

Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2015/90



ZAKLJUČNO POROČILO O REZULTATIH RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

(za obdobje 1. 1. 2009 - 31. 12. 2014)

A. PODATKI O RAZISKOVALNEM PROGRAMU

1. Osnovni podatki o raziskovalnem programu

Šifra programa	P2-0197
Naslov programa	Fotovoltaika in elektronika Photovoltaics and Electronics
Vodja programa	12609 Marko Topič
Obseg raziskovalnih ur (vključno s povečanjem financiranja v letu 2014)	24652
Cenovni razred	B
Trajanje programa	01.2009 - 12.2014
Izvajalci raziskovalnega programa (javne raziskovalne organizacije - JRO in/ali RO s koncesijo)	1538 Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko
Raziskovalno področje po šifrantu ARRS	2 TEHNIKA 2.03 Energetika
Družbeno-ekonomski cilj	05. Energija
Raziskovalno področje po šifrantu FOS	2 Tehniške in tehnološke vede 2.02 Elektrotehnika, elektronika in informacijski inženiring

B. REZULTATI IN DOSEŽKI RAZISKOVALNEGA PROGRAMA

2. Povzetek raziskovalnega programa¹

SLO

Znanstvene vsebine in problemi, ki smo jih obravnavali v obdobju 2009-2014, so primarno s področja fotovoltaike (PV) in elektronike, vključujejo pa tudi področja

energetike, elektronike, fizike polprevodnikov, numerične matematike, tehnologij in materialov. Osrednje teme so bile raziskave sončnih celic, PV modulov in sistemov, s poudarkom na novih tehnoloških rešitvah, pocenitvi stroškov izdelave in izboljšanju učinkovitosti fotonapetostne pretvorbe. Vključevali smo raziskave anorganskih in organskih polprevodniških materialov, preučevali večplastne polprevodniške strukture, razvijali fizikalne modele, računalniška orodja in programske pakete ter izvajali numerične simulacije za analizo delovanja in optimizacijo PV gradnikov. Na področju elektronike smo se ukvarjali z raziskavami in razvojem sodobnih senzorskih sistemov in vgrajenih elektronskih sistemov. Teoretsko delo se je prepletalo z načrtovanjem, eksperimentalnim delom in meritvami.

Cilje našega raziskovalnega programa lahko strnemo primarno v raziskovalne in sekundarno v izobraževalne.

Najpomembnejši **raziskovalni cilji** so bili vezani na aktualna odprta vprašanja mednarodne raziskovalne skupnosti, ki jih lahko strnemo v tri vsebinska področja:

- 1) modeliranje, simulacije in karakterizacija fotonapetostnih gradnikov
- 2) Tankoplastne sončne celice 2. in 3. generacije
- 3) Elektronika za spremljanje testiranja na prostem in pospešenega testiranja

Izobraževalni cilji so bili usmerjeni k prenosu sodobnih znanj v vsebine predmetov na bolonjskih študijskih programih UL FE in k usposabljanju študentov, mladih raziskovalcev, raziskovalcev in razvojnikov iz gospodarstva, ki so pridobivali znanja iz fotovoltaike in elektronike ter spoznavali metodologijo dela pri iskanju in razreševanju interdisciplinarnih problemov s širokega segmenta tehnike.

Po našem mnenju so bili praktično vsi cilji programa uspešno realizirani, v več segmentih celo preseženi, zlasti na račun plodnega mednarodnega sodelovanja v okviru 6 evropskih in 4 bilateralnih projektov.

V obdobju 2009-2014 smo objavili 54 izvernih znanstvenih člankov v revijah SCIE (od tega je 34 člankov razvrščenih v prvi kvartil), eno znanstveno monografijo v ZDA (CRC Press), prispevali smo štiri poglavja v znanstvenih monografijah in razvili dva simulacijska programska paketa (CROWM in NIKA), katerih licence smo prodali industrijskim podjetjem in izbranim akademskim inštitucijam. S preko 100 prispevki smo aktivno sodelovali na mednarodnih konferencah (od tega 10 vabljenih predavanj). V tem obdobju je v okviru našega raziskovalnega programa 12 doktorskih študentov (od tega 10 MR) uspešno zagovarjalo svojo doktorsko disertacijo.

Poleg znanstvenih in izobraževalnih rezultatov smo ponosni tudi na vse nagrade in priznanja, ki so jih člani raziskovalnega programa prejeli v tem obdobju.

ANG

In the period 2009-2014 our research and development (R&D) activities have been focusing on the photovoltaics (PV) and electronics (primarily research of solar cells, PV modules and systems), with the emphasis on new technological solutions, potentials for cost reductions and improvement in conversion efficiency. Research of semiconductor materials, study of multilayer semiconductor devices, programming of computer tools and execution of numerical simulations along with characterization has been included in the analysis and optimization of devices under investigation. Theoretical work has been knitting up with design, experimental work and characterization.

Implementation according to the plan can be summarized in three main areas:

- 1) Numerical modelling, simulation and characterization of PV devices
- 2) Thin-film solar cells and 3rd generation concepts
- 3) Electronics for outdoor monitoring and accelerated testing

In the frame of the research program we set also some **educational aims** that were focused on implementation of state-of-the-art knowledge and experiences into the contents of undergraduate and postgraduate courses at the UL FE. Further on, training of students, engineers from industry and researchers, predominantly young researchers as PhD students has successfully been conducted in their scientific and research endeavor of interdisciplinary scientific problems from broad segment of technical sciences.

In our opinion, practically all aims of the program have been successfully implemented and realized. Moreover, in several aspects they were even exceeded, in particular through fruitful international co-operations in the frame of 6 European and 4 bilateral projects.

In the period of 2009-2014 we have published 54 original scientific papers in SCIE journals (according to ARRS methodology 34 papers ranked as A' and 47 papers ranked as A1/2), one scientific monograph published in USA (CRC Press), contributed four chapters in scientific monographs and developed two simulation software packages (CROWM and NIKA) with licenses sold to industry and academia. We have participated actively with over 100 contributions at the international conferences (among them 10 invited talks). In the period of 2009-2014 12 PhD students (10 young researchers) successfully defended their doctoral thesis in the frame of our research program.

In addition to scientific and educational results and achievements we are proud of all awards and recognitions that members of the research program received in the period of 2009-2014.

3. Poročilo o realizaciji predloženega programa dela na raziskovalnem programu, (vključno s predloženim dopolnjenim programom dela v primeru povečanja financiranja raziskovalnega programa v letu 2014)²

SLO

Znanstvene vsebine in problemi, ki smo jih obravnavali v obdobju 2009-2014, so primarno s področja fotovoltaike (PV) in elektronike, vključujejo pa tudi področja energetike, elektronike, fizike polprevodnikov, numerične matematike, tehnologij in materialov. Osrednje teme so bile raziskave sončnih celic, PV modulov in sistemov, s poudarkom na novih tehnoloških rešitvah, pocenitvi stroškov izdelave in izboljšanju učinkovitosti fotonapetostne pretvorbe. Vključevali smo raziskave anorganskih in organskih polprevodniških materialov, preučevali večplastne polprevodniške strukture, razvijali fizikalne modele, računalniška orodja in programske pakete ter izvajali numerične simulacije za analizo delovanja in optimizacijo PV gradnikov. Na področju elektronike smo se ukvarjali z raziskavami in razvojem sodobnih senzorskih sistemov in vgrajenih elektronskih sistemov. Teoretsko delo se je prepletalo z načrtovanjem, eksperimentalnim delom in meritvami.

Cilje našega raziskovalnega programa lahko strnemo primarno v raziskovalne in sekundarno v izobraževalne.

Najpomembnejši **raziskovalni cilji** so bili vezani na aktualna odprta vprašanja mednarodne raziskovalne skupnosti. Naj ob doseženih ciljih izpostavimo samo izbrane rezultate, ki jih lahko strnemo v tri vsebinska področja:

1) modeliranje, simulacije in karakterizacija fotonapetostnih gradnikov

- Znanstvena monografija o optičnem modeliranju in simulacijah tankoplastnih PV gradnikov (CRC Press)
- Razvoj novih optičnih modelov in programski paket CROWM
- Novi pristopi za obravnavo nekoherentne svetlobe v rigoroznih numeričnih simulacijah
- Razvoj modelov in programskega paketa NIKA za pridobivanje kompleksnih lomnih količnikov tankih plasti
- Razvoj električnih modelov in električni simulator ASPIN 2D (2010) in ASPIN3 (2014)
- Metode za določevanje površinske teksture z uporabo Fourierove transformacije za učinkovito lovljenje svetlobe v sončnih celicah
- Razvoj tridimenzionalnega kombiniranega modela rasti tankih plasti
- Optično in električno modeliranje elektrokemijskih sončnih celic
- Analiza nehomogenosti v tankoplastnih PV gradnikih (nagrada za poster na EU-PVSEC-24)

2) Tankoplastne sončne celice 2. in 3. generacije

- Načrtovanje in optimizacija površinske teksture sprednjega stekla za tankoplastne silicijeve sončne celice (EU-PVSEC-27 poster nagrada)
- Optimizacija mikroteksturiranih tankih plasti za povečano ujetje svetlobe v organskih sončnih celicah
- Edinstvena pasta TiO₂ za visokoučinkovite elektrokemijske sončne celice
- Elektroluminiscenca kot karakterizacijska tehnika preko površine elektrokemijskih sončnih celic
- Srebrni nanodelci za plazmوني pojav v elektrokemijskih sončnih celicah
- Staranje elektrokemijskih sončnih celic na prostem v različnih režimih delovanja
- Optimizacija časa preleta pri tokovno-napetostni karakterizaciji skozi dinamično modeliranje sončnih celic

3) Elektronika za spremljanje testiranja na prostem in pospešenega testiranja

- Razvoj elektronske naprave MPPT – sledilnik največje moči za PV module do 250 W, ki mu je sledil razvoj MPPT+PID – izolacijski sledilnik največje moči za PV module do 400 W, ki omogočajo izpostavljenost fotonapetostnih modulov napetostnemu potencialu do 1500 V
- Razvoj naprave PVMU – tokovno-napetostnega merilnika za PV gradnike z visoko natančnostjo, ki omogočajo hkratno meritev toka, napetosti, temperature in sončnega sevanja
- Razvoj sistema LPVO-MS2x16+PID – računalniško podprt monitoring sistem za spremljanje zmogljivosti PV modulov
- Preizkuševališče na prostem z lastno razvito merilno opremo
- Primerjalna analiza temperaturnih senzorjev za spremljanje temperature PV modulov na prostem
- Analiza temperature in učinkovitosti pretvorbe PV modulov pri različnih načinih vgradnje in delovnih pogojih
- Razvoj in primerjava direktnih algoritmov sledenja točki največje moči

Izobraževalni cilji so bili usmerjeni k prenosu sodobnih znanj v vsebine predmetov na bolonjskih študijskih programih UL FE in k usposabljanju študentov, mladih raziskovalcev, raziskovalcev in razvojnikov iz gospodarstva, ki so pridobivali znanja iz fotovoltaike in elektronike ter spoznavali metodologijo dela pri iskanju in razreševanju interdisciplinarnih problemov s širokega segmenta tehnike.

Po našem mnenju so bili praktično vsi cilji programa uspešno realizirani, v več segmentih

celo preseženi, zlasti na račun plodnega mednarodnega sodelovanja v okviru 6 evropskih projektov. Naš izvedbeni plan smo na polovici nekoliko izostrili. Na področju raziskav PV gradnikov 3. generacije smo se odločili, da ne bodo vstopili v razvoj tehnologije elektrokemijskih PV modulov zaradi previsokih stroškov glede na prenizko učinkovitost modulov, ampak smo se osredotočili na raziskave kratkoročne in dolgoročne zmogljivosti in stabilnosti elektrokemijskih sončnih celic. To je bilo tudi skladu z globalnimi dogajanjem v PV, kjer je veliko tankoplastnih tehnologij izgubilo svoj prvotni zagon.

V obdobju 2009-2014 smo objavili **54 izvirnih znanstvenih člankov** v revijah SCIE (od tega je **34 člankov razvrščenih v prvi kvartil**), **eno znanstveno monografijo** v ZDA (CRC Press), prispevali smo štiri poglavja v znanstvenih monografijah in razvili **dva simulacijska programska paketa** (CROWM in NIKA), katerih licence smo prodali industrijskim podjetjem in izbranim akademskim inštitucijam. S preko 100 prispevki smo aktivno sodelovali na mednarodnih konferencah (od tega 10 vabljenih predavanj). V tem obdobju je v okviru našega raziskovalnega programa 12 doktorskih študentov (od tega 10 MR) uspešno zagovarjalo svojo doktorsko disertacijo. Od leta 2011 deluje Marko Topič kot glavni in odgovorni urednik, Kristijan Brecl pa kot urednik elektronske izdaje v SCIE reviji "Informacije MIDEEM - Journal of Microelectronics, Electronic Components and Materials", ISSN 0352-9045, JCR IF (2013) = 0.369.

Poleg znanstvenih in izobraževalnih rezultatov smo ponosni tudi na vse nagrade in priznanja, ki so jih člani raziskovalnega programa prejeli v tem obdobju.

Odobreni povečan obseg financiranja (v oktobru 2014) smo delno realizirali v 2014, delno pa ga bomo v 2015. Povečana sredstva za nalup blaga in storitev ter amortizacije smo koristili v 2014, povečan obseg raziskovalnih ur pa smo prenesli v 2015 za čas po izstoku evropskega projekta Fast Track z namenom zagotovitve kontinuitete raziskovalnega osebja. Na račun povečanja števila letnih raziskovalnih ur smo razširili načrt dela z dodatnimi raziskovalnimi vsebinami s področja tehnologij teksturiranja z nanovtisno litografijo in naprednih karakterizacijskih metod fotonapetostnih gradnikov.

4. Ocena stopnje realizacije programa dela na raziskovalnem programu in zastavljenih raziskovalnih ciljev³

SLO

Ocenjujemo, da je programska skupina »Fotovoltaika in elektronika« v obdobju 2009-2014 delovala zelo uspešno. Jedro skupine se ni spreminjalo, le skupina je iz leta v leto rastla po številu doktorjev znanosti, število mladih raziskovalcev pa je ostajalo dokaj konstantno.

Poslanstvo naše skupine je bilo osredotočeno na raziskave s področja PV in elektronike. Smo edina večja raziskovalna skupina s področja PV. Raziskujemo z veliko predanostjo in žanjemo raziskovalne uspehe v svetovnem merilu. Na področju numeričnega modeliranja in simulacij sončnih celic se uvrščamo v svetovni vrh. Kot dokaz je leta 2013 izdana znanstvena monografija v ZDA avtorjev Janez Krča in Marka Topiča. Naraščajoče število vabljenih predavanj na temo optičnega modeliranja in simulacij ter citiranost naših del govorijo v prid naši uspešnosti. Licence optičnih simulatorjev SunShine, CROWM in NIKA so bile prodane raziskovalnim skupinam in industrijskim partnerjem, med katerimi so tudi svetovni rekorderji v izkoristku tankoplastnih sončnih celic (npr. EPFL iz Švice, LG Display iz Koreje, Konarka Technologies, ki sedaj spada pod Bell Labs v ZDA).

Na podlagi uspešnega razvoja monitoring sistema fotonapetostnih modulov na lastnem preizkuševališču smo aprila 2014 opremili švicarski raziskovalni center EPFL/CSEM v Neuchatelu s trenutno najsodobnejšim monitoring sistemom.

Izobraževalno poslanstvo smo od leta 2009 izvajali v okviru usposabljanja dodiplomskih in podiplomskih študentov, mladih raziskovalcev, mladih raziskovalcev iz gospodarstva in preostalih doktorskih študentov. Zelo smo ponosni na številne nagrade naših diplomantov (Trimo raziskovalne nagrade) in mladih raziskovalcev (Trimove raziskovalne nagrade 2010 – dr. Andrej Čampa, 2011 – dr. Jurij Kurnik) ter dveh nagrad za najboljša doktorska dela (Vodovnikova nagrada 2010 na UL FE – dr. Marko Berginc, Samčeva nagrada 2010 na UL FKKT – dr. Mateja Hočevar).

Družbeno poslanstvo smo izvajali kot organizator 3., 4. in 5. slovenske fotovoltaične konference SLO-PV 2010, 2012 in 2014, ki so beležile preko 240 oz. 150 oz. 130 udeležencev (<http://slo-pv.fe.uni-lj.si>).

5. Utemeljitev morebitnih sprememb programa raziskovalnega programa oziroma sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave programske skupine v letu 2014⁴

SLO

Prvotni program smo v drugi polovici šestletnega obdobja le nekoliko izostrili na področju razvoja tehnologij. Sprememb raziskovalnega programa v 2014 praktično ni bilo. Le pri sestavi programske skupine smo izgubili dolgoletnega člana. V septembru 2014 je preminil Marijan Žurga.

6. Najpomembnejši znanstveni rezultati programske skupine⁵

		Znanstveni dosežek	
1.	COBISS ID	9762644	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Optično modeliranje in simulacije tankoplastnih fotonapetostnih gradnikov
		ANG	Optical modeling and simulation of thin-film photovoltaic devices
	Opis	SLO	Znanstvena monografija se osredotoča na optično modeliranje in simulacije tankoplastnih sončnih celic in fotonapetostnih modulov. Zasnovana je bila kot temeljni in obsežni vodnik za izvajanje optičnega modeliranja in simulacij, ki hkrati podaja vpogled v obstoječe optične modele in poudarja konkretne usmeritve in rešitve za izboljšanje učinkovitosti tankoplastnih fotonapetostnih gradnikov. V monografiji so vključeni tudi praktični primeri simulacij na konkretnih strukturah, tako da lahko bralci bolje razumejo in razvijajo svoje lastne modele kot tudi inovativne koncepte pri upravljanju svetlobe v tankoplastnih fotonapetostnih gradnikih. Monografija obravnava različne pristope eno-, dvo- in tri-dimenzionalnega optičnega modeliranja. Koncepti in pristopi, predstavljeni v knjigi, so odraz trenutnega stanja in aktualnih izzivov tankoplastne fotovoltaike, hkrati pa segajo na sorodni področji optoelektronike in fotonike.
		ANG	The book was conceived as a monograph and a comprehensive handbook of optical modeling and simulations, giving insights into examples of existing optical models, demonstrating the applicability of optical modeling and pointing out concrete directions and solutions for improving the devices under scope. The book incorporates practical examples for using simulations with the developed models so that readers can better understand and develop their own models as well as innovative concepts in light management in thin-film photovoltaic devices. Different approaches of one-, two- and three-dimensional optical modeling are discussed. Concepts and approaches presented in the book are in line with opportunities and challenges in photovoltaics, but also optoelectronics and photonics.
Objavljeno v	CRC Press; 2013; XIII, 258 str.; A": 1;A': 1; Avtorji / Authors: Krč Janez, Topič Marko		
Tipologija	2.01 Znanstvena monografija		

2.	COBISS ID	7946580	Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i>	Zunanje testiranje temperature in zmogljivosti PV modulov pri različnih načinih montaže ter bremenitve modulov
		<i>ANG</i>	Outdoor testing of PV module temperature and performance under different mounting and operational conditions
	Opis	<i>SLO</i>	V članku je predstavljen in ovrednoten vpliv različnih dejavnikov na temperaturo PV modulov. Eksperimentalno in teoretično je določena temperatura PV modulov s prikazom vpliva sončnega sevanja, temperature zraka ter hitrosti vetra na temperaturo PV modulov. Temperatura modulov je odvisna tudi od obratovalnega režima PV modulov. Vpliv obratovalnega režima je ovrednoten s pomočjo vsote vseh energijskih pretokov v in iz PV modula. Na podlagi tega je prikazan tudi vpliv učinkovitosti pretvorbe PV modula na njegovo temperaturo.
		<i>ANG</i>	Outdoor performance of PV modules primarily depends on the irradiance and PV module temperature (T _{pv}). T _{pv} depends strongly on type of mounting, wind speed and also module type. Open rack mounted and unventilated roof integrated cases of PV module installation are experimentally and theoretically examined. T _{pv} is also affected by the module's regime of operation. The T _{pv} dependency on different regime of operation is reported. Differences are discussed in light of energy balance equation within thermal management, where impact of the PV module conversion efficiency on T _{pv} is theoretically proven and experimentally demonstrated.
	Objavljeno v	North-Holland;Elsevier Science; Solar energy materials and solar cells; 2011; Vol. 95, no. 1; str. 373-376; Impact Factor: 4.542;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.27; A': 1; WoS: ID, PM; Avtorji / Authors: Kurnik Jurij, Jankovec Marko, Brecl Kristijan, Topič Marko	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
3.	COBISS ID	8505172	Vir: COBISS.SI
	Naslov	<i>SLO</i>	Primerjava direktnih algoritmov sledenja točki največje moči z uporabo dinamičnih preskusnih postopkov iz EN 50530
		<i>ANG</i>	Comparison of direct maximum power point tracking algorithms using EN 50530 dynamic test procedure
	Opis	<i>SLO</i>	Sledenje točki največje moči fotonapetostnih generatorjev je pomemben segment pri optimizaciji učinkovitosti fotonaetostnih sistemov. Članek povzema rezultate primerjalne analize treh direktnih algoritmov za sledenje točki največje moči z uporabo dinamičnih preskusnih postopkov, opredeljenih v standardu EN 50530. Vsi trije algoritmi so bili omejeni na nespremenljiv napetostni korak in vrednoteni za fotonapetostni sistem pod dinamičnimi pogoji delovanja pri ohmskem bremenu. Algoritmi so bili vrednoteni na razviti platformi stikalnega DC-DC regulatorja navzgor/navzdol. Rezultati so pokazali odvisnost učinkovitosti algoritmov pod dinamičnimi pogoji v odvisnosti od regulacijske frekvence in napetostnega koraka. Ob primerni izbiri obeh parametrov (regulacijska frekvenca najmanj 10 Hz) vsi trije direktni algoritmi dosegajo 99%-no učinkovitost sledenja ne glede na hitrost spremembe sončnega sevanja (od 0.5 do 100 W/m ² /s).

			and their dependence. Experimental results showed that MPPT algorithms' regulating frequency and regulating voltage step play a crucial role in the dynamic performance of direct algorithms.. If proper parameter values are chosen, all algorithms perform well and close to each other. Detailed evaluation was performed with determining partial MPPT efficiency under different irradiance slopes. Results showed that at least 10 Hz should be used to satisfy the 99% tracking efficiency over all slopes in the range from 0.5 to 100 W/m ² /s as specified by EN 50530 standard. Further increase of regulating frequency would result in higher slope efficiency only at dynamic conditions.
	Objavljeno v	Institution of Engineering and Technology; IET renewable power generation; 2011; Vol. 5, no. 4; str. 281-286; Impact Factor: 1.742; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 1.323; A': 1; WoS: ID, IQ; Avtorji / Authors: Andrejašič Tine, Jankovec Marko, Topič Marko	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
4.	COBISS ID	9246804	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Elektroluminescenca kot karakterizacijska tehnika preko površine elektrokemijskih sončnih celic
		ANG	Electroluminescence as a spatial characterisation technique for dye-sensitised solar cells
	Opis	SLO	Elektroluminescenca kot površinsko karakterizacijsko tehniko smo aplicirali pri karakterizaciji elektrokemijskih sončnih celic. Zajete slike smo primerjali z sliko pri žarkovno vzbujenem tokovnem odzivu. Rezultati so razkrili občutne nehomogenosti, ki smo jih sistematično klasificirali. Sposobnost identifikacije v kratkem času daje elektroluminescenci odločilno prednost pred metodo z žarkovno vzbujenim lokalnim tokom.
		ANG	Electroluminescence as a spatial characterisation technique is used to characterise dye-sensitised solar cells. The obtained image is compared with a light beam-induced current scan image and a transmittance image. Results reveal the presence of inhomogeneities including those resulting from the topography of the cell and from defects, for example, presence of iodine crystals in the electrolyte, localised absence of dye in the active layer and poor adhesion of the active layer to the electrodes. The ability to identify such inhomogeneities within a relatively short acquisition time gives electroluminescence an advantage over the light beam-induced current technique.
	Objavljeno v	Wiley; Progress in photovoltaics; 2013; Vol. 21, no. 5; str. 1176-1180; Impact Factor: 9.696; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.554; A'': 1; A': 1; WoS: ID, PM, UB; Avtorji / Authors: Bokalič Matevž, Opara Krašovec Urša, Topič Marko	
	Tipologija	1.01 Izvirni znanstveni članek	
5.	COBISS ID	10738772	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Zmogljivost mikromorfnih silicijevih sončnih celic: vpliv vmesnega odbojnika in teksture sprednje elektrode
		ANG	Micromorph silicon solar cell optical performance: influence of intermediate reflector and front electrode surface texture
		SLO	S pomočjo rigoroznih optičnih 3-D simulacij smo opravili obsežno analizo vpliva hrapavosti sprednje elektrode ter vmesnega odbojnika, njegovega kompleksnega lomnega količnika in debeline na izkoristek mikromorfne sončne celice. Simulacije in eksperiment sta pokazala, da sprednja elektroda ZnO nanešena po postopku LPCVD skupaj z nizkim lomnim količnikom izkazuje največji optični potencial za izboljšanje izkoristka te

Opis		tandemske sončne celice. Vmesni odbojnik prerazporeja srednjevalovni del sončnega spektra med zgornjo in spodnjo celico. Seštevek toka spodnje in zgornje celice upada z debelino vmesnega odbojnika. Pokazali smo tudi nadaljnje konceptualne korake, kako zvišati kratkostični tok tandemske sončne celice. Najbolj pomembni koraki znižujejo parazitno absorpcijo z uvedbo dopiranih plasti na bazi silicijevega oksida in izboljšujejo ujetje svetlobe s protiodbojnimi plastmi.
	ANG	The optical performance of tandem a-Si:H/uc-Si:H (micromorph) thin film solar cell was investigated experimentally and by means of rigorous 3-D optical simulation. The interplay of intermediate reflectors, with different refractive indices and thicknesses, and front electrode surface texture was studied. Experiments and simulations show that LPCVD ZnO based front electrodes have the highest optical potential together with a low refractive index of the intermediate reflector. The intermediate reflector layer serves for redistribution of the mid-range solar spectrum between the top and bottom cell, while the sum of the top and bottom cell currents decreases with increasing IRL thickness. Additionally, promising concepts to increase the short-circuit current of the tandem solar cell are shown. The most important steps are related to lowering parasitic absorption in supportive layers by the introduction of silicon oxide layers and improving the light in-coupling by introduction of anti-reflective layers.
Objavljeno v		North-Holland;Elsevier Science; Solar energy materials and solar cells; 2014; Vol. 130; str. 401-409; Impact Factor: 5.030;Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.554; A': 1; WoS: ID, PM, UB; Avtorji / Authors: Čampa Andrej, Meier Matthias, Boccard M., Mercaldo L. V., Ghosh M., Zhang Chao, Merdžhanova T., Krč Janez, Haug Franz-Josef, Topič Marko
Tipologija		1.01 Izvirni znanstveni članek

7.Najpomembnejši družbeno-ekonomski rezultati programske skupine⁶

	Družbeno-ekonomski dosežek		
1.	COBISS ID	8972628	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Programski paket CROWM
		ANG	CROWM Simulator
Opis	SLO	<p>Simulator CROWM (Combined Ray-optics Wave-Optics Model) je bil v osnovi razvit za potrebe raziskav in razvoja organskih sončnih celic, njegova uporaba pa omogoča tudi raziskave drugih optoelektronskih struktur (svetleče diode, LED svetila ipd). Simulator temelji na optičnem modelu za simulacijo tankoplastnih sončnih celic in fotonapetostnih modulov z velikimi površinskimi teksturami na sprednji strani strukture. Model združuje nekoherentno geometrijsko optiko in koherentno valovno optiko. Njegova odločilna prednost pred konkurenco je v kombiniranju različnih optičnih modelov za razširjanje in sipanje svetlobe v heterogenih, večplastnih strukturah z naključnimi ali periodičnimi mikrohrapavostmi. To je ključ do natančne in učinkovite optoelektronske analize, analize izgub in optimizacije tovrstnih struktur. Podjetje Konarka Technologies Inc., kot eno izmed vodilnih svetovnih podjetij s področja razvoja in proizvodnje organskih celic na gibljivih plastičnih substratih, je izkazalo svoj interes za sodelovanje z Laboratorijem za fotovoltaike in optoelektroniko (na UL FE) že v času razvoja simulatorja CROWM in v 2011 kupilo tri licence. Simulator CROWM je nepogrešljivo razvojno orodje na področju fotovoltaike in optoelektronike.</p>	
		Simulator CROWM (Combined Ray-optics Wave-Optics Model) implements	

		an optical numerical model for simulation of thin-film photovoltaic devices with thick surface-textured front components. The model is based on the combination of incoherent geometric optics and coherent wave optics analysis, which are employed separately to simulate light propagation through the front textured component and the bottom flat thin-film component of the device, respectively. The verified model is implemented into the three-dimensional optical simulator CROWM, which is employed to study the light-trapping potential of the front surface-textured protective glass in thin-film photovoltaic modules. Konarka Technologies Inc. as the world leader in the field of flexible organic photovoltaics modules has bought in 2011 three licences of the CROWM Simulator as an indispensable cutting-edge tool in design of high-performance organic photovoltaic devices.
	Šifra	F.06 Razvoj novega izdelka
	Objavljeno v	Faculty of Electrical Engineering, Laboratory of Photovoltaics and Optoelectronics; 2011; 1 optični disk (CD-ROM); Avtorji / Authors: Lipovšek Benjamin, Krč Janez, Topič Marko
	Tipologija	2.21 Programska oprema
2.	COBISS ID	9351508 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<p><i>SLO</i> Vabljeni predavanja na konferencah - Napredni koncepti ujetja svetlobe za tankoplastne silicijeve sončne celice</p> <p><i>ANG</i> Invited lectures - Advanced light management approaches for thin-film silicon solar cells</p>
	Opis	<p>To je eno izmed niza vabljenih predavanj na temo naprednih konceptov ujetja svetlobe, ki so zelo aktualni raziskovalno-razvojni problemi in izzivi pri povečevanju učinkovitosti fotonapetostnih gradnikov, še posebej tankoplastnih silicijevih sončnih celic. Preostala vabljeni predavanja na mednarodnih konferencah:</p> <p>TOPIČ, Marko, KRČ, Janez. Advanced optical concepts in thin film silicon solar cells. 2nd International Symposium on Innovative Solar Cells, Tsukuba, 2009. [COBISS.SI-ID 7456596]</p> <p>SITES, James R., KOISHIYEV, G. T., TOPIČ, Marko. Impact of local non-uniformities on thin-film PV. SPIE Optics + Photonics, San Diego, 2009. [COBISS.SI-ID 7864404]</p> <p>TOPIČ, Marko, KRČ, Janez. Photon management and yield in PV devices. 6th Workshop on the Future Direction of Photovoltaics, Tokyo, 2010. [COBISS.SI-ID 7603028]</p> <p>TOPIČ, Marko. High efficiency thin-film solar cells - a must or an additional low-cost aspect. Workshop Low-Cost Solar Cells, Skopje, 2011. [COBISS.SI-ID 8746068]</p> <p>TOPIČ, Marko, ČAMPA Andrej, LIPOVŠEK, Benjamin, SEVER, Martin, KRČ, Janez. Approaches and challenges in optical modeling and optical characterization of thin-film solar cells. European Materials Research Society Spring Meeting 2014, Lille, 26-30 May 2014.</p> <p>Vabljeni predavanja se osredotočajo na napredne koncepte ujetja svetlobe, ki so aktualni raziskovalno-razvojni problemi pri povečevanju učinkovitosti tankoplastnih sončnih celic.</p> <p>This is one of the invited lectures devoted to advanced concepts of light manipulation in photovoltaic devices, in particularly thin-film silicon solar cells. Among others are:</p>

		<p>TOPIČ, Marko, KRČ, Janez. Advanced optical concepts in thin film silicon solar cells. 2nd International Symposium on Innovative Solar Cells, Tsukuba, 2009. [COBISS.SI-ID 7456596]</p> <p>SITES, James R., KOISHIYEV, G. T., TOPIČ, Marko. Impact of local non-uniformities on thin-film PV. SPIE Optics + Photonics, San Diego, 2009. [COBISS.SI-ID 7864404]</p> <p>TOPIČ, Marko, KRČ, Janez. Photon management and yield in PV devices. 6th Workshop on the Future Direction of Photovoltaics, Tokyo, 2010. [COBISS.SI-ID 7603028]</p> <p>TOPIČ, Marko. High efficiency thin-film solar cells - a must or an additional low-cost aspect. Workshop Low-Cost Solar Cells, Skopje, 2011. [COBISS.SI-ID 8746068]</p> <p>TOPIČ, Marko, ČAMPA Andrej, LIPOVŠEK, Benjamin, SEVER, Martin, KRČ, Janez. Approaches and challenges in optical modeling and optical characterization of thin-film solar cells. European Materials Research Society Spring Meeting 2014, Lille, 26-30 May 2014.</p> <p>Light management is important for improving the performance of thin-film solar cells. Advanced concepts of efficient light scattering and trapping inside the cell structures are the focus of the invited talks. An important tool for design and optimisation of the concepts present optical modelling and simulation. Several models have been developed and implemented in numerical simulators, e.g. a model of light scattering at textured surfaces, which is based on first order Born approximation and the Fraunhofer diffraction. Another approach presents rigorous solving of Maxwell's equations for electromagnetic waves in two- or three-dimensions. Theoretical approaches and results are knitted up with experimental results related to three advanced light management approaches: i) modulated surface morphologies for enhanced scattering and anti-reflection, ii) metal nano-particles introducing plasmonic scattering, and iii) one-dimensional photonic crystals (Bragg stacks) for back reflectors. Improvements in output performance of thin-film solar cells are demonstrated and discussed.</p>
	Šifra	B.04 Vabljeno predavanje
	Objavljeno v	Elsevier; International Conference on Materials for Advanced Technologies 2011, Symposium O; Energy procedia; 2012; Str. 189-199; Avtorji / Authors: Zeman Miro, Isabella Olindo, Jäger Klaus, Santbergen Rudi, Solntsev Serge, Topič Marko, Krč Janez
	Tipologija	1.06 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci (vabljeno predavanje)
3.	COBISS ID	10398804 Vir: COBISS.SI
	Naslov	<p><i>SLO</i> Uvodnika k zbornikoma simpozijev na EMRS 2011 in EMRS 2013</p> <p><i>ANG</i> Editorials for two Proceedings of EMRS Spring Meeting Symposia 2011 - Symposium R, 9-13 May 2011, Nice, France 2013 - Symposium D, 27-31 May 2013, Strasbourg, France</p>
	Opis	<p><i>SLO</i> Marko Topič je kot sopredsedujoči sodeloval pri mednarodnem simpoziju "Advanced Inorganic Materials and Concepts for Photovoltaics" v okviru evropskega kongresa EMRS 2011 (Nica, 9.-13. maj 2011). Rezultat simpozija, na katerem je bilo več kot 250 udeležencev, je objavljen zbornik recenziranih prispevkov (58 prispevkov, 328 strani), ki je izdan pod okriljem elektronskih zbornikov Energy Procedia (Vol. 2) s strani založnika Elsevier.</p>

		<p>Marko Topič je kot vodilni sopredsedujoči sodeloval pri mednarodnem simpoziju "Advanced Inorganic Materials and Structures for Photovoltaics" v okviru evropskega kongresa EMRS 2013 (Strasbourg, 27.-31. maj 2013). Rezultat simpozija, na katerem je bilo več kot 200 udeležencev, je objavljen zbornik recenziranih prispevkov (32 prispevkov, 243 strani), ki je izdan pod okriljem elektronskih zbornikov Energy Procedia (Vol. 44) s strani založnika Elsevier.</p>
	ANG	<p>Marko Topic has participated as a co-chairmen of Symposium "Advanced Inorganic Materials and Concepts for Photovoltaics" at the European Material Research Society Spring Meeting 2011 (Nice, 9-13 May 2011). The Symposium gathered more than 250 participants and resulted in a peer-review proceedings (58 papers, 328 pages) that has been published in Energy Procedia (Vol. 2) by Elsevier.</p> <p>Marko Topič has participated as the lead co-chairman of Symposium "Advanced Inorganic Materials and Structures for Photovoltaics" at the European Material Research Society Spring Meeting (Strasbourg, 27-31 May 2013). The Symposium gathered more than 200 participants and resulted in a peer-review proceedings (32 papers, 243 pages) that has been published in Energy Procedia (Vol. 44) by Elsevier.</p>
Šifra	B.02 Predsedovanje programskemu odboru konference	
Objavljeno v	Elsevier; Proceedings of E-MRS Spring Meeting 2013 Symposium D Advanced Inorganic Materials and Structures for Photovoltaics, 27-31 May 2013, Strasbourg, France; Energy procedia; 2014; Str. 1-2; Avtorji / Authors: Topič Marko, Conibeer Gavin, Condo Michio, Poortmans Jef, Sites James R., Slaoui Abdelilah	
Tipologija	1.20 Predgovor, spremna beseda	
4.	COBISS ID	8290644 Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO SLO-PV 2010, 2012, 2014 - 3., 4. in 5. slovenska fotovoltaična konferenca
	ANG	SLO-PV 2010, 2012, 2014 - 3rd, 4th and 5th Slovenian Photovoltaic Conferences
	Opis	<p>Kot vsako drugo leto (od 2006 dalje) smo v 2010, 2012 in 2014 organizirali 3., 4. in 5. slovensko fotovoltaično konferenco, ki so bile sestavljene iz okvirnih tematskih sklopov: 1. globalni trendi fotovoltaike v raziskavah, industriji in na trgu, 2. raziskave in razvoj fotovoltaike v Sloveniji, 3. izzivi in ovire priključevanja sončnih elektrarn na omrežje, 4. PV sistemi in sončne elektrarne v Sloveniji - načrtovanje in obratovanje, in ob bok konferenci tudi sejemska predstavitev slovenskih podjetij, ki ponujajo produkte s področja fotovoltaike.</p> <p>SLO-PV 2010 (preko 240 udeležencev) SLO-PV 2012 (preko 150 udeležencev) SLO-PV 2014 (preko 130 udeležencev) Detajlne informacije najdete na spletni strani http://slo-pv.fe.uni-lj.si</p>
	ANG	<p>As every second year (since 2006) we organize Slovenian Photovoltaic Conference. The 3rd and 4th Slovenian Photovoltaic Conference were held at University of Ljubljana Faculty of Electrical Engineering on 28 Sep 2010 and 20-21 Jun 2012. Conference programme covered global R&D trends in PV, research and development of photovoltaics in Slovenia, challenges and barriers in deployment of PV in Slovenia and design, engineering and operation of PV systems. The conferences were accompanied with an exhibition of Slovenian PV companies.</p> <p>SLO-PV 2010 (over 240 participants) SLO-PV 2012 (over 150 participants) SLO-PV 2014 (over 130 participants) Detailed information can be found at http://slo-pv.fe.uni-lj.si</p>

	Šifra	B.01 Organizator znanstvenega srečanja	
	Objavljeno v	Slovenska tehnološka platforma za fotovoltaiko; Fakulteta za elektrotehniko; 2010; 1 optični disk (CD-ROM); Avtorji / Authors: Topič Marko, Brecl Kristijan	
	Tipologija	2.30 Zbornik strokovnih ali nerecenziranih znanstvenih prispevkov na konferenci	
5.	COBISS ID	9543764	Vir: COBISS.SI
	Naslov	SLO	Nagradi za najboljši poster na evropski konferenci EU-PVSEC-24 in EU-PVSEC-27
		ANG	Awards for best visual presentation at the EU-PVSEC-24 and EU-PVSEC-27
	Opis	SLO	Na 24. evropski fotovoltaični konferenci v Hamburgu (EU-PVSEC-24, 21.-25. 9. 2009), kjer je preko 2500 udeležencev spremljalo preko 300 predavanj in 800 posterjev v 6 sekcijah, sta člana Laboratorija za fotovoltaiko in optoelektroniko (UL FE) v sodelovanju s Colorado State University s prispevkom 3BV.5.71 TOPIČ, Marko, BRECL, Kristijan, SITES, James R.: FROM SMALL-AREA CELL TO LARGE-AREA MODULE PERFORMANCE-ROLE OF INHOMOGENEITIES IN THIN FILM PHOTOVOLTAICS prejela nagrado za najboljšo vizualno predstavitev (poster) v sekciji Tankoplastne sončne celice.
		SLO	Na 27. evropski fotovoltaični konferenci v Frankfurtu (EU-PVSEC-27, 24.-28. 9. 2012), kjer je preko 4000 udeležencev spremljalo preko 300 predavanj in 1100 posterjev v 6 sekcijah, so člani Laboratorija za fotovoltaiko in optoelektroniko (UL FE) s prispevkom 3DV.1.62 Benjamin Lipovšek, Janez Krč, Marko Topič: DESIGN AND OPTIMISATION OF THIN-FILM SILICON PV MODULES WITH SURFACE-TEXTURED FRONT GLASS BY USING A COMBINED GEOMETRIC OPTICS / WAVE OPTICS MODEL prejeli nagrado za najboljšo vizualno predstavitev (poster) v sekciji Tankoplastne sončne celice.
		ANG	At the 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference (EU-PVSEC-24, 21-25 Sep 2009) with over 2500 participants, 300 oral and 800 visual presentations in 6 sections, our contribution 3BV.5.71 TOPIČ, Marko, BRECL, Kristijan, SITES, James R.: FROM SMALL-AREA CELL TO LARGE-AREA MODULE PERFORMANCE-ROLE OF INHOMOGENEITIES IN THIN FILM PHOTOVOLTAICS received an award for the best visual presentation in section "Thin Film Solar Cells". At the 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference (EU-PVSEC-27, 24-28 Sep 2012) with over 4000 participants, 300 oral and 1100 visual presentations in 6 sections, our contribution 3DV.1.62 Benjamin Lipovšek, Janez Krč, Marko Topič: DESIGN AND OPTIMISATION OF THIN-FILM SILICON PV MODULES WITH SURFACE-TEXTURED FRONT GLASS BY USING A COMBINED GEOMETRIC OPTICS / WAVE OPTICS MODEL received an award for the best visual presentation in section "Thin Film Solar Cells".
	Šifra	E.02 Mednarodne nagrade	
	Objavljeno v	24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Hamburg, Germany, 21-25 September 2009. SINKE, Wim (ur.), OSSENBRINK, Heinz A. (ur.), HELM, P. (ur.). The compiled state-of-the-art of PV solar technology and development : proceedings. München: WIP-Renewable Energies, cop. 2009, str. 3054-3057. Avtorji / Authors: TOPIČ, Marko, BRECL, Kristijan, SITES, James R. [COBISS.SI-ID 7439444] 27th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Frankfurt, Germany, 24-28 September 2012. NOWAK, S. (ur.), JÄGER-WALDAU, Arnulf (ur.), HELM, P. (ur.). Proceedings of the International	

	Conference. München: WIP, cop. 2012, str. 2604-2607. Avtorji / Authors: LIPOVŠEK, Benjamin, KRČ, Janez, TOPIČ, Marko. [COBISS.SI-ID 9543764]
Tipologija	1.08 Objavljeni znanstveni prispevek na konferenci

8. Drugi pomembni rezultati programske skupine⁷

Poleg sodelovanja na 6 evropskih in 4 bilateralnih projektih smo v obdobju 2009-2014 uspešno izvedli številne projekte za naročnike iz gospodarstva, usposabljanja za različne interesne skupine, združenja in podjetja ter svetovanja.

Vodja programske skupine prof. dr. Marko Topič je bil konec leta 2014 izvoljen za predsednika Evropske tehnološke platforme za fotovoltaike (<http://www.eupvplatform.org>), kar je veliko priznanje ne samo za njega osebno, ampak za celotno skupino.

9. Pomen raziskovalnih rezultatov programske skupine⁸

9.1. Pomen za razvoj znanosti⁹

SLO

Raziskave novih tehnologij in spremljevalnih aktivnosti na področju fotovoltaike kot enemu najperspektivnejših obnovljivih virov električne energije so izrednega pomena za trajnostni oz. sonaraven razvoj energetike, ki bo predpogoj za trajnostni gospodarski razvoj Slovenije in Evrope v celoti. Fotovoltaika je postala v svetovnem merilu elektroenergetski gospodarski sektor, ki je postal konkurenčen klasičnim proizvajalcem električne energije. Zаметki slovenske fotovoltaične industrije (BISOL d.o.o. – proizvodnja kristalnih silicijevih PV modulov, ETI Elektroelement d.d. – proizvodnja zaščitnih gradnikov, Letrika Sol d.o.o. – proizvodnja mikrorazsmernikov, PV future d.o.o., Plan-net d.o.o., Kon Tiki Solar d.o.o. – inženiring) uvajajo nove tehnologije, nove proizvode in storitve, ki bodo namenjeni predvsem izvozu na globalne svetovne trge.

Poleg temeljnih raziskav smo vedno bolj vpeti v aplikativne raziskave in razvoj novih tehnologij in produktov s področja fotovoltaike in elektronike za gospodarske subjekte doma in po svetu.

Naš doprinos k razvoju znanosti dokazujemo tudi z objavami v najuglednejših specializiranih revijah, z naraščajočim številom vabljenih predavanj na specializiranih mednarodnih konferencah in po drugih visokošolskih inštitucijah doma in v tujini.

ANG

Research and development in the field of photovoltaics as one of the most promising long-term Renewable Energy Source solutions for electricity supply has immense importance for sustainable evolution in energy sector in Europe and Slovenia. Photovoltaics rapidly grows into an economy sector that reached the level of grid-parity.

Besides fundamental research, which generated numerous scientific publications in the top PV specialized international journals, we are more and more involved in applied research and development of new technologies and products in the field of photovoltaics and electronics. Strengthened cooperation with companies in Slovenia and abroad is evident.

Our contribution to the development of science is reflected also in an increasing number of invited speeches at specialized international conferences and invited lectures at other universities and institutes around the globe.

9.2. Pomen za razvoj Slovenije¹⁰

SLO

Energetska problematika je in tudi zagotovo bo tudi v bodoče pomembno krojila usodo ekonomskega razvoja Slovenije. Zaloge konvencionalnih energetskih virov kopnijo, dodaten

problem v 21. stoletju pa je tudi onesnaževanje okolja in z njim povezane klimatske spremembe. Energetska neodvisnost držav na makro nivoju in samostojnih naselij ali hiš na mikro nivoju bo pomembno posegla v družbenoekonomski sistem. Tudi v Sloveniji bo problem zanesljive, učinkovite in predvsem trajnostne ekološko naravnane energetske oskrbe postal pomemben dejavnik razvoja.

Raziskovalni program je bil za Slovenijo pomemben po več kriterijih:

- uvajanje ekološko naravnanih energetskih virov,
- prispevki k novim rešitvam polprevodniških struktur fotonapetostnih pretvornikov,
- razvoj fotonapetostnih naprav, primernih za specifično slovenske potrebe uporabe,
- uveljavljanje slovenske raziskovalne skupine v mednarodnem prostoru,
- sodelovanje skupine s sorodnimi raziskovalnimi skupinami drugod po svetu,
- sodelovanje s programskimi skupinami iz drugih JRO in izmenjava izkušenj in znanj na interdisciplinarnih segmentih,
- formiranje usposobljenih raziskovalnih kadrov za široko področje znanosti in tehnologije,
- potencial za kreiranje novih delovnih mest,
- realizacija ekološko naravnane strategije R Slovenije z uvajanjem alternativnih virov energije za zmanjševanje emisij.

Številnimi relevantnimi dosežki govorijo sami zase. Kot priznanje za naše dosežke lahko štejemo tudi nedavno (dec. 2014) izvolitev prof. dr. Marka Topiča za predsednika Evropske tehnološke platforme za fotovoltaike.

ANG

Energy situation will certainly strongly affect the future of economic development in Slovenia. Resources of conventional energy sources become scarce, their harmful use accelerates climate change and environmental pollution. Energy sustainability of individual countries on macro-economical level and of individual residential areas or houses on micro-economical level will importantly affect the socio-economic system. The question of reliable, efficient and up-most sustainable and environmentally friendly energy supply will tailor the development and competitiveness also in Slovenia.

Research program Semiconductor Electronics 2009-2014 was important for Slovenia from the following criteria:

- introduction of ecologically natural energy sources,
- contribution to new solutions in semiconductor structures in photovoltaics,
- development of photovoltaic modules and other products,
- affirmation of Slovenian research community in international arena,
- cooperation of research group with foreign research and development groups around the globe,
- cooperation with other research groups and exchange of experiences, equipment and personnel in interdisciplinary fields,
- educating and training of highly skilled researchers in the field of applied sciences and technologies,
- creation of economic sectors and new jobs in the 21st century,
- deployment of ecology oriented strategy of Slovenia with the introduction of renewable energy sources for abatement of CO2 emissions.

Numerous achievements speak for themselves. In recognition of our achievements we can also count that professor Marko Topic became the chairman of the European Photovoltaic Technology Platform (elected in Dec 2014).

10. Zaključena mentorstva članov programske skupine pri vzgoji kadrov v obdobju 1.1.2009-31.12.2014¹¹

10.1. Diplome¹²

vrsta usposabljanja	število diplom
bolonjski program - I. stopnja	6

bolonjski program - II. stopnja	1
univerzitetni (stari) program	56

10.2. Magisterij znanosti in doktorat znanosti¹³

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	MR	
25410	David Jurman	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
25413	Andrej Čampa	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
25420	Marko Berginc	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
27518	Jurij Kurnik	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
28464	Mateja Hočevar	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
28672	Tine Andrejašič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
28466	Marko Nerat	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
29550	Matic Herman	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
29549	Benjamin Lipovšek	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
30685	Matevž Bokalič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
31979	Miha Filipič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	
33111	Matija Pirc	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
29656	Janko Kolar	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
0	Uroš Rozina	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	
0	Uroš Nosan	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="checkbox"/>	

Legenda:

Mag. - Znanstveni magisterij

Dr. - Doktorat znanosti

MR - mladi raziskovalec

11. Pretok mladih raziskovalcev – zaposlitev po zaključenem usposabljanju¹⁴

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Mag.	Dr.	Zaposlitev	
25410	David Jurman	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	
25413	Andrej Čampa	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	
25420	Marko Berginc	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	D - Javni zavod	
27518	Jurij Kurnik	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	
28464	Mateja Hočevar	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	D - Javni zavod	
28466	Marko Nerat	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	A - raziskovalni zavodi	
29550	Matic Herman	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	C - Gospodarstvo	
29549	Benjamin Lipovšek	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	D - Javni zavod	
30685	Matevž Bokalič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	D - Javni zavod	
31979	Miha Filipič	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	D - Javni zavod	

Legenda zaposlitev:

- A** - visokošolski in javni raziskovalni zavodi
- B** - gospodarstvo
- C** - javna uprava
- D** - družbene dejavnosti
- E** - tujina
- F** - drugo

12. Vključenost raziskovalcev iz podjetij in gostovanje raziskovalcev, podoktorandov ter študentov iz tujine, daljše od enega meseca, v obdobju 1.1.2009-31.12.2014

Šifra raziskovalca	Ime in priimek	Sodelovanje v programski skupini	Število mesecev	
35211	Sena Madunić	A - raziskovalec/strokovnjak	12	
29029	Marija Drev	A - raziskovalec/strokovnjak	30	
32905	Martina Schmid	D - podoktorand	6	
24317	Gregor Černivec	A - raziskovalec/strokovnjak	3	
25413	Andrej Čampa	A - raziskovalec/strokovnjak	2	
0	Daniel Lockau	C - študent - doktorand	1	

Legenda sodelovanja v programski skupini:

- A** - raziskovalec/strokovnjak iz podjetja
- B** - uveljavljeni raziskovalec iz tujine
- C** - študent - doktorand iz tujine
- D** - podoktorand iz tujine

13. Vključevanje v raziskovalne programe Evropske unije in v druge mednarodne raziskovalne in razvojne programe ter drugo mednarodno sodelovanje v obdobju 1.1.2009-31.12.2014¹⁵

SLO

EU – 7OP – projekt: **SOLARROK**

Razvoj fotovoltaičnih združenj in izvajanje ukrepov v okviru skupnega strateškega akcijskega načrta sedmih regij na osnovi regionalnih inovacij

koordinator Solar Valley GmbH, Nemčija (dr. Sabine Schmidt)

število partnerjev 15

trajanje 3 leta (1. 12. 2012 – 30. 11. 2015)

slovenski nosilec prof. dr. Marko Topič

pogodba št. 320028 - FP7-REGIONS-2012-2013-1

EU – 7OP – projekt: **Fast Track**

Pospešen razvoj in razvoj prototipov visokoučinkovitih tankoplastnih silicijevih sončnih modulov na osnovi nanotehnologije

koordinator Forschungszentrum Jülich, Nemčija (dr. Aad Gordijn)

število partnerjev 15

trajanje 3 leta (1. 3. 2012 – 28. 2. 2015)

slovenski nosilec prof. dr. Marko Topič

pogodba št. 283501 - FP7-NMP-Energy-2011

EU – 7OP – projekt: **WINSMART**

Energijsko učinkovita sodobna okna s kromogeno funkcijo

koordinator Danish Technological Institute, Danska (dr. Niels Morsing)

število partnerjev 8

trajanje 4 leta (1.10.2012 – 31.9. 2016)

slovenski nosilec dr. Urša Opara Krašovec in prof. dr. Marko Topič

pogodba št. 314407 – FP7-NMP-2012-5

EU – 70P – MSCP projekt: [Silicon-Light](#)

Izboljšanje kakovosti materialov in ujetja svetlobe v tankoplastnih silicijevih sončnih celicah

koordinator ECN, Nizozemska (dr. Wim Soppe)

število partnerjev 18

trajanje 3 leta (1. 1. 2010 – 31. 12. 2012)

slovenski nosilec izr. prof. dr. Janez Krč

pogodba št. 241277 - Energy-2009-1

EU – 70P – MSCP projekt: [Solamon](#)

Plasmons generating nanocomposite materials (PGNM) for 3rd Generation thin film solar cells

koordinator Commissariat à l'Energie Atomique et aux Energies Alternatives,
France (g. Yves Hussenot)

število partnerjev 6

trajanje 2 leti (2009-2011)

slovenski nosilec prof. dr. Marko Topič

pogodba št. 226820 - FP7-NMP-2008-2.6-1

EU – 60P – IP project: [Athlet](#)

Advanced Thin-Film Technologies for Cost Effective Photovoltaics

koordinator Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH,
Germany (prof. dr. Martha Lux-Steiner)

število partnerjev 10

trajanje 4 leta (2006-2009)

slovenski nosilec prof. dr. Marko Topič

pogodba št. 19670 - FP6-SustDev

ZDA – bilateralni: BI-US/13-14/024

Meje zmogljivosti tankoplastne fotovoltaike

koordinatorja prof. dr. Marko Topič (UL FE)
prof. dr. James Sites (Colorado State University)

trajanje 2 leti (1. 1. 2013 – 31. 12. 2014)

pogodba BI-US/13-14/024

CEA – bilateralni: BI-CEA Q2-0002

Plazmonika v sončnih celicah tretje generacije

koordinatorja prof. dr. Marko Topič (UL FE)
dr. Etienne Quesnel (CEA Liten)

trajanje 2 leti (1. 10. 2011 – 30. 9. 2013)

pogodba Q2-0002

ZDA – bilateralni: BI-US/11-12/013

Analiza zmogljivosti sončnih celic in fotonapetostnih modulov z elektroluminiscenco

koordinatorja prof. dr. Marko Topič (UL FE)
prof. dr. James Sites (Colorado State University)

trajanje 2 leti (1. 1. 2011 – 31. 12. 2012)

pogodba BI-US/11-12/013

Portugalska – bilateralni: BI-PT/08-09/004

Fotodiode za nizke osvetlitve - optoelektronsko zaznavanje fluorescence in kemijske luminescence izbranih biomolekul

koordinatorja doc. dr. Janez Krč (UL FE)
dr. Virginia Chu (INESC-MN, Lisbon)

trajanje 2 leti (1. 1. 2008 – 31. 12. 2009)

pogodba BI-PT/08-09/004

14. Vključenost v projekte za uporabnike, ki so v obdobju trajanja raziskovalnega programa (1.1.2009–31.12.2014) potekali izven financiranja ARRS¹⁶

SLO

Poleg sodelovanja na 6 evropskih in 4 bilateralnih projektih smo v obdobju 2009-2014 uspešno izvedli številne projekte za naročnike iz gospodarstva. Med njimi so:

Projekt SISV-PVG (BISOL Group d.o.o.)

Študije in preskušanje fotovoltaičnih tehnologij (BISOL Group d.o.o.)

Študije fotonapetostnih sistemov (preko 30 študij)

Vrednotenje učinkovitosti fotonapetostnih modulov (PEPI-PLAST d.o.o., Mines Team d.o.o., Trimo d.d.)

Vrednotenje učinkovitosti 5 kW razsmernikov (Iskra Avtoelektrika d.d.)

Pospešeno preskušanje hibridnih PV+TS modulov (Energy Handelsgesellschaft m.b.H., Avstrija)

Razvoj merilnika zmogljivosti PV modulov (AMP Solar d.o.o.)

Razvoj merilnika sončnega sevanja v ravnini (Metrel d.d.)

Razvoj MPPT za fotonapetostne module pod visoko enosmerno napetostjo (EPFL, Švica)

Licence programske opreme:

SunShine Simulator licence (LG Electronics, Koreja, South China Normal University, Kitajska, IMT Nechatel, Švica)

CROWM Simulator licence (Konarka Germany, Konarka USA, Konarka Austria, iMIT Erlangen)

NIKA software licenca (iMIT Erlangen)

Usposabljanja:

Usposabljanje članov ZSFI Združenja Slovenske fotovoltaične industrije (2011, 2012, 2013)

Usposabljanje članov Obrtno-podjetniške zbornice Slovenije (2009)

Seminar o sončnih elektrarnah v podjetju KIG d.d. (2010)

Seminar o OLED IN OPV v podjetju Cetus d.d. (2013)

Svetovanje (Thin Silicon Corporation, ZDA)

15. Ocena tehnološke zrelosti rezultatov raziskovalnega programa in možnosti za njihovo implementacijo v praksi (točka ni namenjena raziskovalnim programom s področij humanističnih ved)¹⁷

SLO

Raznolikost rezultatov naših raziskav je odraz naše večplastnosti in porazdeljenosti po različnih segmentih znotraj fotovoltaike in elektronike. Dodana vrednost izdelkov, katerih osnova je pridobljeno znanje v okviru raziskovalnega programa "Fotovoltaika in elektronika", je velika. Ta je na eni

strani na področju tehnologij izdelave sončnih celic in fotonapetostnih modulov, na drugi strani pa na področju spremljevalne elektronske opreme. Samo primer podjetja BISOL GROUP d.o.o., ki je vzklik iz minulega raziskovalnega programa 2004-2008, in danes kot tehnološko proizvodno podjetje ustvarja preko 50 mio EUR letnega prometa in je zaposloval tudi že preko 300 ljudi, kaže na potencial, ki ga naše področje trajnostne energetike in elektronike ima. V sklopu naših raziskav smo se osredotočali na reševanje ključnih vprašanj tudi z aplikativnega vidika in ne zgolj bazičnega.

Žal tehnologija elektrokemijskih sončnih celic ni izkazala pričakovanj, ki bi garantirala uspešen prenos v proizvodnjo in omogočala konkurenčnost.

Na področju merilnih naprav v fotovoltaiki bi lahko dokaj hitro vstopili v posamezne tržne niše monitoringa in nadzora fotonapetostnih sistemov. Za uspešen prenos v industrijo bi morali pospešeno investirati v širitev tehnološke opreme, ki bi nam omogočala tehnološki poligon za razvoj novih produktov.

16. Ocenite, ali bi doseženi rezultati v okviru programa lahko vodili do ustanovitve spin-off podjetja, kolikšen finančni vložek bi zahteval ta korak ter kakšno infrastrukturo in opremo bi potrebovali

možnost ustanovitve spin-off podjetja	<input checked="" type="radio"/> DA <input type="radio"/> NE
potrebni finančni vložek	250.000 EUR
ocena potrebne infrastrukture in opreme ¹⁸	UL FE že ima večino RR infrastrukture, treba pa bi bilo nabaviti ali najeti avtomatizirano proizvodno opremo.

17. Izjemni dosežek v letu 2014¹⁹

17.1. Izjemni znanstveni dosežek

Izvirni znanstveni članek:

"Micromorph silicon solar cell optical performance: influence of intermediate reflector and front electrode surface texture", Solar energy materials and solar cells; 2014; Vol. 130; str. 401-409; Impact Factor: 5.030; Srednja vrednost revije / Medium Category Impact Factor: 2.554; A': 1; WoS: ID, PM, UB; Avtorji / Authors: Čampa Andrej, Meier Matthias, Boccard M., Mercaldo L. V., Ghosh M., Zhang Chao, Merdzhanova T., Krč Janez, Haug Franz-Josef, Topič Marko

V prilogi se nahaja predstavitev dosežka in utemeljitev njegove izjemnosti.

17.2. Izjemni družbeno-ekonomski dosežek

Izvolitev prof. dr. Marka Topiča za predsednika Evropske tehnološke platforme za fotovoltaiko.

C. IZJAVE

Podpisani izjavljam/o, da:

- so vsi podatki, ki jih navajamo v poročilu, resnični in točni;
- se strinjamo z obdelavo podatkov v skladu z zakonodajo o varstvu osebnih podatkov za potrebe ocenjevanja in obdelavo teh podatkov za evidence ARRS;
- so vsi podatki v obrazcu v elektronski obliki identični podatkom v obrazcu v papirnati obliki;
- so z vsebino poročila seznanjeni in se strinjajo vsi izvajalci raziskovalnega programa.

Podpisi:

*zastopnik oz. pooblaščen oseba
matične RO (JRO in/ali RO s
koncesijo):*

in

vodja raziskovalnega programa:

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za
elektrotehniko

Marko Topič

ŽIG

Kraj in datum:

Ljubljana

10.3.2015

Oznaka poročila: ARRS-RPROG-ZP-2015/90

¹ Napišite povzetek raziskovalnega programa v slovenskem jeziku (največ 3.000 znakov vključno s presledki – približno pol strani, velikost pisave 11) in angleškem jeziku (največ 3.000 znakov vključno s presledki – približno pol strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

² Napišite kratko vsebinsko poročilo, v katerem predstavite raziskovalno hipotezo in opis raziskovanja. Navedite ključne ugotovitve, znanstvena spoznanja, rezultate in učinke raziskovalnega programa in njihovo uporabo ter sodelovanje s tujimi partnerji. V primeru odobrenega povečanja obsega financiranja raziskovalnega programa v letu 2014 mora poročilo o realizaciji programa dela zajemati predložen program dela ob prijavi in predložen dopolnjen program dela v letu 2014. Največ 12.000 znakov vključno s presledki (približno dve strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

³ Realizacija raziskovalne hipoteze. Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

⁴ V primeru bistvenih odstopanj in sprememb od predvidenega programa dela raziskovalnega programa, kot je bil zapisan v predlogu raziskovalnega programa oziroma v primeru sprememb, povečanja ali zmanjšanja sestave programske skupine v zadnjem letu izvajanja raziskovalnega programa, napišite obrazložitev. V primeru, da sprememb ni bilo, navedite: "Ni bilo sprememb.". Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

⁵ Navedite znanstvene dosežke (največ pet), ki so nastali v okviru izvajanja raziskovalnega programa. Raziskovalni dosežek iz obdobja izvajanja programa vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'. [Nazaj](#)

⁶ Navedite družbeno-ekonomske dosežke (največ pet), ki so nastali v okviru izvajanja raziskovalnega programa. Družbeno-ekonomski dosežek iz obdobja izvajanja programa vpišete tako, da izpolnite COBISS kodo dosežka – sistem nato sam izpolni naslov objave, naziv, IF in srednjo vrednost revije, naziv FOS področja ter podatek, ali je dosežek uvrščen v A'' ali A'.

Družbeno-ekonomski dosežek je po svoji strukturi drugačen kot znanstveni dosežek. Povzetek znanstvenega dosežka je praviloma povzetek bibliografske enote (članka, knjige), v kateri je dosežek objavljen.

Povzetek družbeno-ekonomskega dosežka praviloma ni povzetek bibliografske enote, ki ta dosežek dokumentira, ker je dosežek sklop več rezultatov raziskovanja, ki je lahko dokumentiran v različnih bibliografskih enotah. COBISS ID zato ni enoznačen, izjemoma pa ga lahko tudi ni (npr. prehod mlajših sodelavcev v gospodarstvo na pomembnih raziskovalnih nalogah, ali ustanovitev podjetja kot rezultat programa ... - v obeh primerih ni COBISS ID). [Nazaj](#)

⁷ Navedite rezultate raziskovalnega programa iz obdobja izvajanja programa v primeru, da katerega od rezultatov ni mogoče navesti v točkah 6 in 7 (npr. ker se ga v sistemu COBISS ne vodi). Največ 2.000 znakov vključno s presledki (približno 1/3 strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

⁸ Pomen raziskovalnih rezultatov za razvoj znanosti in za razvoj Slovenije bo objavljen na spletni strani: <http://www.sicris.si/> za posamezen program, ki je predmet poročanja. [Nazaj](#)

⁹ Največ 4.000 znakov vključno s presledki (približno 2/3 strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

¹⁰ Največ 4.000 znakov vključno s presledki (približno 2/3 strani, velikost pisave 11). [Nazaj](#)

¹¹ Upošteva se le tiste diplome, magisteriji znanosti in doktorati znanosti (zaključene/i v obdobju 1.1.2009–31.12.2014), pri katerih so kot mentorji sodelovali člani programske skupine. [Nazaj](#)

¹² Vpišite število opravljenih diplom v času izvajanja raziskovalnega programa glede na vrsto usposabljanja. [Nazaj](#)

¹³ Vpišite šifro raziskovalca in/ali ime in priimek osebe, ki je v času izvajanja raziskovalnega programa pridobila naziv magister znanosti in/ali doktor znanosti ter označite doseženo izobrazbo. V primeru, da se je oseba usposabljala po programu Mladi raziskovalci, označite "MR". [Nazaj](#)

¹⁴ Za mlade raziskovalce, ki ste jih navedli v tabeli 11.2. točke (usposabljanje so uspešno zaključili v obdobju od 1.1.2009 do 31.12.2014), izberite oz. označite, kje so se zaposlili po zaključenem usposabljanju. [Nazaj](#)

¹⁵ Navedite naslove projektov in ime člana programske skupine, ki je bil vodja/koordinator navedenega projekta. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

¹⁶ Navedite naslove projektov, ki ne sodijo v okvir financiranja ARRS (npr: industrijski projekti, projekti za druge naročnike, državno upravo, občine idr.) in ime člana programske skupine, ki je bil vodja/koordinator navedenega projekta. Največ 6.000 znakov vključno s presledki (približno ena stran, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

¹⁷ Opišite možnosti za uporabo rezultatov v praksi. Opišite izdelke oziroma tehnologijo in potencialne trge oziroma tržne niše, v katere sodijo. Ocenite dodano vrednost izdelkov, katerih osnova je znanje, razvito v okviru programa oziroma dodano vrednost na zaposlenega, če jo je mogoče oceniti (npr. v primerih, ko je rezultat izboljšava obstoječih tehnologij oziroma izdelkov). Največ 3.000 znakov vključno s presledki (približno pol strani, velikosti pisave 11). [Nazaj](#)

¹⁸ Največ 1.000 znakov vključno s presledki (približno 1/6 strani, velikost pisave 11) [Nazaj](#)

¹⁹ Navedite en izjemni znanstveni dosežek in/ali en izjemni družbeno-ekonomski dosežek raziskovalnega programa v letu 2014 (največ 1000 znakov, vključno s presledki, velikost pisave 11). Za dosežek pripravite diapozitiv, ki vsebuje sliko ali drugo slikovno gradivo v zvezi z izjemnim dosežkom (velikost pisave najmanj 16, približno pol strani) in opis izjemnega dosežka (velikost pisave 12, približno pol strani). Diapozitiv/-a priložite kot priponko/-i k temu poročilu. Vzorec diapozitiva je objavljen na spletni strani ARRS <http://www.arrs.gov.si/sl/gradivo/>, predstavitev dosežkov za pretekla leta pa so objavljena na spletni strani <http://www.arrs.gov.si/sl/analize/dosez/>. [Nazaj](#)

Obrazec: ARRS-RPROG-ZP/2015 v1.00b

43-2A-A6-E7-26-B5-40-27-26-4D-EA-A1-9E-9F-69-7C-CB-43-90-7F

Priloga 1

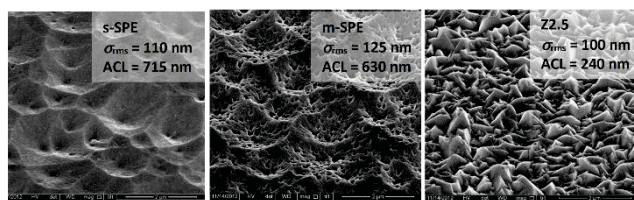
TEHNIKA

Področje: 2.03 - Energetika

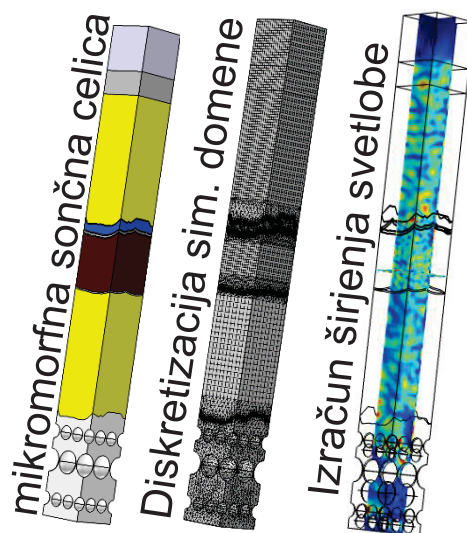
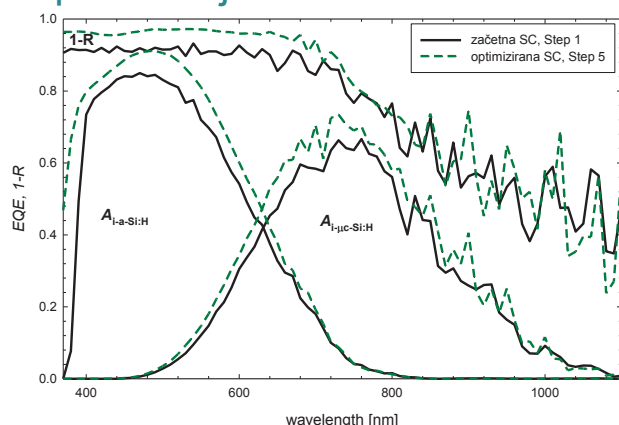
Dosežek v 2014: Vpliv vmesnega odbojnika in teksture prednje elektrode na izkoristek mikromorfne sončne celice.

Vir: A. ČAMPA, M. MEIER, M. BOCCARD, L.V. MERCALDO, M. GHOSH, C. ZHANG, T. MERDZHANOVA, J. KRČ, F.-J. HAUG, M. TOPIČ. Micromorph silicon solar cell optical performance : influence of intermediate reflector and front electrode surface texture. *Solar energy materials and solar cells*, 2014, vol. 130, str. 401-409. doi: [10.1016/j.solmat.2014.07.025](https://doi.org/10.1016/j.solmat.2014.07.025). JCR IF (2013) = 5,030

Hrapavosti prednjih elektrod



Optimizacija sončne celice



V letu 2014 smo v okviru raziskovalnega programa P2-0197 uspešno nadaljevali z razvojem naprednih optičnih konceptov in njihovo implementacijo v realne strukture. V okviru tega dela smo izvedli obsežno študijo vpliva vmesnega odbojnika na izkoristek sončnih celic in vpliv prednje elektrode na kvantne izkoristke tankoplastnih mikromorfnih sončnih celic. Vse celice so bili modelirane in simulirane z uporabo rigoroznih optičnih simulacij po metodi končnih elementov, kjer smo upoštevali realne vhodne parametre, kot so debeline, valovno odvisni kompleksni lomni količniki, pomerjene hrapavosti površin, nehomogena rast plasti ... Skupaj s partnerji na EU projektu 7.OP „FastTrack“ smo realizirali in pomerili te strukture in na ta način še dodatno verificirali rezultate simulacij. Ker rigorozne optične simulacije omogočajo poln vpogled v strukturo same sončne celice in analizo optičnih parametrov, smo začrtali tudi nove smernice, kako dodatno izboljšati rekordne celice in s tem nakazali, kako premakniti sedanji svetovni rekord izkoristka mikromorfne sončne celice iz 12,6 % na 14 %. Izvirni znanstveni prispevek smo objavili v eni najbolj uglednih revij na področju fotovoltaike skupaj s tremi priznanimi institucijami na področju tankoplastnih silicijevih sončnih celic.