

# Klasifikacija fotonaponskih sistema integrisanih na omotač zgrade

Ernad Šabanović<sup>1</sup>, Marko Ikić<sup>1</sup>, Slobodan Lubura<sup>1</sup>, Milomir Šoja<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Elektrotehnički fakultet, Istočno Sarajevo, Republika Srpska

**Sažetak**—Posljednjih nekoliko godina velika težnja današnjice u svijetu jeste instalacija fotonaponskih sistema. Kako se ti sistemi uveliko montiraju na različite objekte, postoji sve veće interesovanje da fotonaponski sistemi pored proizvodnje električne energije ujedno i preuzmu ulogu nekog građevinskog dijela objekta kao što je krov, fasada i slično. U ovom radu su predstavljeni i opisani upravo fotonaponski sistemi koji se mogu koristiti u stambenim i poslovnim objektima kao građevinski materijal. Ovakvi fotonaponski sistemi se nazivaju integrisanim fotonaponskim sistemom ili BIPV (*Building Integrated Photovoltaics*). Primjena je danas prisutna na različitim dijelovima objekata, pa različito iskorišćenje ovakvih sistema su tema o kojoj će se razmatrati u nastavku.

**Ključne riječi**—BIPV; fotonaponski sistem (FN); zgradarstvo

## I. UVOD

Povezivanje fotonaponskih (FN) sistema preko kućne instalacije predstavlja budućnost razvoja FN sistema. Naime, fotonaponski sistemi mogu da se ugrade u skoro svaku građevinsku strukturu, od autobuskih stajališta do velikih poslovnih i stambenih zgrada pa čak i u bašte, parkove itd. Ovakvi FN sistemi se nazivaju integrisanim fotonaponskim sistemom ili BIPV što je skraćenica od engleske riječi *Building Integrated Photovoltaics*. Iako tačna prognoza fotonaponskog uticaja u zgradama zahtjeva pažljivu analizu različitih faktora kao što su količina sunčevog zračenja koje dolazi na površinu zgrade, stabilnost i kvalitet električnih instalacija, elektrodistributivne mreže itd., lako je pretpostaviti da ovakva tehnologija ima velike mogućnosti. Čak i u klimatskim uslovima koji se karakterišu osrednjom sunčevom ozračenosti, krov zgrade jednog domaćinstva dovoljan je za postavljanje fotonaponskog sistema koji mu može obezbijediti dovoljno električne energije u toku cijele godine [1].

Prednost integrisanih fotonaponskih modula nad uobičajenim neintegriranim sistemima je u tome što se početni troškovi neutralizuju redukcijom količine utrošenog građevinskog materijala i radne snage potrebne za izgradnju dijela zgrade koga zamjenjuju ovi moduli. Ove prednosti čine integrisane module segmentom fotonaponske industrije koji se najbrže razvija. Pa tako fotonaponski moduli, za razliku od drugih građevinskih materijala, proizvode energiju i stoga pružaju vlasniku mogućnost da povрати početnu investiciju u njihovu ugradnju [2]. Primjena je danas prisutna na različitim dijelovima objekata, kao što su: krovovi, spoljašnji zidovi, polu-transparentne (polu-prozirne) fasade, stakleni krovovi i za sjenčenja.

## II. INTEGRISANI FOTONAPONSKI SISTEMI (BIPV)

Ponekad, kod definicije BIPV sistema postoje više mišljenja. Razlika se ogleda u tome koliko je zapravo FN modul integrisan u građevinskim objektima. Ipak potpuni BIPV sistem predstavlja multifunkcionalan sistem koji uz proizvodnju električne energije mijenja i ustaljene građevinske dijelove. No međutim, danas se često mogu susresti FN sistemi koji ne preuzimaju ulogu građevinskih materijala pa predstavljaju polu-integrirane FN sisteme. Sistemi sa ovakvim kombinacijama se nazivaju primjenjenim FN sistemom ili BAPV (*Building Applied Photovoltaics*), gdje se FN moduli dodaju na već postojeće građevinske objekte. Na Sl. 1. dati su primjeri povećavanja integracije FN modula sa stambenim objektima.



Najmanje integrisan (BAPV sistem)      Više integrisan (BAPV sistem)      Potpuno integrisani (direktno montirani BIPV sistem)

Sl. 1. Primjeri stepena integracije FN sistema na objektima [3]

BIPV sistemi moraju da zadovolje više zahtjeva kako bi bili u mogućnosti zamijeniti standardne građevinske materijale. Pa pored proizvodnje električne energije BIPV moduli moraju pružiti i ostali ugođaj objekta kao što su: termo i hidro izolaciju, zaštitu od Sunca, buke i svjetlosti, kao i bezbjednost. Ako se uzme u obzir sve ove uloge koje bi BIPV moduli trebali preuzeti, cijena ulaganja u ovakve sisteme postaje prihvatljivija, s obzirom da zamjenjuje već pojedine elemente jednog objekta, a pored toga daju besplatnu električnu energiju.

## III. OSNOVNE KATEGORIJE INTEGRISANIH FN SISTEMA

Izgradnja nekog objekta predstavlja uspostavljanje odnosa kontrolisanih unutrašnjih uslova i promjenljive vanjske klime. Potrebno je izgraditi određeni nivo nepropusnosti kako bi se izbjeglo nepotrebno hlađenje ili grijanje prostora zbog infiltracije (nekontrolisane ventilacije) i kako bi se time omogućio efikasan rad ventilacijskog sistema. Pored toga mora se obezbijediti nepropusnost za ulazak vode. U nastavku

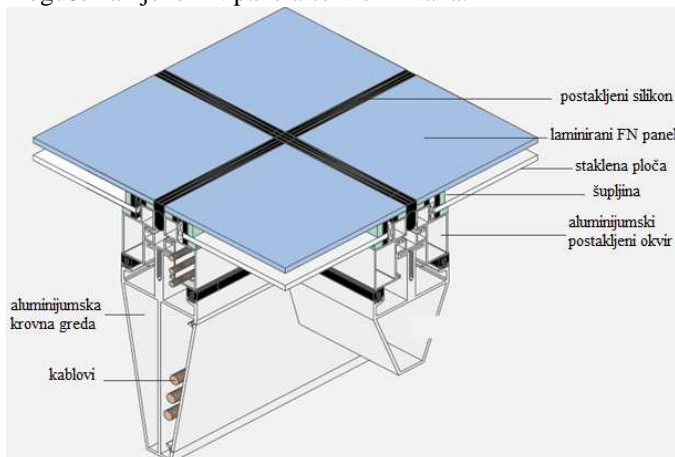
će se nabrojati neki osnovni zahtjevi koje današnji BIPV sistemi moraju riješiti:

- Boja, izgled, veličina,
- Nepropusnost u odnosu na vremenske prilike,
- Otpornost na udare vjetra,
- Trajnost i održavanje,
- Sigurnost prilikom izgradnje i upotrebe (požar, stabilnost i sl.),
- Cijena.

U ovom dijelu rada biće prezentovani svi mogući načini implementacije FN sistema u zgradarstvu.

#### A. Nadstrešnice i krovovi kao integrisani FN sistemi

Stakleni krovovi su karakteristika moderne arhitekture još od sredine 19-og vijeka. Svakako je cilj bio da se dobije što veća vidljivost i osvjtljenje unutar objekta. Međutim, postoji i veliki broj mana koje čine ovakvu izvedbu krovova neefikasnim: gubitak kontrole nad upadnom svjetlošću, gubitak toplote tokom zimskih dana, preveliko zagrijavanje tokom ljetnih dana i moguća značajna oštećenja. FN moduli su idealna zamjena za staklene krovove s obzirom da se dobija slična ili gotova ista izvedba staklenog krova, a pri tome se dobija čista energija i mogućnost kontrolisanja upadne svjetlosti. Pri tome svaki FN modul je ojačan sa dodatnom opremom koja mu omogućuje termički zaštitu, nepropusnost i zaštitu od udara pojedinih predmeta pri slobodnom padu. U ovom slučaju FN paneli se prave u obliku većih ploča koje se montiraju na aluminijsku konstrukciju, Sl. 2. Održavanje ili moguće zamjene FN panela se vrši iz vana.



Sl. 2. Postakljeni FN modul za prozirne ili poluprozirne nadstrešnice i krovove [8]

Krovovi su idealni dijelovi kuća za BIPV sisteme zbog ugla pod kojim se grade, npr. za Europu je to 30°. Zamjenom standardnih krovova sa FN modulima potrebno je obezbijediti nepropusnost kako od kiše i snijega tako i od vjetra pogotovo kod dijelova gdje dolazi do preklapanja pojedinih modula. Alternativa arhitektima jesu moduli sa okvirima, ali se oni izbjegavaju zbog manje atraktivnosti. Mnogo efikasnije, ali i preglednije je koristiti cijelu površinu krova za BIPV sisteme. Plavkasti i crni silicijumski moduli se najčešće koriste kod BIPV sistema na krovove objekata. Ukoliko se postavljaju na već postojeću konstrukciju krova (primjenjeni sistemi, BAPV)

tada se češće koriste TF moduli zbog svoje manje težine. Postoji i mogućnost da se u potpunosti standardni crep zamijeni solarnim crepovima i na taj način da se dobije na efikasnosti i na preglednosti. Na Sl. 3. je dat primjer upotrebe crepova koji u potpunosti mijenjaju standardni crijev, a isto proizvode električnu energiju. Na slici su uzeti primjeri proizvođača *Tesla* koji je u ponudi dao četiri vrste BIPV panela, a koji zapravo mijenjaju izgledom konvencionalne crepove. Ovim načinom se dodatno povećava i ožičenje jer svaki taj solarni crijev će imati svoj priključak, pored toga za svaki se mora obezbijediti i nepropusnost itd. Ipak mnoge firme su prihvatile proizvodnju većih krovnih dijelova (segmenata) u veličini oko 2 m. Mane ovakvih krovnih sistema jeste geometrijska nekompatibilnost, pa je za svaki krov potrebna proizvodnja zasebnog BIPV sistema [4].



Sl. 3. BIPV paneli kompanije *Tesla*

Na prvi pogled uopšte se ne razlikuju od običnih crepova, ali u stvarnosti krov predstavlja jednu ogromnu površinu veze fotonaponskih ćelija. Crepovi će se proizvoditi u četiri dizajna: *Tuscan*, *Smooth*, *Textured* i *Slate*, pa će svaki vlasnik kuće moći odabrati onaj koji mu se najbolje uklapa. Svi su izrađeni od kvarcnog stakla, pa su čvršći od svih postojećih vrsta krovnih obloga i trebali bi trajati “duže od kuće”. Tajna dobrog izgleda crijeva je u tome što su ovakve solarne ćelije prozirne za Sunčeve zrake, a kad ih se promatra iz ljudske perspektive, pod uglom, onda su neprozirne i izgledaju poput crijeva ili šindre. U njima su integrisani fotonaponski kolektor, krovna izolacija, ali kod nekih modela i grijači koji sprečavaju da se na krovu nakuplja snijeg i led, te na taj način nastavljaju proizvoditi električnu energiju i zimi.

#### B. Fasadni BIPV sistemi

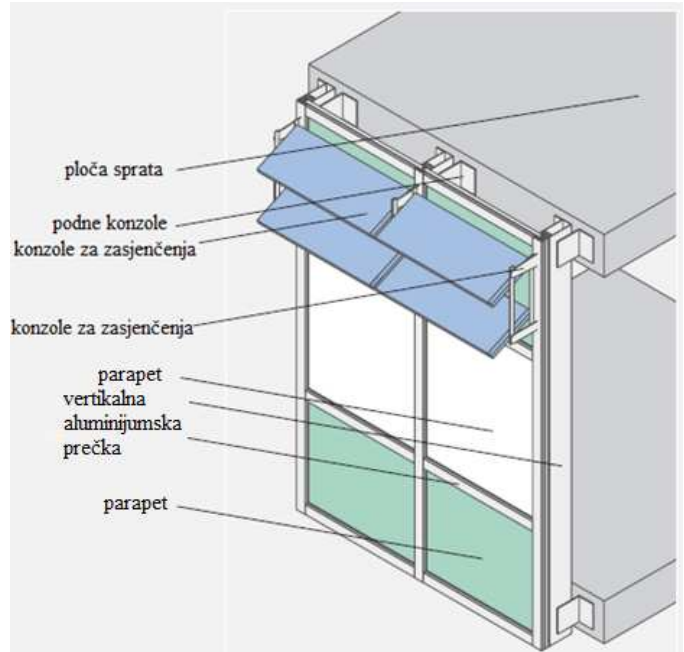
Drugo najznačajnije polje upotrebe BIPV sistema jeste fasadni na kojem se mogu koristiti sve vrste FN modula [1]. Cilj upotrebe fasadnih BIPV sistema jeste višestruka. Potrebno je obezbijediti ravnotežu između dnevne svjetlosti i sjenčenja. Pored toga potrebno je voditi računa o termo izolaciji kao i izgledu kako bi se FN modul upotpuno integrisao u postojeći objekat. Za fasadne izvedbe češće se koriste TF moduli jer su se pokazale puno boljim od silicijumskih jer silicijumski u vertikalnoj izvedbi gube i do 40% moguće prozvedene snage da su u horizontalnom položaju. Ipak ovaj oblik BIPV sistema je dosta složeniji od krovnog i ima dosta više potreba i zahtjeva kako bi se obezbjedila potpuna integracija FN

modula. Klasifikacija različitih fasadnih BIPV sistema se može podijeliti na sljedeći način:

- Za sjenčenja, jednostavan BIPV sistem koji predstavlja dogradnju na već postojeći objekat, ali i dalje posjeduje dvostruku ulogu, ulogu zaštite i generatora električne energije,
- Ovješeni BIPV sistemi se koriste na tradicionalnim građevinskim konstrukcijama,
- Sistem zavjese je vrsta laganog zastora, ali konstruisanog tako da zahtijeva skelu,
- Jedinstveni BIPV sistem nešto slično prethodnom samo ovaj sistem ne zahtijeva nikakve pomoćne objekte (skele i sl.) i ovaj metod se koristi kod jako visokih zgrada,
- Dvoslojna fasada je sistem visokih standarda,
- Nadstrešnice su horizontalne ili nagnute površine na kojima se mogu instalirati FN moduli.

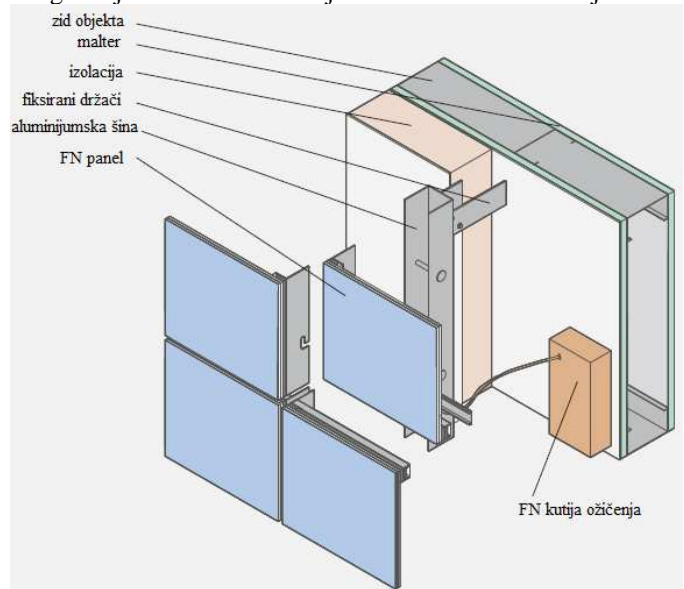
Arhitekti nastoje omogućiti stanarima dovoljno dnevnog svjetla kao i širok pogled prema vani. Rezultat toga jeste velika površina koja dnevno dobija jako velike količine sunčeve energije. Jedan od načina smanjenja upotrebe klima uređaja u prostorijama jeste korištenje za sjenčenja. Ovaj način je danas jako proširen tako da su ga arhitekti uzeli kao osnovu za ovaj problem. Mogu se montirati i horizontalno i vertikalno u blizini ili na udaljenosti od prozora, a neke su izgrađene sa mogućnošću uvlačenja radi čišćenja. Veličina i težina za sjenčenja opet zavise od vrste korištene fasade kao i njihove otpornosti na vjetar, buke i vibracije. Na Sl. 4. dat je primjer ugradnje sjenčenja koje lako mogu biti upotrebljene za FN panele, i to kao ugradbene (BAPV) ili u potpunosti da zamijene i građevinsku ulogu pored generatorske (BIPV). Kao nosači se mogu koristiti metal, drvo i plastika, ali bi bila otežana izvedba uvlačivih zbog mogućih oštećenja, osim ako postoji određeni zaštitni okvir FN panela. Pri projektovanju potrebno je izgraditi takav sistem da ne postoji međusobno zasjenjivanje i efikasnije je da svaki prozor ima svoj zasjenjivač. Ukoliko su udaljeni dovoljno od prozora bilo bi dobro ugraditi i vodilice koje bi olakšale održavanje i čišćenje. Kako postoje automatski zasjenjivači koji prate sjenu i time podešavaju svoju poziciju, tako je moguće ugraditi i u integrisane FN panele na zasjenjivačima samo bi sada pratile sjaj Sunca. Okvirovi mogu poslužiti i kao nosači kablova, tako da je ožičenje FN panela pojednostavljeno.

Ovješene ploče na fasadama posjeduju dvoslojnu zaštitu od vjetra i kiše i one su odvojene zračnom šupljinom. Vanjski sloj ima ulogu sprječavanja prodora kiše, i time unutrašnji sloj sa zračnom barijerom ostaje suh. Taj unutrašnji sloj se može izgraditi od bilo kojeg materijala, npr. betona, opeke ili nekog metala. Sloj izolacije nalazi se na stražnjoj strani vanjskog zida i na njemu se nalaze membrane za paru i za nepropusnost vode. Glavni nosači su pričvršćeni na stijenkku objekta. Na ovaj način je spriječen prodor sunčevog zračenja, teške vlage koje mogu naštetiti samoj fasadi objekta. Uz nove zgrade, ovaj način oblaganja fasade se često koristi i kod zamjene ili restauracije starih fasada koje su izgubile svoju ulogu i na taj način se uspješno može vratiti efikasnost izolacije fasade bez uklanjanja objekta.



Sl. 4. Primjer ugradnje za sjenčenja iznad prozora [6]

Stoga ovakvi sistemi su pogodni za integraciju FN panela. U slučaju da već konstrukcija postoji ugradnja FN panela bi bila još jednostavnija. I pored toga ventilacija koja se dobija ovim sistemom omogućuje hlađenje i održavanje radne temperature panela. Metalne ploče mogu poslužiti za ugradnju FN panela tako da se mogu prilagoditi oblik i veličina, a i pored toga čvrstoća. Kutija za ožičenje se može smjestiti iza ploče u dijelu gdje ne može doći vlaga. Na Sl. 5. dat je primjer integrisanja FN sistema u ovaj sistem zaštite fasada objekta.



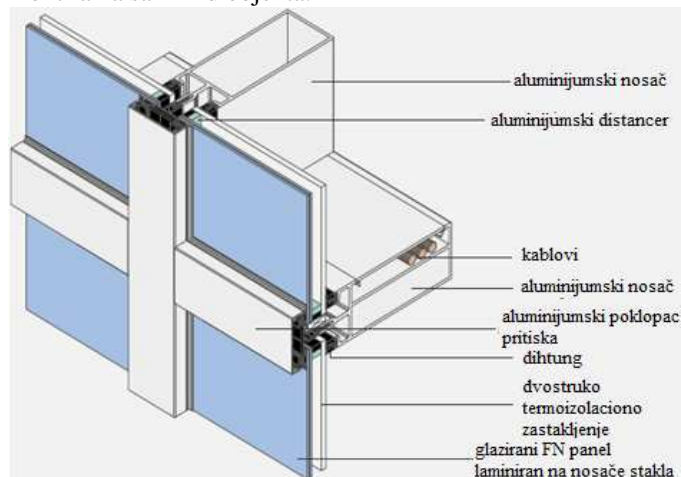
Sl. 5. Primjer integrisanja FN panela na visećoj zid-zavjesi [6]

Kako bi priključna kutija dodatno bila zaštićena moguće je uraditi zaštitu nadpritiska tako što bi se pritisak u ploči izjednačio sa pritiskom vani i tako spriječio mogući prodor vode. Ovakvi sistemi se koriste najčešće za jako visoke zgrade. U ovom slučaju FN fasada može ostati bez čišćenja s



obzirom da kada kiša pada ujedno i sapire površinu FN panela. Ipak u nekim sredinama kiša često ostavlja iza sebe dosta prašine, pa je tu potrebno čišćenje panela, ali je shodno vertikalnom položaju to vrlo jednostavno. Održavanje ili eventualna zamjena FN modula je također jednostavna jer se svim FN komponentama može pristupiti izvana. Demontaža modula je jako brza i postiže se jednostavnim otključavanjem pričvrštnih nosača.

Zidne zavjese se mogu podijeliti u dvije grupe: štapni i jedinstvene ploče. Štapni sistem obuhvata mnoge dijelove koje se dovlače do radilišta i na licu mjesta se sve te komponente montiraju. Ovakvi sistemi se najčešće koriste kod niskih zgrada. Ne preporučuju se za visoke zgrade jer zahtijevaju skelu kako bi se montirale. Ovaj oblik gradnje se oslanja uveliko na radnu i stručnu snagu budući da se montiraju na licu mjesta, a ne u tvornici. Kod sistema jedinstvene ploče postoje velike ploče već postakljene i spremne za brzu montažu, što je dosta jednostavnije i praktičnije [6]. U ovim oblicima fasada se mogu jednostavno ugrađivati i FN paneli. Umjesto staklenih jedinica mogu se koristiti prozirni ili neprozirni, jednostruko ili dvostruko glazirani FN paneli. Što znači da se ti FN paneli mogu montirati kao i staklene ploče. Ako bi se FN paneli ugrađivali u vidni prostor fasadne zavjese tada bi se laminirali na staklene nosače. Kako bi se izbjeglo lomljenje stakla uslijed toplotnog udara stakleni laminati bi bili obrađeni posebnom glazurom. Ugrađivanjem dvostrukog stakla povećava se izdržljivost na druga opterećenja kao što su vjetar i moguća oštećenja ljudskog faktora. Jedan takav primjer integrisanja FN panela dat je na Sl. 6. Osim na ovom dijelu zidne fasade postoje razne mogućnosti integrisanja FN panela i na drugim mjestima konstrukcije. Moguće je postaviti i na neprozirna ili poluprozirna stakla i na dijelovima konstrukcije gdje se montira na sami zid objekta.

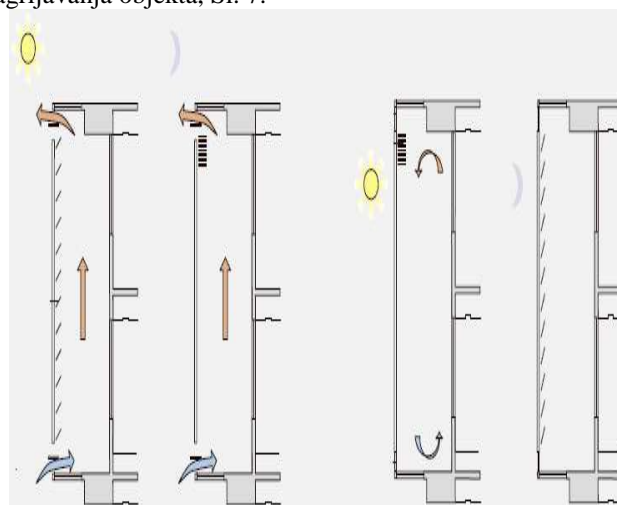


Sl. 6. . Primjer integrisanja FN panela na zidne zavjese [6]

Cjelovite fasadne ploče su uvedene kako bi riješili problem instalacije štapnih fasada. Sama ugradnja ovih fasada je pojednostavljena, i sastoje se od velikih ploča dimenzija koje omogućuju transport od fabrike do mjesta ugradnje. Najčešća visina i širina su 1,5 m. Kod najrazvijenih fasadnih ploča visina i širina znaju dostići i do 9 m. Ove ploče u sebi sadrže

sve elemente koje jedna fasada mora imati: izolacija, otpornost na različite vremenske uslove, zaštita od vatre, vidljivost i dizajn i sl. Integraciju FN panela na fasadne ploče je moguće uraditi ugradnjom FN panela umjesto prednjih prozora. Pored toga cijelo ožičenje je moguće uraditi u samim fabrikama tako da je ugradnja ovakvih integrisanih FN panela uveliko olakšana. Svakako kada je ugrađen FN panel tada postaje i najslabija tačka ove fasade, pa je potrebno uraditi laminaciju FN panela koja će omogućiti potrebne zaštite i tako obezbijediti kompletnu ulogu jedne fasade. Održavanje ovakvih sistema se dijeli na FN panel i na samu konstrukciju fasadnih ploča. Potrebno je naglasiti da je moguće izvaditi FN panel, a da pri tome nije potrebno skidati nikakve zaštite od vremenskih prilika.

Dvoslojnu fasadu predstavljaju dvije konstrukcije koje razdvaja ventilaciona praznina. Glavna cilj je da se cijele godine mijenjaju fizikalne osobine fasade, što poboljšava karakteristike objekta. Između unutrašnje toplinske izolacije i vanjske fasade je ventilaciona zona koja reguliše umjerenu temperaturu i vlagu na samom objektu, a koja može opet poslužiti za ugradnju FN panela za sjenčenje. Time se onda može regulisati i zaštita od prekomjernog sunčevog zračenja ili odsjaja. Tako da se ovom fasadom reguliše toplina, hladnoća, svjetlost i vjetar kako bi se postigla optimalna udobnost bez upotrebe složene tehnologije ili dodatne energije. Ljeti omogućuje tzv. noćno hlađenje dok zimi omogućuje zagrijavanje zraka koji dospije između dvije fasade i tako uveliko smanjuje troškove ventilacije, odnosno zagrijavanja objekta, Sl. 7.



Sl. 7. Prikaz upotrebe dvoslojne fasade za vrijeme ljeta (lijevo) i zime (desno) [6]

Pored ventilacione zone i vanjski dio fasade je moguće iskoristiti kao dio gdje se mogu ugraditi FN paneli. Značajnija efikasnost se dobija ugradnjom FN panela upravo na vanjski dio fasade, pa je zbog toga dosta veća upotreba takve integracije nego postavljnje FN panela u ventilacionu zonu. Ventilaciona zona osim što omogućuje ugodan boravak u objektu omogućuje i prirodno hlađenje FN panela što između ostalog i utiče na povećanu efikasnost. Održavanje ovakvih integrisanih sistema je dosta sličan fasadnim u vidu

jedinstvenih ploča. Što znači bilo kakava zamjena ide s vanjske strane, a ne narušavajući vremensku zaštitu fasade.

#### IV. ZAKLJUČAK

Teoretski potencijal energije Sunčevog zračenja daleko je veći od ostalih obnovljivih izvora energije, kao na primjer biomase, vodenih snaga i snage vjetra, koji su također samo posljedica ili neki oblik pretvaranja sunčeve energije. Stoga važnost istraživanja energije Sunca i pretvaranja energije Sunčevog zračenja u korisne oblike energije poprima sasvim novu dimenziju s velikom mogućnošću rješavanja problema energetske krize, koja je u svijetu sve prisutnija. Ovim radom predstavljen je jedan od tih načina, a to je integracija FN sistema u građevinske objekte (BIPV sistemi). Prednost integriranih fotonaponskih modula nad uobičajenim neintegriranim sistemima je u tome što se početni troškovi neutralizuju redukcijom količine utrošenog građevinskog materijala i radne snage potrebne za izgradnju dijela zgrade koga zamjenjuju ovi moduli. BIPV sistemi nude značajne prednosti i otvara mnoge kreativne mogućnosti projektantima. Primjena je danas prisutna na različitim dijelovima objekata, kao što su: krovovi, spoljašnji zidovi, polu-transparentne (polu-prozirne) fasade, stakleni krovovi i zasjenčenja.

#### ZAHVALNICA

Rad je nastao u okviru projekta „Razvoj uređaja energetske elektronike za povećanje energetske efikasnosti fotonaponskih sistema u građevinarstvu“, finansiran od strane Ministarstva nauke i tehnologije u Vladi Republike Srpske, 2014. godine.

#### LITERATURA

- [1] Ljubisav Stamenić, „Korišćenje solarne fotonaponske energije u Srbiji“, Jefferson Institute, Beograd, 2009.
- [2] Milica Vujošević, „Fasada koja proizvodi energiju. Estetske, ekološke i energetske karakteristike fotonaponskih panela“, Naučni-stručni simpozijum – Instalacije i arhitektura, Beograd, 2010.
- [3] Ted H., Alan G., Michael W., Robert M., Sean O., „Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) in the Residential Sector: An Analysis of Installed Rooftop System Prices“, NREL, Springfield, 2011.
- [4] Sheng Cheng, „Curved photovoltaic surface optimization for BIPV“, University of London, London, 2009.
- [5] [www.news.energysage.com](http://www.news.energysage.com), pristupljeno 7.2017.
- [6] Simon Roberts, Nicolo Guariento, „Building integrated photovoltaics / a handbook“, Njemačka nacionalna biblioteka Birkhäuser, 2009.

#### ABSTRACT

Over the last few years, the world's great tendency is the installation of photovoltaic systems. As these systems are mounting on different facilities, there is an increasing interest that photovoltaic systems, besides power generation, take on the role of a building component such as roof, facade etc. This paper presents and describes the photovoltaic systems that can be used in residential and business premises as building material. Such photovoltaic systems are called an integrated photovoltaic system or shorter BIPV (*Building Integrated Photovoltaics*). Today, the application of BIPV is present in different parts of the building, and the different exploitation of these systems is the topics that will be discussed below.

#### BUILDING INTEGRATED PHOTOVOLTAICS

Ernad Šabanović, Marko Ikić, Slobodan Lubura, Milomir Šoja