

mr.sc. Aleksandar Hajdu, dipl.ing.el.  
HEP- ODS d.o.o. Elektroprimorje rijeka  
[aleksandar.hajdu@hep.hr](mailto:aleksandar.hajdu@hep.hr)

mr.sc. Ivica Radetić, dipl.ing.el.  
HEP- ODS d.o.o. Elektroprimorje rijeka  
[aleksandar.hajdu@hep.hr](mailto:aleksandar.hajdu@hep.hr)

## AKTIVNI SOLARNI KROV NA ELEKTROENERGETSKIM OBJEKTIMA

### SAŽETAK

Inovativni proizvodi za generaciju električne energije iz obnovljivih izvora energije daju nove mogućnosti u implementaciji na postojeće ili nove građevinske objekte, pa tako i na elektroenergetske objekte. Referat opisuje primjenu jednog takvog proizvoda, solarnog crijepa, koji može zamijeniti postojeći krovni pokrov na objektu s kosim krovom. Vizualno se odlično uklapa u svaki okoliš, modularan je i upotrebljiv na raznim vrstama krovova te ima dobra svojstva generacije električne energije.

Referat opisuje realizaciju pilot-projekta ugradnje takvog crijepa na jednu KTS 20/0,4 kV, prezentira podatke o proizvodnji električne energije kroz pet mjeseci rada te diskutira mogućnost potencijalne primjene kod izgradnje novih ili rekonstrukcije postojećih elektroenergetskih objekata za pokrivanje ukupne ili dijela potrebe vlastite potrošnje objekta.

**Ključne riječi:** solarni crijep, obnovljivi izvori energije

## ACTIVE SOLAR ROOF ON ELECTRICAL FACILITIES

### SUMMARY

Innovative products for the generation of electricity from renewable energy sources provide new opportunities for implementation on existing or new buildings, including electrical facilities. The paper describes the application of one such product, a solar tile, which can replace the existing roof covering on a building with a sloping roof. Visually it fits perfectly into any environment, it is modular and is applicable on various types of roofs, and it has good properties of electricity generation.

The report describes the implementation of a pilot project for the installation of such a tile on a KTS 20/0.4 kV, presents data of electricity production over five months of operation, and discusses the possibility of potential application during construction of new or reconstruction of existing power facilities for covering all or part of the facility's own consumption needs.

**Key words:** solar tile, renewable energy sources

## 1. UVOD

Primjena solarnih panela na krovovima zgrada već je uobičajeno rješenje korištenja obnovljivog izvora energije sunca manje snage, vrlo popularno i dokazano učinkovito. Ugradnja takvih panela na postojeće krovove zahtjeva postavljanje metalne nosne konstrukcije i provlačenje instalacija, za što također postoje standardna rješenja. Takva rješenja imaju i svoje mane, od kojih je svakako dodatni teret na krovu, ugradnja konstrukcije eventualnim bušenjem pokrova krova, osjetljivost na nalete vjetera te narušavanje estetike krova i samog objekta.

U zadnjih par godina pojavilo se nekoliko proizvođača koji izrađuju krovne crijepove sa integriranim solarnim panelom u njima, tako da je ugradnja takvog crijepa i izgled krova gotovo identičan tradicionalnom crijepu i krovu, čime se anuliraju ili značajno smanjuju sve, prethodno navedene, mane klasičnih solarnih panela.

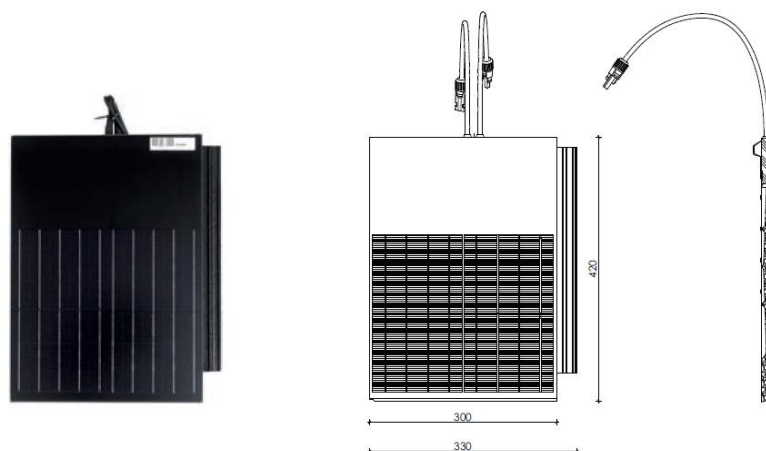
U hrvatskoj distribuciji već je par godina trend ugradnja solarnih panela na, uglavnom poslovne, zgrade poticanjem učinkovitosti i korištenja obnovljivih izvora energije. Do sada je primjena solarnih panela na energetskim objektima (trafostanicama) bila minimalna. Upravo iz tog razloga, a razmatranjem jednog takvog proizvoda solarnog crijepa i njegovih prednosti nad klasičnim panelima, krenulo se sa pilot-projektom ugradnje takvog crijepa na jednu malu distributivnu kabelsku trafostanicu 20/0,4 kV, s ciljem prikupljanja iskustva eksploatacije takvog rješenja te eventualne primjene na veće elektroenergetske objekte koji su u gradnji ili rekonstrukciji.

## 2. TEHNOLOGIJA I MONTAŽA SOLARNOG CRIJEPA

### 2.1. Solarni crijep

Solarni panel integriran na površinu crijepa u ravnini krovnog pokrivača pruža jedinstveno rješenje za crijep i solarni sustav skupa. Solarni moduli su integrirani posebnom metodom pričvršćivanja na površinu jedinstvenih crjepova, zahvaljujući čemu je ugradnja i izgled konačnog proizvoda gotovo identična tradicionalnom crijepu. Sam crijep se proizvodi kao obojeni betonski element visoke čvrstoće, na koji se onda ugrađuje solarno kaljeno staklo debljine 3,2 mm sa ispunom od solarne folije EVA. Tako izrađen solarni crijep izdržat će vremenske uvjete (uključujući tuču) i bit će električki izoliran. Solarni crijep se može ugraditi na kose krovove raznih nagiba, od 20° do 60°, s time da je idealni nagib za maksimalnu generaciju električne energije, kao i kod klasičnih panela, 35°, pri južnoj orijentaciji krova.

Primijenjeni solarni crijep imao je dimenzije 330x420 mm, s nominalnim učinkom panela od 15 Wp, uz maksimalnu jačinu struje od 6,52 A pri naponu od 2,31 V. Priklučne žice koje su originalno ugrađene na svaki panel su dužine 500 mm, presjeka 4 mm<sup>2</sup>, sa ugrađenim spojnicama (konektorima) tipa MC4, što ih čini lakim za ugradnju i međusobno povezivanje.



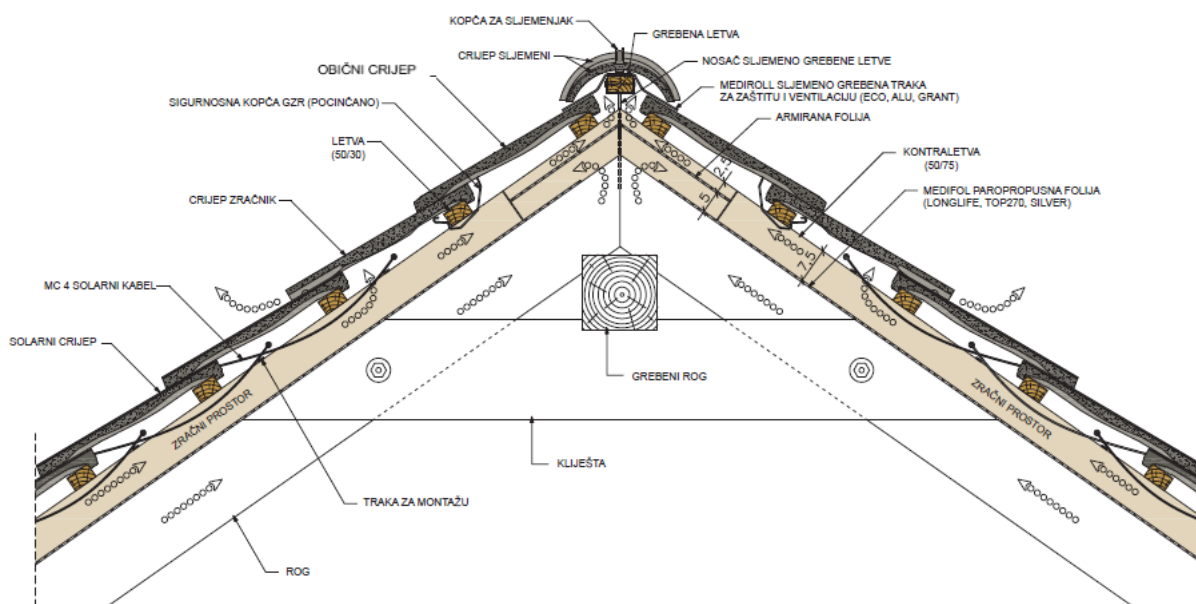
Slika 1. Prikaz solarnog crijepa

## 2.2. Montaža solarnog crijepa

Krovni pokrivač od solarnih panela mora biti položen s pomakom u odnosu na prethodni panel, obično za pola crijepa. Površine uz strehe, sljeme, uvale odnosno rubove zidova i zabata treba izraditi od klasičnih elemenata sličnih crijepova (bez panela) sa 1,5 do 3 reda crijepova. Zabranjeno je rezati solarne panele. Krov treba završiti rezanjem klasičnih (nepanelnih) crijepova. U slučaju nagiba manjeg od 45 stupnjeva, krov izrađen s ovakvim betonskim crijepovima ima izvrsnu otpornost na oluju i bez posebnog pričvršćivanja. Ovisno o zemljopisnim uvjetima i geometriji građevine, u određenim slučajevima manjeg nagiba krova može biti potrebno pričvršćivanje crijepa na opću površinu. Na mjestima gdje težina betonskih crijepova ne pruža dovoljno opterećenje od vjetrova, crijepovi se moraju pričvrstiti za drvene noseće letve spojnicama otpornim na koroziju.

Neovisno o nagibu krova, svaki rubni crijep mora biti pričvršćen, a po potrebi, crijepovi se mogu pričvrstiti i za susjedne crijepove. Zračni sloj(eve) ispod krovnog pokrivača treba ventilirati iz građevinsko-fizičkih razloga. Ventilacija se stvara kada zbog temperaturne razlike u zračnom prostoru dolazi do kretanja zraka prema gore kao rezultat efekta dimnjaka i razlike tlaka oko zgrade. U slučaju korektno ugrađenog proizvoda bilo je potrebno formirati ventilirani zračni sloj od najmanje 7,5 cm, što se postiglo ugrađivanjem kontraletve na postojeći betonski krov trafostanice, preko koje su se ugrađivale letve za montažu crijepa, čime se postigao dovoljan protok zraka. Povećanjem temperature učinkovitost i performansa solarnih ćelija, naravno, opada, tako da ventilacijski zrak ima za solarne panele i učinak hlađenja, čime se zagrijavanje smanjuje.

Električki, solarni crijepovi se spajaju u seriju, a o njihovom broju i poziciji na krovu ovisi koliko će se crijepova spojiti u seriju, što će činiti jedan FN string. Napon jednog stringa, tj. ulaza u inverter, ne smije prelaziti 600 V DC (definirano tipom odabranog invertora), što znači da se teoretski u jedan string serijski može povezati do cca. 230 crijepova. O broju stringova i, naravno, ukupno instaliranoj snazi, ovisi i odabir odgovarajućeg invertora, kao i kod klasičnih sustava FN panela.



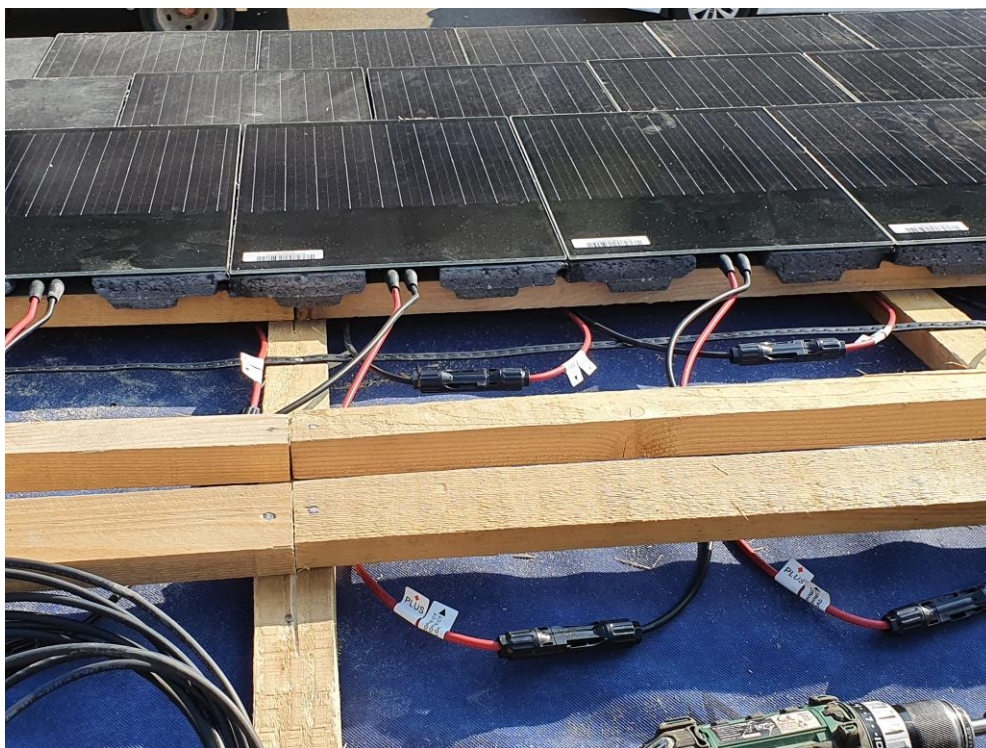
Slika 2. Montaža crijepa na klasični kosi krov

### 3. UGRADNJA SOLARNOG CRIJEPA NA KTS 20/0,4 kV

Kod razmatranja pilot ugradnje solarnih cijepova najjednostavnija i najekonomičnija opcija pokazala se zamjena krova na jednoj distributivnoj kabelskoj trafostanici 20/0,4 kV sa kosim krovom. Napravljena je analiza ugradnje solarnih cijepova na kompletnoj površini krova (osim na rubnim dijelovima, iz prije opisanih razloga ugradnje) budući je ukupna površina krova relativno mala (cca. 9 m<sup>2</sup>), te nije velika financijska razlika ugradnje panela na jednoj strehi ili obje. Sam nagib krova tipske KTS nije optimalan (cca. 25°), i orijentacija ovisi o samoj lokaciji i smještaju trafostanice, tako da nije bilo realno za očekivati maksimalnu proizvodnju ugrađenih panela.

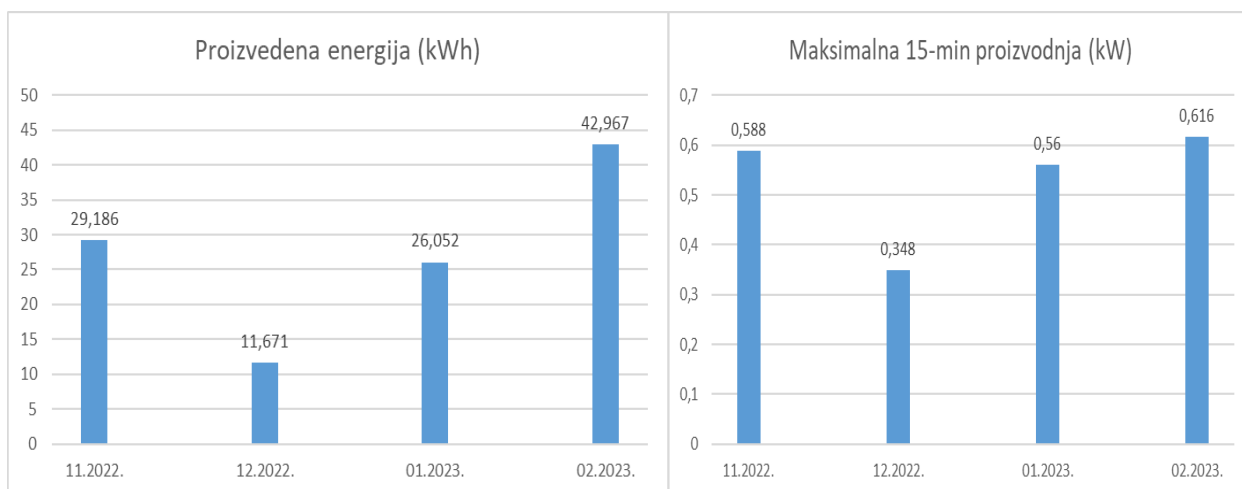
Pri odabiru konkretne distributivne trafostanice za pilot-ugradnju razmatrale su se trafostanice novije izvedbe, kabelske trafostanice, sa betonskim kosim krovom i crjepovima (tipska TS sa mediteran cijepom), koje imaju ugrađen sustav daljinskog upravljanja, tako da generirana električna energija iz solarnih panela kompenzira tehničke gubitke napajanja sustava daljinskog upravljanja (napajanje daljinske stanice, alarm monitora, radio stanice i ostalih aktivnih komponenti sustava). Potrošnja takvog sustava u stacionarnom stanju iznosi oko 200-300 W.

Na kompletnu površinu krova moglo se ugraditi 78 solarna cijepa (39 na svakoj strani), što nominalno generira proizvodnju od 1170 Wp. Svi su se crjepovi međusobno serijski povezali te spojili na jedan ulaz invertora snage 2 kW, koji je ugrađen u kućici KTS te jednofazno spojen u vlastitu potrošnju trafostanice. Na dolazu iz invertora ugrađeno je i napredno brojilo tako da se zabilježe podaci o proizvodnji u svakom trenutku, te ostali parametri (proizvedene električne energije i maksimalne snage u vremenu i dr.).



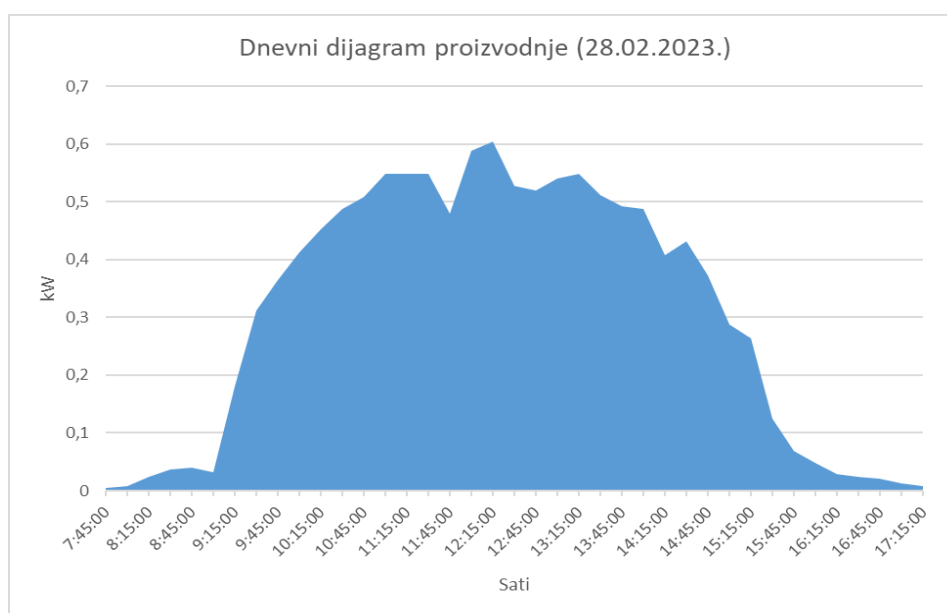
Slika 3. Montaža solarnog cijepa na pripremljenu podlogu na krovu KTS

Novi solarni krov trafostanice u pogonu je od listopada 2022. godine, te u tom periodu nije bilo nikakvih problema sa ugrađenim FN sustavom. U periodu od četiri mjeseca prikupljena su mjerenja iz ugrađenog naprednog brojila, te su na slici 4. prikazani dijagrami proizvodnje i postignute maksimalne snage. Budući se radi o zimskim mjesecima, sa kraćim dnevnim razdobljima i manjim brojem sunčanih dana, za očekivati je da će generirana proizvodnja tijekom ljetnih mjeseci biti barem 20-30% viša (generirana snaga i dnevni period proizvodnje, te posljedično i proizvedena energija).



Slika 4. Dijagram proizvedene energije i maksimalno generirane snage tijekom četiri zimska mjeseca

Na slici 5. je prikazan i dnevni dijagram proizvodnje za jedan sunčani dan u veljači u kojem je postignuta maksimalna generacija, iz kojeg se može vidjeti da je maksimalna proizvodnja postignuta u 12 sati, a da se u vremenu od 10 sati do 15 sati postizala snaga iznad 50% maksimalne. Ostatak vremena je proizvodnja rapidno opadala. Za očekivati je da će se tijekom ljetnih mjeseci taj dijagram proširiti, i po maksimalnoj snazi i periodu veće iskoristivosti, što dani budu duže trajali i sunčeve zrake izravnije obasjavale solarne crjepove.



Slika 5. Dijagram dnevne proizvodnje solarnih crjepova

Može se zaključiti da solarni krov obavlja predviđenu zadaću kompenzacije vlastite potrošnje ugrađenog sustava daljinskog upravljanja, te da je vizualno atraktivan, moderan, te da se može razmatrati njegova ugradnja i na drugim lokacijama na sličnim KTS, pogotovo u turističkim i urbanim sredinama gdje će se na taj način i promovirati energetska učinkovitost i ekološka osviještenost hrvatskog distributera električne energije.



Slika 6. KTS 10(20)/0,4 kV Užarija sa ugrađenim solarnim crjepovima

Još jedna od primjena koja se sama po sebi nameće je ugradnja istog sustava solarnih crjepova na novopredviđene trafostanice X/20 kV naponskog nivoa, koje se u pravilu također projektiraju sa kosim krovom i crijepom. Isto tako se može razmatrati i primjena kod rekonstrukcija trafostanica primarne distribucije, u slučaju da je nužna i zamjena krovnog pokrova. Na jednoj takvoj građevini, koja može imati površinu jedne strehe krova (one koja je više orijentirana prema jugu) u prosjeku od 100 m<sup>2</sup>, moguće je ugraditi solarne crijepove ukupne vršne snage od 15-20 kWp, što ponovno odgovara prosječnoj snazi vlastite potrošnje, koja u primarnim stanicama, zbog više aktivnih sustava, može iznositi 10-ak kW u stacionarnom stanju.

#### 4. ZAKLJUČAK

Tehnologija solarnog crijepa svakako ima niz prednosti nad ugradnjom solarnih panela na kose krovove poslovnih i privatnih zgrada (kuća), pa tako i energetske objekata – trafostanica. Sigurno je da se već i danas svaki malo ekskluzivniji turistički objekt, pa i privatna obiteljska kuća viših standarda projektira i gradi sa nekim od sustava solarnih crijepova. Ti sustavi se mogu na isti način primijeniti i kod izgradnje novih energetske objekata, gdje se konstantna potrošnja sekundarnih sustava (tehnički gubici trafostanice) može kompenzirati ekološkom proizvodnjom električne energije iz obnovljivog izvora. Isto tako ugradnja solarnih crijepova na ciljanim lokacijama malih distributivnih KTS 20/0,4 kV je opravdana i preporučljiva, jednim dijelom zbog smanjenja tehničkih gubitaka u mreži, ali isto tako, možda i više, s ciljem povećanja vizualne atraktivnosti energetske objekata, uklapanja u moderni urbani okoliš ili jednostavno promocije ekološke osviještenosti i primjene obnovljivih izvora u distribuciji električne energije.

#### 5. LITERATURA

- [1] Vodič za instalaciju solarnih crjepova Terran Generon, ožujak 2022.