

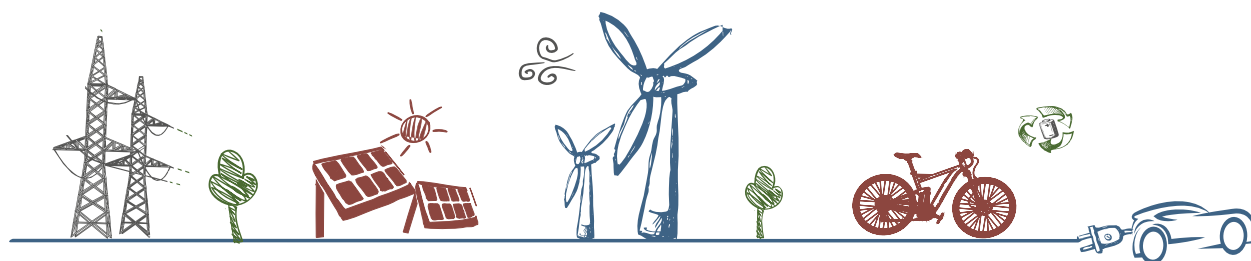
PROCEEDINGS BOOK

OF THE SEVENTH

STUDENT CONFERENCE

ENERGY EFFICIENCY AND

SUSTAINABLE DEVELOPMENT



SCEESD | СКЕЕОР
29.10.2019 – 01.11.2019

ЗБОРНИК НА ТРУДОВИ
ОД СЕДМАТА

СТУДЕНТСКА КОНФЕРЕНЦИЈА
ЕНЕРГЕТСКА ЕФИКАСНОСТ И
ОДРЖЛИВ РАЗВОЈ



CIP - Каталогизација во публикација

Национална и универзитетска библиотека "Св. Климент Охридски", Скопје

620.92:502.131.1(062)

СТУДЕНТСКА конференција "Енергетска ефикасност и одржлив развој" (7 ; 2019 ; Скопје)

Зборник на трудови од Седмата студентска конференција

"Енергетска ефикасност и одржлив развој" SKEEOP 29.10.2019-01.11.2019

[Електронски извор] = Proceedings book of the Seventh student conference

"Energy efficiency and sustainable development" SCEESD

29.10.2019-01.11.2019. - Скопје : Факултет за електротехника и информациски технологии, 2020

Начин на пристап (URL): <https://skeeor.feit.ukim.edu.mk>. - Текст во PDF формат, содржи 221 стр., илустр. - Наслов преземен од екранот. - Опис на изворот на ден 03.01.2020. - Библиографија кон трудовите

ISBN 978-9989-630-92-7

а) Енергетска ефикасност - Одржлив развој - Собири

COBISS.MK-ID 111955722



SCEESD

Student conference
“Energy efficiency and sustainable development”



ПАТРОНИ / PATRONS

Факултет за електротехника и
информациони технологии - ФЕИТ, Скопје
Faculty of electrical engineering and
information technologies – FEET, Skopje



Универзитет Св. Кирил и Методиј – УКИМ,
Скопје
University Ss. Cyril and Methodius - UKIM,
Skopje



ПАРТНЕРИ / PARTNERS

Град Скопје
City of Skopje



Американска Стопанска Комора
American Chamber of Commerce – AmCham,
Macedonia



СПОНЗОРИ / SPONSORS

Титан Цементарница Усје
Titan Cement Factory Usje



Национален комитет на Северна
Македонија во СИГРЕ – СИГРЕ
Македонија
National committee of North Macedonia in
CIGRE





SCEESD

Student conference
“Energy efficiency and sustainable development”



Хабитат Македонија
Habitat Macedonia



СисКон
SisKon



ЕВН
EVN



КМГ ЕОЛ Квазар
KMG EOL Kvazar



Интајлер Фимако
Intyler Fimaco

INTYLER FIMACO

ПАКОМАК
PAKOMAK



БЛАГОДАРНОСТ / THANKS TO

Вело Кафе
Velo Kafe

Медисон ПЗ
Medison PZ

Ст. Мартин
St. Mardtin

Пекара Милениум
Bakery Milenium

Пекара Ла Делишес
Bakery La Delicious



SCEESD

Student conference
“Energy efficiency and sustainable development”



ПРЕДГОВОР

Почитувани читатели,

Следејќи ги чекорите на изминатите успешни конференции ни претставува особена чест да бидеме дел од организацискиот одбор на овогодинашната Студентска Конференција за Енергетска Ефикасност и Одржлив Развој, СКЕЕОР 2019. Уште од самиот почеток, во 2013 година, главната цел на оваа конференција остана непроменета, а таа е да се промовира идејата за енергетска ефикасност и одржлив развој меѓу младите, размена на нови сознанија и искуства меѓу студентите, претставници на академската средина и компаниите кои работат во таа област со што би се направил чекор напред кон решавање на дел од проблемите поврзани со оваа тематика.

Пред Вас се наоѓа зборник составен од трудовите на учесниците на овогодинашната, седма по ред студентска конференција. Како претставници од различни образовни профили и научни институции, учесниците со својата научна дејност се трудат да остават белег врз академската заедница и истите тие да придонесат кон рационално искористување на енергетските ресурси и заштита на животната средина.

Изразуваме најголема благодарност до Факултетот за електротехника и информациски технологии и Деканатот на ФЕИТ, а особено кон проф. д-р. Димитар Ташкоски, кои како и секоја година досега ни пружија безусловна поддршка и повторно им овозможија на малдите истражувачи да ја покажат својата креативност. Изразуваме благодарност и до сите институции, компании и организации кои го препознаа значењето на оваа конференција и во рамките на своите можности го помогнаа одржувањето на истата. Исто така, оваа година, ни претставува големо задоволство што ги имаме Градот Скопје и Американската комора - AmCham како наши партнери.

Голема благодарност и до сите претставници на научниот одбор, за менторирањето и рецензирањето на научните трудови, како и на сите волонтери кои неуморно ја поддржаа техничката реализација на настанот.

Со почит,

Организациски Одбор на СКЕЕОР 2019



SCEESD

Student conference
“Energy efficiency and sustainable development”



FOREWORD

Dear readers,

Following in the footsteps of past successful conferences, it is our great honor to be part of this year's Organizing Board of SCEESD 2019. From the very beginning, in 2013, the main purpose of this conference remains unchanged, and that is to promote the idea of energy efficiency and sustainable development among young people, exchange of knowledge and experiences among students, representatives with academic background and companies working in the field, that would give the opportunity to make a step forward in solving some of the problems related to this topics.

This proceedings book is composed of the many papers that our participants submitted to be featured in this years' conference which is taking place consecutively for the seventh time. As representatives of different educational profiles and scientific institutions, the participants with their scientific activity are trying to leave a mark on the academic community and also try to contribute towards the rational use of energy resources and environmental protection.

We express our greatest gratitude to the Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies and the Dean's office of FEEIT, and especially to our Dean prof. d-r. Dimitar Tashkovski, who, as every year, provided us with unconditional support and once again enabled the young researchers to demonstrate their creativity. We also express our gratitude to all the institutions, companies and organizations that recognized the importance of this conference and helped to make it possible. This year, it is our great pleasure to have The City of Skopje and the American Chamber – AmCham as our partners.

Many thanks to all the representatives of the Scientific Board for the mentoring and reviewing of the scientific papers, as well as to all the volunteers who tirelessly supported the technical realization of the event.

Sincerely,

The Organizing Board of SCEESD 2019



ИЗВРШЕН ОДБОР

1. **Мариела Клековска – претседател**
Факултет за електротехника и информациски технологии - ФЕИТ, Скопје
2. **Теодора Стојковска – одговорна за финансии**
Факултет за електротехника и информациски технологии - ФЕИТ, Скопје
3. **Билјана Панкова – одговорна за PR и маркетинг**
Факултет за електротехника и информациски технологии - ФЕИТ, Скопје
4. **Виктор Сапунџиовски – одговорен за логистика**
Факултет за електротехника и информациски технологии - ФЕИТ, Скопје
5. **Давид Ѓорѓевски – одговорен за труд и рецензија**
Факултет за електротехника и информациски технологии - ФЕИТ, Скопје

КООРДИНАТОР

- **Проф. Др. Маргарита Гиновска**
Факултет за електротехника и информациски технологии - ФЕИТ, Скопје

НАДЗОРЕН ОДБОР

- **Проф. Др. Димитар Ташковски**
Декан, Факултет за електротехника и информациски технологии - ФЕИТ, Скопје
- **Проф. Др. Маргарита Гиновска**
Факултет за електротехника и информациски технологии - ФЕИТ, Скопје
- **Асс. Мр. Александар Крлески**
Факултет за електротехника и информациски технологии - ФЕИТ, Скопје

ОСОБЕНА БЛАГОДАРНОСТ

- **Асс. Мр. Владимир Ѓоргиевски**
Факултет за електротехника и информациски технологии - ФЕИТ, Скопје



ORGANIZING BOARD

1. **Mariela Klekovska – president**
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies, Skopje
2. **Teodora Stojkovska – member, responsible for finance**
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies, Skopje
3. **Biljana Pankova – member, responsible for public relations**
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies, Skopje
4. **Viktor Sapundjiovski – member, responsible for logistics**
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies, Skopje
5. **David Gjorgjevski – member, responsible for paper acceptance and review**
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies, Skopje

SCEESD COORDINATOR

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

SCEESD SUPERVISORY BOARD

- **Prof. Dimitar Tashkovski, PhD**
Dean, Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies – Skopje
- **Prof. Margarita Ginovska, PhD**
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies – Skopje
- **Ass. Aleksandar Krleski, Msc**
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies, Skopje

SPECIAL THANKS

- **Asst. Vladimir Gjorgievski, Msc**
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies, Skopje



НАУЧЕН ОДБОР

- **проф. д-р Димитар Ташковски – почесен претседател на Научен Одбор**
Факултет за електротехника и информациски технологии – Скопје
- **проф. д-р Маргарита Гиновска – претседател на Научен Одбор**
Факултет за електротехника и информациски технологии – Скопје
- **проф. д-р Влатко Стоилков – член**
Факултет за електротехника и информациски технологии – Скопје
- **проф. д-р Христина Спасевска – член**
Факултет за електротехника и информациски технологии – Скопје
- **проф. д-р Крсте Најденкоски – член**
Факултет за електротехника и информациски технологии – Скопје
- **проф. д-р Гога Цветковски – член**
Факултет за електротехника и информациски технологии – Скопје
- **проф. д-р Снежана Чундева – член**
Факултет за електротехника и информациски технологии – Скопје
- **проф. д-р Александра Крколева – член**
Факултет за електротехника и информациски технологии – Скопје
- **проф. д-р Атанас Илиев – член**
Факултет за електротехника и информациски технологии – Скопје
- **проф. д-р Мирко Тодоровски – член**
Факултет за електротехника и информациски технологии – Скопје
- **вон. проф. д-р Димитар Димитров – член**
Факултет за електротехника и информациски технологии – Скопје
- **доц. д-р Софија Николова Поцева – член**
Факултет за електротехника и информациски технологии – Скопје
- **доц. д-р Живко Коколански – член**
Факултет за електротехника и информациски технологии – Скопје
- **вон. проф. д-р Лихнида Георгиевска-Стојановска – член**
Факултет за електротехника и информациски технологии – Скопје
- **вон. проф. д-р Тодорка Самарџиоска – член**
Градежен факултет – Скопје
- **проф. д-р Ристо Филкоски – член**
Машински факултет – Скопје



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. 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. Aleksandara Krkoleva Mateska, PhD – member**
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies – Skopje
- **Prof. Atanas Iliev, PhD – member**
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies – Skopje
- **Prof. Dimitar Dimitrov, PhD – member**
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies – Skopje
- **Doc. Lihnida Georgievska-Stojanovska, PhD – member**
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies – Skopje
- **Doc. Prof. Zhivko Kokolanski, PhD – member**
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies – Skopje
- **Doc. Sofija Nikolova Poceva, PhD – member**
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies – Skopje
- **Prof. Todorka Samardjioska, PhD – member**
Faculty of Civil Engineering – Skopje
- **Prof. Risto Filkoski, PhD – member**
Faculty of Mechanical Engineering – Skopje



TABLE OF CONTENTS

СОДРЖИНА

A.	RENEWABLE ENERGY SOURCES	
	ОБНОВЛИВИ ИЗВОРИ НА ЕНЕРГИЈА	
	BICAFIAL PHOTOVOLTAICS TECHNOLOGY APPLICATIONS AND ECONOMICS	
	БИФАЦИАЛНИ (ДВОСТРАНИ) ФОТОВОЛТАИЧНИ МОДУЛИ – ТИПОВИ,	
	КАРАКТЕРИСТИКИ И ПРИМЕНА	1
	Gordana Ivanovska, Martina Iloska	
	OPEN CIRCUIT TEST OF A THERMO ELECTRIC GENERATOR WITH	
	DIFFERENT HEAT SOURCES AND HEAT SINKS	8
	Miloš Marjanović	
	RENEWABLE ENERGY SOURCES: WIND ENERGY	
	ОБНОВЛИВИ ИЗВОРИ НА ЕНЕРГИЈА: ЕНЕРГИЈА ОД ВЕТЕР	14
	Oli Stojanovski	
	DEVELOPING QUALIFIED STAFF IN THE FIELD OF DESIGN AND	
	INSTALLATION OF PHOTOVOLTAIC AND SOLAR THERMAL SYSTEMS –	
	DISSEMINATION OF TRAINEE RESULTS	21
	Aleksandar Krleski, Tina Manoleva	
	BLADE DESIGN FOR HORIZONTAL AXIS WIND TURBINE	31
	David Esteban Albadan Molano, Jorge Enrique Salamanca Céspedes	
	ENERGY PRODUCTION IN SMALL HYDROELECTRIC POWER PLANTS	38
	Nikolaos Tsarnikias	
	RECYCLING METHODS FOR END-OF-LIFE RENEWABLE ENERGY SOURCES	44
	Ivan Momirovski, Tamara Marikj	
	NEURAL NETWORK BASED CONTROLLERS FOR WIND TURBINES	51
	David Esteban Albadan Molano, Edwin Rincon Aldana, Diego Barragan	
B.	ENERGY EFFICIENCY IN FACILITIES, CIVIL ENGINEERING AND	
	ARCHITECTURE	
	ЕНЕРГЕТСКА ЕФИКАСНОСТ ВО ОБЈЕКТИ, ГРАДЕЖНИШТВО И	
	АРХИТЕКТУРА	
	ENERGY EFFICIENCY EXAMINATION OF A SERVER HALL USING A	
	THERMAL CAMERA	
	ИСПИТУВАЊЕ НА СОСТОЈБАТА НА СИСТЕМ САЛАТА НА НЕОКОМ СО	59
	ПОМОШ НА ТЕРМОВИЗИСКА КАМЕРА	
	Mariela Klekovska	
	FAÇADE INTEGRATED PHOTOVOLTAIC SYSTEM IN THE REPUBLIC OF	
	NORTH MACEDONIA AND OVERVIEW OF THE HEAT FLOW	68
	Biljana Pankova	
C.	ELECTRIC VEHICLES AND ENERGY EFFICIENT TRANSPORT	
	ЕЛЕКТРИЧНИ ВОЗИЛА И ЕНЕРГЕТСКИ ЕФИКАСЕН ТРАНСПОРТ	
	NON-LEVEL SUBWAY SYSTEMS: SURFACE STATIONS CONNECTED BY	
	UNDERGROUND LINES	75
	Maria Inês Costa Frutuoso, Tiago José Rosário Lucas	
		81



ELECTRIC VEHICLES AND THEIR APPLICATION IN THE EPS

ЕЛЕКТРИЧНИ ВОЗИЛА ВО ЕЕС

Vasil Mirov

ELECTRIC VEHICLE CONVERSION: STEPS TO BE TAKEN AND FINANCIAL
BENEFITS FROM THE CONVERSION

87

Stefan Petrushevski

CALCULATION OF CHARGING TIME FOR ELECTRIC VEHICLES FOR TWO
DIFFERENT TYPES OF CHARGERS

95

Viktor Sapundjiovski, Bojan Tanevski

**D. ENERGY EFFICIENCY, AUTOMATION AND MEASUREMENTS
ЕНЕРГЕТСКА ЕФИКАСНОСТ, АВТОМАТИЗАЦИЈА И МЕРЕЊА**

DESIGN AND REALIZATION OF SOLAR CELL MONITORING SYSTEM

102

Milan Stojanović, Nikola Mitrović

VAR COMPENSATION USING FLEXIBLE AC TRANSMISSION SYSTEMS
(FACTS)

108

Petar Vidoevski

THE IMPACT OF POLLUTION ON SOLAR PHOTOVOLTAIC MODULES
EFFICIENCY

ВЛИЈАНИЕ НА ЗАГАДУВАЊЕТО ВРЗ ЕФИКАСНОСТА НА СОНЧЕВИТЕ
МОДУЛИ

118

Dragana Krstevska

POWER QUALITY: BAYESIAN OPTIMIZATION OF THE RANDOM FOREST
CLASSIFICATION METHOD

125

Teodora Stojkovska, David Gjorgjevski

THE IMPACT OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS ON THE OPERATION OF
DISTRIBUTION SYSTEMS

ВЛИЈАНИЕ НА ФОТОВОЛТАИЧНИТЕ СИСТЕМИ ВРЗ РАБОТАТА НА
ДИСТРИБУТИВНИТЕ СИСТЕМИ

134

Aleksandra Stojkovska, Shaip Dauti

**E. ENERGY EFFICIENCY AND SUSTAINABILITY OF THE ENVIROMENT,
NEW TECHNOLOGIES AND MATERIALS
ЕНЕРГЕТСКА ЕФИКАСНОСТ И ОДРЖЛИВОСТ НА ЖИВОТНАТА
СРЕДИНА, НОВИ ТЕХНОЛОГИИ И МАТЕРИЈАЛИ**

INCREASING BIOBASED CONTENT IN WATERBORNE (METH) ACRYLATE
POLYMERS BY USE OF LIGNIN

141

Ana Trajcheva

LASER ABLATION OF GRAPHENE IN SF6 ATMOSPHERE

147

Marija Prosheva

DOPING OF REDUCED GRAPHENE OXIDE WITH SILVER AND GOLD
NANOPARTICLES

153

Tajana Kostadinova

THE DEVELOPMENT OF SMART GRIDS IN REPUBLIC OF NORTH
MACEDONIA AND THEIR ENERGY EFFICIENCY

РАЗВОЈ НА ПАМЕТНИ МРЕЖИ ВО РЕПУБЛИКА СЕВЕРНА МАКЕДОНИЈА И
НИВНА ЕНЕРГЕТСКА ЕФИКАСНОСТ

159

Sandra Kostova, Blagoja Todorovski



SCEESD

Student conference
“Energy efficiency and sustainable development”



BLOCKCHAIN-BASED USE CASES FOR CHARGING ELECTRIC VEHICLES WITH CYBER SECURITY ASPECTS IN IOT AND NB-IOT КОРИСНИЧКИ СЦЕНАРИЈА ЗА ПОЛНЕЊЕ НА ЕЛЕКТРИЧНИ ВОЗИЛА БАЗИРАНИ НА БЛОКЧЕИН ТЕХНОЛОГИЈА СО БЕЗБЕДНОСНИ АСПЕКТИ ВО IOT И NB-IOT Martina Janakieska	168
UAVS FOR USE IN FOREST FIRE REDUCTION AND PREVENTION Hannah Gomes, Lukas Vozenilek	175
COMPARISON OF THE MAPS OF INJECTION TIME AND ANGLE OF PRE- IGNITION OF AN OTO MOTOR WITH LIQUID AND GAS FUEL СПОРЕДБА НА МАПИТЕ ЗА ВРЕМЕ НА ВБРИЗГУВАЊЕ И АГОЛ НА ПРЕТПАЛЕЊЕ НА ОТО МОТОР КОЈ РАБОТИ НА ТЕЧНО И ГАСНО ГОРИВО Viktor Andonovikj, Jane Janevski	180
APPLICATION OF SMART METERS FOR ENERGY EFFICIENCY ПРИМЕНА НА ПАМЕТНИ БРОИЛА ЗА ЕНЕРГЕТСКА ЕФИКАСНОСТ Andrijana Kostadinovska	189

A. RENEWABLE ENERGY SOURCES



SCEESD

Student conference

“Energy efficiency and sustainable development”



Гордана Ивановска, Мартина Илоска, Ментор: проф. Д-р Димитар Димитров

Факултет за електротехника и информациски технологии, Скопје

gordanaivanovska13@gmail.com iloskamartina@gmail.com

БИФАЦИЈАЛНИ (ДВОСТРАНИ) ФОТОВОЛТАИЧНИ МОДУЛИ-ТИПОВИ, КАРАКТЕРИСТИКИ И ПРИМЕНА

КУСА СОДРЖИНА (АПСТРАКТ)

Со брзиот економски раст и подобрувањето на животните стандарди, имаме нагло зголемување на користењето на електричната енергија. Енергијата добиена од обновливите извори може да игра суштинска улога во исполнување на крајната цел за намалување на тие негативни влијанија. Како едно од подобрите решенија за директно искористување на сончевата енергија, имаме инсталација на фотоволтаични системи, кои завземаат подобро место на листата на обновливи извори бидејќи не испуштаат загадувачи и немаат потреба од трошок за гориво.

Според многуте истражувања, се смета дека за неколку години фотоволтаиците ќе станат непобедлив извор на енергија, бидејќи сеуште има потенцијал за намалување на трошоците од користење. Како едно решение за овој проблем се смета пробивот на технологијата “bifacial photovoltaics”, со помош на која сончевата енергија се апсорбира од двете страни на фотоволтаичниот модул, ефикасноста се зголемува и имаме подолг животен век на самите модули.

Целта на овој труд е да се даде една јасна слика на предностите и недостатоците на овие бифацијални фотоволтаици, да се објасни нивната градба, n-PERT, p-PERT, P-PERC, економскиот аспект на нивното интегрирање, општи карактеристики, видовите на ќелии кои се користат за подобрување на ефектите и слично. Можностите кои ги нудат овој вид на фотоволтаици, се доста поголеми од обичен фотоволтаик, меѓутоа потребна е поопширна слика на нивниот начин на функционирање за да може да допре до околината и да се зголеми нивното користење во секојдневието.

Клучни зборови: n-PERT, p-PERT, p-PERC, bifacial-photovoltaics, карактеристики.

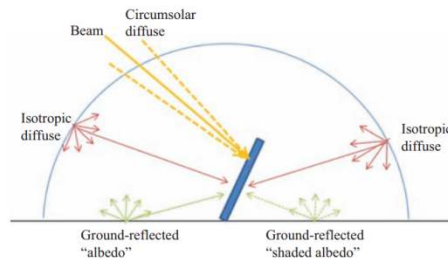
1 ВОВЕД

БИФАЦИЈАЛНИ ЌЕЛИИ

Во 2017 година, поголемиот дел од инсталираните PV-модули се засноваат на силиконски соларни ќелии од p-тип кои се карактеризираат со целосен алуминиумски простор на задната страна и поле на задната површина (BSF). Поради нивната целосно покриена, нетранспарентна задна страна, овие ќелии не се во можност да ја конвертираат светлината што паѓа на задната страна на сончевите ќелии во електрична енергија. Од друга страна пак, соларните ќелии чија задна страна е делумно покриена со метален слој (т.н. бифацијални соларни ќелии) се способни симултано и ефикасно да ја претвораат светлината што ја осветлува сончевата ќелија како од предната, така и од задната страна на ќелијата во електрична енергија.

Кога бифацијалните ќелии се монтираат во модул со рефлектирачка позадина или со рефлектирачки материјал помеѓу и зад ќелиите, пропуштената светлина се рефлектира назад во ќелиите, што резултира во зголемена ефикасност на монофацијалниот модул.

Покрај тоа, ако бифацијалните ќелии се склопени во модул при што се користи транспарентен заден капак (пр. стакло или провидна фолија) овие бифацијални модули можат да доведат до многу поголемо производство на енергија во однос на стандардните модули под истите услови. Ова се должи на дополнителната енергија произведена од заднинското зрачење. Најчесто дополнителната енергија произведена од ова зрачење може да се движи помеѓу 5% и 90% од енергијата добиена доколку е осветлена само предната страна. Овој процент зависи не само од својствата на модулот и од ефикасноста на конверзија на задната страна, туку исто така значително влијание имаат и локацијата, ориентацијата и непосредното опкружување на модулот (слика 1).



Слика 1 Различни придонеси на предната и задната осветленост на бифацијална соларна ќелија или модул

1.1 ФАКТОР НА БИФАЦИЈАЛНОСТ

Важен параметар на кој било бифацијален уред е неговиот фактор на бифацијалност. Овој фактор го опишува односот помеѓу одговорите добиени од задната и предната страна на уредот, измерени под истите околности. Факторот на бифацијалност на модулот во суштина дозволува да се утврди дополнителната енергија што може да се генерира од заднинското зрачење.

За таа цел, ќе го дефинираме факторот на бифацијалност ϕ , за густина на струјата J , напон V , моќност P и ефикасност η :

$$\phi_J = \frac{J_r}{J_f} \quad (1)$$

$$\phi_V = \frac{V_r}{V_f} \quad (2)$$

$$\phi_{Pmax} = \frac{P_{maxr}}{P_{maxf}} \quad (3)$$

$$\phi_{\eta} = \frac{\eta_{ar}}{\eta_{af}} \quad (4)$$

Факторот на бифацијалност обично се изразува во проценти. На пример, доколку J_{scx} е густината на струјата на куса врска, измерена при стандардни услови за тестирање (STC) под еднострано осветлување, со индекс x : каде што со f се означува предната (front) и со r задната страна (rear). Мерење на предните и задните $I-V$ карактеристики на бифацијалните ќелии можат да бидат компромитирани со залутаната светлина што паѓа на темната страна.

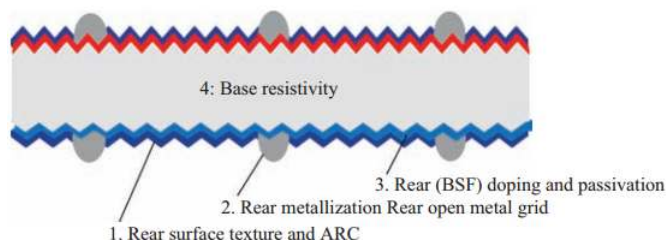
1.1.1 Параметри кои влијаат на факторот на бифацијалност ϕ

Повеќето бифацијални соларни ќелии не се симетрични. Тие на пример имаат емитер од предната страна и BSF од задната страна, како и различна оптимизација на металната решетка од двете страни. Предниот дел има мрежа оптимизирана за 1 сончево осветлување, додека на задниот дел оптимизацијата е обично за намалено осветлување.

Поради несиметричниот распоред, одговорот на ќелијата на предното или задното осветлување не е ист, што се одразува на факторот на бифацијалност на ќелиите.

Главните карактеристики со кои се утврдува бифацијалниот фактор ϕ на фотоволтаик со Н-матрична форма со контакти на предната и задната страна, со емитер на предната и BSF на задната страна се:

1. текстура на задната површина и антирефлексивна облога (ARC)
2. метална покриеност на задната страна
3. заштита од корозија на задната страна
4. основна отпорност и животен век на сончевата ќелија.



Слика 2 Напречен пресек на ќелија и параметрите кои влијаат на бифацијалниот фактор означени од 1 до 4

1.2 ТИПОВИ НА БИФАЦИЈАЛНИ СОЛАРНИ ЌЕЛИИ

1.2.1 Heterojunction solar cells

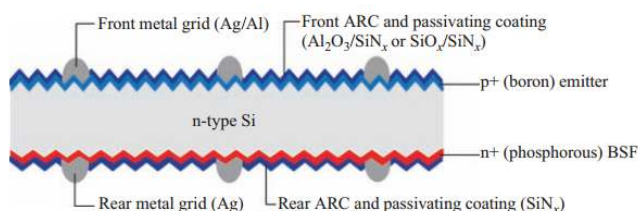
SHJ соларните ќелии ги претставуваат предностите за комбинирање на висока ефикасност (потенцијал за ќелии со 25% зголемена ефикасност на конверзија) со ограничен број чекори за производство.

SHJ соларните ќелии имплементираат селективен контакт со висока пасивација на површината, формирана од кристален силиконски вафер со таложење на тенки слоеви на хидрогенизиран аморфен силикон (a-Si: H). Овие хетероконтакти претставуваат т.н. пасивни контакти, од каде доаѓа клучната предност на SHJ соларните ќелии: зголемени работни напони.

1.2.2 n-PERT соларни ќелии

The passivated emitter and rear totally diffused (PERT) концепт на ќелии од n-тип база имаат многу висока бифацијалност (во некои случаи дури и над 95%) и висока ефикасност на предните ќелии помеѓу 20% и 22% и се релативно лесни за производство.

Основната конфигурација на сончевата ќелија n-PERT е прикажана на слика 3.



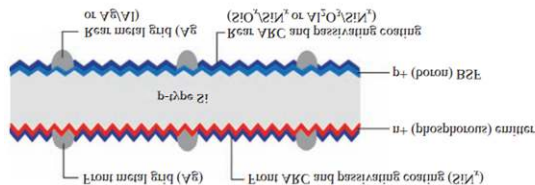
Слика 3 Шематски приказ на архитектурата на n-PERT соларна ќелија

На предната страна од ќелиите се наоѓаат емитери од p^+ чист бор (B), додека на задната страна n^+ чист фосфор (P). Боровиот емитер обично има отпорност помеѓу 60 и 100 Ω/m^2 .

1.2.3 p-PERT соларни ќелии

Подобро отпорност на високо-енергетско космичко зрачење (електрони и протони) на споредба со силициум од р-тип споредено со оној од п-тип е главниот фактор што ја објаснува водечката улога на р-типот во PV индустрија.

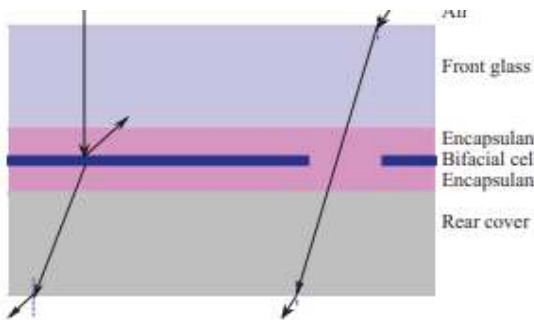
Основната конфигурација на сончевата ќелија р-PERT е прикажана на слика 4.



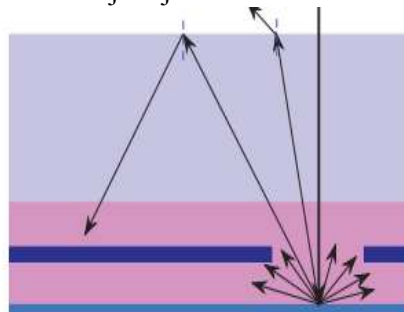
Слика 4 Конфигурација на p-PERT соларна ќелија

1.3 Бифацијални модули-дизајн и карактеристики

Бифацијалните модули можат да се применат за големи ФВ електрични центри, како и за станбени (покрив на бели згради) и поконкретно BIPV (фасадни) апликации и исто така можат да отворат нови можности за примена како во звучни бариери или други вертикални инсталации (огради, балкони). Главниот придонес е намалувањето на LCOE (levelized cost of electricity) со минимална техничка промена или инвестиција. Исто така, потребно е да се напомене дека засенувањето на задната страна ќе има помало влијание при дифузно зрачење, одколку на предната страна при директно зрачење. Во принцип, подобра апсорпција на светлина на задната страна се добива кога имаме поставеност на модулите на поголема висина и површината на која се поставени е рамна и високо рефлектирачка, исто така и дизајнот треба да биде од материјал што е помалку чувствителен и отпорен на разни влијанија.



Слика 5 СТАКЛО-СТАКЛО



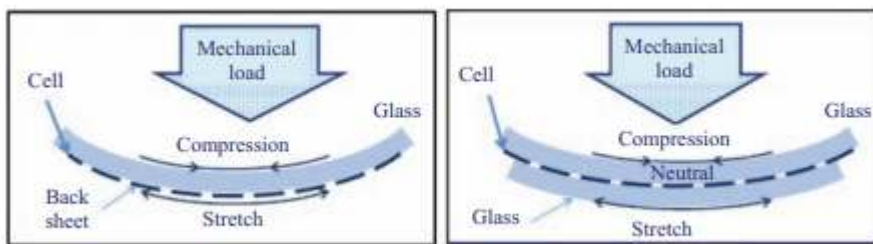
Слика 6 СТАКЛО-ЗАДЕН ДЕЛ

На првата слика СТАКЛО/СТАКЛО структура имаме светло кое се рефлектира од задната страна и имаме загуба на енергија од 3%.

На втората слика кај бифацијалниот модул имаме загуба на моќност од 1.3 %.

СТАКЛО-СТАКЛО структура е најчестата која се користи кога станува збор за изработка на бифацијални модули. Овие структури можат да се направат без рамка на модулот, со што се намалуваат трошоците за самиот модул и BOS трошоците, притоа потребно е да се користат соодветни стегачи за монтирање. Особена предност на овие модули е тоа што се избегнува засенувањето од сопствените рабови и се избегнува загадувањето кое често се акумулира во близина на рамката. Друга важна карактеристика на

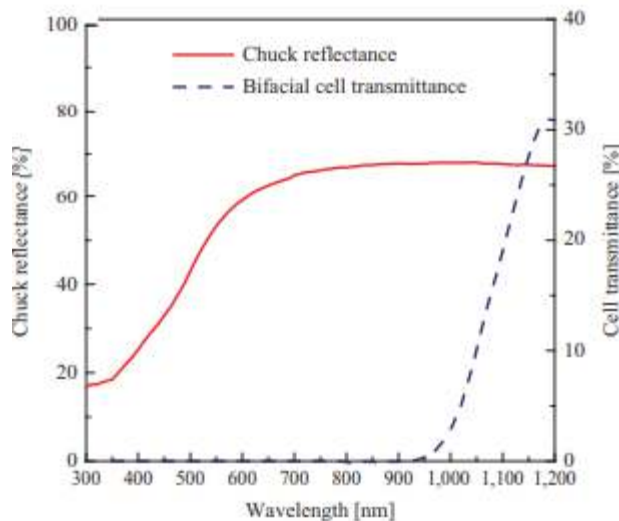
стакло-стакло структурата е што овозможува сигурност на ќелиите при разни атмосферски влијанија (снег, мраз). Ќелиите се наоѓаат на неутралната механичка оска на системот, така што не се подложни на затегнување или кршење.



Слика 6 Сигурност на ќелии при разни надворешни атмосферски влијанија

Особена важна улога во дизајнот на бифацијалните ќелии игра и поставувањето на спојната кутија, бидејќи може да предизвика засенување или недоволно апсорбирање на светлината, па поради тоа, таа треба да биде поставена на работ на модулот.

Загубите на моќност се јавуваат при апсорбирањето на светлината и зависи од тоа колку светлина може да се апсорбира и на каков терен се поставени овие модули. Загубата на моќност е различна на рефлектирачка и не-рефлектирачка површина и зависи од тоа колку светлина ќе се донесе па таа дали ќе се рефлектира назад за да стане измерена енергија или не.



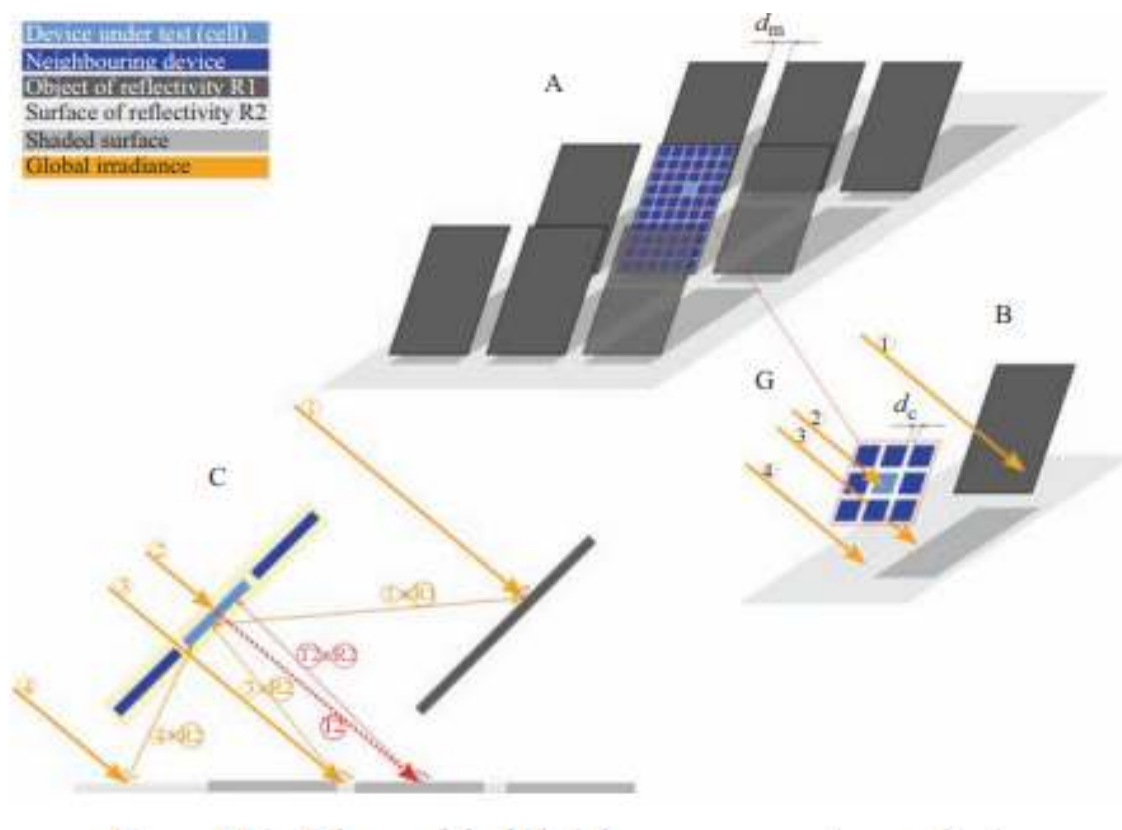
Слика 7 Загуби на моќност во зависност од рефлектирачката површина

1.3.1 Карактеристики на бифацијалните модули

Карактеристиките со кои се одлучуваат бифацијалните фотоволтаици, произлегуваат од нивниот двоен карактер, кои како такви се одликуваат со бифацијалната I-V карактеризација. Потоа се дискутира за две техники кои можат да се користат да се забележат загубите предизвикани од производство или за време на тестирање на сигурност на уредите. Како финансиска цена која се користи при реализација на крајната цел, се определува врз основа на:

- различни методи на поставување;
- агли на поставување;
- висината на модулите.

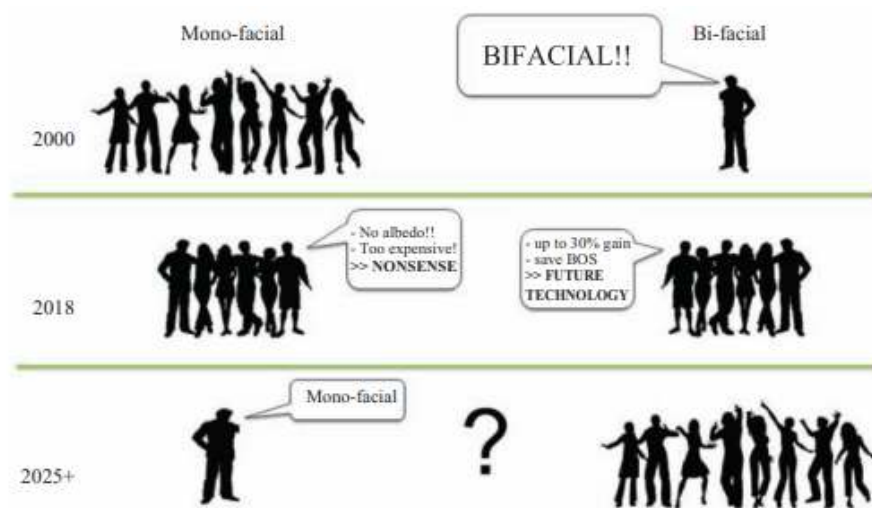
I – V карактеризацијата мора да обезбеди компатибилност помеѓу бифацијалните модули и мора да ја истакне добивката на бифацијална во споредба со монофацијалната технологија. Во околината на производство, карактеризирањето на I-V мора да биде добро прилагодено така што потребата од определено производство мора да биде компатибилно со спецификите на производството, како што се ниска стапка на трошок, автоматизација на опремата и ракување со уредот. Понатаму, I-V карактеризирањето на бифацијалните уреди треба да биде достапен по разумна цена. Податоците дадени од ФВ лабораториите можат да се користат да се предвиди моќност на бифацијалните соларни центри или за оценка на енергијата. Сепак, скоро е невозможно да се предвиди совршено вистинското поле на претставување на соодветната моќност која би се добила од овие бифацијални модули. За да бидат измерени потребните коефициенти на бифацијалност, потребно е да се измери главната I-V карактеристика на стандардни услови, кои вклучуваат зрачење на светлината $G=1000\text{W/m}^2$. Ако зрачењето на задната страна е под 3W/m^2 во две точки, се смета дека таа не е озрачена. Оваа карактеристика се определува на тој начин што напонот се држи ист, а осветлувањето со монохроматска светлина се менува, така што се добива една крива која ја дава соодветната карактеристика и најчесто не се разликуваат добиените резултати помеѓу предната и задната страна на модулот.



Слика 8 Механизам на поставување

2 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. Неколку години наназад, никој не очекуваше дека во 2017 година 100 GWp на ФВ системи ќе бидат инсталирани ширум светот. Се очекува дека од 2021 година па натака, ќе се зголемува инсталираната моќност и употребата на овие модули ќе се имплементира до таа мера, што ќе биде поефтина од употребата на јагленот. Покрај тоа, бифацијалните PERT модули, исто така, собираат енергија од задната страна, покажувајќи поголем принос на енергија. Се смета дека бифацијалните PERT модули се најдобриот пристап за реализирање на пониско LCOE (levelized cost of energy). Покрај овие особености, од особена важност е и аголот на поставување на модулите и начинот на ориентација и азимут на истите.



3 КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Joris Libal, Radovan Kopecek „Bifacial Photovoltaics“
- [2] <https://www.solarpowerworldonline.com/2018/04/what-are-bifacial-solar-modules/>



Miloš Marjanović¹, Mentors: Aneta Prijić², Zoran Prijić³

^{1 2 3} Department of Microelectronics, Faculty of Electrical Engineering, Niš, Serbia

¹milos.marjanovic@elfak.ni.ac.rs

²aneta.prijic@elfak.ni.ac.rs

³zoran.prijic@elfak.ni.ac.rs

OPEN CIRCUIT TEST OF A THERMOELECTRIC GENERATOR WITH DIFFERENT HEATSOURCES AND HEATSINKS

ABSTRACT

This paper presents experimental results of the thermo-electrical characterization of thermoelectric generator (TEG) with two geometrically different aluminum heatsinks. As a heat source, two dimensionally different thermoelectric modules in heater mode are used. The TEG as a device under test uses the Seebeck effect to convert waste heat directly into the electrical energy. The performance of TEG was investigated in an open circuit mode in the time domain by connecting an oscilloscope directly to the TEG leads wires. As expected, results showed that, when the TEG is heated from a surface dimensionally equal to its base area, heatsink with larger volume enables generation of higher value of the output voltage (220 mV at a temperature difference of 25°C) compared to a small volume heatsink (165 mV at a temperature difference of 25°C). The small volume heatsink exhibits a decrease of the heat dissipation to the ambient over time, which reduces the temperature difference at hot and cold sides of the TEG. This leads to a reduction in the output voltage value over time. Experimental results have shown that the highest value of the open circuit voltage (350 mV at a temperature difference of 25°C) is obtained when the TEG with a large volume heatsink is heated from a surface larger than its area. However, due to the warming of the ambient around the TEG and heatsink, the TEG output voltage decreases over time. Similarly, as in electric circuits, the greatest power is provided when the thermal resistance of the TEG is matched with that of the heatsink.

Key words: energy harvesting, heatsink, thermoelectric generator.

1 INTRODUCTION

Renewable and clean energy sources are subject to extensive research in the present days. It is estimated that by the year 2035. the world energy consumption will increase by around 40% [1], which leads to demands for the new technologies of power generation. The main sources of power energy are fossil fuels. Nowadays, there is an increased concern to reduce fossil fuel dependence because it is necessary to regress their effects on the environment. One of the alternative technologies is finding new sources that increase the sustainable supply of energy. The power that has been obtained from the waste heat recovery can be used for energy harvesting by solid state thermoelectric devices in systems with low-power requirements.

Thermoelectric generator (TEG) operation is based on the Seebeck effect of thermoelectric materials, such as heavily doped semiconductors, enabling the conversion of thermal energy into electrical energy. The use of TEG brings certain advantages such as no moving parts, low complexity, silent operation, low maintenance cost and no environment impact [2]. TEG is very appreciated for stand-alone nodes of wireless sensors networks with harvesting capabilities. With the use of TEG, it is possible to generate clean energy in a simple and reliable way.

The studies of the thermoelectric system with two TEGs presented in [3] show that TEGs must be arranged in series to achieve higher output voltage, while TEGs in series produce greater power. Characterization of TEGs can be performed by combining full electro-thermal numerical simulation results and current-voltage characteristic of the load circuitry [4]. Based on experimental validation, authors in [5] optimize the volume of the TEG with or without a heatsink and connected to the load in order to maximize its harvested power. In this paper, an analysis of

TEG open circuit voltage values based on experimental results for two different surface areas of the heat source and two heatsinks will be presented.

2 THERMOELECTRIC GENERATOR WORKING PRINCIPLE

Thermoelectric generator is made up of a number of n-type and p-type semiconductor legs (usually made of bismuth-telluride) which are connected in series by highly-conducting metal strips to form the thermoelectric pairs. The semiconductor pairs are sandwiched between two ceramic plates and thermally connected in parallel. When a heat from some source is supplied to the TEG, it flows through hot ceramic plate and metal strips before reaching the surface of p-type and n-type legs. Heat conduction proceeds through both legs and then again through metal strips and other (cold) ceramic plate. Utilizing the heatsink, the cold ceramic plate is maintained at a significantly lower temperature than the hot ceramic plate in order to produce high-temperature gradient, which leads to a high-power output. Open circuit voltage V_{TEG} induced by Seebeck effect is defined as:

$$V_{TEG} = N\alpha\Delta T \quad (1)$$

where N is the number of thermoelectric pairs, α is overall Seebeck coefficient of thermoelectric pairs ($\alpha = \alpha_p - \alpha_n$) and $\Delta T = T_{hot} - T_{cold}$ is the temperature difference between the hot and cold side of the TEG. If an external electrical load is connected, thus to form the circuit, an electrical current flows through the thermoelectric legs. This leads to the occurrence of Peltier and Joule effects. The Peltier effect causes heat absorption at the cold side and heat release at the hot side of the legs, i.e. an increase of the cold side and decrease of the hot side temperature. Joule heating releases heat which is evenly absorbed by hot and cold sides. The whole process maintains as long as the thermal difference exists. Therefore, the heat must be constantly delivered at the hot side, while the rejected heat must be removed at the cold side through a heatsink.

An aluminum heatsink is the most widely used type of heatsinks. The properties of the aluminum heatsink are excellent thermal and electrical conductivity, low weight, excellent corrosion resistance and no magnetization effect, which avoids interference of magnetic fields. The aluminum heatsink weighs approximately half as much as a copper one having the same thermal conductivity. Anodizing of the heatsink surfaces improves the strength of the natural corrosion protection.

The figure of merit Z measures the ability of thermoelectric materials to convert heat into electrical power and for the one TEG pair it is expressed as:

$$Z = \frac{(\alpha_p - \alpha_n)^2}{4\rho\lambda} = \frac{\alpha^2}{4\rho\lambda} \quad (2)$$

where ρ is electrical resistivity and λ is thermal conductivity of thermoelectric materials. The best thermoelectric materials possess high Seebeck coefficient, low electrical resistivity and thermal conductivity. The maximum efficiency η_{max} provided by TEG can be expressed as [6]:

$$\eta_{max} = \left(1 - \frac{T_{cold}}{T_{hot}}\right) \frac{\sqrt{1+ZT_{avg}} - 1}{\sqrt{1+ZT_{avg}} + \frac{T_{cold}}{T_{hot}}} \quad (3)$$

where $T_{avg} = (T_{hot} + T_{cold})/2$ is averaged temperature between temperatures at the hot and cold sides.

The thermal resistance of the TEG (R_{thTEG}) and the heatsink (R_{thHS}) should be designed to obtain maximum efficiency of thermal to electrical energy conversion. However, in energy harvesting applications output power and size of the system are more important than efficiency. It is usually best to choose TEG which gives the most electrical power for the allowed size of a heatsink. TEG is typically small in comparison to the heatsink which is the physically largest component in an energy harvesting system. The overall thermal resistance of the TEG is equal to the sum of thermal resistance of thermoelectric legs (R_{thL}) and thermal resistance of two ceramic plates (R_{thP}):

$$R_{thTEG} = R_{thP} + R_{thL} + R_{thP} = \frac{l_p}{\lambda_p A_{TEG}} + \frac{l}{2N\lambda A} + \frac{l_p}{\lambda_p A_{TEG}} \quad (4)$$

where l_p is thickness of the ceramic plate, λ_p is ceramic thermal conductance, A_{TEG} is the external TEG area, l is length and A is the cross-sectional area of an individual thermoelectric leg.

3 RESULTS AND DISCUSSION

In the experimental setup, commercial thermoelectric module ET-031-10-20 [7] (dimensions $15 \text{ mm} \times 15 \text{ mm} \times 4.3 \text{ mm}$) is used with ribbed heatsink A (HSA) of dimensions $15 \text{ mm} \times 15 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$, as well as with flared fin heatsink B (HSB) of dimensions $35 \text{ mm} \times 35 \text{ mm} \times 7.5 \text{ mm}$ (Figure 1). Two TEGs were used as the heat source: one of the same surface area as the TEG under test (HSC1) and the other with surface area $40 \text{ mm} \times 40 \text{ mm}$ (HSC2). In the case of the HSC1 source, heat transfer to the TEG is carried out by the conduction process, while in the case of HSC2, in addition to conduction, the heat is transferred by the natural convection process. Thermocouples were used to measure hot and ambient temperatures.

The open circuit voltage dependence over time was recorded using a digital oscilloscope. The time dependence of the voltage was investigated for three instantly applied temperature differences between the hot side of the TEG and the ambient: 15, 20 and 25°C .

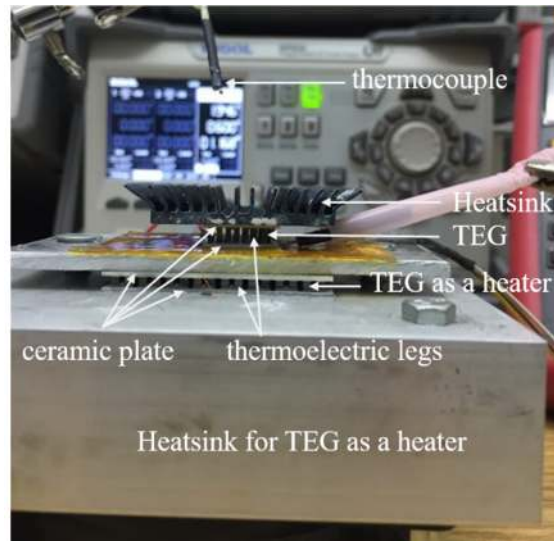


Figure 1: Experimental setup

The electrical and thermal parameters of the considered TEG are shown in Table 1. For $T_{cold} = 298 \text{ K}$ and $T_{hot} = 323 \text{ K}$ steady state open circuit voltage $V_{TEG} = 306.9 \text{ mV}$ is obtained, while at $T_{avg} = 310.5 \text{ K}$, ZT_{avg} value is 0.712. Based on (3), it is estimated that at a given temperature difference, the maximum TEG efficiency is 1.31 %. It should be noted that the parameters of electrical resistivity and thermal conductivity, as well as the Seebeck coefficient, are temperature dependent, so the analytically obtained results are only indicative. Based on (4), by using data from Table 1, the thermal resistance of considered TEG is 22 K/W . The heatsink HSA has the thermal resistance in stagnant air of 12 K/W , while for HSB it is 11 K/W .

Figure 2 shows the open circuit voltage dependence of TEG with the HSA heatsink in the function of time for three temperature differences, while the same dependence with the HSB heatsink is given in Figure 3. In both cases, HSC1 was used as the heat source. Basis, as well as the volume of HSA are less than that of HSB. In both cases, as expected, the higher voltage is generated at a larger temperature difference. However, at the same temperature difference (25°C), the voltage generated by TEG with HSA is smaller (164 mV) compared to the voltage obtained by TEG with HSB (220 mV). This is explained by the fact that HSB has lower thermal resistance and enables a greater temperature difference at TEG, and therefore a higher voltage. By comparing the results from Figure 2 and Figure 3, it also can be concluded that the generated voltage on TEG with HSA decreases more rapidly over time than the voltage on TEG with HSB. This is explained by the fact that HSB has a higher thermal capacitance due to its larger volume, so it more efficiently dissipates heat while keeping the temperature difference constant. On the

other hand, the HSA has a lower thermal capacitance, so during the time, it heats up faster through the TEG which causes a decrease of the temperature difference and open circuit voltage values. At lower temperature differences (15°C), heat removal from the HSA is more efficient and decrease in TEG voltage is less pronounced.

Parameter at 298 K	ET-031-10-20
Number of thermoelectric pairs - N	31
Overall Seebeck coefficient - α ($\mu\text{V/K}$)	396
Electrical resistivity of the thermoelectric leg - ρ ($\mu\Omega\text{m}$)	11.4
Thermal conductivity of the thermoelectric leg - λ (W/mK)	1.5
Thermal conductivity of the ceramic plate - λ_p (W/mK)	25
Thickness of the ceramic plate - l_p (mm)	0.75
External TEG area - A_{TEG} (mm^2)	225
Length of an individual thermoelectric leg - l (mm)	2
Cross-sectional area of an individual thermoelectric leg - A (mm^2)	1

Table 1. Electrical, thermal and geometrical parameters of the considered TEG

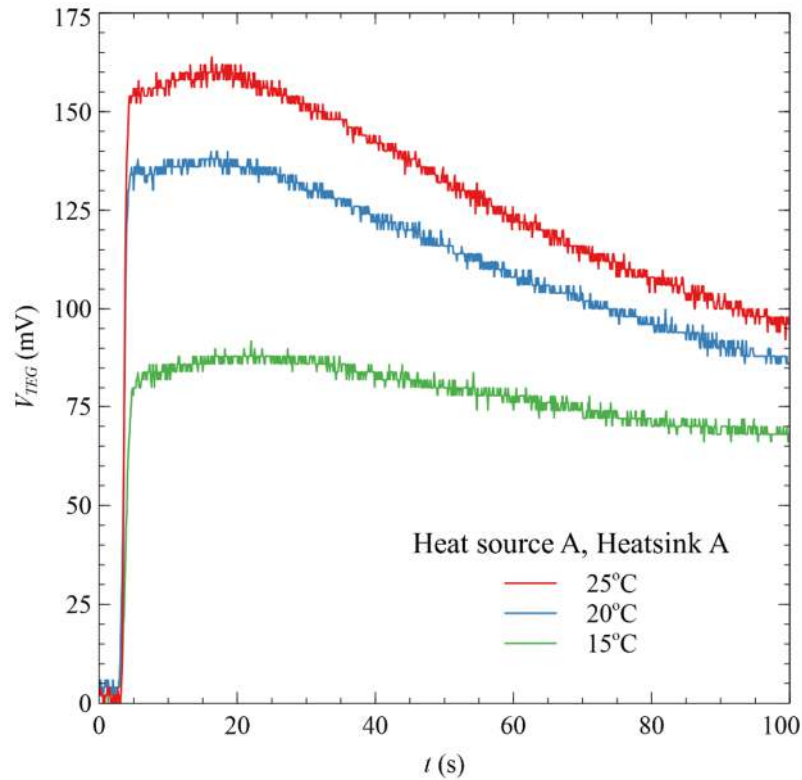


Figure 2: Open circuit voltage in function of time for TEG with heatsink A, heated with source A

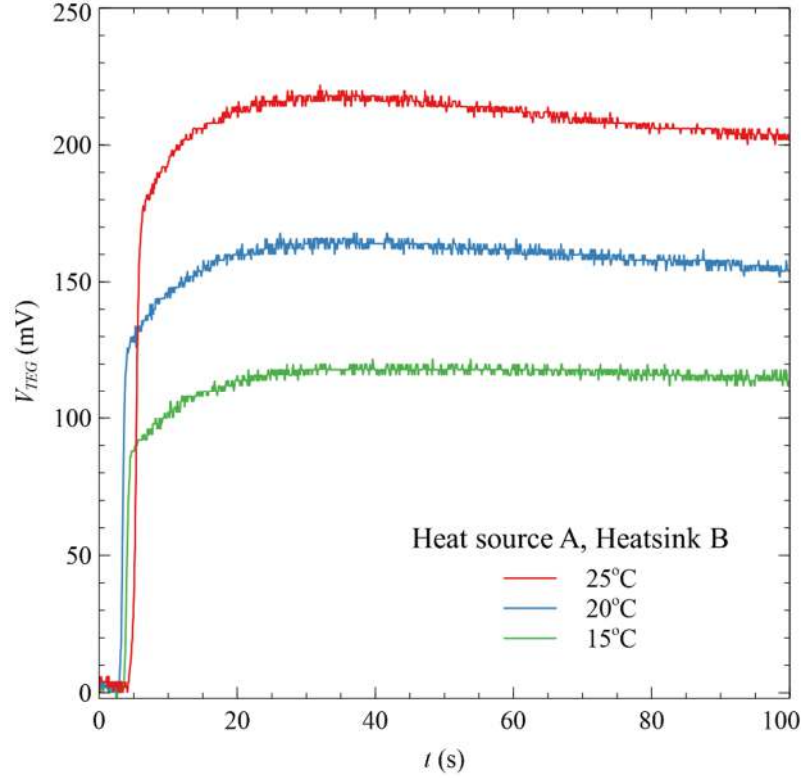


Figure 3: Open circuit voltage in function of time for TEG with heatsink B, heated with source A

Figure 4 shows the dependence of the open circuit voltage of TEG with HSB in the function of time. The source HSC2, whose surface area is larger than TEG, was used as the heat source. For this reason, in addition to a direct transfer of the heat to the hot side of the TEG, ambient heating in the immediate vicinity of the TEG occurs. It can be observed that at the larger temperature difference, the higher value of the voltage is generated, and after reaching the maximum value, the voltage slowly decreases with time. Compared with the results in Figure 3, it can be observed that the maximum voltage values at the same temperature differences are higher in the case of source with a larger surface area. At a temperature difference of 25°C, in the case of TEG with HSB heated by HSC2, a maximum voltage of 350 mV is obtained, which is 130 mV higher than in the case when source HSC1 is used. This is convenient for energy harvesting purposes when so-called cold boot characteristics of the system are important. However, a larger surface area of the heat source than the TEG enables heat transfer by natural convection from the heater surface to the base of the heatsink which decreases the total temperature difference at the hot and cold sides of the TEG. Therefore, the voltage notably decreases with time unlike the case when the heat source has the same surface as the TEG. Finally, it can be concluded that the TEG with the HSB heatsink when heated by HSC2 at a lower temperature difference will, after a certain time, reach the same voltage value as with HSC1. Thus, after 100 s from the start of heating, the voltage on the TEG will be 200 mV at a temperature difference of 20°C when a source HSC2 of larger surface is used. Approximately the same voltage will be generated after the same time at a temperature difference of 25°C when a smaller HSC1 heat source is used, as shown in Figure 3.

4 CONCLUSION

This paper analyzes the influence of the heat source surface area value and heatsink dimensions on the time dependence of the generated TEG open circuit voltage for different instantly applied temperature differences. It has been experimentally shown that a larger sized heatsink is more efficient. On the other hand, the large surface area of the heat source causes the ambient to heat up and to reduce the temperature difference during the time, and therefore the TEG voltage. When designing a system with TEG, a compromise must be reached between the desired efficiency in terms of output power and the dimensions of the TEG and the heatsink.

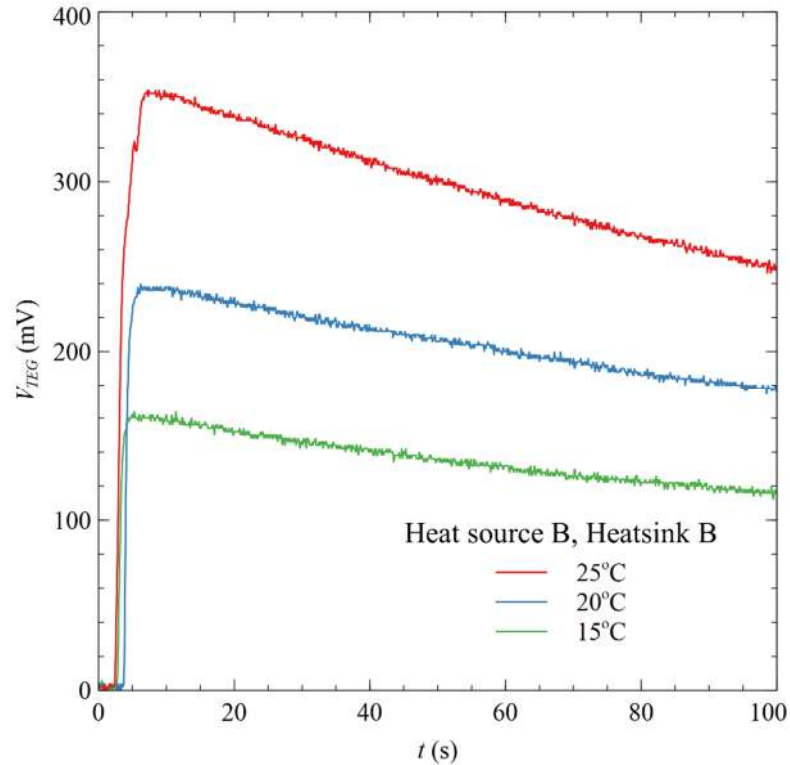


Figure 4: Open circuit voltage in function of time for TEG with heatsink B, heated with source B

5 ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported in part by the Serbian Ministry of Education, Science and Technological Development under Grant TR32026 and in part by Ei PCB Factory, Niš, Serbia.

6 REFERENCES

- [1] Bob Dudley, „BP Energy Outlook 2035“, https://www.bp.com/content/dam/bp-country/de_at/pdfs/2014_2035_energy_outlook_booklet.pdf, 19.9.2019.
- [2] Diana Enescu, „Thermoelectric Energy Harvesting: Basic Principles and Applications“, chapter in *Green Energy Advances*, IntechOpen, 2019, DOI: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.83495>
- [3] Kisman H. Mahmud, Sri Anastasia Yudistirani, Anwar Ilmar Ramadhan, „Analysis Of Power Characteristics Of Model Thermoelectric Generator TEG Small Modular“, *International Journal of Scientific & Technology Research*, vol. 6, issue 04, 2017, pp. 161-167.
- [4] Dejan Milić, Aneta Prijić, Ljubomir Vračar, Zoran Prijić, „Characterization of commercial thermoelectric modules for application in energy harvesting wireless sensor nodes“, *Applied Thermal Engineering*, vol. 121, 2017, pp. 74–82.
- [5] Marianne Lossec, Bernard Multon, Hamid Ben Ahmed, „Sizing Optimization with Thermal and Electrical Matching of a Thermogenerator placed on the Human Body“, *International Conference on Renewable Energy and Eco-Design in Electrical Engineering*, Lille, Université Nord, 2011.
- [6] G. Jeffrey Snyder, „Thermoelectric Energy Harvesting“, chapter in *Energy Harvesting Technologies*, Springer, 2009, pp. 325-337.
- [7] „ET-031-10-20“, datasheet, <https://www.europeanthermodynamics.com/products/datasheets/0-ET-031-10-20.pdf>, 19.9.2019.

Оли Стојановски¹, Ментор: Влатко Стоилков²

^{1,2} Факултет за електротехника и информациски технологии, Скопје

¹olistojanovski2@gmail.com

²stoilkov@feit.ukim.edu.mk

ОБНОВЛИВИ ИЗВОРИ НА ЕНЕРГИЈА: ЕНЕРГИЈА ОД ВЕТЕР

АПСТРАКТ

Системите за конверзија на енергијата од ветер стануваат предмет на истражување на обновливите извори на енергија. Од почетокот на 21 век е зголемен интересот за нови и обновливи извори на енергија, особено за енергијата од ветерот за создавање на електрична енергија. Нашиот живот е директно поврзан со енергијата и нејзината потрошувачка и прашањата за истражување на енергијата се многу важни и многу чувствителни. За кратко време енергијата од ветерот е прифатена од општеството, индустријата и политиките како чиста, економична и алтернативна, корисна за животната средина. Како резултат на обемни истражувања на оваа тема, енергијата од ветерот се применува во различни дејности и почнува да се натпреварува со другите извори на енергија.

Овој труд дава преглед на енергијата од ветер и опфаќа историски белешки, осврт на метеорологијата на ветерот, ефектот на стакленички и глобалните климатски промени, како и несакани појави. Овој труд, исто така, ги опфаќа технологијата и ефикасноста на ветерната турбина. Преземени се статистички податоци за примарно производство на енергија од ветер во земјите на ЕУ и е даден осврт на паркот на ветерни електрани „Богданци“ со чија изградба започна ново поглавје во енергетската стратегија и портфолио на Република Северна Македонија.

Клучни зборови: енергија од ветер, метеорологија на енергија од ветер, ветерна турбина, глобална клима и ефект на стакленички гасови.

RENEWABLE ENERGY SOURCES: WIND ENERGY

ABSTRACT

Wind energy conversion systems have become a subject in the research of renewable energy sources. From the beginning of the 21st century, interest has risen in new and renewable energy sources especially wind energy for electricity generation. Our life is directly related to energy and its consumption, and the issues of energy research are very important and highly sensitive. In a short time, wind energy is welcomed by society, industry and politics as a clean, economical and environmentally friendly alternative. As a result of extensive studies on this topic, wind energy has been applied in various industries, and it started to compete with other energy resources.

In this paper, wind energy is reviewed and covers historical notes, an overview of the wind power meteorology, green house effect and global climate changes as well as side effects. This paper embraces the technology and the efficacy of the wind turbine, too. Statistical data for the primary energy production in the EU countries are undertaken and the overview of the park of wind power plants “Bogdantsi” is given, with whose construction begun a new chapter in the energy strategy and portfolio in the Republic of North Macedonia.

Key words: wind energy, wind-power meteorology, wind turbine, global climate and greenhouse effect.

1 ВОВЕД

Поради сè поголемото значење на проблемот на загадување од фосилни горива на долните атмосферски слоеви кое доведува до јаглерод диоксид, постои поголем интерес за алтернативни, обновливи, чисти и поевтини извори на енергија. Енергијата е достапна во две различни форми-необновливи (јаглен, гориво, природен гас) и обновливи (соларна, ветерна, хидро) извори. Земјите тежнеат кон создавање на повеќе енергија од домашни извори, енергија која може да биде трошочно-ефективна и заменета или обновена без да придонесува за климатски промени или големи негативни влијанија на животната средина. Особено после индустриската револуција во 19 век, за потребите на модерните заедници како примарни извори на енергија биле користени прво јагленот, а потоа мазутот. Како што е добро познато, фосилните горива имаат ограничен потенцијал и при сегашните стапки на искористување се очекува во следните векови да осиромашуваат. Ова е една од причините зошто се бараат чисти, одржливи и корисни за животната средина извори на енергија. Акумулирањето на јаглерод диоксид во долните слоеви на атмосферата доведува до климатски промени, поплави, обилни врнежи и суши. За да се намалат овие опасни ефекти, секоја земја има одговорност да го унапреди квалитетот на изворите на енергија и, доколку е можно, да ги замени фосилните горива (јаглен и нафта) со обновливи алтернативни, ветерни, соларни и други извори на енергија кои мора да се натпреваруваат со конвенционалните извори на енергија.

2 ИСТОРИСКИ БЕЛЕШКИ

Енергијата на ветерот, во форма на традиционална ветерна мелница употребена за мелење на жито или транспорт на вода, била користена со векови. Силата на ветерот во античките времиња пред најмалку 5500 години била користена за потребите на едрилиците и бродовите што пловеле, додека, пак, архитектите користеле природна вентилација во зградите предизвикана од ветерот. Примената на ветерот за обезбедување на механичка сила се појавила нешто подоцна, во античко време. Сè до 19 век ветерниците биле заменуваани само со водениците и тоа само за употреба како механички генератори на корисна работа. Записи за ветерници со вертикална ооска постојат уште од античка Персија, но и познатата „Данска ветерница“, кои датираат од околу 1100 година во Западна Европа.

Во периодот од 12 до 19 век се изградени десетици илјади ветерници со дијаметар на роторот до 30 метри и корисна моќност од 5 па сè до 30 киловати. Голем број на ветерници од ваков тип се изградени во Нова Англија во времето на колонијализмот. Придобивките на моќноста на пареата во доцниот 18 век и бензинските и електричните мотори во доцниот 19 век, ефикасно ја завршиле оваа прва ера на ветерната енергија. Поголемата употреба на ветерните турбини поради нивната карактеристика на незагадувачки генератори напојувани од ветерот кој, пак, е создаден од сончевата енергија, како обновлив ресурс, во 1990-тите се вбројува во отворени нови перспективи, пред сè, поради растечката загриженост за глобалното затоплување поради емисиите на CO₂. Во Холандија, пумпи придвижувани од ветер ги дренирале полдерите, а во регионите како американскиот среден запад или во австралиската пустина, пумпи на ветер обезбедувале вода за добитокот и за парните машини.

Првата ветерница за производство на електрична енергија била изградена во Шкотска во 1887 година. Во 1891 година, данскиот научник Пол Ла Коур конструирал ветерна турбина за генерирање на електрична енергија, која се користела за производство на водород со електролиза.

Во 1970-тите години кај многу луѓе се појавила желбата за автономен стил на живеење. Соларните ќелии биле многу скапи за производство на електрична енергија од мали размери и затоа повеќето од нив се преориентирале на ветерниците. На почетокот тие граделе ад-хок модели користејќи дрво и автомобилски делови. Денес, поголемите турбини со хоризонтални оски ротираат во насока на стрелките на часовникот. Ваквата ротација е со цел да прикажат кохерентен изглед. Следејќи го искуството со ремонтираните ветерни турбини од 1930-тите години, новата генерација на американски производители започнале со изградба и продажба на мали ветерни турбини не само за полнење на акумулатори туку, исто така, и за интеракција со мрежите на електрична енергија.

Во 1990-тите, како што естетиката и издржливоста станувале многу поважни, турбините биле поставени на врвот на тубуларни кули од челик или на армирано-бетонски кули. Малите генератори се поврзани со кулата на основата, а потоа кулата е подигната на својата позиција. Поголемите генератори се подигнати во позиција на врвот на кулата каде што се наоѓа скала или скалила во внатрешноста на кулата. Во текот на 20 век паралелно завладеал развојот на мали ветерни постројки соодветни за фарми и згради, како и за ветерни генератори од големи размери кои може да се поврзат на електричната мрежа за далечинско управување со капацитетот.

3 ВЕТЕРНА МАШИНЕРИЈА И ПРОИЗВОДСТВЕНИ СИСТЕМИ

Основната класификација на ветерните турбини која ќе се разгледува во овој дел, од аспект на карактерот на роторот, е на турбини со хоризонтална оска и на ветерни турбини со вертикална оска. Соодветни за употреба на ветерните фарми се ветерните турбини од средна (50 kW – 500 kW) категорија и голема (500 kW – 5 000 kW) категорија. Машините со хоризонтална оска доминираат на денешниот пазар. Елдрич преку комплетна таксономија поставил извесен хиерархиски распоред на видовите на ветерни турбини. Кога станува збор за дизајнерите на ветерниците, на располагање имаат голем број на опции, крути или повеќе флексибилни структурни концепти, две или три лопатки на турбинскиот ротор, фиксна или променлива брзина. На подетално ниво има активна или пасивна контрола на моќноста. Помалку застапени, но подеднакво значајни видови на ветерни турбини со вертикална оска на ротација се Дариусовата (1931) и Саваниусовата ветерна турбина.

Основните структурни елементи на ветерниците се: роторот, кој континуирано ја извлекува кинетичката енергија од ветерот и ја трансформира во корисна механичка енергија, контролниот систем за моќноста, кој ја ограничува и насочува извлечената енергија, преносниот систем, кој ги прима и пренесува оптоварувањата и ја претвора механичката енергија во брзоротирачката осовина со цел да го придвижува генераторот, електричен систем, кој ја претвора механичката во електрична енергија, столб, кој ги носи споменатите елементи и ги пренесува оптоварувањата до фундаментот. Друг систем кој се користи е системот за вртење на роторот според насоката на ветерот.

3.1 Рангирање на ветерните турбини

Рангирањето на моќноста на една единица се изразува како дел од вкупната енергија на ветерот која ја пресретнуваат вртливите перки:

$$P_r = \text{ВКМ} \rho A \frac{v_r^3}{2} \times 10^{-3}, \text{ kW} \quad (1)$$

во која:

ВКМ= вкупен коефициент на моќност при утврдени услови, што ја изразува аеродинамичната ефикасност на перките на роторот која зависи од брзината и помалите загуби кај опремата и генераторот;

ρ = густина на воздухот во утврдените услови при кои се оценува;

$A = \frac{\pi D^2}{4}$, каде што D е дијаметарот од периферија до периферија на ротирачкиот круг кој го опишуваат перките и

v_r = референтна брзина на ветерот при која се оценува моќноста.

4 ГЛОБАЛНИ КЛИМАТСКИ ПРОМЕНИ И ЕФЕКТ НА СТАКЛЕНИЧКИ ГАСОВИ

Историските климатски промени резултирале од природни појави и влијаеле на некои делови од светот. Денес климатски промени настануваат поради активностите на човекот. Научниците предвидуваат

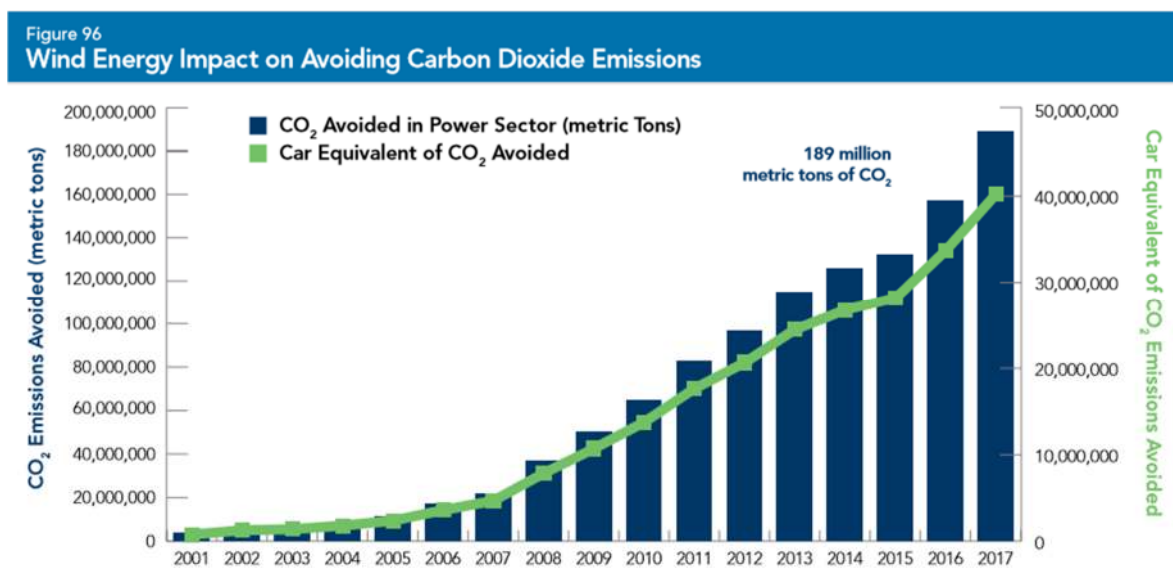
дека до 2100 година, просечната температура низ светот ќе се зголеми од 1 до 3.5°C. Ова е стапка на затоплување поголема од кое било време во текот на последните 10 000 години и се очекува да доведе до зголемување на морските нивоа, поплавување на ниските брегови и острови. Исто така, се очекуваат бури и непредвидени временски ситуации.

4.1 Емисии

Енергијата од ветерот ги намалува емисиите од загадувачки гасови бидејќи секоја единица на електрична енергија произведена од енергијата на ветерот заменува единица електрична енергија создадена од други извори. Комбинирана со други обновливи технологии и ефикасно користење на енергијата, енергијата од ветерот е важна за намалување на глобалните климатски промени, киселите дождови и други проблеми во животната средина бидејќи не произведува јаглерод диоксид (гас кој придонесува за глобално затоплување), сулфур диоксид или азотни оксиди (гасови кои придонесуваат за кисели дождови) и опасен или радиоактивен отпад. За разлика од конвенционалните извори, енергијата од ветерот значително ги намалува емисиите на јаглерод, заштедува билиони галони вода годишно и го намалува загадувањето.

4.1.1 Јаглерод диоксид

Енергијата од ветерот е извор на енергија со низок јаглерод – кога ветерната турбина создава енергија, произведува нула емисии на јаглерод. Развивањето на чиста енергија од ветер избегнува значително загадување од јаглерод диоксид (CO₂). Во 2018 г., електричната енергија произведена од ветерни турбини избегнала загадување од 200 милиони тони јаглерод диоксид.



Слика 1. Влијание на енергијата од ветер на избегнувањето емисии на CO₂

4.1.2 Сулфур диоксид и азотни оксиди

Исто така, ветерот помага да се намалат значителни количества на сулфур диоксид (SO₂) и азотни оксиди (NO_x), загадувачи на воздухот познати за создавање на смог кои предизвикуваат напади на астма.

4.1.3 Зачувување на водата

Исто така, енергијата од ветерот заштедува милијарди кубичи вода секоја година. За разлика од термоцентралите, ветерните турбини не бараат вода за да произведат електрична енергија. Постари, конвенционални електрани (јаглен, природен гас, нуклеарни) користат значителни количества на вода за ладење. Всушност, енергетскиот сектор повлекува повеќе вода од кој било друг сектор, вклучително и

земјоделството. Ова значи дека колку повеќе енергија од ветер користи земјата, толку повеќе вода може да се заштеди.

4.2 Еколошки влијанија на енергијата од ветер

Вкупните трошоци на ветерните турбини поврзани со животната средина изнесуваат помалку од неколку десеттини на милион киловат часови. Тие ги надминуваат дури и другите обновливи алтернативи без издувни гасови. Најголемиот дел од влијанијата се поврзани со производството на материјалите и нивната обработка. Во групата на непосакувани појави се вбројуваат: естетското влијание, вревата, изумирањето на птици, интерференцијата со радио или ТВ врските и радарите, користењето на земјиштето и ризиците за работниците во одржувањето. Особено во Западна Европа каде што се ценат отворените простори, значителен проблем е нискофреквентната бучава од перките. Бучавата од машинеријата може да биде намалена со избор на соодветен дизајн или задушена. Тампон-зона до половина километар од најблиските живеалишта е доволна, освен за многу чувствителни луѓе. Во Калифорнија, одредени локации се докажани како ризични за големите птици грабливки како што се орлите и соколите. Доколку не се најдат ефикасни мерки, тогаш овие случаи може да станат дополнително ограничување за поставување на ветерници. Интерференцијата со радио или ТВ врските и радарите претставува проблем кој постоел во минатото, а во некоја мера и сè уште постои, но полека се надминува, како што се промовираат кабелските и сателитските врски, како и со подобрувањето на технологијата, примената на перки од фибер-стакло и со следење на препораките за местото на поставување.

5 СТАТИСТИЧКИ ПОДАТОЦИ ЗА ПРИМАРНО ПРОИЗВОДСТВО НА ЕНЕРГИЈА ОД ВЕТЕР

Според статистичките податоци, производството на енергија од ветер се зголемува од година во година. Од податоците во табелата се гледа дека во сите земји, производството од 2005 година бележи постојан пораст во 2010, 2015 и 2016 година.

Енергија од ветер				
Земја	2005	2010	2015	2016
Германија	2 341.3	3 249.6	6 810.5	6 758.2
Шпанија	1 820.8	3 806.6	4 241.2	4 205.2
Италија	201.5	784.7	1 276.4	1 521.0
Шведска	80.5	301.1	1398.8	1 331.0
Турција	5.1	250.7	1 001.9	1 334.2
Република Северна Македонија	0.0	0.0	10.4	9.4

Табела 4.1 Примарно производство на обновлива енергија - енергија од ветер (илјада toe)

Извор: Евростат, Публикација за индикатори за енергија, транспорт и животна средина, 2018

6 ПАРК НА ВЕТЕРНИ ЕЛЕКТРАНИ „БОГДАНЦИ“ ВО РЕПУБЛИКА СЕВЕРНА МАКЕДОНИЈА

Следејќи ги светските трендови на развој и имплементација на производствените капацитети кои го користат ветерот како ресурс, во јуни 2004 година, АД ЕЛЕМ донесе одлука за вклучување на енергијата на ветерот како дел од портфолиото на компанијата. За инсталирање на производствениот капацитет кој користи ветер биле спроведени низа активности кои резултирале со пуштање во работа на првиот ветерен парк во Република Северна Македонија - 16 ветерници со инсталиран капацитет од 36,8 MW. Пробното пуштање било реализирано во периодот од април до август 2014 година, а официјално, ветерниот парк „Богданци“ влегол во електроенергетската мрежа на Северна Македонија во септември 2014 година.

Опис на објектот

Целиот систем за ова енергетско поврзување се состои од 20kV кабелска мрежа, 20kV енергетска постројка, 2x25/40MVA ONAN/ONAF енергетски трансформатори лоцирани во ТС 110/20kV Богданци, 110kV далновод „ТС Богданци – ТС Валандово“ за пренос на енергијата до постојната 110/35/10kV Валандово што, всушност, преставува точка на конекција со Националниот електроенергетски преносен систем-оператор (МЕПСО), како и пристапни патишта и платформи за монтажа на ветерните турбини.

Трафостаницата ТС 110/20kV; 2x25/40MVA Богданци овозможува трансформација и пренос на произведената електрична енергија од паркот на ветерни електрани „Богданци“ до преносниот систем на Северна Македонија преку 11 км долг 110 kV далновод ТС Богданци - ТС Валандово.

Опис на ветерните турбини

Ветерните турбини што се инсталирани во паркот на ветерни електрани „Богданци“ се тип SWT-2,3-93, производ на СИМЕНС.

Ротор

Роторот на SWT-2,3-93 турбината е самостојна конструкција со три перки, монтирана на столбот наспроти ветерот. Моќноста се регулира преку нагибниот систем. Брзината на роторот е варијабилна за да ја максимизира аеродинамичната ефикасност и да го намали оптоварувањето на системот на запченичкиот пренос во текот на регулацијата на моќноста.

Перки

Перките се конструирани од епоксидна смола засилена со стаклени влакна (армирана со фиберглас). Со овој процес перките се леат во едно парче за да се елиминираат послабите зони при нивното зглобно спојување. Перките се монтираат на лежиштата на нагибниот систем и нивниот нагиб може, поради исклучување, да се навали за 80°. Секоја перка има свој сигурносен независен нагибен механизам способен за навалување на перката под секакви услови на работа. Овој нагибен механизам на перките овозможува оптимизација на моќноста во текот на работниот опсег, а при застој на турбината перките се навалуваат при што се минимизира делувањето на ветерот.

Главина

Главината на роторот е изработена од лиено железо со висока отпорност на растегнување. Главината е монтирана на главната оска со голема прирабница. Таа е доволно голема да обезбеди удобна работна средина за двајца сервисери во текот на одржувањето на коренот на перките и на лежиштата на нагибните системи од внатрешноста на структурата.

Генератор

Генераторот е од целосно затворен, асинхрон тип, и тоа „SiemensLoher“, со номинална моќност од 2300kW, номинален број на вртежи 1550 грм, брзина 600-1800 грм, номинален напон 750V, фреквенција 16,5-60Hz. Генераторот има кафезен ротор без лизгачки прстени. Конструкцијата на роторот на генераторот и статорските намотки, овозможува висока ефикасност при делумно оптоварување. Генераторот е заштитен со термални прекинувачи и аналогни сензори за мерење на температурата. Генераторот е опремен со термостатски контролиран систем за вентилација. Воздухот циркулира во внатрешноста на генераторот преку топлински изменувач што ефикасно ја одржува температурата во внатрешноста на генераторот независна од температурата на околината.

Столб

Ветерната турбина SWT-2,3-93 е монтирана на конусен челичен столб со височина од 80м. Столбот е поделен на три дела. Внатре во столбот директен пристап до кукиштето и до системот за регулирање на правецот се остварува со помош на внатрешни скалила и со помош на лифт. Во столбот се предвидени платформи и внатрешно електрично осветление. Една платформа се наоѓа веднаш под средната спојна

фланша од столбот и служи за пристап за поврзување на кабли и за затегнување на завртките од спојната фланша. Платформи се поставени веднаш под горниот управувачки ормар и над главниот управувачки ормар. Горната платформа се наоѓа веднаш под горната спојна фланша и таа се користи за соодветен пристап до куќиштето, за затегнување на завртките од спојната фланша и за сервисирање на системот на регулаторот на правец.

7 ЗАКЛУЧОК

Обновливите извори на енергија овозможуваат полека, но сигурно, светот да се одвикнува од користењето на фосилните горива. Се истражуваат нови можности за искористување, се експериментира со нови технологии, со различни типови сончеви ќелии за директно производство на електрична енергија од сончевото зрачење, се прават полесни, помоќни и поевтини ветерни турбини, како и нови начини за ефикасно и долготрајно складирање на енергијата.

8 КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА И ВЕБ-СТРАНИЦИ

- [1] Џеферсон В. Тестер, Елизабет М.Дрејк, Мајкл В. Голеј, Мајкл Џ. Дрискол, Вилијам А. Петерс, „Одржлива енергија: Избор меѓу опциите“, Дата понс, Скопје, 2005.
- [2] Боб Еверет, Годфи Бојл, Стивен Пике и Џенет Рамаж, „Енергетски системи и одржливост: Моќност за одржлива иднина“, Арс Ламина, Скопје, 2012
- [3] Milborrow D., „Windenergy technology“, the state of the art. Power Energy 2002; 216:23-30.
- [4] Eurostat, Energy, transport and environmental indicators, 2018 ed.
- [5] <https://www.irena.org/wind>
- [6] http://www.elem.com.mk/wp-content/uploads/2017/04/Windpark_15_MK.pdf
- [7] <https://www.awea.org/wind-101/benefits-of-wind/environmental-benefits>



SCEESD

Student conference

"Energy efficiency and sustainable development"



Aleksandar Krleski¹, Tina Manoleva², Mentor: Hristina Spasevska³ Lihnida Stojanovska-Georgievska⁴

^{1 2 3 4} Faculty of Electrical Engineering and Information technologies

¹krleski@feit.ukim.edu.mk

²manolevatina@yahoo.com

DEVELOPING QUALIFIED STAFF IN THE FIELD OF DESIGN AND INSTALLATION OF PHOTOVOLTAIC AND SOLAR THERMAL SYSTEMS - DISSEMINATION OF TRAINEE RESULTS

ABSTRACT

Abstract - Renewable Energy Sources (RES) are part of the global energy efficiency and environmental pollution effort that is rapidly increasing the demand for renewable energy specialists who are able to design, install and maintain such systems. There are not many initiatives for a more systematic approach to the design of educational programs and development of curricula for training designers and installers of RES systems in buildings. This can be done by developing specific professional standards recognized by national qualifications frameworks, which will provide formal validation of developed qualifications. The purpose of this paper is to show how this type of training for designers and installers of small renewable energy sources in buildings is realized and to analyze and disseminate it. This paper is based on the experience of the TRAINEE project, developing a survey and analyzing it, as well as identifying shortcomings and improving them in the future.

Key words: dissemination, RES design, training content.

1 INTRODUCTION

Efforts to tackle climate change and energy system transformation are essential foundations for achieving a sustainable future for business, society and the environment. The Paris Agreement establishes the status that the beginning of the transition to a prosperous and green economy is necessary. In order to maintain the projected growth rate of global temperatures below 2 ° C, work must be done to rapidly address the problem of decarbonization of the energy sector. The tendency of many countries and industry sectors to mitigate climate change problems and reduce greenhouse gas emissions is increasing [1, 2]. The application of best practices and technologies in the field of energy efficiency has allowed energy consumption in buildings to stabilize, and even a re-projected decline by 2050 can be observed. Many mitigation options promise multiple benefits [3-6]. Overall objective of supplying 20% of the final energy consumption of the European Union by RES by 2020, given by the Renewable Energy Directive (2009/28 / EC) [7] sets out the overall policy for the production of renewable energy sources in the EU. In December 2018, the revised Renewable Energy Directive 2018/2001 / EU [8] was implemented as part of the Clean Energy package for all Europeans, with the aim of preserving the EU as a global leader in renewables and environmental protection. The demand for energy from buildings continues to grow, driven by improved access to energy in developing countries, greater ownership and use of energy-consuming devices and rapid growth of global building floors, at nearly 3% per year [9]. As technological advances rapidly change the boundary between jobs, global labor markets are undergoing major transformations. These transformations, if managed wisely, could lead to a new era of good work, good jobs, and a better quality of life for all, but if they fail, they pose a risk of widening skills gaps, greater inequality, and wider polarization. [10]. Likewise in other EU countries, the lack of widespread awareness of greener construction is being challenged in Macedonia [11], as well as activities to meet the needs of the labor force in the construction sector. The Republic

of North Macedonia has harmonized its energy efficiency legislation with European legislation and set national energy saving targets to be achieved by 2020. The shortage of energy efficiency and renewable energy workforce needs to be overcome by implementing the priority measures defined in the Roadmap [12, 13] and aiming at: upgrading the national EE (energy efficiency) education system and RES (renewable energy sources); design training schemes for EE and RES in buildings; build the capacity of educational institutions relevant to the needs of skilled workers and overcome communication barriers in implementing the goals of the Roadmap. Curricula have been developed with anticipated learning outcomes and appropriate training materials. They are designed to provide qualified trainers and construction workers with EE building envelope (plaster and roofing), thermal insulation of the building (carpentry and HVAC) and EE electrical installations [14-16].

2 ENSURING QUALIFIED AND SKILLED WORKFORCE FOR RES SYSTEM INSTALLATIONS: TRAINEE APPROACH

The project “TowaRd market-based skills for sustAINable Energy Efficient construction” is EU funded project under HORIZON 2020 programme, topic: Construction skills, Type of action: CSA Coordination and support action. TRAINEE (2018-2020) is running in the frame of H2020 programme, as a follow-up action of the previous national projects in BUS initiative [17]. The overall objective is to increase the number of skilled building professionals according to recommendations from national qualification roadmap concerning two priorities, training of 4.500 building professionals and blue collar workers and overcoming barriers for implementation of EE measures in operation and maintenance.

Vocational Qualification Schemes VQS for installation of solar-thermal and photovoltaic systems will be implemented, engaging both blue collar workers (qualification level IV and III from NQF) and building professionals (for upgrading skills on qualification level Vb from NQF). This implementation will be conducted by training programmes for design and installation of solar-thermal systems organized on two levels – for blue-collar workers and for building professionals. This will be a specific challenge for realisation since the national procedure for developing qualifications and defining vocational training programs for qualification level higher than IV-th level in NQF is still not established. In fact the implementation of the law for NQF in Macedonia is still in the phase of development. For each training schemes and qualification level pilot training will be organized in order to test the relevance of the developed programs.

A. Stages in developing new qualifications

The process of developing qualifications is regulated by the Law on the National Qualifications Framework (NQF). One of the most important features of the Macedonian Qualifications Framework is its openness for all types of qualifications, at all levels of education: general education, vocational education and training (3-year or 4-year), post-secondary education, higher education and adult education.

Developing a standard of qualification is a complex process based on co-operation between different stakeholders (fig. 1). The working group that develops the final description of the standards of qualification may include the following participants: representatives of policy institutions, employers, training providers and training.

- Phase 1 - Basis for developing new qualifications
- Phase 2 - Submission of a proposal for a new standard of qualification
- Phase 3 - Implementation of the proposal
- Phase 4 - Develop a standard of qualification
- Phase 5 - Approval of the standard of qualification
- Phase 6 - Re-accreditation of standard of qualification



Figure 1. Developing a standard of qualification

B. Development of qualifications in adult education

The qualifications in adult education are awarded on the basis of the Law on Adult Education and several other documents. Figure 2 below gives the procedure for developing qualifications for adult education. There are two main types of adult education programs: those based on the needs of the labor market and consequently occupational standards and those aimed at providing soft skills.

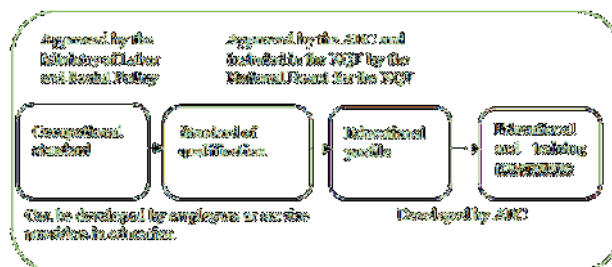


Figure 2. Procedure for developing qualifications

The procedure for verification of special programs for adult education has four steps:

- Request for verification of a special adult training program
- Approval of an adult education program
- Request for verification of the institution for adult education
- Enrollment in the registers of verified programs and verified institutions and institutions.

C. Development of Occupational standard for Designer/installer of RES systems in buildings

A key element when creating training programme for certain qualification should be represented by a sectorial or domain-specific matrix of competences. The matrix is a planning and evaluation tool for trainees, teachers and educational institution that is providing the training. The focus of this matrix is at the level of an engineer (EQF level 6) and technician (vocational education and training) (EQF levels 3-4). For defining competence matrix for qualification Designer/installer of RES systems, the scope of the core work tasks should include four renewable energy systems (PV, ST, HP, BM).

In the frame of the matrix are defined both competences for Designer of PV/ST systems at the level of an engineer (EQF level 6) which include all areas of expertise 1-5 from table and competences for Installer of PV/ST systems at the level of technician (vocational education and training) (EQF levels 3-4), which include areas of expertise 3 and 4.

Taking into account existing training programs that have their focus in electrical engineering, thermal engineering, or other educational goals, fundamentals of electrical engineering and thermal engineering are included. Thus, the lateral entry into the qualification program should be possible. The matrix of competences contains no terms of reference, oriented towards research and development, but at level 6 of the EQF it is possible to find components out of the first cycle of a university study.

D. Training program for use of RES in buildings developed in TRAINEE

The trainings are developed in line with the requirements of the revised Directive 2018/2001/EU on the promotion of the use of energy from renewable resources.

The content of training will include a detailed state-of-art of the subject treated in the particular training course, giving an overview of materials and techniques for implementation, basics of design and use of software, proper installation and maintenance of solar thermal and photovoltaic system installation, theoretical explanations of the processes, covering ecological aspects, components, characteristics and dimensioning of solar systems,

providing good knowledge of ISO standards of quality, techniques for measuring energy savings and issues from work safety.

The content of training will include a detailed presentation of the subject treated in the particular training course, involving materials, techniques for implementation, basics of proper installation and theoretical explanations of the process, recognition of ISO standards of quality of used materials and methods for their incorporation, achievements in the energy savings and subjects from work safety. It will specifically be devoted to recognition of new products in this field with promising specifications in order to achieve higher energy efficiency of the buildings and increase the safety. The training forms will be encompassed of 10% exam, 30% theoretical classes and 60% practical classis which will be organized in building sector companies. The total duration of the courses is 80 training hours.

This training program is organized in two modules:

- Module 1: Design and Installation of solar-thermal systems on two levels – for building professionals and blue collar workers
- Module 2: Design and Installation of photovoltaic systems on two levels - for building professionals and blue collar workers

The training course is targeting candidates with the following working experience, who have undergone, the following types of training:

- For 1st level (installers): a vocational training scheme corresponding to at least three years education in technical education (electrician, mechanic, construction technician etc.) or workplace learning/experience or non-formal training as plumber, electrician, and have relevant plumbing, electrical and roofing skills
- For 2nd level (designers): a higher education qualification corresponding to at least 180 ECTS in technical academic education (electrical engineer, mechanical engineer, civil engineer etc.)

A detailed structure of the program as well as the description of the module is explained below.

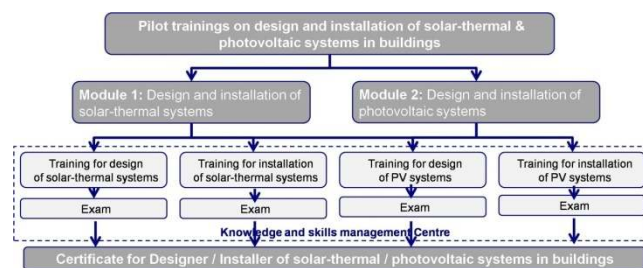


Figure 3. Schematic representation of training structure

E. Training modules

Module 1: Design and Installation of solar-thermal systems on two levels – for building professionals and blue collar workers. The first module covers the following areas:

- Introduction to solar energy and solar-thermal systems
- Collector & system types
- Installation of solar-thermal systems
- Solar-thermal design
- System maintenance
- Safety requirements at workplace
- Techno-economical analysis

This course will focus on the designer's ability to complete a design from site survey and assessment through construction drawings and into permitting and commissioning. It provides the Solar-thermal designer, contractor or installer with a comprehensive understanding of Solar-thermal design. These skills are essential for designers

of commercial systems and complex residential systems such space heating applications. This course will provide an in depth knowledge of the tools and best practices needed for complex Solar-thermal systems.

The first level - Design of solar-thermal systems for building professionals encompass of:

- Introduction to solar energy & solar-thermal systems
- Collector & system types
- Solar-thermal design
- Techno-economical analysis
- Safety requirements at workplace

The second level of the first module aiming installation of solar-thermal systems for blue collar workers includes the following chapters:

- Introduction to solar-thermal systems
- Collector & system types
- Installation of solar-thermal systems
- System maintenance
- Safety requirements at workplace

Module 2: Design and Installation of photovoltaic systems on two levels - for building professionals and blue collar workers. The second module covers the following areas:

- Photovoltaic Basics
- PV Modules and Other Components of Grid-Connected Systems
- Mounting Systems and Building Integration
- Installing
- Stand-alone Photovoltaic Systems
- Safety requirements at workplace

This course will focus on the designer's ability to complete a design from site survey and assessment through construction drawings and into permitting and commissioning. It provides the PV Solar system designer, contractor or installer with a comprehensive understanding of PV Solar system design. These skills are essential for designers of commercial systems and complex residential systems such space heating applications. This course will provide an in-depth knowledge of the tools and best practices needed for complex PV Solar systems.

The first level of module 2 is dedicated to design of PV solar systems for building professionals and includes the following chapters:

- Photovoltaic Basics
- PV Modules and Other Components of Grid-Connected Systems
- Site Surveys and Shading Analysis
- Planning and Sizing Grid-Connected Photovoltaic Systems
- System Sizing, Design and Simulation Software
- Mounting Systems and Building Integration
- Installing, Commissioning and Operating Grid-Connected Photovoltaic Systems
- Stand-alone Photovoltaic Systems
- Economics and Environmental Issues
- Procurement and legislation
- Safety requirements at workplace

And the second level of module 2 of training material will develop skills for installation of PV solar systems for blue collar workers through the following chapters:

- Photovoltaic Basics
- PV Modules and Other Components of Grid-Connected Systems
- Mounting Systems and Building Integration
- Installing
- Stand-alone Photovoltaic Systems

- Safety requirements at workplace

3 DISTRIBUTION OF TRAINEE PARTICIPANTS

The pilot training was realized in order to confirm the reliability and adequacy of the designed programme and training material. It was organized on two levels: for blue collar workers and for professionals. For each training schemes and qualification level one training was organized (one for 20 Installers of systems of solar-thermal energy, one for 10 Designers of systems of solar-thermal energy, one for 20 Installers of photovoltaic systems and one for 10 Designers of photovoltaic systems). The trainings was a 10 day seminar with theoretical and practical classes which was organized on-site. The number of registered participants in this TRAINEE approach was 129, from which 115 were accepted for the trainings.

Depending on the training provided, the interest of the individual groups varied. Depending on the training provided, the interest of the individual groups varied. Considering the employment of each participant, it was concluded that most of them were employed, while in the training for installation of solar-thermal systems, there were more unemployed participants than employed. This may be due to the fact that most of the participants were secondary or tertiary education. The following chart shows the distribution of trainees regarding employment.

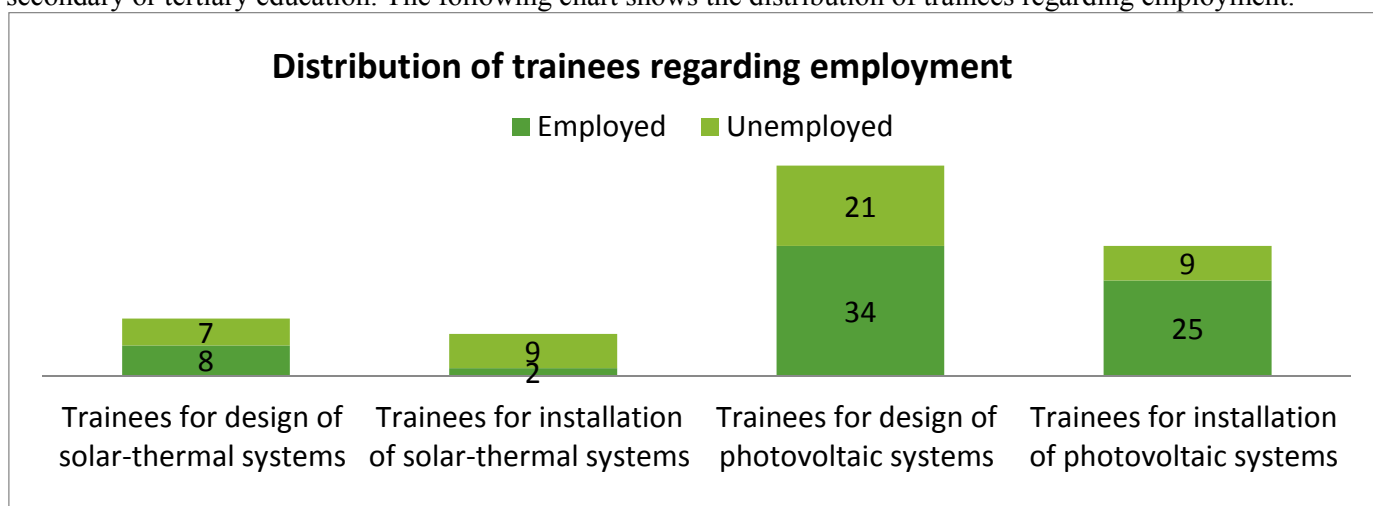


Figure 4. Distribution of trainees regarding employment

The next step when considering the type of training participants is to sort them according to their current education. In this section it is necessary to separate the groups for installation of photovoltaic and solar thermal systems with the group for designing photovoltaic and solar thermal systems. In terms of training in system design, the most reported were electrical engineers, followed by mechanical engineers. A smaller group was made up of civil engineers, architects and other professions. The distribution of diversity in the professions is shown in the figure 5.

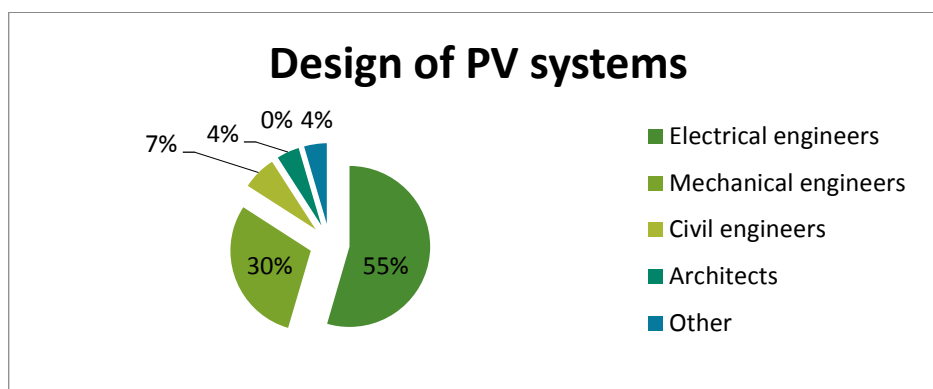


Figure 5. Distribution of trainees regarding education for design of PV systems

On the other hand, the professions that were most prevalent in the installation of photovoltaic and solar thermal systems are electricians with 44% and electrical engineers with 28%. This distribution is shown in the figure 6.

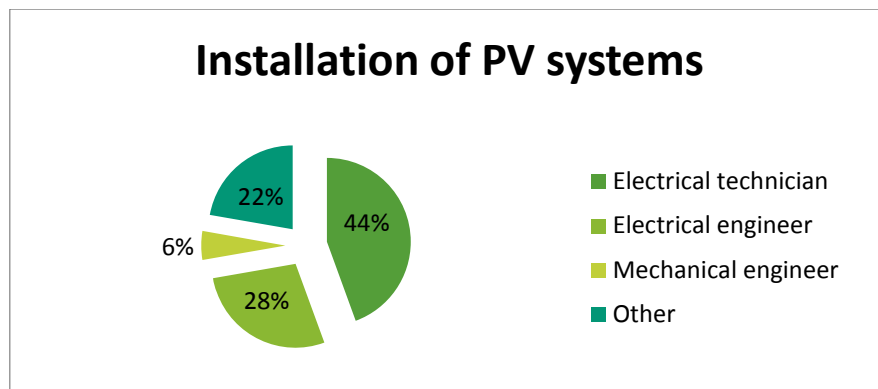


Figure 6. Distribution of trainees regarding education for installation of PV systems

4 RESULTS OF QUESTIONNAIRE AND DISSEMINATION

Following the completion of the training, a survey questionnaire was developed for the realized trainings for designing and installing solar collectors and photovoltaic systems. This was done in order to identify the positive side of the trainings and to re-implement them, as well as to identify the mistakes in order to eliminate or upgrade the areas concerned. The questionnaire consisted of several rounding questions to make it easier and more practical for participants. There were 58 completed surveys.

First, participants were asked where they had been informed about the trainings. The majority responded that they found out through the media and through friends. Visual results are shown in figure 7.

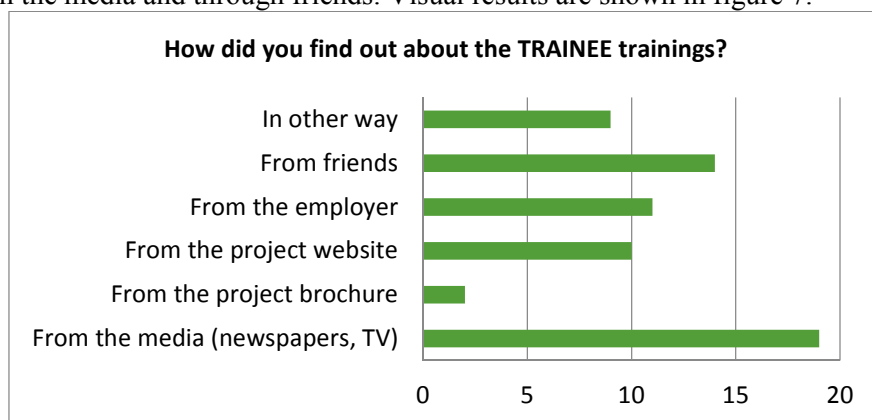


Figure 7. Answers on the question “How did you find out about the TRAINEE trainings?”.

One of the most important questions that would have missed the purpose of this type of training was why the participants registered for this type of training. The majority of the participants’ responses were about the possibility to upgrade their abilities, and the second was chosen because of the popularity of the topic. The percentage representation of the answers is shown in figure 8.

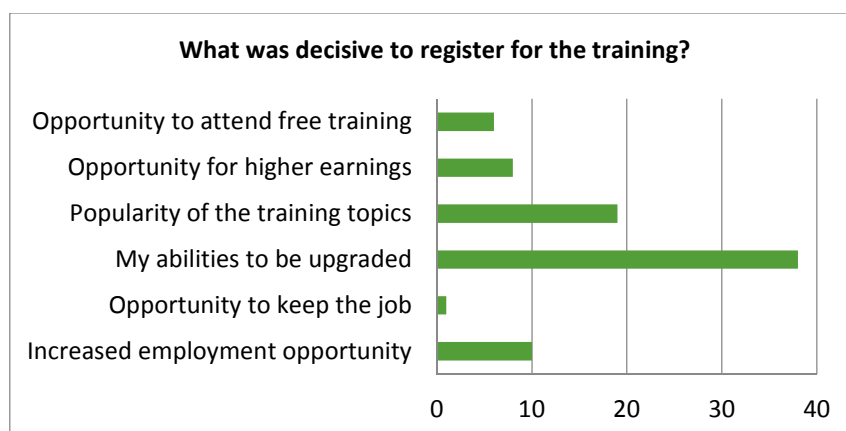


Figure 8. Answers on the question “What was decisive to register for the training?”.

Regarding the evaluation of the quality of the theoretical classes, most of the participants considered the material comprehensible and appropriate, but almost the same number responded that the number of classes was insufficient, because the material was extensive. On the other hand, the practical classes are considered useful for the training and they are at an adequate level. For this type of classes, participants have an equally divided opinion that the number of classes held is sufficient or insufficient.

Lectures		Practical teaching	
21	Insufficient number of lectures provided	14	Insufficient number of lectures provided
12	Sufficient number of lectures provided	13	Sufficient number of lectures provided
2	Low level of knowledge	2	Low level of knowledge
18	Adequate difficulty level	21	Adequate difficulty level
1	High level of knowledge	0	High level of knowledge
26	Understandable teaching of material	4	Insufficient equipment available
1	Fuzzy presentations	12	Appropriate equipment available
1	The lectures are boring	1	Useless for the training
18	The lectures arouse interest	29	Useful for the training

Figure 91. Answers on the evaluation of the trainings.

The results of the evaluation related to the prepared print material are shown in the figure. It can be seen that most of the participants consider that sufficient number of relevant information is included, the text is understandable and at an appropriate level, but the number of hours held does not correspond to the quantity of the material.

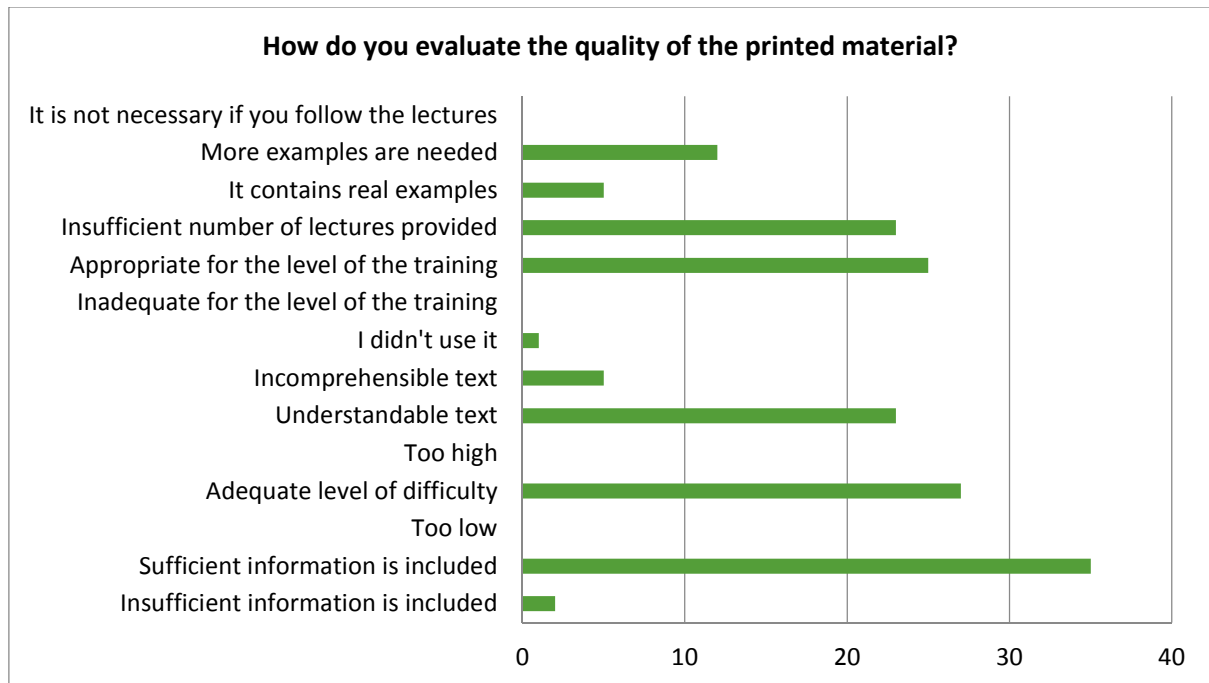


Figure 10. Answers on the evaluation of the quality of the printed material.

The software used to design the photovoltaic roofing systems was well appreciated by the participants, and as many as 20 of them were very satisfied with it. This has shown that this type of software is ideal for such training and that it has all the attributes needed to study the design of small or medium photovoltaic systems.

The final question was asked whether the participants would like to participate in this type of training again, and if so which of the remaining trainings they would choose. Interest in the following new trainings offered by the Knowledge and Skills Center was shown by 51 of the 58 participants surveyed. Most of them want to attend training in designing solar thermal collector and photovoltaic systems. Figure 11 shows in detail the opinions of the surveyed participants.

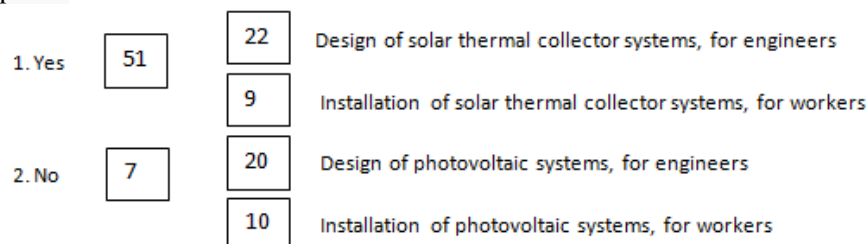


Figure 2. Answers on possible future participation in the trainings.

5 CONCLUSION

This paper presents a systematic approach to designing educational programs and developing curricula for the training of designers and installers of RES integrated building systems. This particularly concerns the development of specific professional standards, recognized by national qualifications frameworks, which will ensure formal validation of developed qualifications. This paper provides a model for training courses for designers and installers of small renewable energy sources in buildings. This model is based on the TRAINEE project, which aimed to deliver training courses for designers and installers of RES systems in buildings. By delivering the pilot trainings, we were able to draw conclusions about the adequacy of developed educational programs with the needs of market related RES-skills. The tests and surveys showed that the program meets the

learning outcomes of the 4th and 5th levels from the European Qualification Framework (EQF), based on a combination of knowledge, skills and competences.

6 ACKNOWLEDGEMENT

Authors wish to acknowledge that this paper is result of work on the H2020 project TRAINEE, GA No. 785005 — TRAINEEH2020-EE-2016-2017/H2020-EE-2017-CSA-PPI.

7 REFERENCES

- [1] IPCC. Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change, Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Cambridge University Press: Cambridge, UK; New York, NY, USA, 2014; pp. 6–8.
- [2] Schmidy, M.; Crawford, R.H. A Framework for the Integrated Optimization of the Life Cycle Greenhouse Gas Emissions and Cost of Buildings. *Energy Build.* 2018, 171, 155–167.
- [3] Buildings Performance Institute Europe (BPIE), Available: <http://bpie.eu/>
- [4] Global Buildings Performance Network (GBPN), Available: <http://www.gbpn.org/about>
- [5] World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), Available: <https://www.wbcsd.org/Programs/Climate-and-Energy>
- [6] Cambridge Institute for Sustainability Leadership (CISL), Available: <https://www.cisl.cam.ac.uk/>
- [7] 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 (Text with EEA relevance), <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32009L0028>
- [8] Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (Text with EEA relevance.), https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=uriserv:OJ.L_.2018.328.01.0082.01.ENG&toc=OJ:L:2018:328:TOC
- [9] Energy Efficiency: Buildings, The global exchange for energy efficiency policies, data and analysis, International energy Agency, Available: <https://www.iea.org/topics/energyefficiency/buildings/>
- [10] The Future of Jobs Report 2018, Insight Report, World Economic Forum, Switzerland, 2018, Available: www.weforum.org
- [11] Lihnida Stojanovska-Georgievska, Ivana Sandeva, Hristina Spasevska, An Empirical Survey on the Awareness of Construction Developers about Green Buildings in Macedonia, *Thermal Science*, OnLine-First Issue 00, 2018, pp. 23-23, <https://doi.org/10.2298/TSCI170915023S> (IF 1.093)
- [12] Status quo analyses for the skills gap in construction sector in Macedonia - BUILD UP SKILLS, Pillar 1 (BUS-MK project), 2014, Available: <http://www.buildupskills.mk/index.php>
- [13] Roadmap for developing skills and overcoming skills gap in construction sector - BUILD UP SKILLS, Pillar 1 (BUS-MK project), 2014, Available: http://www.buildupskills.mk/images/Publikacii/Roadmap/EN_Roadmap_BUS-MK.pdf
- [14] L. Stojanovska-Georgievska, H. Spasevska, R. Ivanov, Publishable report of BUILD UP Skills -Builders' Energy Efficiency Training, 2016, Available: <http://beet.mk/images/beet/docs/publications/>
- [15] Publishable_report_BUILD_UP_Skills_BEET.pdf
- [16] H. Spasevska, L. Stojanovska-Georgievska, Methodology of the process of recognition of prior learning and skills acquired through non-formal and informal education, Faculty of electrical engineering and information technologies, University Ss Cyril and Methodius-Skopje, 2016, ISBN 978-9989-630-78-1, Available: http://www.beet.mk/images/beet/docs/-RPL/RPL_Methodology_MK_ver.pdf



David Esteban Albadan Molano ¹, Jorge Enrique Salamanca Céspedes ²
^{1 2} Engineering faculty/ Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá.

¹dealbadanm@correo.udistrital.edu.co

²jsalamanca@udistrital.edu.co

BLADE DESIGN FOR HORIZONTAL AXIS WIND TURBINE

ABSTRACT

This work is a result of the research that have been carrying out in the GEOM seedbed of the Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Wind energy is one of the best important sources of renewable energy and an excellent alternative for the transition to sustainable energy that the world need. The wind energy is contained in the moving air particles, forming kinetic energy. This energy could be transformed into another type of energy such as electricity, through the use of wind turbines. It is known that horizontal axis wind turbines are more efficient energetically, the power output of a horizontal axis wind turbine depends of it aerodynamic performance; therefore, the correct geometric design of the propeller is essential for an optimum wind turbine. This article analyzes the most relevant aspects in the design of a wind propeller, using MATLAB® software to illustrate its behavior, suggests an ideal airfoil for wind applications to use in the 3D modeling of the blades using the computer assisted design, this blades has been built with a 3D printer.

Key words: Renewable energy, Wind energy, Wind turbines, Mathematical modelling, Environmental impact.

1 INTRODUCTION

Since ancient times, humans have used the energy stored in moving air particles. Wind energy was used on a daily basis since the invention of sailing ships; subsequently, it was used for different tasks such as grinding and pumping, which led, in the XVIII century, to develop machines with more elaborated models that took into account certain aerodynamic parameters and had mechanisms that improved their functioning. In 1892, in Denmark, professor Latour designed the first electric wind turbine, starting the development of the modern wind technology [1].

The use of renewable energy has experienced an important worldwide growth in recent decades, the need to reduce dependence on fossil fuels, lessen environmental impact and seek sustainable development, has massified this type of energy production. The use of renewable energies, in addition to reducing the negative environmental impacts caused by the usage of fossil fuels, can become an economic growth enhancer [2]

The energy present in moving air particles is so abundant that it could satisfy the world energetic demand. Wind energy is renewable and clean; it is produced by the differences in atmospheric pressure resulted from the uneven heat that the earth's surface receives from the sun. However, approximately only 2% of the solar energy that reaches the Earth becomes wind, and only a fraction of this can be transformed into electric energy; [3] despite of this, wind is an excellent energetic resource. A wind turbine uses the kinetic energy associated to the movement of the wind particles that impact the propeller, which by being coupled with an electric generator produces a usable potential difference (voltage). Currently, wind power needs greater prominence, aimed at changing the paradigm of obtaining energy to an environmentally sustainable one, highlighting that wind power production involves significantly lower environmental costs than those from using fossil fuels.

In this paper, we calculate and simulate, using Matlab software, the optimum propeller for a low-power wind turbine that works at an average annual speed of 4-6 m/s, to show the aerodynamic behavior of the blades and their main

features also the 3D model are built. We suggest the reader to become familiar with the concepts of the momentum theory and fluid mechanics, among others, which are not explained here because it is out of the scope of this paper.

2 MOMENTUM BUDGET EQUATIONS FOR THE WIND

To know the behavior of the wind is an important aspect to the wind turbine design each territory has its particular surface roughness, climate, wind randomness, and other features, which implies a specific probability distribution function (PBDF) and sample space Ω ; to determine the wind behavior is useful to consider the momentum budget equations for the wind:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \vec{V} \nabla u + \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} - f v + f^* w \mp v \frac{|\vec{V}|}{r} + F_x = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \vec{V} \nabla v + \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + f u \pm u \frac{|\vec{V}|}{r} + F_y = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \vec{V} \nabla w + \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} - g + -f^* v + F_z = 0 \quad (3)$$

The equations 1:3 consider the wind balance forces in the coordinates x, y and z, respectively; considering:

- The momentum balance of the atmosphere.
- These equations are formulated in mass-specific form meaning that these equations are formulated per unit mass.
- The mass-specific momentum has the physical dimension of velocity.

These equations (1:3) are called Eulerian equations of motion in meteorology and are a special form of the Navier-Stokes equations in hydrodynamics. Where u is the wind component blowing into positive x direction, v is the component into y direction and w is the vertical wind. The wind vector is $\vec{V} = (u, v, w)$

The terms $\partial u / \partial t$, $\partial v / \partial t$ and $\partial w / \partial t$ are called inertial or storage term and represent the temporal variation of the wind components, the non-linear terms $\vec{V} \cdot \nabla u$, $\vec{V} \cdot \nabla v$ and $\vec{V} \cdot \nabla w$; expresses the interaction between the three wind components (associated with the turbulence); the term $1/\rho \partial P / \partial x$, $1/\rho \partial P / \partial y$ and $1/\rho \partial P / \partial z$ specifies the pressure force, the term -g gives the influence of the Earth's gravitation, the terms $-f v + f^* w$, $f u$ and $-f^* v$ denotes the Coriolis force due to the rotating Earth. Terms $v|\vec{V}|/r$ and $u|\vec{V}|/r$ describes the centrifugal force in non-straight movements around pressure maxima and minima (the upper sign is valid for flows around lows, the lower sign for flows around high pressure systems). Finally, the terms F_x , F_y and F_z symbolizes the frictional forces due to the turbulent viscosity of air and surface friction. [4]

3 USEFUL CONCEPTS FOR THE PROPELLER DESIGN

When extracting energy from the wind, it is important to take into account the relation between the shape of the airfoil and its aerodynamic features. The geometric shape used to design the propeller must minimize losses and maintain acceptable levels of rigidity and stability. To obtain the mathematical model that expresses the behavior and the main features of the propeller, we will consider an ideal turbine that is represented by a disc with no thickness and an infinite number of blades view Figure 1

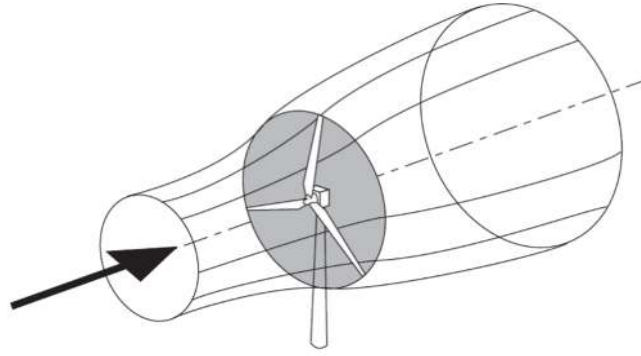


Figure 1. Ideal disc and wind current Source: [5].

The kinetic energy present in the wind is given by (1).

$$Ec = \frac{1}{2}mVi^2 \quad (1)$$

Where:

m : mass and Vi : wind speed.

When a wind flow impacts the airfoil in the Figure 2, moving from the leading edge to the trailing edge, winds with different speeds are generated on the upper surface; higher speeds decrease the pressure, lifting the airfoil. Concurrently, the pressure increases on the lower surface, which also contributes to lift the airfoil; this phenomenon is called lift. Figure 3 shows and approximation of the differences in pressure.

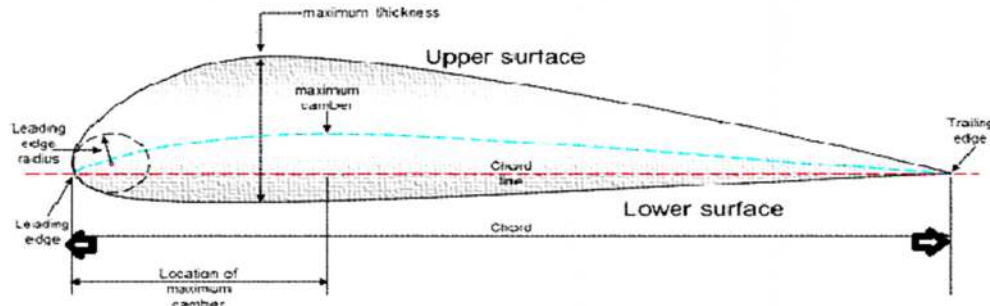


Figure 2. Parts of an airfoil. Source: authors' own elaboration.

3.1 Reynolds number

The Reynolds number, calculated by (2), relates the viscous and inertia forces in a propeller. In aeronautics, high Reynolds numbers are common since this coefficient proportionally depends on the speed. Conversely, Reynolds number are smaller for wind propellers.

$$Re = \frac{Fi}{Fv} = \frac{\rho LVi}{\mu} \quad (2)$$

Where:

ρ : Fluid density, μ : Dynamic viscosity of the fluid and L : Propeller length.

3.2 Power

Available Power: It refers to the power required to move the air particles at a certain speed or the energy available in the wind that flows through a specific area at a determined time. The power associated to the wind flow is available as a consequence of the kinetic energy present in the wind, and is calculated by (3).

$$Pd = \frac{Ec}{t} = \frac{1}{2}mV_1^2 = \frac{1}{2}\rho AV_1^3 \quad (3)$$

Where:

Pd: Available power, Ec: Kinetic energy of the air particles and A: Area through which the wind flows.

In equation (3), the most important variable is the wind speed since both the area and the air density are kept constant. Consequently, power mainly depends on wind speed, showing a fluctuating exponential growth, which compels to use control systems that stop the turbines when the wind speed is so high that can burn the electronic devices or break the mechanic elements.

Extractable power: It is the mechanic energy transmissible to the propeller; for its analysis, the air passing through an ideal wind tunnel is studied, applying both the momentum theory and the Bernoulli's equation. Because the speed of the wind impacting the propeller is different from the one crossing the plate formed by the rotating propeller, it is necessary to introduce an interference coefficient (a) that describes this difference in speeds, obtaining (4).

$$Pe = \frac{1}{2}\rho AV_1^3 a(a-1)^2 \quad (4)$$

Where:

Pe: Power extracted by the propeller, a: Interference coefficient,

Interference coefficient (a) describes this difference in speeds and :

$$a = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{V_2}{V_1} \right) \quad (5)$$

Power coefficient: The mathematical descriptions of the available power (Pd) and the extractable power (Pe) permit introducing the power coefficient (Cp), which will let us describe the propeller's behavior regarding its capacity to capture the energy available in the wind, according to (6).

$$Cp = \frac{Pe}{Pd} = 4a(a-1)^2 \quad (6)$$

Cp reaches its maximum value when $dCp/da=0$:

$$\frac{dCp}{da} = 4(a-1)(3a-1) = 0 \quad (7)$$

Then: $a = 1/3$, therefore, by substituting in (6), we obtain the power coefficient maximum value:

$$Cp_{max} = \frac{16}{27} \cong 0,593 \quad (8)$$

This value, known as the Betz's coefficient, it means that 59% efficiency is the BEST that conventional wind turbine can achieve in extracting power from the wind. Although this model is inexact because it involves fewer variables than other models, in the practice, it achieves the highest efficiencies.[6]

4 PROPELLER DESIGN

Given this Cp_{max} it is possible to calculate a practical mathematical approximation of Cp that depends on the number of blades in the rotor (C_{pn}).

4.1 Speeds ratio

Besides the power coefficient (C_p), the parameter (λ) that relates the angular speed of the propeller (ω) and the speed of the wind (v_1) allows characterizing completely the aerodynamic behavior of the propeller, according to (9).

$$\lambda = \frac{\omega r \cdot l_b}{v_1} \quad (9)$$

$$C_{pn} = C_{pmax} * \lambda \left[\lambda + \frac{1,32 + \left(\frac{\lambda-8}{20}\right)^2}{N^3} \right]^{-1} - \frac{0,57\lambda}{\left(\frac{C_L}{C_D}\right)\left(1 + \frac{2}{N}\right)} \quad (10)$$

Where:

N: Number of blades, C_L : Lift Coefficient and C_D : Drag Coefficient.

The representation of equation (10) for different number of blades is given in Figure 5,

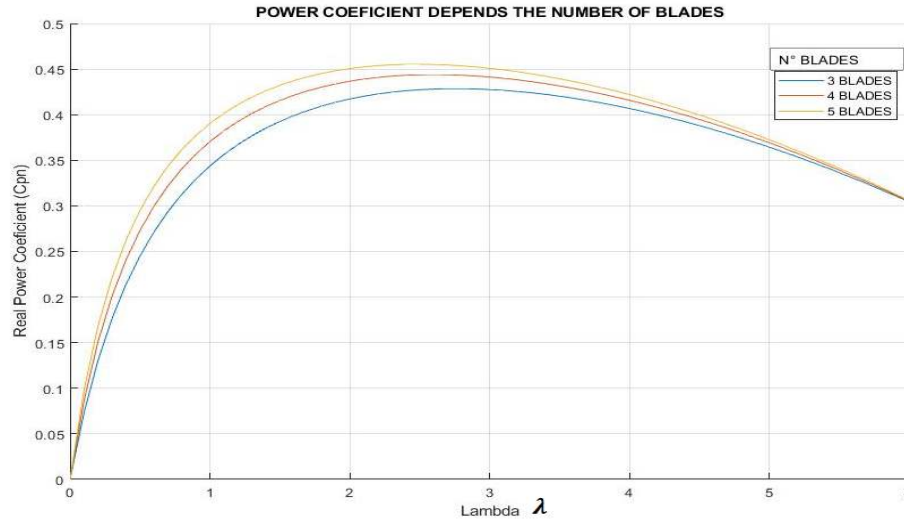


Figure 3. Power coefficient as a function of the speeds ratio (λ). Upper curve: five blades, Middle curve: four blades; lower curve: three blades. Source: authors' own elaboration.

The propeller efficiency increases when the number of blades increases view Figure 3; however, it is important to consider the cost-benefit ratio in regard to the number of blades. Nowadays, most of the wind turbines are built with three blades, because the cost of each blade does not justify coupling an extra one. Surely, this cost-benefit ratio varies with the model and place of implementation, therefore, every design should include this analysis. [7]

4.2 Airfoil

The airfoil is the shape of the blade as seen in cross-section; its geometric characteristics are designed to produce the pressure differences that generate lift, which largely determines the aerodynamic performance of the propeller. The desired airfoil for a wind propeller must have a low Reynolds number (since it depends on the wind speed), and ideally, a very thin but rigid blade.

The 4-digit NACA (National Advisory Committee for Aeronautics) airfoil is useful for wind power applications because it has a flat lower surface (it has no chamber) that makes construction straightforward. Other options are available, such as CLARK Y and FX 63-137; the latter although is more efficient, its construction is more difficult.

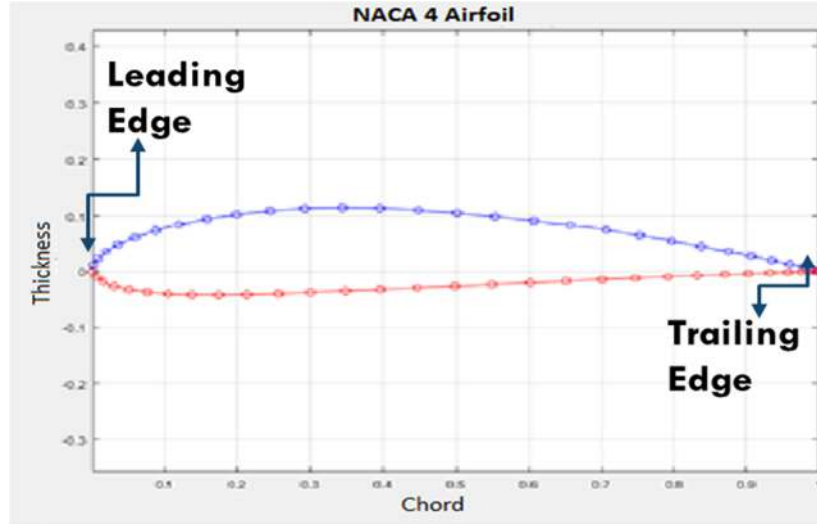


Figure 4. 4-digit NACA airfoil constructed in MATLAB. Source: [7]

Figure 4 shows the 4-digit NACA airfoil developed with the NACA 4-digit airfoil generator (Divahar Jayaraman, 2009)[8]. This airfoil is useful for wind power applications, since they are not only about the air particles impacting the blade, but about taking advantage of the lift phenomenon to make the propeller move, as we explained above. This type of airfoil has acceptable efficiency and rigidity features, and is easy to construct, which makes it an excellent choice to implement in horizontal axis wind turbines.

The propeller ratio is defined according to the functioning power in equation 11.

$$R = \sqrt{\left(\frac{2P}{\rho\pi Vi^3\gamma}\right)} \quad (11)$$

Where:

R: Propeller ratio (blade length), P: Nominal power and γ : Wind turbine general performance.

The wind turbine general performance (γ) includes the efficiency of both the generator and the electric system, and usually reaches a value of 30% or even 40% in the best cases.

5 RESULTS

The model designed by the characteristics exposed before are present in Figure 5-7.

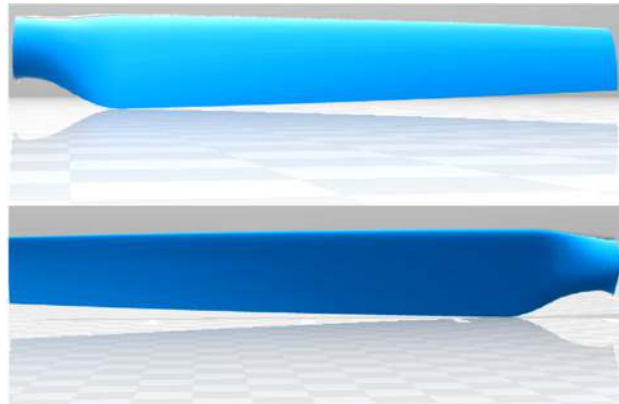


Figure 5. Blade - Frontal view. Source: authors' own elaboration

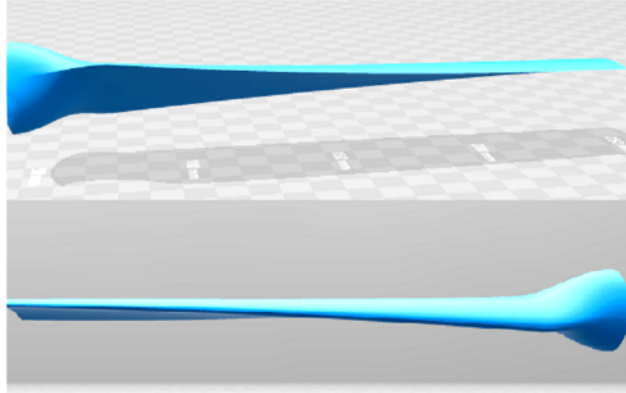


Figure 6. Blade-Trailing and leading edge view.
Source: authors' own elaboration

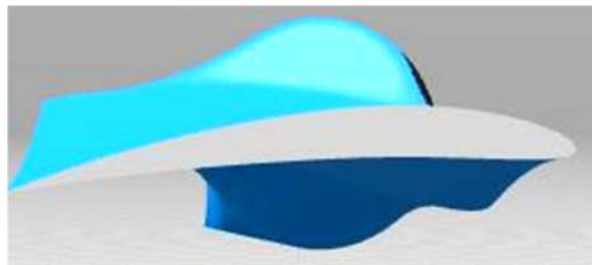


Figure 7. Blade-Airfoil view. Source: authors' own elaboration

6 CONCLUSIONS

In this paper, we analyzed the most relevant factors involved in the design of a wind turbine, focusing on the importance of choosing the correct airfoil, the variation in the cord length, the change ratio of the angle of attack, the number of blades, and the relation between the ratio and the nominal power.

The simulations we performed describe the behavior of the design variables and highlight the more appropriate configurations, providing the wind turbine designers with theoretical tools that allow them to know the general functioning of a wind propeller and the aspects that must be involved to achieve an optimum design.

7 REFERENCES

- [1] A. L. Neumann, „ *La energía eólica: principios básicos y tecnología* “,2002, pg. 1-10.
http://www.agenergia.org/files/resourcesmodule/@random49917eec3c3bd/1234272455_eolica_ALecuona.pdf
- [2] Bhattacharya, M., Paramati, S. R., Ozturk, I., & Bhattacharya, S, „ *The effect of renewable energy consumption on economic growth: Evidence from top 38 countries* “,”. Int. J. Numer. Meth.572 Engng., 89(3): 323–336, 2016.
- [3] UCLM, „ *Energía Eólica – Curso de Física ambiental* “,Grupo G-9. 2011.
- [4] Bearbeitet von, Stefan Emeis, „*Atmospheric Physics for Wind Power Generation* “, Book chapter, Fachbuchhandlung beck-shop.de, 2012. ISBN 978 3 642 30522 1
- [5] T. Burton, D. Sharp, N. Jenkins, E. Bossanyi., „ *Wind Energy Handbook* “, Book chapter, John Wiley & Sons, Chichester, England 2002. ISBN 0-471-48997-2
- [6] Y. Bazilevs, M.-C. Hsu, J. Kiendl., and D. J. Benson, „ *A computational procedure for prepping of wind turbine blades* “, Int. J. Numer. Meth.572 Engng., 89(3): 323–336, 2012
- [7] A. Albanesi, V. Fachinotti, I. Peralta, B. Storti, C. Gebhardt., „ *Application of the inverse finite element method to design wind turbine blades, Composite Structures* “,doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2016.11.039>, 2016
- [8] Jayaraman, „ *NACA 4 digit Airfoil Generator*“, Mathorks;
<https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/19915-naca-4-digit-airfoil-generator>, Accessed on 03, 2018



SCEESD
Student conference

"Energy efficiency and sustainable development"



Tsarknias Nikolaos
Environmental Engineering Faculty, Technical University of Crete, Chania, Greece
nikostsarknias@gmail.com

ENERGY PRODUCTION IN SMALL HYDROELECTRIC POWER PLANTS

ABSTRACT

Hydroelectric power plants generate electric power using water's kinetic energy when it moves from a higher to a lower altitude. Hydropower plants produce about 12% of EU's electricity without creating any emissions. There are three types of hydroelectric power plants depending on installed capacity: micro, small and large hydropower plants. According to the International Hydropower Association, there are three methods of producing hydropower: storage hydropower, run-of-river hydropower and pumped storage. The design of an installation and the method used depends on various factors such as the local climate, the terrain and the uses of the land and requires the collection of data for long period before the construction. Small plants usually use the run-of-river method, which is very efficient in mountainous areas, numerous altitude differences and limited fertile areas such as the Balkan region. Large hydropower plants in most of the cases use the storage hydropower method, a method that requires the construction of a reservoir and raises multiple environmental and local economy issues compared to the run-of-river method, as a result of the large flooded area that disallows the grow of local farming. In addition to those issues, recent studies have concluded that reservoirs contribute to the global warming through increased generated emissions of methane and nitrous oxide, especially in countries with a warm climate. However, large hydroelectric power plants are able to produce much more power than small plants using the run-of-river method, but with an increased environmental cost.

Key words: energy production, green energy, hydroelectric, renewable energy, small hydroelectric plant.

1 INTRODUCTION

Hydroelectric power is a form of renewable resource of energy, which uses the kinetic energy of water to produce electricity. Other forms of renewable energy are solar energy, geothermal energy, wind energy, wave energy and tidal energy. Hydroelectric power uses water coming from streams, rivers or lakes, which falls by the force of gravity and it is used to spin turbines and generators that produce electricity. There are three types of hydroelectric power plants depending on installed capacity. Facilities with capacity over 10 MW are called large hydroelectric power plants, facilities having installed capacity less than 10 MW are called small hydroelectric power plants and facilities with capacity less than 100 kW are called micro hydroelectric power plants. Hydroelectric power plants do not produce emissions nor pollute or harm the environment in any way, in contrast with to other energy production facilities such as nuclear power plants or coal power plants. In most of European countries, hydroelectric power is at its peak during spring months when the snow from the mountains starts melting and the amount of water in the intake point is significantly increased.

According to the latest EU energy statistical pocketbook renewables are the first source of electricity generation in the European Union producing 30.4% of total electricity, while nuclear fuels come second producing 25.6%, the third source, which is solid fuels produces 21.5% and the last one is gases and petroleum

fuels. Of the total percentage of renewable energy produced, 38.7% comes from hydroelectric, 30.9% comes from wind, 18.4% comes from biomass, 11.3% comes from solar and 0.7% comes from geothermal [European Commission, 2018]. That means that about 12% of EU's electricity is produced from hydropower. Looking at those statistics it is obvious that hydropower is an essential contributor in the European power grid and it is the major contributor when it comes to renewable resources. Hydroelectric power plants are the most efficient means of producing electric energy. The efficiency of today's hydroelectric plant is about 90 percent. Hydroelectric plants do not create air pollution and the fuel, which is falling water, is not consumed. Hydroelectric projects produce electricity for a longer period compared to other sources of energy, and hydroelectric generators respond rapidly when they have to.

This paper aims to explain the operation of a small hydroelectric power plant in an understandable way and to highlight their advantages compared to other means of energy production, such as large hydroelectric power plants and conventional resources facilities. Information provided in this paper will help to develop the most efficient method of electricity generation using water's motion depending on the local terrain.

2 HOW IT WORKS

Hydropower comes from water's motion. In the hydrologic cycle, water from the atmosphere reaches the surface of the earth as precipitation. Some of this water evaporates, but most of it either infiltrates into the ground or moves into the surface (surface runoff). Precipitation water eventually evaporates as it is flowing as a surface runoff or when it reaches lakes or oceans. Water infiltrated into the soil (subsurface water) may enter water bodies through underground streams. Eventually subsurface water will move to the surface and evaporate under sun's heat back to the atmosphere. Evaporated water turns into clouds and returns to the surface again creating a cycle.



Figure 1 The hydrologic cycle

In nature, energy cannot be created or destroyed, but it can be converted from one form of energy to another. In hydroelectric power plants, electricity is generated from water's kinetic energy. In this case flowing water is used to spin the blades of a turbine. The spinning turbine transfers its kinetic energy to the generator rotor which converts this kinetic energy into electricity.

According to the international hydropower association. There are three methods of producing hydropower. The first one is storage hydropower. This facility, typically a large hydropower system, uses a dam to store river water in a reservoir. Water released from the reservoir flows through a turbine, spinning it, which in turn activates a generator to produce electricity. The water may be released either to meet changing electricity needs or to maintain a constant reservoir level. The second method is run-of-river hydropower. A run-of-river facility

channels a portion of a river through a canal or penstock to a turbine, which is found in the outlet of the diversion. It may not require the use of a dam. The third and final method is pumped storage. Pumped storage works like a battery, storing the electricity generated by other power sources like solar, wind, and nuclear for later use. It stores energy by pumping water uphill to a reservoir at higher elevation from a second reservoir at a lower elevation. When the demand for electricity is low, a pumped storage facility stores energy by pumping water from a lower reservoir to an upper reservoir. During periods of high electrical demand, the water is released back to the lower reservoir and turns a turbine, generating electricity [International Hydropower Association].

After the production, electricity passes through transformers that increase the voltage in order to allow electricity travel for a long distance. Electricity is transmitted through a network of aluminum and copper wires. Then at local substations, the high-voltage electricity passes through transformers that reduce the voltage so it can be directed. When it is transmitted to the network transformers further reduce electricity to the right voltage depending on the country, ready to be used by the customer and it is bought by the kilowatt-hour.

3 DESIGN OF A HYDROELECTRIC POWER PLANT

Before a hydroelectric power site is developed, engineers compute how much power can be produced when the facility is complete. In small hydropower plants using the run-of-river method, the energy production depends on the amount of water running on the river. This amount of water depends on the rainfall of the region, the season, the area covered by the drainage basin and the vegetation. Factors like orientation, especially in regions with a warm climate like Greece, can play a role as well. That happens because northern slopes receive more rain coming from the north, and, face the sun less directly and as a result, they are much wetter. The amount of water is calculated using the rational method:

$$Q = 0.278 \cdot c \cdot i \cdot A \quad (1)$$

Q - Design discharge (m³/T)

c - Runoff coefficient (Picture)

i - Design rainfall intensity (m³/T)

A - Watershed drainage area (m²)

An amount of water flowing from a higher point (intake point) to a lower point (main building) will produce a certain amount of energy, which is measured through water velocity. Manning's equation is used to calculate the water's velocity:

$$v = \frac{R^{2/3} \cdot S^{1/2}}{n} \quad (2)$$

v - Water's velocity (m/s)

n - Manning coefficient. (s/m^{1/3}).

R - Hydraulic radius (m)

S - Slope of the hydraulic grade line

The altitude difference and the flow conditions at the power site determine the type of turbine to be used. There are different types of turbines depending on these two factors such as Pelton, Cross-Flow and Kaplan. Gravity produces a pressure (water pressure), and the greater altitude difference, the greater the pressure to drive turbines, more pressure means more power [Saurabh Sangal, Ashish Garg, Dinesh Kumar, 2012]. To find the

Cover and condition	Gentle slopes 0 to 5%		Medium slopes 6 to 12%		Steep slopes 12 to 20%	
	Degree of protection		Degree of protection		Degree of protection	
	Good	Poor	Good	Poor	Good	Poor
Rocky areas & saturated soils.		.56		.70		.80
Cultivated land		.44		.60		.72
Poor crop cover.		.42		.55		.65
Poor crop cover & tied ridges.		.36		.50		.60
Mature crops						
good cover.						
Mature crops with poor cover & immature crops with good cover & tied ridges	28		40			.48
Grassland good cover						
forest poor cover & rain < 1000 mm yr. ⁻¹	26		35			.42
Forest moderate cover rain 1000 - 1250 mm yr. ⁻¹	19		30			.47
Mature crops, good cover, tied ridges	.15		.20		.24	
Forest, good cover & rain > 1250 mm yr. ⁻¹	.14		.18		.21	
Poor cover crops:	Cotton, Tobacco in all circumstances					
Good cover crops:	Cereals, Rootcrops, Groundnuts, Coffee, Tea if well managed.					

Source: Land Husbandry Manual, Ministry of Agriculture and Natural Resources, Malawi.

I:Runoff coefficient table

theoretical power (the measure of mechanical energy) this formula is used:

$$P = a \cdot n \cdot \rho \cdot g \cdot (h - h_L) \cdot Q \quad (3)$$

P - Power produced (Watt)

Q - Volume of water flowing per second (m³/s)

ρ - Density of water (10³ kg/m³)

h - Maximum altitude difference (m)

h_L - Hydraulic losses (m)

n - Efficiency of the turbine

a - Efficiency of the generator

[Mike Rycroft, 2015]

3.1 THE SMALL HYDROELECTRIC PLANT OF FLAMOURIA, GREECE



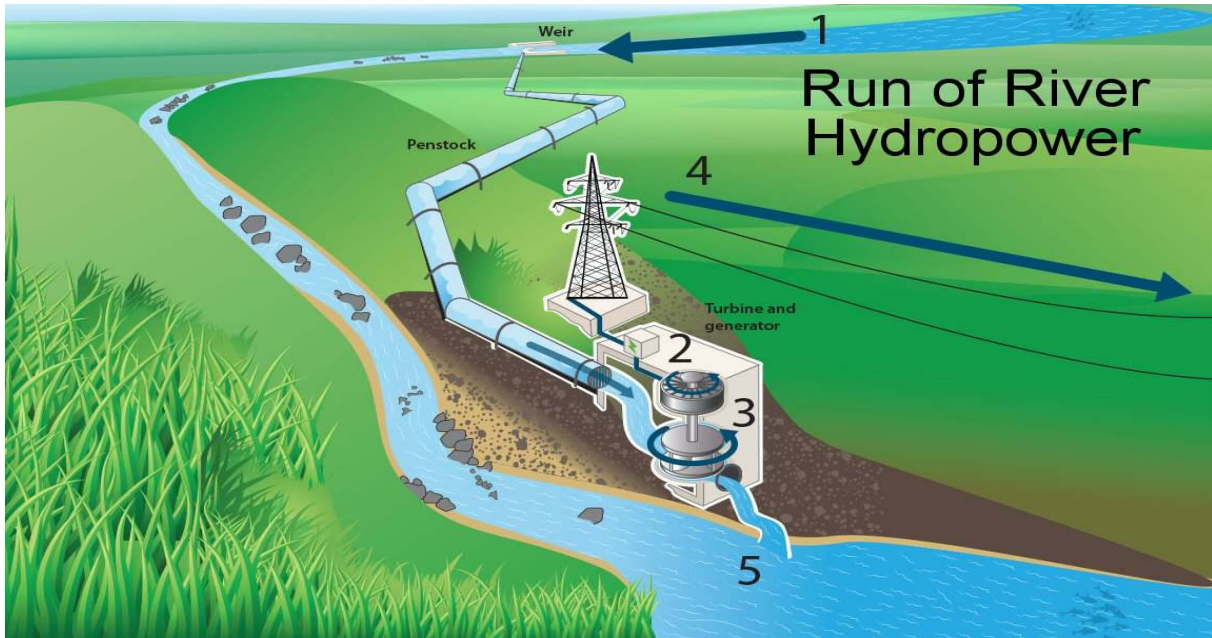
II: Map of the SHP of Flamouria. The intake point (blue), the penstock (orange) and the main building (yellow) are drawn

The small hydroelectric plant of Flamouria in Greece is located at the exit of the drainage basin of Leibaditsa that receives 1031 mm of rainfall a year. This plant uses the run-of-river method taking advantage of the mountainous terrain of the area that allows the existence of major altitude difference in small distances and is able to generate a maximum power of 530 kW. The altitude difference between the intake point and the main building is 101.4 meters and the distance is 2797.45 meters. A Cross-Flow turbine that has 86% efficiency was selected. The minimum operational flow is 0.073 m³/s and the minimum river flow after the abstraction of water at the intake point is 0.185 m³/sec. As a result, the power plant is operating for 237 days per year, during the summer months when the limits are not reached the plant is not operating.

4 SMALL COMPARED TO LARGE HYDROELECTRIC POWER PLANTS

Usually small hydroelectric power plants use the run-of-river method to produce electricity. The reason is that the construction of a dam would be too expensive and the power plant would not be economically viable producing less than 10 MW. In most cases, rivers or streams are used for water abstraction. A part of the river's water is abstracted on a high altitude and the water is transported through pipes under the force of gravity on a

lower altitude, to the main building, where the turbines are located. The bigger the altitude difference between the intake point and the main building is, the more kinetic energy is transferred through the water to the turbines and eventually the more electric energy is produced. After this procedure, the water returns to the river or the stream where it was abstracted from, through an escape canal that allows the water to travel from the main building back to the river.



III: The run-of-river method

The run-of-river method makes small hydroelectric power plants ideal for areas with mountainous terrain such as the Balkan region. The mountainous terrain, the variety of altitude differences and the low cost compared to the high value clean electricity, make small hydropower plants very efficient in these type of areas. On the other hand, using dams to store water has disadvantages compared to the run of river method. First, in regions where there is a lack of plains the construction of dams becomes difficult. The reason is that the created reservoir would flood fertile soil that is already in lack and would cause the relocation of the people living in the flooded areas. Another disadvantage of the large hydropower plants compared to the small ones is the fact that the creation of a reservoir would increase water loss through evaporation. A 2011 study by the National Renewable Energy Laboratory of the U.S. concluded that large hydroelectric plants using dams for water storage in the U.S. create a median loss of 4491 gal/MWh through evaporation [Jordan Macknick, Robin Newmark, Garvin Heath, KC Hallett, 2011]. However, there is an even bigger environmental impact created by large hydropower plants. Increasing evidence gathered in recent years suggest that reservoirs used by large power plants create a large amount of methane emissions. Methane is 25 times more powerful than CO₂ in its global warming potential, 34 times by a more recent estimate, and it is believed that the contribution of LHPs to overall global warming may be as high as 4%. It is also feared that hydel projects may also be releasing significant quantities of another powerful greenhouse gas (nitrous oxide) which is formed during the course of microorganism-mediated nitrification. Each molecule of N₂O is equivalent to 300 molecules of CO₂ in its global warming potential. This phenomenon appears significantly increased in countries with a warm climate and especially in summer months [M. Premalatha Tabassum Abbasi, Tasneem Abbasi, S. A. Abbasi, 2013]. Considering all of these factors, large hydroelectric power plants that require the construction of dams have numerous disadvantages compared to small hydropower plants. Nevertheless, there are advantages as well. Large power plants can store water, using reservoirs and still produce electricity during dry months such as July and August, while small plants using run-of-river are inactive during those months. Of course, the greatest advantage of large power plants is the energy

production, which is much larger. The construction of many small plants is required in order to cover the needs that only one large hydropower plant can cover.

5 CONCLUSION

Hydroelectric power is a very efficient energy source. A renewable energy source that is much more efficient compared to other renewable sources such as solar and wind energy. Hydropower can replace conventional sources such as coal on supplying large areas with electricity, without creating any environmental damage, something other renewable resources are not yet able to do with a proportional cost. However, there is a possibility large plants using a reservoir, can raise environmental or economic issues for the local communities. On the other hand, plants using the run-of-river method can produce a significant amount of energy using water's flow from a higher to a lower point without environmental issues. Nevertheless, run-of-river method relies on a number of factors such as altitude differences, climate and use of the land and in most of the cases, this method is not able to produce power throughout the year. That is the reason why the design of a run-of-river small plant requires the collection and study of data about those factors for a long period before the construction of the plant. Concluding, mountainous regions are ideal for the use of the run-of-river method because of the altitude differences, the increased rainfall and the stored water in the form of snow that can supply the plant for a long period throughout the year. Those regions should take advantage of these factors and invest in producing electricity from a number of small hydroelectric power plants instead of a large hydropower plant or a conventional source of energy.

6 REFERENCES

- [1] European Commission, *EU Energy in Figures: Statistical Pocketbook 2018*, Luxembourg, Publications Office of the European Union, , 2018 <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/99fc30eb-c06d-11e8-9893-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF/source-77059768>
- [2] International Hydropower Association. <https://www.hydropower.org/types-of-hydropower>
- [3] Mike Rycroft, *Run-of-river hydropower systems*, 2015 <https://www.ee.co.za/article/run-river-hydropower-systems.html>
- [4] Saurabh Sangal, Ashish Garg, Dinesh Kuma, *Review of Optimal Selection of Turbines for Hydroelectric Projects*, 2012 https://www.researchgate.net/publication/292726939_Review_of_Optimal_Selection_of_Turbines_for_Hydroelectric_Projects
- [5] Jordan Macknick, Robin Newmark, Garvin Heath, KC Hallett, *A Review of Operational Water Consumption and Withdrawal Factors for Electricity Generating Technologies*, National Renewable Energy Laboratory, USA, 2011, pg. 12 <https://www.nrel.gov/docs/fy11osti/50900.pdf>
- [6] M. Premalatha Tabassum Abbasi, Tasneem Abbasi, S. A. Abbasi, *A critical view on the eco-friendliness of small hydroelectric installations*, 2013 https://www.researchgate.net/publication/259317852_A_critical_view_on_the_eco-friendliness_of_small_hydroelectric_installations



Ivan Momirovski ¹, Tamara Marikj ² Mentor: Maja Celeska ³

^{1 2 3} Faculty of Electrical Engineering and IT, Ss Cyril and Methodius University, Skopje

¹ ivanmomirovski97@gmail.com

² tamaramarikj@gmail.com

³ celeska@feit.ukim.edu.mk

RECYCLING METHODS FOR END-OF-LIFE RENEWABLE ENERGY SOURCES

ABSTRACT

Imagining a green energy landscape full with rotating wind turbines, fields of shiny solar panels and silent, smooth electric cars is not impossible anymore. Renewables have definite environmental advantages over competing electricity generation technologies and are slowly implemented to replace them indefinitely.

With the growing problem in climate change, renewables are being installed everywhere at a massive pace, but their "clean energy" production has an underlying problem. End-of-life sources can be hazardous waste by containing toxic materials. Many initiatives are under way to prepare for the arrival of this, but in most cases the solutions are still a work in progress. This paper presents a feasibility study giving an overview and analysis of current technologies being developed to tackle this problem. Solar panels look the most promising now as their recycling methods are more developed, the materials are more easy to process. Opposite them, wind turbines are more challenging because of the composite materials. Lithium-Ion batteries are also included because of the growing e-automobile industry. The paper presents the challenges that will be faced with recycling renewable energy sources and give insight into potential reuse of the materials for new generation of renewables and other applications.

Key words: renewable energy, waste, recycling, end-of-life.

1 INTRODUCTION

The application of renewable energy sources has been rapidly increasing over the past two decades driven by the idea that it could furnish a monumental contribution to the transition from long-established fossil fuels to renewable energy-based economies. Renewable energy technologies are commonly praised for delivering "clean" power with little to no impact on the environment. The pros of building these massive infrastructures can help people in developing countries to live the lifestyle they desire without the usage of fossil fuels. But these technologies are not green to the end. If the materials that they have are not reclaimed, the future's clean energy will be marred with depots of old turbine blades, corroding batteries and run-down solar panels. Even though this is not an issue now, it will come to a head in the next couple of decades. Multiple agencies anticipate 78 million tons of solar panel waste and around 300,000 tons of decommissioned wind turbine blades by 2050, [1]. In fact, many of the components used in solar and wind energy generation – as well as in storing energy for later use – are made from materials that, coupled with their toxicity and/or economic value, should be reused or recycled where possible. Renewable technologies such as solar photovoltaic panels, wind turbines and the many electric and grid-connected battery systems now under development utilize an array of materials that can variously be hazardous to dispose of in a landfill, economically valuable, or both. While these industries are not fully mature yet, the majority of the first-generation equipment installed 20 to 30 years ago – such as rooftop panels, wind turbines and electric cars – will inevitably be nearing their end-of-life stage soon. Recycling is essential to avoid the loss of key materials employed to produce the photovoltaic panels, batteries and wind turbines, and at the same time prevent that harmful elements could be dispersed into the ecosystem through improper disposal procedures.

2 SOLAR PANEL RECYCLING

2.1 The Lifetime of Solar Panels

A question that most people have in mind when considering solar panels is how long do solar panels last. According to studies, the life expectancy of solar panels is about 30 years before decommissioning. During the life of photovoltaic panels, a 20% decrease in power capacity might occur. Between the first 10 to 12 years, the maximum decrease in efficiency is 10%, and 20% when reaching 25 years. These figures are guaranteed by the majority of manufacturers.

Still, experience shows that, in reality, the efficiency drops by merely 6 to 8% after 25 years. The lifespan of solar panels may thus be much longer than officially stated. The lifespan of high-quality PV panels may even reach 30 to 40 years, and be still functional afterwards, though with decreasing efficiency, [2].

2.2 Disposal of Solar Panels

The solar cells manufacturers are bound by law to fulfill specific legal requirements and recycling standards in order to make sure that solar panels do not become a burden to the environment. That is when technologies to recycle solar panels started emerging.

Photovoltaic producers collaborated with governmental institutions and have come up with a few ways to tackle solar waste, [3].

2.3 Solar Panel Waste

In fact, if recycling processes were not put in place, there would be 60 million tons of PV panels waste lying in landfills by the year 2050; since all PV cells contain certain amount of toxic substances, that would truly become a not-so-sustainable way of sourcing energy.

The common belief of solar panels not being recyclable is, therefore, a myth. It is, however, a process that needs time to be widely implemented and requires further research to reach its full potential of adequately recycling all solar panel components. For that reason, it is necessary that designing and recycling units collaborate closely so that the ability to recycle is ensured by mindful eco-designs, [2].

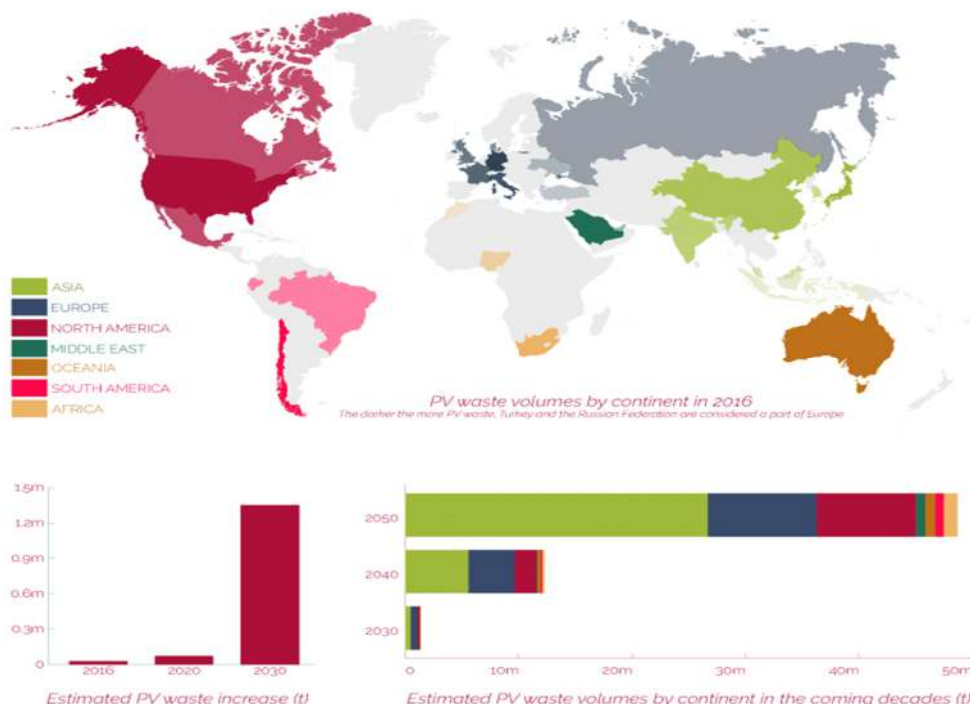


Figure 1. Estimated PV waste volume by continent, [4]

2.4 Solar Panel Recycling Processes

There are two main types of solar panels, requiring different recycling approaches. Both types: silicon based and thin-film based can be recycled using distinct industrial processes. Currently, silicon based panels are more common, though that does not mean that there would not be great value in the materials of thin-film based cells. Research studies conducted on the topic of recycling solar panels have resulted in numerous technologies. Some of them even reach an astonishing 96% recycling efficiency, but the aim is to raise the bar higher in the future, [2].

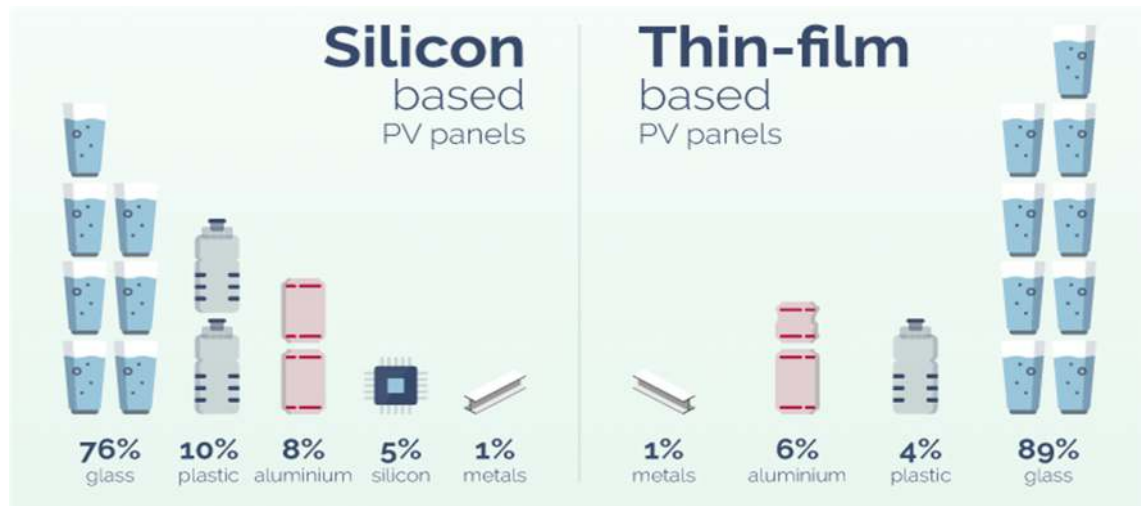


Figure 2. Material structure of different PV panels, [4]

2.4.1 Silicon Based Solar Panel Recycling

The recycling process of silicon-based PV panels starts with disassembling the actual product to separate aluminum and glass parts. Almost all (95%) of the glass can be reused, while all external metal parts are used for re-molding cell frames. The remainder materials are treated at 500°C in a thermal processing unit in order to ease up the binding between the cell elements. Due to the extreme heat, the encapsulating plastic evaporates, leaving the silicon cells ready to be further processed. The supporting technology ensures that not even this plastic is wasted, therefore it is reused as a heat source for further thermal processing.

After the thermal treatment, the green hardware is physically separated. 80% of these can readily be reused, while the remainder is further refined. Silicon particles, called wafers, are etched away using acid. Broken wafers are melted to be used again for manufacturing new silicon modules, resulting in 85% recycling rate of the silicon material, [2,5].

2.4.2 Thin-Film Based Solar Panel Recycling

In comparison, thin-film based panels are processed more drastically. The first step is to put them in a shredder. Afterwards, a hammer-mill ensures that all particles are no larger than 4-5mm, which is the size where the lamination keeping the inside materials together breaks, and hence can be removed. Contrary to silicon-based PV panels, the remaining substance consists of both solid and liquid material. To separate these, a rotating screw is utilized, which basically keeps the solid parts rotating inside a tube, while the liquid drips into a container. Liquids go through a precipitation and dewatering process to ensure purity. The resulting substance goes through metal processing to completely separate the different semiconductor materials. The latter step depends on the actual technology used when producing the panels; however, on average 95% of the semiconductor material is reused. Solid matters are contaminated with so-called interlayer materials, which are lighter in mass and can be removed through a vibrating surface. Finally, the material goes through rinsing. What is left behind is pure glass, saving 90% of the glass elements for easy re-manufacturing, [2,6].

2.4.3 The Future Benefits of Solar Waste Management

Now that we know that solar panels can be recycled, the question is what other benefits it brings to the economy—if any. Obviously, a proper solar panel recycling infrastructure will need to be established to manage the large volumes of PV modules that will be disposed in near future. Once that is in place, we will be witnessing several positive factors and new opportunities within the economy.

Not only will PV recycling create more green job opportunities but also approximately £11 billion in recoverable value by 2050. This influx will make it possible to produce 2 billion new panels without the need to invest in raw materials. This means that there will be the capacity of producing around 630 GW of energy just from reusing previously used materials.

Thanks to constant solar energy price drops, more and more households and businesses choose to invest in solar power systems. As a result, even more economic opportunities in the solar cell recycling sector will emerge, [2].

3 WIND TURBINE RECYCLING

With the increase in energy from wind, there is the underlying problem of the blade disposal worldwide. It is indisputable that wind offers environmentally friendly energy but that does not mean that there is absence of impact derived from manufacture, service and decommissioning. A preliminary report from the World Wind Energy Association states that by the end of 2018, the overall capacity of worldwide installed wind turbines reached 597 GW. The turbine blades are primarily a mixture of glass fiber composites (GFCs) and wood. Currently an economically viable recycling pathway has not been cleared. That is related to the fact that the wind turbine industry is relatively young, mostly previous impact analyses have focuses primarily on the operational phase of the turbine's life cycle, also the manufacturing and installation phases.

2.5 million tons of composite materials were used to build 13 000 wind turbines across the EU. Today around 130 000 wind turbines are operational in Europe. Analysts project around 12 000 wind turbines to be decommissioned in the next five years. This means that around 5000 wind turbines will need to be dismantled by 2020, with at least 10 000 being ready by 2030. The average exploitation period of a wind turbine lasts from 15 to 25 years, [7,8].

Early life-cycle assessment studies have concluded that the environmental impacts come from three sources:

- Bulk waste from the tower and foundations
- Hazardous waste from components in the nacelle (e.g. alloy steel)
- Greenhouse gasses like CO₂ during steel manufacture

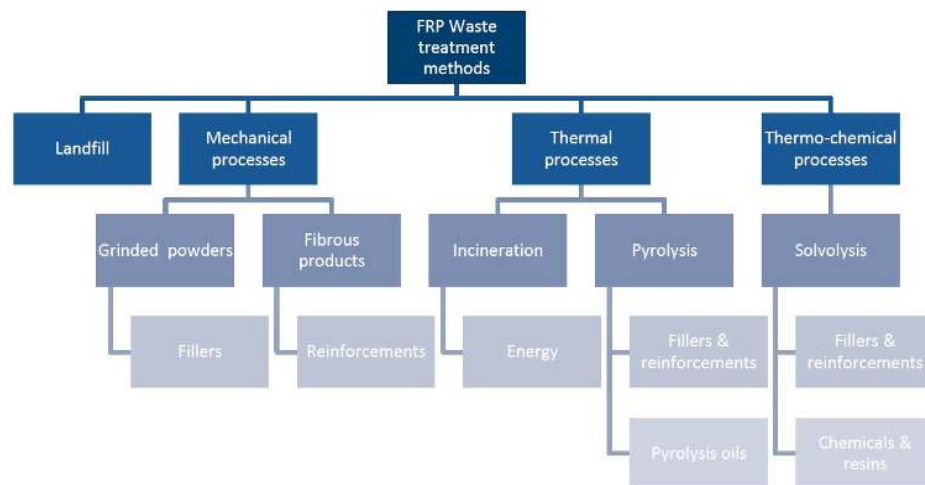


Figure 3. Methods for recycling end-of-life wind turbines, [9]

3.1 Problems and solutions

The biggest portion of the turbine components are quite easy to recycle and reuse (i.e. metal parts), there is a small non-metallic portion that is the least easy to reuse, the blades. These are mostly made from composite materials (typically glass/carbon fibres + epoxy matrix), plus other minor components like glue, that make the task particularly challenging. The composite materials are mainly recycled at a commercial scale through cement co-processing, where the cement raw materials are partially replaced by glass fibers and filler in the composite, and the organic fraction replaces coal as a fuel. Plastics, such as in the wind blades, are not easily decomposed and can spread harmful chemicals into the ground when landfilled. In the moment, the most convenient option for end-of-life blades or turbine units is to landfill. With growing volume of blades, the risks to the environment grow as well, mostly polluting land and water. This can have harmful effects on humans and animals. Right now, the management of waste materials of this type is posing an emerging environmental problem because, given the recent nature of the development of the wind turbine business, a significant volume has not yet been produced. But despite these challenges, multiple technologies are being researched into for new methods. These potential technologies include pyrolysis, chemical recycling, incineration and mechanical recycling. While recycling is heavily looked into, an architecture firm in the Netherlands has pushed an initiative for converting the end-of-life wind turbine components to material by constructing children's playgrounds using the columns and the blades, which came out quite appealing to the public, [10].

3.2 Recycling processes

3.2.1 Cement Co-processing

The recycling starts in the wind farm, where the blades are cut in 10 meters long pieces using a mobile cutting technique that reduce the generation of fine dust humidifying the area. Here the blades are cut before in segments. Metals, both ferrous and not ferrous, are separated automatically from the material flow by magnet and eddy current magnet devices. The end product is put in the cement plant. In the pre-calcliner (an element of the cement plant that optimize fuel consumption) the resin matrix is used as an alternative fuel, substituting coal, petroleum coke, heavy fuel oil or natural gas. At a temperature around 900 °C the resin burns, transforming the blade fibers into ashes. These ashes are then going together with the rest of the calcinated raw materials - usually a mixture of limestone and clay - in the sintering zone of the cement kiln to produce the clinker. Finally, the clinker is ground into a fine powder together with a small amount of gypsum creating the final product, cement. The cement produced using wind turbine blades is indistinguishable in terms of quality from the standard product obtained without using the blades. It can be sold in the market or used again in wind farms, for instance in wind turbines foundations, closing the loop. This solution provides alternative raw materials for cement production, reducing the need for quarrying, stone crushing and transportation, [11].

3.2.2 Mechanical processes

- 3.2.1.1 Blades are reduced in size and separate into powder and fibrous fractions via cutting, crushing, shredding, grinding, or milling processes. Finer pieces are sorted and used as fillers or reinforcements or as fuel for thermal waste processes. This is currently done on a limited commercial scale and theoretically it has a wide range of potential applications for material recovery. However, from an economical point of view it is competing with the lower market cost of alternative virgin fillers (calcium carbonate, silica). Additionally, it has been observed a reduction of the mechanical properties of the resulting material (lower stiffness and strength). For instance, concrete made using shredded blades instead of crushed stones has unsatisfactory mechanical properties, [12]. **Global Fiberglass Solutions (GFS) pellets:** The blades are transformed into small pellets that are sold under the brand name of "EcoPoly Pellets". They are usable in injection mold and extrusion manufacturing processes and they are made from a customized blend of wind turbine blade materials. The Pellets are made to order for final customers based on the requirements of the customer's own manufacturing process. GFS has initiated distribution options for pellet and has

already found several wind farmers owner willing to provide decommissioned blades as input material for pellet production, [12].

- 3.2.1.2 **Thermal processes – Pyrolysis:** Blades are sectioned into suitable dimensions and decomposed using heating ovens in an inert atmosphere (450-700 °C). Material is recovered in the form of fibres which can be reused in other industries. The problem with this technique is that significant amount of energy are needed to activate the pyrolysis, impacting the overall environmental value of the solution. Furthermore, available laboratory tests show a degradation of the properties of the glass fibers and no secondary market has been found. Additionally, test have been performed only at laboratory scale so it is considered a solution with a low technological maturity, [13].

4 LITHIUM-ION BATTERY RECYCLING

Unlike lead, lithium is currently cheaper to mine than it is to recycle, which is inhibiting the development of a recycling infrastructure for this material. Moreover, current technologies for recovering lithium from rechargeable lithium-ion batteries do not produce lithium pure enough for reuse in batteries. Instead, it is repurposed in glass, ceramics, lubricants, and other applications, [14]. Lithium-ion batteries currently installed in electric vehicles are expected to have a useful life of approximately 10 years before their charge decreases to a level where it impacts driving range and they must be replaced.

An interim option to recycling lithium-ion batteries is to reuse them. After 10 years of usage in an electrical vehicle, lithium-ion batteries retain up to 70 percent of their energy capacity. That makes them potentially useful to repurpose as grid-connected batteries, i.e., devices that store excess energy from wind and photovoltaic systems and release it back to the electricity grid at a later time. EV battery chemistries are not uniform, however. In addition to lead-acid and lithium-ion, there are also nickel metal hydride and sodium varieties—and not all are suited for second lives as grid-connected batteries. Nickel cobalt aluminum oxide batteries, for example, are likely not suitable for this application due to their poor cycling characteristics.

Even where lithium-ion or other EV batteries find application as grid-connected battery devices, this only prolongs their life. Inevitably, developing the required infrastructure for recycling EV batteries and grid-connected storage devices will likely depend on which battery technology or technologies, if any, become the accepted standards for these applications going forward, [15].

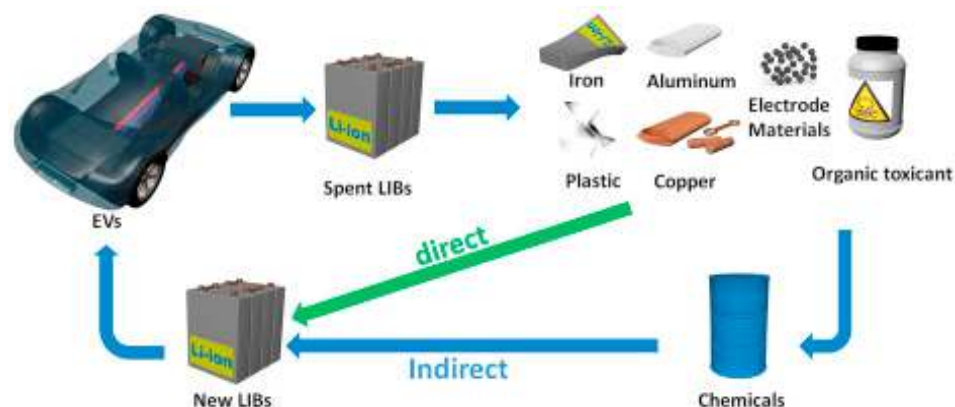


Figure 4. Processing Lithium-Ion batteries, [16]

5 CONCLUSION

The paper shows that while renewable energy sources are the solution to battle ongoing environmental challenges, their structure poses a toxic hazard that can have a major impact in the future. The waste from PV modules, wind turbines and batteries will reach millions of tonnes worldwide in the coming decade, which creates the need to evaluate all treatment options for the ones that reached their end-of-life. The major issue in developing efficient recycling methods and creating a thriving market is the lack of material present to recycle. In accordance with the analysis in this paper, peaks for dismissal of PV panels and wind turbines are expected to occur around the years 2036 and 2045. The improper disposal of these waste fluxes could cause harmful effects to human health and to economy of the manufacture sector by the dispersion of toxic elements and loss of valuable material resources including rare metals, respectively. Photovoltaic technology is growing rapidly, with countries like China and the EU already having a major capacity installed. Their research into improving the material structure for production efficiency nurtures the development of efficient recycling methods, therefore currently they are the most promising. Wind turbines grow in height even more and are not limited to land anymore – offshore wind farms are a big trend. This evolution forces new materials to be developed to answer all problems regarding location, wind power, maintenance and potential damages, but the different structure can still disrupt the eventual recycling. Both end products for PV panels and wind turbines can find use in multiple areas which creates conditions for a circular economy. Lithium-Ion batteries are the major factor in the new era of electric cars, but their structure and price make them quite challenging. Further research needs to be conducted, as there aren't many end-of-life options so that a better insight can be given.

6 REFERENCES

- [1] <https://recyclingfirst.org/renewable-technologies-recycling/> last visited: 13:59, 15.10.2019
- [2] „End-Of-Life Management Solar Photovoltaic Panels”, Internantional Renewable Energy Agency, Phovotoltaic Power Systems Programme, 2016
- [3] <https://ec.europa.eu/environment/waste/weee/> last visited: 14:01, 15.10.2019
- [4] <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2017/10/the-opportunities-of-solar-panel-recycling> last visited: 14:02, 15.10.2019
- [5] <https://www.youtube.com/watch?v=81-MEpcA-Rc> last visited: 14:03, 15.10.2019
- [6] https://www.bnl.gov/pv/files/PRS_Agenda/2_Krueger_IEEE-Presentation-Final.pdf last visited: 14:03, 15.10.2019
- [7] <https://wwindea.org> last visited: 14:04, 15.10.2019
- [8] <https://inhabitat.com/wikado-playground-is-built-from-recycled-wind-turbine-blades-in-the-netherlands/> last visited: 14:05, 15.10.2019
- [9] <http://www.windfarmbop.com/circular-economy-use-of-wind-turbines-blades-as-combustible-and-mix-material-for-cement-production/> last visited: 14:06, 15.10.2019
- [10] „Wind turbine blade composite materials – End of life treatment methods”, K.Kalkanis, C.S. Psomoupoulos, S.Kaminaris, G.Ioannidis, P.Pachos, Energy Procedia, Volume 157, January 2019
- [11] „Wind turbine blade recycling: Experiences, challenges and possibilities in a circular economy”, J.P. Jensen, K.Skelton, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 97, December 2018
- [12] „Data on the mechanical properties of recycled wind turbine blade composites”, Seyed Hossein Mamanpush, Hui Li, Karl Englund, Azadeh Tavousi Tabatabaei, Waste Managment, Volume 76, June 2018
- [13] „Recycling glass fiber thermoplastic composites from wind turbine blades”, Dylan S.Cousins, Yaushito Suzuki, Robynne E.Murray, Joseph R.Samaniuk, Aaron P. Stebner, Journal of Cleaner Production, Volume 209, February 2019
- [14] <https://www.pv-magazine.com/2019/03/25/innovation-boosts-lithium-ion-battery-recycling-rate-to-over-80/> last visited: 14:14, 15.10.2019
- [15] „The future of automotive lithium-ion battery recycling: Charting a sustainable course”, Sustainable Material and Technologies, Volume 1, December 2014, Linda Gaines, Argonne National Laboratory
- [16] „Recycling of lithium-ion batteries: Recent advances and perspectives”, Journal of Power Sources, Volume 399, 30 September 2018, Bin Huang, Zhefei Pan, Xiangyu Su, Liang An, Hong Kong Polytechnic University

David Esteban Albadan Molano ¹, Edwin Rincon Aldana ², Diego Barragan ³

^{1 2 3} Engineering faculty/ Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá.

¹ albadan@ieee.org

² eerincona@ieee.org

NEURAL NETWORK BASED CONTROLLERS FOR WIND TURBINES

ABSTRACT

In the present document are introduced the main advantages by using a neural network based controller for setting the pitch and yaw angle of a wind turbine, standing out the fact that the wind flow and direction are stochastic process, that as control variables requires robust control techniques for the optimal performance of the wind turbine systems.

Key words: Yaw angle, Neural net, Wind turbine, Mathematical modelling, Environmental impact.

1 INTRODUCTION

Renewable energies are the main sources of future energies. They are environmental friendly sources of energy, which are available in a large portion of time. Wind power, is one of the natural energy sources which has a long history in the humans life. [1] In addition, the modern global consumption needs requires cheaper, clean, more reliable and fast to install power generation systems, to support the large global consumption of electrical energy. Therefore, among renewable energies, the generation of energy by the wind seems to have the greatest potential [2]. The transition to renewable energies in the last years has experienced a fast increase capturing the global need to reduce the energy impact of conventional models of energy production.

2 MAIN WIND CHARACTERISTICS FOR THE CONTROL DESIGN

A wind flow as an stochastic variable it can formally be described as applied geophysical fluid dynamics, but a more understandable definition would rest on a combination of meteorology and applied climatology, The state of the atmosphere is well described by seven variables: pressure, temperature, density, moisture, two horizontal velocity components, and the vertical velocity; all functions of time and position. The atmosphere contains motions with scales varying from about 1 mm to thousands of kilometers. Ideally, mathematical models should be constructed from observations with one millimeter spatial and with a fraction of a second temporal resolution. [3]

2.1 Weibull distribution function for wind speeds

The importance of the probabilistic model is that the wind speed changes continuously, so it is necessary to describe it statistically. It is convenient to establish a model of the frequencies of wind speeds that is described by a continuous mathematical function. There are several functions that can be used to describe the frequency of wind speed distribution.

The Weibull distribution function depends on two parameters called form factor and scale factor, and it is represented by the equation 1.

$$f(x) = \frac{k}{c} \left(\frac{x}{c}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{x}{c}\right)^k\right), \quad (k > 0, x > 0, c > 1) \quad (1)$$

where: K is the form factor and C is the scale factor.

The speed for which the Weibull distribution function (1) reaches a maximum is obtained by deriving $f(x)$ and equalizing zero.

$$\left(\frac{x}{c}\right)^k \exp\left(-\frac{x}{c}\right)^k x^k \left\{(k-1) - \frac{k}{c} x^k\right\} = 0 \quad (2)$$

$$x_{max} = c \left(\frac{1-k}{k}\right)^{\frac{1}{k}} \quad (3)$$

In the equation 3 is obtained the value of the most probably wind velocity for a certain conditions depending the values of the form factor and scale factor, when the form factor is small then the probability will be concentrated in a certain point of maximum probability (low statistical variance) when the scale factor is large (less than 1) then the probability is more distributed in a changing set of values (high statistical variance), observe figure 1.

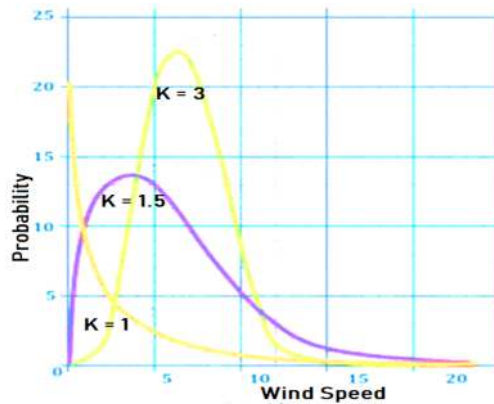


Figure 1. Weibul Function distriution, variable K.. Source: authors' own elaboration

Therefore, the scales factor allows to identify the degree of dispersion of the data around the average, evaluating how elongated it is compared to a normal distribution. This variability of the data depends on the variance which, in turn, results from the combination of near and far from average data in the series of wind speed values. It is a positive numerical parameter. The value of the parameter is an indicator of the average speed of the place.

In the figure 2 is represented the slope of the Weibull distribution for the variable parameter C. It allows modeling the distribution curve and therefore the degree of variation of the behavior of a particular variable, in this case, the wind. This numerical parameter is positive and has no dimensions. Low values indicate greater dispersion of wind data, and therefore, less frequency of an average value being presented.

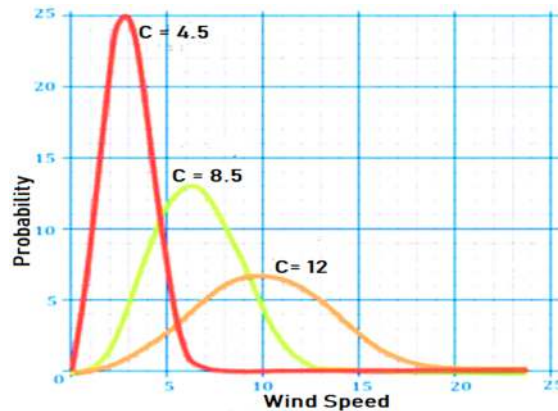


Figure 2. Weibul Function distriution, variable C. Source: authors' own elaboration

2.2 Power in a wind turbine

The available power is consequence of the kinetic energy present in the wind, there is also an available power associated with this flow, as the name implies, it refers to the power required to move the air particles at a certain speed or the energy available in a flow of air through an area over a period of time. It is calculated like this:

$$P_a = \frac{1}{2} \rho A V_i^3 \quad (4)$$

where:

P_d is the available power, ρ is the density of the fluid, A area in where the air flows, and V_i^3 is the wind velocity after crossing the wind turbine.

The extractable wind power depends by the aerodynamic characteristics of each wind turbine and is the mechanical power transmissible to the propeller, for analysis, the phenomenon is studied as: the passage of air through an ideal wind tunnel, making use of the theory of axial movement quantity, as well as the Bernoulli's equation and taking into account that the wind speed that hits the propeller is different from that of the wind that passes through the plate formed by the rotating propeller, it is necessary to introduce an interference coefficient (a) that describes this variation in speed, resulting in:

$$P_e = \frac{1}{2} \rho A V_i^3 a(a-1)^2 \quad (5)$$

P_e is the extractable power and a is the interference coefficient of the wind turbine.

The determinant control variable is introduced in the equation 5, in which is notorious that the mechanic instantaneous power depends cubically of the wind velocity, with a widely used electric generator of about 97% efficiency,[4] it is valid to affirm that the electric power also depends cubically by the wind velocity; it means that an increase of just to times in the wind velocity can generate an increase in the electrical instantaneous power of eight times, which is an enormous incrementation to control; taking in consideration this fact and the stochastic behavior of the wind velocity it turns out evident that it must be developed and implemented very robust and reliable control techniques - systems to control wind turbines, also is evident that a pseudo-predictive control technique is presented as a remarkable solution to the control problem, therefore a neural network based control system, arises as an attractive solution due to accomplish the previous design requirements.

3 SAMPLE FLOW SPACE AND WIND DIRECTION

The flow and direction of the wind constantly interact with the blades of the wind turbine, forming different pressures and speeds that generate various environments and random experiments, which can be observed and analyzed by means of a set of all the possible results given in the experiment, where you can visualize the sample spaces generated in the process.

The first stochastic experiment is the wind flow, which is the movement generated by the air, the sample space of this event is shown below.

$$\Omega = \{P, 1 - P\} \quad (6)$$

where: P : Probability of movement and $(1-P)$: No movement.

This sample space is visualized only with the characteristic of movement, because it is the fundamental factor for the starting of the blades, its power set of the sample space would be given by the set of all possible events, having:

$$\text{Power set} = 2^\Omega = 4 \quad (7)$$

The second stochastic experiment is the wind direction, which indicates the direction or destination that the wind follows for a given trajectory, the sample space that is displayed from this random experiment is shown below:

$$\Omega = \{North, South, East, West, Southeast, Northeast, southwest, northwest\} \quad (8)$$

This sample space was obtained from the visualization of the cardinal rose of the eight winds, since at these reference points the wind is constant, the set of power displayed is:

$$Power\ set = 2^{\Omega} = 256 \quad (9)$$

4 TECHNIQUES TO CONTROL WIND TURBINES

A good design of a wind turbine could have a malfunctioning if an adequate control system is not developed. In low power machines this system could be simple and normally passive, but is necessary for measure some parameters that help to feedback the system. So, the passive control make measurements as simple and use natural forces to act, but the active controls use electrics, hydraulics, mechanic, pneumatics and combinations to arrive at a resolution. The active control should measure multiple variables that give information about the state of the system.

There are multiple techniques and methods to control wind turbines, each one contributes with various aspects that could improve specific characteristics of the wind turbines (power, efficiency and useful life). Generally these ones are applicated by means of a rotary mechanic system or a drive rotary electric. An control system is an interconnection of elements that form a configuration called system, so that the resulting arrangement is able to control itself, when the magnitudes of the signals of a control system are limited in intervals in which the principle of superposition can be applied, the system is mainly linear, on the other hand, the nonlinear systems are difficult to treat mathematically and there are no general methods available to solve a wide variety of nonlinear system classes, most systems in real life have nonlinear characteristics.

4.1 LNEAL CONTROL

A system is linear if the output follows the changes produced in the input. Therefore, two important properties emerge. The first one say that if the inputs are multiplied for a constant, the outputs too. The second one say that in the linear systems, superposition can be applied.

4.1.1 CLASSIC PID CONTROL

The PID control is a control mechanism that through any feedback loop allows to regulate any variable of a process in general. The PID controller calculates the difference between the actual variable versus the desired variable. In thermal plants, we are regularly interested in maintaining the constant temperature, therefore, the PID control measures the difference between the temperature in the plant and the required temperature and acts by varying the bulb, for example, so that we can have the constant temperature. The control includes three fundamental parameters: Proportional Gain (P), Integral (I) and Derivative (D).

The Proportional parameter (P) measures the difference between the current value and the set-point (in percentage) and generates the change.

The Integral parameter (I) modifies the time the control is taken to carry out the corrective action. As long as the value is smaller, the adjustment is faster but may cause instability in the system, such as oscillations or noise.

The Derivative parameter (D) generates a prediction, that is, anticipates the error and initiates a timely action. It responds to the speed of the error change and produces a significant correction before the magnitude of the error becomes too large.

The correct tuning of these parameters helps to effectively control the desired variable. If the parameters are not programmed properly, the system may become unstable and mechanical or electrical systems may have less life.

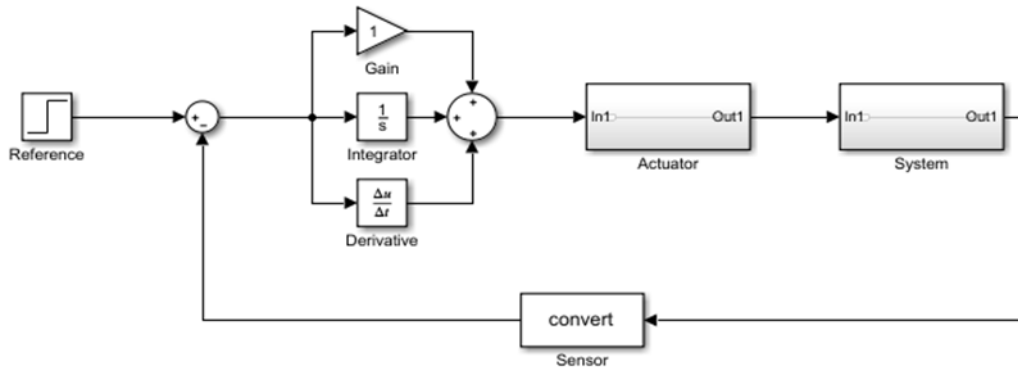


Figure 3. Basic block diagram of the operation of the PID control, carried out in Simulink

4.2 NON LINEAL CONTROL

NonLinear systems are governed by nonlinear equations, for example, differential equations with coefficients that are a function of the dependent variable or any other type of functional equation. According to Creus (1998) "There are processes continuous changes considerable dynamics depending on the point of operation "[5], that is, its earnings and time constants are variables depending on the value of some or some variables of the plant.

4.2.1 ROBUST CONTROL

Although today the quintessential controller remains the PID, there are more and more complex systems beyond its reach. For this reason, new types of more specific and precise controllers emerged that allow developing some type of modern control, with the aim of simplifying the differential equations in the domain of time in real systems, but the problem of modeling real systems is that when they are implemented they arise differences that affect the final stability. If a model is made, and it is controlled so that errors arising from the actual implementation are assumed to achieve a stable system within a range, robust control is being carried out.

To perform a robust control, the mathematical model of the plant is made taking into account structural and non-structural uncertainties. It works with mathematical models and approaches to reality in both the design of the plant and the controller.

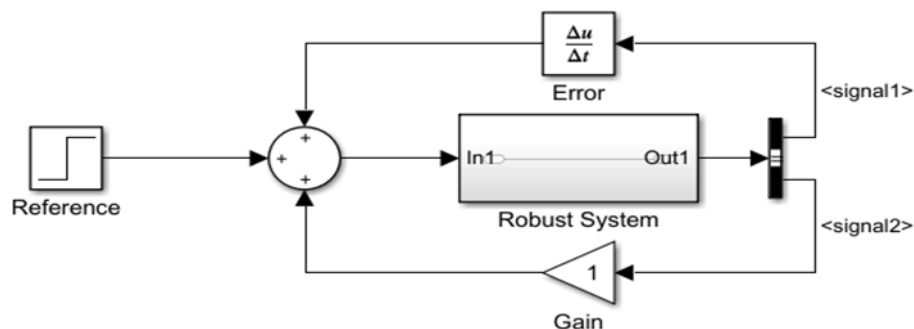


Figure 4. Basic block diagram Robust control, carried out in Simulink.

4.2.2 FUZZY CONTROL

Automatic control belongs to the application of fuzzy set theory, which today is very curious and has many applications. Diffuse logic is based on the relative of what is observed as a differential position, that is, it always depends on a frame of reference and a sense. This type of logic takes two or more random values, but contextualized and referred to each other. “Fuzzy logic is applied with great success in various control application. Almost all the consumer products have fuzzy control. Some of the examples include controlling your room temperature with the help of air-conditioner, anti-braking system used in vehicles, control on traffic lights, washing machines, large economic systems, etc [7].

In any control system, the arrangement of the physical components are designed to alter another physical system with objectives that vary depending on the problem. Some of the reasons to use Fuzzy Logic in control systems are that when applying classical control, one needs to know about his model and the objective relationship formulated in precise terms. This makes it too complex to apply in many cases. A somewhat strange reason is that by applying fuzzy logic to control, we can use human experience and experience to design a controller, this can have several points of view and opinions, but it can certainly greatly improve the way we process the information and behaviors of control systems.

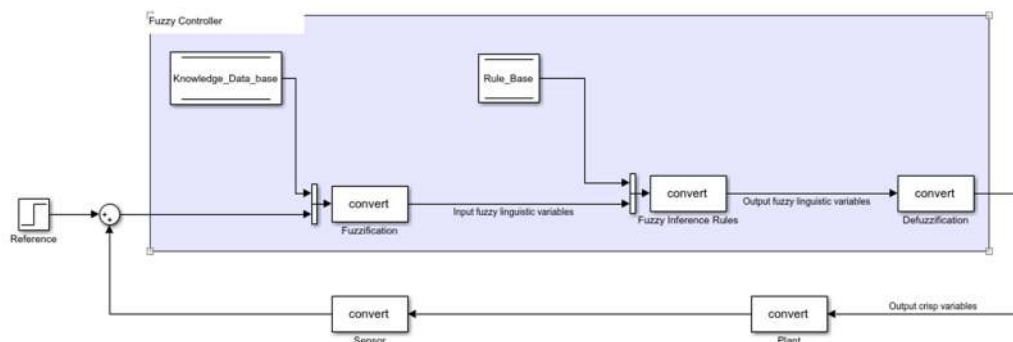


Figure 5. Basic block diagram Fuzzy control, carried out in Simulink

4.2.3 ARTIFICIAL INTELLIGENCE BASED CONTROL

One of the last control methods that we will mention and on which the article is based, are the controls based on artificial intelligence, where neural networks are the main objective to study and implement for the control of the system. The concept of neural network is applied to a modeling method that is characterized by having a large number of variables and a flexible structure and that comes from studies on the functioning of the brain, mainly the human. With time and knowledge development, this concept was expanded and most of the new models for non-biological applications were designed, although much of the terminology still shows its origin. A neural network is a massively distributed parallel processor with a *natural tendency to store experimental knowledge* and make it available for use, therefore it resembles the brain in two aspects. The first is that *Knowledge is acquired through the network through a learning process*, and the second is that interneuronal connection weights, known as synaptic weights, are used to store knowledge. Undoubtedly, working with neural networks can be as complex as it arises, but because they are so adaptive, you can get results as varied as your behavior.

In section 5 we will discuss the mathematical approach and use of a neural network, applying it to the control system of a wind turbine.

5 NEURAL NETWORK BASED TECHNIQUES TO CONTROL WIND TURBINES

To design an optimal neural network algorithm is required to know more variables than just the wind direction, variables as mechanical loads, dynamic response, vibration in the hub, wind variance and change rate of

the wind direction in each moment, this among other useful variables, might be used to feed the neural network algorithm. The diagram of the control system is shown in the figure 3, in which the first block is a measurements box where is sensed the wind direction and wind speed, for this kind of applications could be useful the implementation of a high resolution and fast response anemometer to give an accurate output due to the variability of the wind.

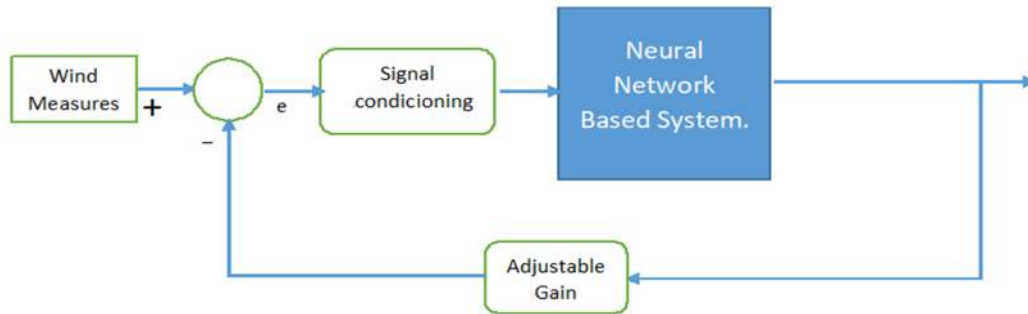


Figure 6. Block diagram of the control system. Source: authors' own elaboration

The feedback loop has an adjustable gain for setting the difference between the wind measurements and the output generated in the neural network based system, the variable e denotes the error between the reference (input measurements) and the controller output, therefore the control goal is to reach that this value tends to zero, sometimes is necessary the use of a signal conditioning system compound of multiplexer, filters and amplifiers, when is required.

A suggested activation function for the neural network is the sigmoid function which has reached good results in control applications, and is widely used in classification problems, the sigmoid function expression is:

$$\sigma(z) = \frac{1}{1 + e^{-z}} \quad (10)$$

where: Z is the logistic regression output of the neural network algorithm, as shown:

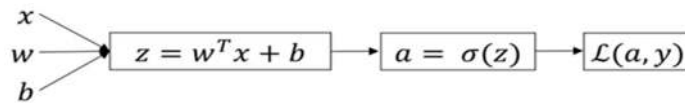


Figure 7. Logistic regression diagram

The logistic regression inputs correspond to: W vector parameter corresponds to the weight assigned to each neuron corresponding to its importance in the system behavior, x is the absolute input of the system corresponding to the measured variable, finally the variable b corresponds to a constant real number.

The next step in the basic neural network algorithm is implementing back propagation and forward propagation to compute either the slope or the derivative of the activation functions:

FORWARD PROPAGATION	BACK PROPAGATION
$Z^{[1]} = w^{[1]}X + b^{[1]}$	$dZ^{[2]} = A^{[2]} - Y$
$A^{[1]} = g^{[1]}(Z^{[1]})$	$dw^{[2]} = \frac{1}{m} dZ^{[2]} A^{[1]T}$
$Z^{[2]} = w^{[2]}A^{[1]} + b^{[2]}$	$db^{[2]} = \frac{1}{m} \sum dZ^{[2]}$
$a^{[2]} = g^{[2]}(Z^{[2]}) = \sigma(Z^{[2]})(for\ binary)$	$dZ^{[1]} = w^{[2]T}r dZ^{[2]} * g^{[1]'}(Z^{[1]})$
	$dw^{[1]} = \frac{1}{m} dZ^{[1]} X^T$
	$db^{[1]} = \frac{1}{m} \sum dZ^{[1]}$

Figure 8. Propagation algorithms

6 CONCLUSIONS

Knowing and distinguishing between the different models and control methods is a fundamental part of a good development to find and define the optimal control system in the design of wind turbines, which will undoubtedly improve not only the quality of the energy that is currently produced, but it improves the quality of life of us as humanity, in addition to preserving and improving the environment where we live.

In this paper, we analyzed the most relevant factors involved in the design of a wind turbine, focusing on the importance of choosing the correct airfoil, the variation in the cord length, the change ratio of the angle of attack, the number of blades, and the relation between the ratio and the nominal power.

The simulations we performed describe the behavior of the design variables and highlight the more appropriate configurations, providing the wind turbine designers with theoretical tools that allow them to know the general functioning of a wind propeller and the aspects that must be involved to achieve an optimum design.

The sample space of the wind flow was analyzed and observed, finding that this has two possible results, the first is where a flow is generated that moves the blades of the system and the second is that no flow is generated, so there is no movement.

The sample space of the wind direction was analyzed and observed, where the sample set was generated from the cardinal points with greater continuity in the wind flow, resulting in eight cardinal points.

7 REFERENCES

- [1] Moodi H. Bustan D, „ Wind turbine control using T-S systems with nonlinear consequent parts, 2019, pg. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.01.133>
- [2] Gosavi VR, Deshmane Anil K. “Irrigation system and water lifting” using wind mill energy. Int J Latest Trends Eng Technol (IJLTET) 2015;5(1):208–12.
- [3] Bearbeitet von, Stefan Emeis, „Atmospheric Physics for Wind Power Generation“, Book chapter, Fachbuchhandlung beck-shop.de, 2012. ISBN 978 3 642 30522 1
- [4] Pyrhönen, J & Nerg, Janne & Kurronen, P & Puranen, J & Haavisto, M. (2010). Permanent magnet technology in wind power generators. 19th International Conference on Electrical Machines, ICEM 2010. 10.1109/ICELMACH.2010.5608312.
- [5] A. Creus. Industrial instrumentation. Eighth edition. Alfaomega Grupo Editor S.A.
- [6] Mariana, Control Robusto. 2017. [Online] Available: <http://fisicotronica.com/control-robusto/>
- [7] “Fuzzy Logic - Control System”. Tutorialspoint[Online]. Available: https://www.tutorialspoint.com/fuzzy_logic/fuzzy_logic_control_system.htm#
- [8] Haykin, S. 1998. Neural Networks: A Comprehensive Foundation, 2nd ed. New York: Macmillan College Publishing.
- [9] Ripley, B. D. 1996. Pattern Recognition and Neural Networks. Cambridge: Cambridge University Press.

B. ENERGY EFFICIENCY IN FACILITIES, CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE



Мариела Клековка ¹ Ментор: вон. проф. Д-р Живко Коколански ²
Факултет за електротехника и информациски технологии- ФЕИТ, Скопје
¹ klekovskam@yahoo.com ² kokolanski@feit.ukim.edu.mk

ИСПИТУВАЊЕ НА СОСТОЈБАТА НА СИСТЕМ САЛАТА НА НЕОКОМ СО ПОМОШ НА ТЕРМОВИЗИСКА КАМЕРА

КУСА СОДРЖИНА (АПСТРАКТ)

Систем салата на НЕОКОМ ги следи актуелните информатичко-комуникациски технологии. Серверите кои се во неа се ладат со неколку клима-уреди. Клима-уредите го всумукуваат топлиот воздух што се искачува нагоре, а преку други, подни решетки вдуваат (внесуваат) студен воздух.

Оптималната амбиентална температура за работа на серверите е 24°C. Во рековите- системски модули, на празните места треба да бидат поставени блок панели, за да го насочуваат студениот воздух нагоре. Со ова се спречува појава на циркуларни воздушни вртлози и губиток на ладен воздух. Оној дел од опремата каде се развива поголема температура, секако би требало да биде поставена поблиску до изворот на ладен воздух, т.е. пониско (поблиску до подот) во рекот. На подот се наоѓаат решетки низ кои се издувава ладниот воздух од клима уредите нагоре, кон рековите.

Во овој труд се опфатени мерења и анализа на фотографии направени со термовизиска камера. Со помош на овие мерни уреди може полесно да се воочи површинската распределба на температурата. Опфатени се анализи од неколку аспекти: вертикална распределба на температурата на површината на 3 река (еден до друг), распределбата на температурата на вратата со цел проверка на изолацијата со помош на термовизиска камера, распределбата на воздухот кон таванот, како и компаративна анализа на снагата на ладењето на рековите при 100% и 40% пропусност на решетките од клима уредите. Кратките анализи, што даваат значајни релевантни резултати беа посочени од техничкиот персонал кој се грижи за одржување на ситем салата.

Мерењата се извршени со 2 термовизиски камери: Testo и камерата на FLIR вградена во мобилниот уред CAT S60. За анализа на фотографиите се користат софтверите од наведените компании соодветно: IRIsoft и Flir Tools.

Клучни зборови: Термовизија, Систем сала, анализа на термовизиски фотографии.

ENERGY EFFICIENCY EXAMINATION OF A SERVER HALL USING A THERMAL CAMERA

ABSTRACT

The NEOKOM server hall follows the latest information and communication technologies. The servers inside it are cooled by several air conditioners. Air-conditioners compress the warm air rising upwards, and injects cold air through floor ventilation grates.

Optimal ambient temperature for proper work of the equipment is around 24°C. The cold air is delivered and navigated through block-panels, from the floor to the racks- metal cabinets with holes on the front where the servers are placed. This prevents circular air vortices and cold air loss. The part of the equipment that develops higher

temperature should be placed closer to the source of cold air, i.e. lower (closer to the floor) in the rack. On the floor there are ventilation grates where cool air is forced from the AC upwards to the cabinets.

In this paper measurements and analysis of photographs taken with a thermal imaging camera are presented. These measuring devices make the detection of the surface temperature distribution easier. The analysis covers several aspects: Surface temperature distribution along the servers, Comparison of server's surface temperature with different flow of cold air, Notation of two server's surface temperature with different flow of cold air (40% and 100%), Surface temperature distribution up on the ceiling and Surface temperature distribution along the entrance door of the server hall. In consultation with the responsible personnel for the server hall, several short analyses were chosen in order to obtain relevant results.

The measurements were made with two thermal imaging cameras: Testo and FLIR, thermal camera embedded in the CAT S60 mobile device. The software used by the companies listed above is IRSOFT and Flir Tools, respectively.

Key words: Thermovision, Server hall, Thermovision photography analysis.

1 ВОВЕД

Со развојот на технологиите, инженерите сè повеќе се стремат кон откривање нови уреди и начини за детекција и решавање на проблеми. Пример за тоа се термовизиските камери, што овозможуваат олеснета и подобрена термална анализа. Нивната употреба се проширува од термовизиска детекција на проблеми при: протекување струја, инсталациони водови, испитување на исправност на машини, соларни панели, ветерници, како и откривање на проблеми во домовите: проток на вода, влага, несоодветна изолација, потоа анализа на земјоделски површини и друго.

Трудот опфаќа топлинска анализа што се спроведува преку експериментални мерења и анализа на фотографии направени со термовизиска камера. Овие анализи се индикатор за енергетската ефикасност на систем салата. Направени се неколку мерења каде се анализира: вертикална распределба на површинската температура на 3 различни рекови, споредба на површинската температура на рековите при различна пропусност на ладниот воздух од клима уредите, распределба на температурата на таванот и проверка на изолацијата на вратата од систем салата.

Систем салата на Неоком има два клима уреди, секој со по 60KW разладна снага, т.е. вкупно 4 компресори од по 30 KW. Подот на систем салата е подигнат, што овозможува дистрибуирање на ладниот воздух, кој преку решетките се издувува кон рековите.

2 ТЕОРЕТСКА ПОТКРЕПА

2.1 Систем сала

Во систем салата може да биде инсталирана опрема од серверски и комуникациски тип. За помала потрошувачка и рамномерна дистрибуција на ладен воздух кај серверските рекови опремата се вградува започнувајќи од горе кон долу, додека кај комуникациските сервери, процесот на пополнување на рековите е обратен, од долу нагоре. На овој начин кај серверските рекови се обезбедува поголем проток на воздух, а кај комуникациските помал.

Протокот на воздух може да се контролира со помош на големината на отворите на решетките; колку отворите се поголеми и пропусната моќност се зголемува. На тој начин се искористува и поголем дел од моќноста на клима уредите, со што се зголемува енергетската ефикасност. Моментално нагодената температура на клима уредите е околу 16°C.

Со цел постојано следење на температурната состојбата во ормарите, во нив има по 3 сензори. Секој од овие сензори опфаќа по една зона - долна, средна или горна зона. Доколку температурата во долната зона достигне вредност од 21°C или повеќе се вклучуваат аларми - индикатори дека можно е да настане некаков

проблем. Уредите поставени во долната зона на рековите во НЕОКОМ имаат работен максимум до 26°C. Со новата технологија, производствено, овој максимум на температурата е покачен до 30°C.

2.2 Термовизиски камери

Термовизиските камери бесконтактно ја скенираат и визуелизираат топлинската распределба низ одредена површина и практично прават термограм на снимената “фотографија“. Тие го бележат интензитетот на зрачењето на инфрацрвениот дел од електромагнетниот спектар и го прикажуваат како видлива слика. ^[1]

Инфрацрвените зраци се помеѓу видливиот и микробрановиот дел на електромагнетниот спектар на бранови. Примарниот извор на инфрацрвено зрачење е топлинскиот извор. Според Планковиот закон, секој предмет кој има температура над апсолутна нула (-273,15 Целзиусови степени или 0 степени по Келвин) е извор на зрачење во сите бранови должини, меѓу кои и инфрацрвените. ^[2]

Инфрацрвената енергија што доаѓа од “фотографиран“ објект оптички е фокусирана кон инфрацрвен сетило. Сетилото ги испраќа информациите до електрониката на сензорот за обработка на слика. Електроните ги конвертираат податоците што доаѓаат од сетилото во слика што може да се гледа во визирот или на стандарден видео монитор или LIQUID CRISTAL DISPLAY (LCD) екран.

Грешки во мерењето може да настанат заради: премногу плиток агол на гледање, промена на сончевото зрачење со текот на времето (како резултат на промените во покривот на небото, на пример), рефлексии (на пр. Сонце, облаци...) или делумно засенчување (од други околнi структури). Во конкретниот случај “фотографиите“ се правени во затворен простор (систем-салата), па грешките од промена на амбиенталните вредности се занемарливи.

3 АНАЛИЗА

Во продолжение се направени неколку кратки анализи кои опфаќаат:

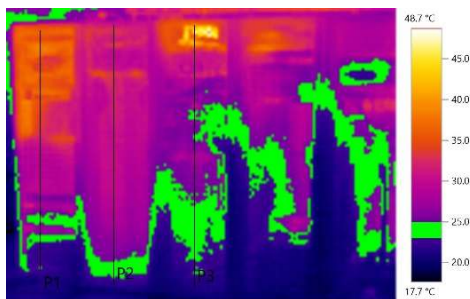
- вертикална распределба на површинската температура на 3 различни рекови,
- споредба на површинската температура на рековите при различна пропусност на ладниот воздух од клима уредите (различен режим на работа),
- распределба на температурата на таванот и
- проверка на изолацијата на вратата од систем салата.

3.1 Вертикална распределба на површинската температура

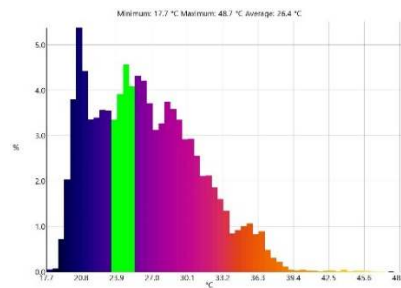
Во овој дел опфатени се анализи на 3 ормари: првиот е комуникациски, каде прво има поставено опрема, потоа блокатори на воздухот и повторно опрема; вториот е серверски и има опрема само во горната зона и третиот е повторно серверски, но е најоптоварен во редицата.



слика 1- обична фотографија



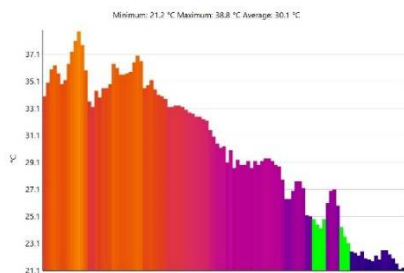
слика 2 термовизиска фотографија



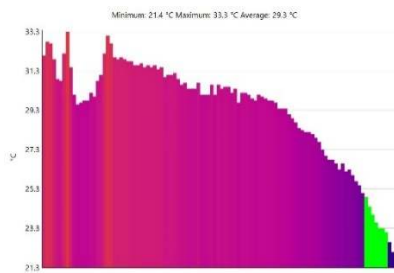
термограм 1 на цела
фотографија

Ако се анализира целосната слика за вертикална распределба на температурата и сите рекови вкупно, тогаш може да се забележи дека дури 16% од површинската температура на овие рекови спаѓа во интервалот на собната температура што се движи во граници помеѓу 23 и 25 степени, затоа што собната температура е потребно да се одржува на околу 24 степени Целзиусови. Највисок процент на застапеност од 5.4% има температурата од 20,8°C. (термограф 1)

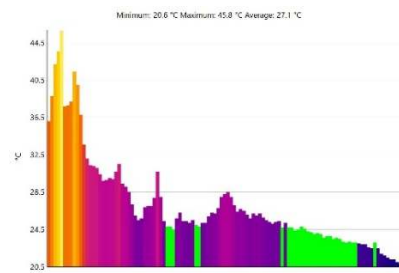
Ако на сите претходно анализирани рекови им се постават вертикални линии P1, P2 и P3, во тој случај секој рек може да се анализира по една избрана линија. Колку различни линии ќе се повлечат за еден рек, толку различни термограми може да се добијат. За пример се избира една линија што се наоѓа на средината на рекот. Со изборот на оваа позиција на линијата се верува дека грешката што се прави во приказот на графикот е најмала.



термограм 2 линија P1



термограм 3 линија P2



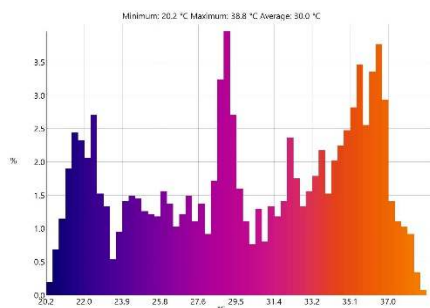
термограм 4 линија P3

Кога се разгледува вертикалната распределба на температурата по линијата P1, се забележува дека највисоката температура изнесува 38,8°C, а најниската регистрирана температура е 21,2°C. Доколку се пресмета средната температура за овој рек по таа избрана линија, таа би изнесувала 30.1°C. Од графикот се забележува дека воглавно распределбата на температурата во голем дел е рамномерна од најниска кон највисока, но има и некои отстапки. Едната отстапка е на почетокот, кога најгоре, на највисоката точка од рекот, највисоката температура од 33.1°C за кратко поместување кон средината на серверите во графикот преминува во температура од 33,6°C. Меѓу овие две температури, има друга, највисока нотирана температура од 38.8°C и тоа е максималната забележана температура. Од друга страна пак, долу, на подножјето на рекот, температурата се движи релативно пологично, со тоа што најниската температура е прва, а потоа има благ раст, па опаѓање и повторно растење. Ваквиот тек на графикот се должи на податокот дека има поставено блокатори. (термограм 2)

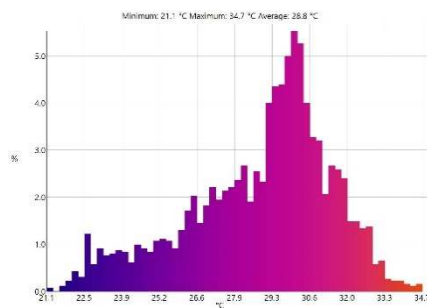
Вториот случај е правата/линијата P2, каде од термограмот се гледа порамномерно распределување на топлината, ако се споредува со линијата P1. Се појавува еден пад на температурата таму кадешто е поставена електроника. Во уредите има вградени вентилатори за дополнително ладење, па дополнителниот ладен воздух предизвикува ваква појава. Овој пад, па искачување на температурата е во распон од 29,6°C до 31.3°C, откако претходно температурата го достигнала својот максимум од 33,3°C и повторен локален максимум од 33,1°C. После ова, температурата благо опаѓа, онаму кадешто настанува едно затворање на студениот воздух во слободниот простор на рекот се до најниската температура што се совпаѓа со местоположбата на самиот клима уред. (термограм 3)

Ако се разгледува најоптоварениот рек, може да се забележи подинамичен график, со многу побрз пад на температурата, односно побрз пораст на температурата во зависност од тоа во кој интервал, од која до која точка се набљудува. Доколку се гледа од долу кон горе, тогаш има побрз раст на температурата. Она што е најинтересно во овој случај е дека температура од околу 24°C, т.е. интервал од $\pm 1^\circ\text{C}$ (23°C до 25°C) што одговара на собната температура, гледано процентуално е најмногу застапена во однос на површинската температура на самиот рек, но исто така на овој график се забележува и најголемиот максимален екстрем од 45.8°C. Овој екстрем се јавува во горниот дел од рекот, кадешто е приклучена електрониката. Во овој предел е поставен свич за кој, не е избран соодветен начин на ладење. Вентилите за издувување на топлиот воздух се поставени од страните, па дел од топлиот воздух останува заробен во

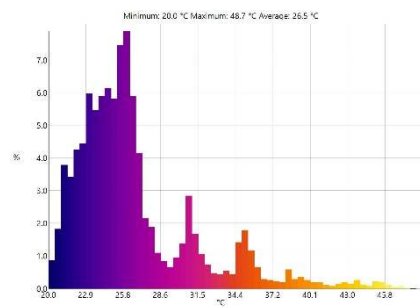
рекот. Овие уреди полесно ги поднесуваат повисоките температури, заради што оваа појава нема особено алармантно значење. (термограм 4)



термограм 5 првиот рек од лево



термограм 6 за вториот рек



термограм 7 за третиот рек

Процентуално највеќе се застапени температурите над 20 °C: температурата од 22°C е застапена со 2,7%, температурата од 29°C со 4%, а нешто помалку е застапена температура од 37°C. Доколку се разгледа термограмот, може да се забележи дека со прилично слични процентуални вредности, меѓу 2% и 3% се застапени температурите: 22°C, 22,5°C, 32°C, 32,5°C, 34,5°C и 35°C, Ова е во добра корелација со температурата што треба да се задржи во целата просторија, а тоа е 24°C. Со оглед на тоа што во секој од рековите се поставени различен број на сервери што ја затоплуваат испитуваната површина, односно самите себе се затоплуваат, според очекуваното, најстудена е (најниска) температурата што е најблиску до климите на подот и рамномерно се зголемува како се искачува нагоре по рекот. Климите се поставени да дуваат од подот нагоре. Првиот рек има најмногу сервери чија електрониката е претежно поставена во горниот дел од рекот. Тука има поставено и блокатори низ самиот рек за да може температурата (ладниот воздух) од долу да лизга по површината на рековите, т.е. да не се затвора во еден простор како во кутија и да стои како во “мртва точка”. (термограм 5)

Во случајот опишан на термограм 6, реалната состојба е постоење на речиси празен рек, кадешто опрема и електроника е поставена само во горниот дел од рекот. Тука нема блокатори по висината на рекот, туку температурата се задржува во еден дел. Меѓутоа, тоа не прави голем проблем, затоа што машините што се вградени во овој рек не се многубројни и не се загреваат многу. Овдека може повторно да се забележи дека распределбата е рамномерна, од најстудена до најтопла температура, со тоа што најголема е процентуална застапеност на температурите во опсег од 29.2°C до 30,5°C што повторно не е алармантна состојба.

Сега се разгледува најоптоварениот рек во низата и воедно последен од вертикалната распределба. Ако се разгледува правоаголникот со кој е опфатена површината на овој рек, може да се забележи дека температурата повторно оди од најладно кон најтопло, со тоа што со најголема процентуална застапеност се температурите од 23°C до 26°C. Се појавува една жешка точка чијашто температура надминува 40°C. Во овој случај нема блокатори што ќе овозможуваат температурата да лизга нагоре и да ги лади серверите, меѓутоа почетокот (позицијата) на првите сервери е доволно низок. (термограм 7)

Во продолжение се прикажани добиените резултати во табеларна форма.

		Минимум	Максимум	Средна вредност	
P1	Линија	21.1 °C	38.8 °C	30.1 °C	Напомена: Средната вредност е најдена компјутерски, според застапеноста на температурата во проценти
	Четриаголник	20.2 °C	38.8 °C	30.0 °C	
P2	Линија	21.4 °C	33.3 °C	29.3 °C	
	Четриаголник	21.1 °C	34.7 °C	28.8 °C	
P3	Линија	20.6 °C	45.8 °C	27.1 °C	
	Четриаголник	20.9 °C	48.7 °C	26.5 °C	

табела 1. добиените температури за вертикална распределба на температурата на три различни река

Онаа температура што кратко се јавува и има вредност над 45 степен е само одреден врв. Тој има многу мал процентурален удел во средната температура, па затоа се јавува и момент каде за ист рек се добива максимален врв и минимална средна вредност на целата површина.

3.2 Споредба на површинската температура на рековите при различна пропусност на ладниот воздух од клима уредите

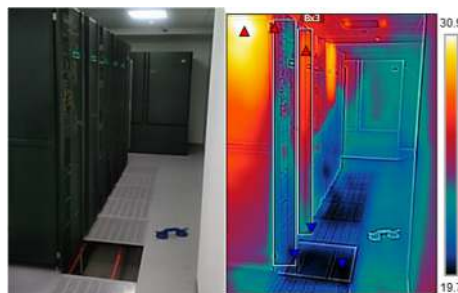
За полесно воочување на разликата која ја прави моќноста на климата - слободниот простор низ кој поминува ладниот воздух, оваа споредба се разгледува од два аспекта: споредба на еден рек во однос на останатите и споредба на температурата на самиот рек во однос на пропусноста на решетките на ладниот воздух, кој го издувуваат клима уредите.

3.2.1 Споредба на еден рек во однос на останатите

Од сликите во продолжение, едноставно може да се забележи разлика во топлината на самата решетка од рекот, како и на решетките низ кои излегува ладниот воздух, но и онаму кадешто има празни рекови. Разликата меѓу искористените и неискористените рекови е лесно воочлива, и во случајот кога климата дејствува врз машините со 40% и со 100%. (слика 3 и слика 4).



слика 3 споредба на рек во однос на останатите при 40% пропусност



слика 4 споредба на рек во однос на останатите при 100% пропусност

Во продолжение е дадена табела со повеќе информации за добиените резултати. (табела 2)

Пропусност на клима 40%				Пропусност на клима 100%			
Тип на рек	Ознака	Температура		Тип на рек	Ознака	Температура	
Оптоварен рек	Bx1	Минимална	19.3 °C	Оптоварен рек	Bx2	Минимална	20.0 °C
		Максимална	30.2 °C			Максимална	24.3 °C
		Средна	22.8 °C			Средна	21.9 °C
Празаен рек	Bx2	Минимална	20.2 °C	Празаен рек	Bx3	Минимална	20.8 °C
		Максимална	25.8 °C			Максимална	26.0 °C
		Средна	22.9 °C			Средна	23.8 °C

табела 2 споредба на рек во однос на останатите при 40% и 100% пропусност на клима уред

3.2.2 Споредба на температурите на самиот рек

Ако се споредат просечните податоци на температурите во двата случаја (со 40% и 100% пропусност на клима-уредите), се забележува разлика од 0.6°C, со што се докажува предходно кажаното - потребата од поефикасно ладење. (слика 5 и слика 6)



слика 5 температура на рек при 40% пропусност на клима уред



слика 6 температура на рек при 100% пропусност на клима уред

Во продолжение е дадена табела со повеќе информации за добиените резултати. (табела 3)

Пропусност на клима	40%		
Тип на рек	Ознака	Температура	
Оптоварен рек	Bx1	Минимална	19.1°C
		Максимална	30.8°C
		Средна	22.7°C
Пропусност на клима	100%		
Тип на рек	Ознака	Температура	
Оптоварен рек	Bx1	Минимална	19.3°C
		Максимална	29.1°C
		Средна	22.1°C

табела 3 температура на рек при 40% и 100% пропусност на клима уред

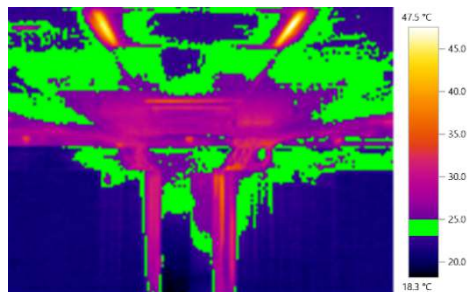
3.3 Распределба на температурата на таванот

Најчест проблем што се јавува во затворени простории - особено систем сали е задржување на топлиот воздух во повисоките предели на собата. Со зелена боја е означена темературатурата од 24°C со интервал од ± 1 °C. Од приказот се забележува дека зелената боја е доминантна на таванот, па лесно се воочува дека не се јавува проблем од прегревање на горните зони од рековите.

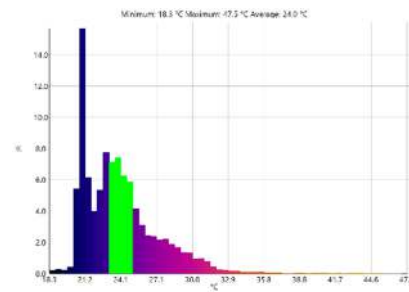
За дополнително подобрување на енергетската ефикасност на систем салите, препорачливо е да се бираат простории со поголема висина.



слика 7 обична фотографија од таванот на систем салата



слика 8 термовизиска фотографија од таванот на систем салата



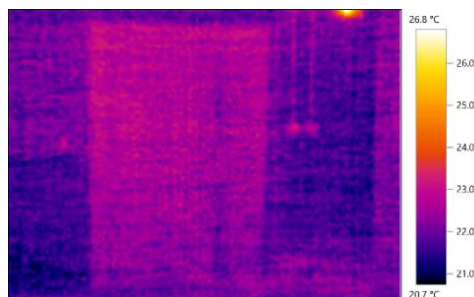
термограм 8 на таван

3.4 Распределба на температурата на вратата од систем салата

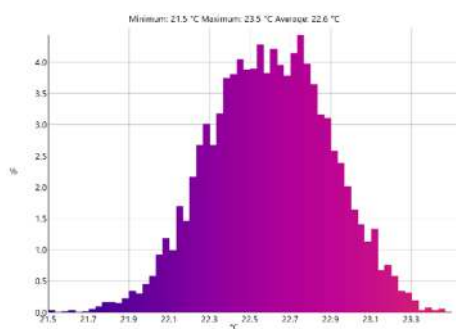
Во продолжение се дадени илустративни прикази за термичките мостови на систем салата. Систем салата има стандардна изолација - тервол кон надворешните сидови што се изсидани од шуплива цигла. На местата каде имало отвори за прозори, истите се затворени со аквапанел (цементни панели). Значителни температурни отстапувања нема, па може да се заклучи дека изолацијата е добро направена и нема топлински загуби.



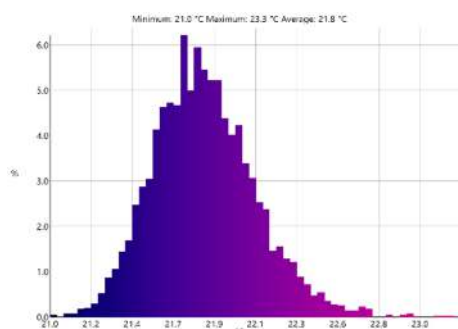
слика 9 обична фотографија од вратата на систем салата



слика 10 термовизиска фотографија од вратата на систем салата



термограм 9 на врата



термограм 10 на сид десно

4 ЗАКЛУЧОК

При експеримент изведен во позната, реална состојба се забележуваат предностите и недостатоците на извршената постапка, а проникнуваат и идеи за идно усовршување.

Мерењата што се вршат со термовизиска камера имаат за цел да детектираат и да поттикнат превенирање на проблем или хаварија што би можела да настане како последица на дополнително генерирана топлина. Тоа е најбрзиот и најмалку инвазивен начин на контрола на квалитетот на рековите и електрониката во нив.

Кога се применува пософистицирана технологија во класата на термовизиски камери, попрецизно можат да се нагодат параметрите, а со тоа се намалува влијанието на амбиенталниот фактор на околината .

Од спроведените истражувања може да се воочи дека систем салата е добро изведена. Она што би можело да се подобри е да се заменат решетките со нови кои би имале поголеми отвори, низ кои ќе поминува воздухот, со цел поефикасно искористување на разладната снага на клима уредот.

5 БЛАГОДАРНОСТ

Особена благодарност би сакала да искажам на фирмата НЕОКОМ, која ми го овозможи ова истражување. Благодарност и до господин Јане Антов, одговорен за одржување на систем салите во НЕОКОМ. Тој ми ги посочи деловите што се од особено значење за испитувањето.

Факултетот за електротехника и информациски технологии, катедра за метрологија овозможи користење на термовизиската камера Testo, па би искажала благодарност

6 КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Flir, Thermal imaging guidebook for building and renewable energy applications, 2011
- [2] Стојан Чундев, Електротермија. Скопје, Универзитет Св. Кирил и Методиј, 1991



Biljana Pankova

Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies, Skopje

biljana_pankova@hotmail.com

FAÇADE INTEGRATED PHOTOVOLTAIC SYSTEM IN THE REPUBLIC OF NORTH MACEDONIA AND OVERVIEW OF THE HEAT FLOW

ABSTRACT

The implementation of photovoltaic (PV) systems in the households located in the Republic of North Macedonia has significantly increased over the years. PV generators are generally installed on the roofs and the output energy of these systems, in most cases, meets the household's demands. Furthermore, the European Directive 2010/21/EU establishes that from 2020 onwards, all new buildings will have to be Nearly Zero Energy Building, requiring that the local energy production has to cover the local energy demand, which will entail the need for much larger PV areas than those available on standard block roofs. Therefore, using the facades of the buildings as PV areas is a relatively new concept in the region that is analyzed in this paper. This paper explores the idea of implementing PV systems on the building's facade as a way to enlarge the PV area. The first step is to simulate the implementation of a PV system on the façade of an average house in the Republic of North Macedonia using the software PV*SOL. The simulation results that are considered in this paper are the output energy of the system and the temperature of the modules. The second step is to simulate and analyze the heat flow in the software FEMM using the parameters produced by the first simulation. The idea is to show the dual function of the PV modules that are installed on the facade, as energy generators and as building insulators.

Key words: PV system, Zero Energy Building, energy, household, heat flow

1 INTRODUCTION

The implementation of photovoltaic (PV) systems in the households located in the Republic of North Macedonia has significantly increased over the years. PV generators are generally installed on the roofs and the output energy of these systems, in most cases, meets the household's demands. A new and promising way to integrate renewable energies in the constructed environment is to integrate photovoltaic technologies in buildings. Building-integrated photovoltaic (BIPV) will become one of the fastest growing segments of the solar industry worldwide with an assumed capacity growth of 50% or more from 2011 to 2017 in the next few years [1]. Furthermore, the European Directive 2010/21/EU establishes that from 2020 onwards, all new buildings will have to be Nearly Zero Energy Building, requiring that the local energy production has to cover the local energy demand, which will entail the need for much larger PV areas than those available on standard block roofs, [2]. Therefore, using the facades of the buildings as PV areas is a relatively new concept in the region that is analyzed in this paper. Certainly, the energy output from the modules installed on the facade is lower than the energy output from the modules installed on the roof, but the façade implemented PV modules can have dual function, as generators and as heat insulators. The idea is to increase the energy production and to analyze the heat flow through the wall of the building, with and without facade implemented modules. This new revolutionary application of photovoltaic generators can enlarge the self-sufficiency of the household and proportionally decrease the amount of energy drawn from the grid.

2 MODELING AND SIMULATING PV FAÇADE USING THE SOFTWARE PV*SOL

PV*SOL is a dynamic PV simulation software with 3D visualization and detailed shading analysis. In this paper, PV*SOL is used to simulate a house with facade implemented PV system. Table 1 shows the location and dimensions of the house and figure1 shows the terrain view of the analyzed house.

Table 1. Location and dimensions of the analyzed house

Location	Republic of North Macedonia Latitude: 42° 0' 18'' Longitude: 21° 26' 26''
Dimensions	10x8x6 meters
Annual sum of global irradiation	1403 kWh/m ²



Figure 1: Terrain view of the house

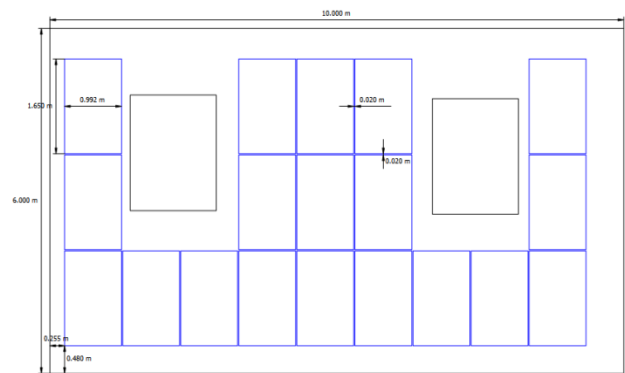


Figure 2: Dimensioning plan of the East facade

The type of module used in the analysis is Canadian Solar Inc. CS6K-280P 280 W. The maximum power point (MPP) current is 8.95A and the dimensions of the module are 0.992x0.04x1.650 meters. The Eastern facade is covered with 19 modules; the total installed power is 5.32 kWp and the inclination is 90°. The facade oriented to the west has the same number of modules and the same installed power. The southern facade has 21 modules with total power of 5.88 kWp. The roof that is oriented to the east has 30 modules with total installed power 8.40 kWp and the inclination is 36.9°. Western roof has the same system parameters. The dimensioning plan of the facade oriented to the east is shown in figure 2.

With specified module voltage, the power output of the module can be determined from the irradiation of the tilted PV array surface, without reflection losses, and the calculated module temperature. For a given irradiation and module temperature, the module voltage is regulated so that the modules work at MPP. The inverter does the regulation of the module voltage and the MPP tracking. The results of the output energy of the inverter are shown in figure 3, where the blue line is the output energy from the PV system installed on the roof, the yellow line is the output energy from the PV modules installed on the East and West facade and the grey line is the output energy

from the modules installed on the facade that is oriented to the South. The annual energy output of the PV generator is 30 019 kWh.

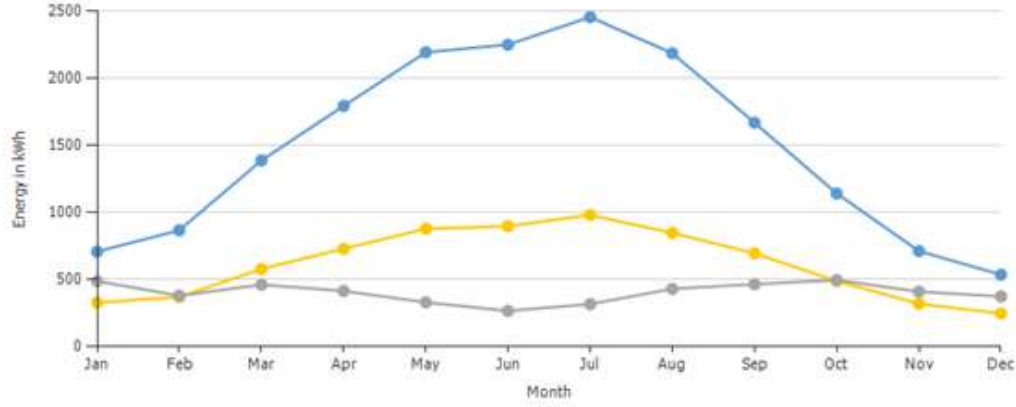


Figure 3: AC energy output

In this paper more attention is given to the results concerning the module temperature. The temperature of the module is of great significance when calculating the power output. It is shown that for mono crystalline and poly crystalline silicon solar cells, the efficiency decreases by about 0.45% for every degree rise in temperature, [3]. In order to determine the module temperature, the thermal balance equation is resolved in every time step of the dynamic temperature model. In the linear temperature model, the module temperature has a linear dependence on the irradiation G . The temperature of the module can be determined using the following equation:

$$T_{module} = T_a + k \frac{G}{G_{STC}} \quad (1)$$

where T_a is the outdoor temperature, $G_{STC}=1000\text{W/m}^2$ or maximum irradiation, G - irradiation and the constant k depends on the module setup.

The time step of the simulation is 1 hour, but in order to take account of the thermal inertia, the time step must be divided into infinitesimally small time steps dt .

$$\frac{m_{module} \cdot c_{module} \cdot dT_{module}}{dt} + P_{el} = Q_G - Q_S - Q_K \quad (2)$$

$$Q_G = \alpha \cdot G \cdot A_{module} \quad (3)$$

$$Q_S = f_E \cdot \varepsilon A_{module} \cdot \sigma \cdot (T_{module}^4 - T_a^4) \quad (4)$$

$$Q_K = f(A_{module}, T_{module}, T_a, \vartheta_w, l_{char}) \quad (5)$$

where m_{module} -module dimensions, c_{module} - heat capacity of the module, P_{el} -electric power output, Q_G - absorbed power, Q_S - radiated power, Q_K - power transferred by convection, l_{char} - characteristic overcurrent length, α - absorption coefficient, ε - emission coefficient, ϑ_w - wind speed, σ - Stefan-Boltzmann constant, f_E - installation factor.

Using the shown approaches, the software calculates the temperature of the module and the results are given for every hour of the year. The results that are presented in Table 2 are the average values of the temperature for every month of the year.

Table 2. Average temperatures

Time	Outside Temperature	Roof Area East: Module Temperature	Roof Area West: Module Temperature
	°C	°C	°C
Jan	-0.17431	1.479	1.7051
Feb	2.4308	4.6099	5.0553
Mar	7.7972	11.199	11.541
Apr	12.08	16.749	17.222
May	17.424	23.629	23.217
Jun	21.157	27.682	27.51
Jul	24.287	30.99	31.552
Aug	23.893	29.572	30.568
Sep	17.939	22.468	22.802
Oct	13.135	15.801	16.558
Nov	6.2028	7.8836	8.3048
Dec	1.786	3.0554	3.2668
Time	Facade East: Module Temperature	Facade West: Module Temperature	Facade South: Module Temperature
	°C	°C	°C
Jan	1.0128	1.2769	3.2164
Feb	3.8494	4.3376	5.4157
Mar	10.021	10.368	11.185
Apr	14.996	15.543	15.487
May	21.392	21.048	20.376
Jun	25.242	25.219	23.849
Jul	28.363	29.013	27.337
Aug	27.174	28.226	27.612
Sep	20.873	21.259	21.75
Oct	14.848	15.639	16.822
Nov	7.346	7.8192	9.2602
Dec	2.6885	2.9054	4.4136

3 HEAT FLOW ANALYSIS USING THE SOFTWARE FEMM

Finite element method magnetics – FEMM is a software used for solving low frequency electromagnetic problems on two-dimensional planar and axisymmetric domain. The program addresses to magnetics, electrostatics, heat flow and current flow problems. The analyzed problem in this paper is two-dimensional and its dimensions are equivalent to the system: one module area-air-brick. The basic requirement for heat transfer is the presence of a temperature difference. The temperature difference is the driving force for heat transfer, just as voltage difference is for electrical current. Factors such as room temperature and number of bodies in the room that are radiating heat are not considered in this paper. This paper evaluates the heat flow with and without PV modules implemented on the façade and whether the PV modules can function as insulators.

The depth of the module is 0.04 meters and the length is 0.992 meters, the air gap between the module and the outside wall is 0.2 meters. The depth of the outside wall is 0.35 meters. The system with implemented modules is shown in Figure 4 and the system without implemented modules is shown in Figure 5.

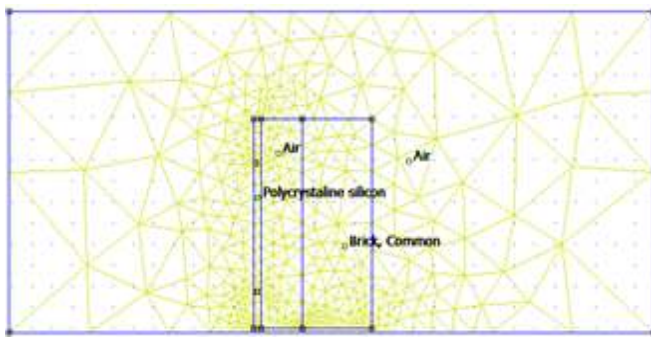


Figure 4: Façade with modules

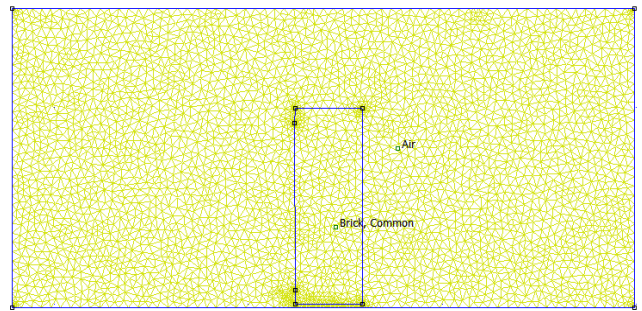


Figure 5: Façade

Materials used in this simulation are: polycrystalline silicon and brick. Thermal conductivity is a measure of material's ability to conduct heat. It is defined as the rate of heat transfer through a unit thickness of material per unit area per unit temperature difference. The thermal conductivity of air, brick and poly-Si depends on temperature. But for poly-Si is taken as constant value $13 \text{ W/(m}^{\circ}\text{K)}$. The volumetric heat capacity of air, brick and poly-Si is $0.001185 \text{ MJ/(m}^3\text{K)}$, $1.344 \text{ MJ/(m}^3\text{K)}$ and $1.7 \text{ MJ/(m}^3\text{K)}$, respectively.

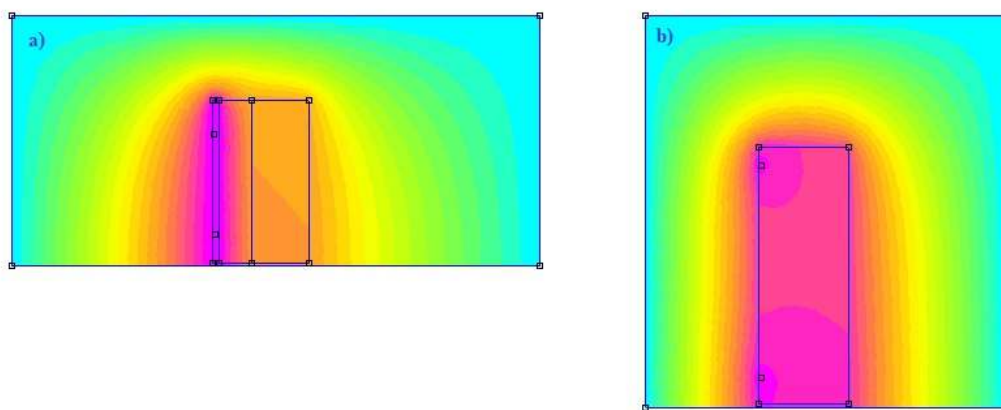


Figure 6: Heat flow

The boundary of the system has fixed temperature, equal to the outside temperature. The modules, marked as polycrystalline silicon, have heat source points with fixed temperature equal to the temperature of the modules. The analysis shows the heat flow of the system when the modules are implemented on the façade. The results of the second analyses shows the heat flow of the system when there are no modules implemented and the bricks have heat source points equal to the temperature of the modules. Temperature values of the modules from Table 2 are used in this heat flow simulation.

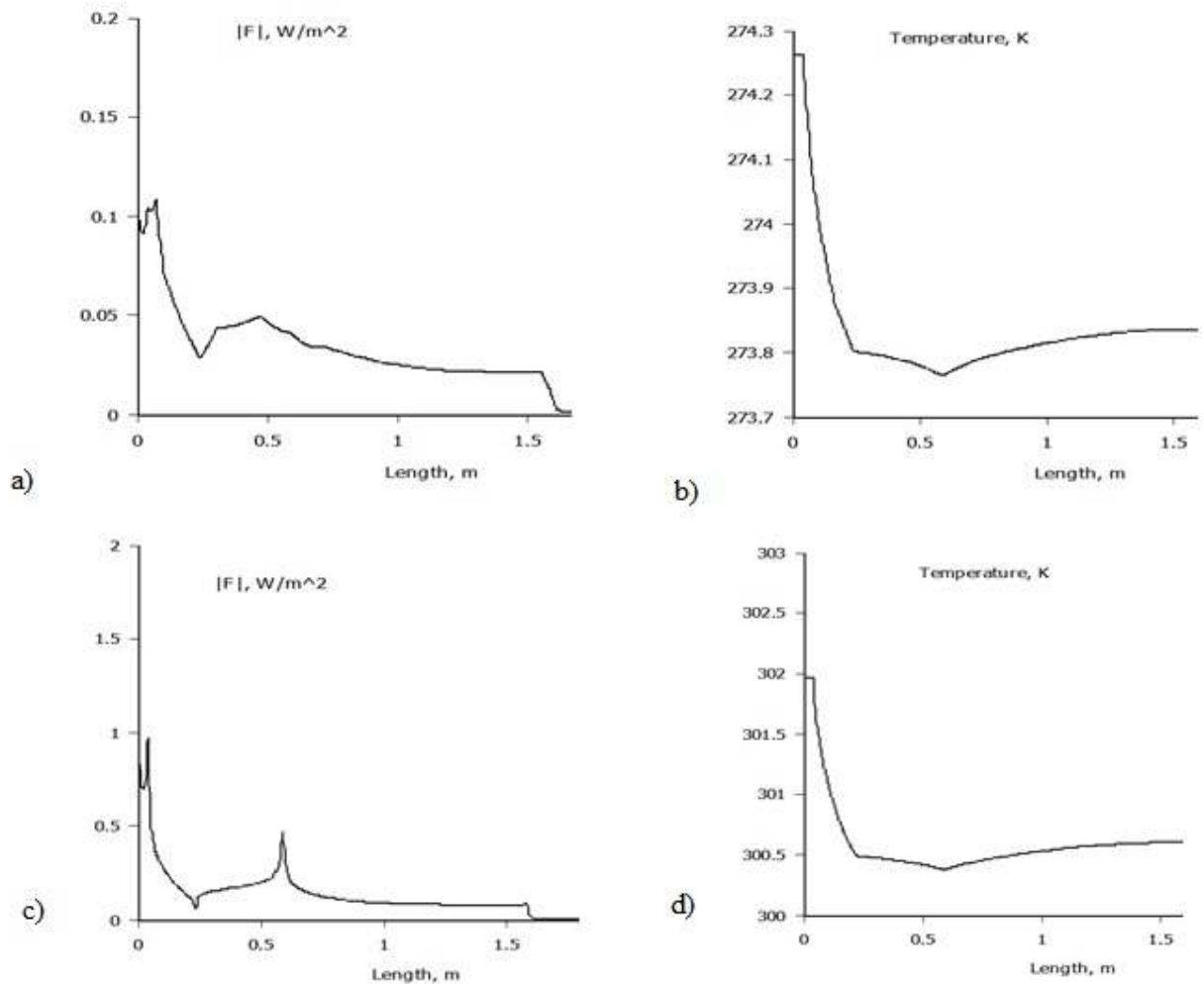


Figure 7: Heat flux density and Temperature

The observed months are January and July. Figure 6 shows the heat flow in the analyzed area from the western façade in July and the difference regarding whether the modules are implemented or not. The pink color is equivalent to 29.013°C, and the blue is equivalent to the outside temperature, 24.287°C. The rate of the heat transferred through the brick is greater in figure 6b because the wall is directly radiated. Figure 7 shows the flux density and the temperature, both depending on the distance, in January (Figure 7 a, b) and July (Figure 7 c, d) when the modules are implemented on the west oriented façade. The bottom left point of the module is taken as a reference point ($x=0, y=0$) in this analysis.

4 CONCLUSION

The number of roofs implemented PV generators in the Republic of North Macedonia is much more significant compared to the number of PV generators implemented on the facades. This paper highlights three benefits that answer the question why PV modules should be implemented on the facade. As previously mentioned, the areas of the roofs in most cases are insufficient for installing PV modules with enough output energy to enlarge the self-sufficiency of the household. By implementing PV modules on roofs and facades, the area is obviously enlarged.

The second benefit is the increased annual energy AC output. As expected and as this paper shows, the energy output of PV generator installed on average house in the Republic of North Macedonia is 30 019 kWh/year. The third benefit meets the aim of the paper. By simple analysis of one module area, the dual function of the modules has been proved. The difference of the transferred heat with and without modules is shown in figure 6. The implemented PV modules on the facade can also have a function as insulators.

5 REFERENCES

- [1] Mary Debbarma, K. Sudhkar, Prashant Baredar, Comparison of BIPV and BIPVT: A review”, Resource-Efficient Technologies, 2017.
- [2] Scognamiglio, A., Rostvik, H.N., „*Photovoltaics and zero energy buildings: a new opportunity and challenge for design.*”, 27th EU PVSEC, Frankfurt, Germany, 2012.
- [3] Kalogirou SA, Tripanagnostopoulos Y. „Hybrid PV/T solar systems for domestic hot water and electricity production.”, Energy Conversion and Management 2006; 47: 3368–82

C. ELECTRIC VEHICLES AND ENERGY EFFICIENT TRANSPORT

Maria Inês Costa Frutuoso¹, Tiago José Rosário Lucas², Mentor: José Maria C. S. André³

^{1 2 3} Instituto Superior Técnico, Lisbon

¹mariainesfrutuoso@tecnico.ulisboa.pt ²tiagolucas@tecnico.ulisboa.pt ³jose.maria.andre@tecnico.ulisboa.pt

NON-LEVEL SUBWAY SYSTEMS: SURFACE STATIONS CONNECTED BY UNDERGROUND LINES

ABSTRACT

This research addresses the differences between the common level subway systems and systems with ground or near-ground stations linked by underground line stretches. Energy consumption and other technical and economic impacts are evaluated.

Stations built at ground level yield some benefit in overall travel time for the passengers, because they don't need to go through staircases, lifts and corridors to reach the platform. There is a noticeable saving in construction investment if the station is built at ground level instead of underground. The use of natural light and the absence of mechanical staircases also reduce the operational cost. Furthermore, a certain difference in height between an elevated station and the underground line reduces the energy dissipated during braking and the power needed during acceleration. The positive/negative gradient of the track also improves the comfort of the passengers for a given deceleration/acceleration.

The case of long trains is also investigated. In long trains, track gradients induce traction or compression efforts between vehicles, limiting the design freedom of the track in elevation. For this and other reasons, shorter and more frequent trains seem a more convenient way of providing a given transport capacity.

Key words: energy efficiency, heavy subway with surface stations and underground line, kinetic and potential energy conversion, railway transportation.

1 INTRODUCTION

Most subway networks have underground stations approximately at the same level of the tunnels.

What would be the consequence of building the station near the ground and have the tunnels at higher depth h (see Fig. 1)? Of course, the accessibility of the platform of the stations would improve. But what happens with energy consumption and total journey time between the stations?

The integration simplified equation of motion will answer these questions.



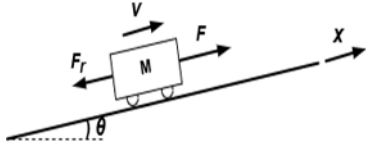
Figure 1: Railway scheme (not at scale).

1.1 Equation of motion

Given a train of mass M running in a track of local slope $\sin \theta$, subject to an overall resistance F_r and a propulsion or braking effort F , the equation of motion in the direction of the movement is:

$$\frac{dv}{dt} = g \sin \theta + \frac{F - F_r}{M}, \quad (2)$$

where g denotes gravity and dv/dt the longitudinal acceleration. If the variables in the right-side hand do not change in time, integrating this equation twice, the velocity and position are:



$$v(t) = \left(g \sin \theta + \frac{F - F_r}{M} \right) t + v_0 \quad (3)$$

Figure 2: Force diagram.

$$x(t) = \frac{1}{2} \left(g \sin \theta + \frac{F - F_r}{M} \right) t^2 + v_0 t + x_0. \quad (4)$$

The overall resistance F_r includes the aerodynamic drag $\left(\frac{1}{2} \rho \cdot v^2 \cdot A \cdot c_D \right)$ and the rolling resistance $(\lambda \cdot M \cdot g \cdot \sin \theta)$. We will take the values of these parameters^[1] from the *Lisbon Metro*, as specified on Table 1.

Parameter	Air density	Train's frontal area	Drag coefficient (inside tunnel)	Rolling resistance coefficient	Mass of train ^[2]
Value	$\rho = 1.25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$	$A = 10 \text{ m}^2$	$c_D = 3.844$	$\lambda = 8 \cdot 10^{-4}$	$M = 7 \cdot 10^5 \text{ kg}$

Table 1. Parameters assumed for the calculations.

Figure 3 shows a general curve for the velocity as a function of distance subject to the following maximum conditions:

- A maximum gradient of **10%**^[3];
- The maximum longitudinal acceleration felt by passengers is limited to **1 m/s²**^[4] for comfort and safety reasons;
- The maximum velocity is **70 km/h**;
- The distance between stations is **1000 m**.

In the downward gradient, the train accelerates because of gravity (acceleration a_g) and the propulsion (acceleration a_{engine}). Along the horizontal stretch there is only acceleration due to propulsion. The deceleration can be due to braking or the upward gradient.

Using the previous equations, ignoring resistive forces, Table 2 gives reference values of maximum velocity and time for different height and fixed gradient (10%) for a case without engine effort and other with propulsion $a_{\text{engine}} = 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

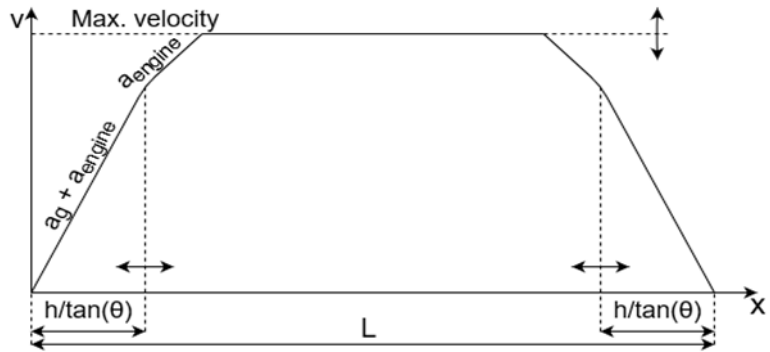


Figure 3: General curve velocity along distance, on maximum velocity and acceleration supported by passengers.

Δh [m]	Δx [m]	Without engine		With engine ($a = 1 \text{ m/s}^2$)		
		Max. Velocity [km/h]	Δt [s]	Max. Velocity [km/h]	Δt [s]	Engine Power [MJ/s]
6	60	39.1	11.1	55.4	7.8	1.08
8	80	45.1	12.8	64.0	9.0	1.24
10	100	50.4	14.3	71.6	10.1	1.39

Table 2. Maximum velocity, total journey time and engine power.

2 ENERGY ANALYSIS OF NON-LEVEL TRACKS

To evaluate the effects of a difference in height between the level of stations and the level of the central part of a stretch, let us consider two stations distant $L = 1 \text{ km}$ to each other (measured in the horizontal) with two slopes equally inclined ($\theta_1 = \theta_2$, in Fig. 4) with varying depths h . In the limit of a level profile, $h = 0$.

In the first driving strategy, the engines are used to accelerate the train in the downward slope and then the train will coast without propulsion till it comes to a stop in the next station. The propulsion is adjusted so that the brakes are not needed. In the second driving strategy, the trains will accelerate less during the downward stretch, but the engine will maintain the speed in the horizontal part; the maximum velocity will be adjusted to provide the same overall journey time of strategy 1.

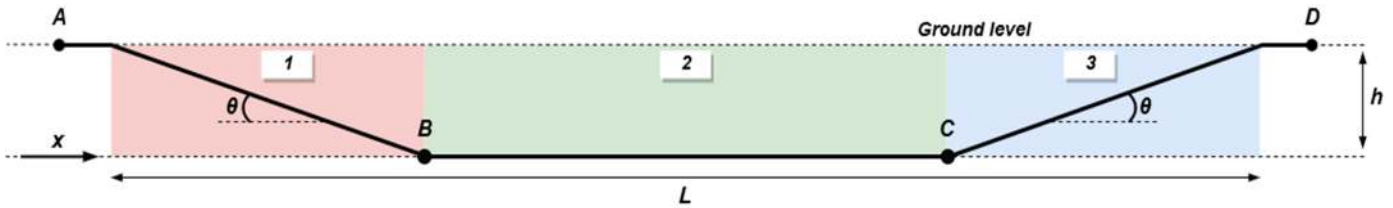


Figure 4: Simplified railway model scheme with rectilinear segments.

These two approaches are compared below, velocity $v(t)$ as a function of time and power consumption $P(x)$ as function of distance. Case 2 applies regenerative brake of 30% efficiency. In this numerical example we will consider in both cases distance $L = 1 \text{ km}$, local slope $\sin \theta = 0.1$ and depth $h = 8 \text{ m}$.

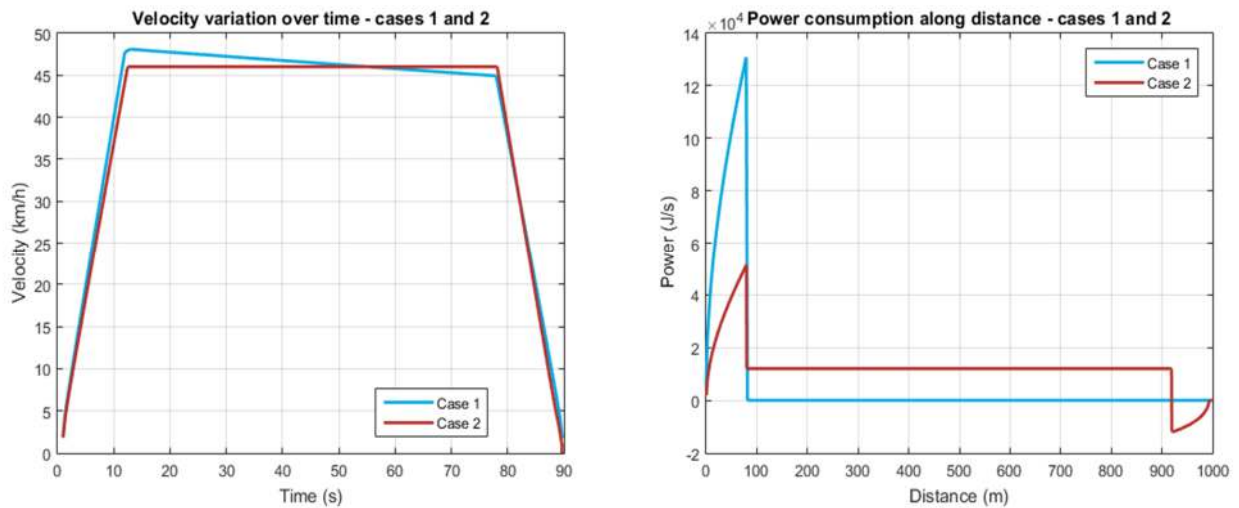


Figure 5: MATLAB plots of $v(t)$ and $P(x)$

These two cases highlight that, if maximum velocity is not an issue, it is more efficient to provide more propulsion at the beginning rather than having a more distributed propulsion.

These examples with a depth $h = 8$ m can be compared with a level track ($h = 0$), for the same total journey time. We will denote this simulation as case 3. Let us also assume regenerative braking with a global efficiency of 30%. This case assumes that acceleration is limited to $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, until reaching the maximum velocity $v_3^{\max} = v_1^{\max}$, the train then proceeds without power until regenerative braking is applied in the final stretch with acceleration limited to $-1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

Table 3 shows that the level track, case 3, requires much more energy to achieve the same total journey time between the two stations.

	Case 1	Case 2	Case 3
Average velocity	$\bar{v}_1 = \bar{v}_2 = \bar{v}_3 = 40.1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$		
Maximum velocity	$v_1^{\max} = 48.1 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	$v_2^{\max} = 46.0 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$	$v_3^{\max} = 48.2 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$
Consumed energy	$E_1 = 0.7680 \text{ MJ}$	$E_2 = 1.022 \text{ MJ}$	$E_3 = 4.705 \text{ MJ}$

Table 3. Velocity and consumed energy values for the considered cases.

2.1 Energy consumption of total journey time

Let us investigate the relationship between energy consumed and journey time.

For each amount of energy, we will consider the best power distribution over time to minimize the journey time. In any case, the accelerations are limited to $\pm 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ and the top speed is limited to $70 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. The depth is $h = 8$ m (see Figure 4) and the trains are not equipped with regenerative breaking. Other parameters according to Table 1. The minimum time corresponds to the maximum energy consumption.

Then, 1 kJ of energy is removed at every point of the track between the two stations and the total journey time is computed again. Figure 6 shows that removing 1 kJ at the beginning of the track increases the journey time by $1.1 \cdot 10^{-3}$ s, while remaining the same amount of energy at a later distance produces a smaller delay. For instance, 1 kJ less at $x = 500$ m produces a delay three times smaller (about $3.6 \cdot 10^{-4}$ s), and 1 kJ less near $x = 850$ m produces almost no delay at all.

Again, the conclusion is that energy provided earlier in the journey is more efficient in the sense that it reduces more effectively the journey time.

Figure 6 also shows that there is a remarkable difference in effectiveness of energy provided during the downward stretch and in the level part of the track. When the track is inclined, the importance of applying the energy earlier is greater.

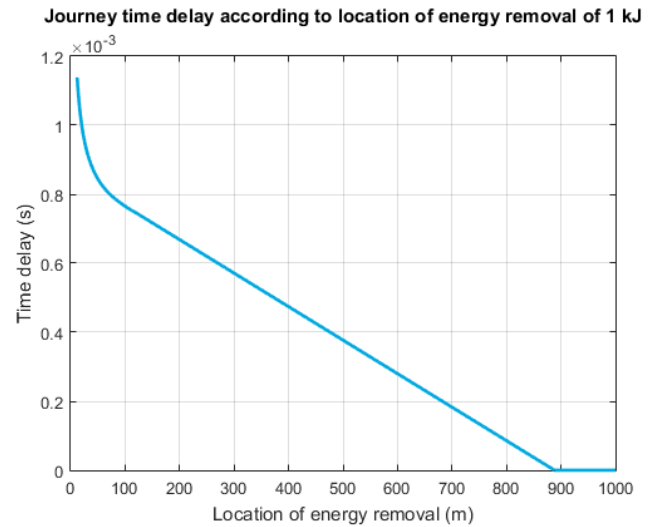


Figure 6: Delay due to removing 1 kJ at a given location between the stations.

Let us now remove energy, step by step, 1 kJ in each step, reducing that energy at the locations where the delay is minimal. Figure 7 presents the results for two inclinations ($\sin \theta = 5\%$ and $\sin \theta = 10\%$) and several depths. The left-hand side extremes of the curves correspond to the maximum energy consumed and the minimum journey time, subject to the restrictions mentioned (limited acceleration and velocity). We can see that increasing the depth reduces both the energy consumption and the journey time. Removing energy, the trips take more time but, again, for every journey time considered, the tracks with greater depths consume significantly less energy.

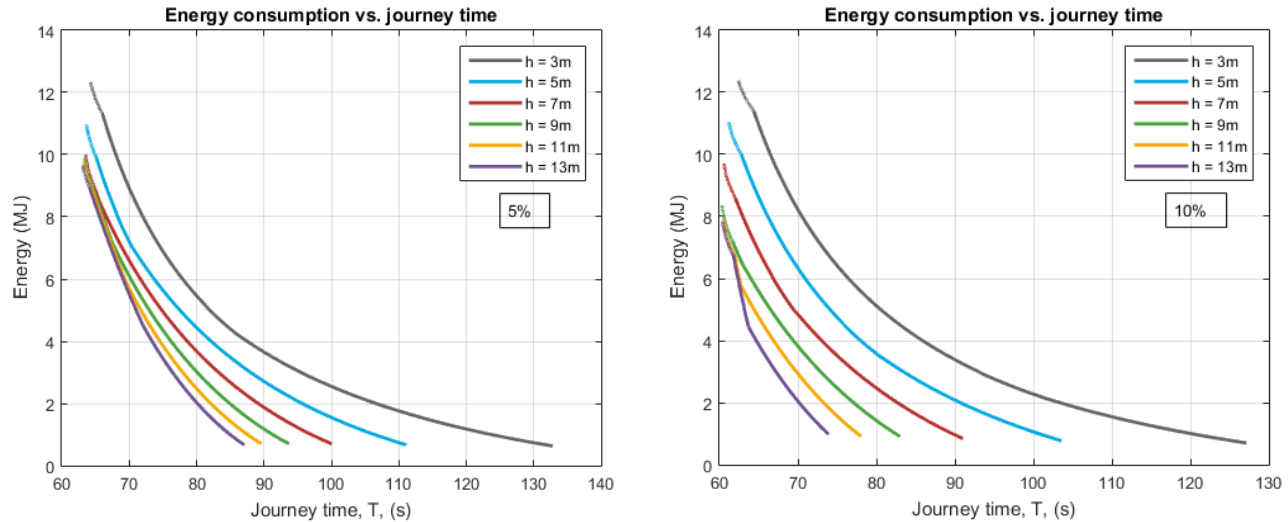


Figure 7: MATLAB plots of $E(T)$ for: a) 5% and b) 10%

It is also apparent, comparing both graphics of Figure 7, that higher slopes are beneficial to energy consumption and journey times. For smaller times and greater depths, some of the curves are superposed because the maximum velocity was achieved. When this happens, it is worthless to deepen the central part of the track. The best solution is when the maximum velocity is reached in point B of Figure 4.

Regenerative braking reduces further energy required for a given journey time, as shown in the examples of Figure 8.

2.2 A note on transition gradients

Long trains are typically limited on the change of track gradient because of compression or traction forces that arise between vehicles running in different gradients.

In long trains with distributed traction, a solution to reduce the internal forces between vehicles would be to adapt the propulsion effort to balance the local gradient. When entering a downward gradient,

- the last vehicles, yet outside the gradient, would run with increased power;
- the first vehicles, already in the downward stretch, would run with a reduced power.

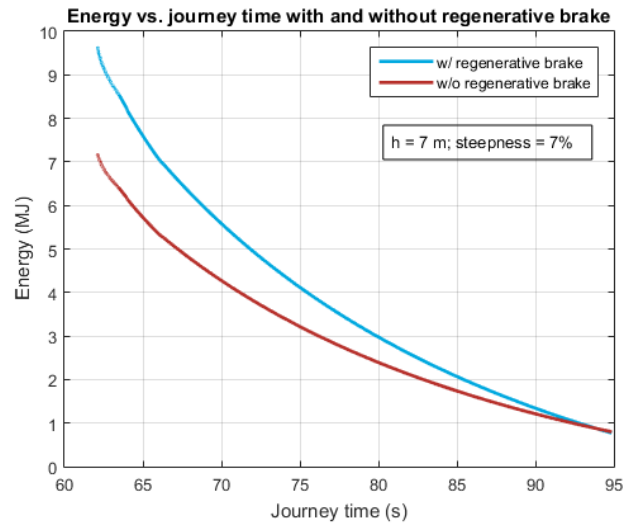


Figure 8: MATLAB plot of $E(T)$ evaluating the usage of regenerative brake.

Assuming that aerodynamic drag and other resistances are similar in all vehicles, the sum of the tractive effort F of each vehicle and its longitudinal force due to gravity – $M g \sin \theta$ – should be uniform across all the vehicles of the train, in order to equalize the acceleration of all vehicles.

Isolated vehicles or shorter trains admit shorter transition curves, because the whole set would run with a similar gradient.

2.3 A note on comfort

Passengers do not feel the acceleration or deceleration due to gravity. In a downward gradient, if gravity contributes to $a_g = 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ (see Fig. 3) and the motors contribute with $a_{\text{engine}} = 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, the effective acceleration will be $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$, but the passengers will only experience the sensation of $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$. The same applies during deceleration in an upward gradient and in curves where can't compensate the centrifugal force.

3 CONCLUSIONS

Gravitational force can assist subways reducing the energy required and increasing the average speed. Increasing the depth and the steepness of the track is useful to a certain point. The optimal depth is limited by the maximum speed of the train. The inclination is limited by the need of transition slope. In our analysis, the gradients were assumed constant at a given part of a track but, in reality, a good ride requires a smooth transition between the level parts and the inclined parts.

Comparing to a regular level track, on a journey with the same elapsed time, these tracks are energetically more efficient, despite of a higher travelled distance. Also, building the infrastructure becomes easier and cheaper, and the accessibility for passengers improves.

There are also other advantages of having the station above the central part of the track. The construction of the station at ground level is cheaper than underground, where there is less accessibility, a need of excavation and thicker walls. There are less staircases, lifts and corridors to reach the platform. This saves money and resources, not only during the construction, but also during operation. The decreasing of artificial lighting needed and operation and maintenance of mechanical staircase, etc.

4 ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to express their gratitude to mentor Prof. José Maria C. S. André, for the availability and support since the very first moment.

5 REFERENCES

- [1] Souto, B., Varela, C., Augusto, L., Silva, R., André, J., „*Resistência Aerodinâmica de Carruagens de Metropolitano*“, Instituto Superior Técnico, 1989
- [2] Train Logistic, *ML99 – Ficha Técnica*, http://www.trainlogistic.com/pt/Comboios/Gabinete/fich_ml99.htm, (July 2019)
- [3] Rail Serve, *World Rail Records: Highest, Steepest & Longest*, https://www.railserve.com/stats_records/highest_steepest_railroads.html, (August 2019)
- [4] Powell, J.P. & Palacín, R. Urban Rail Transit (2015) 1: 95. <https://doi.org/10.1007/s40864-015-0012-y> (September 2019)

Васил Мирев¹ Ментор: Гога Цветковски²

^{1,2} Факултет за електротехника и информациски технологии, Скопје

¹ vasilmirov.6@gmail.com

ЕЛЕКТРИЧНИ ВОЗИЛА ВО ЕЕС

КУСА СОДРЖИНА (АПСТРАКТ)

Во овој труд, подетално се објаснети техниките за размена на енергија помеѓу електричните возила и електроенергетскиот систем како мрежа-кон-возило, возило-кон-мрежа, возило-кон-дом, како и поволностите кои тие ги нудат на мрежата како резервно напојување при испади или за задоволување на врвното оптоварување. Исто така е опфатен и процесот на полнење на батериите и влијанието на овој процес врз електроенергетскиот систем. За да се избегнат дополнителните потреби за електрична енергија кога електричните возила се вклучуваат во мрежата, се разгледува и паметното полнење и паметните полначи како помош за дистрибутивната мрежа и нејзината комуникација со електричните возила.

Клучни зборови: Електрично возило, електроенергетски систем, возило-во-мрежа, паметно полнење, паметни полначи, врвно оптоварување, резервно напојување.

ELECTRIC VEHICLES AND THEIR APPLICATION IN THE EPS

ABSTRACT

In this paper, the techniques for exchanging energy between electric vehicles and power systems such as vehicle-to-network, network-to-vehicle, vehicle-to-home, as well as the benefits they offer on the network such as spare power supply during outages or to satisfy the peak load to avoid the same unwanted outages, will be explained in detail. Battery charging and their impact in the power system are also covered, how it can help in the proper deployment of energy, rational utilization and smart spending as well as programmed charging time for electric cars. In order to avoid additional electricity needs when electric vehicles are plugged into the network, smart charging and smart chargers are also covered as they help the distribution network to avoid overloading, which requires a permanent and quality communication with electric vehicles.

Key words: electric vehicles, vehicle-to-grid, peak load, spare power, smart charging, smart chargers, grid-to-vehicle

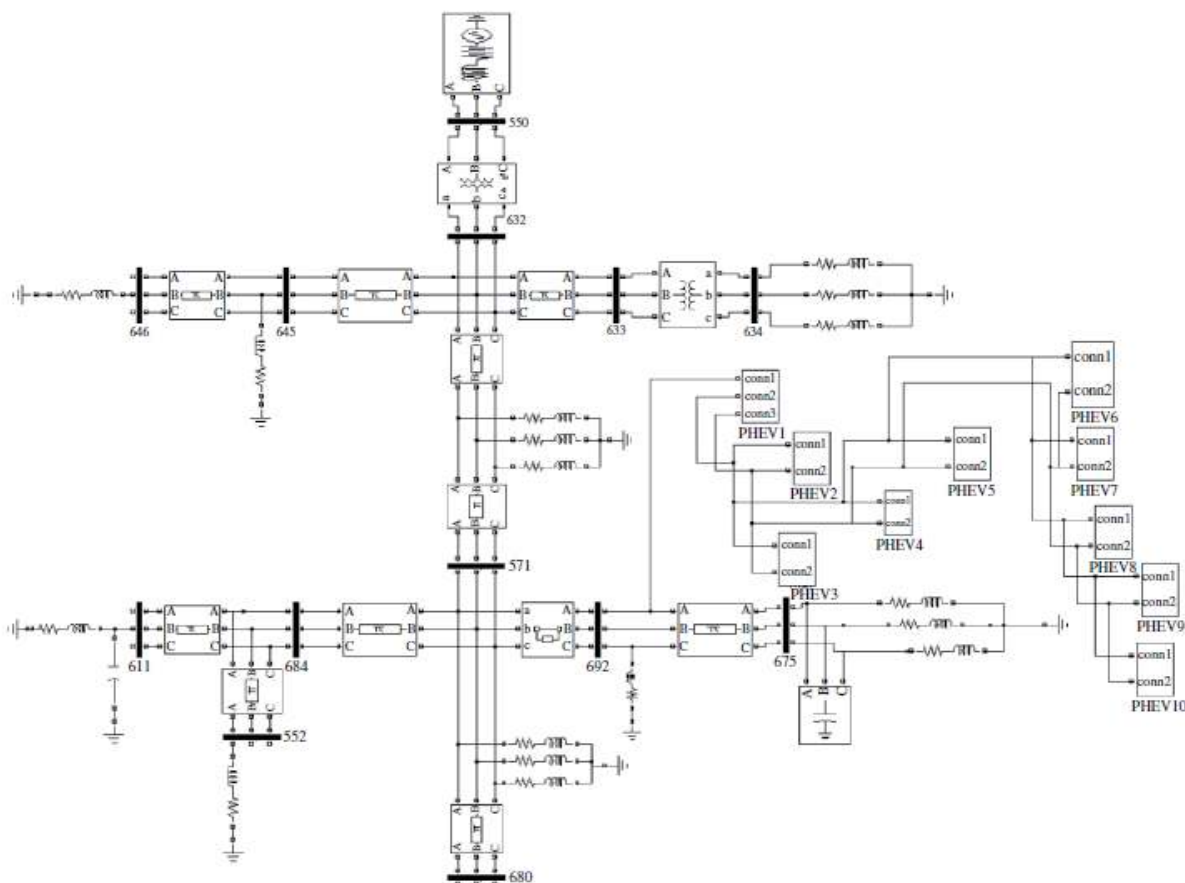
1 ТЕХНОЛОГИИ НА РАЗМЕНА НА ЕНЕРГИЈА ПОМЕЃУ ЕЛЕКТРИЧНОТО ВОЗИЛО И МРЕЖАТА

1.1 Технологија мрежа-кон-возило

Оваа технологија во моментот е најупотребуваната и најраспространетата технологија. Во денешно време оваа технологија се применува за три напонски нивоа на полнење за БЕВ, во зависност од напонот во земјата во која се применуваат и тоа: еднофазен наизменичен напон од 120 V, еднофазен наизменичен напон од 240 V и трифазен наизменичен напон од 480 V. Различните нивоа на напони ќе влијаат на времето на полнење. Во принцип, постојат четири типа на алгоритми за полнење на БЕВ и тоа: константен напон, константна струја, константен напон и струја и импулсно полнење. Овие различни алгоритми за полнење бараат соодветно проектирање и димензионирање на контролерите кои се користат во енергетските

преобразуваши за таа намена. Во денешно време кај истражувачите од особен интерес е влијанието на овие полначи на мрежата и на квалитетот на електричната енергија. За таа цел се посветува посебно внимание на моделирањето и истражувањето на ваквите системи и сценарија, пред тие да бидат ставени во функција. Таков е примерот прикажан на Слика 1, каде неколку БЕВ се поврзани во еден дистрибутивен систем. Поконкретно се разгледува случајот на 10 БЕВ, кои се поврзани во еден дистрибутивен систем. Системот е релативно мал и со висока оптовареност. За оваа истражување, возилата се поврзани помеѓу јазлите 692 и 675 од дистрибутивниот систем и преку еднофазен трансформатор се напојувани со импулсно полнење. Првично батеријата се претпоставува дека има 90% наполнетост. Батеријата се полни со помош на преобразувач на еднонаочен напон (чопер) со помош на импулсна струја додека не достигне 95% наполнетост. Влезниот напон има вредност од 240 V.

1.2 Технологија возило-кон-мрежа



Слика 1 Поврзување на 10 БЕВ на дистрибутивниот систем

Возило-кон-мрежа, или Vehicle-to-grid-V2G, е концепт кој се однесува на способноста на системот покрај протокот на енергија од мрежата кон возилото да овозможи и проток на енергија од возилото кон мрежата. Со оваа технологија се овозможува двонасочна размена на енергија помеѓу електричната мрежа и батеријата на возилото. Со двонасочниот полнач, батериите во возилото може да се искористат како извор на резервна моќност за домашна употреба или работното место. Батеријата на батериските електрични возила (БЕВ) исто така може да се користи за контрола на стабилноста и регулирање на фреквенцијата и напонот на електроенергетската мрежа, дистрибутивната електрична мрежа и обновливите извори на енергија.

Во поширока смисла, во иднина, ќе постојат стотици илјади БЕВ кои ќе бидат поврзани на електричната мрежа и ќе доминираат во транспортот, како едно од решенијата за елиминирање на

употребата на фосилни горива. За да се разберат влијанијата врз работата на енергетскиот систем важно е да се проучи влијанието за концептот мрежа-до-возило, како и различни фактори меѓу кои се и големината на батеријата, полнењето и ефикасноста. Со цел да се оптимизира V2G важно е да се едуцираат потрошувачите за концептот "паметна мрежа". Потрошувачите треба да бидат свесни за фактот дека полнењето на батериите во текот на ноќта би било подобро и поефикасно, бидејќи во текот на ноќта потрошувачката на електрична енергија опаѓа и цената на електричната енергија е пониска.

Иако постојат загрижености со полнењето на БЕВ дека ќе биде потребно дополнително превземање на електрична енергија од страна на мрежата, истражувањата покажале дека дополнителната побарувачка за БЕВ изнесува 1,5% од вкупната побарувачка на електрична енергија во 2030 што е само 6% од зголемувањето на побарувачката поради нови оптоварувања од електрификација во индустријата и станбениот и комерцијалниот сектор [1].

1.2.1 Концепт на возило-кон-мрежа

Концептот на возило-кон-мрежа се состои во тоа што енергијата што е складирана во батериите на БЕВ, може да се враќа во мрежата. Со оваа технологија се претпоставува дека доколку батериите во БЕВ станат широко применливи, тогаш тие би можеле со брз одсив да помогнат во врвните побарувања на моќност, кога возилата се паркирани или поврзани на полначките станици. Во просек, автомобилите се возат еден час дневно, а остатокот од денот се паркирани. Количината на моќност која се повлекува од автомобилот може да биде околу 10-20 kW. Врската возило-кон-мрежа може да се обезбеди со брза комуникација помеѓу електроенергетскиот систем и батеријата на БЕВ.

За БЕВ, енергијата што може да се користи од возило-кон-мрежа е ограничена од големината на вградената батерија. Кај овој систем протокот на енергија е двонасочен, што значи дека возилото може да ја земе електричната енергија од мрежата (за време на полнењето) и да обезбеди енергија (во текот на празнење) до мрежата. Освен концептот на возило-кон-мрежа, тука е и концептот на возило-кон-дом, кој е ограничен во тоа што едно возило би можело да снабдува само едно домаќинство.

Функциите на возило-кон-мрежа можат да бидат класифицирани во две категории: локални услуги и услуги на поширока област. Локалните услуги вклучуваат снабдување на резервната моќност за локалните куќи или бизниси и стабилизација на напонот или подобрување на квалитетот на електричната енергија. Услугите за широка област вклучуваат помошни услуги за мрежата, кои се поврзани со моќноста и со нив мрежните оператори одржуваат сигурна работа на мрежата.

1.2.2 Предности на возило-кон-мрежа

Има поголем број на предности при вградување на V2G технологијата во електроенергетскиот систем. Дел од тие предности се наведени подолу:

- **Подобрена сигурност:** инверторите применети во технологијата возило-кон-мрежа можат да реагираат брзо, да го контролираат ефектот на било кое нарушување. Ова ќе му помогне на ЕЕС да биде поробусен, а со тоа и да се намали ранливоста на системот.
- **Подобрена доверливост:** предноста во поставувањето на системот возило-кон-мрежа било каде во дистрибутивниот систем го прави резервното снабдување достапно на кратко растојание иако не е инсталирано во близина на потрошувачот. Ова ќе има голем удел во доверливоста на снабдувањето на потрошувачите со електрична енергија, бидејќи поголемиот дел од прекините се случуваат поради пречките во дистрибутивниот систем.
- **Влијание на генерирањето:** со поврзување на голем број на електрични или хибридни електрични возила со приклучок во текот на денот, врвната моќност може да се ограничи во периодот на врвно оптоварување. Исто така за време на ниско оптоварување ваквите системи може да се приклучат да ги полнат батериите, а со тоа се овозможува генераторите на базните оптоварувања да работат ефикасно без да носат голема вртлива резерва.
- **Предност за животната средина:** користењето на БЕВ може да влијае на загадувањето на околината. Тие можат да го помогнат намалувањето на емисијата на стакленички гасови со индиректно користење на чиста електрична енергија во транспортот.

1.3 Технологија возило-кон-дом

Технологијата Возило-кон-дом е систем кој овозможува снабдување со електрична енергија на домаќинствата со помош на енергијата складирана во батериите на електричното возило. Ваквиот концепт е веќе развиен од компаниите Mitsubishi со возилото Mitsubishi Outlander PHEV (Јапонија) и Nissan LEAF **Error! Reference source not found.**, кои што доколку ги полнат своите батерии во вечерните часови, а потоа ги користат батериите во текот на денот би можеле да снабдат со електрична енергија едно домаќинство, со што би се олеснило задоволувањето на врвните оптоварувања во текот на пладневните и попладневните часови кога побарувачката е најголема. Исто така, ваквата технологија може да се користи и како резервно снабдување со електрична енергија при итни случаи.

Конкретно за возилото Nissan LEAF EV, домаќинствата би можеле да бидат напојувани од батериите на ова возило со инсталирање на систем за контрола на моќноста кое би било поврзано на разводната табла на домаќинството, истовремено поврзано на соодветниот приклучок на возилото. За да може да се користи енергијата складирана во литиум јонските батерии на ова возило, потребно е да се направи конверзија на еднонасочниот, висок напон во наизменичен напон од 200V, за што е одговорен системот за контрола на моќноста. Nissan LEAF EV има литиум јонски батерии кои имаат голем капацитет и висока доверливост, што значи дека би можеле да обезбедат стабилно напојување. Ова е пример за типично домаќинство во Јапонија.



Слика 2 Технологија Vehicle-to-Home (V2H)

2 ПАМЕТНО ПОЛНЕЊЕ

Полнењето на електричните возила е релативно нова технологија која се развива со брзо темпо. Со паметното полнење се овозможува полнење на електричното возило кое што може да биде надворешно контролирано.

Технологија мрежа-кон-возило овозможува возилата да се полнат со различни капацитети, зависно од достапноста на енергија. Батериите на електричното возило може да бидат полнети на “паметен начин” со цел да се избегнат врвни оптоварувања во мрежата. Ова е базирано на побарувачката на енергија од системот и достапноста на електрична енергија на локално ниво.

Технологијата возило-кон-мрежа овозможува враќање на енергија од возилата кон мрежата. Батеријата на возилото исто така може да се користи како резервна енергија или дополнување со енергија при врвните оптоварувања.

Ако корисниците на електричните возила се поттикнат да ги полнат своите возила по 9 часот навечер, наместо во 6 часот попладне по завршување на работното време, би помогнало при стабилизирање на кривата на оптоварувањето на електроенергетскиот систем. Едноставно решение за овој проблем е таканареченото паметно полнење. На овој начин, полнењето може да биде одложено за периодот од денот кога во мрежата би имало помало оптоварување, а тоа да биде во согласност со корисникот на електричното



Слика 3 Дијаграм на дневно оптоварување со неуправувано, управувано и минимално оптоварување

возило. Кај корисниците може да се промовира со парични средства или друг начин на поттикнување да го користат паметното полнење.

Предизвикот кај ваквото полнење би било добивање на информација од возилото за степенот на наполнетост на батеријата. За таа цел може да се вгради паметен систем кој ја покажува моменталната наполнетост на батеријата на возилото.

2.1 Паметни полначи

Електричните автомобили може да имаат голем удел во трошењето на електрична енергија. Полнењето на електрично возило во приклучок може да зафати дури и 30% од сметката за струја на типично домаќинство [3]. Ако премногу луѓе одлучат да ги наполнат своите автомобили за време на врвното оптоварување, тоа ќе предизвика да компаниите на дистрибутивната мрежа почнат да користат скапи решенија за да ги задоволат потребите, дури и да се појават и испади. Паметните полначи можат да го решат овој проблем.

Со паметното полнење не само што ќе можат да се избегнат непотребните трошоци, ќе може и максимално да се искористат станиците за полнење во случај на ограничени резерви на моќ.



Слика 4 Полнење на батериите со паметни полначи

Со паметните полначи сопствениците ќе можат да ги програмираат нивните автомобили да се полнат во ноќните часови, кога побарувачката е ниска. Ова е корисна опција бидејќи компаниите се повеќе ја користат тактиката за наплаќање каде што наплаќаат помалку за електрична енергија во ноќните часови, со

што потрошувачите ќе можат да заштедат пари [4]. Но, полначите можат и да реагираат и на сигнали во вистинско време. Овие сигнали може да направат промени во полнењето, така што електричните возила ќе можат да се искористат како израмнувачи на варијациите во побарувачката и потрошувачката.

Тие можат да се програмираат да се исклучат кога побарувачката е голема со цел да се намали, или пак можат да вратат енергија назад кон мрежата кога побарувачката е голема или кога некоја станица ќе се исклучи [5].

3 ЗАКЛУЧОК

Во овој научен труд накратко се дискутирани технологиите за размена на енергија помеѓу електричните возила и мрежата, паметното полнење и паметните полначи.

Технологиите за размена на енергија можат делумно да ги поштедат електроенергетските компании од инвестиции за создавање на резервен капацитет, за да се задоволат барањата на електрична енергија за време на врвното оптоварување. Исто така, би можеле да помогнат во намалување на трошоците за kWh со тоа што правилно би се искористиле ресурсите на мрежата во текот на денот, зголемувајќи го факторот на искористеност [6]. Друга предност на користењето на електричните возила е тоа што би можеле да ги користат обновливите извори на енергија за полнење на батериите во периоди кога имаат големо производство на електрична енергија, на пример во пладневните часови од фотоволтаичните центри.

Процесот на полнење на возилата е помогнато со апликации за паметно полнење. Ваквите апликации може да се користат во домаќинствата и полнењето може да биде одложено за периодот од денот кога во мрежата би имало помало оптоварување. Двонасочната природа на ХЕВ полначот може да биде корисна за време на врвна оптовареност. Со инсталирањето на паметни системи, корисниците би ја знаеле точната состојба на наполнетост на батериите и полесно би се одредило време за полнење кое ќе биде во согласност и со условите во мрежата.

Иако постојат загрижености за тоа како електричните возила и нивното полнење би влијаеле на електроенергетскиот систем, како што е изложено во оваа семинарска задача, со нивно правилно управување, контролирајќи низа фактори како времето на полнење, начинот на полнење и различните техники, всушност електричните возила би и помогнале на мрежата во задоволување на врвните оптоварувања. Исто така би им помогнале и на корисниците нудејќи им секогаш достапно резервно напојување при било какви испади, како и други предности кои се повеќе би поттикнале зголемена употреба на електричните автомобили во иднина.

4 КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Global EV Outlook 2017, International Energy Agency, Electric Vehicles Initiative, 2017.
- [2] M. Abul Masrur, Chris Mi, Hybrid Electric Vehicles, second edition, Wiley, 2017.
- [3] https://www.nklnederland.com/uploads/files/Electric_Vehicle_Charging_-_Definitions_and_Explanation_-_january_2019.pdf?fbclid=IwAR0Cj2Nl9SxSQ0un5Ik5BrAnAF4mHNJaF5WF0aVe9d1Hs5q1VE5FvdDJPek
- [4] <https://www.technologyreview.com/s/418019/smarter-chargers-for-electric-vehicles/?fbclid=IwAR1UgeolDAY1v1gyoeWrG0c0QZ2uam5frwCTBRxZDKesfOSemrwlGyhP8WM>
- [5] https://evbox.com/learn/faq/how-does-smart-charging-work?fbclid=IwAR283_L1t5guSRnwKPPWyuce4DpDVqZI_qf1qxMaOzcooXxNm9s09-I9wfs
- [6] Global EV Outlook 2018, International Energy Agency, Electric Vehicles Initiative, 2018.



Stefan Petrushevski

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

stefanpetrusevski2@gmail.com

ELECTRIC VEHICLE CONVERSION STEPS TO BE TAKEN AND FINANCIAL BENEFITS FORM THE CONVERSION

ABSTRACT

The main purpose of this paper is to explain the process of an electric conversion. Electric conversion involves removing the entire internal combustion engine from a vehicle, installing an electric motor in its place, and also adding a large bank of batteries. The main steps of the process are explained. Attention is paid to the choice of the motor type, the battery, the charger and to the other vehicle components, including their costs and maintenance. The costs are later compared to running and maintaining a conventional vehicle of the exact same make and model.

Key words: electric vehicles, EV conversion.

1 THE IDEA BEHIND ELECTRIC VEHICLE CONVERSION

"Why convert an existing vehicle to electric, when you can just get a new vehicle?" This is one of the main questions regarding electric vehicle conversion. This term began as independent one off projects, by car manufactures, in order to make certain iconic models of their line up timeless.

The first examples is from Jaguar: a 1968-Jaguar-E-Type sports car. Renamed the Jaguar E-type Zero, it has its previous powertrain (engine and gearbox) taken out, and replaced the old six-cylinder engine with an electric motor. This Jaguar has 255 horsepower, and a top speed of 195 km/h and 250 km electric battery range on a full charge, while weighing 80 kg less than the original model. In other words it retains almost the identical performance, while being a zero-emissions vehicle. This conversion is reversible, which means the original drivetrain and engine can be put back in the vehicle in a matter of hours.

Next was Aston Martin, which took a near identical approach with the electrification of their 1970 Aston Martin DB6 Mk2 Volante, with near identical performance figures, as the original model, while being zero emission.

These two projects were inspiration for many enthusiasts to pick their favorite classic car, or practically any car, take it to a mechanic shop (or go through the challenges themselves), get the desired power and range according to their wants and needs, and start using it as a daily driver.

Common practice in these classic car projects are to add power steering and braking, and air conditioning, which further helps to bring any classic car in the comfort of 21st century.

2 THE PROCESS OF CONVERTING A CONVENTIONAL VEHICLE TO ELECTRIC

2.1 Removing the original internal combustion system

The first thing needed, obviously, is a car, often referred to as a “donor” car. This can be any classic, used or brand new. This is a crucial step, as its size and weight will determine how many battery modules can be installed later, and the size and weight of the electric motor. The only original remaining parts will be the tires and brakes, suspension and interior, as well as the systems that are powered by electrical power by default, like the infotainment system, safety system etc.

The transmission may or may not be removed, depending on the client preferences. Most vehicles that have one axle moving the vehicle, have their transmission taken out, and instead, an electric motor is directly linked to the wheels. However, if a vehicle has an all-wheel-drive system installed, an adaptor can be made so that the electric motor will be connected to the clutch, and therefore, the car’s original differential. On the other hand, the differential and transmission can be taken out, and be swapped with a two (one per axle), three (two upfront and one rear axle) or four (one per each wheel) motor setup.

An ideal electric vehicle conversion is when the whole process is reversible. In other words, the original internal combustion powertrain can be installed back in the original body, without any major modifications.

2.2 Choosing the right type and size of battery, motor and charger

As a vehicle specifically designed to house its original internal combustion components, the installment of the new parts depend on a few factors. First there are a lot measurements to be made in order for a certain motor or battery module to fit in the car’s existing mounts. Most often, the mounts that will hold the internals in the soon-to-be-electric vehicle have to be custom made. Components weight, size and need for accessories (for example cooling pads and systems, auxiliary cables and control units). One thing that must not be ignored is the vehicle’s overall center of mass – any major changes may put excessive pressure on certain tire or axle, and may eventually lead to additional work to strengthen the original suspension components.

2.3 Electrifying the original non-electric systems

In conventional vehicles, most of the systems that control the vehicle are operating on hydraulic pressure, and/or belts driven. Such systems include power braking and steering, air-conditioning. Most often, electronically controlled systems are installed, as they require less labor and time to be installed, and are cheaper.

2.4 Installing battery management system, charger and sensors

The electric drive system shares only a few common sensors and input data with its conventional counterpart. Conventional systems rely on pressure, temperature, various gas concentration, the engine’s rotations per minute (RPM) current gear etc. The electric one doesn’t have an engine, so a lot of sensors have to be readjusted to read and to show the needed and correct information that will serve the vehicle in a useful manner. On the other hand the Battery Management System (BMS) requires information about the internal temperatures, voltages, currents and resistances on the individual components, in order to reliably and safely operate the entire vehicle.

2.5 Integration

Auxiliary systems, like entertainment systems, power electronics, airbags, alarm and locks are integrated with the new sensors input. Integration is often done on the original vehicle’s computer, mostly to preserve the original setup and characteristics of a vehicle. This is the most time consuming and labor intense part of the entire project.

Most car manufacturers do not put up their information to be readily available, so more often, certain parts of the normal operation have to be reverse engineered and/or the system to be “fooled” into having an ICE running.

However, integration is the most difficult for the first car of a certain car manufacturer or model, so the whole process is often more cost effective when converting a fleet of vehicles, or many similar car models from a single manufacturer. This is the main reason why local electric vehicle conversion shops will happily offer to convert a classic car, but at the same time be a bit hesitant about converting a modern car to electric.

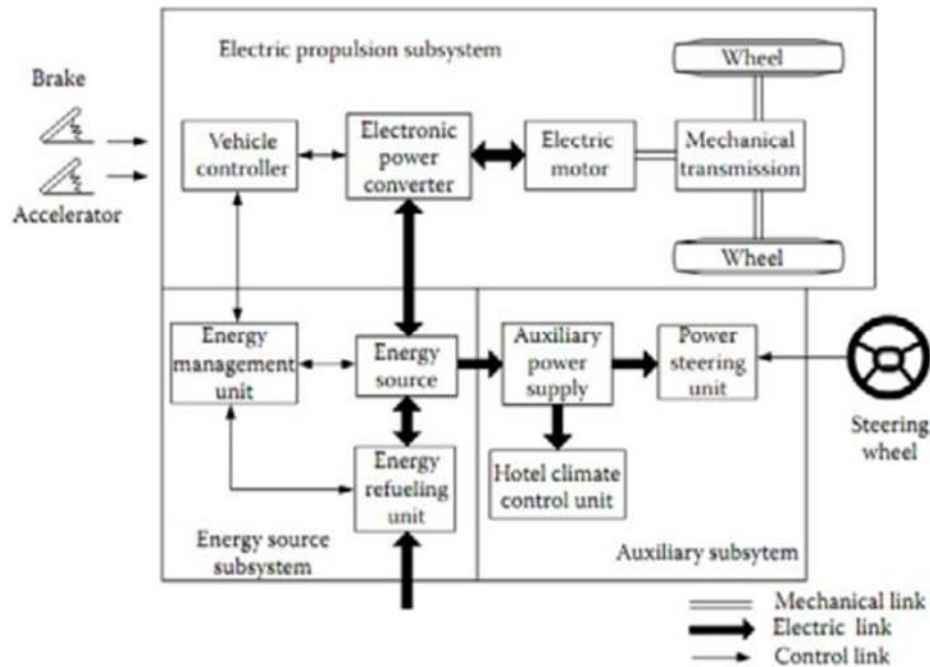


Figure 1 Illustration of a general configuration of an electric vehicle

3 CHOOSING THE CORRECT ELECTRICAL CONTROLS

The two crucial components that make up the overall performance, reliability and cost are the onboard charger, electric motor and battery. Nowadays, most of the components come in a bundle that include all the necessary connectors and cables that a certain motor and/or battery system needs in order to run smoothly and efficiently.

3.1 Choosing the vehicle's battery

Electric storage units, commonly referred to as batteries, have been around for a lot longer than we think. In fact, the first electric vehicle with an on-board rechargeable lead-acid battery was produced as early as 1859. But early models of the batteries proved too expensive and heavy to be mass produced, compared to the cheap-to-run gasoline. This resulted in a very limited, but consistent use of a range of different types of electric vehicles, from wheelchairs to bicycles, from forklifts to electric pick-up truck, and as stationary energy storage. Below is a chart showing what types of batteries, and their energy capacity are mainly used in different types of vehicles. The data in the chart below shows an average estimate, and numbers may vary depending on individual vehicle or manufacturer.

EV manufacturers calculate the driving range under the best conditions and according to reports, the distances traveled in the real-world can be 30–37 percent less than advertised. This may be due to the extra electrical loads such as headlights, windshield wipers, as well as cabin heating and cooling. Aggressive driving in a hilly countryside lowers the driving range further. [1].

Application	Chemistry	Capacity	Cost/kWh (est. EUR)	Battery price (EUR)
E-bicycle	Li-ion	360Wh	1,100	350-450
Starter	Lead acid	0.5-1kWh	145	110
Golf car	Lead acid	8kWh	110	655 (set)
Forklift	Lead acid	18kWh	150	2750
Stationary	Lead acid	Small to large	180	45.000 typical
HEV	NiMH, Li-ion	1-2kWh	455	1.500–3.000
PHEV	NiMH, Li-ion	5–15kWh	455	9.000–11.000
EV	Li-ion	20–90kWh	210-310	9.000–28.000

Chart 1 Battery capacity and price differences in various uses

Different automakers use different technologies that they developed via partnerships, or in-house, depending on their desired products characteristics. The makers of Nissan and BMW EVs use the proven lithium-manganese (LMO) battery with a NMC blend, packaged in a prismatic cell. (NMC stands for nickel, manganese, cobalt.) Tesla uses NCA (nickel, cobalt, aluminum)

The large 90kWh battery of the Tesla S Model (2015) provides an unparalleled driving range of 424km, but the battery weighs 540kg, and this increases the energy consumption to 238Wh/km, one of the highest among EVs.

In comparison, the BMW i3 is one of the lightest EVs and has a low energy consumption of 160Wh/km. The car uses an LMO/NMC battery that offers a moderate specific energy of 120Wh/kg but is very rugged. The mid-sized 22kWh pack provides a driving range of 130–160km

The cost of automotive lithium-ion batteries has fallen from about €1,000/kWh to a bit more than €100/kWh today. These cost reductions are attributed to incremental improvements in battery design and manufacturing efficiency, but few are credited to better battery chemistry. To further reduce cost, better battery chemistries are needed.

3.2 Choosing an electric motor

Selection of the traction motor for an electric vehicle system is a crucial step in designing the overall system. Many criteria such as efficiency, cost, reliability, power density, maturity of technology and controllability must be taken into consideration. In the industrial application point of view, the most common motors used in the electric vehicles are: DC motors, induction, permanent magnet synchronous, switched reluctance and brushless DC motors. AC motor drives have some distinct advantages over their DC counterparts, such as: higher efficiency, higher power density, effective regenerative braking, robustness, reliability and less need of maintenance. DC motors are losing their attraction, while switched reluctance motors are performing really well compared to the AC motors.

The electric motor also has option to be used. Below is a table showing the overall characteristics of different motors: DC motor (DC), Induction motor (IC), Permanent magnet motors (PM) and Switched reluctance motors (SRM) [2].









<i>Propulsion Systems</i>				
	DC	IM	PM	SRM
<i>Characteristics</i>				
<i>Power Density</i>	2.5	3.5	5	3.5
<i>Efficiency</i>	2.5	3.5	5	3.5
<i>Controllability</i>	5	5	4	3
<i>Reliability</i>	3	5	4	5
<i>Technological maturity</i>	5	5	4	4
<i>Cost</i>	4	5	3	4
Σ Total	 22	 27	 25	 23

Figure 2 Evaluation of different traction systems for electric vehicles

3.3 Battery charger

One of the greatest challenges regarding electric vehicles is its energy transfer rate i.e. the time needed for a battery to be recharged. This process is rather slow, compared to the conventional vehicles that are in use today. That is why choosing a correct type of charger for an electric vehicle conversion is a big and crucial part of the overall project.

Often referred to as different charging modes, each of these present a set of different parameters, and in terms of power (and time needed for a battery recharge), the difference is exponential.

Mode 1 charging uses the standard power outlet without any further safety equipment. For Mode 2 charging the charging cable that connects the electric vehicle and the standard power outlet is equipped with an in-cable control and protection device charging a permanently installed wallbox (Electrical Vehicle Supply Equipment, or EVSE) is needed. Mode 4 is DC charging with an external charging device. The charging operation is controlled by the vehicle. The external charger communicates with the car to set the right charging voltage and current. For charging Mode 4 the connection cable between the vehicle and stationary charger is fixed permanently to the charging point. The connector pins have to be rated for currents above 100 A, and the connection has to be locked during the charging operation [3]. The differences in rated power, current and estimated charging time are shown in Chart 2.

Charging mode	Maximum current	Max. charging power	Charging time for recharging ca. 20 kWh
Mode 1	16 A ac, 1-phase	3.7 kW	5 h
Mode 2	32 A ac, 3-phase	22 kW	1 h
Mode 3	63 A ac, 3-phase	44 kW	0.5 h
Mode 4	400 A dc	approx. 200 kW	6 min

Chart 2 Overview on charging modes in IEC 61851-1

3.4 Other components

The rest of the electric power and drive train consists of an adaptor plate – a plate that mates the engine and transmission; Motor Control Unit (MCU), a potbox – an electric throttle body attached to the existing accelerator cable; main contactor – serving the same purpose as an ignition switch; circuit breaker and main fuse; DC/DC converter – used for charging the accessory 12 V battery.

4 COST COMPARISON BETWEEN A CONVERTED ELECTRIC VEHICLE AND THE ORIGINAL CONVENTIONAL VEHICLE

4.1 Vehicle of choice

The vehicle chosen for this comparison is a vehicle most commonly used in many fleets by many companies, both private and state-owned: Dacia Duster. It currently is considered Europe's cheapest SUV that offers all-wheel-drive. The model that will be compared is the 1.5 dci 4x4, using diesel as fuel.

The converted electric vehicle is with parts to match the performance of the conventional vehicle, and range sufficient for extensive daily use, the way which most fleet vehicles are used. The electric motor is connected to the transmission through an adaptor plate, in order to make the same end result: one power sources powering all four wheels through the factory all-wheel-drive system.

	CONVENTIONAL VEHICLE	ELECTRIC CONVERSION
TOTAL WEIGHT (KG)	1455	1455
PEAK POWER (HP)	116	120
PEAK TORQUE (NM)	260	219
ESTIMATED RANGE ON A FULL CHARGE (KM)	212	943

Chart 3 Performance comparison between a conventional and converted electric vehicle

The assumptions are that an ICE with its essential running components (oil lubrication and water coolant systems) weigh 250 kg. On the other side, the conversion consists of NetGain HyPer9 HV AC Motor powered by 31kWh Tesla Model S Lithium Ion Battery, weighing in at 215 kg [5]. With the other components installed, it is safe to say that both vehicles will weigh the same, as the conventional vehicle uses fuel (diesel) to run. Performance figures are compared in the chart above.

The range of an individual vehicle can be extended by installing more battery modules, thus costing and weighing more.

4.2 Cost comparison

Both vehicles are compared after 150.000 km of driving, and both are with the same options package. In order to accent the Return of Investment of the electric vehicle conversion as the only variable, a vehicles tires and brake changes are neglected, as well as other maintenance costs that both vehicle will use throughout the certain driving

period. Assuming both vehicles do not get involved in an accident and there is no major service or part replacement needed, the vehicles' costs are displayed below.

The costs for the electric conversion are the following:

Item	Cost (EUR)
Battery pack (6 Tesla Model S 18650 5 kWh modules) & Battery Management System	8626
Electric motor (NetGain HyPer9 HV AC Motor, 120 hp)	3776
Controller, DC/DC convertor, throttle control, charger, cooling & heating system & mounts, Transmission Adapter Kit	2912
Electrical energy (at median rate of 0.072EUR/kWh)	743
Original ICE powertrain	-2500
Total	13556

Chart 4 Conversion cost and maintenance

On the other hand, the prices of regular maintenance for the first 150.000 km of a vehicle are: oil change (every 10.000 km), oil,air and fuel filters (every 10.000 km), timing belt (every 30.000 km). Adding the cost of diesel with an average fuel economy of 5,3l/100km, equal to [5]:

Item	Cost (EUR)
Oil change	450
Filters	300
Timing belt change	525
Diesel (1,05 EUR/l)	8347
Total	9622

Chart 5 Conventional vehicle - fuel and maintenance

4.3 Improving the cost effectiveness of an electric vehicle conversion

Currently, our country subsidizes the electrical energy needed to charge electric vehicles, which decreases the cost difference by 25%. Current laws offer 5.000 EUR as financial aid towards buying a new electric vehicles, but do not mention any information if a vehicle is converted to electric. If our country starts to follow recent EU trends, like paying reduced registration and insurance fees, or tax breaks, in order to stimulate electric vehicle use, this conversion will end up as more cost effective vehicle.

One more crucial factor to take into consideration is the part integration. This is a time and resource consuming process – the vehicles of today became much more complex, featuring many systems that make a vehicle operate much safer and more efficient, but becoming more complex in nature. But this process is tough for the first vehicle of a certain model and brand. That is why, in a fleet conversion, once the first vehicle is completed, every other vehicle will be completed in much less time and labor cost.

5 CONCLUSION

The trend of converting classic cars to electrical vehicles started recently. However the possibilities for EV conversion are endless. This process can transform the vehicle market as any conventional vehicle can become a candidate for conversion. Just by using current technologies we can create our own electric vehicles. We can tailor the range and power we need, and whether we want two-wheel drive or all-wheel-drive. Although currently the cost of converted vehicle is higher compared to a similar size conventional car, it is expected that the price for the battery pack and for the charging equipment will be soon reduced. At the same time the EVs are superior choice in terms of reduced emissions and noise.

6 REFERENCES

- [1] <https://batteryuniversity.com/learn>
- [2] Nasser Hashernnia and Behzad Asaei “Comparative Study of Using Different Electric Motors in the Electric Vehicles” , Dept. of Electrical and Computer Eng., University of Tehran, October 2008, pages 1-3
- [3] B. Lunz, D.U. Sauer “Electric road vehicle battery charging systems and infrastructure” , 2015
- [4] EV West https://www.evwest.com/catalog/product_info.php?cPath=4&products_id=463
- [5] Dacia <http://dacia.mk/postprodaja/odrzavanje-vozila>

Viktor Sapundžiovski ¹, Bojan Tanevski ², Mentor: Prof. Dr. Snezana Cundeva ³

^{1 2 3} Faculty of electrical engineering and information technologies, Skopje

¹ viktor.sapundziovski@gmail.com

² bukatanki@hotmail.com

CALCULATION OF CHARGING TIME FOR ELECTRIC VEHICLES FOR TWO DIFFERENT TYPES OF CHARGERS

ABSTRACT

The aim of this paper is to enhance the improvements that could be made in the future, regarding the electric vehicle charging stations in North Macedonia. The public charging stations that are currently installed in North Macedonia are Wallbe Pro and Wallbe Pro Plus and they have a maximum power output of 22 kW. On the other hand Porsche's high power charging stations have a maximum power output of 350 kW. The paper deals with two different scenarios, for two different charging station types in order to travel across the county, to get from Skopje to Ohrid. The first scenario accounts that the driver makes stops at Tetovo, Gostivar and Kichevo and the second one that he only makes one pit-stop in Gostivar. Both scenarios require the driver to start his journey by filling up the battery of the car in the charging station in Skopje - "Skopje City Mall".

Key words: charging station, electric vehicle, future, Porsche

1 INTRODUCTION

Electric Vehicles (EVs) are undoubtedly the future of transport worldwide. Sales of new electric cars worldwide surpassed 1 million units in 2017 – a record volume. This indicates a growth in new electric car sales of 54% compared with 2016. Electric cars accounted for 39% of new car sales in Norway in 2017 – the world's most advanced market of electric cars in terms of sales share. The global stock of electric cars surpassed 3 million vehicles in 2017 after crossing the 1 million threshold in 2015 and the 2 million mark in 2016. It has expanded by 56% in comparison with 2016 as it is shown in Figure 1. In 2017, China had the largest electric car stock: 40% of the global total [1]. As a result of new technologies, the electric vehicle industry is growing rapidly. This has led to EVs that can go further per charge, for less money than traditional conventional vehicles.

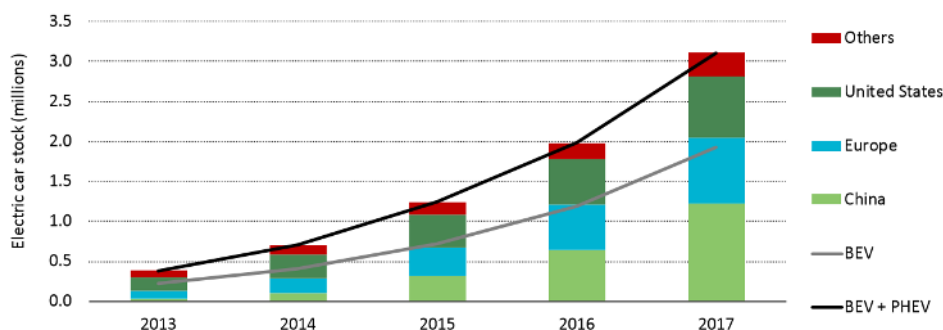


Figure 1 Evolution of the global electric car stock

An EV is a vehicle propelled by an electric motor instead of a combustion engine. The electric motor is powered by rechargeable batteries that can be charged using household mains electricity via an EV charge point at home, or at a more powerful EV charge station at work, or in the street. There are a few types of EV technology, the most common being plug-in electric hybrid vehicles (PHEV), range extender electric vehicles (REEVs) and battery electric vehicles (BEVs). Battery electric vehicles use electricity, which is stored in a battery pack to power an electric motor and turn the wheels. When depleted, the batteries are recharged using grid electricity from a allocated charging unit. The charging of the battery is done by plugging it into the charging unit or charging station, similar to charging a mobile phone. Furthermore the majority of today's EVs can travel about 160-210 kilometers per charge, though some of the more expensive models have a range of up to 530 kilometers per charge [2].

Electric vehicles are similar to battery powered electronic devices (like a phone or a tablet), therefore they are designed to be charged when they aren't being used. This means that the owner should charge the vehicle's battery overnight or whilst at work; consequently, concerns about the range EVs can go before being recharged isn't as big of an issue as it used to be. The public charging stations vary in their power output - from 22 kW to an outstanding 270 kW [3]. The most renowned charging station companies in the world include Electrify America, Tesla, Wallbe etc.

2 THE FUTURE OF ELECTRIC VEHICLES

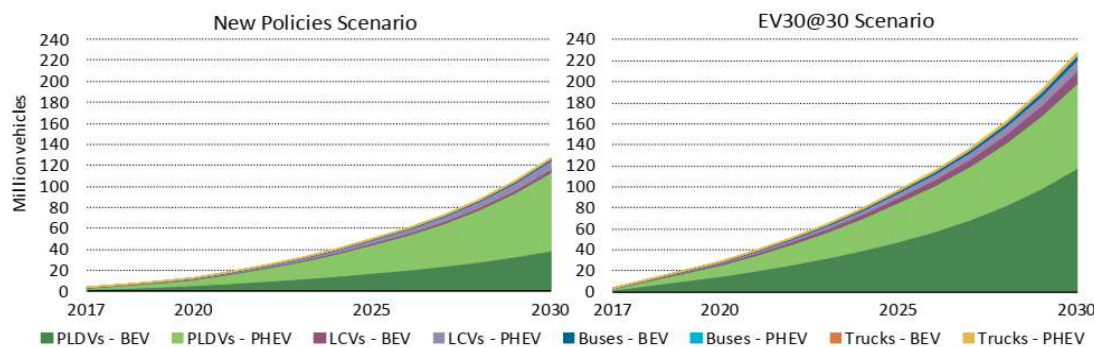
This section presents the outlook for the deployment of electric vehicles in the period to 2030 in two scenarios:

The New Policies Scenario (NPS) is the central scenario of the International Energy Agency's World Energy Outlook. The scenario incorporates the policies and measures that governments around the world have already put in place, as well as the likely effects of announced policies that are expressed in official targets or plans.

The EV30@30 Scenario which is consistent with the ambitions pledged by Electric Vehicles Initiative countries in the EV30@30 Campaign Declaration (2017). In this scenario, the EV30@30 target – the 30% market share of EVs for LDVs, buses and trucks collectively – is met at the global level. If accompanied by a reduction of the carbon intensity of power generation exceeding 50% by 2030, this goal is in line with the Paris Agreement, as growth in the market uptake of EVs continues after 2030 (IEA,2017)

The New Policies Scenario projects a global stock of EVs of 13 million vehicles by 2020 (up from 3.7 million in 2017) and nearly 130 million vehicles by 2030 (excluding two- and three-wheelers) shown in Figure 2. Sales of EVs in 2020 are estimated at about 4 million (up from 1.4 million in 2017) and will increase to 21.5 million by 2030. This corresponds to a 24% average year-on-year sales growth over the projection period.

The EV30@30 Scenario projects a global stock of 228 million EVs by 2030 (excluding two- and three-wheelers) also shown in Figure 2, which is roughly 100 million more in 2030 than in the New Policies Scenario. Achieving these levels requires a rapid scale up and geographical expansion of policy commitments, starting as soon as possible.



Notes: PLDVs = passenger light duty vehicles; LCVs = light commercial vehicles; BEVs = battery electric vehicles; PHEV = plug-in hybrid electric vehicles.

Figure 2 Global EV stock by scenario 2017-2030

3 PORSCHE'S VISION

The company Porsche is constantly working on the expansion of the charging infrastructure. One important prerequisite has already been established: the Taycan, the first purely battery-powered Porsche sports car that works with an 800-volt battery. In order to be able to make use of these technical possibilities in the public sphere, Porsche is pushing the expansion of a fast-charging infrastructure. The company is pursuing three options: Firstly, charging at home—possible with a charging station, or inductively via a base plate in the floor. Secondly, charging in cities—possible through existing infrastructure. And lastly, charging along the main traffic arteries in Europe. IONITY is a network for high-power-charging electric vehicles to facilitate long-distance travel across all Europe. Together with the BMW Group, Daimler AG, the Ford Motor Company and the Volkswagen Group with Audi, Porsche is laying the groundwork for the establishment of a powerful fast-charging network for electric vehicles in Europe. The construction and operation of around four hundred fast-charging parks by 2020 are important steps toward making electro mobility viable for long-distance routes as well, thus establishing itself on the market. Every fast-charging park will have multiple charging points, ensuring that a vehicle can be charged every 100 to 150 kilometers along the European road network. The growth of the number of electric vehicles will result in the expansion of the infrastructure, which in turn will allow customers access to thousands of brand- and capacity-independent "high-power charging" (HPC) points by 2020. The charging capacity of up to 350 kilowatts per charging point enables accordingly designed vehicles to achieve significantly shorter charging times compared to the systems available today. Porsche and its development subsidiary Porsche Engineering are pursuing a modular in-house concept for ultra-fast charging parks. Whether it's individual stations in the countryside or dozens of charging stations along highways, the solution is an intelligent system with practically unlimited scalability which is important to making charging parks efficient and profitable. For Porsche customers, the main priority is being able to charge their vehicle rapidly even where the local power grid is weak. That is now possible due to intermediary buffer batteries, which always have enough capacity on hand. Specifically, this results in fast charging in approximately fifteen minutes for a range of four hundred kilometers at every Porsche charging point.

The solution from Porsche can, incidentally, be used universally for any electric vehicle. The control electronics detect its type and reduce the charging current if the model isn't designed for fast charging.

4 TRAVELING WITH THE ELECTRIC VEHICLE -TAYCAN TURBO

One of the aims of this paper is to show how much time is needed to charge an EV using the public charging stations that have been installed by the distribution network operator in North Macedonia, as well as Porsche's super-fast chargers in order to travel from the City of Skopje to Ohrid. The calculations for the following two scenarios are made with the direct current (DC) charging method.

The vehicle trajectory consists of leaving Skopje from the location "Skopje City Mall" (where currently there is a public charging station) and travelling to Ohrid. Along the way, there are pit-stops for an optional additional charge in Tetovo, Gostivar and Kichevo. Table 1 contains the exact distances between all five charging stations according to their location using Google Maps.

Relation	Distance
Skopje City Mall – Tetovo	40 km
Tetovo – Gostivar	26 km
Gostivar – Kichevo	46 km
Kichevo – Ohrid	63 km

Table 1 Distance between charging stations

A map of the installed charging stations and their exact locations in North Macedonia is displayed in Figure 3.

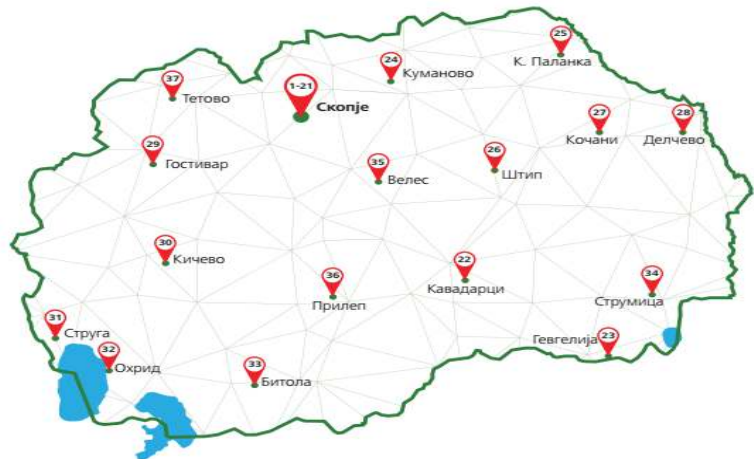


Figure 3 Map of all the charging stations in North Macedonia

5 PUBLIC CHARGING STATIONS

The public charging stations in The Republic of North Macedonia are fully supplied and equipped, having a power output of 22 kW per vehicle, they are well ahead of the current needs in the country considering the number of EVs. This information, combined with the Porsche vehicle specifications indicate that the vehicle needs a charge time of 50 minutes using the the Wallbe Pro Plus charger in order to travel a distance of 100 km (charge time of 1 minute for a 2 km distance). The 22kW Wallbe Pro Plus charger is shown on Figure 4.



Figure 4 Wallbe Pro Plus charger

In the following part it is assumed that the EV arrives at the charging station in Skopje City Mall having a remaining distance of 18.5 km. That number is calculated by the given data from Porsche, which is 5% of the long-distance range of 370 km by the vehicle. Table 2 presents a scenario where the driver travels from Skopje City Mall to Ohrid, making stops at Tetovo, Gostivar and Kichevo, whereas Table 3 presents an outcome where the EV makes only one pit-stop in Gostivar. Both scenarios require the driver to start his journey by filling up the battery of the car in the charging station “Skopje City Mall”.

Summary of kilometers before charge	Charging station	Charge length	Summary of kilometers after charge
18.5	Skopje City Mall	25 min (50 km)	68.5
28.5	Tetovo	10 min (25 km)	48.5
22.5	Gostivar	20 min (40 km)	62.5
16.5	Kichevo	30 min (60 km)	76.5
13.5	Ohrid	/	/

Table 2 Scenario 1: Skopje-Ohrid 22 kW power output of the charging station

Summary of kilometers before charge	Charging station	Charge length	Summary of kilometers after charge
18.5	Skopje City Mall	35 min (70 km)	88.5
25.5	Gostivar	50 min (100 km)	124.5
15.5	Ohrid	/	/

Table 3 Scenario 2: Skopje-Ohrid 22 kW power output of the charging station

The comparison of the results in Table 2 and Table 3 show that the total charging time of the EV is approximately 85 minutes long regardless of the number of stops.

6 PORSCHE'S CHARGING STATIONS

The new generation Porsche charging stations are designed for 800-volt technology which allows a maximum power output of 350 kW. Moreover they are downward-compatible for all vehicles on the market with 400-volt technology. The first set of calculations, displayed in Table 4 and Table 5 are concerned with the so-called “worst-case scenario”, where the power output of the charging stations is 50 kW. The other set, displayed in Tables 6 and 7 is concerned with the “best-case scenario”, with maximum possible power output that the Taycan can handle - 270 kW.

In the same manner as before, the calculations are based on two scenarios, one where the driver travels from Skopje City Mall to Ohrid, making stops at Tetovo, Gostivar and Kichevo (presented in Tables 4 and 6) and the other where he only makes one pit-stop in Gostivar (Tables 5 and 7). Both scenarios require the driver to start his journey by filling up the battery of the car in the charging station “Skopje City Mall”.

6.1 Worst-case scenario- power output of 50 kW (1min ~3.6km)

Summary of kilometers before charge	Charging station	Charge length	Summary of kilometers after charge
18.5	Skopje City Mall	15 min (55 km)	73.5
33.5	Tetovo	5 min (18 km)	51.5
25.5	Gostivar	10 min (36 km)	61.5
15.5	Kichevo	20 min (72 km)	87.5
24.5	Ohrid	/	/

Table 4 50 kW power output charge, making 3 stops

Summary of kilometers before charge	Charging station	Charge length	Summary of kilometers after charge
18.5	Skopje City Mall	20 min (72 km)	91.5
24.5	Gostivar	28 min (100 km)	124.5
15	Ohrid	/	/

Table 5 50 kW power output charge, making 1 stop

The total charge time for the Taycan Turbo in this situation is around 48-50 minutes. A model of Porsche's high power charging stations is shown in Figure 5.



Figure 5 Porsche charging station

6.2 Best-Case Scenario – power output of 270 kW (1 min = 20 km)

Summary of kilometers before charge	Charging station	Charge length	Summary of kilometers after charge
18.5	Skopje City Mall	2 min (40 km)	58.5
18.5	Tetovo	1.5 min (30 km)	48.5
22.5	Gostivar	2 min (40 km)	62.5
16.5	Kichevo	3.5 min (70 km)	86.5
23.5	Ohrid	/	/

Table 6 270 kW power output charge, making 3 stops

Summary of kilometers before charge	Charging station	Charge length	Summary of kilometers after charge
18.5	Skopje City Mall	3.5 min (70 km)	88.5
22.5	Gostivar	5 min (100 km)	122.5
13.5	Ohrid	/	/

Table 7 270 kW power output charge, making 1 stop

Using the best-case scenario calculations, getting from Skopje City Mall to Ohrid will only require an extremely short total time of 8-9 minutes charging. With the rise of the EV industry, by the year 2030 implementing this kind of charging stations should become a necessity.

7 CONCLUSION

The near future will provide an increase of the number of EVs, therefore resulting in crowded parking lots with charging vehicles. However, by upgrading the charging stations and reducing the charging time for the vehicles, the crowd will disperse. Regarding the situation in North Macedonia, the future may not bring a big step-up regarding the number of EVs, yet it will provide carefree travelling for tourists who are passing through the country. The passengers would not have to deal with driving at lower speed in order to lengthen the range of the batteries as a result of the short distance between the charging stations locations. This will result in promoting ecofriendly EV travelling on the motor ways in North Macedonia. The advancement of new technology has allowed the use of EVs to become more feasible for long distance travel. Some of the most advanced EVs, such as the Taycan Turbo, can easily travel long distances with the given network of charging stations located in Europe. Not only can these EVs travel the distance, but they also save money on gas and help promote sustainable travel. However, these vehicles come with a high price tag, which can be unacceptable for most people worldwide. In fact, the biggest obstacle to the trend of electric-powered transportation is cost related, as gasoline and the vehicles that run on it are readily available, convenient, and less costly. Charging time for the vehicles is also a factor that takes place in the decision for purchasing an EV. The idea of this paper is to present that there are models of EVs where charging time isn't a concern. The results from the analysis show that with implementation of the latest technology, an EV can cover nearly 20 km with only one minute of fast charging. Health benefits, safety improvements and helping the environment are just a few of the many reasons to overcome any cost related issues and tent towards a cleaner future.

8 REFERENCES

- [1] "Executive Summary", Global EV Outlook 2018, IEA, France, 30/05/2018.
- [2] "Electric cars: Everything you need to know", The Guardian, 26/07/2017
- [3] Name of the author, „Mission E“, https://newsroom.porsche.com/en/products/porsche-taycan-mission-e-drive-unit-battery-charging-electro-mobility-dossier-sportscar-production-christophorus-387-15827.html?gclid=CjwKCAjw8ZHsBRA6EiwA7hw_sdpbrsi7dGUVHbtFdCsxPDaM1962Y02ioSNHPI2Sp4KQUzXcgNCRXRoC7EgQAvD_BwE&gclsrc=aw.ds, 30/07/2018.

D. ENERGY EFFICIENCY, AUTOMATION AND MEASUREMENTS

Milan Stojanović¹, Nikola Mitrović², Ljubomir Vračar, Danijel Danković

Faculty of Electronic Engineering, Nis, Serbia

¹milan.stojanovic@elfak.ni.ac.rs ²nikola.mitrovic.nis@gmail.com

DESIGN AND REALIZATION OF SOLAR CELL MONITORING SYSTEM

ABSTRACT

This project aims to develop a system for solar cell parameters monitoring under various conditions using PIC microcontroller 18F45K22. In this research, four parameters that have been measured are temperature, light intensity, open circuit voltage (V_{OC}) and short circuit current (I_{SC}). The temperature of the solar cell surface was measured using temperature sensor LM35, light intensity delivered to cell was measured using sensor APDS9005. The open circuit voltage was measured using the voltage divider, while the short circuit current was measured using the current sensor module based on INA213. These parameters present input values for the microcontroller, where the values are stored and calculations are done. For this cause, circuits for all of the sensors are designed, centered around microcontroller. Calibrated and calculated results are shown in the display screen which presents the output of the system. Display enables continuous reading of ambient conditions and output characteristics. Parameters of several different solar cells are measured under certain condition and further discussed. The purpose of this system is to measure and monitor solar cell parameters in real-time through multiple sensor data acquisition.

Key words: solar cell, monitoring, PIC microcontroller.

1 INTRODUCTION

This paper gives insight in simulation of laboratory measuring of solar panel parameters, known as measuring under standard test conditions [1]. Amount of light delivered to the solar cell directly determines output parameters, specifically current. On the other hand, since the solar cells are mostly made of semiconductor materials, they are very temperature dependant. Therefore, for nominal purposes, there was a need that some light parameters be declared as standard, so that different types of solar cells can be adequately compared. With the process of measuring tending to give as much as accurate results as possible, specific environment for the measurement has to be designed first. An industry-wide standard for indicating solar cells performance is adopted and named STC (Standard Test Conditions). Under standard test conditions, cell is supplied with an irradiance of 1000 W/m^2 , at the cell temperature of 25°C and with an Air mass 1.5 (AM1.5) spectrum [2]. Irradiance declares power that Sun radiation delivers to the surface of Earth, while Air mass spectrum presents specific Sun spectrum created by „number of obstacles“ that Sun radiation overcomes to arrive to Earth surface. All of these conditions are artificially created in laboratories for obtaining appropriate parameters. Data given in solar cells and panels datasheets is usually measured under STC. This irradiance and temperature varies throughout the year depending on the seasons. It also varies throughout the day, depending on the position of the sun in the sky, and the weather. However, even if the weather conditions can make significant difference in panel output, range of values can be assumed and panel power output can be calculated.

Solar panel is composed of connected solar cells. Since the solar cell is essentially a p-n junction, solar cells can be connected in two ways. P-side of a cell to the p-side of other cell (parallel connection), and n-side of a cell to a p-side of other cell (series connection). Both types of connection lead to amplification of some output power, but, in great majority of cases, in solar panels, cells are connected in series. Serial connection of solar cells increases output voltage of the system, which is needed in most of cases, since the output voltage of a single solar cell is

mostly around 0.6-0.7 V. With complete characterization of a single solar cell, output parameters of a solar panel composed of described cells can be assumed.

Very important aspect of solar panel designing is connection between solar cells. Cell shape, packaging density, cell-panel size ratio can all impact output parameters, but most important and common effect is so-called mismatch effect [3].

Mismatch effect presents output voltage decrease because of different V_{OC} of solar cells out of which panel is composed (or some other cell property that leads to voltage difference). When generated open-circuit voltage is not same, or nearly same in every cell, part of the energy will be dissipated on cells with the lower V_{OC} .

2 CIRCUIT DESCRIPTION

To explore solar cell output characteristics, whole simulation chamber, whose structure is given in Figure 1, is designed. It consists of three units: Light source unit, Measurement unit and Control unit. Units are designed in two printed circuit boards (PCB), light source unit on one, and measure and control unit on second.

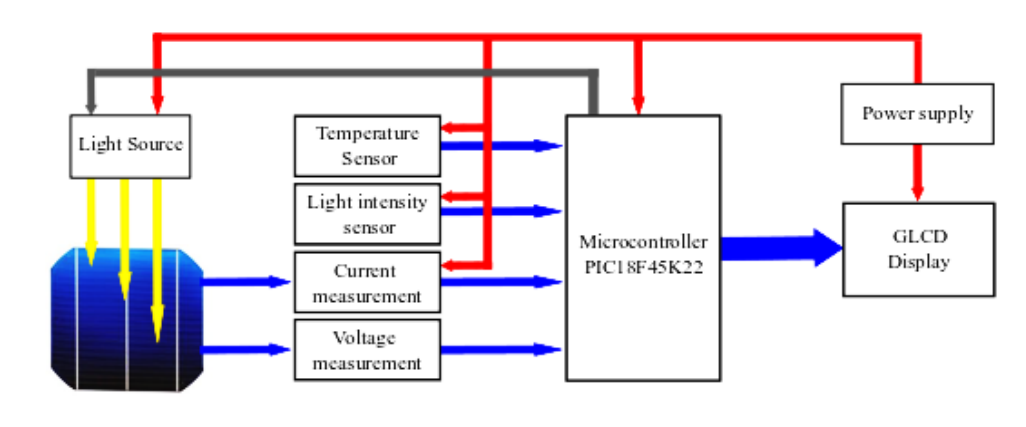


Figure 1: Structure of the simulation chamber.

Light source unit (shown in Figure 2) consists of 32 LE diodes that can produce light intensity in range to 2400 lx. It also consists of transistor Q_1 which is IRF520 NMOSFET [4], because of its switching characteristics. Transistor is connected to microcontroller, and its purpose is to turn on or off LE diodes.

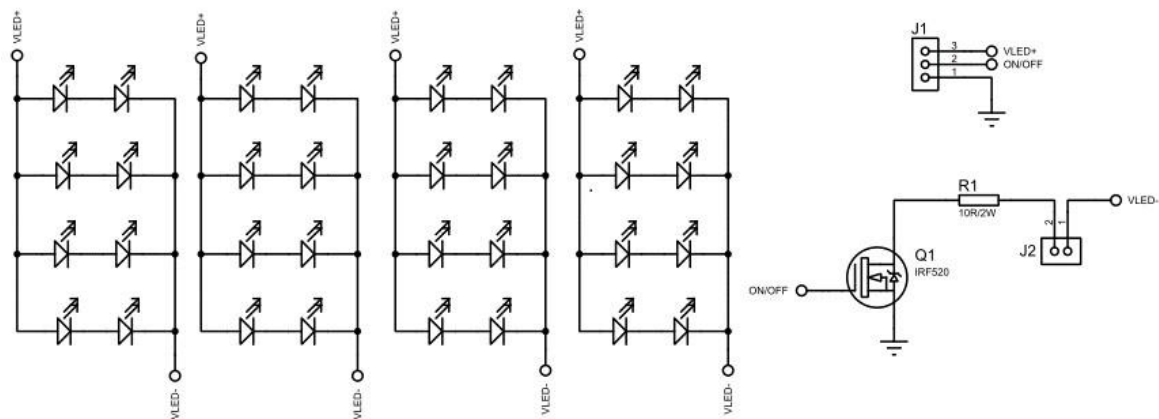


Figure 2: Schematic of light source unit.

A potentiometer is also added to control the light emission level of the LE diodes. Electrical circuit and PCB were designed using *Proteus software* [5]. Manufactured printed circuit boards are shown in Figure 3.

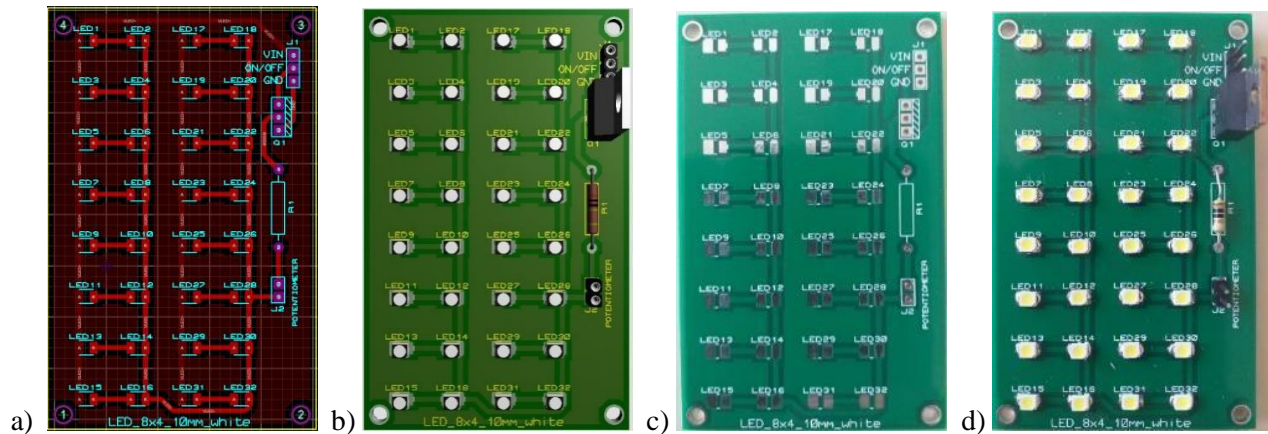


Figure 3: Light source unit: a) Design of PCB Layout using Proteus; b) 3D model of the Design; c) Manufactured PCB; d) Manufactured PCB with soldered components.

Measure and control unit are shown in Figure 4. Unit consists out of multiple parts, with accent on measuring subunits, although the heart of system is microcontroller PIC18F45K22 [6], programmed using *Proton IDE* [7]. Two most significant parameters of solar cell characterization are V_{OC} and I_{SC} . V_{OC} presents voltage between two ends of a solar cell for which circuit is open (no connections in between), while, I_{SC} presents current for which parts of solar cell are short circuited. During basic measurement, both voltage and current are measured on some resistance. So, to efficiently measure these parameters, some additions to basic electrical circuit must be added. In circuit shown in Figure 4, additions are two MOSFETs BSS138 [8] that have switching role in the circuit. Transistor Q_1 will ensure that measured voltage will be concretely V_{OC} by keeping the circuit open while the measurement is done. On the other hand, Q_2 , will ensure short circuit between parts of the cell, and thereby gives appropriate results for short circuit current measurement.

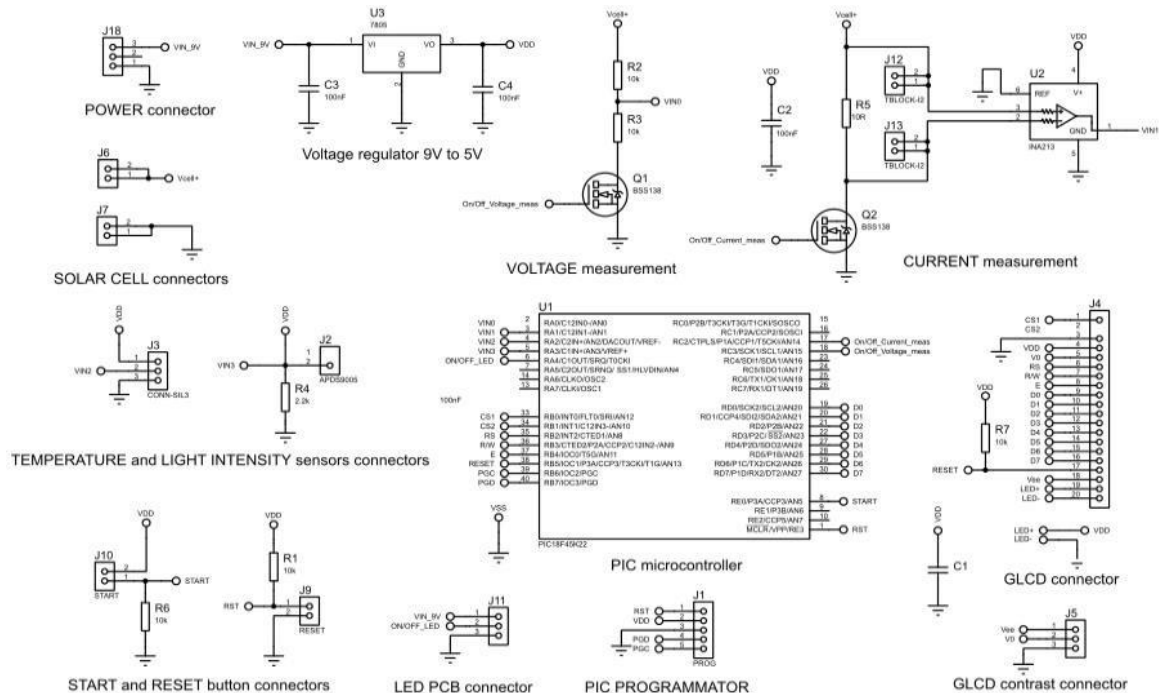


Figure 4: Schematic of measure and control unit.

3 SOLAR CELL CHARACTERIZATION PROCESS

Characteristics of solar cells shown in Figure 7 were measured using designed chamber. Cells are exposed to range of light intensity values, and the dependences of open circuit voltage and short circuit current on a specific temperature are acquired. Results are read on Graphical LCD [12] connected to PIC microcontroller.

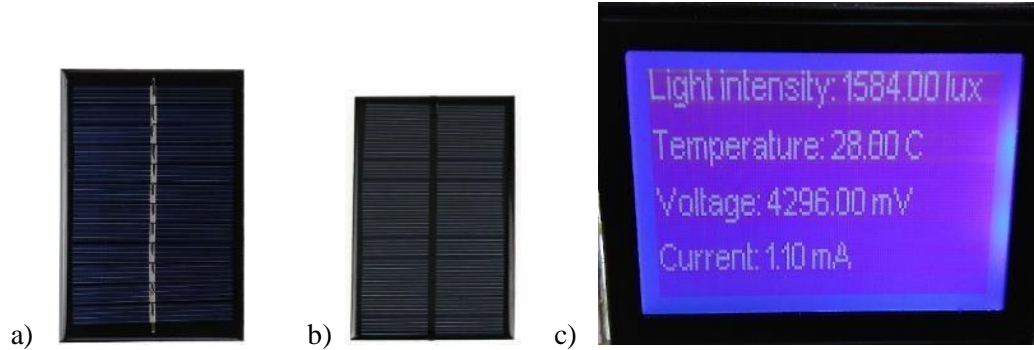


Figure 7: a) Characterized solar cell (90mm x 60mm); b) Characterized solar cell (80mm x 55mm); c) Read results on Graphical LCD.

Theoretical analysis suggest that light-open circuit voltage dependence should be exponential and light-short circuit current dependence should be linear [1-3]. Values of open circuit voltage and short circuit current were measured for ten different level of light intensity for two solar cells shown in Figure 7. Both solar cells are made from same material but they have different size. Measured values are represented graphically in Figure 8 which is plotted in the data analysis software.

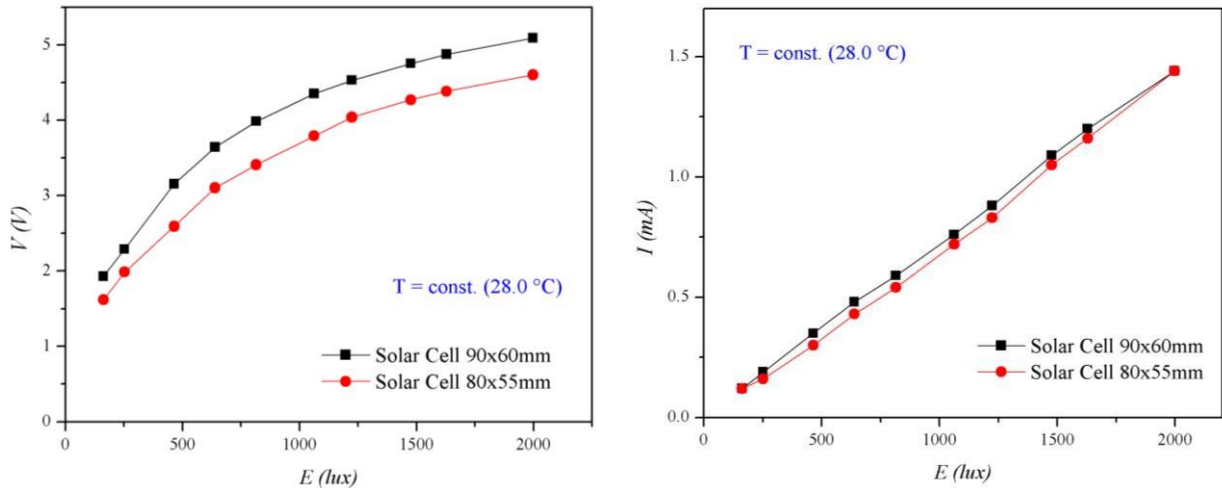


Figure 8: a) Plotted V_{oc} using software; b) Plotted I_{sc} using software.

Designed chamber can automatically store measured data and plot graph on Graphical LCD. Plotted graphs are given in Figure 9, and it can be seen that between those graphs and graphs from software exists major identities. All plotted data was measured at temperature of 28.00 °C.

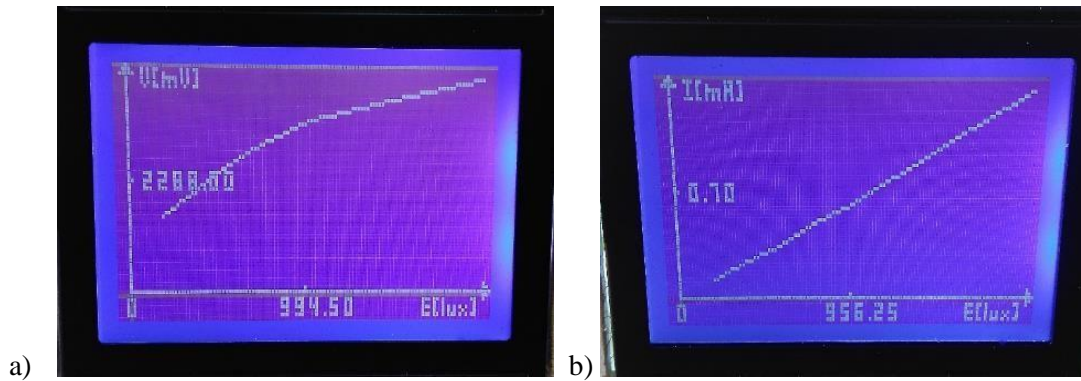


Figure 9: a) Plotted I_{sc} using chamber; b) Plotted V_{oc} using chamber.

With obtained results, a prediction of solar panel output power created of connections of characterized solar cell can be made. Considering ambiental weather conditions (temperature and irradiance), from provided graphs, it is possible to calculate exact power obtained from specific design of solar panel at specific conditions.

4 CONCLUSION

This paper describes the process of designing a simulation chamber for solar cell monitoring, as well as characterization process itself. Measured results show to be mostly in line with technical specifications, with minor anomalies. Future steps include addition to system through exporting measured values to .txt file, or some other text file format with goal to automatize graph plotting and calculations. Also, new research can be made to calculate differences between calculated output power of the panel made by characterized cells, and actual measured output parameters.

5 ACKNOWLEDGEMENT

Authors would like to express gratitude to their mentors for providing basic knowledge and support about PCB design, embedded programming and solar circuits. Also, authors are grateful to the Department of Microelectronics at the Faculty of Electronic Engineering in Nis, Serbia, for providing development parts and laboratory instruments.

6 REFERENCES

- [1] M. Zeman, K. Jäger, O. Isabella, A. H.M. Smets, R. A.C.M.M. van Swaaij, „*Solar Energy - Fundamentals, Technology, and Systems*“ Copyright of Delft University of Technology, Delft, Netherlands, 2014.
- [2] Elsevier House, „*Solar Energy Engineering - Processes and Systems*“, Amsterdam, The Netherlands, 2013.
- [3] C. Honsberg and S. Bowden, „*PVEducation*”. Available at: <https://www.pveducation.org/>, 27.09.2019.
- [4] IRF520 datasheet. Available at: <https://www.vishay.com/docs/91017/91017.pdf>, 27.09.2019.
- [5] Proteus software, Labcenter Electronics. Available at: <https://www.labcenter.com/>, 27.09.2019.
- [6] PIC18F45K22 datasheet. Available at: <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/40001412G.pdf>
- [7] Proton IDE, Crownhill Technologies. Available at: <http://www.protonbasic.co.uk/>, 27.09.2019.
- [8] BSS138 datasheet. Available at: <https://www.onsemi.com/pub/Collateral/BSS138-D.PDF>, 27.09.2019.
- [9] LM35 datasheet. Available at: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>, 27.09.2019.
- [10] APDS9005 datasheet. Available at: <https://docs.broadcom.com/docs/AV02-0080EN>, 27.09.2019.
- [11] INA213 datasheet. Available at: <http://www.ti.com/product/INA213>, 27.09.2019.
- [12] GLCD datasheet. Available at: <https://download.mikroe.com/documents/datasheets/glcd-128x64-datasheet.pdf>, 27.09.2019.

Petar Vidoevski ¹, Mentor: Prof. dr. Goga Cvetkovski ²

^{1,2} Faculty of Electrical Engineering & Information Technologies, Skopje

¹ vidoevski.petar@gmail.com

² gogacvet@feit.ukim.edu.mk

VAR COMPENSATION USING FLEXIBLE AC TRANSMISSION SYSTEMS (FACTS)

ABSTRACT

Reactive power (VAr) occurs when current and voltage are phased out. Some equipment like the electrical machines need reactive power to work also reactive power is important for regulating voltage. Too much reactive power can cause voltage drops, bad power factor, system instability. Compensation is the management of reactive power in the AC system to provide voltage and load support. FACTS are AC network based on power electronics (high power switches, transistor, thyristor) with the goal to enhance power control capabilities. The goal of this paper is to show the principle of work of FACTS, real life examples of their application and their benefits.

Key words: power factor, reactive energy, power electronics, AC

1 POWER TRIANGLE, REACTIVE POWER

Power triangle is a geometrical method to represent the apparent power (kVA), reactive power (kVAr), active power (kW).

The active power P (kW) is the useful power, the reactive power Q is the useless power, and the apparent power S (kVA) is the power we pay for. Power factor is the ratio of P and S , it shows us how much of the power we pay for are we using. The equations that express the power triangle are:

$$\cos \varphi = \frac{P(\text{kW})}{S(\text{kVA})} \sin \varphi = \frac{Q(\text{kVAr})}{S(\text{kVA})} \quad Q(\text{kVAr}) = S(\text{kVA}) * \sin \varphi \quad (1)$$

$$P(\text{kW}) = S(\text{kVA}) * \cos \varphi \quad S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2)$$

The max power factor is 1, but that is almost impossible to achieve. If the reactive power is increasing the power factor is getting lower, so the important question is what causes reactive power. Reactive power is caused by inductive or capacitive loads, there is a phase shift between the current and the voltage.

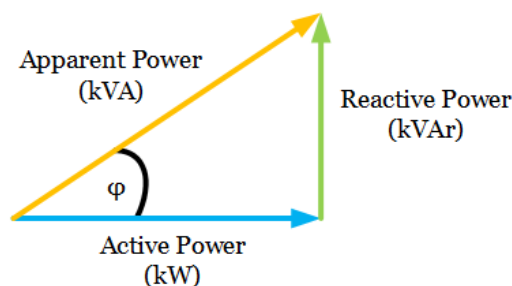


Figure 1: Power triangle

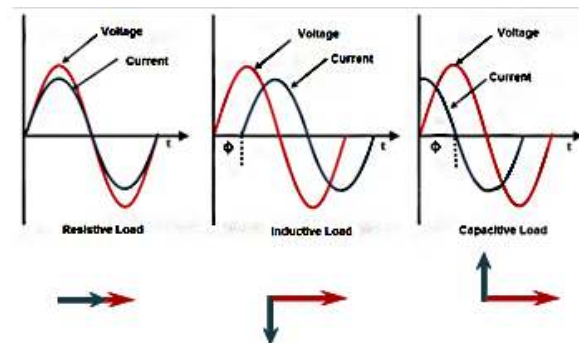


Figure 2: Sine forms and phasors of the different loads

In Figure 2 comparison is shown of the voltage and current sine between pure active, inductive and capacitive load and the respective phasors. In the inductive load the voltage is leading and in the capacitive load the current is leading. Reactive power is used to make the electrical machines work, to make active power transfer possible and for voltage stability.

If VAR is high more current it's drawn so bigger cables are needed, bigger penalties for using reactive power (economic losses), power losses in the electrical equipment, voltage drops. Var compensation is managing of reactive power so load compensation (improving power factor, improving harmonics) or voltage stability of the line is provided (maximum active power is transmitted). This is done by inserting capacitors (to generate reactive power if there is shortage) or inductors (to absorb reactive power if there is excess of reactive power) to the load or power line.

2 FACTS

Flexible AC transmission systems (FACTS) is a transmission system based of power electronics, high power semiconductor switching devices mostly thyristor and transistors. FACTS enhance the control capabilities of the system, improving stability, security and power quality of the system. FACTS are fusion of modern control technology and traditional power systems. They are one of the main research areas in today's engineering and with evolving will result with a drastic change of today's power system.

FACTS can be categorized as:

- Shunt compensation
- Series compensation
- Hybrid compensation

2.1 Series compensation

This compensation is used in long HV transmission lines. Series capacitor is connected to compensate for the induction in the line. The compensation improves the system stability (lower δ), improves impedance and control of voltage. The biggest plus is that series compensation gives to the network is increasing the transferred active power. U_s is sending voltage, U_r is receiving voltage, and δ is the phase shift between the phase voltages of the both sites of the line. The equation that express the power flow are:

$$P = \frac{U_s U_r}{X_l} \sin \delta \quad P_{comp} = \frac{U_s U_r}{X_l - X_c} \sin \delta = \frac{U_s U_r}{X_l(1 - K_c)} \sin \delta \quad (3)$$

$$K_c (\text{coefficient of compensation}) = \frac{X_c}{X_l} = 0 \leq K_c \leq 1$$

K_c is usually 0.8. If we derivative P_{comp} we can see how the change of K_c affects it.

$$\frac{dP_{comp}}{dK_c} = \frac{V_s V_r}{X_l(1 - K_c)^2} = \frac{P}{(1 - K_c)} \quad (4)$$

The types of series compensation are:

- Static synchronous series compensator (SSSC)
- Thyristor-controlled series capacitor (TCSC): a series capacitor bank is shunted by a thyristor-controlled reactor
- Thyristor-controlled series reactor (TCSR): a series reactor bank is shunted by a thyristor-controlled reactor
- Thyristor-switched series capacitor (TSSC): a series capacitor bank is shunted by a thyristor-switched reactor
- Thyristor-switched series reactor (TSSR): a series reactor bank is shunted by a thyristor-switched reactor

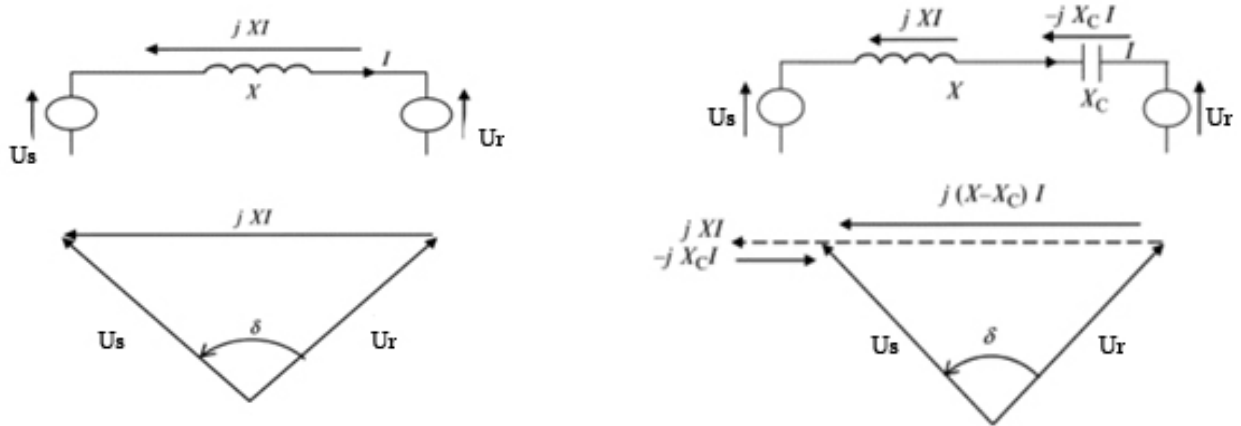


Figure 3: Series compensation before and after

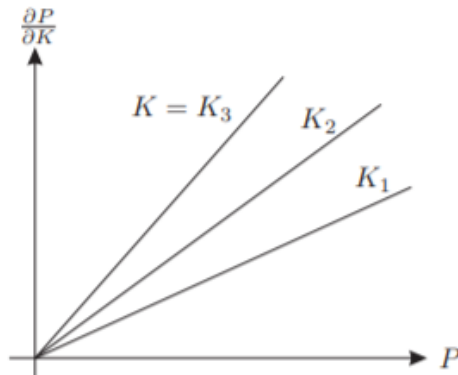


Figure 4: Dependence of derivative for different Kc

2.2 TSSC/TCSC

The circuits of TSSC and TCSC are shown in Figure 5. The difference is that TCSC can smoothly control the capacitive reactance. TSSC is built from couple of elements connected in series. The degree of compensation is controlled by switching a specific number of this elements. The operation of the thyristors is the following: The capacitor is inserted when the valve turns off. Then the capacitor charges from zero to maximum. The thyristor valve can be turned on again when the capacitor is fully discharged so any possible transient disturbances are minimized, this can cause a possible delay to turn on the valve. The most important characteristic is the boost factor $Kb = \frac{X_{TCSC}}{X_c}$. The working modes of TCSC are:

- Blocking mode: The thyristors are not conducting and $Kb=1$
- Bypass mode: The thyristor valve is conducting continuously and the X_{TCSC} is equal to a parallel equivalent circuit between the X_c and X_l . V_c (capacitor voltage) is lower than in blocking mode, so it is used to relieve the stress of the capacitor during faults
- Capacitive boost: If triggering impulse for the thyristor occurs during the discharge process of the capacitor, the discharge current feeds the line and the induction element. The charge depends on the conduction angle.

- Induction boost: If analyze the previous point for high values of the conduction angle, we have induction boost mode. The thyristor current is higher, there is more stress on the valves, and the capacitor voltage is distorted.

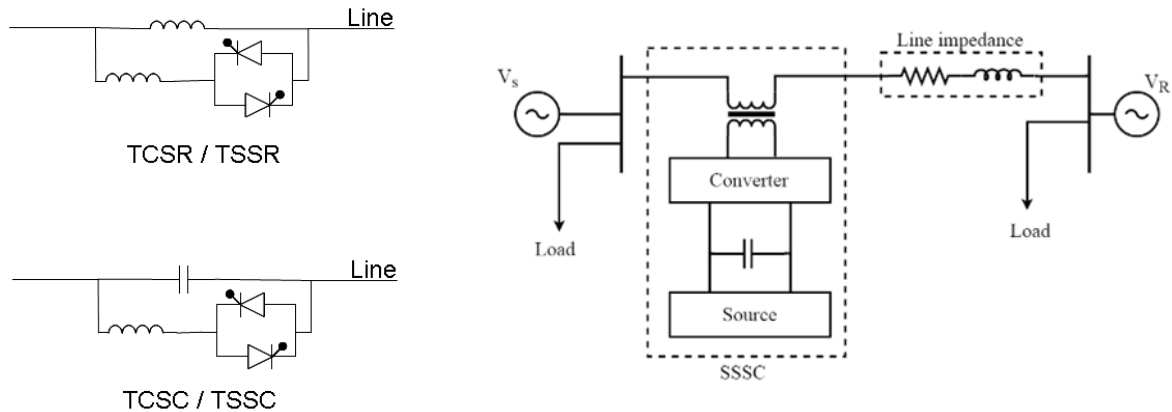


Figure 5: Series compensation topologies

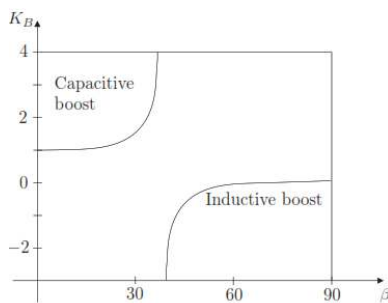


Figure 6: Dependence of K_B from the conduction angle

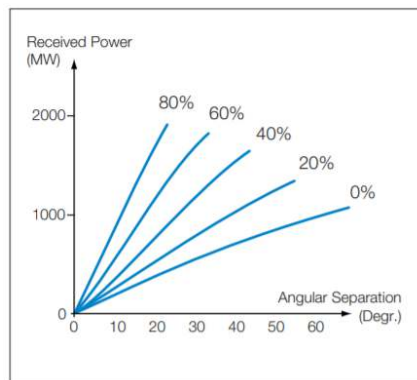


Figure 7: Received power depending on the phase shift

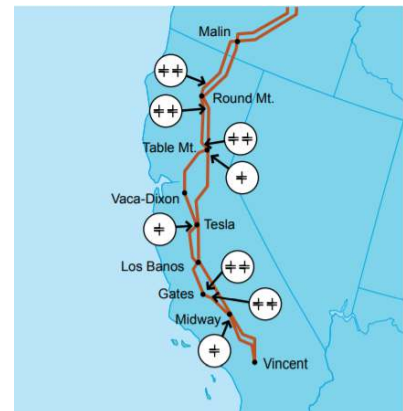


Figure 8: Example of series compensation

2.3 Examples of series compensation

In Figure 7 it is shown how in a given 2000MW line the phase shift between the voltages effect the received power. In section 2.1 it was mentioned that compensation lowers the phase shift between the voltages.

Interesting example of large series compensation is done by ABB in the Pacific coastline of California. Because the load of California is big and it is expected to grow there are 13 series capacitors inserted with total reactive power compensated of 5000 MVar.

This compensation is also cost effective. If we have 2000 MW, 500 kV line and compare two systems: 3 parallel lines and two parallel lines with series compensation. The case with the compensation is 35% cheaper. And the capacitors take just 10% of the total investment.

2.4 Shunt compensation

In shunt compensation FACTS is connected parallel to the transmission line. It can be connected in the middle of the line so it can maintain the same voltage at the both ends of the line (generates or takes reactive power), and at the end of the line so it can deal with variable load. In shunt compensation FACTS works as controllable current source. The methods of shunt compensation are:

- Static synchronous compensator (STATCOM)
- Static VAr compensator (SVC)

3 SVC

The first SVC was built for the VAr compensation (to deal with flicker). They work as controlled admittance. SVCs are useful to provide voltage support, transient stability improvement and oscillation damping, but it does not have much control of active power flow. The SVC topologies are:

- Thyristor-controlled reactor (TCR): reactor is connected in series with a bidirectional thyristor valve. The thyristor valve is phase-controlled. Equivalent reactance is varied continuously.
- Thyristor-switched reactor (TSR): Same as TCR but thyristor is either in zero- or full- conduction. Equivalent reactance is varied in stepwise manner.
- Thyristor-switched capacitor (TSC): capacitor is connected in series with a bidirectional thyristor valve. Thyristor is either in zero- or full- conduction. Equivalent reactance is varied in stepwise manner.
- Mechanically-switched capacitor (MSC): capacitor is switched by circuit-breaker. It aims at compensating steady state reactive power. It is switched only a few times a day

3.1 Thyristor-Switched (Controlled) Reactor (TSR, TCR), Thyristor switched capacitator (TSC)

TSR and TCR are very similar. The difference is that TCR provides us with smooth change of the reactive current from zero to maximum (from 0° to 90°) controlled with the firing angle and TSR provides us with step like change only with fix angles 90° for full conduction and 180° for no conduction. The reactive current is depended from the applied voltage from the line. TCR and TSR are used to keep the voltage equal at the both sides of the line.

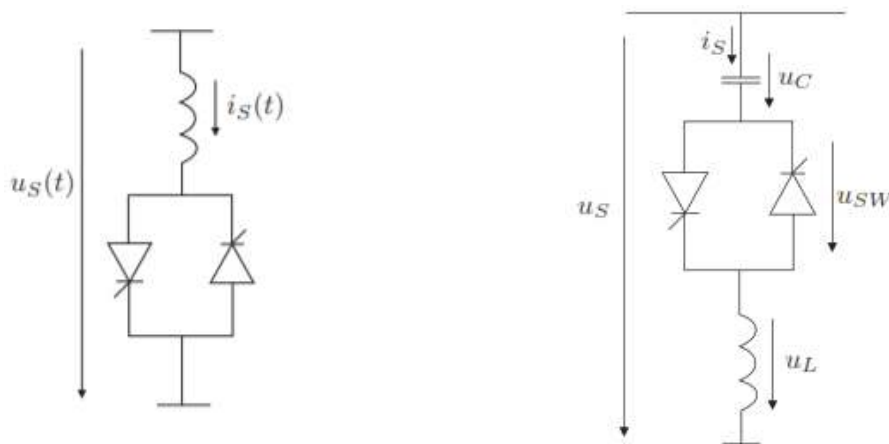


Figure 9: Simple circuit of TCR/TSR and TSC

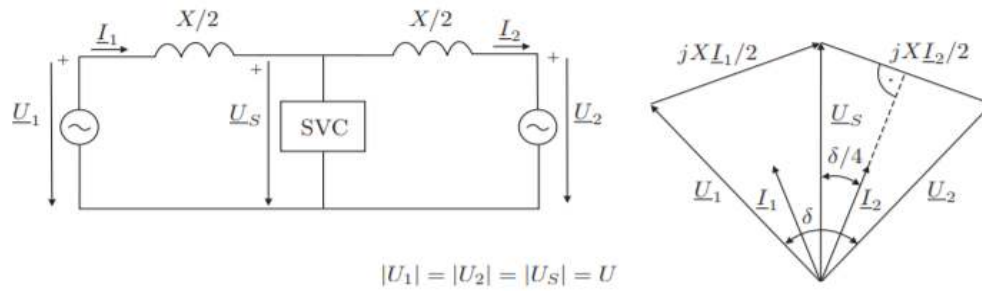


Figure 10: TCR connected to a line

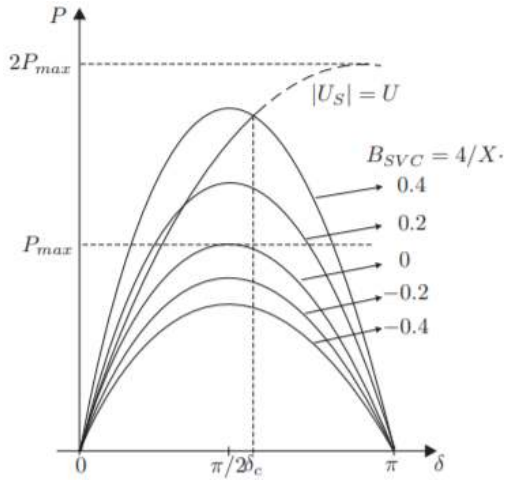


Figure 10: Dependence of P from δ

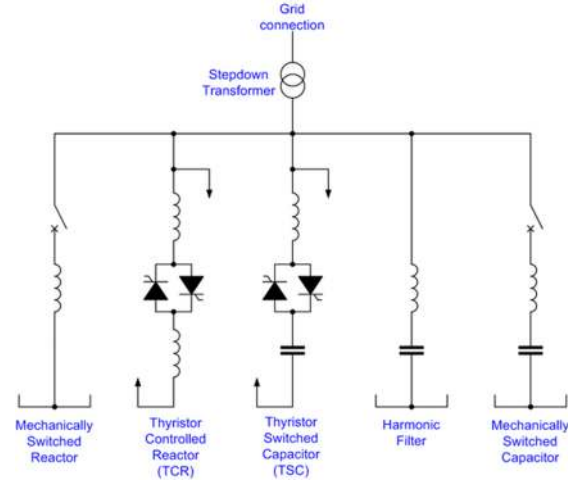


Figure 11: Classic scheme of SVC

The equations for Figure 10 are:

$$|U_1| = |U_r| = |U_s| = U \text{ this is assumed for every } \delta. U_r = U \quad U_s = U e^{j\delta} \quad U_{svc} = U e^{j\frac{\delta}{4}}$$

$$I_2 = \frac{4U}{X} * \sin\left(\frac{\delta}{4}\right) e^{j\frac{\delta}{4}} \quad P_2 = R(U_2 * I_2^*) = \frac{2U^2}{X} \sin\left(\frac{\delta}{2}\right). \text{ We can see that the maximum power is doubled from } \frac{U^2}{X} \text{ to } \frac{2U^2}{X}.$$

But there are limitations, because SVC in this case is variable susceptance (B_{svc}) there is limit what the value can be. If we look the graph on figure 11 we can see as long SVC provides the same voltage on both sides of the line P follows the $|U_s|=U$ characteristic until it reaches the maximum B_{svc} in this case $4/X$.

TSC is shown in Figure 9. The thyristor valve is switched off when the current reaches zero. In this moments the capacitor voltage has the maximum value. After the shutting down of the thyristor the capacitor voltage has constant value and the valve voltage is in phase with the thyristor voltage. Normally the voltage of the capacitor is not constant after the closing of the thyristor, the capacitor is discharged after. Because of the discharge transient disturbances will occur. The reactor helps to reduce the disturbances. That is why the capacitor can only be off or on in specific times. Couple of TSC can provide step like change.

3.4 SVC topologies

SVCs can be combined in couple of ways with the main goal to make variable VAR output from inductive to capacitive and filters deal with transient.

SVCs can be found in the following configurations:

- TCR/TSC with filter (is used when reactive power generation or absorption is needed, the filter is used to deal with the transients)
- TSC with TCR (variable reactive power is provided and both inductive and capacitive parts are compensated)

Classic scheme of SVC is shown on figure 13. SVC system can contain couple of TCRs, TSCs and filters.

4 STATCOM

STATCOM (static compensator) is advanced version of SVC it uses DC source and voltage source converter (VSC) controlled by network (the frequency of the output values will be the same as the network frequency). STATCOM works as shunt connected voltage source. STATCOM compares the voltage from the output of the VSC (it can be decreased or increased with the firing angle) with the bus voltage. If they are equal no power is exchanged. If the VSC voltage is bigger it generates leading current and reactive power is injected in the network and in the opposite situation lagging current is produced and reactive power is absorbed from the network. Instead of capacitor battery can be used and in that situation active power can be controlled too. VSC can be high pulsation converters, or even based on IGBT technology so transients can be reduced.

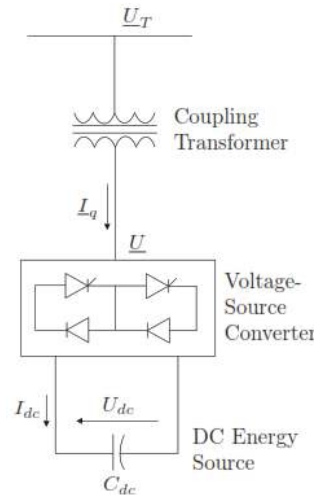


Figure 12: STATCOM

5 STATCOM VS SVC

The biggest difference between them is the basic principle of operation STATCOM is shunt connected voltage source, while SVC is shunt connected variable admittance. STATCOM can produce reactive current independently from the voltage of the network while SVC is dependent of the network voltage. We can see their differences from their U - I characteristics. We can see that STATCOM can produce reactive current to the maximum capacitive or inductive range, so STATCOM is more effective providing system stability and voltage support. The other differences are shown in Table 1.

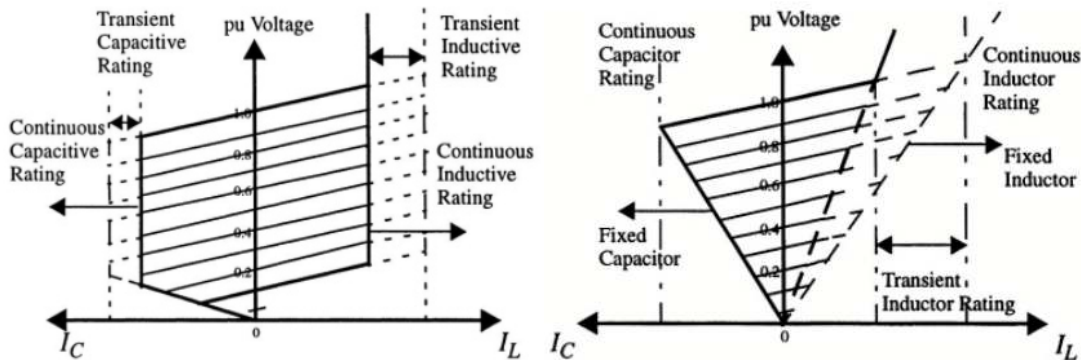


Figure 13: U-I characteristics of STATCOM and SVC

Table 1: Differences between STATCOM and SVC

STATCOM	SVC
Acts as a voltage source	Acts as a variable admittance (susceptance)
Insensitive to system's harmonic resonance	Sensitive to system's harmonic resonance
Large dynamic range	Small dynamic range
Low generation of harmonics	High generation of harmonics
Fast response and good performance at transients	Slower response than STATCOM
Can work in capacitive and inductive regions	Mostly capacitive regions
Can maintain voltage in weak AC system	Has difficulty to operate in weak AC systems
Can be used to store small amounts of energy	
Can be overloaded	

6 EXAMPLES OF STAMCOM AND SVC

The example used is from the Matlab Simulink library. As mentioned before STATCOM has fast and good performance during transients. This model shows us how STATCOM can react to drastic changes of the line voltage. For 1 pu of V_{ref} there is no power exchange between the STATCOM and the line. When the voltage drops for 0.4 pu from V_{ref} and then rises to 0.2 pu from V_{ref} . The STATCOM is 500 kV 100MVA.

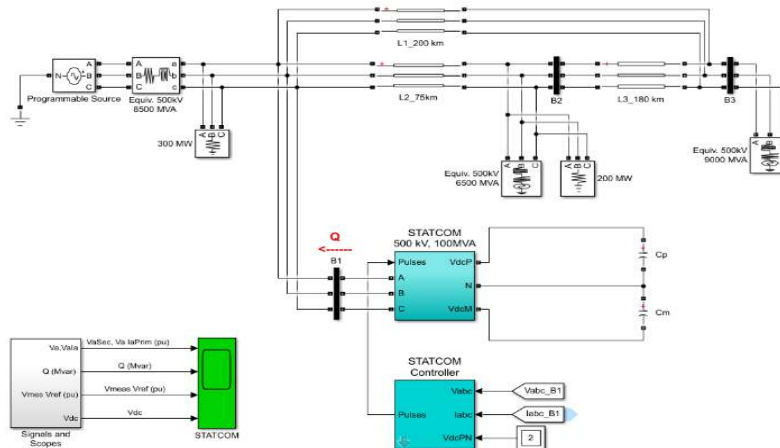


Figure 15: STATCOM Simulink model and results of the simulation

We can see from the simulation that STATCOM really has short time of reaction. When the system voltage drops it sends reactive power to the network and when the opposite happens it absorbs reactive power from the network.

SVC mostly find their application in electric arc furnaces. Electric arc furnaces are one of the biggest consumers in one system. They produced big shocks to the system due to their violent regime of work, a lot of short circuits etc. They require stable voltage supply for optimum performance. SVC stabilizes the voltage. Reactive arc needs higher voltage to shorten the meltdown time and also compensate the varying reactive power demand and it raises the active power that is inputted to the electrodes. Flicker can be reduced by 2.5. In Figure 18 the red graph is with SVC and the blue without SVC. In Table 2 results of electrical 75MVA arc furnace before and after SVC are shown.

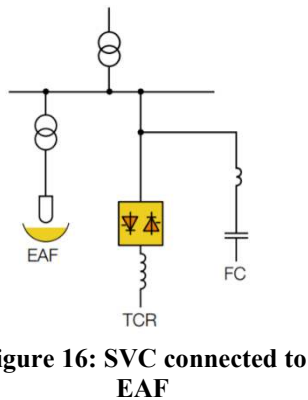


Figure 16: SVC connected to EAF

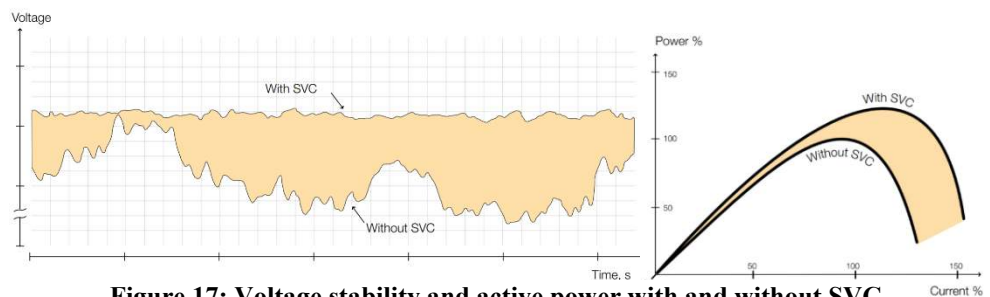


Figure 17: Voltage stability and active power with and without SVC

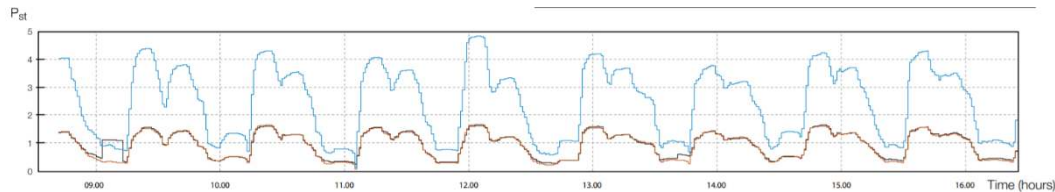


Figure 18: Flicker reduction with SVC

Table 2: EAF before and after SVC

EAF 75 MVA	Without SVC	With SVC	Improvement (%)
SVC(MVar)	0	90	
Power factor furnace (p.u)	0.78	0.78	
Power factor supply (p.u)	0.78	0.99	
Voltage drop (%)	10	0	
Melting power (MW)	50	60	20
Energy(kWh/T)	430	420	2.4
Melting time(min)	38.7	31.5	22.8
Power on time(min)	56.7	49.5	14.5
Tap-to-tap time(min)	68.7	61.5	11.7
Electrode consumption(kg/T)	1.6	1.55	3.2

7 CONCLUSION

In this paper is shown the importance of reactive power (VAr) especially the compensation of VAr and FATCS. FACTS will be part of future research. They will change the power system we know today. All of the FACTS are based on power electronics. With the development of the technology modern digital control and monitoring systems are incorporated in FACTS. Compensation can be done in series, in shunt and combined. Series is mostly done to compensate for the inductance of the line. Shunt compensation can support the line and the load. SVC is type of shunt compensation mostly done in industrial applications. From the result of table 2 we can see that improves greatly the working conditions of an electric arc furnace. STATCOM is type of shunt compensation that can deal with the rapid voltage changes in the power system, with example given in figure 15. From all the examples give for FACTS we can see that they greatly improve our power system.

8 ACKNOWLEDGEMENTS

I would like to thank my mentor Prof. Dr. Goga Cvetkovski for sharing his knowledge and his contribution to this paper.

9 REFERENCES

- [1] Gabriela Glanzmann, FACTS Flexible Alternating Current Transmission Systems, ETH Z'urich, 2015.
- [2] Vijay K.Sood, HVDC and FACTS controllers, applications of static convertors in power systems,Kluwer academic publishers, 2014.
- [3] ABB, Static Var Compensator an insurance for improved grid system stability and reliability.
- [4] ABB, Static Var Compensator the key to better arc furnace economy.
- [5] GE Grid Solutions, Static Var Compensator Solutions.
- [6] Debasish Mondal, Abhijit Chakrabarti and Aparajita Sengupta, in Power System Small Signal Stability Analysis and Control, 2014.
- [7] YIN Jijun, CHEN Gang, XU Haiqing, LI Qun, LIU Jiankun. LI Peng, in Unified Power Flow Controller Technology and Application, 2017.

Драгана Крстевска¹, Ментор: проф. др. Димитар Димитров²

^{1,2} Факултет за електротехника и информациски технологии, Скопје

¹ dakomk@yahoo.co.uk

² ddimitar@feit.ukim.edu.com

ВЛИЈАНИЕ НА ЗАГАДУВАЊЕТО ВРЗ ЕФИКАСНОСТА НА СОНЧЕВИТЕ МОДУЛИ

КУСА СОДРЖИНА (АПСТРАКТ)

Сончевата енергија во последно време е најексплоатираниот обновлив и одржлив извор на енергија. Придобивките од користењето на истата се значително забележливи како од економски, така и од еколошки аспект. Затоа треба да се фокусираме на искористување на целосниот нејзин потенцијал. Друга тема што е исто така актуелна во моментот е и загадувањето и аеро-загадувањето во земјава кое се јавува како резултат на рапидната индустријализација. Дали се провлекува лајтмотив меѓу овие две прашања?

Во овој труд се истражува влијанието на загадувањето врз фотоволтаични модули, поточно врз нивната ефикасност. На почеток е даден краток вовед за сончевата енергија и начините за нејзино искористување. Потоа преку запознавањето со струјно-напонската карактеристика на единечна фотонапонска ќелија се преминува на истражувањето со спроведување на експеримент со модули (од кои едниот секојдневно чистен, а другите подложени на загадување и атмосферски влијанија). Очекуван резултат од експериментот е дека чистиот модул ќе покаже поголема ефикасност. На крај ќе биде извлечен интересен заклучок и направена споредба на добиените резултати.

Клучни зборови: фотоволтаичен модул, струјно напонска карактеристика, загадување, прашина.

THE IMPACT OF POLLUTION ON SOLAR PHOTOVOLTAIC MODULES EFFICIENCY

ABSTRACT

Solar energy, lately, is the most exploited renewable and sustainable source of energy. The benefits of its usage are enormous, economically and ecologically. That's why we should focus on using its full potential. Another currently popular topic is pollution and air pollution in our country which comes as a result of the rapid industrialization. Is there a leitmotif connecting these two subjects? The goal of this paper is to do a research on the impact of the pollution on the photovoltaic module efficiency. The paper begins with a short introduction which focuses on solar energy and meanings of its exploitation. Then, through presentation of the I-U characteristic of a PV cell it transits to the experiment with two modules (one being cleaned every day and one being exposed to dust, pollution etc.). The expected outcome of the experiment is that the clean module will show higher efficiency. In the end an interesting conclusion will be given and comparison of the results will be made.

Key words: Photovoltaic module, I-U characteristic, pollution, dust.

1 ВОВЕД

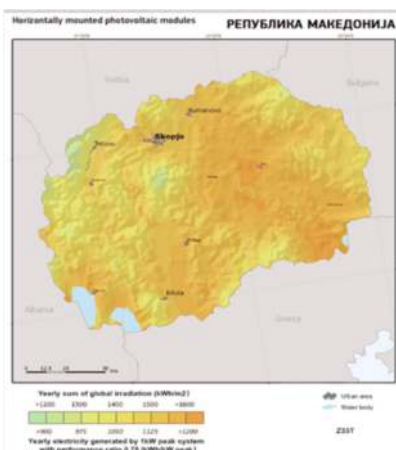
Интересот за обновливите извори на енергија, секаде во светот, се зголемува од ден на ден поради следниве причини: нафтата, природниот гас и јагленот се со ограничени резерви, прераспределбата на

залихите на овие фосилни горива е нерамномерна, поточно концентрирана претежно во областа на Блискиот Исток, а и се поголемото загадување на животната средина и воздухот. По многугодишната експлоатација очигледно е дека помеѓу обновливите извори на енергија, токму сончевата енергија ветува најмногу и е најатрактивна на пазарот. Висока ефикасност, работа без бучава и без потреба од активен систем за ладење, како и лесната инсталација се едни од главните придобивки од ФВ¹ технологија[1]. Просечниот век на траење на фотоволтаичните модули е околу 25-30 год. [2]

Зрачењето кое го примаат ќелиите во ФВ модул е пониско од зрачењето на површината на самиот модул. Главни причини за ваквата загуба на енергија се насобраната нечистотија на површината на модулот и загубите поради рефлектирањето и апсорпцијата од материјалите со кои се покриени ќелиите. На фиксен (неротирачки) модул ефектот на загадување се зголемува со намалувањето на аголот на наклон. Поради тоа, загубите на енергија поради ефектот на загадување се важен параметар за разгледување и истиот зависи од географската поставеност [3]. Овој труд го разгледува влијанието на прашината и др. нечистотии врз ФВ ефикасност. Резултатите покажуваат значително поголема ефикасност на перформансите на чист панел. Токму поради ова, потребно е ваквите нечистотии да се отстрануваат така што модулите периодично ќе се чистат.

2 ЗАГАДУВАЊЕТО И СОНЧЕВАТА ЕНЕРГИЈА ВО МАКЕДОНИЈА

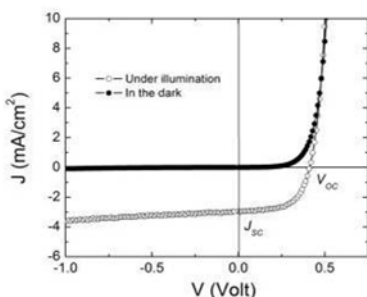
Секоја зима, загадувањето во Македонија, посебно во Скопје вртоглаво се искачува до алармантно високи размери. Во 2018та год. градот заслужено ја носеше титулата **најзагаден главен град** во Европа поради достигнувањето на *рекордно ниво на присутност на РМ 2.5* честички во воздухот [4]. Истите се така наречени според нивната големина, имено тоа се честички со дијаметар од 2.5 микрометри (околу 3% од дијаметарот на влакно) и токму поради тоа се сметаат за најопасни аеро- загадувачи, бидејќи се доволно мали да можат да навлезат во респираторниот систем, па дури и во крвотокот и со тоа да нанесат сериозни последици врз човековото здравје. Освен овој факт, важно е и тоа што најголем дел од фабриките и останатите производствени капацитети во Македонија се уште функционираат со примена на фосилни горива кои го „збогатуваат“ воздухот со уште загадувачи. Кога на ова ќе се додаде и прашината и останатите атмосферски загадувачи присутни и во нормални, а не вакви алармантни услови, се добива една убава слика за слојот од нечистотија што се создава врз самиот ФВП, а го спречува продирањето на сончевите зраци и со самото тоа ја намалува ефикасноста на панелот. Но, не е се така црно... Со околу **280** сончеви денови во годината и околу **1500 kWh** сончево зрачење на метар квадратен, Македонија спаѓа во земјите со најголемо зрачење во Европа со тенденција на се поголемо искористување на истото.



¹ ФВ – фотоволтаична

3 СТРУЈНО – НАПОНСКА КАРАКТЕРИСТИКА НА ЕКВИВАЛЕНТНО КОЛО

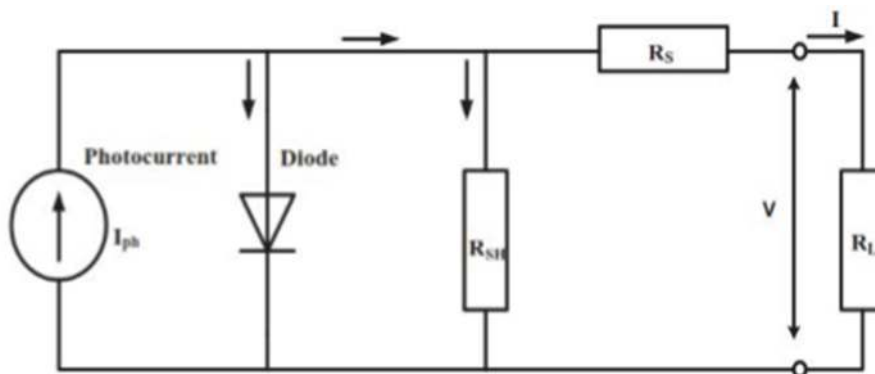
Сончевиот панел се состои од индивидуални ќелии кои се во најголем дел **полупроводнички диоди**, конструирани така што светлината може да навлезе во регионот на p-n спојот. Спојот формиран помеѓу силициумскиот спроводник од n-тип и површинскиот слој од типот p, ги регулира карактеристиките на диодата, слично како кај фотоволтаичниот ефект.



Слика 2 I-V крива на сончева ќелија

Светлината е апсорбирана во силициумот, при тоа создавајќи вишок празнини и вишок електрони. Овие вишок полнежи можат да течат низ надворешно коло за да произведат моќност.

При осветлување на ФВ ќелија (т.е. p-n контакт) струјно-напонската карактеристика се „спушта“ надолу. На наједноставен начин, однесувањето на фотоволтаична ќелија може да се опише со диода и идеален струен извор. За моделирање на ФВ сончев панел се користи моделот со една диода за да се опишат електричните карактеристики на сончевата ќелија. Моделот се состои од линеарен независен струен извор врзан паралелно со диода, отпорник и шант, како што е прикажано на сликата. [5]



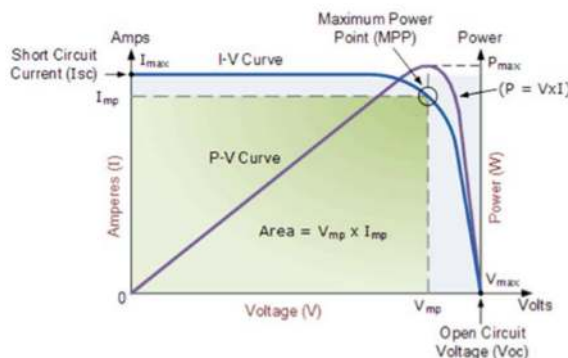
Слика 3 Модел на ФН ќелија

Главниот израз за претставување на моделот со една диода е:

$$I = I_{ph} - I_0 \left[e^{\left(\frac{qV + IR_s}{n_k n_{cs} T} \right)} - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

Каде “I” е струјата која ја произведува модулот (A), “I₀” е инверзната струја на заситување која зависи од температурата (A), и “I_{ph}” е фотострујата (A) пропорционална со ирадијансата G, како функција од TC, ефективната вредност на температурата на ќелијата (K), “q” е елементарен електричен полнеж (=1.602 x 10⁻¹⁹ C) и “V” е напонот на краевите на модулот (V). N_{cs}, γ, и “k” се бројот на ќелии во серија, константата на диодата (обично помеѓу 1 и 2) и Болцмановата константа (=1.381 x 10⁻²³ J/K), соодветно.

Секој модел на сончев панел има различна работна карактеристика која може да се претстави графички и се вика “I-V карактеристика”, и која ја прикажува зависноста помеѓу струјата (I) и напонот (V) на излез од модулот.



Слика 4 Карактеристични криви на панелот

Поради Омовиот закон и равенката за моќност $P = U \cdot I$, како резултат на намалувањето на напонот се намалува и моќноста. Идеалната позиција на било која I-V крива- точката од каде се добива најмногу моќност- се наоѓа на коленото на кривата и се вика точка на максимална моќност (**Maximum Power Point-MPP**).

3.1 Ефикасност на фотоволтаична ќелија

Карактеристичната отпорност на сончева ќелија е отпорноста на излез од сончевата ќелија во точката на максимална моќност (MPP). Ако отпорноста на товарот е еднаква на карактеристичната отпорност на сончевата ќелија, тогаш максималната моќност се пренесува на товарот и сончевата ќелија оперира во точката на максимална моќност.

$$L_m = \frac{V_{mp}}{I_{mp}}$$

Ефикасноста е најчесто користениот параметар за да се споредат перформансите меѓу две сончеви ќелии. Ефикасноста се дефинира како сооднос меѓу излезната енергија од сончевата ќелија и влезната сончева енергија.

Ефикасноста на сончевата ќелија се дефинира како делот од моќноста која се претвара во енергија и се определува како:

$$\eta = \frac{V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF}{P_{in}}$$

$$P_{max} = V_{oc} \cdot I_{sc} \cdot FF$$

$$FF = \frac{V_{mp} \cdot I_{mp}}{V_{oc} \cdot I_{sc}}$$

Каде: V_{oc} е напонот на отворено коло (при стандардна осветленост и температура, напонот на отворено коло за силициумска ќелија, е околу $V_{oc} = 0,6$ V), I_{sc} е струја на куса врска, FF = fill factor (фактор на пополнување) и η е ефикасноста.

За зголемување на ефикасноста, значи, е важно да се зголемат V_{oc} и I_{sc} и да се има FF близок до единица.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА РАБОТА

Експериментот е спроведен со група од 10 ФВ панели, типот на ќелиите е ISF-60/12 (максималната моќност на секој панел е 60 Wp, произведени се од Isofoton, Шпанија.

Тип на сончев модул	ISF-60/12
Врвна моќност	60 W
Напон при максимална моќност	17.3 V
Струја при максимална моќност	3.47 A
Напон на отворено коло	21.6 V
Струја на куса врска	3.73 A
Тежина	6.5 kg
Димензии	776 x 662 x 39,5 mm
Ефикасност	11.7%
FF	74.5%

Табела 1 Спецификации на модулот

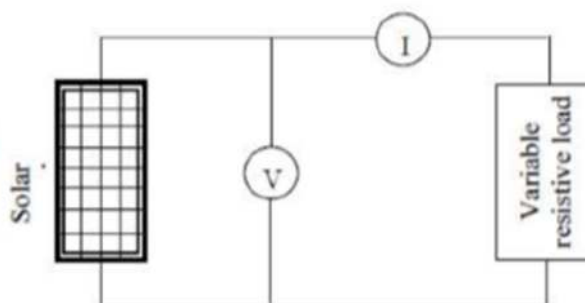
За да се забележат ефектите од загадувањето, еден од панелите се чисти секој ден.

За секој панел се мерат напонот на отворено коло и струјата на куса врска, параметри кои влијаат врз ефикасноста на ФВП.

За конструирање на карактеристичните I-V (current-voltage, струјно-напонска карактеристика) и P-V (power-voltage) криви се користи реостат и вредностите на струјата и напонот се мерат како што е прикажано на сликата:

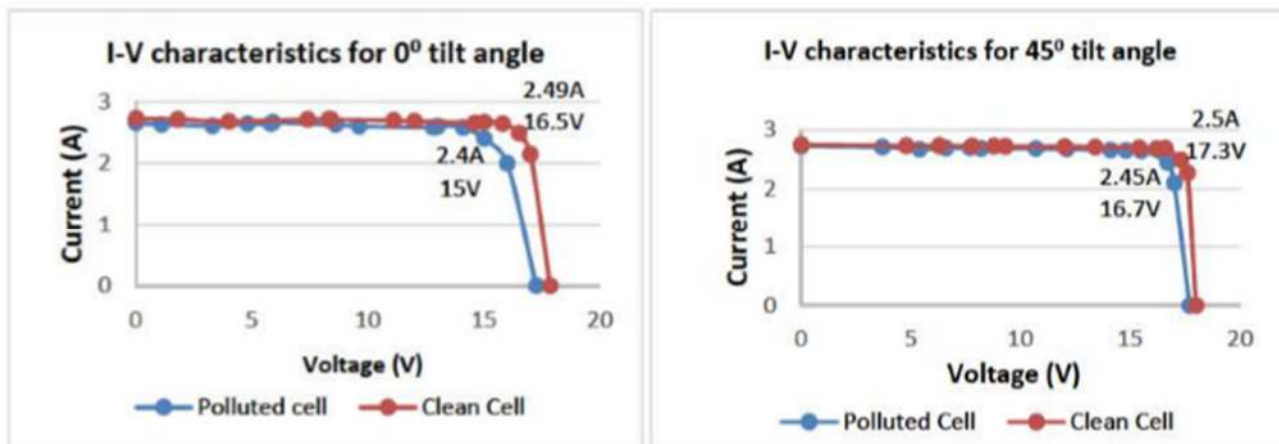


Слика 5 Поврзување со мерната инструментација



5 РЕЗУЛТАТИ И ЗАКЛУЧОЦИ

За ФВ панели со агол на наклон 0° и 45° , тестирани под оптоварување, Волт-Амперските карактеристики за чистиот и загадениот панел се:

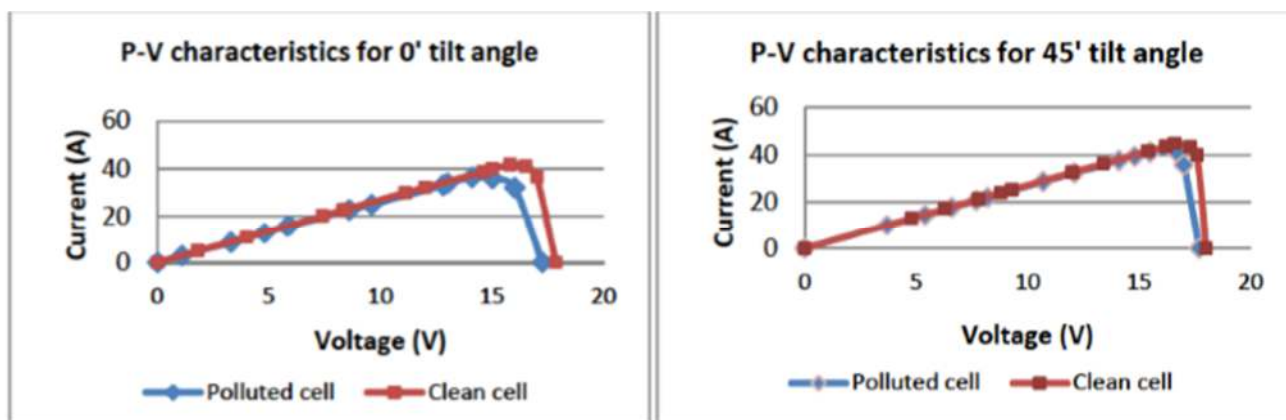


Слика 6 Волт- Амперски карактеристики на двата панели

Од графичите се гледа дека чистата ќелија произвела максимална струја и напон, додека загадената минимални.

Исто така се забележува дека и аголот на наклон игра улога, бидејќи загадувањето влијаело и во двата случаи, но позабележително кај панелот со агол на наклон од 0° . Ова е така бидејќи овој панел е поставен целосно хоризонтално со што се отежнува само- чистењето на панелот под влијание на дождови или ветрови.

Влијанието од загадувањето е исто така забележливо и на карактеристичните P-V криви, конструирани според измерените податоци за I-V кривите:



Слика 7 P-V криви за двата модули

Според пресметките разликата во максималните моќности за панелите со агол на наклон 0° изнесува 12,9%, додека за агол на наклон 45° е 8%.

6 ЗАКЛУЧОК

Глобалното загадување е една актуелна тема и факт што поразително влијае врз сите аспекти на човечкото живеење. Меѓу поглавните причинители на истото се издвојуваат фосилните горива. Заради намалување на штетната емисија на гасови од нивното согорување, за производство на електрична енергија се почесто и почесто се користат обновливите извори на енергија, со тенденција за изнаоѓање на уште нови и неконвенционални извори. Но како кон глобалното затоплување, изумирањето на цели животински видови, здравјето на човекот итн. загадувањето влијае дури и врз ефикасноста на сончевите панели,

инсталирани на некој начин и поради намалување на истото. Овој труд го разгледува токму тој феномен, теоретски го објаснува и експериментално го докажува.

Добрите вести се тоа што најзагадените земји ги менуваат навиките, *‘They’re stepping out of their comfort (profit > Earth) zone’*. Лошите вести се тоа што загадувањето на воздухот и прашината во овие области се толку големи што тие всушност го „блокираат“ ФНП и истиот не може да прима сончева светлина, со што произведената излезна енергија се намалува за 25% [6]. Сепак, со континуираниот пораст на експлоатацијата на ОИЕ и со превземање на останати мерки против загадувањето и овој феномен би можел да биде надминат.

7 РЕФЕРЕНЦИ

- [1] Betul Bektas Ekici. “Variation of photovoltaic system performance due to climatic and geographical conditions in Turkey.” Turk J Elec Eng & Comp Sci (2016) 24: 4693 – 4706.
- [2] SunPower Limited Product and Power Warranty for PV Modules, SunPower®, July 2010.
- [3] Miqdam T Chaichan, Bashar A Mohammed, Hussein A Kazem, “Effect of pollution and cleaning on photovoltaic performance based on experimental study”. International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 6, Issue 4, April-2015.
- [4] ‘Inside Skopje, the world’s most polluted capital’, <https://www.aljazeera.com/indepth/features/skopje-europe-polluted-capital-city-190312092012504.html>
- [5] Предавања, Обновливи извори на енергија, проф.др. Димитар Димитров, 2018г.
- [6] ‘How does air pollution affect solar panels’, <https://www.mythinkenergy.com/air-pollution-effects-china-india>

Teodora Stojkovska¹, David Gjorgjevski², Mentor: Marija Markovska³

^{1 2 3} Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies, Skopje

¹stojkovskateodora5@gmail.com

²david.gjorgjevski@yahoo.com

³marijam@feit.ukim.edu.mk

POWER QUALITY: BAYESIAN OPTIMIZATION OF THE RANDOM FOREST CLASSIFICATION METHOD

ABSTRACT

The study of power quality issues gained importance with the increased use of renewable energy sources and power electronics-based control equipment. Power quality (PQ) monitoring devices must be able to detect and classify the disturbances present in voltage or current waveforms in real time. In order to achieve that, the classification algorithm must be optimal – fast and accurate. Hence, in this paper a comparison between the standard classification method and an optimized one is made, using the random forest (RF) classifier. The comparison is made in case of different numbers of features and classes, and in case of pure PQ signals and PQ signals accompanied with white Gaussian noise. The results show that by optimizing the model almost the same accuracy is obtained while shortening computation time.

Key words: power quality, random forest, classification, machine learning, optimization

1 INTRODUCTION

The use of the term power quality (PQ) intensified in the mid-1980s, when electricity providers and end users began to pay close attention to it. Depending on the point of view, there are different definitions of power quality. For example, electricity providers define PQ as reliability and can statistically show that their system is 99.98% reliable. On the other hand, electrical equipment manufacturers define power quality as a feature of the power system that ensures proper functioning of the electrical equipment [1]. The problem of PQ is primarily related to the end customer, ie. the electricity consumers. Shortly, it can be emphasized that the interest in analyzing the power quality lately has been steadily increasing, due to the following reasons:

- Electrical and electronic equipment are becoming more and more sensitive to voltage disturbances, and they themselves are generators of voltage disturbances;
- The power quality is especially important in an unregulated market, when electricity becomes a product like any other product and must satisfy a certain quality that is defined by the consumer of electricity as a customer. Hence, both electricity consumers and electricity producers must meet the appropriate PQ standards;
- With the development of modern measurement devices, there is the possibility of relatively easy measuring of the power quality and saving the obtained results.

As mentioned above, with the use of modern electrical devices and polluting loads, power quality of the power grid becomes heavily disturbed. PQ disturbances produce various undesirable effects which affect the proper functioning and life span of the devices connected to the power supply network. The effects are mostly noticeable at industrial or public facilities where the voltage and current abnormalities cause malfunction of the equipment and may also lead to interruption of the working process. Therefore, it is very important to analyze and classify these disturbances.

A precise and fast feature extraction tool helps power engineers to monitor and maintain power disturbances more efficiently [2]. Feature extraction of a disturbed power signal provides information that helps to detect the

responsible fault for power quality disturbances. A feature is an individual measurable property or characteristic of a phenomenon being observed. Choosing informative, discriminating and independent features is a crucial step for effective algorithms in classification. A set of numeric features can be conveniently described by a feature vector which is the key component for designing an intelligent system for classification because practice has shown that even the best classifier will perform poorly if the features are not properly chosen. The training of the classifier should be done so that the classifier achieves maximum accuracy for the corresponding features, but the process of training lasts as short as possible. This can be achieved by tuning the internal parameters of a classifier called hyperparameters.

Hyperparameters can strongly affect the performance of the classifier, and yet it is typically difficult or time-consuming to optimize them. Optimization, in its most general form, is the process of locating a point that minimizes a real-valued function called the objective function. By optimizing the model maximum accuracy can be achieved with efficient utilization of computing resources.

In this paper feature vectors with 2, 3 and 9 features are used for training the random forest (RF) classifier. The research is made in case of 7, 11, 21 and 29 different classes of pure PQ signals and PQ signals accompanied with 20dB, 30dB, 40dB and 50dB white Gaussian noise. In practice, signals captured by monitoring devices are often accompanied with noise thereby affecting the extraction of important features from the signal [3]. Noise has an adverse effect on the performances of the classifiers due to the difficulty of separating noise and the disturbances. Therefore it is important to train models with signals accompanied with noise.

This paper is organized as follows: A short theoretical overview of the Random Forest classifier is given in Section 2; The Bayesian optimization for random forest is given in Section 3; The obtained results from the comparison between the standard and the optimized method are presented in Section 4; The conclusion from the research is given in Section 5.

2 RANDOM FOREST CLASSIFIER

Random forest, like its name implies, consists of a large number of individual decision trees that operate as an ensemble. The RF classifier decorrelates the trees with the introduction of splitting on a random subset of features. This means that at each split of the tree, the model considers only a small subset of features rather than all of the features of the model. That is, from the set of available features n , a subset of m features ($m = \text{square root of } n$) are selected at random. The final predicted value is the average value of all decision trees. One single decision tree has high variance (tends to overfit), so by bagging or combining many weak learners into strong learners, we are averaging away the variance. The class with the most votes becomes the model's prediction.

The low correlation between models is the key for successful classification. If the data set contains a few strong predictors, they will consistently be chosen at the top level of the trees, so the model ends up having very similar structured trees. In other words, the trees would be highly correlated. Uncorrelated models can produce ensemble predictions that are more accurate than any of the individual predictions. The reason for this is that the trees protect each other from their individual errors.

The random forest ensures that the behavior of each individual tree is not too correlated with the behavior of any of the other trees in the model by using the following two methods:

- **Bagging (Bootstrap Aggregation)** – Decisions trees are very sensitive to the data they are trained on and small changes to the training set can result in significantly different tree structures. Random forest takes advantage of this by allowing each individual tree to randomly sample from the dataset with replacement, resulting in different trees;
- **Feature Randomness** – In a normal decision tree, when it is time to split a node, every possible feature is considered and the one that produces the most separation between the observations in the left node vs. those in the right node is chosen. In contrast, each tree in a random forest can pick only from a random subset of features. This forces even more variation amongst the trees in the model and ultimately results in lower correlation across trees and more diversification.

Using these two methods, the building blocks of the RF are not only trained on different sets of data but also use different features to make decisions and that creates uncorrelated trees that buffer and protect each other from their errors.

3 BAYESIAN OPTIMIZATION

Many optimization problems in machine learning are black box optimization problems where the objective function $f(x)$ is a black box function. The analytical expression for the function and its derivatives are unknown, so evaluation of the function is restricted to sampling at a point x and getting a possibly noisy response. Theoretical properties of Bayesian optimization are given in [4].

If f is cheap (meaning it takes less time to compute) to evaluate it could be sampled at many points, e.g. via grid search, random search or numeric gradient estimation. However, if function evaluation is expensive (meaning typically hours or even days of CPU time) then it is important to minimize the number of samples drawn from the black box function f . This is the domain where Bayesian optimization techniques are most useful. They attempt to find the global optimum in a minimum number of steps. Bayesian optimization incorporates prior belief about f and updates the prior with samples drawn from it to obtain a better posterior approximation. The model used for approximating the objective function is called *surrogate model*. Bayesian optimization also uses an *acquisition function* that directs sampling to areas where an improvement over the current best observation is likely.

3.1 Surrogate Model

Popular surrogate models for Bayesian optimization are Gaussian processes (GPs). GPs define a prior over functions that can be used to incorporate prior beliefs about the objective function. The GP posterior is cheap to evaluate and is used to propose points in the search space where sampling is likely to yield an improvement.

3.2 Acquisition functions

Proposing sampling points in the search space is done by acquisition functions. They trade off exploitation and exploration. Exploitation means sampling where the surrogate model predicts a high objective and exploration means sampling at locations where the prediction uncertainty is high. Both correspond to high acquisition function values and the goal is to maximize the acquisition function to determine the next sampling point.

More formally, the objective function f will be sampled at $x_t = \operatorname{argmax}_x u(x|D_{1:t-1})$ where u is the acquisition function and $D_{1:t-1} = \{(x_1, y_1), \dots, (x_{t-1}, y_{t-1})\}$ are the $t-1$ samples drawn from f so far. Popular acquisition functions are *maximum probability of improvement (MPI)*, *expected improvement (EI)* and *upper confidence bound (UCB)*.

3.3 Optimization algorithm

The Bayesian optimization procedure is as follows. For $t=1, 2, \dots$ repeat:

- Find the next sampling point x_t by optimizing the acquisition function over the GP:
 $x_t = \operatorname{argmax}_x u(x|D_{1:t-1})$
- Obtain a possibly noisy sample $y_t = f(x_t) + \epsilon_t$ from the objective function f .
- Add the sample to previous samples $D_{1:t} = \{D_{1:t-1}, (x_t, y_t)\}$ and update the GP.

4 OBTAINED RESULTS

For training and testing purposes of the classification algorithm, 7, 11, 21 and 29 classes of single and combined power quality disturbances are used, presented in Table 5 in Appendix I. One thousand voltage signals from each class are generated using the signal generator presented in [5]. The sampling frequency for all of the used signals is considered to be 3.2 kHz and 10 cycles from every signal are included. The fundamental frequency is 50 Hz [6].

4.1 In case of 7 PQ classes

The classification accuracies obtained in case of 7 PQ disturbances are shown in Table 1.1 and Table 1.2. From the results it is evident that the number of nodes slightly decreased in the optimized model, the number of trees is reduced to half while the accuracy is insignificantly lower.

Number of classes	Number of features	Number of nodes	Number of trees	Accuracy (%)
7 classes	2	583	40	96.85
	3	584	40	97.19
	9	617	40	96.90

Table 1.1 Classification accuracy of the standard model in the case of 7 classes

Number of classes	Number of features	Number of nodes	Number of trees	Min. number of leaves	Number of samples	Accuracy (%)
7 classes	2	502	20	1	6	96.66
	3	403	20	1	9	97.14
	9	403	20	1	27	96.90

Table 1.2 Classification accuracy of the optimized model in the case of 7 classes

4.1.1 In case of 7 PQ classes with noise

Accuracies obtained when the signal is accompanied with noise are shown in Table 1.3 and Table 1.4. From the results it is noticeable that the accuracies obtained for the standard and the optimal models are almost identical.

Number of classes	Number of features	Accuracy PURE (%)	Accuracy 20dB (%)	Accuracy 30dB (%)	Accuracy 40dB (%)	Accuracy 50dB (%)
7 classes	2	96.85	86.93	91.74	94.14	94.13
	3	97.19	88.56	94.12	95.02	94.93
	9	96.90	90.20	93.95	94.46	94.56

Table 1.3 Accuracy of the standard model when the signals are accompanied with noise in the case of 7 classes

Number of classes	Number of features	Accuracy PURE (%)	Accuracy 20dB (%)	Accuracy 30dB (%)	Accuracy 40dB (%)	Accuracy 50dB (%)
7 classes	2	96.66	85.78	91.09	93.67	93.76
	3	97.14	88.28	93.36	94.60	94.65
	9	96.90	89.79	93.40	94.16	94.06

Table 1.4 Accuracy of the optimized model when the signals are accompanied with noise in the case of 7 classes

4.2 In case of 11 PQ classes

The classification accuracies obtained in case of 11 PQ disturbances are shown in Table 2.1 and Table 2.2. It is clear that the number of nodes and trees is again decreased. The accuracy between the models remains almost the same.

Number of classes	Number of features	Number of nodes	Number of trees	Accuracy (%)
11 classes	2	1020	50	96.98
	3	952	50	96.98
	9	988	50	96.98

Table 2.1 Classification accuracy of the standard model in the case of 11 classes

Number of classes	Number of features	Number of nodes	Number of trees	Min. number of leaves	Number of samples	Accuracy (%)
11 classes	2	848	40	1	6	96.90
	3	775	40	8	7	96.90
	9	509	40	6	24	96.90

Table 2.2 Classification accuracy of the optimized model in the case of 11 classes

4.2.1 In case of 11 PQ classes with noise

Accuracies obtained when the signal is accompanied with noise are shown in Table 2.3 and Table 2.4.

Number of classes	Number of features	Accuracy PURE (%)	Accuracy 20dB (%)	Accuracy 30dB (%)	Accuracy 40dB (%)	Accuracy 50dB (%)
11 classes	2	96.98	68.31	80.97	89.25	92.27
	3	96.98	74.78	85.01	91.81	94.04
	9	96.98	75.66	85.91	92.11	93.95

Table 2.3 Accuracy of the standard model when the signals are accompanied with noise in the case of 11 classes

Number of classes	Number of features	Accuracy PURE (%)	Accuracy 20dB (%)	Accuracy 30dB (%)	Accuracy 40dB (%)	Accuracy 50dB (%)
11 classes	2	96.90	67.96	80.88	88.95	92.34
	3	96.90	73.47	83.94	90.86	92.74
	9	96.90	75.10	84.93	91.22	92.97

Table 2.4 Accuracy of the optimized model when the signals are accompanied with noise in the case of 11 classes

4.3 In case of 21 PQ classes

The classification accuracies obtained in case of 21 PQ disturbances are shown in Table 3.1 and Table 3.2. The number of trees is the same in both models, but the number of nodes has a significant reduction. Again, there is no significant change in accuracy.

Number of classes	Number of features	Number of nodes	Number of trees	Accuracy (%)
21 classes	2	4072	60	92.03
	3	3821	60	93.37
	9	4151	60	92.95

Table 3.1 Classification accuracy of the standard model in the case of 21 classes

Number of classes	Number of features	Number of nodes	Number of trees	Min. number of leaves	Number of samples	Accuracy (%)
21 classes	2	2778	60	3	6	91.10
	3	2942	60	1	10	92.86
	9	1965	60	3	32	92.57

Table 3.2 Classification accuracy of the optimized model in the case of 21 classes

4.3.1 In case of 21 PQ classes with noise

Accuracies obtained when the signal is accompanied with noise are shown in Table 3.3 and Table 3.4.

Number of classes	Number of features	Accuracy PURE (%)	Accuracy 20dB (%)	Accuracy 30dB (%)	Accuracy 40dB (%)	Accuracy 50dB (%)
21 classes	2	92.03	47.51	67.16	79.00	82.18
	3	93.37	53.05	70.31	81.60	84.16
	9	92.95	53.02	70.74	80.69	83.38

Table 3.3 Accuracy of the standard model when the signals are accompanied with noise in the case of 21 classes

Number of classes	Number of features	Accuracy PURE (%)	Accuracy 20dB (%)	Accuracy 30dB (%)	Accuracy 40dB (%)	Accuracy 50dB (%)
21 classes	2	91.10	47.04	66.57	78.50	81.59
	3	92.86	52.60	70.43	81.56	84.12
	9	92.57	53.11	69.98	80.11	83.12

Table 3.4 Accuracy of the optimized model when the signals are accompanied with noise in the case of 21 classes

4.4 In case of 29 PQ classes

The classification accuracies obtained in case of 29 PQ disturbances are shown in Table 4.1 and Table 4.2. From the presented results it is noticeable that the number of nodes decreased by half in the optimized model. The number of trees is lower by ten while the accuracy has slightly decreased compared to the standard model.

Number of classes	Number of features	Number of nodes	Number of trees	Accuracy (%)
29 classes	2	10064	80	74.78
	3	9480	80	76.69
	9	9507	80	76.18

Table 4.1 Classification accuracy of the standard model in the case of 29 classes

Number of classes	Number of features	Number of nodes	Number of trees	Min. number of leaves	Number of samples	Accuracy (%)
29 classes	2	5584	70	3	6	74.03
	3	4620	70	5	11	76.50
	9	3484	70	7	41	76.10

Table 4.2 Classification accuracy of the optimized model in the case of 29 classes

4.4.1 In case of 29 PQ classes with noise

Accuracies obtained when the signal is accompanied with noise are shown in Table 4.3 and Table 4.4.

Number of classes	Number of features	Accuracy PURE (%)	Accuracy 20dB (%)	Accuracy 30dB (%)	Accuracy 40dB (%)	Accuracy 50dB (%)
29 classes	2	74.78	37.18	52.53	62.62	65.47
	3	76.69	41.35	55.47	65.20	67.84
	9	76.18	40.92	55.31	63.97	66.32

Table 4.3 Accuracy of the standard model when the signals are accompanied with noise in the case of 29 classes

Number of classes	Number of features	Accuracy PURE (%)	Accuracy 20dB (%)	Accuracy 30dB (%)	Accuracy 40dB (%)	Accuracy 50dB (%)
29 classes	2	74.03	37.01	52.12	62.00	64.98
	3	76.50	40.65	54.86	64.33	67.11
	9	76.10	39.83	54.23	63.17	65.86

Table 4.4 Accuracy of the optimized model when the signals are accompanied with noise in the case of 29 classes

As it can be seen from the presented results, the accuracies obtained using feature combination with 3 features are very close or even higher to the accuracies obtained when using combination with 9 features. Smaller number of features means shorter feature vector which directly affects the calculation time of the classification algorithm. In order to make better observation of the previously presented results, the accuracies obtained for 3 features are graphically presented in Figures 1 through 4 for 7, 11, 21 and 29 classes, respectively.

From the figures it can be concluded again that the differences in the accuracies between the standard and optimized classification methods are negligible small. On the other hand, the optimized method is simplified which means faster classification than when using the standard method.

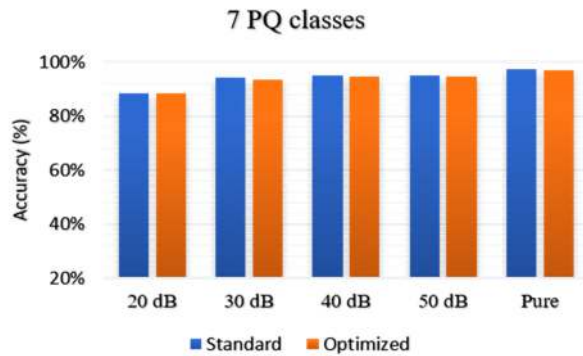


Figure 1 Accuracies obtained for 3 features in case of 7 classes

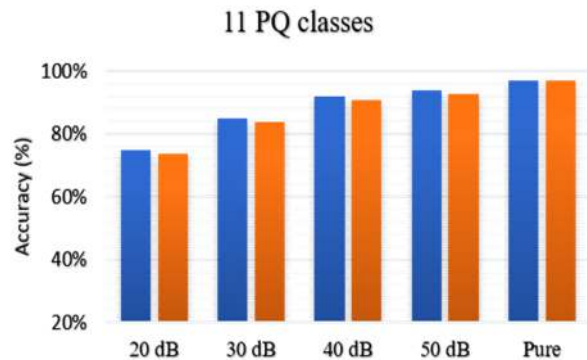


Figure 2 Accuracies obtained for 3 features in case of 11 classes

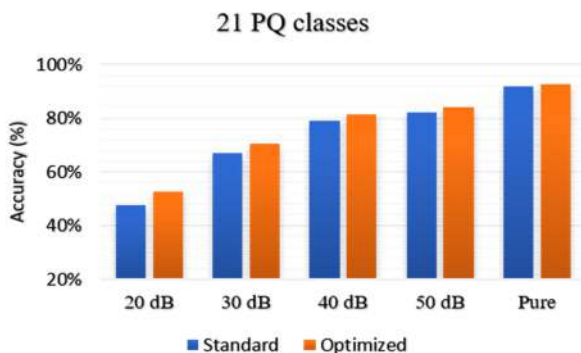


Figure 3 Accuracies obtained for 3 features in case of 21 classes

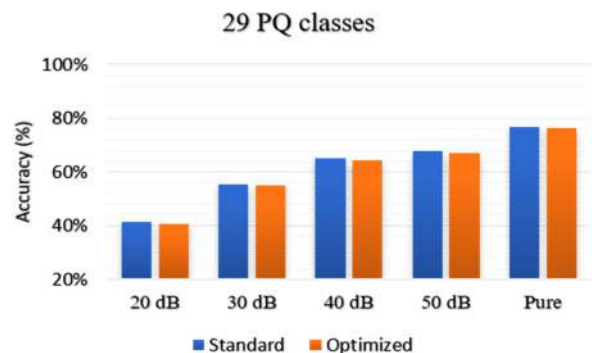


Figure 4 Accuracies obtained for 3 features in case of 29 classes

5 CONCLUSION

In this paper a comparison between the standard model for PQ classification and the model optimized using Bayesian optimization is made. From the obtained results it is noticeable that for 2 and 3 features the accuracy is the same as for 9 features. This is of great importance as it directly influences the consuming time of the classifier.

By implementing Bayesian optimization the model simplified as the number of trees and nodes decreased, in some cases by half. The accuracy remained almost the same. This means that the optimized model will have the same accuracy while significantly decreasing computation time and resources, which is key for real-time monitoring of power quality and finding the cause for the disturbances. Furthermore, the benefits from the optimization are most notable in the case of 29 PQ classes.

In the case of signals accompanied with noise, the conclusion is the same: by optimizing we simplify the model while obtaining the same accuracy.

6 REFERENCES

- [1] Amir Tokic, Risto Ackovski, "Power Quality", ETF Tuzla, 2006.
- [2] Marija Markovska, Dimitar Taskovski, "The Effectiveness of Wavelet Based Features on Power Quality Disturbances Classification in Noisy Environment", Proc. of IEEE ICHQP, 2018.
- [3] D. Saxena, K.S. Verma, S.N. Singh, "Power quality event classification: an overview and key issues", International Journal of Engineering, Science and Technology, Vol. 2, No. 3, pp. 186-199, 2010.
- [4] Bobak Shahriari, Kevin Swersky, Ziyu Wang, Ryan P. Adams, Nando de Freitas, "Taking the Human Out of the Loop: A Review of Bayesian Optimization", Proceedings of the IEEE, Volume: 104 , Issue: 1 ,pp 148 – 175, Jan. 2016.
- [5] R. Igual, C. Medrano, F. J. Arcega, G. Mantescu, "Mathematical model of power quality disturbances", Mendeley Data, v1, 2017.
- [6] Marija Markovska, Dimitar Taskovski, "On the choice of number of training signals for optimal power quality disturbances classification", ETAI, 2018.

APPENDIX I:

Class Number	Disturbance
Class 1	Pure sinusoidal
Class 2	Sag
Class 3	Swell
Class 4	Interruption
Class 5	Transient / Impulse / Spike
Class 6	Oscillatory transient
Class 7	Harmonics
Class 8	Harmonics with Sag
Class 9	Harmonics with Swell
Class 10	Flicker
Class 11	Flicker with Sag
Class 12	Flicker with Swell
Class 13	Sag with Oscillatory transient
Class 14	Swell with Oscillatory transient
Class 15	Sag with Harmonics
Class 16	Swell with Harmonics
Class 17	Notch
Class 18	Harmonics with Sag with Flicker
Class 19	Harmonics with Swell with Flicker
Class 20	Sag with Harmonics with Flicker
Class 21	Swell with Harmonics with Flicker
Class 22	Sag with Harmonics with Oscillatory transient
Class 23	Swell with Harmonics with Oscillatory transient
Class 24	Harmonics with Sag with Oscillatory transient
Class 25	Harmonics with Swell with Oscillatory transient
Class 26	Harmonics with Sag with Flicker with Oscillatory transient
Class 27	Harmonics with Swell with Flicker with Oscillatory transient
Class 28	Sag with Harmonics with Flicker with Oscillatory transient
Class 29	Swell with Harmonics with Flicker with Oscillatory transient

Table 5. 29 classes of single and combined power quality disturbances used for training and testing purposes of the classification algorithm

Александра Стојковска ¹, Шаип Даути ², Ментор: Доц. д-р Петар Крстевски ³

^{1 2 3} Факултет за електротехника и информациски технологии – Скопје,

¹ aleksandrasto10@gmail.com ² shaip.dauti@gmail.com

ВЛИЈАНИЕ НА ФОТОВОЛТАИЧНИТЕ СИСТЕМИ ВРЗ РАБОТАТА НА ДИСТРИБУТИВНИТЕ СИСТЕМИ

КУСА СОДРЖИНА

Дистрибутивните (електроенергетските) мрежи се дел на електроенергетскиот систем преку кој електричната енергија се распределува до корисниците. Најчесто во овој дел на електроенергетскиот систем влегуваат водови и трансформатори со номинален напон 110 kV и понизок напон. Но постојат и фотоволтаични системи кои се приклучени на дистрибутивната мрежа. Од година во година расте користењето на обновливи извори на енергија (ОИЕ), па така и огромното зголемување на инсталираниот капацитет на обновливи извори на енергија во дистрибутивните мрежи. Со тоа дистрибутивните мрежните оператори се соочуваат со повратни струи и напонски прекршувања.

Годишниот потенцијал за производство на соларна енергија во Македонија се проценува на 1.300-1.550kWh/kWp, па така ЕВН нуди комплетно решение по принципот „ключ на рака“ за фотоволтаични системи за сите домаќинства и бизниси во Македонија, со цел поттикнување на граѓаните за искористување на ОИЕ и сончевиот потенцијал.

Врз основа на истражувањето со помош на специјално изработена програма, кое е стекнато при проба на дадена реална мрежа, која се разгледува во два случаја со и без фотоволтаични системи, и како истите би влијаеле врз дадената реална мрежа. На претходно споментата мрежа се разгледува како фотоволтаичните системи влијаат врз тековите на моќностите, напоните во мрежата и загубите, соодветно како би изгледала мрежата со претходно споментите параметри доколку фотоволтаичните системи не би постоеле. Овој труд дава преглед на инсталираните фотоволтаични капацитети во некоја реална мрежа, предизвиците во врска со интеграцијата на мрежата на фотоволтаичните капацитети и ги истакнува идните стратегии за работа во делови за дистрибуција.

Клучни зборови: фотоволтаични системи; дистрибутивни системи; сонце; напонски прилики; текови на моќност.

THE IMPACT OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS ON THE OPERATION OF DISTRIBUTION SYSTEMS

ABSTRACT

Electricity distribution networks are part of the electricity system by which electricity is distributed to the end-users. This part of the power system includes lines and transformers with rated voltage of 110 kV and lower. The use of renewable energy sources (RES) increases and there is an enormous increase in the installed capacity of renewable energy sources in the distribution networks. Therefore, there is an increased number of photovoltaic systems that are connected to the distribution networks. With this, distribution system operators face problems with feedback currents and power flows, as well as voltage violations. The annual potential for electricity production from solar power in Macedonia is estimated at 1,300-1,550 kWh / kWp, therefore EVN offers a complete ‘key in

hand' solution for photovoltaic systems for all households and businesses in Macedonia in order to encourage citizens to use RES and solar potential. In the paper a research on the impact of the photovoltaic systems on the conditions and operation of the distribution networks, will be presented. The research is conducted by using specially designed program for calculation of voltages and power flows applied on a real network, in cases with and without photovoltaic systems. It is analyzed how photovoltaic systems affect the power flows, voltages and losses in the network, comparing to the state if photovoltaic systems did not exist. This paper reviews the installed photovoltaic capacities in a real network, the challenges associated with the integration of the photovoltaic capacities network, and highlights of the future work strategies in the electricity distribution sector.

Key words: photovoltaic systems; distribution systems; solar power; voltage conditions; power flows.

1 БОБЕД

Обновливите извори на енергија (ОИЕ) е секој извор на енергија кој се создава за покусо време отколку што се искористува. [1] Во обновливите извори на енергија спаѓаат: Сончевата енергија, ветерната енергија, водата (реки, плима и осека, морските бранови), геотермална енергија и биомаса. [2]

Од година во година расте користењето на обновливи извори на енергија (ОИЕ), па така и огромното зголемување на инсталираниот капацитет на обновливи извори на енергија во дистрибутивните мрежи. Со тоа дистрибутивните мрежните оператори се соочуваат со повратни струи и напонски прекршувања. Фотоволтаични системи се нарекуваат, општ метод за претворање на сончевата енергија во електрична енергија со помош на полупроводнички материјал во кој се одвива фотоволтаични ефект. Основни делови за работењето на овие системи се фотонапонските модули и изменувачите кои произведената електрична енергија ја претвораат во електрична енергија со наизменичен напон и фреквенција на нисконапонска или среднонапонска мрежа. Овие системи немаат потреба од батериски системи за складирање на произведената електрична енергија, бидејќи целата енергија автоматски ја предаваат во нисконапонската мрежа.

Главниот предизвик за човештвото е овозможувањето на развој кој ги задоволува потребите на денешните генерации без да ја загрози можноста за задоволување на потребите на идните генерации. Иднината на човештвото во многу ќе зависи од начинот на кој ќе се произведува и како ќе се троши енергијата! [1]

2 ФОТОВОЛТАИЧНИТЕ СИСТЕМИ И НОВИОТ ЗАКОН ЗА ЕНЕРГЕТИКА

Енергијата од сончевото зрачење е најобилен, неисцрпен, бесплатен и обновлив извор на енергија, која не ја загадува околината. Интензитетот на сончевото зрачење на површината на Земјата, зависи од времетраењето на зрачењето на Сонцето во текот на денот и аголот на сончеви зраци кон хоризонталната рамнина. Сонцето дава два вида на енергија: светлосна и топлинска. Уредите во кои се врши апсорбирање и трансформирање на сончевото зрачење во топлина, се нарекуваат сончеви колектори. Сончевите колектори, во зависност од конструкцијата, може да се користат за добивање на топла вода за централно загревање, или за производство на електрична енергија. Сончевите фотоволтаични ќелии се многу поволен начин за производство на електрична енергија, бидејќи не користат системи за ладење, а со тоа не произведуваат емисија и бука. Според енергетскиот биланс, учеството на енергија произведена од сончева енергија, во вкупната потрошувачка на енергија изнесува 7,4GWh, односно 0,04%. [3] Целата енергетска електроника се вградува во заеднички инвертор кој служи за поврзување на фотоволтаичниот систем со мрежата.

Предностите кои сончевите панели ги нудат се следниве: мали оперативни трошоци, мали инвестициони трошоци, едноставни за инсталирање, ефикасноста е независна од димензијата, производство е блиску до потрошувачите, зрачењето од сонцето што за еден час паѓа на површината на земјата е доволно да ги задоволи годишните потреби на жителите на земјата.

Недостатоците од друга страна се следниве, недостапни во ноќните часови, потенцијалот е најголем во најмалку населените држави во Европа, цената за kWh е се уште голема. Исто така, токсичните хемикалии што ги содржат панелите за производсво на електрична енергија, е проблем кои се дели на два дела, и тоа

еднаш за време на неговата изградба и вторпат на крајот од неговата употреба. Неговиот животен век е околу 20 години, додека неговата ефикасност опаѓа по 12 години. Проблемот со PV панелите е во тоа што тие во текот на производството и по отстранувањето испуштаат опасни хемикалии. [4] Една од токсичните хемикалии кои се вклучени во соларни панели не е она што е во панелите, туку е нус-производ на нивното производство. Сончевите панели создаваат 300 пати повеќе токсичен отпад по единица енергија отколку нуклеарните центри.

Од мај 2019 година, се спроведоа одредбите од новиот Закон за енергетика, каде преку нови законски решенија, допринесува до ефикасен, конкуретен и финансиски одржлив енергетски сектор, кој преку недискриминацијата, објективноста и транспарентноста, како основни начела, кои ќе обезбедат до конкуренција во производството и снабдувањето со енергија. Законот нуди чекор понатаму во усогласувањето на националното законодавство, со она на Европската Унија во делот на енергетиката, посебно во делот со одредбите на „Третиот пакет на законодавството за внатрешен пазар на енергија(електрична енергија и природен гас)“. На Сл.1 е прикажано првата кука во Македонија која го има искористено новиот закон за енергетика и има направено договор со ЕВН Македонија.



Слика 1. Прва кука во Македонија со PVP инсталирани со новиот закон за енергетика 2018

Новиот Закон за енергетика внесува новини во делокругот на работењето на вршителите на енергетски дејности, вклучително и ЕВН, какви што се:

- целосно се отвора пазарот на електрична енергија, на големо и мало, и им се дава можност на сите потрошувачи, независно од категоријата во којашто припаѓаат, да изберат свој снабдувач на електрична енергија, со кој меѓусебно ќе ги договорат условите за снабдување вклучително и цената на електрична енергија;
- се воведува универзален снабдувач на електрична енергија, кој ќе ги снабдува домаќинствата и малите потрошувачи што одлучиле да се снабдуваат од овој снабдувач или поради одредени причини избраниот снабдувач престане да ги снабдува со електрична енергија. Цените и условите се регулирани од Регулаторната комисија за енергетика;
- универзалниот снабдувач го избира Владата на Република Македонија од редот на постојаните снабдувачи на електрична енергија, по претходно утврдени критериуми од Регулаторната комисија за енергетика;
- универзалниот снабдувач ќе ја врши и дејноста снабдување на електрична енергија во краен случај на потрошувачите што не се домаќинства и мали потрошувачи, а кои останале без сопствен снабдувач во период од најмногу 90 дена, по што ќе биде прекината испоракта на електрична енергија;
- за зголемено учество на ОИЕ во финалната потрошувачка се воведува можност потрошувачите да инсталираат ОИЕ за сопствени потреби, а вишокот да го предаваат во дистрибутивната мрежа. За ваквата активност не е потребна лиценца за вршење на енергетска дејност;
- во делот на дистрибуцијата се ограничува операторот на дистрибутивниот систем за поединичен потрошувач, да врши промена на категоријата на приклучок без одобрување на Регулаторната комисија за енергетика. Ова престапува прекршок каде што се изразува глоба во висина до 2% од вкупните приходи на операторот на дистрибутивниот систем (ОДС) за претходната фискална година; [6]

3 МРЕЖНИ ПРАВИЛА НА ЗА ДИСТРИБУЦИЈА НА ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГИЈА И РАБОТА НА ДИСТРИБУТИВНАТА МРЕЖА

Соларната обновлива енергија во Македонија е достапна за користење на сите што се заинтересирани и тоа домаќинства и компаниите. Целиот процес за користење на услугата започнува со поднесување на барање. Во барањето се наведуваат основните информации за објектот или за локацијата каде што би се поставил фотоволтаичниот систем.

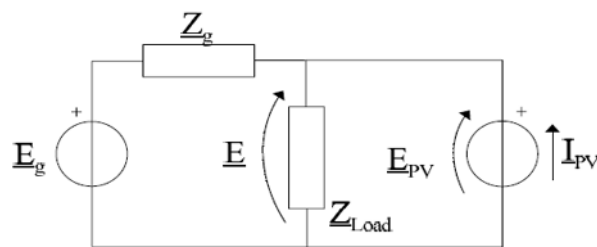
Врз основа на барањето се изготвува понуда, која доколку се прифати, се потпишува договор и се започнува со изработка на детално персонализирано решение за корисникот. Услугата на ЕВН подразбира целосен развој и имплементација на решението што треба да даде најоптимални резултати и да ги задоволи потребите на корисникот.

Процесот продолжува со изработка на детална анализа на потребите на објектот/локацијата на потенцијалниот корисник. Врз основа на оваа анализа, ЕВН му понудува на корисникот целосна услуга по принципот „клуч на рака“. Услугата е персонализирана и затоа за секој корисник цената би била различна. Цената зависи од многу фактори, а најмногу од големината на инсталиранта моќност на фотоволтаичната централа. [5]

Како инвеститори во производство на електрична енергија од обновливи извори имаат право на користење на повластена тарифа за производство на електрична енергија од обновливи извори утврдена од Регулаторна комисија за енергетика, доколку се стекнат со статус на повластен производител согласно закон. Пред да се добие право за користење на тарифите, неопходно е да се обезбедат потребните лиценци и овластувања и да се приклучат на дистрибутивната мрежа на Електродистрибуција. [6]

4 РАЗГЛЕДУВАЊЕ НА НАПОНСКИ ПРИЛИКИ ВО МРЕЖАТА СО PVP

Пред да го започнеме дискусијата, важно е да се разбере како фотоволтаичниот систем произведува пораст на напонот во својата точка на заедничко спојување, на сликата Сл.2. е претставен еквивалентно електрично коло на PVP систем приклучен на мрежа, и тоа со E_g и Z_g се параметрите на Тевененовиот генератор на електричната мрежа со Z_{load} е импеданса на товарот, E_{pv} и I_{pv} се параметрите на PVP. [7]



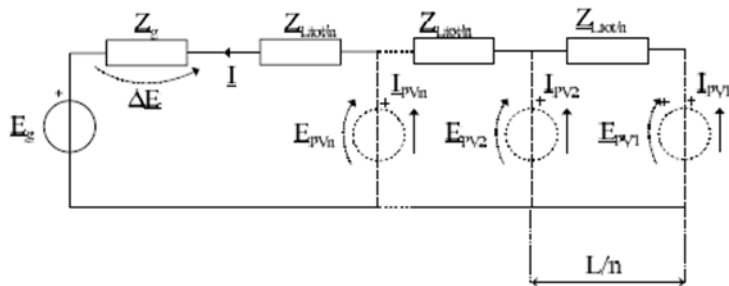
Слика 2. Моделирање на електричното коло на системот со PVP

Користејќи го овој модел, напонот во точката на заедничко спојување може да се пресмета со следниот израз (1) .

$$E = \frac{Z_{Load}}{Z_g + Z_{Load}} \cdot (E_g + Z_g I_{PV}) \quad (1)$$

Равенката покажува дека напонот без PVP ($I_{pv}=0$) се зголемува пропорционално за вредноста на производот $Z_g I_{pv}$.

Со зголемувањето на бројот на PVP во мрежата и напонот ќе порасне до вредности поголеми од $E_{p,max}$ и тоа ќе предизвикува проблеми во мрежата, т.е. кај потрошувачите, PVP системи во реалноста може да ги претставуваме како напонски генератори со редно поврзување на импеданса, тоа изгледа како во електричното коло подолу Сл.3. [7]

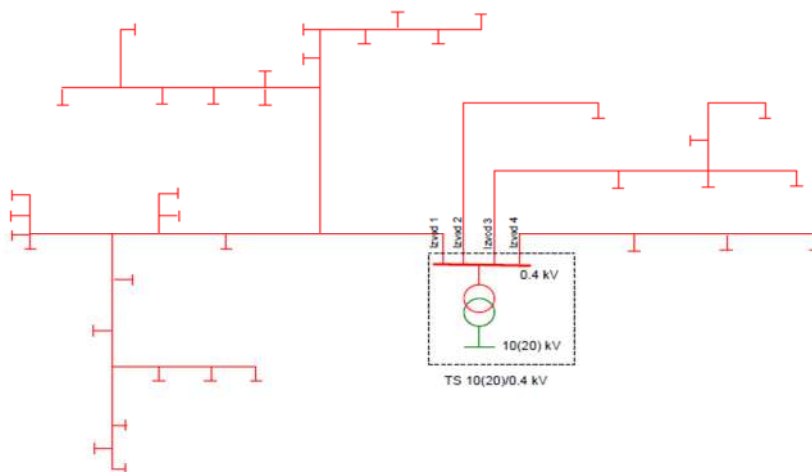


Слика 3. Мрежа со повеќе PVP

Во соработка со одделот за мрежен инженеринг во Електродистрибуција – Скопје ние имаме разгледувано напонски прилики во реална дистрибутивна мрежа со помош на програмата DNP Shneider. Дистрибутивните мрежи за коишто тука станува збор се најчесто разгрнети и отворени. Отворена мрежа се нарекува онаа мрежа која што не содржи ниту една контура. Основна одлика на разгранетите среднонапонски и нисконапонски мрежи е тоа што се тие составени од водови со релативно мали должини и од нив се напојува поголем број потрошувачи. Во современите Електроенергетски системи (ЕЕС) загубите на електрична енергија достигнуваат $10 \div 15\%$ од вкупната произведена електрична енергија. Големината на овие загуби битно влијае врз вкупните годишни експлоатациони трошоци, а со тоа и врз цената на испорачаната електрична енергија. [8]

Мрежата на која сме измериле е радијална и има четири изводи но во тие делници мал број од потрошувачите имаат приклучено PVP, кога бројот на PVP системи не е толку голем во мрежата (изводот) нема да се јавуваат напони повисоки од номиналниот туку тие пак ќе ги намалуваат загубите во некој мал процент што истиот може да го пресметуваме.

Трансформаторската станица е $10/0.4$ [kV/kV], на Сл.4 е претставено изгледот на радијална дистрибутивна мрежа (ДС) само за тој дел. Потрошувачите се претставени со кратки цртки соодветно во



Слика 4. Радијална ДС мрежа

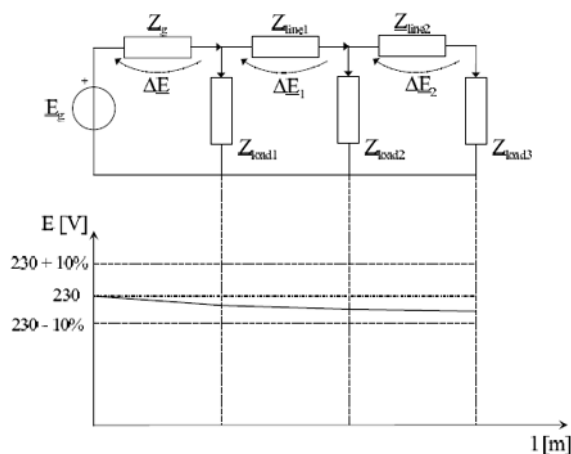
изводите. Моќноста на дистрибутивниот трансформатор е 380 [kW] туку моќноста на ниско напонскиот (НН) извод е 173 [kW].

Пресметките од програмата DNP Shneider се дадени подолу и напонот е измерен во четирите делници но на различни растојанија, од тоа дека претходната година е ослободен пазараот на електрична енергија и бројот на PVP е мал и овие вредности на напоните се очекувани, исто така и падот на напонот е во граници.

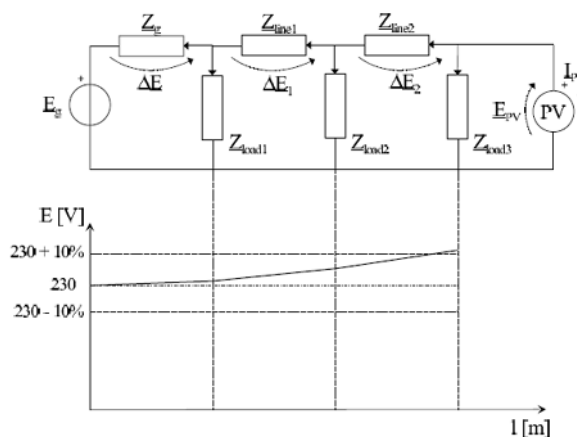
Делница	Напон	Пад на напон
1	$U_1(10m)=399,51 \text{ V}$	$dU(10m)=0.12\%$
2	$U_1(110m)=390,14 \text{ V}$	$dU(110m)=2,47\%$
3	$U_1(160m)=388,84 \text{ V}$	$dU(160m)=2,80\%$
4	$U_1(260m)=387,41 \text{ V}$	$dU(260m)=3,17\%$

Слика 5. Податоци од пресметка

Подолу може да видиме два примери на електрични кола(мрежа) со и без PVP означени со референци Сл.6. и Сл.7. исто така врз нив се гледа гравички и долната и горната граница на напонот во јазлите, што очигледно е дека кај јазолот со приклучен PVP напонот драстично се зголемува тоа значи дека ако во мрежата се приклучуваат уште PVP ќе дојдеме до напон поголем од максималниот.[8]



Слика 7. Мрежа без PVP



Слика 6. Мрежа со PVP

5 ЗАКЛУЧОК

Фотоволтаичните системи се едни од очекуваните повеќето растечки извори на електрична енергија во наредните децении. Во овој труд го проучуваме влијанието на инсталацијата на PVP врз дистрибутивните мрежи во однос на напони и загуби. Студиите на случај тврдеа дека има позитивно и негативно влијание на PVP интерконекцијата, тоа е местото каде што интересот лежи во подобрувањето напонот и намалувањето на загубите во системот што може да заштедат електрична енергија на главниот извор, но и покрај тоа, таму се некои загрижености што го придружуваат ова во однос на флукуацијата на напоните и условите на пренапон. Влијанието на PVP врз мрежата што е поврзано зависи од големината на PVP, локацијата за инсталирање и топологијата на системот. Оваа студија предложи контролен метод за да се намали флукуацијата на напонот што може да влијае врз регулативата, а со тоа и на регулаторот.

6 БЛАГОДАРНОСТ

Особено благодарност до менторот Доц. д-р Петар Крстевски за неговите инструкции, и на Одделот за мрежен инженеринг во Електродистрибуција – Скопје, т.е на м-р Оливер Мирчевски и Стефан Насковски за техничката поддршка за реализирање на овој труд.

7 КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] http://www.elem.com.mk/?page_id=452
- [2] <https://energetskaazbuka.mk/obnovlivi-izvori-na-energija/>
- [3] http://www.ea.gov.mk/index.php?option=com_content&view=article&id=53
- [4] L. Freris, D. „Infield, Renewabe Energy in Power Systems” Wiley 2008
- [5] „Соларната обновлива енергија достапна за домаќинствата и за компаниите“, ЕВН ИНТЕРН, Издавач, Скопје, 08/2018, стр.
- [6] <https://www.elektrodistribucija.mk/Services/New-electricity-connection-for-a-distributed-produ.aspx>
- [7] <https://www.elektrodistribucija.mk/Services/New-electricity-connection-for-a-distributed-produ.aspx>
- [8] A. F. Povlsen, “Impacts of power penetration from photovoltaic power system in distribution network,” report IEA-PVPS Tsk 5, Feb 2002.

**E. ENERGY EFFICIENCY AND
SUSTAINABILITY OF THE
ENVIROMENT, NEW
TECHNOLOGIES AND
MATERIALS**



SCEESD

Student conference

"Energy efficiency and sustainable development"



Ana Trajcheva¹, Mentor: Jadranka Blazevska Gilev²

^{1 2} Faculty of Technology and Metallurgy, Skopje, R.Macedonia

² jadranka@tmf.ukim.edu.mk

INCREASING BIOBASED CONTENT IN WATERBORNE (METH) ACRYLATE POLYMERS BY USE OF LIGNIN

ABSTRACT

Lignin is biobased material that appears as a waste from paper production industry. Due to the environmentally friendly, antioxidant, antimicrobial, and biodegradable nature along with its reinforcing capability, lignin is considered as promising candidate to replace one part of the synthetic polymers with biobased one. Additionally, owing to the presence of highly aromatic structure, lignin is able to produce a large amount of char residue upon heating at elevated temperature, which reduces the combustion heat and heat release rate. Therefore, the mixing of lignin with polymers to produced hybrid polymeric materials enhances the fire retardancy of the product.

In this work, the waterborne (meth)acrylic polymer dispersions produced by emulsion polymerization of methyl methacrylate (MMA), butyl acrylate (BA) and acrylamide (AAM) in weight ratio of 49.5/49.5/1, were blended with aqueous dispersion of lignin powder to in amount of 1 wt. %, 5 wt. % and 10 wt. % of lignin in relation to the polymer. The obtained hybrids were characterized by means of: Fourier-transform infrared (FTIR) and Ultraviolet/visible (UV/Vis) spectroscopy in order to determine the successful incorporation of lignin into the polymer matrix; contact angle measurements to examine the hydrophobicity/hydrophilicity and to determine the surface energy of the new systems; Scanning electron microscopy (SEM) to investigate the morphology of the hybrids; Thermal gravimetric analyses (TGA) to determine the thermal stability of the hybrids.

The lignin was very well incorporate within the (meth)acrylic polymer, giving rise to synthesis of partially biobased hybrid polymer. Furthermore, the well distribution of lignin within polymer matrix resulted in important improvement of the thermal properties. In other words, the char residues gradually increased with higher lignin content, enchanting the fire resistance of the polymer system. Decreasement of the hydrophobicity with addition of lignin was also observed.

Key words: biobased, emulsion mixing technique, fire retardancy, lignin, waterborne hybrid polymer films.

1 INTRODUCTION

During the last decades, the environmental awareness for handling unwanted products obtained in the industrial processes is becoming substantial. Finding a better, environmental friendly usage for the waste is even more challenging. Lignin is considered as the second most abundant renewable natural resource material next to cellulose and can be produced as a nus product from paper and ethanol making industries. One of the main usages of lignin waste is as fuel in heat and power plants. However, other methods to extract and refine lignin for better purposes than burning it are required [1]. As a biopolymer with highly branched structure, containing different functional groups has great potential of becoming essential bio-resources for the production of environmentally friendly polymers and polymer composites [1, 2]. High char yield is formed after decomposition due to its aromatic chemical structure. The advantage of this char is its ability to protect coated substrate from further decomposition and improve fire retardancy. Based on this fact, lignin has potential as a fire retardant. Until now it was reported that lignin creates protective char layers in polypropylene, polyethylene terephthalate, polyhydroxybutyrate, and acrylonitrile

butadiene styren enhancing their fire retardancy [3]. The main focus of this research is to suggest an alternative for the usage of waste lignin by its incorporation into polymer matrix with expectation of improving the thermal stability and fire retardancy of the polymers.

2 EXPERIMENTAL SECTION

2.1 Materials

The selected polymer system is composed from technical grade monomers: methyl methacrylate (MMA, Quimidroga), butyl acrylate (BA, Quimidroga), and acrylamide (AAM, Sigma Aldrich). For colloidal stabilization alkylidiphenyloxide disulfonate (Dowfax 2A1 45%, Aldrich) surfactant was used. Initiator tert-Butyl hydroperoxide (TBHP, Aldrich) was used to perform the free radical polymerization. Ascorbic acid (AsAc, Fluka) was used as reducing agent. The polymer was joined with lignin stable dispersion in order to produce composites with different wt. % of lignin in relation to the polymer. The lignin-alkali was purchased from Sigma Aldrich. For its dissolving 1,4- dioxane with 99.8% purity (Sigma Aldrich) was used. Sodium dodecyl sulfate (SDS, Aldrich) was used for the stabilization of the lignin into the dispersion.

2.2 Synthesis of polymer latex

p(MMA/BA/AAM) latex with 50% solid content was prepared by semi-batch seeded emulsion polymerization using TBHP as a free radical initiator. The seed was prepared with 10% solid content in a batch reaction at 70°C with agitation of 220 rpm under nitrogen atmosphere for 120 minutes. The initial charge containing the seed latex was directly measured in the reactor in order to introduce the three feedings in it. The first feeding includes the monomers MMA/BA. For the second feeding, a mixture of the functional monomer Acrylamide, surfactant Dowfax 2A1 45% (1% of the monomers), AsAc (0.25% of the monomers) and Milli-Q® was prepared and stirred the whole time in the process of feeding. For the third feeding the initiator TBHP (0.25% of the monomers) was dissolved in Milli-Q® and put in separated beaker. The resultant polymer was polymerized in semi-batch for 300 minutes. The obtained latex has 316 nm Z-Ave particle size, 50.7% calculated solid content with total conversion of monomers.

2.3 Emulsion mixing

The aqueous lignin dispersion was prepared by dissolving the lignin with dioxane 1:1 ration and after that dispersing it in water in the presence of SDS by terms of sonication for 10 minutes efficient time and 70% amplitude. In order to obtain films with 1 wt. %, 5 wt. % and 10 wt. % of lignin in relation to the polymer, in small beaker with 10 ml of the latex certain amount of the lignin dispersion was added (drop by drop system) and mixed under agitation. The composite latexes were afterwards casted into molds and left to dry for 5 days, under atmospheric conditions.

2.4 Characterization

The morphology of the nanocomposite films was observed using scanning electron microscopy (Quanta 250 e-SEM, Philips Tecnai, Field emission, Schottky filaments). The samples were analyzed by means of FTIR spectroscopy (Perkin Elmer, Spectrum 100) equipped with attenuated total ATR reflection and with UV/Vis spectroscopy (Shimadzu Uvmini-1240 spectrophotometer) in order to perform a qualitative and quantitative analysis of their composition. The determination of the hydrophobicity/hydrophilicity of the obtained composites was performed by multiple analyses of the contact angles of several water drops. Advancing contact angles for water, glycerol and ethylene glycol on the obtained composites were measured and their surface energy was calculated via Owens-Wend regression model using See System 7.0. In order to determine the thermal stability of the samples, thermogravimetric (TGA) analyses were performed.

3 RESULTS AND DISCUSSION

The results obtained in this research are given in the following continuation:

3.1 Morphology of the samples

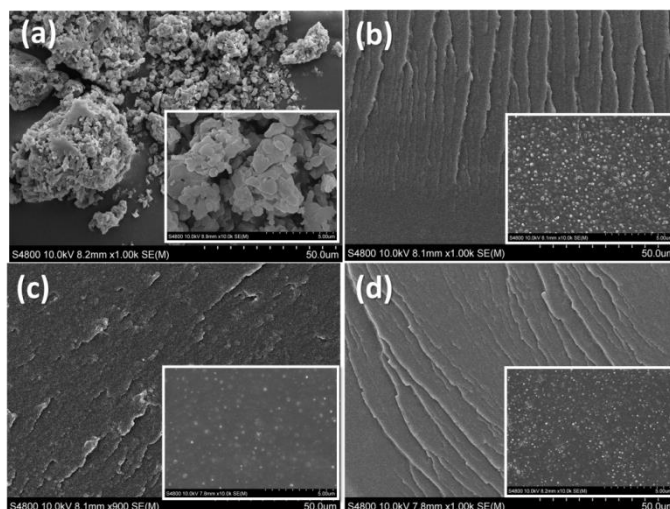


Figure 1. SEM images of: lignin (a); 1 wt. % lignin (b); 5 wt. % lignin (c); 10 wt. % lignin (d)

Microscopic images presenting the morphology of the lignin and cross section of the composites are given in Figure 1. Figure 1a presents the view of the morphology of the lignin; it can be noticed that lignin appeared granulated with grains of compact structure and different sizes [4]. From the cross-section of the nanocomposites presented on Figure 1b-d can be observed that most of lignin is randomly self-oriented with less aggregation, thanks to the formation of composite particles where the lignin and polymer particles are connected covalently and in the same time decreasing the mobility in the dispersion and disappearing of the colloidal polymeric particle template.

3.2 Qualitative and quantitative analyses of the samples

The samples were qualitatively and quantitatively analyzed using FTIR and UV/Vis spectroscopy. The good incorporation of lignin with the polymer matrix was proven by the two spectroscopies.

3.2.1 FTIR analyses

On Figure 2a and 2e are given the spectra with the characteristic bands of lignin and p(MMA/BA/AAm), respectively. From the obtained spectrum of lignin a strong wide band between $3300 - 3400 \text{ cm}^{-1}$ can be noticed due to the presence of alcoholic and phenolic hydroxyl groups involved in hydrogen bonds (-OH). The bands centered approximately at 2957 cm^{-1} and 2935 cm^{-1} , predominantly arise from CH stretching in aromatic methoxy groups and in methyl and methylene groups of side chain. Aryl ring stretching bands are shown at 1594 cm^{-1} (symmetric) and 1512 cm^{-1} (asymmetric). It was shown, that the intensity of the absorption band at 1451 cm^{-1} has been assigned to deformation vibrations of CH_2 -group. The absorption band at 1369 cm^{-1} is associated to asymmetric stretching vibrations of the C—O—C linkages in ethers and esters or to phenolic hydroxyls [5]. The spectrum of the copolymer is consisted from several characteristic bands. Namely, a band around 3000 cm^{-1} caused by -OH stretch and band at 2955 cm^{-1} and 2855 cm^{-1} originating from C-H stretch vibrations can be observed. In addition, C-H bending is shown in the bands around 1350 cm^{-1} and 1500 cm^{-1} . Furthermore, it can be noticed C=O stretching peak at 1721 cm^{-1} . The intensity of the absorption band at 1726 cm^{-1} is associated to C-O stretch of the copolymer. [6].

The successful incorporation of lignin within the copolymer matrix was proven with FTIR analyses, mainly by two bands that are absent in the copolymer but are characteristic for the lignin. The spectra of the composites on Figure 2b-d clearly show the combination of the characteristic bands for lignin and the copolymer, indicating to the

good interaction of the lignin with the polymer matrix. Namely, the band between $3300 - 3400\text{ cm}^{-1}$ and at 1594 cm^{-1} representing the -OH group and aryl ring in the lignin, respectively can be noticed in the composites.

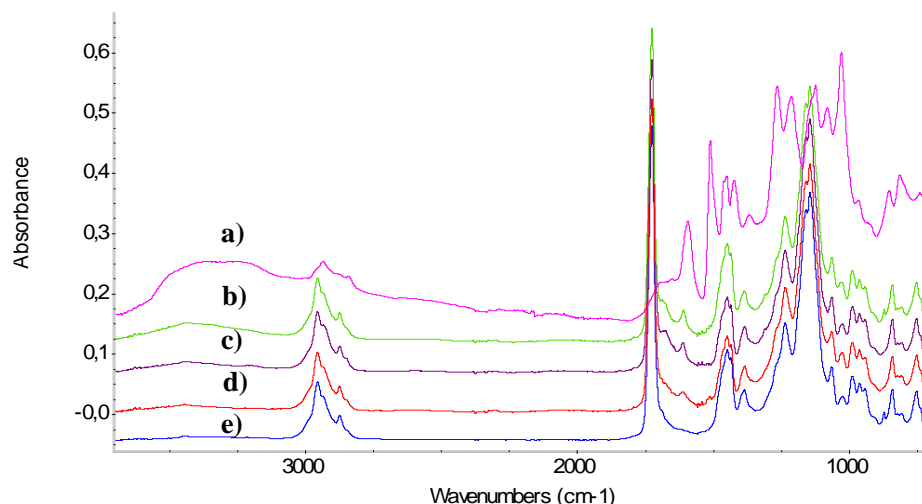


Figure 2: FTIR spectrum of: lignin (a); 10 wt. % lignin (b); 5 wt. % lignin (c); 1 wt. % lignin (d); copolymer (e)

3.2.2 UV/Vis analyses

Figure 3, represents the spectra of lignin, the copolymer and the composites. Observing the spectra of the lignin, two bands can be noticed. The first appears in the UV region at 260 nm as a result of benzene substituted by hydroxyl or methoxyl groups. The second peak is located in the Vis region at 300 nm due the presence of the carbonyl groups and/or double bonds conjugated with an atomic ring [7]. The copolymer is distinguished with intense adsorption band from $200\text{-}260\text{ nm}$ representing the $\pi\text{-}\pi^*$ transition in C=O [8]. With the addition of lignin into the polymer matrix two important changes in the spectra can be noticed which confirms the good incorporation of the lignin within the copolymer. The adsorption band characteristic for the copolymer at $200\text{-}260\text{ nm}$ undergoes decay in the intensity which is also known as hypochromic effect. A bathochromic effect of the band characteristic for the lignin at 300 nm also occurred i.e. shifting of the absorption band to longer wavelength. Both effects indicate that the composites possess lower ability to absorb UV and Vis light as it was expected.

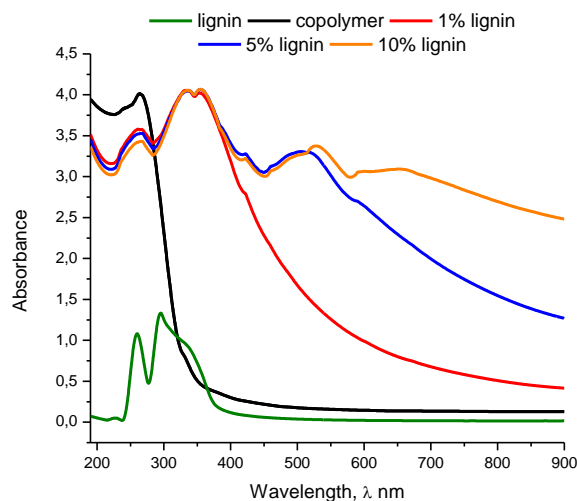


Figure 3: UV/Vis spectra of lignin, copolymer and composites

3.3 Contact angle/surface energy measurements

The change in the hydrophobicity/hydrophilicity and surface energy with the addition of lignin was also investigated. The results obtained from the measurements are presented in Table 1. The addition of lignin increased the hydrophilicity of the copolymer. The total surface energy does not follow a particular linear dependence. However, there is an increase of the surface energy of the polar component compared to the dispersive. This phenomenon is due to the polar nature of lignin which contributes to improvement of the hydrophilic properties of the copolymer. The total surface energy of solid is consisting of surface energies for the dispersive and polar parts according to Fowkes theory as shown in equation 1:

$$\gamma^t = \gamma^p + \gamma^d . \quad (1)$$

Where: γ^t is the total surface energy; γ^p is the surface energy for the polar part; γ^d is the surface energy for the dispersive part [9].

Sample	Contact angle [°]	γ^d [mJ/m ²]	γ^p [mJ/m ²]	γ^t [mJ/m ²]
Copolymer	81	28.6	9.6	38.2
1 wt.% lignin	78	12.9	14.7	27.6
5 wt.% lignin	57	6	39.1	45.1
10 wt.% lignin	71	16.3	17.4	33.7

Table 1: Contact angle/surface energy results

3.4 Thermogravimetric analyses (TGA)

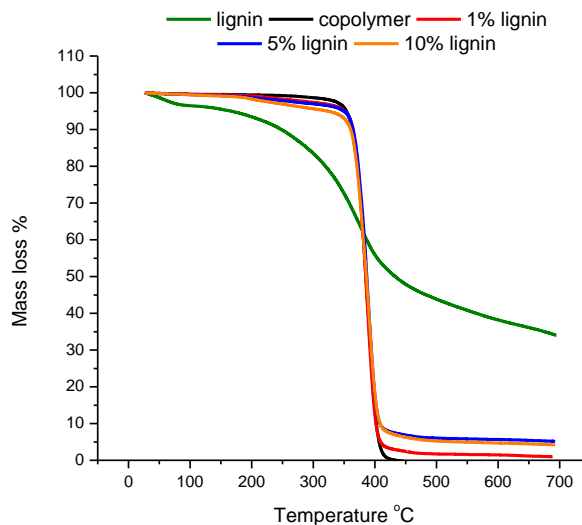


Figure 4: TGA results

Thermogravimetric analyses were performed in order to evaluate the degradation of the composites and to define their maximum processing conditions. The thermogravimetric curves of lignin, the copolymer and the composites with 1 wt. %, 5 wt. % and 10 wt. % are displayed in Figure 4. The TGA curve of lignin reveals that its weight loss begins around 100 °C, due to the presence of residual water, and then a gradual weight loss occurs from 144°C up to complete degradation around 487°C. On the other hand, the copolymer shows a sharp weight loss around 350°C and degradation is completed around 405°C. One important observation is that the addition of lignin to the copolymer slightly shifts its thermal degradation to higher temperatures and significantly increasing its char

content. Therefore the higher thermal stability and char content of lignin played a significant role in improving the fire retardancy of the copolymer [10].

4 CONCLUSION

In this work, alternative way of utilization of lignin was proposed i.e. as reinforcing agent for polymers in order to produce composites with improved thermal properties. The lignin was successfully incorporated into p(MMA/BA/AAm) matrix which was confirmed with the quantitative and qualitative analyses (UV/Vis and FTIR). Good distribution of lignin within the polymer matrix was observed through the SEM micrographs. Due to the polar nature of lignin, its addition in the copolymer increased the surface energy of the polar part, resulting in improvement of the hydrophilicity. The results from the TGA indicated that lignin improved the thermal stability and fire retardancy of the copolymer by providing more char content and higher temperature of degradation.

5 ACKNOWLEDGEMENT

This work was financially supported by the NATO Science for Peace and Security (SPS) Programme (G5244).

6 REFERENCES

- [1] M.N. Satheesh Kumar, A.K. Mohanty, L. Erickson, M. Misra, „*Lignin and Its Applications with Polymers*“, Journal of Biobased Materials and Bioenergy, American Scientific Publishers, United States of America, 2009, pg. 1-24.
- [2] Vijay Kumar Thakur, Manju Kumari Thakur, Prasanth Raghavan, Michael R. Kessler, „*Progress in Green Polymer Composites from Lignin for Multifunctional Applications*“, Sustainable Chemistry Engineering, ACS Publications, United States of America, 2014, pg. 1072-1092.
- [3] Chao Zheng, Dongfang Li, Monica Ek, „Improving fire retardancy of cellulosic thermal insulating materials by coating with bio-based fire retardants“, Nordic Pulp & Paper Research Journal, 2019, pg. 1-163.
- [4] Seyed Hamidreza ghaffar, Mizi Fan, „*Structural analysis for lignin characteristics in biomass straw*“, Biomass and bioenergy, Elsevier, 2013, pg. 1-16.
- [5] Mohamed Traore, Joeri Kaal, Antonio Martinez Cortiaz, „*Application of FTIR spectroscopy to the characterization of archeological wood*“, Spectrochimica Acta, Elsevier, 2016, pg. 63-70.
- [6] N.Jaykumar, S.Mohana Murugan, R. Rajavel, V. Srinivasan, „*Morphological characterisation of poly methyl methacrylate for surface coating of metals*“, International Journal of Mechanical Engineering and Technology, 2015, pg. 139-143.
- [7] A. Skulcova, V. Majova, M. Kojutova, M. Grosik, J. Sima, M. Jablonsky, „*UV/Vis spectrometry as a quantification tool for lignin solubilized in deep eutectic solvents*“, BioResources, NC State University, United States of America, 2017, pg. 6713-6722.
- [8] R. M. Ahmed, „*Optical Study on Poly(methyl methacrylate)/Poly(vinyl acetate) Blends*“, International Journal of Photoenergy, Hindawi, 2009, pg. 1-7.
- [9] D.K.Owens, R.C. Wendt, „*Estimation of the surface free energy of polymers*“, Journal of applied polymer Science, Wiley Online Library, 1969, pg. 1585-1808.
- [10] M. Reza Barzegari, Ayse Alemdar, Yaolin Zhang, Denis Rodrigue, „*Thermal Analysis of Highly Filled Composites of Polystyrene with Lignin*“, Polymers and Polymer Composites, 2013, pg. 357-365.



SCEESD

Student conference

"Energy efficiency and sustainable development"



Marija Prosheva ¹, Mentor: Jadranka Blazevska Gilev ²

^{1,2} Faculty of Technology and Metallurgy, Skopje, R.Macedonia

² jadranka@tmf.ukim.edu.mk

LASER ABLATION OF GRAPHENE IN SF₆ ATMOSPHERE

ABSTRACT

The main goal of this research work is to investigate the influence of the SF₆ gas on the pulsed laser deposition of graphene. The main advantage of the pulsed laser ablation (PLA) is its simplicity in implementation. PLA is a vapor deposition process which can be carried out in vacuum or in presence of different gases. The laser beams etch away the surface layers of the graphene target and the ejected material is deposited onto appropriate substrate. For this research, sulfur hexafluoride (SF₆) is used as a background gas for the laser ablation. The laser irradiation at 931 cm⁻¹ is strongly absorbed by SF₆ and the gas acts as an inert photosensitizer. The ability of SF₆ to absorb the laser energy and to convey the energy in a form of heat to the reaction mixture will provide milder conditions for PLA. The deposited graphene film was submitted to annealing in order to improve the conductivity of the deposit. The obtained deposits were investigated with Fourier-transform infrared (FTIR) spectroscopy. Scanning electron microscopy (SEM) was employed for examination of the deposit's morphology. The conductivity of the thin films was examined with four point probe resistivity meter. The FTIR spectra indicate successful deposition of graphene onto the substrates, the increased intensity of the C = C peak after the annealing demonstrates positive changes in the structure of the nanomaterial. The SEM images demonstrate more homogenous structure with less aggregation for the samples deposited in SF₆ atmosphere. The SEM images also show that after the annealing the porosity of the samples is significantly reduced. After the annealing the conductivity was increased for approximately 50 times for the sample deposited in vacuum. The sample deposited in SF₆ atmosphere did not possess conductivity before the annealing, but after the annealing its conductivity was 0.00257 S/m.

Key words: Annealing, graphene, PLA, SF₆.

1 INTRODUCTION

Since its discovery in 2004, graphene is object of research for many scientists due the extraordinary electrical, mechanical, thermal and optical properties that this nanomaterial possess. Graphene thin films are extensively used in the production of electromagnetic interference sheiding, supercapacitor electrodes, for flexible screen devices, toxic gas sensor etc. [1-3]. Several methods are reported for deposition of graphene thin films, as dip coating, drop casting method, electrophoretic deposition, chemical vapor deposition [2-5]. This work reports pulsed laser ablation (PLA) on graphene target in vacuum and sulfur hexafluoride (SF₆) atmosphere, to obtain graphene thin films. PLA is excellent technique for deposition of any type of material in thin film form. This is simple and efficient method which offers high control over the thin film growth and consequently over the film thickness [6, 7]. The PLA process can be carried out in vacuum or in presence in different background gases. The purpose of the background gases could be to introduce reactive species, to reduce the kinetic energies of the ablated species or to absorb laser energy [8]. In our work we use SF₆ gas, well known photosensitizer. This gas efficiently absorbs part of the laser beam energy and convey it as a heat [9, 10]. As a result, the graphene target is ablated with lower ablation rate and energies, which reduces the graphene damage. In order to further improve the structure of the graphene deposits, and thus to improve its properties, the graphene films were subjected to annealing. During the annealing the graphene film undergo different structural modifications, which lead to restoration of its structure [11, 12]. The

thermal annealing process was carried out in helium atmosphere and was optimized by adjusting the temperature and the annealing time.

2 EXPERIMENTAL SECTION

2.1 Materials

Target material used for the pulsed laser deposition (PLD) was a graphene pellet. Graphene nanoplatelets (GNP) were purchased from Sky Spring Nanomaterials, Inc. and have a 6-8 nm thickness.

2.2 Pulsed laser deposition of Graphene nanoplatelets

The experimental setup for the laser ablation system consists of a pulsed transversely excited atmosphere (TEA) infrared CO₂ laser (Plovdiv University) as an external laser source and a glass spherical vessel (Pyrex) enclosed with a NaCl glass as a deposition chamber. The laser was operating on the P(20) line of the 0001 → 1000 transition (944.19 cm⁻¹), with an incident fluence of up to 20 J cm⁻² and a repetition frequency of 1 Hz. Before starting the experiment, the deposition chamber was evacuated to 5 Pa. Inside, the appropriate target and the substrates (copper and quartz) were positioned within a 25-35 mm distance. Both the target and the substrate holders were manually rotated during the experiments, in the interest of obtaining even films with improved properties. ZnSe lens (F=500 mm) from Eksma Optics was used to focus the incident laser beam onto the target surface. Thin films obtained under different conditions are labeled as shown in Table 1. Note that the M3 and M4 sample was deposited in an evacuated atmosphere, without the presence SF₆. The sample labeled as M2 and M3 were afterwards annealed for 2.5 h at 500°C under helium atmosphere, in attempt to improve their conductivity. Samples M4 and M5 were also annealed in a helium atmosphere, however the time and temperature parameters were different (2 h; 300 °C). The annealing was carried out with Heraeus furnace equipped with vacuum pump, the rate of heating was 18 °C/min.

Name	M2	M3	M4	M5
Incident fluence, J/cm ²	20	20	15	15
SF ₆ pressure, atm	–	0.125	–	0.125
Number of pulses	5000 – GNP	5000 – GNP	10 000 – GNP	10 000 – GNP

Table 1. Obtained thin films with conditions of their deposition

2.3 Characterization

The films were characterized by means of Fourier transform infrared spectroscopy equipped with attenuated total reflection (FTIR – ATR), Perkin Elmer, Spectrum 100. Their electrical properties were examined with the four point probe method, by using the Jandel RM3000 Test Unit. The morphology of the M4 and M5 samples before and after annealing was examined by scanning electron microscopy (SEM), Quanta 250 e-SEM, Philips Tecnai, Field emission, Schottky filaments.

3 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 FTIR spectroscopy

Figure 1 presents the results from the FTIR spectroscopic analysis of the M2 and M3 deposit, pre- and post-annealing. The spectrum of pristine graphene used as target is given for reference. In the spectrum of the pristine graphene there are not significant peaks characteristic to any functional group. It can be observed characteristic band with low intensity at 1550-1600 cm⁻¹ which corresponds to the C = C [13]. On the M2 spectrum before the annealing can be notice the characteristic band for C=C with very low intensity, this confirms the successful deposition of graphene on the substrate. After the annealing the intensity of the peak slightly increases. On the spectra of the M3 sample before the annealing can be observed wide band with maximum at 1625 cm⁻¹ which correspond to C = C. After the annealing the intensity of this band decreases. This may be a result of graphitization of the

graphene film, thus indicating that in this case, the annealing at high temperature for longer period of time had a negative effect on the deposit. To avoid this occurrence, the next specimens (M4 and M5) were annealed at lower temperature and for shorter period of time. Furthermore, the graphene was deposited with higher number of pulses, but lower fluences in order to obtain more stable deposit films.

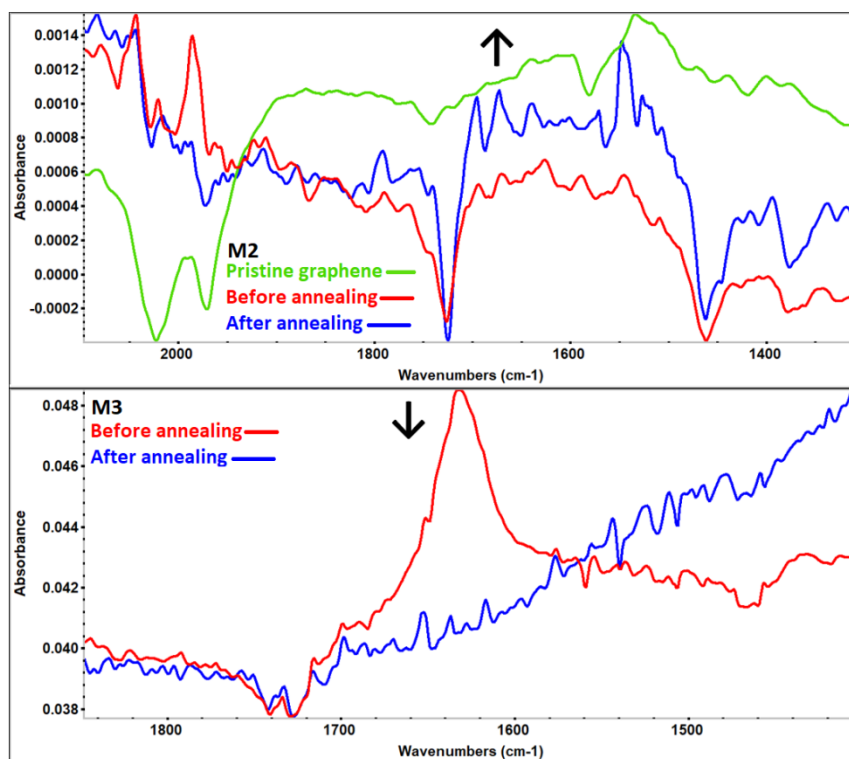


Figure 1. FTIR spectra of the pristine graphene, M2 and M3 samples before and after annealing

In figure 2 are presented the FTIR spectra for the M4 and M5 samples before and after annealing. At the M4 and M5 spectra can be identified the characteristic bands for C = O at 1727 cm^{-1} and for C = C at $1525\text{--}1650\text{ cm}^{-1}$. The oxygen functional group can be neglected since the intensity of the C = O characteristic band is very low for both samples. This means that the concentration of the oxygen is low, and in the case of the M5 sample it is almost completely removed after the annealing. The intensity C = C characteristic band after the annealing is increased for 13 times in the case of M4 sample and 73 times in the M5 sample which was ablated in SF_6 atmosphere. This implies that after annealing the structure of the graphene is almost restored due various structural modifications (e.g. in-plane compression, rippling due to conformal adhesion, differential thermal expansion) [11].

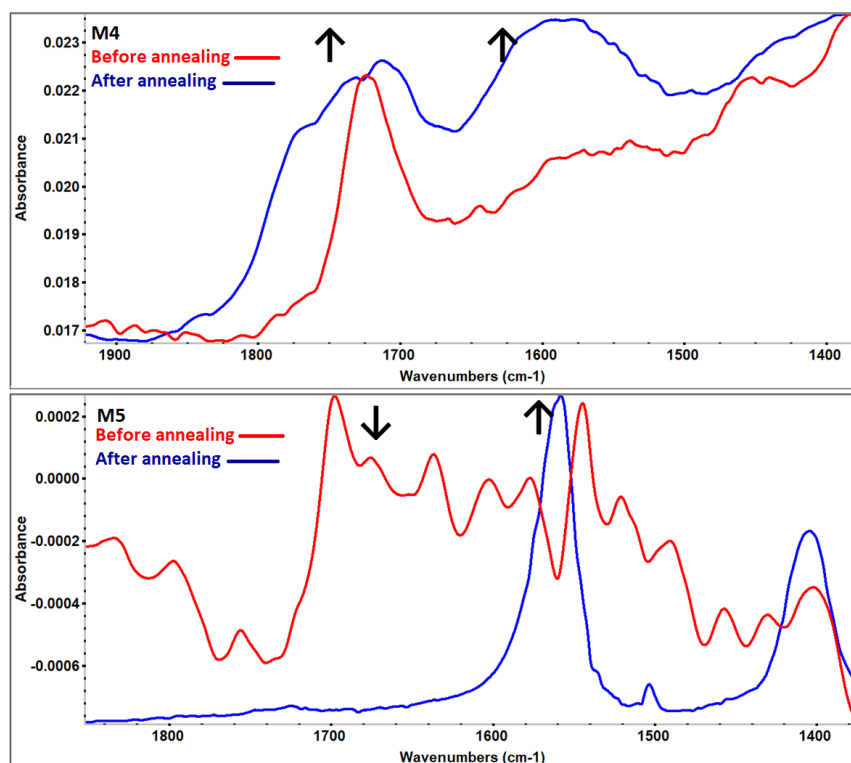


Figure 2. FTIR spectra of the M4 and M5 samples before and after annealing

3.2 Scanning electron microscopy

With the SEM images is confirmed the expected effect that SF_6 gas has over the deposition of graphene. In figure 3 are shown the SEM images of the M4 sample before annealing (a) and after annealing (b). Before annealing can be observed that the structure of the deposited graphene film is very porous without visible aggregation. After the annealing (b) the porosity is reduced, the film is more compact with clearly visible aggregation.

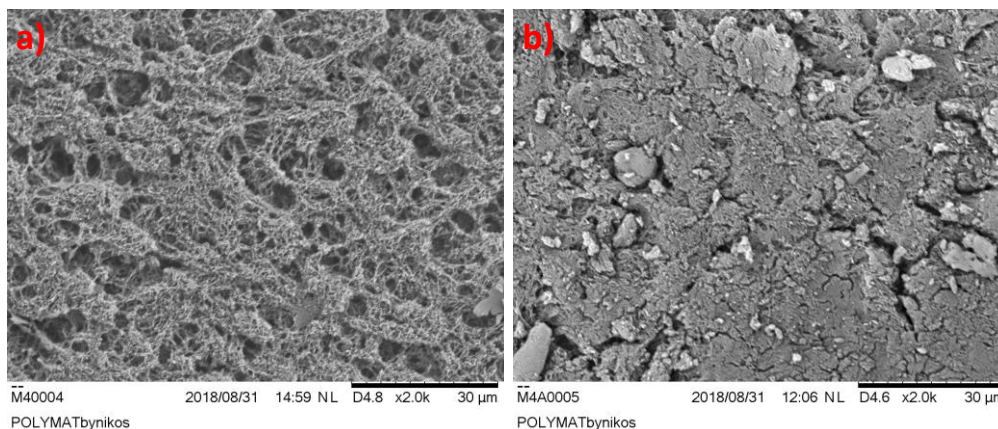


Figure 3. SEM images from M4: a) before annealing; b) after annealing

In figure 4 are presented the SEM images of the M5 sample before annealing (a) and after annealing (b). From image (a) can be notice that very compact film was obtained, but it is clear that the deposition of graphene is reduced. The reduced deposition is due the ability of the SF_6 gas to absorb part of the irradiation energy which reduces the rate of ablation. Lower ablation rate leads to removal of a smaller amount of graphene from the target, and consequently, a smaller amount of graphene is deposited on the substrate. Therefore the thickness of the film is very

small and even the surface of the substrate can be notice. In image 4(b) is presented the M5 film after annealing, where the positive effect of the annealing can be observed. On the image can be notice the excellent homogeneous distribution of graphene, shown as white dots across the surface.

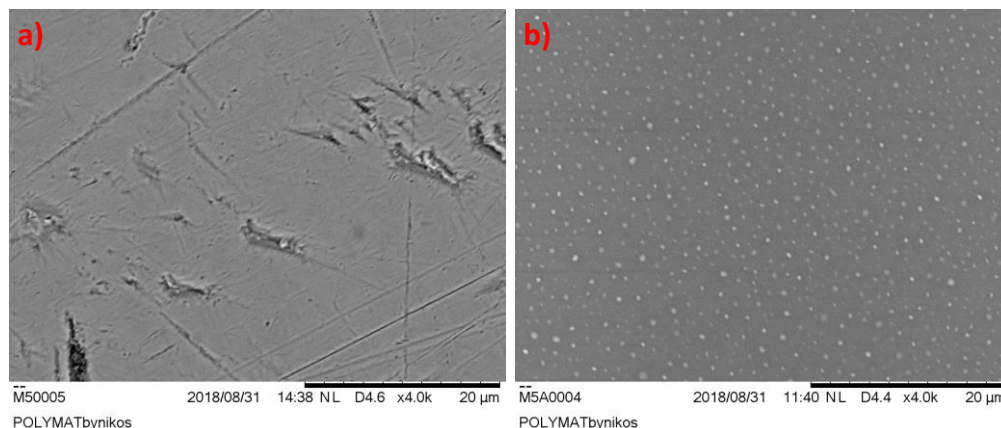


Figure 4. SEM images from M5: a) before annealing; b) after annealing

3.3 Conductivity measurements

Through the conductivity was confirmed the influence of the different deposition and annealing parameters on the final deposits. The only sample that showed stable results for the four-point probe resistivity measurements was M4, mainly due to its larger thickness. However, we were still able to note some of the obtained values for other samples and use them to calculate the averages. The acquired resistance values were converted to conductivity values, as presented in Table 2. The conductivity of the M2 and M3 deposits after the annealing is still very low, which is in correlation with the FTIR spectroscopic results. No significant restoration of the graphene structure was observed on the FTIR spectra. Regarding the M4 and M5 samples, the conductivity was significantly improved after the annealing at lower temperature. This is in accordance with the FTIR spectra and SEM which confirmed improvement of the film structure after annealing.

Sample	M2	M2 annealed	M3	M3 annealed	M4	M4 annealed	M5	M5 annealed
Conductivity, S/m	/	$6.01 \cdot 10^{-5}$	$5.62 \cdot 10^{-6}$	$6.20 \cdot 10^{-5}$	$3.19 \cdot 10^{-4}$	$1.71 \cdot 10^{-2}$	/	$2.57 \cdot 10^{-3}$

Table 2. Electrical properties of obtained films

4 CONCLUSION

Laser ablation of graphene in SF_6 atmosphere is excellent way to obtain graphene deposits. The SF_6 gas as a photosensitizer enables control over the ablation rate and power which is very important in the ablation of fragile structures like graphene. The SEM images imply that in presence of SF_6 gas the graphene film was more compact and homogeneous. The samples that were deposited with more pulses and ablated at lower temperature demonstrated more intensive $\text{C} = \text{C}$ characteristic bands which indicate improved structure of the deposits. Consequently those samples presented better electrical properties.

5 ACKNOWLEDGEMENT

This work was financialy supported by the NATO Science for Peace and Security (SPS) Programme (G5244).

6 REFERENCES

- [1] S. Lee, I. Jo, S. Kang, B. Jang, J. Moon, J. B. Park, S. Lee, S. Rho, Y. Kim, B. H. Hong, „*Smart Contact Lenses with Graphene Coating for Electromagnetic Interference Shielding and Dehydration Protection*”, ACS Nano, 2017, pg. 5318–5324.
- [2] L. G. B. Machunoa, A. R. Oliveiraa, R. Hermogenes Furlana, A. Barbosa Limaa, L. C. Moraisa, R. V. Gelamoa, „*Multilayer Graphene Films Obtained by Dip Coating Technique*”, Materials Research, 2015, pg. 775-780.
- [3] Y. Zhihua, Z. Liang, S. Kaixin, H. Weiwei, „*Characterization of Quartz Crystal Microbalance Sensors Coated with Graphene Films*”, Procedia Engineering, 2012, pg. 2448-2452.
- [4] Y. Ma, J. Han, M. Wang, X. Chen, S. Jia, „*Electrophoretic deposition of graphene-based materials: A review of materials and their applications*”, J Materiomics, 2018, pg. 1-13.
- [5] Y. Ma, L. Zhi, „*Graphene-Based Transparent Conductive Films: Material Systems, Preparation and Applications*”, Small Methods, 2018, 1800199.
- [6] A. A. Stramel, M. C. Gupta, H. R. Lee, J. Yu, W. C. Edwards, „*Pulsed laser deposition of carbon nanotube and polystyrene-carbon nanotube composite thin film*”, Optics and Lasers in Engineering, 2010, pg. 1291-1295.
- [7] A. Uccello, D. Dellasega, S. Perissinotto, N. Lecis, M. Passoni, „*Nanostructured rhodium films for advanced mirrors produced by Pulsed Laser Deposition*”, Journal of Nuclear Materials, 2013, pg. 261-265.
- [8] D. P. Norton, „*Pulsed Laser Deposition of Complex Materials: Progress Toward Applications*“, In R. Eason (Ed.), „*Pulsed Laser Deposition of Thin Films: Applications- Led Growth of Functional Materials*“, United States of America, John Wiley & Sons Inc.
- [9] S. Kim, C. Hwang, S. Y. Park, S.-J. Ko, H. Park, W. C. Choi, J. B. Kim, D. S. Kim, S. Park, J. Y. Kim, H.-K. Song, „*High-yield synthesis of single-crystal silicon nanoparticles as anode materials of lithium ion batteries via photosensitizer-assisted laser pyrolysis*”, J. Mater. Chem. A, 2014, pg. 18070-18075.
- [10] T.-H. Kim, S. Y. Park, T. H. Lee, J. Jeong, D. S. Kim, M. T. Swihart, H.-K. Song, J. Y. Kim, S. Kim, „*ZnO decorated germanium nanoparticles as anode materials in Li-ion batteries*”, Nanotechnology, 2017.
- [11] J. Hong, M. K. Park, E. J. Lee, D. E. Lee, D. S. Hawang, S. Ryu, „*Origin Of New Broad Raman D And G Peaks In Annealed Graphene*”, Scientific Reports, 2013.
- [12] Z. Cheng, Q. Zhou, C. Wang, Q. Li, C. Wang, Y. Fang, „*Toward Intrinsic Graphene Surfaces: A Systematic Study on Thermal Annealing and Wet-Chemical Treatment of SiO₂-Supported Graphene Devices*”, Nano Lett., 2011, pg. 767-771.
- [13] V. Țucureanu, A. Matei, A. M. Avram, „*FTIR Spectroscopy for Carbon Family Study*“, Critical Reviews in Analytical Chemistry, 2016, pg. 502-520.

Tajana Kostadinova ¹, Mentor: Jadranka Blazevska Gilev ²

^{1,2} Faculty of Technology and Metallurgy, University Ss.Cyril and Methodius, Skopje, R.Macedonia

² jadranka@tmf.ukim.edu.mk

DOPING OF REDUCED GRAPHENE OXIDE WITH SILVER AND GOLD NANOPARTICLES

ABSTRACT

Graphene has become an attractive material due to its exceptional mechanical, thermal and electrical properties. Reduced graphene oxide (rGO) was selected due to its immense surface area that ensures great adsorptivity. The gas-sensing mechanism of rGO is usually assigned to the adsorption/desorption of gaseous molecules (which operate as electron donors or acceptors) on its surface, leading to changes in the conductivity of graphene. However, sometimes the low electrical conductivity of graphene layers with a lot of defects could be a real drawback.

The doping of rGO with silver or gold nanoparticles is an efficient way to improved electrical conductivity. In this work, rGO hybrid platelets doped with silver and gold nanoparticles were produced by simultaneous reduction of GO and appropriate precursors, and afterwards were characterized by means of X-Ray Energy Dispersion Analysis (EDX), UV-VIS Spectroscopy, and Fourier Transforming Infrared Spectroscopy. The surface morphology and the homogeneous distribution of the silver and gold nanoparticles in the dispersions were determined and confirmed by Scanning Electron Microscopy (SEM) and Transmission electron microscopy (TEM) analysis. The presence of the nanoparticles is visible in the dispersions, but varying their dimensions and distribution. The conductivity was examined with the Four-Point Probe Resistivity Meter. The hybrid platelets were used as a substrate for Surface-Enhanced Raman Spectroscopy (SERS) using fluorescein probe molecule placed on the surface by drop-casting method. The intensity of Raman signal was strengthened and mostly millimolar concentrations of fluorescein (Fl) of 10^{-4} M could be detected. However, in the case of the rGO doped with gold nanoparticles, micromolar concentrations of 10^{-7} M Fl could be observed, due to the significantly small size distribution of the gold nanoparticles, very homogeneously distributed through the platelets.

Additionally, sensor properties of the materials on various toxic gases were examined by means of Quartz Crystal Microbalance instrument. When the films were exposed to a minimum concentration of toxic gases, they showed a significant drop in the frequency, which is proportional to the sensor characteristics of the materials.

Key words: silver nanoparticles, gold nanoparticles, graphene, reduced graphene oxide, sensors.

1 INTRODUCTION

Toxic (noxious) gases are dangerous to the living beings. They can easily build up in enclosed working areas when they are essential for the production process. Some factory-related activities can also result in the build-up of toxic gases in a confined area. Besides the industries, toxic gases are also found in various situations: chemical, mines, vehicles, waste disposal, the atmosphere, houses, and even battlegrounds. For all stated reasons, it is vital to be able to identify the toxic gasses even at very low concentrations. Nowadays, the development of highly sensitive materials is an attractive area in the research fields. To design a material that can seize (absorb) toxic gasses with high conductivity, sensitive to the absorbed kinds and additionally can be used for sensory purposes is the main goal in this research work. Graphene brings immense attention in the research fields, based on its unique

characteristics. One of the most significant applied areas where graphene is applied is the Surface-enhanced Raman scattering (SERS) [1]. An excellent SERS substrate should contain a rugged surface, to hold the probe molecule efficiently and exhibits satisfying mechanical qualities and sufficient endurance [2]. Graphene oxide (GO) and reduced graphene oxide (rGO), are growing as more pleasant and adequate materials since their ubiquitousness has also been associated with higher SERS outcomes and exceptional sensory qualities. rGO was selected due to its huge surface area that ensures high adsorptivity. As it is essential to have high electrical conductivity, silver nanoparticles (AgNPs) and gold nanoparticles (AuNPs) were added.

2 EXPERIMENTAL SECTION

2.1 Materials

Graphene Graphenea (4mg/ml) aqueous dispersion was used purchased from ACS Material. Due to its great lateral dimension and thickness, the nanoplatelets do not tend to wrinkling [3]. Furthermore, Fluorescein (Fl, $C_{20}H_{12}O_5$) purchased from Fluka was used as a probe molecule for SERS, polyvinylpyrrolidone (C_6H_9NO)_n with average mol wt 10,000 (PVP) as a surfactant, a silver nitrate precursor (AgNO₃) ACS reagent, 99.0% and Gold(III) chloride hydrate 99.995% trace metals basis from Sigma Aldrich, L (+) - Ascorbic acid, 99%, (AsA) from ACROS as a reducing agent were used as received.

2.2 Preparation and doping of the dispersions with AgNPs and AuNPs

Concerning the formation of the dispersions, two series of systems have been realized. The first system consists of reduction of GO and modification with AgNPs, while in the other system instead of AgNO₃ as a precursor Gold(III)chloride hydrate was used. For each system, 100 ml of the aqueous solution of GO was weighed and left under sonication for 10 minutes. The sonication is employed because it ensures better exfoliation of the aqueous solution of GO and helps with cutting their dimensions for uniform stabilization in water [4]. The preparation of polyvinylpyrrolidone (PVP) solution consists of 5 mg of the polymer dissolved in 5 ml of ultra-pure MilliQ water. Both precursors were prepared similarly, 60 mg of each was weighed and dissolved in 2 ml of distilled water. For both systems the reducing agent was prepared the same, 560 mg of Ascorbic acid (AsA) dissolved in 3 ml distilled water was used, in each sample, the AsA was added in a relation of 1:1 ratio to the amount of solid components in the system. After the sonication, the exfoliated GO was partitioned into two sections. Next 2.5 ml of the PVP solution was inserted using the drop-casting method. Subsequently, AgNO₃, or gold (III) chloride hydrate, was added only in one solution, it was left stirring for 30 minutes when the AsA solution was inserted in order to occur reduction. In the system with AgNO₃, or gold (III) chloride hydrate, 1.5 ml of AsA solution was used. After the addition of AsA, the systems were left under agitation for 72 hours. After 72 hours of agitating the systems were subjected to dialysis, two membranes were employed in which each solution was set. The solutions were purified until the conductivity of the water decreases.

2.3 Characterization

To perceive the surface and morphology of the hybrids scanning electron microscopy (Quanta 250 e-SEM, Philips Tecnai, Field emission, Schottky filaments) was used. A SEM can be equipped with an EDX analysis system for identifying elements, as well as evaluating their relative consistencies on the surface of the samples. The structure of the rGO and arrangement of silver and gold nanoparticles on rGO surfaces were studied with Philips TECNAI G2 20 TWIN transmission electron microscope (TEM). The SERS activity was examined using Raman spectroscopy with Renishaw in via spectrometer with an excitation wavelength of 532 nm and 1% laser power. The samples were analyzed with FTIR spectroscopy (Alpha FTIR spectrometer from Bruker) and with UV/Vis spectroscopy (Shimadzu Uvmini-1240 spectrophotometer) in order to perform a qualitative and quantitative analysis of their composition. The conductivity was carried out using Four-point probe method, by using the Jandel RM3000 Test Unit (volume resistivity mode). Quartz crystal microbalance (QCM 3000) controlled using the BioSense 3 software was employed for sensory properties measurements, with total flow rate of the gas 50.2 mb/min and work temperature of 20°C.

3 RESULTS AND DISCUSSION

The outcomes received within this study are presented in the following sequence:

3.1 Morphology of the samples

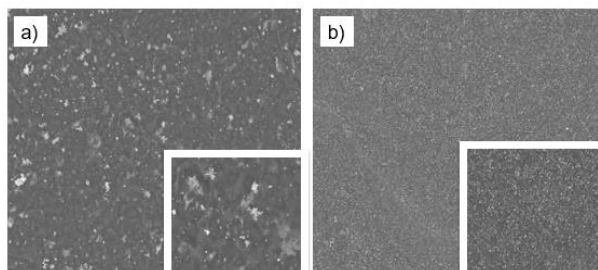


Figure 1. SEM micrographs for: rGO Ag (a); rGO Au (b)

On Figure 1 the SEM micrographs for the obtained dispersions are presented. Figure 1a shows the rGO doped with AgNPs. The white areas display the silver nanoparticles, their uniform distribution in the dispersion concerning the slow stirring process. As perceived, the sample is quite rich with AgNPs, suggesting good features for further examination. On Figure 1b the micrograph for the rGO doped with AuNPs is presented. The gold nanoparticles are displayed as numerous white dots that are homogeneously dispersed through the film. These micrographs surely expose that AuNPs prefer decorating the graphene. The small size distribution of the AuNPs is assumed to exhibit excellent outcomes in the SERS enhancement factor [5].

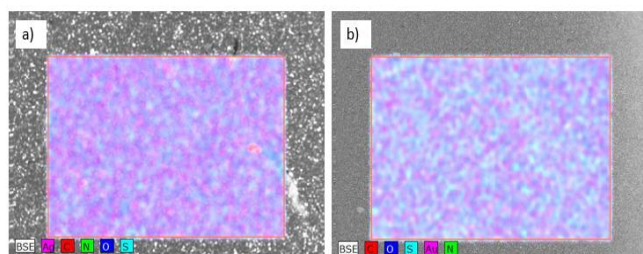


Figure 2. SEM-EDX images for: rGO Ag (a); rGO Au (b)

On Figure 2 the EDX images obtained from SEM analysis for the obtained dispersions are presented. Figure 2a shows the rGO doped with AgNPs, while on Figure 2b the elemental composition for rGO doped with AuNPs is presented. The concentration of each element in the samples is shown with a different color, and for both samples, the concentration of the elements contained in the sample, can be observed. The concentration of the AgNPs and AuNPs in the samples is presented with purple color, as seen, Figure 2a the sample is thoroughly enriched with AgNPs. In both samples, the homogeneously dispersed nanoparticles can be observed outside the rectangle shaped window which displays the quantification of the samples.

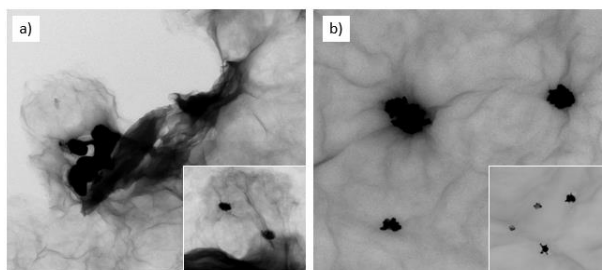


Figure 3. TEM images for: rGO Ag (a); rGO Au (b)

Figure 3 depicts the TEM images for both dispersions. The hybrid compositions are made of crooked and crouched platelets shielded with tiny black spines probably formed of some graphitic organization, from which wrinkles emerge. Due to high agitation, wrinkling of the rGO can occur [6]. The TEM Images for rGO doped with AgNPs sample are shown in Figure 3a. In this system, large aggregates of silver are formed, which is due to the moderately small number of heteroatoms in the graphene arrangement that actuated as nucleation spots in the creation of Ag particles. Figure 3b presents the TEM images for rGO doped with AuNPs. The opaque aggregates assign to the gold nanoparticles in the dispersion. Agglomeration has occurred in both systems, which is due to the low aspect ratio of the rGO aqueous solution and the relatively small amount of heteroatoms in the structure of rGO, as mentioned previously.

3.2 Qualitative and quantitative analyses of the sampels

The obtained dispersions were qualitatively and quantitatively examined utilizing FTIR and UV/Vis spectroscopy. The good distribution of the nanoparticles in the rGO was backed by the two spectroscopies as well.

3.2.1 FTIR and UV/Vis analyses

The FTIR spectrum for rGO doped with AgNPs is shown in Figure 4a, and the FTIR spectrum for rGO doped with AuNPs is presented in Figure 4b. The typical peaks for GO that are shown in both spectra are the peaks around $3132,43\text{ cm}^{-1}$ for hydroxyl group, the peak around 1500 cm^{-1} which is characteristic for C=C double bond function and the peaks around 1000 cm^{-1} are characteristic for C-O group. FTIR spectrum for silver nanoparticles showing characteristics peak at 1625 cm^{-1} and 1516 cm^{-1} 1384 cm^{-1} and 1047 cm^{-1} , while the characteristic peak for the gold nanoparticles is at 419 nm . The peaks that have a bigger wavenumber than 3500 cm^{-1} are typical for the surfactant PVP.

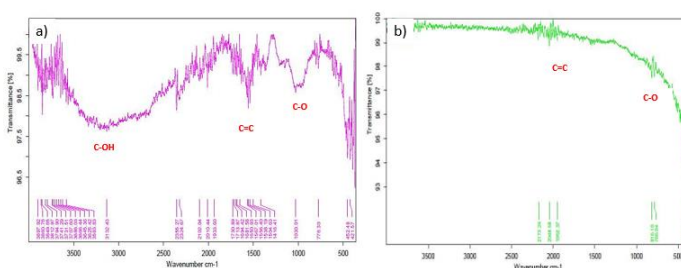


Figure 4. FTIR spectra for: rGO + AgNPs (a); rGO + AuNPs (b)

Figure 5 depicts the UV spectra for rGO doped with AgNPs (a) and rGO doped with AuNPs (b). The blue peak around 300nm is the characteristic peak for silver in the UV spectra. The typical peak for gold in UV spectra is around 500 nm, nevertheless, a hypsochromic shifting to lower wavelength has occurred. It is $n - \pi^*$ transition shift which is characteristic for carbonyl compounds. This can occur due to a change in environmental conditions: for instance, a change in solvent polarity.

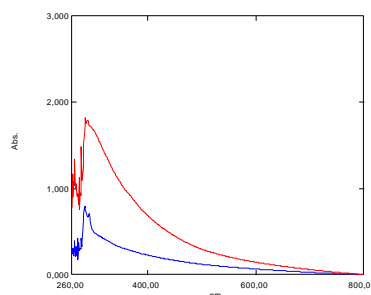


Figure 5. UV/Vis spectra rGO doped with AuNPs and rGO doped with AgNPs

3.3 Conductivity measurements

It is necessary to reduce graphene oxide into graphene as graphene oxide is defined by a low electrical conductivity. The resultant outcome after reduction is named as reduced graphene oxide. The presence or deficiency of the oxygen-containing functional groups on the basal graphene layer effects in a pleated carbon bone-structure rather than a planar layer [7]. These functional groups accompanied by coarse and twisted morphology of rGO impact the adsorption/desorption of the probe molecules of Raman and electrochemical reactions. Therefore, these groups perform an essential part in the electrochemical behavior of materials containing graphene as well as improved SERS signals [8]. The sample containing rGO doped with AuNPs ($2.66 \cdot 10^{-2}$) has better conductivity for three orders of magnitude in relation with rGO doped with AgNPs ($1.64 \cdot 10^{-5}$). Although more favorable outcomes were expected, the main factor for decreasing the conductivity is the surfactant PVP, likewise, the morphology of AgNPs and AuNPs is of great importance for the conductivity stages of the samples.

3.4 Surface-enhanced Raman spectroscopy (SERS)

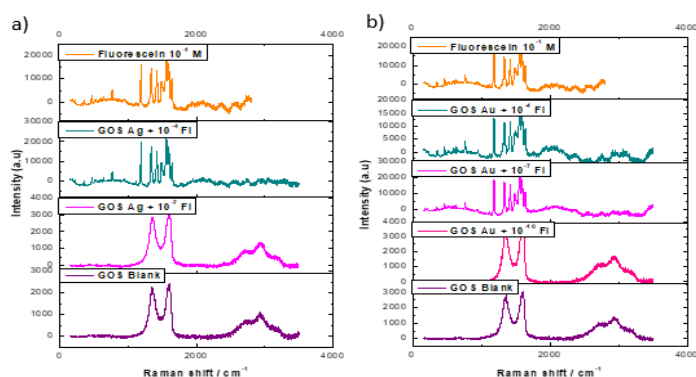


Figure 6. Raman spectra for rGO doped with AgNPs (a) and rGO doped with AuNPs (b)

Figure 6 depicts the Raman spectra for the rGO doped with AgNPs (a) and rGO doped with AuNPs (b). It has been reported that the Raman strength of the analyte molecule improves with the size increasement of the AgNPs due to the stronger coupling effect among the nanoparticles [9]. As observed the 10^{-7} M concentration of fluorescein is detected in the sample doped with AuNPs. The 10^{-10} M concentration of fluorescein is not detected and only the main bands of GO are perceived. Due to previously published results, the enhancement of SERS signal is directly proportional to the small size distribution of the nanoparticle [9]. This statement is equivalent to the obtained results concerning the sample doped with AuNPs.

3.5 Quartz crystal microbalance (QCM)

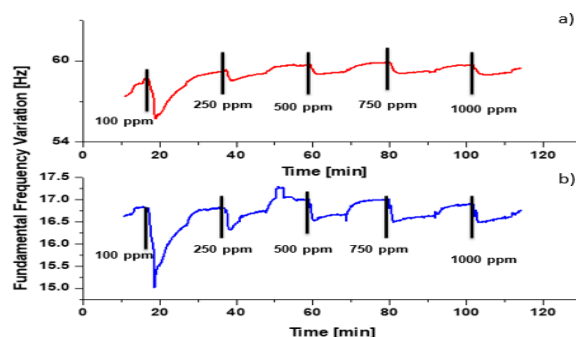


Figure 7. Sensor measurements for rGO doped with AuNPs (a) and rGO doped with AgNPs (b)

From Figure 7, can be noticed when both samples are exposed to the minimal concentration of carbon monoxide, higher frequency drop is detected. With an incensement in the toxic gas flow, it is noticeable that the fall in the frequency is not as sharp as the one in the start. It can be observed that the sample doped with AgNPs maintains fast response when it's exposed to the provided toxic gas while showing sensitivity towards the toxic gas. For the sample doped with AuNPs, can be noticed that the more the concentration of carbon monoxide increases, the more the responses of the sensor decrease so that the sensor features lead to lower operating frequencies.

4 CONCLUSION

The reduction of GO and doping with nanoparticles of silver and gold resulted in a successful modification of the rGO layer. The homogeneous distribution of the nanoparticles is observed with SEM and TEM images and backed up by FTIR and UV/Vis spectroscopies withal. The three orders of magnitude better conductivity of the rGO doped with AuNPs resulted in SERS enhancement up to 10^{-7} millimolar concentration of fluorescein attached to the hybrid. From the conducted sensory measurements, the highest sensor response towards the toxic gas were obtained when the samples were exposed to its minimal concentration.

5 ACKNOWLEDGEMENT

This work was financialy supported by the NATO Science for Peace and Security (SPS) Programme (G5244).

6 REFERENCES

- [1] Leilei Kang, Jiayu Chu, Hongtao Zhao, Ping Xuand Mengtao Sun, "Recent progress in the applications of graphene in surface-enhanced Raman scattering and plasmon-induced catalytic reactions", *Journal of Materials Chemistry C*, , People's Republic of China ,2015, 3,pg. 9024—9037.
- [2] Gordana Siljanovska Petreska, Jadranka Blazevska-Gilev, Radek Fajgar, Radmila Tomovska, "Surface-Enhanced Raman Scattering activity of Ag/graphene/polymer nanocomposite films synthesized by laser ablation", *Thin Solid Films*, Elsevier, 2014, pg. 115-120.
- [3] Silvia G. Prolongo , Alberto Jiménez-Suárez, Rocío Moriche and Alejandro Ureña, "Influence of Thickness and Lateral Size of Graphene Nanoplatelets on Water Uptake in Epoxy/Graphene Nanocomposites", *Applied Sciences*, Spain, 2018, 8, 1550 pg. 1-10.
- [4] K. Vinodgopal, B. Neppolian, N. Salleh, I.V. Lightcap, F. Greiser, M.Ashokkumar, T.T. Ding, P.V. Kamat, "Dual-frequency ultrasound for designing two dimensional catalyst surface: reduced graphene oxide-Pt composite", *Colloids Surf. A. Physicochem. Eng. Asp.* 40, Elseiver, 2012, pg. 81-87
- [5] Hui Song, Xin Li, Sweejiang Yoo, Yuan Wu, Weihua Liu, Xiaoli Wang, and Hongzhong Liu, "Highly Sensitive Surface Enhanced Raman Spectroscopy from Ag Nanoparticles Decorated Graphene Sheet", *Journal of Nanomaterials*, Hindawi, London, 2014, pg. 7
- [6] Silvia G. Prolongo , Alberto Jiménez-Suárez, Rocío Moriche and Alejandro Ureña, "Influence of Thickness and Lateral Size of Graphene Nanoplatelets on Water Uptake in Epoxy/Graphene Nanocomposites", *Applied sciences*, United States of America, 2018, pg. 10.
- [7] Tamás Szabó, Ottó Berkesi, Péter Forgó, Katalin Josepovits, Yiannis Sanakis, Dimitris Petridis, Imre Dékány, "Evolution of Surface Functional Groups in a Series of Progressively Oxidized Graphite Oxide", *Chemistry of Materials*, United States of America, 2006, pg. 2740-2749.
- [8] Shweta Sharma, Varnika Prakash, S.K. Mehta, "Graphene/Silver nanocomposites-Potential electron mediators for proliferation in electrochemical sensing and SERS activity", *Trends in Analytical Chemistry*, Elsevier, 2016, pg. 155-171.
- [9] Gang Lu, Hai Li, Cipto Liusman, Zongyou Yin, Shixin Wu and Hua Zhang, "Surface enhanced Raman scattering of Ag or Au nanoparticle-decorated reduced graphene oxide for detection of aromatic molecules", *Chemical Science*, Royal Society of Chemistry, United Kingdom, 2011, pg. 1817-1821.



SCEESD

Student conference

"Energy efficiency and sustainable development"



Сандра Костова ¹, Благоја Тодоровски ², Ментор: Гога Цветковски ³

^{1 2 3} Факултет за електротехника и информациски технологии, Скопје

¹ k.sandra54@gmail.com

² todorovskibлагоја1@gmail.com

³ gogacvet@feit.ukim.edu.mk

РАЗВОЈ НА ПАМЕТНИ МРЕЖИ ВО РЕПУБЛИКА СЕВЕРНА МАКЕДОНИЈА И НИВНА ЕНЕРГЕТСКА ЕФИКАСНОСТ

КУСА СОДРЖИНА

Уште од 2005 година се појавува интерес за имплементација на паметните мрежи. Паметна мрежа е електрична мрежа во која можат интелигентно да се интегрираат активностите на сите поврзани корисници, производителите, потрошувачите и протрошувачите (производители и потрошувачи) со цел ефикасен, одржлив и сигурен довод на електрична енергија. Модерните паметни мрежи би формирале електроенергетски систем кој првенствено ќе ги намали пиковите на оптоварување, ќе ги намали капиталните трошоци, загубите во водовите како и овозможување на подобрување на квалитетот на електричната енергија.

Живеејќи во регион каде што и не сме подготвени за ерата на паметните мрежи, во октомври минатата година во Република Северна Македонија се започна со реализација на дел од компонентите во овие така наречени паметни мрежи. Некои се во иницијална фаза, додека пак некои од проектите се во фаза на спроведување. Како најзначаен проект и од суштинско значење за интеграцијата на паметните мрежи е монтажата на оптички јажиња на веќе постоечкиот електроенергетски систем, кој е цврста основа за понатамошното интегрирање на компонентите од паметните мрежи.

Клучни зборови: паметни мрежи, интегрирање, енергетска ефикасност.

THE DEVELOPMENT OF SMART GRIDS IN REPUBLIC OF NORTH MACEDONIA AND THEIR ENERGY EFFICIENCY

ABSTRACT

At the beginning of 2005, there is shown interest in implementing a smart grid. A smart grid is an electrical grid in which it can be intelligently implemented the activities of all the connected users, manufacturers, consumers, prosumer for the purpose of efficient, sustainable and secure flow of electrical energy. The modern smart grids would form an electro energetic system who primarily would lower the peaks of load, would lower the capital expenses, the loss in transmission lines as well as enabling the improvement the quality of electrical energy. Living in a region where the infrastructure is not ready for the era of smart grids, in October last year Republic of North Macedonia started with the realisation of the components of the so called smart grids. Some are in an initial phase and some are in phase of realisation. As the most important project, who is of significant meaning for the integration of smart grids is the installation of optical wires with a length of 200 km, which is a strong foundation for further development and integration of the components of the smart grid.

Key words: smart grids, integrating, energy efficiency.

1 ВОВЕД

Електроенергетскиот систем во Република Северна Македонија, со исклучок на одредени реализирани проекти и интервенции, е непроменет во последните педесетина години. Иако ја исполнува неговата примарна задача, неопходно е да се надоградува и усовршува. Технолошкиот напредок има значително влијание на нашиот начин на живот, зголемувањето на загадувањето на животната средина како и на потрошувачката на електричната енергија. Помеѓу 2000 и 2007 година, глобалната побарувачка за електрична енергија, во просек се зголемувала за 2,5% секоја година, и ова зголемување продолжило и во наредните години. До 2030 година се очекува да се зголеми за 50% во споредба со 2015 година. Со оглед на ова, традиционалниот пристап на градење на хидро и термоцентралите за задоволување на побарувачката на електрична енергија не може да остане единствена опција. Потребно е да се пронајде начин да побарувачката од електрична енергија се задоволи така што би се интегрирале обновливите извори на енергија во постоечкиот електроенергетски систем.

Паметната мрежа ќе овозможи безбедно и непрекинато напојување со електрична енергија како и успешно управување со целиот електроенергетски систем. Освен тоа, со имплементација на паметната мрежа би се редуцирала емисијата на јаглероден диоксид и други загадувачи, со мониторингот на паметните мрежи исто така ќе се избегнат или намалат дефектите/нарушувањата во електроенергетскиот систем. Кај паметните мрежи постои можност за складирање на електричната енергија, со што би се овозможила зголемена употреба на енергија произведена од обновливи извори на енергија, како и зголемена употреба на електричните возила во иднина.

Со двонасочниот пренос на енергијата со помош на паметните мрежи се овозможува пристап на корисниците до цената на електричната енергија во реално време, што им дозволува на корисниците подобро менаџирање со електричната енергија, а со тоа и заштеда, со можност за продавање на неискористената електрична енергија назад во мрежата.

2 ОСНОВНИ КОМПОНЕНТИ НА ПАМЕТНА МРЕЖА

Паметна мрежа претставува единствена можност за електроенергетската индустрија да стане подостапна, поекономична и еколошки поприфатлива. Ваквиот електроенергетски систем се темели на интеграција на двонасочни комуникациски и интеграциски технологии, складирање на електрична енергија, автоматизација на дистрибутивната мрежа и интегрирање на обновливите извори на енергија.

Постојат многу дефиниции кои објаснуваат што се крие зад идејата на паметни прежи, но главниот концепт за паметна мрежа е дека тоа е таква мрежа која е во можност да ги интегрира навиките и акциите на сите корисници, вклучувајќи ги производителите, дистрибутерите и потрошувачите, како би се осигурала заштеда на електрична енергија и енергетска ефикасност на мрежата со помали губитоци на енергија и редовно снабдување на потрошувачите. Ваквиот систем овозможува следење, анализа, контрола и комуникација внатре во мрежата и е воведен со цел да се надминат недостатоците на вообичаениот енергетски систем.

Паметната мрежа всушност додава систем за поддршка и обнова на моменталниот електроенергетски систем и со тоа го прави подготвен за да ги лоцира и поправи дефектите настанати од невреме, бура, земјотрес и сл. Поради двонасочната интеракција, паметната мрежа овозможува автоматска ре-конекција на местото каде што е настанат дефектот. Односно, протокот на енергија ќе го промени својот пат автоматски ако е настанат дефект во дел од опремата или тоа е последица од погоре споменатите надворешни влијанија. На овој начин, дефектите ќе бидат минимални. Доколку е настанат поголем дефект, паметната мрежа ќе го лоцира и ќе го изолира делот во кој постои дефектот како не би настанал прекин од големи размери на преносот на електрична енергија.

Иако паметната мрежа се смета за клучна технологија за развој на постоечкиот електроенергетски систем, тој процес ќе биде доста сложен и долготраен бидејќи модернизацијата на моменталната мрежа ќе влијае на целокупниот процес на производство, пренос и дистрибуција на електрична енергија.



Слика 1. Инфраструктура на постоечки електроенергетски систем



Слика 2. Инфраструктура на паметна мрежа со основни функции

На слика 1 е прикажана мрежа на постоечки електроенергетски систем кој се карактеризира со еднонасочен проток на податоци како и еднонасочен проток на електрична енергија од електрани, кон индустриски потрошувачи и домаќинства.

Ваквата инфраструктура не е дизајнирана да ги задоволи сите поголеми побарувачки од потрошувачите и зголемената потрошувачка на електрична енергија, па е изложена на константно проширување, финансиски неефикасно одржување на постоечката инфраструктура, многубројни сигурносни закани, што резултира со купување на електрична енергија или прекумерна работа што резултира со дефекти на опремата.

Од друга страна, на слика 2 се прикажани елементи кои се дел од целосно функционална паметна мрежа. Инфраструктурата на паметната мрежа се карактеризира со двонасочен проток на електричната енергија, двонасочна комуникација во реално време, уреди за складирање на електричната енергија, сензори и паметни мерни уреди.

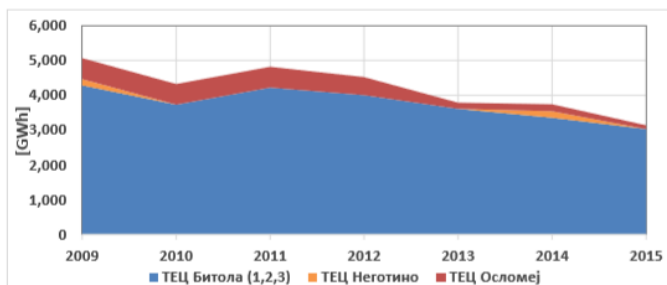
3 ЕЛЕКТРОПРЕНОСЕН СИСТЕМ НА РЕПУБЛИКА СЕВЕРНА МАКЕДОНИЈА

3.1 Податоци за електрични центри во Република Северна Македонија

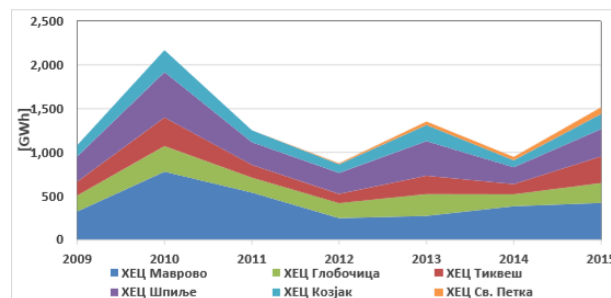
Електричната енергија во земјава се произведува во термоелектрични центри (ТЕЦ), хидроелектрични центри (ХЕЦ), комбинирани постројки за производство на електрична и топлинска енергија (ТЕТО), ветерни електрични центри (ветерен парк Богданци), фотонапонски електрични центри (ФНЕЦ) и електрични центри на биомаса/биогаз. Вкупната инсталирана моќност на центри за производство на електрична енергија е 2055 MW. (2015 година)

Табела 1. Податоци за електрични центри во РСМ

Произведен објект	Инсталирана моќност (MW)	Проектирано годишно производство (GWh)
Термоелектрични центри	1032	5068
Хидроелектрични центри	567	1254
Комбинирани постројки (110Кв)	230	1600
Комбинирани постројки (<110кв)	60	480
Ветерни електрични центри	36,8	100
Мали хидроелектрични центри	108,6	289
Електрични центри на биогаз	4,0	17
Фотонапонски електрични центри	16,7	21
ВКУПНО	2055	8829



Слика 3. Годишно производство на ТЕЦ



Слика 4. Годишно производство на ХЕЦ

3.2 Потрошувачка на електрична енергија во Република Северна Македонија во периодот од 2011-2015

Табела 2. Потрошувачка на ЕЕ во РСМ

Бр.	Потрошувачи	Годишна потрошувачка на електрична енергија (GWh)				
		2011	2012	2013	2014	2015
1	Приклучени на преносната мрежа 110	2255,60	1967,31	1961,39	1986,90	1671,52
2	Приклучени на дистрибутивен систем	5359,45	5253,63	5028,90	4974,43	5182,89
3	Загуби во преносната мрежа	200,77	186,79	159,21	152,22	130,54
4	Загуби во дистрибутивниот систем	1186,41	1107,27	990,31	914,23	902,83
ВКУПНА ПОТРОШУВАЧКА НА ЕЕ [GWh]		9002,23	8514,99	8139,81	8027,28	7887,78

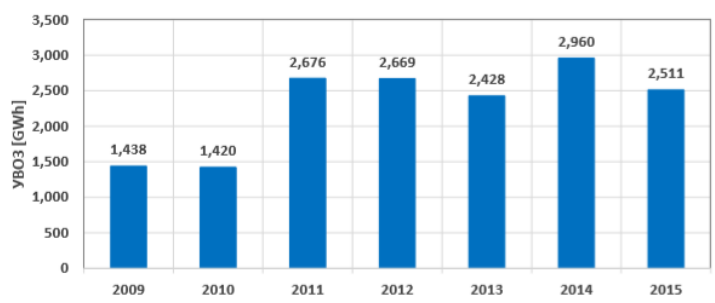
3.3 Производство на електрична енергија во Република Северна Македонија во периодот од 2011-2015

Табела 3. Производство на ЕЕ во РСМ

Бр.	Потрошувачи	Годишно производство на електрична енергија (GWh)				
		2011	2012	2013	2014	2015
1	ТЕЦ	4850,1	4755,8	4083,4	3696,2	3270,5
2	ХЕЦ	1267,9	887,5	1362,5	958,2	1528,3
3	ВЕЦ	0,0	0,0	0,0	70,4	120,8
4	Производство на дистриб. Мрежа	168,2	163,3	230,6	257,5	351,9
ВКУПНО ПРОИЗВОДСТВО НА ЕЕ (GWh)		6286,1	5806,6	5676,5	4982,3	5271,5

3.4 Увоз на електрична енергија во Северна Македонија во периодот од 2011-2015

Во однос на направената споредба на производството и потрошувачката на електрична енергија во земјава, доаѓаме до заклучок дека секоја година се увезува енергија од соседните држави.



Слика 5. Годишно количество на увоз на електрична енергија

Македонија е земја со огромен капацитет за инсталирање на обновливи извори на енергија и нивно интегрирање во електроенергетскиот систем. Се наоѓаме на географска местоположба каде што имаме просек од 280 сончеви денови годишно, а искористуваме само едвај 1% од сончевата енергија. Имаме на располагање доволно обновливи ресурси за да ги задоволиме потребите за електрична енергија, без притоа да се искористуваат фосилните горива. Секако, ова не е ниту лесно ниту евтино, но сепак е можно.

3.5 Искористување на обновливите извори на енергија во Република Северна Македонија

Во студијата „Декарбонизација на производството на електрична енергија – Може ли до 2050 година во Република Македонија целосно да се замени производството на електрична енергија од фосилни горива со обновливи извори?“ е направена споредба меѓу трошоците за инвестирање во централа на јаглен и сончева централа со фотонапонски колектори.

Ова значи дека ако Македонија успее да обезбеди целосно производство на енергија од обновливите извори на енергија, нема да има потреба за увоз на истата, а воедно ќе се намали и загадувањето предизвикано од согорувањето на фосилните горива во ТЕ РЕК Битола, ТЕ Осломеј, ТЕ Неготино.

Сепак, целосното производство на електрична енергија од обновливите извори на енергија, повлекува и технички проблеми. Природните појави сонце и ветер не може да ги контролираме па затоа би имало можност за опаѓање на производството, а зголемување на потрошувачката со што би настанале огромни проблеми во електропреносниот систем.

Малите хидроцентрали имаат зголемено производство во пролет, а најмало на крајот на летната сезона и во зимскиот период, односно се сезонски.

Табела 4. Трошоци за инвестирање во централа на јаглен (лево) и сончева централа со фотонапонски колектори (десно)

Инсталиран капацитет на термоцентрала на јаглен	200 MW
Број на работни саати на годишно ниво со инсталиран капацитет	6000 h/годишно
Произведена количина на електрична енергија	1200 GWh/годишно
Специфична инвестициска цена на постројката	1800 €/kW
Вкупна инвестиција за термоцентралата	360 М€
Цена на горивото (јаглен)	20 €/t
Цена на енергијата во јагленот	9 €/MWh
Топлинска моќ на јагленот	8000 kJ/kg
Потрошувачка на јаглен за производство на 1kWh електрична енергија	1,35 kg/kWh
Потребна количина на јаглен за ова производство на електрична енергија	1620 k t/годишно
Трошок за гориво на годишно ниво	32 М€/ годишно
Работен век на постројката	40 години
Трошок за гориво за 40-годишно работење	1296 М€

Вкупен трошок за инвестиција и гориво за 40 години	1656 М€
Однос на работни саати на користење на ТЕЦ/PV	4,29
Број на работни саати на годишно ниво со инсталиран капацитет	1400 h/годишно
Потребен инсталиран капацитет на PV централа	857 MW
Произведена количина на електрична енергија	1200 GWh/годишно
Специфична инвестициска цена на постројка	1000 €/kW
Вкупна инвестиција за сончева централа	857,14 М€
Цена на горивото	0 €/t
Просечна потребна површина на системот	2,8 ha/MW
Вкупна потребна површина за изградба на соченвата централа	24 km ²
Работен век на постројката	40 години
Вкупен трошок за инвестиција и гориво за 40 години	857 М€

Производството на енергија од сончевите колектори најмногу зависи од надворешните услови и тоа во интервали од 24 часа (ден-ноќ), од временските сезони (лето-зима), но и од климатските услови на локално ниво(облаци, магла).

Енергијата на ветерот не е премногу врзана со климатските услови и интервал од 24 часа како сончевата, но сепак зависи од определени климатски карактеристики. За ветерниот парк Богданци има информации за процентуалната веројатност на појава на ветер и производство на енергија.

Табела 5. Производство на ЕЕ од ВЕЦ Богданци

P_{inst}=50MW	GWh	%
Зима	29,80	32,87
Пролет	19,49	21,50
Лето	16,97	18,73
Есен	24,39	26,90
Вкупно	90,65	100,00



Слика 6. Производство на ЕЕ од ОИЕ во РСМ

Производството на електрична енергија од обновливи извори на енергија во 2015 на годишно ниво е дадена на слика 6. Според ова може да се согледа дека сончевата енергија е најзастапена во летниот период, а енергијата на ветерот во есенскиот и зимскиот период, што би довело до некој баланс во производството на електрична енергија.

За целосно искористување на капацитетите од обновливите извори на енергија и вадење од употреба на термоцентралите, потребен е развој и имплементација на паметен електроенергетски систем кој ќе ги задоволи потребите од електрична енергија и ќе овозможи нејзино складирање. Овој проблем може да биде решен со имплементација на паметните мрежи во веќе постоечката електро преносна мрежа.

4 ПРОЦЕНКА НА ТРОШОЦИ ЗА РАЗВОЈ НА ПАМЕТНИ МРЕЖИ ВО РЕПУБЛИКА СЕВЕРНА МАКЕДОНИЈА

4.1 Проценка на вкупните трошоци за интегрирање на обновливите извори на енергија во електроенергетскиот систем на Република Северна Македонија

Вкупните трошоци за интеграција на ветерните и сончевите централи во електроенергетскиот систем во земјава, ќе се одредува според категории на трошоци: трошоци за зајакнување и модернизација на електропреносната мрежа, трошоци поради поттикнување на производство на електрична енергија од енергијата на ветерот и сонцето.

Вкупните трошоци за потребните зајакнување на преносната мрежа ќе се одредат со користење на единечните планирачки цени на високонапонската опрема (далекуводи, трансформатори, полиња) во договор со МЕПСО.

Табела 6. Вкупни трошоци за интегрирање на ОИЕ

Вид на електрични централи на ОИЕ	Поттикнување на производството до вредноста на вкупната инсталирана моќност од (MW):
Ветерни електрични централи	65 MW, 2016 г. / 100 MW, 2020 г. /150MW, 2025 г.
Фотонапонски електрични централи	4 MW – моќности до 50 kW/ 14 MW – моќности од 50 kW до 1 MW
Термо електрични централи на биогаз	6 MW
Термо електрични централи на биомаса	10 MW
Мали хидро електрични централи	Без ограничувања во инсталираната моќност (мали ХЕЦ<10MW)

Табела 7. Единечни трошоци (по единица должина), за изградба на водови

Напонско ниво (kV)	Број на системи	Тип на спроводник	€/km
400	1	ACSR 2x490/65mm ²	200.000
110	1	ACSR 240/40 mm ²	80.000
		AAAC-z	90.000
	2	ACSR 240/40 mm ²	120.000
		AAAC-z	140.000
Кабелски вод 110 kV	1 кабел во кабелски ров	AI 1000mm ²	330.000

Табела 8. Единечен трошок за поле во трансформаторски станици (примарна и секундарна опрема)

Напонско ниво (kV)	€/парче
400	900.000
110 (A/S)	250.000

Табела 9. Единечен трошок за вградување на енергетски трансформатори

Преносен однос (kV), привидна моќност (MVA)	€/парче
400/110 kV, 300 MVA	2.500.000
100/x kV, 40 MVA	485.000

100/x kV, 31,5MVA	350.000
100/x kV, 25 MVA	300.000

Цената на ЕЕ која ја произведуваат ОИЕ (ВЕЦ, ФНЕЦ и останатите), односно приходот од продажбата на така произведената ЕЕ, мора на инвеститорите да им го покрива трошокот за инвестицијата и работењето, земајќи го предвид и трошокот за финансирање на инвестицијата (на пример кредитен аранжман со банките) и во одреден рок да им гарантира и профит. Најчесто користен механизам за поттикнување во Европа е т.н. „feed-in tarifa“, односно фиксна откупна цена, која се одредува врз основа на претпоставениот еквивалентен број на часови работа годишно со максимална моќност, инсталираната моќност на постројката, единечниот трошок за инвестицијата во изградба на електрична централа на ОИЕ и дефинираниот рок на враќање на инвестицијата во распон од 5 до 10 години. Притоа заради низа на фактори, трошокот за капиталот во одредени земји како РМ, може да биде изразено висок и значително понеповолен отколку во многу земји членки на ЕУ и неповолен во однос на вредноста претпоставена при дефинирањето на системот за поттикнување, што ќе доведе до тоа да значителен дел од приходот од поттикнувачката цена оди кај комерцијалните банки кои финансираат проекти за искористување на ОИЕ.

Освен преку поттикнувачката цена, проектите за искористување на ОИЕ уште се стимулираат и преку директен финансиски надомест на дел од инвестицијата, загарантиран откуп на ЕЕ, префрлање на трошоците за зајакнување на преносната и дистрибутивната мрежа на сите корисници, изземање на производителите од ОИЕ од системот на балансирање и намалување/укинување на нивната финансиска одговорност за дебаланси и други видови на стимулирачки механизми.

Механизмот за поддршка на инвестициите во ВЕЦ во Македонија е „feed-in tarifa“, со откупна цена 89 €/MWh и период на поддршка од 20 години.

За ФНЕЦ постои сличен механизам, со разлика во зависност од типот на инсталираната постројка. Механизмот е исто „feed-in tarifa“, со откупна цена од 160 €/MWh за инсталирана моќност помала од 50MW и 120 €/MWh за инсталирана моќност од 50 kW - 1 MW, со период на поддршка од 15 години.

Табела 10. Проценка на рокот за враќање на инвестицијата и профит после истекот на рокот за откуп со постоечката feed-in тарифа за ВЕЦ

Моќност на ВЕЦ (MW)	Feed-in(€/MWh)	Рок на враќање на инвестицијата(години)	Профит после 20 години (милиони €)
20	89	10	12
30	89	10	18
50	89	10	30
100	89	10	61

4.2 Трошоци за интегрирање на паметни мрежи во Република Северна Македонија

Технологијата на паметните мрежи, радикално го менува сценариото на пазарот на електричната енергија. Постои голема веројатност од појавување на нови производители на електрична енергија и оператори за дистрибуирање на енергијата.

Инвестицијата за имплементација на паметните мрежи во еден електроенергетски систем е огромна но на долгорочен план, исплатлива инвестиција, со огромни повратни средства. Компанијата МЕПСО во наредните три години ќе инвестира 102 милиони евра за развој и реконструкција на веќе постоечкиот електропреносен систем. Кон крајот на октомври минатата година, МЕПСО заедно со уште 5 компании од регионот се обидуваат да спроведат решение за имплементација на паметните мрежи, кое што ќе допринесе за сигурноста на електроенергетската мрежа, заштеда на електрична енергија, искористување на максимален капацитет на обновливите извори на енергија и можеби стигнување до декарбонизација на

производството на електрична енергија. Квалитетот на услугата во секој поглед ќе биде подобар од она што го имаме досега во електро преносниот систем.

5 ЗАКЛУЧОК

Може да увидиме дека моменталната инфраструктура, иако функционална, поради напредокот во технологијата делува како неефикасна и застарена. Со воведување на паметна мрежа и искористувањето на нејзините потенцијали може да се увиди дека ќе има позитивен ефект и на краткотраен и на долготраен ефект. Ова имплементирање на паметната мрежа и нејзината двонасочна комуникација, ќе дозволи поголема транспарентност, намалување на загадувањето и поголема ефикасност со што придобивки имаат и произведувачот и потрошувачот, кој ќе има контрола над потрошувачката на електрична енергија и пристап до цената на истата во реално време. Преку мониторингот кој го нудат паметните мрежи ќе се избегнат или намалат можните дефекти и проблеми во мрежата и ќе се обезбеди нивно најбрзо решавање. Паметните мрежи иако сеуште се во развој, даваат ветување за промена на начинот на живот. Конкретно за Република Северна Македонија, со инвестирање во овие мрежи, конечно ќе имаме можност за искористување на целиот потенцијал од обновливите извори на енергија, ќе може да имаме пониска цена за енергијата и нема да имаме потреба од увоз на истата, а со целосната искористеност на обновливите извори на енергија би можеле да го зголемиме извозот со цел поголем профит. Најважниот аспект на паметните мрежи е што нудат можност за целосно исфрлање од употреба на термоцентралите, а со тоа и намалување на загадувањето околу кое што последниот период се крева огромна врева.

6 КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Служба за стратешко планирање, развојни анализи и приклучоци, „ПЛАН ЗА РАЗВОЈ НА ЕЛЕКТРОПРЕНОСНИОТ СИСТЕМ НА РЕПУБЛИКА СЕВЕРНА МАКЕДОНИЈА ПЕРИОД 2019 – 2029“, јануари 2019.
- [2] Константин Димитров, Огнен Димитров, „ДЕКАРБЕНИЗАЦИЈА НА ПРОИЗВОДСТВОТО НА ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГИЈА“, април 2016.
- [3] Давор Бајс, Методија Атанасовски, „СТУДИЈА ЗА ПРОЦЕНКА НА ВКУПНИТЕ ТРОШОЦИ ЗА ИНТЕГРИРАЊЕ НА ОИЕ ВО ЕЕС НА МАКЕДОНИЈА“, Загреб/Скопје, април 2017.
- [4] Anna Nordling, Sirje Pädam, Claës af Burén, Peter Jörgensen, „Social costs and benefits of smart grid technologies“, 03.04.2018.
- [5] Albania – North Macedonia Power Interconnection (II): Grid Section in North Macedonia.
- [6] Властимир Гламочанин, Марија Кацарска, „ПАМЕТНИ МРЕЖИ – НОВИ ПРЕДИЗВИЦИ“, Факултет за електротехника и информациски технологии, Скопје, октомври, 2009.
- [7] „Estimating the Costs and Benefits of the Smart Grid“, 2011 TECHNICAL REPORT.
- [8] William Kao, „Sensor Devices and Sensor Network Applications for the Smart Grid/Smart Cities“, 2012.
- [9] <https://www.it.mk/mepso-zapochnuva-so-relizatsija-na-pametni-mrezhi/>
- [10] <https://faktor.mk/mepso--regionot-se-podgotvuva-za-erata-na-elektromobilite>
- [11] <https://www.mepso.com.mk/Details.aspx?categoryID=232>
- [12] <https://bankwatch.org/wp-content/uploads/2013/02/shadow-MK-EE-RES.pdf>
- [13] <https://energetskaefikasnost.info/energetskite-mozhnosti-na-makedonija/#prettyPhoto>
- [14] http://www.ea.gov.mk/index.php?option=com_content&view=article&id=679&Itemid=124&lang=mk
- [15] <http://www.stat.gov.mk/PrikaziSooopstanie.aspx?rbtxt=117>
- [16] <https://www.radiomof.mk/makedonija-ima-280-sonchevi-denovi-no-iskoristuva-edvaj-1-procent-od-sonchevata-energija/>
- [17] https://www.researchgate.net/publication/234078354_Smart_Grid_Technologies_in_Europe_An_Overview

Мартина Јанакиеска¹, Ментор: проф. Д-р Александар Ристески²

^{1 2} Факултет за електротехника и информациски технологии-ФЕИТ, Скопје

¹ martinajanakieska@hotmail.com

² acerist@feit.ukim.edu.mk

КОРИСНИЧКИ СЦЕНАРИЈА ЗА ПОЛНЕЊЕ НА ЕЛЕКТРИЧНИ ВОЗИЛА БАЗИРАНИ НА БЛОКЧЕИН ТЕХНОЛОГИЈА СО БЕЗБЕДНОСНИ АСПЕКТИ ВО ИОТ И NB-IOT

КУСА СОДРЖИНА (АПСТРАКТ)

Во последниве неколку години постои значителен подем во развојот и имплементацијата на неколку технологии вклучувајќи ги обновливите извори на енергија, електрични возила, IoT, 5G, дигитални криптовалути, системи базирани на облак, чија поврзаност не е очигледна на прв поглед. Но, со се поголемиот степен на развој и имплементација на овие технологии во различни сегменти од општеството и економијата, се покажува дека новите технологии овозможуваат креирање на сосема нови концепти за разрешување на проблемите кои настануваат во модерното живеење. Електричните возила се иднината на транспортот. Нивниот број константно расте. Покрај зголемениот број на ЕВ, ќе биде потребна и густо распространета инфраструктура од станици за полнење. Станува јасно дека потребата за енергија на електричните возила може да биде задоволена со мрежа од постоечки станици за полнење, преку развивање на соодветно решение и соодветен модел за наплата. Генерално ова е систем со голем број учесници кои немаат меѓусебна доверба. Затоа, анализираниите кориснички сценарија, засновани на Блокчеин технологија, обезбедуваат висок степен на доверба при полнење на понудената/искористената енергија. Овој труд исто така ги претставува безбедносните аспекти на IoT и Narrowband-IoT.

Клучни зборови: IoT, NB-IoT, Blockchain, Electric Vehicles.

BLOCKCHAIN-BASED USE CASES FOR CHARGING ELECTRIC VEHICLES WITH CYBER SECURITY ASPECTS IN IOT AND NB-IOT

ABSTRACT

In the last few years there has been a significant rise in development and implementation of several technologies that include renewable energy sources, electric vehicles, IoT, 5G, digital currencies, cloud-based systems, etc. The correlation among these technologies at a first glance is not very obvious, but with the increasing degree of development and implementation of these technologies in different segments of society and economics, it turns out, that new technologies allow the creation of quite new concepts to solve problems that arise in the modern living. Electric vehicles are the future of transportation. Their number is growing constantly. Beside the increasing number of electric vehicles, a dense and widespread charging infrastructure will be required. It becomes clear that the need for energy that move electric vehicles may be satisfied by a network of existing ones charging stations by developing a suitable solution and with an appropriate one payment model. Generally, it is a system with a large number of participants who don't know each other and they don't trust each other. Therefore, the analyzed use cases based on blockchain technology provide high degree of trust when charging the offered/used energy. The paper also presents security aspects of IoT and Narrowband-IoT as enabling technologies implemented in the use cases.

Key words: IoT, NB-IoT, Blockchain, Electric Vehicles.

1 ВОВЕД И БЕЗБЕДНОСНИ АСПЕКТИ ВО ИОТ И NB-ИОТ

Што е IoT? IoT е мрежа од уреди, аналогна со World Wide Web, што е во суштина мрежа од компјутери. IoT овозможува уредите да разменуваат информации и да се поврзуваат еден со друг. **Каде може да се користат IoT?** Одговорот е насекаде, почнувајќи од здравство, индустрија, транспорт итн. **Narrowband IoT** е нов 3GPP радио стандард кој ги „адресира“ барањата на IoT. Оваа технологија обезбедува подобрена покриеност во затворен простор, поддршка на голем број уреди со низок проток, ниска чувствителност на доцнење, ултра-ниска цена на уредот, ниска потрошувачка на енергија и оптимизирана мрежна архитектура. Бројот на IoT уреди е во постојан пораст, бидејќи производителите речиси секојдневно презентираат нови *паметни уреди* кои на некој начин го олеснуваат секојдневието на човекот. Појавата на нови апликации самата по себе носи закани за безбедноста на IoT технологијата. Како што алатките кои се користат при нападите, стануваат се посовофистицирани, ML и AI играат се поголема улога во овој домен. Покрај тоа вештачката интелигенција може да се користи и како алатка за лансирање на напади и за брзо детектирање на истите кои ја ставаат во прашање безбедноста на IoT уредите и IoT мрежата. Важен предизвик за IoT мрежата е нејзината дистрибуирана архитектура. Типично, секој јазол е можна точка за пад, што може да се искористи за сајбер-напади. Систем со неколку малициозни јазли, кои дејствуваат истовремено, може многу брзо да се сруши. Другиот проблем се однесува на централизираната конфигурација на IoT. Типично IoT средината се базира на централен сервисен облак провајдер. Централна точка на падот е ранливоста, која мора да се реши. Друга постојана и најверојатно една од најкритичните закани е доверливоста на податоците и автентикација. Од суштинско значење е да се заштити системот од инјектирање напади, кои се трудат да инјектираат лажни мерења, па со тоа влијаат врз донесувањето одлуки. Достапноста е критична за автоматски системи како што се мрежите од возила, производствените индустрии и паметни мрежи, кои процесираат информации во реално време. Паѓањето на сензорот може да резултира со загуби од монетарна вредност па се до ситуации опасни по живот. Поради ваквите закани, пожелно е присуство на јавна верификација без постоење на доверлива трета страна, со што би се решил проблемот на не-отфрлање [1]. Во рамките на овој труд, како пример кој ги решава безбедносните прашања за Интернет на нештата, ја зедовме 3T+1M безбедносната архитектура [2]. 3T се однесува на одбрана на IoT уредот, обезбедување заштита на мрежата која се користи за пренос на податоците и заштита на облак платформата. 1M се однесува на управување и операции поврзани со безбедноста. Безбедносните решенија на оваа архитектура се состојат од следниве делови:

- **Технологија за одбрана на уредот (1T)** – На IoT уредите со различни процесирачки способности, во различни апликациски сценарија, им обезбедуваат одредени способности за заштита. На послабите уреди им се овозможени основните безбедносни протоколи, DTLS/DTLS+, доверлив DICE, FOTA Upgrade. Додека пак за посposобните уреди потребни се безбедносни сертификати, детектирање на упади, енкрипциска автентикација и TPM.
- **Технологија за заштита на IoT мрежата за пренос на податоци (1T)** – Обезбедува детекција на абнормално однесување на уредот. Абнормалното однесување вклучува пренос на сообраќај кој не е вообичаен за уредот на некоја абнормална фреквенција на пријавување. Различни безбедносни карактеристики за различни сценарија. Пример, анти DDoS и превенција од сигнализациска бура се прилагодени за NB-IoT уредите.
- **Технологија за заштита на IoT платформата (1T)** – Се фокусира да обезбеди безбедносна ситуациона свест базирана на анализа на големи податоци, безбедносни анализи на поврзаните возила, како и безбедност на IoT податоците и заштита на приватноста на LPWA. Покрај тоа, ваквата платформа треба да овозможи соодветни конфигурации за безбедноста во облак платформата.
- **Управување со IoT безбедноста (1M)** – Се фокусира на развојот на безбедносни операции, процедури и спецификации за управување и притоа конструира е2е безбедносни O&M алатки за да ги подобри операциите и да ја тестира ефикасноста соодветно. Освен тоа, се фокусира и на превенција од закани, откривање, анализи и одговори.

Конкретно, 3T+1M се фокусира на безбедност во одредени сценарија, како што се: Интернет на возила, LPWA, индустриски IoT, се со цел да обезбеди усогласување со националните и регионалните

закони/регулации и индустриски стандарди, а притоа да изгради еден end-to-end сигурен IoT систем. 3T+1M безбедносната архитектура гради безбедност во иновациите и исполнува различни безбедносни барања во еволуцијата.

Електричните возила се иднината на транспортот. Со широко распространето усвојување на електричните возила и IoT, паметните мрежи со IoT стануваат ветувачки решенија за контрола на дистрибуираната енергија и производството на енергија. Нивниот број е во постојан пораст, а станиците за полнење стануваат растечка инфраструктура, особено во урбаните области. Бројот на станици за полнење, нивниот распоред и густина се' уште не е на задоволително ниво за да овозможи висок степен на слобода во користењето на електрични возила, што претставува и ограничувачки фактор за растот на бројот на електрични возила. Од друга страна пак, и бројот на станици за полнење на електрични возила е во пораст. Меѓутоа, во најголем дел од времето, голем дел од овие станици не се користат. Понатака, се повеќе се зголемуваат инсталациите со обновливи извори на енергија. Енергијата произведена од нив, или мора веднаш да се потроши, да се врати во мрежата или да се складира во локално поставени батерии, што исто така е технологија во подем. Со развојот на овие технологии и загриженоста за животната средина, електричните возила уште повеќе добиваат во развој. Зголеменото искористување на ЕВ, не само што ќе доведе до намалување на емисијата на гасови, туку и значително ќе ја намали цената на горивото. Дополнително, се подобрува безбедноста на електроенергетскиот систем и се стимулира развојот на технологии со обновливи извори на енергија. Може да се претпостави дека на голем број места каде што има обновливи извори на енергија, многу често ќе се јавуваат вишоци на енергија кои треба да се потрошат. станува јасно дека потребата за енергија на електричните возила во движење, може да биде задоволена од мрежа од постоечки станици за полнење со изработка на соодветно решение и со соодветен модел за наплата. Генерално, станува збор за систем со голем број на учесници кои меѓусебно не се познаваат и немаат меѓусебна доверба. Во дизајнот на решението треба да се земе во предвид оваа претпоставка и да се примени соодветна технологија која ќе овозможи доверба при наплата на понудената/искористената енергија. Ваквите барања ќе ги исполни Блокчеин [3].

2 КОРИСНИЧКИ СЦЕНАРИЈА СО БЛОКЧЕИН ТЕХНОЛОГИЈА

2.1 Концептуално решение и демо имплементација на мрежа од станици за полнење на електрични возила со користење на Блокчеин технологија (со систем за наплата базирани на паметни договори)

По зафаќањето на финансиската индустрија, Блокчеин [4] станува популарна во енергетската индустрија. Многу апликации за Блокчеин се предложени од енергетските сектори, како што се набавка на електрична енергија, трговија со јаглен и соларна енергија. Овие апликации пред се, обезбедуваат заштита на животната средина и создаваат нови деловни можности. Блокчеин е дистрибуиран систем на бази на податоци, базиран на консензус, кој овозможува трансфер на вредности помеѓу ентитетите. Постојат многу дистрибуирани системи кои се засноваат на консензус, но само Блокчеин ги има следниве три својства: *Trustless*: Нема потреба од поседување на сертифициран дигитален идентитет. Вклучените ентитети не се знаат еден со друг, но можат да разменуваат податоци, без да ги знаат нивните идентитети, *Permissionless*: Никој не одлучува кој може или не да работи во Блокчеин мрежата. Не постојат ниту дозволи, ниту контролери, и на крајот *Sensorship resistant*: Ентитетите веруваат само на квалитетот на криптографските алгоритми кои ја регулираат операцијата. Секој може да изврши трансакција во мрежата. Трансакцијата, откако еднаш ќе биде испратена и прифатена, не може да биде запрена или цензурирана. Во продолжение ќе бидат разгледани следниве точки [5]:

- Протокол кој ќе предложи оптималната станица за полнење, јавни наддавања како одговор на барањето;
- Истовремено, при извршување на протоколот не се открива географската позиција на потрошувачот;

- Блокчеин ќе се користи како децентрализирана платформа со непроменлив систем за складирање за транспарентност и веродостојност на овие наддавања.

Секоја трансакција во Блокчеин содржи информации за испраќачот и примачот, како и бројот на монети кои треба да се префрлат. Дел од овие трансакции, еднаш потврдени од *peer*-овите стануваат нов блок. Секој блок содржи хаш вредност од претходниот блок, па секоја трансакција е трајно врзана за серија на претходни трансакции. Оваа листа на меѓусебно поврзани блокови е јавна и може да биде верифицирана од сите *peer*-ови во мрежата преку проверка на интегритетот на новиот блок и правилна пресметка на хаш вредноста. Реег-овите на мрежата се идентификуваат преку пар јавен-приватен клуч, или уште се нарекува идентификатор или адреса. На слика 1, визуелно е претставен предложениот протокол за полнење на електрични возила, во четири чекори. Во првиот чекор, истражување, ЕВ испраќа барање кон Блокчеин. Избира параметри R , T и e каде првиот го означува географскиот регион, e се однесува на очекуваното количество енергија кое е потребно, а T е саканата временска рамка за полнење. Регионот е збир на позиции, секоја со наведена ширина и должина. Притоа, ова барање не може директно да се поврзе со одредена индивидуа бидејќи само ID-то, ζ , на ЕВ е откриено во Блокчеин заедно со барањето, а ова барање не ја содржи моменталната позиција на електричното возило. Штом одредено барање е во Блокчеин, тоа е видливо за сите станици за полнење.

Во втората фаза дејствуваат само станиците за полнење. Тие бараат од Блокчеин нови барања или пак може да се користи некој *out-of-band* протокол кој ќе ги известува станиците за полнење кога пристигнуваат нови барања. Оние станици за полнење кои се во рамките на посакуваниот регион R , испраќаат понуди за најниска цена. Оваа аукција ја управува Блокчеин и затоа е целосно децентрализирана и транспарентна. Во зависност од барањето на ЕВ, (R, T, e) , станицата за полнење i прво проверува дали нејзината позиција се наоѓа во рамките на регионот R . Во овој случај станицата ја чита постоечката понуда B од Блокчеин (или \times доколку сеуште не постојат понуди). Потоа, станицата за полнење креира сопствена понуда b_j врз основа на некоја хеуристика, во равенка (1):

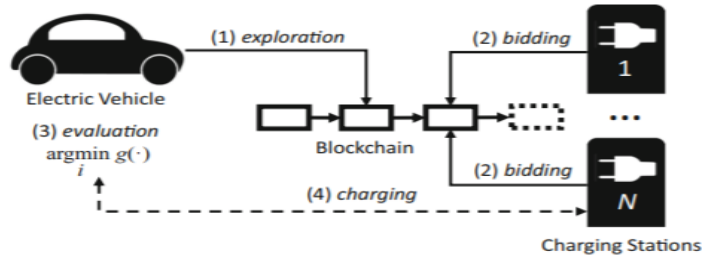
$$b_j = f(T, e, B). \quad (1)$$

Вообичаено оваа функција ќе утврди дали станицата за полнење i е подготвена да понуди енергија e во време T за цена $b_j \leq b_a$, $a = 1, \dots, N$. Оваа понуда е проследена преку Блокчеин па затоа е јавна и непроменлива. Во фазата на проценка, ЕВ ги собира понудите од Блокчеин кои одговараат на првичното барање. Потоа ЕВ одлучува, врз основа на некои хеуристики кои наоѓаат оптимален *tradeoff* меѓу цената и растојанието до станицата за полнење. На пример, ЕВ не мора да избере станица со најниска цена, туку може да избере станица за полнење која нуди повисока цена, но се наоѓа многу блиску до моменталната позиција на ЕВ. Одлуката може да се донесе и врз основа на други параметри, како на пример продавница со станицата за полнење или други активности кои треба да се направат за време на полнењето. Одлуката е целосно зависна од ЕВ и клиентот и се пресметува независно од Блокчеин. Откако ќе се најде соодветна станица за полнење, ЕВ пресметува т.н. *commitment* c , од идентификаторот ζ , индексот на саканата станица за полнење и случајно генериран број r . Потоа, c се запишува во Блокчеин. Ова е прикажано во равенка (2). Поради својството за еднонасочност на хаш функцијата, ова не ја открива одлуката на никој, се додека *commitment*-от е отворен. Овие информации се јавно достапни во блокчеин, сепак никој нема да дознае за одлуката.

$$c = H(\zeta, i, r). \quad (2)$$

Во последната фаза, станицата за полнење прави проверка така што треба да потврди дека хаш функцијата од нејзиниот индекс, случајно генерираниот број и идентификаторот на возилото кое пристигнало е еднаква со претходно објавениот *commitment*. Пресметаната хаш вредност од станицата за полнење е прикажана во равенка (3). На слика 2, во детали се прикажани пораките кои се разменуваат за време на извршување на протоколот, за сите четири фази.

$$H(\zeta, i, r) = c. \quad (3)$$

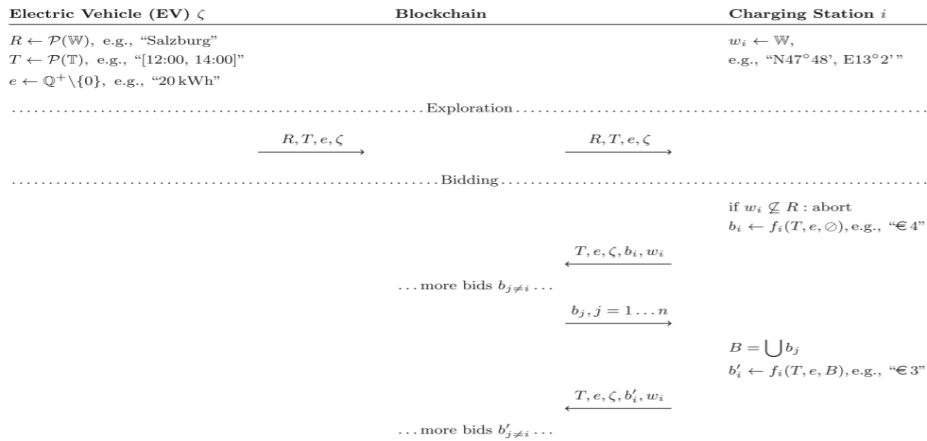


Слика 1 Визуелна претстава на протоколот за полнење на ЕВ

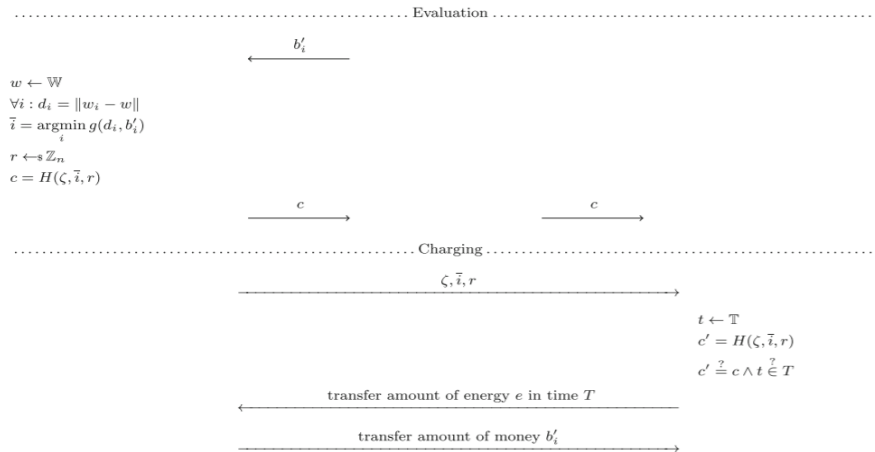
2.1.1 Приватност и безбедност

Протоколот се оценува во однос на приватноста и безбедноста, компјутерската комплексност и практичноста. Првично наведените барања за приватност на овој протокол се дека никој од учесниците не ја знае точната локација на ЕВ, ниту еден учесник, освен ЕВ и избраната станица за полнење, не ја знаат точната цена на енергијата и ЕВ не може да се следи со текот на времето.

Во првата фаза од протоколот, количината на енергија, регионот и периодот на полнење ги објавува самото возило. Регионот мора да биде избран доволно широк за да се зачува приватноста, но и доволно мал за да биде изводливо да се најде станица за полнење во опсег близок до ЕВ. Ниту инволвираните станици за полнење, ниту други учесници во Блокчеинот учат нешто пошироко од барањето (R , T , e) и уникатниот идентификатор ζ . Понатаму, во фазата на наддавање, ЕВ не е вклучено во протоколот, бидејќи само станиците за полнење даваат понуди. Токму затоа, во оваа фаза не станува збор за приватноста на електричното возило. Понудите кои ги даваат станците за полнење се јавно достапни во Блокчеин и се поврзани само со параметрите кои претходно ги објавува возилото. Важно е дека во оваа фаза понудите на станиците се само понуди, а електричното возило не воспоставува договор со ниту една станица за полнење. Блокчеин гарантира за понудата откако истата ќе биде објавена. Во третата фаза на проценка, ЕВ само избира понуда од Блокчеин, а оваа информација не протекува кон надвор. Па така ниту еден учесник нема да знае по која цена ќе се купи енергијата. Во последната фаза од протоколот, комуникацијата се одвива директно помеѓу ЕВ и избраната станица за полнење. Така не се објавуваат дополнителни информации во Блокчеин, па за цената на енергијата ќе бидат известени само ЕВ и станицата од која ќе ја купи енергијата. **Сумирано:** Никој не ја дознава точната локација на ЕВ; Никој учесник, освен ЕВ и станицата за полнење нема да ја знае цената на понудата (ако има повеќе од една понуда); ЕВ не може да биде следено со текот на времето. Значи, приватноста за ЕВ со овој протокол е загарантирана.



Слика 2 Четири-степен протокол за полнење на ЕВ



Слика 2 Четири-степен протокол за полнење на ЕВ

За презентираниот протокол постојат две можни однесувања на станиците за полнење по фазата на наддавање. Тие можат да резервираат временски слот исклучиво за ЕВ кое испратило барање, без оглед на тоа дали ЕВ ќе ја избере оваа станица, или да испратат повеќе понуди за различни барања, па доколку настане преклопување на временскиот период, станицата ќе го прифати возилото кое ќе пристигне прво. Во првиот случај, станиците за полнење резервираат одреден временски слот, но злонамерните учесници можат да направат спам на протоколот и на барањата во Блокчеин, па на овој начин ќе ја спречат станицата за полнење да добие клиенти. Со цел да се спречи овој *denial-of-service* напад, треба да се наплати надомест за трансакција со секое барање. Надоместокот за трансакции или надоместок за извршување на паметните договори во Блокчеин се применува од Блокчеин технологии за оваа намена. Во вториот случај, на ЕВ сеуште му е загарантирана одредена цена за одредена количина на енергија во тој временски интервал од страна на одредена станица за полнење. Но сепак, бараната станица за полнење може да биде недостапна. Накратко кажано, протоколот ја заштитува приватноста на клиентот на сметка на редуцирање на *utility*. Или станиците за полнење не се целосно искористени или ЕВ немаат гарантиран временски слот. Сепак, обезбедувањето на било која од овие гаранции ќе ја ограничи приватноста на електричното возило. Во прилог табелата со симболите искористени за опис на протоколот за полнење на ЕВ:

ζ, i	Уникатен идентификатор на електричното возило; Индекс на станицата за полнење
$R \sqsubseteq \mathbb{W}; T \sqsubseteq \mathbb{T}$	Регион; Временски интервал
$e \in \mathbb{Q}^+ \setminus \{0\}$	Потребна енергија за ЕВ во kWh
$b, r \leftarrow \$_{Zn}$	Понуда, во монетарна единица; Земање примерок од n битен случаен број
$f(\cdot); H(\cdot)$	Хеуристика за следна понуда; Хаш
c, \tilde{i}	Commitment; Избраната станица за полнење
\times	Празен сет

Табела 1 Листа на симболи кои се користат за опис на протоколот

3 ЗАКЛУЧОК

Во овој труд главната цел беше да се истакне важноста и подемот на IoT технологијата која веќе зазема голем дел од нашето секојдневие. Од почетокот на оваа технологија па се до денес постои енормен раст на бројот на поврзани уреди, а нивниот број се очекува да се зголеми уште повеќе во иднина. Освен ова, IoT технологијата се соочува со несакани напади на приватноста и безбедноста. Па, фокусот се става на заштита на IoT уредите и IoT платформата во целост. Користени се бројни технологии и протоколи за безбедност на мрежата, а се истражуваат и нови алатки кои максимално ќе ги обезбедат поврзаните уреди. Почнувајќи од најосновните алатки, како DICE, DSL, 3T+1M безбедносна архитектура, па се до Блокчеин технологијата

која сеуште е во подем и се смета за доста сигурна алатка во борба против несаканите напаѓачи. Од многуте домени кои ги опфаќа IoT, нашата целна група беа електричните возила кои се полнат со енергија од станици за полнење. Ваквата инфраструктура се уште не е развиена доволно, но се очекува во иднина да има доволно станици за полнење кои ќе ја задоволат потребата за енергија на електричните возила. Како и сите поврзани уреди, цел на напаѓачите се токму и ЕВ. Во овој труд опишуваме протокол кој се базира на Блокчеин технологија. Протоколот дозволува клиентите да ја најдат најевтината станица за полнење во рамките на претходно дефиниран регион, а притоа ја зачувува приватноста на електричното возило. Од голема важност е дека позицијата на ЕВ не се открива се додека клиентот не избере станица за полнење, па на ваков начин ЕВ не може да биде следено во текот на времето. Различни станици за полнење можат да испраќаат понуди за тарифи врз основа на бараната енергија. Тука Блокчеин се користи како децентрализирана и непроменлива база на податоци за транспарентност и веродостојност на понудите. Протоколот доаѓа со „дополнителна“ комуникација, односно дополнително количество на податоци кои треба да се складираат во Блокчеин (најмногу 38 бајти по блок) па затоа и погоден да се користи со постоечките Блокчеин технологии (Биткоин, Етерум, *OpenChain*). Во иднина фокусот ќе биде на приоспособливоста на презентираниот протокол за голем број електрични возила со голем обем на трансакции, и на фазата на плаќање во Блокчеин.

4 КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Ville Sulkamo “*IoT from cyber security perspective – Case study JYVSECTEC*”, Master’s thesis, School of Technology, Communication and Transport Information Technology, Master’s degree program in Cyber Security, Јуни 2018, стр. 5-7
- [2] Huawei, “*IoT Security White Paper – Evolving Security Architecture*”, Huawei Technologies, Bantian, Longgang District, 2018, стр. 2-11, стр. 15-20
- [3] Song Hua, Ence Zhou, Jun Sun, Yoshihide Nomura „Apply blockchain technology to electric vehicle battery refueling“, *Proceedings of the 51st Hawaii International Conference on System Sciences* 2018, стр. 1-4
- [4] Alfonso Panarello, Nachiket Tapas, Giovanni Merlino, Francesco Longo, Antonio Puliafito, “*Blockchain and IoT Integration: A Systematic Survey*”, Department of Engineering, Università degli Studi di Messina, Contrada di Dio, S. Agata, 98166 Messina, Italy, Август, 2018, стр. 3-30
- [5] Fabian Knirsch, Andreas Unterweger, Dominik Engel, “*Privacy Preserving blockchain-based electric vehicle charging with dynamic traffic decisions*”, Josef Ressel Center for User-Centric Smart Grid Privacy, Security and Control, Salzburg University of Applied Sciences, Urstein Süd 1, 5412 Puch b. Hallein, Austria, Септември, 2017, стр. 2-8



SCEESD

Student conference

“Energy efficiency and sustainable development”



Hannah Gomes ¹, Lukas Vozenilek ²

^{1 2} University of British Columbia, Canada

¹ hannahcgomes@gmail.com

² lvozenilek@gmail.com

UAVS FOR USE IN FOREST FIRE REDUCTION AND PREVENTION

ABSTRACT

This paper focuses on the use of Unmanned Aerial Vehicles (UAV's) for the use in assisting firefighting efforts. Recent accelerated growth in UAV research has presented many new applications in a variety of different sectors. There are two predominant types of UAVs: fixed-wing and multi-rotor. Fixed-wing UAVs have a broad survey area but lack maneuverability whereas multi-rotor UAVs have exceptional controllability but are limited by their range. Both types of drones are utilized for firefighting efforts with different specific applications. The implementation of image analysis techniques allows for autonomous UAV patrols to wirelessly notify firefighting teams of active wildfires. The application of UAV's in Forest Fire Reduction not only promotes new technologies for energy efficiency but also facilitates doing it sustainably. A 2015 economic analysis by B. R. Christensen estimates that the incorporation of UAVs into firefighting technology can produce a 22.8% reduction in fire suppression costs and 15.2% decrease in total resulting burn area [1].

Key words: Artificial Intelligence, Firefighting, Sustainability, UAV, Wildfires.

1. Introduction.

Forest fires pose a uniquely complicated set of problems in our modern-day world. Ever-expanding population centres extending deeper into densely forested areas pose higher risks to human infrastructure and life. Forest fires in British Columbia were estimated to cause \$568 million dollars [2] worth of damages just last year alone. Utilizing modern technology to develop better detection methods can yield considerable savings.

Recent accelerated growth in UAV research has presented many new applications in a variety of different sectors. One of the most significant developments has been in the use of UAV's for assisting in natural disaster relief efforts. By equipping drones with modern infrared cameras and scanning technology they can be used to closely analyze high risk areas in order to mitigate future fire spread. Additionally, they are used during firefighting efforts to both track fire growth and assist in locating civilians. Incorporating drones into fire prevention strategies saves both money and lives.

2. Description.

2.1 Unmanned Aerial Vehicles

UAVs are predominantly split into two categories: fixed-wing and multi-rotor. Fixed-wing UAVs adopt an aeroplane style fuselage and electromotor powered props. Due to their exceptional aerodynamic efficiency, fixed-wing UAVs can cover a very large area of land efficiently. Their downside lies in required cruising altitude and maneuverability. Fixed-wing UAVs cannot change directions very fast due to their inherent airplane design limiting maneuverability to simple control surface changes. This requires a constant altitude safety buffer to ensure that any height obstacles can be effectively avoided.

Multi-rotor UAVs utilize multiple propeller and motor assemblies vertically hard mounted to a central chassis. They fly by adjusting motor power to each propeller according to a specific control scheme. The craft flies laterally

by decreasing power to the requested side, tipping the craft over, and turning some of the vertical lift to horizontal thrust. Multi-rotor UAVs have exceptional maneuverability but lack distance capability due to the power-consuming nature of the multiple propellers. The Intel Falcon 8+ described in Appendix 1 is an example of a multi-rotor survey drone used in industrial applications.

2.2 Confirmation Missions

Early forest fire detection is the primary objective of all prevention methods. In 2018 paper analysing forest fire monitoring systems, Sherstjuk describes how “The most important problem of each forest fire response operation is a timely fire detection” [3]. Initializing fire suppression forces with as little delay as possible has a massive effect on total forest fire spread, and in turn, monetary damages.

The process of determining if a forest fire exists is called confirmation and is typically completed by planes and helicopters. Utilizing long-range UAV’s for completing confirmation missions is a cost-effective method of increasing confirmation efficiency. When an area of concern is predicted or identified, a patrol route can be built and programmed into the UAV. The UAV will then fly along the designated route autonomously analyzing image data to determine if a forest fire is present. This conclusion is broadcasted back to the base of operations where suppression efforts can begin immediately.

2.3. Image Analysis

Survey UAVs used in firefighting efforts are equipped with both a high-resolution camera and a thermal Forward-Looking Infrared Radar (FLIR) camera. Utilizing advanced image processing, the drone can accurately conclude whether a fire is present. A 2015 study by Chi Yuan on Fire Detection and Tracking Using Image Processing Techniques explored methods of reliably confirming fires with UAVs [4]. They utilized an image processing technique called Otsu Threshold Segmentation to extract the exact forest fire locations with high accuracy. This method can be seen in Figure 1 displaying two example images of forest fires taken from aerial drones being successfully analyzed.



Figure 1. Example of Thermal Image Analysis. [4]

2.4 Impact

Adopting purpose-built UAVs into firefighting endeavors is an initially expensive, but worthwhile investment. A 2015 economic analysis by B. R. Christensen of drone adoption by firefighting forces found the incorporation of UAVs could significantly improve the cost effectiveness of efforts. Christensen estimates a 22.8%

reduction in fire suppression costs and 15.2% decrease in total burn area due to the additional reaction time supplied by quick and confident UAV confirmation missions.

3. CONCLUSION

Utilizing UAVs in firefighting efforts has the ability to considerably decrease response time in natural disaster situations. By implementing long range drones to autonomously conduct fire confirmation missions, fire suppression responses can occur much faster. The exponential growth of an active forest fire means every minute is critical to saving human lives, infrastructure, and our forests. If multiple UAVs were used for automatic monitoring and remote sensing it would provide the required credibility and efficiency in wildfire detection and could be used all over the world. This significantly decreases confirmation time potentially saving valuable resources and human infrastructure.

4. REFERENCES

- [1] Christensen, B. R. *Use of UAV or remotely piloted aircraft and forward-looking infrared in forest, rural and wildland fire management: Evaluation using simple economic analysis*. New Zealand Journal of Forestry Science. (20-July-2015)
- [2] *WildfireAverages*. <https://www2.gov.bc.ca/gov/content/safety/wildfire-status/about-bcws/wildfire-statistics/wildfire-averages> (01-May-2018)
- [3] Sherstjuk, V., Zharikova, M., & Sokol, I. *Forest Fire Monitoring System Based on UAV Team, Remote Sensing, and Image Processing*. 2018 IEEE Second International Conference on Data Stream Mining & Processing. (25-August-2018)
- [4] Yuan, C., Liu, Z., & Zhang, Y. *UAV-based forest fire detection and tracking using image processing techniques*. 2015 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS) (09-July-2015).

1.0 Introduction

The Intel Falcon 8+ is an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) used in professional industry applications such as surveying, mapping, and inspections [1]. Utilizing both its RGB and Forward Looking Infrared Radar (FLIR) cameras allows the operator to gather thermal data from a maximum range of 1 kilometre with high accuracy. This makes it ideal for environments with difficult terrain or high risk to human life. The fully equipped UAV including batteries and inspection apparatus weighs a total of 2.8 kg. The Falcon 8+ is mostly constructed of carbon fibre and plastics with a few smaller parts being made from aluminum. The main components consist of the chassis, inspection cameras, battery, rotors, and motors as shown below in *Figure 1*.



Figure 1: Intel Falcon 8+ Overview. Intel Corporation. Adapted from <https://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/images/product/RWD/drones-falcon-8-plus-infographic-overall-16x9.png.rendition.intel.web.978.550.png>

2.0 Part-By-Part Description

Following is a description of each part used in the Falcon 8+.

2.1 Chassis

The core chassis of the UAV is constructed entirely of carbon fibre and spans a rectangular size of 768 by 817 mm and when completely assembled has a height of 160 mm. It provides a rigid and lightweight base for the rest of the UAV.

2.2 Inspection Cameras

The inspection package consists of two individual cameras working in parallel: a 12.1 megapixel Panasonic RGB digital camera and a FLIR Tau 2 640 thermal camera. The RGB camera has a resolution of 4000 by 3000 pixels and a focal length of 720 mm (35 mm equivalent). The FLIR camera has a resolution of 640 by 512 pixels, has a focal length of 59 mm (35 mm equivalent), and a spectral band of 7.5 to 13.5 μm . Both cameras are mounted to the onboard gimbal allowing the cameras to view multiple angles.

2.3 Battery

The Falcon 8+ utilizes two 14.8 volt Lithium Polymer (LiPo) batteries. They have a maximum capacity of 4000 milliamp hours (mAh) and weigh 398 grams each. This capacity allows the UAV to operate for 18 minutes under full inspection payload and 26 minutes without.

2.4 Rotors

Eight plastic rotors attached to the motors produce lift for the UAV. Each rotor weighs 6 grams each and have a diameter of 20.32 cm.

2.5 Motors

The UAV uses eight electronic sensorless brushless DC motors that propel the craft at a maximum air speed of 40 mph. The motor casing is made from aluminum while most of the internals are comprised of copper windings and permanent magnets.

3.0 Summary

The Falcon 8+ is an effective and flexible industrial survey drone capable of completing many different tasks. It is powered by 8 brushless DC motors that are mounted vertically to the carbon fibre chassis. The inspection payload consists of both a RGB and a thermal FLIR camera mounted to a gimbal which is in turn mounted directly to the chassis. The craft is powered by two 4000 mAH batteries stored in the rear center of the UAV under a protective cover.

4.0 References

- [1] Intel® Falcon™ 8 System, *Intel*. <https://www.intel.ca/content/www/ca/en/products/drones/falcon-8.html>. (01-Oct-2019).

Виктор Андоновиќ¹, Јане Јаневски², Ментор: Владимир Андоновиќ³

¹ Факултет за електротехника и информациски технологии, Скопје

² Машински факултет, Скопје

¹ viktormali@yahoo.com

² janejanefski@yahoo.com

³ andon@mf.edu.mk

СПОРЕДБА НА МАПИТЕ ЗА ВРЕМЕ НА ВБРИЗГУВАЊЕ И АГОЛ НА ПРЕТПАЛЕЊЕ НА ОТО МОТОР КОЈ РАБОТИ НА ТЕЧНО И ГАСНО ГОРИВО

КУСА СОДРЖИНА (АПСТРАКТ)

Една петина од 21 век изминува а класичниот мотор СВС ги изживува последните свездени моменти. Еколошките и енергетските побарувања се се построги, а електроавтомобилите не се веќе само атрактивен експонат, туку тие се поагресивно настапуваат на пазарот. Во ваква ситуација како прв логичен и можен одговор на конструкторите на бензинските мотори СВС е **замена на класичното гориво со ново – со втечен нафтен гас**, кој ги содржи сите потребни особини за негово масовно користење, односно, може да се произведе во големи количини и по пристапни цени, безбеден е и цената на инфраструктурата за негово користење е релативно ниска.

За жал, тешко се доаѓа до резултати од научни истражувања за оптимизација на системите за гасно гориво, па тоа се врши со софтвер на производителот кој генерира корекциска мапа врз основа на измерените вредности од мапата за впскување на течено гориво. Во овој труд е извршено споредување на мапите на време на вбризгување и агол на претпалење на ото мотор кој работи на течено и гасно гориво. Јавно публикување на вакви резултати би им помогнало на специјалистите кои се занимаваат со инсталирање и одржување на гасните уреди.

Анализата покажува дека е особено важно да се направи исчекор во производство на **автомобили кои работат исклучиво на гасно гориво** со што би се искористувала неговата најголема предност, високиот октански број. Ова би значело зголемена ефикасност и моќност при намалена потрошувачка на гориво.

Недостаток на ТНГ е посложеното складирање во однос на бензинот бидејќи е потребно да се складира и транспортира под притисок за да остане во течна состојба. Ова значи примена на резервоари со цилиндрична форма кои, тешко се вклопуваат во детално испланираниот простор во автомобилите и дополнување на гориво исклучиво со соодветна опрема која ја имаат само бензинските станици. Сепак, најголеми предности на ТНГ се ниската цена и ниската токсичност на издувните гасови, создавањето на азотните оксиди може да се намали преку соодветно конструирани, веќе достапни, технички решенија а импресионира и малата содржина на цврсти честички (особено важно при експлоатација во урбани средини). Ова значи дека еколошката се постигнува во самиот процес на согорување а не со елементи за третирање на издувните гасови во издувниот систем, кои често се користат и неисправни, заради големата диспропорција во ресурсите на моторот и овие уреди.

Клучни зборови: мотори СВС, ТНГ, електронски систем за контрола на моторот, агол на претпалење, однос гориво/воздух, гасни уреди од 5-та генерација.

COMPARISON OF THE MAPS OF INJECTION TIME AND ANGLE OF PRE-IGNITION OF AN OTO MOTOR WITH LIQUID AND GAS FUEL

ABSTRACT

After century long improvements, the conventional Internal Combustion Engine lives its own last star moments. The ecologic and energetic requirements are increasingly stringent, and the electric cars are not just an attractive showpiece anymore, but are aggressively conquering the market as well. We are reducing pollution by using additional components like catalysts and pdf filter with a life span of 100k km. If we want real solution for the problem (not just to pass the regulation tests) we need to work on the combustion process itself. Under such circumstances, the constructors of the gasoline Internal combustion engines imply a *substitution of the classic fuel by a new one – with liquefied petroleum gas* as the most logical and possible solution. It has all of the necessary characteristics for mass usage: it can be produced in high quantities at an acceptable price, it is safe, the toxicity of the exhaust fumes is low, and the price for the infrastructure of its usage is relatively low.

In reality, it is complicated to obtain results from scientific researches for optimization of the systems for lpg fuel, therefore the mapping is done by the manufacturer software that generates correction maps on the basis of measured values of the map for injection times and residual oxygen of liquid fuel.

The authors of this paper have made a comparison of the maps of *the time of injection and the angle of pre-ignition* of Otto engine that runs on liquid and gas fuel. The publication of these results would help the specialists who install and maintain gas devices.

The analyses show that it is extremely important to make a step forward into the production of *cars that run exclusively on gas fuel* in order to use its greatest advantage – the high octane number. This would mean an increased efficiency and power with reduced fuel consumption.

Key words: Internal Combustion Engine, liquefied petroleum fuel, electronic system for engine control, angle of pre-ignition, time of injection, fuel/air ratio, 5th generation gas devices.

1 ВОВЕД

Брзиот развој на моторизацијата, трендот на постојан раст на цените на конвенционалните горива и се построгите законски ограничувања за издувни гасови, предизвикаа зголемен интерес за примена на алтернативните горива во автомобилската индустрија. Тука, под алтернативно гориво, во поширок смисол, подразбираме горива кои се во состојба да ги заменат постоечките класични горива за погон на моторните возила, како што се бензин и дизел гориво.

Втечнетиот нафтен гас, попознат како ТНГ, се покажал како можно гасно алтернативно гориво, применливо за мотори СВС кои работат во согласност со ОТО циклусот [1]. Примената на ова гориво е многу актуелна тема за истражување.

Втечнетиот нафтен гас е претежно мешавина од пропан C_3H_8 и бутан C_4H_{10} . Негови предности во однос на конвенционалните горива се повисокиот октански број, мал однос на јаглерод и водород, не содржи ароматични јаглеводороди, помала цена за развој на инфраструктура, лесна достапност во големи количини, отпорност на детонација, помала потрошувачка на гориво, полесно стартување на моторот при ниски температури, помала количина на токсични издувни гасови, помало абеење на виталниот моторски склоп цилиндар-клип и, соодветно на тоа, зголемен ресурс на моторот.

Како најповолни мотори за адаптација се покажале оние кои работат на бензин поради сличноста на системите за палење со свеќичка и степенот на компресијата. Адаптација на бензиски мотор за користење на втечен нафтен гас зависи од применетиот бензинскиот систем за вбризување на гориво [1].

Втечнетиот нафтен гас во многу земји се користи како алтернативно гориво. Денес на глобално ниво се произведуваат околу 270 милиони тони ТНГ од кои 26 милиони тони се користат како гориво за автомобили

што претставува околу 10 проценти од вкупното производство. Се почесто се среќаваат приватни мали компании кои се занимаваат со производство на втечен нафтен гас поради релативно малата почетна инвестиција и малата потрошувачка на енергија при процесот.

Инаку, ТНГ најчесто се добива со фракциона дестилација од природен гас или сурова нафта иако постојат и постапки за негово добивање со ферментација на биомаса [2].

2 ЦЕЛ НА ИСТРАЖУВАЊЕТО

Според достапните податоци, само 2,6 проценти од возилата во Македонија користат гасно гориво и оваа бројка е во постојан раст. Ова, пред се, се должи на несомнените позитивни економски ефекти од примена на ваквото гориво, како и од фактот дека во повеќето големи градови низ државата се среќаваме со проблеми од аерозагадувањето, во што значителен придонес (во негативен смисол) даваат и моторните возила кои работат на бензин. Нивна конверзија на гасно гориво (која е возможна и кај дизел и кај ото моторите, иако во ова истражување ќе бидат разгледувани само ото моторите) би придонела за намалување на токсичните издувни гасови, особено на цврстите честички во атмосферата.

За задржување на ресурсот и обезбедување правилна работа на моторот клучно е оваа конверзија да биде оптимално направена.

Системи за конверзија во „кит“ можат лесно да се најдат на пазарот и подлежат на таканаречен *A-тест* со кој се гарантира нивната безбедност во експлоатацијата.

Еден клучен момент кој не се проверува е *правилно мапирање на системот за вбризгување*. Ова е клучно за задржување на перформансите на возилото кои треба да се приближни со оние кога работи со бензин и зависат од типот на китот за конверзија, потрошувачката на гориво и емисијата на издувни гасови.

Мапата на вбризгување најчесто се користи за оптимизација бидејќи сите системи за гасно гориво со електронска управувачка единица имаат можност за нејзина промена и оптимизација. Значително поголемиот октански број на втечениот нафтен гас и намалената брзина на ширење на фронтот на пламенот бараат промена на мапата на аголот на претпалење. Китовите за конверзија не нудат можност за нејзина промена, што значи дека можност за нејзина оптимизација постои само кај возилата со вграден систем за гасно гориво од производителот, или најчесто нарекувани *bi fuel* или *dual fuel* возила.

3 СОСТОЈБА НА ТЕХНИКАТА (STATE OF THE ART)

3.1 Општо за системот на контрола на моторот – EMS

Слично како и кај системите за контрола на моторот, гасните уреди имаат свој систем за контрола кој е во постојана комуникација со ситемот за контрола на моторот. Оваа комуникација најчесто се остварува преку стандардниот, за сите возила, OBD OBD2 приклучок или со пресретнување на сигналите во CAN bus комуникацијата. Посложените EMS во возилата со мотори со внатрешно согорување, во поголем број започнуваат да се појавуваат паралелно со појавата на тристепени катализатори за намалување на штетни материји. Денес, е јасно дека развивањето на покомплицирани хибридни системи е невозможно без овие софистицирани EMS. Истите го имаат отворено и патот кон решавање на проблемите на MCBC со помош на електроника [2].

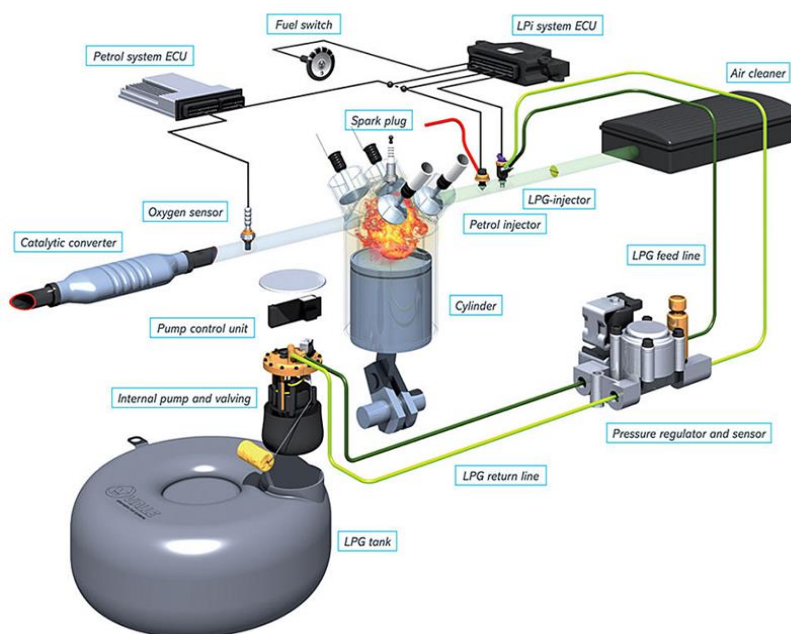
Системот за контрола на моторот (анг. Engine Management System – EMS) претставува систем кој се состои од различни електронски и електрични компоненти како што се:

- Контролна единица (Engine Control Unit – ECU);
 - Сензори;
 - Актуатори и др. [6]

3.1.1 Гасни уреди ид петта генерација

Пазарот за гасни уреди во целиот свет е главно конзервативен. Неговиот развиток е тесно поврзан со развивањето на новите технологии во конвенционалните мотори со внатрешно согорување. И, покрај тоа, во поново време се појавија уреди со **течно вбризгување на гасното гориво** или попознати како **гасни уреди од петта генерација**. [4]

Овде ќе разгледуваме еден ваков систем од компанијата **LPI**. Оваа генерација на гасни уреди не се разликува од претходните генерации (на гасни уреди) само по начинот на вбризгување на горивото во моторот; скоро сите компоненти во новиот систем на оваа компанија се апсолутно нови и се разликуваат од оние елементи кои се применуваат во претходните генерации гасни уреди. Шематски приказ на овој уред е прикажан на слика 1. Во резервоарот за втечен гас под притисок е сместена пумпа за втечен нафтен гас, која создава соодветен притисок, и обезбедува негов **транспорт во течна фаза**, до прскалките. Поради ова не постои потреба од испарување на горивото пред негово впрскување во моторот, односно, овој систем не налага користење на испарувач. Со ова се избегнуваат неколку недостатоци кои се јавуваат при користењето на испарувачот. Истиот се напојува со топлина преку течноста за ладење на моторот што значи дека е потребано да се искористат магистралите за загревање на кабината, што ја усложнува инсталацијата на уредот и зафаќа место кое и онака го нема во моторскиот простор, особно кај поновите возила. Исто така, ова значи дека моторот не треба да стартува на течна гориво, односно на бензин, и да работи на истиот се додека не се постигне соодветна температура на течноста за ладење која овозможува непречена работа на испарувачот.



Слика 1. Шематски приказ на гасни уред од петта генерација на компанијата LPI. [5]

Наместо него функцијата за регулација на притисокот на горивото ја превзема регулаторот за притисок на втечен нафтен гас во течна фаза. Негова задача е да одржува притисок кој е за 5 атмосфери повисок од оној во резервоарот за гориво, односно за 5 атмосфери повисок од оној притисок што се создава со испарувањето на горивото и зависи од соодносот на пропан и бутан кој е различен според регулативите во различни држави, од годишното време поради пониската температура на испарување на пропанот и од

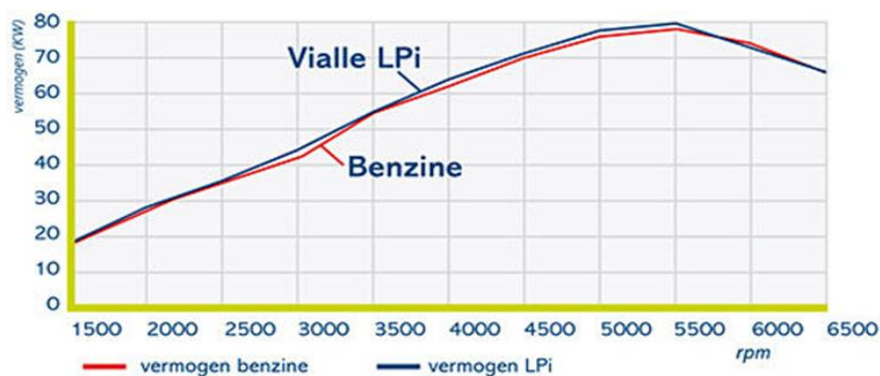
температурата на околината. Овој натпритисок во однос на оној во резервоарот е неопходен за да не дојде до испарување на течното гориво во магистралите поради доводот на топлина од моторот.



Слика 2. Всисна гранка со брызгалки [5]

Во блокот за регулација исто така има и електричен вентил за безбедност кој се наоѓа во отворена позиција при работа на втечен нафтен гас и во затворена позиција при работа на бензин. Вишокот на гориво се враќа назад во резервоарот преку повратните магистали и регулаторот за притисок. Регулаторот за притисок воедно има задача да одржува константен притисок во однос на системот за довод на свеж воздух кој, кај ото моторите, може да варира од значителен вакуум па се до атмосферски притисок во зависност од аголот на клапната за регулација и оптоварувањето на моторот. Потребата за константен релативен притисок проилегува од тоа времето на отворање на прскалките да биде единствена променлива со која ќе се регулира количината на впрскано гориво во моторот. Промени се среќаваат и кај магистралите за довод на гориво кои се изработени од армирана пластика наместо бакар кој е подложен на корозија кога е во допир со ваков вид на гориво.

Во суштина системот за впрскување на втечен нафтен гас е аналоген на оној за впрскување на течно гориво односно бензин, што значи дека е возможно системот за течно гориво да биде целосно заменет и воопшто да не се вградува. Според оваа стратегија производителите од Јужна Кореја, како што се Hyundai, Kia, Daewoo, за сопствениот пазар произведуваат **моноголивни** автомобили, односно автомобили кои работат исклучиво на втечен нафтен гас.



Слика 3. Зголемена моќност на моторот во некои режими на работа со втечен нафтен гас, во однос на бензин [5]

Во предностите на течното вбризување можат да се вбројат: зголемената прецизност во однос на оние со вбризување во гасна фаза, немање потреба за приклучување на системот за ладење на моторот, независност од притисокот во резервоарот и најзначајната предност, зголемена моќност на моторот поради намалување на температурата на смесата на воздух и гориво која се должи на топлината потребна за експанзија и латентната топлина искористена за фазна промена на горивото. Овој ефект се одликува со зголемена моќност на моторот во некои режими на работа во однос на течното гориво што е прикажано на слика 3.

Освен тоа стартувањето на моторот е возможно при практично секоја температура, што се должи на фактот дека втечнетиот нафтен гас испарува на пониска температура во однос на бензинот. Дополнителна предност на ова е и отсуство на формирање на филм од течно гориво врз свеќичките кој го попречува формирањето на искрата, како и можно бришење на маслениот филм од сидовите на цилиндрите.

3.2 Споредба на мапите на течно и гасно гориво

За да можеме да донесеме заклучоци за тоа како ќе се променат бензинските мапи, најпрвин треба да ги разгледаме физичките карактеристики на овие 2 горива.

Property	Propane	Butane	Gasoline
Liquid density, kg/m ³	509	585	765
Calorific value, MJ/kg	46,34	45,56	44,04
Boiling point, °C	-42	-0,5	30-210
Auto ignition temperature, °C	510	490	257
Flame temperature, °C	1980	1775	1720
Flame speed, m/s	0,4	0,4	0,35
Stoichiometric air/fuel, kg/kg	15,8	15,6	14,7
Lower flammability limit, vol. %	2,1	1,5	1,3
Upper flammability limit, vol. %	9,5	8,5	7,6
Octane number	111	103	95

Слика 4. Некои клучни карактеристики на бензинот и гасното гориво за определување на мапите за впскување и палење на горивото [7]

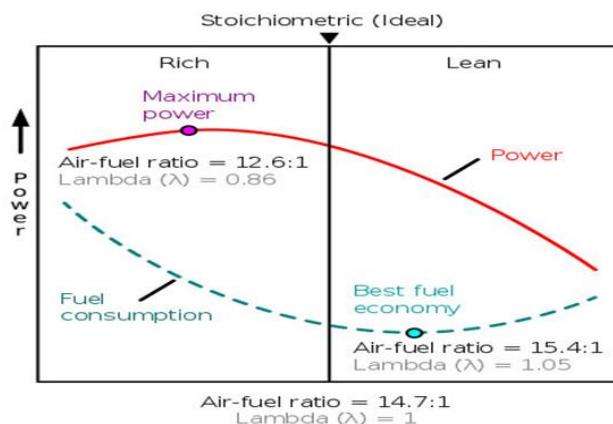
Од табела на Сл. 4, можеме да воочиме разлики во некои од карактеристиките кои се клучни за определување на мапата за впскување и палење на горивото. Да започнеме од густината, топлинската моќ и стехиометрискиот коефициент на двете горива. Очигледно е дека при ист режим на работа ќе биде потребен поголем проток на втечен нафтен гас отколку на бензин. Ова значи дека доколку се користат истите прскалки за двата вида гориво (што е сеуште во експериментална фаза кај шестата генерација гасни уреди) ќе биде потребно прскалките да бидат отворени подолго време за да ја компензираат пониската топлинска моќ (по единица волумен) на ТНГ во однос на бензин. За жал не постојат истражувања кои се јавно достапни во врска со односот на коефициентот на вишок на воздух, моќноста и ефикасноста, па затоа ќе ги анализираме податоците кои се достапни за работа на течно гориво односно бензин и мапите за корекција кои автоматски ги генерираат софтверите за управување на системите за гасно гориво.

Од мапата за корекција можеме да заклучиме дека *при мали оптоварувања* каде е потребна ниска потрошувачка на гориво двете мапи се поклопуваат, односно коефициентот на вишок на воздух е над 1 и моторот работи со сиромашна смеса.

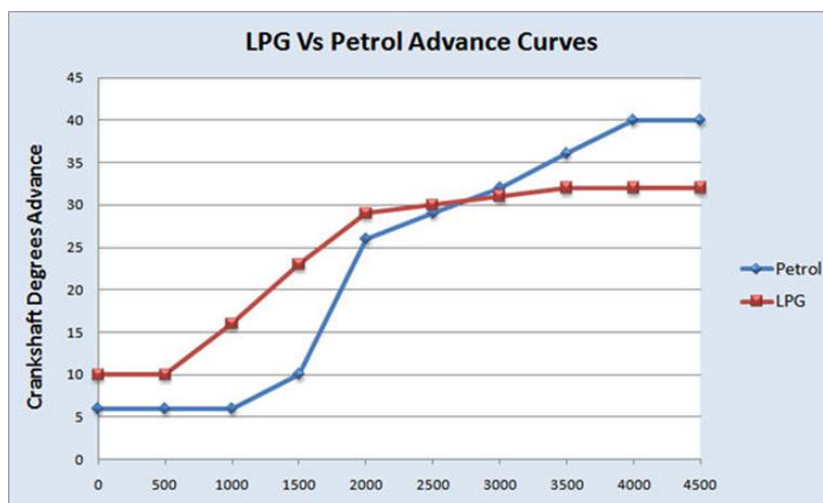
ms\RPM	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000	6500	7000	7500	8000
2	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
3	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
4	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
5	0%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
6	0%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
7	0%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	5%
8	0%	5%	5%	5%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
9	0%	5%	5%	5%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
10	0%	5%	5%	5%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%
11	0%	5%	5%	5%	10%	10%	10%	12%	12%	12%	12%	12%	10%	10%	10%
12	0%	5%	5%	5%	10%	10%	10%	12%	12%	12%	12%	12%	10%	10%	10%
13	0%	5%	5%	5%	10%	10%	10%	12%	12%	12%	12%	12%	10%	10%	10%
14	0%	5%	5%	5%	10%	10%	10%	12%	12%	12%	12%	12%	10%	10%	10%
15	0%	5%	5%	5%	10%	10%	10%	12%	12%	12%	12%	12%	10%	10%	10%
16	0%	5%	5%	5%	10%	10%	10%	12%	12%	12%	12%	12%	10%	10%	10%
17	0%	5%	5%	5%	10%	10%	10%	12%	12%	12%	12%	12%	10%	10%	10%
18	0%	5%	5%	5%	10%	10%	10%	12%	12%	12%	12%	12%	10%	10%	10%
19	0%	5%	5%	5%	10%	10%	10%	12%	12%	12%	12%	12%	10%	10%	10%
20	0%	5%	5%	5%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%	10%

Слика 5. Изглед на мапа за корекција [8]

При големи оптоварувања потребно е да се развие максимална моќност, ова би значело дека доколку станува збор за бензин, ламбда би изнесувал 0,86. Од мапата за корекција се забележува дека и покрај веќе богатата смеса, за постигнување на максимална моќност на гасно гориво потребно е смесата да се збогати уште повеќе. Ова е особено изразено со зголемување на оптоварувањето и зачестеноста на вртежите. Дополнително, од карактеристиките на горивата, или поточно од температурата на согорувањето е јасно дека гасното гориво создава повеќе азотни оксиди поради поголемата температура на согорување и тоа треба са регулира со збогатување на смесата или со рецикулација на издувните гасови. Поновите возила се опремени со сензори за детонација кои можат да прават промени на аголот на претпалењето во зависност од измерените вредности, односно палењето започнува поблиску до надворешната крајна положба, доколку детектираат детонација.



Слика 6. Силина и потрошувачка на гориво во функција од односот на гориво и воздух (air/fuel)



Слика 7. Оптимални вредности на аголот на претпалењето на бензин и втеченет нафтен гас во функција од зачестеноста на вртежите [10]

4 ЗАКЛУЧОК

Втечениот нафтен гас ги поседува сите потребни особини за негово масовно користење: може да се произведе во големи количини по пристапни цени, поседува ниска токсичност на издувните гасови, создавањето на азотните оксиди и јаглерод монооксид може да се намали преку соодветно конструирани, веќе достапни, технички решенија а импресионира и малата содржина на цврсти честички (особено важно при експлоатација во урбани средини). Ова значи дека еколошката се постигнува во самиот процес на согорување а не со елементи за третирање на издувните гасови во издувниот систем, кои често се и неисправни, заради големата диспропорција во ресурсите на моторот и овие уреди.

Втечениот нафтен гас е безбеден во експлоатацијата а и цената на инфраструктурата за негово користење е релативно ниска.

За жал, не постојат јавно достапни истражувања за оптимизација на системите за гасно гориво туку тоа се врши со софтвер на производителот кој *генерира корекциска мапа врз основа на измерените вредности од мапата за впрскување на течно гориво*. Ова не секогаш дава задоволителни резултати, па затоа сметаме дека се потребни подетални истражувања на оваа тема и нивно публикување што ќе им помогне на специјалистите кои се занимаваат со инсталирање и одржување на гасните уреди.

Особено е пожелно да се направи исчекор во производство на мотори СВС кои ќе работат исклучиво на гасно гориво со што би можело да се искористи неговата најголема предност - високиот октански број. Ова би значело зголемена ефикасност и моќност при намалена потрошувачка на гориво.

Недостаток на ТНГ е посложено складирање и ракување во однос на бензинот, бидејќи е потребно да се складира и транспортира под притисок за да остане во течна состојба. Ова значи примена на резервоари со цилиндрична форма (понекогаш, дури и во облик на резервно тркало) кои не секогаш се вклопуваат во детално испланираниот простор во автомобилите, како и полнење на гориво исклучиво со соодветна опрема која ја имаат само бензинските станици.

5 КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] Mohd Mustaqim Tukima, Mas Fawzi and Shahrul Azmir Osman, "Conversion of a gasoline engine into an lpg fuel engine" Norrizal Mustaffa, Faculty of Engineering Technology.

- [2] Maciej Paczuski, Ryszard Pulavski, Andrzej Pankowski, Kamil Kurpel and Marcin Prezdlacki “Liquefied petroleum gas (LPG) as a fuel for internal combustion engine”s.
- [3] Tun Hussein Onn Malaysia, L. Guzzella et al., Faculty of Mechanical and Manufacturing Engineering, Universiti “Introduction to Modeling and Control of Internal Combustion Engine Systems“ © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2004.
- [4] <http://autogaz.kz/news/66-2014-03-03-06-03-56/198-obnovki-gbo-5-6-pokolenie-gbo>.
- [5] <http://vsenagas.ru/ustanovka-gbo/5-pokolenie/>
- [6] International Energy Agency (IEA), 2019, (Fuel Economy in Major Car Markets: Technology and Policy Drivers 2005-2017). Licence: Creative Commons Attribution CC BY-NC-ND 3.0 IGO for all parts of the work except chapters 4 and Annex B, and International Energy Agency (IEA)/International Council on Clean Transportation (ICCT), 2019, (Fuel Economy in Major Car Markets: Technology and Policy Drivers 2005-2017). Licence: Creative Commons Attribution CC BY-NC-ND 3.0 IGO for chapters 4 and Annex B of the work.
- [7] https://www.researchgate.net/figure/Physical-and-chemical-properties-of-propane-butane-and-gasoline_tbl3_288992492<https://www.academicwritersbureau.com/samples/221-competition-in-the-global-automobile-industry> (пристапено на 02.05.2019)
- [8] Software documentation for the AGIS OBD CAN gas injection
- [9] <https://x-engineer.org/automotive-engineering/internal-combustion-engines/performance/air-fuel-ratio-lambda-engine-performance/><https://www.boschautoparts.com/en/auto/temperature-sensors/air-temperature-sensors> (пристапено на 04.05.2019)
- [10] http://www.mbs.id.au/tuning/Tuning/LPG_tuning.htm<https://www.boschautoparts.com/en/auto/engine-position-sensors/crankshaft-position-sensors>

Андријана Костадиновска¹ Ментор: Лихнида Стојановска-Георгиевска²

^{1,2} Факултет за Електротехника и Информатиски Технологии, Скопје

¹ andrijanakostadinovska@gmail.com

² lihnida@feit.ukim.edu.mk

ПРИМЕНА НА ПАМЕТНИ БРОИЛА ЗА ЕНЕРГЕТСКА ЕФИКАСНОСТ

АПСТРАКТ

Паметните мрежи и паметните броила (smart meters) постепено се имплементираат во домаќинствата. Неколку земји имаат започнато студии насочени кон влијанијата кои произлегуваат од воведувањето на овие технологии. Една од главните предности е поврзана со енергетската ефикасност, забележана преку зголемената свест на населението за поефикасна потрошувачка. Овие придобивки директно ги чувствуваат потрошувачите преку заштедата на сметките за електрична енергија и исто така од концесионерите преку минимизирање на загубите во преносот и дистрибуцијата, стабилноста на системот и помало оптеретување во текот на часовите со најголема потрошувачка. Во првиот дел од овој труд ќе биде објаснет принципот на работа на паметните мрежи и броила и зошто тие се потребни. Во вториот дел ќе бидат презентирани два проекти кои ја демонстрираат потенцијалната заштеда на енергија преку паметни броила и паметни мрежи. Првиот проект е изведен во Кореја, фокусирајќи се на инсталација на паметни мерачи и влијанието на употребата на кориснички интерфејси. Вториот е изведен во Португалија, фокусирајќи се на контролата на оптоварувањето во живеалиште со дистрибуирана генерација.

Клучни зборови: паметни броила, паметни мрежи, потрошувачка, SCADA.

APPLICATION OF SMART METERS FOR ENERGY EFFICIENCY

ABSTRACT

Smart grids and smart meters are gradually being implemented in the households. Several countries have started studies aimed at the impacts arising from the introduction of these technologies. One of the main advantages is related to energy efficiency, observed through the awareness of the population about more efficient consumption. These benefits are felt directly by consumers through the savings on electricity bills and also by the concessionaires through the minimization of losses in transmission and distribution, system stability and smaller load during peak hours. The first part of this paper will be focused on explaining the principle on which smart grids and smart meters operate and why is there a need for them. In the second part we will observe two projects that demonstrate the potential energy savings through smart meters and smart grids. The first was performed in Korea, focusing on the installation of smart meters and the impact of using user interfaces. The second was performed in Portugal, focusing on the control of loads in a residence with distributed generation.

Key words: smart meters, smart grids, consumption, SCADA.

1 ВОВЕД

Во моментов многу се дискутира за паметните мрежи и нивно проширување кон домаќинствата и потрошувачите. Постојат бројни предности во нивната употреба меѓу кои може да се спомене и континуирано следење на мрежата на сеопфатен начин, мониторинг на квалитетот на електрична енергија, интеграција помеѓу електричните мрежи, можност за воведување на концепт на дистрибуирана генерација, микро мрежи итн. Во овој труд ќе се објасни нивниот начин на работа и примена.

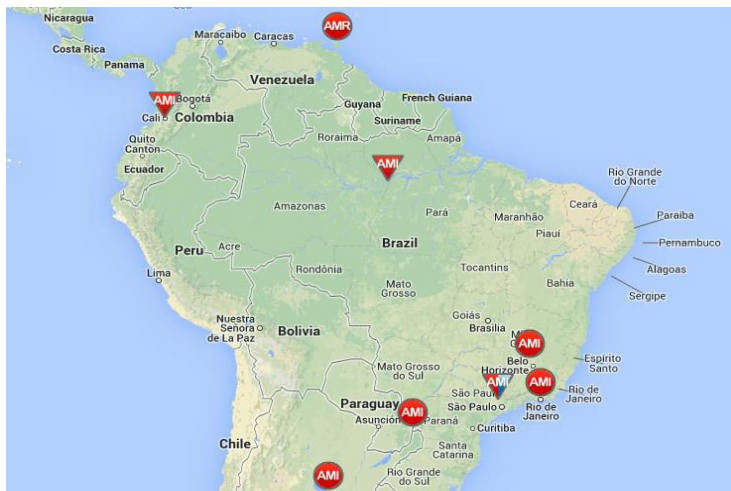
На глобално ниво, поголемиот дел од земјите користат традиционални електрични мрежи, во процес што вклучува загуби за време на преносот и дистрибуцијата. За повеќето потрошувачи, наплатата се случува преку електромеханички метар што ја запишува вкупната потрошувачка во временски период. Поради проблемите со ова наплаќање, развиен е автоматски систем за мерење на потрошувачката на енергија, познат како Автоматско метарско читање (AMR), кој е претходник на паметните мрежи. Паметната мрежа е нов концепт на електрични мрежи користејќи двонасочни патеки, како за напојување, така и за комуникација со податоци, компјутерска безбедност и компјутерска интелигенција, интегрирајќи ја генерацијата, преносот, дистрибуцијата и потрошувачите за да се постигне безбедна, изводлива, сигурна, ефикасна и одржлива мрежа. Оваа инфраструктура ги охрабрува потрошувачите да учествуваат активно во мрежата, на пример, преку програми за заштеда на енергија и фотоволтаици.

2 ПАМЕТНИ БРОИЛА И ПАМЕТНИ МРЕЖИ

Милиони долари се инвестираат од компании за електрична енергија за развој на потребните технологии, инсталација и целата инфраструктура неопходна за работа на паметни броила и паметни мрежи. Основа за целосна имплементација на основните концепти на паметни мрежи е стандардизацијата и инсталацијата на паметните броила за сите потрошувачи, или повеќето од нив. Овие мерачи не се ограничени само на мерење и запишување на количината на потрошена електрична енергија, туку може да вклучуваат мерење на потрошувачката на вода и гас.

Една од главните промени е поврзана со начинот на наплата. Воведувањето на паметни броила овозможува мерење во мали интервали на време покрај можноста за двонасочна комуникација помеѓу потрошувачите и дистрибутерите, овозможувајќи им на двете да знаат во реално време колку и како се користи енергијата. Двонасочната комуникација овозможува далечинско управување со побарувачката на електрична енергија. Двонасочните паметни броила се особено потребни за мерења кај алтернативните извори на енергија, како што се ветер и соларна енергија.

Паметните броила даваат многу повеќе информации во споредба со традиционалните броила, дозволувајќи им на потрошувачите да бидат добро информирани за нивната потрошувачка, притоа поттикнувајќи ги да бидат поштедливи со енергијата. Оваа карактеристика го прави донесувањето одлуки наједноставно и интуитивно, со што се овозможува полесно постигнување на поефикасна потрошувачка. Податоците дадени од паметни броила можат да бидат обработени од концесионерите со цел подетално проучување на оптоварувањето и моделите на потрошувачка на секој регион. Напредната мерна инфраструктура (AMI) се смета за клучна за имплементација на паметни мрежи. Во оваа шема, однесувањето на потрошувачите е засегнато, особено преку усвојување на варијабилни тарифи.



Слика 1: Паметна мрежа во Јужна Америка

Електронските броила за струја се веќе есенцијален дел во секторот за електрична енергија, со широка употреба во трафостаниците, фабриките и поголемите фирми.

Придобивките од овој систем ќе бидат почувствувани и од регулаторните агенции бидејќи системите и распоредените сензори ќе ги олеснат ревизорските процеси, бидејќи броилата ќе снимаат и пренесуваат голема количина на податоци за потрошувачката. Системите што користат електронски броила или паметни броила се сметаат за ефикасна алтернатива во потрагата по подобри стандарди на потрошувачка на енергија, со други зборови, ја зголемуваат свеста кај потрошувачите во потрага по поефикасна потрошувачка.



Слика 2: Паметна мрежа во Европа и Северна Америка



Слика 3: Дисплеј на едно паметно броило

Друга можност што се јавува е да се усвојат посебни тарифи, при што потрошувачите ќе трошат помалку за време на врвните периоди, каде електричната енергија е поскапа. Дополтно се појавува и можноста за спроведување на концептот на одговор на побарувачката (demand-response). Придобивка од ова се помали сметки за потрошувачите на долг рок.

Друга важна придобивка од употребата на паметни броила заедно со концептите на дистрибуирана генерација и demand-response е намалување на дефекти во мрежите. На пример, проблем во трансформаторот на дистрибуцијата може да биде надминат од потрошувачи кои имаат алтернативни извори за извори енергија како што е ветер или соларна енергија. Системот ќе стане побезбеден од дефекти на опрема или од преоптоварување. Сепак, целосната имплементација на интелигентните системи нема да биде инстантна, дури и во земји каде што се започнати планови и пилот-проекти. Владата на Велика Британија проценува дека до 2020 година сите домаќинства ќе користат паметни броила.

3 МИСЛЕЊА НА ПОТРОШУВАЧИТЕ

Делумните резултати од анкета спроведена кај потрошувачи во 2015та посочиле дека 77% од учесниците не се запознаени со паметните мрежи. Главната цел на истражувањето било да се процени дали учесниците веруваат дека можат да заштедат енергија во нивните домови и дали подеталните и интерактивни податоци презентирани од паметен бројач би помогнале со тоа. Околу 90% од учесниците верувале дека можат да заштедат енергија во нивните домови и дека 94% кажале дека пристапот до детални податоци од паметен метар би можел позитивно да влијае на економијата на енергијата. Меѓу главните податоци што ги цитирале учесниците се цената на електричната енергија и потрошувачката од изминатите месеци.

Истражувањето исто така открило дека околу 8% од учесниците веруваат дека новите метри можат да имаат негативно влијание, во најголем дел од резултатите што се однесуваат на трошоците за купување и инсталирање на оваа нова технологија.

4 ПАМЕТНИ БРОИЛА И ПАМЕТНИ МРЕЖИ ВО ПРАКСА

4.1 А. Влијание на корисничките интерфејси во енергетската ефикасност

Зголемувањето на цената на фосилните горива влијаеше директно врз генераторите и снабдувачите на енергија, предизвикувајќи огромни економски загуби. Податоците од корејската електроенергетска корпорација (КЕПКО) укажале на загуби од 1,3 милијарди американски долари во 2008 година, како резултат на зголемувањето на цените на горивата. Воведувањето на концептот на паметно мерење заедно со инсталирање на интерфејси за лесно прегледување на податоци за корисниците и динамични цени стануваат големи сојузници за промовирање на свеста за поефикасна и економична потрошувачка шема [1].

Пилот-проектот бил започнат во септември 2008 година, а имплементацијата за тестирање помеѓу декември 2008 и февруари 2009 година. 77 волонтери биле избрани за инсталација на системите, 24 во Сеул и 53 во Чеонгџу.

Системот бил развиен врз основа на стандардниот систем за управување со енергијата (EMS), во потрага по искористување на достапната инфраструктура, минимизирајќи ги придружните трошоци. Во системот ЕМС, енергетската ефикасност се култивира преку само-управување, со други зборови, со давање детални информации за тековната или мината потрошувачка и идните предвидувања без да се потпира задолжително на промените во тарифата. За разлика, системот АМИ предизвикува заштеда на енергија преку варијабилни тарифи. Главниот фокус на студијата бил да се процени влијанието на домашните кориснички интерфејси.

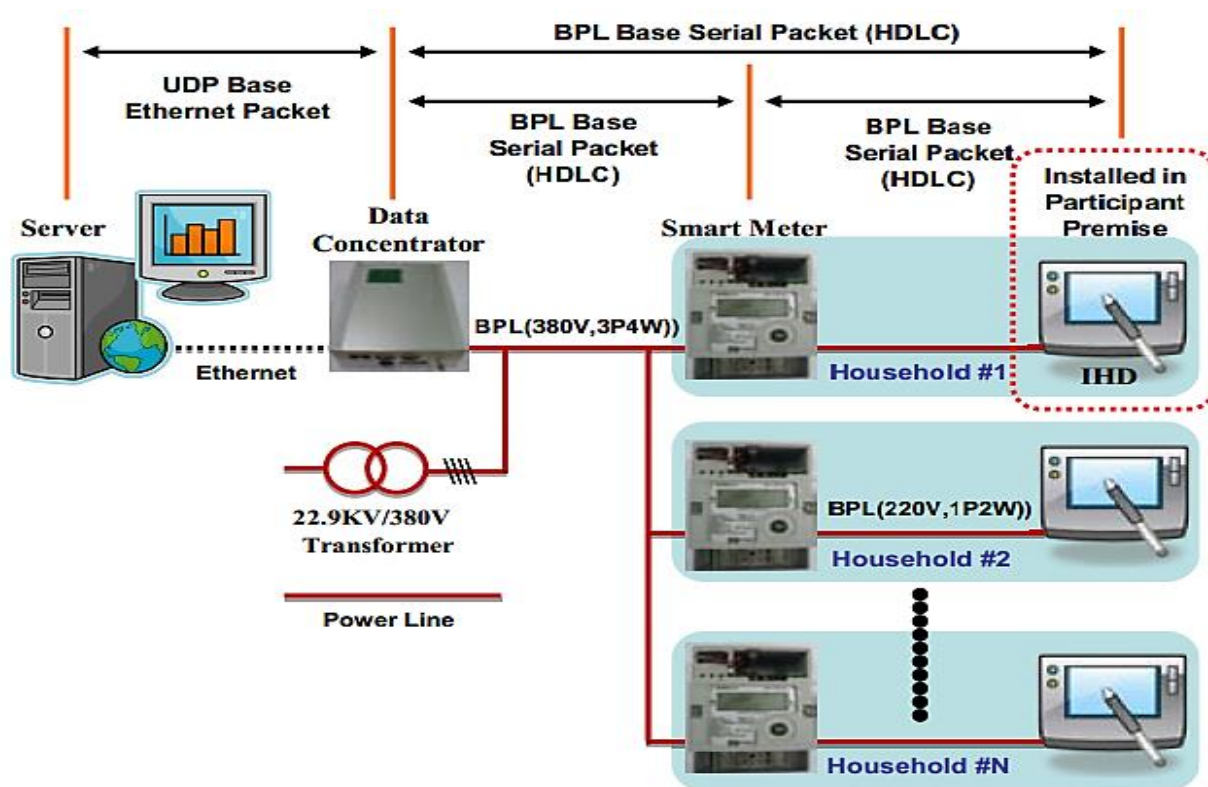
Структурата на системот може да се види на Слика 4. Бидејќи големиот дел од домаќинствата користат фeroцемент, било решено да се користи Power Line Carrier (PLC) за пренос на податоци.

Корисничкиот интерфејс треба да биде едноставен и интуитивен, олеснувајќи го разбирањето на презентираниите податоци. Податоците што се однесуваат на потрошувачката на енергија во основа се претставени како:

- Тековна кумулативна потрошувачка на енергија и износот што треба да се плати;
- Месечни проценки;

- Просечен фактор на моќност и тековно прогресивно ниво;
- Графици на потрошувачка со текот на времето;
- Тековна и годишна потрошувачка и претходни сметки;
- Просечна потрошувачка на слична група;
- Емисија на штетни гасови и информации за климата;
- Совети поврзани со потрошувачката на електрична енергија.

Тестот траел два месеци. Во првиот месец биле инсталирани само броила за проверка на шемата на потрошувачка. Во вториот месец биле додадени кориснички интерфејси за да се процени однесувањето на потрошувачите и влијанието врз потрошувачката на енергија. Резултатите покажале намалување на потрошувачката во 48 од 53-те резиденции во Чеонгџу, со просечно намалување на потрошувачката на енергија од 15,9%. Во Сеул, 22 од 24 домаќинства пријавиле намалување на потрошувачката, со просечно намалување на потрошувачката од 7,5%.



Слика 4: Структура на системот

4.2 Б. Интелигентна контрола на товарите - одговор на побарувачката

Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) е платформа која вклучува неколку компоненти и е применета во електричниот систем за следење, управување и контролирање на товарите, со што има особено важна улога во одржувањето на безбедноста и одржливоста на електричните системи [2]. Системот SCADA работи во реално време и е одговорен за управување со товарите во време на недостаток на снабдување со енергија, што е од корист како на електричната мрежа така и на потрошувачот.

Трудот на истражувачи во Португалија во 2010та [2] покажува план за паметен дом, овозможувајќи контрола на домот со неговото оптоварување и дистрибуирана генерација преку паметен SCADA систем.

Платформата за тестирање е дел од лабораторијата за интелигентни енергетски системи (LASIE) која има обновливи извори на енергија, како што се турбини на ветер, фотоволтаични панели и горивни ќелии и може да работи во изолиран режим или да е поврзана со електрична мрежа. Резултатите добиени во студијата [2] ја покажуваат ефикасноста на системот кој секогаш ја одржува потрошувачката во дефинирани граници. Енергетската ефикасност е главна цел на реакција на побарувачката преку темелно собирање на податоците за корисниците. Во моментот системот постојано се надградува со повеќе функции.

Системот претставен во [2] користи програмабилен логички контролер (PLC) за спроведување на системот SCADA. Во иднина, сличен систем може да се интегрира во паметното броило, што го прави финансиски изводлив за повеќето потрошувачи. Оваа одлика главно зависи од интеграцијата и комуникацијата помеѓу уредите, покрај стандардизацијата на донесените протоколи. Оваа тема е во фокусот на обемни студии што ги знаеме како Интернет на нештата (IoT).

5 ПОТЕНЦИЈАЛ

Поради зголемената употреба на паметни броила и паметни мрежи, се појавуваат широк спектар на можности и имаат тенденција да се зголемуваат и созреваат заедно со електричната мрежа и развојот на новата технологија.

АМИ системот е еден од најпознатите наведени во документите и развиените проекти, меѓутоа системот ЕМС носи и бројни придобивки. Во иднина може да се очекува усвојување на нов хибриден систем во комбинација на тарифните варијабли на системот АМИ со деталните податоци на системот ЕМС кои бараат подобри нивоа на енергетска ефикасност.

Количината, квалитетот и јасноста на информациите се клучни за директно влијание врз однесувањето на потрошувачите. Важна е и можноста да се пребаруваат минатите и просечните потрошувачки и предвидувањата за идната потрошувачка засновани врз тие податоци. За овие цели, системите со вештачка интелигенција се исклучително корисни бидејќи овозможуваат формирање на модели на корисници за да се добијат предвидувања на потрошувачката.

Со оваа анализа на однесувањето се појавуваат повеќе можности. На пример, драстични промени во шемите на потрошувачка или постојаната голема потрошувачка што не се очекуваат може да укажуваат на проблеми со потрошувачот, со што се овозможува интеракција со истиот за известување за можен проблем што постои во инсталацијата на потрошувачот.

Друг проблем што може да се минимизира преку употреба на паметни броила е измама или кражба на енергија. Анализата на однесувањето на потрошувачите исто така може да укаже на потенцијална кражба. Паметните броила можат да бидат најдобриот начин за борба против енергетската измама бидејќи за разлика од традиционални мерачи, секоја промена ја известуваат инстантно и тешко е да се прикријат податоци.

6 ЗАКЛУЧОК

Овој труд го објасни концептот на паметно броило и паметна мрежа, како и поврзаните карактеристики и потврдените придобивки од неговата имплементација. Една од најголемите предности е корисничкиот интерфејс што овозможува лесен пристап и разбирање на податоците за потрошувачка. Овие можности ги мотивираат корисниците да имаат поголемо внимание во потрошувачката на електрична енергија.

За подобро разбирање на концептите и очекуваните резултати беа посочени два проекти изработени во различни земји и со различен фокус. Првиот развиен во Кореја, каде што е претставен пилот-проект за инсталирање паметни мерачи и потврдување на влијанието на усвојувањето на кориснички интерфејс што овозможува проверка на податоците за потрошувачката. Во втората се прикажува интелигентен систем

SCADA за контрола на потрошувачката во околина со дистрибуирано снабдување, фокусирајќи се на концептот на реакција на побарувачката и влијанието врз потрошувачката на енергија.

И во двата случаи е потенциран потенцијалот за заштеда на електрична енергија, а тоа може директно да се поврзе со зголемувањето на ефикасноста на потрошувачката и свеста на потрошувачите.

7 КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- [1] T.-S. Choi, K.-R. Ko, S.-C. Park, Y.-S. Jang, Y.-T. Yoon, and S.-K. Im, "Analysis of energy savings using smart metering system and IHD (in-home display)," in Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific, 2009, pp. 1-4.
- [2] F. Fernandes, T. Sousa, P. Faria, M. Silva, H. Morais, and Z. A. Vale, "Intelligent SCADA for Load control," in Systems Man and Cybernetics (SMC), 2010 IEEE International Conference on, 2010, pp. 2987-2994.

