

INTEGRACIJA FOTONAPONSKIH MODULA U FASADNI OMOTAČ ZGRADE

Dubravka Jovanović¹, Danijela Đurić-Mijović²

Rezime: Fotonaponski (FN) modul predstavlja veliku inovaciju 20-tog veka. Usavršavanje načina izrade dovodi do sve češće implementacije u arhitekturi i podstiče razvoj i upotrebu obnovljivih izvora energije. U ovom radu dat je prikaz različitih vrsta modula i konstrukcijskih karakteristika panela koji se mogu koristiti na fasadama objekata.

Ključne reči: Fotonaponski modul, paneli, fasada, energija, svetlost.

Abstract: Photovoltaic (PV) module is a great innovation of the 20th century. The improvement of construction method leads to a more frequent implementation in architecture and encourages the development and use of renewable energy sources. The paper gives an overview of different types of modules and structural characteristics of panels that can be used on the façades.

Key words: Photovoltaic panels, facade, energy, light.

¹ Inženjer arhitekture, BSc, Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu, Srbija

² Asistent, Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu, Srbija

1 UVOD

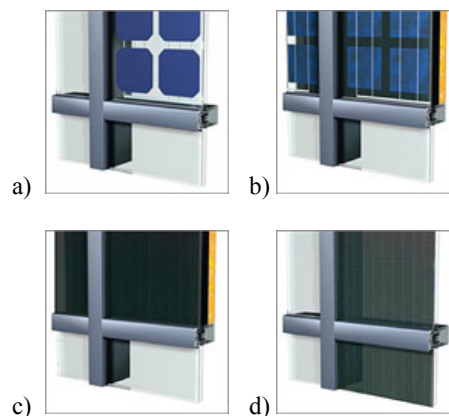
Za oblaganje savremenih objekata pored tradicionalnih materijala [1] koji se koriste od davnina, sve češće je fasadni omotač izrađen od materijala visoke tehnologije. Takvi su i fotonaponski (FN) moduli odnosno FN paneli, koji se mogu koristiti za oblaganje dela fasade ali i celokupnih fasadnih i krovnih površina.

Arhitektonska, konstrukcijska i estetska integracija FN panela u objekte (eng. BIPV- Building Integrated Photovoltaic) jedna je od rastućih grana industrije obnovljivih izvora energije. Budućnost je u nastojanju da se solarna energija utka u objekte svakodnevne upotrebe kao što su stambeni objekti, škole i kancelarije.

Proizvodnja električne energije uz pomoć fotonaponskih ćelija ima daleko manji uticaj na životnu sredinu nego tradicionalni metodi kojima se ona proizvodi (termo elektrane, nuklearne elektrane). Za vreme funkcionisanja, FN ćelije ne koriste nijedno drugo gorivo izuzev sunčeve svetlosti, ne ispuštaju nijedan zagađivač atmosfere ili vode, i ne zahtevaju hladjenje vodom. Za razliku od fosilnih goriva (uglja, nafte, prirodnog gasa) kojima se snabdevaju elektrane, foto ćelije ne doprinose globalnom zagrevanju ili kiselim kišama. Jedini negativan uticaj na sredinu koji foto ćelije mogu imati, jeste u procesu njihove proizvodnje kada se koriste pojedini otrovni elementi kao i velike površine zemljišta koje se koristi za njihovo masovnije instaliranje [2].

Solarni moduli mogu biti integrisani u omotač zgrade u takozvanim "zid zavesama", strukturalnim ili polustrukturalnim fasadama, dvostrukim fasadama [3] (sl. 1), itd. Moduli mogu zameniti tradicionalne materijale za oblaganje površina (mermer, granit...) ali i prozorska stakla. Za tu namenu proizvode se kao laminirana stakla (sa amorfnim ćelijama i kistalinom) i dvostruka stakla sa izolacionim termalnim i akustičnim osobinama. Razvodna kutija i instalacije se nalaze unutar ili iza ramova prozora [4].

Primena fotonaponskih izvora električne energije moguća je nezavisno od broja sunčanih dana u godini u primorskim i u kontinentalnim krajevima.

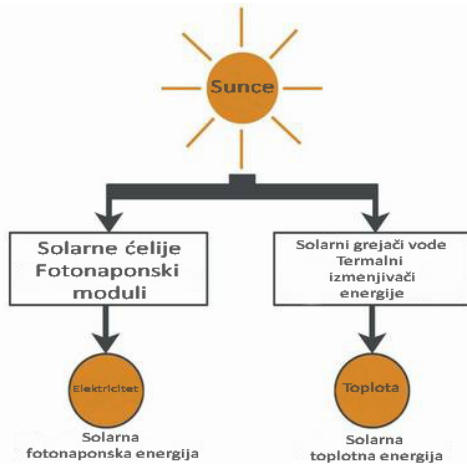


Slika 1- a) monokristalne ćelije na ramu, b) polikristalne ćelije, c, d) tankoslojna folija - amorfne ćelije

Sama reč fotonaponski (eng. Photovoltaic - PV) se sastoji od dva termina: foto što znači svetlo i napon od reči voltaic, koja označava jedinicu za merenje električnog potencijala u datom trenutku.

Ovi solarni sistemi koriste ćelije za pretvaranje sunčeve svetlosti u električnu struju, za razliku od solarnih toplotnih panela, gde sistem generiše svetlost i proizvodi toplotu koja se može koristiti za grejanje vode ili vazduha. Oba koriste sunčevo zračenje iako je tehnologija potpuno drugačija (sl. 2).

Fotonaponska tehnologija je originalno razvijena u Bell-ovoj laboratoriji u SAD sredinom pedesetih godina dvadesetog veka. Sve do sredine sedamdesetih godina, osnovna primena fotonaponskih ćelija bila je na satelitima i objektima u udaljenim područjima bez pristupa mrežama električne energije (polarne stanice, brodovi, jahte, vikendice). Baziranost na istoj tehnologiji koja se koristi u tranzistorima i kompjuterskim čipovima, kao i poboljšanja postignuta poslednjih dvadesetak godina dovela su do toga da se cena FN ćelija spusti i do 20 puta, što omogućava širu primenu ovog sistema. Tada nastaju fotonaponski moduli specijalno dizajnirani da budu integrisani u fasade objekata i kao takvi postaju komercijalno dostupni.



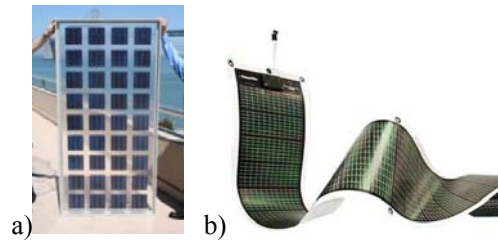
Slika 2 - Poređenje FN i solarnih toplotnih kolektora

2 VRSTE FN MODULA

Osnovni element FN modula je solarna ćelija koja može biti napravljena od različitih poluprovodničkih materijala, najčešće silicijuma. Boja i izgled FN modula zavisi od sastava ćelija [5].

Postoje dve osnovne vrste FN modula: moduli napravljeni od ćelija silicijuma kristalne strukture (monokristalne i polikristalne) i od ćelija amornog silicijuma (a-Si).

Monokristalne, predstavljaju prvu generaciju solarnih ćelija, veoma su efikasne ali i skupe. Mogu se prepoznati po crnoj boji. Polikristalne zahtevaju niže troškove proizvodnje ali su manje efikasne i imaju plavu, sjajnu boju [5]. Mogu biti polu-transparentne i neprozirne (sl. 3a). Amorfne ćelije su najmodernije i najmanje delotvorne. Prepoznaju se po braon polutransparentnoj boji ali mogu biti i netransparentne. Najčešći materijali koji se upotrebljavaju kod tankih folija su a-Si (amorfni silicijum), CIS (bakar indijum diselenid) i CdTe (kadmijum telurid). Posebnom tehnikom se vrlo tanki slojevi amornog silicijuma (0,3 do 1 mikrona u odnosu na 500 mikrona za druge vrste) nanose na fleksibilne plastične površine što ih čini posebno unapređenim površinama jer ne postoji opasnost od sakupljanja prljavštine na ivicama rama, pa su pogodni za pokrivanje krovova (sl.3b). Upotrebom antireflektujućih premaza mogu se dobiti različite boje – zlatna, čelično plava, tamno plava, roze, zelena, pružajući arhitektama fleksibilnost u izboru i uklapanju u okruženje.



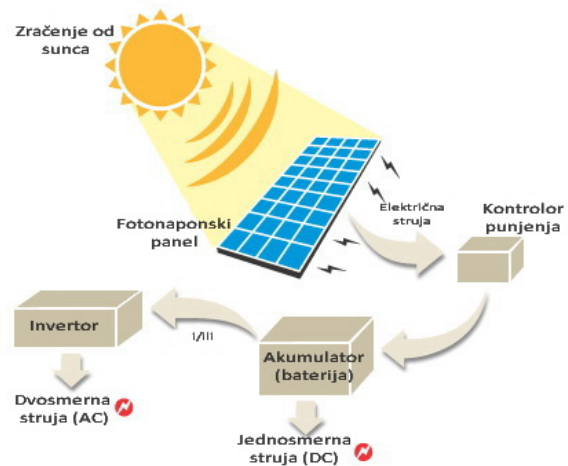
Slika 3- a) panel od polikristalnih ćelija, b) izgled tankoslojne folije

Standardne komponente fotonaponskih sistema su fotonaponski moduli, kontroleri punjenja akumulatora, akumulatori, provodnici i noseći sistemi (sl. 4). Za dobijanje napona od 220 volti koristi se uređaj koji se zove inverter i koji pretvara jednosmernu struju iz akumulatora u naizmeničnu odgovarajućeg napona.

Broj modula i kapacitet akumulatora se određuju prema potrebama potrošača koji će se priključiti na fotonaponski sistem.

U zavisnosti od načina rada postoje dve vrste FN sistema. To su:

- samostalni, za čiji rad mreža nije potrebna i
- mrežni, spojeni na električnu mrežu.



Slika 4- Komponente FN sistema

Samostalni sistemi ne zahtevaju povezivanje sa elektro mrežom. To ih čini pogodnim za upotrebu u udaljenim ili izolovanim oblastima. Mrežni se dele na pasivne i aktivne. Pasivni sistemi električnu mrežu koriste u razdobljima kada moduli ne mogu da proizvedu dovoljnu količinu energije ili noću kada su akumulatori prazni. Aktivni ili interaktivni sistemi uzimaju struju u slučaju većih potreba ili je predaju mreži u slučaju prekomerne proizvodnje.

3 PROJEKTOVANJE FN SISTEMA

U fazi projektovanja, pri dimenzionisanju sistema, sa ciljem da se postigne najveća moguća iskorišćenost kapaciteta FN panela, moraju se razmotriti različiti faktori. Dva najvažnija su klimatski uslovi odnosno količina sunčevog zračenja i količina potrebne energije odnosno izlazne snage.

3.1 INSOLACIJA

U zavisnosti od strukture silicijumovih kristala određuje se količina i kvalitet svetla koji će uticati na izlaznu snagu sistema.

Tankoslojne folije primenljive su na fasadama i krovovima orijentisanim prema severu ili istoku. Amorfne ćelije koje se koriste kod tankoslojnih folija bolje generišu difuzno svetlo kada je oblačno, u sumrak ili u senci, dok je direktno svetlo potrebno modulima od polikristalnih ili monokristalnih ćelija koji se optimalno orijentišu u pravcu jug-jugoistok-jugozapad. Nijednom od njih ne odgovara pregrevanje pa se u tu svrhu moduli prave sa provetrenom pregradom.

3.2 ELEKTRIČNE KARAKTERISTIKE MODULA

Električne karakteristike važne za FN module su sažete u odnosu između struje elektrona i izlaznog napona. Količina i intenzitet insolacije kontrolišu struju (I), temperatura solarnih ćelija utiče na napon (V) FN modula. Model I-V krive (dat u katalogu proizvođača) projektantima obezbeđuje informacije potrebne za odabir kapaciteta sistema u odnosu na potrebe potrošača.

Dimenzionisanje fotonaponskih izvora električne energije zavisi od specifičnih potreba potrošača. Pri dimenzionisanju treba izračunati potrošnju tako što snagu pojedinih potrošača pomnožimo sa dnevnim vremenom upotrebe odnosno brojem sati. Tako se dobija ukupna količina električne energije potrebna za određeni objekat [6]. Jedan fotonaponski modul je sastavljen od više ćelija i najčešće obezbeđuje napon od 12 ili 24 volta a jedna ćelija uvek daje napon od oko 0.5 volta, a dimenzija je 100x100 mm [5].

4 PRIMERI U SVETSKOJ PRAKSI

Dva dobra primera solarnih fasada se mogu naći u Mančesteru u Velikoj Britaniji. Zgrada društva za osiguranje je toranj visok 118 m (sl. 5a), prvobitno izgrađen 1960. , ali 2005. god. dobija kompletnu rekonstrukciju, uključujući i najveći svetski vertikalno integrisan FN sistem. Instaliran je od strane Solarcentury kompanije koristeći module od 80 vati firme Šarp (Sharp's 80W). Ovi solarni paneli godišnje stvaraju dovoljno električne energije potrebne za napajanje 60 kuća za narednih 305 godina i na taj način smanjuje ispuštanje preko 100 tona ugljen-dioksida godišnje,.

Uspeh ovog projekta uticao je i na biblioteku kampusa na Koledžu za umetnost i tehnologiju (MANCAT) u Mančesteru (sl.5b), gde su fotonaponski paneli integrisani u fasadu objekta. Na važnost ovakvih investicija u održivi razvoj skrenuta je pažnja javnosti dodelom nagrade britanskog Kraljevskog društva arhitekata za najbolju zgradu 2006. godine[7].



Slika 5 – a) Solarna obloga na kuli u Mančesteru, b) Biblioteka koledža u Mančesteru

Primer stadiona u Tajvanu (sl. 6) podiže stvari na potpuno nov nivo. Tajvan je uložio 152 miliona dolara u Nacionalni stadion, koji je bio domaćin Svetskih igara 2009. godine. Za manje od mesec dana pre otvaranja, izgradnja arene arhitekta Tojo Itoa je završena postavljanjem obloge od 8.844 fotonaponskih panela. Pri optimalnom osunčanju, solarni paneli pokrivaju oko 75 odsto energetske potrebe stadiona, a danima kada je objekat van upotrebe, generisana električna energija se

jednostavno unosi u električnu mrežu u cilju pomoći lokalnoj zajednici [8].



Slika 6- Stadion na Tajvanu sa 14 155 m² krova pokrivenog FN panelima

Na Lehrter železničkoj stanici u Berlinu (sl. 7a) ugrađeni su moduli od polikristalina proizvođača Šojten Solar (Scheuten Solar). Zbog zakrivljenog oblika, svaki od modula je morao da bude izrađen po meri da bi se smestio u čelični okvir nadstrešnice. Na primeru stanice u Njujorku (sl. 7b) na zakrivljenom krovu su korišćene tankoslojne folije koje su pogodnije za upotrebu na ovakvim površinama.

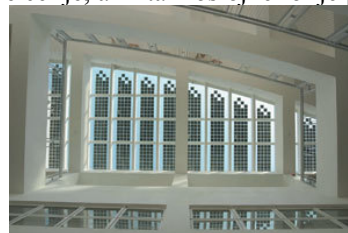


Slika 7 – a) Polikristalni moduli na železničkoj stanici Lehrter u Berlin, b) Fotonaponske ćelije u obliku tankoslojne folije na krovu renovirane Stilluell stanice u Njujorku

Zahvaljujući modularnim merama silicijumovih modula i njihovom rasporedu na FN panelima, može se postići različita transparentnost fasadne obloge, i projektovati se tako da propušta manje ili više svetlosti. I dok gušći raspored povećava generisanje električne energije po jedinici površine (što ih čini veoma skupim) veći razmak između ćelija smanjuje cenu po kvadratnom metru. Ovo predstavlja značajnu karakteristiku jer se mogu upotrebiti uz ne tako velike finansijske investicije i kod manjih objekata kojima se pruža prilika da učestvuju u svetskoj trci za što većom i celokupnijom upotrebom obnovljivih izvora energije.

Takav primer je Ma Van škola u Hong Kongu (sl.8). Ovde su ćelije polikristala raspoređene tako da se omoguću 65%-tna transparentnost a šare na ivicama modula pružaju atraktivan izgled. Pored solarnog krova, Ma Van škola ima još površina sa montiranim

FN panelnim sistemima, gde su korišćene silicijumove ćelije, ali i tankoslojne folije [7].



Slika 8 - Solarni svetlarnik na stepeništu Ma Van škole u Hong Kongu

Nedostatak je nizak stepen iskorišćenja koji iznosi od 10% do 25%. Drugi je tzv. niska energetska isplativost. Naime, izrada silicijumskih ćelija zahteva veliki utrošak skupih materijala (Al, Si, Cu) tako da je vreme vraćanja uloženi sredstava oko 20 godina.

Fotonaponski paneli se proizvode po meri, tako da ih projektanti naručuju prema potrebi objekta, a osim dimenzije moguće je izabrati raspored ćelija, transparentnost, pa i boju.

FN paneli mogu biti sastavni deo fasadnog omotača novoizgrađenih objekata, mogu se integrisati u omotač prilikom rekonstrukcije postojećih objekata [9] ali se mogu primeniti i kod objekata kulturnog nasleđa kao što su dvorci, utvrđenja (slika 9), itd.



Slika 9 –Utvrđenje Castello Doria, Porto Venere, Italija

5 ZAKLJUČAK

Zgrade se smatraju najvećim potrošačima električne energije sa učešćem u potrošnji od preko 40 % od ukupne proizvodnje. Iz tog razloga se arhitekta i investitori sve više odlučuju za energiju proizvedenu na ekološki odgovoran način. Fotonaponska

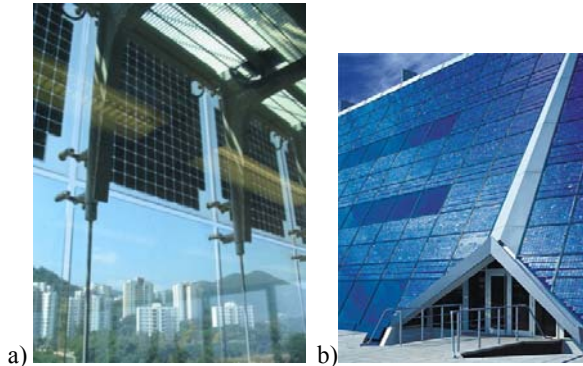
tehnologija predstavlja perspektivan sistem transformišući sunčevo zračenje u električnu energiju i povezujući je na mrežu za masovno korišćenje.

Sa FN modulima, novoizgrađeni ali postojeći objekti dobijaju i značajnu dodatnu vrednost, što čini svako ulaganje u ovu tehnologiju isplativim.

Još uvek se različiti oblici fotonaponskih panela koriste uglavnom na prestižnim objektima, tako da dizajn sistema varira u zavisnosti od potreba tih klijenata. Jedan od važnijih ciljeva u narednih nekoliko godina biće da se primena FN modula sa oblasti prestižnih objekata proširi i na komercijalne i stambene objekte.



Slika 10 - Instalacija FN panela koji se koriste za napajanje LED monitora, Kina



Slika 11 – a) Dvostruka fasada sa FN modulima promenljive zatamnjenosti, Hong Kong, b) Fasada zgrade Doxford international

LITERATURA

- [1] *Tradicionalni materijali u projektovanju savremenih fasada*, J. Prolović, Zbornik radova Građevinsko-arhitektonskog fakulteta, Niš, 2008., br. 23, str. 311-321
 [2] *Solarna arhitektura*, Mirjana Lukić, Naučna knjiga, 1994.

[3] *Dvostruke fasade kao korak ka energetski održivim objektima*, V. Milošević, D.Đ.-Mijović, Nauka+Praksa, br. 13, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Niš, 2010., str. 81-84

[4] <http://www.onyx-solar.com/>

[5] *Design and Construction Possibilities for Photovoltaic Integration in Envelopes of New and Existing Buildings*, A. Krstić, Spatium, br. 15-16, 2007., Beograd, str. 37-43

[6] <http://www.solarna-tehnologija.com/sunceva-energija/proracun-fotonapona/>

[7] *Renewable energy world*, A.Cameron, PV's progress: Growth and potential in the BIPV industry, 2007.

[8] <http://www.focusoft.biz/2009/05/21/taiwans-national-stadium-gets-solar-panel-roof-hug-from-ma-earth>

[9] *Preoblikovanje fasada postojećih objekata sa stanovišta održivog razvoja*, J. Savić, D. Milanović, Nauka+Praksa, br. 13, Građevinsko-arhitektonski fakultet, Niš, 2010., str. 121-124