гроф Алесандро Волта, изумителот на батеријата. Со други зборови, тоа се уреди кои генерираат електрична енергија од светлина како резултат на фотоволтаичниот ефект. Максимумот од својот развој го достигнуваат во педесеттите години од минатиот век како последица на откривањето на полупроводничките елементи, пред се германиум силициум и транзисторот. Во последните неколку децении вниманието е свртено врз зголемување на ефикасноста на фотоволтаиците со збогатување на силиконските материјали, зголемување на коефициентот на искористување но и воедно намалување на нивната производна цена, при што е постигнат значителен развој.[1][3]

2 ФОТОВОЛТАИЧНИ СИСТЕМИ

Главен дел на фотоволтаичниот систем е ФВ модул. ФВ модул е изработен од полупроводнички (соларни) ќелии кои генерираат напон во зависност од нивото на сончево зрачење односно се врши конверзија на сончевата енергија во електрична. Фотоволтаичните ќелии во основа се состојат од спој помеѓу два тенки слоја од различни полупроводнички материјали од тип „р“ (позитивен) и тип „п“ (негативен), при што полупроводниците најчесто се изработени од силициум. При паралелна/сериска врска на повеќе модули се добива ФВ низа. На излез од ФВ низа се генерира еднонасочна енергија, која преку инвертор се трансформира во наизменична. Така добиената електрична енергија се користи за напојување на соодветните потрошувачи. Разликуваме повеќе видови фотоволтаични системи и тоа зависи од поврзувањето на објектот со мрежата, како и од опремата која е вклучена во целокупниот производ. Така имаме ФВ системи поврзани кон електроенергетска мрежа како и фотоволтаични системи за изолирани потрошувачи.

Кај ФВ системи врзани за мрежа, електроенергетската мрежа има двојна улога: таа практично претставува „џиновска“ батерија преку која се дистрибуира вишокот произведена електрична енергија, а служи и како енергетска поддршка за корисникот во услови кога е недоволна или целосно отсуствува сончевата радијација. Кај овие системи се користат мрежни инвертори кои го претвораат еднонасочниот напон од ФВ модули во наизменичен напон на потребната вредност и фреквенција дефинирани со мрежата. Исто така, овие системи треба да имаат двонасочни електрични броила кои го мерат количеството потрошена и предадена електрична енергија од страна на корисникот. Се потенцира дека во опремата на предвидените мрежни системи не се вклучени батерии.

Автономните фотоволтаични системи работат независно од други извори на енергија и се системи што не се поврзани со електродистрибутивната мрежа, а се составени од: ФВ модули, автономен инвертор и батерии. Се монтираат најчесто онаму каде што нема приклучок за електрична енергија или поврзувањето со електро дистрибутивната мрежа е премногу скапо како на пример во некои рурални средини.

Без разлика за каков тип на фотоволтаичен систем станува збор тој треба да биде испроектиран на таков начин што ќе ги задоволува техничките аспекти.[4]

3 ОПРЕДЕЛУВАЊЕ НА АГОЛОТ НА НАКЛОН И ОРИЕНТАЦИЈАТА НА ФВ-СИСТЕМ

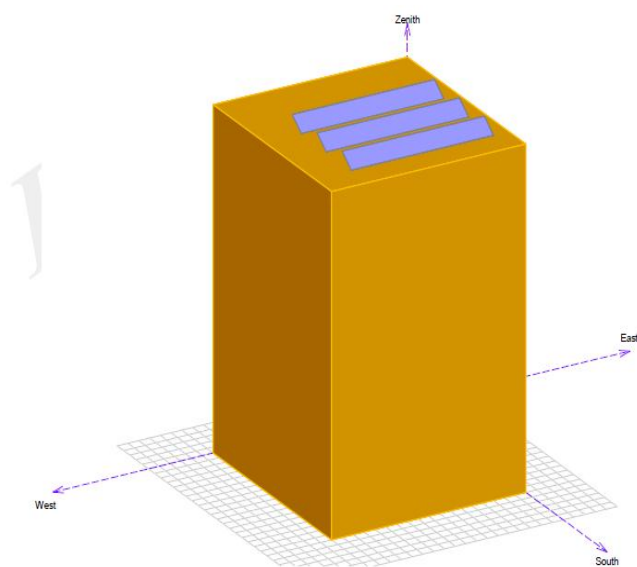
За определување на аголот на наклон и ориентацијата на соларните модули ќе се користи софтверскиот пакет PVsyst.

3.1 Опис на проблемот

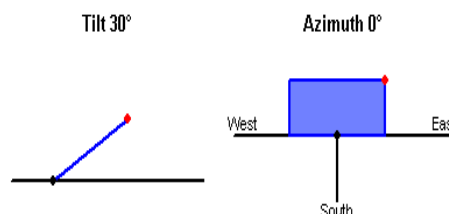
За задоволување на дел од електричните потреби на една зграда која што се наоѓа во источниот дел на градот Скопје потребно е да се постави фотоволтаичен систем со номинална моќност од 10 kWp поврзан на мрежа. Тоа е врвната моќност што системот ја произведува при најдобри услови, на пример во попладневните часови во некој сончев ден. Зградата е ориентирана кон Југ, и нема високи објекти што ќе ја засенуваат. Податоците за метеото, сончевото зрачење, температурата, облачноста и сл. за разгледуваната локација програмот ги

генерира автоматски врз основа на долгогодишни мерења кои ги превзема од базата за податоци. При тоа како фактор се зема и снежната покривка во зимскиот период која што го зголемува одбивањето на сончевите зраци што резултира со поголемо производство на електрична енергија.

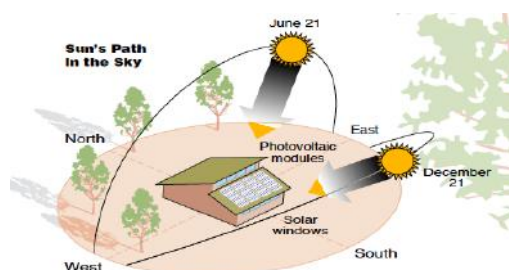
Разгледуваниот систем се состои од 3 низи на соларни модули, а секоја низа содржи 13 модули во серија. Модулите се поврзани на еден 10 kW инвертор. Системот е прикажан на сл.2



Сл. 1 Фотоволтаичен систем



Сл. 3 Агол на наклон и азимут



Сл. 2 Пат на сонцето

Пред да започнеме со симулацјата мало објаснување за термините што ќе се користат. Азимут е ориентацијата на ФВ-систем. Бидејќи ФВ-систем се наоѓа во северниот дел на земјината полутопка за да гледаме кон сонцето ние треба да гледаме кон Југ сл.3, па како резултат на тоа како референтен азимут 0° се зема ориентација према Југ сл1. Азимут од -90° , е ориентација на ФВ-систем према Исток додека 90° е ориентација према Запад.[5]

3.2 Симулација

Со цел да се определи најповолната ориентација и агол на наклон, користејќи го горенаведениот софтверски пакет ќе се извршат низа од симулации при што азимутот на фотоволтаичниот систем ќе се менува од -90° до $+90^\circ$ со чекор 15° и притоа за секоја ориентација ќе го менуваме аголот на наклон на модулите од 0° до 90° исто така со чекор 15° . При тоа конфигурацијата на системот останува непроменета.. Како резултат од секоја симулација добиваме две вредности првата е годишното произведено количество на електрична енергија изразена во kWh/годишно а втората вредност е специфичното годишно произведено количество на електрична енергија изразено во kWh/kWp/годишно кое што ни кажува колку kWh ни дава 1 kWp инсталирана моќност годишно. При тоа овој фактор зависи од сончевото зрачење што паѓа на модулите, техничките карактеристики на модулите вклучувајќи ги осетливоста на високи температури и ниска сончева осветленост како и од системските загуби. Резултатите од симулациите се прикажани во табела 1 на наредната страна. Како што може да се види од добиените резултати најповолната ориентација на фотоволтаичниот систем е кон Југ (азимут 0°) со агол на наклон од 30° при што годишно произведено количество на електрична енергија е 15 587 kWh/годишно, додека специфичното годишно произведено количество електрична енергија е 1508 kWh/kWp/годишно. Од технички гледан аспект за овие простори специфично производство од 1508 kWh/kWp/годишно е

прилично добро, што значи 1 kWp инсталирана моќност ни дава 1508 kWh/годишно. Најнеповолна ориентација е кон Исотк (азимут -90°) со агол на наклон од 90° така што годишно произведено количество на електрична енергија е 6 588 kWh/годишно, додека специфичното годишно произведено количество електрична енергија е 637 kWh/kWp/годишно. Добиеното количество на електрична енергија при ваква поставеност е значително помало во однос на претходниот случај.[5]

	Агол на наклон	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
Азимут								
-90°		13366/ 1293	13111/ 1269	12167/ 1177	10857/ 1051	9407/ 910	7924/ 767	6588/ 637
-75°		13366/ 1293	13592/ 1315	12937/ 1252	11842/ 1146	10462/ 1012	8940/ 865	7273/ 704
-60°		13366/ 1293	14042/ 1359	13769/ 1332	12766/ 1235	11408/ 1104	9784/ 947	7997/ 774
-45°		13366/ 1293	14430/ 1396	14469/ 1400	13643/ 1320	12375/ 1197	10694/ 1035	8690/ 841
-30°		13366/ 1293	14738/ 1426	15064/ 1458	14440/ 1397	13155/ 1273	11422/ 1105	9256/ 896
-15°		13366/ 1293	14942/ 1446	15478/ 1498	14966/ 1448	13668/ 1323	11854/ 1147	9577/ 927
0°		13366/ 1293	15015/ 1453	15587/ 1508	15086/ 1460	13754/ 1331	11907/ 1152	9605/ 929
15°		13366/ 1293	14934/ 1445	15444/ 1494	14897/ 1441	13621/ 1318	11803/ 1142	9515/ 921
30°		13366/ 1293	14740/ 1426	15030/ 1454	14379/ 1391	13083/ 1266	11341/ 1097	9195/ 890
45°		13366/ 1293	14443/ 1397	14458/ 1399	13615/ 1317	12309/ 1191	10657/ 1031	8677/ 840
60°		13366/ 1293	14061/ 1361	13740/ 1329	12725/ 1231	11345/ 1098	9730/ 941	7984/ 772
75°		13366/ 1293	13606/ 1316	12971/ 1255	11777/ 1140	10406/ 1007	8883/ 860	7220/ 699
90°		13366/ 1293	13123/ 1270	12142/ 1175	10826/ 1047	9400/ 910	7940/ 768	8315/ 805

Табела 1 Годишно производство и специфично годишно производство на електрична енергија (kWh/годишно, kWh/kWp/годишно)

Тоа е така бидејќи колку повеќе го ротираме ФВ-систем во правец различен од Југ количината на сончева светлина што паѓа на активната површина на модулите е помала па така при азимут -90° таа е најмала што резултира со помало производство на електрична енергија. Од друга страна битен фактор е и меѓусебното засенување на низити, односно загубите на енергија што настануваат при засенување па така при големи агли на наклон засенувањето е најголемо. Во нашиов случај при агол на наклон 90° имаме најголемо засенување. На загубите од засенување покрај аголот на наклон влијае и растојанието помеѓу почетокот на едната низа и почетокот на другата низа (pitch) кое што во нашиот случај е 4м . Колку е тоа помало засенувањето е поголемо. Графичката зависност на специфичното годишно произведено количество на електрична енергија во зависност од азимутот и аголот на наклон е дадена на следниот график.

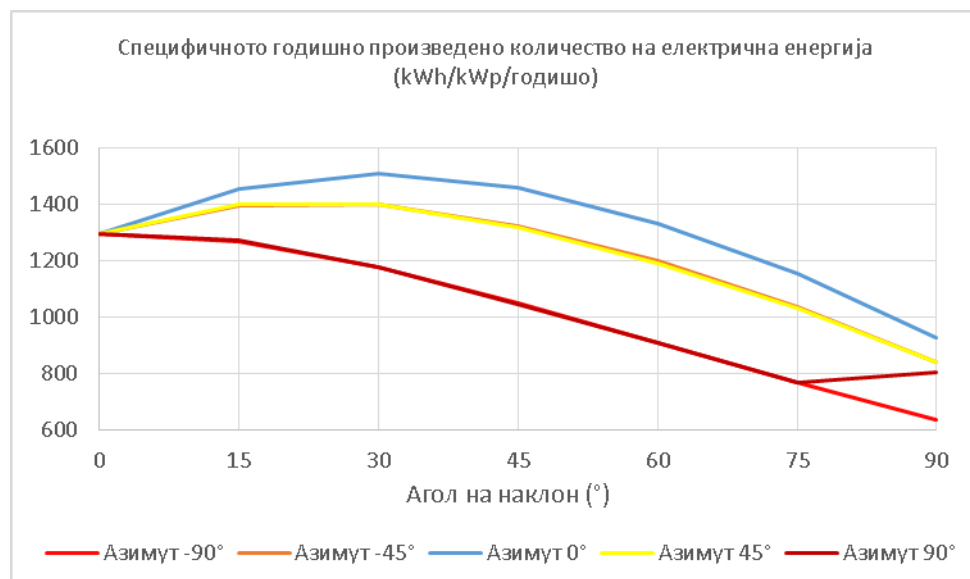


График 1 Графичка зависност на специфичното годишно произведено количество на електрична енергија во зависност од азимутот и аголот на наклон

3.3 Конечно решение

Како што може да се види од горедобиените резултати најповолната поставеност на фотоволтаичниот систем е при азимут од 0° и агол на наклон 30°. При ваквата поставеност месечното произведено количество на електрична енергија е дадено во табела 2, додека дневното специфично произведено количество на електрична енергија како и загубите се прикажани на график 2.

	Произведена електрична енергија (kWh)
Јануари	958
Февруари	1037
Март	1402
Април	1329
Мај	1553
Јуни	1660
Јули	1755
Август	1671
Септември	1415
Октомври	1211

Ноември	867
Декември	728
Годишно	15587

Табела 2 Месечно произведено количество на електрична енергија

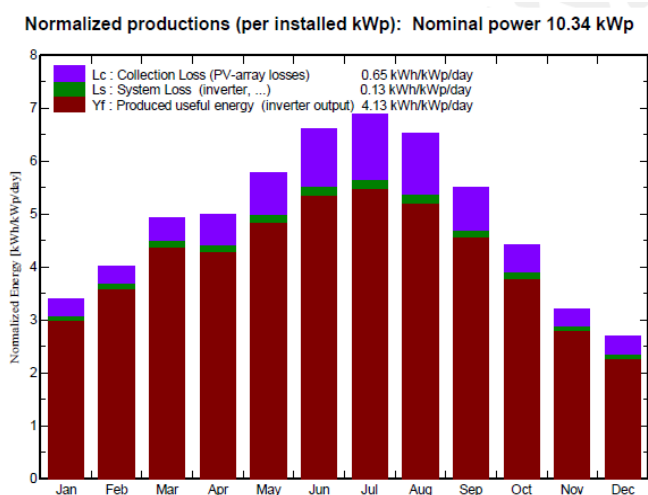


График 2 Дневно специфично произведено количество на електрична енергија и загуби

Може да се забележи дека најголемо производство на електрична енергија имаме во летните месеци кога денот е најголемо поточно во месец јули, додека најмало производство во зимните месеци односно во декември. Во јануари и февруари имаме зголемено производство на електрична енергија поради влијанието на снежната прекривка што го зголемува одбивањето на сончевото зрачење. За најлош ден се смета 22 декември, кога сонцето поминува најмала патека додека најповолен ден е 22 јуни каде сонцето поминува најголема патека. Тоа може да се воочи и од следниот дијаграм на засенување кој што ни ги кажува загубите поради засенување на модулите.

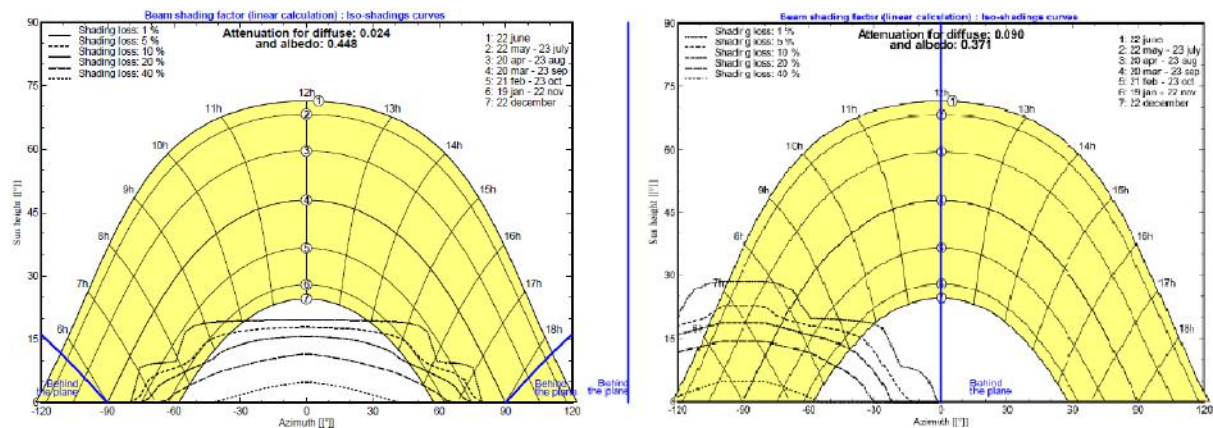


График 3 Исо дијаграм на засенување при азимут 0° и агол на наклон 30° (лево) и при азимут -90° и агол на наклон 90° (десно)

Го резгледуваме графикот лево. На хоризонталната оска е прикажан азимутот, во нашиот случај е 0° , на ветрикалната оска висината на сонцето. Жолтата површина е светлината на сонцето, од игравање до заоѓање при тоа од таа светлина на модулите паѓа делот помеѓу плавите линии. Линиите од 1 до 7 се прикажаните месеци. Бидејќи нема околни објекти што ќе го засенуваат системот 40% загуби немаме. Од самиот график се гледа дека системот е добро испроектиран бидејќи во најлошиот ден 22 декември, 20% загуби од засенување имаме само од 7-8 часот и од 16-17 часот. Освен за овој месец други помали загуби од засенување имаме и во месеците јануари, ноември, февруари, октомври, додека во останатите месеци загуби од засенување немаме. Само за споредба од десната страна е прикажан исто дијаграмот на засенување за најлошата поставеност од каде што се гледа дека дури и во најдобриот ден сончево зрачење без засенување на модулите паѓа само од 7:30 часот наутро до 12 часот попладне, а во најлошиот ден само од 10 до 12 часот. Поради таквата поставеност на системот после 12ч попладне до зајдисонце на модулите не паѓа сончева светлина, а тоа е причината поради која специфичното годишно производство на електрична енергија е многу мало. [5]

4 ЗАКЛУЧОК

Употребата на фотоволтаичните системи кои го користат сончевото зрачење односно сонцето како обновлив извор на енергија во светски рамки во последните декади е драстично зголемена. Тоа е така затоа што при работење на фотоволтаичните системи нема согорување на фосилни горива па како резултат се избегнува ефектот на стаклена градина. Со изведените симулации во софтверскиот пакет PVsyst може да се согледа кои се фактори вегуваат во проектирањето на еден ФВ систем, и од каква важност за произведената електрична енергија е правилно да се определи ориентацијата (азимутот) како и аголот на наклон на фотоволтаичните модули.

5 КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] <https://www.hindawi.com/journals/ijp/2007/085402/abs/>
- [2] http://www.savremenimaterijali.info/sajt/doc/file/casopisi/SM1_2/8-pavlovic.pdf
- [3] http://www.ijsee.com/IJSEE_Vol.%203,%20No.%202,%20November%202015/Estimation.pdf
- [4] <https://www.cleanenergyreviews.info/blog/2014/5/4/how-solar-works>
- [5] <http://www.pvsyst.com/en> -софтверски пакет за изведените симулации

Ilija Stojkovski, Gjorgji Sirakovski

¹ Faculty of electrical engineering and information technologies, Skopje

¹ilijastojkovski96@gmail.com ²goko.sirakovski@gmail.com

TECHNICAL AND ECONOMIC ASPECTS OF PHOTOVOLTAIC PANELS DEPENDING ON THE TILT ANGLE AND THEIR ORIENTATION

ABSTRACT

With rapid economic growth and improvement in living standards, there has been a marked increase in energy use for many developed and developing countries. There are many immediate adverse effects on the environment such as large amount of greenhouse gases and pollutants emissions from the burning of fossil fuels. Renewable energy can play an essential role in meeting the ultimate goal of replacing certain parts of those negative effects. One of the promising applications of renewable energy technology is the installation of photovoltaic (PV) systems that generate power without emitting pollutants and requiring no fuel.

Conventionally, stand-alone PV systems have been used in rural and remote areas where normal electricity supply may not be readily accessible. In modern urban cities with many compactly built high-rise blocks, the concept of building integrated photovoltaics (BIPV) would be an appropriate alternative form to receive electrical energy.

The goal of this study is to determine the orientations and tilt angles of solar panels depending on the technical and economic aspects. Performance of photovoltaic (PV) solar module is affected by its orientation and its tilt angle with horizontal plane. These two parameters change the amount of solar energy received by the surface of the PV module. In this study the rotational solar module is positioned in the predefined angles. In these positions the values of current, voltage, power and solar radiation intensity are measured, and as a result of that the orientations and tilt angles of solar panels is determined. [1][2]

Key words: solar modules, angle, orientation, performances of photovoltaic systems



Божан Тодоров
Факултет за електротехника и информациски технологии, Скопје
bozantod@gmail.com

ДИЗАЈН НА ПЕРКИ ЗА ТИДАЛНИ ТУРБИНИ ИНСПИРИРАН ОД ПЕРКИТЕ НА ГРБАВИОТ КИТ

КУСА СОДРЖИНА

Во овој труд се презентирани резултати од истражувањата во Студија која имаше за цел да најде начини за подобрување на ефикасноста на тидалните турбини. Зголемена ефикасност може да се постигне со подобрување на хидродинамичките перформанси со примена на туберкули на предниот раб на перките на тидалната турбина, а кои се инспирирани од перките на грбавиот кит. Тидалните турбини се во основа хидро турбини кои работат при природните процеси на плима и осека на искористување на енергијата на водата во морињата и океаните за енергетски цели, односно производство на електрична енергија.

Најпрво студијата се фокусира на дизајнот и оптимизацијата на туберкулите на предниот раб за специфичен дел на перката на тидалната турбина, со користење нумерички методи, за добивање оптимален дизајн за делот од перката. Овој оптимален дизајн потоа се применува како перка на репрезентативна тидална турбина. Оваа репрезентативна 3D перка покажува значајни придобивки. Експерименталните мерења, дополнително, се валидирани и дополнети со нумерички симулации користејќи софтвер за детална анализа на протокот. Потоа со помош на сет на модели на турбини со различни рабни профили, спроведена е серија на тестирања за да се оцени нивната ефикасност, кавитација, подводна бучава и детални карактеристики на протокот. Врз база на овие експерименти се потврдува дека туберкулите на предниот раб можат да: го подобрат хидродинамичкиот перформанс во регионот на нискиот TSR без да се намали максималниот коефициент на моќност, го ограничат развојот на кавитација, како и да го ублажат нивото на подводна бучава.

Клучни зборови: тидална турбина, дизајн на перка, туберкули на предниот раб

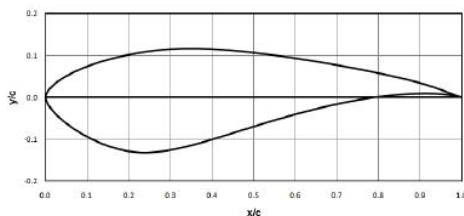
1 ВОВЕД

Развојот на модерната технологија се темели на континуираното изучување на Мајката Природа. Неодамна туберкулите на предниот раб на перките на грбавиот кит го привлекоа вниманието на истражувачите од областа на тидалната и ветерната енергија. Многу истражувачки студии, нумерички и експериментални, го испитуваат влијанието на примената на туберкулите на предниот раб на вентилатори, ветерни турбини, кормила итн. Предвидените случувања и технички набљудувања се мотив оваа студија да истражи и развие биомиметички концепт со цел да го подобри хидродинамичкиот перформанс на тидалните турбини. Иако постои таков потенцијал од кој тидалната турбина би имала бенефит, сепак има ограничено количество истражување за ваквата апликација. Ова ќе изнуди дополнително истражување, особено експериментално, за да се помогне да се разберат физичките карактеристики на туберкулите на предниот раб и дали тие можат да го подобрат перформансот на турбината.

2 ДИЗАЈН НА ТУБЕРКУЛИ И ОПТИМИЗАЦИЈА

2.1 Опис на одбраната тидална турбина

Оваа студија се базира на претходно истражување, во кое тидалната турбина е дизајнирана врз основа на пресекот на S814 профилот од серијата NREL, како што е покажано на Слика 1 [5].



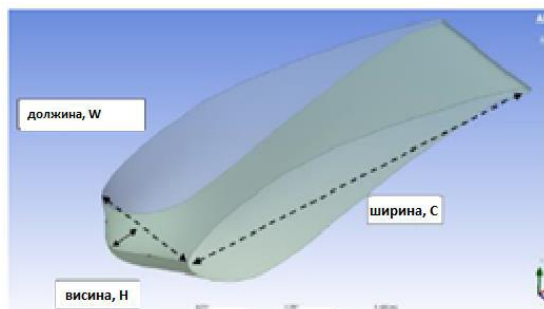
Слика 1. Пресечен профил на S814

2.2 Дизајн на туберкули

Претходните студии се базираат на оптимизацијата на синусоидалните профили на туберкули дефинирани со различни параметри [1]. Сепак, моменталната литература не покажува некоја корисна апликација на туберкулите на предниот раб на дебела фолија на тидална турбина како што е S814, која е искористена во оваа студија [2]. Затоа, во комбинација со искуството од претходните студии, синусоидалната форма на туберкулите е одбрана како основен облик за спроведување на процесот на нумеричка оптимизација. Истражувањето за оптимизација на туберкулите е иницирано со систематско менување на две променливи, висината (H) и должината (W) на овие испакнатини. Дефиниција на овие параметри е дадена на Слика 2. Профилот на предниот раб се дефинира со равенката

$$h = \frac{H}{2} \cos \left[\frac{2\pi}{W} s - \pi \right] + \frac{H}{2}. \quad (1)$$

каде h(mm) е соодветната висина на профилот на предниот раб.



Слика 2. Дефиниција на 2D фолија со синусоидална туберкула

2.3 Методологија за оптимизација

Нумеричка оптимизација на туберкулите на предниот раб за 2D фолија е клучот за изнаоѓање оптимален дизајн. Со промена на променливите, се направени моделите, а потоа се оценети во интегрирана средина на ANSYS-работна околина, која вклучува ANSYS-одредувач на дизајн како геометриски генератор и ANSYS-CFX како CFD код за оцена на перформансите.

2.4 Оптимален дизајн на туберкули за S814

Базирано на студијата за оптимизација на 2D делот на фолијата, синусоидална форма на профил на туберкула на предниот раб со висина 0.1C и должина 0.5C се покажува како добар компромис за оптимален дизајн и одржлива компонента на издигнување на хидродинамичката сила за различни ударни агли за сметка на мало намалување на максималното C_L , дефинирано со следното равенство

$$C_L = \frac{Lift}{\frac{1}{2}\rho V^2 A}. \quad (2)$$

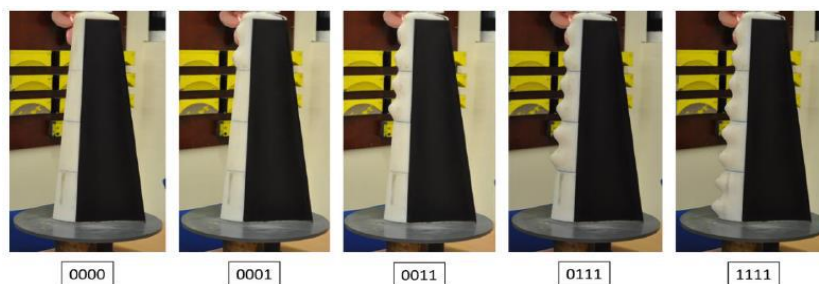
каде $Lift$ е компонентата која делува врз фолијата која е пропорционална на влезниот проток, ρ е густината на водата, V е брзина на приливот, A е референтна површина на фолијата еднаква на C (ширина)* W (должина).

3 ПРИМЕНА НА РЕПРЕЗЕНТАТИВНА ПЕРКА ОД ТУРБИНА

По спроведување на нумеричка оптимизација на туберкулите на предниот раб за 2D фолија, следна задача на истражувањето е да се примени оптимизираната туберкула на 3D репрезентативна перка на тидална турбина за да се рабере влијанието на перката на тидалната турбина [6]. Репрезентативната 3D перка е базирана на перката на тидалната турбина која има иста ширина и константен наклон. Со менување на ударните агли (AOAs), перформансите на на 3D перката се слични со тидална турбина која работи со променливи TSRs (tip speed ratios). Според оптимизираниот дизајн на туберкули, висината на туберкулата е 10% од локалната ширина, додека 8 туберкули би можеле да се распоредат по должината со широчина 50% од референтната ширина што соодвествува на $0.7R$ од перката на турбината.

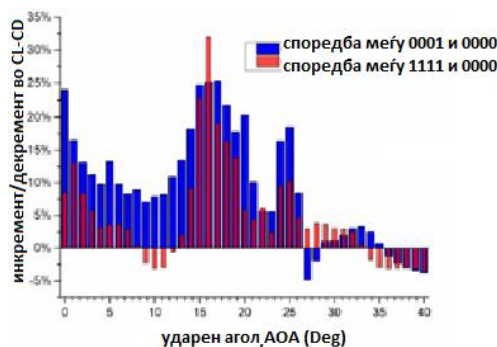
3.1 Експериментално испитување на перките со оптимизирани туберкули

3D турбинската перка е тестирана во кавитациски тунел Емерсон, кој претставува воден канал со средна големина наменет за тестирање на перки, за евалуација на перформанси и мерење на проток. Оценети се различни комбинации на профили со различна покриеност со туберкули (Слика 3).



Слика 3. Тестирани 3D модели со заменливи предни делови

Врз база на мерењата на компонентите на издигнување и задржување, споредбите на соодносите на издигнување спрема задржување, се добива дека фолијата “0001”, чија 1/4 од предниот раб е покриена со туберкули, севкупно покажува подобри перформанси. Ова може јасно да се види на Слика 4 каде фолијата “0001” покажува позитивно влијание од 0° до 26° AOA, со подобрување од повеќе од 10% при максималниот сооднос издигнување-задржување при 5° AOA, споредено со референтната фолија “0000”.



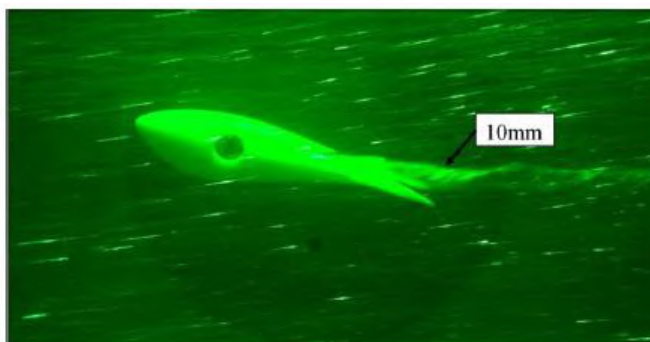
Слика 4. Споредба на релативните стапки на раст за C_L/C_D за фолија “1111” (со туберкули долж целиот преден раб) и фолија “0001” (со минимална покриеност на предниот раб со туберкули-околу врвот)

Иако фолијата “1111” покажува најголема стапка на пораст при 16° АОА, фолијата “0001” може да понуди поголем потенцијал за подобрување на перформансот на тидална турбина која работи при широк спектар на TSRs. За време на визуелизацијата на протокот, највоочливата разлика меѓу протокот околу фолијата “0000” и фолијата “1111” е појавата на многу силна вртложна кавитација создадена од фолијата “0000” за разлика од фолијата “1111” која и воопшто да не создава кавитација поради ефектот на туберкулите на предниот раб. Сликот приказ на ваков кавитациски вртлог кој се јавува од врвот на фолијата “0000” со дијаметар околу 10mm е прикажан на Слика 5. Со користење на типичен израз за кавитациски Ранкинов вртлог, односот меѓу дијаметарот на кавитацискиот вртлог на врвот, a_c , и неговата циркулација, Γ , се дадени со Равенката 3.

$$p_{\infty} - p_v = \frac{0,5\rho\Gamma^2}{4\pi^2 a_c^2} \quad (3)$$

каде p_{∞} е притисокот во полето на одредена далечина, а p_v е притисокот на заситената пареа на водата.

Според Равенка 3, колку е поголем дијаметарот, толку е поголемо вртливото поле. Со оглед на тоа дека двете фолии се тестирани под исти услови, поголемата вртложна кавитација што ќе се јави кај референтната фолија ќе биде одговорна за поголем 3 димензионален ефект и оттука поголема загуба кај компонентата на издигнување, додека фолијата “1111” со туберкули на предниот раб ќе го задржи 2D протокот со намалување на ефектот на крајот и на тој начин ќе обезбеди поповолни карактеристики на компонентата на издигнување при истите услови.

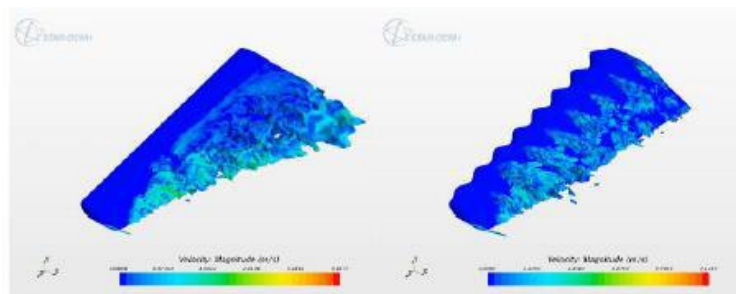


Слика 5. Кавитациски вртлог на врвот при набљудување на фолија со рамен преден раб

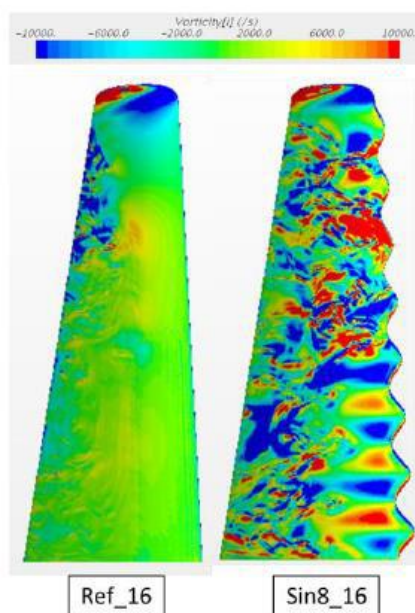
3.2 Нумеричка симулација на перката со оптимизирани туберкули

По експерименталното истражување, спроведени се CFD симулации за да се обезбедат дополнителни детали за полето на протокот и со тоа да се разбере ефектот на туберкулите. Симулациите се спроведени со програмот Star-CCM+ за да се решат Навје-Стоксовите равенки со Detached Eddy Simulation (DES) модели со цел да се земат предвид вртлогот и поедноставеното пресметување. Доменот на CFD симулацијата е димензиониран согласно експерименталната околина. Симулацијата соодветствува со податоците од експериментот. Споредбата на раздвојните патеки на протокот предвидени со CFD при АОА=16° за фолија “0000” и фолија “1111” се покажани на Слика 6. Јасно може да се види дека површината на референтната фолија е во форма на голем облак, додека кај фолијата со туберкули е видлив ефектот на туберкулите на предниот раб. Волуменот на раздвојните патеки е многу помал отколку оној кај фолијата “0000”. Понатамошната демонстрација на активноста на вртлогот на површината на фолијата на Слика 7 покажува дека распределбата на векторското поле на вртлозите, укажува на пар вртлози со спротивни насоки на вртење кои се создадени од туберкулите по должина на фолијата. Со испитување на деталите за распределбата на ова поле на врвот на фолијата, се открива објаснувањето зошто туберкулите на предниот раб имаат подобар перформанс. Спротивно ротирачките вртлози, создадени од туберкулите, се во интеракција со вртлогот развиен на врвот спречувајќи го да се рашири на површината на фолијата. Како што е покажано на Слика 8, вртлог создаден од туберкула блиску до врвот, кој има позитивна насока, по должина на растојанието од $Z=0.525$ до 0.56 го поништува силниот

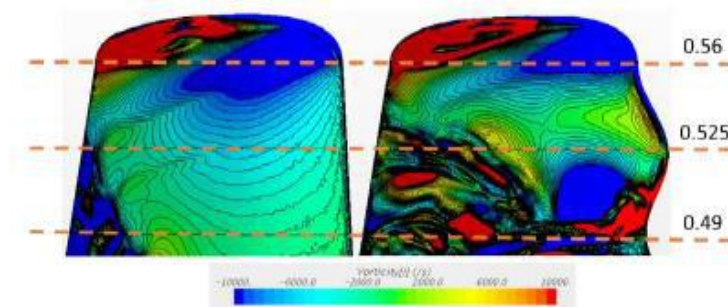
негативен вртлог на врвот. Како резултат на ова, штетниот ефект од вртлогот на врвот кој би бил одговорен за загубите во перформансите е значително намален.



Слика 6. Споредба на разделните патеки на протокот на две фолии ($V_x=0\text{m/s}$; $\text{AOA}=16^\circ$)



Слика 7. Споредба на распределбата на полето по должина на две фолии



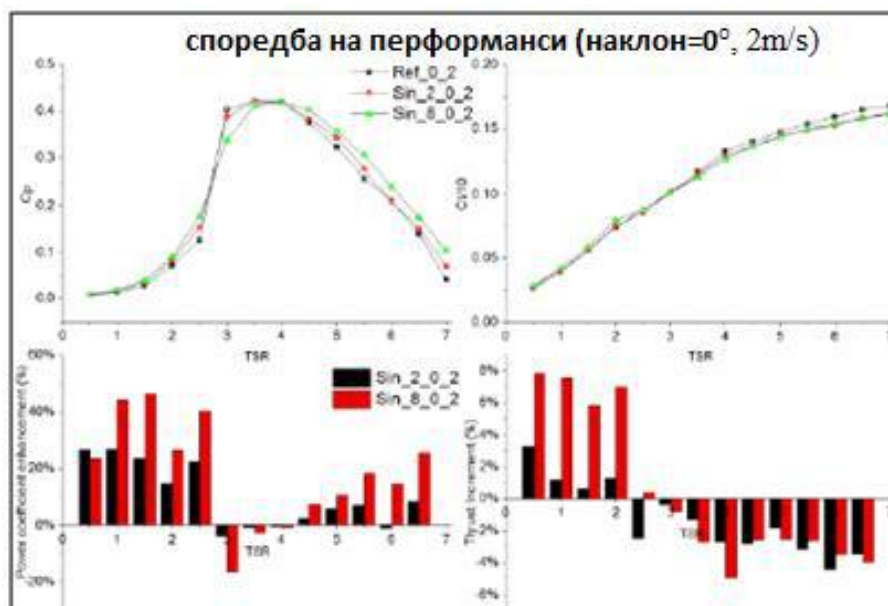
Слика 8. Споредба на распределбата на полето кај две фолии

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО ИСТРАЖУВАЊЕ НА ТУБЕРКУЛИТЕ НА ПРЕДНИОТ РАБ ПРЕКУ ПРИМЕНА НА ТИДАЛНА ТУРБИНА

Довербата стекната врз основа на резултатите добиени од примената на туберкулите на фолијата и репрезентативната турбинска перка, претставува мотив за понатамошно истражување на тоа дали овој биомиметички концепт може да биде ефикасен за подобрување на хидродинамичкиот перформанс на некој од актуелните модели на тидални турбини. Тестирањето вклучува: 1. тест за перформанс на отворена вода; 2. тест за набљудување на кавитација; 3. тест за мерење на бучава и 4. тест за детално мерење на протокот. Сите тестови се спроведени со опрема за тестирање верна на оригинален модел.

4.1 Тест на хидродинамички перформанс на отворена вода

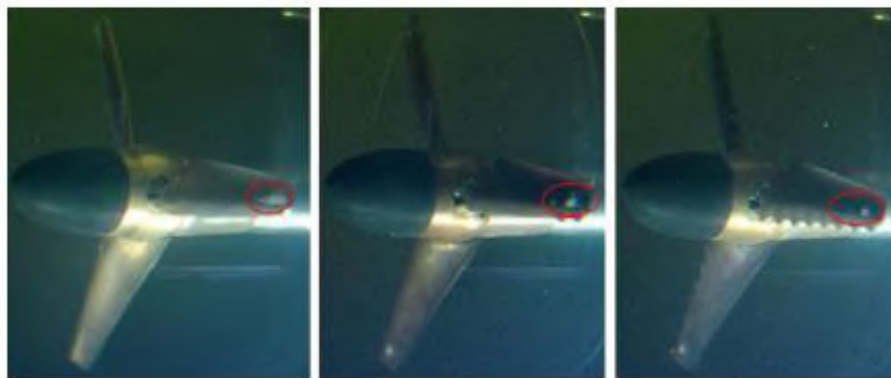
Типичната разлика во перформансите може да се види на Слика 9. Горните два графика ги прикажуваат коефициентите на моќност (C_p) и коефициентите на удар ($C_t/10$), а долните два графика ја покажуваат споредбата меѓу различни профили на туберкули и референтната турбина. Може да се види дека туберкулите на предниот раб можат да го подобрат перформансот на турбината во регионот на нискиот TSR (0.5 до 2.5), каде турбината е подложна на запирање. Под овие услови, турбина со туберкули на предниот раб може да генерира поголема сила, што може да се види и кај C_p и кај $C_t/10$. Може да се постигне околу 40% поголем момент благодарение на туберкулите. Сепак, со порастот на TSR, вредностите на C_p на турбините Ref и Sin_2 достигнуваат максимална вредност 0.43 при TSR=3.5, додека турбината Sin_8 достигнува максимум со мало задоцнување при TSR=4. На повисокиот крај на TSR, турбините Sin_2 и Sin_8 можат да генерираат 15 до 20% поголем момент и околу 4% помал удар при што влијанието предизвикано од Sin_8 е поочигледно од она на Sin_2 [7].



Слика 9. Споредба на перформанси (наклон=0°, 2m/s)

4.2 Тест за набљудување на кавитација

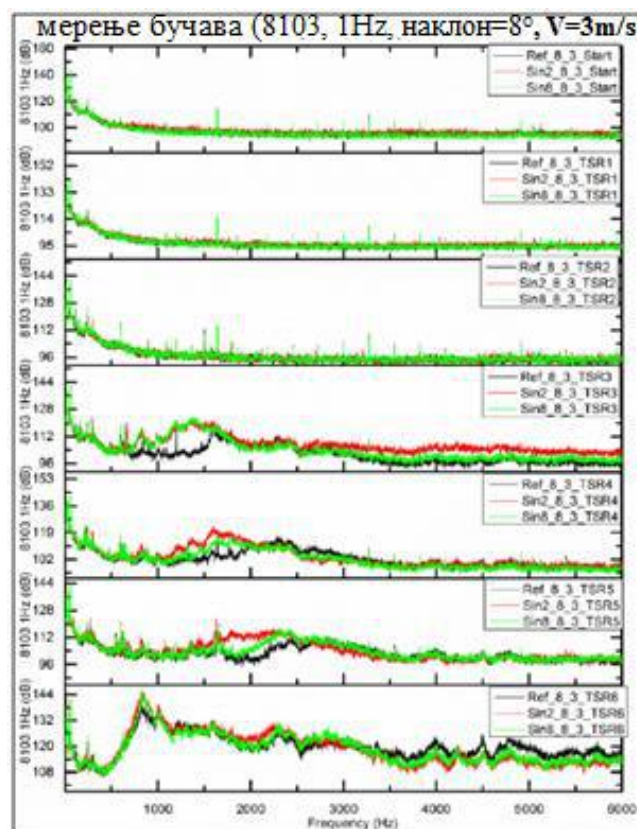
Во однос на кавитацијата на перката, забележани се два вида на патеки на кавитација. Тоа се: кавитација поради вртлогот од врвот и кавитација во форма на маглив облак на задната или предната страна на перката во зависност од TSR. Додека кавитацискиот облак влијае на ефикасноста на турбината, кавитацијата предизвикана од вртлогот на врвот нема големо влијание. Од друга страна, туберкулите на предниот раб може да предизвикаат поран почеток на кавитацијата од врвот во споредба со референтната турбина со рамен раб. Јачината на кавитацијата од врвот е слична за различните профили на предниот раб. Сепак, развојот на магливиот облак над туберкулите е ограничен на подрачјето на туберкулите, како што е показано на Слика 10. Ова резултира со намален обем на кавитација и прилично наизменична кавитација што е спротивно на големиот обем и постојаното појавување на кавитациониот облак кој се јавува кај референтната турбина.



Слика 10. Детална споредба на патеката на кавитација (наклон $=+8^\circ$; $V=3\text{m/s}$; $\text{TSR}=6$; $\text{Cav}0.75r=1.3$)

4.3 Тест за мерење на бучава

Заедно со тестот за набљудување на кавитацијата, се мери и нивото на создадена подводна бучава. Трите турбини покажуваат скоро исти нивоа на бучава се до појавата на кавитација. Тоа може да се види на горните три графика на Слика 11 ($\text{TSR} \leq 2$). Штом се појавува кавитацијата нивоата на на бучава на турбините со туберкули ($3 \leq \text{TSR} \leq 5$) генерално се повисоки од оние на референтната турбина. За последниот услов во кој сите три турбини се подложни на кавитациски облак (Слика 11, $\text{TSR}=6$), нивото на бучава на референтната турбина во повисокиот фреквентен опсег од 3 KHz па нагоре, е поголемо отколку нивото на бучава кај турбините со туберкули. Причина за ова е тоа што кавитацискиот облак на предната страна кај референтната турбина има поголем обем и волумен од оној кај турбините Sin2 и Sin8. На Слика 10 лесно може да се види дека кавитацискиот облак на предната страна создаден од референтната турбина има најголем обем, додека со зголемување на бројот на туберкули, обемот на кавитација постепено се намалува.



Слика 11. Компаративни нивоа на бучава измерени во опсег од 1Hz (наклон $=8^\circ$, $V=3\text{m/s}$)

4.4 Тест за детално мерење на протокот

По истражување на ефектот на туберкулите на предниот раб за различни перформансни карактеристики на перките на тидалната турбина, забележани се значителни разлики што бараат дополнително истражување. Најосновните и веројатно најнеефективните објаснувања можат да се направат со спроведување на детално истражување на протокот во околината на турбинските перки и заветрината на турбините. Врз база на резултатите од мерењето на пресекоот на перката во услови на мирување е утврдено дека, сите тестирани турбински перки страдаат од сериозно одвојување на протокот, додека турбинските перки со туберкули успеваат да го одржат протокот да биде повеќе прицврстен до нивните површини во одредени позиции. Ова и обезбедува на турбината дополнителен почетен момент. Од друга страна, структурата на протокот измерена на излезот од турбината открива дека турбините со туберкули можат да предизвикаат повисок фактор на индукција, што резултира со помали брзини во полето опфатено со перките. Овој ефект е поврзан со бројот на туберкули, што резултира со поголеми коефициенти на моќност (2.2% за $\sin^2$ и 4.3% за $\sin^8$), како и поголеми коефициенти на удар (4.6% за $\sin^2$ и 7.7% за $\sin^8$) при оптимален TSR (TSR=4 и $V=3\text{m/s}$). Мерењата исто така покажуваат дека со помош на туберкулите слабее вртлогот од врвот и дека неговата аксијална патека се крати при оптимални работни услови (TSR=4 и $V=3\text{m/s}$). Ова е дополнителна потврда за намалените 3 димензионални ефекти.

5 ЗАКЛУЧОК

По спроведување на сеопфатна низа на експериментални испитувања за комплетен модел на турбина со и без туберкули на предниот раб, се испитани компаративните хидродинамички ефикасности вклучувајќи ги перформансите на кавитацијата и подводната бучава. Овие испитувања се поддржани со сеопфатни анализи на протокот за понатамошно истражување и откривање на ефектите од туберкулите на тидалните турбини. Испитувањата спроведени во овој труд ги докажуваат корисните ефекти на различните хидродинамички перформанси на турбините со туберкули на предниот раб, главно со подобрени перформанси при ниски TSRs без да се влијае врз максималниот фактор на моќност, ограничен развој на кавитација и оттука намалено ниво на бучава. Врз база на демонстрацијата со овој модел, овој биониски концепт е подготвен за следните вистински морски апликации.

6 КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Hansen, K., Kelso, R., & Doolan, C. (2012). Reduction of Flow Induced Airfoil Tonal Noise Using Leading Edge Sinusoidal Modifications. *Acoustics Australia*, 40(3), 172-177.
- [2] Hansen, K. L., Kelso, R. M., & Dally, B. B. (2009). *The effect of leading edge tubercle geometry on the performance of different airfoils*. Paper presented at the ExHFT-7, Krakow, Poland.
- [3] Hansen, K. L., Kelso, R. M., & Dally, B. B. (2011). Performance Variations of Leading-Edge Tubercles for Distinct Airfoil Profiles. *Aiaa Journal*, 49(1), 185-194. doi:10.2514/1.J050631
- [4] Hansen, K. L., Rostamzadeh, N., Kelso, R. M., & Dally, B. B. (2016). Evolution of the streamwise vortices generated between leading edge tubercles. *Journal of Fluid Mechanics*, 788, 730-766. doi:10.1017/jfm.2015.611
- [5] Pham, X., Clelland, D., Grant, A., Varyani, K. S., & Barltrop, N. (2006). Wave-current interactions in marine current turbines. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment*, 220(4), 195-203. doi:10.1243/14750902jeme45
- [6] Shi, W., Atlar, M., Norman, R., Aktas, B., & Turkmen, S. (2016). Numerical optimization and experimental validation for a tidal turbine blade with leading-edge tubercles. *Renewable Energy*, 96, 42-55.
- [7] Shi, W., Rosli, R., Atlar, M., Norman, R., Wang, D., & Yang, W. (2016). Hydrodynamic performance evaluation of a tidal turbine with leading-edge tubercles. *Ocean Engineering*, 117, 246-253. doi:10.1016/j.oceaneng.2016.03.044
- [8] Stanway, M. J. (2008). *Hydrodynamic effects of leading-edge tubercles on control surfaces and in flapping foil propulsion*. (Msc), Massachusetts Institute of Technology.

HUMPBAC WHALE INSPIRED DESIGN FOR TIDAL TURBINE BLADES

ABSTRACT

This study is to further improve the hydrodynamic performance of tidal turbines by applying leading-edge tubercles to the blades inspired by the humpback whales.

The study first focused on the design and optimisation of the leading edge tubercles for a specific tidal turbine blade section by using numerical methods to propose an “optimum” design for the blade section. This optimum design was then applied onto a representative tidal turbine blade. This representative 3D blade demonstrated significant benefits especially after stall. The experimental measurements were further validated and complimented by numerical simulations using commercial CFD software for the detailed flow analysis.

Following that, a set of tidal turbine models with different leading-edge profiles was manufactured and series of model test campaigns were conducted in the cavitation tunnel to evaluate their efficiency, cavitation, underwater noise, and detailed flow characteristics. Based on these experimental investigations it was confirmed that the leading edge tubercles can improve: the hydrodynamic performance in the low Tip Speed Ratio (TSR) region without lowering the maximum power coefficient, constrain the cavitation development to within the troughs of the tubercles, and hence mitigating the underwater noise levels.

Key words: tidal turbine, blade design, leading-edge tubercles



Bunjamin Sulejmani ¹, Platin Saliu²

¹Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies, University “Ss Cyril and Methodius” - Skopje

¹bunjaminsulejmani@outlook.com ²platinsaliu@gmail.com

DESIGNING OF POWER PLANTS FROM RES

1 SHORT INTRODUCTION

In the text below, briefly describes the operation of the photovoltaic system, in the way it worked as a whole, why it serves and how its individual parts work in order to achieve the set goal.

First, a brief and general overview of the operation of the solar energy and their importance in the process of providing electricity is given in order to further penetrate into some more specific areas that cover the operation of the distribution system itself.

Different criteria are presented according to which the photovoltaic panels are divided and some of their general characteristics.

It describes in detail every special part of the photovoltaic power plant and its function, in order to finally give a general conclusion to the overall work of the plant as a whole and its main purpose.

2 POTENTIAL OF SOLAR RADIATION IN MACEDONIA.

The term "solar radiation" usually mean the power (intensity) of the solar radiation that reaches the earth's surface. The solar energy is practically inexhaustible and it is a source of almost all, whether renewable or classical sources of energy.

Solar radiation is a set of electromagnetic waves with a wide range of wavelengths from which the wavelengths of visible light are the most advanced. The power that the sun radiates in the entire space The energy that the Earth's surface per year receives from the sun is about $4 \cdot 10^{24}$ J, and it is 15,000 times the total annual world energy consumption of all primary sources. The energy potential of non-renewable fossil fuels is estimated to be around $4 \cdot 10^{23}$ J, which is adequate for the energy of approximately twenty days of radiation $3.8 \cdot 10^{26}$ W, from which the intensity obtained on the earth surface is approximately $1.7 \cdot 10^{17}$ W.

The intensity of solar radiation is not evenly distributed over the surface of the globe and is greatest in the equatorial belt. It depends on the period of the year, due to the change in the distance of the country from the sun.

3 SOLAR ENERGY

Solar energy systems in buildings include systems that capture heat (such as solar water heating systems and passive heating), and systems that convert solar energy into electricity. The latter is done primarily through **photovoltaic (PV)** systems. PV technology has seen dramatic improvements—and cost reductions—since its first applications in the space program in the 1960's. While the technology is still not inexpensive, from 2006 to 2010, installed costs of PV systems have dropped 30–40%. This drop—combined with higher energy

costs, government and/or utility incentives, and time-of-use electric rates—have made PV cost-effective in a growing number of applications.

The heart of PV technology is in the semi-conductors (mostly silicon-based) used in the PV modules themselves. The modules convert sunlight to direct current (DC) energy; the DC energy is typically then converted to alternating current (AC) energy via inverters. From the inverters, energy is typically fed into a building's electric system or exported to the utility grid.

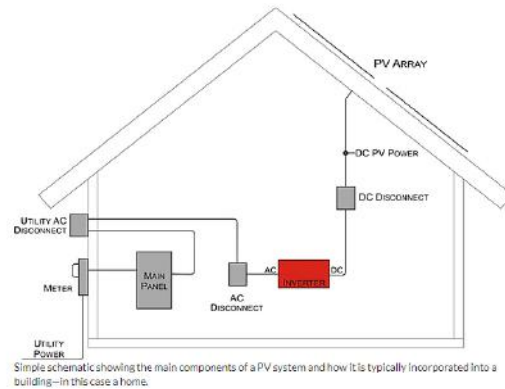


Photo 1. Single schematic showing the main components of pv system

to

The amount of electricity that a PV system generates depends upon the amount of sun received and many other installation parameters (tilt, orientation, shading, etc.). A simple and accurate tool for predicting generation is PVWatts, developed by NREL.

As PV collectors need direct sun, they are often mounted on roofs. While not extremely heavy, structural factors must be taken into account in planning a roof-top installation. Designers need to be aware of mounting requirements, ballast, and wind loads. Any roof penetrations (for mounting or electrical) need to be planned for and detailed properly. Panels should face south (in the northern hemisphere) and shade (from trees, other buildings, roof-top equipment, etc.) should be minimized. In some cases, PV collectors can be incorporated as part of the roof or building envelope; see the Building-Integrated Photovoltaics page for more information.

While most PV collectors are mounted in stationary positions, some free-standing arrays use devices to track the path of the sun across the sky. This can increase electricity generation substantially (20% or more), but it also adds cost and complexity to the system. PV modules themselves are very durable and have no moving parts; most warranties are 20–30 years. Inverters are usually shorter-lived; these warranties are typically 5–10 years.

4 SOLAR PV TECHNOLOGY

Modules are either mounted on fixed angle frames or on suntracking frames. Fixed frames are simpler to install, cheaper, and require less maintenance. However, tracking systems can increase yield by up to 45 percent. Tracking, particularly for areas with a high direct/diffuse irradiation ratio, also enables a smoother power output

This section discusses module technologies, mounting systems, inverters and methods of quantifying plant performance. It provides an overview of current commercially available technologies used in utility-scale solar PV projects. The purpose is to provide a framework of understanding for developers and investors before they commit to a specific technology. PV cell technologies are broadly categorised as either crystalline or thin-film. Crystalline silicon (c-Si) cells provide high efficiency modules. They are sub-divided into mono-crystalline silicon



PV system on a mail processing center in Los Angeles. PVs are one of the most reliable renewable energy technologies, and building integration can be straightforward.
Photo Credit: Bill Calma



PVs can also be mounted on the ground or auxiliary structures. These collectors provide shade for parked cars at MCAS Miramar.
Photo Credit: MCAS Miramar

Photo 2. PV system in Los Angeles

(mono-c-Si) or multi-crystalline silicon (multi-c-Si). Mono-c-Si cells are generally the most efficient, but are also more costly than multi-c-Si. Thin-film cells provide a cheaper alternative, but are less efficient.⁶ There are three main types of thin-film cells: Cadmium Telluride (CdTe), Copper Indium (Gallium) Di-Selenide (CIGS/CIS), and Amorphous Silicon (a-Si). The performance of a PV module will decrease over time due to a process known as degradation. The degradation rate depends on the environmental conditions and the technology of the module. Modules are either mounted on fixed-angle frames or on suntracking frames. Fixed frames are simpler to install, cheaper and require less maintenance. However, tracking systems can increase yield by up to 45 percent. Tracking, particularly for areas with a high direct/diffuse irradiation ratio also enables a smoother power output. Inverters convert direct current (DC) electricity generated by the PV modules into AC electricity, ideally conforming to the local grid requirements. They are arranged either in string or central configurations. Central configuration inverters are considered to be more suitable for multi-MW plants. String inverters enable individual string Maximum Power Point Tracking (MPPT)⁷ and require less specialised maintenance skills. String configurations offer more design flexibility. PV modules and inverters are all subject to certification, predominantly by the International Electrotechnical Commission (IEC). New standards are currently under development for evaluating PV module components and materials. The performance ratio (PR) of a well-designed PV power plant will typically be in the region of 77 percent to 86 percent (with an annual average PR of 82 percent), degrading over the lifetime of the plant. In general, good quality PV modules may be expected to have a useful life of 25 to 30 years.

5 OVERVIEW OF GROUND MOUNTED PV POWER PLANT

Figure 2 gives an overview of a megawatt-scale gridconnected solar PV power plant. The main components include:

- **Solar PV modules:** These convert solar radiation directly into electricity through the photovoltaic effect in a silent and clean process that requires no moving parts. The PV effect is a semiconductor effect whereby solar radiation falling onto the semiconductor PV cells generates electron movement.

The output from a solar PV cell is DC electricity. A PV power plant contains many cells connected together in modules and many modules connected together in strings⁸ to produce the required DC power output.

- **Inverters:** These are required to convert the DC electricity to alternating current (AC) for connection to the utility grid.

Many modules in series strings and parallel strings are connected to the inverters.

- **Module mounting (or tracking) systems:** These allow PV modules to be securely attached to the ground at a fixed tilt angle, or on sun-tracking frames.

- **Step-up transformers:** The output from the inverters generally requires a further step-up in voltage to reach the AC grid voltage level. The step-up transformer takes the output from the inverters to the required grid voltage (for example 25kV, 33kV, 38kV, or 110kV, depending on the grid connection point and country standards)

- **The grid connection interface:**

Figure 2: Overview of Solar PV Power Plant

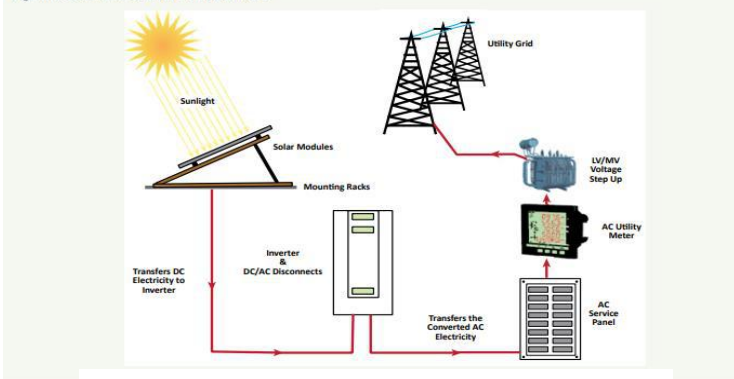


Photo 3. Overview of Solar Power Plant

This is where the electricity is exported into the grid network.

The substation will also have the required grid interface

switchgear such as circuit breakers (CBs) and disconnects

for protection and isolation of the PV power plant, as well as

metering equipment. The substation and metering point are

often external to the PV power plant boundary and are typically located on the network operator's property.



Photo 4. Electric scheme of PV system connected to Grid

6 SOLAR PV MODULES

This section describes commercially available technology options for solar PV modules, discusses module certification and describes how solar PV module performance can degrade over time.

Each material has unique characteristics that impact the cell performance, manufacturing method and cost. PV cells may be based on either silicon wafers (manufactured by cutting wafers from a solid ingot block of silicon) or “thin-film” technologies for which a thin layer of a semiconductor material is deposited on low-cost substrates. PV cells can further be characterised according to the long-range structure of the semiconductor material, “mono-crystalline,” “multi-crystalline” (also known as “poly-crystalline”) or less-ordered “amorphous” material. Figure 3 shows the most commonly used PV technologies:

- Crystalline Silicon (c-Si): Modules are made from cells of either mono-crystalline or multi-crystalline silicon. Mono-c-Si cells are generally the most efficient, but are also more costly than multi-c-Si.
- Thin-film: Modules are made with a thin-film deposition of a semiconductor onto a substrate. This class includes semiconductors made from:
 - Amorphous Silicon (a-Si).
 - Cadmium Telluride (CdTe).
 - Copper Indium Selenide (CIS).
 - Copper Indium (Gallium) Di-Selenide (CIGS/CIS).
- Heterojunction with intrinsic thin-film layer (HIT): Modules are composed of a mono-thin c-Si wafer surrounded by ultra-thin a-Si layers. Due to reduced manufacturing costs and maturity of the technology, wafer-based crystalline modules are expected to maintain a market share of up to 80 percent until at least 2017.10 Thin-film (17 percent) and high efficiency (3 percent) modules are expected to make up the remaining 20 percent.

7 MODULE EFFICIENCY

Tabel 1. Characteristics of some PV Technology Classes

Table 1: Characteristics of some PV Technology Classes					
Technology	Crystalline Silicon	Heterojunction with intrinsic Thin-film Layer	Amorphous Silicon	Cadmium Telluride	Copper Indium Gallium Di-Selenide
Category	c-Si	HIT	a-Si	CdTe	CIGS or CIS
Current commercial efficiency (Approx.)	13%-21%	18%-20%	6%-9%	8%-16%	8%-14%
Temperature co-efficient for power ² (Typical)	-0.45%/°C	0.29%/°C	-0.21%/°C	-0.25%/°C	-0.35%/°C

8 MODULE TECHNOLOGY DEVELOPMENTS

Solar PV module technology is developing rapidly. While a wide variety of different technical approaches are being explored, the effects of these approaches are focused on either improving module efficiency or reducing manufacturing costs.

Tabel 2. PV module Standards

Table 2: PV Module Standards		
Test	Description	Comment
IEC 61215	Crystalline silicon (c-Si) terrestrial PV modules - Design qualification and type approval	Includes tests for thermal cycling, humidity and freezing, mechanical stress and twist and hail resistance. The standard certification uses a 2,400Pa pressure. Modules in heavy snow locations may be tested under more stringent 5,400Pa conditions.
IEC 61646	Thin-film terrestrial PV modules - Design qualification and type approval	Very similar to the IEC 61215 certification, but an additional test specifically considers the additional degradation of thin-film modules.
EN/IEC 61730	PV module safety qualification	Part 2 of the certification defines three different Application Classes: 1) Safety Class O - Restricted access applications. 2) Safety Class II - General applications. 3) Safety Class III - Low voltage (LV) applications.
IEC 60364-4-41	Protection against electric shock	Module safety assessed based on: 1) Durability. 2) High dielectric strength. 3) Mechanical stability. 4) Insulation thickness and distances.
IEC 61701	Resistance to salt mist and corrosion	Required for modules being installed near the coast or for maritime applications.
IEC 61853-1	Photovoltaic Module Performance Testing and Energy Rating	Describes the requirements for evaluating PV module performance in terms of power rating over a range of irradiances and temperatures.
IEC 62804 (pending issue)	System voltage durability test for c-Si modules	Describes the test procedure and conditions for conducting a PID test. The PV module will be deemed to be PID resistant if power loss is less than 5% following testing.
Conformité Européenne (EC)	The certified product conforms to the European Union (EU) health, safety and environmental requirements.	Mandatory in the European Economic Area.
UL 1703	Comply with the National Electric Code, Occupational Safety and Health Administration and the National Fire Prevention Association. The modules perform to at least 90% of the manufacturer's nominal power.	Underwriters Laboratories Inc. (UL) is an independent U.S. based product safety testing certification company which is a Nationally Recognised Testing Laboratory (NRTL). Certification by an NRTL is mandatory in the U.S.

9 LITERATURE

- [1] https://www.omicsonline.org/open-access/integrated-design-of-renewable-energydecentralized-power-plant-comprisingenergy-storage-for-offgrid-eco-village-.php?aid=16353&fbclid=IwAR1CzHKU2PA-2rETxDKwRXtpFOzSzBRK9EYIIltlXyWnq1S_85dpvUr_ldY
- [2] https://www.wbdg.org/resources/alternative-energy?fbclid=IwAR3PALoy1wc92poPTEVFVHLNIOk_9OaF--yiIBoVFyZpLaz1zRyt0qsbqJs
- [3] https://www.sma.de/fileadmin/Partner/Solaracademy/Downloads/EN/PV-Power%20Plants%203-Planning%20and%20Design_EN-124010_web.pdf?fbclid=IwAR3itOlSb0EsqGIZR9eY1E9QULqjzbqUAYpGKZ8tXXMTZatbqiPao7J6H3s
- [4] <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/358/1/012019/pdf?fbclid=IwAR00LAfokEIQhrXgHTaUzu7dWvIke--fWdH8YZp6U4Oea95chNIz4pYjRMA>
- [5] https://www.irjet.net/archives/V4/i8/IRJET-V4I8136.pdf?fbclid=IwAR1_Temi-G6xE2CiuqWnlT-hSfZP_jN7uxxTw8thQX_3FUOq1FMGibv_-cE
- [6] https://www2.jpl.nasa.gov/adv_tech/photovol/2016CTR/Martin%20Mari%20Dsgn%20of%20PV%20Central%20Pwr%20Station_1984.pdf?fbclid=IwAR00LAfokEIQhrXgHTaUzu7dWvIke--fWdH8YZp6U4Oea95chNIz4pYjRMA
- [7] https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/f05d3e00498e0841bb6fbbe54d141794/IFC+Solar+Report_Web+_08+05.pdf?MOD=AJPERES&fbclid=IwAR1dqLzDaKreilmBnUKfXINCCmVn9c3W4oqqnqE5h9f1NpSgpKrK5gWZ8E



Martina Blazheska¹ Igor Shesho¹

¹Faculty of Mechanical Engineering/Institute for Thermal Engineering, Skopje

¹blazheska.martina@gmail.com ¹igor.seso@mf.edu.mk

ELECTRICITY GENERATION USING THE ORGANIC RANKINE CYCLE IN GEOTHERMAL ENERGY SOURCES

ABSTRACT

The purpose of this paper is to analyze the Organic Rankine Cycle and its use in the exploitation of geothermal energy sources. Geothermal energy sources are rarely found in the superheated state and are much more common in the liquid state. Therefore, air cycles and the conventional Rankine cycle have very poor performances. In contrast, the Organic Rankine Cycle has a number of advantages for generating electricity from low-temperature heat sources, mainly due to its utilization of an organic working fluid with a low boiling point. This analysis is consisted of the theoretical basis of the Organic Rankine Cycle and a short overview of some of its common uses, including its application in geothermal energy sources. Several advantages, as well as disadvantages, of the Organic Rankine Cycle are listed and explained. In addition, this paper encompasses a description of the methods and criteria for fluid selection, which is an important aspect of any ORC plant, since it depends on the energy source and greatly affects the cycle performance. Furthermore, a number of examples of geothermal ORC plants and are given and compared. The paper concludes that where conventional cycles fail, ORC technologies provide technically and economically viable solutions for generating electricity from limited energy sources.

Key words: ORC, geothermal, electricity, organic, energy

1 INTRODUCTION

Nowadays, power generation from heat sources is largely based on gas and steam cycles. However, there is an abundance of limited heat sources that cannot be exploited using these conventional cycles. In these cases, the Organic Rankine Cycle (ORC) is a more attractive alternative, since it uses an organic working fluid, characterized by a high molecular mass and low boiling point.

Generating electricity from a geothermal fluid can occur in one of two ways. The vapor fraction of the fluid is directly fed into an expander, or the fluid's heat is transferred to a secondary fluid circulating in a closed cycle. Since geothermal fluids are most commonly found in the liquid state, as opposed to the vapor state, they are inadequate for direct use or use in conventional Rankine cycles.

Therefore, the Organic Rankine Cycle offers a number of advantages in exploiting geothermal energy sources, although its applications are far more diverse.

2 THEORETICAL BASIS OF THE ORGANIC RANKINE CYCLE

The Organic Rankine cycle is based on the same working principle as the traditional Rankine cycle. It is a thermodynamic cycle used to convert heat into mechanical energy, which is ultimately converted into electrical energy.

Heat is introduced externally through a heat exchanger, where the working fluid is evaporated and possibly superheated (4-5-6-1), as seen in the T-s diagram in Figure 1. Then, the fluid is fed into

an expander (1-2), where its thermal energy is converted into mechanical. Here, the working fluid undergoes a phase change. The power of the cycle depends on the enthalpy drop, i.e. the amount of heat that was successfully converted into mechanical energy. Following the phase change, the fluid is condensed in a condenser (2-3), after which it is led to a pump (3-4) to increase its pressure, before continuing towards the heat exchanger.

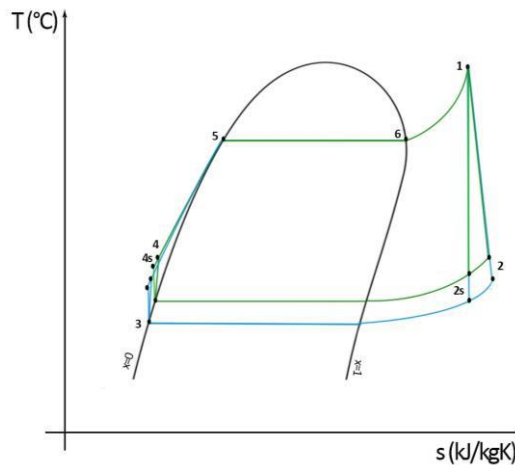


Figure 1. Organic Rankine cycle in a T-s diagram

Traditional Rankine cycles use water as the working fluid of choice. However, in the exploitation of limited heat sources, where sometimes the temperature is not high enough to even vaporize the water, there is a need for an alternative choice of working fluid.

The Organic Rankine cycle replaces water with an organic fluid, with a much lower boiling point and a higher molecular mass than water. This is crucial for harnessing the heat from low temperature sources. Therefore, the essential distinction between the traditional and the Organic Rankine cycle is the working fluid in question.

Figure 2 depicts an ORC plant, which is consisted of three heat exchangers, expander, electrical generator, regenerator, condenser and pump. In ORC plants, it is sometimes attractive to install a regenerator in order to increase the cycle's efficiency by providing regenerative heating of the working fluid and at the same time decreasing the condenser load.

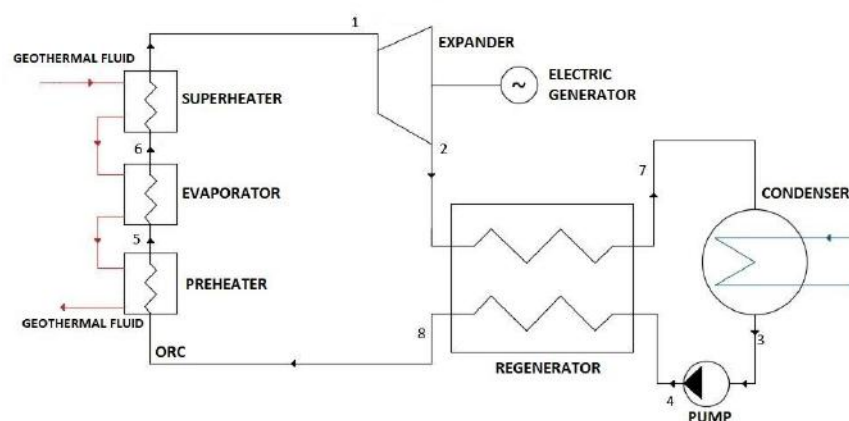


Figure 2. Layout of an ORC plant

3 COMMON APPLICATIONS OF THE ORGANIC RANKINE CYCLE

The Organic Rankine Cycle is quite versatile and has a wide range of applications, especially in situations where water as a working fluid is not a viable choice. As of December 31st, 2016, it is

estimated that ORC technology makes up for a total of 2.7 GW of the world's installed capacity, accounted for by 1754 ORC units [1].

ORC power generation has the largest potential in three sectors. The electricity and heat generation sector produces a significant amount of waste heat that can be utilized with an ORC unit. Furthermore, the industrial and transportation sectors have considerably high energy consumption levels, however the former has lower levels of waste heat than the latter.

3.1 Waste heat recovery

ORC plants are quite common in recovering waste heat. They can be applied in multiple scenarios, including industrial processes, exhausts from furnaces or vehicles, inter-cooling of compressors, power plant condensers and production processes (steel, glass, cement).

3.2 Solar thermal power

As an alternative to photovoltaic cells, concentrated solar power plants produce electricity using the Organic Rankine Cycle. The parabolic solar collectors reflect the sunlight and heat up pipes that contain thermal oil. The heat absorbed in the thermal oil is later introduced to the organic fluid through a heat exchanger.

3.3 Biomass power plants

Power plants that use biomass as fuel often have high investment costs regarding the boiler due to high working pressures of water. Applying ORC technology in these plants eliminates the need for such high pressures and lowers the investment costs.

This application of the Organic Rankine Cycle most commonly includes an intermediate cycle with thermal oil, so that the oil transfers the heat from the fuel combustion to the organic fluid in the power cycle.

3.4 Geothermal power plants

Geothermal power plants produce 73% of the electricity generated with ORC technologies [2]. Geothermal energy sources are characterized by their diversity and their reliability for electricity generation. When the geothermal field in question is vapor dominated, then it is practical to use a direct cycle. However, liquid dominated fields are much more common, so binary cycles, and ORC specifically, are predominant in generating electricity from these sources.

Since every geothermal reservoir has different chemical and thermal conditions, geothermal fluids are not uniform. Consequentially, to ensure the plant's stable operation, thorough analysis of the geothermal reservoir must be performed. This results in a diverse range of ORC plants, using different pressures, temperatures, equipment and working fluids to maximize the plant's efficiency.

4 ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF THE ORGANIC RANKINE CYCLE

The Organic Rankine cycle is a binary cycle, which means that the geothermal fluid does not come in direct contact with the plant's equipment, such as the expander, condenser and pump, lowering the risks of corrosion. However, the main advantage of ORC technology comes from the utilization of an organic working fluid which has three main qualities:

- Low boiling point;
- High molecular mass;
- 'Leaning' saturation curve.

Evaporating at lower temperatures than water allows for use in low to medium temperature sources, while high molecular mass ensures lower enthalpy drops, thus simplifying the design of the expander. Furthermore, the shape of the organic fluid's saturation curve makes possible for the expansion to occur in dry conditions, decreasing the possibility of corrosion in the expander and allowing for a cycle without superheater [3].

Compared to classical air or water cycles, the Organic Rankine Cycle performs much better in limited heat sources. Air or gas cycles have negative efficiency in sources with temperature lower than 250°C, while at 450°C the cycle efficiency barely reaches 8%. Water cycles make up for some of the air cycle's shortcomings, however, the application of a water cycle warrants the use of a steam turbine with multiple stages, complex plant design and wet expansion, which increases the costs of the plant [4]. For these reasons, water cycles are inadequate for application in low temperature sources, such as geothermal sources.

While the Organic Rankine cycle provides a viable solution for the exploitation of geothermal sources, there are some disadvantages that must be taken into consideration.

Every geothermal reservoir has different properties, such as thermophysical and chemical qualities of the geothermal fluid and availability and quantity of the fluid. Detailed examinations of the reservoir must be performed in order to obtain crucial information needed to evaluate whether and in what way the heat source can be exploited. Thanks to the non-uniform nature of geothermal reservoirs, each reservoir requires different ORC design, from the duration of the plant's operation to the selection of working fluid and cycle parameters. Due to these circumstances, it can be concluded that ORC plants have high investment costs.

Moreover, the organic working fluids are often flammable or toxic and consequentially the costs are even further increased due to the need for additional safety equipment.

The fluids' high molecular mass results in relatively high electricity consumption of the pump, while the characteristically large amount of heat disposed of through the condenser demands additional electricity consumption for the ventilators used for cooling. These two factors significantly impact the cycle efficiency.

5 WORKING FLUID SELECTION

There are three important parameters to define when designing an ORC plant [5]:

- Working fluid;
- Condensation temperature;
- Turbine technology.

The type of working fluid selected for the given plant impacts the complete thermodynamical cycle, cycle efficiency, cost of the equipment, safety measures, etc. Since the choice of working fluid plays an important role in the plant design, there are a number of important criteria that should be fulfilled.

Starting from the thermophysical properties of the fluid, lower critical pressures are preferred. Thermal stability in the given temperature range is another important aspect, since organic fluids are more prone to chemical decomposition at higher temperatures of the heat source. Good heat transfer of the working fluid decreases the surfaces of the heat exchangers, therefore reducing the cost. Moreover, to minimize the power consumption of the pump, fluids with lower viscosity should be used.

Working fluids with boiling temperatures between 0°C and 100°C and critical temperatures lower than 200°C are easier to handle than others. The critical temperature also plays an important role in the enthalpy drop in the expander. To ensure higher power output of the cycle, higher enthalpy drops are required.

Additionally, the working fluid should have an isentropic or positive saturation curve. Fluids with negative saturation curves have 'wet' expansions, leading to the formation of droplets at the end of the expansion [6].

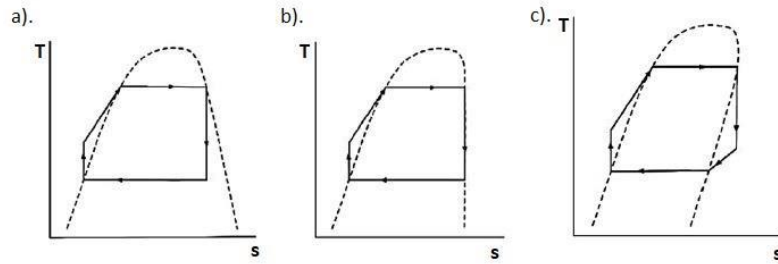


Figure 3. T-s diagrams of fluids with different saturation curves: a). wet, b). isentropic and c). dry

To avoid the implementation of added safety measures, the fluid of choice should be non-flammable and non-toxic. Although it is possible to operate with flammable and toxic fluids, it is not recommended since it further increases the cost of the plant.

Lastly, to determine whether the fluid is environmentally acceptable, two indices are used. Global Warming Potential (GWP) is an index that shows the relationship between the amount of heat retained due to a certain amount of the fluid in question and the heat retained due to the same amount of carbon dioxide. On the other hand, Ozone Depletion Potential (ODP) is an index that shows the relationship between the global loss of ozone due to different substances and the global loss of ozone due to the specific working fluid in question.

A number of working fluid types are available for use in ORC plants: CFC, HCFC, HFC, FC, HC and HFO. From a technical point of view, all of these groups are acceptable. However, CFCs and HCFCs are banned due to their high ODP, while HFCs are phased out due their GWP [7].

Table 1. Classification and qualities of some relevant organic working fluids

Organic fluid	Chemical class	Critical temperature T_c [°C]	Critical pressure P_c [bar]	ODP (relative to R11)	GWP (relative to CO ₂)
R123	HCFC	184	36.6	0.02	77
R125	HFC	66	36.2	0	3500
R134a	HCF	101	40.6	0	1430
R143a	HCF	72.7	37.6	0	4470
R152a	HCF	113	45.2	0	124
R227ea	HCF	103	30	0	3220
R245fa	HCF	154	36.4	0	1030
R600	HC	152	38	0	≈20

6 ORC APPLICATION IN GEOTHERMAL POWER PLANTS

Different types of binary cycles can be applied to geothermal power plants, generally divided into four categories: subcritical, supercritical, bottoming and combined cycles.

Subcritical systems are consisted of one or multiple pressure levels. In systems where there is only one pressure level, the organic fluid accepts the heat from the geothermal fluid and proceeds to expand in a turbine. In a double pressure level system, which is a quite common configuration, the organic fluid is fed into two turbines, or in one double pressure turbine at two different pressures. Triple pressure level configurations are also possible.

In supercritical systems, the organic fluid is in the supercritical state at the inlet of the turbine. These cycles are adequate for achieving lower reinjection temperatures.

Bottoming cycles and combined cycles are used in geothermal sources, where a sufficient portion of the geothermal fluid is steam. In these cases, the fluid is separated, so that the gas phase is fed into a steam turbine, while the liquid phase is used in heat exchangers to vaporize a secondary organic fluid. These cycles are mainly meant to exploit higher enthalpy sources.

6.1 Commercial geothermal power plants using ORC technology

Currently, the field of ORC technology is dominated by two prominent companies – Ormat and Turboden, while the company Exergy seems to be on the rise [8]. There are multiple examples of successful geothermal ORC plants exploiting heat sources with different levels of enthalpy and utilizing a variety of configurations.

6.1.1 Pamukören Geothermal ORC Plant in Turkey

This 112.5 MW power plant was designed and constructed by Atlas Copco in consortium with Exergy (process specialist) and SPIG (air-cooled condenser specialist). The plant makes use of a single-pressure configuration and n-butane as the organic working fluid of choice [9]. Multiple modules are incorporated in the plant, each one having a 22.5 MW net electric power output capacity [10].

6.1.2 Turboden geothermal power plants in Bavaria

Although Turboden's main activities are associated with ORC biomass applications, the company has multiple successful geothermal projects, such as the three 5 MW geothermal power plants in Bavaria. These plants utilize the double pressure level principle, significantly improving the cycle performance. Each plant uses R245fa as working fluid and air cooled condensers [11].

6.1.3 McGinness Hills Complex in the USA

The McGuinness Hills power plant is one of Ormat's highest achievements. It is consisted of three ORC modules, whose combined gross power outputs amount to 44 MW. The geothermal fluid enters the cycle with 165°C, after which it is reinjected at 70°C [12]. This plant's efficiency is 10%, with the well pumps representing the largest portion of auxiliary power consumption.

7 CONCLUSION

In conclusion, the Organic Rankine cycle employs organic working fluids, whose properties allow for the cycle to exploit low to medium heat sources with much higher performances than the traditional air or water cycles. Geothermal power plants represent the largest portion of ORC applications.

Geothermal heat sources can be successfully exploited by ORC plants because of the numerous advantages that come with the use of an organic fluid, including lower boiling points and 'dry' expansion. However, due to the organic fluid's physical properties, the pump consumes a large amount of the generated electricity, therefore significantly lowering the cycle's efficiency. To maximize the cycle's efficiency, a fluid selection process must be conducted for each geothermal source separately. The selection depends on a number of factors, such as the thermophysical properties of the working fluid and its environmental impacts. Aside from the working fluid, the performance of geothermal ORC plants also depends on the configuration applied to the plant. It is evident from the listed that geothermal ORC plants can have a variety of configurations and power output capacities.

8 REFERENCES

- [1] Tartière T, Astolfi M, “A World Overview of the Organic Rankine Cycle Market”, IV International Seminar on ORC Power Systems, ORC2017, Milano, Italy, 13-15 September, 2017, p. 4
- [2] Rettig A, Lager M, Li S, Mahadea V, McClion S, Chernushevich J. Application of organic Rankine cycles (ORC). World Engineers’ Convention, Geneva, Switzerland, 4–9 September; 2011, p. 3
- [3] Qui G, Selection of working fluids for micro-CHP systems with ORC, Volume48, Renewable Energy, 2016, p. 568
- [4] Macchi E, 1 – Theoretical basis of the Organic Rankine Cycle. In Macchi E, Astolfi M, Organic Rankine Cycle (ORC) Power Systems, Woodhead Publishing Series in Energy: Number 107, 2016, p. 7-18
- [5] Spadacini C, Xodo L. G, Quaia M, 14 – Geothermal energy exploitation with Organic Rankine Cycle technologies. In Macchi E, Astolfi M. Organic Rankine Cycle (ORC) Power Systems, Woodhead Publishing Series in Energy: Number 107, 2016, p. 494
- [6] Quoilin S, Lemort V, Technological and Economical Survey of Organic Rankine Cycle Systems, 5th European Conference: Economics and Management of Energy in Industry, 14-17 April, 2009, p. 6
- [7] Calm J. M, The next generation of refrigerants – Historical review, considerations, and outlook, International journal of refrigeration 31, 2008, p. 1125-1126
- [8] Bronicki L. Y, 2 – History of Organic Rankine Cycle systems, Geothermal energy exploitation with Organic Rankine Cycle technologies. In Macchi E, Astolfi M. Organic Rankine Cycle (ORC) Power Systems, Woodhead Publishing Series in Energy: Number 107, 2016, p. 63
- [9] Agahi R, Pamukuren Geothermal Organic Rankine Cycle Power Plant in Turkey, GRC Transactions, Vol. 36, 2012, p. 1058
- [10] Agahi R, Valdimarsson P, Field Performance Evaluation of the Largest Geothermal Organic Rankine Cycle Plant, Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015, p. 1
- [11] Bonafin J, Del Carria M, Gaia M, Duvia A, Turboden Geothermal References in Bavaria: Technology, Drivers and Operation, Proceedings World Geothermal Congress 2015 Melbourne, Australia, 19-25 April 2015, p. 1-8
- [12] Nordquist J, Delwiche B, The McGinness Hills Geothermal Project, GRC Transactions, Vol. 37, 2013, p. 62



Dejan Tasić¹, Alen Krunic²

¹ University of Maribor, Faculty of Energy Technology, Krško, Slovenia

¹dejan.tasic@student.um.si

²alen.krunic@student.um.si

RENEWABLE ENERGY SOURCES IN SLOVENIA: DETERMINING POSSIBLE DEVELOPMENT TREND UNTIL 2020 WITH GEOMETRIC BROWNIAN MOTION

ABSTRACT

Renewable energy sources (RES) in Slovenia present an increasing share of energy each year. They also present environmental and economic importance in the country. Renewable energy has become an important sector in a global aspect and it is undoubtable that in order to achieve energy sustainability, we will need to use sustainable energy in the future to preserve our planet on a global scale. This paper presents the statistical data from Eurostat, where the statistics of renewable sources in Slovenia are analyzed from 2004 to 2016. On the basis of this data, simulations (in MatLab by MathWorks) for all renewable energy carriers in Slovenia are conducted by using a stochastic process of geometric Brownian motion (GBM) for the time period 2017-2020. This article tends to determine if Slovenia will achieve target objectives of European directive for renewable energy sources until 2020 and elaborate the scenarios that were given on the basis of the original data.

Keywords: *Renewable energy sources, GBM, Slovenia.*

1 INTRODUCTION

Renewable energy in Slovenia plays an important role, especially in our times, when it is essential to reduce greenhouse gases and the usage of fossil fuels. The European Union (EU) is taking huge measures to battle this problems by promoting renewable energy through an overall policy. As a part of the EU, Slovenia is bounded to the 2020 Energy Strategy with Directive 2009/EC/28 [1] and is determined to fulfill the objectives of the EU. In this respect, it is important to estimate the usage of RES in all terms; for generating electricity, transport and for heating and cooling. The goal of the project is to determine, if Slovenia will reach the EU's target objectives until 2020 and the assessment of the possible direction (outcome) in which Slovenia is headed (in terms of the given scenario).

2 LEGAL GROUNDS FOR DEVELOPMENT OF RENEWABLE ENERGY SOURCES

Regulation, responsible for the development of renewable energy sources in the European Union and Slovenia is Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 (Directive). This Directive promotes the usage of RES, the increase of technological improvements and serves for establishing a sustainable competitive energy policy and economic growth through innovation and incentives. The Directive with an accordance to 2020 Energy Strategy sets achievable objectives until 2020: reducing carbon dioxide (CO₂) emissions by 20 %, achieving energy savings of 20 % or more, a 20 % target goal for the overall share of renewable energy sources and a 10 % target goal for energy from renewables in transport [1]. By adopting National Renewable Energy Action Plan (NREAP) [2], Slovenia has obliged that the national overall target for the share of energy from renewable sources in gross final consumption of energy in 2020 will be 25 % and the national overall target for the share of renewables in transport will be 10 %.

3 STATISTICS OF RENEWABLE ENERGY SOURCES IN SLOVENIA

This paper uses data from a statistical report from Eurostat and it covers chronological data regarding renewable energy sources (its carriers) in kilotonne of oil equivalent (ktoe) and share (in %) from the time period 2004-2016. The measurement unit, representing energy in the data is ktoe, conversion into MWh is:

$$1 \text{ [ktoe]} = 11.630 \text{ [MWh]} \quad (1)$$

Eurostat divides renewable energy sources into three branches: renewable electricity, renewables in transport and renewables for heating and cooling. Sources regarded as renewable electricity include solar energy (includes solar photovoltaics and solar thermal generation), wind energy, hydro energy, as well as solid biofuels and other renewables (gaseous and liquid biofuels, renewable municipal waste and geothermal energy). Sources accounted for being renewables in transport are renewable electricity in rail transport (ren. e. in rail transport in Table 2), renewable electricity in all other transport modes (ren. e. – all other modes in Table 2) and compliant biofuels. Renewables in heating and cooling (RES – H&C) include final energy consumption (includes all elements of "final consumption of energy" other than electricity and for other purposes than transport) and derived heat. The statistical data of RES in the years 2004-2016 are presented in Table 1, Table 2, Table 3, Table 4 and Picture 1.

Table 1. Renewable electricity in Slovenia in the years 2004-2016 (Source: Eurostat)

Renewable electricity in the years 2004-2010 in ktoe							
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
All sources – Electricity	1.248,1	1.271,9	1.303,4	1.313,2	1.272,6	1.147,4	1.215,4
Hydro energy	354,9	354,7	358,5	353,9	356,4	370,8	371,6
Wind energy	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Solar energy	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3	1,1
Solid biofuels	7,8	7,0	6,5	5,6	10,0	10,3	10,3
All other renewables	2,6	2,8	3,0	4,1	4,8	5,9	8,4
RES – Electricity	29,27 %	28,65 %	28,23 %	27,70 %	29,96 %	33,76 %	32,20 %
Renewable electricity in the years 2011-2016 in ktoe							
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
All sources – Electricity	1.250,5	1.247,5	1.248,4	1.239,9	1.269,9	1.293,6	
Hydro energy	360,9	357,7	371,9	376,4	368,8	367,3	
Wind energy	0,0	0,0	0,3	0,5	0,5	0,6	
Solar energy	5,6	14,0	18,5	22,1	23,6	23,0	
Solid biofuels	10,8	9,8	10,2	10,7	11,3	11,7	
All other renewables	10,9	13,2	12,1	11,2	11,4	12,2	
RES – Electricity	31,04 %	31,63 %	33,09 %	33,94 %	32,73 %	32,06 %	

Table 2. Renewables in transport in Slovenia in the years 2004-2016 (Source: Eurostat)

Renewables in transport in the years 2004-2010 in ktoe							
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
All sources – Transport	1.354,6	1.442,6	1.522,7	1.726,2	2.032,9	1.712,1	1.770,5
Ren. e. in rail transport	4,5	4,7	4,7	4,6	4,6	3,5	4,2
Ren. e – all other modes	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
Compliant biofuels	0,0	0,0	4,1	13,8	24,6	29,7	44,6
RES – Transport	0,35 %	0,35 %	0,60 %	1,08 %	1,44 %	1,95 %	2,77 %
Renewables in transport in the years 2011-2016 in ktoe							
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
All sources – Transport	1.874,2	1.890,7	1.796,7	1.782,6	1.765,6	1.875,8	
Ren. e. in rail transport	4,6	4,2	3,9	3,6	4,1	4,7	
Ren. e – all other modes	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	
Compliant biofuels	35,0	51,0	58,0	42,4	29,1	18,2	
RES – Transport	2,12 %	2,93 %	3,46 %	2,58 %	1,89 %	1,23 %	

Table 3. Renewables in heating and cooling in Slovenia in the years 2004-2016 (Source: Eurostat)

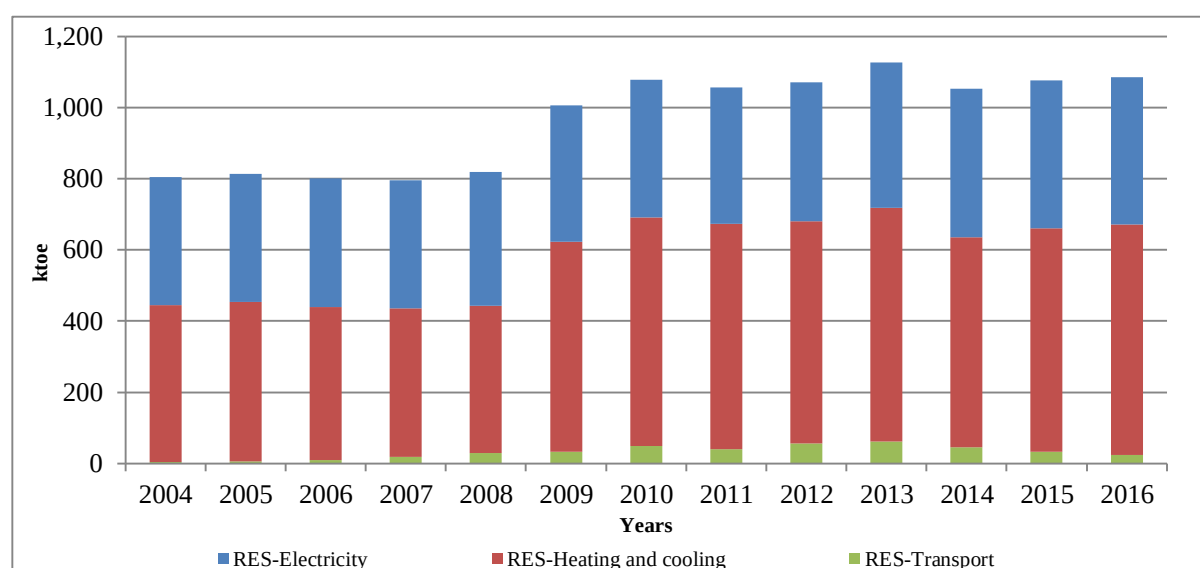
Renewables in heating and cooling in the years 2004-2010 in ktoe							
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
All sources – H&C	2.391,2	2.369,9	2.314,4	2.044,4	2.149,0	2.158,3	2.265,0
Final energy consumption	430,0	439,6	420,4	407,2	401,0	570,5	619,1
Derived heat	9,7	9,4	9,0	9,8	12,4	18,7	23,0
RES – H&C	18,39 %	18,95 %	18,55 %	20,40 %	19,24 %	27,30 %	28,35 %
Renewables in heating and cooling in the years 2011-2016 in ktoe							
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
All sources – H&C	2.094,9	1.969,6	1.946,3	1.772,3	1.841,0	1.904,6	
Final energy consumption	608,7	595,6	626,0	561,4	592,5	612,3	
Derived heat	24,8	29,6	29,6	28,3	34,7	35,4	
RES – H&C	30,24%	31,74 %	33,69 %	33,27 %	34,07 %	34,01 %	

Table 4. Gross final consumption of RES (GFC-RES), gross final consumption of energy (GFCE) and share of RES in Slovenia in the years 2004-2016 (Source: Eurostat)

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
GFC-RES*	810	818	807	799	824	1.010	1.083	1.061	1.075	1.131	1.057	1.076	1.086
GFCE*	4.994	5.084	5.141	5.084	5.454	5.018	5.251	5.220	5.108	4.991	4.795	4.877	5.074
RES [%]	16,22	16,10	15,69	15,72	15,11	20,13	20,62	20,34	21,05	22,65	22,04	22,07	21,39

*Values of GFC-RES and GFCE are in ktoe.

These tables present statistics of renewable energy sources in Slovenia in the years 2004-2016. The biggest renewable source for electricity generation (Table 1) is hydro energy, solar energy follows second, the rest are negligible. Compliant biofuels are the biggest source as renewable aggregate for transport (Table 2), the rest are almost non-existent. Final energy consumption presents the largest share in heating and cooling (Table 3). In 2015, 94 % of all renewables in heating and cooling were comprised of this source, while the remaining 6 % goes to derived heat. There was a considerable increase in the gross final consumption of energy from renewable energy sources (Table 4 and Picture 1) from 2008 to 2009. In the time period 2004-2016, the maximum value was reached in 2013 (1.131 ktoe). The gross final consumption of energy from all sources (Table 2) was rising until 2008 and then fell overall until 2014. Share of renewable energy sources in Slovenia (Table 2) rose from 16,15 % in 2004 to 21,39 % in 2016.

**Picture 1. Renewable energy sources in Slovenia in the years 2004-2016**

4 MODELLING THE STRUCTURE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES WITH GEOMETRIC BROWNIAN MOTION

The simulation process, with intention to simulate data (acquired from Eurostat) for the time period 2017-2020, is conducted with geometric Brownian motion (GBM). A GBM process was chosen for this process, because it is often used to model financial processes (stock prices) and population growth which are both subject to random noise. The process with these simulations is quite similar to those processes. A geometric Brownian motion X_t is the solution of a stochastic differential equation (SDE) with diffusion coefficients and drift [3]. A stochastic process (with continuous variables in time) may be described by SDE with a typical form:

$$dX_t = \mu X(t)dt + \sigma X(t)dW_t; \quad X_0 = \varepsilon \quad (2)$$

where: $\mu(t)$ – drift coefficient, $\sigma(t)$ – diffusion coefficient, W – Wiener process, ε – random variable and X_0 – initial value.

$\mu(t)$ and $\sigma(t)$ are both $f(t)$, although in these models, the coefficients are presented as constants (μ and σ). In probability theory, a stochastic process implies that the movement or value of random variables behaves randomly or erratically (stochastically) over time. The erratic behavior is therefore subject to random noise. In probability theory, variance $var(W)$ measures how far a set of random values are scattered (spread) from their mean values [4]. Simplified:

$$var(W) = \sigma^2 t; \quad \text{for some positive constant } \sigma^2 \quad (3)$$

where: $var(W)$ – variance, σ – volatility and t – time. In a differential form, Brownian Motion with drift can be written as:

$$dX_t = \mu dt + \sigma dW_t; \quad X_0 = 0 \quad (4)$$

where $W = \{W_t : t \in [0, \infty)\}$ is a standard Brownian motion and geometric Brownian motion is the exponential of this process:

$$X_t = e^{\left[\left(\mu - \frac{\sigma^2}{2}\right)t + \sigma W_t\right]}; \quad t \in [0, \infty) \quad (5)$$

where μ – drift parameter and σ – volatility parameter. With the use of Ito's calculus, the equation (5) is derived as an analytical solution from a differential equation (4). Because $X_0 = 1$, the process starts at 1, by changing this to $\{X_0 X_t : t \in [0, \infty)\}$, GBM starts at X_0 .

Since the data is subject to random noise, for its only known parameter (deterministic part) is the basis of historical data (from 2004 to 2016), the simulation is based purely on mathematical basis. All other parameters that would require immense information in fields of economics, law and politics are not considered in this process. As GBM requires a large amount of time steps, the period of 4 years (2017-2020) is divided into days (1460 days), also 1000 simulations for each energy carrier are performed for more accurate results. For the purpose of the numerical simulation, an iterative equation is used:

$$X_{i+1} = X_i + X_i(\mu \Delta t + \sigma R_i \sqrt{\Delta t}) \quad [\text{ktoe}] \quad (6)$$

where: X_{i+1} – value at time step $i+1$ [ktoe], X_i – value at time step i [ktoe], μ – drift parameter (determines the asymptotic behavior of GBM), σ – volatility parameter (degree of variation over time) and R_i – random Gaussian distribution value [5].

Last, two important parameters for the simulation are volatility parameter σ and drift parameter μ . To calculate the drift and volatility, estimations of the expected values and variations of the data $\ln(S_{i+1}/S_i)$ have to be computed, where S_i is amount of energy per year in units (ktoe), whereas i is a period of time (year). The expected values and variations, based on a 13 year time period ($n = 13$) are calculated with the following formulas:

$$\bar{U} = \frac{1}{n-11} \sum_{i=1}^{i=n-1} \ln\left(\frac{S_{i+1}}{S_i}\right) \quad (7)$$

and

$$S^2 = \frac{1}{n-11} \sum_{i=1}^{i=i-1} \left(\ln\left(\frac{S_{i+1}}{S_i}\right) - \bar{U} \right)^2 \quad (8)$$

where: $\bar{U}$ – expected value and S^2 – expected variation. As drift and volatility are to be set in days, it is set $\Delta t = 365$ days. Thus:

$$drift = \mu = \bar{U} + \frac{S^2}{2} \quad (9)$$

and

$$volatility = \sigma = S \quad (10)$$

5 SIMULATION OF THE STRUCTURE OF RENEWABLE ENERGY SOURCES

Values of each type of renewable source and values from the total sum in each branch (total - electricity, total – transport and total – H&C) are simulated from 2017 to 2020 on a daily basis, although the mean values are presented on a yearly basis (Table 5). The drift and volatility parameters are assessed (Table 5), but due to unreasonable values (that would distort the final results completely) from some renewable energy carriers (solar energy, other renewables, compliant biofuels and derived heat), those values contain the same values as in 2016 and continue to be the same until 2020 (assumed that they stagnate).

As seen from Table 5, hydro energy will stay a relatively stable renewable energy source in Slovenia, the amount of wind energy will see an increase until the year 2020 but will remain negligible in gross final consumption of RES. As the results from simulations of solar energy and other renewables were distorted due to μ and σ (Table 5), the values are the same as in 2016 (Table 1). Concerning renewables in transport, there is no increase in neither renewable source in transport. And it was simulated that only final energy consumption will increase tremendously in the years 2017-2020 (from 612,3 ktoe in 2016 to 863,4 ktoe in 2020).

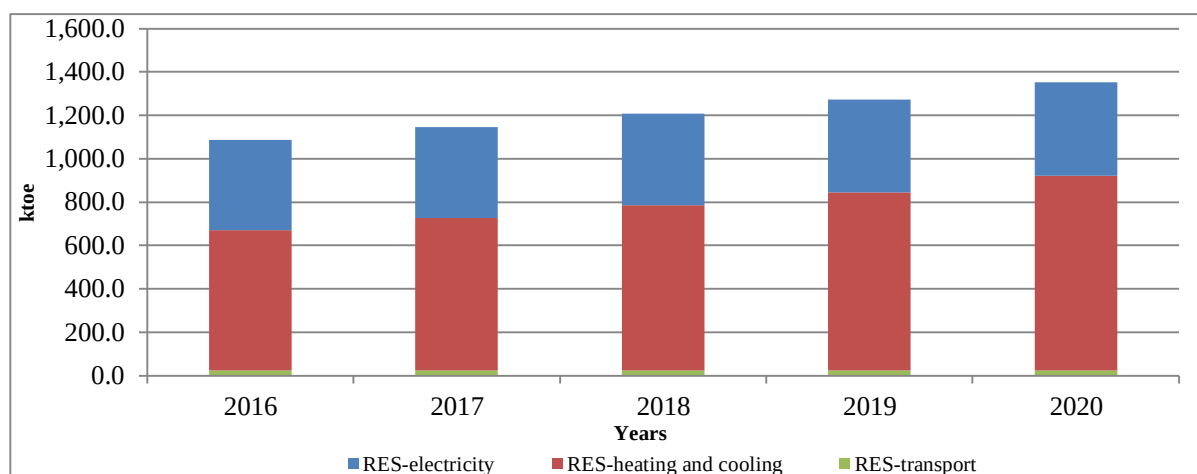
Table 5: Simulation of the structure of renewable energy sources in the years 2017-2020

	Drift μ	Volatility σ	2016	2017	2018	2019	2020
Total – Electricity	0,0032	0,0398	1.293,6	1296,7	1302,0	1303,9	1307,3
Hydro energy	0,0039	0,0208	367,3	368,6	369,2	370,5	371,6
Wind energy	0,1972	0,1006	0,6	0,8	1,2	1,7	2,5
Solar energy	1,2469	0,6334	23,0	23,0	23,0	23,0	23,0
Solid biofuels	0,0552	0,1456	11,7	13,4	15,7	18,6	21,7
All other renewables	0,1545	0,1428	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2
RES-Electricity			32,06 %	32,24 %	32,36 %	32,67 %	32,97 %
Total – Transport	0,0313	0,0851	1.875,8	1984,1	2098,8	2204,6	2312,2
Ren. e. in rail transport	0,0048	0,1178	4,7	4,8	4,8	4,9	4,9
Ren. e – all other modes	0,0307	0,2272	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4
Compliant biofuels	0,4454	0,4538	18,2	18,2	18,2	18,2	18,2
RES-Transport			1,23 %	1,17 %	1,11 %	1,06 %	1,02 %
Total – Heating and cooling	-0,0206	0,0563	1904,6	1861,1	1815,8	1772,3	1732,9
Final energy consumption	0,0422	0,1142	612,3	669,5	726,5	787,4	863,4
Derived heat	0,1354	0,1389	35,4	35,4	35,4	35,4	35,4
RES-Heating and cooling			34,01 %	37,88 %	41,96 %	46,43 %	51,87 %

Table 6: Gross final consumption of RES (GFC-RES), gross final consumption of energy (GFCE) and share of RES in the years 2017-2020

	2017	2018	2019	2020
GFC-RES	1146,1	1206,5	1272,2	1353,3
GFCE	5141,9	5216,6	5280,8	5352,39
RES [%]	22,29 %	23,13 %	24,09 %	25,28 %

As seen from Table 6 and Picture 2., RES in Slovenia will continue to rise steadily in the years 2017-2020 and so will the gross final consumption of energy. Renewables in heating and cooling will represent the largest portion of RES in Slovenia, renewable electricity will follow second and renewables in transport will represent a negligible share in gross final consumption of RES in Slovenia. Share of RES will slowly rise in the same time period, reaching 25,28 % in 2020.



Picture 2. Renewable energy sources in the years 2016-2020

6 CONCLUSION

This article was investigating possible development scenario for renewable energy sources in Slovenia. The derived sequences should be treated only as a possible scenario for the development of RES in Slovenia. With GBM simulations, we predicted that Slovenia will reach the 2020 target goal partially. Slovenia's objective goal for renewable energy sources was a 25 % target goal for the overall share of RES which, according to simulations, Slovenia will achieve (in 2020; overall share of RES: 25,28 %). Still, Slovenia will fail to reach a 10 % target goal for energy from renewables in transport. According to simulations, the share of renewables in transport will only be 1,02 % in 2020. Slovenia's progress with renewable energy sources will not be enough to reach all of the objectives, that were set to be achieved until 2020. Nevertheless, this simulation is just one scenario for the development of RES, where it must be pointed out, that it is based only on the basis of previous historical data. For assessing the development of renewable energy sources, there are many parameters that have to be taken into account. The parameters are often unpredictable (and were therefore not considered in this research) because of changes in the legislation, politics and economics. Because the prediction of the direction of renewable energy sources is very stochastic, by only changing few assumptions, we may obtain different results. Even with a mathematically assessed risk and standard deviation, there is still uncertainty if the development (trend) is correct. Regardless of the results, the development of renewable energy sources is rising in Slovenia. The presented methodology of modelling such development processes seems to be a good analytical tool, surely requiring further research.

7 REFERENCES

- [1] Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC
- [2] *National Renewable Energy Action Plan 2010-2020 (NREAP) Slovenia*, Ljubljana, 2010
- [3] C. Pacati: *Brownian motion and Geometric Brownian Motion: Graphical representations*, 2012. Available on: <http://www-users.math.umn.edu/~grayx004/pdf/FM5002/BMandGBMdoc.pdf> [2.11.2018]
- [4] P. E. Kloeden, E. Platen, H. Schurz: *Stochastic Differential Equations Numerical Solution of SDE Through Computer Experiments*, New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p.p. 63-90., 2003
- [5] *Geometric Brownian Motion*. The University in Alabama at Huntsville. Available on: <http://www.randomservices.org/random/brown/Geometric.html> [2.11.2018]



Деспина Ристова
Електротехнички Факултет, Универзитет „Гоце Делчев“, Штип
despina_ristova@yahoo.com

ТЕХНОЛОГИИ И АПЛИКАЦИИ ЗА КОНВЕРЗИЈА НА ЕНЕРГИЈА ОД БИОМАСА

КУСА СОДРЖИНА

Обновливите извори на енергија и технологии се сметаат за чисти извори на енергија, а оптималното користење на овие ресурси ги минимизира влијанијата врз животната средина, произведува минимум секундарен отпад и се одржува врз основа на сегашните и идните економски и социјални општествени потреби. Постојат различни технологии за производство на современи енергетски носачи – струја, гас, течни горива од биомаса, која може да се користи во домаќинствата (~ 10 kW), комуналиите (~ 100kW) или индустријата (~ MW). Различните технологии имаат тенденција да бидат класифицирани во поглед на процесот на конверзија што го користат, или произведениот процес. Овој труд дава сеопфатен преглед на главните видови на обновлива енергија од биомасата (биоенергијата). Меѓутоа, концептот на обновлива енергија мора внимателно да се воспостави, особено во случај на биомаса. Трудот ја анализира одржливоста на биомасата, споредувајќи различни методи за енергетски импликации, како што се согорување, гасификација, анаеробна дигестија и течни биогорива; и се дискутира за потребата од статистички информации, со што ќе се овозможи изработка на сценарија релевантни за целите на обновливите извори на енергија во Република Македонија.

1 ВОВЕД

Енергијата од биомаса се добива преку согорување или обработка на органски материи кои потекнуваат од растенија, вклучувајќи ги и алгите, дрвата и житните култури. Во суштина, биоенергијата е собирање и складирање на енергијата од сонцето преку фотосинтеза. Енергијата од биомаса или биоенергијата е конверзија на биомаса во корисни форми на енергија како што се топлина, електрична енергија и течни горива. Биомасата која служи за создавање на биоенергија, доаѓа директно од земјата во форма на енергетски култури, или од остатоци генерирани при преработка на култури за храна или други производи како што се пулпа и хартија од дрвената индустрија. Друг важен извор се пост-потрошувачките остатоци или пелети кои се користат во транспортот, и чистата фракција од комуналниот цврст отпад. Сепак треба да се знае дека не целата биомаса директно се користи за производство на биоенергија, туку може да се претвори во средно енергетски превозници наречени биогорива. Ова вклучува јаглен (цврсто гориво со висока енергетска густина), или гас (кој се добива при гасификацијата на биомасата, за кој процес ќе зборувам подоцна).

Токму поврзувајќи се на оваа тема за нови технологии и апликации, вредно е да се коментира улогата на биомасата во идните модерни планови за производство на електрична енергија. Модернизираната енергија од биомаса е проектирана да игра главна улога во глобалното снабдување со енергија. Предноста на биомасата е во тоа што не е управувана од фосилните горива, кои воедно се и главна закана за животната средина при нивното согорување. Јаглеродната неутралност на биомасата (кога се произведува одржливо), како и релативната

рамномерна географска дистрибуција во комбинација со очекуваниот раст на побарувачката на енергија, ја прават биомасата ветувачки извор за производство на енергија во 21 век.

2 ТЕХНОЛОГИИ И АПЛИКАЦИИ

Постојат повеќе комбинации на технологии за генерирање модерни облици на енергија од биомаса – гас, електрична енергија, течни горива, кои истите може да се користат во домаќинствата, комуналиите и индустријата. Различните технологии се класифицираат во групи соодветно на процесот на конверзија што го користат, или производениот процес. Според тоа, во овој труд ќе бидат обработени технологии кои се најкористени, воедно и остварливи на тлото на Република Македонија, а овде спаѓаат согорувањето, гасификацијата, анаеробната дигестија и течните биогорива.

2.1 Согорување

Директното согорување е најчеста техника за добивање на енергија од биомаса за производство на топлина и електрична енергија. Во регионите со постудена клима, системите за греење со погон на оган се широко распространети и последните истражувања доведоа до примена на подобрени системи за греење кои се автоматизирани, имаат каталитичко гасно чистење и користат стандардизирано гориво (пелети). Коефициентот на ефикасност во споредба со отворените камини е далеку понапреден, со тоа што ефикасноста е над 70% со значително намалена емисија на штетни атмосферски гасови. Примена на греење од биомаса е честа појава во скандинавските земји, Австрија, Германија и земјите од Источна Европа, а актуелен тренд станува и кај нас. Доминантна технологија која спаѓа во технологија на согорување во светот денес за производство на електрична енергија од биомаса на скала над еден мегават, е Ранкин - циклусот на пареа. Овој циклус се состои од директно согорување на биомасата во котел за да се подигне пареа која потоа се проширува низ турбина. Ранкин циклусот е зрела технологија воведена во комерцијална употреба пред околу сто години. Типичниот капацитет на електраните на биомаса се движи околу 1 до 50 MWe, со просек околу 20 MWe. Ефикасноста на конверзија на енергијата е релативно ниска, 15-25% поради малата големина на турбините, иако технологиите и процесите за зголемување на оваа ефикасност постојано се развиваат. Фабриците за циклус на пареа најчесто се наоѓаат во индустриски локалитети, каде вишокот топлина од парната турбина се обновува и се користи за задоволување на потребите за топлинска енергија во индустриските процеси. Ваквите комбинирани системи за топлина и енергија, обезбедуваат поголеми нивоа на енергетски услуги на единица биомаса од системите кои само генерираат енергија, па според тоа парните турбини кои работат на биомаса можат да достигнат ефикасност и до 80% поголема од обичните турбини.

Според податоците од програмата за развој на енергетиката во РМ до 2016 година, биомасата за согорување е значаен енергент кои ги задоволува потребите од енергија во Македонија со застапеност од 10,9% во потрошувачката на финална енергија во 2011 година. Биомасата е најчесто користена во домаќинствата со околу 30-33% од вкупните потреби од енергија. Најзастапена суровина од вкупната биомаса која се користи за енергетски потреби е дрвото. Во РМ се користи и дел од гранките од винова лоза, оризови лушпи и гранки од овошни дрвја за енергетски цели. Исто така голем дел од сламата главно се користи за ѓубрива, сточна храна и за добивање целулоза, што ја прави недостапна за енергетски цели. Потрошувачката на биомаса за согорување во 2016 година изнесувала 228 ktOE (2652 GWh), од кои потребни се само 226 ktOE (2628 GWh).

2.2 Гасификација

Согорениот гас може да се произведува од биомаса преку термохемиски процес со многу висока температура. Терминот гасификација често се однесува на ваквата термохемиска постапка со производствен гас, наречен гас-производител, и вклучува горење на биомасата без доволно количество воздух за целосно согорување, но со задоволена количина за претворање на цврстата биомаса во гасовито гориво. Гасот- производител се состои главно од јаглерод моноксид, водород, јаглерод диоксид и азот, и има топлинска вредност од 4 до 6 MJ/Nm³, или

10-15% од вредноста на греењето на природниот гас. Предвидената употреба на гасот и карактеристиките на одредената биомаса (големина, содржина, влага, итн) ги одредуваат дизајнерските и оперативните карактеристики на гасификаторот и придружната опрема. По соодветен третман, добиените гасови може да се изгорат директно, за готвење или снабдување со топлина, или може да се користат во секундарни уреди за конверзија како што се внатрешни мотори со согорување или гасни турбини за производство на електрична енергија. Системите кои што се користат се на скала од 5-100 kW (мали и средни), кои се погодни за снабдување со енергија на едно семејство или заедница, до големи мрежи поврзани со постројки за производство на електрична енергија кои трошат повеќе од неколку стотици килограми дрво од биомаса на час за производство од 10-100 MW електрична енергија на час.

На средно ниво производителот- гас од гасификацијата на биомасата може да се користи во модифицирани мотори со внатрешно согорување (дизел мотори), каде што може да се замени 70-80% од конвенционалното гориво кое го бара моторот. Овие помали гасификатори за биомаса заедно со моторите за внатрешно согорување со дизел/гас, работат во опсег од 100-200 kW со ефикасност на редослед од 15-25% и се комерцијално достапни. Сепак треба да се земе во предвид дека имаат релативно високи трошоци за одржување и чистење. Најголемиот технички предизвик за системите за гасификација на електрична енергија на сите нивоа, продолжува да биде соодветно чистење со цел подолготраен животен век на овие системи, како и поефикасно работење. Ваквиот, е економичен и има минимални токсични нус-производи и емисии во воздухот.

Развојот на основните правци на преносната мрежа на природен гас во РМ е во согласност со очекуваната потрошувачка со одредени делови од земјата. Со цел успешно да се имплементира процесот на гасификација, првиот инвестиционен зафат е затворање на гасниот прстен во Скопје, со цел користење на гас во јужниот и западниот дел на градот (период на реализација: 2013 година). Изградбата на националниот гасоводен систем се реализира во три фази: изградба на делници кои ќе не поврзат со Република Грција (2015) и Република Бугарија (рок на реализација до 2023 година). Вклучувањето на Македонија во нов извор на снабдување со топлинска и електрична енергија е од круцијално значење.

2.3 Анаеробна дигестија (варење)

Согорениот гас исто така може да се произведува од биомаса преку биолошки процес на ниска температура, наречени анаеробни (без воздух) процеси. Биогазот продукт е вообичаено име за гас произведен или во специјализирани анаеробни дигестори или во депонии со зафаќање на природно произведен метан. Биогазот е типично околу 60% метан и 40% јаглерод диоксид со топлинска вредност од околу 55% од природниот гас. Речиси секоја биомаса освен лигнинот (главна компонента на дрвото), може да се конвертира во биогаз; животински или човечки отпад, отпадоци од отпадна вода, остатоци од култури, нус-производи за индустриска обработка на јаглерод и депонија, сите материјали се широко користени. Анаеробните дигестори обично се состојат од влез, каде што органските отпадоци и други остатоци се полнат во резервоарот за варење, во кој истиот обично биомасата се загрева за да се зголеми нејзината стапка на распаѓање и делумно се конвертира од бактериите во биогаз; и излез каде биомасата од бактериите кои го вршеле процесот и неварениот материјал кој останува како тиња и може да биде остранет. Произведениот гас понатаму може да се изгори за да обезбери енергија и топлина. Варењето има ниска вкупна електрична ефикасност (приближно 10-15% и силно зависи од суровината), и е особено погоден за влажна биомаса. Патогените остатоци во отпадот се остраниваат од топлиите температури во резервоарот за варење. Ваквото анаеробно варење на биомасата е мошне успешно и применето во многу земји.

2.4 Течни биогорива

Биогоривата се произведуваат во процеси кои ја претвораат биомасата во повеќе корисни форми на енергија. Остои особен интерес за претворање на цврста биомаса во течности кои имаат потенцијал да ги заменат нафтените горива што се користат во транспортниот сектор. Сепак ваквите биогорива во нашата денешна инфраструктура за гориво и моторната технологија,

се покажаа како нетривијални. Само маслодајните растенија и дрва кои даваат сојно, палмино масло, семе од репка и соединенија слични на нафтените деривати на јаглевородороди, преку добра преработка се користат во замена на дизел. Овој дизел најмногу се користи во Европа и во помал дел во САД, но бара значителни субвенции.

Друго семејство на нафтени течни горива што се произведуваат од гасифицирана биомаса, е класата на синтетизирани јаглевородороди наречени Fischer – Tropsch (F-T) течности. Процесот ги синтетизира јаглевородородните горива (керозин C10-C12 јаглевородороди) или C3-C4 (LPG) јаглеводоорди од јаглерод моноксид и водороден гас преку железо или кобалтни катализатори. F-T течности може да се користат како дизел без сулфур или помешан со постојниот дизел за да ги намали емисиите, со што овоа биогориво е во предност во животната средина, и истото се користи како почисто гориво.

Други алтернативни биогорива на горива базирани на нафта се алкохоли произведени од биомаса, што може да ги замени бензинот и керозинот. Најмногу произведен денес е етанолот од ферментацијата на биомасата. Во индустријализираните земји етанолот најчесто се произведува од култури како што се пченка и шеќерна трска. Сепак ваквото гориво може да трпи промена на цена (покачување) во зависност од цените на стоките во однос на пазарот на горивата. Две други потенцијални транспортни биогорива се метанол и водород. Тие се произведуваат преку гасификација на биомасата и може да се користат во идните горивни ќелии. Солуција за производство на биогоривото кое воедно ќе биде и исплатливо и ефикасно за производство на етанол, е ензимска хидролиза на лигноцелуозна биомаса (дрво, слама, треви).

3 ВЛИЈАНИЕТО ВРЗ ЖИВОТНАТА СРЕДИНА И ПРИДОБИВКИ

Општо земено, обновливите извори на енергија се сметаат за зелени затоа што предизвикуваат мало трошење од ресурсите на Земјата, имаат корисни влијанија врз животната средина и предизвикуваат занемарливи емисии за време на производство на електрична енергија. Биомасата во принцип е обновлива и може да има позитивни влијанија врз животната средина ако со неа се управува правилно. Додека модернизираните системи за биоенергија овозможуваат топлина и енергија која може да се транспортира и складира, исто така можат да имаат и негативно еколошко влијание поврзано со растењето на биомасата и конверзија на енергијата. Влијанието врз животната средина мора да се гледа од повеќе аспекти како локално, регионално и глобално ниво, без притоа воспоставен биоенергетски систем. На пример, на локално или регионално ниво, релативните влијанија на производство на биоенергетски суровини ќе зависат не само од тоа како се произведува биомасата, туку и од она што би се случило доколку постојат неправилности при процесот на производство. Преку анализите за анализа на животниот циклус се откри дека таму каде што се дислоцираат фосилните енергетски системи од биомаса, ќе има намалување на влијанието врз глобалната клима преку намалување на вкупните емисии на стакленички гасови, но за други видови на емисии како NO_x, SO₂, N₂O, сликата е помалку јасна и е силно зависна од изворот на биомасата, техничките детали за процесот на конверзија, како и искористување на фосилното гориво.

4 ЗАКЛУЧОК

Биомасата е еден од обновливите извори на енергија што може да даде голем придонес во снабдувањето со енергија во светот. Достапноста на земјиштето за производство на биомаса не треба да биде ограничено (bottleneck), под услов да се комбинира со модернизацијата на конвенционалното земјоделско производство. Неодамнешните проценки покажуваат дека дури и ако би биле користени површини од 400-700 милиони хектари за производство на биоенергија во следниот половина век, може да се направи проценка и дозвола за користење и производство на биомаса, без да се оштети правото на користење на соседното земјиште и зачувување на природата. Според претходно споменатото, целиот процес за производство, а притоа и поголема придобивка од биомасата, може да се оствари преку подобрување на земјоделските практики и искористување на непродуктивното земјиште. Источна Европа има голем потенцијал за производство на биомаса. Формите на биомаса од кои може да се произведе енергија се разновидни и оптимални ресурси, технологи и системи обликувани по локални услови, физички

и социоекономски фактори. Повеќегодишните култури можат да понудат поевтини и попродуктивни системи за производство на биомаса со ниски или позитивни влијанија врз животната средина. Техничкото подобрување и оптимизираниите производствени системи можат да ги сведат трошоците за биомаса блиску до оние со фосилните горива. Клучното прашање за биоенергија е дека неговата употреба мора да се модернизира за да се вклопи во одржливиот развој. Конверзијата на биомаса на енергетски продукти како електрична енергија и транспортни горива, ѝ дава на биомасата комерцијална вредност и обезбедува приход за локалните рурални економии. Со цел да се дојде до ваков степен, неопходно е да се изгради соодветна инфраструктура, како и пазари за биомаса, да се воведат клучни технологии за конверзија на истата како IGCC- технологијата, напредните системи за производство на гориво за метанол, водород и етанол да се демонстрираат како такви и истите да се комерцијализираат, а ваквото искуство се стекнува преку самото производство на биомасата и понатамошното управување со истата. Иако актуелната улога на биоенергијата ќе зависи од нејзината конкурентност наспроти фосилните горива и земјоделските политики, се чини доста реално да се очекува дека сегашниот придонес на биоенергија ќе се зголеми за време на тековниот Век.

Трудот ги обработува апликациите и технологиите на биомасата, со цел продуктивно и оптимизирано производство на биоенергија и биогорива. Гасификацијата, согорувањето, анаеробното варење и процесот за добивање на течни горива од биомаса, се дел од формите за искоритување на биомасата во правец на обновлив извор на енергија, кој исто така е економичен, одржлив и рационален.

5 КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Donald L. Klass, „*Biomass for Renewable Energy, Fuels and Chemicals*“, Academic Press, London, 1998.
- [2] Vladimir Strezov, Tim J. Evans, „*Biomass Processing Technologies*“, CRC Press, Boca Raton, 2015.
- [3] Antonia V. Herzog, Timothy E. Lipman, Daniel M. Kammen, „*Renewable energy sources*“, Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), <http://www.eolss.net/>.
- [4] МАНУ, „*Програма за реализација на стратегија за развој на енергетиката во Република Македонија за периодот 2012-2016*“, Скопје, 2012.

BIOMASS ENERGY CONVERSION - TECHNOLOGY AND APPLICATION

ABSTRACT

Renewable energy sources and technologies are considered as clean sources of energy, and optimal use of these resources minimize environmental impacts, produce minimum secondary wastes and are sustainable based on current and future economic and social societal needs. There are a variety of technologies for generating modern energy carriers – electricity, gas, and liquid fuels -- from biomass, which can be used at the household (~10 kW), community (~100kW), or industrial (~ MW) scale. The different technologies tend to be classed in terms of either the conversion process they use, or the product produced. This article provides a comprehensive overview of the principal types of renewable energy, i.e. energy of biomass (bio-energy). However, the concept of renewable energy must be carefully established, particularly in the case of biomass. The paper analyses the sustainability of biomass, comparing different methods of energy generation such as combustion, gasification, anaerobic digestion, and liquid bio-fuels; and discusses the need for statistical information, which will allow the elaboration of scenarios relevant to renewable energy targets in Republic of Macedonia.



Elena Kochovska ¹, Tamara Markovikj ²

¹ Faculty of Mechanical Engineering-Skopje, UKIM, Skopje

² Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies, UKIM, Skopje

¹ kochovska@hotmail.com

² tamara.markovikj@gmail.com

BIOGAS POWERPLANTS IN MACEDONIA – POTENTIAL, CHARACTERISTICS AND PRODUCTION OF ELECTRICAL POWER

BRIEF DESCRIPTION

Encouraging the use of renewable energy is a strategic goal of the EU, as it is in line with the Strategy for Sustainable Development and provides for the achievement of the objectives of the Kyoto Protocol, in the sense of reduction of greenhouse gas emissions and protection of the environment. Therefore, given the fact there is an increasing concern about too much release of greenhouse gases into the atmosphere and their impact on reducing ozone, human health and the global warming, scientists started using the well-known technologies for production of biogas from waste. Through processes of anaerobic fermentation of biodegradable waste, biogas is being produced, which contains methane as an energy resource, then carbon dioxide, and less hydrogen, oxygen, ammonia and more. Different technologies have already been established in the world utilizing biomass as a renewable energy source for obtaining electricity and thermal energy, as well as fuel for vehicles. This paper will focus on production of biogas as well as its use, on the territory of Republic of Macedonia.

Key words: Biogas; Clean energy; Biodegradable waste; Anaerobic fermentation;

1 INTRODUCTION

In the past few decades, every country in the world is getting more affected by the negative consequences of continuous use of fossil fuels. Coal, oil and natural gas are an energy sources that control the global economy, their sources are located on politically unstable locations and most importantly they are the number one cause of the global warming. Global energy-related CO₂ emissions grew by 1.4% in 2017, reaching a historic high of 32.5 gigatonnes, a resumption of growth after three years of global emissions remaining flat [1]. At this point of civilization, the demand of electrical power is increasing more every day with no intention of decreasing in the future. The U.S. Energy Information Administration predicts that world energy consumption will grow by 28% between 2015 and 2040 [2]. This being said, the necessity to invest and innovate in the highly potential renewable sources of electrical energy is increasing.

In reflection of the facts stated above, power plants based on biogas are promising better future regarding energy efficient and environmentally beneficial production of electrical energy. Biogas power plants use a methane-rich biogas produced from versatile sources of waste matter, such as animal manure, barley straw, corn silage. The Republic of Macedonia contains a significant amount of these types of waste therefore has a major prerequisite for the economic use, as well as the production of electricity and heat out of them. To exploit this potential, in 2007 the Government of the Republic of Macedonia introduced feed-in tariffs for renewable energy plant operators. Operators producing electricity from renewable energy sources have priority in selling their electricity to the grid [3]. Although, the tariff for electrical energy obtained from biogas is three times higher in comparison to the tariff of electrical energy obtained from conventional sources, it contributes with only 0.46% of the total installed energy capacity in the Republic of Macedonia.

The production of both biogas and electrical energy as well as the potential and construction characteristics of the two installed biogas power plants in Republic of Macedonia are reviewed in this paper.

2 CHARACTERISTICS AND PRODUCTION OF BIOGAS

Biogas is created when organic material breaks into an oxygen-free environment in the presence of microorganisms. The process of the decay is called anaerobic digestion and naturally occurs in many environments with limited presence of oxygen. This natural process can be used in biogas plants where organic material is used. Basic part of the plant is some kind of closed chamber or air tight enclosed container called digester in which the reaction of digestion takes place. The ultimate product of the decay is a gas that can burn, called biogas and an organic residue in the digester containing mineral substances and is suitable to be used for fertilization as liquid or solid biological pesticide.

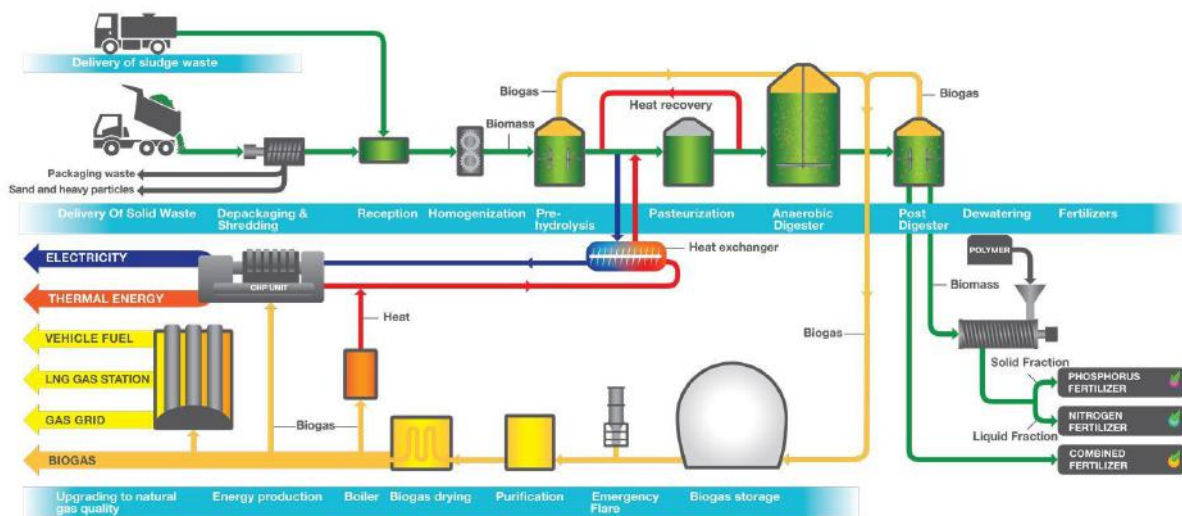


Figure 1 Biogas production scheme [4]

2.1. CHARACTERISTICS OF BIOGAS

Biogas is predominantly composed of methane (chemical formula: CH_4), which contains the combustion energy. Biogas, depending on the conditions at the time creation, contains from 45% to 85% methane and 15% to 45% carbon dioxide (chemical formula: CO_2). Biogas also contains small amounts of sulfur hydrogen, ammonia and nitrogen. Biogas often contains water vapor (H_2O). Quantity of the biogas is usually expressed in cubic meters (m^3), which represents an amount of biogas per 0°C and atmospheric pressure (1 bar). Biogas can be purified from others ingredients till the only compound that remains is methane.

2.2. PROCESS OF OBTAINING BIOGAS

In the process of obtaining biogas many different microorganisms participate in related complex processes. Bacteria cause decay of complex organic compounds of which is composed of waste matter, such as carbohydrates, fats and proteins to the final product - biogas (= methane + carbon dioxide and else).

The process of obtaining biogas can be split into three main steps.

- In the first step (hydrolysis), microorganisms (bacteria), helped by enzymes, are decomposing complex organic compounds of simpler compounds, such as sugars and amino acids.
- In the second step (fermentation), few alcohols fatty acids and hydrogen gas are formed.
- In the final step, one group of microorganisms that are looking for very specific conditions in the middle, called methanogen bacteria, are producing methane.

3 BIOGAS PRODUCTION IN MACEDONIA

3.1.ZK PELAGONIJA – LOGOVARDI

The biogas power plant near the Logovardi village is located near a dairy farm ZK Pelagonija near the city of Bitola, R. Macedonia. This farm has 3000 heads of cattle. This power plant uses 165 tons of corn silage a day. Besides the waste from the farm, this power plant also produces corn silage which is a chopped mixture of every part of the corn crop. It is then transported to a pile and stored to be used throughout the year. The result material fermented in the digesters is made up of 50% cow waste and 50% corn silage.

The biogas plant was planned for 4 digesters; the 5th being added 5 months after the power plant was built. Its purpose is to provide more volume for the biogas. The digesters are divided in two lines A and B – two digesters per line. The first one is smaller and it is called the primary digester. It is 26 m in diameter and 6 m in height. Here is where the fermentation begins. The second one is called the secondary digester and its 28 m in diameter and 6 m in height. The 5th digester is also a secondary digester 30 m in diameter and 8 m in height. The secondary digesters are where the fine fermentation begins. They are filled 83% of their capacity, the last meter being left so the produced biogas can accumulate and go into the pipeline system.



Figure 2 Biogas powerplant in Logovardi, Bitola

The digesters are all covered with a membrane which provides pressure to the biogas so it can travel to the pipeline system. The pressure results in no more than 1bar. There are 4 WANGEN screw pumps to pump the liquid from each digester in every direction.

Each digester has 4 mixers. Two of them are tangential and two are vertical, which provides mixture of the slurry inside in every direction. It's very important to have homogenous slurry, so there won't be any clogging inside the pipeline system.

After 6 weeks, after the fermentation process is over, the remains of the fermentation are transported into a collecting pit. It has two separators which separate the remains into liquid and solid material. The liquid part is transferred into three reserves two of which are 32 m in diameter and 8 m in height and one is 32 m in diameter and 6 m in height. The solid material falls outside of the reservoirs.

The power plant has three generators, each of which produce 1 MW of electrical energy. The biogas travels through the pipeline system from the digesters to a filter station that purifies the gas. The gas then is transported to the containers that hold the internal combustion engine (ICE) and the generator. The safety system of the generators applies 6 safety precautions: voltage drop or voltage increase, current drop or current increase, frequency drop or frequency increase. If the generator sensor detects abnormality in one of these parameters, it shuts down the motor immediately. The generator usual working point in the P-Q diagram is active energy. Its $\cos\phi = 0.99$. It rarely works in the reactive quadrant, only when the power line load needs to be lowered. The ICEs are made from Jenbacher Austria.

The ICEs are made out of 20 cylinders with a working temperature of 600 °C. The heat that is a side effect of the activity of the motor is used to warm up the digesters. There is a heat exchange system applied to the ICEs, filled with antifreeze. This fluid is the medium that transfers the heat from the ICEs to the digesters. The heated fluid heats up the digesters, it comes back cooled and cools the ICEs and the same process repeats.

There are cases where the produced biogas cannot be used and the membrane of the digesters can crack. Because of this, the biogas is either released in the atmosphere or burned with the help of two torches. This way the power plant is protected from mechanical damage.

3.2. VEZESHARRI – ELEKTROSHARRI

The biogas plant Elektrosharri is located near the city of Tetovo, in a village named Trebosh. It is a part of a huge farm for egg production called VezeSharri. This farm has 120000 chickens. The daily use of waste is around 40 to 60 tons of material, including: chicken manure, fennel fertilizer, silage from corn (with and without grains), straw, communes from wineries, and barley residue from breweries. Also, every day, with a tank, about 100,000m³ of whey and garbage from pig farms are carried in liquid form.



Figure 3 Biogas powerplant in Trebosh, Tetovo

The biogas plant has eight digesters. Two of them are smaller, with dimensions h=3m and d=13m, while the remaining six are larger, with dimensions h=6m and d=18m. The digesters are being maintained on a temperature around 50 °C which allows the fermentation process to be faster. Every digester has its own mixer, with two paddles whose length is around 3-4m. The mixing process must run continuously in order to achieve smooth slurry. The slurry is being pumped into a pipe system in which every digester is connected. The total line of pipelines that connects the digesters to one another as well as 3 additional pumps for the movement of the material are being located underground, so they could be easily accessed. The first pump carries a liquid which makes the movement of the dry matter much easier to enter any of the digesters. The second pump is used to carry the slurry from one into another digester, while the third pump is used to carry the used matter into the separator.

The processed matter, after the 15 days fermentation, is brought in a machine called separator, where the dry solid part is separated from the liquid. The dry matter is being dried using the motors exhaust system. In this way, bio fertilizer is being produced, which can be used for improving growth and productiveness of plants. The liquid part cannot be disposed in the sewage system, and for that reason it's being cleansed to the point of distilled water. The heat which is being released throughout the whole process is used for heating nearby greenhouses or in winter for heating the offices of Elektrosharri. If the bag for collecting biogas is full, but there is no power thus the generator cannot produce energy, the biogas is being burned using a torch.

The plant owns one active, and plans on adding additional second generator in the near future. Both generators are from the Jemnbacher Austrian company and their rated output is 1 MW. The generator is powered by an internal combustion engine. The engine contains 16 cylinders and the methane produced in the digesters is delivered using pipeline system. The produced electrical energy

from the generator is then delivered to the substation of the plant. The transformer is of a dry type designed for low and medium voltages. The output voltage from the generator is delivered through the transformer to a 10kV electrical grid.

The secondary generator has the same parameters as the first one and serves to generate electricity in periods when there is a shortage of power from the network. In those moments, the plant is in need of energy as well as in need to dispose the produced gas. For this purpose, the methane is fed to the second generator and the plant is powered by itself. With this being done, there is no aimlessly burning of the gas and the plant does not remain without power.

In 2017, this plant has produced 8.3 GWh of electricity which is 0.3 GWh more than the nominal energy produced for which it is designed.

4 CONCLUSION

The instalation of the powerplants in Logovardi and Trebosh is a great start in approaching the issues of extensive GHG emmision in the country, as well as efficently converting biowaste into electrical energy thus resolving its disposal. As a renewable type of powerplant, it also includes production of biofertilizer and heat, making it nearly 100% efficient. Highest standards of automation and the newest technology are implemented, ranking the powerplants as two of the best in the region. Overcoming the challenges in production of energy from biogas in R. of Macedonia requires higher environmental, social and economic consciousness as well as higher investment and support from the government. The urgency of these issues, requires a fast achievment of these goals and diverting the reliability from conventional to renewable energy sources, in order to obtain a cleaner environment for the next generations.

5 ACKNOWLEDGEMENT

We are grateful to our mentor Prof. Dr. Risto Filkoski for the continuous support, dedication and cooperation in the preparation of this paper. We would also like to express our gratitude to Mr. Dragan Kitanovski and Mr. Bujamin Sheapi for providing us with an opportunity to visit the biogas plants and sharing information which contributed in writing this paper.

6 REFERENCES

- [1] IEA, Latest trends in CO₂ emissions, <https://www.iea.org/geco/emissions/>, March 2018
- [2] EIA, International energy outlook 2017, <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/>, September 2017
- [3] UNDP , Renewable energy snapshot: The Former Yugoslav Republic of Macedonia,
- [4] Watrec, Biogas Plant flow process scheme, <http://www.watrec.com/solutions/waste-energy/biogas-plants/processes/flow-process-scheme/>,
- [5] Elektrosharri, <https://www.vezesharri.com/>
- [6] ZK Pelagonija, <http://www.zkpelagonija.mk/EN/index.html>



Филип Тодоровски¹, Емилија Дејаноска²

Машински факултет, Скопје

¹filip.todorovski@yahoo.com ²dejanoskaemilija@yahoo.com

АНАЛИЗА НА МОЖНОСТИТЕ ЗА КОРИСТЕЊЕ НА ОТПАДНА РАСТИТЕЛНА МАСА ЗА ЕНЕРГЕТСКИ ЦЕЛИ

КУСА СОДРЖИНА

Целта на истражувањето е да се испитаат својствата на лозовите земјоделски остатоци, важни за нивно енергетско искористување и да се оцени можноста за мешање на прачки и дрвени пелети за согорување во парни и вреловодни котли. Друга цел е да се направат адекватни подготовки за практична проценка на ефективност на котлите, примарно дизајнирани да користат дрвени пелети, кога ќе бидат употребувани со користење на гориво од мешани пелети и лозови гранки. Експериментално добиените својства на биомасата, како што се содржина на влага, енергетска вредност, приближна анализа, велуменска густина, состав на пепелта и својства на топење, се споредени со својствата на дрвените пелети произведени според ЕУ стандардите.

Извршено е испитување при работа со мешано гориво од дрвени пелети и подготвени остатоци од кроење на винова лоза. При тоа, постојат неколку технички предизвици кои што треба да се задоволат за тестирањето во конвенционални котли за пелети да биде возможно. Во оваа смисла, искористувањето на лозовите остатоци и други видови биомаса од растително потекло може да претставува значителен извор на гориво од биомаса во подрачјата во близина на насадите и може да ја намали цената за греење во комерцијалните, јавните и станбените објекти. Дополнително, може да се согледа еколошкиот аспект од енергетската употреба на растителните остатоци, а тоа е да се избегне нивно директно согорување на отворени полиња, со што проблемот на нивно третирање би се претворил во енергетска добивка.

Клучни зборови: биомаса од земјоделство, лозови прачки, обновлива енергија, согорување, котел, емисија на штетни гасови.

1 ВОВЕД

Перспективата, проблемите поврзани со користењето на обновливи енергетски ресурси, како и развојот и тенденцијата за претворање на сегашните енергетски системи во 100% обновливи, се дискутирани во [1]. Главен заклучок е дека ваков развој е возможен. Биомасата е пожелен и ветувачки извор на енергија поради нејзината ниска, блиску до неутрална емисија на стакленички гасови и потенцијална одржливост, ако правилно се управува економското, еколошкото и социјалното влијание. Енергетското искористување на биомасата, како единствено обновливо гориво кое е базирано на јаглерод, секој ден станува се поважно.

Енергијата од биомаса во различни форми учествува со околу 14-15% од потрошувачката на примарна енергија во светот [2]. Таа придонесува со повеќе од 10% во снабдувањето со примарна енергија во држави како што се Шведска и Австрија и околу 4% во САД. Енергијата од биомаса е особено важна за државите во развој, учествувајќи со речиси 40% од примарната потрошувачка на енергија [2]. Поголем дел од тоа отпаѓа на нискоефикасно и високо-загадувачко согорување во уреди за локално греење и готвење [4]. Последниве години има

зголемување на интересот за употреба на отпадна биомаса во комбинација со јаглен, во постројките кои користат котли на јаглен, како и комбинација на биомаса и дрвени пелети. Во исто време има проширување на пазарот со дрвени пелети во многу европски држави. Вкупната потрошувачка на пелети во 2011 год. била околу 14,4 милиони тони, а околу 80% од тоа количество било потрошено во Европа [5]. Согорувањето на биомаса и на комбинации од биомаса и други горивни материји од гледна точка на достапните технологии, а во поглед на формите на загадување и мерките за намалување на емисијата, се анализирани во [6]. Земјоделскиот сектор обезбедува различни видови вегетативна биомаса кои што можат да бидат употребени во енергетски цели. Биомасата може да биде категоризирана на различни начини, но еден единствен метод ги дефинира следниве основни видови: дрвени растенија, тревни растенија, водни растенија и ѓубрива [7].

Одгледувањето на грозје е вообичаено насекаде во светот. Земјоделското подрачје прекриено со лозја во 2008 год. изнесувало скоро 8 милиони хектари низ светот [8]. Оваа култура бара соодветно справување, вклучително и градинарство кое генерира значителен износ на остатоци. Доколку се изнајдат некои ефективни начини на искористување на лозовите остатоци, тогаш проблемот на нивно отстранување би се претворил во енергетска придобивка. Годишно околу 1-3 t/ha од остатоците од земјоделието претставуваат лозови остатоци, коишто зависат од видот на лозовите насади, староста, начинот на берење, конфигурацијата на теренот итн. [2]. Овие остатоци се често согорувани директно на полињата (традиционален метод во многу региони), но и се употребувани како гориво или како органско ѓубриво. Затоа, еден од најважните еколошки аспекти од употребата на земјоделските остатоци како гориво е да се избегне нивно согорување на отворени полиња. Неодамна се развиени комбајни за земјоделски остатоци, што можат ефективно да ги соберат гранките за понатамошна обработка [9].

Биомасата придонесува со значајна стапка во енергетскиот биланс во Р. Македонија. Истражувањата за достапна биомаса како енергетски извор датираат од раните 80-ти како предмет на интерес во различни трудови [11-14]. Вкупната практична достапност на вегетативната биомаса од шумарството, преработката на дрво и земјоделството е околу 120 000 t/год., што е 20% од теоретски достапната вегетативна биомаса [13]. Проценетата практична достапност на лозови прачки е околу 50 000 t/год. и е концентрирана во неколку региони.

Основните својства на биомасата важни од енергетски аспект се: содржина на влага, енергетската вредност, техничка анализа, односно содржина на фиксен јаглерод и испарливи материји, минерална маса, содржина на алкални материјали и односот на целулоза и лигнин [7]. Лозовите остатоци содржат 34,1% целулоза, 19% хемицелулоза и 27,1% лигнин на база на сува маса, од што може да се заклучи дека поседуваат значаен енергетски потенцијал. Својствата на биомасата кои што се важни за процесот на согорување се анализирани во [4], со нагласок на променливоста на одредени компоненти во составот на биомасата, особено неорганските кои што се важни за проблемите на создавање наслаги на површините и емисии на честици. Проценката на техничките и еколошките перформанси на котли на пелети со мал капацитет, кои што користат различни пелетизирани горива од биомаса е цел на истражувањето во [16].

Целта на ова истражување е да се испитаат својствата на лозовите остатоци, важни за нивно енергетско искористување и да се оцени можноста за мешање на прачки и дрвени пелети за согорување во парни и водогрејни котли. Друга цел е да се направат адекватни подготовки за практична проценка на ефективноста на котлите, примарно дизајнирани да користат дрвени пелети, кога ќе бидат употребувани со користење на смеса од пелети и лозови прачки.

2 МЕТОДОЛОГИЈА НА ИСТРАЖУВАЊЕТО

Методологијата на трудот се состои од следните основни чекори:

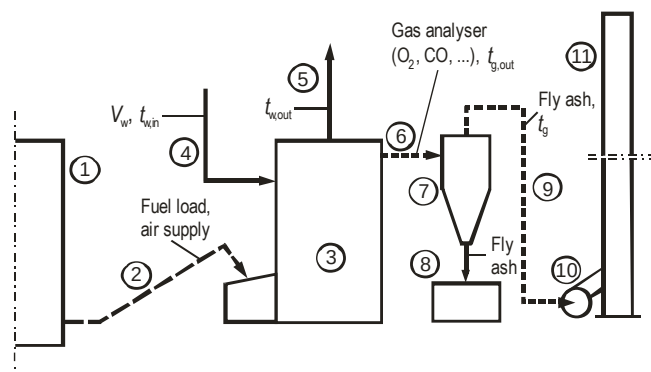
- Процедура за земање на примероци од биомасата за лабораториски истражувања;
- Лабораториски истражувања и анализи во поглед на енергетска вредност, содржина на влага и пепел, содржина на елементи поврзани со согорувањето и емисиите [17], направено во согласност со [17, 18];
- Споредба на резултатите во врска со составот на биомасата со наоди од литература, и

- Подготовка на постапката за тестирање на работењето на котлите за биомаса.

Примероците од прачки за лабораториски тестирања се земени во согласност со постапката пропишана во [20]. Овој документ дефинира систематски метод за земање примероци од биомаса како горивна материја од поголеми залихи на биомаса, со што (1) се избегнуваат систематски грешки и (2) се минимизираат случајните грешки [20]. Со оглед на фактот дека објектите предвидени за тестирање се постројки за јавно греење и индустриски енергетски постројки, важно е дека документот содржи безбедносни мерки и упатства за претпазливост, насоки за земање примероци, нивна подготовка и третирање, количество, минимални димензии на индивидуален примерок, инструкции за изведувачите на тестирањето, шема на земање на примероци и насоки за подготовка на извештај од тестирањето [20]. Примероците од лозовите прачки од Тиквешкиот регион се тестирани за бројни параметри [17]: енергетска вредност, содржина на влага, волуменска густина, состав и својства на пепел, содржина на согорливи компоненти; оксиди на различни метали и содржина на други материи поврзани со емисиите во воздухот. Резултатот на сегашното истражување е спореден со слични случаи [8,9,16].

Стандардите за квалитет на пелетите во европските држави се изложени во [21]. Усвоената постапка за тестирање на работата на котли е во согласност со методологијата објаснета во [22,23], додека шематски приказ на инсталацијата е даден на сл. 1. Постапката е заснована врз изработка на материјален и енергетски баланс, со цел да се определи степенот на корисност, односно ефикасноста на котелската постројка. Постапката може да биде употребена за тестирање на котел на биомаса со дефинирање на [21]: 1) граница на опремата што се тестира, 2) земање примерок од горивото, анализирање и мерење на потрошувачка на гориво, 3) земање на примерок од пепел, анализирање и мерење на количеството пепел.

Повеќето од системите за согорување на биомаса во вреловодни котли, со моќност до неколку илјади kW, секако имаат различни компоненти потребни за целиот систем да работи правилно, кои што се покажани шематски на сл. 1, вклучувајќи ги основните праметри кои се следат. Тестовите се спроведени со различни масени односи пелети/лозови прачки почнувајќи со процентуален однос од 5:95, па се до 30:70.



Слика 1: Главни компоненти на вреловоден котел на биомаса: 1 – Склад за биомаса (пелети); 2 – Систем за снабдување со гориво; 3 – Котел; 4 – Снабдување на вода; 5 – Топла вода во грејниот систем; 6 – Канал за излезни гасови до циклонот; 7 – Циклон за одвојување на пепел; 8 – Сад за складирање на пепел; 9 – Канал за излезни гасови; 10 – Вентилатор за излезни гасови; 11 – Овак V_w – проток на вода; $t_{w,in}$ – температура на напојна вода; $t_{w,out}$ – температура на врелата вода; t_g – температура на излезните гасови

3 ПОЧЕТНИ РЕЗУЛТАТИ

3.1 Состав на биомасата

Измерените технички и хемиски карактеристики на биомасата - лозови прачки од Тиквешкиот регион се прикажани во таб. 1 [17,24]. Резултатите од анализата на прачките се споредени со резултати од испитувања на стандардни лозови прачки од различни региони во Италија [9] и притоа се забележани само мали разлики. Составот на пепелта, кој е важен за избор на системот на согорување, се карактеризира со поголема застапеност на CaO , MgO , SiO_2 и мала застапеност на Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Na_2O и фосфорните оксиди.

Табела 1: Крајни анализи за лозовите прачки

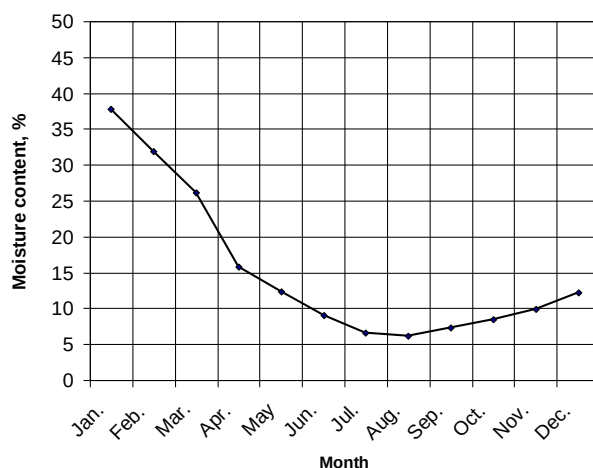
Параметар	Вредност
Енергетска вредност	16010 kJ/kg, 14250 kJ/kg
Содржина на влага	11.4% (во април)
Јаглерод	46,3% сува беспепелна маса
Водород	6,9% сува беспепелна маса
Кислород	<46.0% сува беспепелна маса
Сулфур	498 mg/kg, околу 0,05% сува беспепелна маса
Азот	0,7% сува беспепелна маса
Пепел	0.3% сува беспепелна маса

Во повеќето европски држави постојат малку или ниедно напишано правило, специјално за пелети, во врска со стандардите за квалитет на пелетите [21]. Често, пелетите подлежат под многу општи регулативи за биомаса. Некои држави како Австрија, Швепска, Германија и Италија имаат стандарди специјално за горива од компактна биомаса, вклучувајќи ги пелетите и брикетите. Некои од најважните својства на пелетите пропишани во стандардите на некои од европските држави, се дадени во [21,24].

3.2 Енергетската вредност, содржина на влага, пепел и својства на топење

Измерената енергетска вредност на лозовите прачки е 16 010 kJ/kg на сува маса. Бидејќи содржината на влагата во прачките е 11,4%, енергетската вредност во доставна состојба е 14 250 kJ/kg. Овие вредности се малку пониски или еднакви споредбено со другите горива од биомаса или брикети од сушено дрво со слична содржина на влага [4]. Енергетската вредност на пелетите е нормално над 16,9 MJ/kg [21,24]. Разликата помеѓу енергетската вредност на пелетите и на прачките имплицира на потреба за различен однос на гориво и воздух во споредба со пелети. Затоа директната употреба на биомаса во котлите дизајнирани за пелети е единствено возможна како смеса во одреден однос со пелети. Смесата на горивата мора да биде хомогена и неопходно е да се подеси протокот на воздух според односот на смесата. Смеси од 10%, 20% и 30% биле предложени порано за да се најде максимални и оптимални работни односи. Технички предизвик е да се најде систем кој ќе осигура хомогена смеса за време на работа, која е важна за гориво и воздух односот да биде одреден за дадената смеса. Волуменската густина на прачките исечени со должина на нормални пелети изнесува 171 kg/m³ и таа е многу пониска од густината на нормални пелети која е околу 600 kg/m³. Лабораториските анализи покажуваат дека релативната влажност на лозовата отпадна биомаса варира од приближно 40% непосредно по сечењето, до 5-6% во текот на летото, но можно е да оди до 10-12%, до следната зима, што е соодветно на заклучоците од [9]. Во однос на складирањето, изборот на отворени природни складишта прекриени со настрешници, дава добри резултати, иако по 7-8 месеци биомасата е малку деградирана. На сл. 3 е прикажана промена на содржината на влага во лозовите прачки во текот на годината [9].

Измерената содржина на пепел во прачките е 3% , што е малку повисока во споредба со содржината на пепел во пелетите која е помеѓу 0,75-1,5%, за категории A1 и A2 [19]. Ова значи дека повеќе пепел ќе се генерира при користење само на лозови прачки или смеса од пелети и прачки, отколку во случајот кога ќе се користат само пелети. Ако учеството на прачки во смесата е помало од 30%, содржината на пепел ќе порасне за 1-1,5%. Ова е прифатливо за нормална постројка и не би требало да предизвикува дополнителни инвестициони и оперативни трошоци, освен за отстранување на пепелта.



Слика 2: Текот на промена на содржината на влага во лозовите прачки во текот на годината

Тестовите за топење на пепелта покажуваат почетна температура на топење 1290 °C, која е нормална за различни горива од биомаса. Температурата на втечнување од 1494 °C, е повисока од вообичаената, што значи дека не би требало да се појават сериозни проблеми со синтерување на пепелта во зоната за согорување или на топлиноизменувачките површини.

3.3 Елементи поврзани со согорувањето

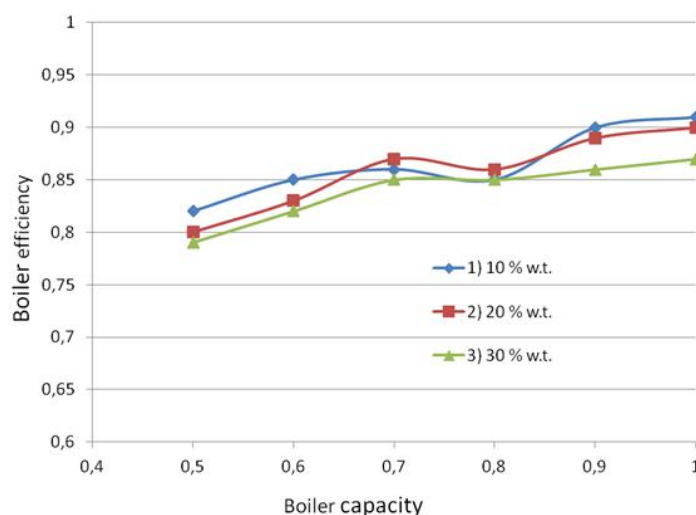
Содржина на јаглерод (46% сува беспепелна маса) и водород (6,9% сува беспепелна маса) во прачките е прилично висока, која е нормална за шуми и слична биомаса. Содржината на кислород е помала од 46,3% сува беспепелна маса, која е скоро целиот преостанат состав и вообичаена вредност за овој тип на биомаса. Содржината на сулфур има влијание до одреден степен на согорувањето и целосно на топлинските ефекти на процесот. Како и да е, влијанието на сулфурот на емисиите во воздухот, заедно со азотот е многу поважно отколку неговиот придонес за топлинската вредност. Измереното количество на сулфур е 498 mg/kg од сувата маса (околу 0,05%), која е околу просекот за дрво (0,01-0,1%). Вредноста на азотот е 0,7% од сувата маса, чија вредност е околу просекот за пелети, 0,1-1%. Како и да е, содржината на азот и сулфур е помала од нивната просечна содржина во мазутот.

3.4 Оксиди на метали и други елементи поврзани со емисиите

Содржината на оксидите од различни метали како што се: SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , K_2O , MgO , Na_2O , P_2O_3 , P_2O_5 , P_4O_6 , P_4O_{10} , оксиди на Mn и Ti (TiO_2), е многу важна информација поврзана со работење на системот за согорување. Овие оксиди можат да имаат својства кои се поврзани со синтерувањето. Содржината на SiO_2 , 1420 mg/kg сува маса е ниска во споредба со нормалните вредности, 200-10 000 mg/kg. Содржината на Al_2O_3 , 40 mg/kg сува маса е ниска во споредба со отпадно дрво, 1000-10 000 mg/kg. Содржината на CaO , 7 600 mg/kg сува маса е во рангот на вообичаени вредности, 2000-8000 mg/kg. Содржината на Fe_2O_3 , 90 mg/kg сува маса е ниска во споредба со вредностите за отпадно дрво, 1000-6000 mg/kg. Содржината на MgO , 2150 mg/kg сува маса е малку повисока во споредба со нормалните вредности кои се помеѓу 400-2000 mg/kg. Содржината на Na_2O , 97 mg/kg сува маса е ниска во споредба со нормалните вредности од 75-300 mg/kg. Во врска со содржината на P_2O_3 и на останатите P оксиди (940 mg/kg сува маса) е релативно ниска. Ист е случајот со содржината на TiO_2 (2 mg/kg сува маса), но вредноста е ниска. Со сумирање на содржините на оксидите од различни метали, има прилично мали шанси за синтерување и проблеми при управување со пепелта од лозовите прачки. Во врска со елементите кои што се поврзани со емисиите во воздухот, покрај сулфур, предмет на анализи се хлор и околу дваесетина различни тешки метали. Најважни од овие се 11 најотровни елементи кои што се содржани во ЕУ регулативите за согорување на отпад: As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, V. Содржината на повеќето од нив е ниска во споредба со нормалните вредности [21,25].

3.5 Ефикасност и завршни коментари

Тестирање на согорувањето е направено со различни смеси од 10%, 20% и 30% со цел да се најде смеса со оптимално количество на лозови гранки за да биде препорачана. Минимален тест период за секоја смеса беше два дена, горилникот и котелот беа надгледувани и чистени после секој тест. Количеството на саѓи и пепел во котелот и во горилникот се регистрирани за секоја смеса. Оптоварувањето на котелот за време на тестот беше менувано помеѓу 100% и нормално практично оптоварување. Параметрите соодветни на тест постапката подготвени во согласност со [22], беа најавени за време на тестирањето. Средна вредност на ефикасноста на котлите наспроти соодносот на смесата и капацитетот на котелот, се прикажани во слика 3.



Слика 3: Ефикасноста на котелот наспроти мешавината на смесата и капацитетот на котелот

Во однос на спроведените анализи ефективното согорување на лозовите прачки со дрвени пелети е ветувачко, бидејќи комбинира релативно висока ефикасност со разумна транспортна одалеченост на остатоците од биомасата. Технички предизвици се да се дефинира оптималниот однос помеѓу пелетите и прачките и да се достигне хомогена смеса за време на работата на постројката. Почетните резултати покажуваат дека не би требало да има значајни проблеми со емисиите во воздухот при употребување на лозови прачки како дополнително гориво во котлите за пелети, под услов процесот на согорување да е под контрола и горивната смеса да е хомогена. Поради составот на прачките, ќе се генерира малку повеќе пепел, но не се очекуваат проблеми со синтерување на пепелта во делови на горилникот и на котелот. Сепак, согорувањето на биомаса е често поврзано со појава на локално загадувачки формации поради: 1) некомплетно согорување кое што доведува до емисии на CO, саѓи и полициклични ароматични хидрокарбонати (ПАХ), особено за време на подготвителните фази на согорување (на пример, палење); 2) полутанти како NO_x и субмикронски честици кои се формирани како резултат на присуството на материи во горивото како што се N, K, Cl, Ca, Na, Mg, P и S.

4 ЗАКЛУЧОК

Користењето на отпадни материи од лозарството може да претставува значителен извор на гориво од биомаса во винските региони, што може да ја намали цената за греење во комерцијални, јавни и стамбени згради. Главен заклучок од спроведената анализа е дека е изводлива употребата на лозови прачки во комбинација со дрвени пелети во котли за пелети. Технички предизвици за ефикасна работа на котелските постројки се: 1) да се дефинира оптимален однос меѓу пелетите и прачките, 2) да се обезбеди соодветна смеса за да биде горивото хомогено, 3) да се најде флексибилен систем за регулација на процесот на согорување што ќе овозможи максимална ефикасност на согорувањето со минимална емисија на CO.

Според анализата, под претпоставка дека процесот на согорување е сосема контролиран, мала е веројатноста да се јават дополнителни проблеми во однос на емисијата во воздухот кога

се употребуваат лозови прачки како комплементарно гориво во котлите за пелети. Од еколошка гледна точка, важен аспект на употребата на остатоци од винова лоза како гориво, е да се избегне нивно горење на отворено поле.

5 КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] H. Lund, Renewable energy strategies for sustainable development, *Energy*, 32, 6, pp. 912–919, 2007.
- [2] S. C. Bhattacharya, A. P. Salam, M. Sharma, Emissions from biomass energy use in some selected Asian countries, *Energy*, Vol. 25, pp. 169-188, 2000.
- [3] H.S. Khesghi, R.C. Prince, G. Marland, The potential of biomass fuels in the context of global climate change: Focus on transportation fuels, *Annu. Rev. Energy Environ.*, Vol. 25, pp.199-244, 2000.
- [4] B. M. Jenkins, L. L. Baxter, T. R. Miles Jr., T. R.Miles, Combustion properties of biomass, *Fuel Processing Technology*, Vol. 54, pp. 17–46, 1998.
- [5] M. Mobini, T. Sowlati, S. Sokhansanj, A simulation model for the design and analysis of wood pellet supply chains, *Applied Energy*, Vol.111 (0), pp. 1239-1249, 2013.
- [6] T. Nussbaumer, Combustion and Co-combustion of Biomass: Fundamentals, Technologies, and Primary Measures for Emission Reduction, *Energy & Fuels*, Vol. 17, pp. 1510-1521, 2003.
- [7] P. McKendry, Energy production from biomass (part 1): overview of biomass, *Bioresource Technology*, Vol. 83, pp. 37-46, 2002.
- [8] R. Spinelli, et al., Production and quality of biomass fuels from mechanized collection and processing of vineyard pruning residues, *Applied Energy*, 89, pp. 374–379, 2012.
- [9] G. Cavalaglio, S. Cotana, Recovery of vineyards pruning residues in an agro-energetic chain, *15th European Biomass Conference and Exhibition*, Berlin, Germany, May 7-11, 2007.
- [10] Ü. Uras, *Biochar from vacuum pyrolysis of agricultural residues: Characterisation and its applications*, MSc Thesis, Faculty of Engineering at the University of Stellenbosch, 2011.
- [11] N. Ninic, S. Oka (ed.), *Combustion of biomass for energy purposes*, Naučna knjiga, Yugoslav society of thermal engineers, Belgrade, 1992.
- [12] Group of authors, *Agriculture Sector Study, Macedonia*, Senter, PSO98/MA/1/3, Utreht, The Netherlands, 1999.
- [13] Group of authors, *Energy and Environment in Macedonian Industry: Business Development for Boiler Manufacturer WK CRONE-B.V.*, Senter Haskoning, PSO99/MA/2/2, Utrecht, 2000.
- [14] Д. Лазаров, Р. В. Филкоски, И. Ј. Петровски, Б. Станојевска, *Замена на фосилните горива со лозови прачки во општина Кавадарци*, Programme “Cleaner and More Cost Effective Industry in Macedonia” in coop. with Norsk Energi, Skopje, 2010.
- [15] G. Bustos, A.B. Moldes, J. M. Cruz, J. M. Dominguez, Production of fermentable media from vine-trimming wastes and bioconversion into lactic acid by *Lactobacillus pentosus*, *Journal of Science of Food and Agriculture*, 84, pp. 2105-2112, 2004.
- [16] L. Carvalho, E. Wopienka, C. Pointner, J. Lundgren, V.K. Verma, W. Haslinger, C. Schmidl, Performance of a pellet boiler fired with agricultural fuels, *Applied Energy*, 104, pp. 286–296, 2013.
- [17] Norsk Energi, *Analysis of wine twigs from Macedonia with regards to fuel properties and emissions to air*, Report prepared in the frame of the project “Cleaner and more cost effective industry in Macedonia”, Norsk Energi, Oslo, 2012.
- [18] Norsas, Norsk Energi, Mepex. *Avfallsbaserte brenselprodukter. Kvalitetssikring og miljøkrav*, Wormstrand, Kjerschow, Marthinsen, 2000.
- [19] NS-EN 14961-2:2011 *CEN standard on solid biofuel*, Specifications and classes for fuel, Part 2: Pellets for non-industrial use, 2011.
- [20] TAPPI. *Sampling procedures for biomass fuel for boiler performance testing*, TIP 0416-17, 2008.
- [21] B. Hahn, *Existing Guidelines and Quality Assurance for Fuel Pellets, Pellets for Europe*, Deliverable 29, Umbera, Polten, Austria, 2004.
- [22] TAPPI, *Performance test procedure for boilers using biomass as fuel*, TIP 0416-18, TAPPI, 2008.
- [23] ASME PTC 4-2008, *Fired Steam Generators, Performance Test Codes*, An American National Standard, ASME, 2008.
- [24] Filkoski R.V., Petrovski I.J., Stanojevska B., Some observations on the possibility of using wine twigs for energy needs, *6th Int. Conf. on Sustainable Energy and Environmental Protection SEEP2013*, Maribor, 20-23 August 2013.
- [25] McKendry P. Energy production from biomass (part 2): conversion technologies, *Bioresource Technology*, 83, pp. 47-54, 2002.

Filip Todorovski¹, Emilija Dejanoska²

Faculty of mechanical engineering, Skopje

¹filip.todorovski@yahoo.com

²dejanoskaemilija@yahoo.com

ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES FOR UTILIZATION OF WASTE VEGETATIVE BIOMASS FOR ENERGY PURPOSES

ABSTRACT

The objective of the present work is to examine the properties of vineyard pruning residues important for their energy utilisation, as well as and to assess the possibility for mixing twigs and wood pellets for combustion in steam and hot water boilers. Another goal is to make adequate preparations for practical evaluation of the effectiveness of boilers, primarily designed to use wood pellets, when operated with a blend of pellets and vineyard twigs.

The experimentally obtained biomass properties, such as the moisture content, calorific value, bulk density, ultimate analysis, ash composition and melting properties, are compared with the properties of wood pellets produced according to the EU standards. A performance test procedure for boilers that will use fuel blend of wood pellets and wine twigs is adopted and initial tests conducted.

Although there are some technical challenges, the use of fuel blend of wood pellets and prepared agriculture residues, such as wine twigs, in conventional pellet fuelled boilers, should be possible. In that sense, the recovery of vineyard pruning residues and other biomass waste may represent a substantial source of biomass fuel in regions close to the agricultural plantations, which may reduce the costs for heating in commercial, public and residential objects. Therefore, one of the most important environmental aspects of using pruning residues as fuel is to avoid their open burning on the fields, which would convert a disposal problem into a collateral energy generation.



Сара Кољозова¹, Димитар Димитров²

¹ Факултет за електротехника и информациски технологии/УКИМ, Скопје

Ментор: проф. д-р Бранко Рабациски

¹skoljozova@gmail.com

²dimitrovdimitar97@gmail.com

МОЖНОСТИ ЗА ИСКОРИСТУВАЊЕ НА ПОТЕНЦИЈАЛИТЕ НА ДРВОПРЕРАБОТУВАЧКИТЕ КАПАЦИТЕТИ НА МАКЕДОНИЈА

КУСА СОДРЖИНА

Биомасата како дел на енергетскиот биланс на Република Македонија во текот на последните триесетина години учествува со мал процент од само 8-10%. Се наметнува прашањето дали е посветено доволно внимание на овој ресурс, т.е. дали постојат можности за негово добро искористување и зголемување. За проценка на потенцијалот на постојните извори на отпадна биомаса се користат разни методологии, типови на приближувања, појдовни претпоставки и податоци. Во овој труд ќе се фокусираме на суровината добиена од дрвната индустрија. Имено, колкав дел од преработената дрвна маса во македонските пилани преминува во дрвни отпадоци, односно е потенцијална суровина за изработка на пелети и колкаво количество енергија за снабдување на потрошувачите може да се добие од истата. Ќе се осврнеме на технологијата за производство на пелети која е организирана во три фази; складирање на суровината, производство на пелети, складирање на пелети. Целта на овој труд е да направиме анализа на искористениот потенцијал добиен од дрвопреработувачката индустрија во Македонија, претворен во добиена енергија. Со тоа ќе можеме да направиме споредба со моменталните енергетски капацитети на Македонија и да прикажеме колку потрошувачи би можеле да бидат снабдени со потенцијалните суровини добиени од дрвопреработувачките капацитети во државата.

Клучни зборови: *биоенергија, биомаса, пелети, потенцијал, дрвна маса, дрвопреработување.*

1 ВОВЕД

Биомасата е значаен извор на енергија за поголемиот дел од населението во светот. Со порастот на населението, во иднина се очекува користењето на биомасата да се зголеми. Во повеќето земји во развој енергијата од биомаса има значајно место во националната енергетска политика. Пред сè, треба да се согледаат можностите за енергетско искористување на поединечните суровини, за на крај да се истражи моменталната ситуација во Македонија и можностите за нивно искористување.

Во биомаса како извори за добивање енергија спаѓаат: растенија во вид на трева и дрвја, земјоделски прехранбени и добиточни растенија, отпадоци и остатоци од земјоделски посеви, индустриски растенија, отпадоци и остатоци од дрвја, водни растенија и други отпадни материи, како и некои материи од комуналниот отпад. Биоенергија се добива и од отпадните материи од луѓето и од животните.

Иако основни суровини за добивање биомаса се остатоците од шумите, од земјоделството и од населените места, таа може да се добие и од растенија наменети исклучиво за добивање енергија, т.н. енергетски посеви. Енергетските посеви се генетички модифицирани растенија што се одгледуваат на ограничени површини, посебно наменети за нив.

Поточно кажано, се работи за три сектори, од кои секој е со свои посебни карактеристики и можности за развој, односно:

- Шумарство;
- Земјоделие и сточарство;
- Комунален и индустриски отпад.

Во овој труд ќе се фокусираме на суровината добиена од дрвната индустрија. Имено, колкав дел од преработената дрвна маса во македонските пилани преминува во дрвни отпадоци, односно е потенцијална суровина за изработка на пелети и колкаво количество енергија за снабдување на потрошувачите може да се добие од истата.

2 МАКСИМАЛНО КВАНТИТАТИВНО ИСКОРИСТУВАЊЕ НА ПИЛАНСКИТЕ ТРУПЦИ

Факторите кои влијаат врз максималното квантитативно искористување на пиланските трупци може да бидат од технолошка и економска природа. Ќе ги разгледаме оние од технолошка природа кои битно влијаат врз искористувањето на дрвната маса. Тука спаѓаат:

- Дебелина на листот од пилата;
- Дијаметар (дебелина на трупецот);
- Должина и закривеност на трупецот;
- Неправилен избор на трупци по дијаметар;
- Точност на мерење на зафатнината на трупците;
- Неправилно сместување на трупците врз количката од примарната машина;
- Број на резови;
- Широчина на резот;
- Начин на режење;
- Надмер на собирање;
- Степен на обработка на режената граѓа;
- Искористување на крупниот отпадок;
- Влажност на дрвото;
- Концепција на пиланската технологија.

3 ТЕХНОЛОГИИ ЗА ПРЕРАБОТКА НА БИОМАСА ВО МАТЕРИЈАЛИ ЗА ГРЕЕЊЕ

3.1 Дрвени пелети

3.1.1 Дрвени пелети – општи карактеристики

Производството на пелети започнува во средината на 70-десетите години на XX век, во Северна Америка, во период на нафтена криза. Во Европа производството на пелети отпочнало во раните 80-ти години и тоа најпрво во Шведска, заради високата цена на нафтата, а потоа заради намалување на загаденоста на воздухот и животната средина од користењето на јагленот и други фосилни горива.

Пелетите претставуваат производи од дрвен отпадок (пилевина или крупен отпадок), познати уште и под името „bio-energent“. Пелетите се исто така, познати и како „дрвен гранулат“ и припаѓаат во групата на биоенергија, бидејќи се 100% еколошки чисти производи.

Обликот или формата на пелетите е долгнавеста (цилиндрична) со пречник од 6,0 mm до 8,0 mm и должина од 10 mm до 38 mm. Како вид на гориво, тие се користат во индустријата, како и во домаќинствата. Индустриските пелети се со дијаметар од 8,0 mm, а оние за домаќинствата имаат дијаметар од 6,0 mm.

Од ден на ден пелетите сè повеќе се користат во сферата на живеењето. Пред повеќе од дваесет години отпочнува нивниот развојен век, со избивање на нафтената криза. Исто така, нивната примена произлегува и од растот на цената на нафтата, зачувување на животната

средина, глобалното затоплување, енергетската безбедност, се силни фактори за да отпочне револуцијата во производството.

Некои поважни особини карактеристични за био-пелетите се:

- Форма на еколошко гориво;
- Не содржат хемиски додатоци;
- Компактна, цилиндрична форма; заради лигнинот во дрвото кој служи како средство за врзување и нуди трајност и постојаност на пелетите;
- Лесна манипулација без промена на формата на пелетите;
- При согорување скоро и не произведуваат креозот (креозотот предизвикува пожар во печките и камините);
- Мало количество на пепел (околу 1%);
- Енергетска вредност 4,7 до 5,5 kWh/kg или 18 MJ/kg пелети;
- Тежина на 1 m³ пелети изнесува 640 kg;
- Искористеност на топлинска енергија 90% (јаглен и дрво до 70%);
- Безбедност при употреба.

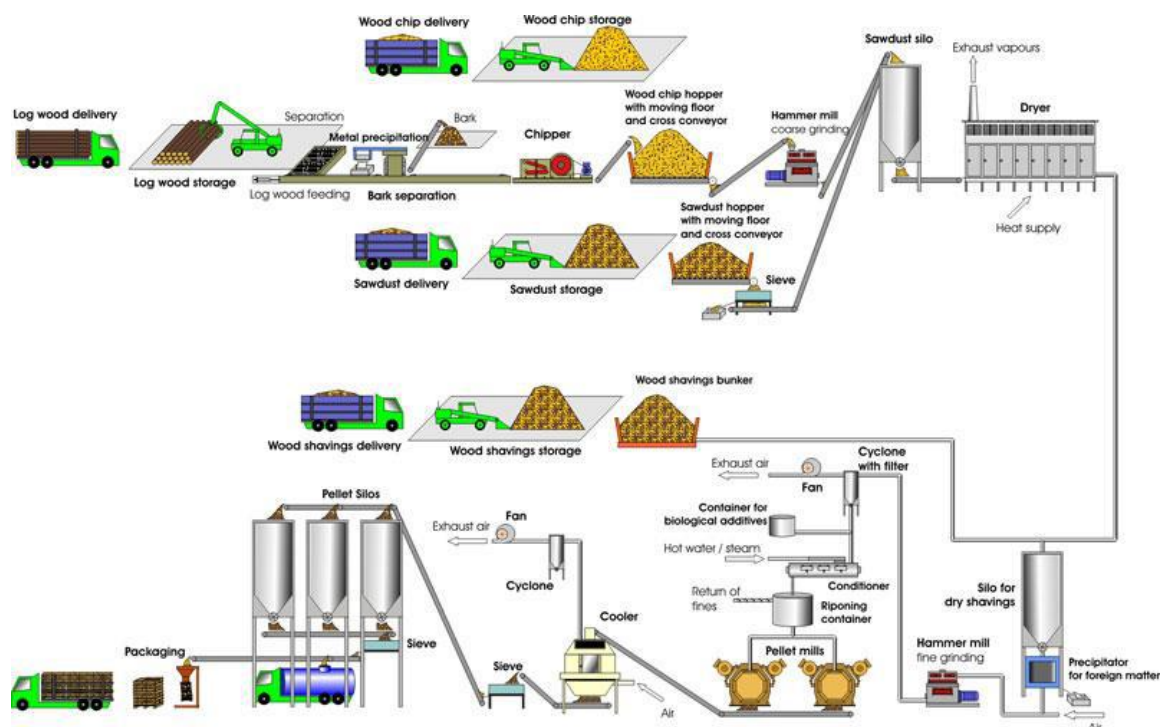
Како форма на гориво, количество од еден тон пелети може да се еквивалентира со:

1t пелети = 500l масло за ложење

= 450 kg пропан – бутан гас

= 600 m³ природен гас

= 4 800 kWh – електрична енергија



Слика 1. Процес на производство на дрвени пелети

3.1.2 Квалитет на дрвени пелети

Во технологијата на производството се познати два типа на пелети и тоа: пелети „premium“ и пелети „standard“.

Пелетите „premium“ во споредба со пелетите „standard“ се со светла боја, се изработуваат без додаток на кора и имаат поголема калорична вредност од пелетите „standard“. Исто така

содржината на пепел кај, „premium“, пелетите е помала од 1,0% во споредба со „standard“ пелетите, чија вредност е до 2,0%.

Фактори кои влијаат врз квалитетот на пелетите се:

- Димензии (должина, дебелина);
- Влажност;
- Густина;
- Механичка цврстина;
- Содржина на пепел;
- Енергетска ефикасност.

Најквалитетните пелети потекнуваат од јадрото на дрвото, со многу мал дел на кора, бидејќи кората содржи најмногу влага и прашина, такашто има помала калорична вредност од јадрото на дрвото.

Од дрвните видови за таква намена најмногу се користат габерот и буката. Пелетите произведени од тие дрвни видови, горат умерено и што е најважно, формираат жар која трае доста долго време.

3.1.3 Технологија за производство на дрвени пелети

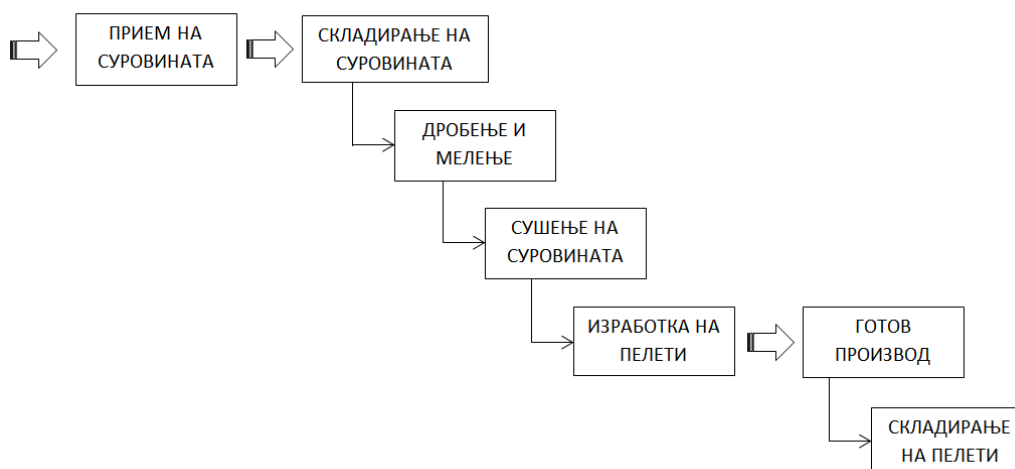
Брикетите и пелетите, поради нивниот облик и димензиите, се особено погодни за ракување. Може да се користат како гориво за директно согорување во домашните и во големите индустриски котли, а во мали количества и во домашните печки. Имаат значително помал волумен во однос на отпадната биомаса и, според тоа, имаат и многу повисока специфична енергија по единица волумен, што значи дека се покомпактен извор на енергија. Тие се попогодни за транспорт и за складирање во однос на природната биомаса.

Технологијата за производство на пелети е организирана во три фази и тоа:

- Складирање на суровината;
- Производство на пелети;
- Складирање на пелети.

Складирањето на суровината се одвива во интегрален склад, во кој се складираат трупци од трета класа (најниска) на квалитет или суровина како дрво за преработка.

Технологијата на производство на пелети отпочнува со прием на суровината, складирање на суровината, дробење и мелење, сушење на суровината, изработка на пелети и складирање на пелети.



Слика 1. Одограм на технолошката постапка за производство на пелети

Суровината се дроби при што се добиваат сечки, универзално познати како чипс. После дробилката за примарно дробење е поставено вибрационно сито за додатно пресејување на сечката. По отстранување на крупните парчиња, материјалот со помош на елеватор се транспортира до силос со голем капацитет. Во долниот дел на силосот е поставен дозирен транспортер со кој се дозира материјал врз лентовидниот транспортер којшто ја транспортира сечката од силосот до млинот за мелење на сечката. После млинот материјалот се транспортира до сушилицата каде со помош на топол воздух материјалот се суши до потребниот степен на влажност. Исушениот и иситнет материјал се складира повторно во силос во којшто со посебни мешалки се врши хомогенизација на смесата. Од силосот материјалот се дозира и транспортира до пресата за пелети. Добиените пелети се транспортираат со помош на транспортер и во исто време се ладат во ладилник за пелети. По ладењето, пелетите се просејуваат за да се отстранат дрвната прашина и ситните честички од дрво. Готовите пелети се складираат во силос за пелети, под кој е сместена вага и уред за пакување на пелетите.

По завршување на технологијата на производство, следува постапката за пакување на пелетите. Најчести начини за нивно пакување се: пакување во пластични вреќи од 15 килограми или пакување во вреќи од еден тон. За складирање на еден тон пелети потребен е простор од 1,5 m².

4 АНАЛИЗА НА ИСКОРИСТЕНИОТ ПОТЕНЦИЈАЛ ПРЕТВОРЕН ВО ДОБИЕНА ЕНЕРГИЈА

Дрвопреработувачкиот капацитет на Република Македонија во моментот се движи од 20 до 25 активни пилани. Свкупниот годишен произведен капацитет на пиланите за преработка на пилански трупци изнесува просечно 5000 m³ по пилана. Од тој капацитет, квантитативното искористување на дрвната маса е распределено на следниот начин: 48% од свкупната маса отпаѓа на режена граѓа, 43% оди во отпадоци и 9% оди во загуби поради надмер на собирање (влага).

Режената граѓа се добива така што трупците се бичат наменски според однапред поставената диспозиција за режење во однос на дебелината. По режењето на трупците се добиваат пилански сортименти, но се создава и извесно количество на крупен и ситен отпадок (претходно споментатите 43%). Од вкупниот отпадок, 90% отпаѓа на крупен отпадок и 10% отпаѓа на ситен отпадок. Крупниот отпадок го сочинуваат капаците, одрезците и изрезците од напречното и надолжното режење при кретење и окрјачување на граѓата. Исто така крупни отпадоци се формираат и при форматизирањето на трупците на челата, во форма на тркалести одрезци. Ситниот отпадок го сочинува пилевината добиена при режењето и сечењето на трупците.



Слика 2. Резови кај трупец добиени со призмање

Дрвениот отпадок или „дрвен остаток“ претставува одличен потенцијал како цврсто гориво за технолошко производство на водена пара или топла вода, која ќе се користи како медиум при парењето и сушењето на бичените сортименти.

Биланс	
Граѓа и други производи	48%
Крупен отпадок	38%
Ситен отпадок	5%
Надмер на собирање	9%
Вкупно	100%

Табела. 1 Квантитативно искористување на дрвната маса на бука

Прикажано количински, од вкупниот произведен капацитет на пианата (5000 m^3), 2400 m^3 се режана граѓа, додека 2150 m^3 е вкупниот отпадок, а останатиот дел кој се губи поради надмерот на собирање, не фигурира никаде. Конкретно, специфичната тежина на буката изнесува $0,7 \text{ t/m}^3$. Истата помножена со вкупниот отпадок од 2150 m^3 дава количина од 1680 t . Крупниот и ситниот отпадок добиени при пианска обработка на трупци има содржина на влага во износ од околу 40%. За добивање на квалитетни пелети, потребно е влагата да се намали на 8-10%, што доведува до зголемување на специфичната маса на суровината, односно количеството од 1680 t отпадок се сведува на 1120 t сува суровина за пелети (количеството на влажна суровина се дели со фактор 1,5-1,7 за да се добие количеството на сува суровина). Тоа значи дека од вкупниот произведен капацитет на 25 пиани се добива годишна суровина за производство на пелети од бука од $28\,000 \text{ t/god}$.

$$5000 \text{ m}^3 * 48 \% = 2400 \text{ m}^3 - \text{Режена граѓа}$$

$$5000 \text{ m}^3 * 38 \% = 2150 \text{ m}^3 - \text{Вкупен отпадок}$$

Вкупен произведен капацитет на пианите во Македонија:

$$\frac{(2150 \text{ m}^3 * 0.7 \frac{\text{t}}{\text{m}^3})}{1.5} * 25 \text{ пиани} = 28000 \frac{\text{t}}{\text{god}}$$

Долната топлинска моќ на буката изнесува просечно 17000 kJ/kg . За да се добие потенцијалната вкупна енергија добиена од тоа количество на суровини, истото се множи со топлинската моќ, по што се добива енергија од $588 \times 10^9 \text{ kJ}$, односно 163 GWh .

$$28000 \frac{\text{t}}{\text{god}} * 17000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 476 * 10^9 \text{ kJ}$$

Односно, изразено во произведена енергија по GWh,

$$\frac{(476 * 10^9) \text{ kJ}}{3600} = 132 \frac{\text{GWh}}{\text{god}}$$

Доколку се земе дека просечната потрошувачка на едно домаќинство изнесува 6000 kWh годишно, може да се види дека вкупниот потенцијален произведен капацитет на пианите е доволен за снабдување на околу $22\,000$ домаќинства. Се подразбира дека потенцијалниот произведен капацитет на пианите се разликува од реалниот.

5 ЗАКЛУЧОК

Иако биомасата како дел на енергетскиот биланс на Република Македонија во текот на последните триесетина години учествува со мал процент од само 8-10%, може да се види дека

суровината добиена од дрвната индустрија има потенцијал да снабди со енергија над 20 000 домаќинства. Се разбира дека потенцијалниот произведен капацитет на пиланите се разликува од реалниот. Тоа е затоа што пиланите се распоредени по целата територија на државата, и ниту една не може да го достигне својот потенцијал. Решение за тоа би било доколку пилевината и ситниот отпадок од повеќе области, се групираат и носат во најблиската пила. По направената анализа на искористениот потенцијал добиен од дрвопреработувачката индустрија во Македонија, претворен во добиена енергија утврдивме дека тој изнесува приближно 130 GWh. Проектираното просечно годишно производство на ХЕЦ „Козјак“ изнесува 150 GWh. Иако енергијата добиена со употреба на отпадокот од дрвната индустрија е помала, сепак е споредлива со производството на само една хидроцентрала во Република Македонија. Како 100% чисто и енергетски ефикасно гориво, пелетите се начин на греење на кој треба да му се посвети поголемо внимание.

6 КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Д-р Славе АРМЕНСКИ, Д-р Доне ТАШЕВСКИ, Д-р Љубица КАРАКАШЕВА „Брикети и пелети“
- [2] Кирил Поповски, Славе Арменски, Елена Поповска, „Енергија од биомаса во Македонија“, Агенција за енергетика во Македонија, Скопје, 2010.
- [3] Бранко Рабациски, „Техничко-технолошка и економска анализа за подигање на капацитет од примарниот комплекс за производи од масивно дрво“.

Sara Koljozova¹, Dimitar Dimitrov²

¹ Faculty of electrical engineering and information technologies, Skopje

¹skoljozova@gmail.com

²dimitrovdimitar97@gmail.com

POSSIBILITIES FOR USING WOODEN WASTE MATERIALS FROM SAWMILL COMPANIES IN THE REPUBLIC OF MACEDONIA FOR PELLET PRODUCTION

ABSTRACT

The biomass as part of the energy balance of the Republic of Macedonia over the last thirty years participates with a small percentage of only 8-10%. The question whether sufficient attention has been paid to this resource arises, i.e. whether there are opportunities for its better use and development. Various methodologies, types of approach, assumptions and data are used to assess the potential of existing waste biomass sources. In this paper we will focus on the raw materials obtained from the wood industry. Namely, what quantity of the processed timber in the Macedonian sawmills goes into wood waste, that is, it is a potential raw material for making pellets and how much energy for supplying consumers can be obtained from it. We will focus on the technology of pellet production that is organized in three phases; storage of raw materials, pellet production, storage of pellets. The aim of this paper is to analyze the utilized potential obtained from the wood processing industry in Macedonia, transformed into energy. By doing this, we will be able to compare the current energy capacities of Macedonia and show the number of consumers that could be supplied with the potential raw materials obtained from the wood processing capacities in the country.



SCEESD
Student conference
"Energy efficiency and sustainable development"



B. ENERGY EFFICIENCY, AUTOMATION AND MEASUREMENTS



Angela Najdoska, Bijlana Pankova

Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies, Skopje

anenajd@hotmail.com

biijana_pankova@hotmail.com

CHOOSING TECHNOLOGY AND OPTIMAL BATTERY MANAGEMENT SYSTEM

ABSTRACT

Using batteries for energy storage is accepted as one of the most important and efficient ways of stabilizing electrical grids.

In this paper the battery technologies that are presented are: Lead acid, Nickel Iron, Nickel Cadmium, Lithium Iron Phosphate, Lithium Cobalt Oxide and Lithium Titanate. The specifications of the batteries that are reviewed for each battery technologies are: chemistry, voltage, energy/weight, energy/size, life expectancy, cost per kWh storage, depth of discharge, round trip efficiency. Battery energy storage systems require Battery Management System (BMS). In order to have a high performance battery system, the battery cells should be continuously balanced to maintain the variation between the cells as small as possible. Two methodologies that are reviewed for each battery technologies for cell balancing are passive and active BMS. In the paper two different methodologies for cell balancing (passive and active BMS) for each battery technology are presented.

The aim of this paper is presenting the optimal battery management system (BMS) and choosing the best battery technology for energy storage. Increasing their use contributes to environmental protection. The increase of their use will contribute in the protection of the environment in the future.

Key words: *battery technologies, battery management system, cell balancing*

1 INTRODUCTION

Over the years there is a rapid increase in energy consumption. The renewable resources such as solar and wind are difficult to control. The need for energy storage is becoming increasingly important as more generating capacity uses renewable energy sources. Electrochemical energy storage in batteries is attractive because it is compact, easy to deploy, economical and provides virtually instant response both to input from the battery and output from the network to the battery. There are a range of battery chemistries that can be used and that can offer a reliable, cost-effective solution which can be adapted for different types of energy storage applications [1].

Electrochemical energy storage devices offer the flexibility in capacity, distributed storage and rapid response. This energy required to obtain application demands over a much wider range of functions than many other types of storage. There is a long history of integrating batteries into grid applications. Battery energy storage systems (BESSs) currently account for only a small portion of energy storage within the grids. BESSs require a battery management system (BMS) to monitor and maintain safe, optimal operation of each battery pack and a system supervisory control (SSC) to monitor the full system [2]. BMS is an electronic device that monitors and controls the charging and discharging of batteries.

BMS is checking the key parameters during charging and discharging such as voltages, currents, the battery internal temperature, state of charge (SoC), state of health (SoH) [2]. It is also protecting the cells, controlling the charge/discharge procedure, monitoring, storing historical data and most importantly – cell balancing.

Firstly the paper will give an overview of the various battery technologies and their specifics, i.e. advantages and disadvantages.

2 REVIEW OF BATTERY TECHNOLOGIES

Depending on the chemistry, there are many battery types. In this paper are reviewed several types of battery chemistry such as: Lead acid, Nickel Iron, Nickel Cadmium, Lithium Iron Phosphate, Lithium Cobalt Oxide and Lithium Titanate. Some of the batteries specifications are presented in the table 1 further down the text for each of the battery chemistry: nominal cell voltage, specific energy, energy density and life expectancy.

Lead-acid batteries require low maintenance. Typical applications are back-up for emergency power [3].

Moreover, Nickel-iron (NiFe) batteries are resilient to overdischarge and overcharge, and resistant to vibrations and high temperatures. For this reason, they are mainly used in mines, railroad signaling, and trucks/forklifts [4].

Nickel Cadmium (NiCd) was the first type of Ni-based battery that has been introduced to the market. It is highly durable, and can reach more than 1 000 cycles with proper maintenance. In addition, it can be charged fast, performs well in low temperatures, and has among the lower costs per cycle. This has made it the technology of choice for many years in the aviation industry, and it has also been used for stabilising wind energy systems [4].

Furthermore, the main advantages of the Lithium Iron Phosphate batteries are long cycle life, good thermal stability, high tolerance to full charge conditions, lower stress if kept at high voltage for long periods, and high current rating. This makes them useful in applications that need high load currents and endurance, e.g. as a starter battery in vehicles, replacing lead-acid batteries [5].

The main disadvantages of Li-cobalt cells are their relatively short life-span, limited specific power capabilities, and low thermal stability, which causes overheating when the cell is charged at a current higher than its capacity [5].

Li-titanate has good performance at extreme temperatures, and does not form a solid electrolyte interface (SEI) film or lithium plating when charging in low temperatures, or fast charging. Typical applications are electric powertrains and uninterruptible power supplies (UPS). The main disadvantage of the system is its high cost, as well as its low specific energy density of 50 Wh/kg [5].

Table 1. Types of batteries depending on their chemistry

Battery Chemistry	Lead acid	Nickel-Iron (NiFe)	Nickel-Cadmium (NiCd)	LithiumIron Phosphate (LiFePO ₄)	Lithium Cobalt Oxide	Lithium Titanate (Li ₄ Ti ₅ O ₁₂)
Nominal cell voltage [V per cell]	2	1,2	1,2	3,2	3,6	2,4
Energy density [Wh/L]	60-75	125	100	333	560	177
Specific energy [Wh/kg]	30 - 50	50	45 – 80	90-120	150 – 200	50
Life expectancy [years]	15	20	20	7	10	25
Charge/discharge cycles	2000	2000	2000	2000	1000	30000

3 BATTERY MANAGEMENT SYSTEM

BESSs require a BMS to monitor and maintain safe, optimal operation of each battery pack and also a system supervisory control (SSC) to monitor the full system. Batteries are dynamic in nature, constantly operating outside the equilibrium state during cycling [6].

However, by utilizing physics-based models, the BMS can accurately estimate many internal variables that allow it to gain a thorough understanding of battery state of charge (SOC) and state of health (SOH). A BESS will incorporate a BMS that is responsible for managing the operations of the battery. The BMS is responsible for: safe operations (thermal management, operating between safe current and voltage limits, shutdown on detection of fault, etc.), state estimation (SOC determination), parameter estimation (SOH determination), time remaining (tr) (depending on the applied load profile), and other miscellaneous functions. In addition, for Li-ion and other closed-cell systems, the BMS must also perform intercell charge balancing [7].

Battery State of Health (SOH) describes the battery performance at the present time compared with the performance at ideal conditions (when the battery was new). It is a measurement that reflects the battery performance and health status. In theory, by measuring the battery capacity through charge and discharge working periods with the referenced method at certain temperature, the battery SOH can be calculated [8]. State of Charge is used to describe its remaining capacity and is an important parameter, which reflects the battery performance, so accurate estimation of the SOC can not only protect battery, prevent overdischarge, and improve the battery life but also allow the application to make rational control strategies to save energy [9].

Cell balancing is an important part of any Battery Management System. There are not two cells that are exactly the same. Even cells manufactured under the same conditions and coming from the same group can have minor changes due to their electrochemical nature. The differences among cells tend to increase with normal cycling and aging, leading to an unbalanced SOC of the cells. If the cells are in series, they share the same current. This means that the cell with higher SOC will reach its maximum terminal voltage before the others can reach full charge. On the other way, the cell with lowest SOC will reach its minimum voltage on discharge before the other ones can deliver its full capacity. The two methods for cell balancing are passive and active [10]. An overview of different cell balancing methods can be found in Figure 1.

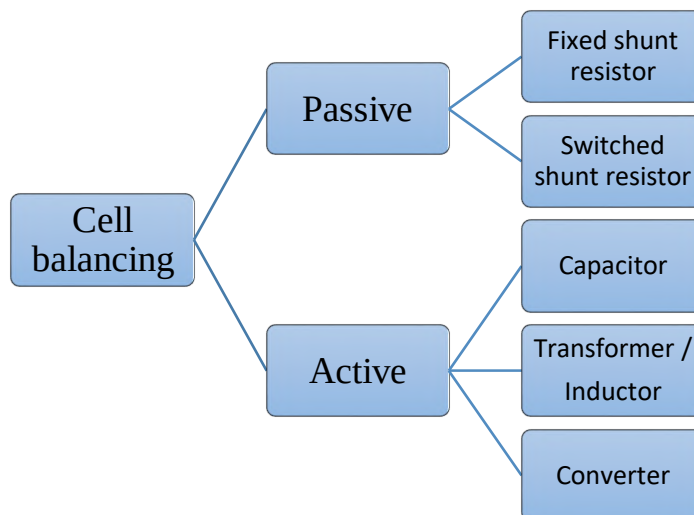


Figure 1. Cell balancing methods

4 ACTIVE AND PASSIVE CELL BALANCING

The passive balancing methods are based on removing the excess charge from the fully charged cells through passive element, such as resistor, until the charge matches those of the lower

cells in the pack. The active cell balancing methods remove charge from higher energy cells and deliver it to lower energy cells [11].

The passive balancing methods can be categorized into two sub-categories: fixed shunt resistor and switched shunt resistor. The fixed shunt method can be used for Lead-acid and Nickel based batteries because they can be brought into overcharge conditions without cell damage. The features of this method are simplicity and low cost. The second method, switched shunt resistor, can work in two modes: continuous and detecting mode. This method is more efficient than the fixed resistor method and can be used for the Li-Ion batteries. The main disadvantages in passive balancing method is that the excess energy from the higher cells is dissipated as heat and at high balancing currents, the heat may affect the cells [12]. Generally passive balancing is implemented while charging only.

Different methods are used for active cell balancing according to the active element that is used for energy storage: capacitor, inductor or converter. The energy transfer can be from one cell to the whole battery, from the whole battery to one cell, or from cell to cell. The shuttling capacitors cell balancing method uses capacitors as external energy storage. This method is efficient, but the disadvantages are the relatively long balancing time and high cost compared to the passive balancing method. However, the shuttling capacitors can be optimized using a double-tiered switched capacitor to decrease the balancing time. Another energy conversion cell balancing method using inductors is used to move energy from one cell to another. The high balancing current provides a shorter balancing time. This method can be used for high power applications [13]. Active balancing methods can provide higher efficiency than passive balancing method and can be used for many battery technologies such as: Lead Acid, Nickel based and Lithium based battery technologies.

5 COMPARISON OF BATTERY TECHNOLOGIES AND BATTERY DEPTH OF DISCHARGE

In order to choose the best technology and optimal BMS there are several characteristics that need to be reviewed, they are presented in the Table 2. The table is divided according to the type of cell balancing. The first characteristic is the battery chemistry, the dependence of the battery chemistry is presented in the Table 1. The second characteristic is the charge/discharge cycles. A charge cycle is the process of charging a rechargeable battery and discharging it as required into a load. The term is typically used to specify a battery's expected life, as the number of charge cycles affects life more than the mere passage of time. The third characteristic is the round trip efficiency. Energy storage typically consumes electricity and saves it in some manner, then hands it back to the grid. The ratio of energy put in (in MWh) to energy retrieved from storage (in MWh) is the round trip efficiency (also called AC/AC efficiency), expressed in percents (%). The fourth characteristic is the cost per kWh. In addition to choose the best battery technology and the optimal BMS the cost per kWh is one of the crucial factors [14]. The best technology and optimal BMS needs to be with good characteristics and also to be cheap. The parameters reviewed in the table 2 presents that the best technology and optimal BMS is the battery with battery chemistry of Lithium Titanate ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$).

Table 2. Characteristics for choosing technology and optimal BMS

	Passive cell balancing			Active cell balancing		
Battery Chemistry	Lead acid	Nickel-Iron (NiFe)	Nickel-Cadmium (NiCd)	Lithium Iron Phosphate (LiFePO_4)	Lithium Cobalt Oxide	Lithium Titanate ($\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$)
Charge/discharge cycles	2000	2000	2000	2000	1000	30000
Round trip efficiency [%]	85	60	70-90	89	97	96

Cost [\$ per kWh]	200-500	500	350	340-590	/	500-850
Cost [cents per cycles]	25	25	17,5	29,5	/	0,3

Depth of discharge (DoD) of battery indicates the percentage of the battery that has been discharged relative to the overall capacity of the battery. When a battery has discharged its full energy capacity, the Depth of Discharge, or DoD, is 100%. When it is anything less than that, the depth of discharge is the ratio of the energy that would have been discharged by the battery to reach its present state of discharge from a state of full charge, divided by its energy capacity. When the battery is fully charged, its DoD is 0%. The State Of Charge (SoC) of a battery is the opposite concept – it is equal to 100% when the DoD is 0%, and 0% when the DoD is 100%. The life span of many types of batteries (lithium-ion batteries, lead-acid batteries or nickel-iron batteries) depends heavily upon the number of charge/discharge cycles they undergo. The deeper the DoD per cycle, the shorter the life span. In Figure 2 is presented the dependance of the number of cycles from DoD. As cycle life is influenced by depth of discharge, lead acid batteries must be limited to 30% DoD to get comparable life to a lithium-ion that is at 75% depth of discharge. Lead acid battery must be larger in capacity than lithium based batteries [15].

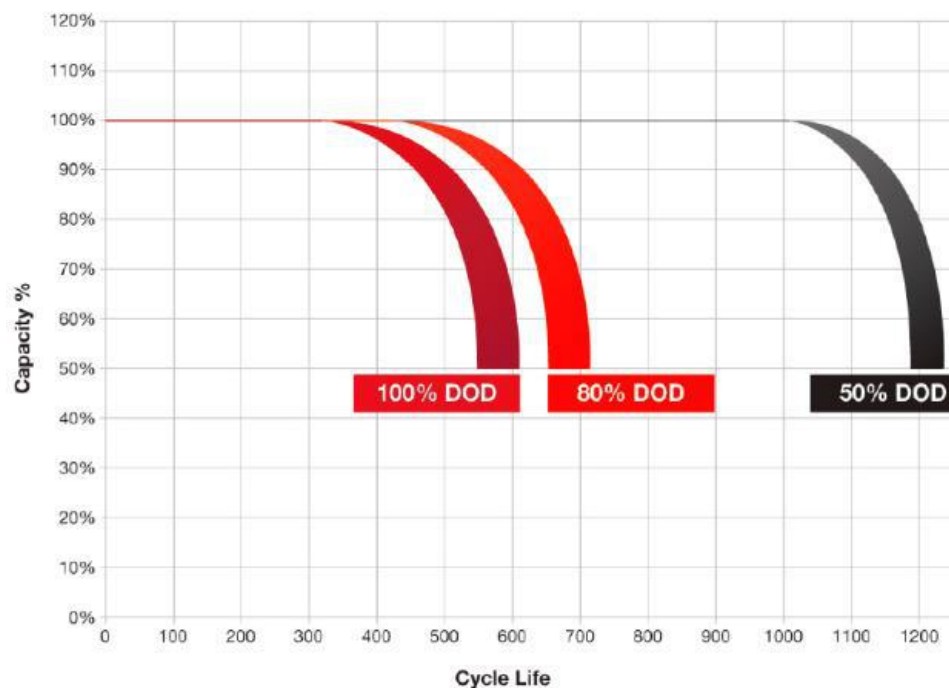


Figure 2. Depth of discharge (DoD) versus Cycle life

6 CONCLUSION

First of all it can be summarized that active cell balancing is more efficient than passive cell balancing because of the heat losses in the passive elements. Passive cell balancing is generally used in cell balancing during charging, while active cell balancing can be used in both charging and discharging. Active cell balancing methods can be implemented with lithium based batteries.

For optimal battery management system, active cell balancing method can be implemented in lithium titanate battery technologies. These battery technologies have high cost, 500-850 \$ per kWh, however, as presented before they have 30000 charge/discharge cycles and higher life expectancy in

comparison to other battery technologies. Because of the high number of charge/discharge cycles, lithium titanate battery technologies have very low cost per cycles of 0.3 cents per cycles.

7 ACKNOWLEDGEMENT

We would like to express our gratitude to the company Intebaco and its owner, Mr. Aleksandar Tolevski, who helped us in the realization of the work.

8 REFERENCES

- [1] X. Tan, Q. Li, H. Wang, "Advances and trends of energy storage technology in Microgrid" , International Journal of Electrical Power & Energy Systems, vol. 44, pp. 179–191, 2013.
- [2] Lawder, M. T., Suthar, B., Northrop, P. W. C., De, S., Hoff, C. M., Leitermann, O., Subramanian, V. R. "Battery Energy Storage System (BESS) and Battery Management System (BMS) for Grid-Scale Applications" , vol.120, no. 6 , 2014
- [3] G. J. Maya, A. Davidsonb , B. Monahovc, "Lead batteries for utility energy storage: A review", Journal of Energy Storage, vol. 15, pp. 145–157, 2018.
- [4] K. Young, "Nickel Metal Hydride Batteries", MDPI AG, Basel, Switzerland, 2017.
- [5] S.Chauque, F.Y.Oliva, A.Visintin, D.Barraco, E.P.M.Leiva, O.R.Cámara, "Lithium titanate as anode material for lithium ion batteries: Synthesis, post-treatment and its electrochemical response", Journal of Electroanalytical Chemistry, vol. 799, pp. 142-155, 2017.
- [6] M. T. Lawder, B. Suthar, P. W. C. Northrop, S. De, C. M. Hoff, O. Leitermann, "Battery Energy Storage System (BESS) and Battery Management System (BMS) for Grid-Scale Applications", Proc. IEEE, vol. 102, no. 6, pp. 1014–1030, 2014.
- [7] P. F. Ribeiro, B. K. Johnson, M. L. Crow, A. Arsoy, and Y. L. Liu, "Energy storage systems for advanced power applications" Proc. IEEE, vol. 89, no. 12, pp. 1744–1756, 2001.
- [8] W. Qiuting, J. Yinzhui, L. Yunhao, "State of Health Estimation for Lithium-ion Battery Based on DUKF", International Journal of Hybrid Information Technology, vol.8, no.7, pp.55-70, 2015.
- [9] W. Y. Chang, "The State of Charge Estimating Methods for Battery: A Review", ISRN Applied Mathematics, 2013.
- [10] José M. B. Marques, "Battery Management System (BMS) for Lithium-Ion Batteries", University of Coimbra, 2014.
- [11] Mohamed Daowd, Noshin Omar, Peter Van Den Bossche, Joeri Van Mierlo, „A Review of Passive and Active Battery Balancing based on MATLAB/Simulink”, International Review of Electrical Engineering (I.R.E.E.), 2011.
- [12] José M. B. Marques, "Battery Management System (BMS) for Lithium-Ion Batteries", University of Coimbra, 2014.
- [13] G. Krishna Teja and S. R. S Prabhakaran, „Smart Battery Management System with Active Cell Balancing”, Indian Journal of Science and Technology, Vol 8, 2015.
- [14] C.Liu, Z. G.Neale, G. Cao, "Understanding electrochemical potentials of cathode materials in rechargeable batteries", Materials Today, vol. 19, pp. 109-123, 2016.
- [15] Suwarno, Witantyo, Irawan "Effect of depth of discharge on morphology and size of sulfate particles in VRLA battery electrodes", American Institute of Physics, 2018.



Angela Popova¹, Aljosa Sinadinovski²

¹Faculty of electrical engineering and information technologies/Skopje

[¹angela.popova.97@gmail.com](mailto:angela.popova.97@gmail.com) [²asinadinovski@gmail.com](mailto:asinadinovski@gmail.com)

POWER FACTOR CORRECTION – AN OVERLOOKED BUT POWERFUL TOOL FOR INCREASING ENERGY EFFICIENCY

ABSTRACT

In a context of increasing energy demands, higher energy costs, dwindling resources and growing concerns about climate changes, power factor correction appears to be one of the easiest and most effective means to improve energy efficiency. However, most users are not well informed about the possibilities that the power factor correction offers, therefore not enough attention is drawn to the perspectives of these systems and their advantages are not fully exploited.

This paper shortly presents the concept of power factor correction (PFC). The different solutions where PFC systems can be installed are discussed. Some possible means of determination of the required capacitor rating are given. The electric energy parameters of an electric drive with an installed PFC system are analyzed using the software tool Metrel Power View. Additional examples are used in order to bring out the advantages of these systems, as well as their indirect, positive influence on the environment. Furthermore, the built and performance characteristics of PFC systems are mentioned, including the parameters which affect their utilization and life span. Therefore, harmonics are also stressed in this paper, as well as installation of PFC systems in networks with harmonics.

Keywords: *power factor, reactive power compensation, energy efficiency, power quality*

1 INTRODUCTION

Power factor correction (PFC) systems make a major contribution to achieving energy efficiency and reducing CO₂ emissions, and are thus an indispensable component of modern electrical installations. At present-day electrical power tariffs, any investment in a PFC system usually pays for itself within one to three years, or even less. After that time the PFC system offers an improved energy balance and added company profitability, month after month. It is therefore a particularly lucrative investment when the system has a long service life; the longer it continues to operate, the greater is the return for the user.

The pollution of our public supply networks with harmonics continues to increase steadily. A major reason for this is the large number of switched-mode power supply units in computers, televisions, electronic ballast and similar devices. Moreover, the renewable energy production such as photovoltaics and wind energy contribute significantly to that. Therefore, it is of great importance to have a PFC system designed to work in challenging environments and well-equipped to assess specific situations. Also, a greater robustness is an additional bonus to any PFC system.

2 FUNDAMENTALS OF POWER FACTOR

Most loads in modern electrical distribution systems are inductive, therefore, need a magnetic field to operate. Power factor is the ratio of working power to apparent power. It measures how effectively electrical power is being used. A high power factor signals efficient utilization of electrical power, while

a low power factor indicates poor utilization of electrical power, or in other words, that the electrical energy that is being paid for is not fully utilized.

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} \quad (1)$$

The reactive current circulating between the utility company's generator and the consumer converts electrical energy into heat in the power distribution system, and so is an additional load on generators, transformers, cabling and switchgear. Energy losses and voltage drops are incurred. If there is a high proportion of reactive current, the installed conductor cross sections can not be fully utilized for transmitting useful power, or must be appropriately over-dimensioned. From the utility company's standpoint, a poor power factor increases the investment and maintenance costs for the power distribution system, and these additional costs are passed on to those responsible, i.e. those power consumers with poor power factors. A meter for reactive energy is therefore installed in addition to the one for active energy.

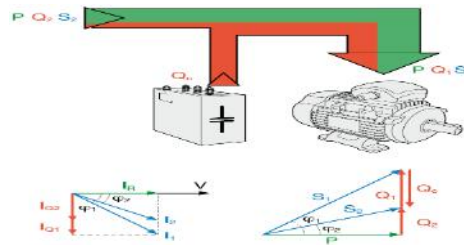
3 TECHNICAL ADVANTAGES OF POWER FACTOR CORRECTION

By correcting the power factor of an installation supplying locally the necessary reactive power, at the same level of required output power, it is possible to reduce the current value and consequently the total power absorbed on the load side; this implies numerous advantages, among which a better utilization of electrical machines (generators and transformers) and of electrical lines (transmission and distribution lines). In the case of sinusoidal waveforms, the reactive power necessary to pass from one power factor $\cos\varphi_1$ to a power factor $\cos\varphi_2$ is given by the relation (valid for both three-phase as well as single-phase systems):

$$Q_c = Q_1 - Q_2 = P(\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2) \quad (2)$$

Where:

P is the active power; Q_1, φ_1 and Q_2, φ_2 are the reactive power and phase displacement angle before and after power factor correction respectively; Q_c is the reactive power for power factor correction



Picture 1. Visualization of PFC

3.1 Better utilization of electrical machines

Generators and transformers are sized according to the apparent power S. At the same active power P, the smaller the reactive power Q to be delivered, the smaller the apparent power. Thus, by improving the power factor of the installation, these machines can be sized for a lower apparent power, but still deliver the same active power.

3.2 Better utilization of electrical lines

Power factor correction allows to obtain advantages also for cable sizing. In fact, as previously said, at the same output power, by increasing the power factor the current diminishes. This reduction in current can be such as to allow the choice of conductors with lower cross sectional area.

3.3 Reduction of power losses

The power losses of an electric conductor depend on the resistance of the conductor itself and on the square of the current flowing through it; since, with the same value of transmitted active power, the

higher the power factor, the lower the current, it follows that when the power factor rises, the losses in the conductor on the supply side of the point where the power factor correction has been carried out will decrease.

3.4 Reduction of voltage drop

The drop of the line-to-line voltage in a three-phase line can be expressed as follows:

$$\Delta U = 3I(R\cos\phi + X\sin\phi) = P(R + X\tan\phi)/U \quad (3)$$

As it can be noticed, the smaller the phase displacement angle ϕ between voltage and current (with the same active component of the load current and therefore with the same active power) the smaller the voltage variation; moreover, this variation is minimum if there is no reactive power absorption.

4 CORRECTION METHODS

4.1 Individual power factor correction

In the simplest case, an appropriately sized capacitor is installed in parallel with each individual inductive consumer. This completely eliminates the additional load on the cabling, including the cable feeding the compensated consumer. The disadvantage of this method, however, is that the capacitor is only utilized during the time that its associated consumer is in operation. Additionally, it is not always easy to install the capacitors directly adjacent to the machines that they compensate (space constraints, installation costs).

This kind of PFC is used to compensate the no-load reactive power of transformers, for drives in continuous operation and drives with long power supply cables or cables whose cross section allows no margin for error. The advantages of this type of PFC are complete elimination of reactive power from the internal power distribution system low costs per kvar. However, the PFC system is distributed throughout the entire facility, it has high installation costs and a larger overall capacitor power rating is required.

4.2 Group power factor correction

Electrical machines that are always switched on at the same time can be combined as a group and have a joint correction capacitor. An appropriately sized unit is therefore installed instead of several smaller individual capacitors. This configuration is mostly used in the case of several inductive consumers provided that they are always operated together. It is more cost-effective compared to individual PFC but the group of consumers must always be operated at the same time.

4.3 Central power factor correction

The PFC capacitance is installed at a central point, for example, at the main low voltage distribution board. This system covers the total reactive power demand. The capacitance is divided into several sections which are automatically switched in and out of service by automatic reactive power control relays and contactors to suit load conditions. This method is used today in most instances. A centrally located PFC system is easy to monitor. Modern reactive power control relays enable the contactor status, $\cos \phi$, active and reactive currents and the harmonics present in the power distribution system to be monitored continuously. Usually the overall capacitance installed is less, since the coincidence factor for the entire industrial operation can be taken into account when designing the system. This installed capacitance is also better utilized. It does not, however, eliminate the reactive current circulating within the user's internal power distribution system, but if adequate conductor cross sections are installed, this is no disadvantage.

4.4 Hybrid power factor correction

Economic considerations often show that it is advantageous to combine the three methods described above.

5 DETERMINATION OF REQUIRED CAPACITOR RATING

In general, it can be assumed that if a PFC system is correctly dimensioned, the entire costs for reactive energy can be saved. Therefore, the determination of required capacitor rating is one of the most important aspects when PFC is applied.

To carry out distributed or group power factor correction, it is necessary to calculate the $\cos\varphi$ of the single load or of the group of loads (factory areas); this can be carried out as follows:

- directly, through direct measuring by means of a powerfactor meter;
- indirectly, through the reading of the active and reactive energy meters;

The power-factor meter is a measuring instrument able to display the power factor $\cos\varphi$ according to which the load is absorbing energy. The reading of the instrument shall be carried out in different moments of the load cycle, so that an average power factor value can be obtained. If the readings of the active and reactive energy absorbed by the load or by the whole of the loads constituting the factory areas during a work cycle are available, the average power factor can be calculated as follows:

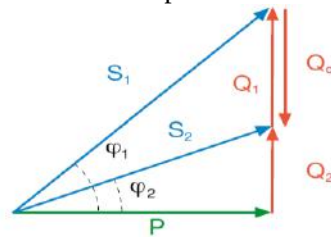
$$\cos\varphi = \cos\left(\tan^{-1}\left(\frac{E_{Qf}-E_{Qi}}{E_{Pf}-E_{Pi}}\right)\right) \quad (4)$$

where:

- E_{Qf} and E_{Qi} are the values of active and reactive energy read at the beginning of the work cycle;
- E_{Pf} and E_{Pi} are the values of active and reactive energy read at the end of the work cycle;

To carry out a centralized power factor correction, the average monthly power factor can be obtained as previously illustrated or directly from the bills of the power supply authority.

Once the power factor of the installation and the power factor to be obtained are known, it is possible to calculate the reactive power of the capacitor bank necessary to improve the power factor.



Picture 2. Phasor diagram

Indicating by:

- P – installed active power
- φ_1 - the phase displacement angle before PFC
- φ_2 - the phase displacement angle after PFC

The power of the capacitor bank is:

$$Q_c = (\tan\varphi_1 - \tan\varphi_2)P = KP \quad (5)$$

There are many possible applications for capacitors some of which include:

- PFC of discharge lamps
- Individual PFC for transformers
- Individual PFC for motors

6 POWER FACTOR CORRECTION SYSTEMS

In this paper we are focused only on banks of static capacitors as one of the main means of reactive power generation. Therefore, a PFC system consists of:

- Reactive power control relay
- Banks of capacitors switched in and out by contactors or solid-state switches
- Filter reactors, if needed

- Audiofrequency suppression circuits, if needed
- Group overcurrent protection
- A thermostatically controlled cooling fan, if filter reactors are installed

The components can either be assembled on a mounting plate or, if a modular system capable of being extended at a later date is called for, in a control cabinet. PFC systems are installed in power distribution networks where the reactive power demand fluctuates constantly. The capacitor power rating is divided into several sections that can be switched in and out by an automatic reactive power control relay via contactors or steady-state switches to suit load conditions. A centralized PFC system is easy to monitor. State-of-the-art reactive power control relays enable switch status, $\cos \phi$, active current, reactor current and the harmonics present in the network to be monitored continuously. Usually the total capacitor power rating can be less than with individual power factor correction since the coincidence factor can be taken into account when designing the complete industrial facility. Optimum use is thus made of the installed capacitor power rating.

6.1 Power capacitors

Most power capacitors nowadays are manufactured with a self-healing dielectric. If this is punctured due to overload conditions (e.g. overvoltage), the capacitor element effectively repairs itself. As an additional protective measure, every capacitor has a reliable internal safety device which responds to excessive pressure.

Three key factors are important in the operation of power capacitors in power distribution systems:

- Rugged construction
- Long life expectancy
- Safety under overload conditions

Power capacitors are components with a very high power density, nowadays a reactive power of some 16 kvar being accommodated in a volume of one litre. This is achieved by attaining a very low dissipation factor and a high degree of utilization of the dielectric. To achieve a long service life despite this high energy density, partial discharges (i.e. negligible electrical discharges within the dielectric material) must be suppressed.

Overvoltage, overheating and harmonics shorten the life expectancy of a capacitor. Only extreme cleanliness in the production process and maximum purity of the materials used prevent a worsening of the loss factor and thus a reduction in dielectric strength and current-carrying capacity. Voltage endurance tests under very severe test conditions (1.5 x rated voltage, 60 °C ambient temperature, high harmonic distortion) are regularly carried out on capacitors from the production line. The loss of capacitance is far less than 1%, the failure rate is infinitesimal and the dissipation factors remain stable at a very low level.

7 HARMONICS

Technological development in the industrial and household field has led to the spread of electronic equipment which, due to their operating principle, absorb a non-sinusoidal current (non-linear load). Such current causes on the supply side of the network a voltage drop of non-sinusoidal type with the consequence that also the linear loads are supplied by a distorted voltage. The harmonics are the components of a distorted waveform and their use allows to analyze any non-sinusoidal periodic waveform by decomposing it into several sinusoidal components using Fourier analysis. One of these waveforms has the supply frequency while the other waveforms, also known as harmonics, have frequencies that are integral multiples of the basic oscillation and are denoted by the ordinal number 'n'.

The presence of harmonics in the electrical network may be the cause of malfunctioning of the equipment, such as in the case of overloading of the neutral conductor, of increase of losses in the transformers, of disturbances in the torque of motors, etc. In particular, harmonics are the phenomenon which most heavily affect power factor correction capacitors.

Capacitive reactance is inversely proportional to frequency, therefore the impedance offered to the voltage harmonics decreases as the harmonic order increases. This means that, if supplied by a distorted voltage, the capacitors can draw a current of such intensity that it could seriously damage them.

$$I_c = \sqrt{3}\omega C \sqrt{(U_1^2 + \sum_2^\infty (nU_n)^2)} \quad (6)$$

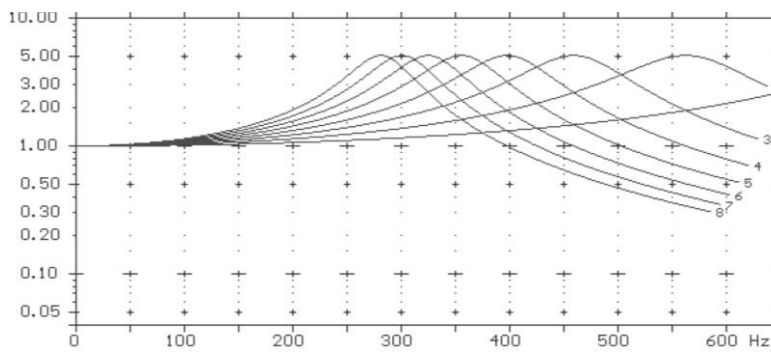
From this relation it is evident that the current absorbed in the presence of voltage harmonics is higher than the current to be considered in case of their absence.

7.1 Effects of PFC on networks with harmonics

A PFC system with no detuning forms an oscillatory circuit with reactive line impedances. The resonant frequency is determined as follows:

$$f_r = \frac{1}{2\pi\omega\sqrt{LC}} \quad (7)$$

When the capacitor stages of the correction system are switched in, the network resonant frequency changes considerably and is repeatedly close to the frequency of a network harmonic. If the natural resonance of this oscillatory circuit is near to a network harmonic that is present, it is to be expected that resonance will increase the harmonic voltages.



Picture 3. Amplification factor for harmonic voltages in PFC system without detuning in the low voltage network

When resonance occurs, the network r.m.s. voltage only increases slightly, but the r.m.s. value of the capacitor current increases considerably. For this reason a high current-carrying capacity is one of the most important quality characteristics for a capacitor.

Capacitor banks can be used combined with inductors in order to limit the effects of the harmonics on a network. Actually, the combination capacitor-inductor constitutes a filter for harmonics.

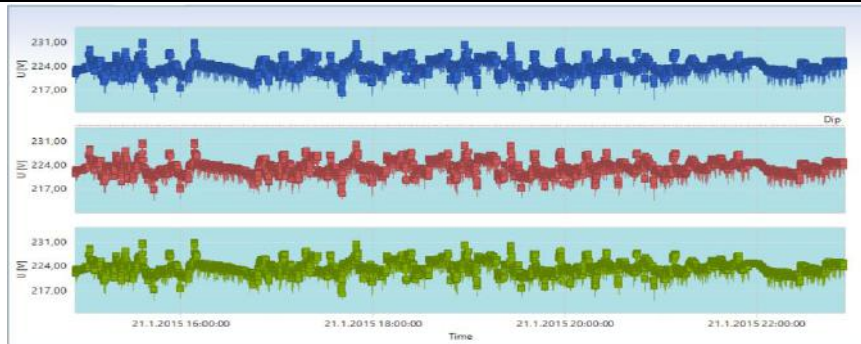
8 ANALYSIS USING METREL POWER VIEW

In order to visualize the benefits of power factor correction, the electric energy parameters of an electric drive with an installed PFC system are analyzed using the software tool Metrel Power View. Two scenarios were observed, one with PFC system connected in the network of the electric drive, and another one with a disconnected PFC system. Afterwards, the results from the two measurements were compared in order to stress the positive influence of the PFC system regarding the consumed energy and the power drawn from the electric drive.

Details about the measurements:

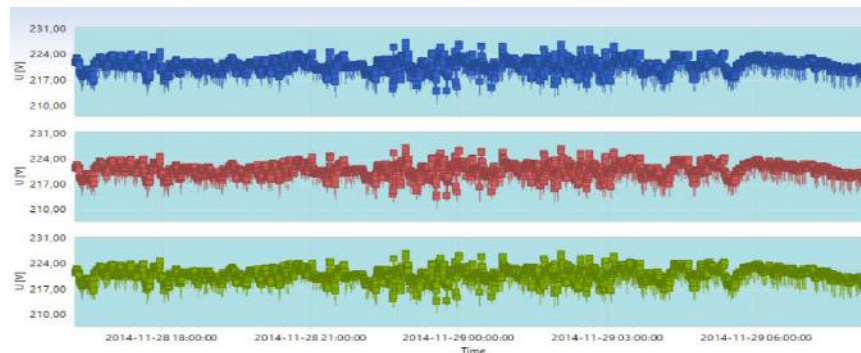
- The measurement with included PFC system was made on 21.1.2015 and lasted 8h (from 14:54:30-22:54:30h); The measurement without PFC system was made on 28.11.2014 and lasted 16h (from 16:16:30-08:16:30h).
- Both measurements include 5761 intervals (every 5s for the one with PFC system; every 10s for the one without PFC system)
- The nominal voltage for both cases was 230V with dip and swell thresholds 90% (207V) and 110%(253V) respectively

The first observation is regarding the levels of the phase voltages for both cases. The results are graphically shown on the following figures:



Picture 4. Phase voltages with included PFC

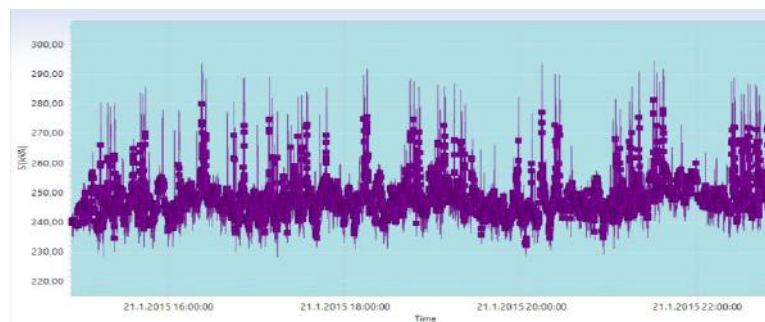
The average values of the voltages per phase are: $U_1=223.7915\text{V}$; $U_2=223.3978\text{V}$; $U_3=223.6024\text{V}$



Picture 5. Phase voltages without PFC

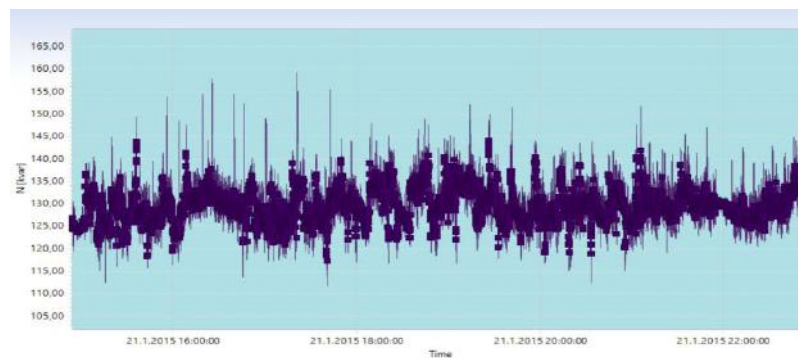
The average values of the voltages per phase are: $U_1=221.2315\text{V}$; $U_2=221.0045\text{V}$; $U_3=221.0894\text{V}$

Secondly, we observe the required reactive and apparent power for both cases:



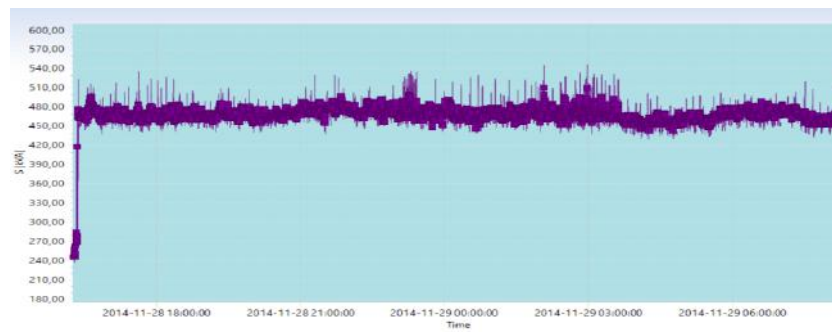
Picture 6. Total apparent power with PFC

Average values of the total apparent power with PFC is: $S=248.0059\text{kVA}$



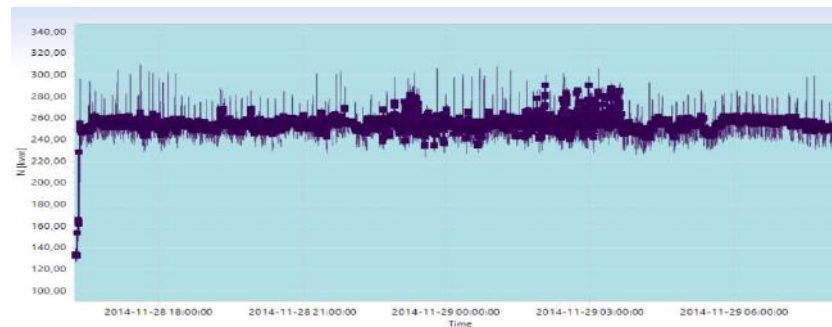
Picture 7. Total reactive power with PFC

Average value of the total reactive power with PFC is: $Q=129.4242\text{kVAr}$



Picture 8. Total apparent power without PFC

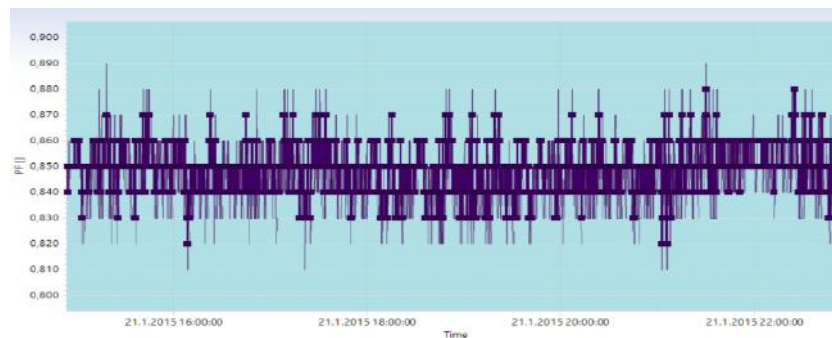
Average value of the total apparent power without PFC is: $S=467.2928\text{kVA}$



Picture 9. Total reactive power without PFC

Average value of the total reactive power without PFC is: $Q=253.5621\text{kVAr}$

The last observation is made upon the values of the power factor:



Picture 10. PF with PFC

The average value for the PF in this scenario is 0.85.



Picture 11. PF without PFC

The average value for the PF in this scenario is 0.79.

From the measurements we can deduce that not only does the power factor improve, but the amount of reactive and apparent power that the electric drive needs is almost double without PFC.

9 CONCLUSION

Improving the power factor means taking the necessary steps to increase the power factor in a defined section of the installation by locally delivering the necessary reactive power so that the value of the current and consequently of the power flowing through the upstream network can be reduced, at the same required output power. In this way, the lines, the generators and the transformers can be sized for a lower apparent power. From a strictly technical point of view, a suitably sized installation can operate properly also in case of a low power factor; for this reason there aren't standards prescribing the precise value of power factor that an electrical installation should have. However, improving the power factor is a solution which allows technical and economic advantages; in fact, managing an installation with a low $\cos\phi$ implies an increase of costs for the power supply authority, who consequently applies a tariff structure which penalizes the withdrawal of energy with low power factors.

10 REFERENCES

- [1] ABB "Power factor correction and harmonic filtering in electrical plants"
[http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/18aa8879b8cc0186c125761f005035b7/\\$file/Vol.8.pdf](http://www04.abb.com/global/seitp/seitp202.nsf/0/18aa8879b8cc0186c125761f005035b7/$file/Vol.8.pdf)

- [2] Peter Riese "Manual of Power Factor Correction", Teningen, March 2012

- [3] Rick Orman "Power Factor Correction Solutions & Applications", 2012

- [4] Eaton "Power factor correction: a guide for the plant engineer", Cleveland, 2014
<http://www.eaton.com/ecm/groups/public/%40pub/%40electrical/documents/content/sa02607001e.pdf>



Erblina Purellku

Liridon Lutfiu

Faculty of Electrical Engineering and Information technologies, IEMTA, Skopje

blinapurellku@gmail.com

liridon.lutfiu17@gmail.com

ENERGY EFFICIENT MOTORS

ABSTRACT

Over half of all electrical energy consumed in the Electrical Energy System (EES) is used by electric motors. Improving the efficiency of electric motors and the equipment they drive can save energy, reduce operating costs, and improve our productivity. About ninety percent of all the electric motors in the world are induction motors, and therefore the improvement of energy efficiency is focused on them.

Energy efficiency should be a major consideration when you purchase or rewind a motor. The annual energy cost of running a motor is usually many times greater than its initial purchase price. For example, even at the relatively low energy rate of \$0.04/kWh, a typical 20-horsepower (hp) continuously running motor uses almost \$6,000 worth of electricity annually, about six times its initial purchase price.

Motor efficiency is the ratio of mechanical output power to the electrical input power, usually expressed as a percentage. Considerable variation exists between the performance of standard and energy-efficient motors. Improved design, materials, and manufacturing techniques enable energy-efficient motors to accomplish more work per unit of electricity consumed.

Energy-efficient motors offer other benefits. Because they are constructed with improved manufacturing techniques and superior materials, energy-efficient motors usually have higher service factors, longer insulation and bearing lives, lower waste heat output, and less vibration, all of which increase reliability. Most motor manufacturers offer longer warranties for their most efficient models.

Key words: *Induction Motor, Mathematical Model, Losses calculation, Efficiency model..*

1 CALCULATION OF LOSSES

The difference between the input electric power and mechanical output power is defined as power losses. The power losses in present in induction motors can be divided in few groups such as:

1. Core power losses (constant loss)
2. Copper power losses ($R \cdot I^2$ loss, Variable loss)
3. Friction and windage power losses (Mechanical losses)
4. Stray power losses

Core losses are constant losses, i.e. they will not change when the load is changing. The core power losses of motor are directly proportional to supply voltage. The core power losses of an induction motor depend upon the frequency and the maximum flux density when the volume and thickness of the core lamination are given. The core power losses can be reduced by reducing the supply voltage. The core power losses are consisted of two components which are as follows.

Eddy current loss is occurring due to flow of circulating current in the motor core, this circulating current can be limited by laminating the motor core, the eddy current loss is occurring in the form of heat.

Hysteresis loss is occurring due to the magnetic property of the core material, due to the saturation of the material hysteresis loss occurs in the form of heat. For reducing the core loss we can adjust supply frequency, flux density and supply voltage, core loss occur due to flow of I_w (core loss current) through the R_0 (core loss resistance), the no load current of the motor is combination of the $I_w + I_\mu$

Copper loss varies as a function of load current. Whenever load is applied to the motor copper loss also will change. In squirrel cage induction motor normally turns ratio is taken as 1, because due to short circuit on the rotor side rotor number of turns will replicate stator number of turns, so in squirrel cage induction motor stator and rotor currents are considered as equal in magnitude. Due to this stator and rotor copper loss will be same in magnitude. Copper Loss contain two components they are,

Stator copper loss is directly proportional to the supply or stator current of motor; this stator current can be measured directly at stator side so calculation of this loss is easier. When load is increasing load current also will increase so this copper loss also will increase.

$$P_{cus} = R_s * I_s^2 \quad (1)$$

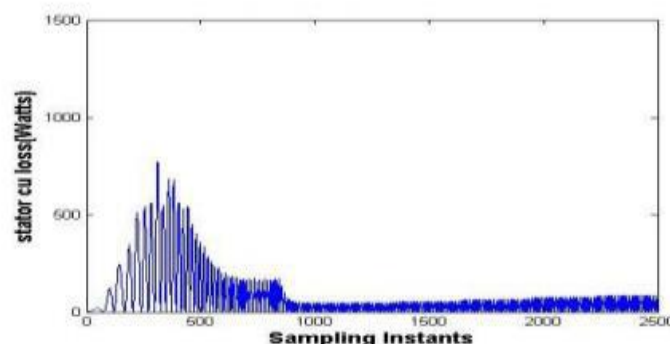


Figure 1. Stator copper loss

Rotor copper loss is directly proportional to the rotor current. Measurement of rotor current is not so easy as stator current measurement. The easiest way to measure rotor current is turns ratio. Rotor copper loss can be calculated by measuring the slip value, since rotor loss is proportional to slip speed. When slip value is low, rotor copper loss will be less. One way to reduce rotor copper loss is by controlling the speed of induction motor.

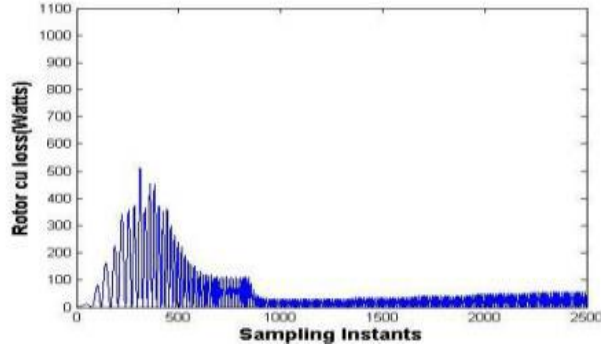


Figure 2. Rotor copper loss

$$P_{cur} = R_r * I_r^2 \quad (2)$$

Total copper loss:

$$P_{cu} = R_r * I_r^2 + R_s * I_s^2 \quad (3)$$

Where: I_s -stator current, I_r -rotor current, R_s -stator resistance, R_r -rotor resistance.

Here stator and rotor copper losses are calculated for per phase value of current. For total copper loss, it is necessary to multiply with no of phases. Stator copper loss is shown in the Fig8 and rotor copper loss is shown in the for variations in the load. Total copper loss is the addition of stator and rotor copper loss.

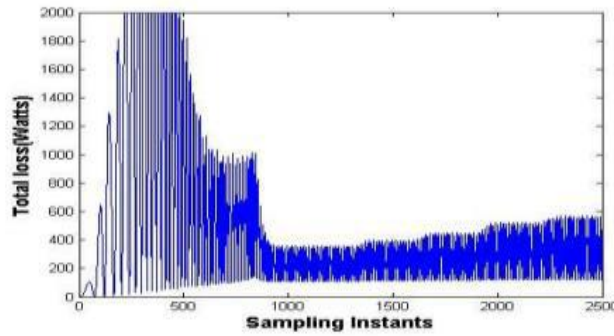


Figure 3. Total copper loss

Friction and Windage losses are mechanical losses present in the motor, friction loss occurs due to the friction in motor parts like bearings. Windage loss occurs due to the wind opposition for motor rotation. According to IEEE standard friction loss will be 1% of output power for 5HP motor. This standard value varies based on the motor power rating.

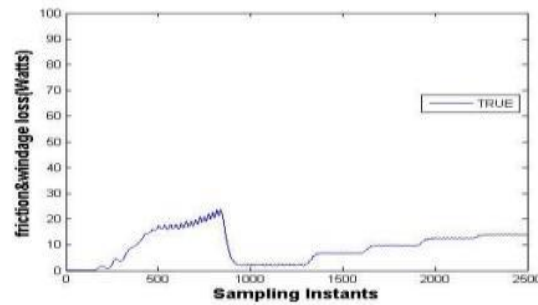


Figure 4. Friction and Windage

1.1 Development of efficiency model

Performance of induction motor can be analyzed by calculating the efficiency of the motor knowing the input and output of the motor. But when one of these parameters is unknown, by calculating losses unknown can be inferred. In this work input power to the motor is unknown since Power factor of the motor is not known, so by calculating output power and losses, input power is calculated. Efficiency can be calculated by using the formula.

$$\text{Efficiency} = \frac{\text{Output power}}{\text{output power} + \text{losses}} \quad (4)$$

Efficiency of the motor varies as load varies, when the applied load is low, efficiency of the motor becomes less. As load increases, efficiency also will start to increase.

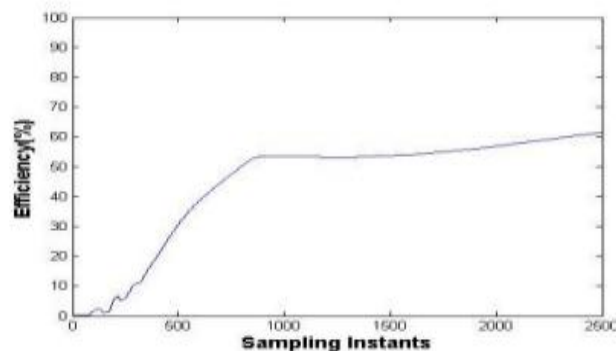


Figure 5. Efficiency in open loop

1.2 Methods for efficiency improvement

Beside from the manufacturing efficiency improvement approach, the efficiency can be also improved by application of two control methods, such as:

1. Conventional method using PID.
2. Fuzzy optimization technique.

Conventional method using PID

Normally the efficiency by using this method can be improved by implementing two different approaches,

1. Power factor improvement method (for low load condition)
2. Constant speed control method (for higher load condition)

At the low load condition, the major part of the loss is core loss, the core loss of the motor can be reduced by reducing the magnetizing current of the motor. Cause for core loss is magnetic saturation of the motor windings. If the supply voltage to the motor is reduced at low load condition, the reactive current taken by the motor will be reduced and real current will be increased in order to make apparent current remains same and the power factor also increases. But voltage should not be reduced below certain limit.

Fuzzy optimization technique

Fuzzy controller is acting in supervisory mode for providing set point to control the direct axis current. The fuzzy logic is an aggregation of rules, based on the input state variables condition with a corresponding desired output. According to the optimization principle, two input variables are considered torque current component I_{ds} and its integral square variation. The output of the fuzzy controller is the no load I_0 , which is calculated to minimize iron losses

2. ANALYZING MOTOR EFFICIENCY OPPORTUNITIES

2.1. Calculating Annual Energy and Demand Savings

To determine the annual cost savings from the purchase of a premium efficiency motor, first you need to determine the annual energy consumption and demand savings. Premium efficiency motors require fewer input kilowatts to provide the same horsepower output as a standard efficiency motor. The difference in efficiency between the premium efficiency motor and a comparable standard efficient motor determines the demand or kW reduction. For two similar motors operating at the same load but having different efficiencies, you can use Equation 1 to calculate the reduction in input kilowatts. With the reduction in input power known, annual energy savings can be calculated as shown in Equation 6. Equations 5 and 6 apply to motors operating at a specified constant load.

$$KW_{SAVED} = HP \times [LOAD\%/100] \times 0.7457 \times \left(\frac{100}{\eta_{STD}} - \frac{100}{\eta_{PREM}} \right) \quad (5)$$

Where: kW_{SAVED} = Savings from efficiency improvement in kW, hp = Nameplate rated horsepower, Load = Output power as a % of rated power, η_{STD} = Efficiency of a standard motor as operated in %, η_{PREM} = Efficiency of premium efficiency motor as operated in %.

$$KWh_{SAVINGS} = KW_{REDUCTION} \times HOURS \quad (6)$$

Where: $kWh_{SAVINGS}$ = Annual electric energy saved in kWh, kW_{SAVED} = Savings from efficiency improvements in kW, Hour s = Annual operating hour

For varying loads, you can apply the energy savings equation to each portion of the duty cycle where the load is relatively constant for an appreciable period of time. Total energy savings are then the sum of the savings for each load period. The equations are not applicable to motors operating with pulsating loads or to loads that cycle at rapid intervals. You can use demand savings and annual energy savings, along with utility rate schedule information, to estimate your annual reduction in operating costs. This general calculation of total annual cost savings is shown in Equation 7. Apply seasonal demand charges appropriately and always examine declining block rate schedules to ensure that savings are based on marginal energy costs.

$$SAVINGS = (KW_{SAVED} \times 12 \times RATE_D) + (KWh_{SAVING} \times RATE_E) \quad (7)$$

Where: Savings = Total annual dollar savings, kW_{SAVED} = Savings from efficiency improvements in kW, $RATE_D$ = Monthly demand charge in \$/kW/mo, $kWh_{SAVINGS}$ = Annual electric energy saved in kWh, $RATE_E$ = Tailblock energy charge in dollars per kWh

2.2. Assessing Economic Feasibility

Because of better design and low-loss/high-quality materials, premium efficiency motors typically cost 15% to 30% more than their energy efficient counterparts. In many situations (e.g., new motor purchases, repairs, or motor replacement) you quickly recover this price premium through energy cost savings. To determine economic feasibility, examine the total annual energy savings in relation to the full or incremental cost of purchasing and installing the premium efficiency motor. Most industrial plant

managers base their energy efficient equipment purchase decisions on a simple payback analysis, and they require that investments be recovered through energy savings within 1 to 3 years. The simple payback is defined as the period of time required for the savings from an investment to equal the initial or incremental cost of the investment. For initial motor purchases or replacement of burned-out and non-rewindable motors, the simple payback period for the investment in a new premium efficiency motor is the incremental cost for the premium efficiency motor (less any available utility rebate) divided by the total annual cost savings. No installation costs are assessed as either the premium efficiency or energy efficient motor must be installed. This calculation is shown in Equation 8.

$$SPB = \frac{\Delta COST - REBATE}{SAVINGS} \quad (8)$$

Where: SPB = Simple payback in years, Δ Cost = Price premium for premium motor compared to an energy efficient motor, Rebate = Utility rebate for premium efficient motor, Savings = Total annual dollar savings

For the motor repair/replace decision, the simple payback is the total cost of the new premium efficient motor minus the repair cost and any utility incentive (if available), divided by the total annual electrical energy and demand reduction cost savings. Motor removal and installation costs are not considered as the failed motor must be removed and a replacement spare or premium efficient motor installed. For replacement of in-service or operating motors, the simple payback is the ratio of the full cost of purchasing and installing a new premium efficiency motor relative to the value of the total annual electrical savings. Base or “bare” motor installation costs must include an overhead and profit multiplier when outside contractors are used. A labor cost adjustment should be applied to motors with restricted access or special handling requirements. The simple payback given replacement of an operable motor is given in Equation 9.

$$SPB = \frac{(COST + COST_{INST} - REBATE)}{SAVINGS} \quad (9)$$

Where: SPB = Simple payback in years, Cost = New motor cost, $COST_{INST}$ = Installation cost, Rebate = Utility rebate for premium efficiency motor, Savings = Total annual cost savings

2.3. Example

The following analysis for purchasing a new 250-hp TEFC motor operating at 75% of full rated load illustrates how to use Equations 1 through 4. The analysis determines the cost effectiveness of purchasing a new premium efficiency motor having a 3/4-load efficiency of 96.2% ($\eta_{PREM} = 96.2\%$) instead of an energy efficient motor ($\eta_{EE} = 95.5\%$). The motor is expected to be in operation for 8,000 hours per year. Electrical energy is purchased at a rate of \$0.08/ kWh with a demand charge of \$8.00/kW/month.

Kilowatts saved (Equation 6): **$kW_{REDUCTION} = 250 \times 0.75 \times 0.7457 \times (100/95.5 - 100/96.2) = 1.06 \text{ kW}$**

This is the amount of power conserved by the premium efficiency motor during each hour of use. Multiply this by the number of operating hours at the indicated load to obtain annual energy savings.

Energy saved (from Equation 7): **$kWh_{SAVINGS} = 1.06 \times 8,000 = 8,480 \text{ kWh/year}$**

Assuming utility energy and demand charges of \$0.08/kWh and \$8.00/kW/month (from Equation 8): **Cost Savings = $(1.06 \text{ kW} \times 12 \text{ mo} \times \$8.00/\text{kW-mo}) + (8,480 \text{ kWh/year} \times \$0.08/\text{kWh}) = \$780/\text{year}$**

In this example, installing a premium efficient motor reduces the utility bill by \$780 per year. The simple payback for the incremental cost associated with a premium efficiency motor purchase is the ratio of the price premium or incremental cost to total annual cost savings. Generally, premium efficiency motors might cost up to 15% to 30% more than a motor of an energy efficient design.

Assuming a price premium of \$2,500 and no utility incentive, the simple payback on investment is as follows (from Equation 4): **$SPB = (\$2,500 - 0) / \$780 = 3.2 \text{ years}$**

The additional investment required to purchase a premium efficiency motor is recovered within 3.2 years. Premium efficiency motors often pay for themselves rapidly through reduced energy

consumption and operating costs. After this initial payback period, annual savings will continue to be reflected in lower operating costs, and they will add to a company's total profits. Although the energy and cost savings associated with purchasing a premium efficiency motor can be impressive in many applications, selecting the premium efficiency unit is not always cost effective. Motors that are lightly loaded or infrequently used— such as motors driving control valves—may not consume enough electricity to allow the premium efficiency model to produce significant energy and cost savings. For a motor operating under a constant load, the electricity savings associated with an efficiency improvement are directly proportional to annual hours of operation. Special and definite purpose motors may carry a substantial price premium or may not be available in premium efficiency models.

3. CONCLUSION

The efficiency model of the induction motor is developed by modeling the induction motor using vector model. From the developed induction motor model, output parameters (current, flux linkage, speed and torque) are obtained. By using those output parameters various losses of induction motor are calculated. In that Core loss is calculated using maximum flux density from flux linkage and copper loss from output current. The output power and calculated losses of the motor gives the Input power thereby efficiency of the induction motor is calculated at lower load conditions. Using conventional and Fuzzy optimization techniques efficiency is improved by minimizing losses. From the simulation results it is proved that in the efficiency maximization, fuzzy controller has better performance than conventional controller.

4. LITERATURE

- [1] U.S. Department of Energy, *Energy Efficient Electric Motor Selection Handbook*, DOE/ GO-10095-290, August 1996.
- [2] Vilas N. Ghate, Sanjay V. Dudul and G.M. Dhole “Generalized model of three phase induction motor for fault analysis” IEEE Region 8 Sibircon2008.
- [3] Cui shumei, Liang Chen, Song Liwei, “Study on efficiency calculation model of induction motor for electrical vehicles” IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference (VPPC), September 3-5, 2008.
- [4] G. K. Singh and S. A. S. Al Kazzaz, “Induction machine drive condition monitoring and diagnostic research – a survey,” *Electric Power Systems Research*, vol. 64, no. 2, pp. 145–158, 2003.
- [5] Jawad Faiz and M.B.B. Sharifian “Optimum Design of a Three Phase Squirrel cage induction motor based on Efficiency maximization”, vol.21, No. 5, pp 367–373, 1995.
- [6] I. Daut, K. Anayet, M. Irwanto, N. Gomesh, M. Muzhar, M. Asri, Syatirah “Parameter calculation of 5 HP Induction motor”2009.
- [7] Bimal K. Bose “Modern power electronics and ac Drives” Pearson education, Third edition 2003, pp. 29-94, pp. 333-430.



Мариела Клековска

Факултет за електротехника и информациски технологии, Скопје

klekovskam@yahoo.com

Ментор: проф. д-р Влатко Стоилков

Коментор: проф. д-р Борислав Поповски

Соработник: Драган Караџоски, НЕОКОМ

ИСПИТУВАЊЕ НА ЕНЕРГЕТСКАТА ЕФИКАСНОСТ НА КАНЦЕЛАРИСКИ ОБЈЕКТ СО ПОМОШ НА ТЕРМОВИЗИСКА КАМЕРА

КУСА СОДРЖИНА

Трудот е работен врз основа на резултати добиени од експериментални мерења вршени истовремено со три различни модели на термовизиски камериод компанијата FLIR и тоа: камерите вградени во моблните телефони CAT S60 и CAT S61и моделот на самостојна термовизиска камера FLIR VUE PRO.

Извршени се три серии од последователни мерења во канцелариските простории во зградата на НЕОКОМ во текот еден ден; првото во раните утрински часови околу 7:00, второто напладне околу 14:00, а третото навечер околу 21:30.

Целните објекти се: фасадата (северна и јужна), прозорци на јужната страна со и без клима фолија,северен прозорец без клима фолија. Покрајмерењата за посочените објекти, се вкрстуваат и компарациитеза:

- техничките карактеристики на различните модели камери;
- надворешните и внатрешните температури на воздухот во текот на еден ден;
- фасадата (северна и јужна), во текот на денот;
- прозорци на јужната страна со и без клима фолија, во рок од еден ден;
- прозорци без клима фолија изложени на северна и јужна страна, во рок од еден ден;
- фасадата, сликана со моделот CAT S60, во однос север и југ, јули во однос на октомври;

Спореведените мерења се направени во услови кога нема дополнително ладење и греење, и се забележува дека најголемо евлијанието на поставеноста на објектот во однос на страните на светот. Клима фолиите како дополнителен изолациски слој на прозорите, поголема улога играат во летниот и зимскиот период, а тоа наметнува идеја за повторување на експериментот во овие периоди од годината.

Клучни зборови: *термовизија, енергетска ефикасност, софтверски алатки, термална анализа*

1 ВОВЕД

Со развојот на технологиите, инженерите се повеќе се стремат кон откривање нови уреди и начини за детекција и решавање на проблеми. Пример за тоа се термовизиските камери, кои што овозможуваат олеснета и подобрена термална анализа. Нивната употреба се проширува од термичка детекција на проблеми при трансфер на струја, водови, испитување на исправност на машини, како и откривање на проблеми во домовите, проток на вода и слично.

Овој труд опфаќа термиска анализа што се спроведува преку експериментални мерења, термовизиски снимки и термометри. Опфатени се разликите на температурата меѓу внатрешноста на зградата и околината, во текот на еден ден, во различни периоди, на различно осончени страни од објектот. За таа цел мерењата се повторуваат во три главни периоди од денот: наутро, напладне и навечер, секој термин еден од друг одвоени со точно определен интервал. Анализата ги зема предвид резултатите од мерењата однадвор и одвнатре на ист дел од обвивката на објектот. Мерењата се прават со три различни термовизиски уреди, со што покрај испитувањата на енергетската ефикасност на зградата на НЕОКОМ, овој труд опфаќа и компарација на различните модели на термовизиски камери, (двата мобилни уреди, CAT S60 и CAT S61, со термовизиска камера од компанијата FLIR и професионалната термовизиска камера FLIR VUE). За анализа на фотографиите се користи софтверската алатка Flir Tools, за која постои основна, официјална бесплатна верзија.

1.1 Компарации од спроведените мерења

1.1.1 Компарација на техничките карактеристики на термовизиските камери

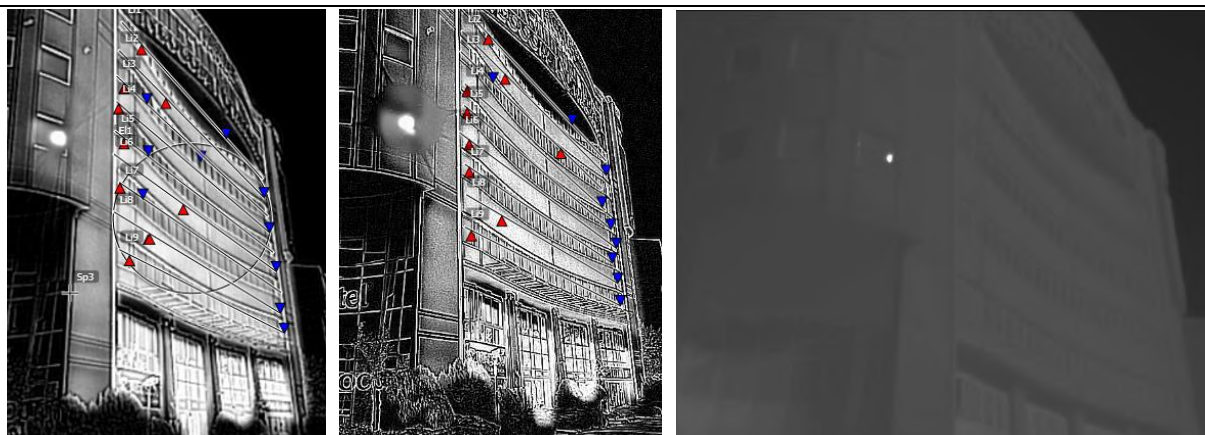
Во продолжение во Табела 1 ќе бидат дадени некои основни технички карактеристики за трите користени камери.

	CAT S60[1]	CAT S61 [2]	FLIR VUE PRO [3]
карактеристики на обична камера	1920x1080, 1080HD, 13MP	3800x2160, 4K 16MP	нема
резолюција на термичка камера	240x320	480x640	640x512
опсег кој камерата го детектира	низок: -10°C до 400°C висок: -10°C до 140°C		низок: -40°C до 550°C висок: -25°C до 135°C
можност за грешка/чувствителност	прави грешка од $\pm 0.05^\circ\text{C}$		на опсег: -25°C до 135°C; $\pm 5\%$ на опсег: -40°C до 550°C; $\pm 20\%$
најдобра работна температура	од -10°C до 80°C		-20°C до 50°C
водоотпорност	да		не
отпорност на физички шокови	да		не
цена	530 USD	1000 USD	2 350 USD

Табела 1: компарација на технички карактеристики на употребените термовизиски камери

Од прикажаните технички карактеристики, очекувањата би биле, дека како најдобра камера би се издвоила камерата FLIR VUE PRO, нспоредено со добиените резултати, цената и едноставноста на користење, мобилниот уред CAT S61 е најповолен. Она што беше забележано при процесот на фотографирање, како и нивното анализирање во софтверот FLIR TOOLS, е дека грешката која ја прават двата мобилни уреди е поголема. Секако две мерења никогаш не можат да бидат апсолутно точни и исти, но во исто време на ист објект и од иста позиција на камерите разликите на температурите од двата мобилни уреди достигнуваа до $2,3^\circ\text{C}$. На сликата 1 се прикажани фотографии изведени на ист објект и од трите камери посебно.

Сликите кои се гледаат од термовизиските камери од мобилните уреди, се всушност претопени во една: контурите од обичната камера, со чија помош се добива јасна претстава за сликаниот објект и од термовизиската камера со чија помош се врши анализата.



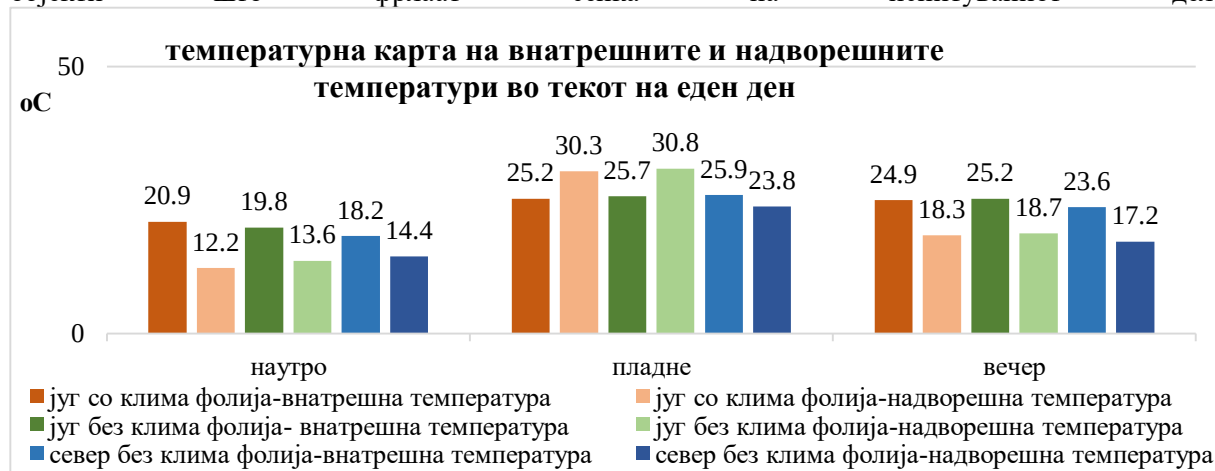
Слика 1: компарација на фотографии од камерите
а) CAT S60 б) CAT S61 в) FLIR VUE PRO

Мерењата се вршеа симултано за еден таргет во многу кратки временски интервали (≈ 10 сек.) и очекувањата беа дека ќе дадат исти или приближни резултати. Во продолжение на трудот се прикажани фотографии од мобилниот уред CAT S61.

1.1.2 Компарација на надворешните и внатрешните температури на воздухот во текот на еден ден

Сончевата енергија која паѓа на земјината површина изнесува 5,4 милиони EJ на годишно ниво од кои што 2,55 милиони EJ/год. се искористуваат директно, како што е овој случај на пасивно греење на просторот. Мерењата се извршени на 18.10.2018, што е период за кој нема потреба од дополнителни топлински извори, ниту греење, ниту ладење. Во прикажаниот график(1) илустративно се дадени внатрешните и надворешните температури за сите испитувани таргети во текот на денот.

Разликите во висината надворешните температури произлегуваат од различната поставеност во однос на страните на светот (север или југ) и присуството на висока вегетација или други објекти што фрлаат сенка на испитуваниот дел.

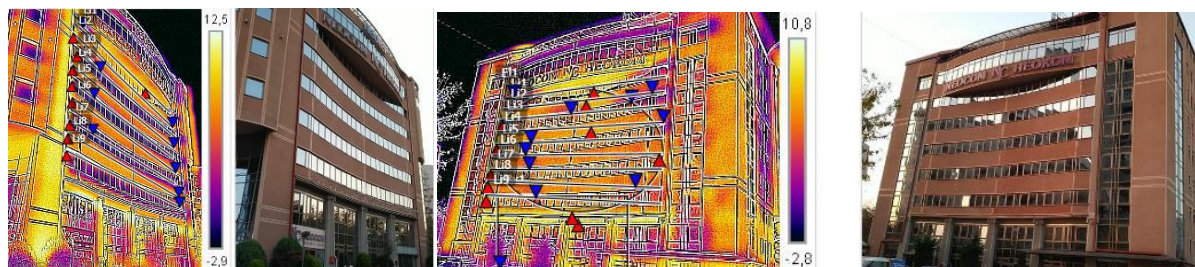


графикон 1

Од приказот може да се забележи дека во отсуство на дополнителен извор на топлинска енергија- сонце, надворешните температури во текот на утрото и вечерта се пониски од внатрешните. Тоа значи дека зградата акумулира топлина и ја задржува во висок процент во текот на нокта. Разликата помеѓу средната вечерна температура (24.566°C) и средната утринска температура (19.633°C) е 4.933°C , што значи дека загубите на температурата во текот на нокта се околу 20%.

1.1.3 Компарација на фасадите во текот на денот

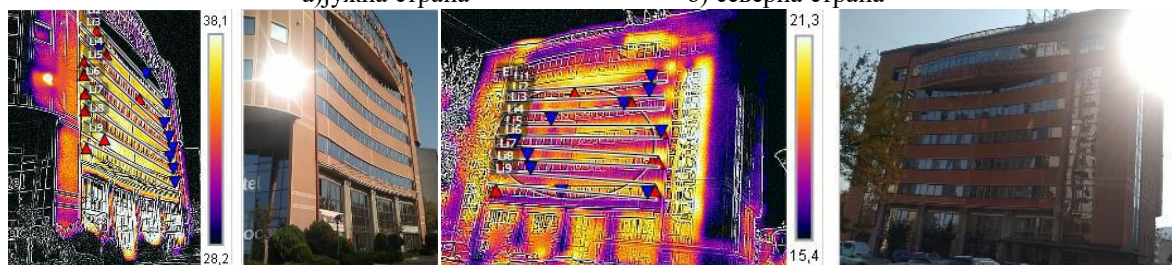
Промените на температурите на фасадата во текот на денот покажуваат многу поголеми разлики, особено меѓу утринските и пладневните мерења. При релативно блиска надворешна температура, различни делови на фасадата покажуваат драстични разлики на температурата.



Слика 2: фасада наутро

а) јужна страна

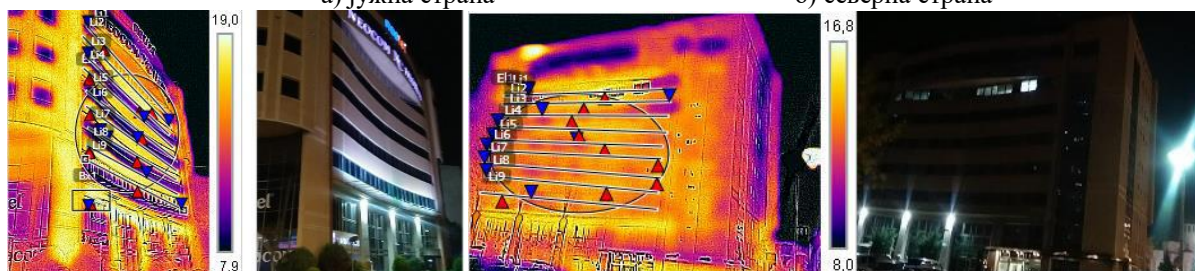
б) северна страна



Слика 3: фасада на пладне

а) јужна страна

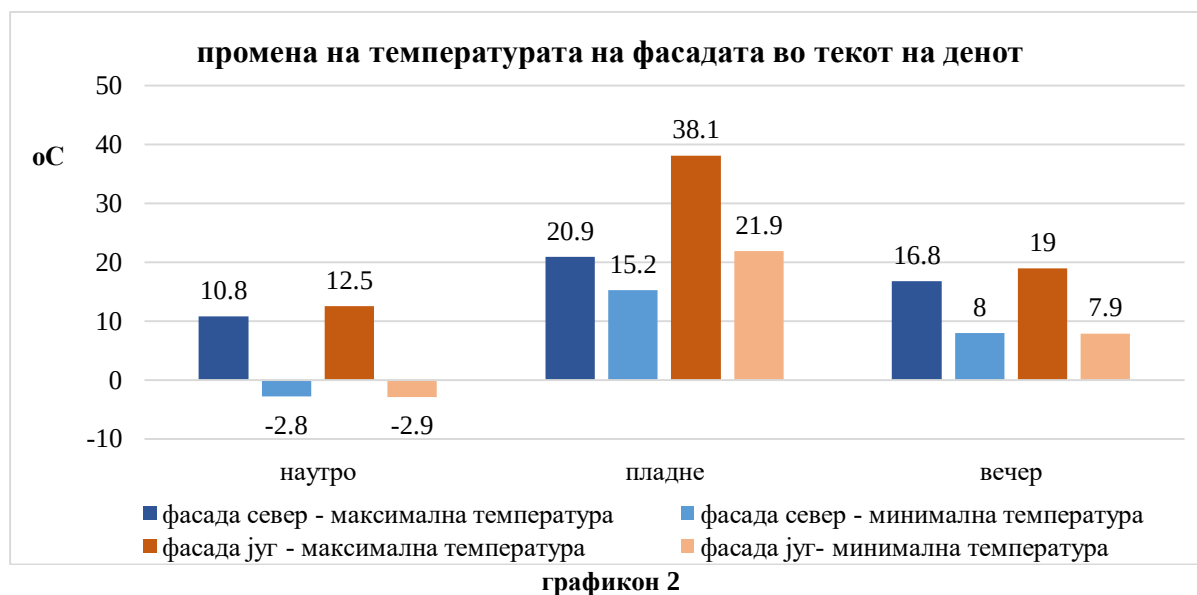
б) северна страна



Слика 4: фасада на пладне

а) јужна страна

б) северна страна



Причината за ваквата разлика може да се систем салите, кои се наоѓаат на најгорниот кат на северната страна (мала, постара систем сала) и на најдолниот кат на јужната страна (голема, нова систем сала). Исто така на јужната страна е и одблесокот на сонцето, кое во октомври се забележува заради неговата пониска патека на кружење. Во овој случај доаѓа до израз и еден недостаток на термичките камери: влијание на рефлектирана топлина во крајните резултати. Во продолжение на графиконот 2 е илустративно претставена оваа анализа.

Лесно воочлива е разликата на минималните температури од двете страни наутро и навечер од $0,1^{\circ}\text{C}$, додека оваа разлика во текот на денот е $6,7^{\circ}\text{C}$. Преку овој податок се докажува директното влијанието на сонцето врз објектите.

1.1.4 Компарација на прозорци изложени на јужната страна на кои има клима фолија и на кои нема клима фолија, во рок од еден ден

Првата компарација од внатрешните простории е направена со цел да се воочат разликите во температурите при поставени клима фолии на прозорците во однос на прозорци и простории каде нема поставени клима фолии. Клима фолијата има цел да ги подобри изолациските способности на прозорците. Доколку се разгледува графикон 1, се забележува дека внатрешната температура меѓу овие две простории се разликува за околу $0,2^{\circ}\text{C}$ во текот на целиот ден.



Слика 5: јужна страна наутро

а) со клима фолија

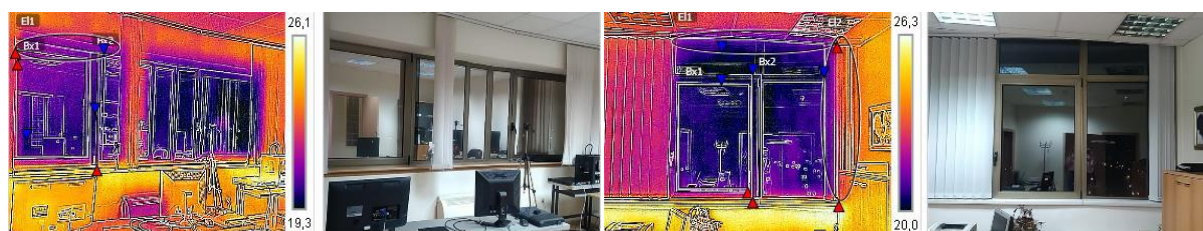
б) без клима фолија



Слика 6: јужна страна на пладне

а) со клима фолија

б) без клима фолија



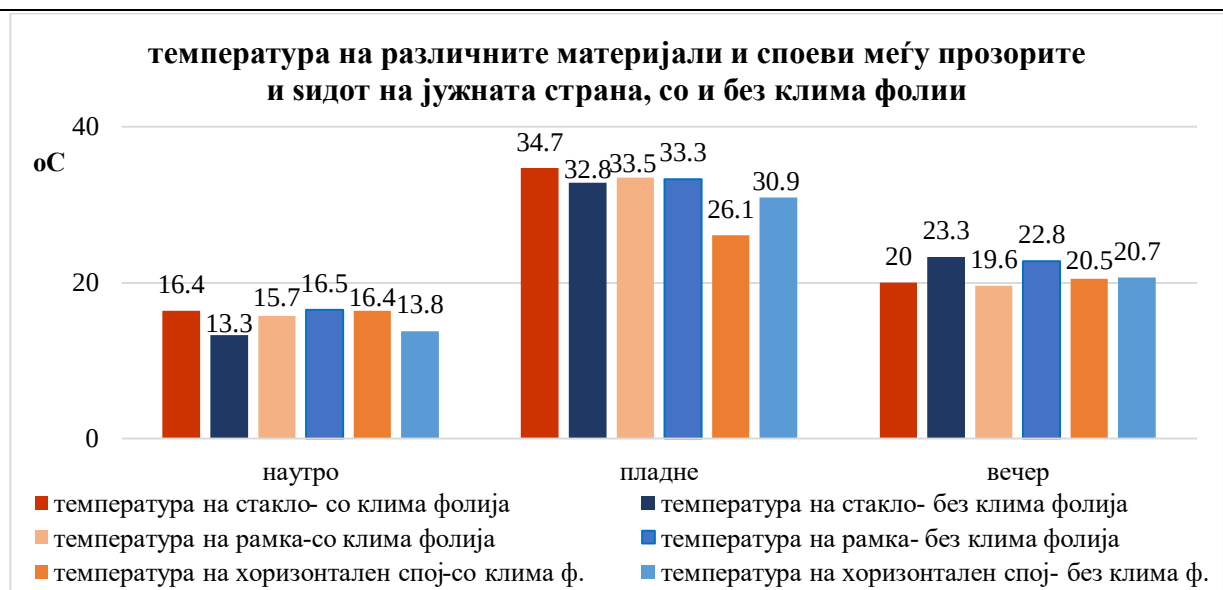
Слика 7: јужна страна навечер

а) со клима фолија

б) без клима фолија

До израз доаѓаат разликите на температурата измерени вечерта и утрото. Во просторијата во која има клима фолија разликата е 4°C , а во онаа каде нема клима фолија разликата е $5,4^{\circ}\text{C}$. На пладне пак, температурата на просторијата во која нема клима фолија е повисока за $0,5^{\circ}\text{C}$.

Доколку се направи споредба на температурата на материјалите графикон 3, тогаш се забележува дека најголемото варирање е кај самото стакло на прозорите и нивната рамка.



графикон 3

1.1.5 Компарација на прозорци на кои нема клима фолија изложени на северна и јужна страна, во рок од еден ден

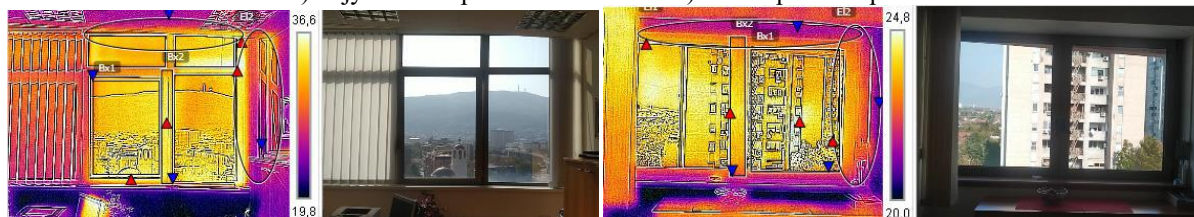
Од особена важност е и ориентацијата на зградата во однос на страните на светот. Оваа компарација опфаќа две простории чии прозори немаат клима фолија, меѓутоа едната просторија е ориентирана кој југ, а другата кон север. Доколку се анализира графикон 1, најпрво се забележува дека кога има отсуство на дополнителна енергија- сонце, внатрешните температури се значително повисоки од надворешните, а во текот на денот, кога сонцето има влијание, состојбата е спротивна.



Слика 8: прозорци без клима фолија

а) на јужната страна

б) на северната страна



Слика 9: прозорци без клима фолија

а) на јужната страна

б) на северната страна

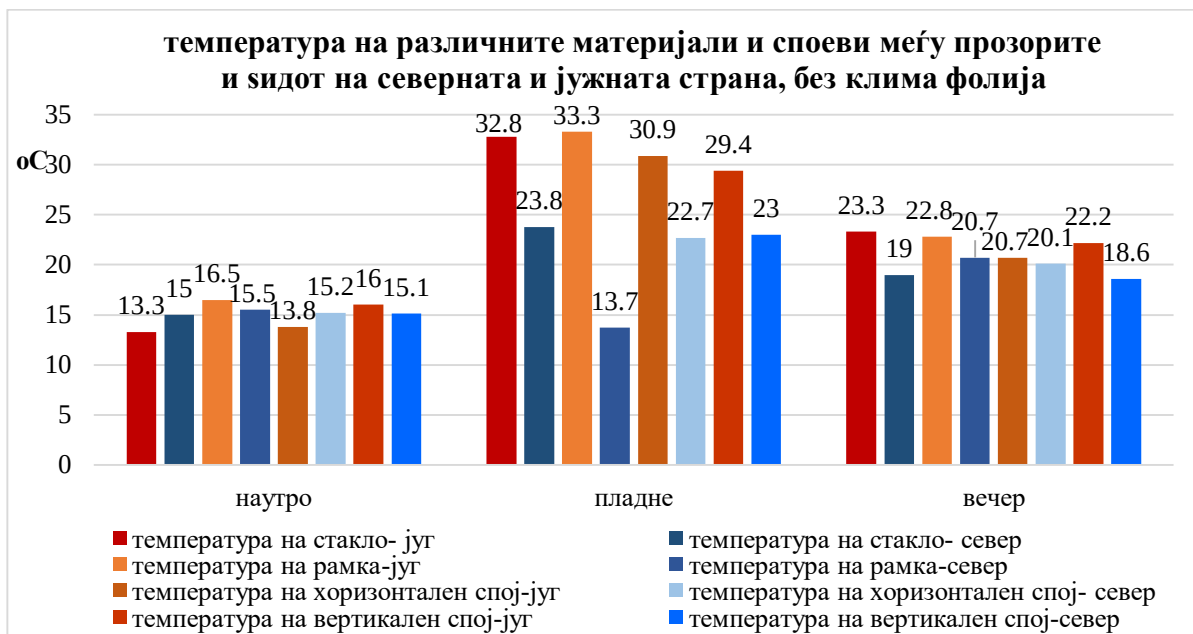


Слика 10: прозорци без клима фолија

а) на јужната страна

б) на северната страна

Внатрешните температурни разлики во текот на целиот ден се од 0,2°C на пладне и до 1,6°C по зајдување на сонцето. Неочекувано, но на пладне температурата во северната просторија е повисока во однос на јужната. Влијание врз оваа температура е тоа што во текот на денот во просторијата на северната страна, вработените имаа оставено отворен прозор и беа вклучени 8 компјутери, за разлика од јужната страна, каде прозорецот беше постојано затворен и имаше вклучено само 1 компјутер.

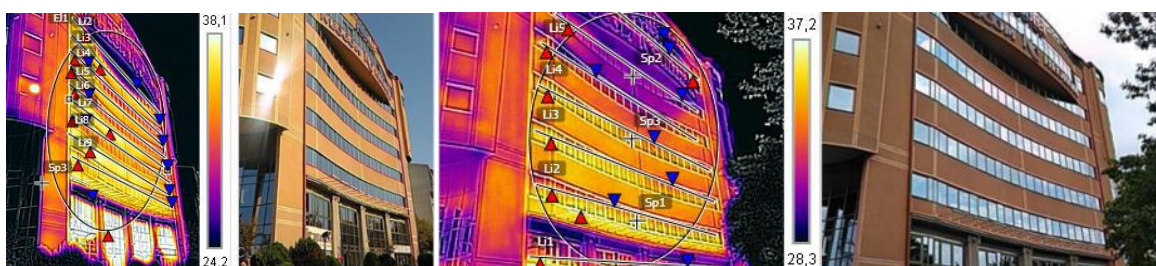


графикон 4

Како и во претходниот случај, така и сега, најголемата температурна разлика во материјалите е на стаклото и железната рамка од прозорците.

1.1.6 Компарација на фасадите на пладне во месец јули и во месец октомври

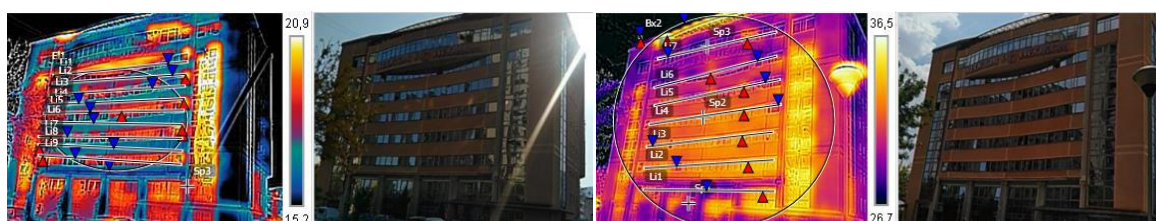
За крај е оставена кратка компарација меѓу фасадите на јужната и северната страна во летните денови: јули-2018 и есенски ден: октомври-2018. Важно е да се напомене дека на приземје, кај стаклените прозорци, каде температурата е најголема, има просторија која дополнително се загрева заради постоењето на голема софистицирана систем сала.



Слика 11: јужната страна од фасадата

а) во месец октомври

б) во месец јули

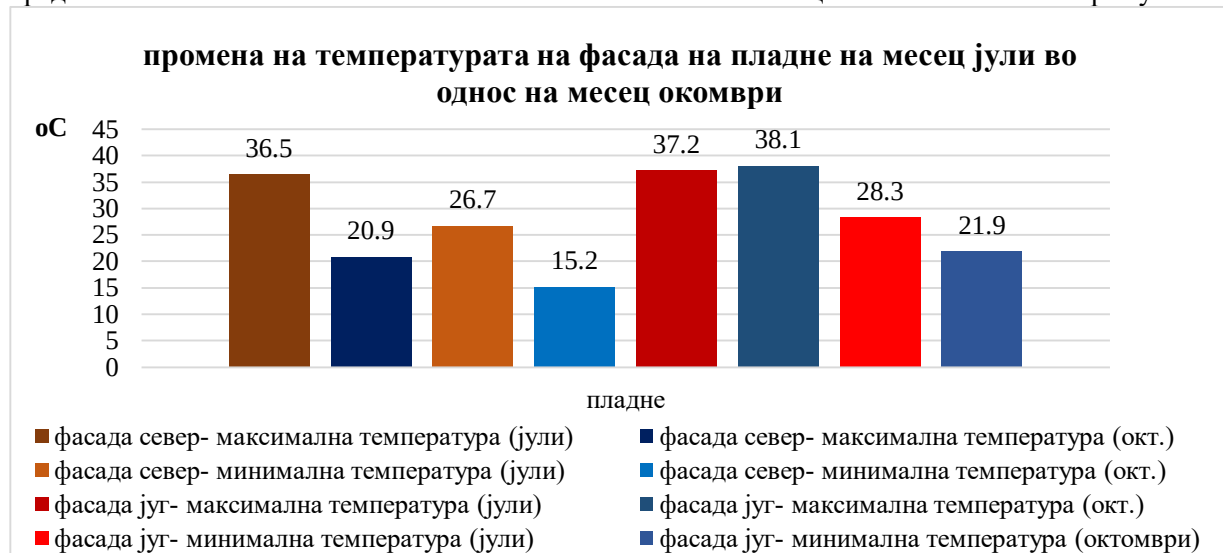


Слика 12: јужната страна на фасадата

а) месец октомври

б) месец јули

Доколку се разгледа графиконот 5, се забележува невообичаена појава, каде максималната температура на јужната фасадата во октомври е повисока од онаа во јули. Климите по просториите се поставени на надворешниот ѕид веднаш под прозорите со издувување на воздухот по вертикална линија, од долу нагоре, што значи ги лади и самите прозорци. Во октомври пак сонцето има пониска траекторија во однос на јули, па камерата ја забележува и неговата рефлектирана температура од стаклата. Софтверската алатка FLIR TOOLS, преку софистициран алгоритам пресметува средна максимална и средна минимална вредност на температурата. Таа вредност е земена за максимална и минимална за целите на ова истражување.



графикон 5

2 ЗАКЛУЧОК

Термичката камера при вакви анализи не е доволен извор на податоци за реалната состојба, затоа беа вклучени и термометри кои што дадоа целосна слика на влијанијата на сонцето врз температурата во и надвор од објектите.

Мерењата се правени во период кога објектот не користи ниту дополнително греење, ниту дополнително ладење и нема драстични температурни разлики во текот на едно деноноќие. Со континуирано следење на состојбите и последователни мерења од ваков тип повеќепати годишно, во текот на сите годишни времиња, ќе се добие појасна слика за ефектите од применетите мерки за подобрување на енергетската ефикасност на објектот, како што се клима фолиите. Исто така ќе може да се препорачаат мерки за нејзино подобрување во однос на примената на клима фолии и во други простории, изолација на фасадата или обвивката на објектот во целост, како и препораки за потребното количество на дополнително ладење и греење во текот на сезоните кога е тоа потребно.

3 БЛАГОДАРНОСТ

Особена благодарност би сакала да искажам на фирмата НЕОКОМ, фирма која ги покри потребите за ова истражување, како и остварување наредни идентични истражувања во секоја сезона од годината. Исто така сакам да се заблагодарам на ас. м-р Александар Стојменски кој ми помогна при проблемите со софтверската алатка FLIR TOOLS.

4 КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] <https://www.catphones.com/en-us/cat-s60-smartphone>
- [2] <https://www.catphones.com/en-us/cat-s61-smartphone/>
- [3] <https://www.flir.com/products/vue-pro/>

ENERGY EFFICIENCY TEST OF AN OFFICE BUILDING USING THERMAL IMAGING

ABSTARCT

Developing the technologies, engineers are increasingly tending to discover new devices and ways of detecting and solving problems, either daily ones or for scientific-research. An example of this trend are thermal imaging cameras. They allow easier and improved thermal analysis. Their use extends from thermal detection of problems in the transfer of electricity, power lines, finding malfunctions of machines or detection of problems in homes, water flows, etc., in the direction of testing the energy efficiency of buildings. Developing the usage of thermal imaging cameras, CAT mobile company and FLIR-company that makes thermal imaging cameras created two mobile devices, CAT S60 and CAT S61. In these models beside the standard camera, there is a thermal camera too.

In this paper, thermal cameras will be used to examine the energy efficiency of the building of company NEOCOM. The energy analysis are based on experimental measurements, thermal images and thermometers. The differences in temperature between the interior of the building and the environment are covered, during one day, at different times, on different sides of the object. For this purpose measurements are repeated in three main periods of the day: morning, noon, and evening, each measurement separated from each other by a specified interval (usually 5 to 6 hours). The analysis refers to the results of the measurements from the outside and from the inside of the same part of the shell of the building, on the most sun- exposed and the least sun- exposed side. The measurements are made with three different thermal devices, which, in addition of NEOCOM's energy efficiency studies, this paper contains comparison of different models of thermal cameras (both mobile devices, CAT S60 and CAT S61 and the professional FLIR VUE thermal camera). Photos from all three different parts of the day and from the three devices will be performed and analyzed simultaneously. For the analysis of photos, it is used software named Flir Tools. There is a basic, official, free downloading version of the software.

Experimental measurements and energy analyzes are made in order to provide recommendations and suggest possible solutions for increasing the energy efficiency of the facilities.



Viktor Rudan

Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies

viktorrudan@gmail.com

ACTIVE POWER FILTERS USED FOR POWER QUALITY IMPROVEMENT

ABSTRACT

Power quality disturbances such as harmonic distortion resulting in electronic equipment malfunction and damage and lower efficiency in the power system networks are nowadays widely discussed. Both large industrial facilities such as arc furnaces or variable speed drives and household appliances have lately significantly affected the power quality, but also their vulnerability to the power quality disruptions has made it crucial to find a way to mitigate them. Therefore, the application of Active Power Filters (APFs) in the modern electronic age has become an essential part of the power network, as they can compensate for harmonic currents, power factor and load unbalance. This paper shows different aspects of problems related with harmonics in power system networks and their solutions based on power electronics. Different active power filters topologies, control strategies and their advantages over other technologies for power quality enhancement have been presented and evaluated. Analytical and simulation methods using the PSIM software are used to establish a systematic approach to the problem.

Key words: Active Power Filter, Power Quality, Harmonics

1 INTRODUCTION

Reliability and power quality are certainly most important facets of any power distribution system. A power system is considered to be reliable if all its customers get interruption-free power for 24 hours a day and 365 days per year. The term power quality is often referred to as maintaining near sinusoidal voltage at the stipulated frequency of 50 or 60 Hz at the customers inlet points. The power quality problems in power distribution systems are not new, but customer awareness of these problems has increased.

It is undeniable that power converters have enabled a wide variety of regulation options for electric motors used in industrial processes and they can be found in practice as devices for power supply, switching power sources, regulation devices etc. Unfortunately, the increased application causes certain problems related to power quality. The current generated by these devices itself, contains a certain number of harmonic components that can negatively affect the devices that power them or go back to the power grid they are connected to and cause deterioration of the operation of certain electrical equipment that is located far from the harmonics source.

Harmonics can be integer multiples of the fundamental frequency, fractions of the fundamental frequency (subharmonics) and at higher frequencies that are not integer multiples of the fundamental frequency (interharmonics), all of them causing waveform distortions and needless losses in the network. Harmonics can also cause malfunction of ripple control and operation failures of electronic equipment, which are becoming more sensitive since they include microelectronic control systems operating with very low energy levels. Last but not least, negative effects of harmonics include

heating in transformers and rotating electrical machines, electromagnetic interference (EMI) and interference with communication systems.

Figure 1 presents a power distribution system with sinusoidal source voltage v_s operating with a linear and non-linear load. The current of the non-linear load i_{L1} contains harmonics, which reflect in the line current i_s producing a non-linear voltage-drop in the line impedance Δv , which then distorts the load voltage v_L . Since the load voltage is distorted, even the current at the linear load i_{L2} gets non-sinusoidal.

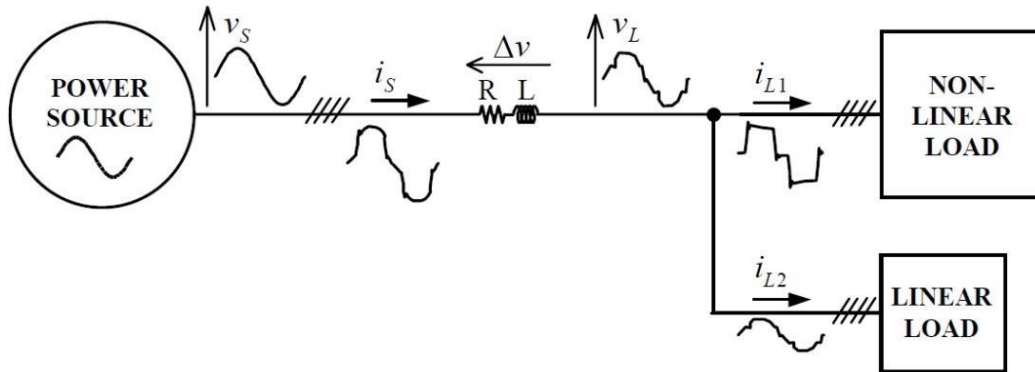


Figure 1. Power system with linear and non-linear loads

There are sets of conventional solutions to the power quality problems which have existed for a long time. However these conventional solutions use passive elements and do not always respond correctly as the nature of the power system conditions change. Harmonic distortion is traditionally solved by applying various LC filters. The basic principle of passive filtering is to prevent harmonic currents from flowing through the power system by either diverting them to a low impedance shunt filter path (in the case of parallel passive filter) or blocking them establishing a high series impedance (in the case of series passive filter) at the frequency of tuning. With these filters, only certain harmonic components for which the filter is dimensioned are eliminated and their design requires additional consideration in order to avoid the possibility of occurring resonance with the near power system impedance. In order to make sure that power quality measures eliminate more than one harmonics order, recent efforts have been concentrated in the development of dynamic and adjustable equipment, known as active filters (Figure 2) [1].

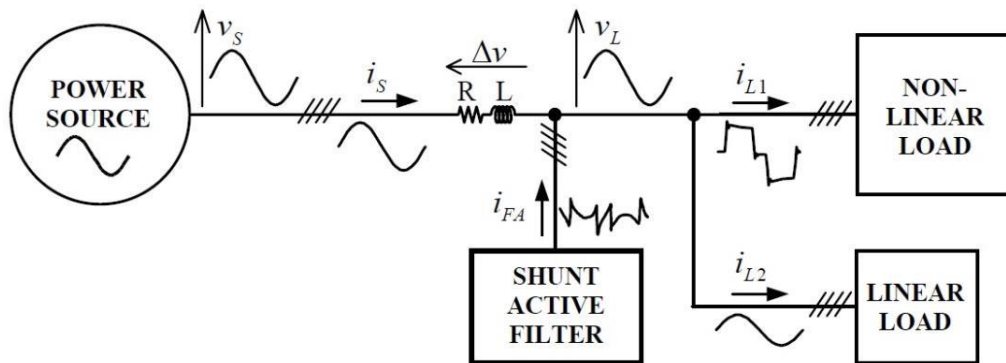


Figure 2. Power system with a shunt APF installed

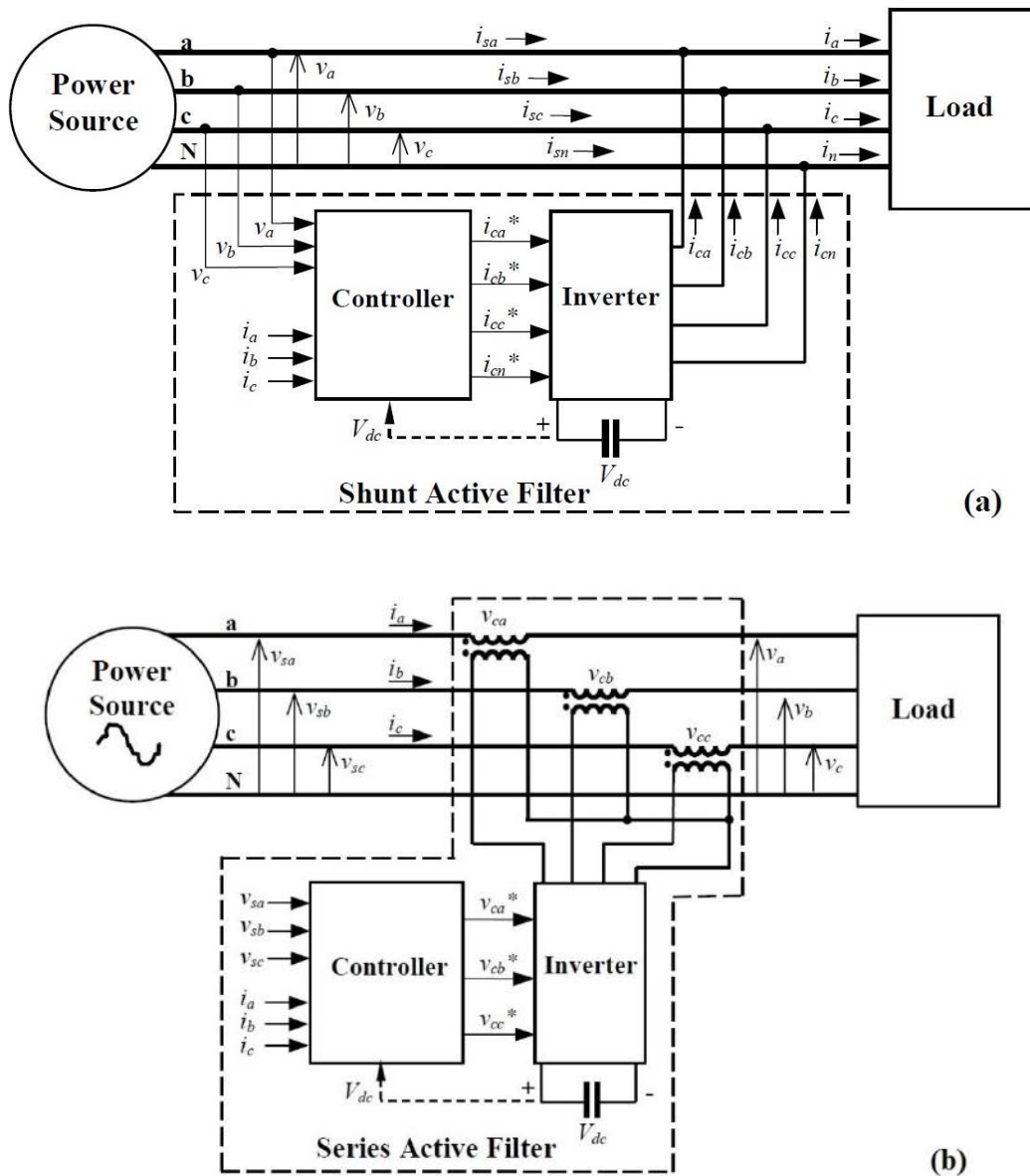
2 ACTIVE FILTERS

Although their basic working principle was established around 1970s, the idea of active power filtering could not become economically feasible until the last three decades when cost-effective Insulated Gate Bipolar Transistors (IGBTs) and Digital Signal Processors (DSPs) became available. The advantage of active filtering instead of using passive filters (LC filters) is that it automatically adapts to changes in the network and load fluctuations. As already mentioned, they can compensate for several harmonic orders and eliminate the risk of resonance between filter and network

impedance. They also take up very little space, unlike the passive filters which require additional circuits for each harmonic component that is being eliminated.

Active filters can be firstly categorized into two-wire (single-phase), three-wire, and four-wire configurations in order to meet the requirements of the three types of loads in supply systems. All APFs are developed with pulse width modulated (PWM) converters, namely current-source inverters (CSI) or voltage-source inverters (VSI). The basic principle of APFs with CSIs lies in the operation of the PWM inverter bridge as a non-sinusoidal current source such that it meets the harmonic current waveform of the non-linear load. It has a self-supported DC reactor that guarantees the continuous circulation of the DC current. They are highly reliable, but have significant losses and require higher values of parallel capacitor filters at the AC terminals. On the other hand, APFs that use VSIs are more suitable for active filtering application since they are lighter, cheaper and unlike the APFs with CSI, they support multilevel step versions, to improve its performance for high power rating compensation with lower switching frequencies. A parallel capacitor is used as well in order to decrease the ripple. The VSI utilizes IGBTs with a anti-parallel diodes, while CSI utilizes IGBTs with series connected diodes for reverse blocking capability [2].

The most usual categorization of APFs is made by their topology such as parallel (shunt), series or shunt-series. Different active power filter topologies are shown in Figure 3.



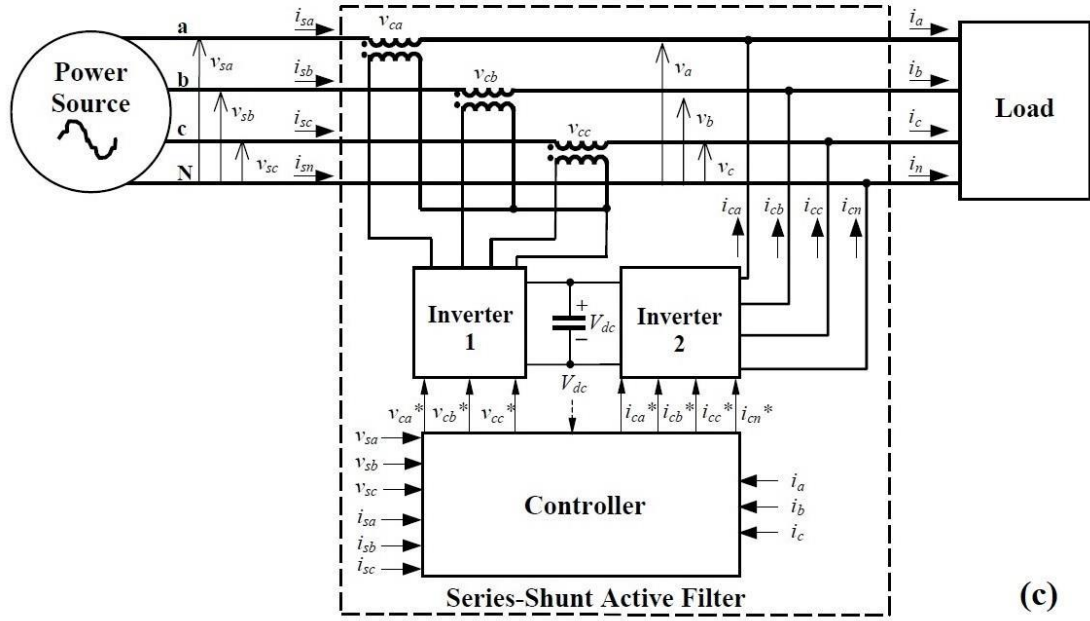


Figure 3. APFs topologies: (a) shunt; (b) series; (c) series-shunt

Figure 3 (a) shows the electrical scheme of a shunt active filter for a three-phase four-wire power distribution system, meaning that the neutral wire is included. This topology can compensate for both current harmonics and perform power factor correction. Figure 3 (b) presents the scheme of a series active filter for a three-phase four-wire power system. This APF topology is used to compensate distortion in the power line voltages, making the voltages applied to the load sinusoidal, that is compensating for voltage harmonics. Figure 3 (c) presents a combination of both shunt and series active filter in one scheme. This, when economically viable, can be used for enhancing both current and voltage waveforms so that they become sinusoidal [3].

2.1 Shunt active power filter

Shunt APFs compensate current harmonics by injecting the harmonic components generated by the load but phase shifted by 180° . As a result, components of harmonic currents contained in the load current are cancelled and the source current, as well as the linear load current, remain sinusoidal. Moreover, with a convenient control scheme, the APF can enhance the power factor so that the distribution system sees the non-linear load as an ideal resistor. Shunt APFs are usually implemented with PWM VSIs. The VSI is usually a two level inverter connected to the AC bus through a transformer. This is why these types of configurations are used only for medium power range (hundreds of kVA), while for medium voltage and higher rated power applications multilevel PWM VSIs are used.

The APF illustrated on Figure 4 is applied to three-phase four-wire non-linear loads. In these systems, the neutral wire current may have nearly three times higher rms value of the phase currents and the neutral wire and the distribution transformers as well may be overloaded. The APF in this case will compensate the nonzero sequence harmonic currents as well as the neutral wire current which includes the fundamental and triplen harmonic zero sequence currents. So, it allows load balancing, eliminating the current in the neutral wire. On the DC side of the VSI, there is a single capacitor (the active filter does not require any internal power supply), controlled in a way that it acts like a current source. From the measured values of the phase voltages (v_a, v_b, v_c) and load currents (i_a, i_b, i_c), the controller calculates the reference currents ($i_{ca}^*, i_{cb}^*, i_{cc}^*, i_{cn}^*$ on Figure 3 (a)) used by the inverter to produce the compensation currents ($i_{ca}, i_{cb}, i_{cc}, i_{cn}$). The detected load currents are sent to current reference generator block to obtain the harmonic current reference. The generated current reference is sent to the PWM VSI current controller. The current controller takes the feedback signal of the APF current and the reference current and it creates switching signals to VSI for the regulation

of APF current. The current controller is the most critical part of the APF. Since it has to compensate for wide range of harmonics, it requires high bandwidth and resolution. The solution presented on Figure 4 requires 6 current sensors, 4 voltage sensors, and the inverter uses 8 power semiconductor switches).

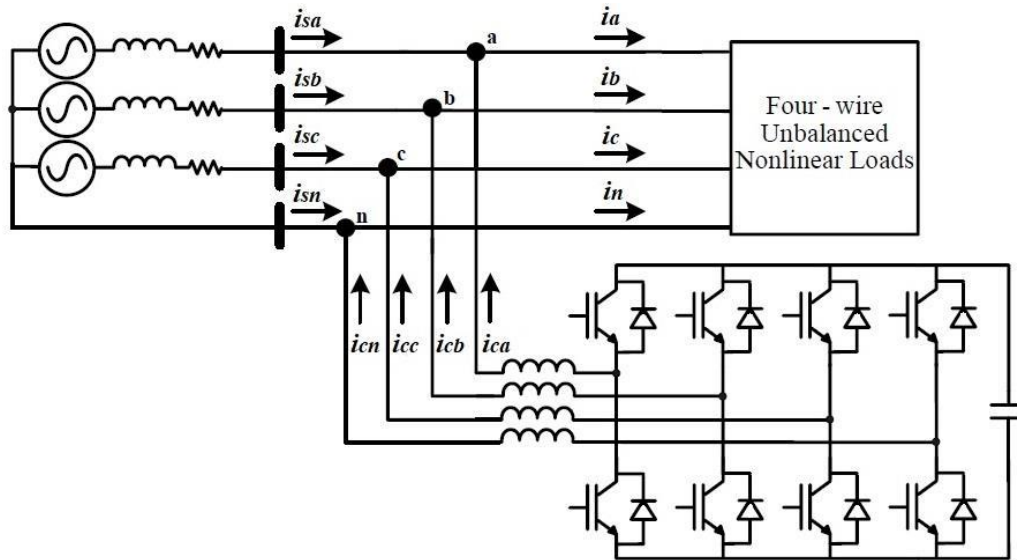


Figure 4. Shunt active power filter

There are many PWM techniques used in the APFs, some of them being: periodical sampling control, hysteresis band control, triangular carrier control and vector control. The analysis shows that a sinusoidal current generation is obtained the best with triangular carrier. This method compares the current error with fixed amplitude and fixed frequency triangular wave (triangular carrier). The error is then processed through a proportional-integral (PI) gain stage before the comparison with the triangular carrier takes place. This method was used in the simulation given in the section 3 below.

2.2 Series active power filter

Series APFs are more preferable to protect the consumer from an inadequate supply voltage quality. They are used for compensation of voltage unbalances, voltage distortion, voltage sags from the AC supply, and for low power applications represents an economically attractive alternative to UPS, since no energy storage (battery) is required and the overall rating of the components is smaller. The basic working principle differs from the one of shunt APFs such that the series APFs inject a voltage component in series with the supply voltage and therefore can be regarded as a controlled voltage source, compensating voltage sags and swells on the load side.

In order to operate as a harmonic isolator, a parallel LC filter (passive filter) must be connected between the non-linear loads and the coupling transformers. Imposing a high impedance path to the current harmonics, forces the high-frequency currents to flow through the LC passive filter connected in parallel with the load. The high impedance imposed by the series active power filter is created by generating a voltage of the same frequency that the current harmonic component needs to be eliminated. Current harmonic and voltage compensation are achieved by generating the appropriate voltage waveforms with the three-phase PWM VSI, which are reflected in the power system through three coupling transformers. Thus, the VSI behaves as a controlled voltage source.

The purpose of the coupling transformer CT is to isolate the PWM inverters from the source and to match the voltage and current ratings of the PWM inverters with those of the power distribution system. Generally, the transformer turn ratio is selected to be high enough in order to reduce the amplitude of the inverter output current and to reduce the voltage induced across the primary winding. The ripple filter connected at the secondary of the transformer limits the ripple factor and eliminates the induction of high-frequency ripple voltage generated by the PWM inverter switching pattern at the terminals of the primary winding of the coupling transformer.

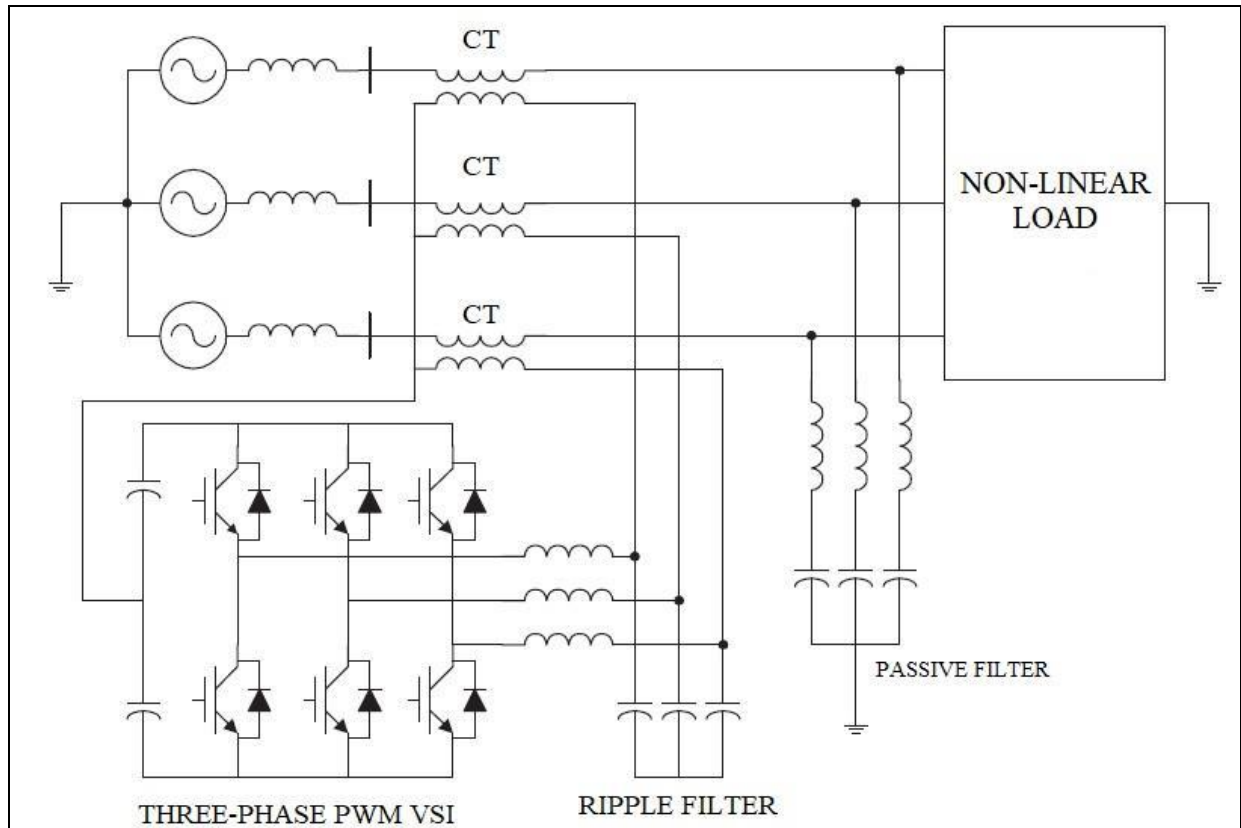


Figure 5. Series APF

Figure 3 (c) shows another solution to the problem, using a shunt APF connected with the series APF back to back, so that both load voltages and the supplied currents become sinusoidal waveforms. Such system is named as Unified Power Quality Conditioner (UPQC). The system can be considered as an ideal active filter which eliminates all the power quality problems with the utility and non-linear loads. While the shunt APF part compensates the harmonic current, reactive power current and unbalanced current components of a non-linear load, the series APF part eliminates the voltage harmonics, sags, swells and regulates the load terminal voltages. The main drawback of UPQC for now is its cost and control system complexity.

3 SIMULATION USING PSIM

Performance of shunt APF is checked with the use of PSIM software. Figure 6 presents the simulation results for a three-phase three-wire power system with a shunt APF. It includes the following waveforms, corresponding to two-cycles of steady-state operation: source phase voltages (u_{sa} , u_{sb} , u_{sc}), load phase currents (i_a , i_b , i_c), currents from the inverter (i_{ca} , i_{cb} , i_{cc}) and the source phase currents (i_{sa} , i_{sb} , i_{sc}). It is important to point out that although the Total Harmonic Distortion (THD) is significantly reduced, there still is an almost-negligible ripple in the supply current waveform which occurs due to the inverter commutation.

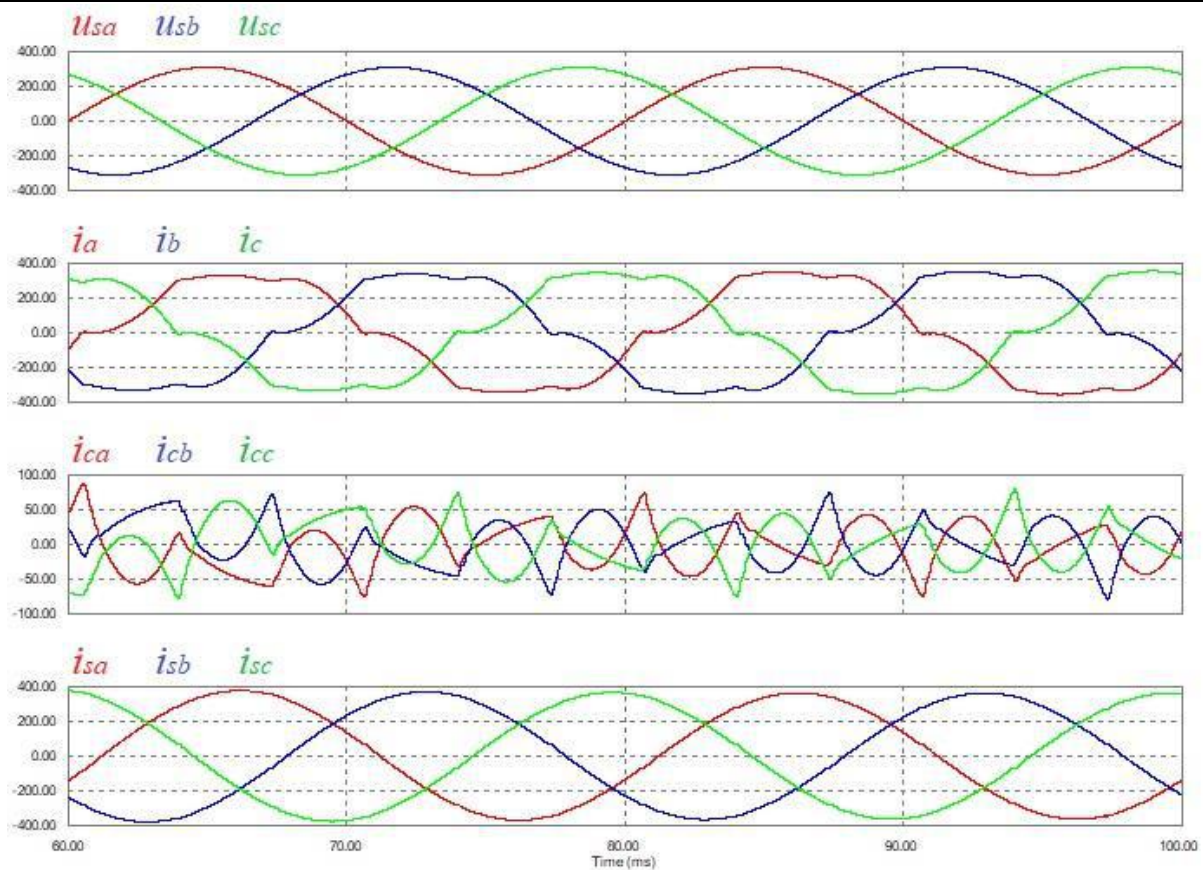


Figure 6. Results of the PSIM simulation

4 CONCLUSIONS

This paper gives reliable solutions to different power quality problems. Active filters are an up-to-date and a viable solution to power quality problems related to harmonics in the power system networks. Although one popular opinion states that power electronic devices are to blame for causing a lot of power quality problems, it is also true that power electronic converter systems can play an equally important role in reducing the impact of power quality problems. Other than compensating current and voltage harmonics, APFs are able to compensate reactive power, regulate terminal voltage, suppress flicker and to improve voltage balance in the three-phase systems. Different topologies of APFs that are most common are presented in the paper stating the characteristics and advantages of each of them. Shunt APFs are most widely used type of APFs and are easily found in the market for the last two decades. A lot of power electronic companies such as ABB, MGE etc. manufacture APFs in accordance to the IEEE standards dealing with power quality. Moreover, the advances in control theory and application of modern control methods in power electronics play a significant role in the practical realization and commercial success of active filters. Simulation results show that shunt APF features good steady-state response which added to the characteristics mentioned above, prove APF to be a highly-efficient and sufficient power quality improvement tool.

5 REFERENCES

- [1] Muhammad H. Rashid, "Power Electronics Handbook", third edition, 2011
- [2] João L. Afonso, H. J. Ribeiro da Silva and Júlio. S. Martins, "Active Filters for Power Quality Improvement", IEEE, 2001
- [3] Hasan Ozkaya, "Parallel Active Filter Design, Control and Implementation", Middle East Technical University, Turkey, 2007



Стефан Трајков ¹

¹ Еко Солар-, Штип

trajkov-stefan@live.com

ЕДУКАТИВНА ОПРЕМА ЗА ИЗУЧУВАЊЕ НА ПРИДОБИВКИТЕ ОД УПОТРЕБАТА СОНЧЕВАТА ЕНЕРГИЈА

КУСА СОДРЖИНА

Зголемената цена на фосилните горива и видливите знаци на глобалното затоплување се главните причини за употреба на ОИЕ. Еден од начините на кои може да се зголеми употребата на обновливите извори пред конвенционалните извори на енергија е преку едукација и нивна практична примена.

Главна цел на овој труд е да се претстави едукативна соларна опрема која е изработена според теркот на занаетчиска комора Кобленц, Германија. Таа се состои од неколку единици: перфорирана табла со главни компоненти на еден фотоволтаичен систем кои можат да бидат комбинирани меѓусебе (фотоволтаичен панел, инвертор, регулатор за полнење, батерии, конектори, потрошувачи), соларна градина, мобилна термосифонска и пумпна термална единица (сончев колектор, бојлер, пумпна група, контролер и фитинг) како и мобилен фотоволтаичен куфер. Дел од опремата е дизајнирана на тој начин што може да се користи како во надворешни така и внатрешни услови. Ова е овозможено со инсталирани лед рефлектори кои во затворени услови ќе симулираат сончево зрачење. Мерните уреди како: униметар, мерач за сончева радијација и мерач за потрошена ел. енергија спаѓаат во оваа опрема и имаат задача да го зголемат опсегот на практични задачи кои можат да се изведат на оваа опрема.

Крајните корисници не се само факултетите, техничките средни училишта туку и основите училишта каде децата уште од најрана возраст ќе ги изучат бенефитите од обновливите извори на енергија. При изработка на опремата се превземени сите мерки за безбедност при работа.

Клучни зборови: образование; ОИЕ; ефикасност; обука;

ABSTRACT

The rising cost of fossil fuels and the visible signs of global warming are the main reasons for the use of RSE. One possible way of increasing the usage renewable sources can be increased in front of conventional energy sources is through education and practical application.

The main goal of this paper is to present educational solar equipment that is made according to Coblenz Handicraft Chamber, Germany. It contains several units: perforated board with main components of photovoltaic system that can be combined together (photovoltaic panel, inverter, regulator, batteries, connectors, consumers), solar garden, mobile thermosiphon and pump thermal unit (solar collector, water heater, pump group, controller and fitting parts) as well as a mobile photovoltaic suitcase. Part of the equipment is designed in such a way that it can be used both in internal and external conditions. This is made possible through the installed led lights which in closed conditions simulate solar radiation. Measuring devices such as: unimeter, solar radiation meter and energy consumer meter

are also included and have the task to increase the range of practical tasks that can be performed on this equipment.

The end-users are not only faculties, technical secondary schools, but also the basics of schools where children from the earliest age will study the benefits of renewable energy sources. During the preparation of the equipment, all safety measures at work have been taken.

Key words: education, renewable sources, efficiency, training

1 ОСНОВНИ ИНФОРМАЦИИ ЗА ЕДУКАТИВНАТА ОПРЕМА ЗА ПРОУЧУВАЊЕ НА УПОТРЕБАТА НА СОНЧЕВАТА ЕНЕРГИЈА

Опремата се сосоти од соларната градина, мобилна термосифонска единица, мобилна пумпна термална единица, куфер со фотоволтаична единица и перфорирана табла со мерни уреди.

Пумпниот и термосифонскиот термален соларен систем служат за добивање на санитарна топла вода. Кандидатите што ќе бидат обучени пресметуваат колку топлинска енергија е добиена од сончевото зрачење со помош на мерач на сончевото зрачење и покажувач на постигната температура на влезната и излезната температура во колекторот.

2 СОСТАВНИ ЕЛЕМЕНТИ НА ТЕРМАЛНИОТ ДЕЛ ОД ЕДУКАТИВНАТА ОПРЕМА ЗА ПРОУЧУВАЊЕ НА УПОТРЕБАТА НА СОНЧЕВАТА ЕНЕРГИЈА

Едукативната опрема се состои од мобилна пумпна и термосифонска термална единица. Термосифонската единица содржи: рамен сончев колектор, резервоар, дигитален сончев контролер за интелигентно управување со системот и носечка конструкција. Од друга страна, пумпниот систем содржи: рамен сончев колектор, резервоар, пумпна група, експанзивен сад и дигитален контролер.



Слика 1. Едукативен пумпен сончев систем

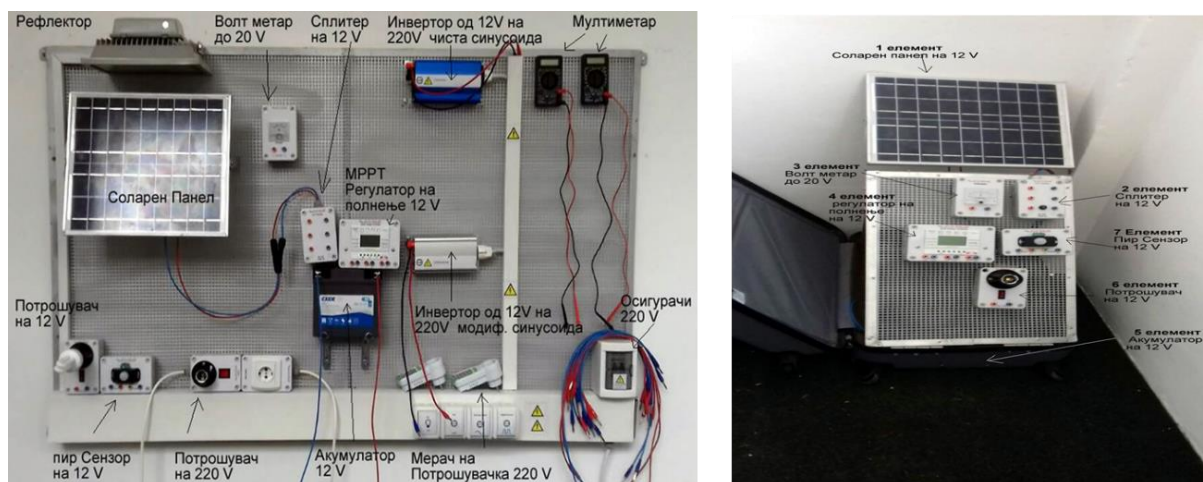
Термалните мобилни единици се направени со цел кандидатите практично ги увидат придобивките од инсталацијата на ваквите топлински системи. Дополнително беа извршени мерења од: интензитетот на сончевото зрачење, надворешната температура, температурата на водата во резервоарот, влезна температура, излезна температура и произведената топлинска енергија на секој 15 минути во периодот од 10:00 до 12:00. Резултатите од мерењата се наведени во табела број 1.

Датум: 30.06.2017							
Страна на поставеност/ориентација на сончевиот колектор (исток, запад, север, југ...): ЈУГ							
Агол на поставеност на сончевиот колектор: 45°							
Почетна температура на водата во резервоарот: 20°C							
Површина на сончевиот колектор изложена на зрачење: 0.508/0.41 m²							
Бр. мерење	Време (час:мин)	Интензитет на сончево зрачење [W/m ²]	Темп. на надвореш. воздух [°C]	Темп. на вода во резервоар [°C]	Влезна темп. во колектор [°C]	Излезна темп. од колектор [°C]	Произведена топлинска енергија (резервоар) [kJ]
1	10:00	850	25	20	20	22	0
2	10:15	900	26	21	22	23	125.61
3	10:30	950	26.5	23	23	24	251.22
4	10:45	1000	27	24	24	26	125.61
5	11:00	1050	27.5	25.5	25	27	188.415
6	11:15	1100	27.5	27	27	28	188.415
7	11:30	1150	28	28	28	30	125.61
8	11:45	1200	28.5	29.5	30	32	188.415
9	12:00	1250	30	30	32	34	62.805

Табела 1.Експериментални мерења на термалната мобилна единица

3 ОСНОВНИ СОСТАВНИ ДЕЛОВИ ОД ФОТОВОЛТАИЧНИОТ ДЕЛ ОД ЕДУКАТИВНАТА ОПРЕМА ЗА ПРОУЧУВАЊЕ НА УПОТРЕБАТА НА СОНЧЕВАТА ЕНЕРГИЈА

Перфорираната табла со мерните уреди се состои од повеќе единици: фотоволтаичен панел, 2 инвертори (модифицирана и чиста синусоида)-учениците ги увидуваат придобивките од употреба на инвертор со чиста синусоида , регулатор за полнење , акумулатор-гел,3 потрошувачи, два волтметри, два униметри и 24 конектори.



Слика 2. Фотоволтаичен дел од едукативната опрема (перфорирана табла со фотоволтаични елементи и мобилна фотоволтаична единица)

3.1 Мерења на фотоволтаичната опрема

Постојат неколку видови на мерења кои можат да се направат на фотоволтаичниот дел од опремата. Еден од нив е пресметка на напонот при различен агол на поставување на фотоволтаичниот панел. Пример за таквите мерења имате во табела број 2.

Позиција на ФВ сончев панел	Отчитана вредност на напонот (V)
Поставен хоризонтално, паралелен со изворот на светлината. Зраците паѓаат под 90° .	
Поставен под агол од -30° од хоризонталната позиција. Зраците паѓаат под агол 60° .	
Поставен под агол од -45° од хоризонталната позиција. Зраците паѓаат под агол 45° .	
Поставен под агол од -60° од хоризонталната позиција. Зраците паѓаат под агол 30° .	
Поставен под агол од -90° од хоризонталната позиција. Зраците паѓаат под агол 0° , поминуваат покрај панелот, но не допираат на апсорберот	

Поедноставена табела за внесување на податоци:

Големина на упаден агол на сончевата енергија	90°	60°	45°	30°	0°
Измерена вредност на напонот (V)					

Табела 2. Експериментални мерења на фотоволтаичен дел од опремата

4 ЗАКЛУЧОК

Во иднина се предвидува да се зголеми употребата на обновливите извори на енергија. Македонија со 280 сончеви денови во рамките на една година има исклучително поволни услови за искористување на сончевата енергија како одржлив енергетски ресурс. Употребата на ваква едукативна опрема ќе ја зголеми свеста и употребата на ОИЕ.

5 КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА.

- [1] Проф. Д-р Славе Арменски. Сончева енергија. Скопје 2012: Јофи-скен ДООЕЛ-Скопје
- [2] "Planning and Installing Solar Thermal Systems", London 2010
- [3] Проф. Д-р Славе Арменски. Обновливи извори на енергија. Скопје 2013: БороГrafика-Скопје

Stefan Trajkov¹

¹ Eko Solar, Shtip

[¹trajkov-stefan@live.com](mailto:trajkov-stefan@live.com)

EDUCATIONAL EQUIPMENT FOR STUDYING THE BENEFITS OF USING SOLAR ENERGY

ABSTRACT

The rising cost of fossil fuels and the visible signs of global warming are the main reasons for the use of RES. One possible way of increasing the usage of renewable compared to conventional energy sources can be accomplished through education and practical application.

The main goal of this paper is to present educational solar equipment that is made according to Coblenz Handicraft Chamber, Germany. It contains several units: perforated board with main components of photovoltaic system that can be combined together (photovoltaic panel, inverter, regulator, batteries, connectors, consumers), solar garden, mobile thermosiphon and pump thermal unit (solar collector, water heater, pump group, controller and fitting parts) as well as a mobile photovoltaic suitcase. Part of the equipment is designed in such way that it can be used both in indoor and outdoor conditions. This is possible through the installed led lights which in closed conditions simulate solar radiation. Measuring devices such as: unimeter, solar radiation meter and energy consumer meter are also included and have the purpose to increase the range of practical tasks that can be performed on this equipment.

The end-users are not only faculties or technical secondary schools, but also the primary schools where children in the earliest age will study the benefits of renewable energy sources. During the preparation of the equipment, all measures for a safe working environment have been taken into place.



Vojdan Andonov ¹, Dejan Dimitriev ²

¹ Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies, St. Cyril and Methodius University, Skopje

¹andonov.vojdan@gmail.com ²denidimitriev@hotmail.com

COAL THERMAL POWER PLANT VS. SOLAR PHOTOVOLTAIC POWER PLANT: LCOE AND NPV ANALYSIS

ABSTRACT

During the last few decades, the energy sector has been undergoing a stage of revolutionary changes within countries around the world. One of them is the ever-growing support of the idea of producing electrical energy from renewable resources instead of fossil fuels. Amongst other aspects, this process has had an impeccable impact on the global economy. This paper makes use of two indicators: LCOE (Levelized Cost of Electricity) and NPV (Net Present Value) to show and compare the cost-effectiveness of two power producing plants: a thermal plant powered by coal and a utility scale solar (PV) power plant. As a reference point of comparison, both power plants are set at peak surge power of 100MW. The purpose of this paper is to explore the economic viability of the systems and their sensitivity to various input parameters by applying the previously mentioned methods. The parameters taken into account during this research are: capital cost investment, standard (invariant) operation and maintenance costs, accountable variable operation and maintenance costs, fuel prices, discount rates, and the annual energy output of the two plants respectively. An important note is that the approach taken here is relatively simplistic and is only to be used as a rough indication due to the nature of the data available and to make this process as transparent as possible. Finally, the sensitivity analyses of the LCOE calculations provide the means of dealing with uncertainties and make the analysis as objective as possible.

Keywords: Levelized cost, LCOE, NPV, solar photovoltaic, coal thermal power plant

1 INTRODUCTION

The exponential growth of technology in the past few decades has paved the way for many alternatives within the energy market. The costs of producing electricity from renewables such as solar and wind continue to fall as time passes by [1][2]. One of the most prospective and globally implemented renewable energy power stations are the solar photovoltaic ones, which have, in recent years, started to threaten the market of conventional energy producing power stations. The purpose of this paper is to compare the economic capabilities of these solar photovoltaic power stations to one of the most familiar types of fossil fuel power stations - a coal-fired thermal power plant. Specifically, the model of the coal thermal power plant explored here is one running on lignite (brown coal). There are many means of reviewing the economic competitiveness of different power plants, but the most acclaimed one is the Levelized Cost of Electricity (LCOE) method, which acts as the main tool used in this paper. Further on, a Net Present Value (NPV) analysis is also conducted, adding to a more complete comparison. Research done globally show that the trend of renewable energy power stations tackling the market previously dominated by fossil fuel power plants continues, as the electricity cost for the energy produced from solar photovoltaic power stations is now at an all-time low. According

to one of Lazard's latest analyses, the LCOE of solar PV power stations went down by approximately 6% from last year [2]. "...the global weighted average LCOE of utility-scale solar PV fell 73% between 2010 and 2017, to USD 0.10/kWh. Increasingly, this technology is competing head-to-head with conventional power sources..." writes one of the leading global research organizations, the International Renewable Energy Agency (IRENA) [1]. Still, one begs the question: have solar photovoltaic power stations reached the state where they can take over the traditional power generating plants such as the coal-fired thermal power plants ?

2 METHODOLOGY

2.1 Levelized Cost of Electricity (LCOE)

The Levelized Cost of Electricity (LCOE) is a method used for analyzing the cost-effectiveness and competitiveness of power generating systems. It presents the minimum price that the energy produced should be sold in order to achieve full retrieval of the investment over a given time period. Mathematically, this method is shown with the formula:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}} . \quad (1)$$

Where:

- I_t - Investment costs per year.
- M_t - Operation and Maintenance costs per year:
- F_t - Fuel costs per year.
- E_t - Energy produced per year.
- n - Lifetime of the power plant.
- t - Time (iteration) variable.
- r - Discount Rate : The rate of which the currency varies in value over the course of a year.

As shown in equation (1), by dividing the overall costs of the power plant for its lifetime with the overall energy produced by it, the LCOE returns a value which is the previously mentioned minimum price (cost).

2.2 Net Present Value (NPV)

Like the LCOE, the Net Present Value (NPV) is an economical tool used to determine the viability of an investment. It measures the difference between the present cash inflows and present cash outflows, but also factors in the discount rate as a variable along with the lifetime of the project (power plant). Positive NPV results indicate a positive cash return on the investment, whereas negative NPV results indicate the contrary. The NPV calculation is similar to that of the LCOE, as can be seen from equation (2):

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} - I_0 . \quad (2)$$

Where:

- C_t - Cash flow per year.
- I_0 - Initial Investment Cost

Furthermore, equation (3) shows the cash flow calculation:

$$C_t = E_t * P_{re} - M_t - F_t . \quad (3)$$

Where:

- P_{re} - average wholesale market price of electricity

3 CASE STUDY

The case of two hypothetical power plants is taken: a lignite thermal power plant and a utility scale photovoltaic power plant. As a referent point of comparison, they are both set at a 100 MW power capacity, while the calculations are done as per kW installed capacity (kWp) or kWh. The data presented herein is aimed at assessing the economic viability for such investments in the Republic of Macedonia. However, when country specific data were not available, the assumptions were based on data for South-Eastern Europe and Europe in general.

3.1 Data

In order to objectively discuss the economic feasibility of these power plants the analysis must be based on relevant and robust cost datasets. These costs, in addition with the yearly energy produced and lifetime of the given power plant, represent the input parameters for the LCOE and NPV calculations used in this paper. The full data gathered in this research is shown on Table 1.

	I_0		M_t		F_t	E_t		r		n	$LCOE$	
Values	Min	Max	Min	Max	/	Min	Max	Min	Max	/	Min	Max
COAL	3000	7000	35	45	0.0020	5496	7446	6	10	40	0.031	0.123
	[\$/kW]		[\$/kW]		[\$/kWh]	[kWh]		[%]		[yr.]	[\$/kWh]	
PV	800	1400	10	25	/	1100	1350	6	10	25	0.050	0.146
	[\$/kW]		[\$/kW]		[\$/kWh]	[kWh]		[%]		[yr.]	[\$/kWh]	

Table 1: Data and LCOE results for Solar PV Power Plant and Coal Thermal Power Plant

The Investment costs of a solar PV power plant consist of: the prices of PV Modules, Inverters, Cabling/Wiring, Grid connection, Monitoring and Control Hardware, plus the addition of Installation costs, Soft costs (Licenses, System Design etc.) and more. For a lignite fired power plant they consist of design and construction work costs for the cooling towers, condenser units, HRS generator, a coal grinder, steam turbines and transformers, monitoring and control hardware along with additional ground installations, software costs and more. Following the example of many studies, the investment costs in this paper are taken as initial investment costs, i.e. all of the investment has been done in the first year, thus being denoted as I_0 . For the PV power plant these investment costs range from 800 to 1400 USD/kW in Europe [1][3]. For the lignite power plant these range from 3000 to 7000 [2].

The Operation and Maintenance costs for a PV power plant consist of General Site maintenance, Inspections, Panel Maintenance, Inverter Maintenance etc. For lignite fired power plants these include: ground control, scheduled units checks and upgrades and more. The O&M costs for the PV power plant range from 10 to 25 USD/kW per year without accounting for the spare parts [1] [4]. For a lignite fired power plant these range from 35 to 45 USD/kW [2] [5].

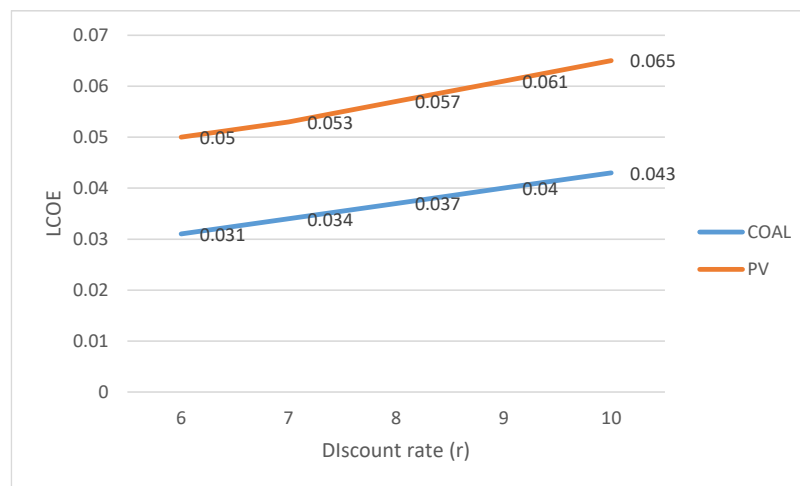
Unlike thermal power plants that have fuel-related costs, solar power plants have a zero marginal production cost, since no fuel is needed. The thermal power plant examined here is a lignite fired power plant, and the price of lignite is roughly 0.0020 USD/kWh [3]. The energy produced by the thermal power plant depends on the capacity factor, which in this paper ranges from 65% to 85% [2] [5]. These values were taken as in-between values from the respective referenced sources, so the yearly energy produced per kW ranges from around 5500 to 7500. For the PV power plant, the yearly energy produced depends on the solar irradiance, or in other words, its geographical position. In Macedonia, the yearly energy produced per kW ranges from 1100 to 1250 kWh per kW for horizontally mounted photovoltaic modules and 1200 to 1350 and beyond for optimally inclined photovoltaic modules [6].

The lifetime of the thermal power plant and PV power plant are set at 40 yrs. and 25 yrs. respectively as these are their average lifetimes. The discount rate for these calculations ranges from

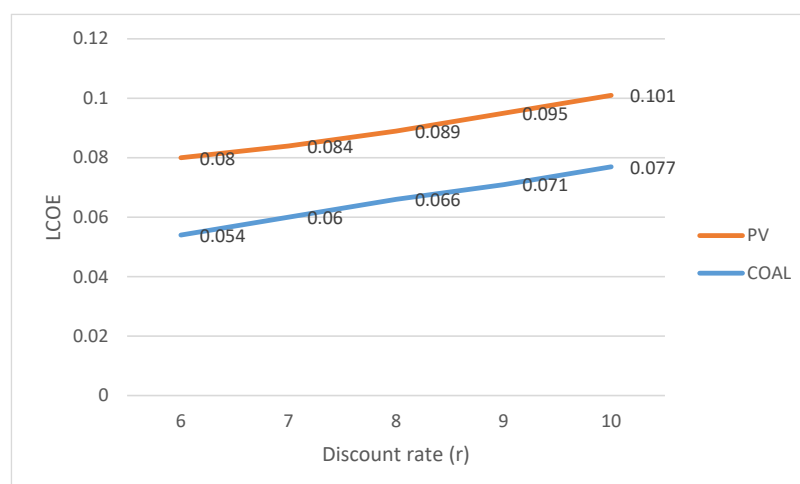
6% to 10%. The average price of electricity per kWh in the Republic of Macedonia is (0.044 [\$/kWh]) [7].

3.2 Levelized Cost of Electricity (LCOE) Analysis

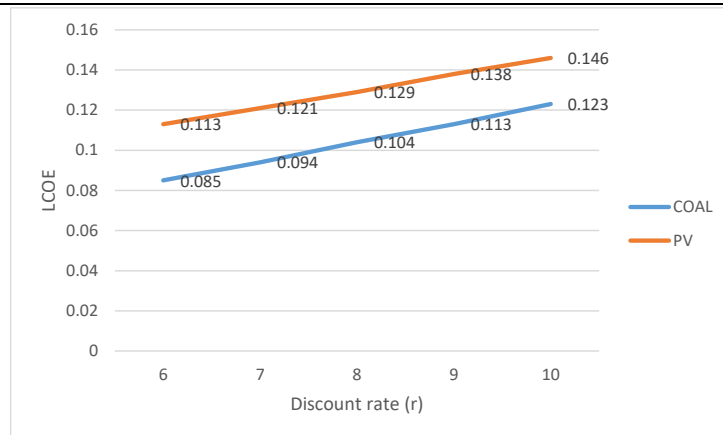
By plugging all of this data in the Levelized Cost of Electricity method one obtains the minimum price that the produced energy should be charged in order to achieve full retrieval of the investment within the projected lifetime. Because the input parameters (Table 1) are all given in ranges, the LCOE result is also given in a range (Table 1). In order to decrease the margin of error when conducting a single LCOE analysis, a sensitivity analysis is conducted upon the discount rate, in 3 different scenarios. The first one being where all of the input parameters are fixed on their minimum values (with the exception of the yearly energy production which is set at it's maximum value) (Graph 1), the second one being where all of the input parameters are fixed on their average values (Graph 2) and the third one being where all of the input parameters are fixed on their maximum values (with the exception of the yearly energy production which is set at it's minimum value) (Graph 3). Since the sensitivity analysis in all scenarios is made upon the discount rate, the LCOE acts as a function of the discount rate.



Graph 1: LCOE as a function of the discount rate for minimum value data



Graph 2: LCOE as a function of the discount rate for average value data

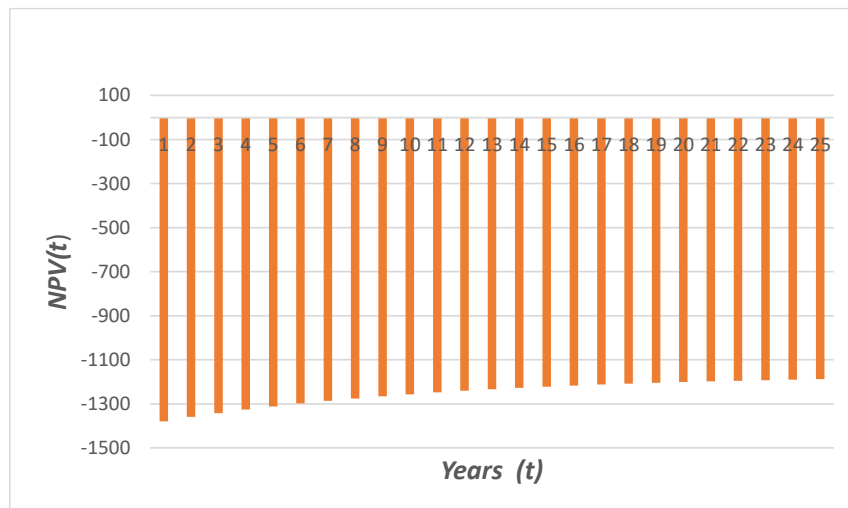


Graph 3: LCOE as a function of the discount rate for maximum value data

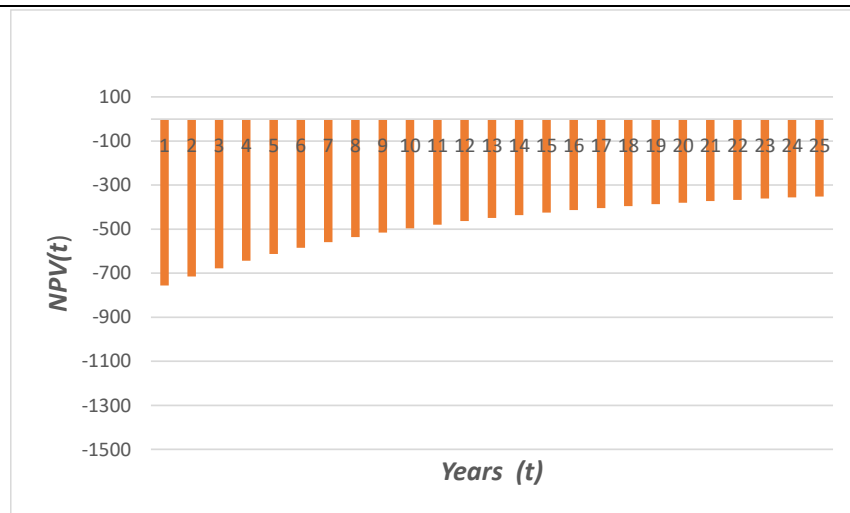
It should also be noted that if extremely optimistic data for the solar PV power plant such as: initial investment cost of 650\$/kW, operation and maintenance costs below 10\$/kW, yearly energy produced of 1400 kWh and beyond and a discount rate of 5% is chosen, the LCOE can reach values of 0.04\$/kWh and below [6].

3.3 Net Present Value (NPV) Analysis

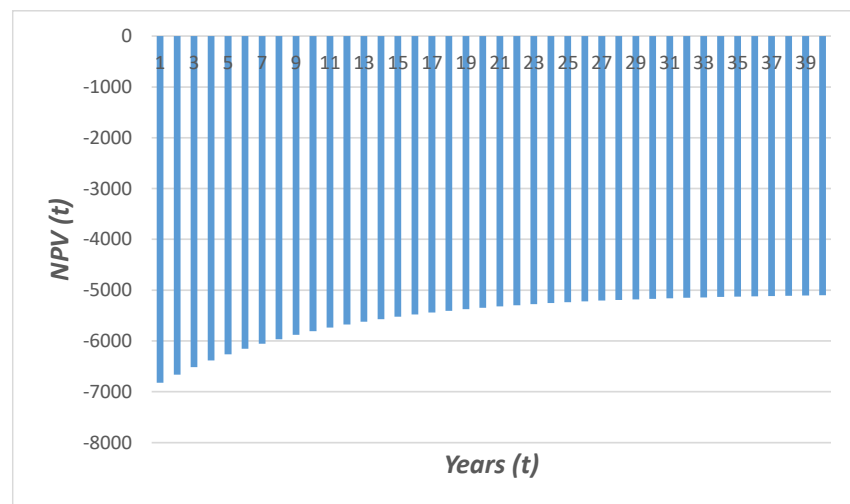
The NPV analysis is calculated using the same data from Table 1. On the first two graphs (Graph 4 and Graph 5), the cash flow of a solar photovoltaic power plant projected for 25 years is given. Graph 4 showcases the NPV for the worst case scenario (maximum investment costs, maximum operation and maintenance costs, minimum energy produced, maximum discount rate). On the other hand, on Graph 5 you can find the NPV for the the best case scenario (minimum investment costs, minimum operation and maintenance costs, maximum energy produced, minimum discount rate). On the next two graphs (Graph 6 and Graph 7), using the same analogy for the costs, you can find the worst and best case scenarios for a lignite thermal power plant.



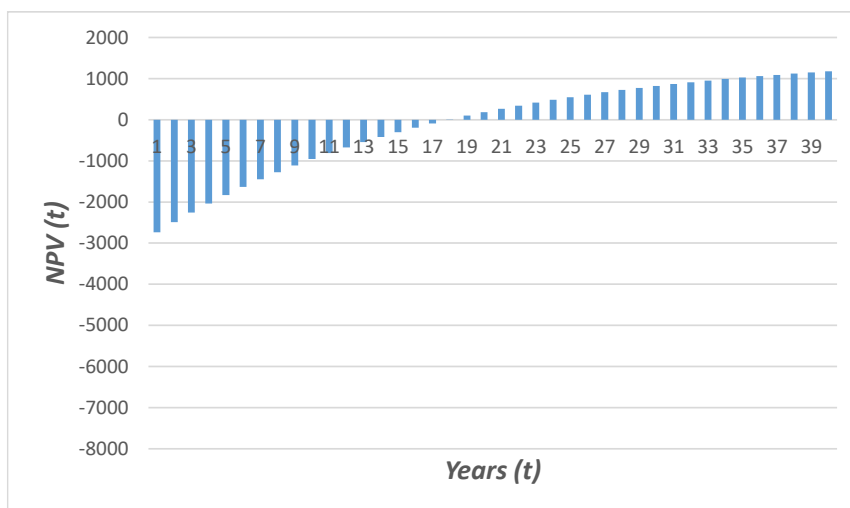
Graph 4: Cash flow function of PV Power Plant (worst case scenario)



Graph 5: Cash flow function of PV Power Plant (optimal case)



Graph 6: Cash flow function of a Lignite Thermal Power Plant (worst case scenario)



Graph 7: Cash flow function of a Lignite Thermal Power Plant (optimal case)

4 SUMMARY

After taking two hypothetical power plants and reviewing their characteristics in detail, this paper aims to compare the results from the LCOE and NPV methods in order to determine which one would be more economically viable in the current market. By joining data and researches from many credible international organizations such as, IRENA, Lazard, ISE, we have managed to reproduce and validate these results. Still, it should be noted that the results gained through analyzing and making these calculations go only as far as to provide a rough conclusion to the comparison of the solar PV power plant and the coal thermal power plant. The results from the LCOE analysis clearly state that the coal thermal power plant is still a more viable option in most cases. The NPV analysis confirms just that. The best case scenario for the thermal power plant breaks-even at around the 18th year, while the solar photovoltaic power plants net present value cannot reach positive values within its projected lifetime. A further proof of this is that the average price of electricity taken here is 0.044\$/kWh, which is below 0.05\$/kWh - the minimum LCOE value for the solar power plant calculated in this paper. This means that this project, without further financial support, is not a viable investment. But, having in mind that the costs surrounding the Solar PV power generation decrease drastically every year, and that it takes a long time to build a power plant, the PV power plant might still turn out to be a viable investment. Cases where the NPV of a solar PV power plant turns out to be positive without further financial support are rare, but they still occur in some extreme situations. As a proof of this stands the previously mentioned extremely optimistic example where the LCOE hits new lows of below 0.04\$/kWh. Since this price is below the average price of electricity considered in this paper, this example's NPV will turn out positive, meaning that it is a viable investment. To conclude the findings of this paper, we show that even though the PV technology has immensely improved, there still remains time before the PV technology can come to its prime and dominate over the conventional power producing technologies.

5 ACKNOWLEDGEMENTS

We extend our deepest gratitude to Asst. Prof. Vladimir Gjorgievski and Prof. Dr. Marija Kacarska from the Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies, St. Cyril and Methodius University in Skopje for the assistance provided whilst writing this paper.

6 REFERENCES

- [1] IRENA (2018), "Renewable Power Generation Costs in 2017", International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.
- [2] Lazard (2017), "Lazard's Levelized Cost of Energy Analysis-Version 11.0" .
- [3] Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE, "Levelized Cost of Electricity Renewable Energy Technologies", Heidenhofstraße 2 79110 Freiburg, March 2018.
- [4] Electric Power Research Institute (EPRI), "Budgeting for Solar PV Plant Operations & Maintenance: Practices and Pricing", 3420 Hillview Avenue, Palo Alto, California, December 2015.
- [5] VGB Powertech, "Levelized Cost of Electricity LCOE 2015", VGB PowerTech e.V. , Essen Germany, 2015.
- [6] Thomas Huld, Irene Pinedo-Pascua (European Commission – Join Research Centre), Photovoltaic Geographical Information System ,http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_download/map_index.html, 2.November.2018.
- [7] Energy Regulation Commission of the Republic of Macedonia, http://www.erc.org.mk/pages_en.aspx?id=158 , 3.November. 2018.



Зоран Пушев¹, Марко Марковски²

¹Факултет за електротехника и информациски технологии, Скопје

²Машински факултет, Скопје

[¹zoran_pushev@hotmail.com](mailto:zoran_pushev@hotmail.com)

[²markovskimarko18@gmail.com](mailto:markovskimarko18@gmail.com)

АВТОМАТИЗАЦИЈА НА ПРОЦЕСОТ ЧИСТЕЊЕ НА ФОТОВОЛТАИЧНИ ПАНЕЛИ

КУСА СОДРЖИНА

Со зголемувањето на цената на електричната енергија, влијанието на фосилните горива врз животната средина, како и сè помалата достапност за нивно исцрпување, несомнено се наметнува потребата од имплементирање и значително зголемување на интересот кон обновливите извори на енергија, како што се фотоволтаичните панели. Зголемувањето на интересот кон експлоатација и искористување на обновливите извори на енергија, предизвика значителен раст и развиток на фотоволтаичната индустрија во последната деценија.

Главниот начин за искористување на сончевата енергија за производство на електрична енергија искористувајќи ги фотоволтаичните панели е со соодветно поставување на фотоволтаичните модули и формирање на низи од фотоволтаични панели, обединувајќи се во фотоволтаично поле. Еден од најголемите проблеми во текот на експлоатацијата на фотоволтаичните полиња е напластување на прашина и остатоци од ѓубре врз самата површина на панелите, кои предизвикуваат значително намалување на ефикасноста на фотоволтаичните панели во текот на нивниот експлоатационски период. Токму овој проблем ја иницира потребата од одржување на површината на фотоволтаичните панели што е можно почиста.

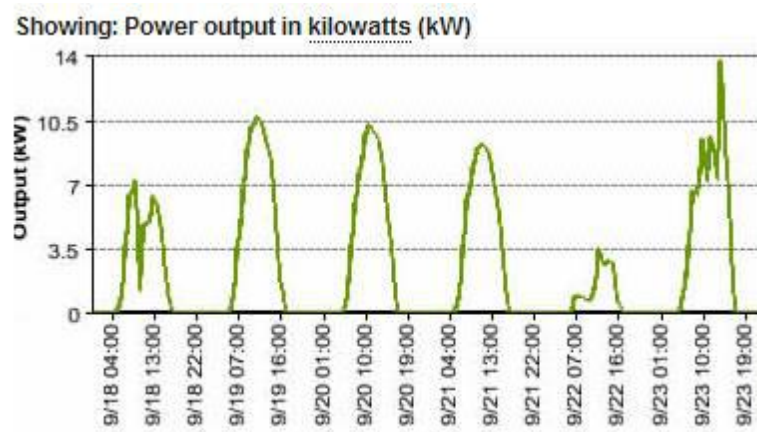
Чистењето на фотоволтаичните панели е честопати тешка и опасна процедура, па затоа голем дел од производителите на електрична енергија од фотоволтаични електрични центри го занемаруваат овој процес. Затоа, во овој труд ќе претставиме дизајн на систем за автоматско чистење на површината на фотоволтаичните панели, кој може едноставно да ја чисти површината на фотоволтаичните панели, од најразлични агли, хоризонтално и вертикално. Исто така, земајќи предвид дека димензиите на индустриските и фотоволтаичните панели во домаќинствата се разликуваат, нашиот уред има за цел да биде со променливи димензии со што би бил соодветен за широк спектар на примени.

Системот за чистење на фотоволтаичните панели ги задоволува барањата и спецификациите поставени од самите потрошувачи и производители на фотоволтаични панели. Тој претставува идејно решение на двајца инженери, кои изучуваат различна проблематика, кои успеаа да ги имплементираат своите знаења и да понудат решение на една малку поразлична проблематика од тоа што досега е познато. Целокупната работа, резултира со краен производ кој конструкциски е составен од поголем број на подсистеми, со различни функции и карактеристики, кои овозможуваат системот синхронизирано да работи како една целина.

Клучни зборови: *фотоволтаични панели, автоматизација, чистење, автоматизирано чистење*

1 ВОВЕД

Фотоволтаичните полиња, а со тоа и производството на електрична енергија преку искористување на сончевата светлина стануваат сè поприсутни во целиот свет. Секое фотоволтаично поле во просек има предвиден експлоатационски периодима очекуван животен век од 20 до 25 години, па затоа од витално значење е да се постигне максимална ефикасност во текот на нивната експлоатација. Но, насобирање на прашина и остатоци од ѓубре врз површината на фотоволтаичните панели негативно влијаат на работните карактеристики на ист начин како при облачен ден. Ова е посебно проблематично во суви и правливи средини, па затоа се јавува потребата од конструирање на целосно автоматизиран систем за чистење на фотоволтаични панели. Ефикасен роботски уред може да исчисти големи фотоволтаични полиња и да врши автоматска инспекција на панелите во однос на нивната ефикасност, споредено со човековите можности и некои хардверски алтернативи. Земајќи предвид дека фотоволтаичните панели вршат директна конверзија на сончевата енергија во електрична енергија, со цел тие да функционираат со максимална ефикасност, без загуби на енергија, потребно е површината на панелите да биде чиста и да овозможува слободен влез на фотони. Нечистотијата и облаците го блокираат снопот сончеви зраци и го имаат истиот ефект врз намалување на генерираната енергија. Облачните услови ја блокираат апсорпцијата и ја намалуваат ефикасноста на панелите за 20 – 30 %, како што е прикажано на Слика 1.



Слика 1 Пример за излезна моќност од фотоволтаична ќелија инсталирана во Североисточен Универзитет „Бостон, МА, Соединетите Американски Држави“. Графикот покажува значителна промена во излезна моќност поради облачните услови, што е еквивалентно на оној добиен од нечистотија и остатоци на стаклената површина на ќелијата. [1]

Графикот ја покажува излезната моќност во текот на една недела за фотоволтаична низа поставена во Североисточен Универзитет „Бостон, МА, Соединетите Американски Држави“. Испитувањето на резултатите покажуваат дека, кривите за првиот и петтиот ден имаат значително помала излезна моќност поради облачни услови. Со соодветна аналогија, воочиво е дека контролираниот процес треба да овозможи површината на панелот да биде чиста за да се добие посакуваната излезна моќност.

Користењето на водата во процесот на чистење на панелите, исто така, може да влијае позитивно врз ефикасноста на фотоволтаичните панели, бидејќи повеќето кристални силиконски ќелии имаат подобри струјно-напонски карактеристики на пониски температури. Водата што се прска од роботот ги лади панелите, при што истовремено се одвива и процесот на чистење на панелите, може дополнително да ја зголеми ефикасноста за 15%. Најважната придобивка од автоматизацијата на процесот на чистење на фотоволтаичните панели е зголемената брзина, едноставноста, темелноста и повторливоста со која системот ќе функционира во споредба со досега постоечките решенија за овој проблем. [Како клучен фактор во дизајнот на нашиот уред исто така се земени во предвид и материјалите. Примарно важно е избраните материјали за овој производ да бидат издржливи, но исто така е важно е тие да можат

да се рециклираат, а бројот на материјали употребени во дизајнот кој не се рециклираат да се сведе на минимум.

Во овој труд ќе претставиме еден целосно автоматизиран систем за чистење на фотоволтаични панели, кој конструкциски е составен од поголем број на подсистеми, како што се главата за чистење која се движи по површината на фотоволтаичните панели и активно ја чисти површината на истиот, систем за движење на уредот по должината на панелот итн. Овој труд во себе содржи еден модуларен дизајн на системот за чистење на фотоволтаичните панели кој овозможува негова брза монтажа и демонтажа. Овој уред значително го намалува бројот на работници кои се потребни за рачно чистење на фотоволтаичните панели и заштедува многу време.

Карактеристиките на овој систем, претставени во понатамошниот дел од трудот, оставаат простор за дополнителна понатамошна оптимизација на системот, со цел да се добие еден најсовремен прототип на автоматизиран систем за чистење на фотоволтаични панели кој ќе ги задоволува сите стандарди за максимална ефикасност, едноставна монтажа, едноставно искористување и димензионо ќе е полесен и помал.

2 ТЕОРИСКИ АСПЕКТИ ЗА ИЗРАБОТКА НА ТРУДОТ

И покрај огромниот раст на фотоволтаичната индустрија во текот на изминатите години, чистењето и одржувањето на фотоволтаичните полиња остана релативно непроменет. Помалите полиња се чистат рачно, со помош на средства за чистење и вода со проток од еден метар квадратен во минута. Поголемите фотоволтаични полиња пак, се чистат со помош на противпожарникарски возила, во водоинтензивен и неспецифичен процес на чистење. На пример, фотоволтаично поле во Глиндејл, Аризона користи повеќе од 280 литри вода за чистење на 5 метри квадратни од фотоволтаичното поле [2].

Моментално еден од најраспространетите уреди за рачно чистење на панелите е таканаречениот полжав. Овој уред е монтиран на рачка за чистење и во себе содржи систем за проток на вода кој овозможува десет тимови од по две лица за времетраење од 8 часа да исчистат 10 000 фотоволтаични панели [3].

Најактуелен автоматски систем за чистење за мали станбени фотоволтаични низи кои се вклопуваат во домовите или во малите деловни згради е SolarWash. Системот е статичен ред на млазници поставени постепено по должината на соларната низа кој ослободува соодветен растворот за чистење кога е активиран од микропроцесор.

НАСА користи фотоволтаична технологија за напојување на многу од нејзините сателити, вселенски летала и вонземски ровови, но нема метод за чистење во место за нејзините вонземски пловни објекти. Посебни истражувања се правени за роверот поставен на Марс, каде НАСА ја истражува намалената ефикасност поради прашина во однос на бројот на денови на Марс. За времетраење од 30 дена вкупните загуби на енергија сочинуваат 52,2% загуба на енергија, во подолг временски период од 2 години тие сочинуваат 89% загуба на енергија. Покрај ова, НАСА објави дека неочекуван ветер на Марс делумно го исчисти прав од сончевите панели на Марс Ровер и значително ја зголеми излезната моќност на панелите.

Процесот на чистење на фотоволтаични полиња е слично со чистење на прозорци во големи објекти, така што е добро претпазливо да се испитаат роботизирани методи за чистење на стаклото. Голем број такви работи за чистење на стакло постојат, а најпознат е роботот RobuGLASS дизајниран да ја чисти пирамидата на Лувре во Париз, Франција. Темелното чистење на стаклени панели понекогаш може да даде микро гребнатинки кои не влијаат врз функционалноста на прозорецот, туку ја расфрлаат светлината која паѓа врз фотоволтаичниот панел.

Затоа, сите овие податоци и заклучоци, ја наведуваат потребата од изработување на квалитетен, ефикасен, економичен и доверлив систем кој ќе овозможи целокупна автоматизација на овој процес.

3 ДИЗАЈН

3.1 Спецификации

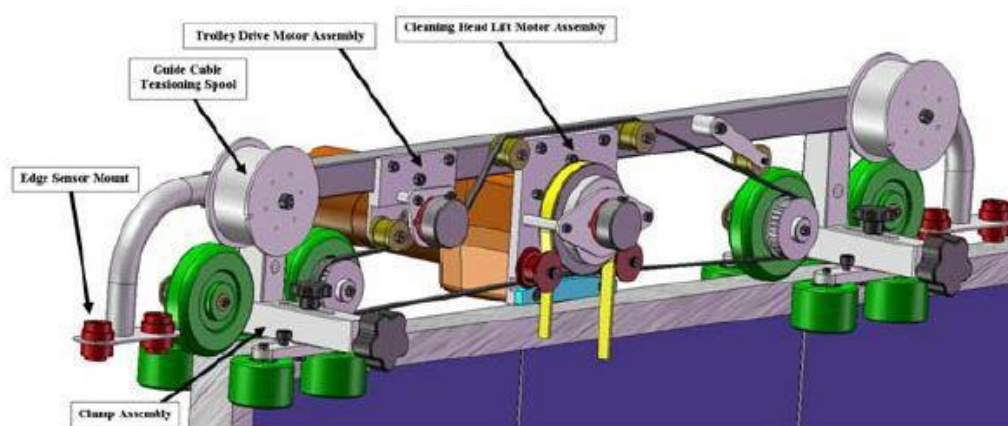
Списокот на спецификации за проектирање (Табела 1) е составен врз основа на информации од интервјуа со производители на фотоволтаични панели и крајните корисници. На рангираната тежина од 1 до 5 се дадени спецификациите со најголемо значење.

Табела 1 Спецификации за проектирање на системот

Спецификации	Оцена	Забелешка
Отпорен на прав	5	Можност за експлоатација при неповолни услови на прашина и ветер
Отпорен на високи температури	5	Можност за експлоатација при температури повисоки од 35 степени
Отпорен на вода	5	Чистењето на фотоволтаичните панели со вода да не ги оштети истите
Едноставен дизајн	4	Уникатен дизајн и функционалност
Преносливост	4	Максимум две лица да можат да го инсталираат и пренесуваат
Просечна тежина	4	20 – 40 килограми
Доверливост	3	Нема потреба од кориснички влез
Цена	4	< 10% од целокупната цена на фотоволтаичното поле
Прецизност	5	Без нанесување на гребнатини по површината на фотоволтаичниот панел
Брзина на чистење	5	Побрз од 1 метар квадратен по минута
Ефикасност	5	Најмалку 90 проценти од нечистотијата
Капацитет на низи за чистење	4	Четири панели со вкупна површина од 280 метри квадратни
Широчина на чистење	4	Помеѓу 5 и 2 метри
Стабилност	5	Не паѓа под дејство на ветер или движење
Брзина на движење во текот на чистењето	4	Покрива повеќе од еден метар квадратен во минута
Потрошувачка на вода	5	Помалку од 40 литри/час вода
Рециклирање на вода	4	Заробување и филтрирање на искористената вода
Потрошувачка на електрична енергија	3	Помалку од 5 киловати
Бучава	1	Помалку од 80 децибели
Идентификација на кош	4	Запира пред кога ќе го регистрира кошот
Безбедност	5	Нема да потфрли при електрични проблеми
Чистење на филтри	4	Времетраење помало од 10 минути
Полнење со детергент	4	Времетраење помало од 5 минути
Потрошен материјал	3	Времетраење најмалку од 200 часа

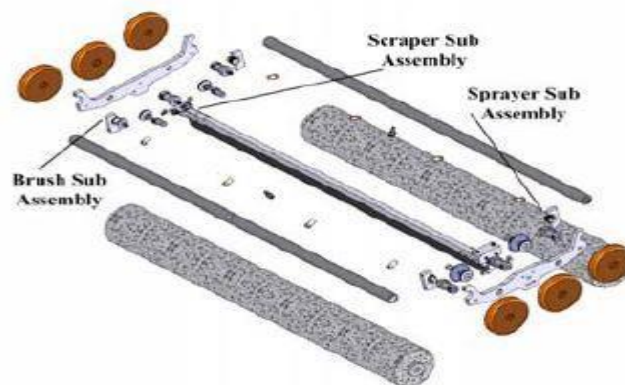
3.2 Финален производ и процес на работа

Пред да започнеме со процесот на дизајнирање на системот за чистење на фотоволтаични панели, моравме да одлучиме кои се главните цели и приоритетите кои сакаме да ги постигнеме во текот на изработката на системот, како и да одлучиме која е крајната цел и каков сакаме да биде изгледот на конечниот производ. Најбитни карактеристики за нас, во фазата на проектирање и анализа на поставениот проблем, се засноваа на резултатите добиени во Табела 1, кои ни го претставуваат списокот на спецификации за проектирање составен врз основа на барањата на производителите на фотоволтаични панели, како и крајните потрошувачи, а тоа се лесната конструкција, евтината цена на производство и одржување, издржливоста и лесното ракување. Вака зацртаните и поставени цели, овозможија соодветно определување на сите понатамошни составни елементи од кои би бил изграден самиот систем за чистење на фотоволтаичните панели, како и соодветно определување и дефинирање на неговиот начин на работа. Конструктивно, целокупниот склоп на продуктот е составен од неколку под-склопови. Првиот под-склоп го претставува системот за движење на уредот по конструкцијата на панелот. Овој под-склоп овозможува извршување на помошното движење во овој систем, наменето да ја позиционира главата за чистење во однос на хоризонталната оска. За извршување на ова движење, двата дела на под-склопот се погонувани со помош на два 12V DC електромотори. За да се овозможи паралелно движење на двете, горната и долната половина од овој под-склоп, тие се поврзани помеѓу себе со две алуминиумски шини кои исто така работат како водилки на главата за чистење. Овој под-склоп соодетно е графички претставен на Слика 2.



Слика 2 Приказ на под-склопот за движење на уредот по конструкцијата на панелот [4]

Следен под-склоп е системот за чистење или главата за чистење, која претставува есенцијален дел во изведувањето на процесот на чистење на фотоволтаичните панели. Главата за чистење, во текот на своето движење по целокупната должина на хоризонталната оска, активно го чисти панелот. Таа е составена од две цилиндрични четки, од кои првата е наменета за водено чистење и пред неа се поставени четири млазници кои исфрлаат водена прашина. Втората четка е наменета за да го суши панелот и да спречи прилепување на било каква прашина или останата нечистотија. За да се избегне било какво враќање на нечистотиите од главата за чистење назад кон панелот, помеѓу двете четки поставена е гумена стругалка, направена од мека гума направена од полиетилен, дефиниран со стандардот ISO 17855-1:2014. Овој материјал, ни овозможува стругалката безопасно да биде поставена врз облогата на панелот, без притоа да дојде до некое оштетување на самиот фотоволтаичен панел.



Слика 3 Приказ на компонентите на главата за чистење [4]

Главата за чистење е соодветно поставена на две шини водилки кои обезбедуваат оптимален контакт со подлогата на панелот и служат за водење на главата за чистење по вертикалната оска. Под-склопот на распрскувачите за вода е поставен непосредно пред првата цилиндрична четка. Определувањето токму на оваа позиција се наметнува како резултат на тоа што таа ни дозволува дополнително одделување на влажната и сувата зона од главата за чистење, оптимално распрскување на водата и дополнително чистење на влажната четка по крајот на извршувањето на работата. Движењето по вертикалната оска се изведува со помош на системот за вертикално движење кој е составен од спрег од запчест ремен со запченик и електромотор со моќност од 30 kW. Запчениот ременик се наметна како најдобро решение поради малите брзини кои се бараат при движењето и неговата мала тежина, како и можноста тој лесно да биде заменет. Овој систем ја движи главата за чистење горе-долу по висината на панелот, а шините водилки ја водат главата со што е осигурано прецизно бришење на секој дел, пред да се изврши преминување на следниот. Пред секое чистење на било колкав број на панели работникот кој го управува системот треба да ги внесе димензиите на панелите и нивниот број во програмата на уредот. Во тој момент уредот со помош на подсистемот за управување ја пресметува оптималната патека која тој би ја презел и го започнува чистењето. Подсистемот за управување е составен од ICM-MB-110 PLC кое со помош на Bluetooth или USB врска може да се приклучи со компјутерот на операторот, кој преку специјален интерфејс може да ги зададе сите команди на уредот. Исто така операторот од овој интерфејс може да добива повратни информации од уредот за времетраењето на чистењето и неговата успешност. Последен под-склоп е системот за проверка на квалитетот на чистењето. Системот за проверка на квалитет е составен од два ласерски optoNCDT 1750 сензори кои се поставени непосредно зад сувиот дел на главата за чистење и во реално време даваат информации за било какви неправилности во чистењето или оштетување на панелот.

3.3 Користење на уредот

Користењето на уредот започнува со негово поставување на панелот и остварување на врска помеѓу компјутерот на операторот и уредот. Оваа врска може да биде со помош на USB или Bluetooth или со соодветни комуникациски протоколи. По остварувањето на врската операторот треба да ги внесе димензиите на панелот и бројот на панели кои треба да се чистат. По ова микрокомпјутерот во панелот, ја вчитува програмата која е прикачена на него и ги прави пресметките за траекторија и времетраење на чистењето. По исполнувањето на овие услови уредот започнува со работа. Најпрво се изведува главното движење по висината на панелот (вертикална оска) кое што е движењето во кое се изведува чистењето. По завршувањето на ова движење уредот се преместува во десно по хоризонталната оска, од страна на под-склопот за движење по панелот. Главата се крева во почетна позиција и циклусот на чистење се повторува. За цело време на чистењето сензорите испраќаат информации до операторот, кој доколку има оштетување на панелот или грешка во чистењето може моментално да изврши инспекција. Циклусот на движење се повторува се до завршување на чистењето или прекинување од страна

на работникот. Преместувањето на уредот од еден до друг панел, се извршува многу кратко и без прекинување на програмата на работа и нејзино рекалибрирање.

4 ЗАКЛУЧОК

Со зголемената употреба на фотоволтаичните панели потребен е нов метод на нивно чистење и инспекција. Чистењето е посебно важно за да се овозможи максимално искористување на фотоволтаичните панели. Напредокот во технологијата на фотоволтаици треба да биде пратен и од напредок во технологијата за нивно одржување и чистење. Овој труд со својата содржина, презентира едно од можните идејни решенија за уред кој ги чисти и одржува фотоволтаичните панели. Уредот е составен од две моторизирани колички (кои го извршуваат хоризонталното движење) и глава за чистење со запчест ремен и запченик (за вертикалното движење). Главата е составена од две цилиндрични четки кои ја бришат прашината и гумена стругалка која не дозволува никаква нечистотија да остане на панелот. Овој уред значително го намалува бројот на работници кои треба да се вклучени во процесот на чистење на еден панел. Исто така, уредот помага и во одржувањето на панелите затоа што со помош на неговите сензори се детектира било каква неуспешност при чистењето или оштетување на панелот.

Од круцијална важност е развивањето на овој прототип да се продолжи и во иднина. Како понатамошни цели за уредот би ги издвоиле автоматското префрлање од еден на друг панел, како и постигнување на уште помала и полесна конструкција.

Дополнително, во овој труд не е опфатена техно-економската анализа на вака дефинираниот систем, а исто така не е анализиран и електричниот дел на системот, односно харверското изведување, како и програмирањето на програмибилниот логички управувач. Затоа овој труд се надеваме дека ќе послужи како едно идејно решение, кое ќе поттикне понатамошно развивање и дополнително истражување и проучување на оваа проблематика.

5 КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] O. Tosun, H.L.Akin, M.O.Tokhi, G.S. Virk, *Mobile Robotics : Solutions and Challenges*
- [2] H.Hayden, P.Johnston, V.Garboushian, D.Roubideaux, "APS Installation and Operation of 300 kW of Amonix High Concentration PV Systems", *Proc. 29th IEEE Photovoltaic Specialists Conf.*, New Orleans, USA, (2002)
- [3] OSC Energy Inc., SolarWash, 7 Nov. 2008, <http://www.ocsenergy.com> .
- [4] Yiannis P Markopoulos, Constantinos Mavroidis, *Robotic Device for Cleaning Photovoltaic Panel Arrays*, (2009)
- [5] MS El-Shobokshy, FM Hussein, *Sol Energy*, 51, 505 (1993)
- [6] Kwong-Hoi Tui, Qingteng Lin, Hungtao Chou, Qianpeng Zhang, *Low-cost, Flexible, and Self-cleaning 3D Nanocone Anti-Reflection films for High-Efficiency Photovoltaics*, (2014)
- [7] NASA Jet Propulsion Laboratory, "Spirit Gets Energy Boost from Cleaner Solar Panels", Press Release February 12, 2009, <http://www.jpl.nasa.gov/news/news.cfm?release=2009-020a>
- [8] A. Kochan, *Industrial Robot*, 32, 380, (2005).

Zoran Pushev¹, Marko Markovski²

¹Faculty of electrical engineering and information technologies, Skopje

²Faculty of mechanical engineering, Skopje

[¹zoran_pushev@hotmail.com](mailto:zoran_pushev@hotmail.com)

[²markovskimarko18@gmail.com](mailto:markovskimarko18@gmail.com)

AUTOMATION OF THE CLEANING PROCESS OF PHOTOVOLTAIC PANELS

ABSTARCT

With the increase in the price of electricity, the impact of fossil fuels on the environment, and the reduced availability for their exhaustion, there is undoubtedly the need to implement and significantly increase the interest in renewable energy sources, such as photovoltaic panels. The increasing interest in using and utilizing renewable energy sources has caused significant growth and development of the photovoltaic industry in recent decades. The main way of utilizing solar energy for electricity generation by using photovoltaic panels is by appropriately setting up photovoltaic modules and forming strings from photovoltaic panels, uniting in photovoltaic field. One of the biggest problems during the use of photovoltaic fields is the accumulation of dust and rubber residues on the surface of the panels, which cause a significant reduction in the efficiency of photovoltaic panels during their exploitation period. Precisely this problem emphasizes the need to keep the surface of the photovoltaic panels as clean as possible. Cleaning photovoltaic panels is often a difficult and dangerous operation, therefore many electrical manufacturers from photovoltaic power plants deny this process. Therefore, in this paper we will present the design of a system for automatic cleaning of the surface of photovoltaic panels, which can simply clean the surface of photovoltaic panels, from different angle, in vertical and horizontal directions.

Key words: *photovoltaic panels, automation, cleaning, automated cleaning*



Наташа Димишковска¹, Атанас Илиев²

^{1,2} Факултет за електротехника и информациски технологии-Скопје

¹dimishkovska.n@gmail.com ²ailiev@feit.ukim.edu.mk

РАЗВОЈ И ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА НА ОТВОРЕНИ ЕНЕРГЕТСКИ СИСТЕМИ ВО КЛАСИЧНИТЕ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТСКИ СИСТЕМИ

АПСТРАКТ

Класичниот електроенергетски систем кој претставува централизирана распределба на електричната енергија кон потрошувачите, во главно се заснова на употребата на фосилните горива. Еколошкото влијание на класичниот електроенергетски систем, како и недоверливоста за испорака на електрична енергија во одредени области, доведува до создавање на т.н. домаќинства- производители. Овој начин на производство на електрична енергија претставува децентрализирано производство, кое е основа на отворените енергетски системи. Производството на електрична енергија се врши со примената на фотоволтаичните системи, чија примена е оправдана со нивната сè поголемата достапност за комерцијална употреба. Основната идеја на овој систем е можност за трансфер на електричната енергија од домаќинства кои имаат вишок на електрична енергија кон оние кои имаат поголема потреба.

Во овој труд се дефинирани основните карактеристики на отворените енергетски системи, претставен е начинот на работа на тие системи и разгледан е проблемот на имплементирање на отворен енергетски систем во стандардниот електроенергетски систем. Исто така се разгледани и софтверите кои се користат за контрола на тековите на моќност во еден ваков систем и придобивките од развој на отворен енергетски систем во Македонија.

Клучни зборови: Обновливи извори, дисперзирано генерирање, фотоволтаични системи, микромрежи

1 ВОВЕД

Потребата од постигнувањето на поголема енергетска сигурност и поголема доверливост, како и потребата за намалување на штетните еколошки влијанија, ја зголемува пенетрацијата на дисперзираните генератори во класичните енергетски системи. Меѓутоа, поради тоа што зависат од временските услови, дисперзираните генератори може да предизвикаат проблеми во мрежата, како што се варијации на напонот и на фреквенцијата, како и проблеми со заштитата во мрежата. Примената на батерии за складирање на непотрошената електрична енергија во рамките на мрежа со еднонасочен напон т.н. микромрежи, овозможува надминување на овие недостатоци.

Поради лесната достапност и економска оправданост многу потрошувачи се решаваат за поставување на фотоволтаични системи, а со тоа и стануваат и произведувачи на електрична енергија. Во овој труд е разгледана идејата за создавање на систем во кој е овозможена размена на електрична енергија помеѓу произведувачи на електрична енергија т.е. домаќинства во кои се инсталирани фотоволтаични системи со систем за складирање на вишокот електрична енергија. Овие системи се наречени отворени енергетски системи (ОЕС), бидејќи енергијата се предава и во мрежа, односно надвор од системот составен од домаќинства- произведувачи (prosumers). Електричната енергија која се пренесува е со еднонасочен напон, поради

поедноставниот начин за пренос, но електричната енергија која се користи е на наизменичен напон и тоа се добива со имплементација на инвертори DC/AC. [1]

Моделирањето на еден ваков систем претставува голем предизвик поради неможноста за предвидување на побарувачката на електрична енергија, како и нејзиниот трансфер помеѓу компонентите на системот. Во продолжение е разгледана можноста за имплементацијата на ваков систем, неговите предности и недостатоци, како и имплементацијата на ваков систем во Република Македонија.

2 ПРИНЦИП НА РАБОТА НА ОТВОРЕНИ ЕНЕРГЕТСКИ СИСТЕМИ

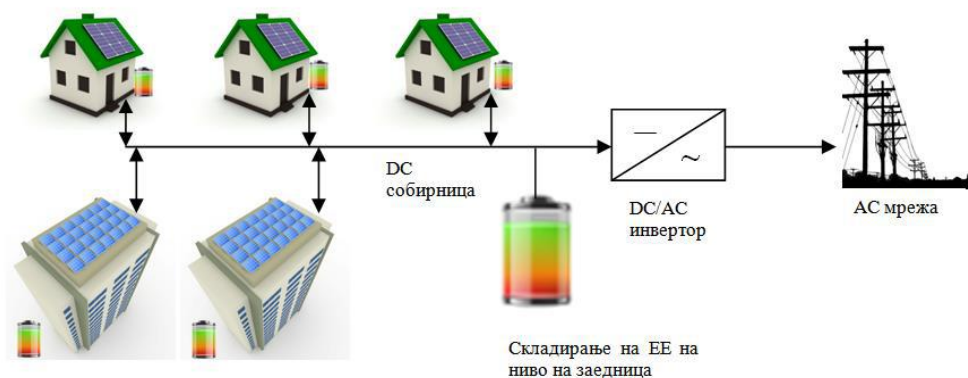
Отворените енергетски системи работат на принцип на децентрализирано производство. Тоа значи дека секој од објектите кои се дел од една заедница, се опремени со систем од обновлив извор за добивање на електрична енергија и батерии за складирање на електрична енергија, заедно со целокупната опрема потребна за правилно функционирање на системот. Објектите во заедницата се меѓусебно поврзани на мрежа со еднонасочна струја, преку која се дистрибуира произведената електрична енергија и која е независна на стандардната електроенергетска мрежа. Непотрошената електрична енергија се складира во батерии со голем капацитет и со можност за постојано полнење и празнење.

Електричните мрежи преку кои се врши преносот на еднонасочна струја се нарекуваат еднонасочни микромрежи. Притоа во ваков систем постојат два типа на микромрежи. Првиот тип е еднонасочна мрежа во објектот, а вториот тип е еднонасочна мрежа на повисок напон која поврзува два објекти. Причините за избор на мрежи на еднонасочен напон се следните:

- Употреба на помалку материјал, поради тоа што не постојат фази;
- Поедноставна анализа (нема фреквенција, синхронизација или контрола на обликот на брановите);
- Поефикасен пренос и поголема стабилност на системот;
- Помали загуби на енергија, за разлика од системот со наизменична струја;
- Намалување на употребата од AC/DC инвертори.

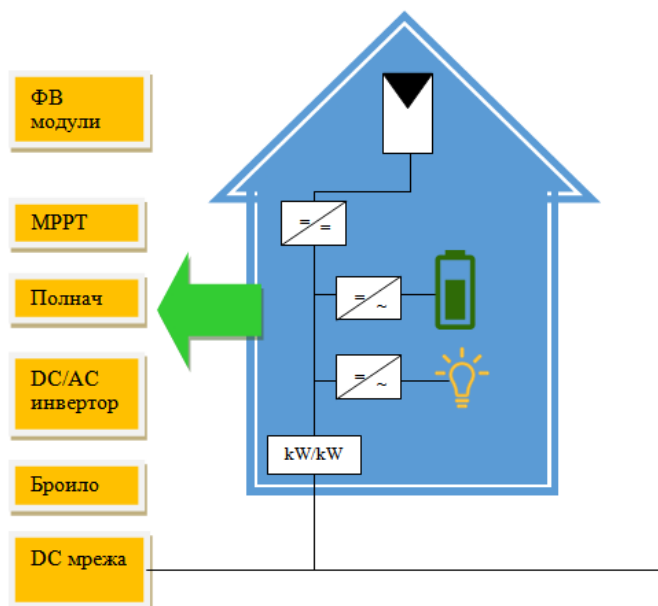
Размената на електрична енергија помеѓу произведувачите или произведувач и потрошувач на електрична енергија претставува ефикасен начин за намалување на загадувањето (SO_x , NO_x , CO_x) предизвикано од употребата на фосилни горива. На овој начин цената на произведената електрична енергија се определува на локални пазари, односно, таа е определена без посредник, туку директно помеѓу произведувачот и потрошувачот [2], [3].

Во овој труд се разгледува отворен енергетски систем составен од фотоволтаични системи. На Слика 1 Отворен енергетски систем **Error! Reference source not found.** е даден изглед на отворен енергетски систем составен исклучиво од фотоволтаични системи.



Слика 1 Отворен енергетски систем

Секој од објектите кои се произведувачи и потрошувачи на електрична енергија истовремено, содржат систем составен од фотоволтаични модули со тракер за максимална точка на работа (MPPT- Maximum Power Point Tracker), полнач за батеријата, инвертор DC/AC кој се применува за апаратите во домаќинството кои работат на наизменичен напон и електрично броило за мерење на електричната енергија преземена од мрежа и електричната енергија предадена во мрежа. Шемата на микромрежата во склоп на објектот е прикажана на Слика 2 Микромрежа во објектите кои се дел од микромрежната заедница.



Слика 2 Микромрежа во објектите кои се дел од микромрежната заедница

3 ПРЕДНОСТИ И НЕДОСТАТОЦИ НА ПРИМЕНАТА НА ОТВОРЕНИ ЕНЕРГЕТСКИ СИСТЕМИ

Примената на ОЕС е од голема важност и корист во руралните средини и на места кои подлежат на чести прекини на напојувањето или пак места каде не постои можност за изградба на стандардна електрична мрежа (нови или викенд населби). На овој начин примената на електричната енергија е можна и лесно достапна, системите се лесно одржливи, а имплементацијата на ОЕС во стандардната мрежа дополнително ја зголемува доверливоста. Една од најголемите предности на ОЕС е можноста за островска работа. Тоа значи, доколку постои прекин на напојувањето во стандардната дистрибутивна мрежа, системот има можност за исклучување од мрежата и самостојно задоволување на потребите од електрична енергија. Меѓутоа, од друга страна, доколку постои грешка во системот, заедницата може да се напојува со електрична енергија од мрежата додека се отстрани грешката во системот, без притоа да се прекине напојувањето. Дополнително, ОЕС се во прилог на животната средина, бидејќи не претставуваат извор на загадување на околината.

Недостатоци кои се јавуваат при примената на ваков систем се недоволната истраженост на ваквите системи, непостоење на доволно стручни лица кои имаат познавање од областа на микромрежите и паметните мрежи, како и зависноста на фотоволтаиците интегрирани во ОЕС системи од временските услови, што ја доведува во прашање робушноста и флексибилноста на ваквиот систем. Исто така, доведен е во прашање и квалитетот на електричната енергија, одржување на константен напон и стабилна фреквенција. Поради тоа се препорачува во склоп на ОЕС да се интегрирани и други извори на електрична енергија (на пример мала ветерна централа или биогасна постројка) или агрегати (дизел агрегати или пак горивни ќелии). Меѓутоа, со зголемување на мрежата, таа станува покомплексна и со тоа се отежнува нејзината регулација. Еден од начините за надминување на овој недостаток е создавање на помали микромрежи, односно, заедницата да содржи помал број на произведувачи и потрошувачи.

Дополнително, голем предизвик претставуваат и трошоците за имплементирање на ваков систем.

4 МОДЕЛИРАЊЕ НА ОТВОРЕН ЕНЕРГЕТСКИ СИСТЕМ

Микромрежите треба да се разгледуваат како сложен систем составен од повеќе фотоволтаични системи, чии компоненти се разгледуваат поединечно. Во овој труд ставен е акцент на микромрежите кои се засноваат на фотоволтаични системи. Во продолжение се разгледува однесувањето на секоја од компонентите: на потрошувачите, на батериите и на фотоволтаичниот систем.

Најтешка задача претставува моделирањето на потрошувачите. Однесувањето на потрошувачите зависи од нивната побарувачка на електрична енергија. Најчесто, за да се поедностави овој проблем се претпоставува константна импеданса и се задаваат одредени вредности за побарувачката на активна и реактивна енергија, кои се добиваат со следење на побарувачката на потрошувачите во одреден временски период. [4]

Системот за складирање е витален елемент во микромрежата, чија улога е напојување во случај на пад на системот и ублажување на ранливоста на обновливите извори на енергија. Поради тоа, најчесто е сместен помеѓу обновливите извори на енергија и потрошувачите, со цел да производството се совпадне со потрошувачката во секој момент. Со тоа е обезбедена стабилност на системот. Капацитетот на системот за складирање (батеријата) е многу важна карактеристика и потребно е да се извршат детални пресметки за да се задоволат потребите од електрична енергија кога мрежата не е во функција. Капацитетот на батеријата, како што е опишано во [4], се определува на следниот начин:

$$B_{size} = \frac{E_{load} \cdot Den}{DoD_{max} \cdot \eta_{temp}}. \quad (1)$$

Каде,

- E_{load} - потрошувачка која мора да биде обезбедена за време на прекилот на напојувањето,
- Den - бројот на денови колку би требало да трае снабдувањето (бројот на денови на траење на прекилот),
- DoD_{max} - максималната длабочина на празнење на батеријата
- η_{temp} - температурниот корекционен фактор.

Моделирањето на сончевото зрачење се врши на следниот начин:

$$I_T = I_b R_b + I_d R_d + (I_b + I_d) R_r. \quad (2)$$

Каде,

- I_b - нормално сончево зрачење,
- I_d - дифузното сончево зрачење,
- R_d - фактор на навалување за дифузната компонента на сончевото зрачење,
- R_r - фактор на навалување за рефлектирачката компонента на сончевото зрачење.

Позицијата на сонцето е главниот фактор од кој зависи вкупното сончево зрачење. Постојат повеќе модели за часовно произведена моќност од фотоволтаичниот систем, претставена со следниот израз:

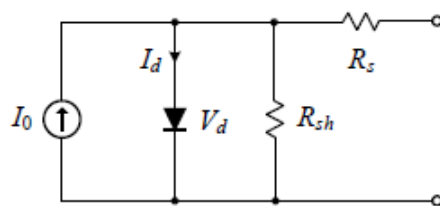
$$P_{sj} = \eta_r \eta_{pc} \gamma A_{PV} I_{Tj} \left(1 - \kappa \left(\left(T_a + \frac{I_{T,NOCT}}{NOCT - T_{a,NOCT}} I_T \right) - T_r \right) \right). \quad (3)$$

Каде,

- η_r - номиналната ефикасност на модулот,

- η_{pc} - ефикасноста на измазнувачката моќност,
- γ - факторот на густина на ќелијата на модулот,
- κ - температурниот коефициент на низа,
- A_{pV} - површината на модулот,
- T_a - амбиенталната температура,
- T_r - номиналната температура;
- $NOCT$ е температурата на нормално работење на ќелијата, $T_{a,NOCT} = 20^\circ C$ и зрачење $800W/m^2$, при брзина на ветер $1 m/s$ [4].

Еквивалентното коло на фотоволтаичниот модул е прикажано на Слика 3 Еквивалентно електрично коло на



Слика 3 Еквивалентно електрично коло на фотоволтаичен модул

Моделирањето на микромрежна заедница, односно ОЕС е овозможено преку повеќе софтверски програми, кои овозможуваат и 3D приказ на заедницата и поедноставно планирање на мрежата. Во продолжение се прикажани основните карактеристики на софтверски пакети кои се најприменети при моделирањето на ОЕС.

- *CitySim*. Програм кој се користи за планирање на урбани енергетски мрежи и со цел да се намали употребата на необновливи извори на енергија и нивните штетни влијанија. Тој исто така овозможува симулација за побарувачката и снабдувањето на објектите, земајќи ги предвид карактеристиките на објектот за неговите димензии, материјалот од кој тој е изграден, како и поставената изолација. [5]
- *HOMER*. Примената на овој софтвер е во областа на проценка на мрежно поврзаните или островските енергетски системи од економски и инженерски аспект. Притоа се моделираат сите компоненти на мрежата, потрошувачите, батериите, како и изворите на енергија. [6]
- *PV*SOL*. Овој софтвер служи за 3D симулација на фотоволтаичен систем, притоа земајќи ги предвид и дизајнот на мрежата и механичките компоненти, АС и DC поврзувањата, како и трошоците на имплементирање на ваков систем. [6]

5 ИМПЛЕМЕНТАЦИЈА НА ОТВОРЕНИ ЕНЕРГЕТСКИ СИСТЕМИ ВО РЕПУБЛИКА МАКЕДОНИЈА

Исцрпувањето на фосилните горива и последиците кои произлегоа од нивната употреба создадоа потреба од воведување на закони и регулативи со кои се контролира нивното штетно влијание, како и подобрување на условите за живот. Европската Унија ја создаде ЕУ 20/20/20 целта со која преку повеќе различни платформи и фондови се финансираат истражувања и иновации фокусирани на имплементирањето на обновливите извори на енергија подобрување на енергетската ефикасност. Енергетскиот сектор на Европската Унија се заснова на централизиран производствен и потрошувачки систем, поради што тој се соочува со големи предизвици со имплементирањето на микромрежите. Тоа е една од главните причини за непостоење на конкретна регулатива за градење и користење на дистрибуираното производство и микромрежите. Меѓутоа во 2009 година е основан сектор кој ги прифаќа предлозите за подобрување на ситуацијата и ги зема предвид со цел да се создаде одредена регулатива. Секторот се нарекува „Smart Grids Task Force“. [7]

Република Македонија како иден член на Европската заедница, има за цел следење на европските цели за имплементирање на 25% обновливи извори во стандардната енергетска мрежа до 2025 година, односно 30% до 2030. Со оглед дека електроенергетскиот систем на

Република Македонија се заснова на термоцентрали чии резерви се ограничени, искористувањето на обновливите извори на електрична енергија претставува разумно решение за задоволување на побарувачката и истовремено голем сојузник против еколошките загадувања, особено во поголемите градови во државата, како и против загадувањето кое се јавува во руралните средини, посебно во зимскиот период. Поради големата достапност и прилично едноставниот начин на имплементирање во дистрибутивната мрежа, како и географските поволности, фотволтаичните системи претставуваат најдобра основа за создавање на микромрежи во Република Македонија. Иако сè уште не постои конкретна регулатива за микромрежи и произведената и куповната цена на електричната енергија, сепак треба да се разгледува потенцијалот кој постои за оваа технологија. Примената на ОЕС во Македонија е оправдана со енергетскиот потенцијал, со потребата од еколошки чиста енергија и потребата од електрична енергија во одредени рурални средини.

6 ЗАКЛУЧОК

Микромрежи се системи со кои се овозможува поврзување на произведувачите на електрична енергија од обновливите извори на поедноставен и поодржлив начин. Создавањето на ОЕС и нивната имплементација во класичните електроенергетски системи сè уште претставува предизвик, меѓутоа со оглед на тоа дека тие претставуваат стратешки план за подобра и почиста средина во Европската Унија и во Македонија, се очекува нивните недостатоци да бидат набрзо надминати и нивната имплементација да биде сè поголема во иднина.

Во овој труд е објаснет начинот на работа на ОЕС исклучиво со фотоволтаични системи и од приложеното може да се согледа дека примената на таков систем за производство на електрична енергија, не е можен, поради нивната зависност од временските прилики, односно, покрај фотоволтаичниот систем, потребни се и дополнителни извори на енергија. Од разгледаните предности и недостатоци, може да се заклучи дека главните бариери, во овој момент, кои го оневозможуваат развојот на микромрежните заедници во Македонија, се недоволната информираност, непостоењето на соодветна регулатива и високата почетна инвестиција. Се очекува дека сите засегнати страни: инвеститори и оператори, оператори на дистрибутивните мрежи, како и надлежните за енергетската политика во земјата, набрзо ќе се ангажираат за создавање услови за развој на ОЕС.

7 КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] SONY „Отворени енергетски системи“ <https://www.sony.com.mk/electronics/otvoreni-energetski-sistemi>, 21 Октомври 2018.
- [2] Naoki AYAI, Toshiya HISADA, Toshikazu SHIBATA „DC Micro Grid System“ Electric Wire & Cable, Energy.
- [3] Chao Long, Nick Jenkins „Peer-to-Peer energy sharing through a two-stage aggregated battery control in a community microgrid“, Cardiff University, UK 2018
- [4] Ahmad Alzahrani, Mehdi Ferdowsi, Pourya Shamsi „Modeling and Simulation of Microgrid“ Complex Adaptive Systems Conference with Theme: Engineering Cyber Physical Systems, CAS, Chicago, Illinois, USA, October 30- November 1, 2017.
- [5] SOLAR ENERGY AND BUILDING PHYSICS LABORATORY LESO-PB „CitySim Software“, <https://leso.epfl.ch/transfer/software/citysim/>, 23 Октомври 2018.
- [6] Mina Rahimian, Lisa D. Iulo, Jose M. Pinto Duarte „A Review of Predictive Software for the Design of Community Microgrids“, Hindawi Jurnal of Engineering, 2018
- [7] Amjad Ali, Wuhua Li, Rashad Hussain „Overview of Current Microgrid Policies, Incentives and Barriers in the European Union, United States and China“ MDPI 2017

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF OPEN ENERGY SYSTEMS IN STANDARD POWER SYSTEMS

ABSTARCT

Considering the fact that solar energy, is a clean and renewable energy source for electricity generation, an increasing access of photovoltaic systems for commercial use has been provided, which leads to creation of so-called household producers. This way of generation of electric energy is of a decentralized type, which enables creation of an open energy system. The main idea of this system is possibility for electric energy transfer from the households which have greater reserves of electric energy to the households with lower reserves of electric energy. The open energy system consists of producers of electrical energy, systems for electric energy storage and transfer system.

In this paper, basic parameters of open energy system are defined, the way this system works is presented and the problem of open energy system implementation into the standard power system is analysed. Also, an overview is given of the software used for power flow control in these systems and the benefits for developments of open energy system in Macedonia.



C. ELECTRIC VEHICLES AND ENERGY EFFICIENT TRANSPORTATION



Елена Блажевска , Марија Калевска

Факултет за електротехника и информациски технологии, Скопје

[¹elena.blazevska96@yahoo.com](mailto:elena.blazevska96@yahoo.com) [²marijakalevska@yahoo.com](mailto:marijakalevska@yahoo.com)

ТЕХНОЛОГИЈА ВОЗИЛО-НА-МРЕЖА: ДОСЕГАШНИ ДОСТИГНУВАЊА И ПРЕДИЗВИЦИ

АПСТРАКТ

Електрични возила се енергетски ефикасни превозни средства кои се погонуваат со помош на еден или повеќе електрични мотори користејќи електрична енергија складирана во батерија или друг уред, како на пример суперкондензатор за складирање на електричната енергија. Визијата на големите произведувачи во автомобилската индустрија е дека до 2020 година ќе има барем 2,5 милиони електрични возила, со што би станале важен дел од електроенергетскиот систем заради задоволување на потребата за полнење. Повеќето од електричните возила се паркирани во поголем дел од времето, па енергијата од батеријата би можела да се искористи при зголемена побарувачка на електрична енергија, а потоа, батеријата на електричното возило да се наполни од мрежа повторно во период кога има намалена побарувачка на електрична енергија. Во овој труд е презентирана технологијата на полнење возило-на-мрежа, англ. Vehicle-to-Grid (и обратно), одредени пилот проекти за да се отслика моменталната состојба, како и идните предизвици при имплементацијата поради техничките и економските ограничувања наметнати заради техничките карактеристиките на батеријата. Опфатена е и пресметка на минималната поволна тарифа со која се компензира флексибилноста на корисникот на ЕВ за услугите возило-на-мрежа.

Клучни зборови: електрични возила, возило-на-мрежа, батерија, пилот проекти, доверливост на електроенергетска мрежа.

1 ВОВЕД

Потребите за електрична енергија (ЕЕ) се зголемуваат секојдневно, односно согласно со зголемувањето на бројот на потрошувачи, расте и побарувачката на ЕЕ. Производството на ЕЕ главно се темели на користење на фосилни горива, чии резерви се ограничени. Ова значи дека е потребно интегрирање на извори кои се неисцрпливи, а воедно ќе можат да ја задоволат побарувачката на ЕЕ. Како извор за производство на чиста ЕЕ, денес се актуелни обновливите извори на енергија, меѓутоа тие се зависни од временските прилики и од истата причина можат да бидат неверојатни. Зголемената побарувачка на ЕЕ е и директна причина и за зголеменото оптоварување на електроенергетскиот систем (ЕЕС). Како еден од можните начини на "пеглање" на кривата на оптоварување на ЕЕС е концептот возило-на-мрежа. Во класичниот концепт за ЕЕС тековите на електричната енергија се еднонасочни од производните постројки кон потрошувачите. Со развој на паметните мрежи, со кои потрошувачите би имале активен удел во ЕЕС, се овозможува и т.н. двонасочен тек на енергијата. На сличен принцип, електричните возила (ЕВ) освен потрошувачи нудат можност да бидат и дисперзирани 'извори' на енергија. Станува збор за одреден број на возила, кои истовремено би враќале одредена количина на складирана енергија, од нивните батерии во мрежа. Покрај тековните пилот проекти, се прават напори за успешно интегрирање на ЕВ во ЕЕС.

2 ИНТЕГРАЦИЈА НА ЕВ ВО ЕЕС

ЕВ секогаш се сметале за потрошувачи со уникатни карактеристики и како такви, би можеле да бидат значајни елементи на електроенергетската мрежа. При правилно искористување на ЕВ, складираната енергија во возилото може значително да ја подобри работата на целиот систем, бидејќи во ЕЕС не се имплементирани уреди за складирање на ЕЕ.

ЕВ минуваат најголем дел од времето паркирани. Основната идеја на технологијата возило-на-мрежа е ЕВ, додека се паркирани и приклучени на станици за полнење, да предаваат ЕЕ во мрежа при врвно оптоварување за регулација на фреквенцијата. Со ова би се намалило производството на ЕЕ од конвенционалните произведувачи на ЕЕ [1]. Подоцна, батериите можат да се наполнат во текот на ноќните часови, кога побарувачката на ЕЕ е намалена. На овој начин може да се помогне интеграцијата на ОИЕ, односно батериите на ЕВ да се полнат и да ја складираат енергијата кога обновливиот извор е достапен. Концептот на вклучување на возилата на мрежа води кон модернизирање на постоечката дистрибутивна мрежа, и овозможува интеракција, односно двонасочен тек на енергијата [2].

Со цел ЕВ да придонесат во ЕЕС и да се овозможи нивно интегрирање на пазарот на ЕЕ, се врши нивна агрегација или групирање и врз база на тоа се прават различни бизнис модели. Агрегатор е правно лице (најчесто компанија) кое се наоѓа во центарот на предложениот бизнис модел, кое ја користи енергијата складирана во возилото по потреба, притоа почитувајќи ги потребите за ЕЕ за транспорт на сопственикот на ЕВ [1]. Согласно [1] предложени се 3 различни бизнис модели:

- Стратегија “флота” – овој модел претставува групирање на повеќе возила на едно место, кои даваат возило-на-мрежа услуги и се управувани од страна на едно лице. Како резултат на тоа, двонасочните мерни уреди се потребни само на една локација, а не за индивидуалните ЕВ. Покрај тоа, со овој бизнис модел има можност за правење на договор за стандардно снабдување со помошни услуги. Доколку се работи за микромрежа и батериите на флотата возила имаат доволно голем капацитет, може да се обезбеди работата на микромрежата да не зависи од ЕЕС, односно микромрежата да работи самостојно и напојува одреден објект, па дури и одредени подрачја.
- Земање на моќност од дисперзирани ЕВ – со овој модел, дистрибутивното претпријатие ја има улогата на агрегатор и би купувала моќност од индивидуалните ЕВ. За ваков тип на агрегација би било потребно повеќето ЕВ да се паркирани во поголемиот дел од денот, а тоа најчесто бара одредена финансиска стимулација за сопствениците на ЕВ, па во овој случај би се правеле индивидуални договори.
- Агрегаторот е независен од дистрибутивната компанија – овој модел е сличен на претходниот, со тоа што дава простор за други компании да учествуваат во пазарот за помошни услуги со ЕВ. На овој начин агрегаторите би можеле да остварат профит нудејќи агрегаторски услуги, а за возврат, на корисниците на ЕВ би им давале одреден надомест или поттик за соработка од типот на нова батерија за ЕВ по крајот нејзиниот животен век.

Главна цел на агрегаторите е да го поедностави управувањето со системот со “пеглање” на дневниот дијаграм за оптоварување и намалување на потребата за конвенционална регулација, притоа остварувајќи профит. [1]

3 ПИЛОТ-ПРОЕКТИ

Меѓу првите проекти каде била спроведена оваа технологија е на Универзитетот во Делавер, каде што менаџери користеле 23 лични возила, меѓу кои Mini-E, модифицирани Scion xB и експериментална Honda Accord, со цел да се обезбеди регулација на фреквенцијата и складирана енергија во батериите на ЕВ. Во меѓувреме во Јапонија, Nissan ја тестира технологијата возило-во-објект, во канцеларија во градот Ацути во 2013 година. Истата се состоела од шест Nissan Leafs со цел намалување на врвните оптоварувања во летните периоди. Ова резултирало со заштеда на 500000 јени годишно. Во Калифорнија, Министерството за одбрана, почнувајќи од 2017 година тестирало употреба на возила од 20 лица за да обезбеди тестирање на технологијата возило-на-мрежа како и интеграција на обновливата енергија и помошни услуги во воздухопловната база Лос Анџелес, почнувајќи од 2013 година. Од 2016 година, во Данска се случил проект кој се состои од десет електронски комбиња e-NV200 во градот Фредериксбург, обезбедувајќи возило-на-мрежа[2]. Во Обединетото Кралство, Nissan, Enel и националната ЕЕ мрежа направиле тестирање на сто единици возило-на-мрежа, вклучувајќи ги и комбињата Nissan Leafs и e-NV200. Во следната табела се дадени некои уште пилот-проекти на оваа технологија[3].

Табела 1. Пилот-проекти на технологија возило-на-мрежа

Место	Датум	Настан
Квебек, Канада	07.2012	Истражувачкиот институт во Квебек започнал проекти за возило-на-мрежа и возило-во-дом.
Малага, Шпанија	07.2013	Јапонската компанија Mitsubishi за тешка индустрија, Hitachi, Mitsubishi и шпанската компанија Endesa, започнале проект со 6 CHAdeMo брзи напојувачи со способност за возило-на-мрежа
Карлсруе, Германија	02.2014	Стратегии за полнење на батериите на ЕВ: економски аспект и потенцијал на возило-на-мрежа
Лос Анџелес, САД	01.2016	Pentagon објавил планови за почетни тестирања за возило-на-мрежа во 4 воени објекти во САД, во воздухопловната база во Лос Анџелес
Франција	02.2016	Nissan објавил батерија со голем капацитет и проект возило-на-мрежа, заедно со партнерите Enel и Eaton
Утрехт, Холандија	03.2016	Renault, Советот на градот Утрехт, ElaadNL и LomboXnet работеле на прототип за паметно напојување на ЕВ со соларна енергија
Ирвине, Калифорнија, САД	06.2016	Корпорацијата Kia Motors и техничкиот центар на Hyundai потпишале партнерство со универзитетот во Ирвине, Калифорнија. Целта е ЕВ Kia Soul заедно со универзитетот со цел да ја тестираат технологијата возило-на-мрежа како и напредни софтвери за паметни напојувања.
Брисел, Белгија	10.2016	Било извршено тестирање на технологијата возило-на-мрежа во Европски градови
Кренфилд, Англија	11.2016	Nissan поставил напојувачи со технологија возило-на-мрежа во објект во Обединетото Кралство
Офенбах, Германија	12.2017	Honda ја тестира технологијата возило-на-мрежа во Германија
Остров Порто Санто	03.2018	Renault и The Mobility House го потпомогнале островот Порто

		Санто да не зависи од фосилни горива интегрирајќи ја технологијата возило-на-мрежа
Бристол, Англија	04.2018	OVO пуштил во продажба напојувач за возило-на-мрежа
Макон, САД	07.2018	Биле имплементирани нови електрични училишни автобуси со можност за реализација на возило-на-мрежа

Освен пилот проекти, во светски рамки се нудат и следните услуги на пазарот[3]:

- Од јануари 2018 година во Јапонија, купувачите на ЕВ Nissan Leaf, добиваат бесплатни соларни панели;
- Од април 2018 година, во Plymouth (САД), нуди можност за пониска цена на електричната енергија доколку корисниците ги избегнуваат часовите со најголема побарувачка на ЕЕ за полнење на нивните ЕВ.
- Со цел почетната цена која ја плаќаат корисниците на ЕВ да биде покомпетитивна во однос на конвенционалните возила, се продаваат ЕВ без батерија, а батеријата се исплаќа на лизинг, односно секој месец, со месечните заштеди на гориво.
-

4 СОЦИОЛОШКИ АСПЕКТ НА ВОЗИЛО-НА-МРЕЖА

Иако има позитивни аспекти, како што е зголеменото користење на ОИЕ, стабилност на енергетската мрежа и слично, полето на истражување на возило-на-мрежа треба да се движи и надвор од техничките теми и методи. Додека во многу од разгледуваните трудови се споменуваат теми како складирање на обновлива енергија, во многу мал дел се застапени општественото прифаќање, потрошувачките норми и информирањето на потрошувачите. Многу малку истражувања се базирани врз основа на експерименти, анкети, интервјуа, студии на случај и слично. Купувачите на ЕВ не се запознаени со технологијата возило-на-мрежа, влијанијата на концептот врз животниот стил или се едноставно конфузни околу концептот.[2]

Во студијата [2], со користење на емпириски податоци за пазарот на ЕЕ од Германија, констатирано е дека продажбата на енергија на сопствениците на ЕВ не резултира со високи приходи, па дури и кога продажбата е возможна. Имено, во времето кога возилото е паркирано (дури и ако шансата е мала), бројот на возила може да биде недоволен за да обезбеди потребна количина на енергија во време кога електроенергетската мрежа има побарување. Во истражувањето [2], кое го разгледувало генералниот дистрибутивен систем на Обединетото Кралство, наведено е дека возило-на-мрежа не нуди можност за големи финансиски заштеди, пресметувајќи дневни заштеди од околу 1 фунта. Ова укажува дека финансискиот и еколошкиот поттик не се доволни за возачите да ја применуваат технологијата, со оглед на влијанието што може да го има врз животниот век на батеријата.

За успешна интеграција на возилата во ЕЕС, потребна е промоција на ЕВ која вклучува неколку аспекти[1]:

- Информирање на луѓето кои се заинтересирани за користење на ЕВ.
- ЕВ мора да имаат компетитивна цена во однос на конвенционалните возила.
- Зголемување на ефикасноста на ЕВ и одржување или намалување на цената на ЕЕ.
- Цената за инсталирањето на потребниот хардвер за полнење на ЕВ треба да се подели помеѓу дистрибутивното претпријатие и државата.

За интеграцијата да биде успешна потребно е формирање на рамка со која би профитирале и сопствениците на ЕВ и агрегаторите. Агрегаторот треба да понуди услуги или финансиски надоместок за сопствениците на ЕВ. Услугите треба да бидат од типот на ЕЕ, одржување на батериите, замена на батериите и паркинг услуги со компетитивни цени или во некои случаи, бесплатно. За возврат, агрегаторот треба да има можност да го користи ЕВ како складиште на ЕЕ во поголемиот тек од денот.

5 ВЛИЈАНИЕ НА РЕЖИМОТ ВОЗИЛО-НА-МРЕЖА ВРЗ ЖИВОТНИОТ ВЕК НА БАТЕРИЈАТА

Како најголем проблем кај ЕВ се јавува животниот век на батеријата. Познато е дека животниот век се намалува и при регуларното полнење и празнење на батеријата[4]. Врз степенот на деградација на батеријата влијаат и начинот на кој се вози ЕВ, начинот на кој се полни батеријата, како и колку често се користи за возило – во – мрежа апликации. Во продолжение, разгледани се дополнителните негативни влијанија при користење на возило – на – мрежа апликацијата.

Симулирани се различни сценарија со цел да се испита степенот на дополнително намалување на капацитетот на батеријата при апликација на возило-на-мрежа.

- Ниво на полнење: 1(1.3 kW) , 2b(6.6 kW) и 3b (50 kW).
- Тајминг на возило-на-мрежа настаните: Се оценуваат сценарија во кои после возењето, батеријата на возилото прво се дополнува со цел да се надокнади за потрошената енергија во текот на возењето, а потоа се користи за враќање на енергија во мрежата и сценарија кои претпоставуваат дека нема време за надополнување на батеријата, и таа веднаш после возењето се користи за возило-на-мрежа. Во двата случаи, на крајот од користењето за возило-на-мрежа, батеријата се дополнува за потребите на корисникот во наредниот ден.
- Фреквенција на возило-на-мрежа настаните: Месечно, неделно или дневно.
- Ниво на празнење: Максимална моќност (100%), но исто така се користат и 50%, како и 25% од максималната моќност на нивото на полнење (моќноста на полнење).

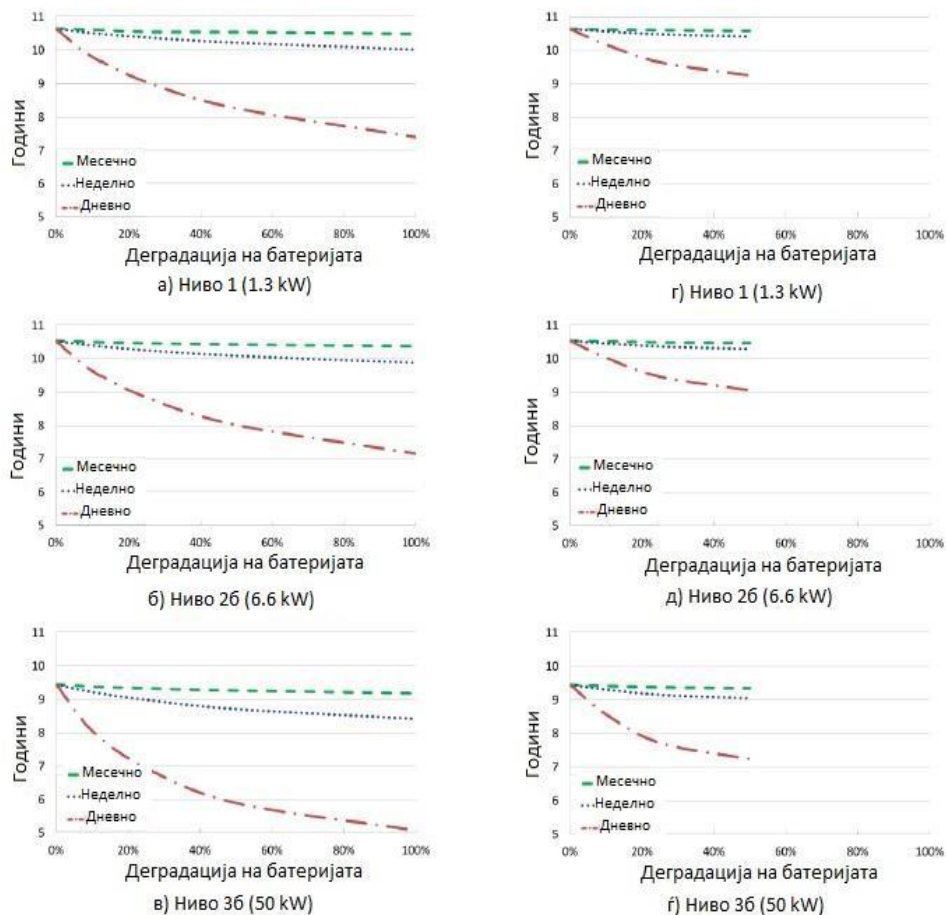
Вкупна енергија вратена во мрежата: Разгледани се различни сценарија со различни нивоа на празнење на батеријата, 10%, 25%, 50% или 100% од вкупниот капацитет на батеријата.

Секојдневното користење на брзото полнење (3b 50kW) води кон значително зголемена деградација на батеријата. Исто така може да се забележи дека при возило-на-мрежа настаните, кои се веднаш после возење, имаат поблаги последици во однос на сценаријата после целосно полнење на батеријата.

Важно е да се каже дека тајмингот на возило-на-мрежа настанот има влијание врз способноста на возилото да враќа ЕЕ во мрежата. Според направено испитување се покажува дека кога батеријата прво ќе се наполни, може значително повеќе да придонесе кон враќањето на енергија во мрежата.

За сценаријата после полнење на батеријата, влијанието на месечното користење на батеријата е скоро незначително- животниот век е намален за само 2 месеци, за нивоа на полнење до 6.6 kW и за 3 месеци при брзо полнење. Користењето на возилото за Возило-на-мрежа на неделно ниво го намалува животниот век за 0.6-1 година, во зависност од нивото на полнење. Секојдневното користење на возилата за враќање енергија во мрежа значително го намалуваат животниот век на батеријата и тоа за 3.2, 3.4 и 4.4 години, за 1,2 и 3 нивоата, соодветно. Помалиот капацитет достапен за Возило-на-мрежа настанот резултира со помало намалување на животниот век на батеријата за 40-70%, во однос на случајот каде таа е полна.

Важно е да се напомене дека најкраткиот животен век на батеријата е при комбинација на секојдневна Возило-на-мрежа активност на возилото, со целосно празнење на батеријата, во случаите кога таа е претходно наполнета на нејзиниот максимален капацитет, при нејзино секојдневно полнење на највисокото ниво од 50 kW. Животниот век на батеријата во тоа сценарио е драматично намален на само 5 години.



Слика 1. Животен век на батеријата при различни степени на нејзино празнење, зачестеност на возило-на-мрежа настани и при различни нивоа на полнење.[1]

Табела 2 го покажува влијанието на енергетската состојба на батеријата во моментот кога се користи за настан возило-на-мрежа, односно го покажува животниот век на батеријата во години за различни комбинации на зачестеност на настаните возило-на-мрежа и степени на празнење на батеријата.[1] (Двете сценарија се за случај каде возило-на-мрежа настанот е после целосно полнење на батеријата.)

Табела 2. Животен век на батеријата во години за различни комбинации на зачестеност на настаните возило-на-мрежа и степени на празнење на батеријата

Ниво на полнење	Без возило-на-мрежа	Неделно возило-на-мрежа, 100% празнење	Секојдневно возило-на-мрежа, 10% празнење
1 (1.3 kW)	10.64	10.02	9.81
2b (6.6 kW)	10.54	9.88	9.64
3b (50 kW)	9.44	8.42	8.05

За сите нивоа на полнење, крајот на животниот век на батеријата се достигнува побрзо со секојдневни возило-на-мрежа настани при земање на само 10% од батеријата,отколку неделни настани со нејзино целосно празнење. Ова звучи нелогично поради тоа што вкупната енергија

земена во 7 дена по 10% е помала отколку еднократното празнење на батеријата. Но тоа се должи на фактот што најголемата деградација на батеријата настанува како резултат на нејзино користење во моменти кога е целосно наполнета.

Заклучено е дека при секојдневни возило-на-мрежа настани, деградацијата на батеријата е многу голема, а со тоа животниот век на батеријата значително се намалува. Поради тоа, исклучително важно е учеството на ЕВ во такви настани да се ограничи само на посериозни пореметувања во мрежата. [1]

6 ПРЕСМЕТКА НА ИСПЛАТЛИВОСТА НА КОНЦЕПТОТ ВОЗИЛО-НА-МРЕЖА

Со цел да простудираме дали и кога е исплатлив концептот на возило-на-мрежа ќе разгледаме еден случај. [5] [6]

Со стандардно ЕВ со батерија од 25 kWh се превезува човек на работа, кој тргнува со полна батерија. При пристигнувањето нивото во батеријата е нешто помало. За да се превезе до својот дом потребна му е некоја минимална ЕЕ во батеријата на ЕВ. Во меѓувреме, операторот на мрежа може да ја манипулира батеријата колку сака, односно ја полни и празни неограничено. Согласно, да претпоставиме дека на располагање на мрежата се околу 20kWh.

$$V2G = E_{\text{доставена}} \cdot E_{\text{ефикасност}} \cdot V2G_{\text{тарифа}} \quad [5]$$

- **V2G** е бруто добивката од услугата возило-на-мрежа [парична валута]
- $E_{\text{доставена}}$ е енергијата која е предадена на мрежа [kWh]
- $E_{\text{ефикасност}}$ е ефикасноста на уредот за полнење на батеријата [бездимензионална величина]
- $V2G_{\text{тарифа}}$ е дополнителната тарифа со која се компензира флексибилноста на корисникот на ЕВ за услугите возило-на-мрежа [парична валута/kWh]
- $C_{\text{повторнополнење}}$ е трошокот поради повторно полнење на ЕВ [парична валута]
- $C_{\text{деградација}}$ е трошокот поради деградација на батеријата [парична валута]
- $V_{\text{батерија}}$ е коефициент на користење на дел од животниот век на батеријата на ЕВ при концептот возило-на-мрежа [бездимензионална величина]
- $V_{\text{чинењенабатеријата}}$ е првичната цена на батеријата на ЕВ [парична валута]

Вкупна добивка од еден циклус: $V_{\text{добивка}} = V2G - C_{\text{повторнополнење}} - C_{\text{деградација}}$. [5]

За конкретниот случај: $V2G_{\text{тарифа}} = ?$

Главното прашање е колку треба да биде минималната тарифа со која се компензира флексибилноста на корисникот на ЕВ за услугите возило-на-мрежа за да имплементацијата на концептот биде профитабилна за корисникот на ЕВ.

Познато е дека на располагање се 20kWh кои можат да бидат доставени во мрежата ($E_{\text{доставена}} = 20\text{kWh}$), додека ефикасноста на уредот кој еднонасочната ЕЕ ќе ја претвори во наизменична ЕЕ и обратно е 90% ($E_{\text{ефикасност}} = 0,90$).

Тарифата по која се полни батеријата на ЕВ по празнењето е $C_{\text{тарифа}} = \$0,10$. Согласно [6],

$$C_{\text{повторнополнење}} = E_{\text{доставена}} (2 - E_{\text{ефикасност}}) C_{\text{тарифа}} = 20 \text{ kWh} \cdot 1,1 \cdot 0,10 \$/\text{kWh} = \$2,20$$

Под претпоставка дека во тие максимални оптоварувања, ќе има само еден циклус на возило-на-мрежа, а батеријата првично чинела $\$10,000$ ($V_{\text{чинењенабатеријата}} = \$10,000$), следи:

$$C_{\text{деградација}} = V_{\text{чинењенабатеријата}} V_{\text{батерија}} = \$10000 \cdot \left(\frac{1}{2000 \text{ циклуси}} \right) = \$5,00 \text{ по циклус}$$

Ова значи дека секое полнење и празнење на батеријата придонесува до нејзино деградирање, односно има удел во 'трошењето' на $\frac{1}{2000}$ -ка од животниот век на батеријата, под претпоставка дека батеријата има 2000 циклуси на полнење и празнење.

$$V_{\text{добивка}} = V2G - C_{\text{повторнополнење}} - C_{\text{деградација}} = V2G - \$2,20 - \$5,00 = V2G - \$7,20 \quad [\$]$$

За добивката да е поголема од нула, односно да нема загуба или да има одреден профит, важи:

$$V2G \geq \$7,20, \text{ па следи:}$$

$$V2G = 20 \cdot 0,90 \cdot V2G_{\text{тарифа}} [\text{\$}]$$

$$20 \text{ kWh} \cdot 0,90 \cdot V2G_{\text{тарифа}} \geq \$7,20$$

$$V2G_{\text{тарифа}} \geq 0,40 \text{ \$/kWh}$$

Со ова добивката би била сведена на нула, што значи дека за успешна интеграција на концептот возило-на-мрежа, дополнителната тарифа со која се компензира флексибилноста на корисникот на ЕВ за услугите возило-на-мрежа би требало да изнесува минимум, односно да биде поголема од 0,4 \$/kWh. [6]

7 ЗАКЛУЧОК

ЕВ нудат можност за враќање на ЕЕ назад во мрежата. Како такви, овозможуваат “пеглање” на карактеристиката на оптоварување на ЕЕС и го потпомагаат интегрирањето на ОИЕ. Развојот на технологијата возило-на-мрежа е предизвик поради финансиската исплатливост за сопствениците на ЕВ и животниот век на батеријата на ЕВ. Со доволно профитабилна тарифа со која се компензира флексибилноста на корисникот на ЕВ за услугите возило-на-мрежа овој концепт би можел да стане применлива пракса на глобално ниво.

8 КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Александар Димовски, Интегрирање на ЕВ во ЕЕС, Дипломски труд при ФЕИТ, Скопје, јануари 2017
- [2] Benjamin K Sovacool, Lance Noel, Jonn Axsen and Willett Kempton, [The neglected social dimensions to a vehicle-to-grid \(V2G\) transition: a critical and systematic review](#), January 2018
- [3] [Vehicle-to-Grid Technology map](#)
- [4] Hajo Ribberink, Ken Darcovich, Fleurine Pincet, [Battery Life Impact of Vehicle-to-Grid Application of Electric Vehicles](#), May 2015
- [5] Rebecca Gough, Charles Dickerson, Paul Rowley and Chris Walsh, [Vehicle-to-Grid Feasibility: A Techno-economic Analysis of EV-based Energy Storage](#)
- [6] [Vehicle-to-grid energy transfer](#)

Elena Balzhevska¹, Marija Kalevska²

Faculty of electrical engineering and information technologies, Skopje

[¹elena.blazevska96@yahoo.com](mailto:elena.blazevska96@yahoo.com) [²marijakalevska@yahoo.com](mailto:marijakalevska@yahoo.com)

VEHICLE-TO-GRID TECHNOLOGY – ACHIEVEMENTS AND CHALLENGES

ABSTRACT

Electrical car is an energy efficient vehicle that is powered by one or multiple electrical motors using electricity stored in a battery or other energy storage device. The vision of the major automotive manufacturers is that by 2020, there will be at least 2.5 million electric vehicles which would be part of the traffic and could become an important segment of the power system. Most of the electric vehicles spend a lot of time on standby, so the battery power could be used when there is increased electricity demand and then the vehicle should be recharged from the grid, when there is a reduced electricity demand. The objectives of this paper are to present the Vehicle-to-Grid technology, certain pilot projects and achievements, as well as the challenges of implementation. The conclusion is that the development of this technology would contribute to a more stable power system, a lower price of electricity and a cleaner environment. However, there are many questions about the negative effect on the battery's life, the acceptance by the users of electric vehicles and the motive for the users to practice this technology. The paper presents subject matters from various researches in this field. Certain ways of extending the life of the battery in the electric vehicles are also discussed.

Key words: Electric vehicles, vehicle-to-grid, battery, pilot projects, grid stability.



Kaja Lazova¹, Andzelo Macura²

¹ Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies, Ss. Cyril and Methodius University in Skopje, Macedonia

¹kaja.lazova@hotmail.com

²mandzelo@yahoo.com

ENERGY-EFFICIENT TRANSPORT

ABSTRACT

It is becoming clear that energy efficiency can bring many significant economic and environmental benefits. Yet it is also clear that huge energy efficiency potential remains untapped. While energy efficiency is improving, its impact on global energy use is being overwhelmed by increasing economic activity across all sectors. In 2017, global energy demand and emissions increased noticeably, breaking from recent trends. Energy efficiency is bringing benefits, but it could be doing much more. Efficiency can enable economic growth, reduce emissions and improve energy security. The right efficiency policies could enable the world to achieve more than 40% of the emissions cuts needed to reach its climate goals without new technology. In view of this, it is important to note the relevance of the road transport energy paradigm, which can be split into three main parameters:

$$\text{Eroad transport} = (\text{vehicle fuel efficiency}) \times (\text{vehicle travel}) \times (\text{the vehicle population}) .$$

A second important consideration is the energy costs of producing energy. Bio-fuels, electricity and hydrogen, for instance, have significant energy inputs in their production. Finally, vehicle energy efficiency calculations would be misleading without factoring the energy cost of producing the vehicle itself.

Key words: economic growth, reduced emissions, energy efficient transport

1 GENERAL IDEA AND MOTTO

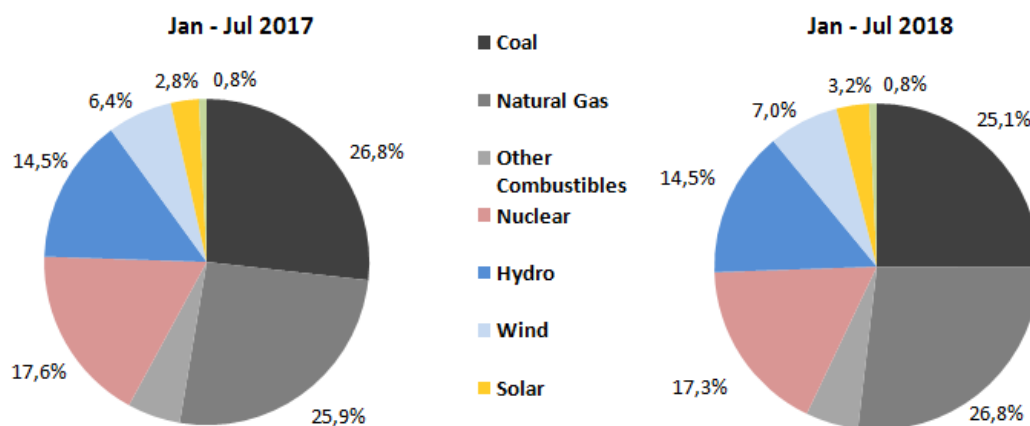
Power plants creating electricity and our own home's use of natural gas or heating oil causes pollution in the air and emissions of greenhouse gases that can contribute to the risks of global climate change. More than half of all greenhouse gases in the air come from power plants and the use of natural gas. By using less energy, you help fight global climate change. You also reduce the kinds of air pollutants that are unhealthy to breathe. Energy efficiency also reduces the amount of water power plants and factories need to use. From power plants to cars, consuming energy can produce emissions that harm our environment. But investments in energy efficiency across the biggest sectors of our economy could abate up to 1.1 gigatons of greenhouse gas emissions annually – that's equal to taking all U.S. cars and trucks off the road for one year. The fundamental genius of the Alliance to Save Energy is seeing the relationship between energy efficiency and economic prosperity. Relevant improvements during recent years have been made in the transmission systems, including automatic gear boxes, but innovative engineering is ongoing and will require more onboard electricity generation. The generation of electricity in a car engine has a very low efficiency as a result of the complexity of the process: the chemical energy of the fuel is transformed into heat, then into mechanical energy first in the engine and then in the alternator to finally generate the electricity. This

is a relevant field of research but challenging because normally only inexpensive solutions are applied in the automotive industry.(Picture 1)

1.1 Goal

The transport sector is fundamental for the economy but also for personal life. With a growing population and the globalization process, it is not surprising that the demand of transport is set to grow in the near future and certainly until 2050. This paper focuses on the huge potential of progress in the sector of technology for transport. As the principal sector for transport will remain on roads, the paper emphasizes the progress in the automotive sector. Since car manufacturers are investing massively into research and technology development to offer ever more efficient cars—not only energy efficient but also efficient in terms of safety and comfort—the car of tomorrow will be very different from the present one.

We are analysing how to improve energy efficacy. Figure 1 shows the benefits of energy efficacy. For the purposes of this analysis, we will look at some of the most common types of automated forms of transportation in the US. This will include transportation by private automobile, urban transit bus, commuter rail, or domestic air travel.



Picture 1. Electricity Production by Fuel Type

1.1.1 Basic terms

Energy efficiency in transportation is generally discussed using terminology specific to this sector of the economy. The primary terms used to quantify the fuel consumed by a vehicle as it is driven are “fuel economy” (or “fuel efficiency”) and “fuel consumption.”

Fuel efficiency is a relative term used to describe how effectively fuel is used to move a vehicle. Thus, a heavy and a light vehicle, using the same technology in the same ways, would have the same fuel efficiency but very different fuel economy. Thus, fuel efficiency is related to the amount of useful work that is derived from the combustion of fuel. Fuel economy is expressed as miles per gallon of fuel consumed; it is the term most commonly used in the United States in discussing vehicle fuel consumption. Fuel consumption is the inverse of fuel economy. It refers to the fuel consumed by the vehicle as it travels a given distance. Widely used in the Europe (expressed in liters per 100 km), this metric is a clearer measure of fuel use than is fuel economy.

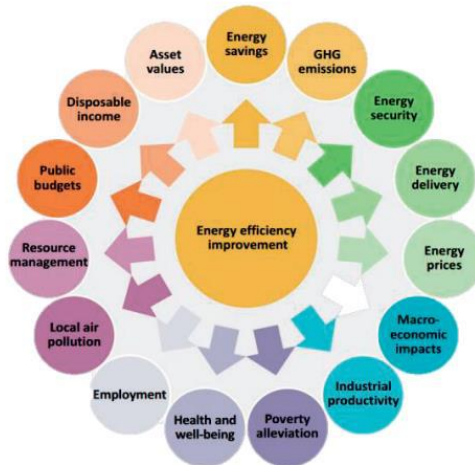


Figure 2. Benefits of energy efficiency improvement

So where do we start? Lets suggest some improvements.

1.1.2 Engine Improvements

How can the efficiency of an engine be improved?

- Run the engine fuel-lean, that is, use excess air. It is well known that fuel-lean running improves the efficiency.
- Higher compression ratio.
- We need new cycles put into practical use.
- Run the engine at optimum conditions, meaning low friction (modest engine speed) and low pumping work (air throttle more open)
-
- Diesel Compression-Ignition Engine

Owing to their high compression ratios and reduced pumping losses, turbocharged diesel engines currently offer approximately a 20–25 percent efficiency benefit over gasoline SI engines when adjusted for the higher energy density of diesel fuel. Efficiency improvements in compression-ignition (CI) engines are likely to come primarily from increased power density, improved engine-system management, more sophisticated fuel-injection systems, and improved combustion processes.

- Gasoline Spark-Ignition Engine

The gasoline spark-ignition (SI) engine efficiency improvements that could be deployed in large volume in the next decade include but are not limited to the following: variable valve timing, two- and three-step variable valve lift, cylinder deactivation, direct injection turbocharging with engine downsizing, enginefriction reduction, and smart cooling systems. Many of these are already in lowvolume production. In the medium-term (15–20 years), technologies such as camless valve actuation, continuously variable valve lift, and homogeneous-charge compression ignition could be deployed in increasing numbers.

- Gasoline Hybrid-Electric Vehicle

The primary fuel-consumption benefits of a gasoline hybrid-electric vehicle (HEV) derive from regenerative braking, engine downsizing, the active management of energy use to maintain the most efficient engine operating conditions, and the elimination of idling.

Hybrid vehicles are increasingly being classified on the basis of the extent of the functions offered by the electric motor/generator. Relative to equivalent gasoline SI engines, belt-driven starter-generator systems can eliminate engine idling, reducing fuel consumption by 4–6 percent; integrated

starter-generator systems that can recover energy from regenerative braking, along with eliminating engine idling (a mild hybrid), can reduce fuel consumption by 10–12 percent.

- Plug-In Hybrid Electric Vehicle

Plug-in hybrid-electric vehicles (PHEVs) are hybrid vehicles that can be recharged from an external source of electricity. The liquid-fuel savings that can be realized is directly related to the amount of electricity stored in the battery.

- Hydrogen Fuel-Cell Vehicle

Fuel-cell technology, in a hybrid system with hydrogen as the fuel, offers the promise of significantly higher propulsion system efficiency than that of ICE technology, as well as zero vehicle tailpipe greenhouse gas emissions.

- Battery-Electric Vehicle

1.1.3 Transmission Improvements

Automatic transmissions are popular in the United States primarily because of their ease of use and smooth gearshift. Transmission efficiency is likely to improve in the near-to midterm through increasing the number of gears and reducing losses in bearings, gears, sealing elements, and the hydraulic system. While four-speed transmissions have dominated the U.S. market, five-speed transmissions are becoming standard as well. Six-speed automatic transmissions, as well as automated manual transmissions, are already used in some cars and are likely to become more widely used over the next decade.

Table 1. Expected Transmission System Efficiencies

Transmission	Efficiency (%)
Current automatic transmission (4- and 5-speed)	84-89
Automatic transmission (6- or 7- speed)	93-95
Dual clutch transmission (wet-clutch)	86-94
Dual clutch transmission (dry-clutch)	90-95
Continuously variable transmission (CVT)	87-90

Table 1 lists the efficiencies that can be expected from various transmission systems in the near-to midterm. As shown, improvements of 2–91 percent are realizable and provide equivalent percentage reductions in vehicle fuel consumption.

1.1.4 Nonpropulsion system improvements

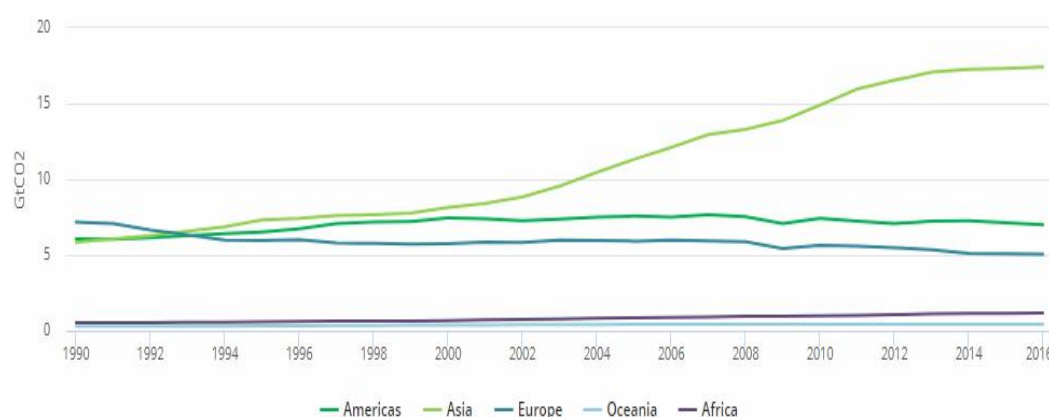
- Vehicle Weight and Size Reduction : Reducing vehicle weight is one obvious way to reduce fuel consumption. Weight reduction can be achieved by substituting lighter-weight materials (such as aluminum) for heavier ones, by redesigning vehicles, and by downsizing vehicles and components. The cost of reducing vehicle weight through the use of lighter-weight materials is estimated to be about \$3/kg (\$1.40/lb) .
- Rolling Resistance Reduction
- Aerodynamic Drag Reduction
- Lubricants : Engine friction has a substantial negative impact on engine efficiency. Friction can be and is being reduced through improvements in engine design and the use of new materials and surface coatings. It can also be influenced by engine lubricant properties, and lower viscosity oils are increasingly being used. The most commonly used engine oils or lubricants are mineral oils that contain additives to improve viscosity, inhibit engine oxidation

and corrosion, act as dispersants and detergents, and reduce surface friction. There are strong pressures to reduce both the consumption of engine oil and the additive components that produce ash, in order to minimize the degradation of the exhaust system's emission-control technologies, such as catalysts and particulate traps.

1.1.5 Liquefied natural gas - LNG

The huge potential in the use of LNG has already been mentioned. This is also a field of research in the military sector. In countries, where a lot of biomass is available (like in Scandinavia), research is ongoing to produce methanol produced from forestry products with the aim mainly to fuel ships. More generally, research to produce second-generation biofuels is ongoing to exploit 100 % of the vegetal material and not to limit the conversion of the more profitable part of it. It is only if we succeed in converting all the biomass into a set of derived fuels that economic and sustainable success can be reached.

2 CONCLUSION



Safe, equitable, and energy-efficient urban transport can help achieve multiple health and sustainability goals. Shifting urban design and infrastructure investments into public transport networks that prioritize rapid bus transit or light rail over private vehicles can reduce the long-term trajectory of both air pollution and climate emissions generated by private transport – and improve health equity by providing those lacking cars with better mobility. A full assessment of the effects on the environment of making these improvements would cover energy consumption and all environmental effects, including greenhouse gas emissions, over the entire vehicle lifetime, which includes the vehicle manufacturing and disposal stages as well as vehicle use. Transportation and energy are strongly linked. Without energy, there will be no modern transport system; the reverse is, however, also true. As the demand of transport will increase, energy consumption will certainly grow for a number of decades to come. Energy efficiency measures will not be able to absorb all the increase of the demand resulting from this growth. Nevertheless, progress in improving energy efficiency in the field of transport is fundamental. The need for improvement is particularly crucial for road transport because it is the most relevant sector and it will continue to expand.

Picture 2. CO₂ emissions from fuel combustion by region

3 USED LITERATURE

- [1] Energy efficiency 2018 – International Energy Agency
- [2] Energy efficiency 2017 – IEA .
- [3] http://www.who.int/sustainable-development/cities/strategies/transport/en/?fbclid=IwAR0lqyT_SYCAxo3x5_-i0sFwP8WLGkp_zd3i038oi6R5v15xO5g6kMBim6k
- [4] <https://www.nap.edu/read/12621/chapter/5#142>
- [5] Monthly electricity statistics - IEA



Ljubica Trendafilova
Faculty of Electrical Engineering and Information Technology, Skopje
ljubica.trendafilova@gmail.com

BATTERIES CHARGING SYSTEMS FOR ELECTRIC AND PLUG-IN HYBRID ELECTRIC VEHICLES

ABSTRACT

As a consequence of the increased emissions of greenhouse gases which are caused by the conventional vehicles, studies are increasingly focused on developing a new generation of vehicles, electric vehicles (EV). The economic feasibility of the EV and the hybrid electric vehicles with plug (HEVP) could provide sustainable and energy efficient transportation. The energy that accumulates in the battery of the EV can increase the stability of the network and can reduce the problem of the uncompleted usage of energy produced by the renewable energy sources. That is why there is a need for development of batteries whose performance will provide reliable and economical storage of electricity. Through this paper we will conduct a detailed analysis of the infrastructure of the charging battery systems of the EV and HEVP and will summarize the standards and different types of chargers in the global EV markets

Key words: electric vehicle, battery, charging standard, inductive charging

1 INTRODUCTION

Electric vehicles offer the potential to dramatically reduce local air pollution, climate change impacts, and oil use from the transport sector. Petroleum-fueled combustion vehicles have dominated the past century, but the recent growth of electric vehicles presents an opportunity to transform the transportation sector. With increased production volumes and battery cost reduction over the next 10 years, electric vehicles are projected to approach cost-competitiveness with conventional vehicles. In the past 6 years, electric vehicles have gone from a fringe technology with no mass production to a fast-growing part of the vehicle market. In early 2017, the two-millionth electric vehicle was sold, and electric vehicles have surpassed 10% of new vehicle sales in multiple local markets. The potential benefits of electric vehicles are enabled, but yet the lack of charging infrastructure still presents a barrier to growth in the electric vehicle market. The development of a robust charging infrastructure network is widely considered a key requirement for a large-scale transition to electro mobility. Such infrastructure would not only provide more charging options for drivers, but would also promote awareness and range confidence for prospective electric vehicle owners. Nonetheless, there is relatively little consensus about the optimal concentration and distribution of charging infrastructure or the relationship between charging infrastructure and electric vehicle uptake. This paper seeks to address the optimization of the battery charging systems and it gives a detailed analysis of the charging levels and charging modes in the EVs. Charging connector standards as also being described. Particular attention has been devoted on the inductive charging which uses a wireless technology based on electromagnetic fields.

This type of charging is seen as a key enabling technology to increase the adoption of electric vehicles. The various applications of WPT (wireless power transfer) is a great potential to displace petroleum currently used in transportation.

2 ELECTRIC VEHICLE SUPPLY EQUIPMENT (EVSE) CHARGER CLASSIFICATIONS

Like conventional vehicles, EVs are dependent on external energy supply. The first source of battery charging is regenerative braking, since an electric vehicle can recover energy from braking by using the electric motor as a generator. During braking, a large amount of energy is generated in a short period of time, the battery is therefore charged with a short pulse of high current. However, this energy is not enough to recharge a battery, so an external charging infrastructure is also needed. Electric vehicles will not be purchased if the user does not have access to recharging facilities which allow the usage of EVs like vehicles with an internal combustion engine. There are different ways of charging an electric vehicle. As shown in table 1, they can be divided into conductive and inductive charging. Conductive charging makes use of a cable, while inductive charging uses a wireless technology based on electromagnetic fields. [1]

	Conductive slow/fast	Inductive
Description	Plugged into a charging station using a cable and a socket	The battery in the car is charged by wireless induction charger
Time needed	4-8 hours/ 20-30 minutes	2-8 hours
Powertrains	PHEV, BEV	BEV
Example	Renault Zoe	N/A

Table 1- Charging infrastructure

As the battery is a DC device, any EV charging process includes a conversion of the AC power from the electrical grid to the DC power needed by the batteries. That is the reason why a power inverter is required in every charging process. This condition sets two charging modes, depending on whether the EV is supplied with AC or DC current. The main difference between AC and DC (shown on figure “1”) charging is that in the case of DC charging, the AC/DC conversion is performed by the charging station and therefore located outside the EV. In case of AC charging, the AC/DC converter is located inside the EV. In this case, the role of the external charging station is to supply the EV with AC power directly from the grid, as well as providing protection and control mechanisms that increase the safety of the charging process, and, if needed, acting as a user interface to perform payment functions and smart management of the process.

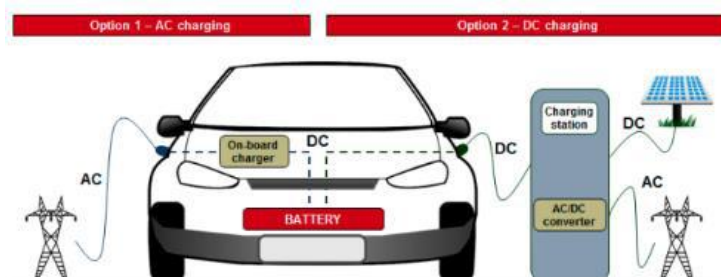


Figure 1: AC vs DC charging

The main advantage of AC charging is that AC charging stations are simpler and smaller, and therefore less expensive than DC charging stations. This can be an important factor, as the success of the EV depends greatly on the charging infrastructure deployment. One should point out, however, that the generally stated price differences between AC and DC stations may be overestimated. It is not

uncommon to read in the press that a DC charging station may cost 3 to 4 times as much as an AC station. This may be true for low power, household-type chargers. However, public chargers, whether AC or DC, have specific needs such as anti-vandalism enclosures, dedicated power lines and even transformers, civil works, communication systems, payment processing devices, etc. that greatly increase their cost. This means that the cost difference due to the AC/DC converter, may not be so important for public chargers. The main disadvantage of AC charging is that it requires the EV to have an on-board current inverter. This kind of electronic device is heavy and bulky because of its components, such as inductors or capacitors. Moreover, the inverter in each EV will set a limit on the maximum power rate and charging speed. This inconvenience does not exist in DC chargers, since the AC/DC converter is included in the charging station, where there is no space or weight limitations. This is considered the main advantage of DC charging.

Charging infrastructure is broadly broken into three categories based on the charging speed: Level 1, Level 2, and direct current (DC) fast charging (sometimes referred to as Level 3). The summarized information about the levels are shown on table 2.

- **AC Level 1:** Charging Level 1 provides charging from a standard residential 120-volt AC outlet, its power consumption is approximately equal to that of a toaster. Most PEV manufacturers include a Level 1 EVSE cord set so that no additional charging equipment is required. As a general rule, Level 1 recharging will add approximately 6.4 km of travel per hour. Level 1 charging is the most common form of battery recharging and can typically recharge a PEV's batteries overnight; however, a completely depleted PEV battery could take up to 20 hours to completely recharge.
- **AC Level 2 Charging:** Level 2 equipment provides charging using 220-volt residential or 208-volt commercial AC electrical service, its power consumption is approximately equal to that of a residential clothes dryer. As a general rule, Level 2 recharging will supply up to approximately 24 km of travel for one hour of charging to vehicles with a 3.3 kW onboard charger, or 48.2 km of travel for one hour of charging for vehicles with a 6.6 kWh on-board charger. Level 2 EVSE utilizes equipment specifically designed to provide accelerated recharging and requires professional electrical installation using a dedicated electrical circuit. Level 2 equipment is available for purchase online or from retailers that sell other residential appliances. A completely depleted PEV battery could be recharged in approximately seven hours using a Level 2 charger.
- **DC Fast Charging (DCFC):** DCFC equipment requires commercial grade 480-volt AC power service and its power requirements are approximately equal to 15 average size residential central air conditioning units. As a general rule, DCFC recharging will add approximately 130-160 km of travel with 20-30 minutes of charging. The DCFC EVSE converts AC to DC within the EVSE equipment, bypassing the car's charger to provide high-power DC directly to the PEV's traction batteries through the charging inlet on the vehicle. DCFCs are being deployed across the United States, typically in public or commercial settings. While the power supplied to PEVs by all DCFCs is standardized, there is not uniform agreement on the connector that is used to connect the charger to the vehicle. There are two competing standards for the vehicle connectors used with DCFCs; one standard is the SAE J1772 Combo developed by the U.S. auto standards development organization SAE and the other is the CHAdeMO connector developed by a Japanese auto standards organization. As a practical matter, both connectors work very well and many (but not all) PEVs are equipped to utilize either connector. DCFC's high-power capabilities can restore a depleted PEV battery in approximately 30 minutes.

	Charge time	Voltage/Amps	Power Equivalent	Installation
Level 1	Up to 20 hours	120/15	Toaster	Self
Level 2	Up to 7 hours	240/40	Clothes dryer	Professional
DC fast charging	Up to 30 minutes	480/215	15 Centarl A.C	Professional

Table 2: EVSE General Characteristics (completely depleted battery)

Charging infrastructure can also be categorized by “mode,” which specifies the type of electric and communications connection between the vehicle and the charging infrastructure.

- **Mode 1 (AC):** slow charging from a standard household-type socket-outlet, up to 16 Amperes, without any specific safety or control features
- **Mode 2 (AC):** slow charging from a standard household-type socket-outlet, up to 16 Amperes, with an in-cable protection device and a power level control that protects the user and the vehicle
- **Mode 3 (AC):** slow or fast charging using a specific EV socket-outlet and plug with control and protection function permanently installed
- **Mode 4 (DC):** fast charging using an external charger with an AC/DC converter providing direct current with power levels starting at 50 kW.

Apart from the charging modes, there are several design options for the physical plugs required to connect EVs to the charging equipment. These designs may be divided into four types:

- **Type 1 (Yazaki)** is widely used in Japan and the US. This type of plug is designed to connect a cable from the charging equipment to an EV with a compatible inlet.
- **Type 2 (Mennekes)** is the European standard for sockets. In this case, the purpose of the plug is to connect a cable to the charging equipment. On the car side, the cable will usually have a Type 1 socket. Type 2 plug are usually rated for higher power levels
- **Type 3 (Scame)** is very similar to Type 2, but the difference is that Type 3 sockets are designed to fit with safety shutters installed on power outlets in order to protect both the users and the equipment according to safety requirements in a limited number of European countries
- **Type 4 (CHAdMO)** refers to fast DC chargers. These plugs follow the CHAdMO standards for charging protocol as well as the physical design of the socket and the vehicle inlet.

The connection among charging modes and plug types is shown in table 3, where the main features of each possibility are described.

Charging mode	Plugs			
	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
Mode 1	No control, just plug in and a charge	N/A	N/A	N/A
Mode 2	Control though a control box inline in cable	N/A	N/A	N/A
Mode 3	N/A	Control through signal transmitted from the car to	Control through signal transmitted from the car to	N/A

		the charging point	the charging point	
Mode 4	N/A	N/A	N/A	DC charging following the CHAdeMO standard

Table 3-Mode Definition of Plugs and Sockets

3 CHARGING CONNECTOR

Depending on region and speed of charging, the type of plug and socket used for charging electric vehicles may vary. Although these plug types are generally well-defined and each works well for its specific application, the variety of standards may lead to confusion among drivers and hesitation from industry. In North America and Japan, most electric vehicles use the SAE J1772 connector, which contains five pins and a mechanical lock. In Europe, Level 2 charging uses the Type 2 or Mennekes connector, which has seven pins and takes advantage of the three-phase alternating current grid. China also requires (as of 2017) a variant of the Type 2 plug (under the standard GB/T 20234.2-2015), although legacy vehicles and charging stations have not yet been converted (NDRC, 2015). The exception to this regional breakdown is Tesla, which uses a proprietary connector for its vehicles sold in North America, although adapters to SAE J1772 are available. In Europe and Asia, Tesla vehicles have a Type 2 plug.[3]

SAE J1772	Type 2 (Mennekes)	Tesla (US)
		
North America and Japan	Europe and China	Tesla vehicles in North America

Table 4-Comparison of the most popular AC charging connector types

For DC fast charging, connector types vary by automaker in addition to region, with the most common connectors shown in Table 4. Nissan and Mitsubishi created and promoted the CHAdeMO (short for Charge de Move) fast charging standard beginning in 2011 (Mitsubishi Motors Corporation, 2014). This type is still used on electric vehicles produced by Nissan, Mitsubishi, Kia, Citroën, and Peugeot. In contrast, several automakers from the United States and Europe have advocated for the Combined Charging System (CCS), which uses the SAE J1172 or Mennekes AC plugs along with two additional DC pins for fast charging. This standard has now been adopted by BMW, Daimler, Ford, Fiat Chrysler, General Motors, Honda, Hyundai, and Volkswagen. Whereas CCS (sometimes referred to as SAE Combo or Combo 2 in North America and Europe, respectively) uses the same receptacle on the car as a Level 2 charger, CHAdeMO requires a separate port. As in the case of Level 2 charging, Tesla uses its proprietary plug for its DC Supercharger stations in the United States, although the company also makes Tesla-to-CHAdeMO adapters. China has recently mandated the use of a new standard (GB/T 20234.3-2015) for all new vehicles and fast charging infrastructure; Tesla vehicles sold in China will also use this standard (Lambert, 2016; NDRC, 2015).

CHAdeMO	CCS (North America)	CCS (Europe)
		
Nissan, Mitsubishi, Kia, Citroën, Peugeot	BMW, Daimler, Ford, Fiat Chrysler, Honda, General Motors, Hyundai, Volkswagen	

Table 5-Comparison of the most popular DC fast charging connector types in general use by major automobile manufacturers

4 WIRELESS (INDUCTIVE) CHARGING

Inductive charging, also known as Wireless Power Transfer (WPT), is an emerging technology that allows PEV recharging without the use of a cabled connection. The most common (shown on figure 2) application uses a charging pad installed on or in the pavement and a receiving pad installed underneath the PEV. Electrical current is passed through the pavement pad, which creates an inductive electrical field that is captured by the PEV's receiving pad to charge the vehicle's batteries. Induction chargers typically use an induction coil to create an alternating electromagnetic field from within a charging base station, and a second induction coil in the portable device (i.e., PEV) that takes power from the electromagnetic field and converts it back into electrical current to charge the battery. The two induction coils in proximity combine to form an electrical transformer. Greater distances between sender and receiver coils can be achieved when the inductive charging system uses resonant inductive coupling. Recent improvements to this resonant system include using a movable transmission coil, and the use of materials for the receiver coil made of silver plated copper or aluminum.[2]

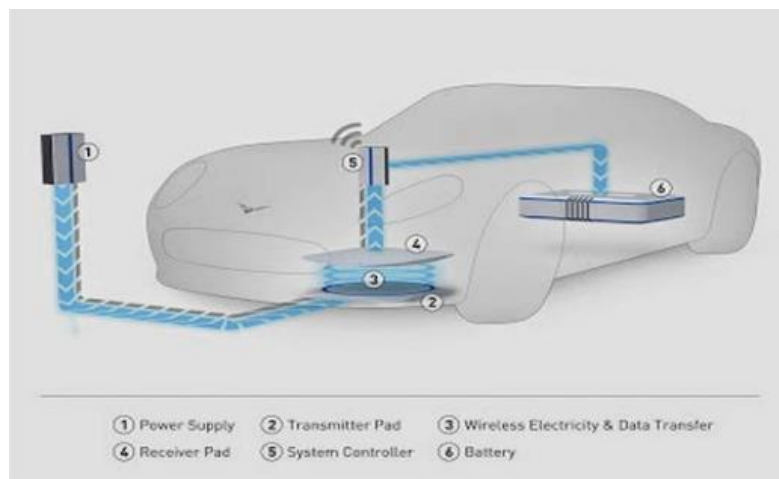


Figure 2: Application of wireless charging

4.1 Wireless Charging Research

A significant effort in research and development is underway by academic, governmental and private industry to help realize the promise of the untethered charging of PEV batteries. The Massachusetts Institute of Technology (MIT) has demonstrated a patented WPT technology that applies magnetic resonance to an inductive electrical field. This technology provides impressive power transfer efficiencies over larger air gaps between the charging transmitter and the PEV's charging receiver. MIT's WPT has been licensed to several large automobile manufacturers. Utah State University is

also involved in wireless charging research and has begun the construction of a new research facility that will include an oval track to test technology for recharging electric vehicles while moving. Also, the Electric Vehicle Transportation Center (EVTC) at the University of Central Florida is in the process of establishing an EV and Wireless Charging Laboratory.

Wireless Standards The Society of Automotive Engineers and the International Electrotechnical Commission are currently in the very early stages of standards development for wireless technology and there is limited commercial availability. The standards reference for SAE is SAE J2954; the IEC reference is IEC 61851-1. The successful development and deployment of wireless technology presents the promise of having the convenience of pulling into your garage or a parking spot and having your car recharge without the need to connect and disconnect a cable. Some researchers are also exploring the possibility of embedding wireless charging in the roadway as a method of continuously recharging the vehicle while in transit; a system that would allow this would dramatically reduce battery size and extend the travel range of PEVs.

5 CONCLUSION

Through this paper the most current and the most commonly used battery charging systems for electric vehicles were described. The data in this project is based on the experiences and measurements by the manufactures of the electric vehicles. It is perceived that the highest level of power at charging (level 3) corresponds to the fast charging of the EVs. The main advantage of AC charging and the variety of the charging cables were explained as well. However, the biggest attention has been given to the inductive charging whose benefits will be improved and enhanced in the following years.

6 REFERENCES.

- [1] European copper institute, Reara energy experts ,” The Electric Vehicle –A major contributor to EU energy & climate policy objectives”, Velázquez 157, 5th Floor 28002 Madrid, summer 2017 .
- [2] Doug Kettles, Florida Solar Energy Center, U.S. Department of Transportation’s University Transportation Centers Program, „Electric Vehicle Charging Technology Analysis And Standards “,<http://www.fsec.ucf.edu/en/publications/pdf/FSEC-CR-1996-15.pdf> , February 2015.
- [3] Dale Hall, Nic Lutsey, „Emerging best practices for electric vehicle charging infrastructure” https://www.theicct.org/sites/default/files/publications/EV-charging-best-practices_ICCT-white-paper_04102017_vF.pdf , October 2017.



Alen Krunič¹, Dejan Tasić²

¹ University of Maribor, Faculty of Energy Technology, Krško, Slovenia

¹alen.krunic@student.um.si

²dejan.tasic@student.um.si

STATISTICS AND THE POTENTIAL OF ELECTRIC AND HYBRID VEHICLES IN THE EUROPEAN UNION

ABSTRACT

Electricity as an energy for vehicle propulsion offers the possibility to substitute oil with a wide range of primary energy sources. With this, the security of energy supply and a broad use of renewable energy sources in the transport sector could be ensured and help the European Union (EU) achieve targets on CO₂ emissions reduction. Several national and local governments have established tax credits, subsidies, and other incentives to promote the introduction and adoption in the mass market of new electric and hybrid vehicles, often depending on battery size, their electric range and purchase price. This article investigates the overall statistics of electric and hybrid vehicles (cars) in the EU. Also the assessment of the potential of such transport modes is explained based on directives, provided by the EU. The goal of the article is to present an overall development/summary of electric and hybrid vehicles in the EU in its present and in the near future.

Keywords: *Electrical and hybrid vehicles, statistics, European Union.*

1 INTRODUCTION

Transport connects and underpins our society, countries and economies. However, it can also effect us in a negative way, by damaging the environment, climate and human health. By progressing towards a sustainable and prosperable society, Europe needs to move towards a more decarbonised transport system. Electricity as an energy for vehicle propulsion is a nowadays widespread concept that offers the possibility to substitute oil with a wide range of primary energy sources. With this, the security of energy supply and a broad use of renewable energy sources in the transport sector could be ensured and help the European Union achieve targets on CO₂ emissions reduction. Other than being nonpolluting (CO₂, NO_x emissions and particular matter), electric vehicles have better efficiency than internal combustion engine vehicles, they create less noise and vibration and they provide quiet and smooth operation.

The focus in this report is upon statistics of electric and hybrid passenger vehicles, their potential and incentives in general for encouraging the further uptake of these technology. So this article provides a statistical summary of information on electric road vehicles in the European Union, including those with hybrid technologies and explains the trend, that has been developed as a model in the EU.

2 LEGAL GROUNDS FOR DEVELOPMENT OF MORE SUSTAINABLE TRANSPORT SYSTEM AND ITS VEHICLES

»The European Union is committed to developing a more sustainable circular economy and decarbonised transport system. Developing a circular economy that inter alia aims to increase resource efficiency is key in realising the second main objective of the 7th Environment Action Programme, that the EU should turn into a resource-efficient, green and competitive low-carbon

economy. To focus this transition, a number of future targets have been set to reduce the environmental impacts of transport in Europe. The transport sector's GHG (greenhouse gas) emission reduction targets are, for example, designed to contribute to the EU's overall goal to reduce GHG emissions by 80–95 % by 2050 [1].«

3 THE POTENTIAL OF ELECTRIC AND HYBRID VEHICLES

In 2016, the European Commission published an European strategy for low-emission mobility, whose objectives are decreasing oil import dependency, increasing competitiveness and innovation for growth and a sustainable environment. The importance to the electrification of transport, improving the efficiency of EU's transport system is scaling up in the recent years as it is clear that a large share of GHG emissions reductions will come from transport (roads) through the use of renewable technology, by greatly reducing transport oil consumption. Electric and hybrid vehicles are a potential, where the EU can move towards a sustainable transport system. By replacing conventional vehicles, electric and hybrid cars will help us reduce emissions, noise (from the engine) and force us to start using and wasting resources more carefully. But there are also drawbacks for electric cars, such as: the complexity of the technology and its components, the high costs of manufacturing and their limited energy density of lithium-ion batteries, still small range of vehicles and the environmental impacts, associated with battery and components manufacture. In the case of hybrid cars, as they do have lower fuel consumption and exhaust emissions than conventional engines, they still have a built-in combustion engine and are therefore dependant on fossil fuels. Nevertheless, new battery technologies are being explored and tested, that could show great promise and optimism into car technologies that are still now at an early stage [1]. Also the development of charging point infrastructure takes place in the European Union on a large scale, to supplement the drawback (rarity) of such vehicles.

4 CHANGING TRENDS IN THE VEHICLE MARKET AND INCENTIVES

With the development of electric and hybrid cars, the manufacturers started to promote these technologies more often in recent years. Still, relatively few electric cars (and few models) are sold in the EU, compared to conventional vehicles, so manufacturers have included electric and hybrid cars in their offer more often, so it is expected that the affordability will be increased in the future. Vehicle size and brand preference; also the price differs in each country so the consumer demand also varies between countries, depending on various incentives or purchasing subsidies that governments offer. Such subsidies are available through EU's policies, national or local governments and can be: financial incentives (for purchasing and operating a vehicle), battery costs, fuel prices, infrastructure (parking and charging points), lower taxes and lower toll payments. Such incentives promote and encourage the development of low CO₂ technologies in transport and are also designed to help improve vehicle efficiency in general [1].

5 STATISTICS OF ELECTRIC VEHICLES (CARS) IN THE EUROPEAN UNION

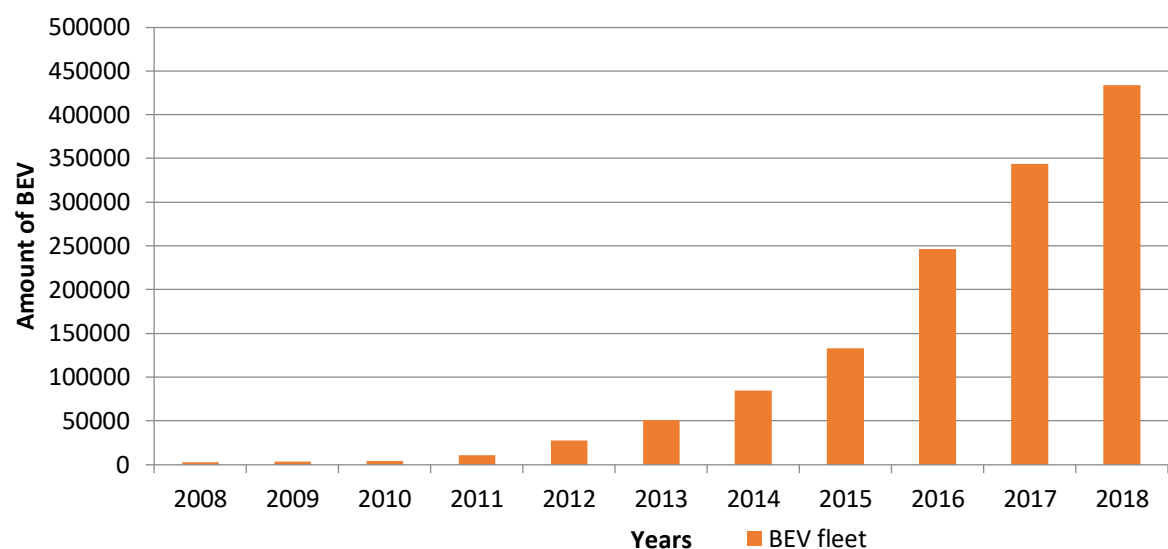
The statistics, that are presented in Table 1, show the total fleet (amount) of BEV (battery electric vehicle) passenger cars and LCV (light commercial vehicles) in the European Union. The data is taken from EAFO (European Alternative Fuels Observatory) from 2008 and up to the 3rd quarter of 2018. EAFO is and European Commission funded initiative which provides open and free information about the deployment of alternative fuels infrastructure [2].

Table 1. The total fleet of BEV passenger cars and light commercial vehicles in the European Union [2]

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
EU28											3/Q
Belgium	0	0	34	322	907	919	1792	4691	6423	8937	11375
Bulgaria	0	0	0	0	0	0	2	12	27	99	185
Czech Republic	0	0	4	60	152	237	417	1079	1206	1320	1998
Denmark	0	31	51	466	937	1434	2967	7880	9206	10055	10620

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
											3/Q
Germany	44	206	747	2907	6956	12051	19522	30720	46754	70138	97681
Estonia	0	0	0	56	60	708	1067	1235	1159	1184	1262
Ireland	0	0	18	64	193	246	560	1108	1518	2098	3805
Greece	0	0	0	0	1	3	45	84	114	148	175
Spain	0	0	0	568	1023	2021	2832	5585	8574	13103	16521
France	2602	2599	2604	2824	8487	16800	26602	61657	90162	117165	142852
Croatia	0	0	0	0	0	0	39	115	236	256	286
Italy	0	0	0	117	623	1531	2430	4956	7211	9529	12539
Cyprus	0	0	0	0	1	6	11	15	38	93	146
Latvia	0	0	0	0	10	15	188	218	252	307	345
Lithuania	0	0	0	0	0	2	6	40	103	153	238
Luxembourg	0	0	0	31	100	263	564	744	895	1253	1490
Hungary	0	0	0	9	90	110	145	206	451	1263	2200
Malta	0	0	0	0	38	49	87	134	153	200	225
Netherlands	0	0	0	0	2100	4830	8083	10828	14733	23323	37038
Austria	0	328	422	1124	1817	2689	4205	6101	10589	16236	20954
Poland	0	0	0	35	54	81	153	237	375	930	1214
Portugal	28	29	29	232	297	456	672	1234	2262	3903	6309
Romania	0	0	0	5	5	42	59	104	177	427	733
Slovenia	0	0	0	0	12	29	87	246	435	844	1134
Slovak Republic	0	0	0	25	26	0	113	143	209	421	651
Finland	0	0	13	42	93	143	386	603	897	1372	1871
Sweden	42	60	116	321	603	1010	2172	6197	9256	13481	16185
United Kingdom	189	354	394	1478	2810	5312	9875	21668	33126	46963	54975

From Table 1 it is seen, that the biggest countries (with the largest population) have also the largest fleet of BEV passenger cars (France and Germany). These two countries are also the largest manufacturers and exporters of vehicles in the European Union. Countries that also have a large fleet of BEV's are: Belgium, Denmark, Spain, Italy, The Netherlands, Austria, Sweden and the UK. These countries are among the most developed countries in the EU, so they can afford to place large subsidies, mentioned in Chapter 3, also people in these countries can afford electric cars more than countries, that joined EU from 2004 and on. The one thing that all countries have in common is, that the amount of BEV's is rising each year, so the overall amount of fleet of BEV's in the European Union is increasing rapidly (as seen from Picture 1). Seen from Picture 1, there were almost 3.000 BEV's in the EU in 2008. Until now (November 2018) there are almost 435.000 vehicles combined, which is a tremendous increase in amount of vehicles in just 10 years.



Picture 1. Total fleet of BEV passenger cars and light commercial vehicles in the European Union [2]

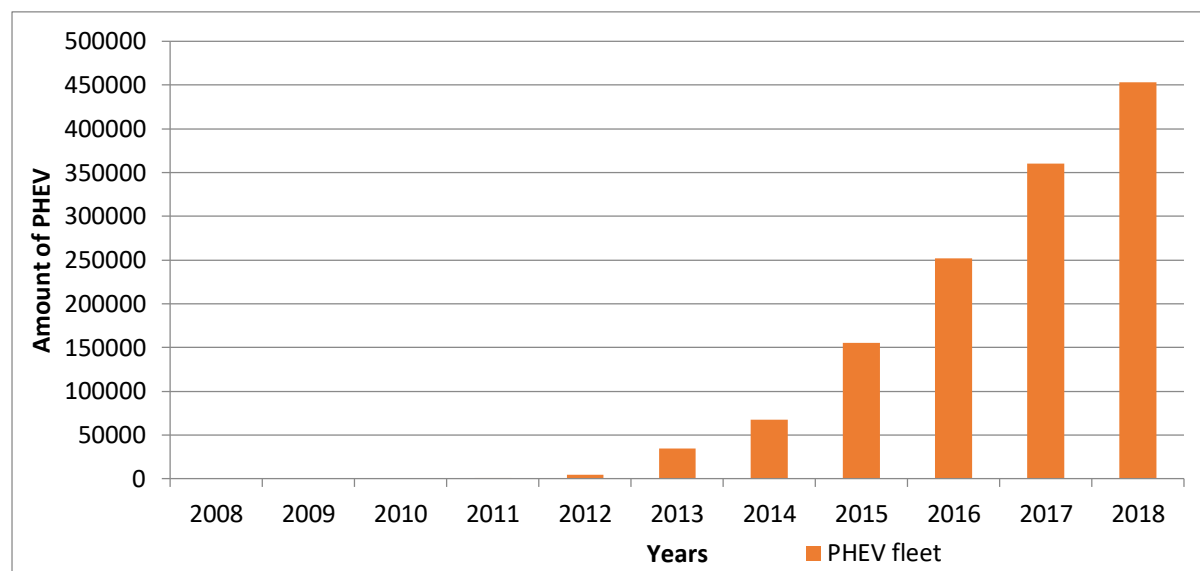
6 STATISTICS OF HYBRID VEHICLES (CARS) IN THE EUROPEAN UNION

Table 2. The total fleet of PHEV passenger cars and light commercial vehicles in the European Union

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
EU28											3/Q
Belgium	0	0	0	16	338	359	1159	4098	11422	22273	30002
Bulgaria	0	0	0	0	4	4	6	24	31	83	165
Czech Republic	0	0	0	0	16	27	79	204	340	568	769
Denmark	0	0	0	0	33	44	144	588	770	1223	3352
Germany	0	0	0	112	1332	2932	6956	17439	32049	58312	80398
Estonia	0	0	0	0	5	10	36	48	55	80	95
Ireland	0	0	0	0	0	1	36	135	416	739	1631
Greece	0	0	0	0	0	0	17	40	53	207	275
Spain	0	0	0	0	109	190	612	1368	3131	6583	9404
France	0	0	0	0	668	1463	3462	9119	16557	26848	33271
Croatia	0	0	0	0	0	0	5	48	71	92	97
Italy	0	0	0	0	145	363	832	1550	3149	5786	8847
Cyprus	0	0	0	0	0	0	3	29	49	104	140
Latvia	0	0	0	0	0	6	9	23	26	49	67
Lithuania	0	0	0	0	0	4	14	28	44	44	70
Luxembourg	0	0	0	0	30	60	166	279	449	1075	1434
Hungary	0	0	0	0	17	17	40	99	210	522	1110
Malta	0	0	0	0	0	0	4	7	7	12	14
Netherlands	0	0	0	0	0	24512	36937	78163	98903	98217	98149
Austria	0	0	0	0	141	408	776	1512	2749	3948	5587
Poland	0	0	0	0	12	22	104	270	425	816	1324
Portugal	0	0	0	18	63	108	209	730	1809	3937	6056
Romania	0	0	0	0	5	6	20	59	147	278	431

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
											3/Q
Slovenia	0	0	0	0	0	10	20	55	140	329	514
Slovak Republic	0	0	0	17	17	0	88	156	156	345	547
Finland	0	0	0	0	128	288	579	1279	2098	4325	8012
Sweden	0	0	0	0	657	1785	5232	11108	21425	35307	48014
United Kingdom	0	0	0	7	996	1823	9725	26961	55210	88438	113311

The statistics in Table 2 present the total fleet (amount) of PHEV (plug-in hybrid electric vehicle) passenger cars and LCV's in the European Union. The data is also taken from EAFO from 2008 and up to the 3rd quarter of 2018 [2]. From Table 2 it is seen, that like in Table 1, the biggest countries (with the largest population) have the largest fleet of PHEV passenger cars (UK, The Netherlands and Germany). As the situation with PHEV's in more developed countries is the same as in for BEV's, the most developed countries with the highest standard of living have the largest fleets of PHEV's (Belgium, France and Sweden) respectively as well. Here, the amount of PHEV's in the EU is also rising each year rapidly (as seen from Picture 2). There were only 170 PHEV's in the EU in 2011. Until now (November 2018) there are almost 454.000 registered vehicles.



Picture 2. Total fleet of PHEV passenger cars and light commercial vehicles in the European Union [2]

7 CONCLUSION

The summary, provided in this article clearly shows the tremendous effort from the EU in terms of moving towards objective of achieving a low-carbon society. Vehicles with conventional fuelled engines can still improve in their performance and their emission reductions, however it is becoming clear, that these improvements in vehicle efficiencies will not deliver the substantial GHG emission reductions that are needed in the future. With increasing incentives, raising awareness and promoting a stable, sustainable growth of renewable transport, the European Union can become a world leader in sustainable development that is fundamental for the future reduction of transport's impacts on the environment and our health.

8 REFERENCES

- [1] European Environment Agency: *Vehicles in Europe*. Publications Office of the European Union, Copenhagen, 2016.
- [2] European Alternative Fuels Observatory. Available on: <https://www.eafo.eu/> [20.11.2018]



SCEESD
Student conference
"Energy efficiency and sustainable development"



**D. ENERGY EFFICIENT
ENVIRONMENT, NEW TECHNOLOGIES
AND MATERIALS**



Филип Стојаноски

Ментор: Доц. д-р Горјан Наџински

Факултет за електротехника и информациски технологии – УКИМ, Скопје

Filip_stojanoski888@yahoo.com

ЕНЕРГЕТСКА ЕФИКАСНОСТ НА ЛЕД ИЗВОРИТЕ НА СВЕТЛИНА

КУСА СОДРЖИНА

Целта на овој труд е да се прикажат предностите и енергетската ефикасност на ЛЕД изворите на светлина во споредба со традиционалните инкадесцентни, халогени или флуоросцентни извори на светлина.

ЛЕД изворите на светлина штедат и до 80% електрична енергија во однос на класичните извори на светлина. Тие имаат мали димензии, животен век од преку 50 000 до 100 000 работни часови, располагаат со многу широк опсег на температурна работа, имаат многу кратко време на активација и константен флукс на зрачење во многу широк опсег на температурни варијации. За време на животниот век на ЛЕД изворот на светлина нудат можност за релативно голем број на вклучувања и исклучувања. ЛЕД изворите на светлина масовно се користат за внатрешно но и за надворешно осветлување, како на пример во доменот на партерното осветлување, осветлување на спортски терени, стопански дворови и за сообраќајници, патеки, крстосници, сигнализацијата, информатичките уреди и сл.

Овој труд емпириски ги докажува посочените позитивни аспекти во однос на вложената енергија и продуцираниот светлосен флукс со приложување реални пресметки изработени согласно Европскиот стандард EN 12464-1 кој ја третира потребната осветленост во посебни простори и работни услови.

Пресметките ќе бидат направени со европски верифицираниот софтверскиот пакет DiaLux EVO. Овој софтвер овозможува приказ на простори и простории, опремени со ентериер во реален однос, во 3D приказ, така што корисникот има можност за визуелизација на просторот во реална димензија на осветленост со имплементиран рендеринг со специфични нивои на осветленост и засенчување.

Клучни зборови: *ЛЕД извори, осветлување, Dialux evo, енергетска ефикасност.*

1 ВОВЕД

ЛЕД (LED- Light Emitting Diode) – диода која емитира светлина, е една од најекономичните и најбрзо развиените технологии за осветлување. Широката употреба на ЛЕД осветлување има најголемо потенцијално влијание врз заштедата на енергија. Врз база на направени анализи било заклучено дека до 2027 година, широката употреба на ЛЕД осветлување би можела да заштеди околу 348 TWh (во споредба кога на место ЛЕД би се користела класична расвета) на електрична енергија во САД [4]. ЛЕД светлата во моментот се достапни во широк спектар на домашни и индустриски производи, а листата се зголемува секоја година. Брзиот развој води до повеќе производи, подобрена ефикасност, како и придонесува за добивање на пониски цени на пазарот. Насочената карактеристика на

испуштање на светлината која ја имаат ги прави се повеќе употребливи како улични светилки, светилки за осветлување на патеки, спортски терени, паркиралишта и слично.

2 ЛЕД ТЕХНОЛОГИЈА

ЛЕД светлата постојано се подобруваат со цел да се обезбеди поголема корисност, флексибилност, и поефикасно искористување на моќноста. Различните модели на ЛЕД светилки се мошне популарни во споредба со традиционалните светла, главно поради фактот дека можат да траат 25 пати подолго со помала потрошувачка на енергија. Постојат повеќе модели на ЛЕД извори како што се SMD и COB чиповите, кој се разликуваат во нивните карактеристики и начинот на градба.

Како и стандардните диоди, ЛЕД се состои од чип направен од полупроводен материјал, со додавање на одредени примеси како би се добил р-п спој. Под дејство на еднонасочен напон електроните преминуваат од п на р страната и во подрачјето на спој се спојуваат со шуплините. Преминуваат во низи од енергетски нивоа, кој вишокот на енергија го ослободуваат во облик на светлина, односно генерираат фотони [1].

2.1 SMD чипови

SMD или “ Surface Mounted Device” – “површински монтирани уреди”, се најчесто бараните ЛЕД диоди на пазарот. Чипот е трајно споен со печатената плоча и е многу популарен поради неговата разновидност. Може да се препознае во светлечки топки, линиски светла, па дури и како сигнална светилка на мобилните телефони.

Една од посебните карактеристики на SMD чиповите е бројот на диоди и контакти што може да го имаат. Може да имаат повеќе од само два контакти, што ги прави поразлични од останатите видови на ЛЕД чипови. На еден чип може да има до три диоди, при што секоја диода има индивидуално коло. Секое коло има по една анода и катода што доведува до 2,4 или 6 контатки во еден чип [3].

Конфигурација прикажана на слика 1, е причината поради која SMD чиповите се разновидни. Еден чип може да содржи црвена, зелена и сина диода. Со овие три диоди може да се добијат најразлични нијанси на боја со прилагодување на излезното ниво. Ефикасноста на овие чипови изнесува од 50 до 100 лумени по ват.



Слика 1 SMD ЛЕД чип

2.2 COB чипови

Едно од најновите достигнувања во ЛЕД технологијата е COB- “Chip on Board”, кој претставува чекор напред кон поефикасното искористување на енергијата. Разликата помеѓу SMD и COB чиповите е што тие содржат 9 или повеќе диоди. Имаат само едно струјно коло и два контакти, без оглед на бројот на диодите.

Важен е фактот дека COB изворите не можат да се користат за создавање на светла кои менуваат боја поради бројот на контакти и само едното струјно коло. Потребен е поголем број

на канали за создавање на ефект за промена на боја. Затоа ЛЕД СОВ светлата се ефикасни во еднобојни апликации но не и во разноврсна технологија[3].

Друга разлика помеѓу СОВ и SMT чиповите е употребата на енергија и топлинската ефикасност која е резултат на керамичкиот супстракт кој е дел од составот на СОВ чипот, прикажан на слика 2. Можат да произведат поголемо количество на лумени со помалку енергија. Нивниот обсег е со минимум од 80 лумени по ват.



Слика 2: СОВ ЛЕД чип

3 КАРАКТЕРИСТИКИ НА ЛЕД ИЗВОРИТЕ

Општо прифатен факт во светот е дека ЛЕД сијалиците се прифатливо решение кога станува збор за ефикасно осветлување.

ЛЕД сијалиците се разликуваат по многу нешта од останатите сијалици кои се достапни на пазарот како што се денешните штедливи сијалици, обичните волфрамови сијалици со жаречко влакно, неонските сијалици и сл. ЛЕД сијалиците нудат заштеда на електрична енергија до 80% и век на траење од преку 50.000 часа или гаранција до 3 години за истите [2].

Главни особини на ЛЕД сијалиците се:

- Не содржат штетни материјали и гасови.
- Исклучително долг век на траење (преку 50.000 саати).
- Нема ултравиолетово зрачење.
- Мало светлосно загадување.
- Многу малку се загреваат во однос на останатите видови (максимум 50°C).
- Вклучувањето и исклучувањето не влијае врз нивниот работен век.
- Заштеда на електрична енергија до 80%.
- Еколошки прифатливи.
- Нема треперење како флуоресцентните светилки.

На табела 1 е прикажана споредба на типовите светилки за внатрешно осветлување. Соодветната замена на класичните со ЛЕД светилки обезбедува намалување на потрошувачката на енергија и ја зголемува економичноста.

Табела 1. Споредба на ЛЕД светилките со останатите видови на светилки

Класична светилка	ЛЕД замена	Заштеда
100 W обична волфрамова светилка	7W LED	93% Ел. Енергија
18 W флуоросцентна светилка	6W LED	66% Ел. Енергија
50 W Халогена св.	7W LED	70% Ел. Енергија

Повеќето ЛЕД светла се монохроматични. Бојата на светлината се добива преку различни бранови должини, ЛЕД диодите се направени со различни полупроводнички материјали кои што емитуваат светлина на различна бранова должина. ЛЕД светлината се емитува на бранова должина од 400 нанометри сина боја, до 800 нанометри црвена боја. Боите кои што се достапни во продажба најчесто се бела и жолта, но по нарачка и по потреба имаме и црвена, портокалова зелена, виолетова и сина боја.

Постојат разни типовина ЛЕД сијалици кои се класифицирани според неколку категории и тоа:

- Според фасонката
- Според моќноста
- Според температурата на боја
- Според степенот на заштита
- Според животниот век и.т.н.

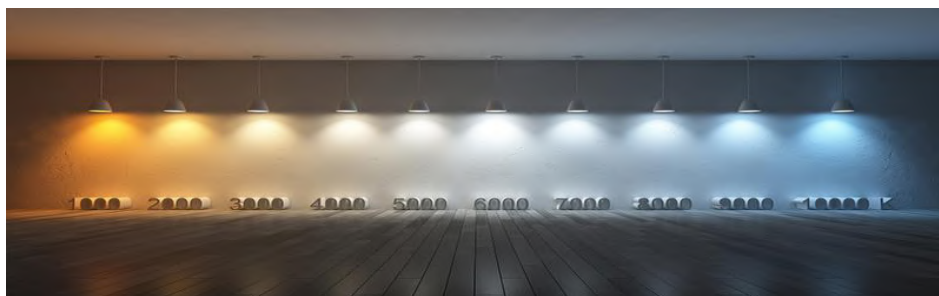
4 ЛЕД НАСПРОТИ ФЛУОРОСЦЕНТНО ОСВЕТЛУВАЊЕ НА ПРОСТОР

Колку е поефикасно и поекономично да се употреби ЛЕД светло во споредба со флуоресцентното светло, ќе биде прикажано во понатамошниот текст. Станува збор за софтверски пакет DiaLux EVO со помош на кој ќе бидат обработени два случаеви: канцелариски простор (4 канцеларии + ходник) кој ќе биде осветлен на два начина, со ЛЕД светлински извори и со флуоресцентни светилки. Секоја канцеларија покрај тоа што ќе биде прикажана во две варијанти, т.е. со ЛЕД и флуо светилки, ќе има засебна замисла на осветлување, што значи дека секоја ќе биде на различен начин осветлена.

Според европските стандарди за осветленост кај секој тип на просторија, дали тоа ќе биде канцеларија, ходник, магацин и.т.н си има препорачана потребната осветленост (изразена во лукси [lx]) која треба да биде задоволена за да имаме најдобро осветлување. Но тоа не е единствениот фактор кој треба да се запази. Тука треба да се обрне внимание и на температурата на боја, рамномерноста, начинот на поставеност на светилките и.т.н.

Па така според Европскиот стандард EN 12464-1 потребната осветленост за канцеларија каде имаме пишување, куцање, читање, обработка на податоци, работни простории за CAD препорачана вредност на осветленост е 500lx, а за ходници 150lx [2] .

Температурата на боја во таков тип на простории најдобро е да биде 4000K, бидејќи со таа температура на боја ќе се држат луѓето будни подолг временски период, кое е потребно за да си ги извршуваат своите обврски како што треба без притоа светлото да им предизвикува нервоза и сл. Доколку се употреби светло со температура на боја од 3000K, тогаш кај луѓето ова светло ќе предизвикува поспаност, нема да можат да си ги извршуваат своите обврски како што треба, т.е. нема да бидат концентрирани. Доколку пак се употребат светилки со 6000K температура на боја, кај вработените ќе предизвикува нервоза, ќе прават чести грешки при работењето, ќе бидат напнати и сл. Во продолжение е прикажана слика на која се забележува разликите при осветлување на простор со светилки со различна температура на боја.



Слика 2: Осветлување на простор со извори на светлина во обсег од 1.000 [K] до 10.000 [K]

4.1 Фотометриски пресметки

Од приложените фотометриски пресметки може да се забележи дека заштедата на електрична енергија за овој канцелариски простор е многу голема доколку се заменат флуоресцентните светилки со ЛЕД светилки. Во табелите 2 и 3 се прикажани типовите на светилки, нивниот број и енергијата потребна за нивна работа, за двата начина на осветлување соодветно во секоја од просториите кој се анализираат. Приказ на заштедената електрична енергија за една година, доколку се земе во предвид дека светилките дневно би работеле по 8 часа, е даден на табела 4.

Табела 2. Вкупна порошена електрична енергија на годишно ниво, изразена во [kWh], постигната со флуоресцентни светилки

Канцеларија 1				
Тип на светилка	Количина	[W]	Вкупно [W]	kWh/год
855 Minicomfort T5 2x14W	4	31	124	357,12
Канцеларија 2				
3611 Arco single bilamp 2x54W	1	120	120	345,6
883 Compact 2x18W	3	37	111	319,68
Канцеларија 3				
822 Compact 2x26W	9	54	486	1399,68
Канцеларија 4				
833 Compact 2x18W	3	37	111	319,68
17135 Kalfex 1x35W	2	39	78	224,64
Ходник				
822 Compact 2x26W	4	54	216	622,08
ВКУПНО ПОТРОШЕНА ЕНЕРГИЈА НА ГОДИШНО НИВО				3588,48

Табела 3. Вкупна порошена електрична енергија на годишно ниво, изразена во [kWh], постигната со LED светилки

Канцеларија 1				
Тип на светилка	Количина	[W]	Вкупно [W]	kWh/год.
Eco luminous 34W LED	4	37.4	149,6	430,848
Канцеларија 2				
Navigator 1 LED	1	45,3	45,3	130,464
Slim Lax 1 12W LED	2	12	24	69,12
Канцеларија 3				
Slim Lax 2 18W LED	9	18	162	466,56
Канцеларија 4				

Slim Lax 1 12W LED	3	12	36	103,68
2714131A4 Keflex 35W	2	35	70	201,6
Ходник				
Slim Lax 2 18W LED	4	18	72	207,36
ВКУПНО ПОТРОШЕНА ЕНЕРГИЈА НА ГОДИШНО НИВО				1609,632

Табела 4. Вкупна заштеда на енергија на годишно ниво, изразена во [kWh] и во [%] со употреба на LED светлински извори

Вкупно заштедена енергија [kWh]	Вкупно заштедена енергија [%]
1978,848	55,14

5 ЗАКЛУЧОК

Во денешно време често се зборува за предностите и енергетската ефикасност на ЛЕД расветлата во споредба со традиционалната расвета, било тоа инкандесцентна или пак флуоресцентна расвета. Во досегашниот текст како и во фотометриските пресметки беше докажано токму тоа. Кога ЛЕД светлинските извори ќе се споредат со другите методи за заштедана енергија што се достапни на пазарот, може да се заклучи дека ЛЕД осветлувањето е далеку од заштеда на енергија кое е исто така паметно решение. Истражувањата и развојот во областа на ЛЕД осветлувањето донесе една зелена ЛЕД револуција која е се позастапена.

6 КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Eric Strandberg, LC & Jeff Robins, LC, MIES, "THE BASICS OF LEDs" 2016
- [2] Davor Petranovic, "LED Rasvjeta", *Загреб* 2014
- [3] Tyler Cooper, "All about LEDs", 2017
- [4] International Institute for Industrial Environmental Economics [IIIEE] (2015). "LED's Light the Future – Showcasing Models of Innovative Lighting Solutions".

ENERGY EFFICIENCY OF LED LIGHT SOURCES

ABSTRACT

The aim of this paper is to demonstrate the advantages and energy efficiency of LED light sources compared to traditional incandescent, halogen or fluorescent light sources.

LED sources save up to 80% of electricity compared to classical light sources. They have small dimensions, have a life span of over 50 000 to 100 000 operating hours, have a very wide range of temperature operation, have a very short activation time and a constant radiation flux in a very wide range of temperature variations. During the life of the LED, the light source offers the possibility of a relatively large number of turns and disconnections. LED light sources are used internally, but also for outdoor lighting, such as in ground lighting, lighting of sports fields, commercial terrains and for passengers, paths, intersections, signaling, information devices and the like.

This paper empirically proves the positive aspects related to the energy invested and the produced light flux by applying real calculations made according to the European standard EN 12464-1 which treats the required brightness in special spaces and working conditions.

The calculations will be made with the European verified software package DiaLux EVO. This program enables the display of spaces and rooms equipped with interior in a real relation, in 3D display, so that the user has the opportunity to visualize the space in real light of brightness with implemented rendering with specific levels of brightness and lighting.



Емилија Дејаноска, Филип Тодоровски

Машински Факултет, Скопје

¹dejanoskaemilija@yahoo.com ²filip.todorovski@yahoo.com

СПОРЕДБЕНА АНАЛИЗА НА РАЗЛИЧНИ СИСТЕМИ ЗА ГРЕЕЊЕ ВО УРБАНИ СРЕДИНИ

КУСА СОДРЖИНА

Континуираниот пораст на популацијата во поголемите урбани средини, како и зголемувањето на очекувањата за подобри и покомфорни услови за живот и работа, резултираат со поголема потрошувачка на енергија. Користењето на енергетски ефикасни решенија, технологии и опрема за греење во домаќинствата, јавните институции, услужниот сектор и компаниите е чекор напред кон намалување на специфичната потрошувачка на енергија и на штетното влијание врз околината. Главна цел на овој труд е да обезбеди сигурни информации и индикатори за избор на оптимален одржлив вид на греење во градот Скопје како урбана средина. Добро познатиот проблем со загадувањето на воздухот во Скопје, како и во другите поголеми градови во Југоисточна Европа, е драстично изразен во грејната сезона, што укажува на блиска поврзаност со несоодветни методи за греење. Во таа смисла, во овој труд е изложен комплексен модел што треба да обезбеди основи за кратко-, средно- и долгорочно планирање на топлификационата структура на градот Скопје. Моделот е применет со цел да се направи споредбена анализа на десетина различни методи за греење, земајќи ги предвид техноекономските и еколошките аспекти на методите и системите за греење. Моделот е адаптиран и употребен за условите на Скопје, нудејќи насоки за одбирање на оптимален начин за греење за различни делови на градот, во зависност од локалните урбани, инфраструктурни, технички и еколошки услови.

Резултатите покажуваат значајна предност на системот за централно греење во споредба со другите видови на греење од инженерска, финансиска и еколошка гледна точка. Докажувајќи ја најдобрата можност за ублажување на проблемите од што произлегува загадувањето на воздухот. Ова укажува на широк опсег на топлинско оптоварување и концентрација на згради во градот каде што има достапна мрежа на конвенционален греен систем. Греење со инвертер клима уреди и топлински пумпи има предност само за региони со висока густина на индивидуални куќи и згради со ниска густина на термално оптоварување.

Клучни зборови: *греење, згради, енергетска ефикасност, одржлива грејна структура, загадување на воздухот.*

1 ВОВЕД

Ефикасната употреба на енергија е прашање од општ интерес поради ограничените енергетски ресурси, нивната цена и поради еколошкото влијание на процесите за трансформација на енергија. Повисока енергетска ефикасност помага во постигнување на почиста средина, повисок животен стандард, посигурно енергетско снабдување и покомпетитивни бизниси [1]. Зградите се водечки потрошувачи на енергија низ целиот нивен животен век [2]. Вкупната енергетска потрошувачка во овој сектор во ЕУ изнесува приближно 40% од примарната енергетска потрошувачка [3], а делот потребен за греење учествува со

повеќе од 70% [4]. Далечинското греење било користено за греење на згради уште од средината на 19-тиот век. Тоа се развивало кон повисока енергетска ефикасност заедно со самите градежни објекти, вклучувајќи ги термотехничките, градежните, архитектонските и други аспекти. Во студијата [5] се дискутираат важни проблеми за трансформација на актуелното далечинско греење во Финска кон нова генерација системи за греење. Системите за централно греење и можните идни подобрувања, вклучувајќи и проширување на топлинската мрежа, се разгледани во трудот [6]. Една од основните предности на системите за далечинско греење и ладење е можноста за контрола на влијанието врз околината. Во различни делови на ЕУ постои значителна разновидност на применети технологии за греење. Трендовите и развојот на системите за греење се истражувани во трудот [7]. Споредено со одвоените енергетски системи за згради, системите за централно греење се карактеризираат со повеќе предности - оперативни, еколошки и сигурносни, особено со користење на полигенерацијски технологии за енергетска конверзија [8].

Темата на овој труд е техноекономска анализа на различни методи и видови на греење во урбани средини, односно, применувани и потенцијални начини за греење, земајќи го во преден план нивното влијание врз животната средина. Анализите се спроведени со оглед на неколку важни аспекти: изводливост (достапност), потребна инвестиција, работни трошоци и трошоци за одржување, сеопфатна техно-економска анализа и анализа за влијанието врз околината. Главна цел на трудот е да обезбеди релевантни податоци и индикатори за избор на техно-економски оптимални и еколошки одржливи видови на греење во Скопје како урбана средина.

2 ПРЕТХОДНА АНАЛИЗА

Во студијата [10] е презентирана сеопфатна елаборација на ситуацијата во однос на аерозагадувањето во Скопје, со осврт кон неодамнешното минато и со фокус на моменталната состојба. Направен е обид да се воспостави корелација помеѓу загаденоста на воздухот и применуваните методи за греење. Неоспорен е фактот дека концентрацијата на честички и други материји, особено во текот на грејната сезона, е драматично покачена поради процесите за греење во домаќинствата и други објекти, кои што користат цврсти горива (дрво) и други согорливи материјали и релативно стари и неефективни уреди за согорување. Не треба да биде изоставен делот од домаќинствата кои што како гориво за греење користат обоени и лакирани дрва, масла, семиња, пластика и други материји. Според спроведеното мерење на честичките $PM_{2.5}$, PM_{10} и TSP, од 2014 понатаму, е забележана најголема емисија на честички поради греење на домовите и административните згради, особено поради карактеристиките на дрвната маса и другите согорени материјали, вообичаената појава на нецелосно согорување и особено употребата на неефикасни уреди [9]. Учеството на системите за греење во емисијата на честичките се движи од 51% за емисија на $PM_{2.5}$, 35% за PM_{10} , и 29% за емисија на TSP.

Зголемената концентрација на честички во воздухот во градот во зимскиот период, во голема мерка се должи и на појавата на температурна инверзија. Како последица на овој феномен, пониските слоеви на воздухот, задржани во „затворена состојба“, значително ги задржуваат емисиите произведени во градот да не се пренесуваат повисоко во атмосферата. Згора на тоа, пренатрупаните урбанистички решенија во последниве години, растечкиот број жители и други последици од континуираното растење на градот, придонесува за тоа генерираните емисии на честичките и други штетни суспензии потешко да бидат „исплакнати“ од слабиот ветер во градот. Освен тоа, сообраќајните услови во зима диктираат работа на возилата во еколошки неповолни режими, кои произведуваат огромна количина на честички, особено кога се вози на мали растојанија во пренатрупани сообраќајни ситуации. Секторот за транспорт е доминантен загадувач кога се во прашање емисиите на NO_x и особено CO. Концентрацијата на честичките понатаму се зголемува со нивно континуирано реемитување на улиците, тротоарите, градежните области, ископите и други области каде што се депонираат.

3 МЕТОДОЛОГИЈА

За потребите на анализите во овој труд, дефиниран е модел кој селектира оптимален начин на снабдување со енергија за греење во урбаните средини, во зависност од реалните технички и

други околности во дадениот дел од градот [10]. Моделот е адаптиран и употребен за скопскиот урбан регион, со цел да се добијат точни водилки за избор на најдобриот начин за греење, земајќи ги во предвид сите важни влијателни фактори.

Табела 1: Преглед/опис на употребените видови на грејни системи во моделот за оптимизациона проценка. Сите анализирани системи имаат вообичаени трошоци за инсталација, пресметани за 40 €/m², не вклучувајќи ја цената на изворот за греење

Метод/систем за греење	Краток опис	Технички податоци, влез во моделот	Спец. цена на топл. енергија (МКД/kWh)
Централно греење со станици во колективни згради	Снабдувањето со топлина за посебен објект или населба се врши од централен извор, при што како медиум за пренос на топлина се дистрибуира врела вода ($t \leq 110^{\circ}\text{C}$) и греењето во зградата е топловодно	Цени на неизолирани цевки, топлински изменувачи и друга опрема. Дополнителни инвестициони трошоци, поврзани со дистрибутивниот процес, кои достигнуваат 50 €/kW	
Индивидуално греење со котли на природен гас	Се користи дистрибутивен систем за природен гас кој ќе биде употребен за вреловодно греење со користење на вградени котли на гас во секој стан индивидуално	Цени за кондензациони котли $\eta = 92\%$, цевки за дистрибуција на гас, мерач на проток на гас, поврзување на гасниот дистрибутивен систем 10 €/kW	2,7 ($\eta = 92\%$)
Индивидуално греење со котли на пелети	Котли на пелети за топловодно греење во секој стан индивидуално	Цена за котел на пелети $\eta = 85\%$, централен оцак 100 евра/m	2,8 ($\eta = 85\%$)
Греење со користење на пелети со котларница во секоја зграда	Централни грејни станици со вреловодни котли на пелети (котлара дистрибуира енергија до секој стан)	Специфична цена на котел на пелети ($\eta = 70\%$) и уреди €/kW, изнајмување на простор за складирање на пелети €/t, одржување и отстранување на пепел	2,8 ($\eta = 85\%$)
Централно греење со котли на дрва	Централни топлински станици со вреловодни котли на цврсто гориво – дрво	Специфична цена на котел на пелети и уреди €/kW, изнајмување на место за складирање на дрва €/t, одржување и отстранување на пепел	2,7 (13800 kJ/kg, 450 kg/m ³ , 25% влага)
Индивидуално греење со електрични панели	Електрична панела во секоја соба	Цена за електрични панели – во зависност од моќноста	5,6 висока/2,8 ниска тарифа
Индивидуално греење со топлински пумпи за секој стан	Индивидуални топлински пумпи воздух-вода и фенкојлери	Цена за топлинска пумпа, фенкојлери, одржување	1,9 висока/0,9 ниска тарифа (COP=3)
Греење со топлински пумпи со топлинска станица во зградите	Централни грејни станици со топлински пумпи (возду-вода)	Цена за топлинска пумпа, фенкојлери, одржување	1,9 висока/0,9 ниска тарифа (COP=3)
Греење со инвертер клима уреди во секој стан индивидуално	Инвертер клима уреди за секој стан индивидуално	Цена за клима уреди, одржување	1,9 висока/0,9 ниска тарифа (COP=3)
Греење со котли на лесно масло со котларница во секоја зграда	Централни грејни станици со вреловодни котли на лесно масло (котлара дистрибуира топлинска енергија до секој стан)	Специфична цена на котли на лесно масло и уреди €/kW, резервоар за масло €/t, одржување и отстранување на пепел	3,5 ($\eta = 80\%$)

За цените на електричната енергија, природниот гас, лесното масло, дрвата за греење и топлинската енергија испорачана преку компаниите за централно греење се земени реални вредности во периодот на подготовка на студијата (есен 2016-зима 2017). Трошоците и техничките својства на потребната опрема во секој анализиран случај се земени како средни вредности од достапната опрема на пазарот. Во зависност од бројот на објектите во секој модел-регион, неколку типични ситуации се прикажани на сл. 1.

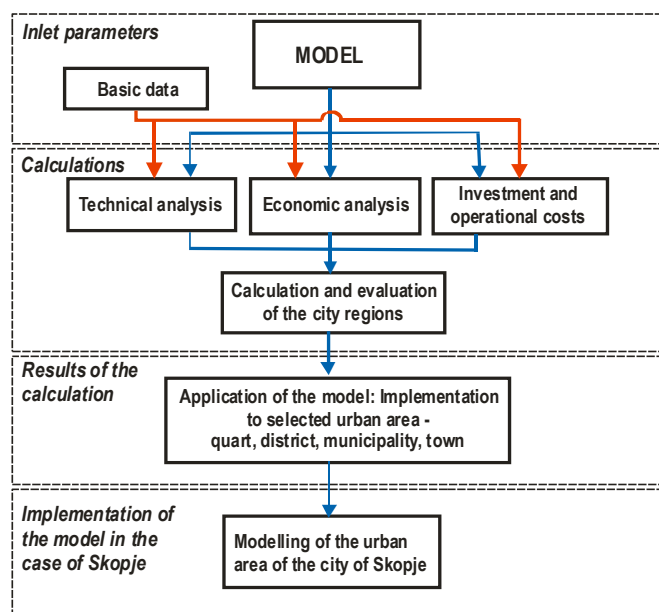


Слика 1: Шест примери на модел-региони според бројот на објекти

Низ подготовките на моделот, усвоен е стан-шема со грејна површина од 60 m², кој што е во согласност со реалната понуда на станovi во новите станбени подрачја во последниве години [9]. Ова е исто така во корелација со куповната моќ и желбите на купувачите, што е во согласност со статистички средната површина на станovите што биле купувани/продавани, неодамна. Моменталниот среден станбен простор во скопскиот урбан регион е 69 m² [11]. Ако се одземат од оваа површина деловите што не се греат (тераси, ходници итн), може да се заклучи дека грејната површина во моделот се совпаѓа со актуелната ситуација. Конструктивната физика, пример материјалите употребени и термичката изолација на станбените згради да се усогласени со регулативите за енергетска ефикасност на зградите [12].

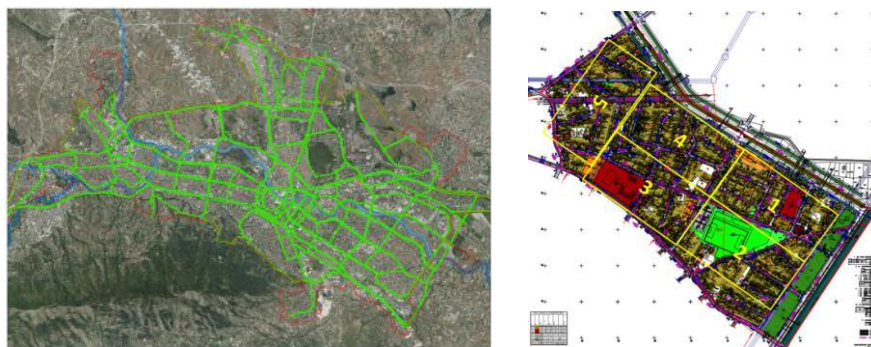
На сл. 2 е прикажан блок дијаграм на применетиот модел со внатрешни врски помеѓу индивидуалните компоненти. Моделот се состои од 4 главни делови:

- 1) Влезни параметри – технички и економски параметри: цени и технички својства на котлите и грејните уреди, цени на опремата, цени за електрична енергија и природен гас итн;
- 2) Пресметки – економски и инженерски пресметки, вклучувајќи и финансиски и работни трошоци потребни за понатамошни пресметки на инвестиционите трошоци;
- 3) Резултати од пресметките;
- 4) Имплементирање на моделот според карактеристиките на одреденото урбано подрачје, во овој случај град Скопје.



Слика 2: Основен дијаграм на тек на одредување на оптимален зелен систем

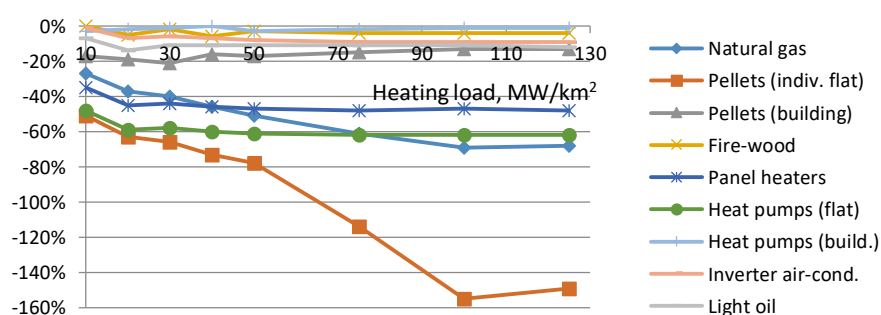
Имплементација на моделот е базирана на разделување на градот во согласност со Генералниот урбанистички план 2012-2022, сл. 3. Градот е поделен по квартави (области) покриени со детални урбанистички планови. Пример за принципот на сегментација на урбана средина за потребите на оваа анализа, се прикажани на сл. 4. Следен чекор по сегментацијата, е броење на објектите во индивидуални модели-региони и одредување на нивните грејни побарувачки во согласност со информации за техничките и инфраструктурните карактеристики за дадениот регион.



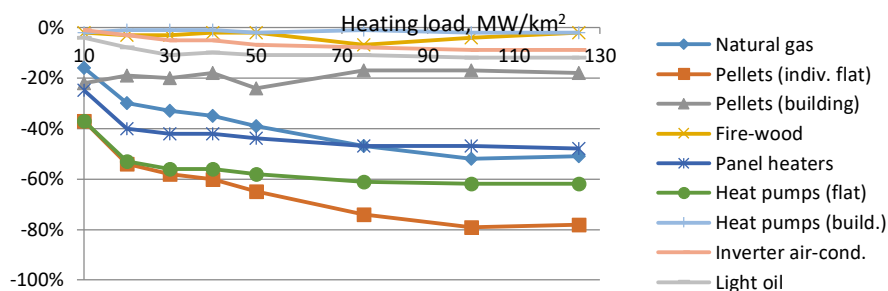
Слика 3: Поделба на град Скопје во согласност со ГУП 2012-2022 и пример на поделба на дел од градското подрачје за потребите на моделот

4 РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

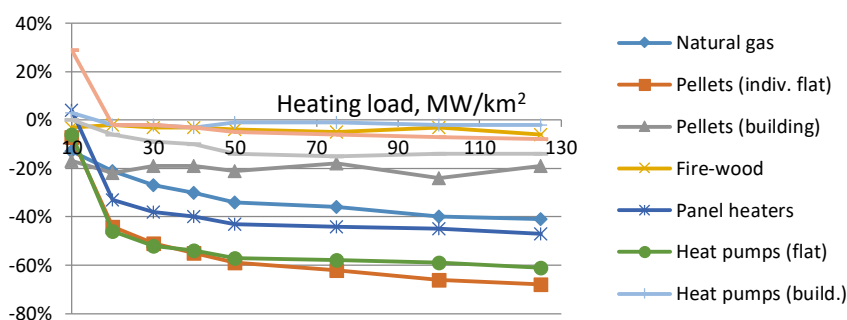
Дијаграмите на сликите 4-9 ги сумираат резултатите добиени од анализите од финансиска и техничка изводливост на системите за греење. Генерално, од спроведените анализи и добиените резултати може да се заклучи дека централниот вреловоден систем е техно-економски оптимален тип на греење за најголем дел од регионите, кога се разгледува урбаниот скопски регион. Во региони со висока густина на згради и ниска густина на термално оптоварување, на пример, региони претежно со индивидуални куќи, идививдуално греење со инвертер клима и топлински пумпи за индивидуални згради, се задоволителни. Како и да е, треба да биде забележано дека инвертер клима уредите нудат термален комфорт со помал квалитет и со нив снабдување со централно греење, на станбено ниво, е невозможно. Затоа, и поради фактот што од аспект на енергетско искористување, инвертер клима уредите се идентични на топлинските пумпи, препорачливи се две опции на жителите: или да користат топлински пумпи како поскапа но покомфорна варијанта, или инвертер клима уреди.



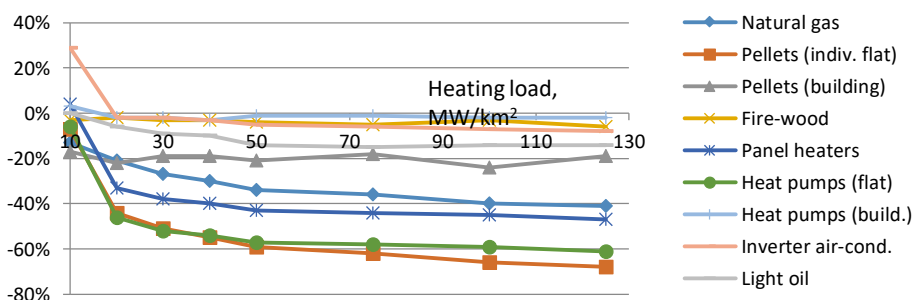
Слика 4: Разлики помеѓу различните грејни методи поврзани со нето реалната вредност на централниот вреловоден зелен систем: модел регион со N=4 објекти



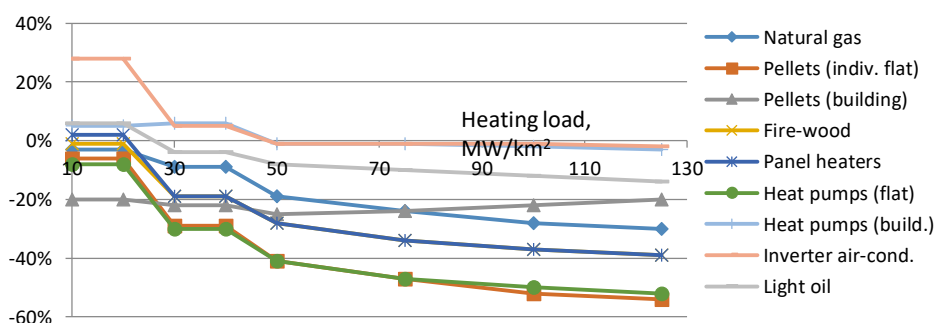
Слика 5: Разлики помеѓу различните грејни методи поврзани со нето реалната вредност на централниот вреловоден зелен систем: модел регион со N=8 објекти



Слика 6: Разлики помеѓу различните грејни методи поврзани со нето реалната вредност на централниот вреловоден зелен систем: модел регион со N=16 објекти



Слика 7: Разлики помеѓу различните грејни методи поврзани со нето реалната вредност на централниот вреловоден зелен систем: модел регион со N=32 објекти

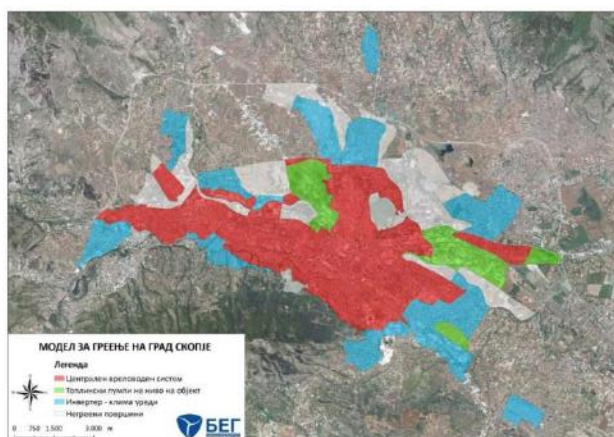


Слика 8: Разлики помеѓу различните грејни методи поврзани со нето реалната вредност на централниот вреловоден зелен систем: модел регион со N=64 објекти

ТАБЕЛА 2: Сумирана матрица на техно-економски оптимални системи за греење

	Техно-економски оптимални системи за греење							
	Топлинско оптоварување , MW/km ²							
	10	20	30	40	50	75	100	125
4	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS
8	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS
16	IAC	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS
32	IAC	HP-B	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS	CHS
64	IAC	IAC	HP-B	HP-B	CHS	CHS	CHS	CHS
128	IAC	IAC	IAC	IAC	IAC	IAC	IAC	CHS

CHS - Central hot-water heating system(централни вреловодни грејни системи), IAC - Inverter air-conditioning(инвертер клима уреди), HP-B - Heat pump (building level) (топлински пумпи)



Слика 9: Основна мапа на Скопје базирана на моделот за избор на оптимален систем за греење

Табела 3: Споредба на различни системи за греење во однос на Централното вреловодно греење

Метод/систем за греење	Задоволителна примена	Предност на метод/систем за греење	Предност на Централно вреловодно греење
Индивидуално греење со котли на природен гас	Во региони со бројни објекти со релативно мало кумулативно термално оптоварување; Во населби од компактен тип составени од индивидуални куќи	Помали инвестициони трошоци за развој на мрежа за природен гас; Елиминира предноста за користење на обновливи енергетски извори (соларни, биомаса ...)	Помала специфична цена на котли од индустриски ранг со висока излезна моќност, во однос на котли со ниска моќност на гас; Вклучува повеќе типови на гориво/обновлива енергија
Индивидуално греење со топ-лински пумпи воздух-вода за секој стан	Во региони со голем број на индивидуални куќи (значајни инвестициони трошоци)		
Греење со топ-лински пумпи со топлинска станица во зградите	Во региони со ниска термална густина		Во региони со поширок ранг на термално оптоварување и густина на објекти
Греење со ин-вертер клима уреди во секој стан	Во региони со висока густина на згради и		

индивидуално	релативно ниска густина на топлинско оптоварување (малите инвестициски вложувања)		
Индивидуално/котларница во секоја зграда со користење на котли на пелети		Ниска специфична емисија на PM_{10} честички, во споредба со согорливи дрва	Пелетите се сериозен локален загадувач (не се намалува концентрацијата на честичките)
Индивидуално греење со електрични панели	Во региони со голем број на згради и ниско специфично топлинско оптоварување	Мали инвестициони трошоци	Значителни трошоци за работа на електрична енергија
Централно греење со котли на дрва	Во региони со висока густина на куќи и релативно мало грејно оптоварување		Греењето со дрва е главен извор на загадување во урбаните средини
Греење со котли на лесно масло со котларница во секоја зграда	Во делови на градот со објекти со ниско специфично топлинско оптоварување	Не е потребна подземна инфраструктура и инвестиционите трошоци за котли и опрема се релативно ниски	

Мора да се нагласи дека пресметките во оваа студија се направени со моментални „социјални“ цени на електричната енергија. Згора на тоа, широката употреба на грејни методи кои бараат значителна потрошувачка на електрична енергија, би барала обемни инвестирања во електричната мрежа што пак изискува долг период на имплементација.

Во прилог на ова мора да биде нагласено дека макроенергетскиот аспект треба да избегне неефикасна употреба на електрична енергија за греење поради деградацијата на енергијата.

5 ЗАКЛУЧОК

Оваа студија се соочува со техно-економската пресметка на бројот на достапни методи и видови на греење во урбаните подрачја со основна цел да обезбеди сигурни информации и покажувачи за одбирање на оптимално одржлив тип на греење во град Скопје. Неколку важни аспекти беа предвидени низ анализите: техничка изводливост, инвестициони трошоци, трошоци за работа и одржување, како и проценка на влијанието врз животната средина.

Базирано врз спроведените анализи, заклучокот може да биде извлечен дека системите за централно греење преставуваат техно-економски оптимален греен метод во урбаните градски населби, што исто така ја обезбедува најдобрата можност да се контролира растечкиот проблем со загадувањето на воздухот. Ова укажува на широк опсег на грејно оптоварување и концентрација на згради во градот каде што има достапна мрежа на конвенционален греен систем. Греењето со инвертер клима уреди и топлински пумпи има предност само за региони со висока густина на индивидуални куќи и згради со мала густина на термално оптоварување.

Со оглед на влијанието на греењето врз животната средина, повторно поврзување на исклучените корисници на централното греење, како и поврзувањето на нови корисници, во делови од градот каде што тоа е техно-економски оправдано, ќе има директно влијание со намалувањето на загадувањето на воздухот, преку намалувањето на употребата на несеколошки горива за греење. Ова ќе доведе до повисок степен на користење на постоечките капацитети од централно греен систем како можност да се намалат трошоците за користење. Според проценките, целосно искористување на постоечките капацитети, од централниот греен систем на град Скопје, би резултирало со намалување на трошоците за користење од 20-25%.

6 КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Gvozdenac, D. D., et al., 2014, Serbian Energy Efficiency Problems, Thermal Science (An Int. Journal), Vol. 18, No. 3, pp.683-694
- [2] Dakwale, V. A., et al., 2011, Improving Environmental Performance of Building through Increased Energy Efficiency: A Review, Sustainable Cities and Society, 1, 4, pp. 211-218.
- [3] Hesarakı A., Holmberg S., 2013, Energy performance of low temperature heating systems in five new-built Swedish dwellings: a case study using simulations and on-site measurements, Build. Environ., 64, pp.85-93.
- [4] Lund H., Werner S., Wiltshire R., Svendsen S., Thorsen J.E., Hvelplund F., Mathiesen B.V., 2014, 4th Generation District Heating (4GDH): integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems, Energy 68, pp.1-11.
- [5] Paiho S., Reda F., 2016, Towards next generation district heating in Finland, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 65, pp.915-924.
- [6] Rezaie B., Rosen M. A., 2012, District heating and cooling: Review of technology and potential enhancement, Applied Energy, 93, pp.2-10.
- [7] Sayegh M.A., Danielewicz J., Nannou T., Miniewicz M., Jadwiszczak P., Piekarska K., Jouhara H., 2017, Trends of European research and development in district heating technologies, Renewable and Sustainable Energy Reviews 68, pp.1183-1192.
- [8] Sameti M., Haghighat F., 2017, Optimization approaches in district heating and cooling thermal network, Energy and Buildings 140, pp.121-130.
- [9] Annual report for 2014 on the quality of the environment, Ministry of environment and spatial planning of the R. Macedonia, Skopje, 2015
- [10] Ташевски Д., Филкоски Р., Арменски С., Шешо И., Димитровски Д., Димитров Д., 2016, Студија за одредување на техно-економски оптимален и еколошки одржлив зелен систем во град Скопје, financed by Balkan Energy Group, Faculty of Mechanical Engineering, Skopje
- [11] Census of Population, Households and Dwellings in the Republic of Macedonia, State Statistical Office, 2002
- [12] Rulebook on energy efficiency, Official Journal of R. Macedonia, No.94/13, Skopje, 2013

Emilija Dejanoska, Filip Todorovski
Faculty of mechanical engineering, Skopje

¹dejanoskaemilija@yahoo.com ²filip.todorovski@yahoo.com

COMPARATIVE ANALYSIS OF DIFFERENT HEATING SYSTEMS IN URBAN AREAS

ABSTARCT

Every day, we are facing the problem of the continuous increase of population in the larger urban areas, and that leads to the increasing demands and expectations for better and more comfortable living, results in higher demand and consumption of energy. The use of energy efficient solutions, technologies and heating equipment in the households, public institutions, service sector and companies is a step forward towards reducing energy consumption and harmful impact on the environment.

The main objective of the present study is to provide reliable information and indicators for selection of optimal sustainable type of spatial heating in the city of Skopje as a major urban area. The well-known air pollution issue in Skopje, as well as in other larger cities in SEE Europe, has been drastically expressed during the heating season, which suggests that it is undoubtedly closely related to inappropriate heating methods. In that sense, the present study should serve as a basis for short, medium and long term planning of the heating structure of the city of Skopje.

A complex model has been prepared and applied for the purposes of a comparative analysis among different heating methods, that takes into consideration the techno-economic and environmental aspects of the heating methods and systems. The model has been adapted and applied as for the conditions of the city of Skopje, offering strong guidelines for selection of the optimal way of heating in various parts of the city, depending on the local urban, infrastructural, technical and environmental conditions.

The results show a significant advantage of the central heating system in relation to the other types of heating, from engineering, financial and environmental viewpoint, providing the best opportunity to mitigate the arising problem of air pollution. This applies to a wide range of heat loads and concentrations of buildings in the city where there is available network of conventional heating system.

Heating with inverter air conditioners and heat pumps has an advantage only for regions with a high density of individual houses and buildings with low density of thermal load.



Александар Ѓерасимовски
Универзитет “Св. Кирил и Методиј”, Машински факултет, Скопје
aleksandar.gerasimovski@yahoo.com

ВЛИЈАНИЕ НА ТЕРМИЧКИТЕ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ОБЈЕКТИТЕ ВРЗ ОПТИМАЛНИОТ КАПАЦИТЕТ НА КОМБИНИРАНИТЕ КОМПРЕСОРСКО-ЕЈЕКТОРСКИ ПОЛИГЕНЕРАТИВНИ СИСТЕМИ

КУСА СОДРЖИНА

Анализирани се термичките карактеристики на објектите и на комбинираниите компресорско–ејекторски полигенеративни системи за симултано производство на електрична енергија, топлинска енергија за греење, енергија за ладење во системи за климатизација и топлинска енергија за припрема на санитарна топла вода. Согледани се критериумите за изведба на енергетски ефикасни објекти и системи за греење, ладење, вентилација и климатизација. Даден е концептот на комбиниран полигенеративен систем со примарен мотор-електро генератор за производство на електрична енергија и компресорско–ејекторска ладилна машина / топлинска пумпа за производство на топлинска енергија за греење, ладење и подготовка на санитарна топла вода. Во предложениот концепт базните потреби од енергија за греење и ладење се покриваат од компресорско–ејекторска ладилна машина / топлинска пумпа, додека врвните од евтин врвен систем и/или од систем за термичко складирање (складирање на толина; складирање на студ). Основна цел на овој труд е дефинирање на постапка за определување на оптимален капацитет на компресорско–ејекторските полигенеративни системи.

Клучни зборови: *компресор, ејектор, мотор-генератор, полигенеративен систем*

1 ВОВЕД

Предмет на овој труд се термичките карактеристики на објектите и комбинираниите компресорско–ејекторски полигенеративни системи за симултано производство на електрична енергија, топлинска енергија за греење, енергија за ладење во системи за климатизација, топлинска енергија за припрема на санитарна топла вода.

Досегашниот глобален концепт на енергетиката е базиран на големи електрични централи (термоцентрали, хидроцентрали, нуклеарни централи), големи топлификациони централи и централни топлификациони системи, централни индустриски парни котелски постројки, централни и индивидуални системи за греење, ладење и климатизација на резиденцијални и станбени објекти, административни и културно – образовни објекти, трговски центри итн. Интензивното зголемување на населението и потрагата за подобар квалитет на живот доведоа до интензивен техничко – технолошки и индустриски развој во сите сектори, како и до зголемени потреби од енергија (електрична и топлинска). Општиот развој на енергетиката, заедно со развојот во областа на транспортот и енормното зголемување на бројот на моторни сообраќајни средства кои користат фосилни горива, доведоа до исклучително опасни глобални еколошки ефекти и до реална закана за опстанокот на нашата планета.

Глобалните еколошки проблеми сврзани со оштетувањето на озонскиот слој и со глобалното загревање и климатските промени наметнаа дополнителни еколошки критериуми во истражувањата и општиот развој на енергетскиот сектор. Со новите еколошки критериуми се предвидува:

- примена на обновливи енергетски ресурси (сончева енергија, геотермална енергија, хидро енергија, енергија од ветер, итн),
- развој на нови концепти на енергетски ефикасни технологии за производство, дистрибуција и користење на енергијата, развој на нови концепти во транспортот и сообраќајните средства (возила на електричен погон),
- примена на природни еколошки работни флуиди, изведба на енергетски ефикасни објекти и енергетски ефикасни системи за греење, ладење и климатизација на објектите,
- развој на нови концепти на енергетски ефикасни технологии во процесната, хемиската, прехранбената, фармацевтската и другите индустриски гранки како и развој и примена на термотрансформациски технологии и користење на отпадна нискотемпературна топлина

Современите научно – истражувачки активности и достигнувањата во:

- развојот на машините, уредите, постројките и системите во областа на термичкото инженерство,
- развојот и достигнувањата во областа на фундаменталните научни дисциплини: механиката на флуидите (CFD – нумеричката динамика на флуиди) и термодинамиката (СТА – нумеричката термичка анализа),
- развојот и достигнувањата во областа на машинските материјали и јакоста на материјалите, развојот во метрологијата и мерните инструменти,
- развојот на информациските технологии (компјутерските системи, генетските алгоритми, теоријата на паметни мрежи итн),

претставуваат реална основа за концепирање и развој на нови енергетски ефикасни термички системи.

Основи за термички пресметки и термички карактеристики на објектите и системите за греење, ладење, вентилација и климатизација дадени се во [1]. Преглед на истражувањата и достигнувањата во развојот на три-генеративните системи (CCHP – combined cooling, heating and power systems) даден е во [2,3]. Тригенеративните технологии со апсорпциони ладилни системи имаат релативно широка примена и екстензивни истражувачки активности [4,5]. Тригенеративните технологии кои вклучуваат други технологии, вклучително ејекторски ладилни системи и Rankine системи исто така имаат екстензивни истражувачки активности [6,7]. Различни типови погонски мотори се применуваат во тригенеративните системи за добивање механичка работа, од која во електро генераторот се добива електрична енергија. Тригенеративните системи со мотори со внатрешно согорување се особено погодни во апликации со мал капацитет. Овие системи се одликуваат со висока енергетска ефикасност. Турбокомпресорско – турбоекспандерските микро – тригенеративни системи претставуваат исклучително атрактивна современа истражувачка тема.

Отпадната топлина од моторот со внатрешно согорување, како генерирачка топлина, се користи во компресорско – ејекторскиот ладилен / топлинско пумпен систем за продукција на топлинска енергија за греење и ладење. Општата теорија на термотрансформаторите [7] е применета за анализа на компресорско–ејекторскиот ладилен/топлинско пумпен систем. Термотрансформациските технологии се презентирани во [8,9] каде се дискутирани техничките и економските потенцијали и се анализирани различни индустриски процеси, со нивните работни температури, како можни нискотемпературни топлински извори.

Воведувањето на концептот на дисперзирано производство на електрична енергија со имплементација на предложените полигенеративни системи [2], заедно со дисперзирано производство на електрична енергија со фотоволтаични соларни колектори, би претставувало основа за одржлив развој на енергетскиот сектор, како основа за вкупен одржлив развој, како и значајна компонента во надминувањето на глобалните еколошки проблеми поврзани со глобалното загревање.

Основна цел на овој труд е дизајнирање на постапка за определување на оптимален капацитет на компресорско–ејекторските полигенеративни системи наменети за производство на електрична енергија и топлинска енергија за греење, ладење, вентилација и климатизација на резиденцијални и станбени објекти, административни и културно-образовни објекти, трговски центри итн.

2 АНАЛИЗА НА ТЕРМИЧКИТЕ КАРАКТЕРИСТИКИ НА ОБЈЕКТИ

Оптималната примена и оптималното конципирање на комбинираниите компресорско–ејекторски полигенеративни системи зависи од термичките карактеристики на објектите, како и од нивните енергетски потреби за електрична енергија, енергија за греење, ладење и климатизација, енергија за припрема на санитарна топла вода.

Архитектонско-термичките карактеристики на објектите (резиденцијални и станбени објекти, административни и културно-образовни објекти, трговски центри итн) заедно со надворешните климатски услови и внатрешните климатски услови ги дефинираат топлинските загуби (зимски режим) односно топлинските добивки (летен режим). Современите тенденции за изведба на енергетски ефикасни објекти, како и развојот во областа на градежните материјали, доведоа до воведување на критериуми за дозволени топлински загуби / добивки на објектите, како и до изведба на објекти со соодветна топлинска изолација и целосна енергетски ефикасна обвивка на објектите. Сепак, енергетската ефикасност на објектите зависи од концептот и изведбата на системите за греење, ладење и климатизација на објектите:

- изведбата на цевната / каналската мрежа,
- балансирањето на цевната / каналската мрежа и регулацијата на системот,
- изведбата на системот за рекулпација на топлината,
- концептот на изведба на системот и на изворот на енергија за греење/ладење,
- ракувањето, одржувањето и менаџирањето на системот итн.

Користењето на системи на сончева енергија, нискотемпературна отпадна топлина, геотермална енергија, топлинска пумпа итн, како алтернатива на вообичаените концепти на системи со котел на фосилно гориво и ладилен агрегат, претставува значајна компонента за изведба на енергетски ефикасни објекти. Оптималната имплементација на предложените полигенеративни системи резултира во значајни технички, економски и еколошки ефекти.

За пресметка на проектните топлински загуби / добивки на објектот се користат вообичаени стандардизирани процедури [1]. Топлинската енергија за греење во текот на грејната сезона, дефинирана со топлификациониот дијаграм (сл. 1), зависи од климатските услови. За услови на умерена континентална клима (Р. Македонија) топлификациониот дијаграм се карактеризира со изразит пик, односно со краток временски период со изразито ниски надворешни температури (блиски до проектните). Особено е важно при концепирање на сложени комбинирани системи за греење со топлински пумпи или при конципирањето на комбинирани полигенеративни системи базната топлинска енергија да се покрие со полигенеративниот систем (топлинската пумпа), која би била со помала инсталирана моќност (пониска инвестиција), на пример 60% од инсталираната, а ќе покрие 92% од потребната енергија за греење, произведувајќи евтина топлинска енергија, додека врвната енергија да се покрие од врвен евтин генератор на топлина (40% од инсталираната моќност) произведувајќи 8% скапа топлинска енергија за греење. Оптималниот избор на моќноста на полигенеративниот систем претставува предмет на комплексно техно-економско оптимирање, при што се опфаќаат и другите компоненти на полигенеративниот систем.

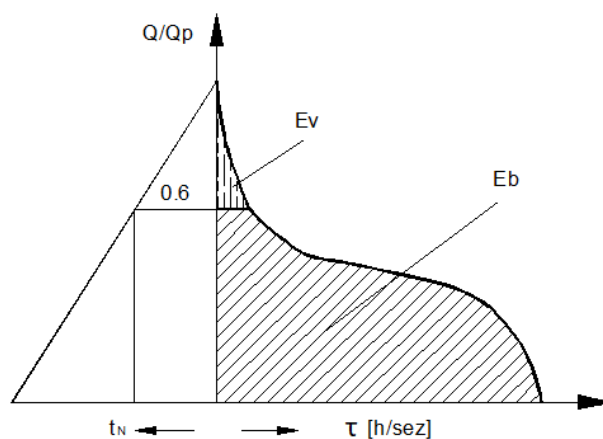
Проектните топлински добивки (летен режим) се однесуваат на одреден период во денот со висока надворешна температура, висок интензитет на сончево зрачење и други извори на топлински добивки. Инсталираната моќност на ладилниот агрегат треба да биде изразито помала (20 – 25 % од проектните топлински добивки) што доведува до низа погодности: изразито пониска инвестиција, пониски административни трошоци за такси за ангажирана електрична моќност, пониски експлоатациони трошоци за ангажирана електрична моќност, растеретување на електро-енергетскиот систем итн. Целосното покривање на топлинските добивки се релизира со воведување на систем за акумулирање на студ. Тоа доведува до дополнителни погодности:

континуирана работа на ладилниот агрегат во текот на денот (24 часа), работа на ладилниот агрегат во ноќниот период при пониски надворешни температури, работа на ладилниот агрегат со повисок ладилен фактор (COP), работа на ладилниот агрегат во период на евтина тарифа на електричната енергија итн.

Во услови на силно изразени стратегии за изведба на енергетски ефикасни објекти современите барања и критериумите за подобар квалитет на живот се зголемуваат. Во тој контекст се зголемуваат и барањата и критериумите за параметрите на внатрешен комфор (температура, релативна влажност, рамномерност на температурата, чистота на воздухот, количество на свеж воздух, брзина на воздухот, температура и дистрибуција на воздухот, бучава итн) што треба да ги обезбеди системот за греење, ладење и климатизација. Дополнително, се зголемуваат и потребите и барањата за квалитетот и количината на санитарна топла вода. Во зависност од дневната динамика за потребите од санитарна топла вода се предвидува соодветно термичко складирање, односно соодветен резервоар. Со имплементација на концептот на изведба на енергетски ефикасни објекти термичката енергија за припрема на санитарна топла вода станува се позначајна компонента во вкупните потреби за топлинска енергија на објектите.

Податоците за топлинските капацитети за греење, ладење и санитарна топла вода се имплементирани во концептот на комбинираниот компресорско – ејекторски систем. Основа за техно-економско оптимално конципирање на комбинираниот компресорско–ејекторски систем се потребите за топлинска енергија за греење и ладење. Произведената електрична енергија во примарниот мотор – електро генераторски агрегат ќе се користи за потребите на станбениот објект. Вишокот на произведена електрична енергија ќе се испорачува во мрежата на електро енергетскиот систем. При недостаток на произведена електрична енергија ќе се користи електрична енергија од мрежата на електро енергетскиот систем.

Во продолжение е даден пример за енергетските потреби на еден стенбен објект со корисна површина од 3000 m^2 . Надворешни сидови имаат термичка изолација со дебелина $\delta_{iz} = 10 \text{ cm}$. Пресметаните проектни топлински загуби на објектот изнесуваат 135 kW . Специфична топлина за греење изнесува $q_g = 45 \text{ W/m}^2$. Пресметаните проектни топлински добивки на објектот изнесуваат 105 kW . Специфична топлина за ладење изнесува $q_l = 35 \text{ W/m}^2$. Пресметаниот топлински капацитет за греење, односно проектни топлински загуби на објектот од 135 kW одговара за надворешни проектни услови (надворешна температура од -15°C). За климатски услови во Скопје, според топлификациониот дијаграм со 60% од топлинската моќност, односно 80 kW , се покриваат 92% од потребите на топлина за греење. Полигенеративниот систем би ги покривал базните топлински потреби. Врвните топлински потреби би се покривале со евтин генератор на топлинска енергија. Пресметаниот проектен капацитет за ладење, кој се однесува на период во денот со висока надворешна температура, висок интензитет на сончево зрачење, изнесува 105 kW . Во ладилните системи за климатизација задолжително се изведува складирање на студ. Капацитетот на ладилната машина треба да биде 20 – 25 % од проектните топлински добивки на објектот, односно 21 – 26 kW. Норматив за потреби од санитарна топла вода е 50 l / човек ден . Дневна потрошувачка на санитарна топла вода е 8400 l/ден . Просечниот дневен топлински капацитет на системот за подготовка на санитарна топла вода е 9 kW . Капацитет на резервоарот за санитарна топла вода е 9 m^3 .



Слика 1. Топлификационен дијаграм

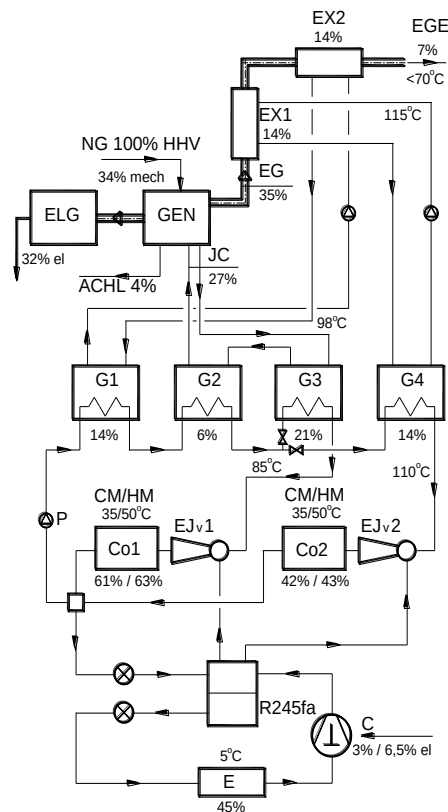
3 КОМБИНИРАН КОМПРЕСОРСКО-ЕЈЕКТОРСКИ ПОЛИГЕНЕРАТИВЕН СИСТЕМ СО ПРИМАРЕН ГАСЕН МОТОР–ЕЛЕКТРО ГЕНЕРАТОР

На слика 2 дадена е шема на комбиниран компресорско–ејекторски полигенеративен систем за симултано производство на електрична енергија и топлинска енергија за греење, ладење и подготовка на санитарна топла вода. Дефинирани се процедури за термичка и енергетска пресметка на сите елементи на системот [2,3]. Извршени се нумерички експерименти за различни работни услови [3]. На шемата се дадени резултатите за основните материјални и енергетски биланси и температурните услови.

Во гасниот мотор (G EN) 34% од влезната енергија на природниот гас (NG) (100% HHV – горна топлинска моќ на природниот гас) се трансформира во механичка моќност. Според анализата на перформансите на гасните мотори и податоците на производителите на гасни моторски агрегати коефициентот на корисност е во опсегот 32 – 35% (од HHV). Коефициентот на корисност на електричниот генератор се оценува на 95%. Во електричниот генератор (EL G) 32% од влезната енергија на природниот гас се трансформира во електрична енергија.

Отпадната топлина од гасниот мотор со ладењето на блокот на моторот (JC) се проценува да биде 27% а отпадната топлина со издувните гасови од моторот (EG) да биде 35%. Околу 4% се загубите на топлина во околината и топлинските загуби во турбочарцетот–интеркулерот (ACHL). Отпадната топлина од гасниот мотор се користи како погонска моќност во ејекторската степеница на компресорско–ејекторскиот ладилен / топлинско пумпен систем.

Во топлинските изменувачи (EX1 – 14% и EX2 – 14%) отпадната топлина на издувните гасови се предава на циркулациона вода, а потоа на ладилниот медиум во генераторските секции G1 и G4. Издувните гасови се ладат до температура пониска од 70 °C за да се обезбедат услови за кондензација на водената пара содржана во издувните гасови и користење на горната топлинска моќ (HHV) на природниот гас. Отпадната топлина од ладењето на блокот на гасниот мотор (JC) се користи во генераторските секции G2 и G3. Четиристепен генератор е структуриран за искористување на поголем дел од отпадната топлина. Загубите на топлина со издувните гасови (EGE) се 7%.



Слика 2. Шема на комбиниран компресорско-ејекторски полигенеративен систем

Комбиниран компресорско - ејекторски ладилен / топлинско пумпен систем е применет за утилизација на отпадната топлина од гасниот мотор. Дво-степен компресија е воведена во комбинираниот ладилен циклус: првата механичка компресија (C) и втората парна ејекторска компресија (EJv1 and EJv2). Меѓу двете степеници инсталиран е сепаратор-економајзер (EC). Поставени се два регулационо пригушни вентили: едниот меѓу кондензаторот (Co) и сепаратор-економајзерот (EC), и вториот меѓу сепаратор-економајзерот (EC) и испарувачот (E).

Потрошувачката на моќност на компресорот (C) е 3% (од HHV) (9.4% од произведената електрична моќност) во режим на ладилна машина. Во режим на топлинска пумпа моќноста на компресорот изнесува 6.5% (од HHV) (20.3% од произведената електрична моќност).

Со ејекторите (EJ1 and EJ2) (второстепен компресија) топлината се трансформира на кондензаторски притисок, кој кореспондира на температурата на кондензација од 35°C, во ладилен режим, при што капацитетот на кондензаторот е 103 % (од HHV); односно на температурата на кондензација од 50°C, во топлинско пумпен режим, при што капацитетот на кондензаторот што се користи за греење и припрема на санитарна вода е 106 % (од HHV).

Термичкиот COP_{th} и механичкиот COP_{mech} на комбинираниот компресорско – ејекторски ладилен / топлинско пумпен систем се:

- режим ладилна машина (CM): $COP_{th} = Q_e/Q_g = 0.82$; $COP_{mech} = Q_e/P_{mech} = 15$,
- режим топлинска пумпа (HM): $COP_{th\ hp} = Q_c/Q_g = 1.93$; $COP_{mech\ hp} = Q_c/P_{mech} = 16.3$

4 ЗАКЛУЧОК

Извршена е анализа на термичките карактеристики на енергетски ефикасни објекти. Презентиран е комбиниран компресорско–ејекторски полигенеративен систем за симултано производство на електрична енергија, топлинска енергија за греење, енергија за ладење во системи за климатизација и топлинска енергија за припрема на санитарна топла вода. Дефинирана е постапка за определување на оптимален капацитет на компресорско–ејекторските полигенеративни системи според техно-економските критериуми. Предложениот концепт на полигенеративен систем овозможува максимална утилизација на отпадната топлина од моторот и користење на горната топлинска моќ на природниот гас. Се постигнуваат високи коефициенти на термотрансформација (COP): во режим на ладилна машина $COP_{th} = 0.8 - 0.9$ и $COP_{mech} = 15 - 17$; во режим на топлинска пумпа $COP_{th} = 1.9 - 2.1$ и $COP_{mech} = 16 - 19$. Делот на произведена електрична енергија е 27 – 33% од HHV на природниот гас.

КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Шаревски В., Греење и климатизација, Машински факултет – Скопје, Скопје 2010
- [2] Šarevski, M. N., Šarevski, V. N., Water (718) turbo compressor and ejector refrigeration / heat pump technology, ISBN: 978-0-08-100733-4, Elsevier, 2016
- [3] Ѓерасимовски, А. Компресорско-ејекторски полигенеративни системи, Магистерска работа, Машински факултет Скопје, 2018
- [4] Jradi, M., Riffat, M., Tri-generation systems: Energy policies, prime movers, cooling technologies, configuration and operation strategies, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2014, 32, 396–415
- [5] Ferrari, M. L., Traverso, A., Massardo, A. F., Smart polygeneration grids: experimental performance curves of different prime movers, *Applied Energy*, 2016, 162, 622–630
- [6] Kim, K. H., Perez-Blanco, H., Performance analysis of a combined organic Rankine cycle and vapor compression cycle for power and refrigeration cogeneration, *Appl. Therm. Eng.* 2015, 91, 964 – 974
- [7] Brückner, S., Liu, S., Miro, L., Radspieler, M., Cabeza, L. F., Lavemann, E., Industrial waste heat recovery technologies: An economic analysis of heat transformation technologies, *Appl. Energy* 2015, 151, 157–167
- [8] Šarevski, V. N., Šarevski, M. N., Energy efficiency of thermocompression refrigeration and heat pump systems, *Int. J. Refrigeration*, 2012, 35 (4), 1067–1079
- [9] Šarevski, M. N., Šarevski, V. N., Thermal characteristics of high-temperature R718 heat pumps with thermal vapor recompression, *Applied Thermal Engineering*, 2017, 117, 355–365

Александар Ѓерасимовски Aleksandar Gjasimovski

Faculty of mechanical engineering, Skopje

aleksandar.gerasimovski@yahoo.com

INFLUENCE OF THE THERMAL CHARACTERISTICS OF BUILDINGS ON THE OPTIMAL CAPACITY OF COMBINED COMPRESSOR-EJECTOR POLYGENERATION SYSTEMS

ABSTARCT

Thermal characteristics of the buildings and of the combined compressor – ejector polygeneration systems for simultaneous production of electrical energy, heating energy and cooling energy for air-conditioning systems and heat energy for sanitary hot water production are analyzed. The criteria for energy efficient buildings and energy efficient systems for heating, cooling and air-conditioning are discussed. A concept for combined polygeneration systems with prime mover – electrical generator for electricity production and compressor – ejector refrigeration machine / heat pump for heating, cooling, air – conditioning and sanitary hot water preparation is given. In the proposed concept of the combined system the basic heating and cooling loads are covered by the compressor – ejector refrigeration machine / heat pump, and peak loads are covered by other peak system and/or by the thermal storage system. The main purpose of this paper is to define procedure for optimization of the optimal capacity of the compressor – ejector polygeneration systems.

Key words: *compressor, ejector, prime mover – electrical generator, polygeneration system*



Александра Ѓорѓиевска

¹ Факултет за електротехника и информациски технологии-Скопје, УКИМ

¹gj.aleksandra@yahoo.com

ПРИМЕНА НА ПАМЕТНИТЕ СЕНЗОРИ ВО ЕНЕРГЕТСКИ ЕФИКАСНИ ЕЛЕКТРИЧНИ УРЕДИ, МАШИНИ И АПАРАТИ

КУСА СОДРЖИНА

Светот околу нас секојдневно се менува во поглед на технологијата, која го има окупирано, но и олеснато нашето секојдневие. Во овој модерен свет каде што живееме денес, опкружени од сè понови електрични уреди, машини и апарати, човекот сè повеќе се фокусира на изнаоѓање на нови идеи за што поголема заштеда на енергијата и барање на алтернативни начини за нејзино производство и паметно искористување на истата. Паметните сензори со своите значајни карактеристики имаат улога во мониторинг, запис и анализа на важните параметри на енергијата, како што се напонот, струјата, моќноста како и факторот на моќност. Покрај тоа, овозможуваат управување на процеси, алармирање и дејствување врз база на мерења, како и телеметриско отчитување и внесување на податоци користејќи го интернетот. Тие секојдневно земаат сè поголем замав и се применуваат токму во енергетски ефикасните уреди, машини и апарати, со цел намалена потрошувачка и заштеда на енергијата. Паметните куќи и згради, уредите кои секојдневно ги употребуваме, како и паметните автомобили се актуелна тема на денешницата и токму нивното функционирање се заснова на вградени системи на автоматско управување и менаџирање при зададени услови-паметни сензори.

Во овој труд е посветено внимание на примената на паметните сензори при управување на електричните уреди во нашето секојдневие, вклучувајќи ги административните објекти, автомобилската индустрија, па дури и земјоделството, со што се јавува можност за значително намалување на искористената моќност и зголемување на енергетската ефикасност.

Клучни зборови: енергетска ефикасност, паметни сензори, енергетски ефикасни уреди, машини и апарати.

1 ВОВЕД

Енергетската ефикасност е клучна за обезбедување сигурен, безбеден, достапен и одржлив енергетски систем за во иднина. Тоа е еден енергетски ресурс кој секоја земја го поседува во изобилство и е најбрзиот и најевтин начин за решавање на енергетската безбедност, еколошките и економските предизвици [1].

Прашањето за ефикасно искористување на енергијата е секојдневно отворено за нови предлози и решенија, а значајно место помеѓу нив заземаат и паметните сензори. Со оглед на тоа што технологијата станува се повеќе зависна од Интернет на нештата, паметните сензори кои можат да ги детектираат информациите од физичкиот свет и да извршуваат конкретни упатства или да ги пренесуваат податоците до други системи стануваат составен дел од дизајните на новите производи, меѓу кои се вбројуваат и енергетски ефикасните електрични уреди, машини и апарати.

Модерниот живот бара паметни сензори кои обезбедуваат попрецизни податоци за еден настан којшто треба да се открие и измери со ултра-ниска потрошувачка на енергија. Присуството на паметните сензори е забележливо во индустриската автоматизација, биомедицината и здравството, градежништвото, автомобилската индустрија, воздухопловството и многу други области и растот на ова присуство е забележително експоненцијален. Помеѓу нив, свое место наоѓаат сензорите за притисок, температура и влажност, светлина, позиција и така натаму, а истите се едноставни за управување преку апликација од било кој андроид или IOS (оперативен систем користен од Apple) уред, што доведува до појавата на таканаречените паметни домови, паметни градови, паметни фабрики, како и паметни автомобили.

2 ОПШТО ЗА ПАМЕТНИТЕ СЕНЗОРИ

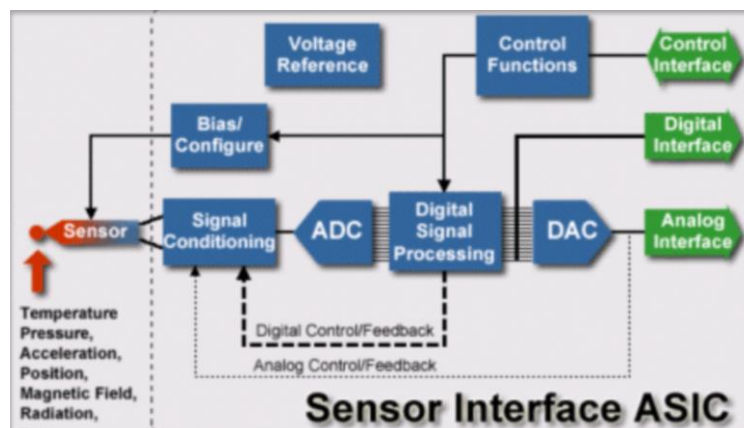
Паметен сензор (Smart sensor) е сензор кој произведува електричен излез кога е во комбинација со електронски кола за поврзување, всушност тоа е комбинација од двете: примарен сензор и актуатор. Со други зборови, ако се искомбинираат сензор, аналогно интерфејс-коло, аналогно-дигитален конвертор (А/Д конвертор) и магистрален интерфејс во едно заедничко кукиште, добиваме паметен сензор [2].

Паметните сензори овозможуваат попрецизно и автоматско собирање на податоци за опкружувањето со помал негативен шум меѓу прецизно снимените информации. Овие уреди се користат за мониторинг и контрола на механизми во широк спектар на средини, вклучувајќи паметни мрежи, истражувања и голем број научни апликации.

Како минимален, односно при избор на најмал број компоненти, паметниот сензор е направен од сензор, микропроцесор и некој вид на комуникациска технологија.

Покрај примарен сензор, паметниот сензор може да вклучува и голем број други компоненти. Помеѓу овие компоненти се вбројуваат трансформатори, засилувачи, контрола на возбудувањето, аналогни филтри и кола за компензација. Паметниот сензор, исто така, вклучува софтверски дефинирани елементи кои обезбедуваат функции како конверзија на податоци, дигитална обработка и комуникација со надворешни уреди [3].

На слика 1, дадена подолу е претставена генералната архитектура на еден паметен сензор.



Слика 1. Генерална архитектура на еден паметен сензор

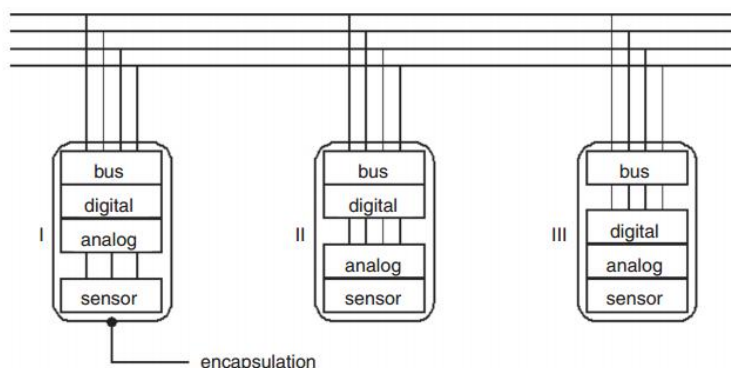
Паметните сензори се сензори со интегрирана електроника кои се разликуваат од останатите сензори поради тоа што може да извршуваат една или повеќе различни функции како што се:

- конверзија на податоци
- двонасочна комуникација
- донесување одлуки
- извршување на логички операции
- калибрација

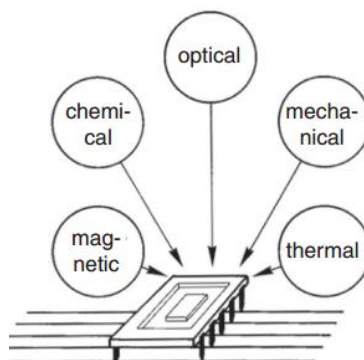
2.1 Типови паметни сензори

Паметните сензори може да се поделат на:

- Хибридни паметни сензори, претставени на Слика 2
- Интегрирани паметни сензори претставени на Слика 3 [2].



Слика 2. Три различни видови на конфигурација кај хибридни паметни сензори



Слика 3. Интегриран паметен сензор

2.2 Интелигентен мрежен сензори

Интелигентен мрежен сензор (Smart Grid Sensor) е мал, лесен јазол што служи како станица за детекција во една сензорска мрежа. Интелигентните мрежни сензори овозможуваат далечинско следење на опремата, како што се трансформатори и електрични водови, како и управување со ресурсите на побарувачка на една енергетска паметна мрежа.

Интелигентните мрежни сензори може да се користат за следење на временските услови и температурата на електричните водови, што потоа може да се користи за пресметување на капацитетот на пренос на водовите. Овој процес се нарекува рејтинг на динамична линија и им овозможува на енергетските компании да го зголемат протокот на енергија на постојните далекуводи. Интелигентните мрежни сензори исто така, може да се користат во домовите и бизнисот, со цел зголемување на енергетската ефикасност [4].

3 СО ПРИМЕНА НА ПАМЕТНИ СЕНЗОРИ ДО ПОГОЛЕМА ЕНЕРГЕТСКА ЕФИКАСНОСТ

Зголемената глобална побарувачка за енергија и брзо-исцрпувачките природни ресурси на нашата планета претставуваат голем предизвик за човештвото, и од витално значење е човекот да преземе чекори за решавање на овој предизвик. Најголемиот дел од емисиите на стакленички гасови во моментот се произведени од енергетскиот сектор, а решението на ваквиот проблем го наоѓаме во ефикасните системи, и даваме напори за значително подобрување на глобалниот енергетски биланс и придонес во заштитата на животната средина. Преку енергетски ефикасни апликации, можеме да се спротивставиме на постојано

растечката потрошувачка на енергија во целиот свет, истовремено намалувајќи ги штетните емисии, каде што голема улога играат паметните сензори во електричните уреди, машини и апарати за одржливо и ефикасно управување со енергијата.

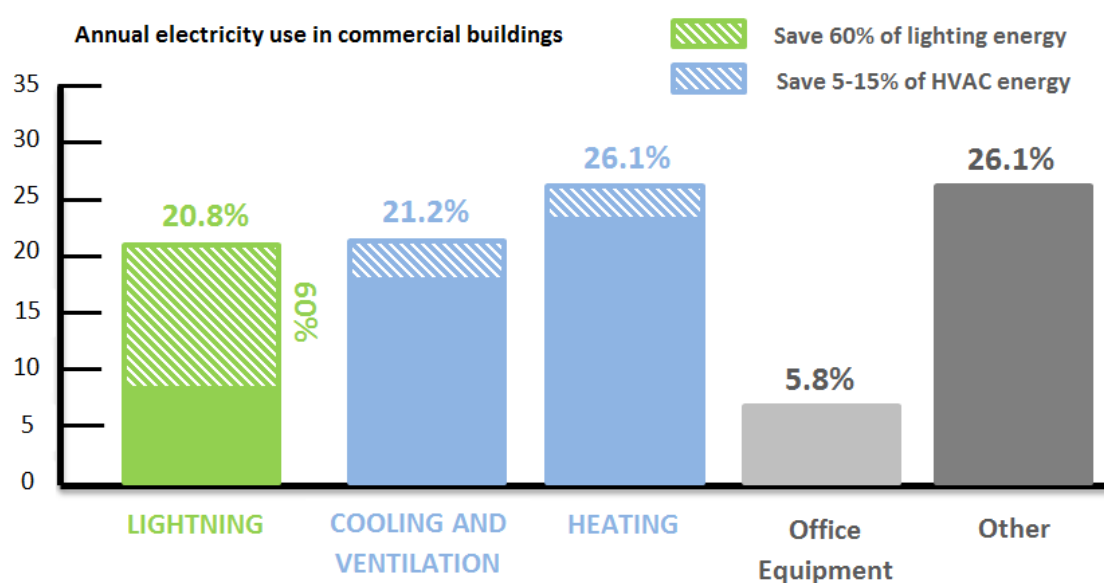
3.1 Паметни домови

Концептот на „паметни домови“ се заснова на дигитално вмрежување и автоматизација на домовите и е една од најактуелните теми на денешницата. Прво, управувањето со енергија е дозволено од нови технологии помага во намалување на потрошувачката на електрична енергија во домаќинствата и градежните објекти. Идејата е да се контролира енергијата што се користи со активирање/деактивирање на светлата, системите за греење и климатизација и сите апарати благодарение на комуникацијата со друга опрема како што се паметни прозорци или детектори за присуство во реално време, на автоматски начин или, доколку е потребно, преку далечинско управување. Второ, енергетската ефикасност е поврзана со индикаторот за искористеност што открива загуба на енергија за неискористен простор [5].

Токму во еден ваков паметен дом, паметните сензори ја наоѓаат својата примена во мониторингот и функцијата на електричните уреди. Така на пример современите разменуваачи на топлина и клима уредите ни дозволуваат да ја намалиме потрошувачката на енергија и да заштедиме пари, истовремено оптимизирајќи ја климата во внатрешноста на нашиот дом или канцеларија со помош на паметните сензори за мерење на температура и влажност на воздухот во просторијата. Сензорите пак, за диференцијален притисок создаваат континуиран проток на воздух во системот за вентилација, што значи дека енергијата содржана во издувниот воздух може да се пренесе како резерва на воздух. Доколку резервниот воздух е потопол од температурата на воздухот во просторијата, тој се лади со помош на овој трансфер на енергија; во спротивно, ако е премногу ладен, тој се загрева. Ова ја елиминира потребата од надворешни извори на енергија за оптимално ублажување на влезниот воздух [6].

Паметните домови со својата технологија значително го подобруваат квалитетот на животот на жителите и ја зголемуваат безбедноста во домот, а истовремено ја зголемува енергетската ефикасност.

На слика 4 дадена подолу се прикажани очекуваните заштеди на енергија при едно истражување од областа на паметни градежни објекти, каде може да се забележи дека со употребата на паметните сензори може да се достигне и до 60% заштеда на енергија за осветлување и до 5-15% заштеда на енергијата за ладење, вентилација и греење.



Слика 4. Распределба на користењето на енергија во зградите и очекувани заштеди

3.2 Паметни сензори за ефикасно искористување на соларна енергија

Уште една област на примена на паметните сензори со цел ефикасно искористување на енергијата, е областа на соларната енергија која секојдневно станува сè поактуелна.

За една конвенционална соларна низа, поточно низа од соларни панели, да може правилно да работи сите поединечни панели во низата мора да добијат целосна сончева светлина. Ако дел од низата е засенчен или на некој друг начин оштетен, излезната моќност на целата низа - дури и од оние делови што сè уште се изложени на сончева светлина - е намалена. Притоа, неизбежно е постоењето на таканаречените варијации за убивање на ефикасноста меѓу панелите. Кога овие варијации поминуваат неоткриени и некорегирани, резултатот е дека значителна количина на енергија и пари е "оставена на покривот". За таа цел, потребни се уреди за следење со висока резолуција и дијагностички алатки за да се извлечат подобри перформанси од соларните низи, кои може да содржат десетици, стотици, па дури и илјадници индивидуални панели. Доколку се соберат податоците од секој од тие панели, тоа може да се искористи за да се оптимизира излезната моќност на целата низа во текот на нејзиниот животен век. Способноста да се задржи низата на максимална енергетска ефикасност значително го зголемува нејзиниот потенцијал за производство на енергија. Она што е потребно е начин на кој може да се идентификуваат панели со различни напонски карактеристики за време на работата на низата. Познавањето на излезниот напон на индивидуалните панели е од големо значење за сопствениците и операторите на соларните низи, бидејќи им овозможува да идентификуваат кои панели ја спуштаат ефикасноста на нивните соларни системи. Во овој момент на сцена стапуваат паметните сензори.

Паметните сензори кои се употребуваат тука, овозможуваат брзо дијагностицирање на неефикасноста и изгубениот капацитет за генерирање преку мерење на напон кој е генериран од индивидуалните соларни панели и преку мониторинг бајпас диоди. Освен тоа, сензорите комуницираат преку едноставна магистрала за ниски проточни брзини. Паметните сензори го мерат напонот на индивидуалните соларни панели во една низа. На сличен начин, тие може да се применуваат и за мерење на други извори на напон што се поврзани во серија, како што се мерење на напон на поединечни батерии во едно непрекинато напојување или хибридно возило [7].

3.3 Паметни сензори во други области

Покрај горенаведените употреби на паметните сензори со цел зголемување на енергетската ефикасност, тие ја наоѓаат својата примена и во:

- автомобилската индустрија како составен дел од системот за вентилација и ладење. Дополнително, електричните автомобили во кои паметните сензори земаат сè поголем замав се значително енергетски поефикасни во однос на конвенционалните возила. Ефикасноста на електричните автомобили достигнува 80% до 95%, додека пак во автомобилите со мотор на внатрешно согорување се добива само околу 25% ефикасност во просек. Воедно, паметните автомобили имаат опција за складирање на енергија која ќе може да се употребува во моментот кога е потребна, а се одликуваат и со минимално загадување на животната средина.
- сензори за присуство, вградени во уредите за осветлување- присутни насекаде во нашето секојдневие, со чија помош се намалува потрошувачката на електрична енергија и се зголемува животниот век на уредите за осветлување
- во машините за перење, машините за сушење и машините за миење садови, како и електричните бојлери, рерни, шпорети и други апарати во домаќинствата кои може да се контролираат преку апликација инсталирана на паметен телефон, која вклучува комуникација со сензори за топлина, притисок и слично.
- сензори за влага, вградени во фрижидерите, кои се наменети за одредување на нивото на влажност во делот за чување на овошје и зеленчук, одржувајќи ги свежи без константно ангажирање на дополнителни уреди и електрична енергија
- земјоделството

- во системите за автоматско наводнување
 - како составен дел од соларните сушари со SMART CONTROL опција, каде внатрешните електрични грејачи и вентилатори може да се контролираат преку апликација од било кој паметен телефон
- во метролошките станици

4 ЗАКЛУЧОК

Автоматизацијата не може да се замисли без паметните сензори. Овие сензори се потенцијално поевтини, нудат повисоки перформанси и сигурност и се многу помали по големина од нивните дискретни двојници. Тие се присутни и применети во разни апликации, вклучувајќи превоз и здравствена заштита, домаќинства, животна средина, фабрики, училишта, земјоделска индустрија и во голем дел го исполниле своето ветување.

Сигналите добиени од сензорите можат да се засилат и соодветно да се процесираат, се мултиплексираат и се подготвуваат за да бидат прифатени од микропроцесорот на сензорот. Тие исто така нудат стандарден проток на податоци за корисникот, со што прават целиот чувствителен модул да се однесува како системска периферија, а не пасивна компонента.

Предностите на паметните сензори доминираат над нивните недостатоци. Иако имплементацијата на паметните уреди, системи и апарати некогаш се покажува како значително скапа од финансиски аспект, сепак ако се разгледа долгорочниот план се добива позитивна пресметка во однос на финансиите и се разбира, енергетската ефикасност. Следејќи го таквото размислување нивната примена е сè позастапена во нашето секојдневие и човекот веќе речиси и не може да го замисли својот живот без помошта од паметните сензори.

5 БЛАГОДАРНОСТ

Би сакала да се заблагодарам на мојот ментор Доц. Д-р Маре Србиновска, за советите, материјалите и поддршката при пишување на овој труд.

6 КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] <https://www.iea.org/topics/energyefficiency/>
- [2] Gerard C.M. Meijer "Smart Sensor Systems", Delft University of Technology, the Netherlands, 2018
- [3] <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/smart-sensor>
- [4] <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/smart-grid-sensor>
- [5] https://ec.europa.eu/growth/tools-databases/dem/monitor/sites/default/files/DTM_Smart%20building%20-%20energy%20efficiency%20v1.pdf
- [6] <https://www.sensirion.com/en/sensors-for-more-energy-efficiency/>
- [7] <https://patents.google.com/patent/US8294451B2/en>

Aleksandra Gjorgjievska

Faculty of electrical engineering and information technologies, Skopje

gj.aleksandra@yahoo.com

APPLICATION OF SMART SENSORS IN ENERGY EFFICIENT ELECTRICAL DEVICES, MACHINES AND APPLIANCES

ABSTRACT

The world around us changes every day in terms of the technology that has occupied, but also facilitates our everyday life. In this modern world in which we live today, surrounded by increasingly newer electrical devices, machines and appliances, people are more and more focused on finding new ideas for greater energy saving and are searching for alternative ways to produce and smartly use the energy.

Smart sensors with their significant characteristics have a role in monitoring, recording and analyzing of the important parameters of energy, such as voltage, current, power and its factor, and enable process management, alerting and acting on the basis of measurements, as well as telemetric reading and entering data using the Internet. Every day they are more and more present and are used exactly in energy efficient devices, machines and appliances, in order to reduce consumption and save energy. The smart houses and buildings, the devices that we use daily, as well as smart cars are the current topic of today, and their functioning is based on built-in automation systems and management under given conditions - smart sensors.

The focus of this paper is put on the application of smart sensors in the management of electrical devices in our everyday life, including administrative facilities, automotive industry and even agriculture, which provides the opportunity for a significant reduction in the utilized power and an increase in energy efficiency.

Key words: *energy efficiency, smart sensors, administrative facilities, automotive industry, agriculture, energy efficient devices, machines and appliances, smart houses and buildings*



Ivan Marinov¹, Denitza Zgureva², Silviya Boycheva
Technical University of Sofia, 8 Kl. Ohridski Blvd., 1000 Sofia, Bulgaria
marinov1016@gmail.com¹ dzgureva@gmail.com²

EQUILIBRIUM ADSORPTION OF CARBON DIOXIDE ONTO ZEOLITE SORBENTS OBTAINED FROM SOLID WASTES

ABSTRACT

Currently, 85% of the energy production worldwide occurs in fossil-fueled Thermal Power Plants (TPPs) that burn coal, fuel oil and natural gas. These plants are sources of 40% of the total CO₂ emissions. Among them coal-fired TPPs have the largest contribution. That predetermines the recent intensive research and development effort for technological solutions for limiting CO₂ emissions from combustion. For the purposes of industrial applications, post-combustion CO₂ capture (PCC) based on physical adsorption has the highest potential. In the search of new solid-phase sorbents for development of PCC technologies, the zeolites are investigated as well. High porous zeolites are synthesized from coal combustion solid residue, so called fly ash (FA). Development of a technology for FA conversion into zeolites with subsequent application for CO₂ adsorption would provide solution for the two major issues standing before contemporary coal-fired TPPs: CO₂ capture and FA disposal.

In this study, the equilibrium adsorption in CO₂-fly ash zeolite (FAZ) system is investigated. Zeolites were synthesized from lignite coal FA by three different laboratory techniques: hydrothermal activation, double-stage fusion-hydrothermal synthesis and self-crystallization. Coal-derived zeolites were studied with respect to their specific surface and porosity by model studies of their nitrogen adsorption/desorption isotherms at cryogenic temperatures. The measurements were performed using a volumetric adsorption analyser Tristar II 3020, Micromeritics. Samples were preliminary degassed at 260 °C for 4 h under helium flow in FlowPrep 60, Micromeritics.

The adsorption of CO₂ was measured in 25 experimental points in the relative pressure range $p/p_0=0.001-0.03$, where p_0 is the CO₂ saturated pressure (3485.6769 kPa at the temperature of analyses at 0 °C). The experimental isotherms were mathematically analysed for reliable fitting to the existed adsorption models.

Keywords: greenhouse gases, carbon capture technologies, adsorption, fly ash zeolites

1 INTRODUCTION

The atmosphere allows most of the visible light from the Sun to pass through and reach Earth's surface, which is thereafter radiated back to space as infrared radiation. This radiation, unlike visible light, tends to be absorbed by trace gases in the atmosphere with certain chemical properties - the so-called 'greenhouse gases', mainly carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄), and nitrous oxide (N₂O). The greenhouse gases emit the same amount of radiation they absorb and this radiation is emitted equally in all directions which leads to raising the temperature of the Earth's surface and lower atmosphere.

Among all greenhouse gases, CO₂ is emitted in the highest quantity and has the highest contribution to the greenhouse effect [1]. Currently ~85% of the global energy production takes place in fossil-fuel Thermal Power Plants (TPPs) that burn coal, fuel oil, and natural gas. Those fuels are responsible for ~40% of the total CO₂ emissions, as the coal-fired power plants have the largest contribution [2,3]. That has recently driven an intensive development of technological solutions for limiting CO₂ emissions exhausted from combustion into the atmosphere. Different approaches are

considered for CO₂ mitigation, such as: improvement of energy efficiency of power plants, increase of the yield of low-carbon fuels, deployment of renewable energy sources, solar, wind, hydro-, bio- and geo-energy, production of hydrogen fuels, development of new generation Nuclear Power Plants, and implementation of CO₂ capture, utilization and storage (CCUS) technologies to power plants.

Therefore, carbon capture and utilization (CCUS) technologies are of great interest of both industry and science. CCUS technologies consist of the following process consequence:

- Capturing of CO₂ from flue gases;
- Release of pure concentrated CO₂ flow;
- Compression of CO₂ below the triple point to liquefaction (95 % of purity, 110 bar)
- Transporting of CO₂ via pipeline systems or other transportation manners;
- Utilization of CO₂ for production of chemicals, enhanced oil recovery, production of biodiesel, etc.
- Storage of CO₂ underground in geological rock formations or in deep saline aquifers.

The three main directions for technological development of CCUS technologies are oxy-fuel combustion, pre-combustion capture and post-combustion capture.

Oxy-fuel combustion is the process of burning fuels using pure O₂ (a product from a cryogenic air separation) instead of air as the primary oxidant. As a result, N₂ and NO_x are eliminated from the flue gas emitted in the atmosphere.

Pre-combustion capture involves conversion of solid fuel into gaseous fuel, so called “syngas”, by applying heat under pressure in the presence of steam, oxygen or mixture of steam and oxygen. The syngas is consequently used to fuel a gas turbine generator to produce electricity. An overview of the technological possibilities for CO₂ capture is illustrated in Figure 1.

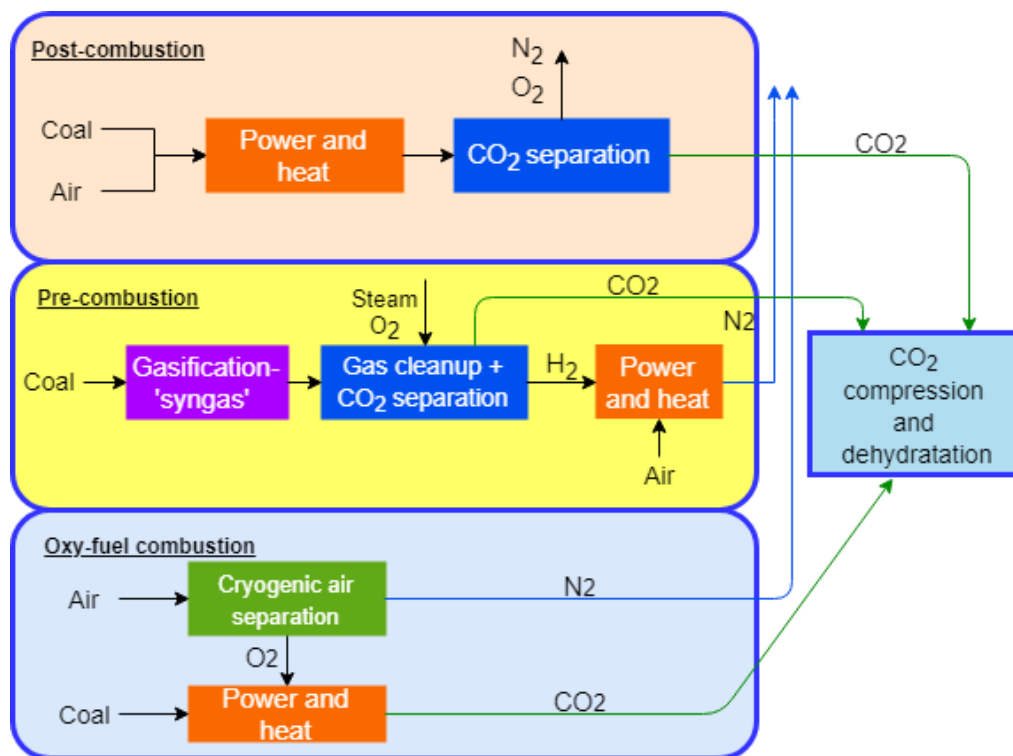


Figure 1 . Technical options for CO₂ capture from coal-power plants

The two technologies require construction of novel types of combustion plants, while in the already existing TPPs only post-combustion CO₂ capture technologies (PCC) are applicable.

PCC is based on CO₂ separation from the flue gases by selective capture with physical or chemical sorption. Nowadays, amine solutions are mostly used for achieving CO₂ capture in technological scales. The main disadvantages of this method are the high temperature of thermal CO₂ desorption and absorbent recovery (above 120 °C) for the monoethanolamine (MEA) and the ecological divergence of

the reagents. As an alternative to that technology comes the development of solid sorbents with highly expanded surface which are able to regenerate by releasing the adsorbed CO₂ with less energy consumption and represents an environmentally friendly approach.

Zeolites are a large group of aluminosilicate natural or synthetic minerals which are characterized with unique porous structure that determines their good potential for adsorption and desorption. The holes in the structural network for different zeolite types differ in shapes and sizes allowing them to separate selectively gaseous mixtures acting as molecular sieves.

In order to study zeolites' properties, we should be able to understand the differences between adsorption and absorption phenomena. Adsorption takes place on the surface of a solid as physisorption – when there are Van der Waals interactions involved between solid surface and adsorbate's molecules (gases or liquids), and as chemisorption – when the physical process is followed by a chemical interaction. The opposite process of liberation of the solid surface is desorption. The desorption can be stipulated by increased temperature (Temperature Swing Adsorption, TSA) or by lowering the adsorption pressure (Pressure Swing Adsorption (PSA) or Vacuum Swing Adsorption (VSA)). As a rule, the desorption process is more energy effective when physical sorption performs.

The purpose of our research is to investigate zeolites synthesized from fly ash (FA) with high porosity and good surface characteristics in terms of their equilibrium CO₂ adsorption capacity. The development of technology for CO₂ capture by coal fly ash zeolites (FAZ) will contribute for finding decisions of two main ecological problems of significant importance for coal supplied TPPs – utilization of solid residues and implementation of low-carbon process.

2. EXPERIMENTAL PROCEDURE

The zeolite samples in our research are synthesized from coal fly ash from TPP “AES Galabovo” which is one of the biggest combustion installations in Bulgaria supplied by domestic lignite coals from “Maritza-East” basin. The coal ash derived zeolites were preliminary prepared by alkaline activation under different experimental conditions summarized in Table 1. Three laboratory approaches were applied for conversion of fly ash into zeolites: hydrothermal activation (H-samples), double-stage fusion-hydrothermal activation (FH-samples) and atmospheric aging (AS-samples).

Table 1. Synthesis condition of FAZ

Sample	Composition of the reaction mixture in 100 ml distilled water	Ultrasound homogenisation, min	T _s *, °C	τ _s *	T _f *, °C	τ _f *
H1	5g FA + 10 g NaOH +5 g NaCl	15	90	4h	N/A	N/A
H2	5g FA + 10 g NaOH	24	90	4h	N/A	N/A
FH1	5g FA + 10 g NaOH	48	90	4h	550	1h
FH2	5g FA + 10 g NaOH + 5g Na ₂ CO ₃	48	90	4h	550	1h
FH3	5g FA + 10 g NaOH	15	90	4h	550	1h
AS1	6g FA + 10 g NaOH	N/A	~ 20	330 days	N/A	N/A
* T _s – synthesis temperature; τ _s - synthesis duration; T _f -fusion temperature; τ _f – fusion duration;						

Surface studies and CO₂ adsorption tests were performed using surface and volumetric adsorption analyzer Tristar II 3020, Micromeritics. The adsorption and desorption processes are studied through evaluating of equilibrium state of the system gas-solid and obtaining of experimental isotherms as the sequence of the process shown in Figure 2.

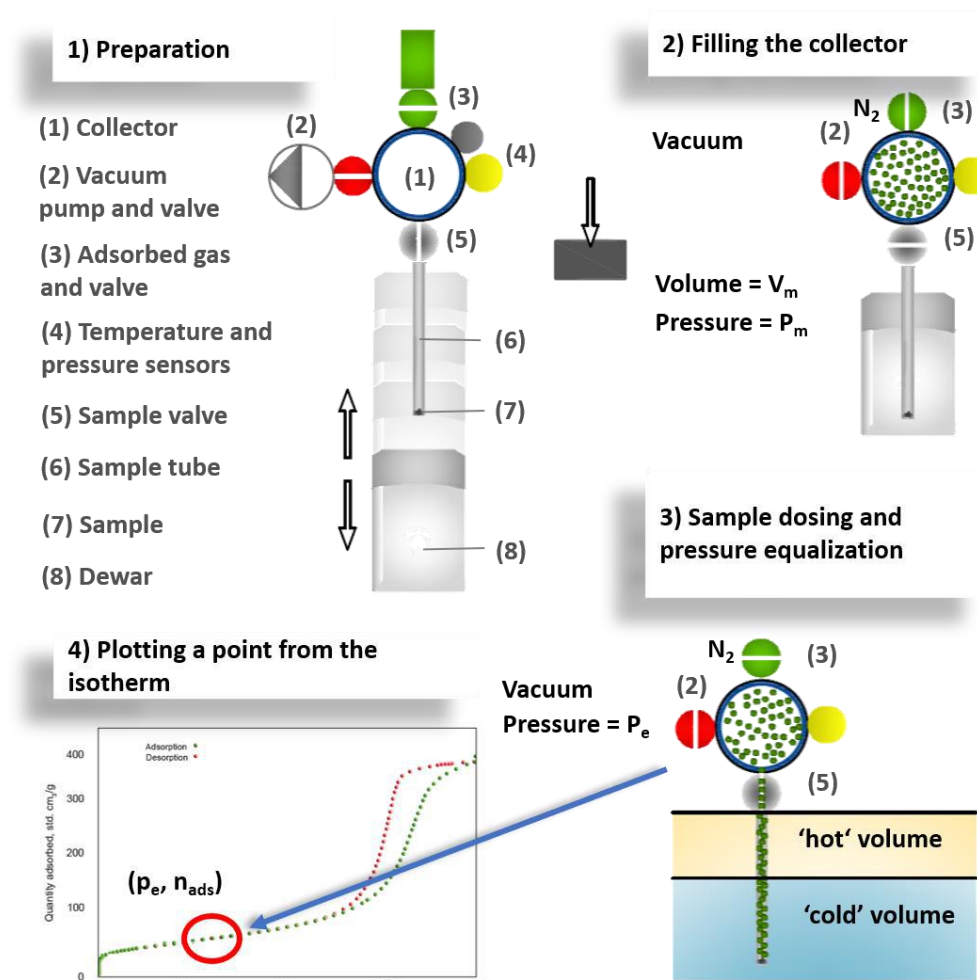


Figure 2. Sequence of experimental work for obtaining isotherms with the Surface Area and Porosity System Micromeritics' TriStar II 3020

Surface studies of FAZ were performed measuring experimentally the adsorption/desorption isotherms with working gases N₂ and carrying gas He of analytical purity (5N) at cryogenic temperature of 77 K ensured by liquid nitrogen. The measuring consequence is illustrated in Figure 3. The investigated zeolite samples are filled in special tubes, where they are degassed in a set-up FlowPrep 60, Micromeritics at 260 °C for 4 h under He flow from hygroscopic moisture and atmospheric gases. The samples are weighed with analytical scales (± 0.0002 g) before and after degassing, and thereafter are loaded into TriStar II 3020 and evacuated to 0.133 Pa. The adsorption and desorption experiments were performed at 92 points in the range of $p/p_0 = 0.0002$ -0.996 where the $p_0 \approx 94.9$ kPa is the N₂ saturated pressure at 77 K. The p_0 was measured in the specialized tube equipped with pressure sensor for every experimental point from the isotherm.

BET specific surface areas (S_{BET} , m²/g) were evaluated applying the multi-point Brunauer–Emmett–Teller (BET) model for description of the experimental nitrogen adsorption data in the range of relative pressures p/p_0 corresponding to formation of monolayer. Mesopore distribution for the investigated FAZ was studied from the desorption branch of the isotherms by the Barrett-Joyner-Halenda (BJH) model.

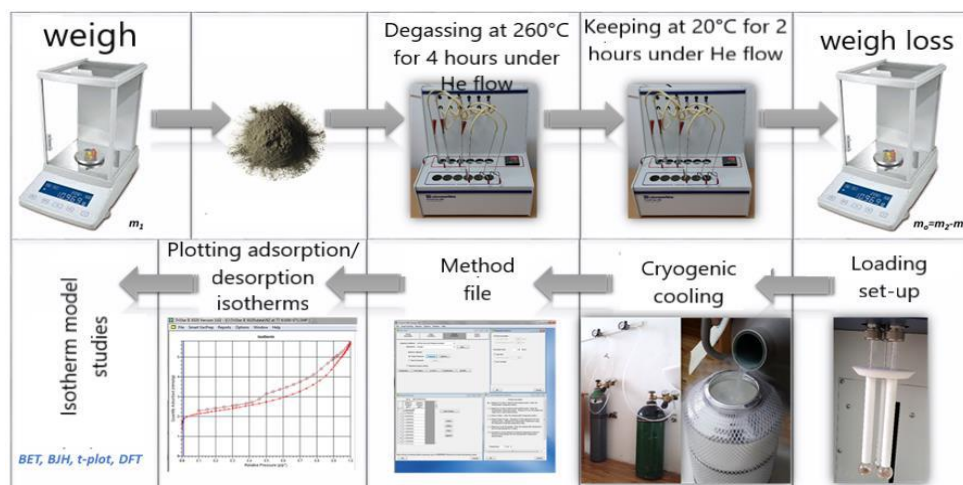


Figure 3. Laboratory consequence of the surface studies of coal ash zeolites.

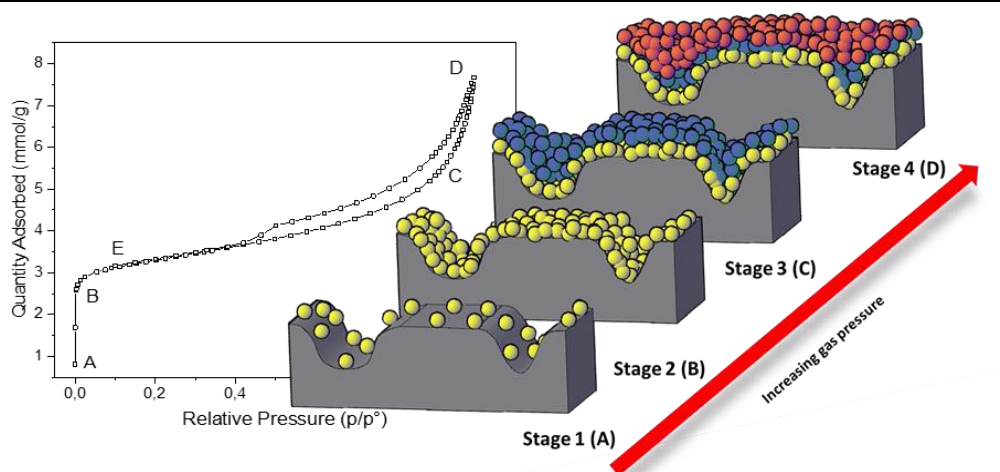
For CO₂ adsorption tests, gaseous CO₂ of precisely regulated pressures was carried out through laboratory tubes loaded with synthesized coal ash zeolites. The adopted quantity CO₂ was measured against the established equilibrium pressure. The synthetic zeolites are characterized by the experimental adsorption isotherms in equilibrium conditions as a function of the working gas relative pressure p/p_0 , where p_0 is the CO₂ saturated pressure. The isotherms are plotted by measurements in sets of 25 experimental points using the analyzer TriStar II 3020, Micromeritics. The experiments were performed with CO₂ gas of analytical purity (3N) at a constant temperature of 0°C in the relative pressure range $p/p_0 = 0.001-0.03$ ($p_0 = 3485.6769$ kPa at 0 °C)

3. RESULTS AND DISCUSSIONS

N₂-adsorption/desorption isotherms

N₂-adsorption/desorption isotherms represent the function between the amount of the adsorbed gas (mmol) by unit mass of solid (g) and the relative pressure p/p_0 , which is the ratio between the equilibrium pressure (p) and the saturation pressure (p_0) at $T = 77$ K. Typical adsorption/desorption isotherm of FAZ is presented in Figure 4 compared to standard stages of gas adsorption onto solid surface. With increase in pressure of the working gas the adsorption stages are registered on the graph. In point A is the beginning of the process of adsorption, while area A-B corresponds to the formation of molecular monolayer on the solid surface. As it can be registered on the graph, this occurs at low relative pressure $p/p_0 = 0.1$, which proves the fast kinetics of the physical process. Linear area B-C corresponds to multilayer adsorption up to the inflex point C, which puts the beginning of capillary condensation (C-D). Indication for capillary condensation is the hysteresis area (B-C-D-E) formed by the adsorption and desorption (D-E) isotherms.

The experimental isotherms of the all investigated FAZ are plotted in Figure 5. FAZ exhibit isotherms very close to type IV according to the IUPAC classification (1985) [4]. This shape of isotherms describes typical adsorption/desorption behavior of solid materials with a mixed micro- and mesopore structure. The presence of mesopores facilitates the gas adsorption/desorption phenomena for these type of materials. The obtained isotherms have similar behavior in the low p/p_0 range (0.00-0.15) as the intensive adsorption is related to the micropores filling. The highest yield of micropores is expected for the sample H1 obtained by hydrothermal activation because of the strongest adsorption in the monolayer region. In the middle pressure region up to $p/p_0 = 0.75$ the adsorption at all samples increases continuously. The adsorption/desorption isotherms describe hysteresis loops which is attributed to the presence of mesopores in the structures. At the high relative pressures, intensive and fast adsorption is observed due to the presence of macropores and high intercrystalline space. It is strongly expressed at sample FH1 obtained by double stage fusion-hydrothermal synthesis. Less share of macropores is expected at the sample AS1 obtained under atmospheric aging of the reaction mixture.



Stage 1

Isolated sites on the sample surface begin to adsorb gas molecules at low pressure.

Stage 2

As gas pressure increases, coverage of adsorbed molecules increases to form a monolayer (one molecule thick).

Stage 3

Further increasing gas pressure will cause the beginning of multi-layer coverage. Smaller pores in the sample will fill first. BET equation is used to calculate the surface area.

Stage 4

A further increase in the gas pressure will cause complete coverage of the sample and fill all the pores. The BJH calculation can be used to determine pore diameter, volume and distribution

Figure 4. Typical adsorption/desorption isotherm of FAZ, stages of processes and applicability of standardized models

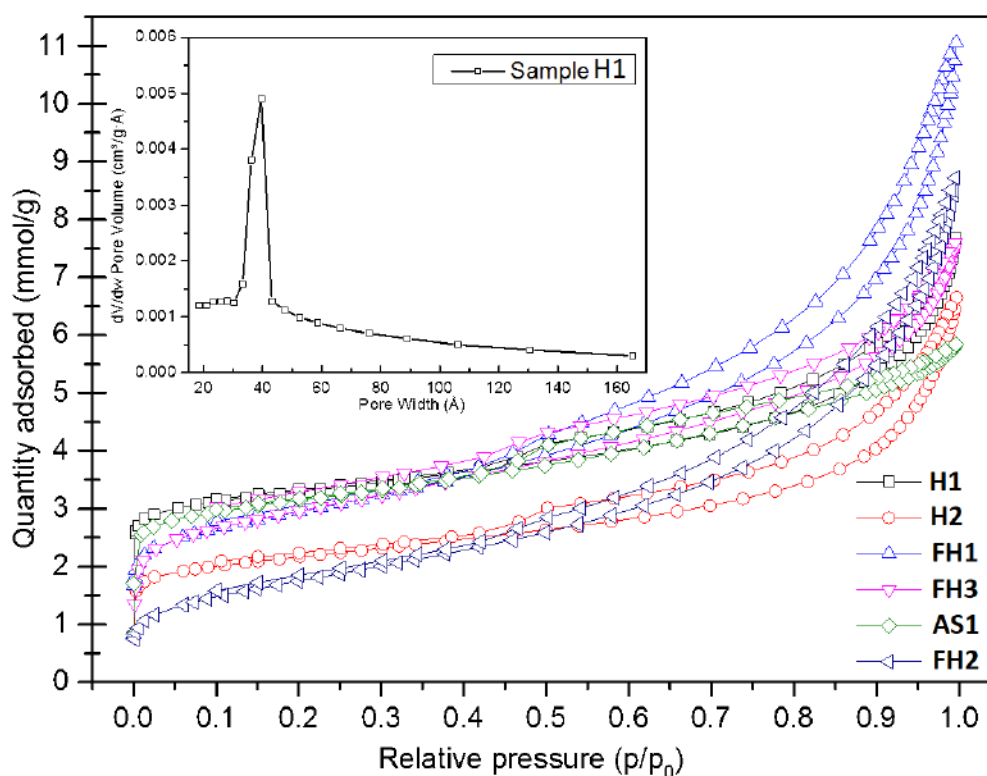


Figure 5. Adsorption/desorption isotherms of studied samples and BJH plot of H1

The calculated surface characteristics and porosity of FAZ by the experimental data are listed in Table 2. The BET model was applied in the pressure region $p/p_0=0.00-0.15$ for all samples as the calculations were performed in 5 experimental points. The BJH model was applied to the isotherms' desorption branches for evaluation the pore size distribution. BJH plot represents the distribution and the share of pores with defined width. BJH distribution for the sample H1 is shown in Figure 5. The biggest share in the free volume of the structural network of FAZ H1 possess pores with 39.5 Å in size.

Table 2. Surface characteristics and porosity of the synthesized FAZ

Sample	H1	H2	FH1	FH2	FH3	AS1
$S_{\text{BET}}, \text{m}^2/\text{g}$	279,96	178,47	237,58	143,06	238,63	261,04
$S_{\text{micro}}, \text{m}^2/\text{g}$	192,8	97,18	88,48	3,79	88,78	162,04
$S_{\text{external}}, \text{m}^2/\text{g}$	87,15	81,3	149,1	139,27	149,86	99,04
$V_{\text{total}}, \text{cm}^3/\text{g}$	0,2103	0,1662	0,2794	0,2163	0,2002	0,1908
$V_{\text{micro}}, \text{cm}^3/\text{g}$	0,0764	0,0398	0,0375	0	0,0373	0,0659
$V_{\text{meso}}, \text{cm}^3/\text{g}$	0,1339	0,1264	0,2419	0,2163	0,1629	0,1249
$d_{\text{micro}}, \text{\AA}$	13,812	13,29	12,56	9,885	12,098	13,65
$d_{\text{meso}}, \text{\AA}$	49,975	51,613	53,37	53,685	42,186	41,77

CO₂-adsorption isotherms

The adsorption isotherms of all samples are plotted in Figure 6. The obtained isotherms are typical for the CO₂ adsorption onto solids with mixed porosity [5]. The adsorption increases along with the pressure as the micropore filling is established at low p/p_0 . The isotherm of sample FH3 has a different behavior with continuous adsorption at low pressures due to the stronger pore size distribution established through N₂ adsorption analysis. In the investigated pressure region the adsorption of CO₂ continuously increases as the isotherms do not reach region with flat shape. In the studied pressure range the maximal adsorption capacity is not achieved for all samples.

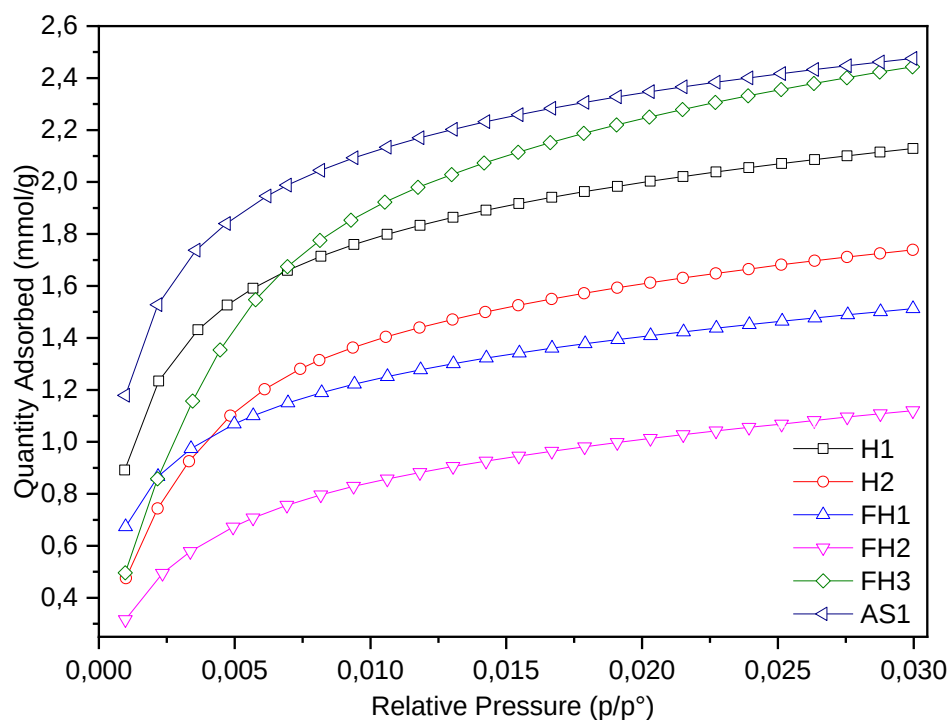


Figure 6. Experimental isotherms of CO₂ adsorption

As the pressure of the flue gas emitted by the smokestacks is equal to the atmospheric, the equilibrium adsorption capacity C_{ads} of the synthesized zeolites at a pressure of 100 kPa is given in Table 3. The highest adsorption at 100 kPa is achieved for the FAZ with bigger yield of micropores, while at high pressures the stronger adsorption capacity probably will be observed at FAZ samples possessing more meso- and macropores which could be predicted by computational models describing the equilibrium processes with enough accuracy. It was found that the obtained experimental adsorption isotherms of the investigated FAZ are in good agreement with the Langmuir model, described by the following equation:

$$\frac{V}{V_0} = \frac{bP}{bP+1} \quad (1)$$

Where V_0 , mmol/g and b , kPa^{-1} are adjustable parameters. These parameters are fitted to the experimental data by mathematical iteration to $R^2=0.9998$. The estimated parameters of the Langmuir model are listed in Table 3.

Table 3. Adsorption capacity at 100kPa and Langmuir model parameters of CO₂ adsorption onto FAZ

Sample	H1	H2	FH1	FH2	FH3	AS1
C_{ads} , mmol/gFAZ	2.115	1.725	1.501	1.108	2.423	2.462
C_{ads} , mg/gFAZ	93.069	75.918	66.044	48.752	106.612	108.328
V_0 (mmol/g)	2.1419	1.8462	1.5028	1.1492	2.7459	2.4825
b (kPa^{-1})	0.1568	0.0888	0.1525	0.0857	0.0630	0.1847

4. CONCLUSION

Coal ash-derived zeolites prepared by different synthesis procedures were characterized with respect to their specific surface area values and pore size distribution by model studies of their experimental isotherms. It was found that all studied fly ash zeolites are characterized with mixed micro-mesopore structure but they differ each other in their pore size distribution functions. The equilibrium adsorption studies of CO₂ onto FAZ in the pressure range up to 0.03 p/p₀ reveal the highest adsorption potential for the sample prepared by atmospheric aging obeyed by its biggest share of micropores. The experimental isotherms in CO₂-FAZ system are in good accordance with the Langmuir's computational model. The investigated FAZ reveal significant adsorption capacity towards CO₂ even at low pressures which make them promising adsorbents for carbon capture technologies.

5. ACKNOWLEDGEMENTS

The research is funded by National Science Fund, Ministry of Education and Science of Republic of Bulgaria under the contract DM 17/6 (20.12.2017).

6. REFERENCES

- [1] IPCC. Policymaker's summary of the scientific assessment of climate change; report to IPCC from working group. Meteorological Office: Branknell, United Kingdom; 1990. www.ipcc.ch/activity/srccs
- [2] Yang H., Xu Z., Fan M., Gupta R., Slimane R., Bland A. et al., Progress in carbon dioxide separation and capture: a review, *Journal of Environmental Sciences* 20: 14-27, 2008.
- [3] Robert Rapier, Renewable Gains Offset Coal's Decline In 2016, 2017.
- [4] Marc Donohue, G.L. Aranovich, Classification of Gibbs adsorption isotherms, *Advances in Colloid and Interface Science* 76:137-152, 1998.
- [5] Zgureva D., Carbon dioxide adsorption studies on fly ash zeolites, *Coal Combustion and Gasification Products* 8: 54-59, 2016.



Marija Rizova

Faculty of Electrical Engineering and IT, Skopje

rizovamarija96@yahoo.com

MEASURES, METHODS AND NEW TECHNOLOGIES FOR THE REDUCTION OF ENVIRONMENTAL POLLUTION

ABSTRACT

Exposure to environmental pollution is a major worldwide problem that involves huge risks of detrimental consequences to health, and causes more than 7 million premature deaths each year. Risks usually are higher in developing countries and key factors contributing to higher levels of pollution are poverty, lack of investment in modern technology and weak environmental legislation. New and innovative ways pave the way to alleviating the problem. This paper will focus on cutting-edge technologies and innovative projects that can help fight air pollution on a big scale and is an attempt to address the current state of air quality in the Republic of Macedonia. The following solutions will be examined: vertical carbon-dioxide-absorbing and oxygen-producing forests, air-purifying towers of almost 8-km radius, pollution and among vacuum cleaners pulling in and filtering air contaminants.

Keywords: *air quality, measures, methods, technologies, pollution*

INTRODUCTION

The current state of the environment due to man-made pollution is alarming. It is a sad truth that all life on our planet, animals and plants, are struggling to survive due to the negligence and carelessness of our civilisation. The wrenching photos we come across on a daily basis of starving polar bears on cracking ice-bergs, poised fish and turtles, stranded whales, and some many more are in fact a reality that reflects our society. Living habitats of many animals are being destroyed at an accelerated rate and animals are simply dying out: the world pollution statistics are staggering! The Living Planet Index in 2016 showed that vertebrate populations are set to decline by 67% on 1970 levels by 2020, which means that in less than two years, we are going to lose more than two thirds of the vertebrate animal population unless we take serious and urgent measures. Rivers and lakes are the hardest hit habitats, with animals' populations down by 81% since 1970, due to excessive water extraction, pollution and dam construction. Exposure to environmental pollution is a major source of health risk throughout the world too. Around 7 million premature deaths each year can be attributed to environmental pollution. Risks usually are higher in developing countries, where poverty, lack of investment in modern technology and weak environmental legislation combine to cause high pollution levels.

To be able to better understand the causes and consequences of pollution, we are going to clearly define it and identify its manifestations. Environmental pollution is defined by Science Direct as “the contamination of the physical and biological components of the earth/atmosphere system to such an extent that normal environmental processes are adversely affected.” Pollutants can be naturally occurring substances or energies, but they are considered contaminants when they are in excess

of their natural levels. Any use of natural resources at a rate higher than nature's capacity to restore them may result in pollution of air, water and land.

Due to its complexities and vast implications of addressing all aspects of environmental pollution, this paper will focus on air pollution and, in particular, the methods, measures and technologies thanks to which air pollution may be reduced. The paper takes in consideration the current state of air quality in the Republic of Macedonia in an attempt to stir up ideas to contribute to finding a long-term solution to a problem that results in an estimated 300 deaths per annum, directly impacted by bad air quality nationwide. Lastly, we are going to consider measure as a course of action taken to achieve the reduction of air pollution, and methods as processes by which air pollution reduction is completed.

This paper is divided in three parts, where part one discusses measures taken globally, measures taken in Macedonia and new feasible measures that may and should be taken in Macedonia. Part two compares world methods of air reduction to the ones in Macedonia and potential implementations. Finally, part three covers how technologies around the world alleviated and in some cases annihilated air pollution and their applications in Macedonia.

2.1 Global Measures

Air pollution affects all regions of the world but low-income populations in cities are the most impacted. According to the latest air quality database, 97% of cities with more than 100,000 inhabitants in low-income and middle income countries, as defined by the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), do not meet World Health Organization (WHO) air quality guidelines. However, in high-income countries, this percentage decreases to 49%. Macedonia in fact, as of 2018, is the most polluted country in Europe according to the WHO.

Before covering measures, methods and technologies to fight air pollution, let us examine how we measure the air quality. The Air Quality Index (AQI) cumulative level is based on the level of six atmospheric pollutants, namely, sulfur dioxide (SO₂), nitrogen dioxide (NO₂), suspended particulates smaller than 10 µm in aerodynamic diameter (PM₁₀), suspended particulates smaller than 2.5 µm in aerodynamic diameter (PM_{2.5}), carbon monoxide (CO), and ozone (O₃).

Air Quality Index Levels of Health Concern	Numerical Value	Meaning
Good	0 to 50	Air quality is considered satisfactory, and air pollution poses little or no risk.
Moderate	51 to 100	Air quality is acceptable; however, for some pollutants there may be a moderate health concern for a very small number of people who are unusually sensitive to air pollution.
Unhealthy for Sensitive Groups	101 to 150	Members of sensitive groups may experience health effects. The general public is not likely to be affected.
Unhealthy	151 to 200	Everyone may begin to experience health effects; members of sensitive groups may experience more serious health effects.
Very Unhealthy	201 to 300	Health warnings of emergency conditions. The entire population is more likely to be affected.
Hazardous	301 to 500	Health alert: everyone may experience more serious health effects.

Figure 1: Air Quality Scale

Skopje, the capital, has the highest concentration of harmful fine particulate matter (PM) 2.5 in the air (40 micrograms per cubic meter which is four times the recommended levels). These PM 2.5 include a variety of components such as nitrates, sulfates, metals, dust and black carbon, and pose a big risk to health. Because they are small, they penetrate the lungs and are known to cause heart, lung and other diseases. Currently information about the quantity of PM 2.5 in the air is provided just by a few air quality monitoring stations in Skopje, Kumanovo, Tetovo and Bitola.

2.2 Local Measures



2.3 Local Potential Measures

3.1 Global Efforts to Fight Air Pollution

Other cities considering diesel bans are Dublin, Ireland and Brussels, Belgium. A very radical aspirrtion has been brought up by politicians in the Netherlands who want to ban the sale of all petrol and diesel cars from 2025, allowing only electric or hydrogen vehicles. Nevertheless, The proposed new law would allow anyone who already owns a petrol or diesel car to continue using it.

Most cities around the world encourage bicycle use in addition to a well developed public transport system. Freiburg in Germany has a 500 km bike route, tramways, and a cheap and efficient public transport system. One suburb, Vauban, forbids people to park near their homes and makes car-owners pay 18,000 € for a parking spot on the edge of town. In return for living without a car, people are offered cheaper housing, free public transport, and plenty of bicycle spaces.

Copenhagen prioritizes bikes over cars and now has more cycles than people. The city calculates that roughly one and a half kilometer on a bike is a \$0.42 [27p] benefit to society, while the same distance in a car is actually a \$0.20 [15p] loss to society. Large parts of the Danish capital have been closed to vehicles for decades and the city plans to become carbon neutral by 2025. Oslo, Norway plans to halve its climate emissions by 2020 and proposes a large no-car zone. Moreover, they plan to build a 65 km new bike lane, steep congestion charges, a rush-hour fee for motorists, and a removal of many parking spaces.

The Finnish capital, Helsinki, plans to drastically reduce the number of cars on its streets by investing heavily on better public transport, imposing higher parking fees, encouraging walking and biking, and converting inner city ring roads into residential and walking areas. The idea is to make the city's public transport so efficient and affordable that no one will want to use a car by 2050.

3.2 New Technologies to Reduce Air Pollution

As laid out above air pollution poses a serious risk worldwide. Nonetheless, the future is looking bright technologically. With cutting-edge technologies, government initiatives, and innovative projects, we could finally put an end to air pollution, once and for all, on a sustainable level. Here are some of the projects that can make a big impact.

CityTree

CityTree' by Green City Solutions is a 4 meter-high, 3 meter-wide and 0.6 meter-deep freestanding, air-purifying unit. It combines specific moss cultures with vascular plants that eat particulate matter (PM), nitrogen dioxide and ozone offsetting 240 tons of Carbon dioxide equivalents per year in total. The plant filter can be adapted to any environment. The construction contains sensors collecting environmental and climatic data, to regulate and control the unit and ensure that the plants survive. Thus, the CityTree has the same effect as up to 275 urban trees, but requires 99% less space and 5% of the cost. Thanks to solar panels and rain water retention systems, the unit requires only a few hours of maintenance per year.

The Nanjing Vertical Forest: Growing An Urban Forest to Clean the Air

Due to the heavy industry that takes place all across China, people there are suffering from some of the world's worst levels of air pollution. China has proposed and implemented numerous pollution-busting initiatives in the past few years in an effort to improve air quality. One such project is the Nanjing Vertical Forest in the Jiangsu province. It's been estimated that the forest will be able to absorb 25 tons of carbon dioxide, and release enough oxygen to make the air 3,000 times healthier than its current state. Nanjing Vertical Forest project is the third prototype of a Urban Forestry project after Milan and Lausanne.

Fuel from Pollutants: Creating Hydrogen Fuel from Air Pollution

Researchers from the University of Antwerp and The Katholieke Universiteit Leuven have succeeded in developing a process that purifies air and, at the same time, generates power. The invention needs to be only exposed to light in order to function. They use a small device with two chambers separated by a membrane. The air is purified on one side, while on the other side hydrogen gas is produced from a part of the degradation products. This hydrogen gas can be stored and used later as fuel, as is already being done in some De Lijn hydrogen buses. This invention responds to two major social needs: clean air and alternative energy production. The heart of the solution lies at the membrane level, where the researchers use specific nanomaterials. Catalysts are capable of producing hydrogen gas and breaking down air pollution. In the past, these cells were mostly used to extract hydrogen from water. We have now discovered that it is also possible, and even more efficient, with

polluted air. The researchers' goal is to be able to use sunlight as the processes underlying the technology are similar to those found in solar panels.

Pollution Vacuum Cleaners: Sucking Up Air's Contaminants

Evinity Group, a Dutch collective of inventors, in 2016 debuted an enormous, industrial vacuum that can remove airborne contaminants. This giant outdoor air vacuum cleaner is a large purifying system intended to filter out toxic tiny particles from the atmosphere surrounding the machine. It is a large industrial filter about eight meters long, made of steel, placed on top of buildings and it works like a big vacuum cleaner. The system is said to be able to suck in air from a 300-meter radius - and from up to seven kilometres upwards. It can treat some 80,000 cubic metres of air in an hour, filtering out 100 percent of fine particles and 95 percent of ultra-fine particles.

CONCLUSION

Although the benefits of reducing environmental pollution are becoming clearer, the path from evidence to action is not straightforward. Removing pollutants entirely has proven difficult, costly or simply impossible and especially in Macedonia. In some ways, the government's measures are in the right direction, but they need to be expanded as well as new ones introduced. Authorities should invest in greener public transportation and construct gardens, where not only can citizens relax and be reconnected with nature, but also air can be purified. Nevertheless, moving toward a cleaner and healthier environment also necessitates people's behavioral changes. Unless every individual contributes their maximum, we may not expect the problem to be solved. The more people do their part, the sooner we may create a truly healthier and more sustainable environment..

1 REFERENCES

- Zhongchao Tan, „*Air Pollution and Greenhouse Gases: From Basic Concepts to Engineering Applications for Air Emission Control*“, Springer 2014
<http://aqicn.org>, Retrieved: 30.11.2019
Vijay P. Singh , Shalini Yadav, Ram Narayan Yadava „*Energy and Environment Select Proceedings of ICWEES-2016*“, Springer 2016
Andrew Farmer „*Managing environmental pollution*“ Routledge 1997



Simona Miteva¹, Denitza Zgureva², Silviya Boycheva
Technical University of Sofia, 8 Kl. Ohridsky Blvd., 1000 Sofia, Bulgaria
miteva.simona97@gmail.com¹ dzgureva@gmail.com²

***ULTRASOUND – ASSISTED SYNTHESIS OF ZEOLITE NA-X FROM COAL
ASH FOR APPLICATIONS IN ENVIRONMENT PROTECTION
TECHNOLOGIES***

ABSTRACT

Coal supplied Thermal Power Plants release enormous amounts of ash residues generated by the thermal partitioning of the noncombustible minerals in the solid fuels. The disposal of coal ash into landfills creates severe ecological risks causing souring, salting and worsen fertility of the soils, and their contamination with heavy metals and radionuclides polluting further underground waters by infiltration. A modern concept for sustainable environmental protection is the by-products to be considered as second raw materials thus saving the natural resources and reducing the wastes. In this context, coal ash is reused by its conversion into zeolites via alkaline treatment due to the similarities in the chemical composition of both. Zeolites are highly valuable minerals applied in purification of gases and waters obeyed by their unique porous structure with exchangeable cations.

In this study, zeolite of Na-X (FAU) type was synthesized by hydrothermal activation at moderate temperatures of mixtures of lignite coal fly ash (FA) from the biggest energy complex in Bulgaria “Maritza East”, and alkaline activator with or without preliminary fusion treatment. The rate-limiting stage in the zeolite synthesis is the alkaline dissolution of the aluminosilicate constituents of FA prior to the hydrogel formation. Here, ultrasound-assisted activation was performed for acceleration of the dissolution replacing successfully the usually applied continuous magnetic stirring. The zeolite type was proven by X-ray diffraction (XRD) and Scanning electron microscopy (SEM) studies. The obtained fly ash zeolites were studied with respect to their specific surface in view of further potential application as adsorbents, catalysts, ion-exchangers and sensor materials.

Keywords: Lignite coal; Fly ash; Ultrasound-assisted synthesis; Coal ash zeolites

1 INTRODUCTION

Fossil fuels (coal, oil, gas) possess biggest share in the global energy production. However, coal combustion in Thermal Power Plants (TPPs) causes negative impacts being the dominant source of air pollutants, such as acidic and greenhouse gases, and fine particles called fly ash (FA). The discharge of FA into the atmosphere is overcome by its separation from flue gas flows in dust collector systems. Approximately 80–85% of the non-combustible minerals in the fuels is carried out of the furnace by the exhaust gases, and is subsequently extracted by mechanical or electrostatic precipitators. The remaining 15–20% condenses on the boiler tubes and subsequently falls to the bottom of the furnace where it sinters to form furnace bottom ash. Afterwards, the disposal of FA into landfills causes secondary environmental pollution because of the variety harmful constituents of these residues [1].

The main chemical components of FA are SiO₂ and Al₂O₃, because of which it is considered as aluminosilicate material but also significant amounts of Fe₂O₃ and CaO can be included. Additionally, secondary components, such as MgO, Na₂O, K₂O, SO₃, P₂O₅, TiO₂ and unburnt coal (losses on ignition) are present in FA accompanied by big variety of trace elements [2].

Ash residues are generated by the thermal modification of the noncombustible minerals in coal. There are various transformations (fragmentation, devolatilization, evaporation and condensation, coalescence) of mineral matter that may occur during the coal combustion forming fly ash particles – Fig. 1 [3].

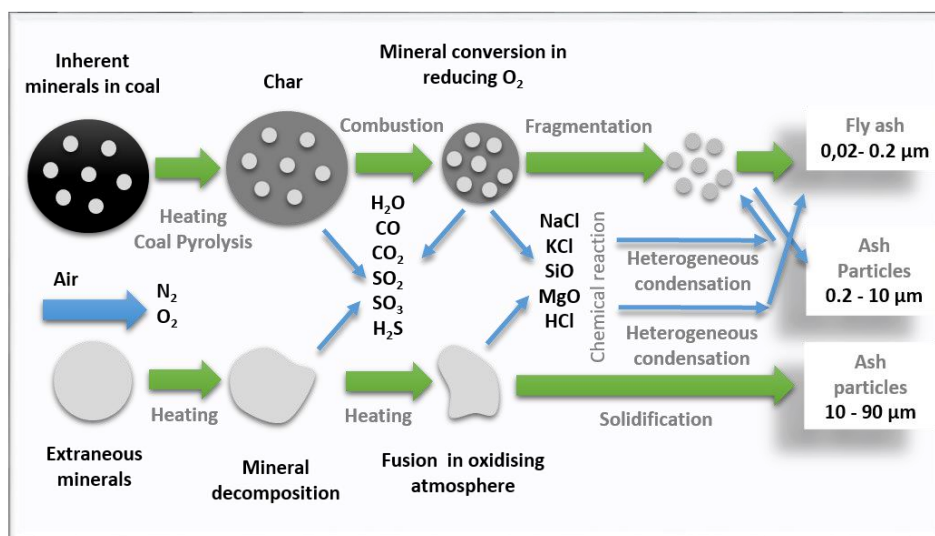


Figure 1. Mechanisms of fly ash formation during combustion of coal

Coal supplied TPPs are major source of power generation also in Bulgaria, where 40% of the total power is produced from coal. In Bulgaria, the lignite coal production in the last years amounts to 29 million tonnes, where the biggest energy complex “Maritsa East” derives 94.8 % of it.

The development and implementation of clean coal technologies are of the main importance in national and global scales for reliable and long-term environment protection on the one side, and for sustainable energy supply, from the other. The ecological compatible technologies are aimed at preservation of the current state of the natural environment or reversing its degradation, but also at conserving the natural resources. In this context, an important issue is the consideration of the by-products as second raw materials thus saving the natural resources and reducing the wastes.

Due to its aluminosilicate chemical composition FA from coal can be reused converting it into zeolites by simple alkaline treatment procedures.

Zeolites are natural or artificial aluminosilicate minerals with three dimensional framework built of $\text{SiO}_{4/2}$ and $\text{AlO}_{4/2}$ tetrahedra linked by shared oxygens. Their unique structure is obeyed by broad surface and open pores uniformly spread throughout the crystal providing their high practical use as absorbents, catalyst, molecule sieves, ion-exchangers, etc. [4]. The negative charge at alumina tetrahedra is balanced by exchangeable metal cations giving them properties of ion-exchangers. The structural framework of zeolites is presented in Figure 2.

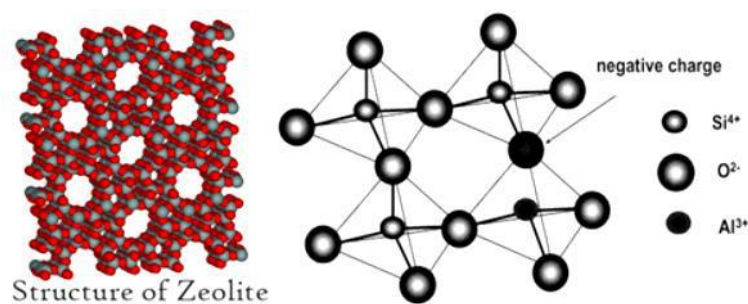


Figure 2. Structural framework of zeolite [5]

Coal ash zeolites, unlike the natural zeolites which are microporous, are characterized by a mixed micro- mesoporous structure that favours mass transfer in the adsorption and desorption processes, and

so they can be applied as adsorbents [6]. They are also characterized by a high content of iron oxides ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, $\gamma\text{-Fe}_3\text{O}_4$) and when combined with microcomponents such as Cu, Co, Mn, V, W and others reveal excellent catalytic activity. The use of zeolites obtained from coal ash is one good opportunity for the development of catalysts for the oxidation of volatile organic compounds [6].

Fly ash zeolites (FAZ) are usually prepared by hydrothermal synthesis of mixtures of FA and alkaline activator at moderate temperatures [7]. Preliminary fusion stage can be performed for utilization of the alkaline resistant aluminosilicate phases included in FA, such as quartz, mullite, anorthite, etc. [8]. Coal ash converts into zeolites under alkaline treatment even at room conditions but in this case long-term crystallization of the reaction mixture for about a year is required.

The synthesis of zeolites by alkaline treatment of fly ash passes through the following stages:

- 1) Dissolution of Si- and Al-containing substances from the raw FA into alkaline solution;
- 2) Condensation of silicon and aluminum ions to formation of hydrogel;
- 3) Nucleation and crystallization of zeolites over the remained solid particles.

The mechanism of FA zeolitization is illustrated in Figure 3.

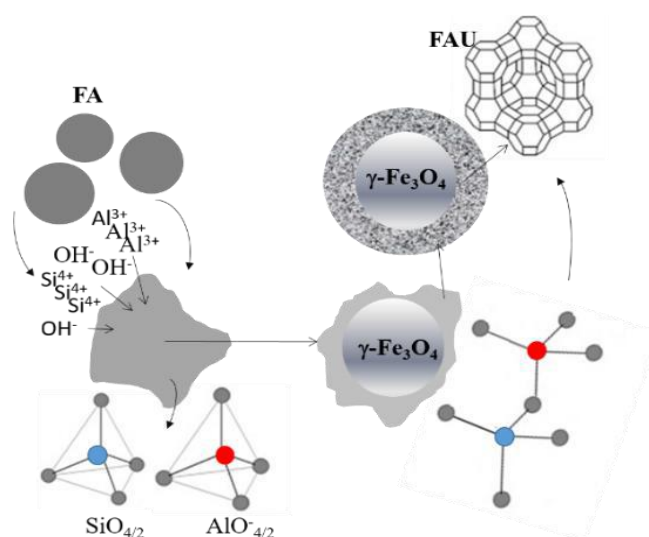


Figure 3. Mechanism of conversion of FA into zeolite

The syntheses result in powders consisting of mixtures of zeolite and unreacted FA in proportions dependent on the reaction conditions. The feasibility of coal ash zeolitization for industrial processing of zeolites can be improved by shortening the process duration. The rate-limiting stage is the alkaline dissolution of the aluminosilicates from the raw material which requires continuous magnetic stirring.

In the present manuscript, the effect of ultrasound activation was investigated for acceleration of the zeolitization process instead of the commonly applied continuous magnetic stirring. Comparative studies of the both homogenization techniques were performed in view of the extent FA zeolitization and phase composition of the synthesized products.

2. EXPERIMENTAL PROCEDURE

In the present study, FA collected from the electrostatic precipitators of one of the biggest Thermal Power Plants in Bulgaria TPP “AES Galabovo” supplied by lignite coal from “Maritza-East” basin was used as a raw material for synthesis of zeolites. Its chemical composition was studied by combination of analytical and instrumental standard procedures.

The zeolites were synthesized from mixtures of the raw FA and alkaline activator sodium hydroxide (NaOH) with three laboratory approaches being used:

- hydrothermal activation (H-series samples)
- double-stage synthesis with a preliminary alkaline fusion step (FH-samples)
- crystallization by long-term atmospheric aging of the mixtures (AS-samples).

The sequence of the laboratory procedures for the preparation of zeolites are illustrated in Figure 4.

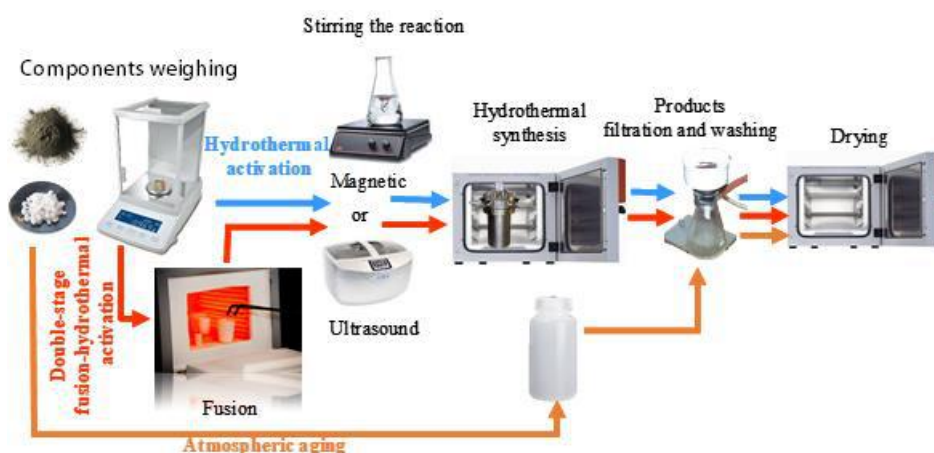


Figure 4. Procedures for laboratory synthesis of fly ash zeolites: hydrothermal activation; double-stage fusion-hydrothermal activation; atmospheric crystallization

The double-stage fusion-hydrothermal syntheses were performed with a preliminary fusion step for FA and NaOH mixtures in Ni-crucibles at 550 °C. The resultant fused mixture was cooled to room temperature, diluted in distilled water and then agitated magnetically for 5-20 hours. Later, it is stated, via experiments, that the magnetic stirring can be replaced with ultrasound activation for 15-48 min, which is performed for acceleration of the dissolution process. Fusion-hydrothermal activation is an approach, where solid phase and solid-liquid interactions are performed between amorphous and crystalline silicates (quartz) and aluminates (mullite) from the raw FA and the alkaline activator. As a result of the reactions, ash components are transformed in soluble alkaline silicates and aluminates. The preliminary fusion stage exceeds the quantity of soluble Si- and Al-components from coal ash, and that results in higher yield of the obtained zeolite. The process consequence is similar with the hydrothermal activation. The only difference is that the melting of FA together with NaOH is missing.

The mechanism for atmospheric crystallization resembles to the formation of natural zeolites. Under a laboratory experiment, a mixture of FA and alkaline solution is stored in a closed polypropylene vessel at room temperature (≈ 20 °C). A portion of the sample is drawn at certain time intervals and subjected to analyses. After the syntheses, the precipitates are filtered, washed repeatedly with water, and dried at 105°C for 1 hour.

The type of the obtained zeolitic phases was proved by X-ray diffraction (XRD) studies using a diffractometer Brucker D2 Phaser with CuK α -radiation and a Ni-filter. FAZ morphology was observed by Scanning electron microscopy (SEM) on a JEOL JSM 6390 microscope. BET specific surface area (S_{BET} , m²/g) was evaluated applying the multi-point Brunauer–Emmett–Teller (BET) model for description of the experimental nitrogen adsorption data in the range of relative pressures p/p_0 corresponding to the formation of the monolayer. Experimental nitrogen adsorption/desorption isotherms of FAZ and the referent Na-X were measured at 77 K using a volumetric adsorption analyzer Tristar II 3020, Micromeritics. The samples were preliminarily degassed in a set-up FlowPrep 60, Micromeritics, at 533 K for 4 hours under helium flow.

The obtained S_{BET} values were used for evaluation of the zeolitization extent X for FAZ of Na-X type using the following ratio:

$$X = \frac{S_{BET,exp}}{S_{BET,ref}} \frac{1}{(SiO_2 + Al_2O_3)} 100, wt\% \quad (1)$$

Where: X is the yield of the zeolite phases Na-X from the aluminosilicate mass of the raw FA, wt.%; $S_{BET,exp}$ and $S_{BET,ref}$ are the BET specific surface areas for FAZ and the referent FAU, correspondingly; SiO_2 and Al_2O_3 are the contents of the corresponding components in the FA composition, wt %.

Unfortunately, this computation approach is not accurate when the zeolitization extent is calculated for mixtures of zeolite phases in the conversion product. For these FAZ samples, the following equation was applied:

$$X = \frac{\sum I_{X_i, \text{exp}}}{\sum I_{X_i, \text{ref}}} \frac{1}{(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)} 100, \text{ wt.}\%, \quad (2)$$

Where: X is the yield of the zeolite mixture from the aluminosilicate part of the raw FA, wt.%; $\sum I_{X_i, \text{exp}}$ is the sum of the intensities of the reflections on the experimental diffractograms for each zeolite phase, Arb. Units; $\sum I_{X_i, \text{ref}}$ is the sum of the intensities of the reflexes of the corresponding referent zeolite phases, Arb. Units;

3. RESULTS

The chemical composition of FA from the TPP "AES Galabovo" used in the present study is listed in Table 1. The experimental X-ray diffractogram of FA is plotted in Figure 5.

Table 1. Chemical composition of FA used as raw material for zeolite preparation

Compounds	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	CaO
Content wt%	46.58	23.26	14.73	0.81	2.49	3.01
Molar ratio	SiO ₂ /Al ₂ O ₃ ~ 3.4					

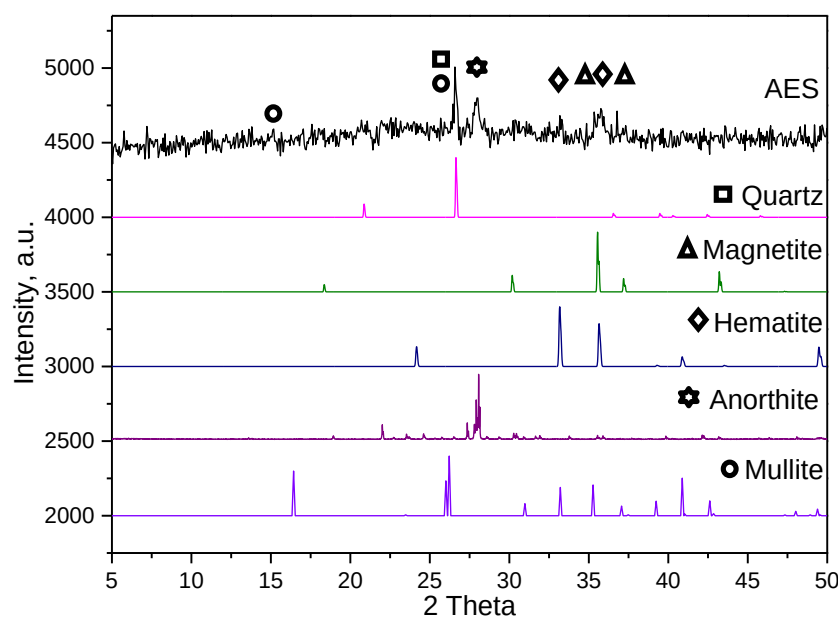


Figure 5. Experimental diffractogram of FA collected from TPP "AES Galabovo"

Regarding to its chemical composition FA refers to class F according to the International standard ASTM C168, because of the total amounts $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \geq 70 \text{ wt}\%$ and $\text{CaO} < 20 \text{ wt}\%$. The ratio of silica and alumina in FA composition is suitable for the synthesis of high-silica zeolites from the type Na-X (FAU), which requires molar ratios of $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 > 3$. The phase analyses reveal mixed amorphous-crystalline structure with the presence of crystalline phases, as Quartz, Mullite, Anorthite, Magnetite and Hematite.

Synthesis conditions of coal ash zeolites are summarised in Table 2.

Table 2. Synthesis condition of FAZ

N ^o	Composition of the reaction mixture in 100 ml d.H ₂ O	Homogenisation type/duration	T _s *, °C	τ _s *	T _f *, °C	τ _f *, h
H1	5g FA + 10 g NaOH	Magnetic stirring/5 h	90	4 h	N/A	N/A
H2	5g FA+10 g NaOH+5 g NaCl	Ultrasound/15 min	90	4 h	N/A	N/A
H3	5g FA + 10 g NaOH	Ultrasound/24 min	90	4 h	N/A	N/A
H4	5g FA + 10 g NaOH	Ultrasound/32 min	90	4 h	N/A	N/A
FH1	5g FA + 10 g NaOH	Ultrasound/48 min	90	4 h	550	1
FH2	5g FA + 10 g NaOH	Ultrasound/15 min	90	4 h	550	1
AS1	6g FA + 10 g NaOH	N/A	~ 20	60 days	N/A	N/A
AS2	6g FA + 10 g NaOH	N/A	~20	330 days	N/A	N/A

* T_s – synthesis temperature; τ_s- synthesis duration; T_f- fusion temperature; τ_f – fusion duration;

On the Figure 6 are represented XRD analyses of the samples that went through hydrothermal activation- H-series, and referent diffraction data for zeolite phases FAU and LTA.

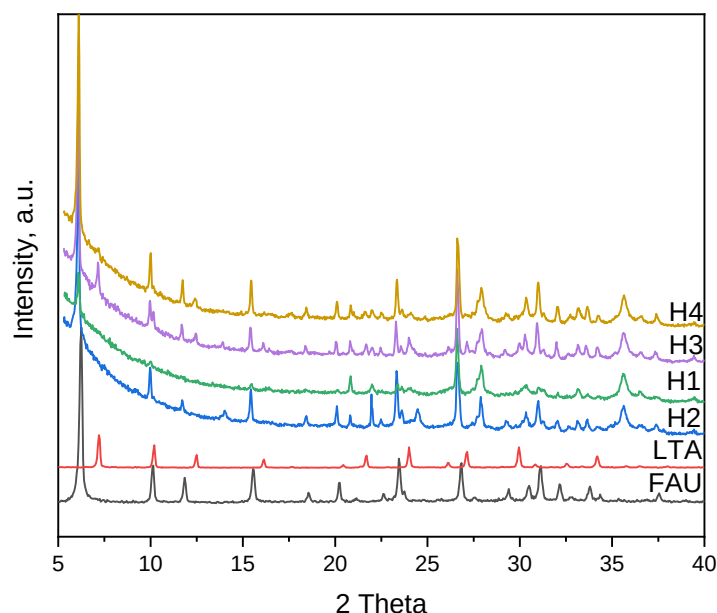


Figure 6. Experimental X-ray diffractograms of the FAZ obtained by hydrothermal synthesis

On the experimental XRD of the all H-samples dominate the reflections of Na-X (FAU) zeolite phase. It can be noticed that the sample H1 that went through magnetic stirring has lower intensity of diffraction reflexes of Na-X zeolite phases. The lines of Quartz, Anorthite, Mullite, Hematite and Magnetite from the raw FA are also observed at the all samples. The ultrasound activation of the reaction mixture for 15 min results in greater appearance of the dominant zeolitic phase on the diffractogram of the sample H2. The reflections of secondary zeolite phase of LTA type appear on the diffractograms for samples H3 and H4 obtained at longer ultrasound activation. However, prolongation of the ultrasound treatment longer than the one for H3 reduces the secondary LTA phase, as its X-ray diffraction lines are less intensive for sample H4 prepared by ultrasound for 32 min. The X-ray diffraction analyses of FH-samples, which undergo hydrothermal synthesis with a preliminary alkaline fusion step, are given in the following graph 7 in comparison with diffractogram of referent zeolite FAU and a novel expected zeolite phase of hydroxycancrinite type (CAN).

The experimental diffractogram of FH2 reveals intensive lines of zeolite Na-X, while no reflexes attributed to aluminosilicates from the FA are observed, which is indicative for better conversion of the raw material.

X-ray data for FH1 indicate a mixed zeolitic structure of zeolite Na-X and CAN, as the intensity of FAU reflexes are reduced. The prolongation of the ultrasound treatment for 48 min results in formation of secondary zeolite phase of hydroxycancrinite type on account of Na-X.

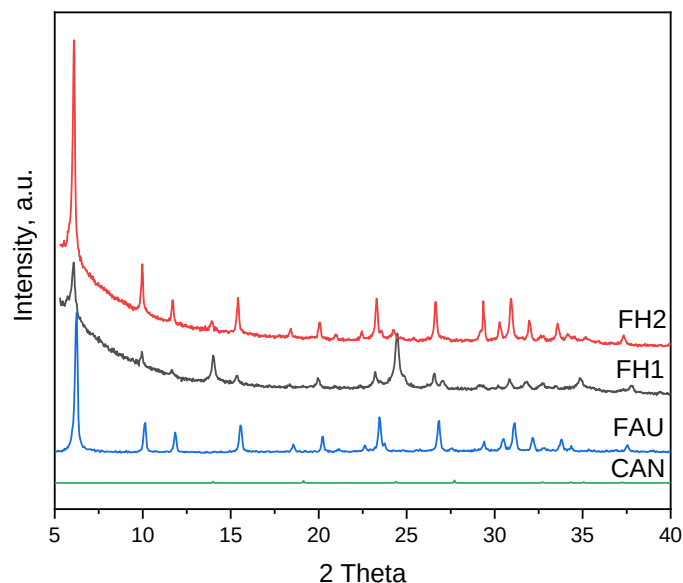


Figure 7. Experimental X-ray diffractograms of FH-samples and referent zeolites

Graph 8 shows XRD analyses of the samples from the atmospheric crystallization - AS-series.

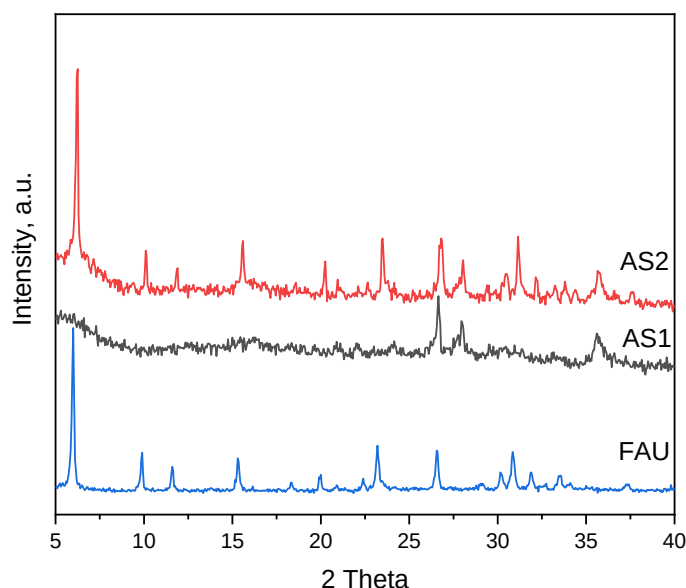


Figure 8. X-ray diffractograms of FAZ obtained by atmospheric crystallization

The zeolitization of FA for 60 days at room conditions is quite superficial and the diffractogram of AS1 is similar to that of the raw material. After 330 days of alkaline conversion, intensive lines of zeolite Na-X are registered on the X-ray diffractogram of AS2, despite that the reflexes of resistant phaseses from the FA such as Mullite, Quarts, Hematite and Magnetite can be also found.

Typical SEM images representing the morphology of FA, referent FAU and FAZ of Na-X type are presented in Figure 9.

The obtained values for S_{BET} and the calculated conversion extend of the obtained FAZ are summarized in Table 3. The highest S_{BET} value and the highest zeolitization extent for H-set are obtained for FAZ H2 prepared by 15 min ultrasound treatment. H-samples with longer ultrasound activation possess lower S_{BET} values due to the formation of secondary zeolite phase. The surface characteristics and the

zeolitization rate are higher at shorter ultrasound treatment in comparison to H1 sample prepared by magnetic stirring. For FH-set the prolonged ultrasound does not affect surface properties but results in a mixed zeolite structure of FAU and CAN. The preparation of FAZ with good surface characteristics and high zeolitization extent at room conditions long alkaline treatment of about a year is required.

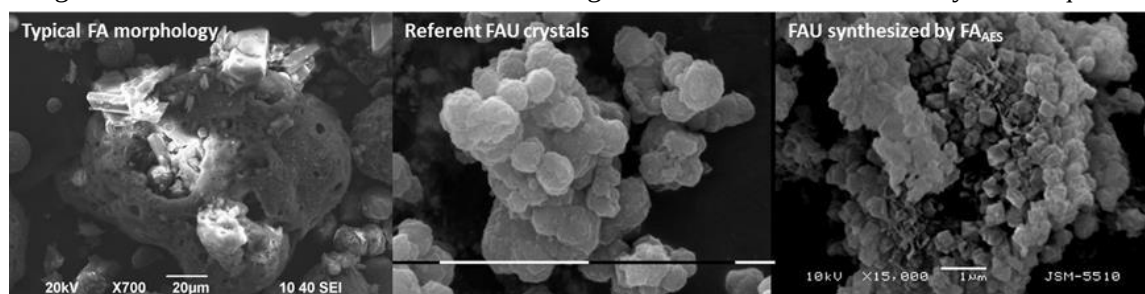


Figure 9. SEM images of raw FA, referent zeolite FAU and FAZ of Na-X type

Table 3. Surface areas of FAZ samples zeolitic structure

Samples	H2	H1	H3	H4	FH1	FH2	AS 2
$S_{\text{BET}}, \text{m}^2/\text{g}$	279.96	90.78	178.47	158.18	237.58	238.63	283.44
Zeolitization extent, %	51.40	16.67	36.92	29.04	43.62	43.81	52.04

2 CONCLUSION

Zeolites of Na-X type are synthesized from lignite coal fly ash by three synthesis approaches. Ultrasound treatment is applied for acceleration of the alkaline dissolution process instead of magnetic stirring. Coal ash zeolites of Na-X type with sufficient specific surface values are obtained for 15 min ultrasound activation. These experimental results contribute to facilitating the coal ash zeolite processing and increased industrial implementation capabilities. The atmospheric crystallization is a technologically simple approach to convert coal ash into zeolites but requires long processing.

3 ACKNOWLEDGEMENTS

The research is funded by National Science Fund, Ministry of Education and Science of Republic of Bulgaria under the contract № DN 17/18

4 REFERENCES

- [1] Fulekar M. H., Dave J. M. *Disposal of fly ash—an environmental problem*, International Journal of Environmental Studies, 26:3 (1986) 191-215.
- [2] Koukouzas N., Härmäläinen J., Papanikolaou D., Tourunen A., Jäntti T., *Mineralogical and elemental composition of fly ash from pilot scale fluidised bed combustion of lignite, bituminous coal, wood chips and their blend*, Fuel 86 (2007) 2186–2193.
- [3] Tomeczek J., Palugniok H., *Kinetics of mineral matter transformation during coal combustion*, Fuel, 81:10 (2002) 1251-1258.
- [4] *Zeolites: Synthesis, Structure, Technology, and Application: Proceedings of an International Symposium (Studies in Surface Science and Catalysis)*, Držaj B. et al. (Eds.) Publ. Elsevier Science Ltd. (1986).
- [5] <http://www.gordeszeolite.com/>
- [6] Boycheva S., Zgureva D., Václavíková M., Kalvachev Y., Lazarova H., Popova M., *Studies on non-modified and copper-modified coal ash zeolites as heterogeneous catalysts for VOCs oxidation*, J. Hazard. Mater., 361 (2019) 374-382.
- [7] Zgureva D., Boycheva S., *Synthesis of highly porous micro- and nanocrystalline zeolites from aluminosilicate by-products*, In: Nanoscience Advanced in CBRN Agents Detection, Information and Energy, Springer, Series – A: Chemistry and Biology, Petkov P. et al. (Eds.), pp.199-204.
- [8] D. Zgureva, S. Boycheva, *Novel technical and economical approach for synthesis of zeolites from coal fly ash*, Ecological Engineering and Environment Protection, 2 (2015) 12-18.



SCEESD
Student conference
"Energy efficiency and sustainable development"



E. ENERGY EFFICIENCY IN FACILITIES, CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE



Драгана Крстевска¹

¹Факултет за електротехника и информациски технологии, Скопје
eeum1272016@gmail.com

ЕНЕРГЕТСКА ЕФИКАСНОСТ И ЗАШТЕДА НА ЕНЕРГИЈА ВО ОСНОВНО УЧИЛИШТЕ ВО РУРАЛНА СРЕДИНА

КУСА СОДРЖИНА

Цел на овој труд е да се презентираат начини на кои и училиштата во рурални средини може да бидат енергетски поефикасни, да се анализираат трошоците со и без имплементација на понудените решенија, како и да се дадат дополнителни совети за заштеда на енергија. Дополнително, едуцирање и вклучување и на најмладите кои исто така ќе дадат свој допринос во реализацијата на целите.

Во воведниот дел се зборува за проблемот со ограничените ресурси што ги имаат ваквите училишта и за начинот на искористување на веќе постоечките. Потоа се врши презентирање на можни решенија на изложените проблеми, а како заклучок се врши анализа на валидни и релевантни моментални трошоци и споредба со очекуваните после извршените подобрувања.

Клучни зборови: *енергетска ефикасност, schools of the future, совети, споредба на трошоци*

1 ВОВЕД

Станува збор за проект во кој старата училишна зграда во с. Дреново со реновирање ќе стане енергетски поефикасна. Конкретно, инсталирање соларни системи (дискусија за колку е просечната потреба од електрична енергија на едно училиште и дали целото производство ќе биде конзумирано или ќе има вишок кој ќе биде откупен), енергетски ефикасни фасади, добра изолација, греење на пелети (моментално е на шпорети на дрва)- целото ова поврзано со „schools of the future“ проектот. Дополнително, дадени се некои совети за намалување на емисијата на CO₂, потрошувачката на електрична енергија и трошоците што од овој аспект ги има училиштето. За крај ќе биде направена споредба на трошоците за електрична енергија кои училиштето ги има моментално (со податоци добиени од раководител на подрачно училиште) и очекуваните, доколку се направат гореспоменатите подобрувања.

1.1 Моментални проблеми

1.1.1 Греење

Најголем моментален проблем во подрачното училиште во с. Дреново, како од аспект на енергетската ефикасност, така и од економски аспект е греењето. Училиштето располага со простор од 560m² кои моментално се затоплуваат со шпорети на дрва како што е прикажано на сликите. Ова не само што не ги затоплува просториите доволно, предизвикува потенцијална опасност за здравите млади организми на учениците бидејќи испушта големи количини чад, а понекогаш и искри, туку и дополнително создава проблеми во однос на чистотата на училниците, како и дополнителни обврски за хигиеничарите (а неретко и учениците) кои треба да го одржуваат греењето.



Сл.1. Моменталното греење во училиштето

1.1.2 Прозорци

Прозорите во оваа училиште не се заменети уште од минатиот век. Дрвените, искршени прозори допринесуваат во потешко загревање на просториите и уште побрзо ја оддаваат топлината.



Сл.2. Дрвените прозорци

1.1.3 Лоша изолација

Изолацијата на училишната зграда е речиси непостоечка, а дополнително и фасадата е разурната. Истото важи и за интернатската зграда каде живеат петнаесетина ученици во текот на целата година и на секакви сурови временски услови. Керамидите на покривот се истотака стари, искршени и протекуваат.



Сл.3. Влезот на училиштето, фасадата и покривот

2 РЕШАВАЊЕ НА ПРОБЛЕМОТ СО ГРЕЕЊЕ СО УПОТРЕБА НА ПЕЛЕТИ

2.1 Зошто пелети?

Пелетите се еден вид на високо квалитетно биогориво, произведени од дрвни остатоци кои се создаваат во процесот на обработка на дрвото, односно пилевина. Исто така за нивно производство можат да се искористат и шумските отпадоци во вид на гранки. Пелетите доаѓаат во мала форма, споредени со големина на плутените тапи на шишињата за вино и поради тоа имаат многу лесен и едноставен начин на користење, со други зборови ја олеснуваат физичката работа на корисникот.

Бренерот кој е потребен за согорување на пелетите има дисплеј, што значи огнот се пали преку специјално копче и се подесува посакуваната температура во зависност од тоа колкава просторија се затоплува. Претходно пелетите се истураат во резервоарот и понатаму работата

ја извршува бренирот заедно со полжавот (механизам за транспорт на пелетите од резервоарот до бренирот). Друга предност е тоа што откако резервоарот ќе се наполни, 2 до 3 дена нема потреба од полнење на котелот со гориво, во зависност од тоа на колкава температура е подесен бренирот да ги согорува пелетите. Значи нема потреба да се обрнува внимание на котелот и тоа по неколку дена, односно не мора да се полни со гориво, што е огромно олеснување. Исто така битна информација е тоа што при горењето се создава многу малку пепел а при согорување се создава голема топлинска моќ.

Квалитетни пелети во комбинација со добар котел на пелети се идеален начин за затоплување. Котлите на пелети Bosch имаат голем степен на искористеност и со квалитетни пелети можно е грејните денови да се поминат најевтино. Доколку станува збор за сооднос по калорична вредност, 2 кг. пелети заменуваат 1 литар нафта за греење (чија што цена е во постојан пораст) што значи дека е 50 % поевтина варијанта.

Пелетите се најчистото цврсто гориво и се **CO₂** неутрални. При нивното согорување количината на пепел која се создава е минимална (само 10kg на 1t согорени пелети), а нема речиси никаква емисија на штетни гасови во воздухот.

Табела 1. Вредности добиени при CATAS атести на пелетите „Шишарка“ [1]

Особено голема топлинска моќност	19.85 MJ/ kg= 51 kwh/kg
Нето калорична вредност	17.3 MJ/kg= 4,8 kwh/ kg
Пепел на влажни пелети	0,78%
Пепел на суви пелети	0,83%
Минимално количество на влага	5,96%

2.2 Субвенционирање за греење со пелети

Од економски аспект, греењето на ваков начин ќе биде многу (речиси двојно) поисплатливо од греењето на дрва, со тоа што може да се искористи и владиниот проект за надоместување на дел од трошоците за купување на печки на пелети.

Имено, со цел стимулирање на граѓаните за користење на обновливи извори на енергија за затоплување, кои минимално ги загадуваат воздухот и почвата и не влијаат врз климатските промени, за купени печки на пелети Министерството за економија ќе обезбеди поврат на средства во висина од 50%, но не повеќе од 500 евра во денарска противвредност. [2]

2.3 Колку затоплуваат и колку чинат во споредба со греење на дрва?

За оваа пресметка, ќе бидат искористени податоците дадени во горната табела.

Имено, во Македонија, просечно се трошат по $E_t = 10000 \text{ kWh}$ енергија за греење на еден објект годишно. Тоа би значело дека би ни биле потребни $E_t/E_{pel/kg}=10000/4,8=2083,3$ kg пелети со калорична моќ од 17.3 MJ/kg. Ако цената на еден килограм пелети е 13,196 ден. за задоволување на енергетските потреби за греење би биле потребни 27.491 ден. (цена за која што би можеле да се снабдите со 9m³ огревно дрво). [3]

3 УПОТРЕБА НА ФОТОВОЛТАИЦИ ВО УЧИЛИШТАТА

Училиштата имаат еден вид предност кога станува збор за соларната енергија поради структурата на самите објекти. Повеќето училишни згради имаат големи, рамни покриви кои се идеални за покривни соларни фотоволтаични (PV) или соларни термални системи.

3.1 Колку електрична енергија трошат училиштата?

Одделот за енергетика известува дека училиштата трошат 6 милијарди долари за трошоците за електрична енергија секоја година. Ова е повеќе од она што се троши на учебници и компјутери заедно и воедно претставува втора највисока потрошувачка по платите.

Поради неефикасноста на сегашните системи, трошоците за енергија во училиштата се проценуваат на околу 25% повеќе од она што всушност е неопходно за секојдневно работење. Според schoolenergysaving.com [4], просечната старост на училишна зграда во САД е 42 години. Времето кога тие биле дизајнирани едноставно не соодветствува на денешната потреба од информациски технологии и притоа користењето на современите електрични уреди. Современата технологија значително ги зголеми енергетските оптоварувања што треба да ги исполнат училиштата.

Соларната енергија обезбедува поефикасен начин за училиштата да ги исполнат своите енергетски потреби. Еден силициумски соларен панел произведува исто толку енергија во текот на својот животен век (од 30 до 40 години) како и прачка за нуклеарно гориво. Ефикасноста на производството на електрична енергија резултира со заштеда на трошоците, како и значителни еколошки придобивки. За секој 1 kW / час соларна енергија што се произведува, 300 lbs јаглерод останува надвор од атмосферата.

3.2 Потреба и примена во ова подрачно училиште

Инсталираните фотоволтаици ќе го помагаат напојувањето на училишната зграда, а ќе се користат и за загревање на вода за потребите на интернатот (каде моментално бојлерот работи 24/7).

Со користење на софтвер (solar panel calculator) по внесување на расположливата површина од 600m² за поставување на сончевите панели, како и географската положба за да се пресмета бројот на сончеви часови, се доаѓа до податок дека може да бидат инсталирани вкупно 58 панели со номинална моќност од 320W поединечно. Тоа, во идеален случај значи дека би се произвеле 162,5 MW годишно, што би ги намалило трошоците за приближно 140.000 ден. на годишно ниво.

Дополнително, според регулаторната комисија за енергетика на Р.М. откупната цена на произведен kWh ЕЕ од обновлив извор (фотонапонски електроцентрали ≤ 0,050 MW) е 16 € центи/kWh, а според анализата на сметките за струја на училиштето, дневно се трошат околу 80 kWh ЕЕ. Така што, во лето, а и во текот на учебната година кога ќе биде произведено поголемо количество на ЕЕ, ова може да биде дополнителен бенефит за училиштето.

***Идеја: над паркингот во училишниот двор да се постави надстрешница, која од една страна ќе обезбедува сенка на автомобилите, а од друга ќе биде додатен простор на кои би можеле да се инсталираат PV.**

4 ПОСТАВУВАЊЕ НА ЕНЕРГЕТСКИ ЕФИКАСНА ФАСАДА

Топлинска изолација е намалување на топлинскиот пренос меѓу цврсти материјали, и цврсти материјали и флуиди (течни и гасовити).

Ако покривот или таваницата не се изолирани – се губат до 45% од енергијата вложена за затоплување или разладување на просторот, додека неизолираните ѕидови, во зима, можат да ги зголемат топлинските загуби за 15%.

Поставувањето на термичка фасада на училишната зграда би бил еден од најзначајните зафати при реконструкцијата. Најновите истражувања покажуваат дека над 30% од енергијата во внатрешните простории се губи низ фасадата на објектот. Преведено во денарска противредност, ако претходно за загревање се трошело по 6.000 денари месечно, со изведбата на енергетски ефикасна фасада месечно може да се заштедат 1.800 денари за топлинска енергија.

Топлинските загуби низ градежен објект се карактеризираат со коефициент на топлински загуби U. Оваа вредност покажува колку топлина се губи од m² површина при стандардна температурна разлика од 1 степен Келвинов. За да се пресмета топлинската загуба низ некоја преграда, вредноста на U се множи со површината на преградата и температурната разлика.

$$Q_{TZ} = U \cdot A \cdot \Delta T [W]$$

Табела 2. Топлински загуби

U W/m ² K	Топлински загуби W	Годишни топлински загуби kWh/m ² год	Трошоци поради тие загуби (ден.)
1	3300	78	25.740
0.8	2640	62	20.460
0.4	1320	31	10.230
0.15	495	12	3.960
0.1	330	8	2.640

За да се покријат сите топлински загуби вредноста на коефициентот U на надворешните прегради (подови, прозорци, врати, покрив, надворешни ѕидови) треба да биде меѓу 0.1 и 0.15 W/m²K.

4.1 Материјали

Доколку стануваше збор за изградба на нова зграда, секако термо блоковите би биле најадекватно решение за имплементација на мерките за заштеда на енергија. Ваквиот градежен материјал му дозволува на ѕидот да „дише“. Термо блоковите обезбедуваат оптимално струење на водената пареа и оневозможуваат појава на топлински мостови на ѕидната површина. Истовремено, термо блокот е изработен исклучиво од природни материјали, без синтетички адитиви. Со употреба на овој градежен материјал, објектот полесно ќе ја достигне највисоката А – класа на енергетска ефикасност.

Но, бидејќи станува збор за реконструкција на веќе постоечка зграда, најдобра солуција е стиропорот. Во Република Македонија, во дури 98% од термичките фасади се вградува стиропорот како градежен материјал, што е непобитен доказ за неговата економичност и практичност во нашите пазарни и климатски услови. За најголем дел од објектите се препорачува оптимален слој на стиропор од 8 до 12 сантиметри, со кои ќе се обезбеди адекватна изолациска заштита.

И бојата на фасадата може да се искористи во наша корист, имено тешките темни бои треба да се избегнуваат при изведбата на термички фасади во Македонија. Високите температури во летниот период доведуваат до непотребно загревање на надворешните ѕидни површини на објектите, со што се зголемуваат и трошоците за ладење на внатрешните простории, па вистински избор би биле посветли нијанси како бела, жолта, бледо сина или портокалова.

Покрај топлинската изолација, во добро изолиран објект (со соодветна вентилација) не се создава и појавува влага, односно се постигнува комфор со рамномерен распоред на температури на внатрешниот воздух, без провев и површини кои предизвикуваат чувство на студенило.

4.2 Трошоци

За производство на топлина се користи природен гас, мазут, нафта, реонско загревање или електрична енергија.

Табела 3. Трошоци поради загуби на топлинска енергија

U	Топлински загуби низ надворешни прегради (100m ²)	Топлински загуби на годишно ниво	Трошоци за покривање на загубите
W/m ² K	W	kWh/m ² год	МКД/год
1,25	4215	98	32.340
0,125	412	10	3.300

Денеска не е возможно да се „купи“ топлинска енергија за помалку од 3,3 денари за kWh, а во иднина цените ќе растат. Затоа годишните трошоци за загревање само за покривање на загубите од надворешните површини (100 m²) изнесуваат како што е прикажано во третата колона. Во првиот ред (црвена боја) дадени се вредности за типичен надворешен сид од стара градба. Секоја година се трошат околу 33.000,00 денари за компензација на топлинските загуби низ 100 m² површина. Со дополнителна изолација со квалитет соодветен за пасивна градба (зелена боја) топлинските загуби се намалуваат за 10 пати. Како резултат, се намалуваат и годишните трошоци за енергија, односно се штедат околу 29.000,00 денари.

За ова училиште со површина од 600m² заедно со интернатот со 750m² ова би значело 13,5 пати поголеми заштеди, односно 391.500 ден. на годишно ниво.

4.3 Прозорци

Поставувањето на нови прозорци може да заштеди и до 25% од вкупната потрошувачка на енергија. При реконструкцијата на постари објекти, препорачливо е да се променат дотраените прозорци заедно со изведбата на термичката фасада. При изборот на прозорци треба првенствено да се внимава на коефициентот на топлинска спроводливост, која зависи од бројот на комори на прозорците и од додадените адитиви на самата пластична маса. Само квалитетни ПВЦ прозорци може да ги спречат губитоците на топлинска енергија. На тој начин, спроведувањето на мерките за енергетска ефикасност ќе бидат реализирани во целост.

4.3.1 Стакло

Обичното стакло се нарекува калено стакло, а може да биде и прекалено или ламинирано (пластифицирано) за да биде поотпорно на кршење. Ламинираното стакло е комбинација на две или повеќе слоеви стакло со еден или повеќе меѓуслоеве од безбојна провидна пластика или смола. Производите можат да бидат изработени со еднослојно, двослојно, трислојно и четирислојно стакло.

Некој од внатрешните слоеви кај трослојните и четирислојните стакла може да биде заменет со тенок слој на полиестерска фолија за да се намали вкупната маса.

Изолирачко стакло – се состои од најмалку два слоја стакло, поставени на мало растојание (со гранична лента) и херметички запечатени. Граничната лента која се поставува на рабовите содржи дехидратор за да ја абсорбира влагата која останала меѓу слоевите стакло по запечатувањето. Ова го спречува замаглувањето меѓу слоевите.



Сл. Изолирачко стакло

Сертифициран производ кој има етикета за квалитет ги задоволува следните карактеристики: двојно или тројно застаклување, со запечатен изолационен стаклен панел, стакло со ниска емисивност, полнење меѓу стаклата со аргон или криптон, ниска кондуктивност, изолирани рамки, носечка конструкција и врати како и добра заптиеност.

5 ОСВЕТЛУВАЊЕ

Повеќето објекти потрошувачката на електрична енергија за осветлување можат да ја намалат за 50% или повеќе преку примена на ЕЕ светилки или поефикасни технологии. Компактни флуоресцентни светилки (CFL), диоди кои емитираат светлина (LED) и флуоресцентни светилки – се светилки кои овозможуваат осветлување на просторот со помала

потрошувачка на електрична енергија. Друга ефективна можност се и светлинските цевки кои зафаќаат дневна светлина и ја носат кон потемните делови на станбениот простор.

Табела 4. Избор на осветлување според потребите

Жаречки светилки (W)	КФС (W)	Халогени светилки (W)	Произведена светлина (lm)
40	7-8	28	420
60	11-12	42	720
75	13-18	52	930
100	18-23	70	1300

Сепак, заради големината на самите училиници, најдобро е да се користат флуоресцентни цевки кои можат да бидат во облик на права или кружна цевка. Поефтини се од КФС, но имаат потреба од специјални приклучоци.

6 ДОПОЛНИТЕЛНИ СОВЕТИ ЗА ЗАШТЕДА НА ЕНЕРГИЈА И НАМАЛУВАЊЕ НА ЕМИСИЈА НА CO₂

1: Статичните уреди треба да се исклучат од штекер. Ова ќе ја намали целата потрошена енергија што се користи додека апаратите не се користат

2: Вратите на училиниците да се затворени секогаш кога е можно. Ова ја задржува топлината во просториите, без да треба да се вклучи греењето и со тоа да се користи повеќе енергија.

3: Просториите не треба премногу да се загреваат, а ни ладат. Во зима, термостатот на училиштето треба да е поставен на 18 ° C-20 ° C, а во лето 24 ° C-27 ° C. [5]

4: Светлата да се исклучат по напуштање на училиницата. Обично, во училиштата светлата постојано се вклучени, бидејќи е полесно отколку да се вклучуваат и исклучуваат.

5: Славините во и околу училиштето да се исправни. Топлата вода користи голема количина на енергија за загревање. Исто така можат да се заменат чешмите со такви што штедат вода, наместо оние што не се исклучуваат автоматски.

6: Апаратите во училиштето, како што се компјутери, фрижидери и кујнски апарати, да се проверат за да се види каква е нивната енергетска ефикасност.

7 SCHOOLS OF THE FUTURE [6]

Целта на проектот „Schools of the future“ е да дизајнира, демонстрира, оценува и да пренесе позитивни примери за тоа како да се достигне идното ниво на градење со високи перформанси. Училишните објекти и учениците како нивни основни корисници се целна група и во фокусот на проектот.

И ефикасноста на енергијата и внатрешната средина на 4 демо згради во 4 европски земји и клими е значително подобрена поради надградби на фасадата на зградата, сервисните системи, интеграција на обновливи извори и системи за управување со згради.

Schools of the future е иницијатива на Европската Унија и истата нуди покровителство на трошоци за реставрации од ваков тип, па тоа би била дополнителна финансиска помош при реализација на проектот кој го изготвив и изложив во овој труд.

Исто така проектот нуди и многу предлог- работилници со кои и најмладите ќе бидат вклучени во процесот преку нивна едукација за енергетската ефикасност, организирање на базари со пари добиени од рециклирање на пластика или стакло итн.

8 ЗАКЛУЧОК: СПОРЕДБА НА ТРОШОЦИ

Поединечно, беа направени пресметки за трошоците кои училиштето би ги имало со имплементација на понудените решенија кои се стремат кон енергетска ефикасност на училишната зграда.

Од добиените податоци (платени фактури за електрична енергија) и по извршена анализа, се испоставува дека ова училиште троши просечно по 7.600 ден. а интернатот по 9.000 ден. месечно за електрична енергија. Тоа би било севкупно 199.200 ден. годишно. Дополнително, за набавка на огревно дрво (90 m^3) се трошат уште 270.000 ден. Значи, трошоците за енергија се сублимираат на 460.800 ден.

Со направените подобрувања се заштедуваат околу 340.000 ден. на годишно ниво, што е сума од големо значење за училиштето, бидејќи тоа се средства што би можеле да се пренаменат на доопремување, набавка на надгледни средства и севкупно подобрување на условите за работа со учениците. Секако, и ефектот врз животната средина има огромна улога, како заради заштитата на околината, намалување на емисијата на CO_2 итн. така и како еден добар пример за подигање на свеста кај учениците, а и жителите на с.Дреново воопшто.

9 РЕФЕРЕНЦИ

- [1] <http://www.termosistem.com.mk>, „Зошто греењето на пелети станува толку популарно“
- [2] <http://www.economy.gov.mk>, „Јавен оглас за субвенционирање на купување печки на пелети“, Министерство за економија на Р.М, август, 2013
- [3] „Основи на електроенергетика“, 2013, проф.др. Антон Чаушевски
- [4] <http://www.schoolenergysaving.com>, ‘Using solar energy in schools’
- [5] „Еколошки влијанија од производни енергетски постројки“, Скопје, октомври 2013, проф.др. Антон Чаушевски
- [6] <https://www.sof.edu/>, Schools of the future Project, European Union

Dragana Krstevska¹

¹Faculty of electrical engineering and information technologies, Skopje

eeum1272016@gmail.com

ENERGY EFFICIENCY AND ENERGY SAVING IN SCHOOLS IN RURAL ENVIRONMENT

ABSTRACT

The aim of this paper is to present ways in which rural schools can be energy-efficient, to analyze costs with and without implementation of the offered solutions, as well as additional advice on

Energy saving. In addition, education and involvement of the youngest so they can and will contribute to the realization of the goals.

The introductory part discusses the problem of the limited resources these schools have and the way of utilizing existing ones. Then possible solutions to the problems are presented, and as a conclusion: analysis of valid and relevant current costs and comparison with the expected ones after the improvements are made.

Key words: *energy efficient, solar power, resources, schools, costs*



Драгана Николова ¹, Марија Ѓоргиева ²

¹ и ² Факултет за електротехника и информациски технологии- Скопје, УКИМ

¹nikolova.dragana98@gmail.com

²marija_97g@hotmail.com

ЕНЕРГЕТСКИ ЕФИКАСНИ ЗГРАДИ

КУСА СОДРЖИНА

Глобалната потрошувачка на електрична енергија постојано расте со зголемувањето на човечката популација во светот, а како резултат на тоа се јавува зголемување на емисиите на стакленички гасови. За да се успее во создавањето на одржливи градови и здрави животни средини со цел зголемување на енергетската ефикасност, во овој труд ќе се обработат начините кои ќе овозможат намалување на потрошувачката на електрична енергија со употреба на градежни материјали кои ќе овозможат зголемување на енергетска ефикасност во домаќинствата. Преку споредбата на традиционалниот начин на изградба на зградите каде факторот на енергетска ефикасност на домаќинствата бил занемаруван и новиот начин на изградба преку создавање на енергетски ефикасна инфраструктура, ќе се даде посебен осврт кон придобивките и заштедата на енергија како и подобрување на секојдневното живеење. Новите енергетски ефикасни згради може исто така да генерираат други економски, социјални и еколошки придобивки. Подобрувањето на енергетските карактеристики на инфраструктурата и заштедите на енергија ќе им овозможи на многу домаќинства да ја избегнат “енергетската сиромаштија”. Ова се некои од факторите кои ја зачувуваат енергетската ефикасност и одржливост како прогресивно клучен глобален субјект.

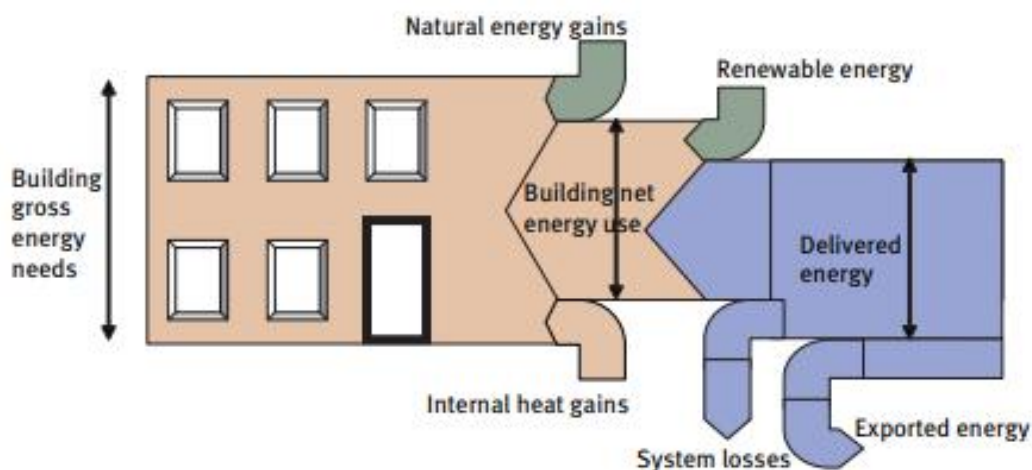
Клучни зборови: здрава животна средина, заштеда на енергија, одржливо домаќинство.

1 ВОВЕДЕН ДЕЛ

Енергетска ефикасност претставува однос помеѓу корисната излезна и потребната влезна енергија, најчесто изразена во проценти. Подобрена енергетска ефикасност значи добивање на поголема излезна корисна енергија за истиот енергетски внес или иста излезна полезна енергија за помал енергетски влез. Зголемена енергетска ефикасност би можела да се постигне со примена на технологии, користење на високо ефикасни материјали при изградба на згради, енергетски ефикасни уреди како и стратегии за намалена потрошувачка на електрична енергија. Заштедата е детерминирана со мерење или со проценување на енергетската потрошувачка пред и откако е имплементиран еден или повеќе мерки за подобрување на енергетската ефикасност. Околу 40% од целосното искористување на Енергија во ЕУ се однесува на градежниот сектор (домаќинство и услуги). Моментално околу две третини од потрошувачката на енергија во објектите се користи за затоплување на простор, додека останатата една третина во вид на електрична енергија која се користи за инсталација и

опрема. Подобрениот архитектонски дизајн, подобрена конструкција и технологиите кои се достапни денес овозможуваат минимизирање на потрошената енергија и зголемени придобивки за луѓето, почиста животна средина, почист воздух, повеќе удобни домови и работни простори, и пониски сметки за електрична енергија. Така на пример секое 1 евро што се инвестира во подобрување на енергетската ефикасност зачувува 2 евра. Добро дизајнираните и добро конструирани нови згради претставуваат најдобра можност за намалување на трошоците за затопување, ладење, вентилацијата и осветлувањето. Најефикасен начин да се осигура дека енергетската ефикасност е вклучена во дизајнот и процесот на конструкција е преку примена на Градежни Енергетски Ефикасни кодекси. Тие поставуваат минимални барања за енергетската ефикасност на зградата вклучувајќи ги термичките карактеристики на зградата и стандардите за енергетска ефикасност на внатрешните опреми и уреди. Реновирање на постојните згради и замена на опремата која има голема енергетска потрошувачка е од исклучителна важност за подобрувањето на енергетската ефикасност.

2 КАРАКТЕРИСТИКИ НА ЕНЕРГЕТСКИ ЕФИКАСНИ ЗГРАДИ



Слика1 - Проток на енергија

Сликата го илустрира протокот на енергија во зградата. Ги претставува потребите за енергија за затопување, осветлување, ладење, вентилација и климатизација. Внатрешните барања за климата¹, надворешни климатски состојби и карактеристиките на објектот (повшина, трансмисија на топлина и пренос на топлината поради струење на воздухот) се параметри кои се користат за да се детерминира потребата од енергија за тој објект.

Испорачана енергија е количината на енергија која се испорачува за задоволување на побарувачката за да се обезбеди енергија за затопување, ладенење, вентилација, топла вода и осветлување на објектот. Обично се изразува во киловат часови. Испорачаната енергија би можела да се надопolni со обновлива енергија, ова би можело да биде во форма на соларни PV, соларни бојери или ветер.

¹ Под терминот внатрешна клима се мисли на сума од топлинската енергија, квалитетот на воздухот, акустична и светлосна природа на објектот. Релулативите и упатствата за внатрешната клима на даден објект се главно дел од кодексите при изградбата.

Енергетските ефикасни згради ги искористуваат енергетските ресурси, намалувајќи го залудното трошење на енергија, односно со цел намалување на испорачаната енергија преку:

- Градежен план кој ја зема во предвид локацијата на зградата.
- Облик на објектот кој ќе поттикне користење на дневната светлина и природната вентилација, намалувајќи го губитокот на топлина
- Ориентација која ги зема предвид потенцијалните соларни придобивки истовремено намалувајќи го ризикот за отсјај и прегревање
- Природна вентилација секогаш кога е практична и соодветна, а со механичка вентилација и/или климатизација кои би се користеле само кога би имало потреба од нив
- Добро ниво на топлинска изолација.

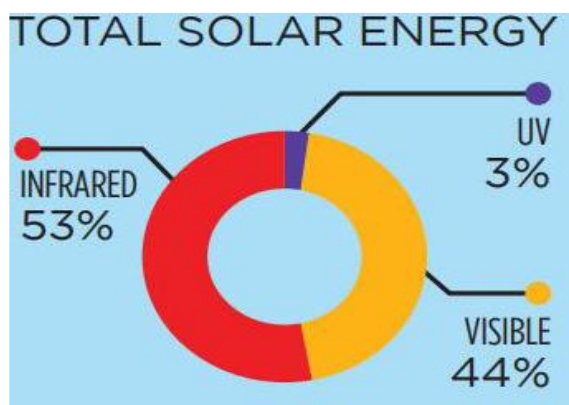
3 ЕНЕРГЕТСКИ ЕФИКАСНИ МЕРКИ ЗА ОБЈЕКТИ

Енергетски ефикасни мерки за објектите се начини преку кои потрошувачката на енергија во зградите може да се намали додека се подобрува или задржува нивото на удобност во објектот.

- Намалување на побарувачката за греење
- Намалување на побарувачката за ладење
- Намалување на енергетските барања за вентилација
- Намалување на употребата на енергија за осветлување;
- Намалување на енергијата што се користи за греење вода;
- Намалување на потрошувачката на електрична енергија на канцелариска опрема и уреди;

3.1 Прозорци

Идеален прозорец ќе обезбеди атрактивни нивоа на осветлување без отсјај, високи нивоа на топлинска енергија изолација, и ќе овозможи инфрацрвената светлина да влезе кога таа е потребна за греење, но ќе ја блокира кога истата би ги зголемувала трошоците за ладење.



Слика2 - Енергијата од сонце

Исто така би било добро да ја блокира ултравиолетовата светлина што може да ја оштети кожата и материјалите. Прозорците, исто така, треба да бидат ефективни делови при изградба на системи за контрола на климата и системи за осветлување. Иновациите вклучуваат стаклени обложувања кои ја намалуваат апсорпцијата и повторната емисија на инфрацрвена светлина, подобрувања на топлинска спроводливост (на пр., повеќе слоеви од стакло, пополнување на празнините помеѓу стаклените плочки користејќи аргон, криптон или ксенон и подобрен дизајн на рамката), како и употребата на стакло со ниско железо за подобрување на видливоста. Комерцијалните производи кои сега се достапни, обезбедуваат седум пати поголема изолација од изолацијата што ја обезбедуваат прозорците со еднократно застаклување без да се загрозат оптичките својства. Најголемиот предизвик е обезбедување супериорни перформанси по прифатлива цена. Исто така постојат и практични размислувања. Прозорците со три или четири слоја на стакло се премногу тешки и скапи за повеќето конвенционални инсталации. Користејќи вакум помеѓу стаклата целосно се елиминира спроводливоста и конвекцијата, но тоа бара многу мали изолатори или други механизми за да ги задржат допирните стакла.

3.2 Решенија кои можат да доведат до значителна заштеда на енергија:

1. Рефлектирачки внатрешни слоеви
2. Издржливи и високо рефлектирачки надворешни слоеви
3. Материјали за промена на фаза (PCM)
4. Нови изолациони пени
5. Други изолациони модули

3.2.1.1 Рефлектирачки внатрешни слоеви

Одразувајќи ја светлината подобро од нормалните бои, овие слоеви го максимизираат чувството на простор и осветлување. Тоа всушност овозможува намалување на количината на потрошената енергија за вештачко (дополнително) осветлување.

Овие слоеви ја оптимизираат употребата на природно и вештачко осветлување до 20% или со други зборови за 20% се намалува енергијата која би била потребна за да се дојде до иста перцепција на светлината. Тие допринесуваат и за задржување на топлинската радијација од сонцето во зградата. Во однос на досегашните тестирање, рефлективните внатрешни слоеви покажале животен век од 5-10 години без губиток на нивните перформанси, а додека цената на овие слоеви е само маргинално повисока. Ефектот од користење на вакви слоеви е највисок во климатските делови кои имаат ограничена дневна светлина како (Северна и Средна Европа).

3.2.1.2 Високо-рефлектирачки и трајни надворешни слоеви

Овие слоеви ја рефлектираат сончевата радијација и тоа деловите од видливата светлина или инфрацрвените делови од спектарот. Кога се применува на покриви или сидови, рефлексијата на сончевите зраци ја намалува топлината на покривите и сидовите и како резултат на тоа исто така го намалува загревањето на просторот под покривот и зад сидовите.

Високо-рефлектирачките и трајните надворешни слоеви се применливи на покриви и сидови на објекти кои се наоѓаат во потоплите климатски региони и можат да заштедат до 15% од потрошувачката на енергија за климатизирање, додека исто така

дозволуваат намалување на употребата на системот за климатизирање. Животниот век на оваа технологија е 12-15 години во зависност од надворешните климатски услови. Трошоците за примена на овие слоеви се прифатливи и исплатливи.

3.2.1.3 Материјали кои ја менуваат фазата (PCM)

Овие материјали се користат во (внатрешни) сидови или покриви и притоа PCM материјалите овозможуваат сидовите и покривите да апсорбираат и складираат прекумерна топлина во текот на денот, со цел да ја испуштаат истата во текот на ноќта кога температурата на воздухот ќе опадне. PCM во основа ја зголемува топлинската инерција на сидот и покривите, што ги прави да се однесуваат како дебели камени сидови. Како таква, PCM содржана во сидовите и покривите ги намалува промените на температурата во внатрешноста со што се заштедува енергија (Графика 3).

Во последните тестови, PCM покажале дека имаат 30 години животен век без губење на перформансите. За конкретен случај може да се каже дека се заштедува дури до 10% од енергијата која се губи во ладење.

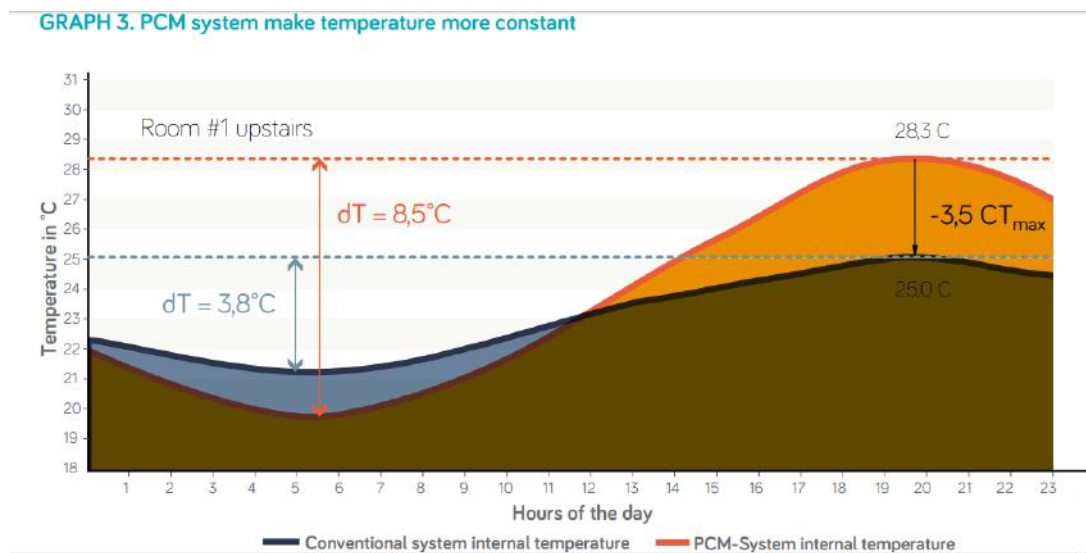


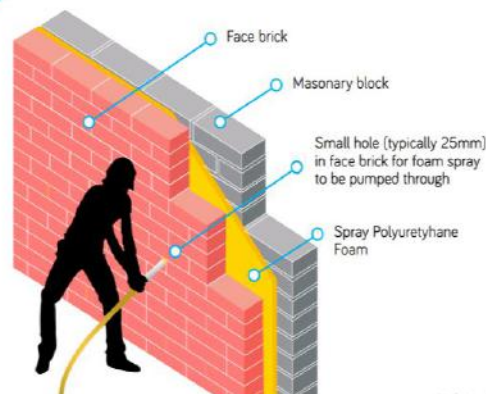
График 1 –PCM системот овозможува одражување на приближно константна температура

3.2.1.4 Напредни изолациони пени

Напредни изолациони пени со високи изолациони перформанси овозможуваат значителни заштеди на енергии и можат да бидат прилагодени во различни конфигурации на објекти. Пресметано е дека овие високи перформансни пени можат да ги намалат трошоците за енергија за затоплување од 30% до 80%.

Изолацијата на сидните сидови го исполнува проторот помеѓу двата слоја на надворешниот сид на објектот. Како на Слика 3 , изолацијата може да се инјектира со пена. Во случај на нова градба вообичаено празнината се полни така што се користи цврсти панели предходно поставени на сидот.

Figure 1. Cavity wall insulation

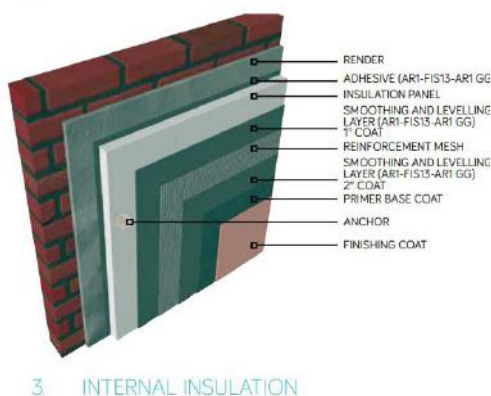


Слика 3 - Изолациони пени

3.2.1.5 Надворешна изолација

Во случај каде нема сидна шуплина, може да се одлучи да се изолираат надворешните сидови на објектот. Овој пристап овозможува прифатливо ниво на промена на температурата. Секој слој од изолацијата е составен според специфичните карактеристики на сидот, климата и ориентацијата на зградата. Покрај перформансите на топлинска изолација, други критериуми за избор на материјали вклучуваат огноотпорност, механичка отпорност, стабилност, апсорпција на вода и пропустливост. За повеќето вакви изолациони фасади животниот век на системот е до 20 години. Овој пристап не го менува надворешниот изглед на една зграда. Очигледен недостаток е губење на внатрешниот простор (поради дебелината на изолационите слоеви).

Figure 2. External wall insulation



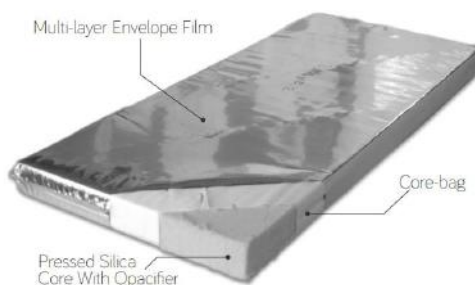
Слика 4 - Надворешна изолација

3.2.1.6 Вакумски изолационен панел (VIP)

Модулите за вакумска изолација обезбедуваат слобода при дизајн кога се реновираат стаклени фасадни згради. Нивните изолациони перформанси се некаде три пати повисоки од конвенционалните материјали за изолација. До неодамна VIP ретко се користеле во објектите поради нивната кршливост и ризикот од оштетување на вакумот од перфорацијата. Меѓутоа неодамнешните производи го опфаќаат вакумот внатре во пакет со двојно застаклување овозможувајќи нивна употреба во објекти кои

имаат потреба од силно подобрување на термалната изолација. VIP во моментот се значително поскапи од конвенционалните изолациони материјали.

Овие технологии обезбедуваат долгорочни изолациони перформанси, со многу мали загуби на ефикасност (20%) во првите 30 години од нивното инсталирање. Комбинацијата од овие пет технологии би можела да заштеди на енергија за затоплување и климатизирање со повеќе од 40%. Точниот износ на заштеда би зависел и од други фактори како видот и локацијата на зградата. Важно е овие технологии да бидат интегрирани како дел од глобалното реновирање на објектите.



Слика 5 - Вакумски изолационен панел

4 ЗАКЛУЧОК

Енергетската заштеда при изградбата стана една од најважните теми на политичките и научните агенди. Растењето на популацијата, намалувањето на изворите на енергија базирани на фосилните ресурси, порастот на емисии на штетни гасови прераснаа во главни мотиватори за енергетската ефикасност во зградите. Дополнително, цената за ефикасност, безбедноста и потребата да се намалат емисиите на јаглерод се фундаментални причини за енергетска заштеда. Во минатиот век, неверојатниот пораст на употребата на енергија и се поголемата зависност од енергетски извори го принудиле човештвото да започне да троши енергија на најефикасен можен начин во секој поглед. Околу една третина од глобалната енергија е потрошена во домовите, јавните и комерцијалните згради, каде се користи за затоплување на просторот, ладење, вентилација, осветлување, готвење, затоплување на водата, потрошувачка на фрижидери и користење на електрични и механички уреди. Користењето на енергијата се очекува да расте како што се повеќе се модернизираат градовите во развиените земји и расте бројот по жител.

Поради нивната голема потрошувачка на енергија, зградите исто така нудат можности за заштедувачка на енергија. Според Меѓународната Агенција за Енергетика, зградите или објектите сочинуваат околу 41% од глобалниот потенцијал за заштеда на енергија до 2035, споредно со индустрискиот сектор 24% и транспортниот сектор 21%.

Од досегашните излагања се утврдуваат три основни начини со кои енергетската ефикасност би можела да биде подобрена во домовите, јавните и комерцијалните објекти.

1. Преку подобрен дизајн и конструкциска техника која ги намалува потребите за топење, ладење, вентилација и осветлување.
2. Преку изградба на надополнување и замена на енергија користејќи дополнителна опрема
3. Преку активно менаџирање на употребата на енергијата

5 КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

Energy Information Administration (EIA). Annual Energy Review 2014. Washington, DC: U.S. Department of Energy, 2014. Available at: [http:// www.eia.gov/forecasts/archive/aeo14/](http://www.eia.gov/forecasts/archive/aeo14/). Note that total building energy use, as described here, includes residential and commercial energy use. This changes the values presented slightly from those of chapter 1, which strictly separated residential and commercial building energy use from all industrial energy use.

U.S. Department of Energy, Office of Energy Efficiency and Renewable Energy. Windows and Buildings Envelope Research and Development. Washington, DC, 2014. Available at: <http://energy.gov/eere/buildings/downloads/research-and-development-roadmap-windows-andbuilding-envelope>.

https://www.unido.org/sites/default/files/2009-02/Module18_0.pdf

<https://schooledbyscience.com/6-energy-efficient-green-building-materials/>

<https://eu-smartcities.eu/sites/default/files/2017-10/Advanced%20Materials%20for%20Energy%20Efficient%20Buildings%20-%20Smart%20Cities%20Stakeholder%20Platform.pdf>

ENERGY EFFICIENT BUILDINGS

ABSTRACT

Global consumption of electricity has rapidly risen with the growth of human population in the world, and as a result there is an increase of greenhouse gases emission. In order to succeed in creating sustainable cities and healthy living environments as well as to increase energy efficiency in this paper will be processed the ways that will enable reduction of electricity consumption. That will be done by using building materials that will allow increase of energy efficiency in the households. By comparing the traditional way of building the infrastructure where the factor of energy efficiency of households was neglected, and the new way of construction by creating the so-called A class energy efficient infrastructure will be given a special emphasis on the benefits and energy savings as well as improving everyday living. New energy-efficient buildings can also generate other economic, social and environmental benefits. Improving the energy performance of infrastructure and energy savings will allow many households to avoid "energy poverty". These are some of the factors that preserve energy efficiency and sustainability as a progressively key global entity.

Key words: *healthy environment, energy saving, sustainable household, building materials*



Елена Спасовска ¹, Димитар Димитров ²

¹ Факултет за електротехника и информациски технологии, Скопје

¹elenaspasovska29@yahoo.com ²ddimitar@feit.ukim.edu.mk

ПРИМЕНА НА ОБНОВЛИВИ ИЗВОРИ НА ЕНЕРГИЈА КАЈ ОБЈЕКТИ СО ЕНЕРГИЈА БЛИЗУ НУЛА

АПСТРАКТ

Создавањето на навики кај луѓето за штедење на енергијата и користењето на обновливи извори на енергија при планирањето на објектите, се два појдовни фактори кон остварување на што поголема енергетска ефикасност во енергетскиот и градежниот сектор.

Претставувањето на еден N-ZEB - (Nearly Zero Energy Building) објект во еден современ град ќе има огромно влијание кон подигнување на свеста на луѓето за поинтензивно размислување во правец на штедење на енергијата и што поинтензивно користење на обновливите извори на енергија. Само преку искористување на обновливите извори на енергија при планирањето на еден објект може да се постигнат карактеристики еднакви на N-ZEB, со што и придонесот кон ефектот “стаклена градина” би се свел на минимум.

Во овој труд, ќе се даде преглед на обновливите извори на енергија што можат да се применат во објекти, при што ќе биде запазен концептот на енергија близу нула. Притоа ќе бидат разгледани можните начини на снабдување со електрична енергија и енергија за греење и ладење. Како прва варијанта ќе биде димензиониран соодветен фотоволтаичен систем од 5 kW кој што ќе снабдува семејна кука, а како втора варијанта ќе се димензионира фотоволтаичен систем со инсталиран капацитет од 7 kW. Со примена на софтверската алатка Net ZEB Evaluation Tool ќе бидат определени перформансите при применет систем за покривање на енергетските потреби во еден објект.

Клучни зборови: *Енергетска ефикасност, N-ZEB, обновливи извори на енергија*

1 N-ZEB (NEARLY ZERO ENERGY BUILDINGS) БЛИСКУ ДО НУЛА ЕНЕРГЕТСКИ ОБЈЕКТИ

Одредувањето на енергетските карактеристики на зградите со енергија близу нула се врши според директивата 2010/31/EU при што поставени се одредени цели. Со нивно исполнување треба да се постигне целта 20-20-20 во Европската Унија до 2020 година, која подразбира :

- Намалување на емисијата на стакленички гасови за 20% (се разгледува можноста оваа цел да се зголеми на 30 %);
- Намалување на потрошувачката на енергија во објектите за 20%;
- Зголемување на учеството на обновливи извори во потрошувачката на енергија за 20% [1].

1.1 Дефиниција за N-ZEB

Една зграда, објект, градба може да се нарече “блиску до нула енергетски објект”, доколку вкупната потрошувачка на енергија во еден објект на годишно ниво, треба да е прилично

еднаква со произведената енергија од обновливи извори на самото место или во непосредна близина. Голем дел од овие објекти се поврзани со енергетската мрежа при што земаат електрична енергија кога им е потребно, а даваат кога имаат вишок. Енергијата најчесто се произведува на самото место (ФВ систем, ветерена турбина), а намалувањето на потрошувачката на енергија со прави со високо ефикасни системи HVAC (греење, ладење, вентилација) и осветление [2].

Еден високо енергетски ефикасен N-ZEB објект се карактеризира со висок степен на термоизолираност од надворешни влијанија, содржи високо енергетски ефикасни прозори и рамки, има голем степен на воздушна заптивност како и природна или вештачка вентилација со високо ефикасен трансфер на топлина за намалување на потребите за греење и ладење.

Огромна улога во ефикасноста на потрошувачката на енергија и ефикасноста на уредите и технологиите кои треба да ја задоволат потребата од енергија при користење на зградата е изборот и типот на материјалите кои се вградуваат во објектот.

1.2 Обновливи извори на енергија и стратегии за достигнување на N-ZEB

Денес, во огромен подем и се достапни се различните начини за имплементирање на технологии за искористување на обновливите извори на енергија како што се: сончевите колектори за топла вода, фотоволтаичните системи за производство на електрична енергија, турбините за искористување на ветерната енергија. Нивниот избор зависи од временските услови, објектот и околината.

Главната цел на N-ZEB е намалување на емисиите на стакленички гасови во атмосферата а зголемување на сончевата и ветерната енергија. За да се дизајнира обновлив извор на енергија кај N-ZEB објект потребно е да се превземат одредени чекори (во поголем дел од случаите објектите имаат ограничен кров, помал простор околу објектот итн.). Особено важно е да се анализираат стратегии за намалување на потрошувачката на енергија кај N-ZEB. Стратегиите за намалување на потрошувачката се делат на активни и пасивни. Пасивната стратегија врши оптимизација на термичките карактеристики на објектот, неговата ориентираност и форма, дневната светлина, природната вентилација и надворешното засенување. Активната стратегија се фокусира на енергетските системи во објектот [3].

2 ПРИМЕНА НА ЕНЕРГЕТСКИ ЕФИКАСЕН СИСТЕМ ЗА ПОКРИВАЊЕ НА ЕНЕРГЕТСКИТЕ ПОТРЕБИ ВО ОБЈЕКТ ОД АСПЕКТ НА NZEB СО ПОМОШ НА ZEB EVALUATION TOOL

Локацијата на избраната постоечка семејна кука ($200m^2$) за домување на 4 лица е во град Пробиштип. Во околината на објектот постојат куќи, но не ја нарушуваат дневната светлина и сончевото зрачење. Во врска со топлинската енергија во објектот, ладењето и основниот систем за подно греење е со топлинска пумпа со моќност од 10 kW. Напојувањето на објектот со електрична енергија е со фотоволтаичен систем и дистрибутивната мрежа. Воздушниот комфор е изведен со природна вентилација, светлосниот комфор со поголем број на прозорци и доволен влез на дневна светлина и звучниот комфор со PVC структура на сидовите. За снабдување со топла вода ќе се искористат два соларени колектори со површина $4m^2$ и ќе се добие 3000 kWh. Потрошувачка на енергија во семејната кука на годишно ниво е усвоена 4000 kWh (не вклучувајќи ги уредите за ладење и греење).

Net ZEB Evaluation Tool се базира на Excel фајл и има за цел да го прикаже енергетскиот биланс за избран објект, како и индексот на совпаѓање меѓу производството и потрошувачката на енергија во системот [4]. Се прават две варијанти за 5 kW (за кој се прикажани извештаите во трудот) и 7 kW ФВ систем. Влезните параметри се месечните потреби и добивки на енергија во системот.

PVGIS estimates of solar electricity generation

Location: 42°0'0" North, 22°10'54" East, Elevation: 564 m a.s.l.,

Solar radiation database used: PVGIS-CMSAF

Nominal power of the PV system: 5.0 kW (crystalline silicon)

Estimated losses due to temperature and low irradiance: 9.4% (using local ambient temperature)

Estimated loss due to angular reflectance effects: 2.6%

Other losses (cables, inverter etc.): 14.0%

Combined PV system losses: 24.1%

Fixed system: inclination=35°, orientation=0°				
Month	E_d	E_m	H_d	H_m
Jan	10.90	339	2.68	83.0
Feb	14.80	414	3.63	102
Mar	20.30	628	5.14	159
Apr	21.40	642	5.59	168
May	22.70	705	6.08	188
Jun	24.30	729	6.69	201
Jul	25.40	787	7.03	218
Aug	24.50	760	6.89	213
Sep	21.10	632	5.76	173
Oct	18.50	573	4.80	149
Nov	13.10	392	3.28	98.5
Dec	9.54	296	2.31	71.5
Yearly average	18.9	575	5.00	152
Total for year		6900		1820

Слика 1 Податоци добиени од димензиониран

5 kWp ФВ систем со помош на online алатката pvgis.com

Tapping pattern				
Family with shower use				
Type of usage	Hot water consumption	Water temperature	Volume per day at 40,0°C	Occurrences per day
Small	3 l	40,0°C	48 l	16
Floor	3 l	40,0°C	3 l	1
Clean	2 l	55,0°C	6 l	2
Small dishwash	6 l	55,0°C	9 l	1
Medium dishwash	8 l	55,0°C	0 l	0
Larger dishwash	14 l	55,0°C	21 l	1
Large	15 l	40,0°C	0 l	0
Shower	40 l	40,0°C	80 l	2
Bath	103 l	40,0°C	0 l	0
Total per day at 40,0°C			167 l	5,8 kWh

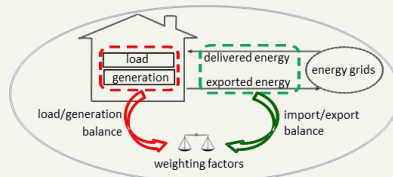
Слика 2 Пресметка на потребна топла вода со помош на алатката Daikin Altherma Simulator

месец	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	вкупно
греење со прекин kwh	1000	500	7	0	0	0	0	0	0	0	220	950	2677
ладење kWh	0	0	0	36	36	108	108	108	108	36	0	0	540
топлинска пумпа за ладење kwh	0	0	0	104	25	36	183	145	30	67	0	0	590
соларни колектори	-70	-80	-150	-240	-350	-450	-450	-450	-330	-250	-110	-70	-3000
потребна топла вода	233,33	233,33	233,33	233,33	233,33	233,33	233,33	233,33	233,33	233,33	233,33	233,33	2800
топлинска пумпа за греење	500	250	3	0	0	0	0	0	0	0	150	400	1303
фотоволтаичен систем	-339	-414	-628	-642	-705	-729	-787	-760	-632	-573	-392	-296	-6897
потрошувачи kwh	334	334	334	333	333	333	333	333	333	333	334	334	4001
сума со потрошувачи	1659,33	825,33	-197,67	-171,67	-422,67	-462,67	-372,67	-382,67	-248,67	-143,67	446,33	1563,33	2091,96
греење со прекин kwh/m2	5	2,5	0,035	0	0	0	0	0	0	0	1,1	4,75	13,385
ладење kwh/m2	0	0	0	0,18	0,18	0,54	0,54	0,54	0,54	0,18	0	0	2,7
потребна топла вода kwh/m2	1,16665	1,16665	1,16665	1,16665	1,16665	1,16665	1,16665	1,16665	1,16665	1,16665	1,16665	1,16665	13,9998
потрошувачи kwh/m2	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	1,38	16,56
топлинска пумпа за ладење kwh/m2	0	0	0	0,52	0,125	0,18	0,915	0,725	0,15	0,335	0	0	2,95
топлинска пумпа за греење kwh/m2	2,5	1,25	0,015	0	0	0	0	0	0	0	0,75	2	6,515
вкупно потреби kwh/m2	10,05	6,30	2,60	3,25	2,85	3,27	4,00	3,81	3,24	3,06	4,40	9,30	56,11
фотоволтаичен систем kwh/m2	-1,695	-2,07	-3,14	-3,21	-3,525	-3,645	-3,935	-3,8	-3,16	-2,865	-1,96	-1,48	-34,485
соларни колектори kwh/m2	-0,35	-0,4	-0,75	-1,2	-1,75	-2,25	-2,25	-2,25	-1,65	-1,25	-0,55	-0,35	-15
Вкупно добивки kwh/m2	-2,045	-2,47	-3,89	-4,41	-5,275	-5,895	-6,185	-6,05	-4,81	-4,115	-2,51	-1,83	-49,485
сума со потрошувачи	8,29665	4,12665	-0,98835	-0,85835	-2,11335	-2,31335	-1,86335	-1,91335	-1,24335	-0,71835	2,23165	7,81665	10,4598

Слика 3 Месечни потреби и добивки од енергија (за ФВ од 5 kW)

Building Project - Input Data

Name of project	Diplomska
Building type	RESIDENTIAL
Location (city, country)	OTHER
Energy rating	
Web site	



BUILDING DESIGN DATA

g: Energy generation

i - energy carrier		i1	i5	i6	i8	i9	i10	i11	Note
		electricity [kWh _{el} /m ² y]	heat to district heating [kWh _h /m ² y]	cold to district cooling [kWh _c /m ² y]	enter one more energy source produced [kWh/m ² y]	enter one more energy source produced [kWh/m ² y]	enter one more energy source produced [kWh/m ² y]	enter one more energy source produced [kWh/m ² y]	
building on-site generation systems connected to the energy infrastructure	PV	34,49							6900 kwh/200 m ² =34,485 kwh/m ²
	cogeneration/trigeneration								
	solar thermal		15,00						3000 kWh/200 m ² =15 kWh/m ²
	enter one more generation system								
	enter one more generation system								
	TOTAL	34,49	15,00						
off-site generation systems connected to the energy infrastructure	PV								
	wind turbine								
	enter one more generation system								
	enter one more generation system								
	TOTAL								

li: Energy load of building systems

i - energy carrier		i1	i2	i3	i4	i5	i6	i7	Note
		electricity [kWh _{el} /m ² y]	oil [kWh _o /m ² y]	gas [kWh _g /m ² y]	biomass [kWh _b /m ² y]	heat from district heating [kWh _h /m ² y]	cold from district cooling [kWh _c /m ² y]	enter one more energy source [kWh/m ² y]	
li- building systems load	heating	6,52							ел. е-ја за греење 1303 kWh/200 m ² =6,515 kWh/m ²
	DHW	14,00							потребна топла вода 2800 kWh/200 m ² =14 kWh/m ²
	cooling	2,95							ел. е-ја за ладење 590 kWh/200 m ² =2,95 kWh/m ²
	built-in lighting								
	auxiliaries								
	ventilation								
	plug loads	20,00							4000 kWh/200 m ² =20 kWh/m ²
	cogeneration/trigeneration								
	hot water								
	TOTAL								

Design monthly data about load and generation

li = electricity		jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep	oct	nov	dec
Generation (li) [kWh _{el} /m ²]		2,05	2,47	3,89	4,41	5,28	5,90	6,19	6,05	4,81	4,12	2,51	1,83
Load (li) [kWh _{el} /m ²]		10,05	6,30	2,60	3,25	2,85	3,27	4,00	3,81	3,24	3,06	4,40	9,30

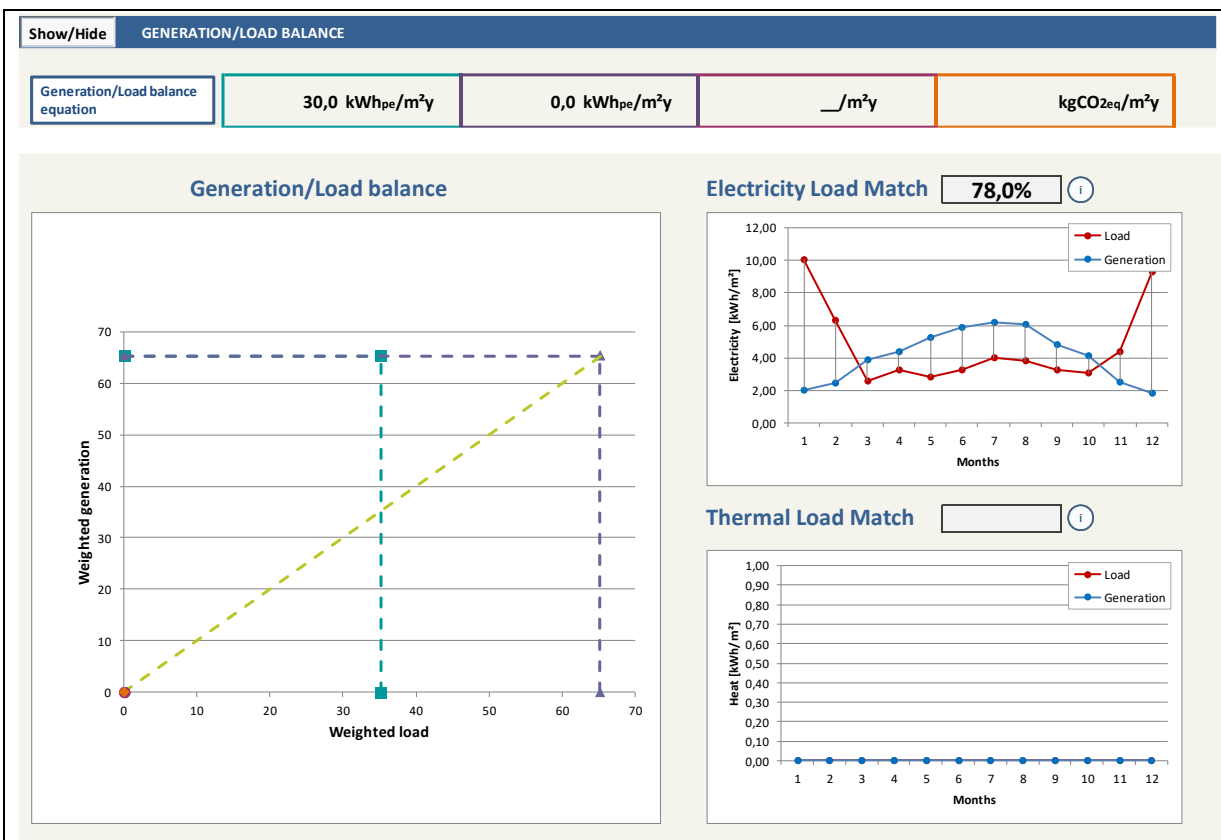
is = heat from/to district heating		jan	feb	mar	apr	may	jun	jul	aug	sep	oct	nov	dec
Generation (is) [kWh _h /m ²]													
Load (is) [kWh _h /m ²]													

static weighting factors

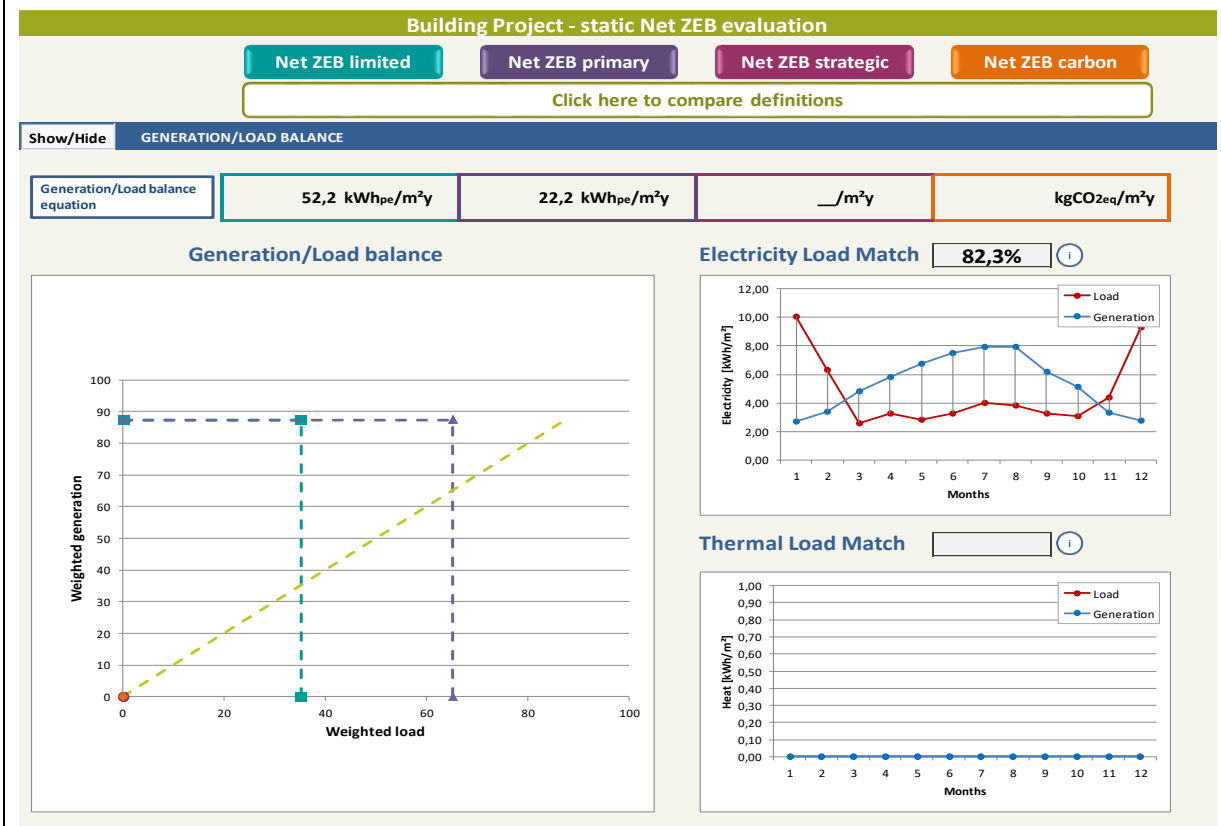
PRIMARY ENERGY FACTORS

Wi [kWh _{pe} /kWh]	i1	i2	i3	i4	i5	i6	i7	i8	i9	i10	i11
	electricity	oil	gas	biomass	heat from/to district heating	cold from/to district cooling	enter one more energy source	enter one more energy source	enter one more energy source	enter one more energy source	enter one more energy source
Symmetric primary energy factors	1,50				0,90						
Note											

Слика 4 Внесување на параметри во Net ZEB Evaluation Tool за ФВ од 5 kW



Слика 5 Добиени резултати за ФВ од 5 kW



Слика 6 Добиени резултати за ФВ од 7 kW

3 ЗАКЛУЧОК

Согласно добиените резултати, во првата варијанта имаме потполно совпаѓање на балансот меѓу производството и потрошувачката во системот според дефиницијата на Net ZEB primary:

$$\sum g_i \cdot w_{e,i} - \sum l_i \cdot w_{d,i} = G - L \geq 0. \quad (1)$$

i = носител на енергија;

g_i = производство од i -тиот носител на енергија;

l_i = потрошувачка од i -тиот носител на енергија;

w = тежински фактор.

Втората варијанта има подобар индекс на совпаѓање меѓу производството и потрошувачката на електрина енергија во системот кој е добиен со релацијата:

$$f_{load} = \frac{\sum_{year} \min \left[1, \frac{g_i(m)}{l_i(m)} \right]}{12}. \quad (2)$$

f_{load} = индекс на совпаѓање на i -тиот носител на енергија;

$g_i(m)$ = производство на i -тиот носител на енергија во m -тиот месец;

$l_i(m)$ = потрошувачка на i -тиот носител на енергија во m -тиот месец;

Во втората варијанта вишокот на произведена електрина енергија се предава во мрежа.

Со употребата на обновливи извори на енергија кај објектите со енергија близу нула се намалува вкупната потрошувачка на енергија и емисиите на јаглероден диоксид во атмосферата. Се врши минимизација на загубите на енергија и се постигнува топлинска удобност и позитивно влијание врз животната средина со употребата на ефикасни системи за греење и ладење, ефикасни електрични уреди и LED осветлување.

4 КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] European Commission, Energy efficiency: delivering the 20% target, http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-08-699_en.htm, Brussels, 13 November 2008, датум на пристап 09.10.2018
- [2] Jarek Kurnitski, Francis Allard, How to define nearly net zero energy buildings nZEB, <http://www.rehva.eu/publications-and-resources/hvac-journal/2011/032011/how-to-define-nearly-net-zero-energy-buildings-nzeb/>, March 2011, датум на пристап 09.10.2018
- [3] Consulting-Specifying Engineer, Integrating renewable power systems into a net-zero energy building, <https://www.csemag.com/single-article/integrating-renewable-power-systems-into-a-net-zero-energy-building/>, датум на пристап 12.10.2018
- [4] Annamaria Belleri, Assunta Napolitano, Net ZEB evaluation tool – User guide, EURAC research, Bolzano, Italy, November 2012

INTEGRATION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES IN NEARLY ZERO ENERGY BUILDINGS

ABSTRACT

Developing new habits for energy conservation and raising the level of awareness for actively using renewable energy sources for energy production when designing new buildings, are the two basic/starting factors towards achieving greater level of energy efficiency in energy and construction sectors.

Representing a highly energy efficient building – NZEB-(Nearly Zero Energy Building) in a modern city, will have a great impact on the conventional understanding of energy consumption and will serve as an awareness tool for thinking in towards energy conservation and intensive use of the renewable energy sources for energy production. When planning and designing a building, only through the utilization of renewable energy sources, features identical to NZEB can be achieved. As a consequence, the contribution to the greenhouse effect would be reduced to a minimum.

In this paper, there will be an overview of the renewable energy sources that can be applied in buildings, where the concept of NZEB will be observed. The possible ways of supplying electrical energy and also energy for heating and cooling will be considered. In the first case, a suitable photovoltaic system of 5 kW that will supply a family house will be dimensioned and as a second option a photovoltaic system with an installed capacity of 7 kW will be dimensioned. Using the Net ZEB Evaluation Tool software, the performance of an applied system for covering the energy needs of the building will be determined.

Key words: *Energy efficiency, Nearly Zero Energy Buildings, Renewable energy sources*



Boštjan Krošelj¹, Uroš Krošelj²

¹University of Maribor, Faculty of Energy Technology, Krško

¹bostjan.kroselj@student.um.si ²uros.kroselj@student.um.si

PASSIVE HOUSE WITH GREEN ROOF

ABSTRACT

In Slovenia, the construction of passive houses is still quite rare. Even rarer is the construction of green roofs. We can blame the relatively high cost of construction, for such a small number of green roofs. The combination of a passive house with a green roof is very interesting.

Keywords: *passive house, green roof, buildings, green segments.*

1 PASSIVE HOUSE

What does a passive house mean? Under the term passive house, we understand a highly energy efficient building that can be maintained with very little if not already free of fossil fuels. The passive house means that the building is very airy, so it needs little energy for heating, cooling, dehumidification and ventilation, while the air quality in the rooms is very high throughout the year. To build such an object, we use as many natural materials as possible from renewable sources. Although we are talking about a passive house, this does not mean that they are just houses. We also know business buildings, laboratories, schools and other types of buildings built according to the passive house concept. There are no specific building requirements for the construction of a passive house, but it must meet the high requirements for the used components.

1.1 Passive houses in Slovenia

In Slovenia, the construction of passive houses is still quite rare. However, it took several years from the first built passive house in Darmstadt to first built houses in Slovenia. To the increasing number of passive house is certainly contributes by the irreversible financial incentives granted by the EKO Fund since 2008. In that year, only four financial incentives were paid. Already in the next year, the number of paid incentives has risen to 34 and is raising every year. According to EKO Fund data, we can say that from 2008 to the end of 2016, 345 buildings were built in Slovenia according to passive house standards.

Tabel 1: Paid incentives between 2008 and 2016 in Slovenia

Q _h (kWh/m ² annual)	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
≤10	0	1	1	4	34	50	42	39	36
≤15	4	33	15	2	9	10	14	22	29
Together	4	34	16	6	43	60	56	61	65

2 GREEN ROOFS

The green roof is added value to the passive house. Let us imagine a view from the plane if all the roofs were green. We would probably see only roads, and objects would hide in nature. The construction of green roofs will play an important role in efficient and ecologically construction. This would help nature to balance, because plants have the ability to clean the air and represent thermal insulation.



Picture 1: Green roof from Skalholta, Iceland

The roofs can be built with a slope from 2° to 35° . For larger slopes, it is necessary to make a roof structure to prevent slip and erosion. The construction of the roofing structure is not so important. It is important to anticipate the maximum weight that can be much greater because of the water retention capacity. What kind of greening we chose depends on the roof slope and climatic conditions in which the facility is located. From maintenance view, it is important whether the roof is accessible.

2.1 Types of green roofs

We know several types of green roofs. The first type is intensive, which reminds us of parks and gardens. On such roofs, we find low trees, shrubs, flowers and grass. The thickness of the vegetation substrate depends on the vegetation and can be up to 90 cm thick. Because of this, the roof is very heavy and it is suitable for flat roofs or roofs with minimal slopes. The surface must also be mowed which requires easy access. The second type is extensive, which is most common in green roofs. We use less demanding low-growing plants, which we call sedums. The sedums are maintaining, reproducing and developing by themselves. Twice a year it is necessary to carry out a roof inspection and, in cases of longer drought periods, watering. The vegetation substrate is between 6 and 18 cm thick. Due to its weight, the roof is suitable for easier constructions and reconstruction of existing buildings. The last type is biotope. This is green roof with a natural vegetation layer, which is adapted to the climatic conditions of the area where the facility is located. We use domestic vegetation, such as grass and moss. It is suitable for flat roofs. It transmits longer periods and is maintenance free.



Picture 2: Extensive (left) and intensive (right) greening

2.2 Advantages of green roofs

Most people do not even think about choosing a green roof. This can be attributed to the fact that people simply do not know them. To make a decision for a green roof, you need high ecological awareness. We can say that the greening of roofs is important because of environmental acceptability, improvement of living and working space and better appearance. At the same time, the object represents a lower environmental burden.

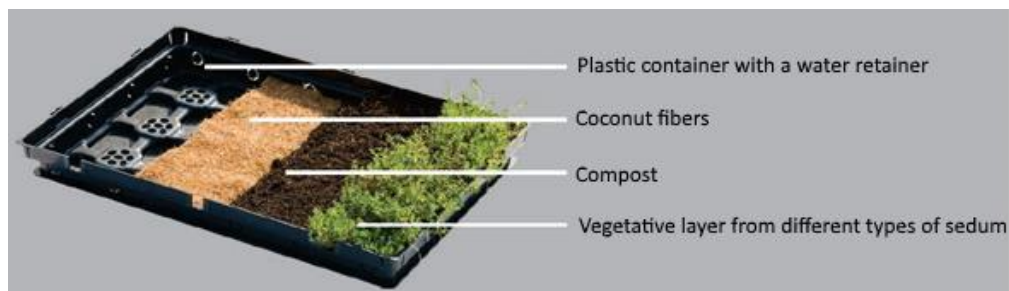
The roofs can absorb dust and produce oxygen through photosynthesis. By absorbing CO₂ and other harmful gases, it improves air quality. By increasing green areas, we can improve the microclimate. In the summer, the surface temperature of conventional roofs can be higher than the surface of green roofs up to 44 °C. It also offers protection against electro-smoke and it is additional sound protection. Green roofs also represent an additional living space for plants and animals. In the case of rainfall, the roof can hold from 30% to 80% of the total amount of meteoric water, which relieves drains. The water is then released into the drains by delay. Many recycled building materials can be used to make a layer of green roofs.

From an economic point of view, it is very important that the lifetime of green roofs can be up to twice as long as conventional roofs. It is a very good weather protection, such as hail, UV rays, temperature shocks, wind. It also provides additional fire protection. By improving the thermal insulation with a green roof, we reduce the energy consumption for heating and cooling the rooms. All of this can significantly affect our current and periodic costs and maintenance costs. At the same time, we can use green roof as an additional living space. It can serve as a terrace, as a garden or as a recreational area. In urban settlements, this can be a very important factor for choosing a green roof.

Among the disadvantages of green roofs, we can consider higher investment costs. In the case of intensive type of green roof or demanding plants that requires additional care, watering and mowing there are also higher maintenance costs. The supporting structure of the roof must be strengthened because of additional weight. In the case of a sloping roof, the investment cost is even greater, since such construction requires additional measures.

3 GREEN ROOFS FROM SEGMENTS

We also know green roofs from segments, which can be easily assembled on the roof and are suitable for lightweight construction. The base is a plastic container with a water retainer. Vegetation in these segments is extensive. The greatest advantage of green segments is the fact that products found in containers are recyclable materials that can be used very well. The container can hold up to 70 to 100% of the rainfall in the summer time and in the winter from 40 to 50%. At the same time, such a roof has all the other advantages of a green roof. The structure of the green segment is shown on picture 3.



Picture 3: Structure of the green segment

3.1 Measurements of segment

In order to determine the thermal loss of a house with a roof from green segments, we needed to know what the thermal conductivity of the green segment is. In order to make the measurement, we had to provide a sufficiently large difference between the outside and the internal temperature. The difference should not be lower than 15 ° C. For this we used the isolation chamber which is shown on picture 4. The chamber has two spaces, lower closed space which can be cooled or heated and an upper open space, where we place the meter.



Picture 4: Isolation chamber

The measurements were made by taking a 23 x 23 cm sample from the container. The sample was 9 cm high with the sedum. Then we inserted it into the upper part of the chamber, as shown in picture 5, and covered with a thin metal sheet on which we mounted the probe sensors. The chamber was then placed in a room at a temperature of about 20 ° C and left for one hour.



Picture 5: Placing the sample into chamber

The bottom of the chamber was heated, so that heat passed from the lower part to the upper part of the chamber through the sample. The temperature of the lower part was measured. In the upper part of the chamber, where the sample was located, we installed a probe for the measurement of thermal conductivity. The probe has three sensors, which were evenly distributed along the surface of the sample. The probe and the sensor were connected to the testo 635-2 meter, which was then connected to the computer with a data cable as shown on picture 6. We used Testo Comfort-Software on the computer to read the results obtained. Since it takes some time for heat to pass from the lower part to the top and to calm the situation, we waited for an hour. When the situation calmed down, we performed the measurements. Measurements were carried out in a closed room with constant temperature, with steady weather conditions and without solar radiation. We carried out 30 measurements.

The heat conductivity of the sample ranged between 1,224 W / (m²K) and 1,365 W / (m²K). If we calculate the average, we find that the thermal conductivity of the green segment is 1.296 W / (m²K). This means By using a green roof from segments, thermal conductivity in the passive house would

improve by around 7%. This would reduce thermal losses. This way, we save on the heating of the building, but the amount of savings is relatively low.



Picture 6: Installation of measuring equipment

4 CONCLUSION

In the future, we can expect the construction of passive buildings to increase, as the interest in green roofs will increase as well. Governments must force people to think about the construction of such facilities with legislation and financial incentives. At the same time, the cost of constructing a passive object must come closer to the cost of building a classic object. With such construction we will contribute to the efficient use of energy and reduce the environmental burden.

5 REFERENCES

- [1] Krošelj, B., "*Pasivna hiša z zeleno streho v Posavju*", diplomska naloga, Fakulteta za energetiko Krško, 2017
- [2] Praunseis, Z., "*Energetska oskrba objektov*" Založniška dejavnost Fakultete za energetiko, 2014



Uroš Krošelj¹, Boštjan Krošelj²

¹Faculty of energy technology/Univirsity of Maribor, Krško

¹uros.kroselj@student.um.si

²bostjan.kroselj@student.um.si

EFFICIENT USE OF ENERGY IN WINTER GREENHOUSES FOR MORE SUCCESSFUL FARMING

ABSTRACT

This article presents efficient energy use in the farming sector. The purpose of the paper is to find solutions for successful agricultural production in the winter season. This would allow growers to sell their produce at the highest possible price, as there is a shortage of domestic production in the winter in Slovenia. Firstly, an analysis of the market and demand is presented, followed by the determination of the boundary conditions for successful production. The next step includes basic guidance on the orientation of the winter greenhouse, and then the presentation of suitable glazing materials. The last section shows a simplified calculation for the required heat output of the heating system and the selection of suitable heating systems. With this kind of production we want to offer healthy home-made food in the winter season. This would be a very welcome alternative to the increasing import of food from foreign countries.

Keywords: *efficient use of energy, winter greenhouses, winter growing.*

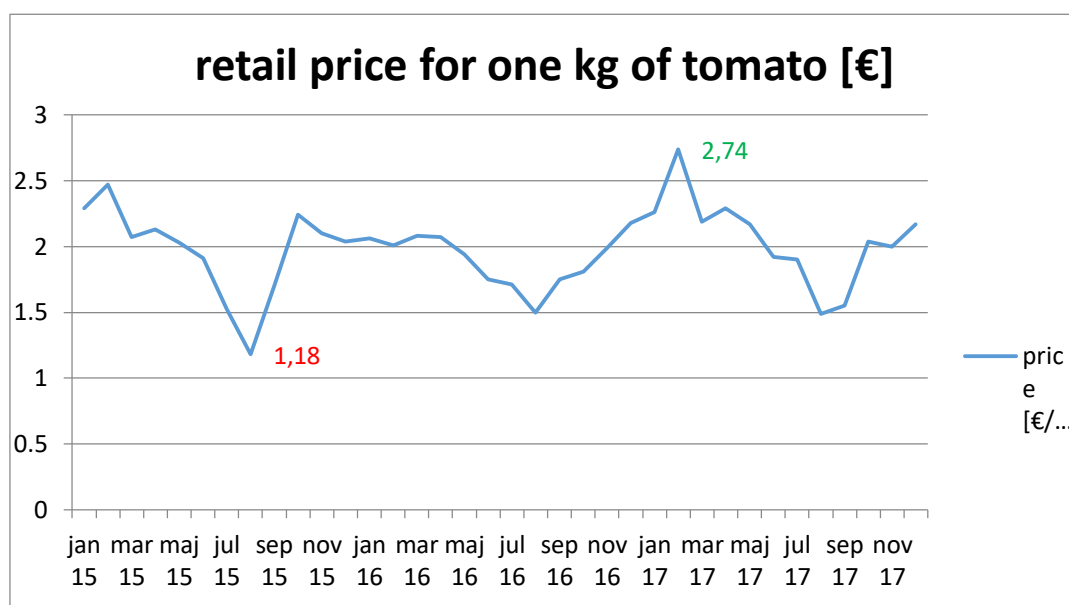
1 INTRODUCTION

In Slovenia, there are good conditions for producing fruit and vegetables, especially in the spring, summer and autumn. The major problem is winter period, when weather is unpleasant and without artificially created conditions, it is practically impossible to produce fruit and vegetables. Modern dimensioned, oriented and heated greenhouses represent the possibility of producing at least a certain type of food in the winter. This is important in many angles. We are facing decreasing self-sufficiency in terms of food production, while food import is rising each year. The number of farms (especially smaller ones, which produce best quality food) is smaller every year. This also affects the domestic economy. Of course, the quality of food is an important factor. We must be aware that in Slovenia we have strict conditions in production of organic food, with regular inspections. The quality of imported food is questionable and difficult to trace. Production standards can also be very different from ours. Recently, there is a trend of raising people awareness about the importance of healthy diet and consequently the demand for domestic fruit and vegetables is increasing. The lack of domestic food is highest in winter, when people are willing to pay much more for it. Here we see an opportunity for additional earnings and better business of farms. The main idea of this article is to present farmers with new, modern approaches for growing fruit or vegetables in the winter. We will show all the key steps by which we can make a quality plan for building winter greenhouse that will meet our demands. We will begin by analyzing the market in Slovenia. With the help of the “Statistični Urad Republike Slovenije” (Statistical Office of the Republic of Slovenia, hereinafter: SURS), we will collect data on retail prices of specific crops. Based on this, we will decide which is the most profitable culture to cultivate. We will then set minimum conditions for growth, which must be provided throughout the entire production season. This will be followed by a description of the optimal orientation of the greenhouse with regard to the growing period. In the next section we will present modern glazing materials that are suitable for the installation of such a greenhouse, and then a

simple calculation for the necessary heat power in case of heating. In the end we will present modern methods of heating, suitable for such an object.

2 MARKET ANALYSIS AND CHOICE OF PRODUCTION CULTURE

On the SURS website we have access to a wide database on the sale of individual agricultural products. Since we anticipate the installation of a smaller greenhouse with our own sales on the market, we are mainly interested in retail prices. For example, we selected tomatoes and analyzed the retail prices in the period from January 2015 to November 2017, as shown in Figure 1. We found that the absolute maximum price of tomatoes during this period was € 2.74 in February 2017. The lowest price during this period was in August 2016, when it amounted to € 1.18. The highest price is therefore 232 % higher than the lowest price. We can also compare the difference in a given year. For example, we took the year 2017 when the lowest price was 1.49 € (August), and the highest was 2.74 € (February). Here we also see the big difference, described by a factor of 1.84 or 184 % of the price increase. Because of the described price differences, we decided that the tomato will be a suitable culture to be grown in a greenhouse.



Picture 1. Retail price for one kilogram of tomato

Tomatoe is one of the most popular vegetable in our country. It is also difficult to find it in the market in winter season (domestic production). We will get a high interest in our crop, which will not be difficult to sell.

3 DETERMINATION OF MINIMUM CONDITIONS

To be successful in the cultivation of tomatoes, we must achieve at least the minimum conditions that are not easy for this vegetable. The optimum temperature for tomato growth ranges from 15 ° C to 20 ° C, and the minimum soil temperature is 10 ° C. The solar gain heat coefficient (SGHC), which is the amount of light passing through the material must not be less than 0.60. We also have to take into account the amount of sunlight needed for photosynthesis (PAR - photosynthetically active radiation). The optimum wavelength range is between 400 and 700 nanometers [1].

4 ORIENTATION OF GREENHOUSE

The greenhouse orientation is one of the first stages of the installation, which at first glance seems less important. However, in the case of a greenhouse that serves to produce food in the least favorable season, this is one of the key building points. If simplified, the winter greenhouse for optimum production should be set in the east-west direction. This means that the longer side is facing the south. In this case we will intercept solar energy with a larger surface of the greenhouse. If we

want to reduce the problem of our own greenhouse shading, the scale of longer versus shorter side of the greenhouse should be at least 2 : 1. The next very important thing is choosing the glazing parts of the greenhouse, which will receive the solar energy. Considering that we intend to produce in the winter, when the night temperatures are very low and the northern wall does not receive direct sunlight, it is reasonable to make this side of the greenhouse from insulating material, which will provide much less heat loss. The slope of the southern wall is also extremely important. To maximize the efficiency of solar radiation, it must be positioned so that the sun rays fall into south wall as close to perpendicular as possible, which means that all energy is concentrated on the smallest possible surface. In December we receive sun's rays at about 22 degrees. This means that the optimum angle of southern wall is approximately 68 degrees with respect to the ground [1,2].

5 SUITABLE GLAZING MATERIALS

It is one of the most important things to be considered when setting the greenhouse. It is the choice of glazing material that will determine heat losses and consequently the necessary heat output for heating. The recommended maximum thermal transfer coefficient is $1.98 \text{ W} / \text{m}^2\text{K}$. Important factors are also the strength of the material due to winter conditions and the factors described in the previous subsection. The most suitable materials for the construction of winter greenhouses are glass, polyethylene foil and polycarbonate panels [1].

5.1 Glass

Advantages of glass are appearance, transparency of the material and also insulating properties of multilayer glass. The disadvantages are high costs and possible damage of material, which is difficult to replace. The light transmittance of the new single-layer glass varies between 85 % and 90 %, the thermal resistance is 0.9. A two-layer glass has higher thermal resistance (1.5-2.5), but has lower light transmittance (between 70 % and 75 %). Figure 2 is an example of a glass greenhouse [1].



Picture 2. Glass greenhouse

5.2 Polycarbonate panels

Today, polycarbonate is one of the most widely used greenhouse glazing materials. It works well in areas where there is a likelihood of strong snow and strong winds. The material can be cut according to specific requirements, it is light and easy to install. It is a versatile material and, if properly installed, it has a long lifetime (10 to 12 years). It is available in several and differently formed layers that have different values of thermal resistance and different values of light transmittance, as can be seen from Table 1. These are the key data for selecting such material. In the picture 3 we can see an example of greenhouse, made of polycarbonate panels [1].

Table 1. Polycarbonate plates properties

	Two-layer panels	Three-layer/four-layer panels
Light transmittance	83 %	75 %
Thermal resistance	1,4-1,8	2-4,1



Picture 3. Example of greenhouse made of polycarbonate panels

5.3 Polyethylene foil

It is used for tunnel version of greenhouse. In practice, they have a lifetime of 3 to 4 years. The frame system is simple, in the form of steel tubes. The material is flexible, but it can be quickly torn down, so a careful installation is required. Polyethylene foil is one of the more rational options for greenhouses. The properties presented in Table 2 can be improved using a double layer with an intermediate airspace. This can be provided with air pump. An example of such greenhouse is shown in picture 4 [1].

Table 2. Polyethylene foil properties

	Single layer foil	Double layer foil
Light transmittance	80-90 %	60-80 %
Thermal resistance	0,87	1,5-1,7 (without airspace between)



Picture 4. Polyethylene greenhouse

6 THERMAL POWER FOR HEATING GREENHOUSES

Simplified calculation of heat losses is presented. Transmission heat losses as well as ventilation heat losses are required. We must take into account the temperature difference between the interior and the outer part, therefore we need data on the average minimum temperatures in each month, which can be found on the website of the Environmental Agency of the Republic of Slovenia (ARSO). According to the equation below, the transmission losses can be calculated for each individual month:

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T \quad (1)$$

Q - heat loss of the greenhouse [kW],

U - heat transfer coefficient [W / m²K],

A - area [m²],

ΔT - temperature change [K].

Ventilation losses can be calculated according to the formula below, for each month separately:

$$Q_v = H_v \cdot \Delta T \quad (2)$$

$$H_v = 0,34 \cdot n \cdot V_i$$

H_v - coefficient of ventilation heat losses (W / K),

n - number of air changes (0.4),

V_i - net heated volume of the greenhouse (m³) [3].

7 HEATING METHODS

The calculation of heat losses in the coldest month will give us the necessary thermal power of our heating system. However, the choice of the heating method can be very individual and different for each grower. Since we are basically aiming to produce healthy and organic food, it makes sense to think about this in the choice of heating, which should exploit renewable energy sources. Depending on the geographical location, we can choose between very different methods, such as the use of solar collectors, geothermal energy, heat pumps and various combinations between such heating systems. We can also consider the use of possible waste heat, which often occurs in various processes on the farm during the winter (for example, pasteurization of juices and making spirits).

8 CONCLUSION

Due to rapid climate change and frequent weather extremes, self-sufficiency will be even more important in the future. The latter, especially in the winter, presents a great challenge for growers. On the other hand, with adequate knowledge in the field of energy, this is opportunity for a competitive advantage. After the gradual steps presented in the article, we can build a quality plan for the optimal layout of a winter greenhouse, which can provide additional earnings to farmers, and a source of high quality and healthy food to the customers.

9 SOURCES

- [1] **University of Minnesota:** Cold-climate greenhouse resource: a guidebook for designing and building cold-climate greenhouse. Minnesota: Center for Urban and Regional Affairs (CURA), 2013
- [2] **F. Avsec in M. Prosen:** Astronomija, DMFAS, 2006
- [3] **B. Kraut,** Krautov strojniški priročnik, petnajsta slovenska popravljena izdaja, Littera picta, 2011