

**GOCE DELCEV UNIVERSITY, STIP, NORTH MACEDONIA
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING**

ETIMA 2025
THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE
24-25 SEPTEMBER, 2025



**TECHNICAL SCIENCES APPLIED IN ECONOMY,
EDUCATION AND INDUSTRY**



УНИВЕРЗИТЕТ
ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ
ФАКУЛТЕТ



УНИВЕРЗИТЕТ „ГОЦЕ ДЕЛЧЕВ“, ШТИП
ЕЛЕКТРОТЕХНИЧКИ ФАКУЛТЕТ

GOCE DELCEV UNIVERSITY, STIP
FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING

ТРЕТА МЕЃУНАРОДНА КОНФЕРЕНЦИЈА
THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE

ЕТИМА / ETIMA 2025

ЗБОРНИК НА ТРУДОВИ
CONFERENCE PROCEEDINGS

24-25 септември 2025 | 24-25 September 2025

ISBN: 978-608-277-128-1

DOI: <https://www.doi.org/10.46763/ETIMA2531>

Главен и одговорен уредник / Editor in Chief

проф.д-р Сашо Гелев
Prof.d-r Saso Gelev

Јазично уредување / Language Editor

Весна Ристова (македонски) / Vesna Ristova (Macedonian)

Техничко уредување / Technical Editing

Дарко Богатинов / Darko Bogatinov

Издавач / Publisher

Универзитет „Гоце Делчев“, Штип / Goce Delcev University, Stip
Електротехнички факултет / Faculty of Electrical Engineering

Адреса на организационен комитет / Address of the organizational committee

Универзитет „Гоце Делчев“, Штип / Goce Delcev University, Stip
Електротехнички факултет / Faculty of Electrical Engineering

Адреса: ул. „Крсте Мисирков“ бр. 10А / Address: Krste Misirkov, 10A

Пош. фах 201, Штип - 2000, С. Македонија / PO BOX 201, Stip 2000, North Macedonia

E-mail: conf.etf@ugd.edu.mk

CIP - Каталогизација во публикација

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

62-049.8(062)

004-049.8(062)

МЕЃУНАРОДНА конференција ЕТИМА (3 ; 2025 ; Штип)

Зборник на трудови [Електронски извор] / Трета меѓународна конференција ЕТИМА 2025, 24-25 септември 2025 ; [главен и одговорен уредник Сашо Гелев] = Conference proceedings / Third international conference, 24-25 September 2025 ; [editor in chief Saso Gelev]. - Текст во PDF формат, содржи 357 стр., илустр. - Штип : Универзитет "Гоце Делчев", Електротехнички факултет ; Штип : "Goce Delchev" University, Faculty of Electrical engineering, 2025

Начин на пристапување (URL): <https://js.ugd.edu.mk/index.php/etima/en>. - Наслов преземен од екранот. - Опис на изворот на ден 30.10.2025. - Трудови на мак. и англ. јазик. - Библиографија кон трудовите

ISBN 978-608-277-128-1

а) Електротехника -- Примена -- Собири б) Машинство -- Примена -- Собири
в) Автоматика -- Примена -- Собири г) Информатика -- Примена -- Собири

COBISS.MK-ID 67297029



Трета меѓународна конференција ЕТИМА
24-25 Септември 2025
Third International Conference ETIMA
24-25 September 2025

**ОРГАНИЗАЦИОНЕН ОДБОР
ORGANIZING COMMITTEE**

Драган Миновски / Dragan Minovski

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Сашо Гелев / Saso Gelev

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Тодор Чекеровски / Todor Cekerovski

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Маја Кукушева Панева / Maja Kukuseva Paneva

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Билјана Читкушева Димитровска / Biljana Citkuseva Dimitrovska

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Дарко Богатинов / Darko Bogatinov

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia



Трета меѓународна конференција ЕТИМА
24-25 Септември 2025
Third International Conference ETIMA
24-25 September 2025

**ПРОГРАМСКИ И НАУЧЕН ОДБОР
SCIENTIFIC COMMITTEE**

Антонио Курадо / António Curado

Политехнички институт во Виана до Кастело, Португалија
Instituto Politécnico de Viana do Castelo, Portugal

Стелијан – Емилијан Олтеан / Stelian –Emilian Oltean

Факултет за инженерство и информатичка технологија,
Медицински универзитет Георге Емил Паладе, фармација, наука и технологија
во Таргу Муреш, Романија
Faculty of Engineering and Information Technology, George Emil Palade
University of Medicine, Pharmacy, Science, and Technology of Targu Mures, Romania

Митко Богданоски / Mitko Bogdanoski

Воена академија, Универзитет „Гоце Делчев“, Северна Македонија
Military Academy, Goce Delcev University, North Macedonia

Верица Тасеска Ѓоргиевска / Verica Taseska Gjorgievska

Македонска академија на науките и уметностите, Северна Македонија
Macedonian Academy of Sciences and Arts, North Macedonia

Југослав Ачкоски / Jugoslav Ackoski

Воена академија, Универзитет „Гоце Делчев“, Северна Македонија
Military Academy, Goce Delcev University, North Macedonia

Димитар Богатинов / Dimitar Bogatinov

Воена академија, Универзитет „Гоце Делчев“, Северна Македонија
Military Academy, Goce Delcev University, North Macedonia

Со Ногучи / So Noguchi

Висока школа за информатички науки и технологии
Универзитет Хокаидо, Јапонија
Graduate School of Information Science and Technology
Hokkaido University, Japan

Диониз Гашпаровски / Dionýz Gašparovský

Факултет за електротехника и информатички технологии,
Словачки Технички Универзитет во Братислава, Словачка
Faculty of Electrical Engineering and Information Technology
Slovak Technical University in Bratislava, Slovakia

Георги Иванов Георгиев / Georgi Ivanov Georgiev
Технички Универзитет во Габрово, Бугарија
Technical University in Gabrovo, Bulgaria

Антон Белан / Anton Belán
Факултет за електротехника и информациони технологии
Словачки Технички Универзитет во Братислава, Словачка
Faculty of Electrical Engineering and Information Technology
Slovak Technical University in Bratislava, Slovakia

Ивелина Стефанова Балабанова / Ivelina Stefanova Balabanova
Технички Универзитет во Габрово, Бугарија
Technical University in Gabrovo, Bulgaria

Бојан Димитров Карапeneв / Boyan Dimitrov Karapenev
Технички Универзитет во Габрово, Бугарија
Technical University in Gabrovo, Bulgaria

Сашо Гелев / Saso Gelev
Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Влатко Чингоски / Vlatko Cingoski
Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Божо Крстајиќ / Bozo Krstajic
Електротехнички факултет
Универзитет во Црна Гора, Црна Гора
Faculty of Electrical Engineering,
University in Montenegro, Montenegro

Милован Радуловиќ / Milovan Radulovic
Електротехнички факултет
Универзитет во Црна Гора, Црна Гора
Faculty of Electrical Engineering,
University in Montenegro, Montenegro

Гоце Стефанов / Goce Stefanov
Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Мирјана Периќ / Mirjana Peric
Електронски факултет
Универзитет во Ниш, Србија
Faculty of Electronic Engineering,
University of Nis, Serbia

Ана Вучковиќ / Ana Vuckovic

Електронски факултет,
Универзитет во Ниш, Србија
Faculty of Electronic Engineering,
University of Nis, Serbia

Тодор Чекеровски / Todor Cekerovski

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Далибор Серафимовски / Dalibor Serafimovski

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Мирослава Фаркаш Смиткова / Miroslava Farkas Smitková

Факултет за електротехника и информации технологии
Словачки Технички Универзитет во Братислава, Словачка
Faculty of Electrical Engineering and Information Technology
Slovak Technical University in Bratislava, Slovakia

Петер Јанига / Peter Janiga

Факултет за електротехника и информации технологии
Словачки Технички Универзитет во Братислава, Словачка
Faculty of Electrical Engineering and Information Technology
Slovak Technical University in Bratislava, Slovakia

Јана Радичова / Jana Raditschová

Факултет за електротехника и информации технологии
Словачки Технички Универзитет во Братислава, Словачка
Faculty of Electrical Engineering and Information Technology
Slovak Technical University in Bratislava, Slovakia

Драган Миновски / Dragan Minovski

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Василија Шарац / Vasilija Sarac

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Александар Тузаров / Aleksandar Tudzarov

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Владимир Талевски / Vladimir Talevski

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Владо Гичев / Vlado Gicev

Факултет за информатика,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија;
Faculty of Computer Science,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia;

Марија Чекеровска / Marija Cekerovska

Машински факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија;
Faculty of Mechanical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia;

Мишко Цидров / Misko Dzidrov

Машински факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија;
Faculty of Mechanical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia;

Александар Крстев / Aleksandar Krstev

Факултет за информатика,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија;
Faculty of Computer Science,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia;

Ванчо Аџиски / Vancho Adziski

Факултет за природни и технички науки,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија;
Faculty of Natural and Technical Sciences,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia;

Томе Димовски / Tome Dimovski

Факултет за информатички и комуникациски технологии,
Универзитет „Св. Климент Охридски“, Северна Македонија;
Faculty of Information and Communication Technologies,
University St Climent Ohridski, North Macedonia;

Зоран Котевски / Zoran Kotevski

Факултет за информатички и комуникациски технологии,
Универзитет „Св. Климент Охридски“, Северна Македонија;
Faculty of Information and Communication Technologies,
University St Climent Ohridski, North Macedonia;

Никола Рендевски / Nikola Rendevski

Факултет за информатички и комуникациски технологии,
Универзитет „Св. Климент Охридски“, Северна Македонија;
Faculty of Information and Communication Technologies,
University St Climent Ohridski, North Macedonia;

Илија Христовски / Ilija Hristovski

Економски факултет,
Универзитет „Св. Климент Охридски“, Северна Македонија;
Faculty of Economy,
University St Climent Ohridski, North Macedonia;

Христина Спасовска / Hristina Spasovska

Факултет за електротехника и информациски технологии,
Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје, Северна Македонија;
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies,
Ss. Cyril and Methodius University, North Macedonia;

Роман Голубовски / Roman Golubovski

Природно-математички факултет,
Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје, Северна Македонија;
Faculty of Mathematics and Natural Sciences,
Ss. Cyril and Methodius University, North Macedonia;

Маре Србиновска / Mare Srbinovska

Факултет за електротехника и информациски технологии,
Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје, Северна Македонија;
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies,
Ss. Cyril and Methodius University, North Macedonia;

Билјана Златановска / Biljana Zlatanovska

Факултет за информатика,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија;
Faculty of Computer Science,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia;

Александра Стојанова Илиевска / Aleksandra Stojanova Ilievska

Факултет за информатика,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија;
Faculty of Computer Science,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia;

Мирјана Коцалева Витанова / Mirjana Kocaleva Vitanova

Факултет за информатика,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија;
Faculty of Computer Science,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia;

Ивана Сандева / Ivana Sandeva

Факултет за електротехника и информациски технологии,
Универзитет „Св. Кирил и Методиј“, Скопје, Северна Македонија;
Faculty of Electrical Engineering and Information Technologies,
Ss. Cyril and Methodius University, North Macedonia;

Билјана Читкушева Димитровска / Biljana Citkuseva Dimitrovska

Електротехнички факултет,
Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија;
Faculty of Electrical Engineering,
Goce Delcev University, Stip, North Macedonia

Наташа Стојковиќ / Natasa Stojkovik

Факултет за информатика,

Универзитет „Гоце Делчев“, Штип, Северна Македонија;

Faculty of Computer Science,

Goce Delcev University, Stip, North Macedonia;



Трета меѓународна конференција ЕТИМА Third International Conference ETIMA

PREFACE

The Third International Conference “Electrical Engineering, Technology, Informatics, Mechanical Engineering and Automation – Technical Sciences in the Service of the Economy, Education and Industry” (ETIMA’25), organized by the Faculty of Electrical Engineering at the “Goce Delchev” University – Shtip, represents a significant scientific event that enables interdisciplinary exchange of knowledge and experience among researchers, professors, and experts in the field of technical sciences. The conference was held in an online format and brought together 78 authors from five different countries.

The ETIMA conference aims to establish a forum for scientific communication, encouraging multidisciplinary collaboration and promoting technological innovations with direct impact on modern life. Through the presentation of scientific papers, participants shared the results of their research and development activities, contributing to the advancement of knowledge and practice in relevant fields. The first ETIMA conference was organized four years ago, featuring 40 scientific papers. The second conference took place in 2023 and included over 30 papers. ETIMA’25 continued this scientific tradition, presenting more than 40 papers that reflect the latest achievements in electrical engineering, technology, informatics, mechanical engineering, and automation.

At ETIMA’25, papers were presented that addressed current topics in technical sciences, with particular emphasis on their application in industry, education, and the economy. The conference facilitated fruitful discussions among participants, encouraging new ideas and initiatives for future research and projects.

ETIMA’25 reaffirmed its role as an important platform for scientific exchange and international cooperation. The organizing committee extends sincere gratitude to all participants for their contribution to the successful realization of the conference and its scientific value.

We extend our sincerest gratitude to all colleagues who, through the presentation of their papers, ideas, and active engagement in discussions, contributed to the success and scientific significance of ETIMA’25.

The Organizing Committee of the Conference

ПРЕДГОВОР

Третата меѓународна конференција „Електротехника, Технологија, Информатика, Машинство и Автоматика – технички науки во служба на економијата, образованието и индустријата“ (ЕТИМА’25), организирана од Електротехничкиот факултет при Универзитетот „Гоце Делчев“ – Штип, претставува значаен научен настан кој овозможува интердисциплинарна размена на знаења и искуства меѓу истражувачи, професори и експерти од техничките науки. Конференцијата се одржа во онлајн формат и обедини 78 автори од пет различни земји.

Конференцијата ЕТИМА има за цел да создаде форум за научна комуникација, поттикнувајќи мултидисциплинарна соработка и промовирајќи технолошки иновации со директно влијание врз современото живеење. Преку презентација на научни трудови, учесниците ги споделуваат резултатите од своите истражувања и развојни активности, придонесувајќи кон унапредување на знаењето и практиката во релевантните области.

Првата конференција ЕТИМА беше организирана пред четири години, при што беа презентирани 40 научни трудови. Втората конференција се одржа во 2023 година и вклучи над 30 трудови. ЕТИМА’25 продолжи со истата научна традиција, презентирајќи повеќе од 40 трудови кои ги отсликуваат најновите достигнувања во областа на електротехниката, технологијата, информатиката, машинството и автоматиката.

На ЕТИМА’25 беа презентирани трудови кои обработуваат актуелни теми од техничките науки, со посебен акцент на нивната примена во индустријата, образованието и економијата. Конференцијата овозможи плодна дискусија меѓу учесниците, поттикнувајќи нови идеи и иницијативи за идни истражувања и проекти.

ЕТИМА’25 ја потврди својата улога како значајна платформа за научна размена и интернационална соработка. Организациониот одбор упатува искрена благодарност до сите учесници за нивниот придонес кон успешната реализација на конференцијата и нејзината научна вредност. Конференцијата се одржа онлајн и обедини седумдесет и осум автори од пет различни земји.

Изразуваме голема благодарност до сите колеги кои со презентирање на своите трудови, идеи и активна вклученост во дискусиите придонесоа за успехот на ЕТИМА’25 и нејзината научна вредност.

Организационен одбор на конференцијата

СОДРЖИНА / TABLE OF CONTENTS:

СОВРЕМЕНО РАНОГРАДИНАРСКО ПРОИЗВОДСТВО СО ПРИМЕНА НА ОБНОВЛИВИ ЕНЕРГЕТСКИ ИЗВОРИ И ТЕХНОЛОГИИ.....	15
ШИРОКОПОЈАСЕН ПРЕНОС НА ПОДАТОЦИ ПРЕКУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТСКАТА МРЕЖА	25
TRANSIENT PHENOMENA IN BLACK START	32
OPTIMIZATION OF SURPLUS ELECTRICITY MANAGEMENT FROM MUNICIPAL PHOTOVOLTAIC SYSTEMS: VIRTUAL STORAGE VS BATTERY SYSTEMS.....	43
IMPACT OF LIGHT POLLUTION ON ENERGY EFFICIENCY	53
ПЕРСПЕКТИВИ, ПРЕДИЗВИЦИ И ИНОВАЦИИ ВО ПЕРОВСКИТНИТЕ СОЛАРНИ КЕЛИИ	61
ПРИМЕНА НА НАНОМАТЕРИЈАЛИ КАЈ ФОТОВОЛТАИЧНИ КЕЛИИ ЗА ЗГОЛЕМУВАЊЕ НА НИВНАТА ЕФИКАСНОСТ ПРЕКУ НАМАЛУВАЊЕ НА РАБОТНАТА ТЕМПЕРАТУРА	68
LONG-TERM POWER PURCHASE AGREEMENT FOR PHOTOVOLTAIC ENERGY AS A SOLUTION FOR ENHANCING THE PROFITABILITY OF THE TASHMARUNISHTA PUMPED-STORAGE HYDRO POWER PLANT	75
СПОРЕДБЕНА АНАЛИЗА НА ПОТРОШУВАЧКА, ЕНЕРГЕТСКА ЕФИКАСНОСТ И ТРОШОЦИ КАЈ ВОЗИЛА СО РАЗЛИЧЕН ТИП НА ПОГОН	87
АВТОМАТСКИ СИСТЕМ ЗА НАВОДНУВАЊЕ УПРАВУВАН ОД ARDUINO МИКРОКОНТРОЛЕР	95
ПРИМЕНА НА WAMS И WACS СИСТЕМИ ВО SMART GRID	103
IoT-BASED ENVIRONMENTAL CONTROL IN 3D PRINTER ENCLOSURES FOR OPTIMAL PRINTING CONDITIONS.....	112
BENEFITS OF STUDYING 8086 MICROPROCESSOR FOR UNDERSTANDING CONTEMPORARY MICROPROCESSOR.....	123
ПРАКТИЧНА СИМУЛАЦИЈА НА SCADA СИСТЕМ ЗА СЛЕДЕЊЕ И РЕГУЛАЦИЈА НА НИВО НА ТЕЧНОСТ ВО РЕЗЕРВОАР	130
ADVANCEMENTS IN INDUSTRIAL DIGITAL SENSORS (VERSION 3.0 TO 4.0) AND RADAR SYSTEMS FOR OBJECT DETECTION: A STATE-OF-THE-ART REVIEW.	140
CHALLENGES AND SOLUTIONS FOR ENHANCING DRONE-TO-TOC COMMUNICATION PERFORMANCE IN MILITARY AND CRISIS OPERATIONS..	148
BRIDGING TELECOM AND AVIATION: ENABLING SCALABLE BVLOS DRONE OPERATIONS THROUGH AIRSPACE DIGITIZATION.....	157
MEASURES AND RECOMMENDATIONS FOR EFFICIENCY IMPROVEMENT OF ELECTRICAL MOTORS	167
USE OF MACHINE LEARNING FOR CURRENT DENSITY DISTRIBUTION ESTIMATION OF REBCO COATED CONDUCTORS	180
APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN DENTAL MEDICINE	186
ИНТЕГРАЦИЈА НА ДИГИТАЛНИОТ СПЕКТРОФОТОМЕТАР ВО ДЕНТАЛНАТА МЕДИЦИНА – НОВИ МОЖНОСТИ ЗА ТОЧНОСТ И КВАЛИТЕТ	194

CORRELATION OF DENTAL MEDICINE STUDENTS' PERFORMANCE IN PRECLINICAL AND CLINICAL COURSES	205
INTRAORAL ELECTROSTIMULATOR FOR RADIATION INDUCED XEROSTOMIA IN PATIENTS WITH HEAD AND NECK CANCER.....	214
ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE OF ENDODONTIC EQUIPMENT WITH GASTRIC PACEMAKER	221
DENTAL IMPLANTS ANALYSIS WITH SEM MICROSCOPE	226
ПРЕДНОСТИ И НЕДОСТАТОЦИ ПРИ УПОТРЕБА НА ЛАСЕР ВО РЕСТАВРАТИВНАТА СТОМАТОЛОГИЈА И ЕНДОДОНЦИЈА.....	231
LASERS AND THEIR APPLICATION IN PEDIATRIC DENTISTRY	238
INCREASE OF ENVIRONMENTALLY RESPONSIBLE BEHAVIOUR THROUGH EDUCATION AND TECHNOLOGICAL INNOVATION.....	242
A DATA-DRIVEN APPROACH TO REAL ESTATE PRICE ESTIMATION: THE CASE STUDY SLOVAKIA.....	249
ANALYSIS OF THE BACKWARD IMPACTS OF A PHOTOVOLTAIC POWER PLANT ON THE DISTRIBUTION SYSTEM	261
VARIANT SOLUTIONS FOR A PARKING LOT COVERED WITH PHOTOVOLTAIC PANELS.....	268
COMPARISON OF ENERGY STATUS IN PORTUGAL AND IN SLOVAKIA	279
DESIGN, ANALYSIS AND IMPLEMENTATION OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS ...	286
BATTERY STORAGE IN TRACTION POWER SUPPLY	297
THE ROLE OF CYBERSECURITY AWARENESS TRAINING TO PREVENT PHISHING.....	304
A REVIEW OF RESOURCE OPTIMIZATION TECHNIQUES IN INTRUSION DETECTION SYSTEMS	311
APPLICATION OF A ROBOTIC ARM IN A SIMPLE PICK-AND-DROP OPERATION	321
SIMULATION-BASED PERFORMANCE ANALYSIS OF A SECURE UAV-TO-TOC COMMUNICATION FRAMEWORK IN MILITARY AND EMERGENCY OPERATIONS	328
DIGITALIZATION OF BPM USING THE CAMUNDA SOFTWARE TOOL ON THE EXAMPLE OF THE CENTRAL BANK OF MONTENEGRO	339
DESIGNING A SECURE COMMUNICATION FRAMEWORK FOR UAV-TO-TOC OPERATIONS IN MILITARY AND EMERGENCY ENVIRONMENTS.....	349



Трета меѓународна конференција ЕТИМА

Third International Conference ETIMA

UDC: [620.3:621.383.51]:536.58-044.57

<https://www.doi.org/10.46763/ETIMA253168t>

ПРИМЕНА НА НАНОМАТЕРИЈАЛИ КАЈ ФОТОВОЛТАИЧНИ ЌЕЛИИ ЗА ЗГОЛЕМУВАЊЕ НА НИВНАТА ЕФИКАСНОСТ ПРЕКУ НАМАЛУВАЊЕ НА РАБОТНАТА ТЕМПЕРАТУРА

Бојана Темелковска¹

¹Факултет за Електротехника и Информациски технологии Универзитет „Св. Кирил и Методиј“ – Скопје
е-пошта: bojana.cvetanovska95@gmail.com

Апстракт

Фотоволтаичните системи се еден од најодржливите обновливи извори на енергија, но нивната ефикасност се намалува поради високите температури што се јавуваат при големо сончево зрачење. Еден од начините за решавање на овој проблем е пасивното ладење со материјали за промена на фазата (PCM), кои ја апсорбираат, складираат и подоцна ослободуваат топлината, што помага во одржување на стабилна температура на панелите и зголемување на нивната ефикасност.

Во летните месеци, соларните панели апсорбираат околу 780 W/m^2 сончево зрачење, а дел од топлината природно се дисипира при надворешна температура повисока од 25°C . За ладење може да се користат наноматеријали како Al_2O_3 , CuO и ZnO . Овој истражување покажува дека со додавање на $0,5 \text{ wt\%}$ од Al_2O_3 , површинската температура на панелите се намалува на $49,896^\circ\text{C}$, додека со $0,5 \text{ wt\%}$ CuO , температурата се намалува на $49,870^\circ\text{C}$. Со додавање на $0,5 \text{ wt\%}$ ZnO , температурата исто така се намалува.

Овие промени резултираат со зголемена електрична ефикасност на панелите, достигнувајќи $9,26\%$ подобро искористување на панелот. Ова истражување потврдува дека употребата на PCM во комбинација со наноматеријали е ефикасен метод за ладење, што може значително да ја подобри работата и долговечноста на фотоволтаичните системи.

Клучни зборови:

фотоволтаични системи, пасивно ладење, материјали за промена на фазата, наноматеријали, топлинска ефикасност, електрична ефикасност

1. Вовед

Значајните достигнувања во технологијата на соларни фотоволтаични системи се добиени поради растечката глобална потреба за чисти и обновливи извори на енергија. Соларните панели покажуваат сè поголем потенцијал да станат конкретно решение за искористување на енергијата од сонцето, овозможувајќи поодржлива иднина и намалување на штетните влијанија врз животната средина. Сепак, не може да се занемари фактот дека ефикасноста на ФВ панелите зависи од нивната работна температура. Високите температури можат значително да ја намалат ефикасноста на конверзија и да го скратат работниот век на системот преку деградација на соларните ќелии и намалување на електричниот излез.

Многу истражувања се фокусираат на развивање методи за ладење кои можат да помогнат во намалување на негативните ефекти од покачените температури врз ефикасноста на соларните панели. Една од најефективните техники е користењето на материјали со промена на агрегатната состојба (PCM – Phase Change Materials), кои во последните години привлекоа значително внимание. Овие материјали можат да

преминат од цврста во течна состојба и обратно, при што складираат или ослободуваат латентна топлина. Така, овозможуваат складирање на топлина за време на периодите со силна сончева радијација и нејзино ослободување во услови на високи температури или ниско ниво на сончева инсолација. Овој пасивен метод за ладење претставува ветувачки начин за одржување на оптимални работни услови на панелите и за зголемување на нивната општа ефикасност.

Ова истражување се базира на интегрирање на симулациски методологии, со цел генерирање на оптимални резултати. Резултатите се добиени преку симулациски софтвер и се поврзани со симулација во MATLAB/Simulink, со цел да се оцени енергетската ефикасност на системот. Анализата на оптимизацијата на системите за ладење на фотоволтаични панели преку примена на материјали со промена на агрегатната состојба (PCM), заедно со испитувањето на влијанието од додавањето наноматеријали врз термичката ефикасност, претставуваат значаен придонес со потенцијално влијание во областа на соларната енергетска технологија.

2. Преглед на литературата

Фотоволтаичните (PV) системи претставуваат клучна технологија во транзицијата кон одржливи извори на енергија, но нивната ефикасност е значително засегната од порастот на температурата. За решавање на овој проблем, бројни студии анализираа пасивни методи на ладење, особено примената на материјали за промена на агрегатната состојба (PCM).

Sudhakar et al. [1] во своето истражување покажуваат дека интеграцијата на PCM со PV панели, во комбинација со природна циркулација на вода, може да доведе до значително намалување на површинската температура и подобрување на електричната ефикасност до 9%. Ова претставува значителен напредок во дизајнот на пасивни системи за ладење. Покрај примарните PCM материјали, Sardarabadi et al. [2] истражувале хибридни системи кои комбинираат ZnO/water нанофлуиди со PCM, со што се постигнува подобра термичка стабилност и повисока топлинска ефикасност. Тие заклучуваат дека ваквите нанофлуиди играат клучна улога во подобрување на размената на топлина.

Jurčević et al. [3] фокусираат вниманието на конвективното ладење и покажуваат дека употребата на органски PCM материјали во хибридни решенија овозможува порамномерна температура на површината на панелите и зголемена вкупна излезна енергија. Нивниот пристап ја потенцира важноста на геометријата и позицијата на PCM во однос на панелот.

Bayrak et al. [4] прават споредбена анализа на различни техники за ладење и потврдуваат дека PCM технологиите се ефективни, особено кога се комбинирани со структурни подобрувања. Тие исто така укажуваат на можноста за оптимизација преку дизајн на каналите за проток и материјалите на капсулација.

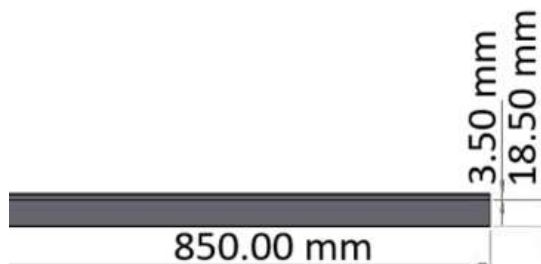
Ghadikolaie [5] обезбедува севкупен преглед на влијанието на ладењето на PV панели од еколошки и економски аспект. Тој истакнува дека технологиите за ладење не само што го зголемуваат приносот на енергија, туку исто така придонесуваат за значително намалување на CO₂ емисиите, правејќи ги овие решенија важни во глобалната борба против климатските промени.

Сумирано, досегашните истражувања ја потврдуваат ефикасноста на PCM и наноматеријалите во ладење на PV системи. Сепак, интеграцијата на термални симулации со електрични модели, како што е направено во оваа студија со помош на MATLAB/Simulink, овозможува подлабоко и попрецизно разбирање на термоелектричното однесување на системот под реални услови.

3. МЕТОДОЛОГИЈА

3.1 Геометрија на системот

Соларните панели беа моделирани во програмата SolidWorks 2019, специјализиран инженерски софтвер за прецизно тродимензионално моделирање на објекти со димензии 850.00 mm должина на панелот, 18.50 mm вкупна дебелина на панелот и 3.50 mm дебелина на горниот слој стакло.



Слика 1. Геометриски облик

3.2 Мрежа

Во процесот на симулација беше креирана прецизна мрежа со цел решавање на равенките. За да се обезбеди точност, беше направена анализа на независност на мрежата (Табела 1). Врз основа на препораките од софтверот, избрани се повеќе конфигурации, при што вредноста од 98.396 елементи даде најпрецизни резултати – со разлика во максималната температура од само 0.03% во однос на претходниот случај, што укажува на стабилност на решението.

Табела 1. Независност на мрежата

Случај	Број на елементи	Број на јазли	Макс. темп. (°C)
1	17.313	19.537	55.231
2	21.027	26.285	50.215
3	54.737	56.217	49.812
4	98.396	104.447	49.795

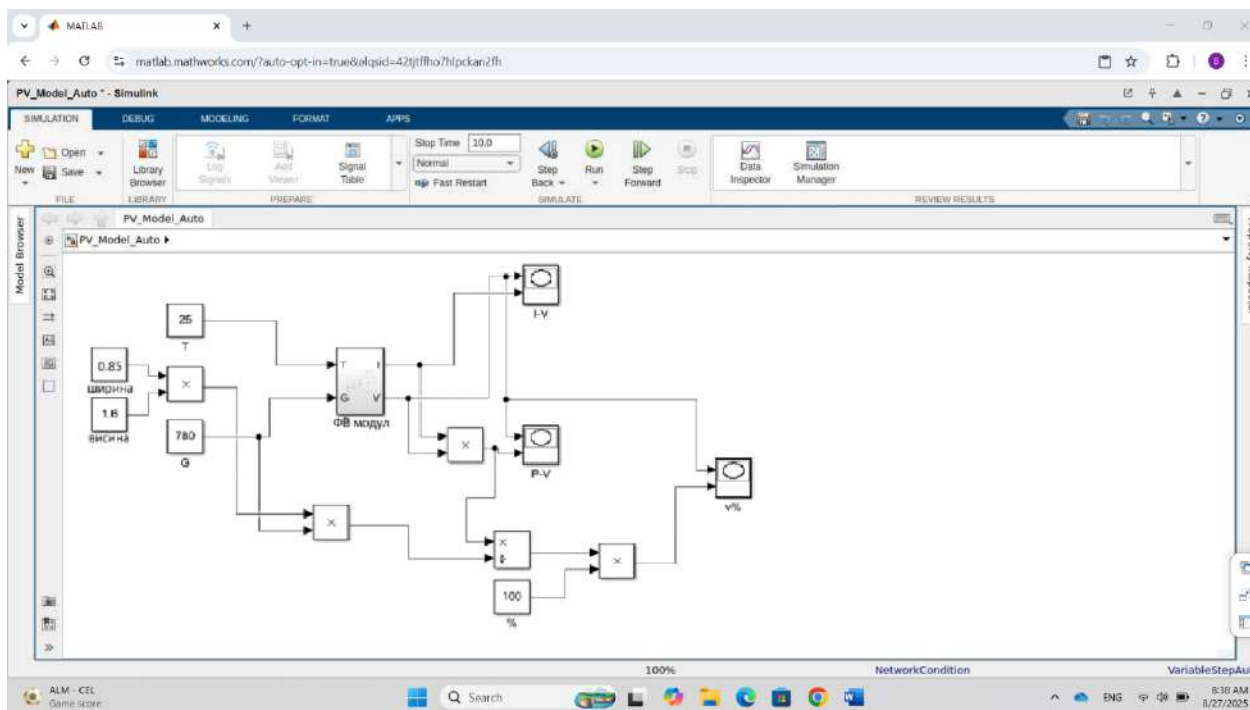
3.3 Гранични услови

Вредноста на влезната сончева радијација што се проектира врз надворешната површина на соларниот панел е 780 W/m^2 во летниот период кога зрачењето и радијациското влијание врз панелот се најинтензивни. За дополнително разменување на топлина, вклучен е и конвективен пренос на топлина со коефициент на пренос од $5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ и надворешна температура на воздухот од 25°C , што овозможува одведување на топлината од спротивната страна.

Материјалот со промена на агрегатната состојба (PCM) се разгледува како целосно цврст, а почетната состојба на сите фази е поставена на природна температура од 25°C . Топлинската спроводливост на алуминиумските ребра и PCM е $0.2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, додека специфичната топлина изнесува $2000 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$.

Основната течност, водата, има релативно ниска топлинска спроводливост ($0.20 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) и висока специфична топлина ($2000 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$). Со додавање наночестички од Al_2O_3 , CuO и

ZnO се забележува зголемување на густината и значително подобрување на топлинската спроводливост, при што највисока вредност е постигната со ZnO нанофлуидот ($0.294 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ при концентрација од 0.5%). Истовремено, специфичната топлина се намалува со пораст на концентрацијата на наночестичките. Овие резултати укажуваат дека нанофлуидите овозможуваат поефикасен пренос на топлина во споредба со чистата вода, иако нивната способност за складирање на топлинска енергија е редуцирана.



Слика 2. Simulink модел за анализа на карактеристики и ефикасноста на фотоволтаичен модул

На Слика 2 е прикажан Simulink модел кој претставува пресметка и анализа на електричните карактеристики на еден фотоволтаичен модул. Во моделот се земаат предвид геометриските димензии на панелот преку ширината и висината, со чија множина се добива површината, а потоа таа површина се користи заедно со вредноста на сончевото зрачење за да се пресмета влезната сончева енергија. Дополнително, во моделот се внесува температурата на модулот, бидејќи таа има значително влијание врз неговите перформанси, особено врз напонот и ефикасноста. Фотоволтаичниот модул е претставен со посебен блок кој овозможува да се добијат излезните параметри како струја, напон и моќност.

Овие податоци се прикажуваат преку I–V крива која ја претставува зависноста меѓу струјата и напонот и преку P–V крива која ја покажува зависноста меѓу моќноста и напонот. Овие криви се користат за да се определи точката на максимална моќност, која е потребна за оптималното работење на панелот. Понатаму, излезната моќност на модулот се споредува со влезната енергија и на тој начин се добива ефикасноста на претворањето, која е изразена во проценти.

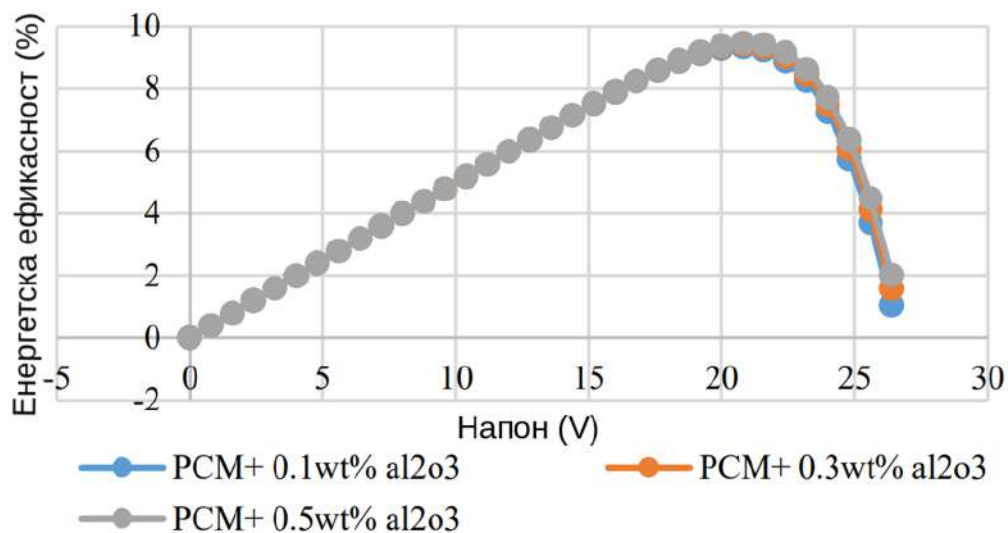
4. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

4.1.1 Додавање концентрации на Al_2O_3 наноматеријали

Зголемувањето на концентрацијата на Al_2O_3 води до значително намалување на површинската температура на панелот. При концентрација од 0.1 wt%, температурата

достигна 51.088°C ; при $0.3 \text{ wt}\%$ таа изнесува 50.456°C , додека најдобрата вредност е постигната при $0.5 \text{ wt}\%$, кога температурата опаѓа на 49.896°C .

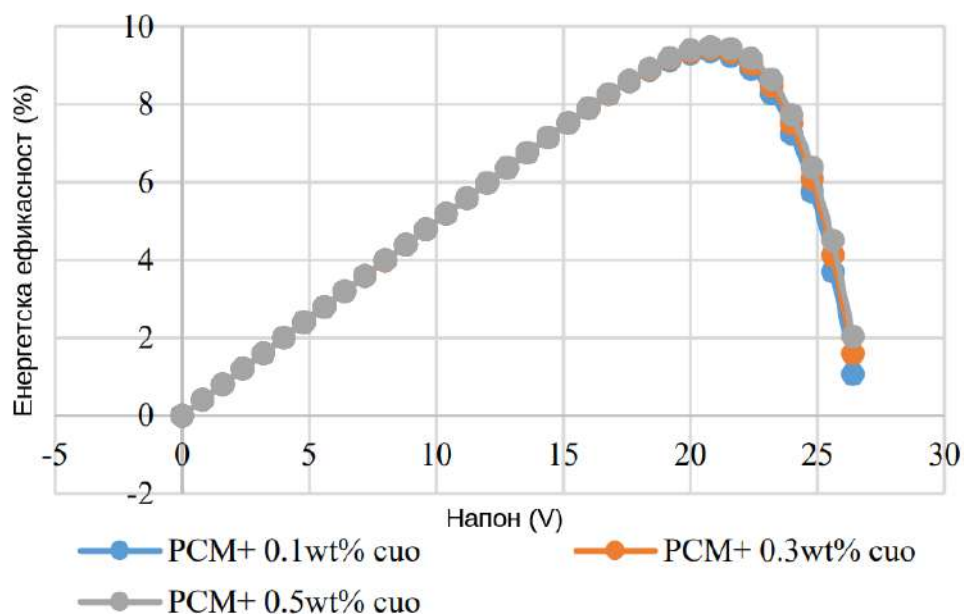
Предноста од намалување на температурата на површината на соларните панели се манифестира во зголемена ефикасност на панелот и зголемено производство на електрична енергија. Слика 1 го прикажува дијаграмот на електрична ефикасност за различни концентрации на наноматеријали. Ефикасноста расте со зголемување на концентрацијата на Al_2O_3 , достигнувајќи зголемување до 9.04% при концентрација од $0.5 \text{ wt}\%$, што претставува највисока вредност меѓу испитаните случаи.



Слика 1. Дијаграм на напон на електрична ефикасност со различна концентрација на Al_2O_3

4.1.2 Додавање концентрации на CuO наноматеријали

Зголемувањето на концентрацијата резултира со значително намалување на површинската температура: за $0.1 \text{ wt}\%$ – 51.080°C , $0.3 \text{ wt}\%$ – 50.440°C и $0.5 \text{ wt}\%$ – 49.870°C .

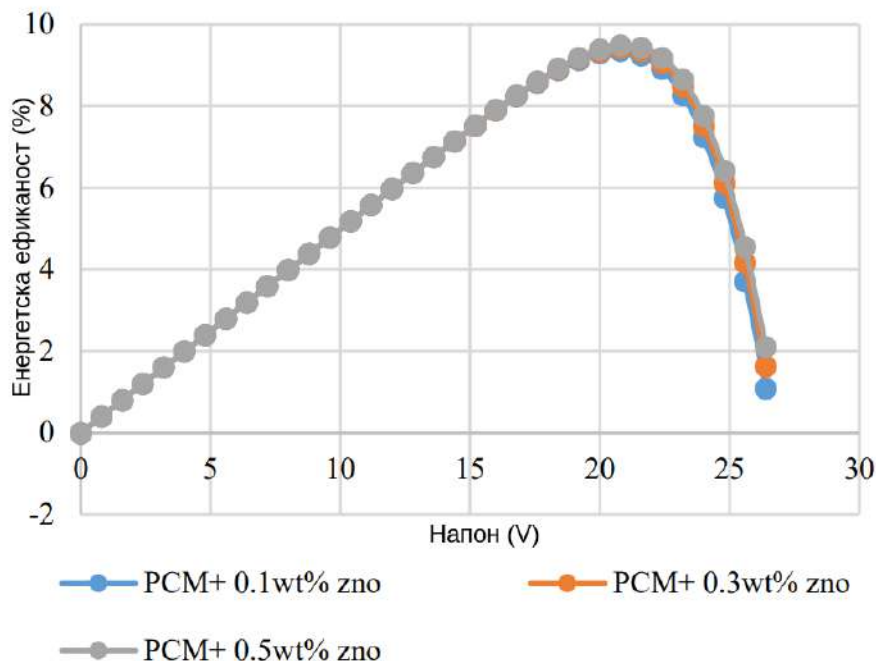


Слика 2. Дијаграм на напон на електрична ефикасност со променлива концентрација на CuO

Намалувањето на температурата директно придонесува за подобрување на електричната ефикасност. Слика 2 прикажува дијаграм на електрична ефикасност, при што се забележува дека таа се зголемува со концентрацијата на CuO . Највисока ефикасност од 9.26% е постигната при концентрација од 0.5 wt%, што е најдобра вредност во споредба со другите случаи.

4.1.3 Додавање концентрации на ZnO наноматеријали

Зголемувањето на ZnO исто така доведува до значително намалување на површинската температура на соларниот панел и тоа при 0.1 wt% – 51.084°C, 0.3 wt% – 50.389°C и 0.5 wt% – 49.795°C.



Слика 3. Дијаграм на напон на електрична ефикасност со променлива концентрација на ZnO

Ова намалување на температурата резултира со зголемена ефикасност на панелот, што овозможува подобро искористување на неговиот капацитет. Слика 3 прикажува дијаграм на електрична ефикасност за различни концентрации на ZnO , каде што вредностите на ефикасноста се зголемуваат со концентрацијата на наночестичките. Највисока вредност од 9.48% е забележана при 0.5 wt%.

5. ЗАКЛУЧОК

Распределбата на температури при различни концентрации на Al_2O_3 покажува дека зголемувањето на концентрацијата значително ја намалува површинската температура. Најдобриот резултат е постигнат при 0.5 wt% и температурата опадна на 49.896°C. Зголемената концентрација придонесува и за повисока електрична ефикасност.

При различни концентрации на CuO , температурата на површината исто така се намалува. Од 51.080°C при 0.1 wt%, до 49.870°C при 0.5 wt%, со највисока електрична ефикасност од 9.26% постигната при највисоката концентрација.

Кај ZnO , температурата значително се намалува, а електричната ефикасност се зголемува со растечка концентрација. Најдобрата состојба е при 0.5 wt%, каде што ефикасноста достигнува 9.48%. Меѓу сите анализирани наноматеријали, ZnO при 0.5 wt% покажува најдобри резултати, со постигната електрична ефикасност од 9.8%.

Температурната распределба во зависност од порозноста покажува дека пониската порозност води до подобро ладење. При порозност од 0.5, површинската температура е најниска (46.977°C) и електричната ефикасност највисока (9.79%).

Резултатите укажуваат дека системите за ладење базирани на РСМ со додадени наноматеријали имаат голем потенцијал за зголемување на термичката и електричната ефикасност на соларните панели. Важноста на правилниот избор на наноматеријали е нагласена, а добиените резултати отвараат можност за понатамошно истражување на технологии базирани на наноматеријали за ладење.

И покрај охрабрувачките наоди, неопходно е да се признаат ограничувањата на студијата и да се работи на надминување на практичните предизвици поврзани со имплементацијата на овие напредни технологии во реални апликации. Идните истражувања треба да се насочат кон проширување на знаењето во ова критично подрачје на термичко управување и подобрување на ефикасноста на соларни системи. Овие напредоци имаат значителен потенцијал да го забрзаат прифаќањето на соларната енергија како одржлив и чист извор на енергија.

Користена литература

- [1] Sudhakar, P., Santosh, R., Asthalakshmi, B., Kumaresan, G., Velraj, R.J. (2021). Performance augmentation of solar photovoltaic panel through PCM integrated natural water circulation cooling technique. *Renewable Energy*, 172: 1433–1448. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.11.138>
- [2] Sardarabadi, M., Passandideh-Fard, M., Maghrebi, M.J., Ghazikhani, M. (2017). Experimental study of using both ZnO/water nanofluid and phase change material (PCM) in photovoltaic thermal systems. *Solar Energy Materials and Solar Cells*, 161: 62–69. <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2016.11.032>
- [3] Jurčević, M., Nižetić, S., Marinić-Kragić, I., Čoko, D., Arici, M., Giamia, E., Papadopoulos, A. (2021). Investigation of heat convection for photovoltaic panel towards efficient design of novel hybrid cooling approach with incorporated organic phase change material. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 47: 101497. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2021.101497>
- [4] Bayrak, F., Oztop, H.F., Selimefendigil, F. (2020). Experimental study for the application of different cooling techniques in photovoltaic (PV) panels. *Energy Conversion and Management*, 212: 112789. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.112789>
- [5] Ghadikolaie, S.S.C. (2021). An enviroeconomic review of the solar PV cells cooling technology effect on the CO₂ emission reduction. *Solar Energy*, 216: 468–492. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2021.01.016>