

MULTIFUNKCIONALNI KROVNI POKRIVAČI I STRUKTURE

MULTIFUNCTIONAL ROOF COVERING AND STRUCTURES

UDK: 692.42:620.92
Pregledni rad

Prof. dr Aleksandra KRSTIĆ-FURUNDŽIĆ, dipl. inž. arh.

REZIME

Savremeni arhitektonski koncepti zasnovani na racionalnoj energetskej potrošnji zgrada i upotrebi sunčeve energije, kao obnovljivog izvora energije, daju nove i značajne uloge krovovima, koji postaju multifunkcionalne strukture. Različite energetske efikasne krovne strukture i elementi, osim zaštite, omogućavaju snabdevanje toplotnom i električnom energijom, prirodnu ventilaciju i hlađenje zgrade, prirodno osvetljavanje prostora, zaštitu od sunčevih zraka, snabdevanje tehničkom vodom. Raznovrsne su mogućnosti za nov i atraktivan dizajn krovova, a time i objekata. To je povod da se u radu analiziraju toplotni prijemnici sunčeve energije i fotoelektrični moduli integrirani u krovne ravni, sa akcentom na vizuelne efekte koji se njima postižu.

Ključne reči: krovni pokrivač, toplotni prijemnik sunčeve energije, fotoelektrični modul

SUMMARY

Modern architectural concepts, which are based on rational energy consumption of buildings and the use of solar energy as a renewable energy source, give the new and significant role to the roofs that become multifunctional structures. Various energy efficient roof structures and elements, beside the role of protection, provide thermal and electric energy supply, natural ventilation and cooling of a building, natural lighting of the indoor space, sunbeam protection, water supply for technical use. There are numerous possibilities to achieve the new and attractive roof design which broadens to the whole construction. With such inducement, this paper principally analyse the roof integrated solar thermal collectors and photovoltaic modules, as well as the visual effects that may be achieved by their application.

Key words: roof covering, solar thermal collector, photovoltaic module

1. UVOD

Potreba za smanjenjem potrošnje energije dobijene iz konvencionalnih izvora i time manjeg zagađenja životne sredine, dovela je do razvoja tehnologija korišćenja obnovljivih izvora energije. Jedan od načina da se u gradskim zonama proizvede toplotna, odnosno električna energija bez zagađenja životne sredine i stvaranja buke je aplikacija toplotnih prijemnika sunčeve energije, odnosno fotoelektričnih sistema (FE) na objekte. Njima je moguće delimično ili u potpunosti zadovoljiti potrebe objekta za toplotnom i električnom energijom, što određuje potrebnu veličinu površine omotača pod njima, mada je ona uslovljena i okruženjem, zahtevima uklapanja u kontekst i veličinom južno orijentisanih nezasećenih delova omotača.

U tom smislu krov se izdvaja kao značajan element i dobija novu ulogu. On postaje multifunkcionalna struktura koja, osim što štiti od atmosferskih uticaja, snabdeva toplotnom i električnom energijom, doprinosi prirodnoj ventilaciji i hlađenju zgrade, omogućava prirodno osvetljavanje prostora i zaštitu od sunčevih zraka, snabdeva

tehničkom vodom. Navedene funkcije utiču na oblikovanje krovova, proizvode nove strukture, komponente i tehnička rešenja, što otvara nove mogućnosti za dizajn krovova (slika 1).



Slika 1. Multifunkcionalan krov sa autonomnim toplotnim prijemnicima sunčeve energije, integrisanim FE crepovima i staklenikom za indirektno zagrevanje prostora (Hänel A.2000)

Adresa autora: Arhitektonski fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73/II, 11000 Beograd
E-mail: akrstic@arh.bg.ac.rs

U radu su klasifikovane i analizane krovne strukture i komponente koje imaju funkcije snabdevanja objekta toplotnom i električnom energijom dobijenim iz obnovljivih izvora energije, konkretno solarne energije, s akcentom na ispitivanje oblikovnih karakteristika i vizuelnih efekata koji se njima postižu, a u cilju njihovog uvođenja u domaću arhitektonsku praksu.

2. KROVOVI U FUNKCIJI SNABDEVANJA ENERGIJOM

Krovovi čija struktura pretvara sunčevu energiju u drugi vid energije popularno se nazivaju "solarni krovovi". Zavisno od vrste energije koja se proizvodi, razlikuju se sledeći funkcionalni elementi ovih krovova:

- toplotni prijemnici sunčeve energije, koji služe za proizvodnju toplotne energije,
- fotoelektrični moduli, koji proizvode električnu energiju, i
- hibridni sistemi koji proizvode i toplotnu i električnu energiju.

Postavljaju se na ravne i kose krove. Prema načinu instalisanja, tj. konstruisanja, što daje različite vizuelne efekte, mogu biti:

- autonomni elementi (slika 2a), montiraju se preko odgovarajuće potkronstrukcije na već postavljen krovni pokrivač na ravnim i kosim krovovima, i
- integrisani (slika 2b), zamenjuju tradicionalan krovni pokrivač na kosim krovovima.

Dok je osnovna funkcija autonomnih sistema proizvodnja toplotne ili/i električne energije, integrisane sisteme karakteriše funkcionalna kompleksnost jer je osim ove funkcije potrebno da ispune i zahteve vezane za toplotnu i zvučnu izolaciju, zaštitu od kiše, snega i vetra, otpornost na požar, netoksičnost i konstruktivnu stabilnost, a sa razvojem novih tehnologija da omoguće prirodni osvetljaj i zaštitu od sunčevog zračenja. S obzirom da integrisani sistemi čine završni sloj krovnih ravni, kao i zbog funkcionalne kompleksnosti i činjenice da predstavljaju arhitektonske elemente kojima se postiže atraktivan izgled objekata, njihovo projektovanje i konstruisanje predstavlja izazov za arhitekta. Iz tog razloga integrisani krovni sistemi će biti predmet razmatranja u ovom radu.

2.1. Toplotni prijemnici sunčeve energije integrisani u krovne ravni

Primarna funkcija toplotnih prijemnika sunčeve energije integrisanih u krovne ravni je proizvodnja toplotne energije. Transfer toplote odvija se preko fluida (tečan ili gasovit-vazduh), koji zagrejan služi za temperiranje prostora ili zagrevanje potrošne vode u domaćinstvima, sportskim objektima, hotelima, zdravstvenim ustanovama i ostalim objektima koji tokom cele godine kontinualno koriste toplu vodu. Neophodno je ustanoviti potencijal zgrade za integrisanje ovih sistema (Krstic-Furundzic, A., 2012; Golic, K., 2011).

Postoje dva koncepta materijalizacije završnog sloja krovnih ravni sa funkcijom toplotnih prijemnika, tj. dva tipa njihovog konstruisanja, različita u pogledu oblikovnih potencijala:

- a) kao zastakljene krovne ravni – zastakljeni toplotni prijemnici sunčeve energije, i
- b) kao konvencionalni krovni pokrivač.

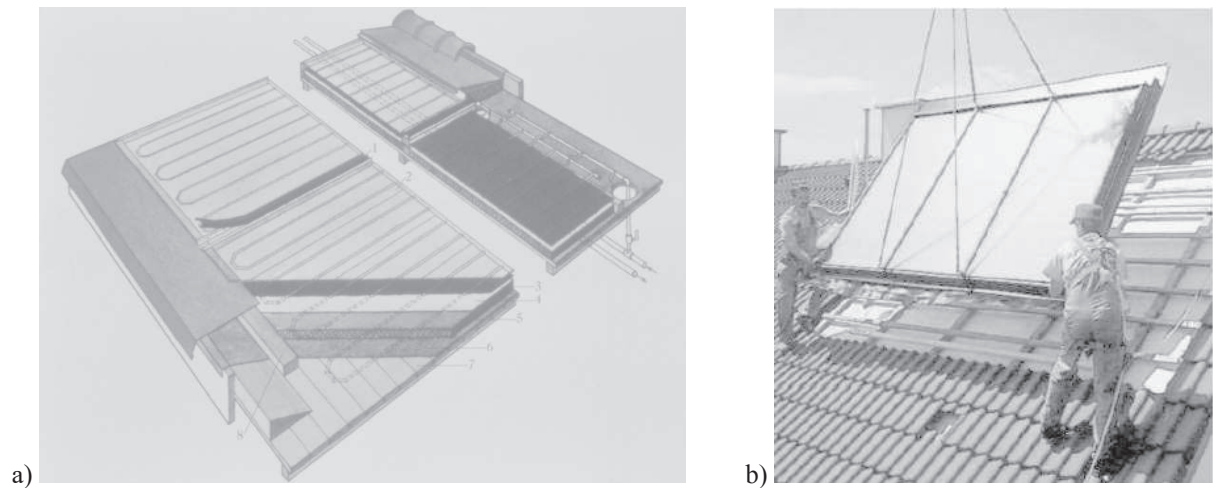
2.1.1. Zastakljeni toplotni prijemnici sunčeve energije

Zastakljenjem se jasno iskazuje nova funkcija krovne ravni. Glatka i sjajna površina kolektora se lako uočava, bilo da je ceo ili deo krova kolektor, te obično dominira u izgledu zgrade i pejzaža. Apsorber solarnog kolektora je tamne boje, obično crn. Dostupni su i bojeni – tamno crven, zelen, plav, ljubičast, a različiti efekti se dobijaju pod različitim nagibima, kao i kod primene anti-refleksionog stakla ili polikarbonatnih ploča (Dalenback J.O. 1998; Krstic(-Furundzic), A. 1997). Kolektori sa obojenim apsorberom su manje efikasni (Tripanagnostopoulos, Y., 2000), ali se povećanje troškova (potrebna je veća površina kolektora da se prevaziđe manja efikasnost) kompenzira ostvarenom estetskom harmonijom sa arhitekturom zgrade (Kalogirou, S. 2005).

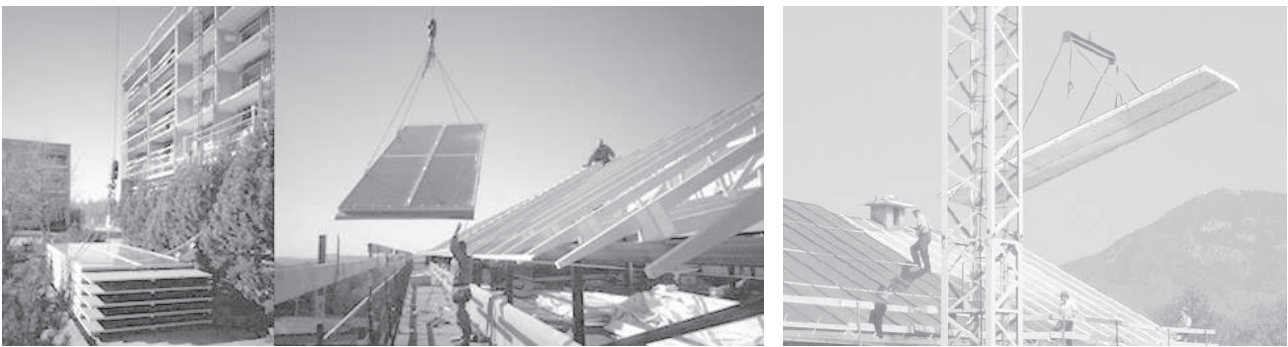
Ramovi zastakljenja mogu biti skriveni, kada se postiže vizuelni efekat strukturalne fasade, ili vidni kada vertikalna i horizontalna podela stvaraju šaru (slike 2b, 3, 4, 5), što projektant može da koristi da bi ostvario harmoniju ili kontrast sa postojećim strukturama na krovu, fasadama ili okolnim kućama. Kolektori se mogu izvesti od pojedinačnih elemenata koji se sklapaju na gradilištu



Slika 2. Toplotni prijemnici sunčeve energije a) autonomni (Hercog T. 1996) i b) integrisani



Slika 3. Krovni integrisani toplotni prijemnici sunčeve energije sklopljeni od pojedinačnih elemenata na gradilištu (a) ili formirani od prefabrikovanih panela (b).



Slika 4. Toplotni prijemnici sunčeve energije kao prefabrikovani paneli



Slika 5. Oluk omogućava pristup toplotnim prijemnicima u cilju njihovog održavanja

(slika 3a) ili se montiraju od prefabrikovanih panela (slika 3b, 4). Prefabrikovani paneli su povoljnije tehničko rešenje jer se proizvodnja odvija u fabrici što omogućava kontrolu i ustaljen kvalitet, postavljanje je lako i brzo, ali može biti potrebno da se na gradilištu obezbedi prostor za njihovo odlaganje (slika 4).

Kako bi se očuvala efikasnost toplotnih prijemnika neophodno je njihovo redovno održavanje, uklanjanje nečistoće i snega pa je u tom cilju potrebno odgovara-

jućim tehničkim rešenjem omogućiti pristup toplotnim prijemnicima (slika 5).

2.1.2. Toplotni prijemnici sunčeve energije kao konvencionalni krovni pokrivač

U slučaju da je spoljašnji završni sloj kolektora konstruisan po principima postavljanja konvencionalnih krovnih pokrivača, kolektori se svojim izgledom ne ističu. Prisutne su dve mogućnosti: 1) primena krovnih

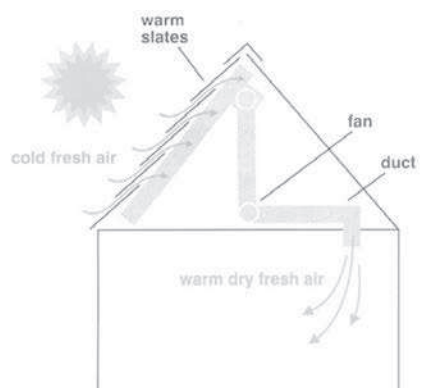
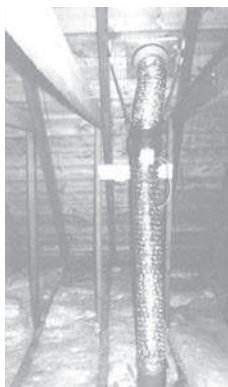
pokrivača od gline, cementa, fibercementa, škriljca, odnosno koriste se postojeći tipovi pokrivača za kose krovove, i 2) primena specifičnih proizvoda koji se polažu kao krovni pokrivač (npr. limene trake sa kanalima za cirkulaciju fluida, staklene ili polikarbonatne ploče).

Kod ove vrste kolektora posebna ušteda se ostvaruje jer nisu prisutni troškovi za instalisanje i održavanje kolektora. Osim za stambene zgrade, pogodna je primena za škole i poslovne objekte s obzirom da se radno vreme podudara sa periodom mogućeg osunčanja.

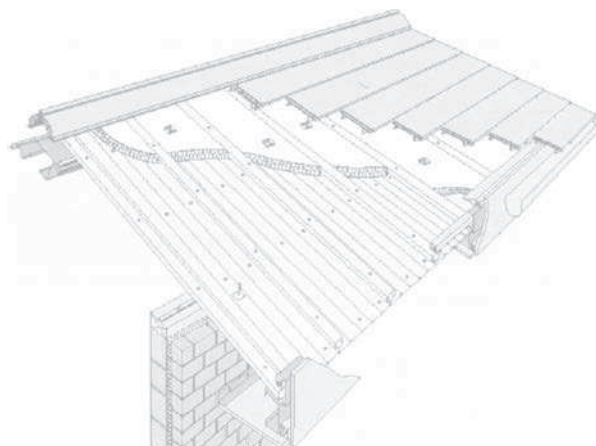
Krovni pokrivač se pod dejstvom sunčevih zraka zagreva dostižući temperaturu najmanje 30°C višu od temperature vazduha (MacGregor K. 2002) i značajno zagreva vazduh u svom bliskom okruženju. Topao vazduh ispod crepova ili drugih pokrivača može se koristiti za temperiranje prostora. Ovaj koncept ubacivanja čistog prethodno zagrejanog vazduha primenjen je u stambenom naselju u Berwickshire, Škotska (slika 6). Za ubacivanje toplog vazduha u prostorije (obično sa severne strane) korišćen je fen male potrošnje, sa tajmerom i termostatom kako bi se obezbedilo ubacivanje samo toplog vazduha u zimskom periodu, a koncept je unapređen postavljanjem fotoelektričnih modula 10Wp, koji proizvode električnu energiju za pokretanje fenova. Kon-

cept je primenjiv i za noćno rashlađivanje kuća u letnjem periodu. U postupku rekonstrukcije tradicionalnih kuća u Edinburgu, koje su slabo izolovane, sa prisutnim problemom kondenza i velikom potrošnjom konvencionalnih goriva, rezultat je poboljšanje životnih uslova – kuće su postale toplije, kondenzacija smanjena i ublažena pojava respiratornih oboljenja zahvaljujući poboljšanju kvaliteta vazduha u prostorijama ubacivanjem čistog prethodno temperiranog vazduha. Za klimatske uslove u Škotskoj procenjeno je da se može očekivati godišnji energetska doprinos od 2000 kWh (MacGregor K. 2002).

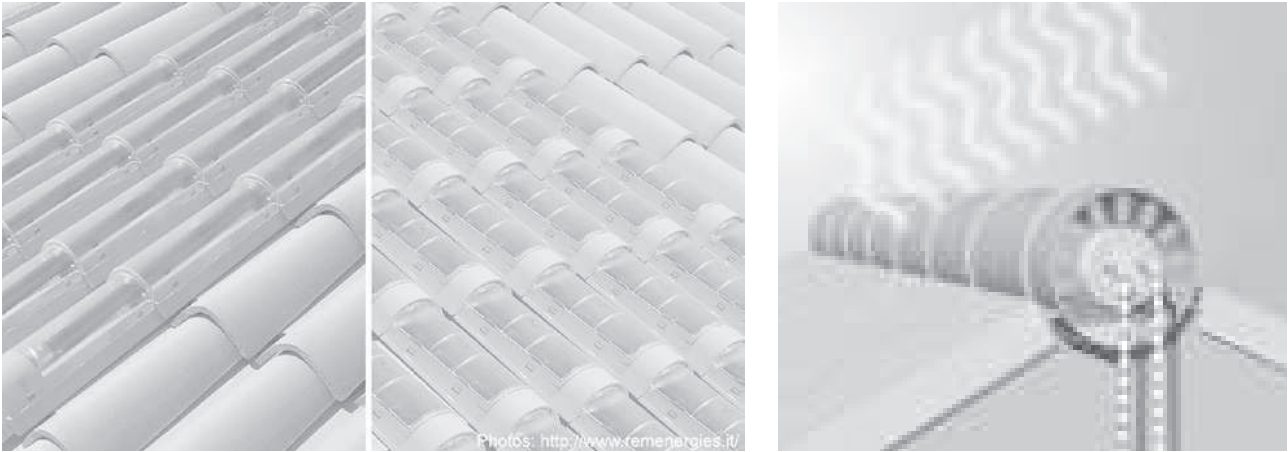
Princip funkcionisanja kolektora sa spoljašnjom oblogom od limenih ploča isti je kao kod standardnih kolektora sa fluidom kao prenosiocem toplote, s razlikom što limena površina krovnog pokrivača apsorbira sunčevu toplotu i zagreva fluid u cevima smeštenim ispod limenih traka (slika 7). Cirkulacija fluida se postiže pumpom niske energetske potrošnje. Ovaj sistem se pokazao posebno efikasan za distribuciju toplote preko podnih površina. Sistem može da služi i za rashlađivanje cirkulacijom hladnog fluida kroz pod i noću kroz krovne ravni. Procenjuje se da se za grejanje mogu ostvariti finansijske uštede 50-70% u odnosu na cenu konvencionalnih goriva (Ford M. 2001).



Slika 6. Toplotni prijemnik sunčeve energije kao konvencionalni krovni pokrivač (fibercement ploče, Berwickshire, Škotska) i šema funkcionisanja sistema (MacGregor K. 2002)



Slika 7. Solarni kolektor sa spoljnom oblogom od limenih ploča ispod kojih su fiksirane cevi za cirkulaciju fluida Energy Centre, Binfield, UK (Ford M. 2001)



Slika 8. Crepovi (levo-Techtile Therma STC systems on the roof) i slemenjak (desno- Inventum B.V.) kao toplotni prijemnici sunčeve energije

Crepovi mogu biti sa ugrađenim kolektorima što daje nov estetski potencijal za krovove pokrivene crepovima (slika 8). Istražuju se mogućnosti primene specifičnih krovnih pokrivenih elemenata, kao slemenjaka, u funkciji toplotnih prijemnika sunčeve energije (slika 8).

2.2. Krovovi sa fotoelektričnim sistemima

Primarna funkcija fotoelektričnih (FE) modula integriranih u krovne ravni je proizvodnja električne energije. U gusto naseljenim zonama sa ravnomernim visinama zgrada, krovovi su najpovoljnija lokacija za FE sisteme, jer su male mogućnosti postojanja prepreka koje bi zaklanjale sunčeve zrake.

Integrisanje FE sistema u krovne ravni odnosi se na dva aspekta: arhitektonsko integrisanje, koje podrazumeva ostvarivanje dobrih estetskih karakteristika, i tehničko integrisanje, koje se odnosi na ostvarenje zaštite od spoljnih uticaja (Toggweiler P. 1999). Integriranjem FE sistema krovovi postaju multifunkcionalne strukture koje štite od atmosferilija, proizvode električnu energiju, a u nekim sklopovima i toplotnu (Krstic-Furundzic, A. 2007). Primena polutransparentnih modula omogućava prodor dnevne svetlosti i istovremeno i zaštitu od sunca. Mogućnost zamene konvencionalnih krovnih obloga FE integriranim sistemima smanjuje cenu ovih proizvoda koja je još uvek visoka. Proizvodi sa solarnim ćelijama od monokristalnog Si su crni, od polikristalnog Si plavi, blistavi, a amorfno Si braonkaste boje. Upotrebom antirefleksionih obloga dobija se širok opseg kolora FE modula, što omogućava raznovrsne vizuelne efekte, atraktivnost i bolje uklapanje u okolinu.

Tipovi konstrukcije završnog sloja krovnih ravni sa FE modulima su sledeći:

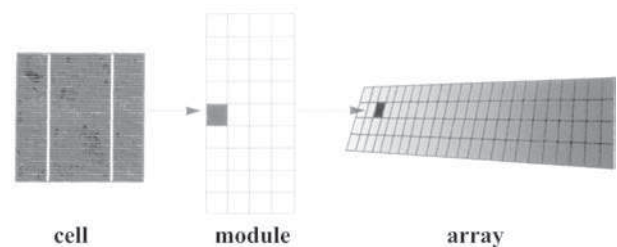
- kao zastakljene krovne ravni-integrirani FE moduli, i
- kao konvencionalni krovni pokrivač – fotoelektrični crep i šindra.

Ova dva koncepta odlikuju različite vizuelne karakteristike.

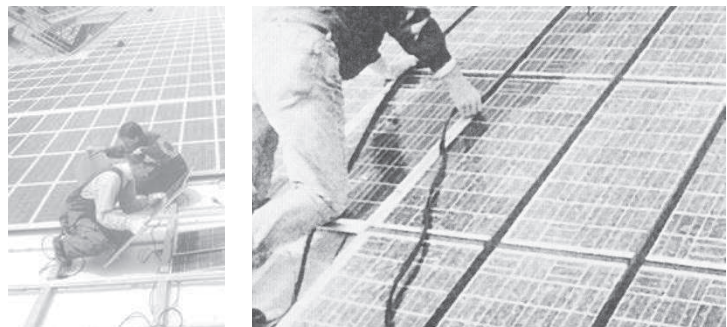
2.2.1. Krovni integrirani FE sistemi (zastakljene krovne ravni)

Integrirani krovni FE moduli su obično grupisani u nizove (slika 9). Kod konstrukcije tipa staklena obloga (FE ćelije su postavljene između dve folije od etil-vinil-acetata i ugrađene između dva sigurnosna stakla) primenjivi su svi sklopovi zid zavesa, različiti u tehničkom i oblikovnom smislu, sa vidnim ili skrivenim prečkama. Pravilna tehnika postavljanja i zaptivanja omogućava da krovni FE moduli funkcionišu kao zaštita od atmosferskih uticaja.

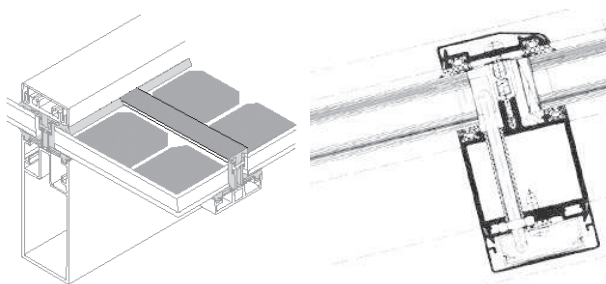
FE moduli mogu biti neprozirni i polutransparentni. Neprozirni se postavljaju na masivne krovne ravni (slika 10), dok se postavljanjem polutransparentnih FE modula omogućava osvetljavanje prostora, ali i zaštita od sunčevog zračenja (slike 11, 12).



Slika 9. Fotoelektrična ćelija – modul – niz



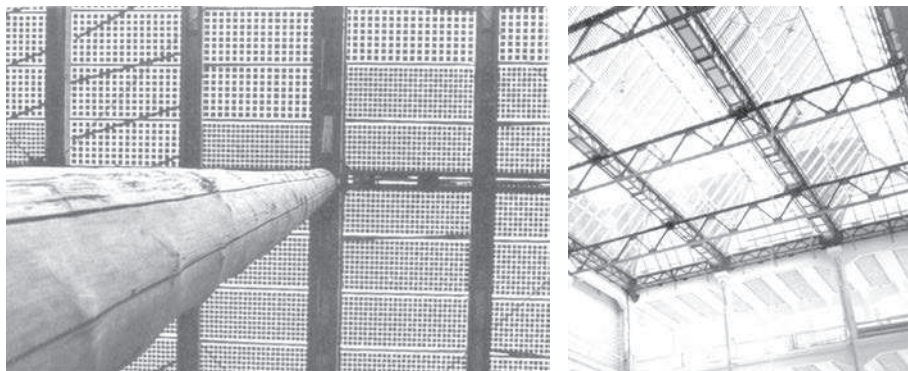
Slika 10. Polaganje krovnih integriranih FE modula na neprozirnoj krovnoj ravni



Slika 11. Aplikacija krovnih integrisanih FE modula na transparentnoj krovnoj ravni

ko bi se sprečilo zagrevanje modula. Vazduh ulazi kroz otvore na strehi i izvodi toplotu kroz otvore na slemenu.

Raspored i razmak između FE ćelija određuju količinu svetlosti koja se uvodi u prostor ali i intenzitet zasenčenja (slika 12). Kada namena prostora dozvoljava veću toleranciju u kvalitetu osvetljaja, direktno sunčevo zračenje i raster FE ćelija mogu dati dramatične vizuelne efekte. Raznovrsni proizvodi pružaju mogućnost aplikacije na različite krovne forme, lučne, šed-krovove (slika 12), itd.



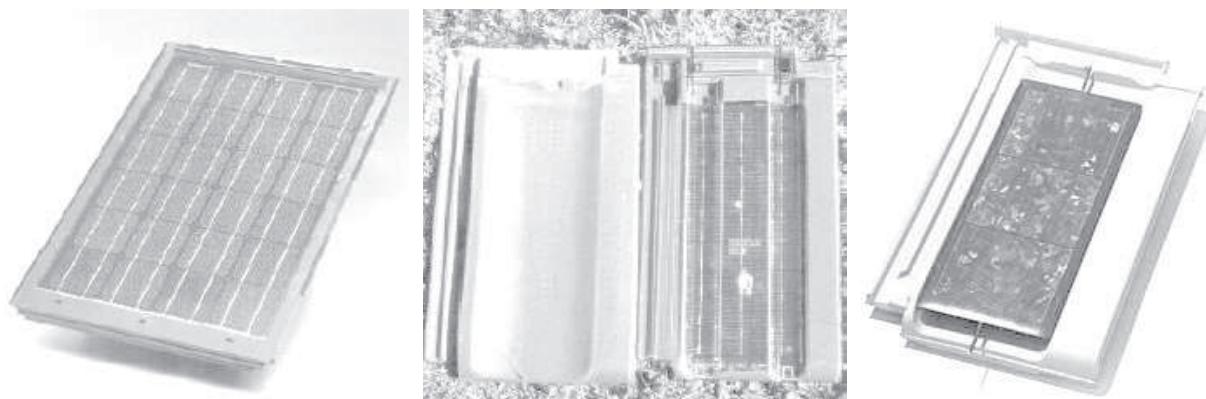
Slika 12. Polutransparentni FE moduli (levo-Academy of Mont Cenis Herne, German, Nemačka; desno-Zentrum für Kunst und Medientechnologie, Karlsruhe, Nemačka)

Zbog atraktivnog izgleda integrisani moduli se sve češće primenjuju za pokrivanje komercijalnih objekata kao sredstvo iskazivanja reputacije. Fotoelektrični moduli se uspešno uklapaju u arhitekturu internacionalnog i "high-tech" stila, objekte projektovane i izvedene po industrijskim principima.

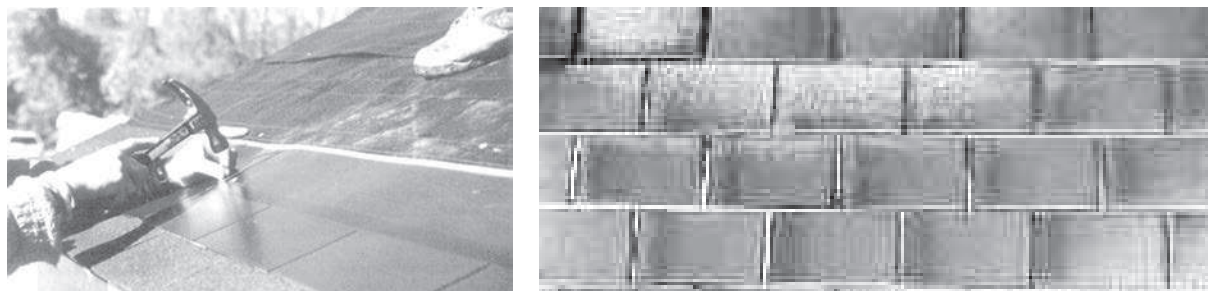
Kada se postavljaju na masivne krovne ravni, sistem za kačenje čine okviri koji nose module i zaptivke ili pokrivne lajsne za zaštitu spojeva modula (slika 10). Ispod modula formiraju se kanali za cirkulaciju vazduha ka-

2.2.2. Krovni FE sistemi kao konvencionalni krovni pokrivač-fotoelektrični crep i šindra

Za krovove stambenih objekata mogu se primeniti integrisani moduli, ali postoje proizvodi sa povoljnijim



Slika 13. Krovni fotoelektrični crepovi (Hänel A.2000)



Slika 14. Krovna fotoelektrična šindra (Kristensen P. 1998)

cenama tipa crep, šindra, itd., sa integrisanim solarnim ćelijama, dimenzionalno kompatibilni sa standardnim pokrivačima koje zamenjuju (slike 13, 14).

3. ZAKLJUČAK

Krovovi energetske-efikasnih zgrada postaju multifunkcionalne strukture koje karakterišu funkcionalni elementi: solarni kolektori, za proizvodnju toplotne energije, i fotoelektrični moduli ili crepovi, šindra i škrljac, za proizvodnju električne energije.

Ovi elementi poseduju izrazite estetske vrednosti. Arhitekte ih u dizajnu objekata koriste kao nove oblikovne elemente kojima se jasno iskazuje koncept energetske efikasne krovne strukture, tj. zgrade. Analiza pozitivnih funkcionalnih i oblikovnih potencijala multifunkcionalnih krovnih struktura ima za cilj da se pobudi interesovanje domaćih stručnjaka i javnosti za njihovu primenu u arhitektonskoj praksi. Potrebno je naglasiti da su, pored izazova, prisutna i ograničenja određena obavezom uspostavljanja balansa sa postojećim okruženjem, karakteristikama klime, preovlađujućom građevinskom tradicijom, koja kao pozitivni impulsi upućuju da rešenja treba da odražavaju i duh mesta.

LITERATURA

- [1] Dalenback J.O., Design Challenges, The Sustainable Energy Industry Journal, Vol.3, No 1, 1998, pp. 65.
- [2] Ford M. et al., An ambient endothermic energy system, Renewable Energy 2001, No 1, pp. 106-108.
- [3] Golic, K., Kosoric, V., Krstic-Furundzic, A., General model of solar water heating system integration in residential building refurbishment-Potential energy savings and environmental impact, Renewable & Sustainable Energy Reviews, Vol. 15, Issue 3, 2011, Elsevier, pp. 1533-1544.
- [4] Hänel A., Building-integrated photovoltaics, Review of the state of art, Renewable Energy World, Vol.3, No 4, 2000, pp. 89-101.
- [5] Herczog T, Ed., Solar Energy in Architecture and Urban Planning, Prestel, Minhen, 1996, pp. 144-145.
- [6] Kalogirou, S.; Tripanagnostopoulos, Y.; Souliotis, M., Performance of solar systems employing collectors with colored absorber, Energy and Buildings (37), 2005, pp. 824-835.
- [7] Kristensen P., Passive Solar and daylighting, The Sustainable Energy Industry Journal, Vol.3, No 1, 1998, pp. 66.
- [8] Krstić(-Furundžić), A., Aktivni solarni sistemi – solarni kolektori i fotoelektrični moduli, Racionalno gazdovanje energijom u širokoj potrošnji – zbornik radova, Beograd, Agencija Spiridonović, 1997, pp. 213-223.
- [9] Krstic-Furundzic, A., Kosoric, V., Golic, K., Potential for reduction of CO2 emissions by integration of solar water heating systems on student dormitories through building refurbishment, Sustainable Cities and Society, Editor: Prof. Saffa Riffat, Vol. 2, Issue 1, February 2012, Elsevier, pp. 50-62.
- [10] Krstic-Furundzic, A., PV Integration in Design of New and Refurbishment of Existing Buildings: Educational Aspect, JAAUBAS – Journal of the Association of Arab Universities for Basic and Applied Sciences, Volume 4 (Supplement) University of Bahrain, 2007, pp. 135-146.
- [11] MacGregor K., Solar slates – 2000kWh heating per year from existing roofs, Renewable Energy World, Vol.5, No 3, 2002, pp. 124-126.
- [12] Toggweiler P., Photovoltaics in Buildings – International market and state of the art, Renewable Energy World, Vol.2, No 4, 1999, pp. 68-79.
- [13] Tripanagnostopoulos, Y.; Souliotis, M.; Nousia, Th., Solar collectors with colored absorbers, Solar Energy 68 (4), 2000, pp. 343-356.