



Otočni
fotonaponski
sustavi

ČUVANJE, TROŠENJE I PRODAJA STRUJE

žnjenosti, čime im se ubrzano skraćuje životni vijek.

Na slikama 1. i 2. vidljiv je bidirekcijski pretvarač (engl. *bidirectional inverter, inverter-charger*) precizno opisan u prošlom nastavku. On može energiju provoditi u oba smjera - od generatora prema baterijama i od baterija prema trošilima. Također, može i izravno spojiti generator s trošilima.

Bojama je prikazan smjer gibanja energije, dok se baterija ponaša kao spremnik koji *punimo i praznimo*. Pritom je generator samo izvor energije, a *trošila* je samo *troše*.

Ipak, ne zaboravimo da se energija ne troši već se samo pretvara u drugi oblik. Tako se električna energija u glatčalu ne troši već se pretvara u toplinsku energiju!

Bojama je prikazana razlika dijela sustava s istosmjernim, odnosno izmjeničnim naponom, gdje je svijetloplavi dio s istosmjernim naponom, a tamnoplavi onaj s izmjeničnim naponom.

Pokušajmo sada u primjeru na slici 2. generator zamijeniti priključkom na javnu mrežu.

Takav sustav je prikazan na slici 3., a s njim je moguće i vraćati energiju u mrežu!

Lako je zamisliti situaciju kad se po sunčanom danu baterije napune *do vrha* - a trošila trenutno ne trebaju energiju! Zašto bismo zaustavljali proizvodnju energije u fotonaponskoj elektrani, kad višak energije možemo vratiti u mrežu?

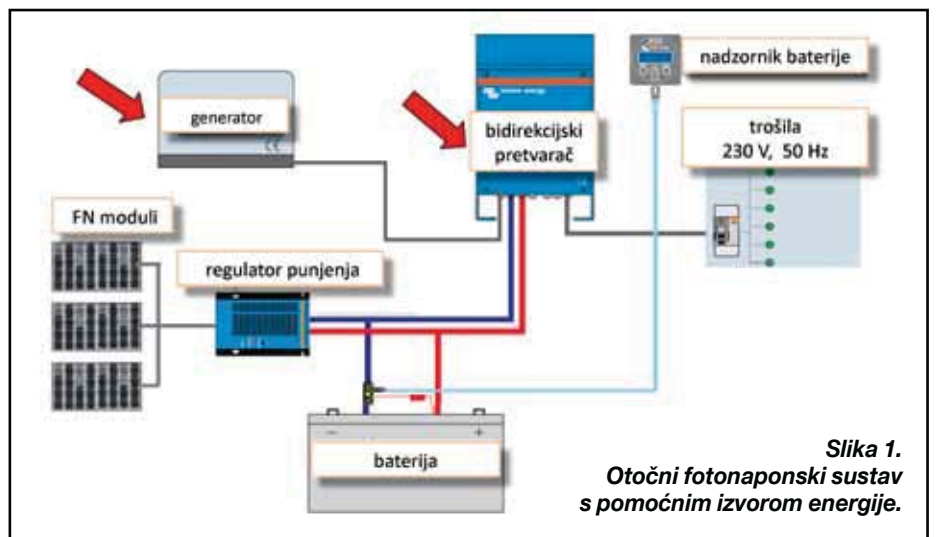
Takav *energetski čvor* koji može razmjenjivati energiju s mrežom, nazovimo *tip 1* (jer, postoji i energetski čvor koji ćemo nazvati *tip 2!*).

Kad nam je cilj da većinu energije pospremimo *za kasnije*, kad nam zaista bude trebalo, energetski čvor tipa 1 je

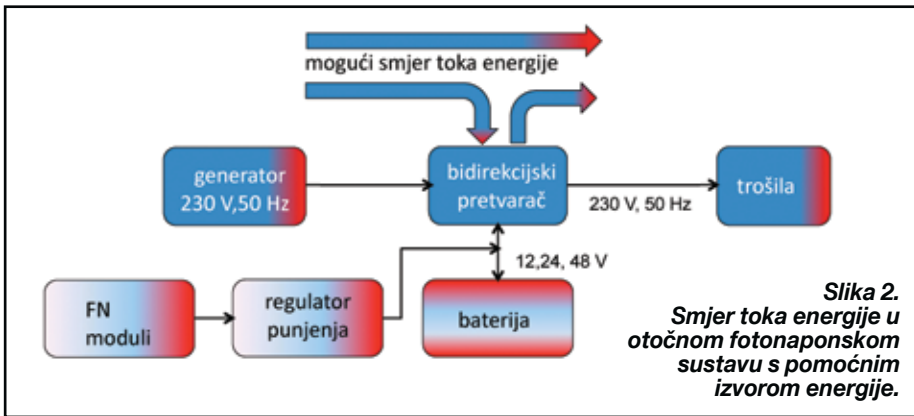
U prošlom nastavku opisan je način djelovanja *otočnog fotonaponskog sustava* koji osigurava stopostotnu pouzdanost opskrbe električnom energijom.

Takav sustav zahtijeva u pričuvi dodatni izvor energije no pritom prioritet zadržava korištenje sunčeve energije. Međutim, kad je u pitanju izvanredna potrošnja ili dugotrajno oblačno vrijeme, *uskače* dodatni izvor, najčešće generator.

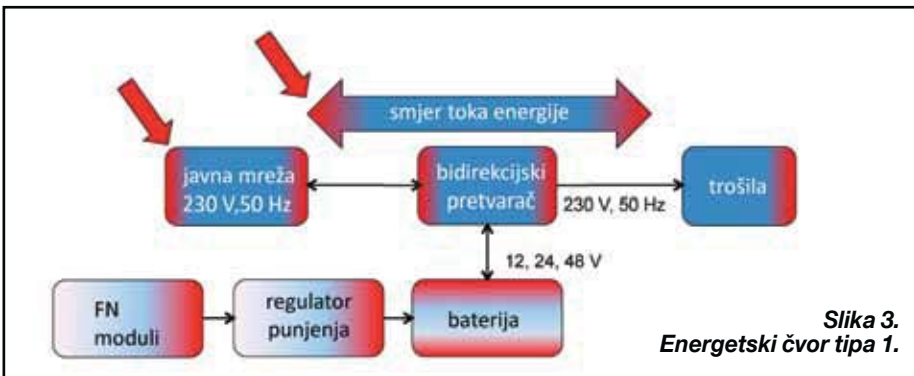
Slika 1. prikazuje takav sustav. Kad su baterije prazne, aktivira se generator. Postojanje generatora omogućava i propisano održavanje baterija, jer olovne baterije *ne vole* ni duboko pražnjenje, ni dugotrajno stanje duboke ispra-



Slika 1.
Otočni fotonaponski sustav
s pomoćnim izvorom energije.



Slika 2. Smjer toka energije u otočnom fotonaponskom sustavu s pomoćnim izvorom energije.



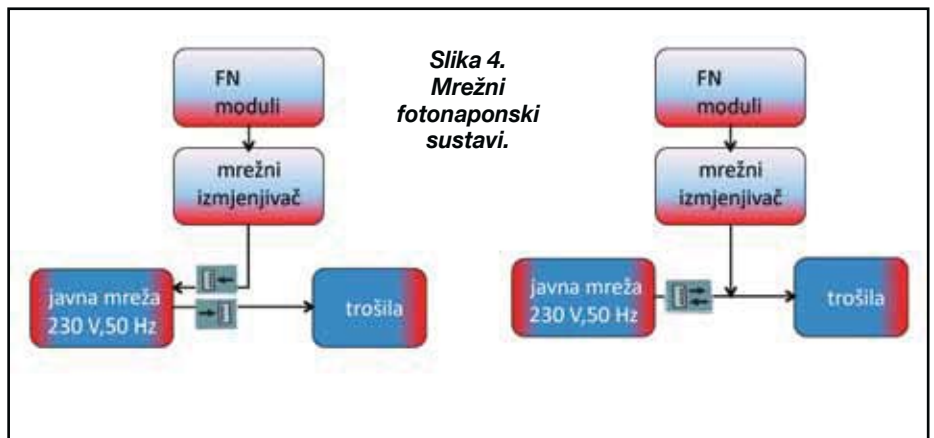
Slika 3. Energetski čvor tipa 1.

najefikasnije rješenje, a istodobno najizdržljivije i najjeftinije.

No, prije negoli objasnimo energetski čvor **tip 2**, pokazat ćemo dva najčešća tipa mrežnih fotonaponskih sustava. To je i jedino logično, jer mrežni je fotonaponski sustav zapravo dio energetskog čvora tipa 2.

To su sustavi koji svu proizvedenu energiju predaju mreži na koju su priključeni. Oni nemaju spremnik energije tj. nemaju baterija.

Lijevi sustav na slici 4. predaje u mrežu svu proizvedenu energiju, a trošila pak svu potrebnu energiju uzimaju iz



Slika 4. Mrežni fotonaponski sustavi.



mreže, što je tipično za sustave iz kojih se energija prodaje uz poticajnu otkupnu cijenu, a takvih već sada ima i u Hrvatskoj.

Malo je vjerojatno da će se u budućnosti takav model s višom otkupnom cijenom značajnije razvijati, jer svi mi u cijeni običnih kilovata moramo skuplje plaćati proizvedenu energiju nekolicine sretnika koji su navrijeme ušli u ograničene kvote.

U nekim zemljama Europe takav se sustav poticaja s višom otkupnom cijenom energije u odnosu na prodajnu cijenu energije iz mreže uglavnom napušta ili je već napušten. Dijelom je riječ o političkim odlukama, a dijelom i posljedicama krize, kao u Španjolskoj. Za taj sustav karakteristična su dva broja, jedno za energiju predanu mreži, a drugo za primljenu energiju iz mreže.

Desni sustav slici 4. je mrežni fotonaponski sustav koji u mrežu predaje samo višak proizvedene energije.

Primarno se troši uglavnom fotonaponska energija, a mreži se predaje tek ono što se ne može potrošiti. Sustav ima jedno dvosmjerno brojilo koje u ne-

kom nekom razdoblju registrira *bilancu* razmijenjene energije. Nakon prijetoja, plaća se samo ona energija koja je u konačnici *povučena* iz mreže. Tako je to u Europi.

I kod nas se počinju primjenjivati sustavi kao na slici 4 (desni), no za energiju koju predajete u mrežu nećete dobiti ništa, no zato će vam naplatiti sve što ste iz mreže povukli. U odnosu na mogućnosti koje su postojale i to je već veliki napredak! Jer, projektirate li i izradite svoj sustav tako da svu proizvedenu energiju, ili barem njezin najveći dio, uspijete potrošiti lokalno, onda nećete ništa predavati mreži pa, pa nećete ništa ni izgubiti! Što to praktično znači?

Ako objekt troši npr. maksimalno 70

solarna struja (7)

kW snage, onda ima smisla postaviti fotonaponsku elektranu koja će, na primjer, proizvoditi maksimalno 10 kW, pa će sva proizvedena energija biti lokalno potrošena. Na takvom objektu nije logično postavljati fotonaponsku elektranu od 100kW, jer će onda barem 30kW snage proizvoditi energiju koju ne možete potrošiti, već je morate predati mreži. Za tu energiju ne dobivate ništa, pa 30 kW snage naprosto poklanjate bez naknade.

Danas je za takve sustave moguće

energiju sustavom koji je karakterističan za **energetski čvor tipa 2**.

No, kako on funkcionira? Na slici 7. prikazan je tipičan dijagram kućne potrošnje energije, zajedno s mogućom proizvodnjom energije iz sunčane elektrane.

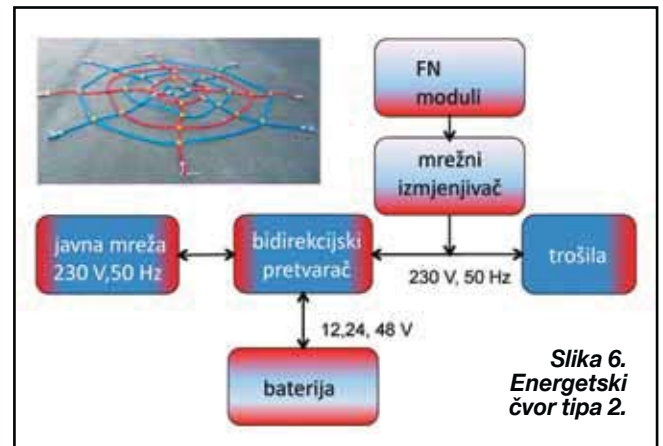
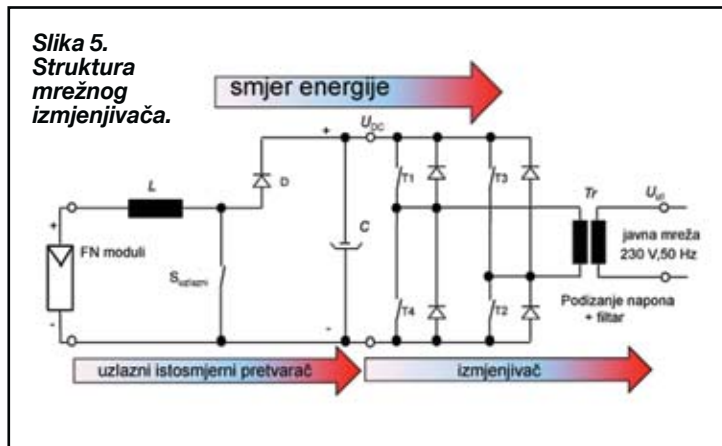
Vidljivo je da se vremenski periodi maksimalne potrošnje i maksimalne proizvodnje ne preklapaju.

Mrežni fotonaponski sustav s mrežnim izmjenjivačem sav bi višak energije (označeno žutim) predao u mrežu.

U stvari, tu bi se energiju nepovoljno prodalo ili, što je vjerojatnije, naprosto poklonilo distributeru.

Ali, u **energetskom čvoru tipa 2** to nije slučaj. Jer, pametnije je energiju spremiti i koristiti je kasnije, kad je zaista potrebna, navečer i noću, kad je na tržištu skupa jer nema Sunca i kad je baš svi trebaju.

Kako se time *poravnavaju vrhovi potrošnje* u elektroenergetskom sustavu, regulatori tržišta u Europi primjenjuju politiku cijena kojom je energija navečer

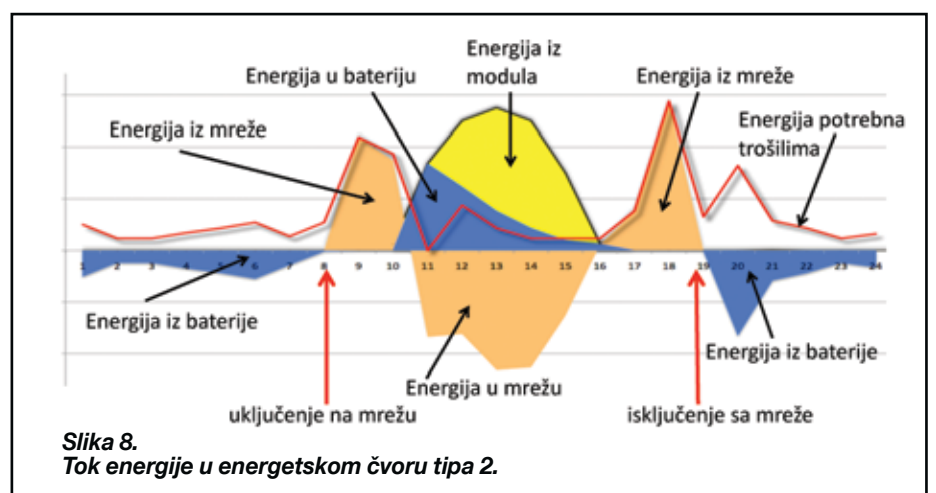
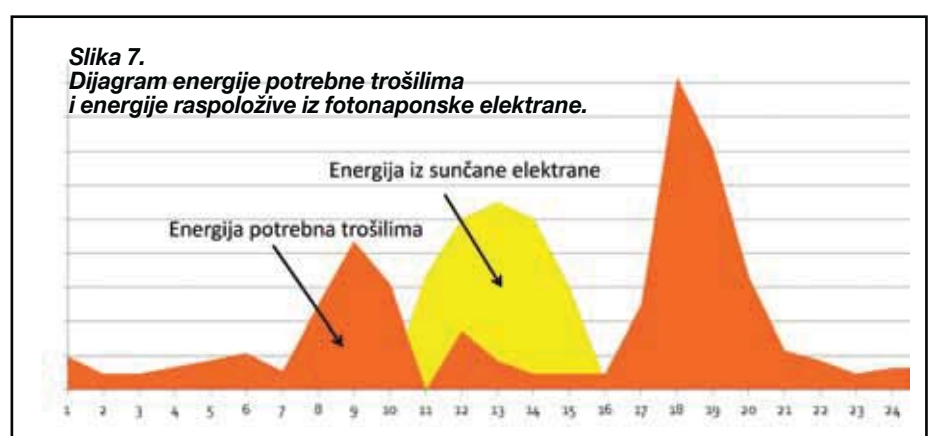


dobiti jednokratne i bespovratne potpore raznih fondova, pa možemo očekivati da će se u Hrvatskoj proširiti i njihova primjena.

Kako smo vrlo detaljno objašnjenja rada uzlaznog istosmjernog pretvarača i izmjenjivača objavili u prošlom nastavku, na slici 5. prikazujemo samo strukturu mrežnog izmjenjivača.

(U posebnoj nastavku ove serije opisat ćemo mrežne fotonaponske sustave detaljnije, s primjerima iz prakse).

Mrežni je izmjenjivač namijenjen pretvaranju sunčeve energije u električnu



i noću skuplja čime potiču lokalno spremanje energije.

To čeka i nas, bez sumnje.

Dijagram na slici 8. dodatno pojašnjava način djelovanja energetskog čvora tipa 2 koji je od jutra do večeri spojen na javnu mrežu. To znači da kroz sustav postoji izravna veza javne mreže i trošila. Po danu se energija Sunca kroz mrežni izmjenjivač primarno pohranjuje u baterije. Višak energije, koja ne treba bateriji u procesu punjenja, prosljeđuje se prioriteto trošilima, a tek ako i njima

trenutačno ne treba, predaje se u mrežu. Kada su baterije napunjene, onda se energija prosljeđuje samo trošilima, a višak se predaje u javnu mrežu.

Ako trenutačno nema trošila, a baterije su pune, sva se proizvedena energija predaje mreži. Uvečer se sustav odspaja s mreže i troši se energija prikupljena u baterijama.

Autonomnu mrežu za napajanje trošila stvara tada bidirekcijski pretvarač. Kada se energija prikupljena danju tijekom noći *potroši*, sustav se ponovno i

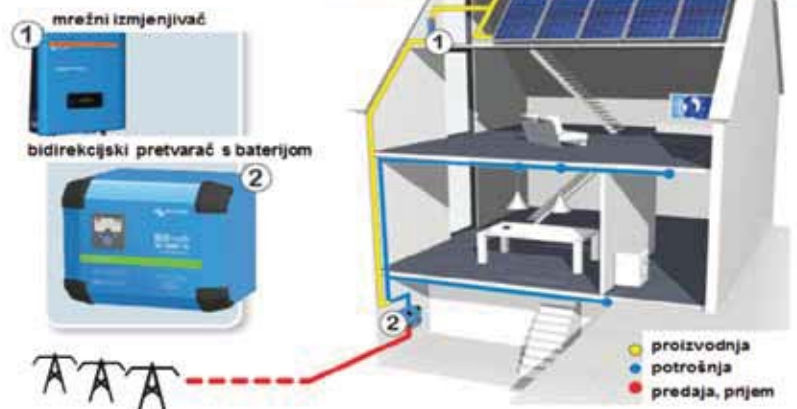
automatski spaja na javnu mrežu. Ako je oblačno ili su fotonaponski moduli pokriveni snijegom, tada se navečer sustav ne odspaja s javne mreže jer i nako nema prikupljene energije za noćnu potrošnju. Čeka se trenutak kad će baterija opet biti puna kako bi se potom uvečer sustav mogao odspojiti s mreže.

Sustav ima i svojstvo premoštenja neočekivanih kratkotrajnih ispada mreže na koju je spojen.

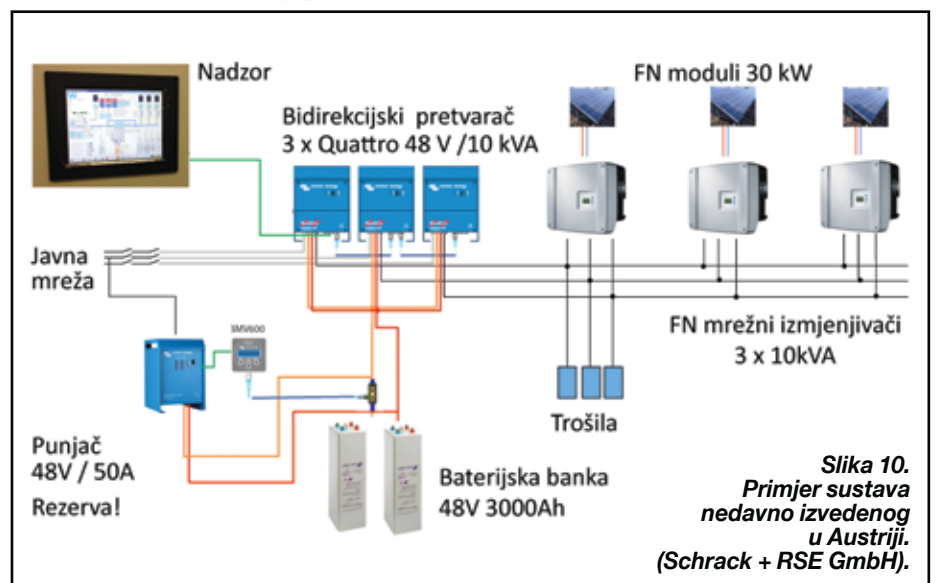
U periodu *ispada mreže* sustav troši-



Slika 9.: Kuća kao proizvođač, spremnik i trošilo električne energije.



Slika 11. Detalji izgradnje sustava. Razdjelnik s učinkom elektronikom, baterijska banka, mrežni izmjenjivači... (Schrack + RSE GmbH).



lima predaje energiju iz baterija - pod uvjetom da u njima ima dovoljno spremljene energije.

Na ovaj način svaka kuća može postati *energetski aktivan čvor elektroenergetskog sustava*, a ne samo pasivno trošilo.

Možemo se samo nadati da će princip energetskog čvora 2 barem u skoroj budućnosti postati standardni dio kućnog priključka, kao što su danas električna brojila u svakom domu.

Najjednostavniji otočni fotonaponski sustav - za svakoga!

Iako je logično očekivati kako netom opisani energetski čvor tipa 2 ima sigurnu budućnost, u njegovu izvedbu će se ipak tek rijetki upustiti bez stručne projektantske i izvedbene pomoći. Zato nam je želja opisati jedan krajnje jednostavan sustav, primjeren za izgradnju u ovim ljetnim mjesecima.

Tvrtka **SCHRACK TECHNIK** ga naziva **Micro sustav**.

(Prisjetite se **SCHRACK Mini-sustava** s 3 modula i **SCHRACK Midi-sustava** sa 6 modula koje smo opisali u *Majstoru* 7-8/2013.)

Slika 12. prikazuje zaista najjednostavniji mogući otočni sustav. Primijenjen je MPPT regulator punjenja koji *sljedi točku maksimalne snage* na naponsko/strujnoj karakteristici fotonaponskog modula - pri nekom trenutnom osunčanju. Na ulazu, gdje se priključuje fotonaponski modul, MPPT-regulator ima silazni istosmjerni pretvarač. Time je ostvareno da se ukupna raspoloživa snaga prenosi prema baterijama.

Snižavanjem razine napona - od razine napona fotonaponskog modula do razine napona baterije u MPPT-regulatoru punjenja - povećava se struja punjenja baterije u odnosu na struju fotonaponskog modula. To je zato što snaga koja prolazi kroz MPPT-regulator ostaje nepromijenjena.

Prisjetit ćete se da se kod običnog PWM regulatora punjenja snaga prenosi u *impulsima pune snage* gdje se trajanje impulsa snage podešavalo.

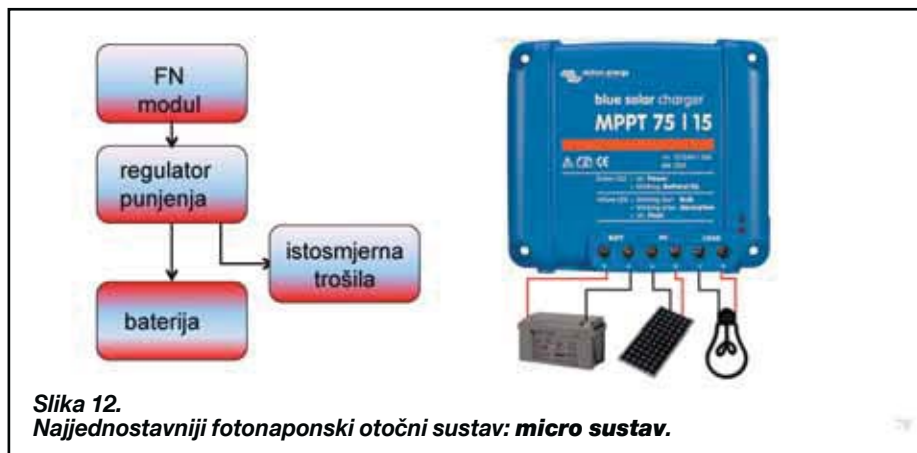
O razlici i građi MPPT-regulatora punjenja i PWM regulatora punjenja smo pisali u *Majstoru* 11-12/2013.

Na slici 13. je samo zorni podsjetnik koliko je MPPT regulator efikasniji u odnosu na PWM regulator punjenja.

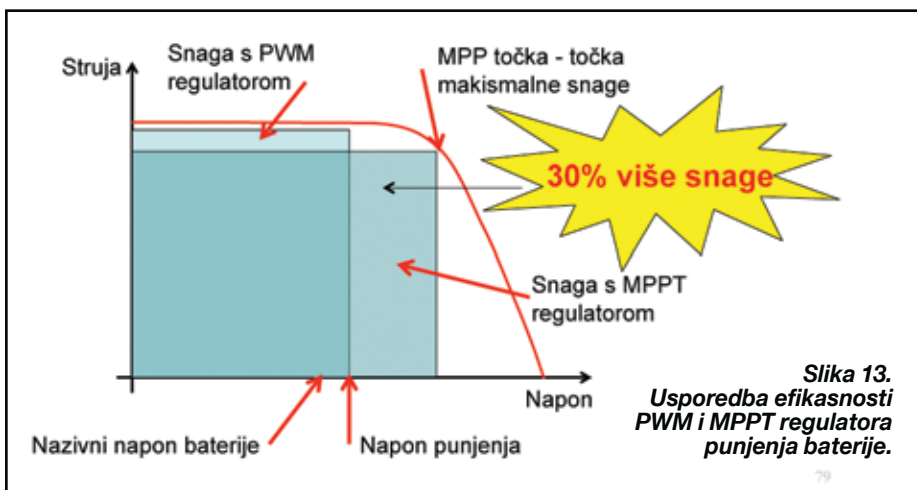
Na MPPT-regulator tipa MPPT 75/15 mogu se izravno spojiti trošila! Jer, taj uređaj ima stabilizirani izlaz istosmjernog napona za trošila, do 15A.

Isprazne li se baterije ispod zaštitne naponske razine, ovaj stabilizirani izlaz za priključak trošila automatski će odspojiti trošila i time zaštititi bateriju od predubokog pražnjenja.

Izlaz za trošila je elektronički zaštićen od kratkog spoja. Regulator može automatski prepoznati koja baterija je na njega priključena (12 ili 24V) i tako po-



Slika 12. Najjednostavniji fotonaponski otočni sustav: micro sustav.



Slika 13. Usporedba efikasnosti PWM i MPPT regulatora punjenja baterije.

desiti stabilizirani napon izlaza za trošila. U **SCHRACK TECHNIK Micro sustav** ugrađuje se baterija od 12V, pa je i izlaz stabiliziran na taj napon. Maksimalni napon ulaza je 75V, što znači da se smije priključiti samo jedan fotonaponski modul tvrtke **SCHRACK TECHNIK snage 250Wp**.

Regulator ima ugrađen topivi osigurač prema bateriji, a to je uobičajeni automobilski osigurač od 20A, lako dostupan i s vanjske strane uređaja. Maksimalna struja punjenja baterije koju uređaj može dati je 15A.

Prema pravilu bi struja punjenja olovni solarnih baterija trebala biti oko 15% po čemu bi ovom regulatoru idealno odgovarala baterija od 100Ah. No, za **Micro sustav SCHRACK TECHNIK** preporučuje bateriju 220Ah/12V koju smo detaljno opisali detaljno u *Majstoru* 11-12/2013.

Ta baterija omogućuje kasnije proširenje sustava s još jednim regulatorom punjenja i još jednim modulom, kako je prikazano na slici 15!

Time se dobiva dodatnih 15A na istosmjernoj naponskoj razini od 12V - za spajanje trošila. Sustav se može opremiti i nadzornikom baterija o kojem smo također detaljno pisali u istom broju *Majstora* (11-12/2013).

DC-sklopka služi za razdvajanje baterija od ostatka sustava i poželjno ju je ugraditi i u najmanji sustav prikazan na slici 12. S izgradnjom sustava možete započeti od konfiguracije prikazane na na toj slici, a potom ga proširiti do opsega vidljivog na slici 15, prema potrebi i raspoloživim sredstvima.

Kako su u sustavu dva MPPT-regulatora punjenja, onda i fotonaponske module možete postaviti na različita mjesta i pod različitim nagibima. Punjači

će sami *brinuti* da svaki iz svog modula izvuče maksimalnu količinu energije.

Micro sustav sa slike 12, odnosno slike 15, namijenjen je primarno trošilima s istosmjernim (DC) naponom od 12V. Međutim, kako većina kućnih trošila zahtijeva izmjenični napon 230V/50 Hz, *micro sustav* možete dopuniti izmjenjivačem koji će iz istosmjernog napona baterije stvoriti izmjeničnu mrežu, kako smo opisali u prethodna dva nastavka naše serije.

Pritom je moguće upravljati radom izmjenjivača tako da izmjenjivač prestaje s radom kad se napon u bateriji *spusti* ispod određene razine.

MPPT-regulator punjenja može tako preko izlaza za DC-trošila upravljati upravljačkim ulazom u izmjenjivaču i određivati blokadu izmjenjivača. Nestane li napon na izlazu za trošila na MPPT regulatoru zbog ispražnjene baterije, onda će se preko upravljačkog ulaza izmjenjivača blokirati i izlaz izmjenjivača.

Tada će i izmjenična trošila prestati uzimati energiju, a bateriju će se zaštititi od dubokog pražnjenja.

Na slici 16. i na slici 17. prikazano je kako se ostvaruje povezivanje upravljačkog ulaza za blokadu rada izmjenjivača i izlaza za trošila na MPPT regulatoru.

U *Majstoru 1-2/2014* opisali smo kako se određuje maksimalno dozvoljena snaga izmjenjivača koji smijemo priključiti na bateriju, a da pritom ne ugrozimo životni vijek baterije:

Snaga izmjenjivača (W) < energija pohranjena u napunjenoj bateriji (Wh) : 5h.

U konkretnom slučaju, u bateriji 12V/220Ah pohranjeno je $220\text{Ah} \times 12 = 2640\text{Wh}$, stoga maksimalna dozvoljena snaga izmjenjivača mora biti manja od $2640\text{Wh}/5\text{h} = 528\text{W}$.

Dakle, na bateriju 220Ah/12V možemo priključiti izmjenjivač i trošila koja će trajno *povlačiti* do 500W.

U iznimnim slučajevima i vrlo kratkotrajno, može se priključiti izmjenjivač od 800W, pa čak i 1200W - no svaka trajnija upotreba izmjenjivača sa snagom većom od 500W ubrzano će *ostarjeti* bateriju.

Upravo je to razlog zašto u *Micro sustavu* preporučujemo bateriju od 12V/220Ah. Priključi li se bateriju manjeg kapaciteta, onda i dozvoljena snaga izmjenjivača za trajni rad mora biti manja!

Važno je pitanje - koliko *Micro sustav* može prikupiti energije i koliko je može predati za trošenje?

Prema slici 12, s jednim fotonaponskim modulom od 250W i jednim MPPT-regulatorom, *Micro sustav* će ljeti (uz optimalan nagib i orijentaciju modula prema jugu - s ekvivalentom od 4 sata osunčanja dnevno), prikupiti

$250\text{W} \times 4\text{h} = 1000\text{Wh}$ energije.

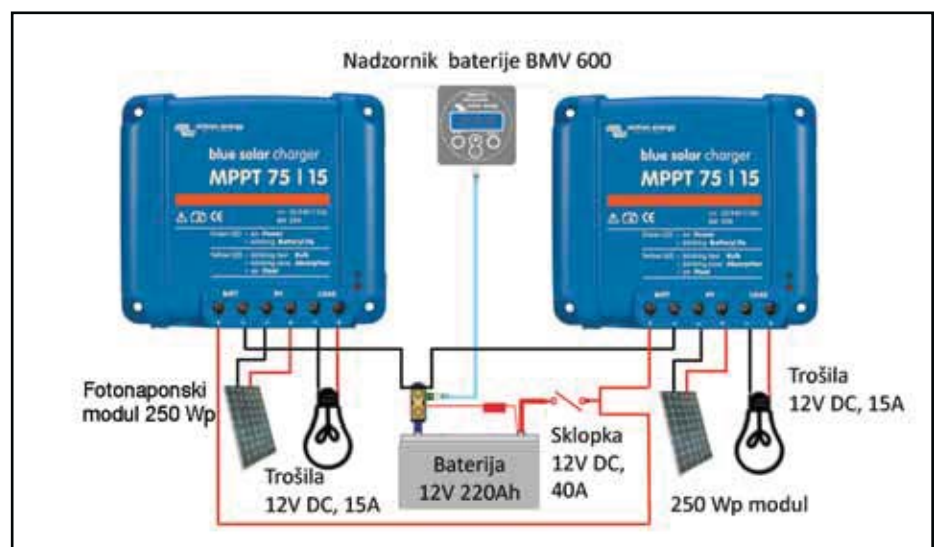
Kako u ovom računu zanemarujemo gubitke, možemo samo pretpostavi da će u idealnim uvjetima naša baterija prikupiti svu dostupnu energiju. Zbog gubitaka to nije točno i ne možemo unaprijed računati s toliko raspoložive energije.



Slika 14.: Topivi osigurač prema bateriji



Slika 15.
Proširenje
Micro sustava.



Koliko dugo će se naša trošila napajati energijom iz baterije zavisi o snazi trošila. Troše li, naprimjer, 500W kontinuirano, trošila bi mogla dobiti napajanje u trajanju:

$1000\text{Wh}/500\text{W} = 2\text{h}$.

Trošimo li pak 100W onda će taj sustav dati napajanje

$1000\text{Wh}/100\text{W} = 10\text{h}$.

Trošimo li više negoli smo prikupili, jasno je da će sustav prije ili kasnije - stati. Prazni li se baterija 12V/220Ah koja u sebi ima pohranjeno 2640Wh umjerenim tempom od 1000Wh na dan, neće se isprazniti ispod polovice kapaciteta, što joj osigurava dugovječnost.

Prema konfiguraciji na slici 15, *micro sustav* s dva modula i dva MPPT-regulatora, dnevno može prikupiti

$500\text{W} \times 4\text{h} = 2000\text{Wh}$

Iz baterije 220Ah/12V u kojoj je pohranjeno 2640Wh, ne smije se uzimati više od 50% njezinog kapaciteta, dakle maksimalno 1320Wh.

S ovim sustavom smo sigurni da imamo dobro punjenje baterije. U jednom danu možemo proizvesti 1320Wh koje namjeravamo potrošiti, ali i dodatnih 680Wh za sigurno nadopunjavanje baterije. Trošenjem manje od 1320Wh na dan produžujemo život baterija. Zavisnost životnog vijeka baterije o dubini pražnjenja također smo opširno pisali u *Majstoru 9-10/2013*.

Možemo zaključiti da je *Micro sustav*

solarna struja (7)

s jednim modulom optimalan za potrošnju od 500W do najviše 1000Wh na dan, dok je prošireni *Micro sustav* s dva modula optimalan za potrošnju do maksimalno 1300Wh na dan.

U zimskim mjesecima ta se dozvoljena potrošnja smanjuje na polovicu.

U oba sustava smijemo priključiti izmjenjivač snage do 500W. Ako je izmjenjivač 800 ili 1200W onda potrošnja iznad 500W mora biti kratkotrajna, najviše 10 minuta na dan.

Ipak, izmjenjivači mogu kratkotrajno dati snagu i dvaput veću od nazivne, što je pogodno za pokretanje raznih uređaja, ali to preopterećenje ne uzimamo u obzir kad općenito govorimo o trajnosti baterije.

Baterija ubrzano stari samo uz dugotrajn rad s trošilima iznad 500W.

Priključujemo li na bateriju i istosmjer-

na (DC) i izmjenična (AC) trošila, ne smije se zaboraviti da se energija na DC i AC trošilima zbraja, a suma ne smije prijeći 1000Wh u *Micro sustavu* s jednim modulom, odnosno 1300Wh kod *Micro sustava* s dva modula.

Najvažniju stvar nikad ne smijemo zaboraviti: možemo trošiti samo ono što smo prikupili, bez obzira je li riječ o AC ili DC naponu. Čim potrošimo više negoli smijemo - sustav prestaje s radom! Nakon toga valja nam pričekati da ga Sunce iznova napuni.

Primjenjujemo li *bidirekcijski pretvarač Multiplus*, možemo oblikovati sustav prema slici 1, sa 100% pouzdanom opskrbom energijom, jer može upravljati i malim pomoćnim generatorom. Moguće je izvesti i energetske čvor tipa 1 prikazan na slici 3, no ne isplati se upuštati u papirnati dio projekta oko

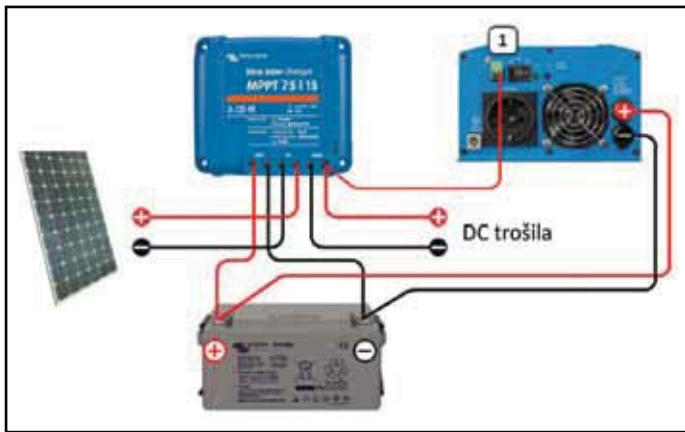
spajanja na javnu mrežu, jer cijenom prikupljene energije od 1000Wh/dan (1 kn/dan) nećemo ostvariti nikakvu isplativu uštedu.

Ipak, tamo gdje javne mreže nema, *Micro sustav* opremljen malim pomoćnim generatorom, prema slici 18, pouzdano će služiti svrsi!

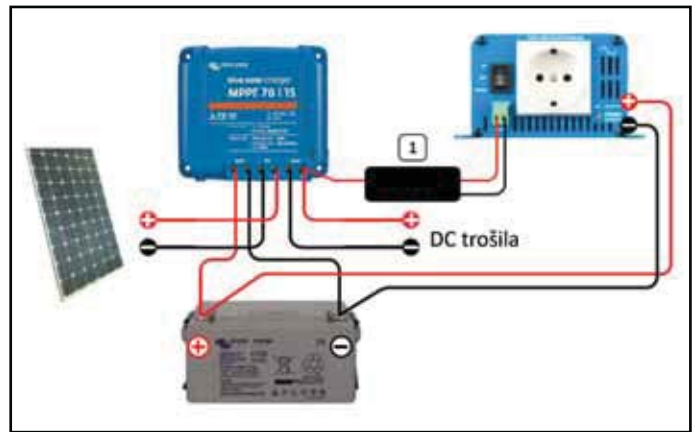
Nakraju, koja li nam oprema treba da bismo realizirali sustav sa slike 15?

Evo koja:

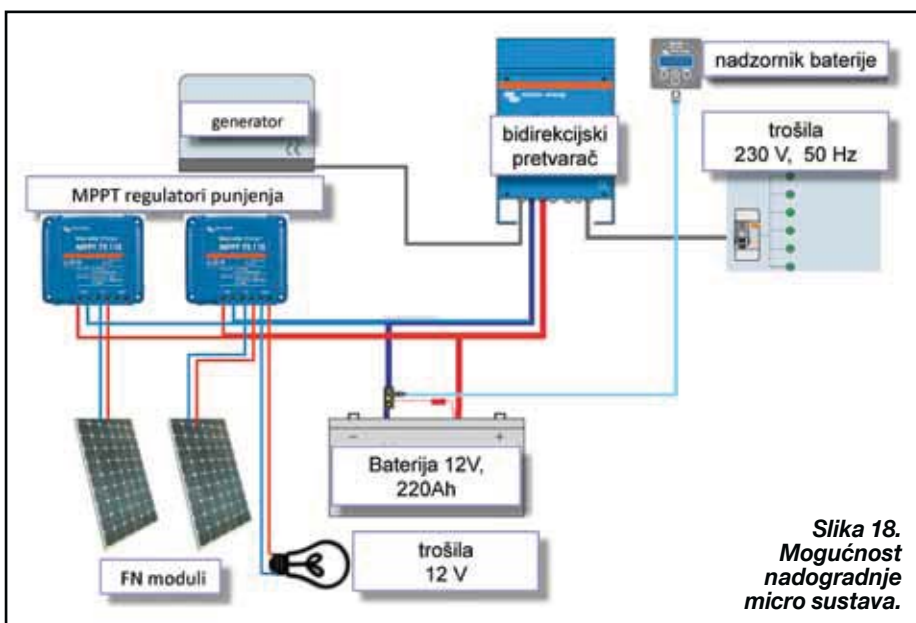
- 2 fotonaponska modula 250Wp, eventualno pribor za montažu modula na krov,
 - 2 MPPT regulatora punjenja MPPT 75/15,
 - 1 solarna baterija 220Ah, 12V, C20,
 - 1 nadzornik baterije, 1 sklopka 40A, 12V DC, 1 komplet spojnih kabela.
- Dodatno, želimo li napajati i izmjenična trošila, tada trebamo i izmjenjivač



Slika 16. Proširenje *Micro sustava* s izmjenjivačem za dobivanje autonomne mreže 230V/50Hz (izmjenjivači Phoenix 12/800, 12/1200).



Slika 17. Proširenje *Micro sustava* s izmjenjivačem za dobivanje autonomne mreže 230V, 50Hz. (za modele Phoenix 12/180, 12/350, Phoenix C i Multi Plus C obavezan je vezni kabel, označen s „1“ koji invertira upravljački signal blokade izmjenjivača).



Slika 18. Mogućnost nadogradnje *micro sustava*.

Phoenix 12V/800W.

Želimo li napajati i izmjenična trošila i priključiti pomoćni izvor, generator, tada nužno trebamo bidirekcijski pretvarač *Multiplus* 12V/1200W.

To zaista ne izgleda komplicirano! Vjerujemo da ćete se ovog ljeta okušati u samogradnji! Puno uspjeha želi Vam stručni tim tvrtke *SCRACK TECHNIK* i časopis *Majstor*.

Za sljedeći nastavak pripremamo opis novog nadzornog panela, opis novog modela punjača baterija, novog kompaktnog sustava - gdje su i punjač i izmjenjivač smješteni u zajedničko kućište, za još jednostavniju montažu.