

**ЕКОЛОШКА ВРЕДНОСТ ЕЛЕКТРИЧНЕ ЕНЕРГИЈЕ ДОБИЈЕНЕ ИЗ  
ФОТОНАПОНСКЕ ЕЛЕКТРАНЕ****ECOLOGICAL VALUE OF ELECTRICITY OBTAINED FROM PHOTOVOLTAIC  
SYSTEMS**Никола Арсенивић, *Факултет техничких наука, Нови Сад***Област – ЧИСТЕ ЕНЕРГЕТСКЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ**

**Кратак садржај** – У овом раду испитиване су могућности примене фотонапонске електране као чисте енергетске технологије као и емисија угљен-диоксида приликом производње, изградње, демонтаже и рециклаже елемената фотонапонске електране. Анализа је урађена на примеру фотонапонске електране на кући снаге 22,7 kW, а анализа обухвата: емисију CO<sub>2</sub> при производњи електричне енергије као и емисија CO<sub>2</sub> при производњи електричне енергије из конвенционалног извора енергије-термоелектране. Испитивањем су обухваћени фотонапонски панели, инвертор, конструкција, АС и DC опрема. Приликом прорачуна емисије узет је у обзир транспорт свих делова до електране као и транспорт до места рециклаже, али и количина електричне енергије која се утроши приликом монтаже и демонтаже сви делова фотонапонске електране.

**Кључне речи:** производња, фотонапонски панели, емисија CO<sub>2</sub>

**Abstract** – In this paper examines the possibilities of using a photovoltaic power plant as a clean energy technology as well as carbon dioxide emissions during the production, construction, dismantling and recycling of photovoltaic power plant elements. The analysis was performed on the example of a photovoltaic power plant at home with a power of 22.7 kW, and the analysis includes: CO<sub>2</sub> emissions from electricity production from the photovoltaic power plant of the existing facility and CO<sub>2</sub> emissions from conventional energy sources thermal power plants. The test included photovoltaic panels, inverter, construction, AC and DC equipment. When calculating the emission, the transport of all parts to the power plant was taken into account, as well as the transport to the recycling site, but also the amount of electricity consumed during the assembly and disassembly of all parts of the photovoltaic power plant.

**Keywords:** production, photovoltaic panels, CO<sub>2</sub> emissions

**1. УВОД**

Принцип рада фотонапонске електране заснован је на претварању сунчевог зрачења у електричну енергију.

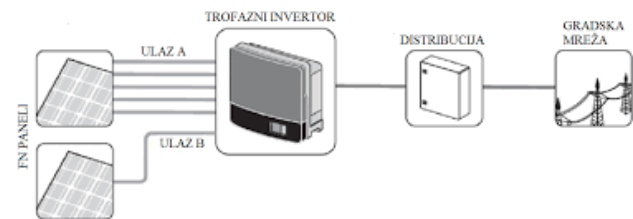
**НАПОМЕНА:**

Овај рад проистекао је из мастер рада чији ментор је био др Золтан Чорба, доцент.

Овај ефекат познат је као фотоелектрични ефекат. Елемент у коме се одвија процес фотонапонског ефекта јесте фотонапонска ћелија која представља полупроводнички материјал. Редна или паралелна веза ћелија чини фотонапонски панел. Фотонапонски панел може искористити расположиву енергију уз степен искоришћења од 15-23%, док је максимални излазни напон једног, (индивидуалног) панела 30-50V. ФН панели се стога могу повезати редно (серијски) или паралелно. Уколико се ФН панели повезују редно добија се жељени напон, док код паралелног повезивања напон остаје исти.

У раду је приказано решење кровне фотонапонске електране, намењене за паралелан рад са мрежом са садржајем еколошке анализе фотонапонске електране (ФН) у периоду од 25 година. На слици 1. приказани су основни делови фотонапонске електране.

Основне делове неке фотонапонске електране чине: фотонапонски панели, инвертор, конструкција, DC и AC опрема (разводни орман, аутоматски инсталациони осигурач, DC и AC каблови).



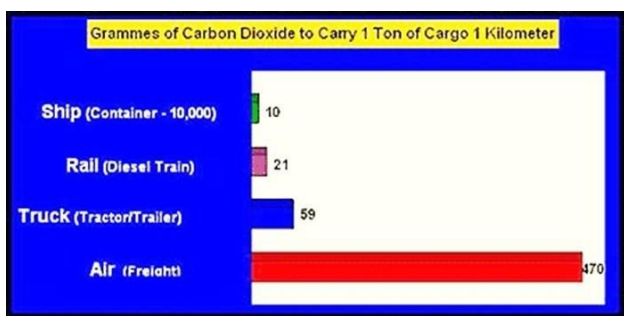
Слика 1. Шема фотонапонског система [1]

**2. ЕМИСИЈА CO<sub>2</sub> ПРИЛИКОМ ИЗГРАДЊЕ ФНЕ**

У прорачунима претварања kWh у kg ослобођеног угљен-диоксида, а на основу извештаја европске компаније "RedSmart" о емисији гасова стаклене баште, коришћен је фактори конверзије чија средња вредност износи 0,23314 kgCO<sub>2</sub> уштеде за сваки kWh у производњи делова фотонапонске електране [4]. Фактор се темељи на емисији угљен-диоксида коју генеришу европске електране по произведеном kWh.

Овај фактор укључује и друге гасове стаклене баште, попут метана и оксида кисеоника, који се претварају у њихове еквиваленте CO<sub>2</sub>. Емисија израчунава се као удео емисије CO<sub>2</sub> из мрежне производње електричне енергије и бруто производње електричне енергије (kgCO<sub>2</sub>/kWh). За факторе конверзије, у зависности од начина транспорта, узети су подаци где се емисија изражава у грамама приликом транспорта 1t терета за

пређени 1 km. На слици 2. приказана је емисија за сваки вид транспорта који се користи приликом изградње фотонапонске електране.



Слика 2. Количина емисије угљен-диоксида према врсти транспорта [1]

Попречни пресек једног типичног фотонапонског панела, ма ког типа био чине: заштитно стакло као први слој тј. SiO<sub>2</sub>, које штити ћелију од спољашњих утицаја. Испод је антирефлектујући слој који смањује рефлексију светлости и обезбеђује да што више енергије доспе до полупроводника (повећава се искоришћење ћелије). Затим се налази систем транспарентних електрода, тзв. TCO. Он контактира полупроводник са "pn" спојем у коме се врши захватање фотона Сунчеве светлости. Са доње стране је метализација - задњи контакт. Емисија угљен-диоксида за производњу сваког слоја панела приказана је у табели 1.

Табела 1. Потрошња електричне енергије за производњу појединачних елемента панела

Naziv sloja panela	Utrošena energija u kWh	Emisija CO <sub>2</sub> u kgCO <sub>2</sub>
Zaštitno staklo	13,11	3,05
Antireflektujući sloj	136	31,7
Kontaktna rešetka	122,31	28,5
PN sloj	23,04	5,37
Wafer	332,2	77,4
Zadnji kontakt	83,05	19,35
Okvir	27,3	6,36

За производњу једног фотонапонског панела утрошено је 737,01 kWh електричне енергије, а емисија CO<sub>2</sub> износи 171,73 kgCO<sub>2</sub>. Нису ни обновљиви извори вечни већ имају свој животни век. Рециклажа представља основни вид трансформације у сфери одрживог развоја. Две најчешће врсте фотонапонских панела које се рециклирају јесу силицијумски и панели од танког филма. Рециклирање фотонапонских панела се врши са роботима и представља примарно постројење за рециклажу за панеле "кристалног силикона".

Типични кристални силицијумски панел чине стакло (65-75%), алуминијумски рам (10-15%), пластика (10%) и силицијум (3-5%) [1]. Фабрике за рециклажу чине процеси разбијања, сортирања, обрађивања и рециклирања материјала. Након сортирања и паковања материјала, они се даље шаљу у различите индустрије за поновно коришћење. 2/3 стакла се

рециклира и постаје вретено, које се шаље индустрији стакла, алуминијумски рам се шаље у алуминијумску рафинерију, а отпадна пластика се може користити као гориво у цементној бази, док се силицијум може користити у индустрији племенитих метала.

Истраживачке студије спроведене на тему рециклаже фотонапонских панела доказале су да данашњи поступци достижу до 96% ефикасности рециклирања, али да се тежи и да се тај проценат подигне.

Међутим, количина фотонапонских панела која се рециклира јесте свега 10% од укупне количине, док 90% завршава на депонијама. Проблем рециклаже настаје сигурно и због високе цене по панелу која износи од 12-15 \$ [5].

### 3. ФОТОНАПОНСКА ЕЛЕКТРАНА

Тачна локација објекта на коме се планира постављање панела је 45°12'5'' N, 19°44'55'' E. Кров је окренут у правцу исток-запад, а површина износи по 86,4 m<sup>2</sup> за сваку страну, односно укупно 172,8 m<sup>2</sup>.

Нагибни угао крова, а самим тим и фотонапонских панела, износи 32°, што је незнатно одступање од оптималног угла за ову локацију који износи 33° [3]. Изабрани панели су ознаке YGE 60 Cell Series 2 Black Silicon, појединачне снаге 275 W<sub>p</sub>.

Максималан број панела који су постављени на кров је 96, и тада снага електране износи 26,4 kW<sub>p</sub>. Номинална снага одабраног инвертора је 22,7 kW а коефицијент инвертора износи 1,163. Због двоводног крова урађена су два прорачуна у "PVGIS"-у (табела 2.).

Табела 2. Глобално зрачење на локацији

Mesec	Prosečno dnevno zračenje [kWh/m <sup>2</sup> ]	Prosečno mesečno zračenje [kWh/m <sup>2</sup> ]
Januar	2,14	66,20
Februar	3,52	98,70
Mart	6,65	206
April	8,83	164
Maj	10,37	322
Jun	11,39	341
Jul	11,90	368
Avgust	10,47	325
Septembar	7,45	224
Oktobar	5,19	160,90
Novembar	2,90	97
Decembar	1,76	54,6
Ukupno godišnje (H)	2520	

Подаци који су унети за западну страну су инсталисана снага панела 12,65 kWh, губици 10%, нагибни угао 32° и азимутни угао 90°. Подаци који су унети за источну страну су инсталисана снага панела 12,65 kWh, губици 10%, нагибни угао 32° и азимутни угао -90°.

За прорачун максималног броја панела у низу потребан је напон празног хода где као каталожке податке узимамо U<sub>PH,STC</sub> и β<sub>PH</sub>.

Температура  $t_{\min}$  је узета као минимална температура за ову област ( $-20^{\circ}\text{C}$ ), а зависност напона од температуре је обрнуто пропорционалан. Максималан број панела у низу износи 23. За прорачун минималног броја панела у низу потребан је напон у тачки максималне снаге где као каталожке податке узимамо  $U_{\text{TMS,STC}}$  и  $\beta_{\text{TMS}}$ . Температура  $t_{\max}$  је узета као максимална температура за ову област ( $70^{\circ}\text{C}$ ), а зависност напона од температуре је обрнуто пропорционалан.

Минималан број панела у низу је 20. За прорачун оптималног броја панела који се могу повезати у један низ као каталожке податке коришћен је  $U_{\text{FNN}}$  називни улазни напон инвертора који износи 720 V и  $U_{\text{TMS}}$  напон панела у тачки максималне снаге при NOCT условима (Normal Operation Cell Temperature) који износи 28,20 A.

Оптималан број панела у низу износи 25. За прорачун максималног броја низова који се могу повезати на један независан МПП улаз као каталожке податке коришћен је  $I_{\text{KS}}$ , струју кратког споја панела (при STC условима) која износи 9,35 A и  $\alpha_{\text{KS}}$  температурски коефицијент струје панела а који су да ти као каталожки подаци. Максималан број низова који се могу повезати на један МПП улаз износи 3.

### 3.1. ИЗБОР АС/DC ОПРЕМЕ

За прорачун површине попречног пресека кабла потребно је најпре израчунати дужину кабла једног низа, затим струју кратког споја фотонапонског панела где каталожки податак  $I_{\text{KS, STC}}$  струју кратког споја панела (при STC условима) која износи 9,35 A, множимо са 1,25 што представља сунчево зрачење које се у реалним условима никада или ретко достиже. Такође је потребно израчунати дозвољену трајну струју фотонапонског низа чији је прорачун детаљно описан након наредних формула.

#### 3.1.1. Попречни пресек DC каблова

Одабиром Б тип развода за DC каблова електричног развода изоловани проводници у инсталационој цеви на зиду, типа изолације умрежени полиетилен, број проводника је 2 и прве веће вредности од добијене дозвољене трајне струје фотонапонског низа 23 A

добија се површину попречног пресека кабла за дозвољену трајну струју низа  $S_1 = 1,50 \text{ mm}^2$ . Због прелаза са попречног пресека кабла фотонапонског панела од  $4 \text{ mm}^2$  на кабел фотонапонског низа, а да би се спречило прегоревање кабла, вредност површине попречног пресека кабла фотонапонског низа за дозвољену трајну струју низа се повећава на  $4 \text{ mm}^2$ .

За прорачун пада напона и пада снаге, који износе по 0,32%, у зависности од површине попречног пресека кабла низа коришћена је најдужи кабл који износи 70 m.  $I_{\text{TMS, STC}}$  струју панела у тачки максималне снаге (за STC услове), као каталожки податак, износи 8,9 A. Усвојена је површину попречног пресека кабла из претходних прорачуна која износи  $4 \text{ mm}^2$  и K електричне проводљивости бабра која износи 56.

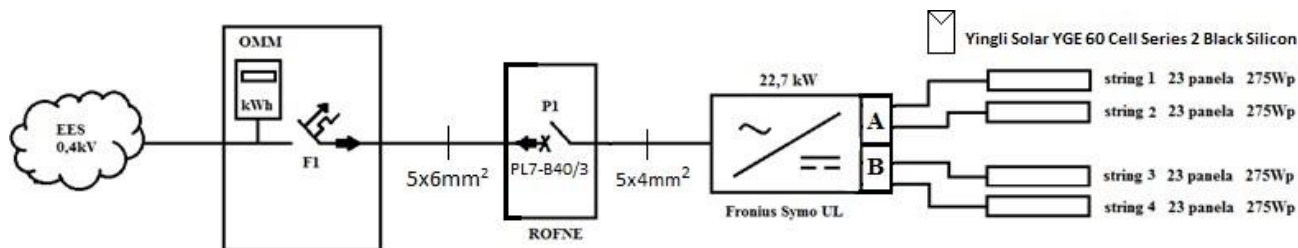
#### 3.1.2. Попречни пресек АС каблова

Кабл од ОММ до РОФНЕ је постављен у земљу, и тај развод одговара разводу Д типа (вишежилни кабл у кабловицама у земљи). Кабл је од умреженог полиетилена и проводника од бабра попречног пресека  $4 \text{ mm}^2$  који задовољава услове јер његова трајно дозвољена струја износи 37 A.

Други кабл који је узет у обзир је од умреженог полиетилена и проводника од бабра попречног пресека  $6 \text{ mm}^2$  јер и његова трајно дозвољена струја од 46 A задовољава услове. Кабл од РОФНЕ до инвертора је постављен по регалном разводу и тај развод одговара развод типу Ф. Кабл је од умреженог полиетилена и проводника од бабра попречног пресека  $4 \text{ mm}^2$  задовољава услове јер његова трајно дозвољена струја износи 42 A.

Изабрани кабл на траси ОММ-РОФНА полаже се у земљу до аутоматског инсталационог прекидача који се поставља са спољашње стране приземља у који је постављен кабел на траси РОФНЕ-инвертор (слика 3.). Аутоматски инсталациони прекидач се поставља са спољашње стране првенствено због уштеде времена приласку корисника самом осигурачу.

Каблом се од осигурача даље, путем лимених подлога поставља до места постављања инвертора. Приликом одабира каблова гледа се да они задовољавају аспекте трајно дозвољене струје и пада напона.



Слика 3. Блок шема фотонапонске електране

## 4. РЕЗУЛТАТИ

За анализирану фотонапонску електрану која садржи 92 панела, потрошња за њихову производњу износи 67.804,92 kWh електричне енергије, а ослободи се 15.799,16 kgCO<sub>2</sub>. Укупна емисија угљен-диоксида за производњу, транспорт, монтажу, демонтажу и

рециклажу фотонапонске електране износи 36.084,69 kgCO<sub>2</sub> (табела 3.), док је укупна процењена производња прве године 24.700 kWh.

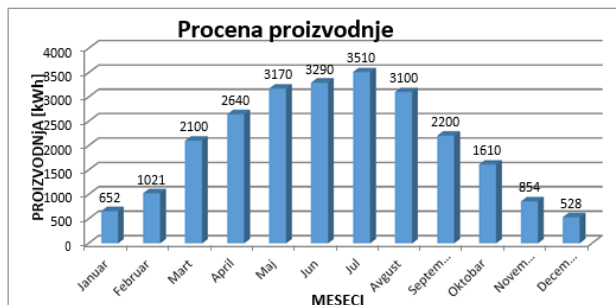
Највише емисије угљен диоксида ослободи се за производњу ФН панела, а најмање за монтажу и демонтажу АС и DC опреме.

С обзиром да је фотонапонска електрана “зелени” извор енергије и да у току свог радног века не емитује угљен-диоксид, претходно наведена количина представља уједно и укупну количину емисије у животном веку електране. За просечан радни век од 25 година фотонапонска електрана произведе 568.310 kWh електричне енергије. Исту ову количину електричне енергије термоелектрана произведе ослобађајући угљен-диоксид у количини од 710.387 kgCO<sub>2</sub> (1,25 kgCO<sub>2</sub>/kWh) [2].

Табела 3. Емисија CO<sub>2</sub> по склоповима електране

	PANELI	KONSTRUKCIJA	INVERTOR (два)	AC/DC OPREMA	
				RAZVODNI ORMAN	KABLOVI
Proizvodnja (kgCO <sub>2</sub> )	15.799,16	1.187,58	944,08	741,46	3.331,71
Transport (kgCO <sub>2</sub> )	317,39	14,43	3,86	1,3	0,3
Montaža i demontaža (kgCO <sub>2</sub> )	1,04	6,42	0,12	0,12	0,03
Reciklaža (kgCO <sub>2</sub> )	13.547,92	75,17	-	18,261	0,48
Transport do reciklaže (kgCO <sub>2</sub> )	78,33	6,68	6,66	1,98	0,27
Ukupno					
			86.084,69		

Специфична производња фотонапонске електране представља однос процењене производње електране (слика 4.) која износи 24.700 kWh и стварне снаге електране која износи 25,30 kW<sub>p</sub>. Количина енергије која се добије овим прорачуном износи 976,28 kWh/kW<sub>p</sub>.



Слика 4. Процена производње електране

## 5. ЗАКЉУЧАК

Укупна емисија угљен-диоксида која се уштеди изградњом предметне фотонапонске електране представља разлику количине емисије коју ослободи просечна електрана, умањена за емисију гасова која се ослободи приликом производње, изградње и демонтаже и рециклаже електране, износи 674.302 kgCO<sub>2</sub>. Специфична уштеда емисије угљен-диоксида по инсталисаној снази износи 26,65 kgCO<sub>2</sub>/kW<sub>p</sub>. Специфична уштеда емисије, без обзира на снагу електране, одговара овом односу. Сама електрична енергија произведена из термоелектране захтева емисију угљен-диоксида приближно 20 пута већу у односу на ону која се ослободи из изградње фотонапонске електране.

## 6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Д. Стојићевић, „Развој равних топлотних сунчевих пријемника, са аспекта повећања енергетске ефикасности“, Докторска дисертација, Технички факултет „Михајло Пупин“, Универзитет у Новом Саду, Зрењанин, 2005
- [2] „Прорачун специфичне емисије угљен-диоксида из термоелектрана Никола Тесла А и Б“, Институт за нуклеарне науке “Винча”, Универзитет у Београду
- [3] <https://ec.europa.eu/jrc/en/pvgis>
- [4] <https://www.rensmart.com/Calculators/KWH-to-CO2>
- [5] Семинарски рад „Фотонапонски панели фотонапонске електране ФТН-а“, студента Чистих енергетских технологија, генерација 2014.

## Кратка биографија:



**Никола Арсенић** рођен је 1995. године у Новом Саду. 2014. године уписује Факултет техничких наука, смер Чисте енергетске технологије. Мастер академске студије наставља на смеру Чисте енергетске технологије.  
контакт:  
arsenovic.nikola95@gmail.com