

Osijek, 2023.

Stjepan Tvorić

# INTELIGENTNE INSTALACIJE I OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE

Priručnik za polaznike

# INTELIGENTNE INSTALACIJE I OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE

Priručnik za polaznike

Algebra d.o.o.

Osijek, 2023.

Sadržaj publikacije isključiva je odgovornost RCK ELPROS.



Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog socijalnog fonda.

## IMPRESUM

Autor: **Stjepan Tvorić**

Urednik i stručnjak za metodologiju izrade nastavnih materijala: **Predrag Šuka**

Recenzent: **Tomislav Đuran**

Grafičko oblikovanje: **BARREK d.o.o.**

Lektor: **Mario Šavorić**

Naslov: **Inteligentne instalacije i obnovljivi izvori energije** (priručnik za polaznike)

Naručitelj i nositelj prava: **Elektrotehnička i prometna škola Osijek**

Odgovorna osoba: **ravnatelj Antun Kovačić, dipl. ing. el.**

Mjesto i godina izdanja: **Osijek, 2023.**

Za više informacija:

Elektrotehnička i prometna škola Osijek

Istarska 3

31000 Osijek

E-mail: [ured@ss-elektrotehnicka-prometna-os.skole.hr](mailto:ured@ss-elektrotehnicka-prometna-os.skole.hr)

---

**Regionalni centar kompetentnosti ELPROS**

**Osijek, 2023.**

Elektrotehnička i prometna škola Osijek nositelj je isključivog prava iskorištavanja ovog autorskog djela za područje zemalja EU, vremenski i sadržajno neograničeno, a koje pravo osobito, ali ne isključivo, obuhvaća imovinska prava autora i to pravo reproduciranja (pravo umnožavanja), pravo distribucije (pravo stavljanja u promet), pravo priopćavanja autorskog djela javnosti uključujući i pravo objavljivanja na bilo kojem mediju i u bilo kojem formatu, kako onima koji su danas poznati, tako i onima koji će postati poznati pravo prerade. Pojedina imovinska autorska prava treća osoba može steći isključivo na temelju pisane suglasnosti Elektrotehničke i prometne škole Osijek.

# Sadržaj:

|                                                                             |           |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>UVOD .....</b>                                                           | <b>5</b>  |
| <b>1. VRSTE INTELIGENTNIH INSTALACIJA .....</b>                             | <b>6</b>  |
| 1.1. Odabir protokola sustava za inteligentne instalacije .....             | 7         |
| 1.2. Sustavi inteligentnih instalacija .....                                | 11        |
| 1.2.1. Sustav inteligentne rasvjete .....                                   | 12        |
| 1.2.2. Sustav grijanja i hlađenja prostora .....                            | 13        |
| 1.2.3. Sustav za praćenje potrošnje plina i vode .....                      | 14        |
| 1.2.4. Sustav za praćenje proizvodnje i potrošnje električne energije ..... | 15        |
| 1.2.5. Sustav sigurnosti .....                                              | 16        |
| 1.2.6. Sustav videonadzora .....                                            | 16        |
| <b>2. TEHNIČKI PARAMETRI I KOMPONENTE INTELIGENTNIH INSTALACIJA ...</b>     | <b>17</b> |
| 2.1. Kontrolne jedinice .....                                               | 19        |
| 2.2. Sučelja .....                                                          | 22        |
| 2.3. Senzori .....                                                          | 23        |
| 2.4. Radiokontrolna jedinica .....                                          | 26        |
| 2.5. Aktuatori .....                                                        | 28        |
| 2.6. Komunikacijski kabeli .....                                            | 29        |
| <b>3. PROJEKTIRANJE I IZRADA SUSTAVA INTELIGENTNIH INSTALACIJA .....</b>    | <b>31</b> |
| 3.1. Dijagram instalacije .....                                             | 34        |
| 3.2. Primjeri instalacija .....                                             | 34        |
| 3.2.1. Napajanje KNX sustava .....                                          | 36        |
| 3.3. Vodiči i način spajanja .....                                          | 37        |
| 3.3.1. Standardizirani TP1 priključni blok .....                            | 37        |
| 3.3.2. KNX PL (Power line) .....                                            | 38        |
| 3.3.3. KNX RF (Radio Frequency) .....                                       | 39        |
| <b>4. TESTIRANJE I VERIFIKACIJA INTELIGENTNIH INSTALACIJA .....</b>         | <b>40</b> |
| <b>5. PRIMJENA OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE .....</b>                        | <b>43</b> |
| 5.1. Sunčevo zračenje .....                                                 | 44        |
| 5.2. Osnovni principi i parametri fotonaponske ćelije .....                 | 48        |

|                                                                     |            |
|---------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.3. Fotonaponski modul .....                                       | 55         |
| 5.4. Frekvencijski pretvarač – izmjenjivač.....                     | 60         |
| 5.5. Prednosti i mane fotonaponskog sustava .....                   | 62         |
| <b>6. PROJEKTIRANJE I IZVEDBA SUSTAVA OBNOVLJIVIH IZVORA</b>        |            |
| <b>ENERGIJE .....</b>                                               | <b>63</b>  |
| 6.1. Samostalni (autonomni) sustav.....                             | 64         |
| 6.2. Hibridni fotonaponski sustavi .....                            | 65         |
| 6.3. Mrežni fotonaponski sustavi.....                               | 66         |
| 6.4. Dijelovi fotonaponske elektrane .....                          | 68         |
| 6.4.1. Regulator punjenja .....                                     | 70         |
| 6.4.2. Baterija (akumulator).....                                   | 70         |
| 6.4.3. Izmjenjivač .....                                            | 71         |
| <b>7. POSTUPAK PRIKLJUČENJA OBNOVLJIVIH IZVORA ENERGIJE NA</b>      |            |
| <b>ELEKTROENERGETSKU MREŽU.....</b>                                 | <b>72</b>  |
| 7.1. Priključenje kućanstva s vlastitom proizvodnjom .....          | 73         |
| <b>8. ZAKONSKA REGULATIVA O OBNOVLJIVIM IZVORIMA ENERGIJE .....</b> | <b>78</b>  |
| <b>9. TESTIRANJE I VERIFIKACIJA SUSTAVA OBNOVLJIVIH IZVORA</b>      |            |
| <b>ENERGIJE .....</b>                                               | <b>83</b>  |
| 9.1. Općenito o programu PV SOL .....                               | 83         |
| 9.2. Izrada projekta fotonaponske elektrane .....                   | 84         |
| 9.3. Sigurnosna zaštita fotonaponskih sustava .....                 | 101        |
| 9.4. Preuzimanje opreme.....                                        | 102        |
| <b>10. ZAKLJUČAK .....</b>                                          | <b>104</b> |

---

# Uvod

---

Moderan i suvremen život danas nije moguć bez upotrebe tehnologija različitih vrsta koje podrazumijevaju primjenu sve naprednijih i inteligentnijih uređaja i rješenja u stambenim kućama i zgradama. Stoga se i pristup projektiranju i implementaciji različitih vrsta instalacija znatno razlikuje od klasičnog, tradicionalnog pristupa, kada ista rješenja nisu bila primjenjivana. Značajan iskorak zapravo je napravljen primjenom informacijsko-komunikacijskih tehnologija (engl. *ICT*) koji je omogućio implementaciju niza rješenja koja pojednostavljuju život u kućama i zgradama, ali je isto tako primorao projektante i izvođače da primjene nova rješenja u projektiranju i izradi instalacija. Ovaj je iskorak stoga doveo do razvoja inteligentnih instalacija, a time i do izrade inteligentnih kuća i stambenih zgrada. Pojam inteligentna kuća obuhvaća više sustava integriranih u jednu cjelinu. Sustavi koji čine inteligentnu kuću su: sustav za rasvjetu, za rolete, za vrata, za grijanje i hlađenje prostora, za sigurnost, za praćenje potrošnje i proizvodnje električne energije, za praćenje potrošnje plina i vode, sustav videonadzora, sustav za upravljanje manjim uređajima, za pomoć invalidima i slično. Iz navedenog je popisa jasno da je prilikom izrade inteligentne kuće potrebno uskladiti niz odgovarajućih struka kako bi se postigla visoka razina automatizacije i same funkcionalnosti kuće za ugodan život.

Pojava, ali i sve veća primjena obnovljivih izvora energije u stambenim kućama značajno utječe na pravilno projektiranje instalacija, pogotovo prilikom izgradnje novih kuća. Budući da su fotonaponski sustavi za proizvodnju električne energije složeni sustavi koji prilikom instalacije zahtijevaju visoku razinu stručnosti, njihova implementacija u sklopu inteligentnih instalacija zauzima posebno mjesto. Stoga je u drugom dijelu priručnika prikazan postupak projektiranja i implementacije fotonaponske elektrane za kućanstvo.

---

# 1. Vrste inteligentnih instalacija

---

## NAKON OVOG POGLAVLJA MOĆI ĆETE:

1. Prepoznati različite vrste inteligentnih instalacija i drugih oblika inteligentnih rješenja.
2. Identificirati ključne karakteristike svake vrste inteligentnih instalacija, poput autonomije, povezanosti, energetske učinkovitosti te sposobnosti prilagodbe okolini.
3. Primijeniti stečeno znanje na stvarne primjere inteligentnih instalacija iz stvarnog svijeta, analizirati njihove prednosti i nedostatke te prepoznati moguće izazove u implementaciji.

Elektroinstalacije u kućanstvima najčešće se koriste za napajanje različitih električnih potrošača, u koje primarno spadaju trošila za osvjetljenje te kućanski uređaji. Postavljanje i polaganje elektroinstalacija izvodi se u zidove, podove ili stropove, podžbukno ili nadžbukno, u zato predviđene odgovarajuće dimenzije cijevi, kanalice i kanala. Prema načinu polaganja instalacija razlikuju se i njene izvedbe, a općenita je podjela instalacija na: elektroenergetske, signalne, gromobranske i telekomunikacijske.

- Elektroenergetske instalacije: ove instalacije namijenjene su za opskrbu električnom energijom različitih potrošača.
- Gromobranske instalacije: ove instalacije namijenjene su za zaštitu ljudi, opreme i objekata od udara i atmosferskih pražnjenja.
- Telekomunikacijske instalacije: ove instalacije namijenjene su za prijenos podataka i komunikaciju.
- Signalne instalacije: ove instalacije služe implementaciji vatrodojavnih sustava, protuprovalnih sustava te drugih dojavnih sustava.

S rastom veličine objekta, razvod elektroinstalacija postaje sve složeniji i skuplji za projektiranje, postavljanje i održavanje. Svaka promjena u funkcionalnosti instalacije često zahtijeva djelomično ili potpuno preuređenje postojećih instalacija, što rezultira

povećanim troškovima i ograničenjima u korištenju objekta tijekom radova. Kako bi se prevladali ovi izazovi, razvijene su inteligentne instalacije.

S obzirom na ubrzan način života i težnju za olakšanim kontroliranjem i praćenjem kućnih sustava poput rasvjete, roleta i vrata, grijanja i hlađenja prostora, praćenja potrošnje plina i vode, praćenja potrošnje i proizvodnje električne energije, sigurnosti, sustava videonadzora i drugih, osmišljen je niz aplikativnih rješenja koja čine skup inteligentnih instalacija (Slika 1).

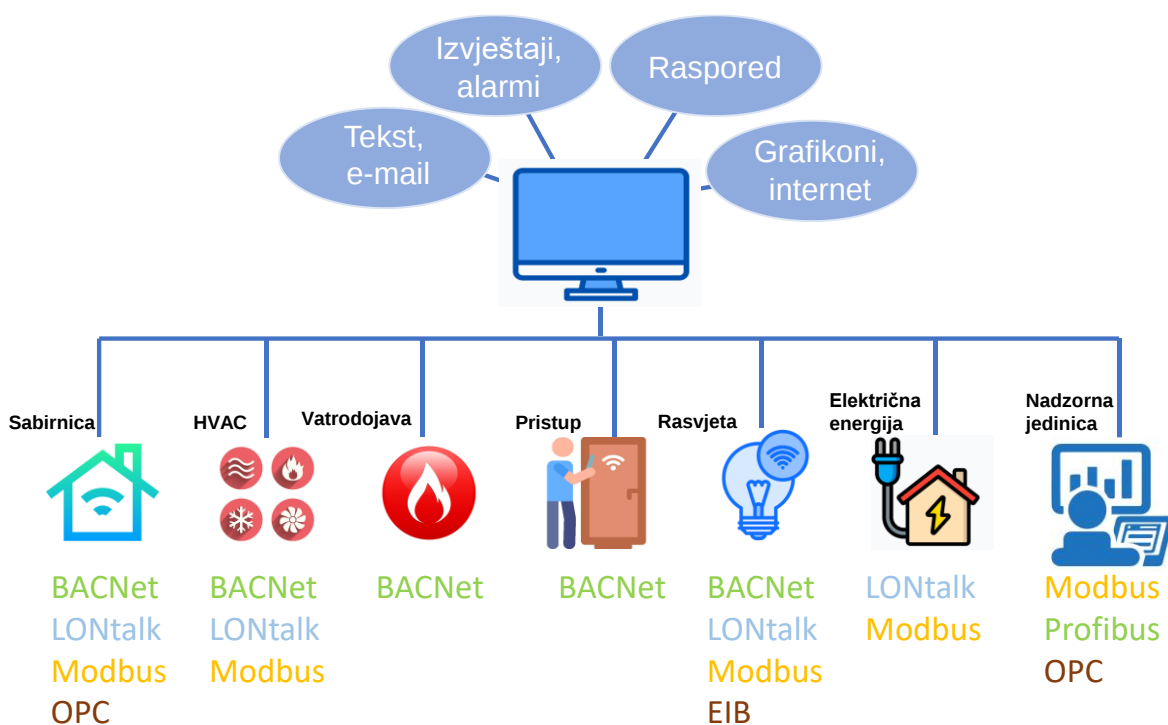


Slika 1. Sustavi inteligentnih instalacija u kući [autorski rad]

Kuća s integriranim inteligentnim instalacijama vodi udobnijem upravljanju domom, omogućava efikasnije upravljanje i bolju iskoristivost energetske resursa (električne energije, vode i plina) te omogućava viši životni standard. U konačnici se povećava vrijednost kuće, smanjuju se troškovi zbog učinkovitijeg gospodarenja energijskim resursima i ostvaruje se udobniji život.

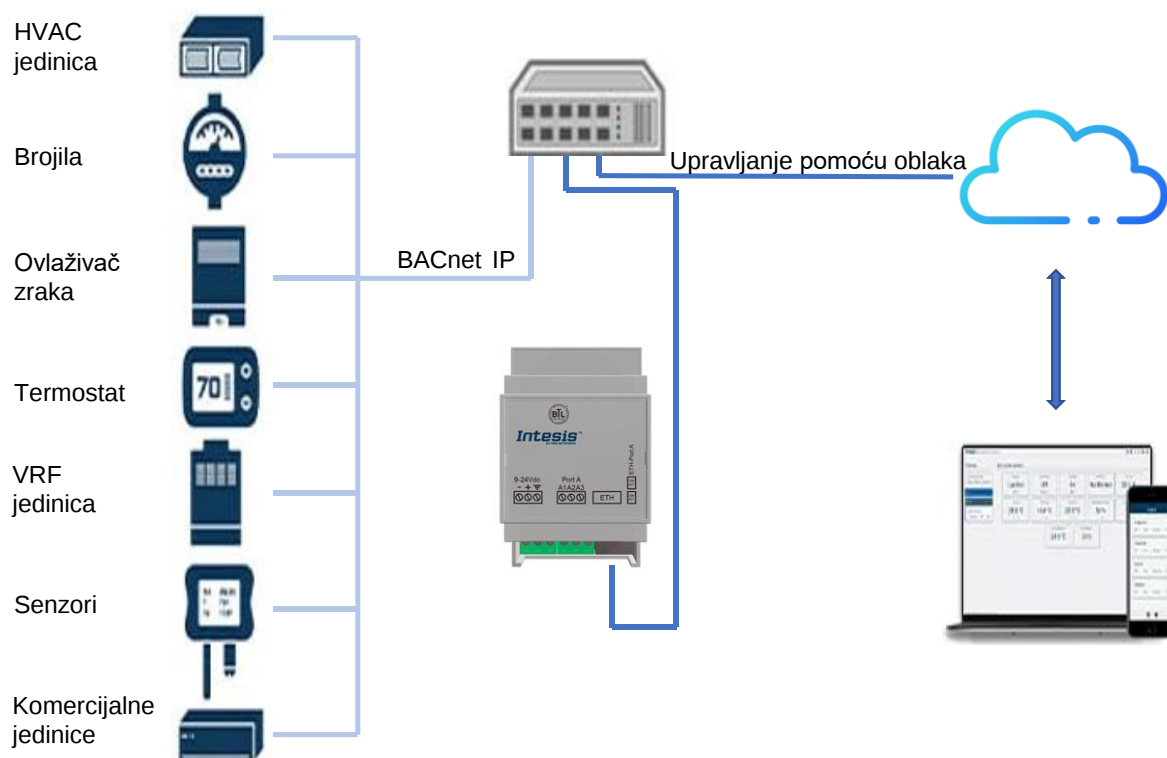
### 1.1. Odabir protokola sustava za inteligentne instalacije

Prilikom projektiranja i izvedbe inteligentnih instalacija potrebno je odabrati sustav na kojem će se bazirati instalacije, odnosno odabrati određeni protokol (standard) koji omogućava komuniciranje, upravljanje i automatizaciju unutar kuće ili zgrade. Neki od najčešće korištenih protokola u industriji inteligentnih instalacija uključuju BACnet, LonWorks, Modbus i KNX protokol.



Slika 2. Primjeri protokola za različite namjene [autorski rad]

**BACnet** je jedan od glavnih protokola za primjenu u sustavu grijanja, ventilacije i klimatizacije (engl. *Heating, ventilation, and air conditioning* – HVAC) i mehaničkim sustavima, a primjena mu raste i na području osvjetljenja i sustava sigurnosti. Dominantan je u komercijalnim zgradama i često se koristi zajedno s Modbus i LonWorks protokolima [1]. Prednosti su BACnet-a otvoreni protokol, koji je pogodan za pristup korisnika, široka primjena u industriji, podrška za BACnet web servis i laka integracija za *IoT* (engl. *Internet of Things*). Mogući problemi očituju se u radu s mrežom (poput ispravna slanja poruka) i kao problemi s MS/TP vezom [2]. Otvorenost protokola znači i da korisnik mora biti u mogućnosti upravljati s više proizvoda različitih proizvođača, što također može dovesti do komplikacija prilikom rada sustava.



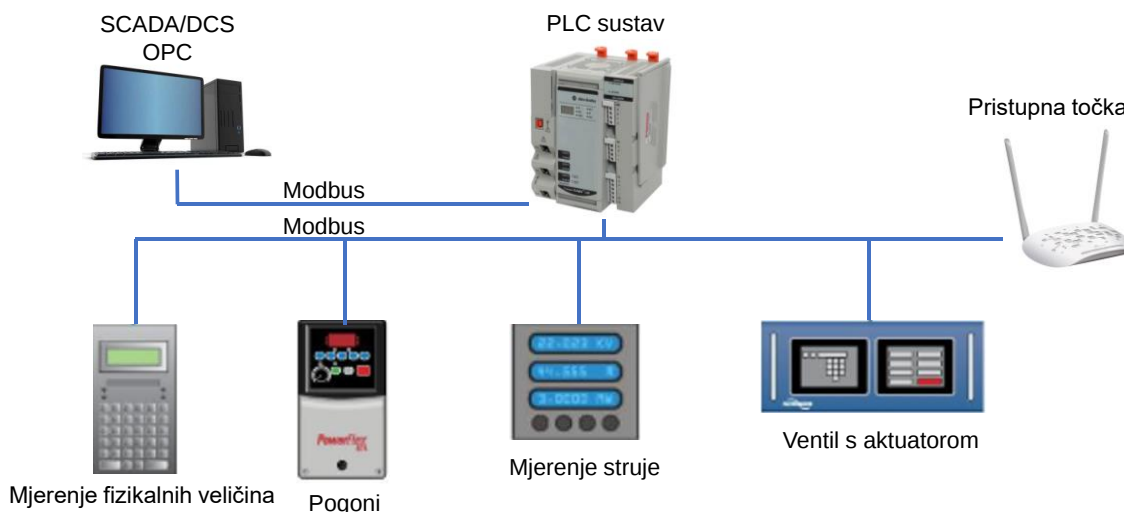
Slika 3. Primjer BACnet protokola [autorski rad]

**LonWorks** protokol često se koristi u sustavima sigurnosti, sustavima za osvjetljenje, sustavima za grijanje, ventilaciju i klimatizaciju, mjerenju fizikalnih veličina i slično. LonWorks se može smatrati zastarjelim protokolom koji je nadmašen otvorenijim, modernijim protokolima, ali još se uvijek koristi. U usporedbi s BACnet-om, LonWorks ima nižu razinu usvajanja te zahtijeva proces testiranja i certificiranja. Iako je protokol zatvorenog tipa, može se integrirati s drugim sustavima. Razvijen je kao podatkovni protokol i električki standard za digitalne komunikacije.



Slika 4. Primjer LonWorks protokola [autorski rad]

**Modbus** protokol tradicionalno se koristi u industrijskim sustavima, transportu i energetici. Modbus zahtijeva proces testiranja i certificiranja, ali je otvoreni protokol bez naknada ili troškova. Najčešće se primjenjuje u industriji, jednostavan je za korištenje i razumijevanje te ga je lako koristiti putem interneta.



Slika 5. Primjer Modbus protokola [autorski rad]

**KNX** protokol koristi se u različitim sustavima, uključujući sustav za grijanje, ventilaciju i klimatizaciju, senzore za kontrolu pristupa, sustavima sigurnosti i osvjetljenja. Prisutan je uglavnom u komercijalnim i stambenim automatiziranim zgradama i kućama. Ima decentraliziranu topologiju i nisku potrošnju energije. KNX sustav naširoko je usvojen u Europi i detaljnije je opisan u daljnjem tekstu. Tip je tip protokola koji će se koristiti u prikazu korištenja inteligentnih instalacija u ovom priručniku.



Slika 6. Primjer KNX protokola [autorski rad]

## 1.2. Sustavi inteligentnih instalacija

U današnjem svijetu tehnologije i automatizacije sustavi inteligentnih instalacija postaju sveprisutan i neizostavan dio našeg života. Ovi sustavi, koji uključuju upravljanje rasvjetom, grijanjem i hlađenjem, praćenje potrošnje energije te mnoge druge aspekte našeg okoliša, donose brojne prednosti koje oblikuju način na koji živimo, radimo i koristimo resurse. Inteligentni sustavi instalacija često se nazivaju „pametnim kućama“ ili „pametnim zgradama“ jer omogućavaju nadzor i upravljanje različitim aspektima životnog prostora pomoću naprednih tehnoloških rješenja.

Jedna je od ključnih karakteristika inteligentnih instalacija sposobnost komunikacije i suradnje između različitih uređaja i sustava unutar doma ili poslovne zgrade. Ovi sustavi koriste senzore, računalne algoritme i bežične komunikacijske tehnologije kako bi se automatski prilagodili okolini, potrebama i preferencijama korisnika. Na primjer,

pametni sustav rasvjete može prilagoditi intenzitet svjetla ovisno o prirodnom svjetlu ili vremenskim uvjetima, čime se štedi energija i povećava udobnost korisnika.

Pametni sustavi grijanja i hlađenja omogućavaju precizno upravljanje temperaturom u različitim prostorima, što također doprinosi energetskej učinkovitosti i udobnosti. Praćenje potrošnje energije putem pametnih mjernih uređaja omogućava korisnicima bolje razumijevanje i kontrolu svojih energetskih troškova te promiče održiv način života.

Inteligentni sustavi instalacija igraju i ključnu ulogu u sigurnosti i zaštiti. Kombinacija senzora, kamera i pametnih alarma omogućava korisnicima da nadziru svoj prostor i reagiraju na potencijalne prijetnje u stvarnom vremenu.

### **1.2.1. Sustav inteligentne rasvjete**

Sustav inteligentne rasvjete prilagođava osvjetljenost prostora prema zahtjevima korisnika, s fokusom na smanjenje troškova električne energije. Sustavom inteligentne rasvjete može se upravljati pomoću mobilnog uređaja, tableta ili specificiranog daljinskog upravljača. Rasvjeta se može uključivati i isključivati te postavljati prema željenom rasporedu i željenom intenzitetu osvjetljenosti prostorije u određeno vrijeme. Pomoću senzora za detekciju pokreta rasvjeta se automatski uključuje i isključuje ovisno o detektiranim pokretima (primjerice, u dječjim spavaćim sobama rasvjeta se, umjesto isključivanja, može prigušiti, a kada se dijete probudi, senzor detektira pokret i rasvjeta se automatski uključuje).



Slika 7. Primjer sustava za upravljanje rasvjetom [3]

Također, u sustav inteligentne rasvjete spadaju i automatske rolete, koje se mogu podizati i spuštati u skladu s izlaskom i zalaskom sunca. Automatskim roletama učinkovito se koristi prirodna svjetlost. Uz to, automatskim roletama moguće je upravljati mobilnim uređajem ili tabletom.

### 1.2.2. Sustav grijanja i hlađenja prostora

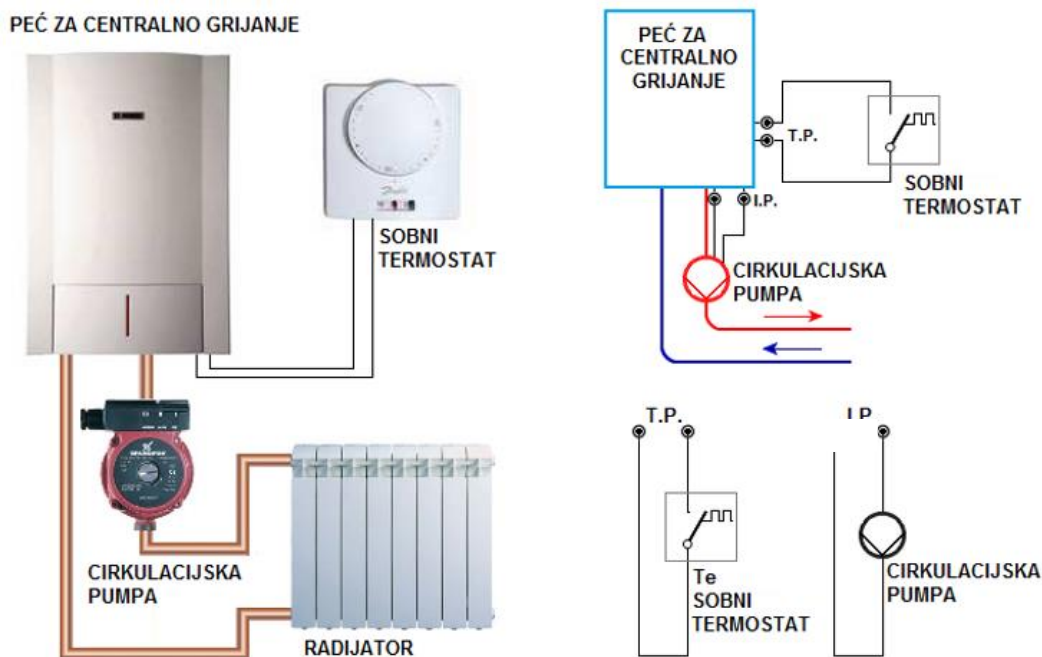
Sustav grijanja i hlađenja prostora omogućava da kuća automatski prilagođava optimalnu temperaturu u prostoriji ovisno o namjeni te prostorije ili korištenju iste. Sustav grijanja i hlađenja prostorija vrši se u skladu s korištenjem prostorije i životnim navikama korisnika, što rezultira grijanjem ili hlađenjem onih prostorija u kojima se boravi, čime se značajno smanjuju troškovi. Korištenjem temperaturnih senzora postiže se optimalna temperatura prostorije, prilagođena godišnjim dobima i vanjskoj temperaturi, čime se izbjegavaju nepotrebni troškovi uzrokovani previsokim temperaturama.

Neki od mogućih načina upravljanja sustavom grijanja i hlađenja uključuju:

- uključivanje grijanja ili hlađenja neposredno prije odlaska ili povratka s posla
- postavljanje optimalne temperature tijekom dana, dok nikoga nema u kući
- podešavanje željene temperature za svaku prostoriju.

Također, u sustav grijanja i hlađenja prostora spadaju i automatske rolete, koje se u zimskim danima automatski podižu, čime se propušta Sunčeva toplina te se tako

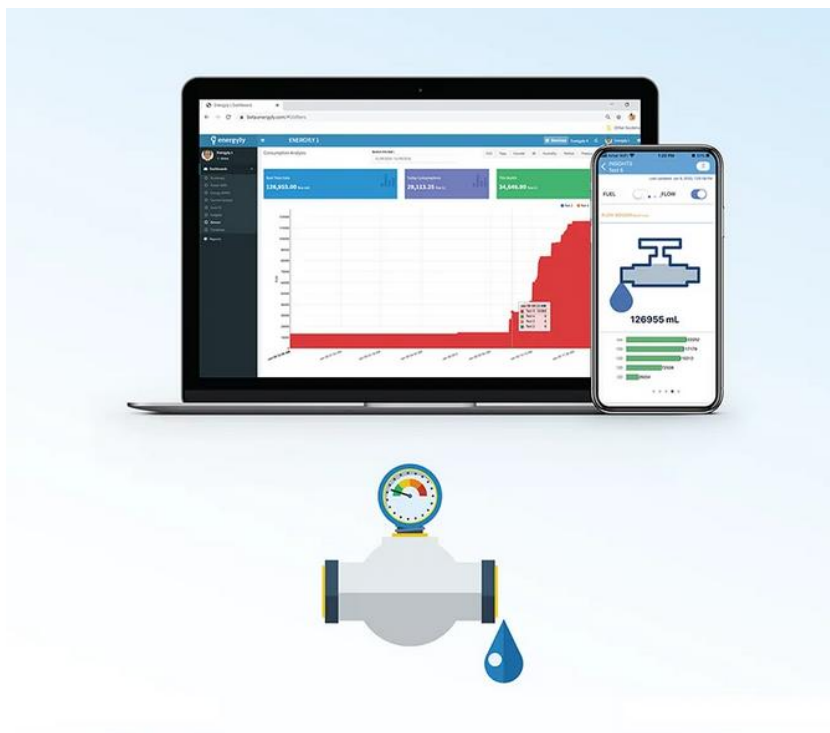
prostorija dodatno zagrijava, dok se u ljetnim danima spuštaju kako bi se spriječilo dodatno zagrijavanje prostorije.



Slika 8. Sustav grijanja prostora [4]

### 1.2.3. Sustav za praćenje potrošnje plina i vode

Sustav za praćenje potrošnje plina i vode u pametnim kućama opremljen je senzorima pomoću kojih korisnik prati potrošnju plina i vode. Senzori šalju trenutne podatke o potrošnji na mobilne uređaje ili tablete, čime korisnik dobiva uvid u potrošnju. Ti podatci uključuju grafove i izvještaje, što korisniku omogućava prilagodbu svojih navika radi smanjenja potrošnje. Pomoću mobilnih uređaja, tableta ili specificiranog daljinskog uređaja korisnik može uključivati ili isključivati ventile za plin i vodu te automatski postaviti raspored za uključivanje ili isključivanje plina i vode, što znatno smanjuje troškove, a kuću čini održivijom i ekološki prihvatljivom.



Slika 9. Sustav za praćenje potrošnje vode [5]

#### 1.2.4. Sustav za praćenje proizvodnje i potrošnje električne energije

Sustav za praćenje proizvodnje i potrošnje električne energije u pametnim kućama opremljen je senzorima pomoću kojih korisnik prati proizvodnju i potrošnju električne energije proizvedene putem obnovljivih izvora energije, najčešće solarnih panela. Sustav prati je li proizvedena dovoljna električna energija za potrebe kuće. Senzori šalju trenutačne podatke o proizvodnji električne energije koju proizvode solarni paneli, a pružaju i informacije o trenutačnoj potrošnji kućanstva slanjem na mobilne uređaje ili tablete, na temelju kojih korisnik dobiva uvid u potrošnju, a koje uključuju grafove i izvještaje. Takvo praćenje proizvodnje i potrošnje električne energije korisnicima omogućava da prilagode svoje navike radi smanjenja potrošnje, iskorištavajući električnu energiju kada je najjeftinija, što znatno smanjuje troškove, a kuću čini održivijom i ekološki prihvatljivom. Dio vezan za sustav za praćenje proizvodnje i potrošnje energije detaljnije je opisan u poglavljima vezanima za OIE.

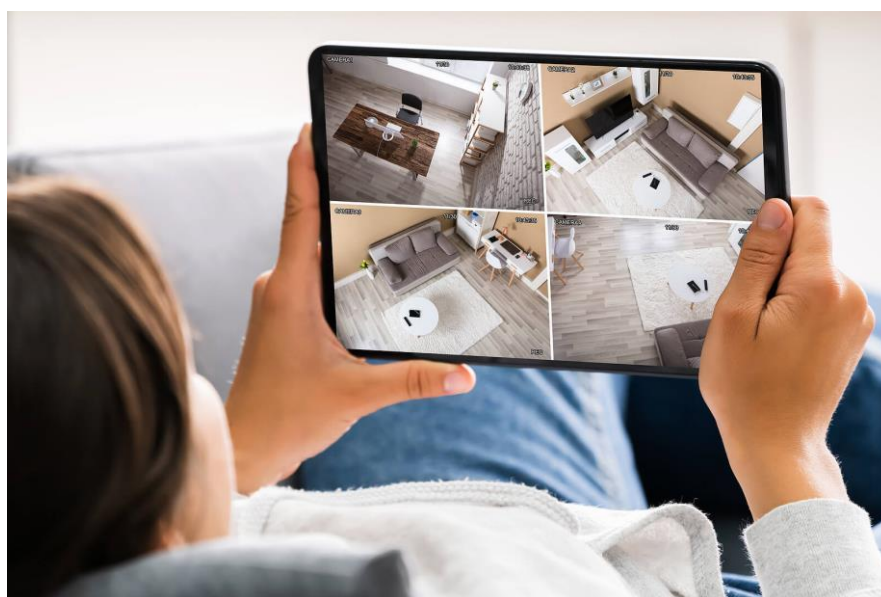
### 1.2.5. Sustav sigurnosti

Sustav sigurnosti jedan je od važnijih sustava u pametnoj kući. Pomoću sustava sigurnosti kuća imitira stil života korisnika. Dok korisnik nije kod kuće, kuća samostalno može uključivati i isključivati kućnu rasvjetu, uključivati i isključivati televizor ili radio te spuštati i podizati rolete, čime se potencijalni provalnik može odvratiti od provale u kuću. U slučaju provale u kuću, kuća aktivira alarm, zaključava sva vrata, uključuje svu rasvjetu u kući te podiže rolete. Naposljetku automatski šalje SMS poruku, elektroničku poštu ili neki drugi oblik obavijesti na korisnikov mobitel, čime se znatno ubrzava reakcija policije.

Moguća poplava ili požar mogu uzrokovati veliku materijalnu štetu. Stoga sustav sigurnosti u tim situacijama isključuje glavni prekidač napajanja i glavni ventil vode, čime se sprječava veća materijalna šteta.

### 1.2.6. Sustav videonadzora

Uz sustav sigurnosti, sustav videonadzora jedan je od najvažnijih sustava u pametnoj kući. Kamere visoke rezolucije snimaju kuću i dvorište, a zahvaljujući kvalitetnom zumiranju i odličnoj vidljivosti u mraku snimljeni videozapisi visoke su rezolucije. Kamere sadrže senzore za detekciju pokreta i u slučaju da postoji sumnja na provalu u kuću, sumnjivi se snimljeni videozapis šalje korisniku kako bi bio na vrijeme obaviješten. Pomoću Wi-Fi signala videozapis se može prenositi uživo ili pohraniti u oblak.



Slika 10. Sustav videonadzora [6]

---

## 2. Tehnički parametri i komponente inteligentnih instalacija

---

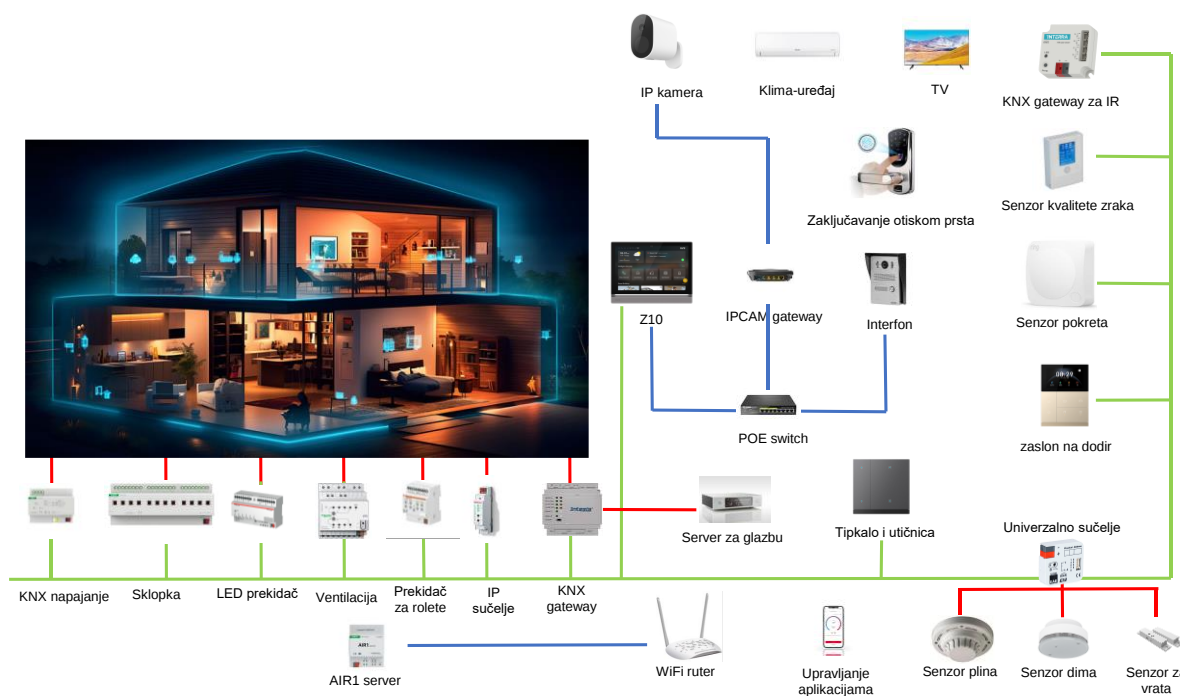
### NAKON OVOG POGLAVLJA MOĆI ĆETE:

1. Razumjeti princip rada različitih vrsta inteligentnih instalacija, uključujući senzore, aktuatore, upravljačke sustave i mehanizme komunikacije koji omogućuju njihovo funkcioniranje.
2. Identificirati i razumjeti ključne tehničke parametre inteligentnih instalacija, uključujući brzinu prijenosa podataka, kapacitet pohrane, protok energije i druge relevantne tehničke karakteristike.
3. Identificirati različite komunikacijske protokole i mrežne arhitekture koje se koriste u inteligentnim instalacijama za prijenos podataka između uređaja.

Budući da postoji niz standarda za automatizaciju i inteligentno upravljanje kućama i zgradama, u ovom je priručniku odabran standard koji je široko u upotrebi. Riječ je o standardu Konnex, koji je danas poznat pod nazivom KNX standard za pametne i integrirane sustave upravljanja u zgradama i kućama širom svijeta, a temelji se na tri tehnologije: **EIB** (European Installation Bus), **EHS** (European Home Systems Protocol) i **BatiBUS**.

Ovaj sustav omogućava potpunu automatizaciju i kontrolu različitih sustava zgrade poput grijanja, ventilacije, osvjetljenja, sigurnosti i slično. Ono što KNX izdvaja od ostalih proizvođača i standarda je njegova sposobnost omogućavanja interoperabilnosti i jednostavne integracije s različitim uređajima i tehnologijama, bez obzira na vrstu proizvođača. Jedan je od glavnih aspekata KNX sustava njegova komunikacijska linija, koja omogućava uređajima da međusobno komuniciraju i razmjenjuju informacije kako bi poboljšali energetske učinkovitost i udobnost zgrade. KNX također nudi različite topologije mreža, prilagodljive specifičnim potrebama i zahtjevima svake zgrade. Ovaj sustav pridonosi značajnom smanjenju potrošnje energije, istovremeno omogućujući daljinski nadzor i upravljanje nad električnim instalacijama u zgradama. KNX je rješenje koje se često primjenjuje i u komercijalnim objektima i u stambenim kućama i zgradama.

Sabirnički komunikacijski sustav temelji se na komunikaciji između različitih uređaja koji su povezani na istu KNX komunikacijsku liniju. Svaki KNX sustav sastoji se od mikrokontrolera, komunikacijskog prijemnika i aplikacijskog modula. U sklopu KNX sustava uređaji se mogu podijeliti na dvije skupine: pasivne i aktivne uređaje. Pasivni uređaji, kao što su napajanja, nemaju podržanu komunikaciju, već imaju posrednu ulogu u sustavu, tj. oni ne komuniciraju s drugim uređajima, ali su potrebni za pravilno postavljanje komunikacijskog sustava. Važno je napomenuti da se napajanja također mogu proširiti tako da podržavaju komunikaciju između različitih komponenata u sustavu, iako je to rijetko u praksi. Drugu skupinu čine aktivni uređaji. Oni posjeduju ugrađeni mikrokontroler i mogućnost komunikacije s drugim uređajima na komunikacijskoj liniji sustava. Aktivni uređaji uključuju: sučelja, spojnice, senzore, kontrolne jedinice, senzorske module, radiokontrolne jedinice i aktuatori.



Slika 11. KNX rješenje za pametne kuće [autorski rad]

**Engineering Tool Software (ETS)** je alat za konfiguraciju i projektiranje pametnih instalacija za upravljanje domom i zgradama pomoću KNX sustava. ETS je softver koji se izvodi na računalima koja se temelje na platformi Windows. Također, on projektantima, instalaterima i inženjerima omogućuje planiranje, projektiranje i konfiguriranje KNX instalacije na učinkovit način. Jedna je od osnovnih funkcija ETS-a kreiranje i upravljanje projektnom dokumentacijom za KNX instalaciju. To uključuje

definiranje uređaja, komunikacijskih linija, grupnih adresa i mnoge druge parametre. Također, ETS omogućuje integraciju različitih KNX uređaja i senzora te postavljanje njihovih funkcionalnosti kako bi se postigla željena razina automatizacije. Osim toga, ETS olakšava dijagnostiku i održavanje KNX sustava, omogućujući brzu identifikaciju grešaka i njihovo ispravljanje. ETS zahtijeva direktan pristup komunikacijskoj liniji KNX sustava, što omogućuje precizno testiranje i konfiguraciju svih uređaja.

## **2.1. Kontrolne jedinice**

U KNX sustavima kontrolne se jedinice koriste za upravljanje različitim dijelovima sustava, uključujući rasvjetu, rolete i druge uređaje. Ove kontrolne jedinice opremljene su četirima neovisnim i podesivim kanalima, što im omogućuje izvođenje različitih funkcija upravljanja rasvjetom. Osnovne funkcije kontrolnih jedinica u KNX sustavima uključuju sljedeće operacije: uključivanje/isključivanje, kontrolu zatamnjenja s mogućnošću podešavanja svjetline, dizanje/spuštanje roleta te upravljanje prikazima, na primjer slanjem određenog broja prikaza ili spremanjem prikaza. Također, kontrolne jedinice omogućuju slanje jedne ili dviju vrijednosti, kao što su razina osvjetljenja ili položaj rolete, pružajući potpunu kontrolu nad osvjetljenjem i uređajima.

Kontrolne jedinice nude i napredne funkcije za prilagodbu instalacije u skladu sa specifičnim potrebama korisnika, a koje uključuju slanje prioritetne komande poput zaključavanja i otključavanja, uključivanja i isključivanja. Također, kontrolne jedinice omogućuju slanje komandi s povećanjem u nizu, pri čemu svaki pritisak na uređaju određuje posebnu komandu. Takvo upravljanje omogućuje praktično i lako upravljanje različitim uređajima ili scenama.

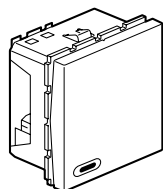
Dodatna je funkcija kontrolne jedinice slanje dvostruke akcije, koja kontrolnim jedinicama omogućuje da šalju dvije komande istovremeno. Ova se funkcija u pravilu koristi za povezivanje prikaza s uređajima koji ne podržavaju funkciju prikaza.

Slanje uvjetnog Mode 1/Mode 2 također je dodatna funkcija kontrolne jedinice, što znači da mogu poslati određenu komandu ili različitu drugu komandu ovisno o postavljenom uvjetu. Ova funkcija omogućuje kontrolu upravljanja različitim krugovima ovisno o događaju i postavljenom uvjetu.

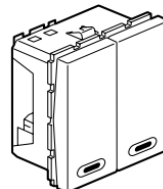
Uz to, svaka kontrolna jedinica opremljena je četirima RGB LED diodama koje se u potpunosti konfiguriraju putem ETS-a, omogućujući određivanje boje i načina treptanja kako bi se vizualno pripomoglo signalizaciji i upravljanju.

Kontrolne jedinice uključuju sljedeće uređaje: jednostavne kontrolne jedinice, kontrolne jedinice osjetljive na dodir, zaslon osjetljiv na dodir i termostate.

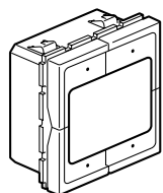
**Jednostavne kontrolne jedinice** (Slike 12 – 22) u KNX sustavima pouzdane su i praktične za upravljanje i napajaju se s 29 VDC. Povezivanje s KNX sustavom ostvaruje se pomoću crvenog i crnog KNX konektora, što olakšava integraciju i komunikaciju s ostatkom sustava. Kapacitet terminala jednostavnih kontrolnih jedinica omogućuje povezivanje s četiri različita uređaja, s podržanim promjerima kabela od Ø 0,6 mm do Ø 0,8 mm. U pogonu struja potrebna za rad jednostavne kontrolne jedinice iznosi 7 mA. Radna temperatura kreće se od -5 °C do +45 °C, što omogućuje pouzdan rad u različitim temperaturnim uvjetima. Ove su jedinice lako ugradive u utisnutu kutiju minimalne dubine od 40 mm ili kao površinska montaža, prilagođavajući se različitim zahtjevima ugradnje.



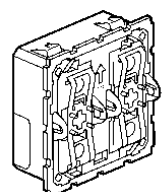
Slika 12. Kontrolna jedinica – 1 tipka [7]



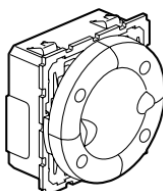
Slika 13. Kontrolna jedinica – 2 tipke [7]



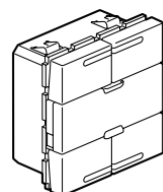
Slika 14. Kontrolna jedinica – 4 tipke [7]



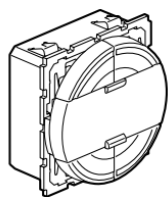
Slika 15. Kontrolna jedinica – 1 ili 2 tipke, 4 točke aktivacije [7]



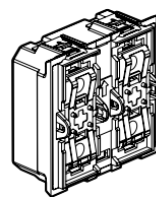
Slika 16. Kontrolna jedinica – 4 tipke, 4 točke aktivacije [7]



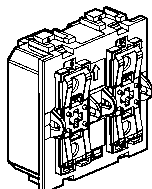
Slika 17. Kontrolna jedinica – 4 tipke, 4 točke aktivacije, kvadratna [7]



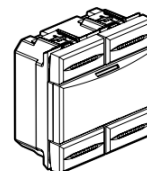
Slika 18. Kontrolna jedinica – 4 tipke, 4 točke aktivacije, okrugla [7]



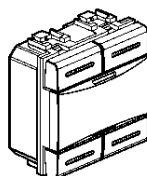
Slika 19. Četverokanalna upravljačka jedinica [7]



Slika 20. Četverokanalna upravljačka jedinica [7]



Slika 21. Četverokanalna upravljačka jedinica s oznakama [7]

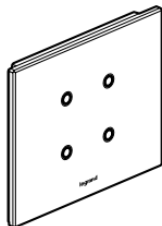


Slika 22. Četverokanalna upravljačka jedinica s oznakama [7]

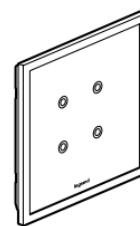
*\*Napomena za slike 19 – 20 i slike 21 – 22: vizualno su vrlo slične, no razlikuju se po utorima za montažu.*

**Kontrolne jedinice osjetljive na dodir** (Slike 23 – 25) imaju jednake tehničke karakteristike kao i prethodne jednostavne kontrolne jedinice, što uključuje:

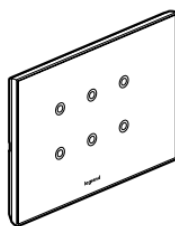
- napajanje u iznosu od 29 VDC
- povezivanje s KNX sustavom pomoću crvenog i crnog konektora
- povezivanje s različitim uređajima s promjerima kabela Ø 0,6 mm - Ø 0,8 mm
- nominalnu struju u iznosu od 7 mA
- radnu temperaturu od -5 °C do +45 °C
- instalaciju u utisnutu kutiju minimalne dubine od 40 mm ili kao površinsku montažu.



Slika 23. Upravljačka jedinica na dodir – 4 točke aktiviranja [7]



Slika 24. Upravljačka jedinica na dodir – 4 točke aktiviranja [7]



Slika 25. Upravljačka jedinica na dodir – 6 točaka aktiviranja [7]

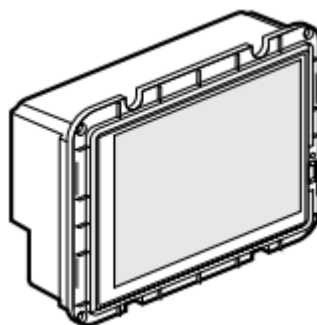
## 2.2. Sučelja

Omogućavaju interakciju između računala i komunikacijskog sustava, odnosno olakšavaju korisničko upravljanje cijelim sustavom inteligentne instalacije. Neka od sučelja su: zaslon osjetljiv na dodir, termostati, mobilne aplikacije i slično.

**Zaslon osjetljiv na dodir** (Slika 26) koristi se za postavljanje i upravljanje brojnim KNX funkcijama, uključujući oko 110 standardnih. Zaslon osjetljiv na dodir omogućuje prijem i prikaz različitih podataka sustava, poput profila potrošnje električne energije, temperature, razine zatamnjenja i mnogih drugih parametara. Uz to, pomoću ekrana se praktično i efikasno može upravljati cijelom zgradom ili kućom pomoću jednog upravljačkog uređaja. Konfiguracija i programiranje ovog zaslona provodi se pomoću softverskog alata ETS-a, koji omogućuje izradu i programiranje vremenskog mjerača (engl. *timer*), prikaza, logičkih funkcija, simulacije prisutnosti te prikaz grafikona za bolju preglednost.

Tehničke karakteristike zaslona osjetljivog na dodir uključuju:

- terminalne blokove za napajanje
- kapacitet terminala za povezivanje kabela od 2 x 1,5 mm<sup>2</sup> ili 1 x 2,5 mm<sup>2</sup>
- napajanje u iznosu od 29 VDC ili iz mreže u iznosu od 230 VAC
- ulaznu struju od 4 mA
- priključak na komunikacijsku liniju putem KNX priključka
- mini USB priključak tipa B
- priključak za napajanje s presjekom kabela 3 x 1,5 mm<sup>2</sup>
- radnu temperaturu od -5 °C do +45 °C
- masu od 420 g.

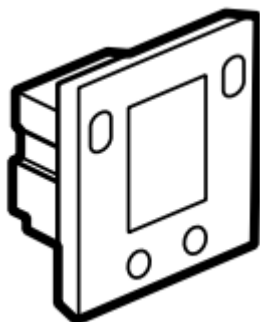


Slika 26. Zaslon osjetljiv na dodir [7]

**KNX termostat** (Slike 27 – 28) koristi se za očitavanje temperature okoline u sobi pomoću ugrađenog senzora, vanjskog senzora temperature okoline ili vanjskog senzora temperature povratnog zraka. Osim toga, termostat se koristi za održavanje željene temperature prostorije putem slanja naredbi aktuatoru koji je povezan s opremom za grijanje ili klimatizaciju.

Tehničke karakteristike KNX termostata uključuju:

- napajanje od 230 VAC
- potrošnju koja iznosi maksimalno 5 A ili 6 A, ovisno o spoju
- nominalnu struju od 20 mA.



Slika 27. KNX termostat [7]



Slika 28. KNX termostat sa zaslonom osjetljivim na dodir [7]

## 2.3. Senzori

Senzori, odnosno pretvornici, uređaji su koji su izravno povezani s mjerenom veličinom. Senzori omogućuju izravno mjerenje fizikalnih veličina, a izlazni signal iz senzora ovisi o iznosu mjerene fizikalne veličine. Na primjer, pružaju informacije o

okolini, poput željene temperature u dnevnom boravku ili količine osvjetljenja prostorije. Senzori koji šalju informacije na komunikacijsku liniju uključuju:

- prekidače za svjetlo i/ili regulacijske prekidače (engl. *dimmers*)
- senzore pokreta
- detektore prisutnosti (detektiraju prisutnost osobe čak i ako se osoba ne kreće)
- kontakte za potvrdu zatvorenosti prozora i vrata (radi sigurnosti i kontrole grijanja)
- tipkala za zvono na ulaznim vratima
- senzore za praćenje vode, plina, struje i topline
- senzore za prenaponsku zaštitu
- temperaturene senzore za unutarnji i vanjski zrak
- temperaturene senzore u sustavima grijanja i tople vode.
- senzore osvjetljenja za unutarnje i vanjske prostore
- senzore vjetra
- senzore za bijelu tehniku (kao što su perilica rublja, sušilica, štednjak itd.)
- senzore za curenje (npr. u praonici)
- mjerenja razine (npr. za spremnik za kišnicu, ulje, drvene pelete itd.)
- radioprijemnike za bravice na vratima
- prijemnike za infracrvene daljinske upravljače
- module za otiske prstiju i čitače kartica za kontrolu pristupa.

**KNX senzorski moduli** (Slike 29 – 36) uređaji su koji integriraju pasivnu infracrvenu (engl. *passive infrared* – PIR) ili ultrazvučnu tehnologiju i sposobni su precizno detektirati prisutnost ljudi te istovremeno mjeriti razinu svjetlosti. Ovi senzori mogu se montirati na strop, ugraditi u ugradbeni okvir ili montirati na površinu, što ih čini idealnima za različite primjene, između ostaloga na radnom mjestu, uredima ili konferencijskim sobama.

Jedan je od ključnih čimbenika ovih senzora mogućnost potpune konfiguracije pomoću ETS-a. Ovime se omogućuje konfiguracija svih radnih parametara, kao što su svjetlosne razine, vremensko kašnjenje, načini rada i osjetljivost.

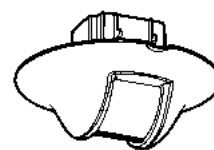
Pomoću programa ETS moguće je konfigurirati sljedeće funkcije:

- automatsko prekidanje ili zatamnjivanje svjetla

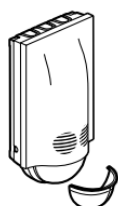
- ručno upravljanje, ako je senzor povezan s odgovarajućim upravljačkim uređajem
- definiranje minimalnih i maksimalnih svjetlosnih razina za automatsko zatamnjenje
- pokretanje scena temeljenih na svjetlosnim razinama ili prisutnost/odsutnost osobe
- održavanje konstantne svjetlosne razine prostora do detekcije prisutnosti osobe
- aktivaciju dodatnih upravljačkih uređaja, poput HVAC sustava.



Slika 29. Stropno montiran KNX 360° PIR / US detektor [7]



Slika 30. Stropno montiran KNX 2x180° PIR / US detektor [7]



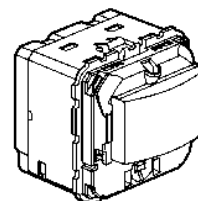
Slika 31. Zidno montiran KNX 180° PIR / US detektor [7]



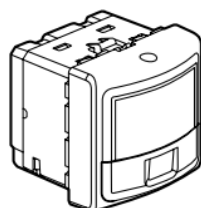
Slika 32. Zidno montiran KNX 270° + 180° PIR detektor [7]



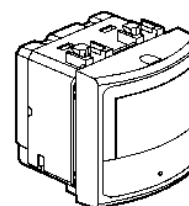
Slika 33. Stropno montiran KNX 360° PIR detektor visoke gustoće [7]



Slika 34. Ugradbeni KNX 180° PIR detektor [7]



Slika 35: Ugradbeni KNX 180° PIR detektor [7]

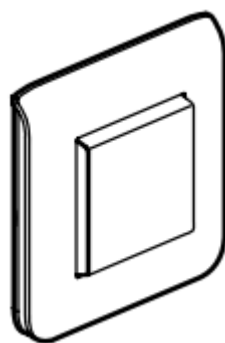


Slika 36: Ugradbeni KNX 180° PIR detektor [7]

## 2.4. Radiokontrolna jedinica

Radiokontrolna jedinica (Slika 37) praktično je rješenje upravljanja aktuatorima bez potrebe za baterijama. Koristi se za učinkovitu kontrolu rasvjete (uključivanje/isključivanje, zatamnjenje) i kontrolu roleta (gore/dolje, zaustavljanje).

Radiokontrolna jedinica ne zahtijeva bateriju za napajanje te koristi minimalnu potrošnju električne energije od 6 mA na primarnoj liniji i 8 mA na sekundarnoj liniji. Komunikacija se odvija putem radiosignala u frekvencijskom opsegu od 2,4 GHz, sa 16 dostupnih kanala i brzinom prijenosa podataka od 250 kbps. Povrh toga, sustav osigurava visoku i nisku razinu sigurnosti putem autentifikacije AES ključem s 128-bitnom enkripcijom. Radna temperatura kreće se od -5 °C do +45 °C, s maksimalnom razinom vlage od 95 %, što omogućuje pouzdan rad u različitim temperaturnim uvjetima. Također, ima kapacitet za povezivanje s četiri uređaja putem terminala promjera od Ø 0,6 mm do 0,8 mm, a svi kanali dostupni su unutar frekvencijskog opsega od 2,4 GHz.



Slika 37. Radioupravljačka jedinica bez baterija [7]

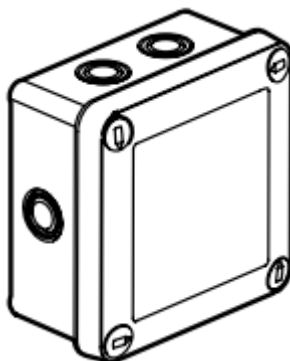
**Zigbee** je tehnologija koja je razvijena kako bi omogućila jeftine i energetski učinkovite bežične mreže za međusobnu komunikaciju uređaja (M2M) i IoT-a. Zigbee je namijenjen aplikacijama s niskim kapacitetom prijenosa podataka te malom potrošnjom energije i otvorenog je standarda. Teoretski omogućava miješanje implementacija različitih proizvođača, ali proizvodi Zigbee sustava u praksi su često prošireni i prilagođeni od strane proizvođača. Za razliku od Wi-Fi mreža koje služe za povezivanje uređaja s brzim mrežama, Zigbee podržava mnogo niže brzine prijenosa podataka. Zigbee se temelji na IEEE Standards Association za IEEE 802.15 standard. Zigbee je izgrađen za upravljanje mrežama senzora na IEEE 802.15.4 bežičnom

standardu za bežične osobne mreže (WPAN). Zigbee WPAN-ovi djeluju na frekvencijama od 2,4 GHz, 900 MHz i 868 MHz.

**KNX/Zigbee gateway** (Slika 38) pruža sučelje sa Zigbee uređajima kao što su upravljačke jedinice i senzori na KNX komunikacijskoj liniji. Može se montirati na stropu i može upravljati do 16 KNX kanala.

KNX/Zigbee gateway osigurava niz funkcija, uključujući mogućnost uključivanja/isključivanja potrošača, zatamnjenje, upravljanje roletama, pokretanje i spremanje različitih scena, te čak podržava korištenje dvaju detektora istovremeno. Ovo sučelje napaja se putem komunikacijske linije, čime se smanjuje potreba za dodatnim izvorima napajanja.

**KNX/Zigbee gateway** koristi napajanje od 29 VDC i nominalna struja iznosi 12 mA. Za komunikaciju sa Zigbee uređajima koristi radiotehnologiju na 2,4 GHz, sa 16 dostupnih kanala, osiguravajući pouzdanu vezu. Radna temperatura kreće se od -5 °C do +45 °C, što omogućuje pouzdan rad u različitim temperaturnim uvjetima. Također, ima kapacitet za povezivanje s četiri uređaja putem terminala promjera od Ø 0,6 mm do Ø 0,8 mm, a svi kanali dostupni su unutar frekvencijskog opsega od 2,4 GHz.

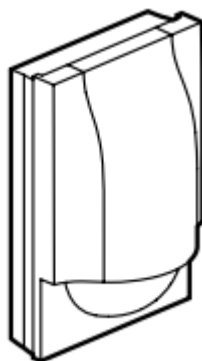


Slika 38. Radio/KNX sučelje [7]

**Bežični radiosenzori pokreta** (Slika 39) omogućuju automatsko uključivanje svjetala nakon detekcije pokreta, a povezani su radioprijemnicima. Svjetla ostaju uključena tijekom određenog vremenskog perioda. Senzori pokreta koriste pasivnu infracrvenu (PIR) detekciju koja omogućuje detekciju u rasponu od 180°. Preporučena visina instalacije iznosi 2,5 m, a udaljenost između dva senzora je 6 m kako bi se postigla optimalna pokrivenost prostora između dva senzora.

Senzori koriste dvije AA alkalne baterije. Potrošnja iznosi 0,932 mA/2,796 W u radu te 0,032 mA/0,096 W u stanju pripravnosti, čime se produljuje vijek trajanja baterija.

Radna temperatura kreće se od -5 °C do +45 °C, što omogućava pouzdan rad u različitim temperaturnim uvjetima. Uz to, senzori imaju domet detekcije od 10 metara, dok prag svjetlosne razine omogućuje podešavanje osjetljivosti senzora u rasponu od 0 do 1000 luksa. Vrijeme zadržavanja aktivnog izlaza također je prilagodljivo, s mogućnošću prilagođavanja od 1 minute do 30 minuta. Senzori koriste radiotehnologiju frekvencije 2,4 GHz, čime se omogućava komunikacija na udaljenosti od 150 metara između dva senzora.



Slika 39. Bežični senzor pokreta [7]

## 2.5. Aktuatori

Aktuatori povezuju različite električne potrošače s komunikacijskim sustavom. Na primjer, mogu kontrolirati releje za uključivanje i isključivanje svjetla u prostorijama, pogonske mehanizme za tende, rolete, zavjese i garažna vrata, za kontrolu prozora i vrata, ventile za upravljanje grijanjem, pumpe za sustave grijanja te mnoge druge električne uređaje. Također, aktuatori mogu pružiti funkcionalne module kao samostalne jedinice ili ih integrirati u uređaje. Primjeri funkcionalnih modula uključuju:

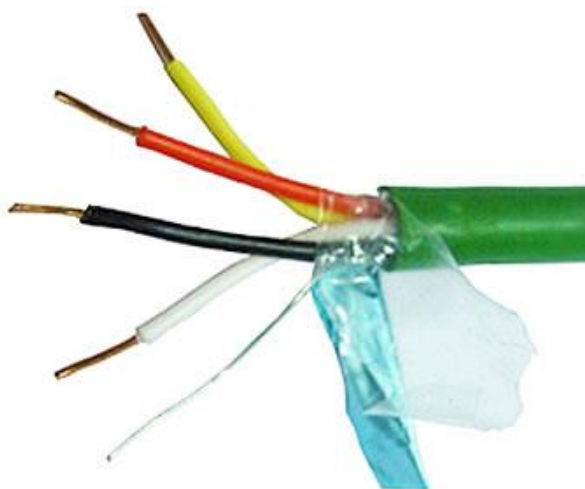
- kontrolere temperature u prostorijama
- tajmere za automatizaciju
- PLC uređaje s KNX sučeljem za industrijske primjene
- module za konstantno upravljanje rasvjetom, alarmne i obavještavajuće module
- upravljanje medijima, grijanjem i pumpama
- prikaze i korisnička sučelja
- module za komunikaciju s telefonom
- module za automatsko slanje upozorenja
- pristupanje podacima o objektu putem interneta.

Aplikacijski moduli aktuatora često su elektronički povezani s mikrokontrolerima kako bi se omogućila precizna kontrola različitih funkcija unutar KNX sustava.

## 2.6. Komunikacijski kabeli

KNX kabel, poznat i kao KNX TP (engl. *twisted pair*) kabel (Slika 40), poseban je komunikacijski kabel koji se koristi u KNX sustavima za automatizaciju i upravljanje pametnim kućama i zgradama. KNX je globalni standard za kućnu i zgradnu automatizaciju, a KNX kabel igra ključnu ulogu u omogućavanju pouzdane komunikacije između različitih uređaja i komponenata unutar KNX sustava. Nekoliko ključnih karakteristika KNX kabela su:

- **Dvožična komunikacija:** KNX sustavi koriste dvožičnu komunikaciju, što znači da koriste par kabela za prijenos podataka. KNX kabel sadrži dva vodiča – jedan za prijenos podataka i drugi za napajanje uređaja. Ovaj koncept omogućava jednostavnu i ekonomičnu instalaciju.
- **Niskonaponski sustav:** KNX kabel radi na niskom naponu, često manjem od 30 volti, što osigurava sigurnost korisnika i sprječava električne ozljede. Ovo je posebno važno za primjenu u kućama i zgradama.
- **Zaštita od smetnji:** KNX kabel dizajniran je da bude otporan na elektromagnetske smetnje koje se mogu pojaviti u okolini. Ova otpornost osigurava pouzdanu i stabilnu komunikaciju između uređaja u KNX sustavu, čak i u prisutnosti drugih električnih uređaja ili signala.
- **Diferencijalna signalizacija:** KNX sustav koristi diferencijalnu signalizaciju, pri čemu se podaci šalju kao razlika između dva voda (polariteta). Ovaj način prijenosa podataka pomaže u eliminaciji smetnji i osigurava pouzdan prijenos podataka.
- **Standardizacija:** KNX kabel slijedi stroge standarde i specifikacije koje je definirao KNX konzorcij, što osigurava interoperabilnost i kompatibilnost između različitih proizvođača KNX uređaja. To omogućava integraciju različitih komponenata u KNX sustavu.



Slika 40. KNX TP kabel [8]

---

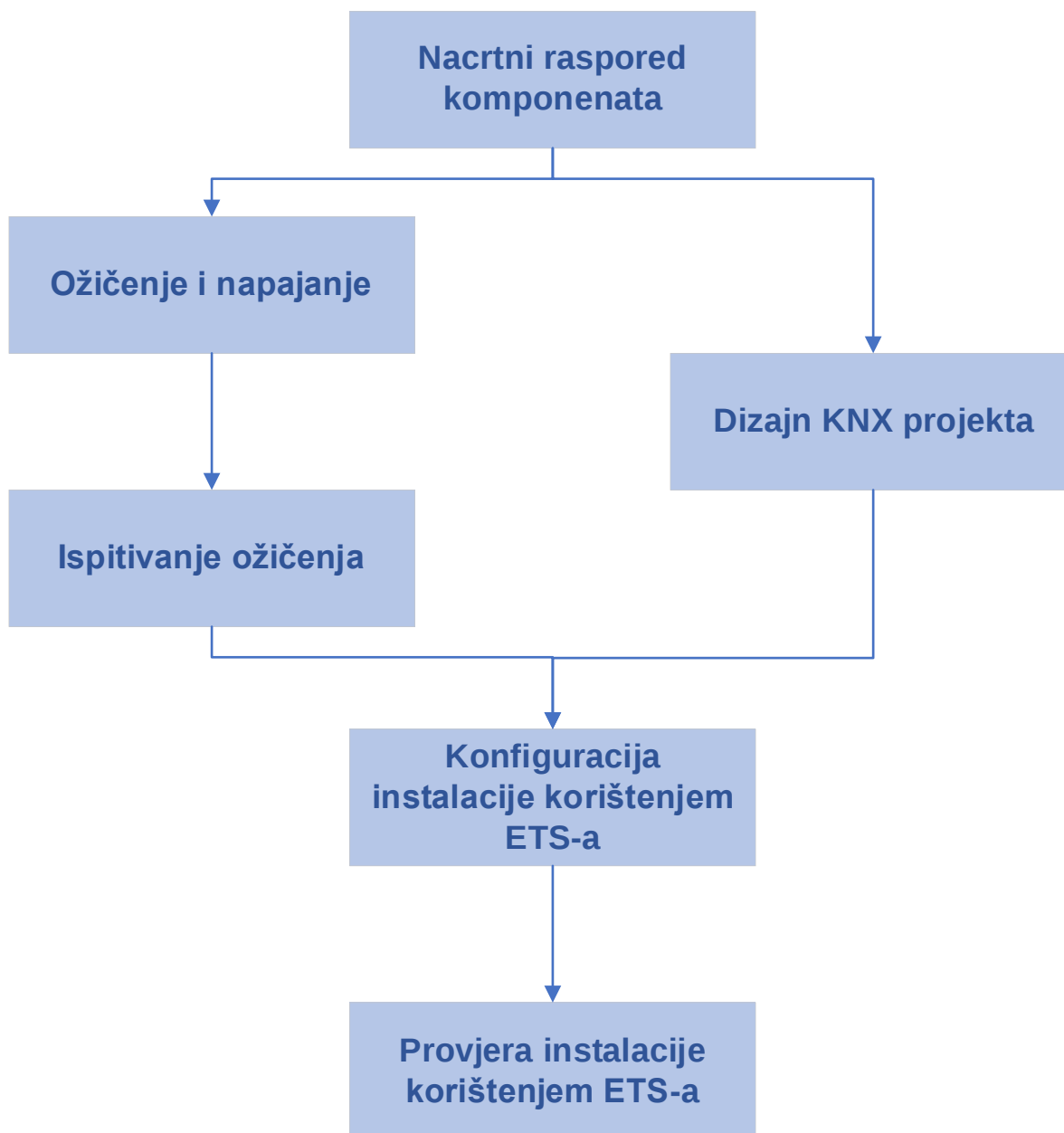
## 3. Projektiranje i izrada sustava inteligentnih instalacija

---

### NAKON OVOG POGLAVLJA MOĆI ĆETE:

1. Objasniti ključne koncepte i principe koji se primjenjuju u procesu projektiranja inteligentnih instalacija, uključujući identifikaciju zahtjeva sustava i definiranje ciljeva.
2. Provesti analizu potreba korisnika i specifičnosti okoline kako bi projektirali inteligentni sustav koji optimalno zadovoljava zahtjeve.
3. Planirati arhitekturu inteligentnog sustava, uključujući organizaciju senzora, aktuatora, komunikacijskih kanala te ostalih ključnih komponenti.

Prilikom stvaranja KNX projekta, ali i bilo kojeg drugog projekta inteligentnih instalacija, važno je slijediti određeni redoslijed kako bi se osigurala uspješna implementacija. Opći redoslijed koraka koje treba slijediti prikazan je na Slici 41 i uključuje:



Slika 41. Projektiranje i izrada sustava inteligentnih instalacija [autorski rad]

Dijelovi projekta sadržani na prethodnoj slici uključuju sljedeće:

**1. Definiranje zahtjeva projekta:**

Potrebno je razumjeti potrebe i zahtjeve projekta. To uključuje identificiranje svih uređaja i funkcija koje će biti dio KNX instalacije. Često odabir uređaja ustvari ovisi o željama i mogućnostima krajnjeg korisnika te se projektati i instalateri najčešće moraju prilagođavati željama korisnika.

**2. Izrada projektne dokumentacije:**

Potrebo je napraviti projektnu dokumentaciju koja će obuhvaćati dijagram topologije, popis uređaja i njihove tehničke specifikacije, kao i popis senzora koji će biti uključeni u sustav.

### **3. Izbor i nabava opreme:**

Na temelju projektne dokumentacije potrebno je odabrati potrebnu KNX opremu, uključujući senzore, aktuatore, sučelja i kontrolere.

### **4. Instalacija:**

Potrebno je fizički rasporediti instalaciju KNX komponenata u prostoru. To uključuje postavljanje senzora, aktuatora i sučelja prema projektnoj dokumentaciji i specifikacijama.

### **5. Povezivanje i konfiguracija:**

Potrebno je povezati sve KNX uređaje prema dijagramu topologije i konfigurirati ih pomoću ETS alata. Potrebno je postaviti adrese uređaja, definirati skupine i funkcionalnosti.

### **6. Testiranje i provjera:**

Potrebno je temeljito testirati sve funkcije sustava kako bi se osigurala ispravnost uređaja te provjeriti kako senzori reagiraju na promjene, kako aktuatori izvršavaju naredbe i kako sučelja komuniciraju s KNX uređajima.

### **7. Programiranje funkcionalnosti:**

Potrebno je programirati i konfigurirati željene funkcionalnosti, kao što su scene, tajmeri, logika i automatizacija, kako bi sustav radio prema specifičnim zahtjevima koji su sadržani u projektu.

### **8. Obuka korisnika:**

Potrebno je obučiti krajnje korisnike za uporabu KNX sustava, posebno ako imaju pristup upravljačkim sučeljima.

## 9. Dokumentacija i upute:

Potrebno je pripremiti dokumentaciju i upute za održavanje i eventualno proširenje sustava.

## 10. Održavanje i podrška:

Potrebno je pratiti i održavati sustav kako bi se osigurala njegova pouzdanost i performanse tijekom vremena.

### 3.1. Dijagram instalacije

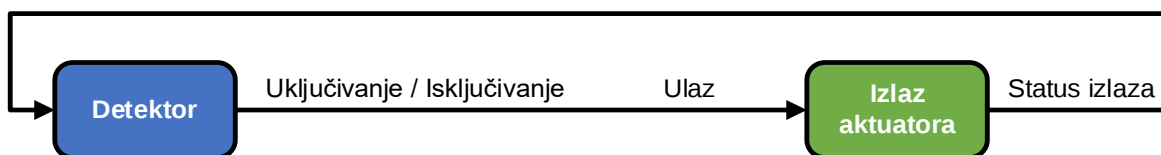
Pri označavanju kontrolnih točki, uključujući detektore i upravljačke uređaje, nužno je pružiti detaljne informacije kako bi se osigurala jasna identifikacija i učinkovita upravljačka logika sustava. Svaki uređaj treba sadržavati ključne informacije, uključujući kataloški broj, fizičku oznaku uređaja ili ID, koji se nalazi na etiketi. Također, potrebno je navesti broj komunikacijske linije s kojom je svaki uređaj povezan.

Prilikom označavanja uređaja poseban se naglasak stavlja na nužnost jasna prikaza ID-a uređaja na dijagramu rasporeda ili dijagramu električnih spojeva. Može se primijeniti dvostruko označavanje kako bi se vizualno naglasio instalirani ID uređaja, što pridonosi jednostavnom očitavanju informacija.

Prilikom prepoznavanja informacija na dijagramu električnih spojeva ili rasporeda poseban se naglasak stavlja na važnost označavanja izlaza kontrolera koji upravljaju određenim detektorom ili upravljačkim uređajem unutar određene sobe ili zone. Ova povezanost omogućava transparentnost u upravljanju sustavom te doprinosi efikasnosti i identifikaciji međusobnih veza između kontrolnih točaka unutar instalacije.

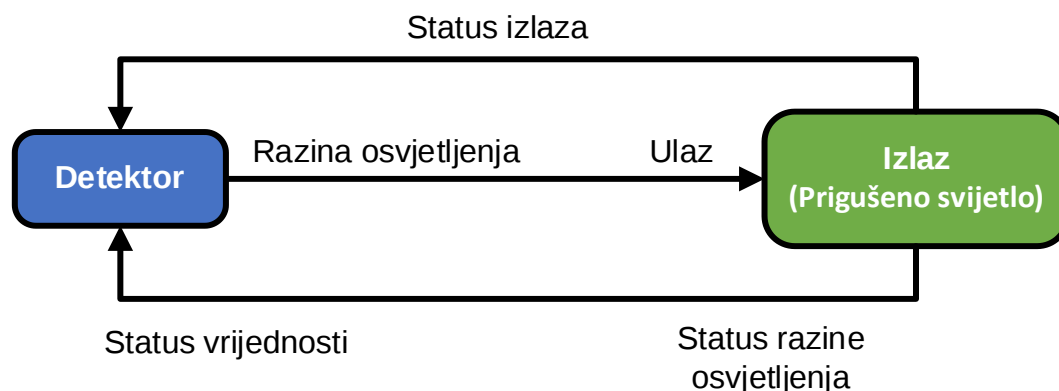
### 3.2. Primjeri instalacija

Dijagram prikazan na Slici 42 prikazuje postavke detektora u automatskom ON/OFF načinu rada i detekciju prisutnosti bez regulacije.



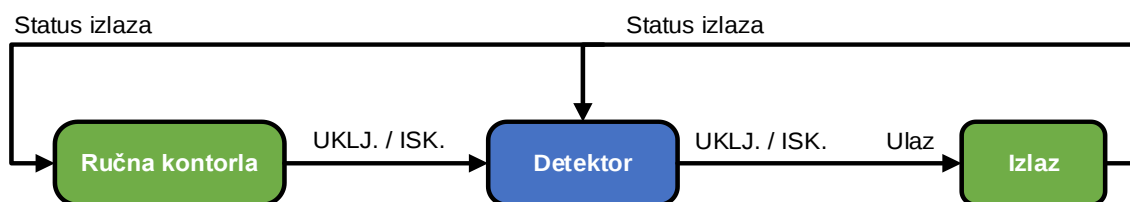
Slika 42. Postavke detektora u automatskom načinu rada [autorski rad]

Dijagram prikazan na Slici 43 prikazuje postavke detektora u automatskom ON/OFF načinu rada i prilagodljivim opterećenjima, koje uključuju regulaciju nivoa osvjjetljenja i detekciju prisutnosti te kombinacije obiju postavki.



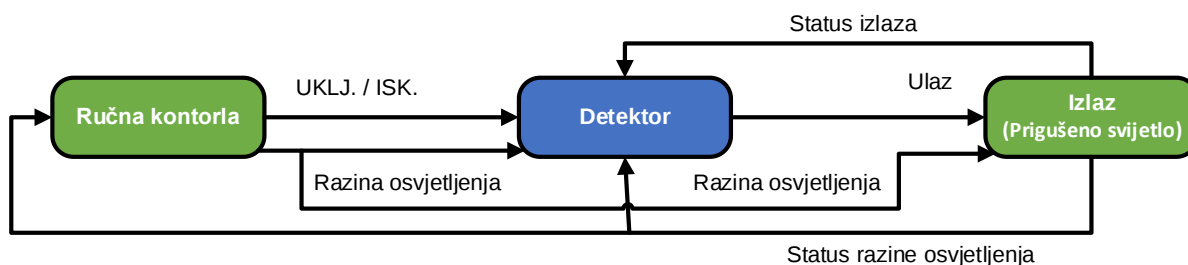
Slika 43. Postavke detektora u automatskom načinu rada [autorski rad]

Dijagram prikazan na Slici 44 prikazuje postavke detektora u ručnom ON / automatskom OFF načinu rada, koje uključuju regulaciju nivoa osvjjetljenja i detekciju prisutnosti.



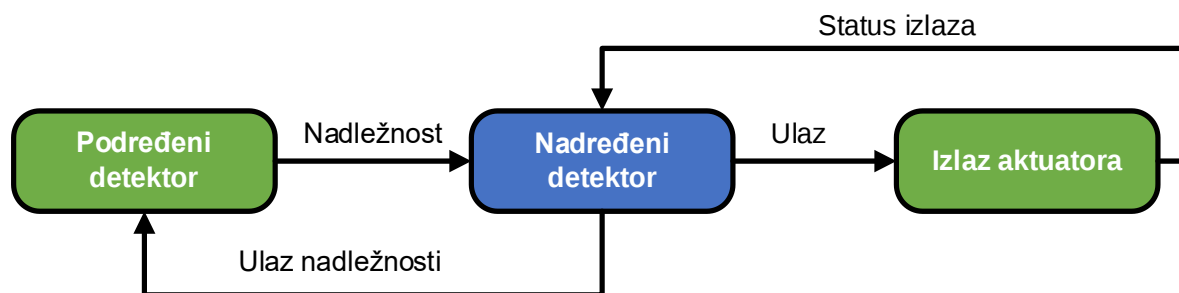
Slika 44. Postavke detektora u ručnom ON/ automatskom OFF načinu rada [autorski rad]

Dijagram prikazan na Slici 45 prikazuje postavke detektora u ručnom ON / automatskom OFF načinu rada i prilagodljivim opterećenjima, koje uključuju regulaciju nivoa osvjjetljenja, detekciju prisutnosti te kombinaciju obiju postavki.



Slika 45. Postavke detektora u ručnom ON / automatskom OFF načinu rada [autorski rad]

Dijagram prikazan na Slici 46 prikazuje nadređeni detektor / podređeni detektor koji se odnosi na postavke bez regulacije i s ON/OFF opterećenjem.

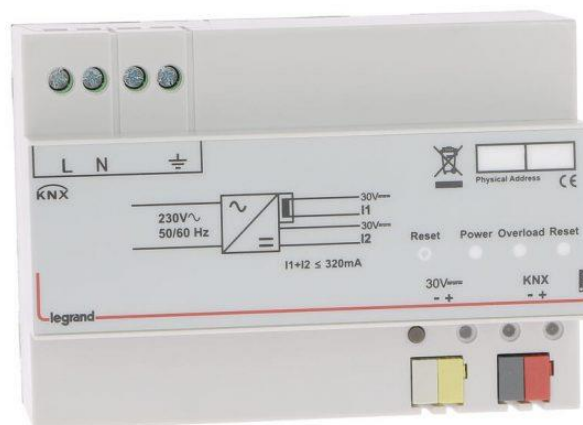


Slika 46. Postavke bez regulacije i s ON/OFF opterećenjem [autorski rad]

### 3.2.1. Napajanje KNX sustava

Za napajanje KNX mreže primjenjuje se SELV napajanje (engl. *Safety Extra Low Voltage*). Niski napon koji pruža SELV napajanje za KNX TP1 vodič iznosi 30 V i kao takav pruža sigurnost u radu na sustavu te nema potrebe za dodatnim izolacijama prema korisniku. Važno je istaknuti da jedinica za napajanje KNX mreže nipošto ne smije biti uzemljena, čime se sprječavaju potencijalni problemi povezani s uzemljenjem te se istovremeno osigurava siguran rad KNX mreže.

Napajanje KNX sustava bez podatkovne tračnice (Slika 47) uključuje neke značajne karakteristike. Kao prvo, ne postoji spoj sa zemljom, čime se otklanja rizik od statičkog pražnjenja. Druga značajna karakteristika uključuje međuspremnik energije, što omogućuje kontinuirano napajanje KNX sustava uslijed kratkih prekida u napajanju s mreže. Uz to, integracija LED dioda pruža vizualne indikacije za preopterećenje, izvršavanje operacija te za identifikaciju prenapona.



Slika 47. Napajanje KNX sustava [9]

### 3.3. Vodiči i način spajanja

Razmatranje i poštivanje dopuštenih najvećih udaljenosti kabela u KNX sustavima ključno je za osiguravanje stabilne i pouzdane komunikacije među različitim uređajima i jedinicama za napajanje. Udaljenost od jedinice napajanja do uređaja iznosi maksimalno 350 m, a maksimalna dopuštena udaljenost između dva uređaja iznosi 700 m. Duljina jednog segmenta kabela iznosi maksimalno 500 m, a udaljenost između dvije jedinice za napajanje prilagođava se prema specifičnim uputama proizvođača.

Zahtjevi za instalaciju komunikacijskog vodiča uključuju poštivanje općih standarda kao i instalacije 230/400 V mreže, uz dodatne posebne standarde, koji uključuju postavljanje izoliranih žičnih jezgri oplaštenih mrežnih kabela i KNX TP1 kabela jednih pored drugih, bez slobodnog prostora, uz održavanje minimalnog razmaka od 4 mm između izolirane žice KNX TP1 sabirničkih kabela i obloženih mrežnih kabela. Također, važno je osigurati adekvatan razmak od vanjskih zaštitnih sustava od atmosferskih prenapona te trajno označiti sve kabele kao KNX TP1 ili komunikacijske vodiče.

Pri korištenju razvodnih ormara ključno je koristiti standardizirane razvodne ormare, prekriti neiskorišteni dio razvodnog ormara i izbjegavati postavljanje KNX uređaja iznad mrežnih uređaja s velikim gubicima snage radi smanjenja pregrijavanja uređaja. KNX kabele dostupni su u jednom paru ili dvostrukom paru, duljine 500 m, a zelena (RAL 6018) boja olakšava identifikaciju u sustavu.

#### 3.3.1. Standardizirani TP1 priključni blok

Standardizirani TP1 priključni blok (Slika 48) pruža različite funkcije u KNX sustavima, uključujući grananje kabela, produživanje kabela, zaštitu krajeva kabela te spajanje kabela na uređaje. Da bi se izbjegla eventualna mogućnost zabune s drugim električnim krugovima, priključni blok sabirnice smije se koristiti isključivo za KNX TP1 sabirnicu.

Priključni blok sabirnice sastoji se od dva mehanički povezana dijela: dijela plus, označena crvenom bojom, i dijela minus, označena sivom bojom. Ova struktura omogućuje pouzdano mehaničko povezivanje i stabilnost spojeva. Stezaljke bez vijaka

na svakom dijelu omogućuju jednostavno povezivanje do četiri žice sabirnice, svake s promjerom od 6 mm. Standardizirani priključni blokovi sabirnice TP1 omogućuju uklanjanje uređaja sabirnice bez prekidanje žice.



Slika 48. TP1 priključni blok [10]

### 3.3.2. KNX PL (Power line)

Topologija u KNX PL sustavu dijeli sličnost s KNX TP sustavom i sastoji se od komunikacijskih linija i područja. Osnovne komunikacijske linije mogu sadržavati maksimalno 255 uređaja. Za stvaranje područja koristi se spajanje 15 KNX PL komunikacijskih linija pomoću KNX TP-a. Umjesto linijskih spojnica u KNX PL sustavu koriste se spojnice koje olakšavaju povezivanje različitih komunikacijskih linija putem KNX TP-a. Pojedinačne KNX PL linije moraju biti odvojene jedne od drugih pomoću band-stop filtera. Sustavne spojnice, kao i sve druge spojnice, imaju funkcije filtera koji omogućuju smanjenje broja telegrama u različite podsustave.

Sustavne spojnice, uključujući *area* i *line couplers*, označuju se rednim brojem 0, a svi ostali uređaji u KNX PL sustavu dobivaju individualne adrese prema njihovu položaju u topologiji. Ova praksa adresiranja omogućuje precizno identificiranje i adresiranje svakog uređaja u sustavu, olakšavajući upravljanje i dijagnostiku.

### 3.3.3. KNX RF (Radio Frequency)

U KNX RF instalaciji uređaji nisu ograničeni hijerarhijskim rasporedom te se mogu postaviti gotovo bilo gdje unutar međusobnog dometa. Ova fleksibilnost, pod uvjetom da se nalazi unutar dometa, svakom senzoru omogućuje komunikaciju s bilo kojim aktuatorom u sustavu. Bitno je napomenuti da raspon RF radio signala nije geografski ograničen, što znači da KNX RF telegrami mogu putovati i primiti se od strane uređaja u susjednim KNX RF instalacijama. Da bi se izbjeglo ometanje susjednih instalacija, važno je osigurati propisnu koordinaciju i upravljanje radiofrekvencijskim komunikacijama. Telegrami koji se šalju KNX radioodašiljačem uvijek uključuju serijski broj ili adresu domene uređaja kao jedinstveni identifikator, što osigurava da samo oni prijemnici koji su upareni s određenim odašiljačem mogu obraditi telegrame koje taj odašiljač šalje. KNX komunikacijski sustav može biti ostvaren isključivo radijskom mrežom ili se može kombinirati s drugim komunikacijskim medijem, poput KNX TP-a. Za potrebe ovih kombinacija koriste se spojnice za medije, što omogućava integraciju različitih komunikacijskih tehnologija unutar jednog KNX sustava.

KNX odvodnik prenapona sekundarna je mjera zaštite u KNX mreži. Ova sigurnosna mjera primjenjuje se na uređajima spojenima na 230V mrežu, linijskim i područnim spojnica na obje linije, uređajima smještenim u zidovima ili u blizini cijevi za vodu ili plin, završetcima KNX mreže i na rubovima zgrada.

U razdjelnim ormarima dovoljno je opremiti svaku sabirnicu jednim odvodnikom prenapona, uključujući vanjski vodič i neutralni vodič s odvodnicima prenapona, čime se osigurava adekvatna zaštita. Za svjetiljke opremljene ugrađenim sklopnim aktuatorim, ugradnja odvodnika prenapona potrebna je samo kada sabirnica i električna mreža tvore petlje velike površine.

---

## 4. Testiranje i verifikacija inteligentnih instalacija

---

### NAKON OVOG POGLAVLJA MOĆI ĆETE:

1. Opisati i objasniti ulogu testiranja u ciklusu razvoja inteligentnih instalacija te kako testiranje doprinosi poboljšanju kvalitete sustava.
2. Postaviti raznolike i relevantne testne scenarije kako bi se osiguralo potpuno i temeljito testiranje svih aspekata inteligentnog sustava.
3. Analizirati rezultate testiranja kako bi identificirali eventualne nedostatke, pogreške ili ponašanja sustava koja se ne podudaraju s očekivanjima.

Radi optimalna funkcioniranja KNX instalacije ključno je što brže locirati i ispraviti eventualne greške, a problem precizno opisivati putem detaljne i ažurirane dokumentacije.

Dijagnostička funkcija ETS-a zahtijeva izravan pristup komunikacijskoj sabirnici. Stoga je nužno da računalno bude povezano s KNX instalacijom putem sučelja ili lokalnog sučelja. Tijekom procesa lociranja grešaka preporučuje se raditi sustavno. Prije svega, potrebno je isključiti mogućnost da se greška nalazi u električnom napajanju ili u kabliranju instalacije. Nakon što se utvrdi da određena funkcija nije moguća, treba postupno pretraživati grešku, počevši od uređaja za detekciju (senzora) i zaključno s uređajem za primanje (aktuatorom), kako bi se greška mogla ispraviti.

Mogući uzroci neispravna rada uređaja na komunikacijskoj liniji uključuju prekid žice na komunikacijskoj sabirnici, zamjenu polariteta na komunikacijskoj sabirnici ili na uređaju, instalaciju prethodno programiranih uređaja na pogrešnoj komunikacijskoj sabirnici, neispravno programiran uređaj ili neispravan uređaj.

Testiranje ima ključnu ulogu u osiguravanju pravilna funkcioniranja inteligentnih instalacija i sastoji se od funkcionalnog, integracijskog i sigurnosnog testiranja. Nakon testiranja provodi se verifikacija dizajna, funkcionalnosti i performansi kako bi se potvrdilo ispunjenje dizajnerskih i tehničkih zahtjeva.

1. **Testiranje** je proces u kojem se svaka komponenta i funkcionalnost inteligentnog sustava pažljivo ispituje kako bi se utvrdilo radi li ispravno. To uključuje:
  - **Funkcionalno testiranje:** Provjerava se jesu li svi uređaji i komponente pametnog sustava sposobni izvršavati svoje osnovne funkcije. Na primjer, jesu li senzori detekcije pokreta sposobni detektirati pokret i aktivirati rasvjetu?
  - **Integracijsko testiranje:** Ovim se korakom provjerava kako se različite komponente sustava integriraju i komuniciraju jedne s drugima. Na primjer, provjerava se usklađenost rada senzora svjetla i kontrolera rasvjete.
  - **Sigurnosno testiranje:** Osigurava se da su sve sigurnosne mjere ispravno implementirane kako bi se spriječili potencijalni sigurnosni rizici. To uključuje provjeru protiv neovlaštena pristupa i zaštite podataka.
2. **Verifikacija** se odnosi na proces potvrđivanja da su svi dizajnerski i tehnički zahtjevi pametnog sustava ispunjeni. To uključuje:
  - **Verifikaciju dizajna:** Provjerava se je li dizajn pametnog sustava u skladu s početnim zahtjevima i specifikacijama. Ovo uključuje provjeru arhitekture sustava, izbor komponenata i planiranje komunikacije.
  - **Verifikaciju funkcionalnosti:** Ovim se korakom potvrđuje da su sve funkcionalnosti sustava ispravno implementirane i da se ponašaju onako kako je predviđeno.
  - **Verifikaciju performansi:** Testiraju se brzina, učinkovitost i odaziv sustava kako bi se utvrdilo ispunjava li zahtjeve u pogledu performansi.

Nakon što je sustav prošao funkcionalno i tehničko testiranje, obično slijedi korisničko testiranje. Korisničko testiranje uključuje sudjelovanje stvarnih korisnika, osiguravajući praktičnu uporabu sustava i prikupljanje povratnih informacija. Ovo je testiranje važno da bi se osiguralo da sustav zadovoljava stvarne potrebe i očekivanja korisnika.

Nakon korisničkog testiranja slijede ispravci i iteracije popravaka sustava. Ispravci i iteracije izvode se kako bi se otklonile eventualne pogreške, čime se postiže zadovoljavajuća razina kvalitete i funkcionalnosti.

Svi rezultati testiranja, verifikacije i promjena nužno moraju biti dokumentirani, čime se osigurava transparentnost i praćenje implementacije sustava kroz vrijeme.

---

## 5. Primjena obnovljivih izvora energije

---

### NAKON OVOG POGLAVLJA MOĆI ĆETE:

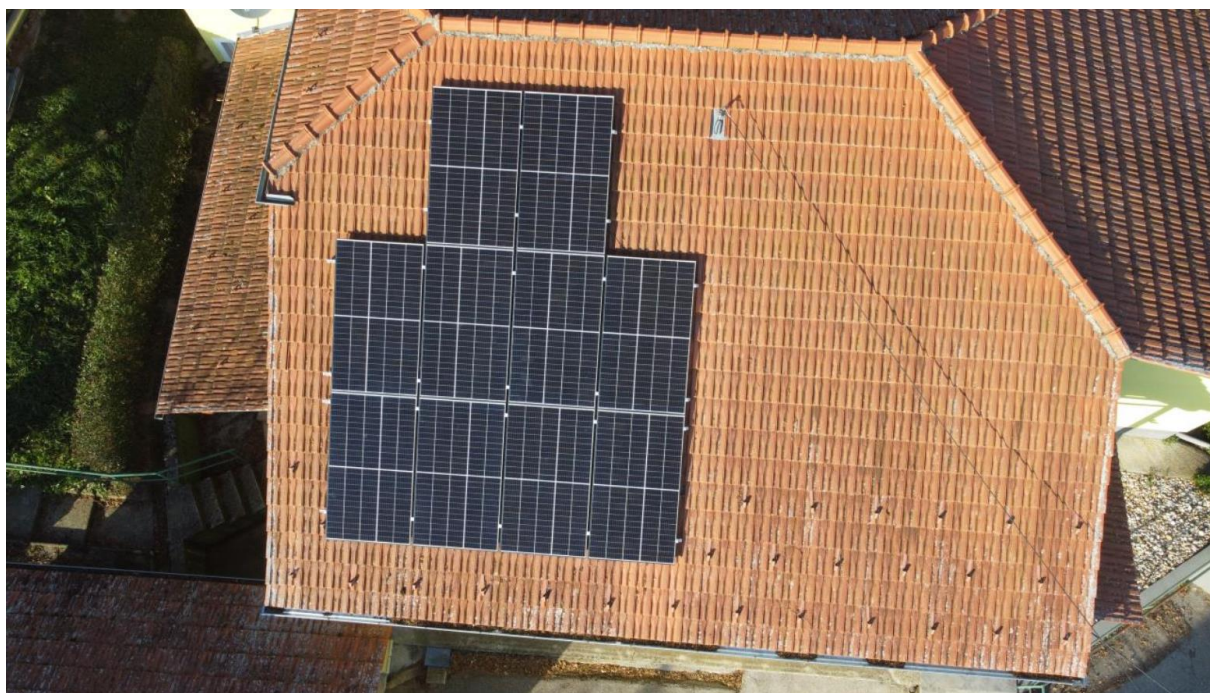
1. Upotrijebiti znanje o različitim vrstama obnovljivih izvora energije, uključujući solarnu, vjetrenu, geotermalnu energiju.
2. Primijeniti znanje o ugradnji i implementaciji fotonaponskih sustava, uključujući njihovu praktičnu primjenu.
3. Razumjeti osnovne koncepte Sunčeva zračenja, uključujući parametre poput insolacije i efikasnosti fotonaponskih ćelija.
4. Upotrijebiti znanje o ključnim parametrima fotonaponskih ćelija i modula, uključujući struju kratkog spoja, napon otvorenog kruga, točku maksimalne snage i efikasnost pretvorbe.

Obnovljivi izvori energije postaju ključan izvor energije i za industriju i za kućanstva. Brz napredak u tehnologiji korištenja obnovljivih izvora energije ističe njihovu značajnost u današnjem svijetu. Ovi se izvori smatraju praktički neiscrpnima s ljudskog stajališta, čime pružaju održivu alternativu fosilnim gorivima. Obnovljivi izvori energije obuhvaćaju raznolike izvore, uključujući solarnu energiju (toplinsku i fotonaponsku), energiju dobivenu pomoću vjetra, geotermalnu energiju, energiju plime i oseke, energiju vode, biomasu, bioplin te plin dobiven iz otpada ili uređaja za obradu otpadnih voda. Ova raznolikost pruža fleksibilnost u odabiru izvora u skladu sa specifičnim potrebama i uvjetima lokalnog okoliša. Iz perspektive brige za okoliš te u kontekstu borbe protiv klimatskih promjena i globalnog zatopljenja obnovljivi izvori energije postaju ključni u proizvodnji i potrošnji električne energije. Njihova primjena u kućanstvima više nije luksuz, već imperativ u ostvarivanju održivog razvoja i poticanju kružnog gospodarstva.

Ulaganje u obnovljive izvore energije ne samo da smanjuje ovisnost o fosilnim gorivima već i doprinosi smanjenju emisija stakleničkih plinova i negativnih utjecaja na okoliš. Promicanje korištenja obnovljive energije u kućanstvima postaje ključna strategija u ostvarivanju ekološki odgovornijeg načina života te stvaranju održivije energetske budućnosti.

Zahvaljujući svom povoljnom geografskom položaju Hrvatska posjeduje značajan potencijal za iskorištavanje Sunčeve energije. Tri su glavna načina korištenja Sunčeve energije, a to su pretvorba u toplinsku energiju pomoću solarnih kolektora, pretvorba u električnu energiju pomoću fotonaponskih sustava te korištenje biomase. Jedan od najefikasnijih načina pretvorbe Sunčeve energije u električnu energiju jest pomoću fotonaponskih (solarnih) ćelija. Hrvatska, zbog obilja sunčanih dana, pruža idealne uvjete za ovu vrstu tehnologije. Ovaj sustav temelji se na izravnoj pretvorbi Sunčeve energije u električnu putem fotoelektričnog efekta. Fotonaponske ćelije funkcioniraju na temelju fotoelektričnog efekta, pri čemu Sunčeva svjetlost potiče oslobađanje elektrona u materijalu ćelije, stvarajući električnu struju. Ovaj proces omogućuje direktnu pretvorbu Sunčeve energije u električnu energiju, što fotonaponske sustave čini iznimno učinkovitim i ekološki prihvatljivim [25].

U priručniku je naglasak stavljen na ugradnju i implementaciju fotonaponskih sustava kao dio pametnih kuća i inteligentnih instalacija, odnosno na njihovu praktičnu primjenu u kućanstvima (Slika 49).



Slika 49. Primjer ugradnje fotonaponskih panela na krovu kuće [autorski rad]

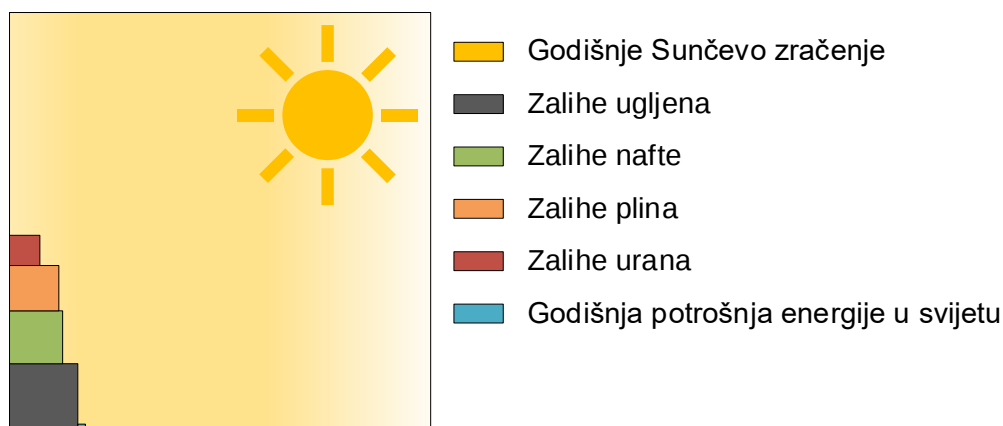
## 5.1. Sunčevo zračenje

Sunce je glavni izvor energije elektromagnetskog zračenja, koje, prodirući kroz atmosferu, čini neiscrpan obnovljivi izvor energije. Ova energija, koja prolazi iz

Sunčeva zračenja, ne samo da je ključna za održavanje života na Zemlji nego i pokreće atmosferske procese i oblikuje raznolike sustava gibanja, što direktno utječe na vrijeme i klimu na planetu. Pri proračunu i projektiranju uređaja koji rade na temelju Sunčeva zračenja potrebno je znati i odrediti kut pod kojim ono upada na plohu kolektora.

Sunce, zvijezda sastavljena pretežno od vodika i helija, zauzima centralnu ulogu u našem planetarnom sustavu te je praktički izvor svake dostupne energije na Zemlji. Unutar njegove jezgre nuklearne reakcije transformiraju izotope vodika u helij, oslobađajući ogromne količine energije. Iako je temperatura u Sunčevoj jezgri iznad 15 milijuna K, zračenje koje nastaje u unutrašnjosti gotovo u potpunosti apsorbira sloj vodika bliže površini. Stoga, temperatura na površini Sunca iznosi otprilike 6000 K. Budući da Sunčev spektar približno odgovara spektru crnog tijela ugrijanog na temperaturu od 5760 Kelvina, tu temperaturu možemo uzeti kao efektivnu temperaturu Sunčeve površine. Primjenom Stefan-Boltzmannova, Wienova i Planckova zakona moguće je proračunati energetske spektar Sunčeva zračenja. Snaga Sunčeva zračenja iznosi oko  $3,8 \cdot 10^{23}$  kW, odnosno  $3,3 \cdot 10^{27}$  kWh/god. Međutim, samo mali dio te energije stiže do površine Zemlje pod vrlo malim prostornim kutom od 32', odnosno 0,53°. To znači da samo pola milijarditi dio emitirane energije, otprilike  $1,75 \cdot 10^{14}$  kW, odnosno  $1,53 \cdot 10^{18}$  kWh/god, doseže vrh Zemljine atmosfere. Ovaj podatak ukazuje na to da je snaga Sunčeva zračenja koja stiže do Zemlje i do nekoliko stotina tisuća puta veća od snage svih elektrana na Zemlji kada rade punim kapacitetom.

Primljena količina energije od Sunčeva zračenja nevjerojatna je i to implicira da jedan sat Sunčeve svjetlosti može zadovoljiti energetske potrebe cijelog svjetskog stanovništva. Na grafu prikazanom na Slici 50 prirodni potencijal energije Sunčeva zračenja vizualiziran je žutom kockom, koja zapravo predstavlja potencijal čak 50 puta veći od ukupnog zbroja svih zaliha fosilnih i nuklearnih goriva. Nasuprot tome, plava kockica simbolizira godišnju potrošnju energije u svijetu. Ova jasna usporedba naglašava da je trenutni tehnički kapacitet energije Sunčeva zračenja još uvijek značajno iznad ukupne svjetske potrošnje energije. Ovaj jednostavan prikaz naglašava golem, neiskorišten potencijal Sunčeve energije [25].



Slika 50. Usporedba zaliha fosilnih i nuklearnih goriva te godišnje potrošnje energije u svijetu naspram godišnjeg Sunčevog zračenja na površini Zemlje [autorski rad]

Osnovni podaci o Sunčevu zračenju, ključni za praktičnu i učinkovitu upotrebu Sunčeve energije, obuhvaćaju srednju dnevnu insolaciju vodoravne plohe, koja se dobiva raznim mjerenjima. Važni parametri za uspješno iskorištavanje Sunčeve energije uključuju informacije o insolaciji (osunčanosti), ukupnom zračenju na horizontalnoj plohi te difuznom zračenju na istoj površini. Za određeno geografsko područje procjena raspoloživog potencijala Sunca olakšana je prisustvom baza podataka koje sadrže sve relevantne informacije o intenzitetu Sunčeva zračenja, temperaturama okoline, prosječnim dnevnim temperaturama itd. Danas postoji nekoliko kvalitetnih baza podataka, a među najčešće korištene ubrajaju se: Meteonorm, NASA-ina baza podataka Surface Meteorology and Solar Energy te PVGIS – Photovoltaic Geographical Information System. Bitno je napomenuti da podaci o intenzitetu Sunčeva zračenja na okomitu ploh u spomenutim bazama podataka nisu izravno izmjereni, već su izračunati na temelju satelitskih mjerenja ekstraterestričke radijacije na rubu Zemljine atmosfere. Sunčevo zračenje koje dopire do površine Zemlje može se podijeliti na nekoliko komponenata, uključujući neposredno zračenje, difuzno zračenje neba, difuzno zračenje obzorja, Sunčevo difuzno zračenje te odbijeno zračenje.

Radi maksimalne apsorpcije Sunčeve energije fotonaponski moduli postavljaju se na plohe koje su nagnute prema Suncu. Optimalna orijentacija plohe fotonaponskog modula zahtijeva usmjerenost prema jugu i postavljenost pod određenim kutom u odnosu na horizontalnu ravninu. Da bi se precizno izračunala količina Sunčeva

zračenja koje pada na nagnutu plohu, ključno je poznavati kut upada direktnog Sunčevog zračenja.

Kut upada Sunca, označen kao  $\theta$ , predstavlja kut između upadnih Sunčevih zraka i normale na površinu na koju zračenje pada. Orijentacija plohe definirana je azimutom  $\alpha$  i nagibom plohe u odnosu na horizontalu  $\beta$ . Izračun kut upada Sunca kompleksan je proces i uključuje zemljopisnu širinu  $\varphi$ , satni kut Sunca  $\omega$ , deklinaciju  $\delta$  te orijentaciju plohe [19].

$$\theta(\beta, \alpha) = \cos^{-1}(\cos * (\beta, \alpha)), \text{ ako je } \cos * (\beta, \alpha) > 0 \quad (1)$$

$$\theta(\beta, \alpha) = 0, \text{ ako je } \cos * (\beta, \alpha) \leq 0 \quad (2)$$

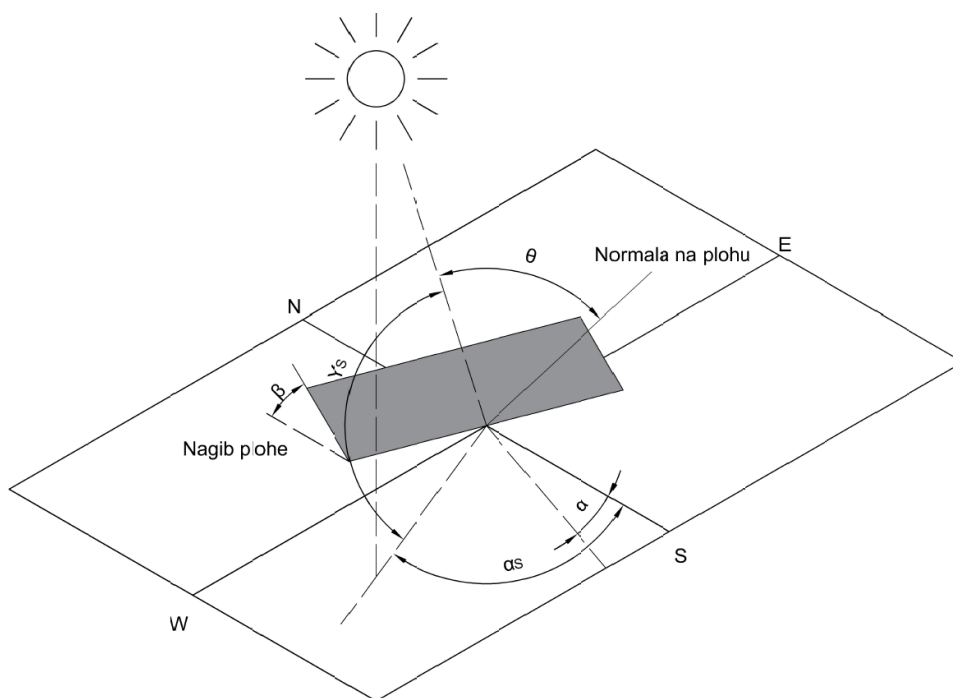
gdje je:

$$\cos * (\beta, \alpha) = \cos\omega[\cos\delta(\cos\varphi \cdot \cos\beta + \cos\alpha \cdot \sin\varphi \cdot \sin\beta)] + \sin\omega[\cos\delta \cdot \sin\varphi \cdot \sin\beta] + \sin\omega[\sin\varphi \cdot \cos\beta - \cos\varphi \cdot \sin\beta \cdot \cos\alpha] \quad (3)$$

Deklinacija Sunca označena kao  $\delta$  ključni je parametar za određivanje položaja Sunca. To je kut između spojnice središta Zemlje i središta Sunca te ravnine koja sadrži ekvator. Visina Sunca označena kao  $\gamma_s$  kut je između središta Sunčeva diska i horizontalne ravnine. Izračun visine Sunca može se provesti prema izrazu (4):

$$\gamma_s = \sin^{-1}(\sin\varphi \cdot \sin\delta + \cos\varphi \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega) [^\circ] \quad (4)$$

Sunčev azimut označen kao  $\alpha_s$  kut je između vertikalne ravnine koja sadrži smjer Sunca i vertikalne ravnine koja prolazi smjerom sjever-jug. Mjerenje Sunčeva azimuta obavlja se od juga prema sjeveru na sjevernoj polutci, dok na južnoj polutci azimut ide od sjevera prema jugu. Oznaka azimuta ima pozitivan predznak popodne za sunčano vrijeme, dok prije sunčanog podneva poprima negativne vrijednosti. Na Slici 51 može se vidjeti prikaz visine Sunca, zenitnog kuta Sunca, Sunčeva azimuta i kuta upada Sunca [26].



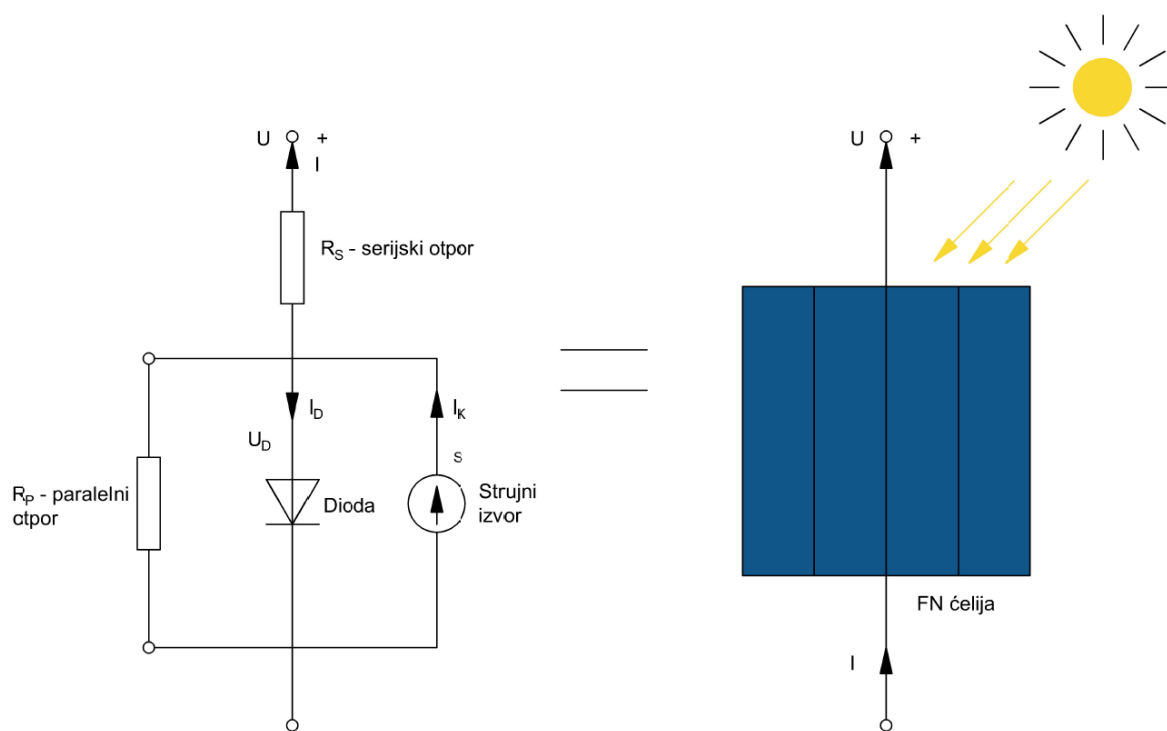
Slika 51. Visina Sunca, zenitni kut Sunca, Sunčev azimut i kut upada [autorski rad]

## 5.2. Osnovni principi i parametri fotonaponske ćelije

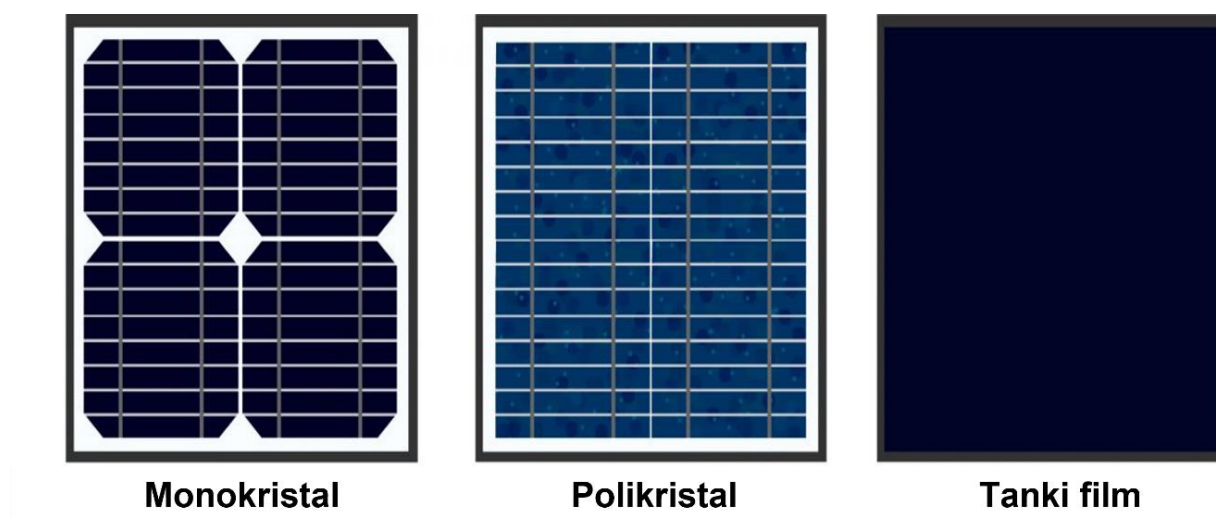
Fotonaponska (FN) ćelija koristi poluvodičke elemente i temelji se na principu fotonaponskog efekta. FN ćeliju možemo definirati kao elektronički element koji Sunčevu energiju koja upada na površinu ćelije direktno pretvara u električnu energiju na osnovi fotonaponskog efekta. Kada fotoni udare u fotonaponsku ćeliju, oni se mogu odbiti od nje, proći kroz nju ili biti apsorbirani. Ako energija fotona koji je apsorbiran bude veća od izlaznog rada materijala, elektroni mogu biti oslobođeni iz elektronskog omotača, što rezultira usmjerenim kretanjem elektrona, odnosno stvaranjem električne struje i proizvodnjom električne energije. Ova pojava poznata je kao fotonaponski efekt. Edmond Becquerel otkrio je ovaj efekt 1839. godine provodeći eksperimente s mješavinom srebrnog klorida i kiseline te osvjetljavanjem iste. U tim eksperimentima napon i struja generirani su spajanjem platinskih elektroda. Kada se solarna ćelija izloži svjetlu ili apsorbira Sunčevo zračenje, fotonaponski efekt stvara elektromotornu silu (napon) na krajevima ćelije, čime solarna ćelija postaje izvorom električne energije.

Nadomjesna shema fotonaponske ćelije prikazana je na Slici 52. Serijski otpor  $R_s$  označava omski otpor koji struja susreće prolazeći kroz ćeliju, uključujući površinski sloj ćelije prema omskim kontaktima. Paralelni otpor ćelije  $R_p$  otpor je koji proizlazi iz defekata u PN spoju. (PN spoj je spoj između dvije vrste poluvodičkih materijala: P-

tipa (pozitivno nabijena) i N-tipa (negativno nabijena). Ova vrsta spoja stvara važnu barijeru za prolaz električne struje. FN ćelije proizvode se korištenjem raznovrsnih tehnologija, a najčešće su izrađene od silicija. U skladu s tim, razlikujemo monokristalni, polikristalni ili amorfni silicij, koji su prikazani na Slici 53, kao i druge materijale, poput telurija i kadmija. Svaka od navedenih razvijena je s jasnim ciljem, a to je postizanje što veće učinkovitosti fotonaponske ćelije [27].



Slika 52. Nadomjesna shema fotonaponske ćelije [autorski rad]



Slika 53. Vrste kristalnih ćelija [11]

Efikasnost, odnosno stupanj korisnog djelovanja fotonaponske ćelije određuje se prema izrazu (5):

$$\eta = \frac{P_{MPP}}{G \cdot A} \quad (5)$$

$\eta$  – efikasnost fotonaponske ćelije [%]

$P_{MPP}$  – točka maksimalne snage [W]

$G$  – snaga sunčevog zračenja [ $W/m^2$ ]

$A$  - površina fotonaponske ćelije [ $m^2$ ]

Za ispravan odabir fotonaponskih modula bitno je razumjeti parametre ćelija od kojih su sačinjeni. I-U karakteristika fotonaponske ćelije ima tri ključne točke koje definiraju osnovne parametre:

1. Struja kratkog spoja  $I_{ks}$  – struja koja teče kad je napon na stezaljkama FN ćelija jednak nuli.

2. Napon otvorenog kruga (praznog hoda)  $U_{ok}$  – napon kada je struja  $I$  jednaka nuli.

3. Točka maksimalne snage  $P_m$  – točka u kojoj FN ćelija daje najveću moguću snagu, koja odgovara najvećoj površini pravokutnika upisanog u I-U karakteristiku, s vrijednostima struje  $I_m$ , i napona  $U_m$ .

Ostali važni parametri uključuju:

- karakteristični otpor FN ćelije
- stupanj korisnog djelovanja FN ćelije
- ovisnost stupnja korisnog djelovanja o spektralnom odazivu
- ovisnost stupnja korisnog djelovanja ćelije o širini zabranjenog pojasa
- ovisnost navedenih parametara o temperaturi.

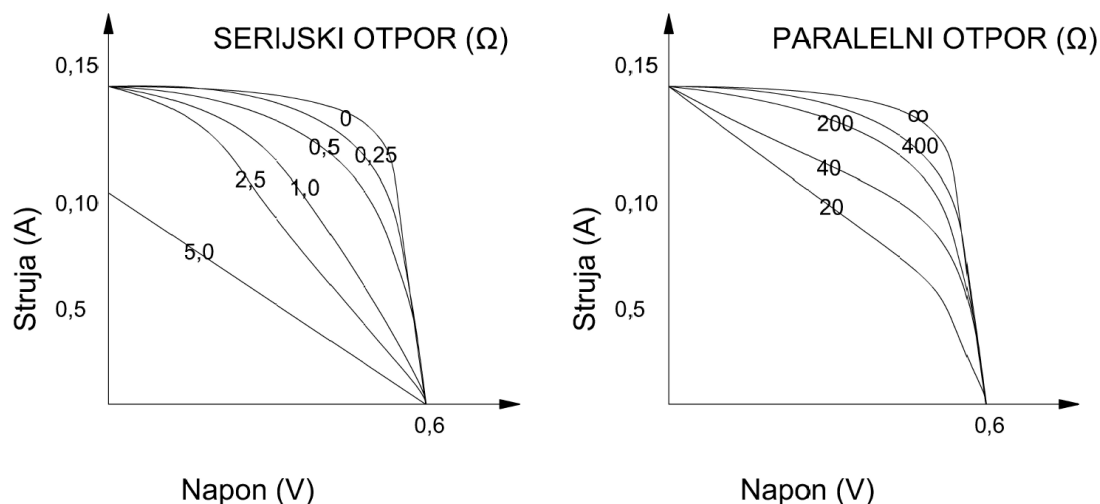
FN ćelije često se prikazuju pomoću nadomjesnog strujnog kruga kao strujni izvor, što je prikazano na Slici 52, pri čemu je struja  $I$  jednaka struji  $I_k$  koju proizvodi Sunčeva svjetlost, umanjeno za zanemarivu struju diode  $I_D$  i struju šanta  $I_P$ . Serijski otpor  $R_S$  unutarnji je otpor, a paralelni otpor ili otpor šanta  $R_P$  obrnuto je proporcionalan rasipnoj struji prema zemlji.

Na Slici 54 prikazan je utjecaj serijskog i paralelnog otpora na I-U karakteristiku. Serijski i paralelni otpor imaju značajan utjecaj na oblik I-U karakteristike FN ćelije te na ukupnu snagu.

Napon praznog hoda elektromotorna je sila koja se pojavljuje na stezaljkama ćelije prilikom otvorenog strujnog kruga, tj. kada je struja  $I$  jednaka nuli. Napon praznog hoda, zajedno sa strujom kratkog spoja, ključan je parametar za opisivanje učinkovitosti pojedine ćelije. Maksimalni fotonapon ( $U_{PH}$ ) postiže se u praznom hodu strujnog kruga FN ćelije pod punim osvjetljenjem. Ignorirajući gubitke, odnosno struju rasipanja prema zemlji, uzimamo da je struja  $I$  jednaka nuli te se napon u tom slučaju određuje prema izrazu (6):

$$U_{PH} = \frac{kT}{Q} \cdot \ln\left(\frac{I_L}{I_D} + 1\right) [V] \quad (6)$$

- $kT/Q$  – apsolutna temperatura izražena u voltima ( $300\text{ K} = 0,026\text{ V}$ )
- $I_L$  – fotogenerirana struja
- $I_D$  – struja zasićenja diode
- $Q$  – naboj =  $1,6 \cdot 10^{-19}\text{ C}$
- $k$  – Boltzmannova konstanta =  $1,38 \cdot 10^{-23}\text{ J/K}$
- $T$  – temperatura u K.



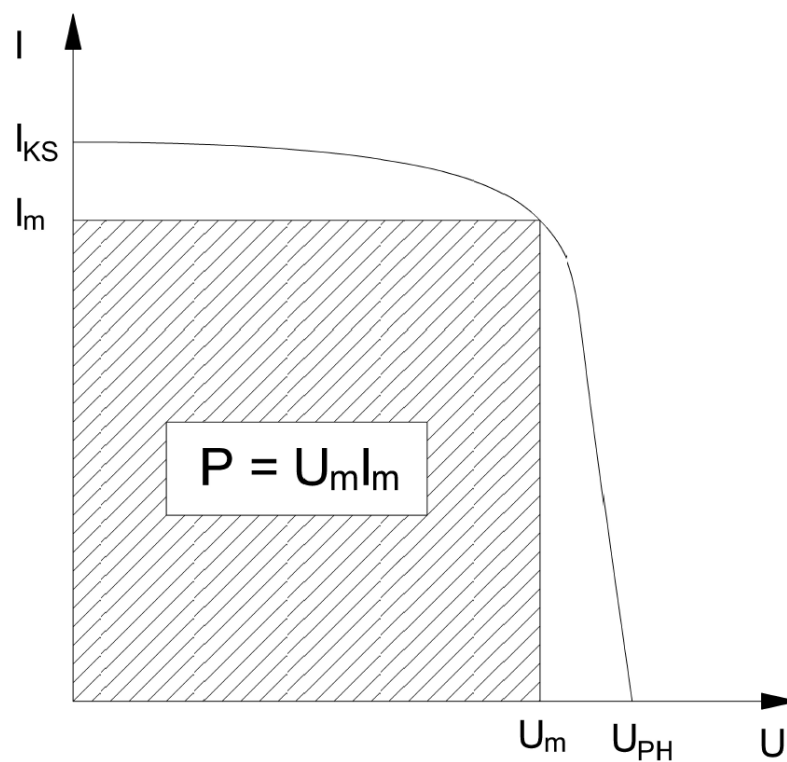
Slika 54. Utjecaj na I-U karakteristiku serijskog i paralelnog otpora [autorski rad]

Struja kratkog spoja  $I_{KS}$  struja je koja teče kada su stezaljke FN ćelije kratko spojene, tj. kada je napon između tih stezaljki jednak nuli. Struja kratkog spoja određuje se prema izrazu (7):

$$I_{KS} = I_L - I_D \left[ e^{\frac{QU_{PH}}{kT}} - 1 \right] - \frac{U_{PH}}{R_{SH}} [A] \quad (7)$$

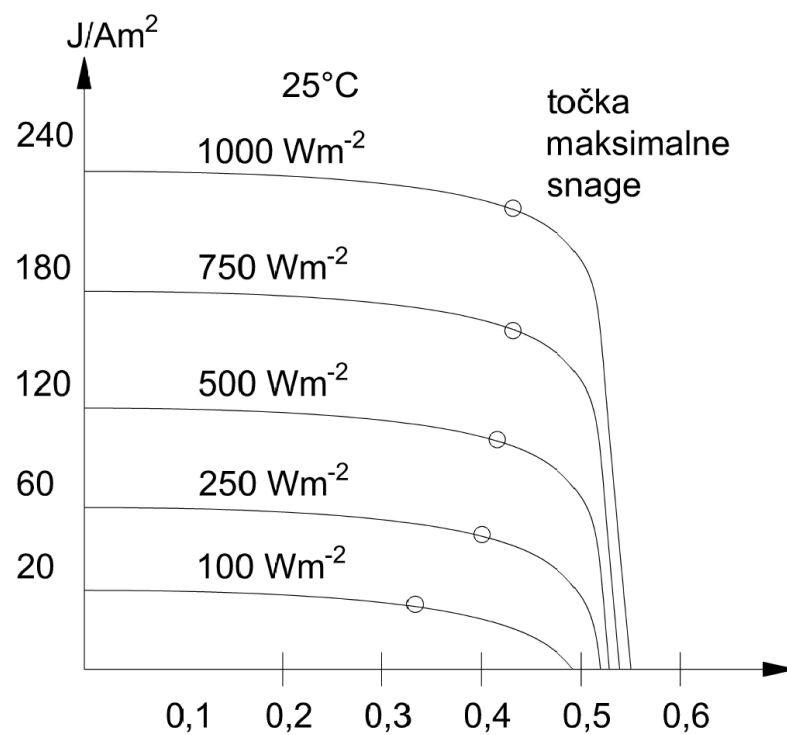
gdje je  $R_{SH}$  otpor šanta.

Izraz  $(U_{PH}/R_{SH})$  opisuje struju koja se rasipa u zemlju. Važno je napomenuti da je ova struja znatno manja u usporedbi sa strujama  $I_L$  i  $I_D$ , tako da se može zanemariti u analizi. Struja zasićenja diode može se eksperimentalno odrediti primjenom napona  $U_{PH}$  u mraku i mjerenjem rezultirajuće struje koja teče kroz ćeliju. Ova struja često se naziva obrnuta struja zasićenja diode ili „struja mraka“. Ovim eksperimentalnim postupkom dobivamo dvije granične točke u strujno-naponskoj karakteristici fotonaponske ćelije, dok se ostale točke dobivaju mjerenjem, kao što je prikazano na Slici 55.



Slika 55. I-U karakteristika FN ćelije [autorski rad]

Na Slici 56 prikazano je kako se strujno-naponska (I-U) karakteristika FN ćelije mijenja ovisno o jakosti Sunčeva zračenja.



Slika 56. Ovisnost I-U karakteristike o jakosti Sunčeva zračenja [autorski rad]

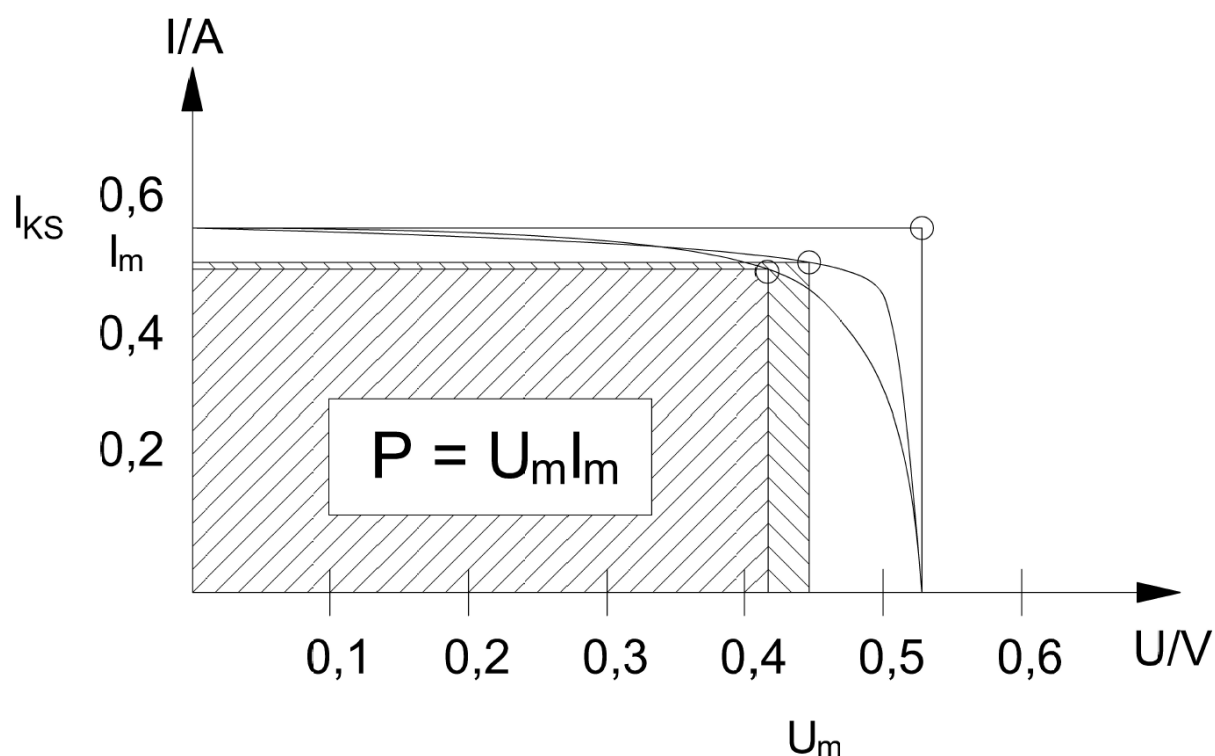
Karakteristični otpor određuje se koristeći napon otvorenog kruga i struju kratkog spoja i određuje se prema izrazu (8):

$$R_k = \frac{U_{PH}}{I_{KS}} \quad (8)$$

Snaga koju proizvodi FN ćelija određuje se prema izrazu (9) i jednaka je umnošku napona i struje:

$$P = U \cdot I = U \cdot \left[ I_L - I_D e^{\frac{QU}{kT}} + I_D \right] [W] \quad (9)$$

Idealna fotonaponska ćelija proizvodi drukčiju snagu u usporedbi s realnom. Računski se ovo može postići traženjem ekstrema funkcije (izraza 9) ili određivanjem maksimalne površine pravokutnika na grafu prikazanom na Slici 57.



Slika 57. Maksimalna snaga idealne i realne FN ćelije [autorski rad]

Vršna (maksimalna) snaga  $P_m$  određuje se prema izrazu (10) i određuje se kao umnožak napona praznog hoda i struje kratkog spoja:

$$P_m = I_{KS} \cdot U_{PH} \cdot FF [W_p] \quad (10)$$

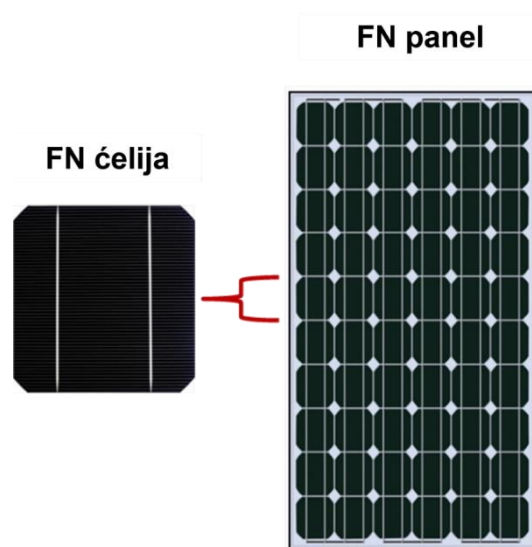
gdje je:

$$FF = \frac{U_m \cdot I_m}{U_{PH} \cdot I_{KS}}$$

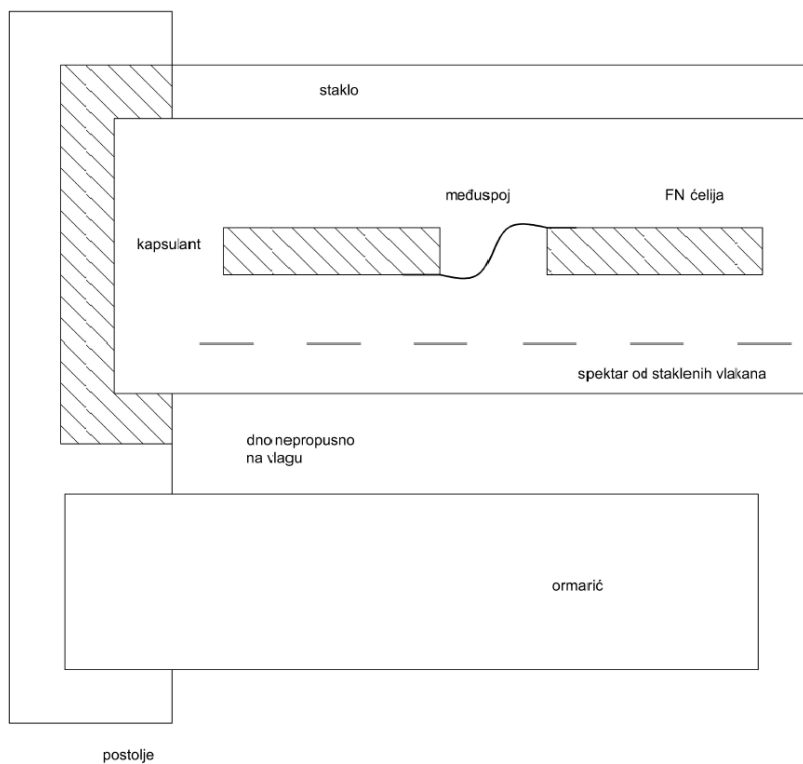
Faktor punjenja (engl. *fill factor*) definira se omjerom površine pravokutnika formiranog naponom  $U_m$  i strujom  $I_m$  te površine drugog sa stranicama  $U_{PH}$  i  $I_{KS}$ . Ovaj faktor ilustrira stvarnu blizinu karakteristika fotonaponske ćelije prema idealnim uvjetima, odnosno koliki utjecaj ima serijski otpor ćelije. Faktor punjenja  $FF$  opada linearno s omjerom  $R_S/R_K$  i  $R_K/R_P$ , gdje je  $R_S$  serijski,  $R_P$  paralelni i  $R_K$  karakteristični otpor FN ćelije te obično iznosi  $0,7 < FF < 0,9$  [20]. Serijski otpor ćelije  $R_S$  rezultat je unutarnjeg otpora same ćelije i otpora kontakata unutar nje. Produkt serijskog otpora i površine ćelije, označen kao  $R_SA$ , obično iznosi oko  $0,0025 \Omega/m^2$  za uobičajene FN ćelije. Paralelni otpor ćelije  $R_P$  uzrokovan je lokalnim defektima u PN spoju. Iako bi za idealnu ćeliju ovaj otpor bio beskonačno velik, u stvarnoj ćeliji struje gubitaka proporcionalne su naponu na ćeliji. Faktor punjenja, dakle, pruža važan uvid koliko je fotonaponska ćelija efikasna u svom radu, uzimajući u obzir njezine unutarnje otpore.

### 5.3. Fotonaponski modul

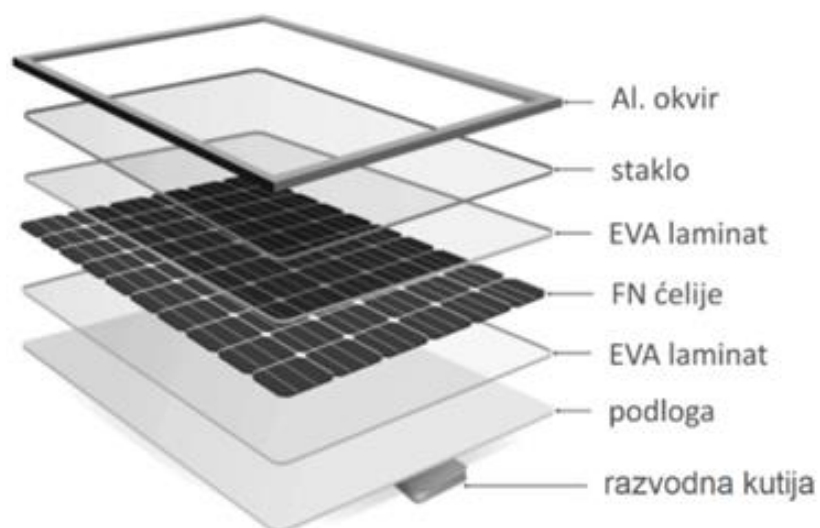
Fotonaponske ćelije generiraju niski napon reda veličine  $0,5 \text{ V}$ , uz gustoću struje od približno  $20 \text{ mA/cm}^2$  [21]. Za postizanje željene vršne snage (npr.  $200, 210 \text{ W}$  ili više) i određenog napona, obično  $12$  ili  $24 \text{ V}$ , fotonaponske ćelije povezuju se serijski, paralelno ili često kombinacijom obaju načina. Ukupni izlazni napon modula proporcionalan je broju serijski spojenih ćelija, a izlazna je struja proporcionalna broju paralelno spojenih ćelija. Ove povezane fotonaponske ćelije čine fotonaponski modul, kao što je prikazano na Slici 58. Kako bi se osigurala dugotrajna i pouzdana zaštita od atmosferskih i fizičkih oštećenja, fotonaponske se ćelije pakiraju u veće fotonaponske module, poznate kao paneli (Slike 59 i 60). Ćelije se laminiraju između slojeva kaljenog stakla i bijelog teflona kako bi se pružila idealna vodootporna zaštita. Kaljeno staklo visoko je transparentno i optimalno hvata direktnu i difuznu svjetlost. Ovako izrađeni moduli postavljaju se u aluminijski okvir, čime se postiže potrebna robusnost i omogućuje praktično i jednostavno postavljanje na željenu površinu. Moduli se dalje spajaju u niz (engl. *String*), gdje niz čini serijsko-paralelni spoj modula. Ovisno o predviđenoj snazi, u niz se slaže odgovarajući broj modula. Primjeri modula, nizova te strujno-naponske karakteristike prikazani su na Slici 61 [28].



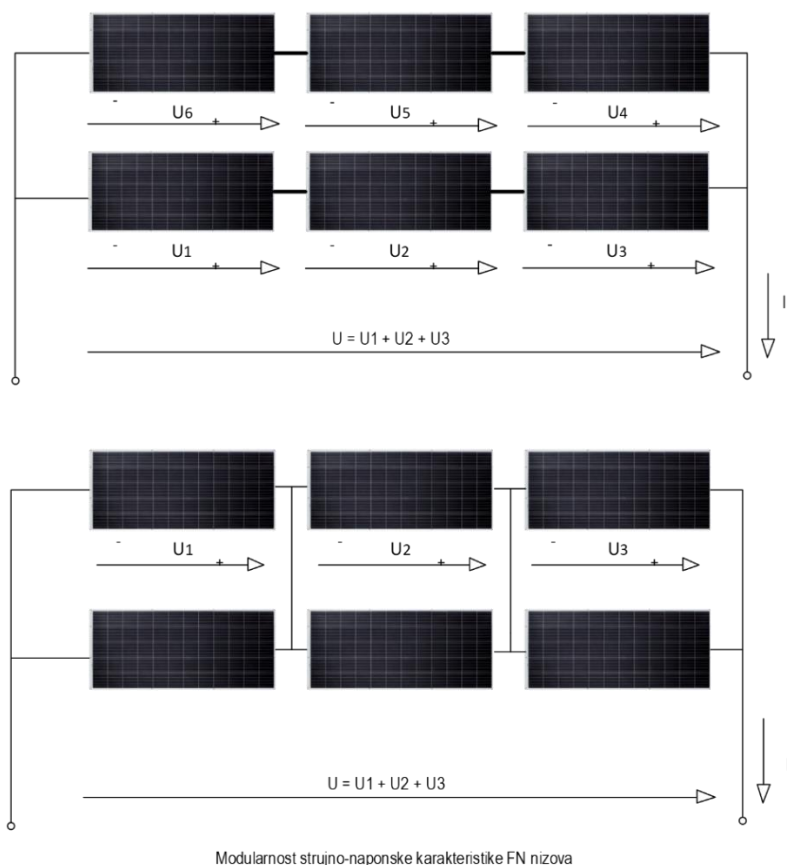
Slika 58. Prikaz fotonaponske ćelije unutar panela [12]



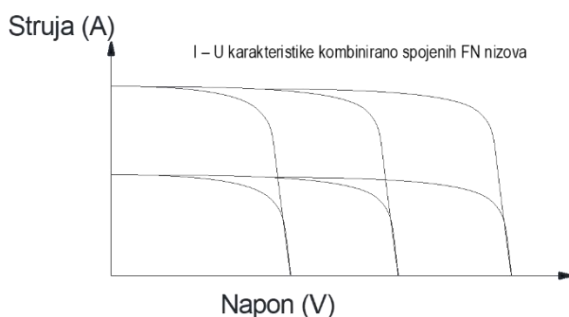
Slika 59. Kapsuliranje fotonaponskih ćelija [autorski rad]



Slika 60. Struktura fotonaponskog panela [13]



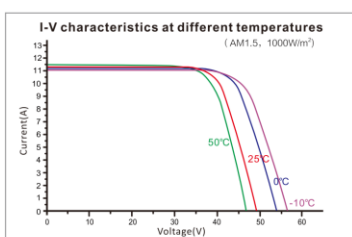
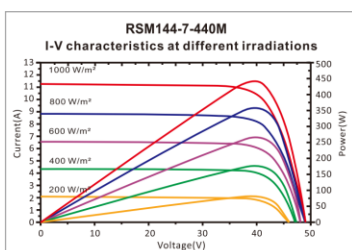
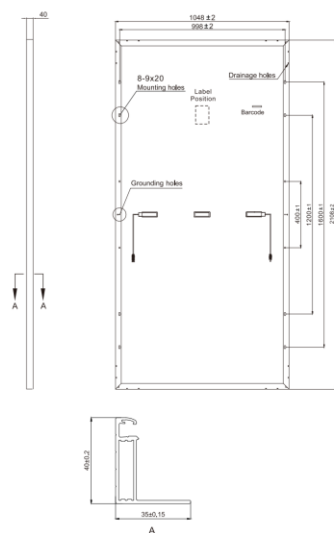
Modularnost strujno-naponske karakteristike FN nizova



Slika 61. Fotonaponski moduli, nizovi i njihove strujno-naponske karakteristike [autorski rad]

Proizvođači FN modula uobičajeno pružaju U-I karakteristike koje odgovaraju različitim razinama Sunčeva zračenja pri normalnim temperaturama ili različitim temperaturama pri normalnim uvjetima zračenja. Te karakteristike pružaju korisne informacije za određivanje karakterističnih točaka, poput struje kratkog spoja  $I_{ks}$ , napona otvorenog kruga  $U_{ok}$ , maksimalnog napona  $U_m$  i maksimalne struje  $I_m$ . Primjer tehničkog lista FN panela određenog proizvođača prikazan je na Slici 62. Na toj slici jasno se može vidjeti što točno pojedini proizvođač panela navodi od bitnih parametara modula potrebnih projektantu ili izvođaču fotonaponskih elektrana.

#### Dimensions of PV Module



#### Our Partners:

REM144-M-9BB-EN-H1-3-2020

#### ELECTRICAL DATA (STC)

| Model Number                  | RSM144-7-430M | RSM144-7-435M | RSM144-7-440M | RSM144-7-445M | RSM144-7-450M |
|-------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Rated Power in Watts-Pmax(Wp) | <b>430</b>    | <b>435</b>    | <b>440</b>    | <b>445</b>    | <b>450</b>    |
| Open Circuit Voltage-Voc(V)   | 49.30         | 49.40         | 49.50         | 49.60         | 49.70         |
| Short Circuit Current-Isc(A)  | 11.10         | 11.20         | 11.30         | 11.40         | 11.50         |
| Maximum Power Voltage-Vmpp(V) | 40.97         | 41.05         | 41.13         | 41.25         | 41.30         |
| Maximum Power Current-Imp(A)  | 10.50         | 10.60         | 10.70         | 10.80         | 10.90         |
| Module Efficiency (%) *       | 19.5          | 19.7          | 19.9          | 20.1          | 20.4          |

STC: Irradiance 1000 W/m², Cell Temperature 25°C, Air Mass AM1.5 according to EN 60904-3.

\* Module Efficiency (%): Round-off to the nearest number

#### ELECTRICAL DATA (NMOT)

| Model Number                   | RSM144-7-430M | RSM144-7-435M | RSM144-7-440M | RSM144-7-445M | RSM144-7-450M |
|--------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Maximum Power-Pmax (Wp)        | 321.5         | 325.2         | 329.6         | 333.9         | 338.2         |
| Open Circuit Voltage-Voc (V)   | 45.36         | 45.45         | 46.18         | 46.39         | 46.43         |
| Short Circuit Current-Isc (A)  | 9.10          | 9.18          | 9.27          | 9.35          | 9.43          |
| Maximum Power Voltage-Vmpp (V) | 37.53         | 37.60         | 37.80         | 37.90         | 38.00         |
| Maximum Power Current-Imp (A)  | 8.57          | 8.65          | 8.72          | 8.81          | 8.90          |

NMOT: Irradiance at 800 W/m², Ambient Temperature 20°C, Wind Speed 1 m/s.

#### MECHANICAL DATA

|                    |                                                      |
|--------------------|------------------------------------------------------|
| Solar cells        | Monocrystalline 166×83mm                             |
| Cell configuration | 144 cells (6×12+6×12)                                |
| Module dimensions  | 2108×1048×40mm                                       |
| Weight             | 25kg                                                 |
| Superstrate        | High Transmission, Low Iron, Tempered ARC Glass      |
| Substrate          | White Back-sheet                                     |
| Frame              | Anodized Aluminium Alloy type 6063T5, Silver Color   |
| J-Box              | Potted, IP68, 1500VDC, 3 Schottky bypass diodes      |
| Cables             | 4.0mm² (12AWG), Positive(+) 270mm, Negative(-) 270mm |
| Connector          | Risen Twinsel PV-SY02, IP68                          |

#### TEMPERATURE & MAXIMUM RATINGS

|                                             |             |
|---------------------------------------------|-------------|
| Nominal Module Operating Temperature (NMOT) | 44°C±2°C    |
| Temperature Coefficient of Voc              | -0.29%/°C   |
| Temperature Coefficient of Isc              | 0.05%/°C    |
| Temperature Coefficient of Pmax             | -0.37%/°C   |
| Operational Temperature                     | -40°C~+85°C |
| Maximum System Voltage                      | 1500VDC     |
| Max Series Fuse Rating                      | 20A         |
| Limiting Reverse Current                    | 20A         |

#### PACKAGING CONFIGURATION

|                                        | 40ft(HQ)       | 20ft           |
|----------------------------------------|----------------|----------------|
| Number of modules per container        | 594            | 135            |
| Number of modules per pallet           | 27             | 27             |
| Number of pallets per container        | 22             | 5              |
| Packaging box dimensions (LxWxH) in mm | 2140×1130×1180 | 2140×1130×1180 |
| Box gross weight[kg]                   | 730            | 730            |

CAUTION: READ SAFETY AND INSTALLATION INSTRUCTIONS BEFORE USING THE PRODUCT.  
©2020 Risen Energy. All rights reserved. Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.  
THE POWER OF RISING VALUE

Slika 62. Tehnički list odabranog FN panela [14]

## 5.4. Frekvencijski pretvarač – izmjenjivač

Izmjenjivač je ključna komponenta fotonaponskog sustava, odnosno elektrane. Da bismo mogli koristiti energiju proizvedenu pomoću fotonaponskih panela, moramo je pretvoriti iz istosmjernog oblika u izmjenični oblik. Izmjenjivač pretvara istosmjerni (DC) napon FN panela u izmjenični (AC) napon prikladne frekvencije mreže. Postoje tri vrste izmjenjivača: centralni izmjenjivač, *string* izmjenjivač i mikro izmjenjivač. Ovisno o projektu i zahtjevima klijenta odabire se odgovarajući izmjenjivač. Na Slici 63 prikazan je jedan tip ugrađenog izmjenjivača, a na Slici 64 tehnički podaci samog izmjenjivača.



Slika 63. Primjer ugradnje jednog tipa izmjenjivača u kućanstvu [autorski rad]

## Technical Data

www.fuji-solar.com

| Model                                    | FU-SUN-15K-G05                                                                                  | FU-SUN-17K-G05 |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Input Side                               |                                                                                                 |                |
| Max. DC Input Power (kW)                 | 19.5                                                                                            | 22.1           |
| Max. DC Input Voltage (V)                | 1000                                                                                            |                |
| Start-up DC Input Voltage (V)            | 250                                                                                             |                |
| MPPT Operating Range (V)                 | 200~850                                                                                         |                |
| Max. DC Input Current (A)                | 13+26                                                                                           |                |
| Max. Short Circuit Current (A)           | 19.5+39                                                                                         |                |
| Number of MPPT / Strings per MPPT        | 2/1+2                                                                                           |                |
| Output Side                              |                                                                                                 |                |
| Rated Output Power (kW)                  | 15                                                                                              | 17             |
| Max. Active Power (kW)                   | 16.5                                                                                            | 18.7           |
| Nominal Output Voltage / Range (V)       | 3L/N/PE 380V/0.85Un-1.1Un, 400V/0.85Un-1.1Un                                                    |                |
| Rated Grid Frequency (Hz)                | 50 / 60 (Optional)                                                                              |                |
| Operating Phase                          | Three phase                                                                                     |                |
| Rated AC Grid Output Current (A)         | 21.7                                                                                            | 24.6           |
| Max. AC Output Current (A)               | 23.9                                                                                            | 27.1           |
| Output Power Factor                      | 0.8 leading to 0.8 lagging                                                                      |                |
| Grid Current THD                         | <3%                                                                                             |                |
| DC Injection Current (mA)                | <0.5%                                                                                           |                |
| Grid Frequency Range                     | 47~52 or 57~62 (Optional)                                                                       |                |
| Efficiency                               |                                                                                                 |                |
| Max. Efficiency                          | 98.5%                                                                                           |                |
| Euro Efficiency                          | 97.5%                                                                                           |                |
| MPPT Efficiency                          | >99%                                                                                            |                |
| Protection                               |                                                                                                 |                |
| DC Reverse-Polarity Protection           | Yes                                                                                             |                |
| AC Short Circuit Protection              | Yes                                                                                             |                |
| AC Output Overcurrent Protection         | Yes                                                                                             |                |
| Output Overvoltage Protection            | Yes                                                                                             |                |
| Insulation Resistance Protection         | Yes                                                                                             |                |
| Ground Fault Monitoring                  | Yes                                                                                             |                |
| Anti-islanding Protection                | Yes                                                                                             |                |
| Temperature Protection                   | Yes                                                                                             |                |
| Integrated DC Switch                     | Yes                                                                                             |                |
| Remote software upload                   | Yes                                                                                             |                |
| Remote change of operating parameters    | Yes                                                                                             |                |
| Surge protection                         | DC Type II / AC Type II                                                                         |                |
| General Data                             |                                                                                                 |                |
| Size (mm)                                | 333W×472H×202D                                                                                  |                |
| Weight (kg)                              | 15                                                                                              |                |
| Topology                                 | Transformerless                                                                                 |                |
| Internal Consumption                     | <1W (Night)                                                                                     |                |
| Running Temperature                      | -25~65°C, >45°C derating                                                                        |                |
| Ingress Protection                       | IP65                                                                                            |                |
| Noise Emission (Typical)                 | <40 dB                                                                                          |                |
| Cooling Concept                          | Smart cooling                                                                                   |                |
| Max. Operating Altitude Without Derating | 2000m                                                                                           |                |
| Warranty                                 | 5 years                                                                                         |                |
| Grid Connection Standard                 | CEI 0-21, VDE-AR-N 4105, NRS 097, IEC 62116, IEC 61727, G99, G98, VDE 0126-1-1, RD 1699, C10-11 |                |
| Operating Surroundings Humidity          | 0-100%                                                                                          |                |
| Safety EMC / Standard                    | IEC/EN 61000-6-1/2/3/4, IEC/EN 62109-1, IEC/EN 62109-2                                          |                |
| Features                                 |                                                                                                 |                |
| DC Connection                            | MC-4 mateable                                                                                   |                |
| AC Connection                            | IP65 rated plug                                                                                 |                |
| Display                                  | LCD1602                                                                                         |                |
| Interface                                | RS485/RS232/Wifi/LAN                                                                            |                |

**FUJI** SOLAR

Fuji Solar Technology Japan

Slika 64. Tehnički list odabranog frekvencijskog pretvarača [15]

## 5.5. Prednosti i mane fotonaponskog sustava

Fotonaponski sustavi pružaju niz prednosti, uključujući činjenicu da je Sunčeva energija besplatna i praktički neiscrpna. Tehnologija pretvorbe ove energije je čista budući da ne generira emisije štetnih plinova. Ovi sustavi omogućuju napajanje potrošača na udaljenim lokacijama gdje nije dostupna izgrađena elektroenergetska infrastruktura, što je posebno korisno u otočnim i hibridnim sustavima. Fotonaponski sustavi ističu se i visokom pouzdanošću i niskim operativnim troškovima, a fotonaponski moduli osiguravaju dugotrajan vijek trajanja od više od 25 godina.

Međutim, postoje i određeni nedostaci fotonaponskih sustava. Naime, proizvodnja električne energije ovisi o stupnju osunčanosti, što znači da je proizvodnja značajno manja tijekom oblačnih dana, a noću proizvodnje uopće nema. Također, za veće elektrane potrebne su značajne površine. Unatoč tehničkom napretku, tehnologija pretvorbe Sunčeve energije u električnu energiju i dalje ima visoke troškove, uz relativno nisku efikasnost. Zbog toga su ulaganja u solarne elektrane često teško isplativa bez dodatnih poticaja ili financijskih potpora.

---

## 6. Projektiranje i izvedba sustava obnovljivih izvora energije

---

### NAKON OVOG POGLAVLJA MOĆI ĆETE:

1. Opisati osnovne principe obnovljivih izvora energije, uključujući solarne, vjetroelektrane, hidroelektrane i druge oblike, te objasniti njihov potencijal u proizvodnji električne energije.
2. Prepoznavati i razumjeti specifičnosti svake vrste obnovljivih izvora energije te njihove prednosti i ograničenja.
3. Planirati i dimenzionirati obnovljive energetske sustave uzimajući u obzir energetske potrebe, specifičnosti lokacije, dostupne resurse i ekonomske faktore.

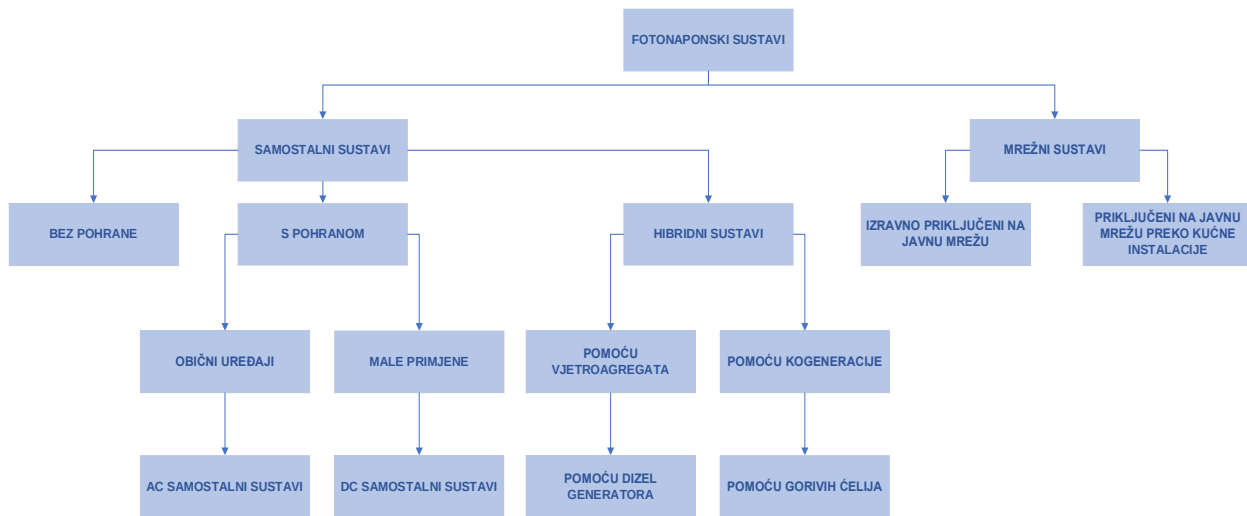
Fotonaponski sustavi integrirani su skup FN modula i ostalih potrebnih komponenata. Namijenjeni su prikupljanju Sunčeve energije i izravnom pretvaranju u električnu energiju koja pokreće određeni broj istosmjernih (DC) i/ili izmjeničnih (AC) potrošača, samostalno ili u kombinaciji s rezervnim izvorom energije. U najosnovnijem sustavu FN sustav opskrbljuje samo istosmjerne potrošače, a dodatak pretvarača omogućuje da sustav proizvodi električnu energiju za sve izmjenične potrošače. Ovisno o načinu rada, razlikujemo sljedeće vrste FN sustava:

1. Samostalne (autonomne, *off-grid systems*), za čiji rad nije potrebna elektroenergetska mreža. Ovi su sustavi neovisni i često se koriste na udaljenim lokacijama gdje nije dostupna konvencionalna mrežna infrastruktura [28].

2. Mrežne (*on-grid systems*), koji su povezani s elektroenergetskom mrežom, pri čemu razlikujemo:

- pasivne, u kojih mreža djeluje samo kao rezervni izvor energije
- aktivne (interaktivne), u kojih mreža može nadoknaditi manjkove, ali i prihvatiti viškove električne energije proizvedene od strane FN modula

3. hibridne (*hybrid systems*), koji su u biti samostalni, ali su povezani s drugim obnovljivim izvorima energije. Ova kombinacija omogućuje dodatnu fleksibilnost i stabilnost u opskrbi energijom.



Slika 65. Podjela FN sustava [autorski rad]

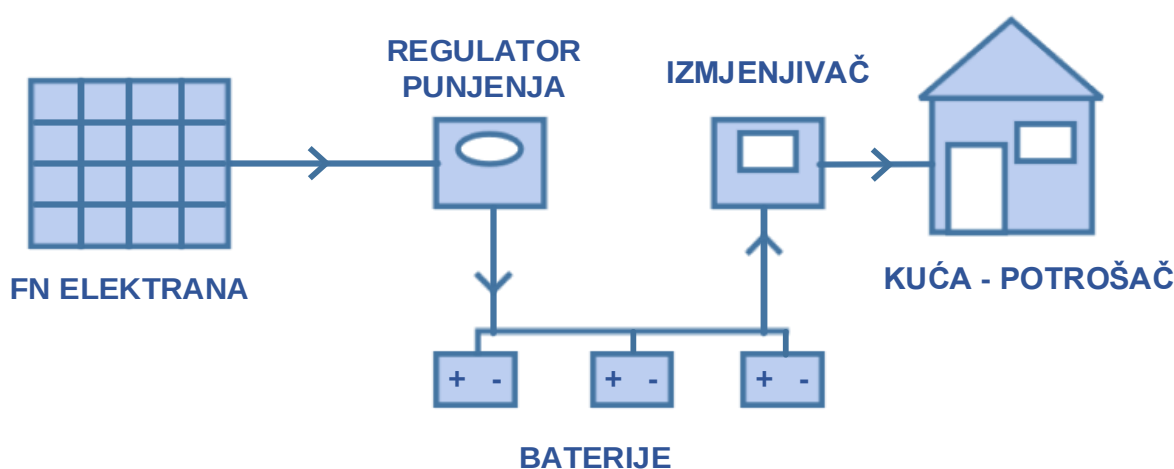
## 6.1. Samostalni (autonomni) sustav

Samostalni (autonomni) sustavi ne zahtijevaju povezivanje s elektroenergetskom mrežom. U situacijama u kojima je potrebna opskrba električnom energijom tijekom noći ili u uvjetima s niskim intenzitetom Sunčeva zračenja ovi sustavi koriste akumulator (bateriju) kao spremnik električne energije. Osim akumulatora, u ovom sustavu koristi se regulator za kontrolirano punjenje i pražnjenje baterije. Uz to, dodavanjem izmjenjivača (npr. 12 V/230 V), samostalni sustavi mogu zadovoljiti potrebe različitih vrsta tipičnih mrežnih potrošača, kao što su perilice, hladnjaci, crpke, motori, televizori, računala, usisavači, mali kućanski aparati i drugi uređaji koji zahtijevaju izmjeničnu struju [28].

Ovi sustavi prikladni su za osiguravanje potrebne električne energije za udaljene (izolirane) potrošače, uključujući ruralna ili primorska vikend-naselja te razne pojedinačne objekte s različitim namjenama, kao što su signalizacije, svjetionici, sustavi nadzora, telekomunikacijski releji itd. Na Slici 66 vizualno je prikazan primjer takvog sustava.

Temeljne komponente samostalnog fotonaponskog sustava su:

1. fotonaponski moduli: obično su spojeni paralelno ili serijski-paralelno kako bi se prikupila maksimalna količina energije
2. regulator punjenja: kontrolira punjenje i pražnjenje akumulatora kako bi održao stabilnost sustava
3. akumulator: služi kao spremnik električne energije za korištenje kada Sunčeva energija nije dostupna
4. trošila: potrošači koji koriste električnu energiju iz sustava
5. izmjenjivač: potreban ako trošila zahtijevaju izmjeničnu struju.



Slika 66. Samostalni fotonaponski sustav [autorski rad]

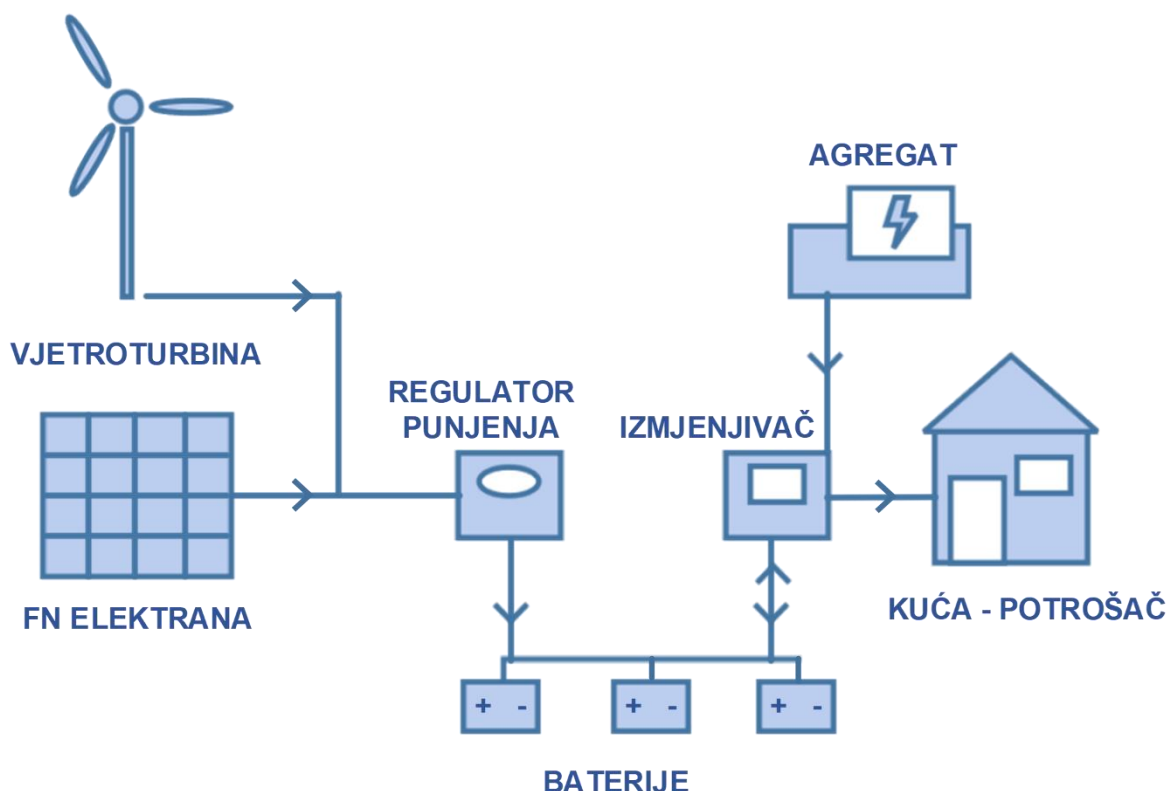
## 6.2. Hibridni fotonaponski sustavi

Hibridni fotonaponski sustavi nastaju integriranjem samostalnih sustava, posebice onih većih, s drugim alternativnim (pričuvnim) izvorima električne energije, kao što su vjetroturbine, hidrogeneratori te pomoćni plinski ili dizelski agregati. U suvremenom dobu vjetroturbine i fotonaponski sustavi mogu se povezati zajedničkim izmjenjivačem. Ova integracija pruža veću sigurnost i pouzdanost opskrbe električnom energijom, a istovremeno omogućava upotrebu manjih kapaciteta akumulatora kao spremnika električne energije.

U situacijama koje uključuju plinske i dizelske agregate, dimenzioniranje sustava prilagođeno je tako da se ovi agregati koriste samo u ograničenom broju radnih sati

godišnje. Ovakav pristup rezultira uštedom goriva, smanjenjem troškova održavanja te produljenjem vijeka trajanja agregata. Primjer hibridnog fotonaponskog sustava vizualno je prikazan na Slici 67.

Ovakva kombinacija različitih izvora energije pridonosi ekonomičnosti i održivosti sustava, čineći ih učinkovitima i prilagodljivima različitim uvjetima okoline i energetske potrebe [28].

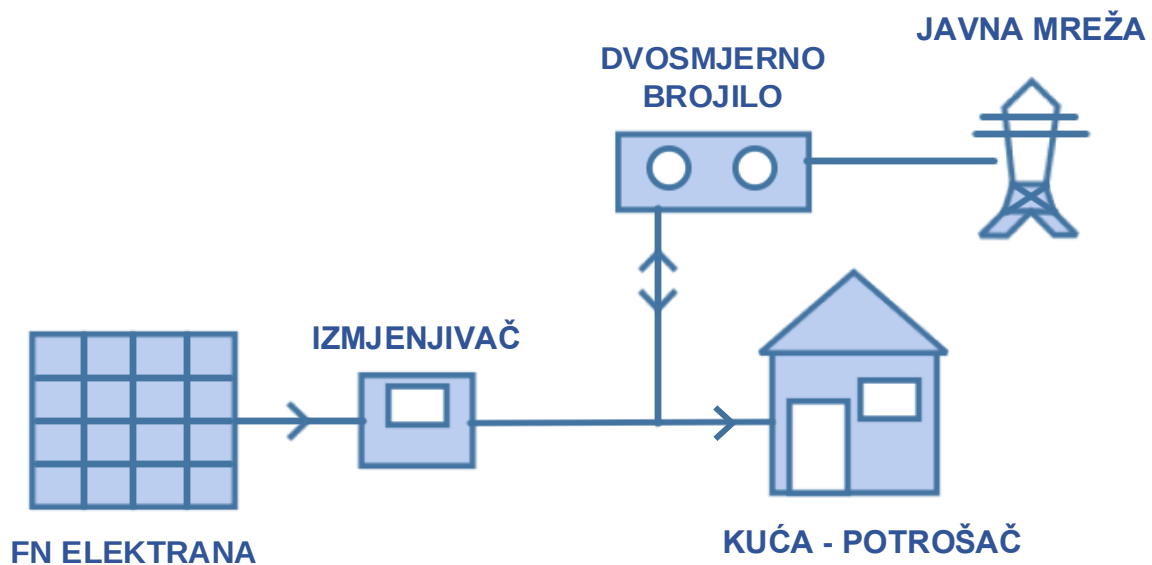


Slika 67. Hibridni fotonaponski sustav [autorski rad]

### 6.3. Mrežni fotonaponski sustavi

Mrežni fotonaponski sustavi proizvedenu električnu energiju koriste prvenstveno za vlastitu potrošnju i povezani su s javnom elektroenergetskom mrežom putem kabela za napajanje, koji dolazi do glavnog razvodnog ormara kuće. U ovom tipu sustava nisu potrebne i ne koriste se baterije (akumulatori) jer javna elektroenergetska mreža djeluje kao sekundarni izvor napajanja. Ova je konfiguracija najučestalija u fotonaponskim sustavima prilagođenima kućanstvima i komercijalnim instalacijama u razvijenim i urbanim područjima.

Višak električne energije koju proizvede fotonaponski sustav može se prenijeti na distribucijsku mrežu jer je sustav u paralelnom radu s navedenom mrežom. Kada proizvedena energija iz fotonaponskog sustava nije dovoljna za zadovoljenje potreba potrošača, električna energija preuzima se iz distribucijske mreže. Ovi fotonaponski sustavi integrirani su tako da se nakon izmjenjivača ili glavnog razvodnog ormara direktno povezuju s kućnom instalacijom. Ugrađivanjem dvosmjernog brojila umjesto postojećeg brojila u objektu bilježe se količine električne energije koje su predane u mrežu i preuzete iz nje. Na Slici 68 vizualno je prikazan primjer takvog sustava [28].



Slika 68. Mrežni fotonaponski sustav [autorski rad]

Osnovni dijelovi fotonaponskog sustava koji je povezan s javnom elektroenergetskom mrežom putem kućne instalacije su:

1. fotonaponski moduli: pretvaraju Sunčevu energiju u električnu energiju
2. spojna kutija sa zaštitnom opremom: kutija koja sadrži potrebnu zaštitnu opremu za FN module i osigurava siguran spoj između modula
3. kabeli istosmjernog razvoda: kabeli koji prenose istosmjernu električnu energiju iz fotonaponskih modula prema ostalim dijelovima sustava
4. glavna sklopka za odvajanje: sklopka koja omogućuje odvajanje sustava od elektroenergetske mreže u slučaju potrebe za održavanjem ili popravkom.

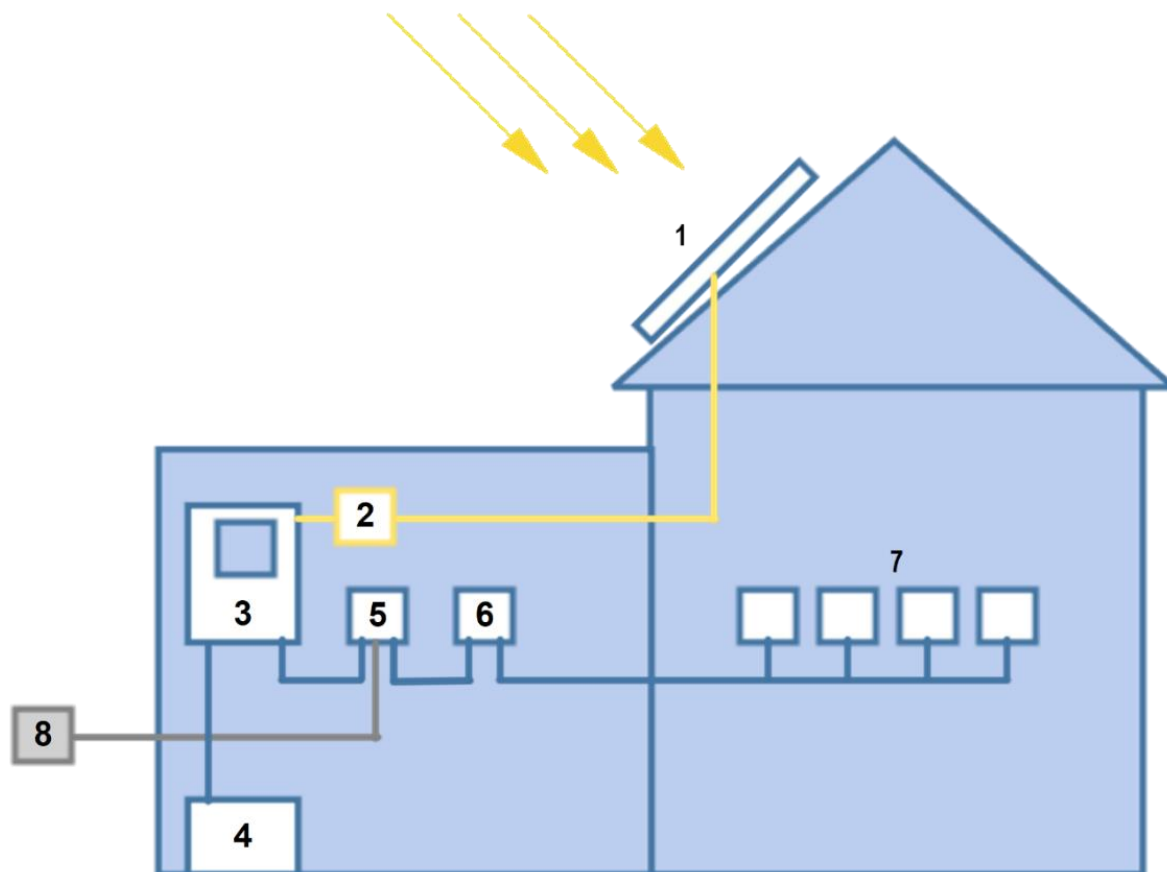
5. DC/AC izmjenjivač: pretvara istosmjernu energiju koja se proizvodi FN modulima u izmjeničnu energiju koja se koristi u kućanstvu i može se predati elektroenergetskoj mreži

6. kabeli izmjeničnog razvoda: kabeli koji prenose izmjeničnu električnu energiju iz izmjenjivača prema potrošačima u kući ili nazad prema elektroenergetskoj mreži

7. brojilo predane i preuzete električne energije: dvosmjerno brojilo koje bilježi količinu električne energije koja se predaje u elektroenergetsku mrežu i količinu električne energije koja se preuzima iz mreže.

#### **6.4. Dijelovi fotonaponske elektrane**

Sastavni dijelovi fotonaponskog sustava ovise o karakteristikama građevine, njezinoj geografskoj poziciji te mogućnostima priključka na distribucijsku mrežu. Kada građevinu nije moguće spojiti na distribucijsku mrežu ili je priključak financijski neisplativ, razmatra se opcija samostalnog (*off-grid*) sustava. Suprotno tome, kada postoji mogućnost povezivanja građevine na distribucijsku mrežu, primjenjuje se mrežni fotonaponski sustav [28]. Shema ovog sustava, zajedno s njegovim ključnim dijelovima, vizualno je prikazana na Slici 69.



Slika 69. Osnovni dijelovi solarne elektrane [autorski rad]

Dijelovi fotonaponske elektrane:

1. fotonaponski paneli/niz
2. istosmjerni zaštitni prekidač
3. izmjenjivač
4. baterija
5. dvosmjerno brojilo
6. razvodni ormar
7. izmjenično trošilo
8. distribucijska mreža.

### 6.4.1. Regulator punjenja

Regulator punjenja solarne baterije (akumulatora) ključni je uređaj u otočnom sustavu, čija je osnovna zadaća pratiti stanje solarne baterije te upravljati njezinim procesima punjenja i pražnjenja. Osim toga, regulator pruža zaštitu od mogućih kratkih spojeva, čime osigurava sigurnost sustava. Sastavljen od komponenata energetske elektronike, ovaj uređaj omogućuje solarnim ćelijama da nadziru procese pražnjenja baterije i njezina punjenja. Regulator punjenja opremljen je različitim zaštitnim funkcijama, koje uključuju kontrolu pražnjenja baterije i samog procesa punjenja. Omogućava korisnicima ručni nadzor, dopuštajući im da aktiviraju ili deaktiviraju regulator prema potrebi. Ovaj uređaj često se koristi u malim elektranama koje u svom sustavu integriraju solarnu bateriju [29].



Slika 70. Regulator punjenja [16]

### 6.4.2. Baterija (akumulator)

Fotonaponska elektrana generira najveću količinu električne energije tijekom sredine dana kada je Sunce u najvišem položaju na nebu, stvarajući optimalan kut azimuta. U ovom vremenskom razdoblju često se javlja višak proizvedene energije u odnosu na trenutnu potrošnju, što stvara povoljne uvjete za mogućnost skladištenja viška

energije. Korištenje solarne baterije u ovom kontekstu pruža niz prednosti, uključujući energetska neovisnost i mogućnost hitnog korištenja pohranjene energije [29].



Slika 71. Spremnik energije fotonaponske elektrane [17]

### 6.4.3. Izmjenjivač

Fotonaponsko polje proizvodi istosmjerni napon, no da bi se ta energija mogla iskoristiti, potrebno ju je pretvoriti u izmjenični napon. Ključnu ulogu u ovom procesu igra izmjenjivač (engl. *inverter*). Izmjenjivač ima ugrađenu zaštitu od otočnog režima rada, čime se sprječava neželjena situacija izvan mreže. Uz to, izmjenjivač vrši mjerenje ulaznog i izlaznog napona, struje, frekvencije te impedancije mreže. Ako bilo koji od ovih parametara odstupa izvan predviđenih granica, izmjenjivač ima mogućnost automatskog isključivanja kako bi sačuvao integritet sustava. Izmjenjivač također može biti elektronski limitiran prema potrebama potrošača, prilagođavajući se promjenama u potrošnji ili specifičnim zahtjevima sustava.



Slika 72. Prikaz izmjenjivača [18]

---

## 7. Postupak priključenja obnovljivih izvora energije na elektroenergetsku mrežu

---

### NAKON OVOG POGLAVLJA MOĆI ĆETE:

1. Razumjeti kako su tehnički parametri poput energetske učinkovitosti i izvora napajanja ključni za održivost i dugovječnost inteligentnih instalacija.
2. Razumjeti tehničkih zahtjeva elektroenergetske mreže, uključujući napon, frekvenciju, vrste zaštita i druge aspekte koji utječu na stabilnost i sigurnost mreže.
3. Planirati integraciju OIE na elektroenergetsku mrežu, uključujući postavljanje regulatora, upravljanje naponom, sinkronizaciju i druge ključne aspekte.

Uvođenjem fotonaponske elektrane za vlastitu potrošnju, koja djeluje paralelno s distribucijskom mrežom (mrežni rad), kućanstvo iz kategorije klasičnog potrošača prelazi u kategoriju kupca s vlastitom proizvodnjom. Kategorija „kupac s vlastitom proizvodnjom“ obuhvaća svakog trenutačnog ili budućeg korisnika mreže koji unutar vlastite instalacije ima povezanu elektranu koju koristi za vlastite potrebe. Energiju proizvedenu iz fotonaponske elektrane koristi neposredno u svom domaćinstvu, a eventualni višak električne energije predaje elektroenergetskoj mreži prema uvjetima dogovorenim s tvrtkom za opskrbu električnom energijom. Kupac s vlastitom proizvodnjom je korisnik mreže koji na istom obračunskom mjernom mjestu ima odobrenu priključnu snagu u smjeru potrošnje i priključnu snagu u smjeru proizvodnje. Preuzimanje električne energije od kupaca s vlastitom proizvodnjom uređuje se ugovorom o opskrbi krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom. Sukladno Zakonu o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji, opskrbljivači električne energije dužni su prihvaćati viškove električne energije od krajnjih kupaca s vlastitom proizvodnjom ili korisnika postrojenja za samoopskrbu koji ispunjavaju sljedeće uvjete:

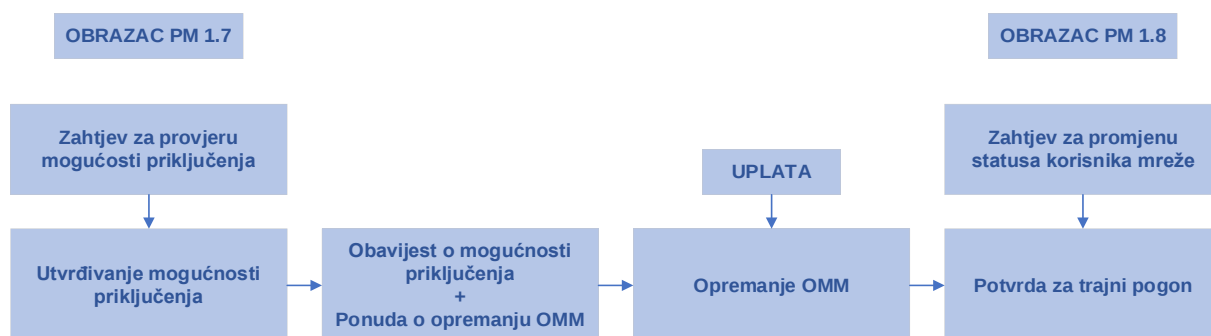
1. imaju status povlaštenog proizvođača električne energije prema članku 37. Zakona o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji
2. stekli su pravo na trajno povezivanje na elektroenergetsku mrežu, za proizvodna postrojenja koja se klasificiraju kao jednostavne građevine
3. ukupna priključna snaga svih proizvodnih postrojenja na jednom obračunskom mjernom mjestu ili više mjernih mjesta u višestambenoj zgradi ili zajednici obnovljivih izvora energije ne premašuje 500 kW
4. krajnji kupac s priključnom snagom manjom od 20 kW može instalirati proizvodno postrojenje kao kupac s vlastitom proizvodnjom ili korisnik postrojenja za samoopskrbu, s najvećom snagom do 20 kW
5. krajnji kupac s priključnom snagom većom od 20 kW može instalirati proizvodno postrojenje kao kupac s vlastitom proizvodnjom ili korisnik postrojenja za samoopskrbu, s najvećom snagom jednakom snazi svog priključka
6. krajnji kupac s vlastitom proizvodnjom ili korisnik postrojenja za samoopskrbu isporučuje električnu energiju putem istog obračunskog mjernog mjesta preko kojeg kupuje električnu energiju od opskrbljivača ili preko obračunskog mjernog mjesta smještenog na priključku višestambene zgrade
7. krajnji kupac s vlastitom proizvodnjom ili korisnik postrojenja za samoopskrbu vodi evidenciju o proizvedenoj električnoj energiji i isporučenoj električnoj energiji.

## **7.1. Priključenje kućanstva s vlastitom proizvodnjom**

Postojeći krajnji kupac iz kategorije „kućanstvo“ traži priključenje proizvodnog postrojenja na svoju postojeću instalaciju, a postupak se provodi prema sljedećim osnovnim koracima:

1. podnošenje zahtjeva za provjeru mogućnosti priključenja proizvodnog postrojenja
2. izdavanje obavijesti o mogućnosti priključenja, ponude za opremanje obračunskog mjernog mjesta i prijedloga novog ugovora o korištenju mreže

3. uplate troškova za opremanje obračunskog mjernog mjesta
4. izvođenje radova na opremanju obračunskog mjernog mjesta
5. sklapanje ugovora o korištenju mreže i podnošenje zahtjeva za promjenu statusa korisnika mreže
6. izdavanje potvrde za trajni pogon.



Slika 73. Koraci do priključenja kućanstva s vlastitom proizvodnjom [autorski rad]

Zakonom o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji definirani su sljedeći pojmovi [24]:

- krajnji kupac električne energije na čiju je instalaciju priključeno proizvodno postrojenje za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije ili visokoučinkovite kogeneracije kojom se podmiruju potrebe krajnjeg kupca i s mogućnošću isporuke viška proizvedene električne energije u prijenosnu ili distribucijsku mrežu
- povlašteni proizvođač električne energije – elektroenergetski subjekt, odnosno druga pravna ili fizička osoba čije postrojenje ispunjava uvjete određene odredbama ovoga Zakona te je stekao status povlaštenog proizvođača
- proizvodno postrojenje koje koristi obnovljive izvore energije – proizvodno postrojenje koje koristi obnovljive izvore energije za proizvodnju električne i/ili toplinske energije.
- neto isporučena električna energija – količina električne energije koju su proizvodno postrojenje ili proizvodna jedinica predali u elektroenergetsku mrežu, a koja je proizvedena u proizvodnom postrojenju ili proizvodnoj

jedinici koja koristi obnovljive izvore energije ili kogeneracijskom postrojenju i umanjena za vlastitu potrošnju proizvodnog postrojenja, a u slučaju kupaca s vlastitom proizvodnjom umanjena za svu potrošnju krajnjeg kupca.

Za preuzetu električnu energiju od strane opskrbljivača električne energije utvrđuje se vrijednost električne energije preuzete od krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom  $C_i$  u obračunskom razdoblju na sljedeći način:

1.  $C_i = 0,9 \cdot PKC_i$  ako za obračunsko razdoblje  $i$  vrijedi:

$$E_{pi} \geq E_{ii}$$

2.  $C_i = 0,9 \cdot PKC_i \cdot E_{pi} / E_{ii}$  ako za obračunsko razdoblje  $i$  vrijedi  $E_{pi} < E_{ii}$ , gdje je:

- $E_{pi}$  = ukupna električna energija preuzeta iz mreže od strane kupca unutar obračunskog razdoblja, izražena u kWh
- $E_{ii}$  = ukupna električna energija isporučena u mrežu od strane proizvodnog postrojenja u vlasništvu kupca, unutar obračunskog razdoblja, izražena u kWh
- $PKC_i$  = prosječna jedinična cijena električne energije koju kupac plaća opskrbljivaču za prodanu električnu energiju, isključujući dio cijene koji se regulira za potrebe prijenosa i distribucije električne energije te sve naknade i davanja propisana posebnim propisima, unutar obračunskog razdoblja, izražena u EUR/kWh.

Opskrbljivač električne energije u svakom obračunskom razdoblju umanjuje račun krajnjem kupcu s vlastitom proizvodnjom za isporučenu električnu energiju za iznos izračunat prema gore navedenim formulama.

Prilikom obračuna potrošnje električne energije koji uključuju dio cijene koji se regulira za potrebe prijenosa i distribucije električne energije, sve naknade te porezna i ostala davanja propisana posebnim propisom, korisniku postrojenja za samoopskrbu, uzima se u obzir količina električne energije koja predstavlja razliku između preuzete i isporučene električne energije u pojedinoj tarifi.

Ako je na kraju obračunskog razdoblja količina radne energije isporučena u mrežu u pojedinoj tarifi veća od preuzete, taj višak proizvedene električne energije opskrbljivač preuzima po cijeni:

$$CiVT = 0,8 * CpVT$$

$$CiNT = 0,8 * CpNT$$

gdje je:

- CpVT = cijena ukupne električne energije preuzete iz mreže od strane krajnjeg kupca unutar obračunskog razdoblja, za vrijeme trajanja više dnevne tarife, izražena u EUR/kWh
- CpNT = cijena ukupne električne energije preuzete iz mreže od strane krajnjeg kupca unutar obračunskog razdoblja, za vrijeme trajanja niže dnevne tarife, izražena u EUR/kWh
- CiVT = cijena ukupne električne energije isporučene u mrežu od strane proizvodnog postrojenja u vlasništvu krajnjeg kupca unutar obračunskog razdoblja, za vrijeme trajanja više dnevne tarife, izražena u EUR/kWh
- CiNT = cijena ukupne električne energije isporučene u mrežu od strane proizvodnog postrojenja u vlasništvu krajnjeg kupca unutar obračunskog razdoblja, za vrijeme trajanja niže dnevne tarife, izražena u EUR/kWh.

Opskrbljivač električne energije u svakom obračunskom razdoblju izdaje račun krajnjem kupcu kategorije kućanstva za razliku između preuzete i isporučene električne energije (kWh) u pojedinoj tarifi i razliku između isporučene i preuzete električne energije (kWh) u pojedinoj tarifi od strane krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom. Iste količine osnova su za obračun dijela cijene koji se regulira za potrebe prijenosa i distribucije električne energije, sve naknade te porezna i ostala davanja propisana posebnim propisom.

Obračunsko razdoblje je jedan kalendarski mjesec.

Ovim se Zakonom o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji [24] u pravni poredak Republike Hrvatske prenose sljedeće direktive Europske unije:

1. Direktiva 2009/28/EZ Europskog parlamenta i Vijeća od 23. travnja 2009. o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora te o izmjeni i kasnijem stavljanju izvan snage direktiva 2001/77/EZ i 2003/30/EZ, koja je posljednji put izmijenjena Direktivom Vijeća 2013/18/EU od 13. svibnja 2013. o prilagodbi Direktive 2009/28/EZ

Europskog parlamenta i Vijeća od 23. travnja 2009. o promicanju uporabe energije iz obnovljivih izvora zbog pristupanja Republike Hrvatske (tekst značajan za EGP), i

2. Direktiva 2012/27/EU Europskog parlamenta i Vijeća od 25. listopada 2012. o energetske učinkovitosti, izmjeni direktiva 2009/125/EZ i 2010/30/EU i stavljanju izvan snage direktiva 2004/8/EZ i 2006/32/EZ (tekst značajan za EGP). [4]

---

## 8. Zakonska regulativa o obnovljivim izvorima energije

---

### NAKON OVOG POGLAVLJA MOĆI ĆETE:

1. Procijeniti pozitivne i negativne utjecaje različitih vrsta inteligentnih instalacija na društvo i okoliš, uzimajući u obzir aspekte poput sigurnosti, privatnosti, održivosti i ekonomske koristi.
2. Dokumentirati ključne aspekte projektiranog sustava, uključujući tehničke specifikacije, dijagrame, upute za održavanje i druge relevantne dokumente.
3. Primijeniti relevantne standarde i regulative u području obnovljivih izvora energije kako bi osigurali usklađenost s propisima i normama.
4. Primijeniti zakonske propise i norme vezane uz implementaciju obnovljivih izvora energije i energetske učinkovitosti.

Kada se instaliraju na krovne površine legaliziranih objekata, sve fotonaponske elektrane (FNE), bile one namijenjene kućanstvima ili industriji, podliježu propisima iz članka 5. stavka 11. Pravilnika o jednostavnim i drugim građevinama i radovima (NN112/17., 34/18., 36/19., 98/19, 31/20).

Svaki projekt fotonaponske elektrane mora biti usklađen s prostornim planom uređenja grada ili općine u kojoj se fotonaponska elektrana planira instalirati.

Uz to, projekt fotonaponske elektrane mora poštivati odredbe posebnih zakona i drugih relevantnih propisa kako bi bio usklađen sa zakonskim zahtjevima i standardima, a oni su sljedeći:

1. Zakon o gradnji (NN 153/13, 20/17, 39/19, 125/19)
2. Zakon o prostornom uređenju (NN 153/13, 65/17, 114/18, 39/19, 98/19)
3. Tehnički propis za niskonaponske električne instalacije (NN 5/10)
4. Pravilnik o obveznom sadržaju i opremanju projekata građevina (NN 64/14, 41/15, 105/15, 61/16, 20/17, 118/19)

5. Zakon o poslovima i djelatnostima prostornog uređenja i gradnje (NN 78/15, 118/18, 110/19)
6. Pravilnik o gospodarenju otpadnim električnim i elektroničkim uređajima i opremom (NN 74/07, 133/08, 31/09, 156/09, 143/12, 86/13, 42/14)
7. Zakon o zaštiti na radu (NN 71/14, 118/14, 154/14, 94/18, 96/18)
8. Zakon o zaštiti od požara (NN 92/10)
9. Zakon o komori arhitekata i komorama inženjera u graditeljstvu i prostornom uređenju (NN 75/2015, 114/18, 110/19)
10. Tehnički propis za niskonaponske električne instalacije (NN 5/2010) i temeljem tog propisa norme niza HRN HD 60364 i HRN HD 384
11. Tehnički propis za sustave zaštite od djelovanja munje na građevinama (NN 33/2010) i temeljem tog propisa norme: HRN EN 62305-1 do 5:2008
12. Pravilnik o temeljnim zahtjevima za zaštitu od požara elektroenergetskih postrojenja i uređaja (NN 146/2005)
13. Zakon o tehničkim zahtjevima za proizvode i ocjenjivanju sukladnosti (NN 80/13, 14/2014, 32/2019)
14. Pravilnik o jednostavnim i drugim građevinama i radovima (NN 112/1734/18, 36/19, 98/19, 31/20)
15. Zakon o energiji (NN 120/12, 14/14, 95/15, 102/15, 68/18)
16. Opći uvjeti za korištenje mreže i opskrbu električnom energijom (NN 85/2015)
17. Mrežna pravila distribucijskog sustava (NN 74/2018)
18. Zakon o tržištu električne energije (NN 22/13, 95/15, 102/15, 68/18, 52/19)
19. Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji (NN 100/15, 123/16, 131/17, 111/2018, 138/21, 83/23)
20. Pravila o priključenju na distribucijsku mrežu (HEP ODS)

21. Pravilnik o provjeri tehničkih rješenja iz zaštite od požara predviđenih u glavnom projektu (NN 88/11)
22. Pravilnik o sigurnosti i zdravlju pri radu s električnom energijom (NN 088/12)
23. Pravilnik o temeljnim zahtjevima za zaštitu od požara elektroenergetskih postrojenja i uređaja (NN 146/05)
24. Pravilnik o tehničkim mjerama za pogon i održavanje elektroenergetskih postrojenja (NN 105/2010)
25. Pravilnik o elektromagnetskoj kompatibilnosti (NN 23/11, 28/2016)
26. Pravilnik o sigurnosti i zdravlju pri radu s električnom energijom (NN 116/10, 88/12)
27. Opći uvjeti za opskrbu električnom energijom (NN 14/06, 85/15)
28. Uredba o korištenju obnovljivih izvora energije i visokoučinkovitih kogeneracija (NN 28/2023).

Ključni pojmovi i kategorizacija korisnika prema Zakonu o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji [24]:

- energija iz obnovljivih izvora je energija iz obnovljivih nefosilnih izvora, primjerice energija vjetra, solarna energija (toplinska i fotonaponska) te geotermalna energija, energija iz okoliša, energija plime, oseke i druga energija mora, hidroenergija, biomasa, plin dobiven od otpada, plin dobiven iz uređaja za obradu otpadnih voda i bioplin
- energetska odobrenje je odobrenje izdano nositelju projekta, određeno propisom kojim se regulira tržište električne energije, a na temelju kojeg se planira graditi i/ili se gradi proizvodno postrojenje i/ili proizvodna jedinica i/ili vrši obnova kapaciteta, te koje Ministarstvo dodjeljuje na temelju odluke o odabiru najpovoljnije ponude, a temeljem kojega se osniva pravo služnosti i/ili pravo građenja na nekretninama u vlasništvu Republike Hrvatske, osim ako odredbama ovoga Zakona i propisa kojim se regulira tržište električne energije nije drukčije određeno

- isporučena električna energija je količina električne energije koju je proizvodno postrojenje ili proizvodna jedinica predala u elektroenergetsku mrežu u obračunskom mjernom intervalu, evidentirana na pojedinom obračunskom mjernom mjestu
- jednostavna građevina je jednostavna i druga građevina sukladno propisima o gradnji
- korisnik postrojenja za samoopskrbu je onaj krajnji kupac električne energije kategorije kućanstvo uključujući ustanove, koji unutar svojih instalacija ima priključeno postrojenje za samoopskrbu električnom energijom iz obnovljivih izvora energije ili visokoučinkovite kogeneracije, čije viškove energije unutar obračunskog razdoblja može preuzeti opskrbljivač ili tržišni sudionik s kojim postoji sklopljen odgovarajući ugovor, pod uvjetom da je unutar kalendarske godine količina električne energije koju je predao u mrežu manja ili jednaka preuzetoj električnoj energiji
- krajnji kupac s vlastitom proizvodnjom je krajnji kupac električne energije na čiju je instalaciju priključeno proizvodno postrojenje za proizvodnju električne energije iz obnovljivih izvora energije ili visokoučinkovite kogeneracije kojom se podmiruju potrebe krajnjeg kupca i s mogućnošću isporuke viška proizvedene električne energije u prijenosnu ili distribucijsku mrežu
- mala postrojenja su proizvodna postrojenja ili proizvodne jedinice koje koriste obnovljive izvore energije i visokoučinkovite kogeneracije, kako su definirane važećim europskim pravilima o ocjenjivanju određenih kategorija potpora spojivima s unutarnjim tržištem
- neto isporučena električna energija je razlika ukupno isporučene električne energije i ukupno preuzete električne energije proizvodnog postrojenja ili proizvodne jedinice, utvrđena u svakom obračunskom mjernom intervalu, za sva obračunska mjerna mjesta zajedno
- potrošač vlastite obnovljive energije je krajnji korisnik koji na svom obračunskom mjernom mjestu proizvodi električnu energiju iz obnovljivih izvora za vlastitu potrošnju ili skladišti ili prodaje električnu energiju iz obnovljivih izvora koju je sam proizveo, uz uvjet da potrošačima vlastite obnovljive energije koji

nisu kućanstva te aktivnosti ne čine njihovu glavnu komercijalnu ili profesionalnu djelatnost

- potrošači vlastite obnovljive energije koji djeluju zajednički skupina su koja se sastoji od barem dva potrošača vlastite obnovljive energije koji djeluju zajednički i koji su smješteni u istoj zgradi ili stambenom kompleksu, pod uvjetom da se priključuju na niskonaponski vod zajedničke srednjonaponske distribucijske trafostanice
- povlašteni proizvođač električne energije je energetska subjekt i/ili druga pravna ili fizička osoba koja električnu energiju proizvodi iz obnovljivih izvora energije ili u pojedinačnom proizvodnom postrojenju istodobno proizvodi električnu i toplinsku energiju na visokoučinkovit način, koristi otpad ili obnovljive izvore energije na gospodarski primjeren način koji je usklađen sa zaštitom okoliša, a koja je stekla status povlaštenog proizvođača električne energije u skladu s odredbama ovoga Zakona
- preuzeta električna energija je količina električne energije koju je proizvodno postrojenje ili proizvodna jedinica preuzela iz elektroenergetske mreže u obračunskom mjernom intervalu, evidentirana na pojedinom obračunskom mjernom mjestu
- samoopskrba električnom energijom je zadovoljavanje vlastitih potreba za električnom energijom iz elektroenergetskog postrojenja spojenog unutar svojih instalacija.

---

## 9. Testiranje i verifikacija sustava obnovljivih izvora energije

---

### NAKON OVOG POGLAVLJA MOĆI ĆETE:

1. Procijeniti učinkovitost implementiranog sustava te prepoznati mogućnosti za optimizaciju performansi, energetske učinkovitosti i resursne uštede.
2. Sposobnost praćenja performansi OIE sustava, održavanje opreme i sustava te prepoznavanje potreba za poboljšanjima ili nadogradnjama.
3. Razumjeti ekonomsku održivost projekata obnovljivih izvora energije, uključujući troškove instalacije, održavanja, povrata investicije i financijskih poticaja.
4. Izraditi projekt FN elektrane za kućanstvo u specijaliziranom softverskom paketu PVSOL Premium.

Kao primjer projektiranja fotonaponske elektrane korištena je obiteljska kuća i njene dostupne krovne površine pogodne za ugradnju fotonaponske elektrane. Odabrana je „južna“ strana obiteljske kuće, a za postupak projektiranja fotonaponske elektrane odabran je komercijalni programski paket PV SOL premium [30].

### 9.1. Općenito o programu PV SOL

Programski alat PV SOL omogućuje jednostavnu projekciju krovnih ploha, dizajniranje fotonaponskih elektrana, vizualni prikaz zasjenjivanja te prikaz troškova izgradnje i očekivane dobiti tijekom godišnje proizvodnje elektrane [22]. Ovaj interaktivni program podijeljen je u osam dijelova radi lakše navigacije:

1. Unos podataka te opis projekta: korisnici mogu unijeti relevantne podatke i opisati projekt.
2. Vrsta sustava i klimatski podaci: odabir vrste sustava i klimatskih podataka, pri čemu se klimatski podaci mogu odabrati interaktivnom mapom ili ručno za određeno područje.

3. 3D prikaz modela: omogućuje korisnicima vizualizaciju modela koji uključuje teren, objekt, pokrivenost modula, montažu modula, konfiguraciju modula i plan kabela.

4. Kabliranje: dio posvećen planiranju kabela u sustavu.

5. Blok prikaz i lista dijelova: prikazuje blok dijagram i listu dijelova sustava.

6. Financijsko izvješće: nudi detaljno financijsko izvješće, uključujući povrat investicije.

7. Rezultati: prikazuje rezultate simulacija, I-U karakteristike za svaki vremenski korak, dijagram toka energije i druge relevantne informacije.

8. Konačna prezentacija projekta: omogućuje korisnicima kreiranje konačne prezentacije projekta.

Ovaj softver korisnicima nudi različite mogućnosti, uključujući dizajn i vizualizaciju integriranih krovnih i samostojećih fotonaponskih elektrana snage do 3 MW. Navigacija izbornika podijeljena je na šest dijelova, olakšavajući korisnicima pregled i postavljanje ključnih elemenata projekta, koji obuhvaćaju pogled na teren, objekt, pokrivenost modula, montažu modula, konfiguraciju modula i plan kabela.

Softver omogućuje detaljne simulacije, uključujući satnu i minutnu rezoluciju, baterijske sustave, električna vozila, fotonaponske sustave izvan mreže te planiranje sustava s vlastitom potrošnjom ili viškom napajanja s opcijom baterija.

Unos fotonaponskih modula može se obaviti određivanjem njihova broja s vizualizacijom područja pomoću fotografija, automatskim postavljanjem modula u 2D okruženju ili planiranjem u 3D okruženju.

Optimalna procjena rezultata uključuje detaljnu analizu profitabilnosti s povratom ulaganja, razdobljem povrata investicije te generiranje dokumentacije projekta koja se može prilagoditi i izvesti u različitim formatima. Detaljni rezultati simulacija doprinose cjelovitoj analizi i planiranju fotonaponskih projekata [31].

## 9.2. Izrada projekta fotonaponske elektrane

Prije početka rada u programskom alatu korisnici trebaju definirati novi projekt pomoću opcije **New Project**, a zatim u odjeljku **Project Data** trebaju unijeti relevantne

informacije, uključujući broj projekta, ime projekta, projektanta itd., kako je prikazano na Slici 74. Nakon toga slijedi definiranje tipa sustava, što u ovom slučaju podrazumijeva mrežnu fotonaponsku elektranu. Potrebno je odabrati tip sustava (**Type of System**) iz padajućeg izbornika [31]. Nadalje, potrebno je odrediti klimatske podatke za elektranu na odabranoj lokaciji. To uključuje definiranje **Climate Data** za određenu državu i lokaciju. Konačno, korisnici trebaju odabrati vrstu mrežnog sustava, birajući između jednofaznog ili trofaznog sustava s odgovarajućom naponskom razinom, kao što je prikazano na Slici 75.

**Project Data**

Offer Number: 01/2023  
 Project Designer: Ime prezime

**Customer Details**

Customer Number: 0110  
 Contact person: Ime Prezime  
 Company: Firma  
 Phone: 095/\*\*\*\*\*  
 Fax:  
 E-Mail:  
 Address:

Start of Operation: 08.05.2023  
 Project Name:  
 Project Image:  
 Project Description:  
 Address of Installation:

**Project Data Summary**

Project Name: 01/2023  
 Offer Number: Ime prezime  
 Project Designer: 8.5.2023  
 Start of Operation: 8.5.2023

**System Type, Climate and Grid**

Type of System: 3D, Grid-connected PV System ...  
 Climate Data: Berlin, DEU  
 Time step of simulation: 1 h  
 AC Mains: 230 V, 3-phase, cos φ = 1  
 Maximum Feed-in P...: No

**Consumption**

Total Consumption: 0 kWh  
 Load Peak: 0,0 kW  
 Resolution of the data: 1 h

**Financial Analysis**

Investment Costs: 1.500,00 kn/kWp  
 Feed-in Tariffs: EEG 2023 (Teleinspektion) - G...  
 From-grid Tariff: Example Private (Example)

Slika 74. Izbornik Project Data [autorski rad]

**System Type, Climate and Grid**

Type of System:

- 3D, Grid-connected PV System with Electrical Appliances
- 3D, Grid-connected PV System
- 3D, Grid-connected PV System with Electrical Appliances and Battery Systems
- 3D, Grid-connected PV system with Electrical Appliances and Electric Vehicles
- 3D, Grid-connected PV system with Electrical Appliances, Electric Vehicles and Battery Systems
- 3D, Grid-connected PV system with Electrical Appliances and Thermal System
- 3D, Stand-alone PV System
- 3D, Stand-alone PV System with Backup Generator

Type of Design:

Climate Data:

Country: Croatia  
 Location: Slogora (1996-2015, Helioclim 8.1)

Latitude: 45° 52' 48" (45,88°)  
 Longitude: 17° 11' 59" (17,2°)  
 Time zone: UTC+1  
 Time Period: 1996 - 2015  
 Source: Helioclim 8.1

Annual sum of global irradiation: 1224 kWh/m²  
 Annual Average Temperature: 12,3 °C

Time step of simulation:

1 hour (faster simulation)  
 1 Minute (more precise simulation)

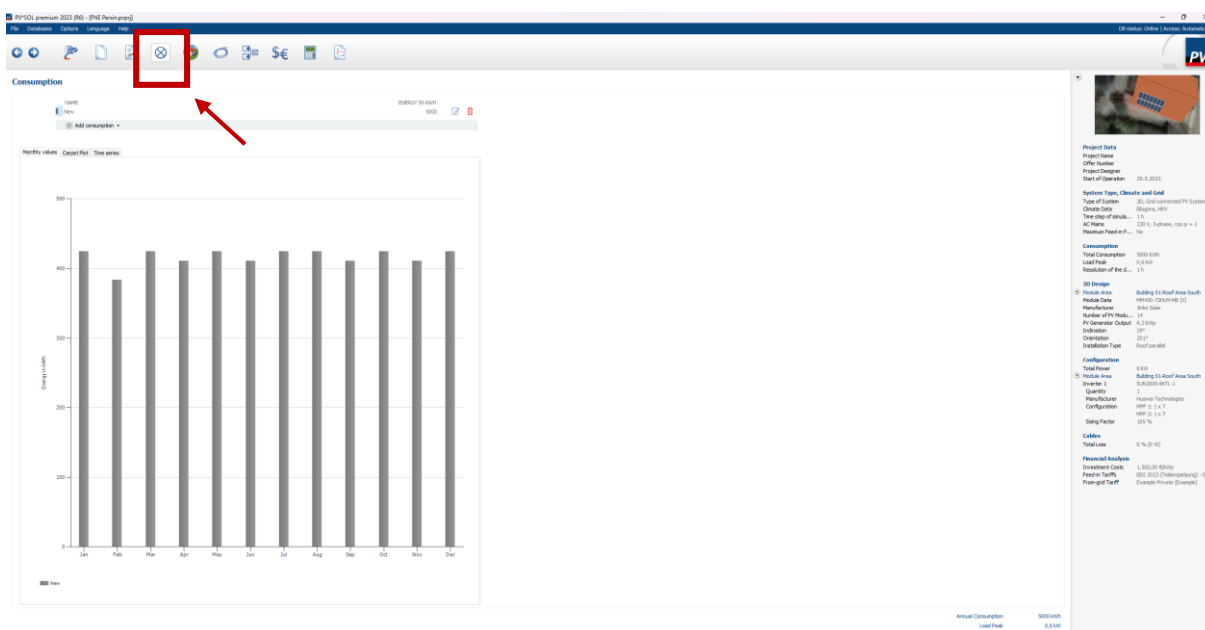
AC Mains:

Voltage (V~L): 230 V  
 Number of Phases: 3-phase  
 cos φ: 1  
 Maximum Feed-in Power Clipping: No

Slika 75. Izbornik tipa sustava i klimatskih podataka [autorski rad]

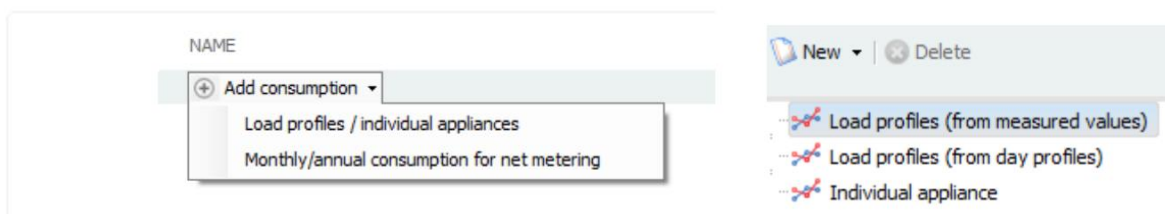
Nakon što se odabere sustav, slijedi definiranje potrošnje kućanstva **Consumption**. To se postiže klikom na ikonu označenu crveno na Slici 76, čime se otvara izbornik za

unos potrošnje. Klikom na **Add consumption** otvara se padajući meni (Slika 77), u kojem se nudi potrošnja korisnika – godišnja, mjesečna ili dnevna. Klikom na tipku **Load profiles (from measured values)** otvara se izbornik, u kojem se može odabrati odgovarajući profil potrošnje, uključujući opciju **Load profiles**, koja se temelji na izmjerenim vrijednostima. Ovaj korak korisnicima omogućuje preciznu prilagodbu unosa potrošnje u skladu sa stvarnim vrijednostima i potrebama.

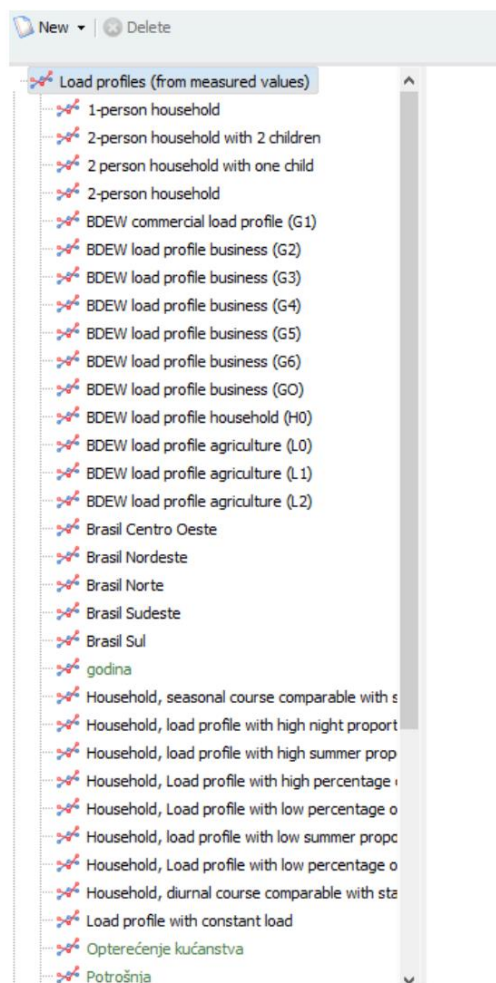


Slika 76. Izbornik za definiranje potrošnje korisnika [autorski rad]

## Consumption



Slika 77. Kategorija potrošnje korisnika [autorski rad]

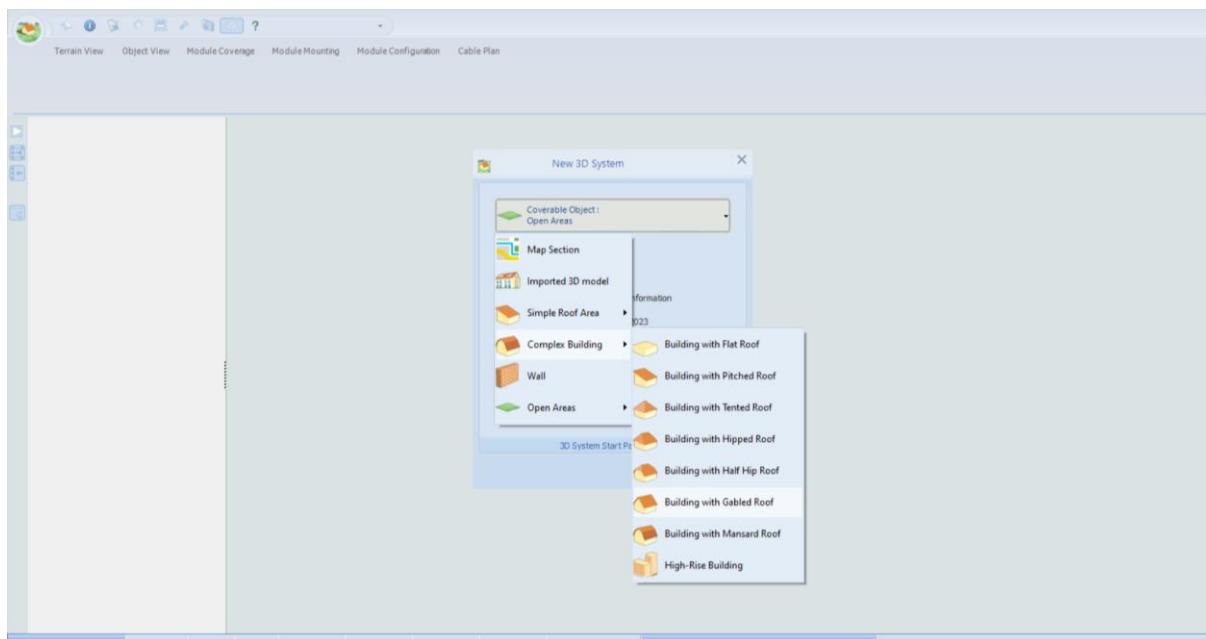


Slika 78. Izbornik različitih profila potrošnje [autorski rad]

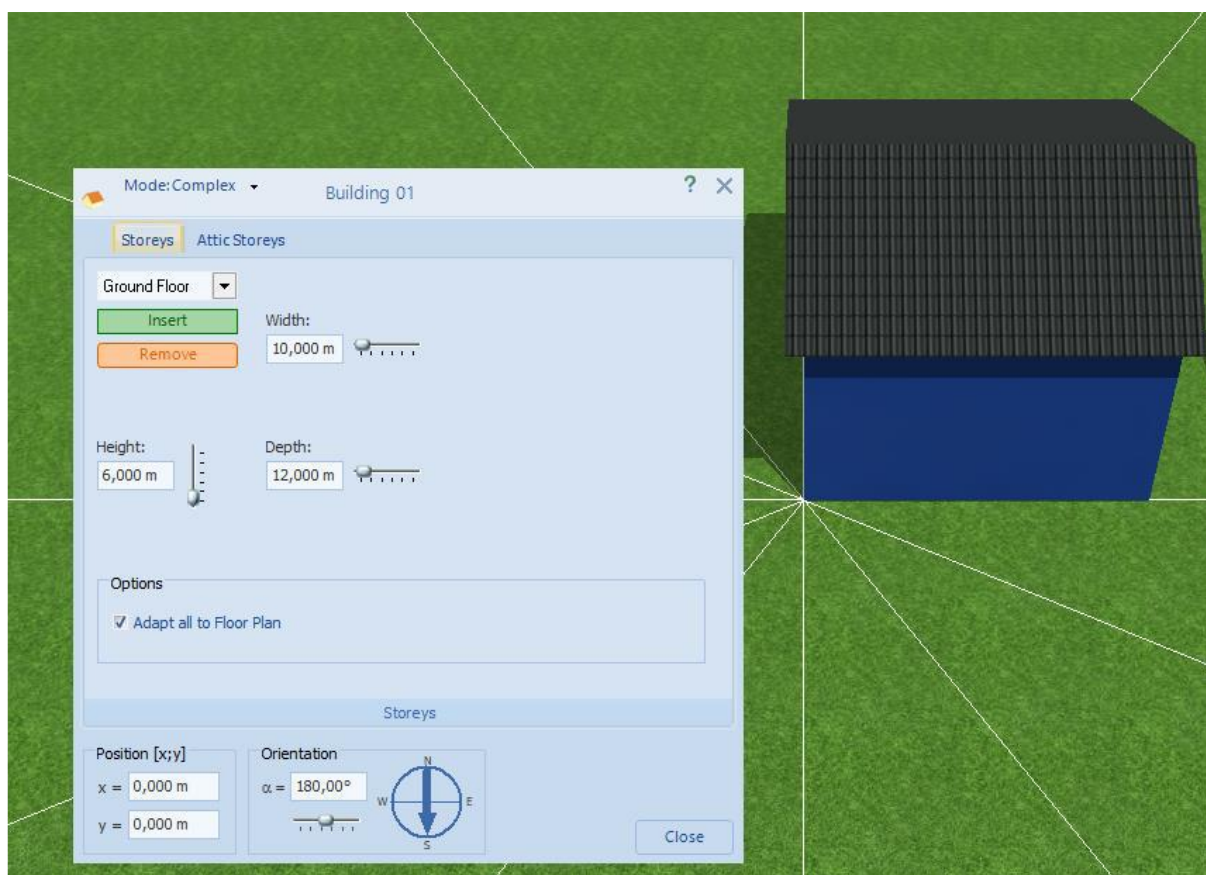
Nakon definiranja vrste fotonaponske elektrane i odabira profila kućanstva s potrošnjom, korisnici prelaze na fazu 3D modeliranja, tj. izradu 3D modela kuće. Pristupa se odabiru krova s dvije strehe (***Building with Gabled Roof***), kao na Slici 79, i unose se odgovarajuće vrijednosti (Slike 80 i 81). Detalji poput prozora otvaraju se dvoklikom na odabrani objekt i krov kuće. Ovaj korak korisnicima omogućuje stvaranje preciznog i personaliziranog 3D modela kuće.

Nakon što su dizajnirani krovovi na objektima, sljedeći je korak postavljanje dodatnih objekata poput dimnjaka, krovnih prozora i sličnih elemenata koji mogu utjecati na proizvodnju električne energije iz fotonaponskih modula. Pomoću funkcije ***Object view*** (Slika 82) moguće je jednostavno dodavati ove objekte. Na primjer, odabirom dimnjaka otvara se izbor različitih vrsta dimnjaka, a zatim ga se jednostavno pozicionira na krov (Slika 83). Postupak je sličan i kod krovnih prozora, pri čemu se odabire željeni prozor

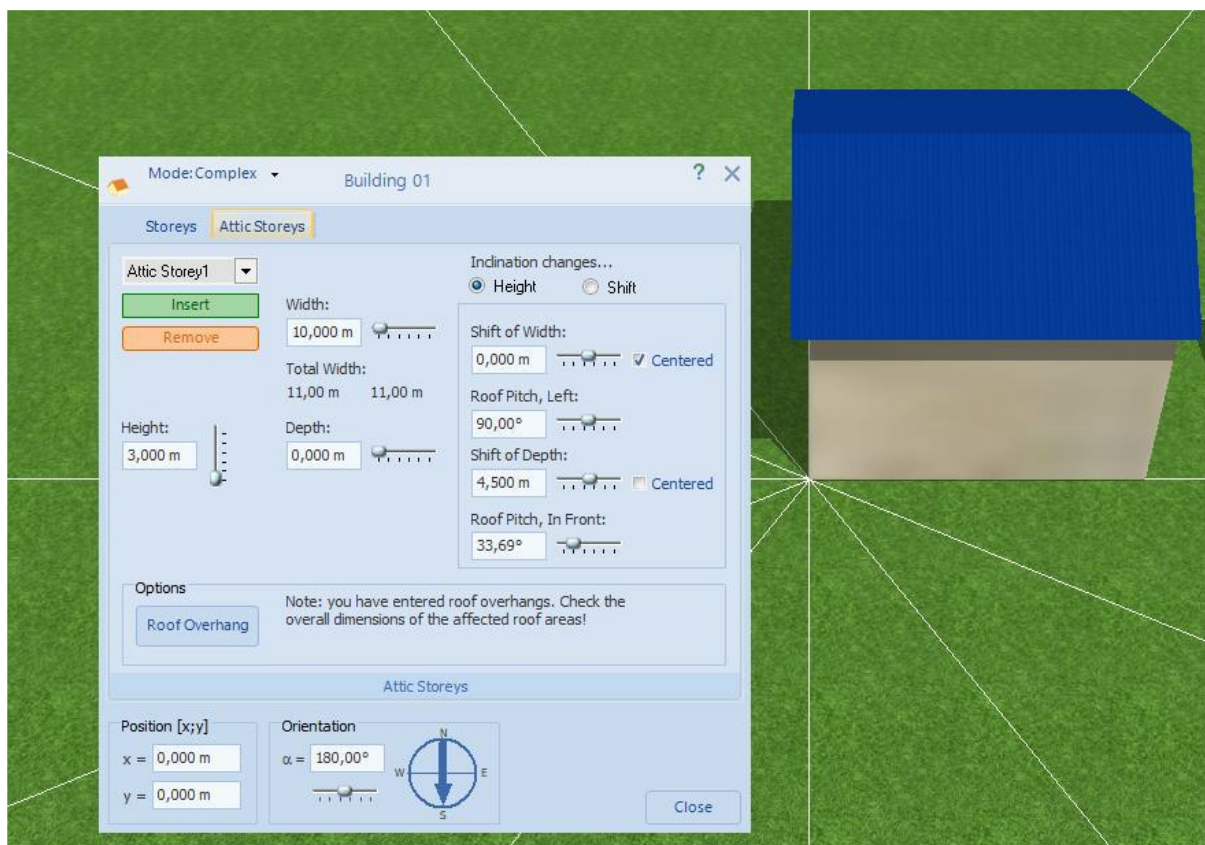
i on se povlačenjem (*drag and drop*) postavlja na krov, uz prilagodbu dimenzija i pozicije (Slika 84).



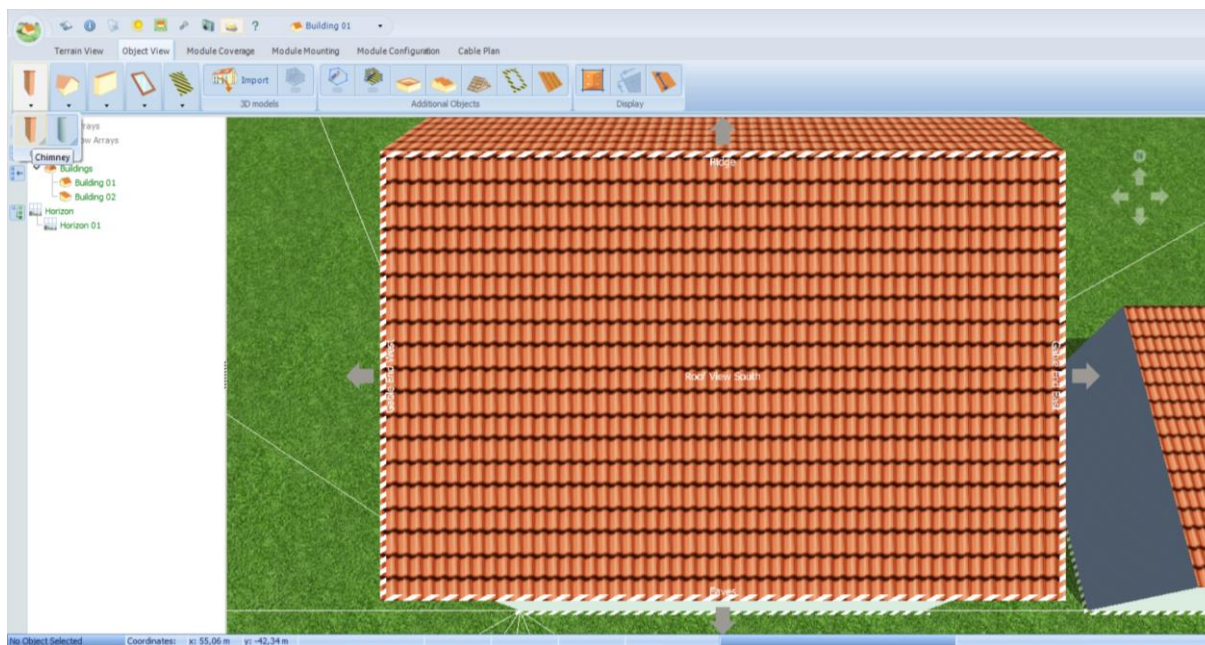
Slika 79. Building with Gabled Roof – krov s dvije vode [autorski rad]



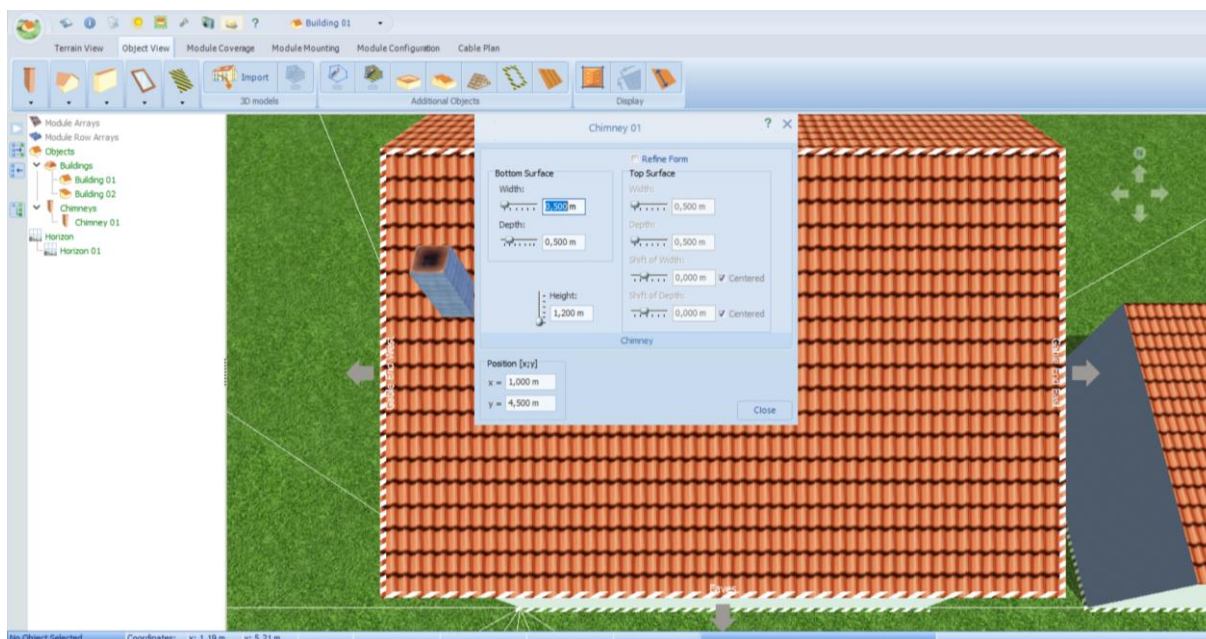
Slika 80. Izbornik Storeys [autorski rad]



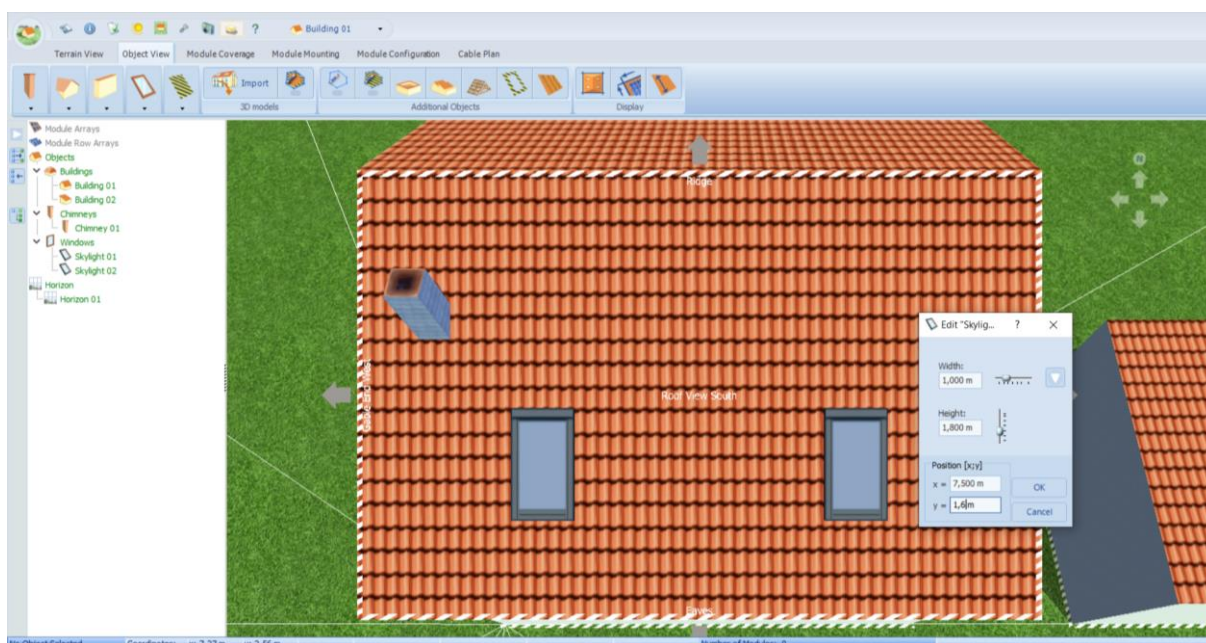
Slika 81. Izbornik Attic Storeys [autorski rad]



Slika 82. Object view – postavljanje dimnjaka [autorski rad]

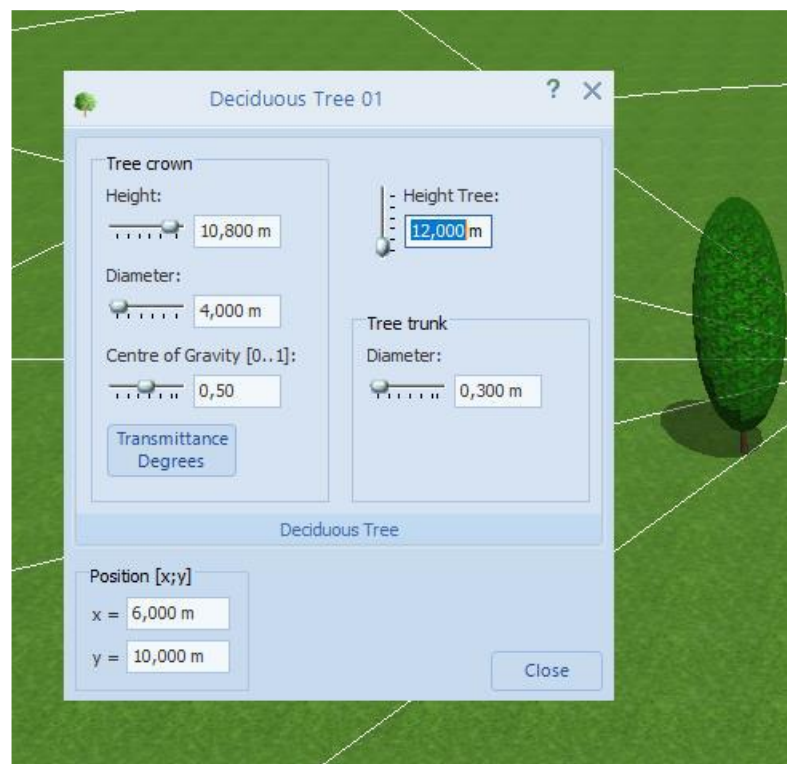


Slika 83. Pozicioniranje dimnjaka [autorski rad]



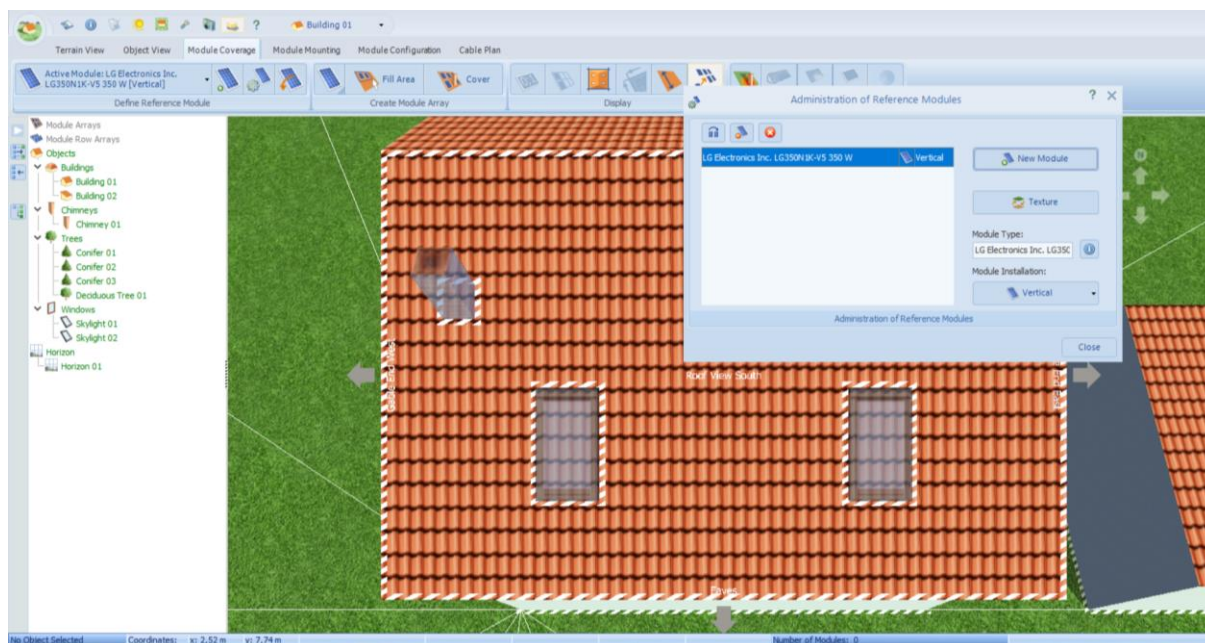
Slika 84. Pozicioniranje drugog krovnog prozora [autorski rad]

Prije postavljanja fotonaponskih modula u okolini objekata, važno je uzeti u obzir moguća zasjenjenja od drveća. Pomoću funkcije **Terrain View** može se odabrati vrsta drveća i postaviti ga u okolinu objekata. Klikom na pojedino stablo omogućuje se prilagodba njegovih dimenzija kako bi se precizno simulirala potencijalna zasjenjenja (Slika 85).

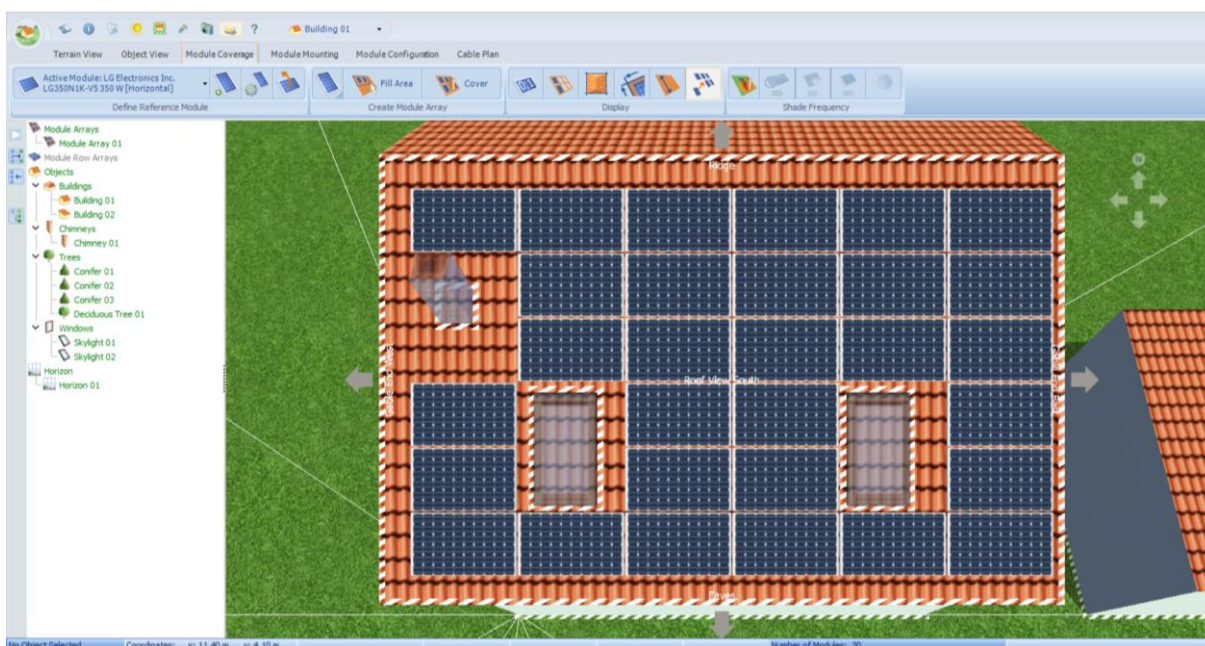


Slika 85. Postavljanje stabla [autorski rad]

Sljedeći korak u procesu projektiranja je postavljanje fotonaponskih modula na krovove objekata. Korisnik pristupa opciji **Module Coverage**, gdje odabire vrstu modula putem **Select/Edit Reference Module**. Nakon toga odabire opciju **New Module**, pri čemu se bira specifičan modul iz baze (Slika 86). Modul se može postaviti u horizontalnom ili vertikalnom smjeru, a u ovom je primjeru odabrano horizontalno postavljanje. Površina krova može se popuniti modulima na tri načina: pojedinačno, grupno (**Fill Area**) ili automatski (**Cover**). Razmak između modula, i horizontalno i vertikalno, postavljen je na 2 cm (Slika 87).



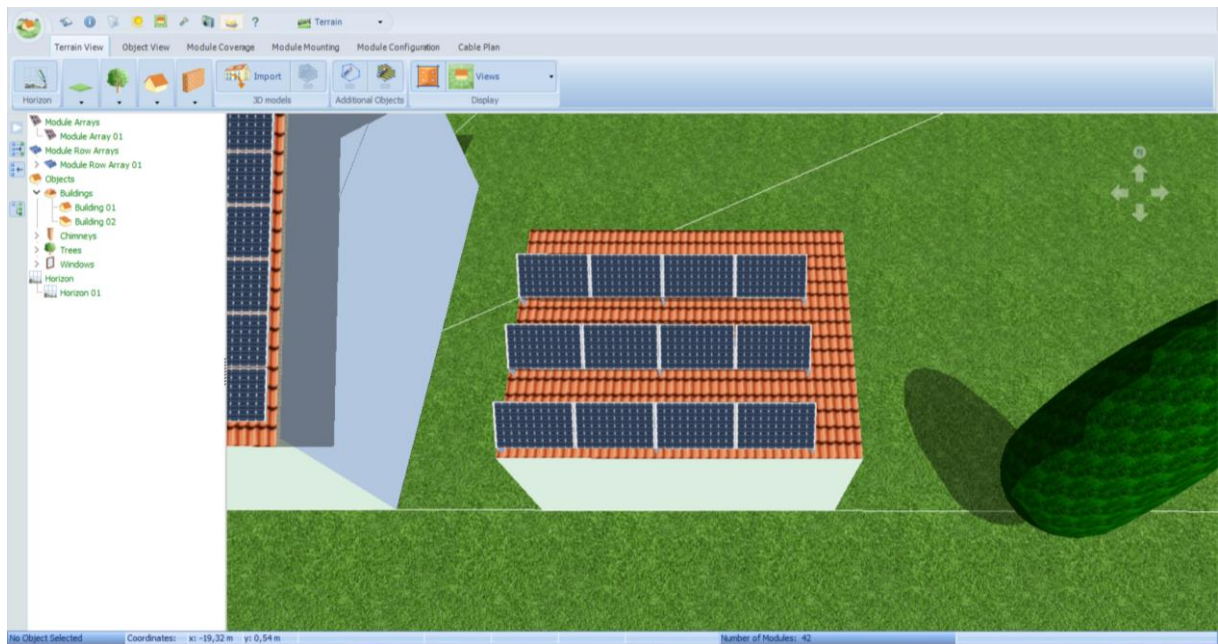
Slika 86. Odabrani FN modul [autorski rad]



Slika 87. Automatsko postavljanje FN modula [autorski rad]

Korisnicima je omogućeno postavljanje fotonaponskih modula i na pomoćne objekte uz glavnu kuću, kao što su garaže ili drugi gospodarski objekti. Na primjer, razmotrimo postavljanje FN modula na krovu garaže, pri čemu se moduli montiraju na fiksne nosače postavljene pod kutom. Pristupa se funkciji **Module Mounting**, zatim se odabire vrsta modula na **New Assembly System**, izabere se isti modul kao i za kuću

i postavlja se horizontalno na nosače, pri čemu je ukupan nagib postavljen na 34° (Slika 88).

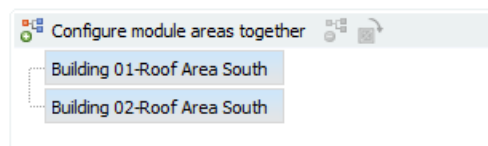


Slika 88. Postavljanje modula na pomoćne objekte – garažu [autorski rad]

Nakon potvrde unesenih vrijednosti korisnik odabire broj horizontalnih modula u redu putem izbornika **Number of horizontal Modules**. Pomoću opcije **Cover the Mounting Surface**, FN moduli automatski se postavljaju na montažnu površinu i prilagođavaju se prema potrebi.

Da bi se postigla optimalna snaga instaliranih FN modula, odabire se prikladan izmjenjivač. U okviru **Module Configuration** koristi se druga ikona **Configure module areas together**, a zatim se označavaju određena područja (Slika 89):

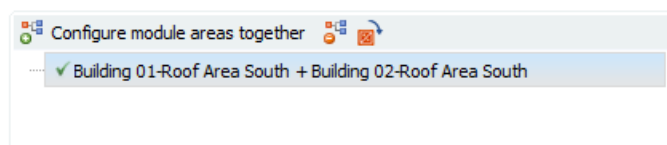
#### Inverter



Slika 89. Izbornik Configure module areas together [autorski rad]

Klikom na **Configure module areas together** dobiva se sljedeće (Slika 90):

## Inverter



Slika 90. Izbornik Configure module areas together [autorski rad]

Odabirom opcije **New Inverter** otvara se baza podataka izmjenjivača, čime se korisnicima omogućava odabir odgovarajućeg izmjenjivača za fotonaponsku elektranu. U ovom se koraku označava **Polystring Configuration**, a zatim se bira izmjenjivač prema snazi fotonaponske elektrane. Također je moguće odabrati izmjenjivač s manjom snagom od ukupne snage elektrane kako bi se prilagodio specifičnim zahtjevima ili uvjetima (Slika 91).

**Suggest Configuration**  
(using Selection) - Inverters: Suitable: 1 / Selection: 1

**Select Configuration**

| CHECK        | VALUES                                                                                                                                                                                                                                                       | POWER    |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| ✓            | <b>CONFIGURATION: Building 01-Roof Area South + Building 02-Roof Area South</b>                                                                                                                                                                              |          |
| ✓            | <b>INVERTER 1:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Polystring Configuration<br><input checked="" type="checkbox"/> 1 x Fronius International <b>FRONIUS Symo 12.5-3-M</b><br><input type="checkbox"/> Power Optimizer<br>Type of Operation: MPP 1, MPP 2 | 12,6 kWp |
| ✓            | <b>MPP 1:</b> 2 Strings x 12 Modules in series Building 01-Roof Area South<br>Add Row                                                                                                                                                                        |          |
| ✓            | <b>MPP 2:</b> 1 Strings x 12 Modules in series Building 02-Roof Area South<br>Add Row                                                                                                                                                                        |          |
| New Inverter |                                                                                                                                                                                                                                                              |          |

**Module Areas:**

| Module Areas                                           | Configured    |
|--------------------------------------------------------|---------------|
| Building 01-Roof Area South 24 x LG350N1K-V5 = 8,4 kWp | 24 PV Modules |
| Building 02-Roof Area South 12 x LG350N1K-V5 = 4,2 kWp | 12 PV Modules |

**Options:**

[Check System](#)  
[Configuration Limits](#)  
☐ Choose inverters only from [Favorites](#)

Slika 91. Postavljanje invertera [autorski rad]

Nakon odabira izmjenjivača provjera ispravnosti odabira izmjenjivača može se izvršiti pomoću opcije **Check**. Ako se pojave zelene kvačice ispod opcije **Check**, to ukazuje na to da je izmjenjivač pravilno odabran. Daljnja provjera sustava vrši se opcijom **Check System**, gdje su vrijednosti označene zelenom bojom pokazatelj ispravna odabira izmjenjivača. Žuto područje označava područje tolerancije, a crveno područje ukazuje na to da izmjenjivač nije pravilno odabran (Slika 92).



Slika 92. Izbornik Check System [autorski rad]

Izrada sheme spajanja kabela, **Cable Plan**, može se ostvariti i ručno i automatski. Prilikom odabira kabela za povezivanje između izmjenjivača i elektroenergetske mreže, korisnicima je omogućen odabir željenog kabela (Slika 93).

AC Cable (FRONIUS Symo 12.5-3-M)

from meter to inverter (one-way)  m

Circuit symbols integrated in the inverter

| Name            | Info  | Symbol |
|-----------------|-------|--------|
| Fuse            | Edit  |        |
| Circuit Breaker | B 25A |        |

Circuit symbols after inverter

| Name            | Info  | Symbol |
|-----------------|-------|--------|
| Fuse            | Edit  |        |
| Circuit Breaker | B 25A |        |

Slika 93. Odabir kabela [autorski rad]

Odabir kabela na DC strani (Slike 94 i 95)

DC topology per MPP tracker

Select MPP Tracker

Number of strings in the PV array

Max. Number of Inputs on the Tracker

Connecting strings by using

String Cables (MPP Tracker 1)

String Cable (2x Go-and-return)  m 

Circuit symbols String Cable

| Name                                                                                                                                                                        | Info | Symbol |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|--------|
|  Add  |      |        |

Slika 94. Odabir kabela DC strana [autorski rad]

DC topology per MPP tracker

Select MPP Tracker

Number of strings in the PV array

Max. Number of Inputs on the Tracker

Connecting strings by using

String Cables (MPP Tracker 2)

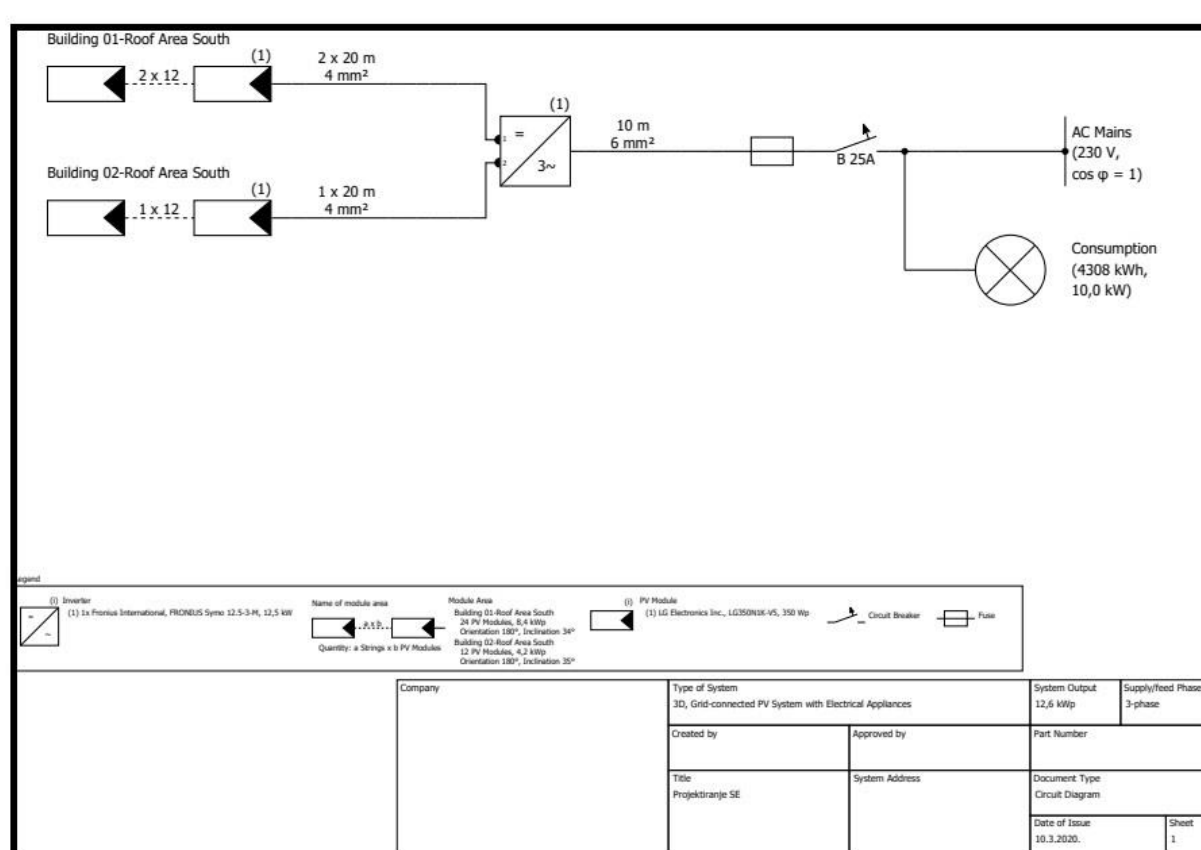
String Cable (1x Go-and-return)  m 

Circuit symbols String Cable

| Name                                                                                                                                                                            | Info | Symbol |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|--------|
|  Add  |      |        |

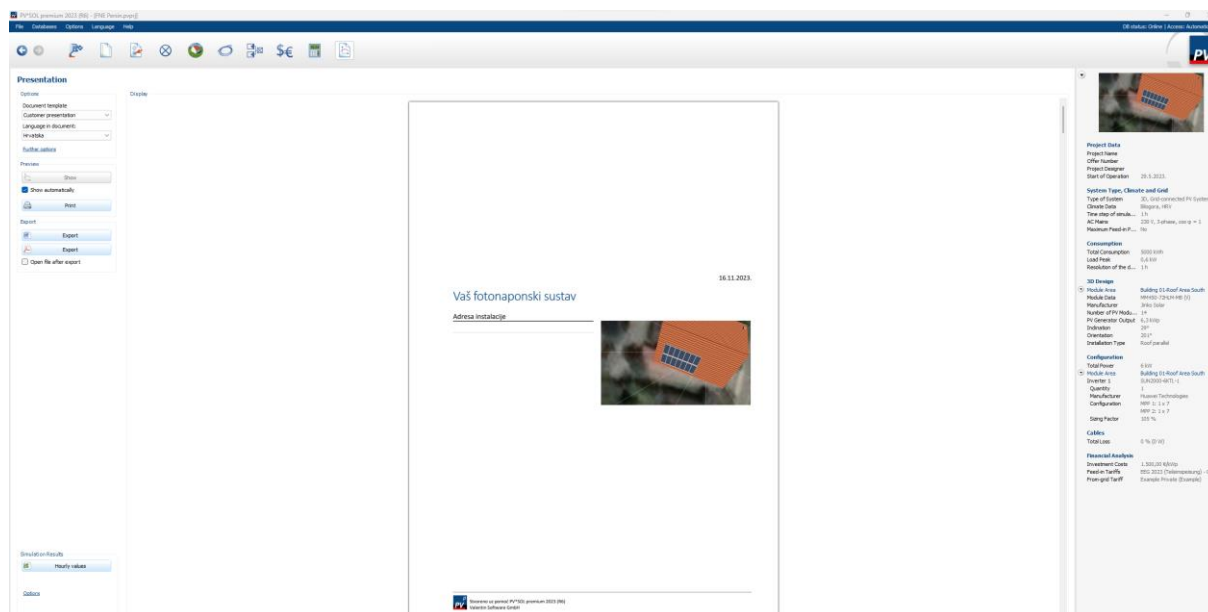
Slika 95. Odabir kabela DC strana [autorski rad]

Izgled sheme (Slika 96)



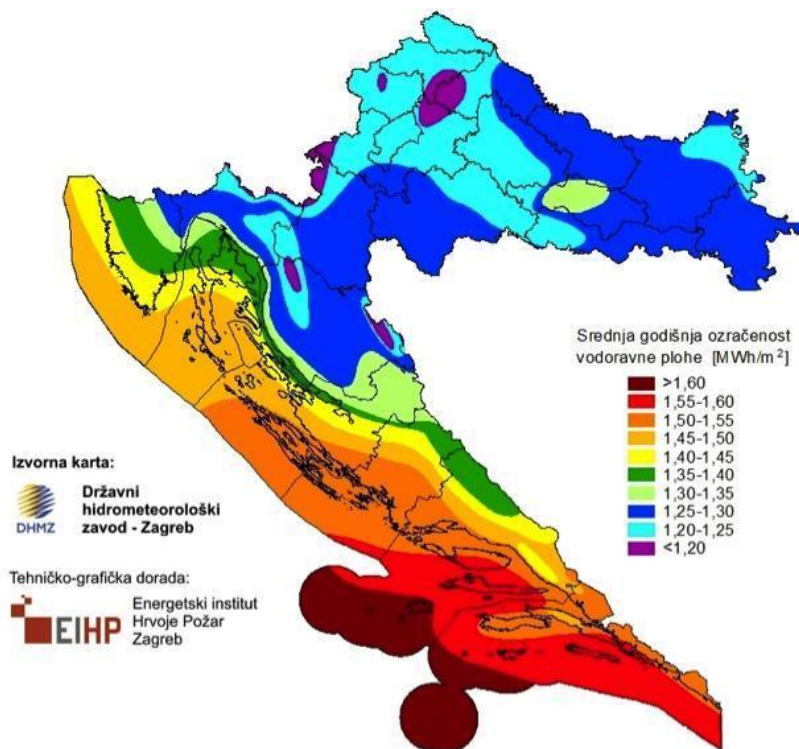
Slika 96. Izgled sheme [autorski rad]

Funkcija **Presentation** nudi izvješće o cjelokupnoj realiziranoj situaciji, s naglaskom na činjenicu da u ovom dijelu projektiranja nije obrađena tehnoe ekonomska analiza. Podaci iz izvješća stoga ne bi trebali biti uzeti u obzir u kontekstu financijske analize (Slika 97).



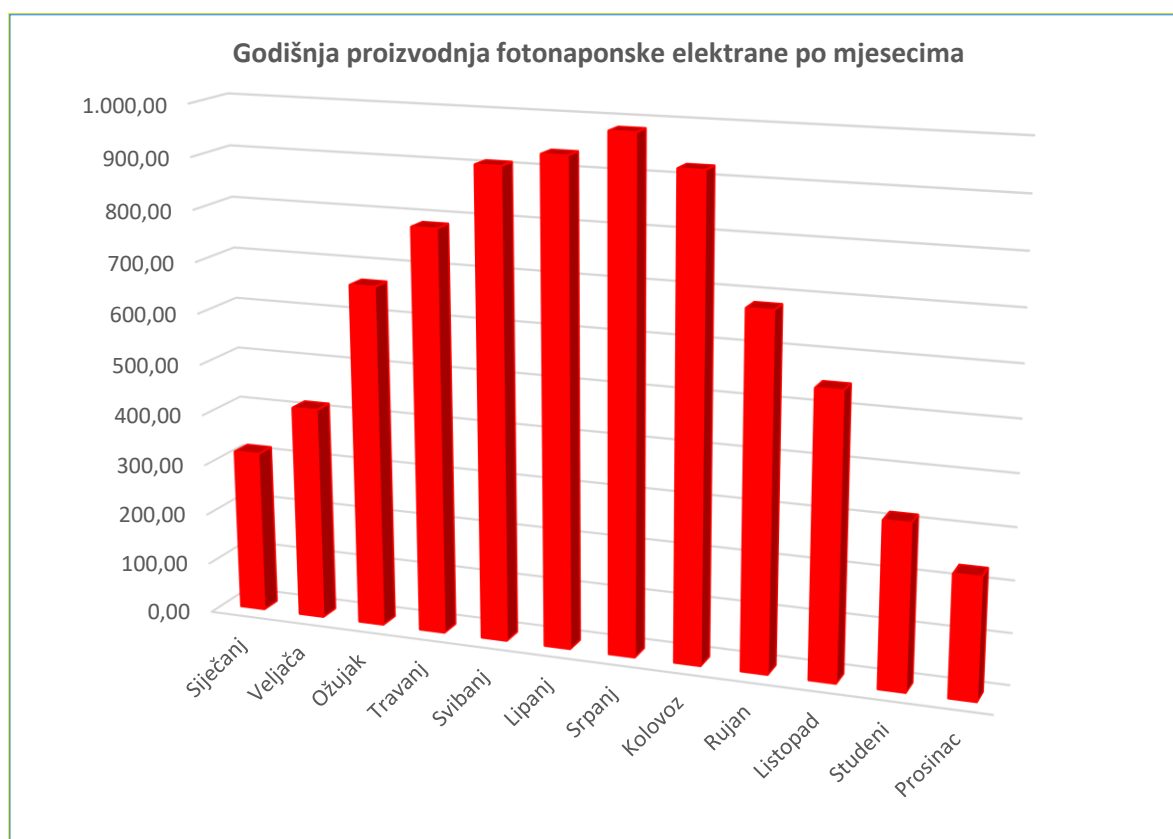
Slika 97. Izgled završnog izvještaja o FNE-u generiran automatski u PVSOL-u [autorski rad]

Ključne informacije koje se dobivaju proračunom fotonaponske elektrane u PVSOL-u podaci su o potencijalnoj proizvodnji predmetne fotonaponske elektrane te omjer predane i preuzete električne energije iz distribucijske mreže, ali i podatak kojim je moguće izračunati smanjenje emisije CO<sub>2</sub>. Na sljedećim slikama ukratko je prikazan primjer proračuna proizvodnje fotonaponske elektrane nazivne snage FN modula 6,3 kWp (što predstavlja vršnu snagu FN elektrane). Slika 98 prikazuje kartu srednje godišnje ozračenosti vodoravne plohe, prema podacima Državnog hidrometeorološkog zavoda i Energetskog instituta Hrvoje Požar za područje Republike Hrvatske.



Slika 98. Karta srednje godišnje ozračenosti vodoravne plohe [23]

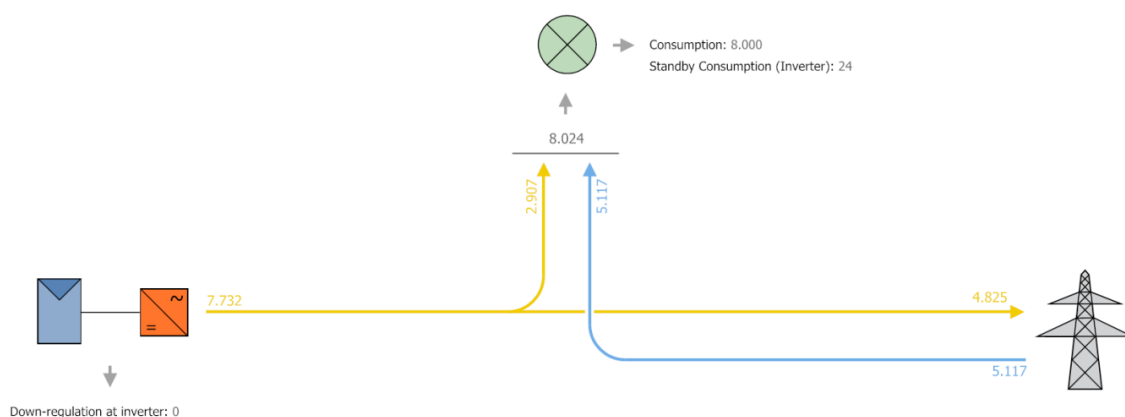
Predmetna lokacija ima srednju godišnju ozračenost vodoravne plohe približno 1.250 kWh/m<sup>2</sup> te je na osnovi toga proračunata očekivana godišnja proizvodnja, a stvarna proizvodnja može varirati ovisno o meteorološkim odstupanjima na odabranoj lokaciji. Slika 99 prikazuje proizvodnju električne energije iz FNE-a raspodijeljenu po mjesecima, a u Tablici 1 naveden je brojčani iznos proizvodnje po mjesecima, izražen u [kWh]. Na Slici 100 prikazan je graf distribucije električne energije u sustavu samoopskrbe iz kojeg je jasno vidljiva ukupna proizvodnja iz FNE-a kao i tokovi energije, odnosno točan iznos preuzetih kWh energije iz mreže, kao i iznos predanih kWh energije u mrežu.



Slika 99. Godišnja proizvodnja fotonaponske elektrane na lokaciji po mjesecima [autorski rad]

Tablica 1. Godišnja proizvodnja fotonaponske elektrane

| Mjesec         | Proizvodnja     |
|----------------|-----------------|
|                | [kWh]           |
| Siječanj       | 318,10          |
| Veljača        | 418,00          |
| Ožujak         | 667,80          |
| Travanj        | 786,70          |
| Svibanj        | 909,60          |
| Lipanj         | 935,90          |
| Srpanj         | 984,20          |
| Kolovoz        | 924,50          |
| Rujan          | 683,50          |
| Listopad       | 549,30          |
| Studen         | 319,60          |
| Prosinac       | 234,70          |
| <b>UKUPNO:</b> | <b>7.731,90</b> |



Slika 100. Graf distribucije električne energije u sustavu samoopskrbe [autorski rad]

Na temelju informacija Ministarstva graditeljstva i prostornog uređenja te Pravilnika o sustavu za praćenje, mjerenje i verifikaciju ušteda energije (NN br. 98/21 i 30/22) izračunato je smanjenje emisije CO<sub>2</sub> za fotonaponsku elektranu u skladu s faktorima primarne energije. Rezultati ovog izračuna prikazani su u Tablici 2. Faktor emisije CO<sub>2</sub> za električnu energiju specifičan je za ovu FNE i iznosi 0,159 kgCO<sub>2</sub>/kWh.

Formula za izračun godišnjeg smanjenja emisije stakleničkih plinova:

$$E_{CO_2} = FES \times e / 1000,$$

gdje  $e$  (za električnu energiju) iznosi 0,159 [kgCO<sub>2</sub>/kWh]

Tablica 2. Smanjenje emisije ugljikovog dioksida

| Emisija CO <sub>2</sub>                     |                 |
|---------------------------------------------|-----------------|
| Smanjenje emisije CO <sub>2</sub> [kg/god.] | <b>1.229,39</b> |

### 9.3. Sigurnosna zaštita fotonaponskih sustava

Fotonaponski sustavi često se instaliraju na krovovima kuća i zgrada, što povećava izloženost riziku od udara groma u usporedbi s postavljanjem sustava na razini tla. S obzirom na ovu specifičnost položaja, nužno je poduzeti određene sigurnosne mjere kako bi se osigurala zaštita od eventualnih udara groma. Ove sigurnosne mjere trebaju biti usklađene s relevantnim normama Europske unije.

Propisane norme su:

- EN 60364-7-712 (električna instalacija fotonaponskog sustava)
- EN 61173 (zaštita od prenapona nastalih u fotonaponskom sustavu)
- EN 62305 (gromobrani)
- EN 62305-2 (očekivani rizici oštećenja fotonaponskih sustava).

Glavna je svrha gromobranske instalacije prihvatiti struju groma i sigurno je usmjeriti prema zemlji. Ovisno o veličini objekta, može se postaviti jedan ili više odvoda. Često se uz gromobransku instalaciju provodi mjera izjednačenja potencijala kako bi se spriječili eventualni preskoci s odvoda na, primjerice, vodovodne ili plinske instalacije. Izjednačenje potencijala podrazumijeva galvansko povezivanje svih metalnih masa, a izvodi se radi sprječavanja razlika potencijala unutar objekta. Svi vodiči koji povezuju metalne mase u objektu (PE, PEN, uzemljenja, cijevi, ograde na stubištima) dovode se na sabirnicu za izjednačenje potencijala. Dodatna mjera sigurnosne zaštite su odvodnici prenapona. Na istosmjernoj DC strani oni štite mrežni izmjenjivač od atmosferskih pražnjenja koja se mogu pojaviti na okvirima fotonaponskih modula. Na izmjeničnoj AC strani, odvodnici prenapona štite izmjenjivač i svu drugu potrošačku električnu opremu u objektu od prenapona koji dolaze iz električne mreže. Uzemljivači i sustavi uzemljenja također su ključna sigurnosna mjera za fotonaponski sustav. Važno je da otpor uzemljivača bude minimalan kako bi što efikasnije usmjerio struju atmosferskog pražnjenja u zemlju. Prolaskom struje kroz uzemljivač i njezinim daljnjim rasprostriranjem kroz tlo stvara se potencijalni lijevak na zemlji. Ovaj potencijalni lijevak oblik je raspodjele potencijala uzrokovan strujom atmosferskog pražnjenja.

#### **9.4. Preuzimanje opreme**

Prilikom puštanja fotonaponske elektrane u pogon predaje se potvrda o kvaliteti isporučene opreme, koja uključuje ateste i ispitne izvještaje pojedinačnih ispitivanja. Ovim dokumentima dokazuje se da je oprema proizvedena i testirana u skladu s trenutačno važećim normama.

- a) Fotonaponski moduli: Izrađeni i ispitani u skladu s:  
HRN EN 61215:2008  
HRN EN 61730-1:2008  
HRN EN 61730-  
2:2008+A1:2012+A2:2013+A11:2015.
- b) Mrežni izmjenjivač(i): Izrađeni i ispitani u skladu s:  
Emisije:  
HRN EN 61000-6-3:2008  
HRN EN 61000-6-4:2007.  
Smetnje:  
HRN EN 61000-3-3:2009  
HRN EN 61000-3-2:2008+A1:2010+A2:2010  
HRN EN 61000-3-11:2001  
HRN EN 61000-3-12:2008.  
Otpornost:  
HRN EN 61000-6-1:2008  
HRN EN 61000-6-2:2008.  
Sigurnost:  
HRN EN 50178:2001  
HRN EN 62109-1:2011.  
Poluvodiči:  
HRN EN 60146-1-1:2001
- c) Kabeli: Izrađeni i ispitani u skladu s:  
VDE 0482-332-1-2  
HRN EN 60332-1-2:2007  
HRN HD 603, 626, 627 S1.
- d) Razdjelni ormar(i): Izrađeni i ispitani u skladu s:  
IEC 61439-1/2  
Tehničkim propisom za niskonaponske instalacije  
(NN RH br. 5/10)

---

## 10. Zaključak

---

Primjenom informacijsko-komunikacijske tehnologije područje inteligentnih instalacija svakim danom zauzima sve značajniju ulogu u području automatiziranih kuća i zgrada. Stoga, pravilna primjena naprednih tehnologija zahtijeva pravilan pristup projektiranju i izvođenju instalacija u kućanstvima i zgradarstvu. Da bi se to poštovalo, potrebna je primjena odgovarajućih protokola i pridržavanje uputa proizvođača opreme koja se ugrađuje u kućanstva. Projektanti i izvođači radova stoga se moraju pridržavati uputa proizvođača opreme, pravila struke i propisanih normi kako bi napredne i inteligentne instalacije pravilno funkcionirale unutar kuće ili zgrade u kojima su implementirane.

Uslijed energetske krize, do kojih tijekom desetljeća ciklički dolazi, sustavi obnovljivih izvora energije zahtijevaju i odgovoran i u skladu s pravilima struke definiran pristup. Projektanti i izvođači moraju se pridržavati uputa proizvođača, postupati sukladno propisanim normama, tehničkim specifikacijama i odobrenim certifikatima. Implementacija fotonaponskih elektrana kao jednog od najraširenijih oblika obnovljivih izvora energije, koji se u kućanstvima, zgradarstvu i gospodarskim objektima primjenjuje radi ostvarivanja ušteda u potrošnji električne energije i smanjenja emisije CO<sub>2</sub>, u budućnosti će zahtijevati niz tehničkih rješenja temeljenih na naprednim ICT rješenjima koja će se implementirati unutar inteligentnih kuća. Stoga, pravilan će pristup, uz poštivanje pravila struke i tehničkih specifikacija te propisanih normativa, kod projektanata i izvođača FNE-a biti obavezan i zahtijevat će iznimno tehničko znanje ne samo iz područja elektroenergetike nego i ICT-a.

## LITERATURA

- [1] <https://www.setra.com/blog/the-difference-between-bacnet-modbus-and-lonworks> (pristupljeno 12. rujna 2023.)
- [2] <https://www.accuenergy.com/support/reference-directory/bacnet-mstp/> (pristupljeno 12. rujna 2023.)
- [3] <https://optolov.ru/hr/potolok-i-potolochnye-pokrytiya/upravlenie-osveshcheniem---avtomatizirovannaya-sistema-umnyi-dom-umnoe.html> (pristupljeno 12. rujna 2023.)
- [4] <http://adaptacijainovogradnja.blogspot.com/p/automatika-grijanje.html> (pristupljeno 12. rujna 2023.)
- [5] <https://www.energyly.com/water-monitoring.html> (pristupljeno 15. rujna 2023.)
- [6] <https://www.securityalarm.com/blog/what-is-intelligent-video-surveillance/> (pristupljeno 15. rujna 2023.)
- [7] [https://assets.legrand.com/general/mediagrp/np-ft-gt/le05504ab\\_en.pdf](https://assets.legrand.com/general/mediagrp/np-ft-gt/le05504ab_en.pdf) (pristupljeno 15. rujna 2023.)
- [8] <https://www.knxtoday.com/2018/12/12745/trade-talk-knx-twisted-pair-its-not-just-a-little-piece-of-wire.html> (pristupljeno 20. rujna 2023.)
- [9] <https://www.legrandintegratedsolutions.com/products/knxpowersupply> (pristupljeno 20. rujna 2023.)
- [10] <https://install.no/produkt/knx-buslemme-rod-sort/> (pristupljeno 20. rujna 2023.)
- [11] <https://www.solarreviews.com/blog/pros-and-cons-of-monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels> (pristupljeno 20. listopada 2023.)
- [12] <https://pveducation.com/solar-concepts/solar-cells-modules-arrays/> (pristupljeno 20. listopada 2023.)
- [13] <https://ae-solar.com/what-pv-modules-made-of/> (pristupljeno 20. listopada 2023.)
- [14] [https://www.asunim.co/wp-content/uploads/2020/10/Risen\\_mono\\_perc445\\_144cell.pdf](https://www.asunim.co/wp-content/uploads/2020/10/Risen_mono_perc445_144cell.pdf) (pristupljeno 20. listopada 2023.)
- [15] <https://fuji-solar.com/wp-content/uploads/2022/07/datasheet-solar-15-3.pdf> (pristupljeno 20. listopada 2023.)
- [16] <https://www.victronenergy.com/solar-charge-controllers/mppt7510> (pristupljeno 25. listopada 2023.)
- [17] <https://suministrodelsol.com/en/huawei-battery/971-16423-new-lithium-battery-huawei-luna2000-5-10-15-s0.html> (pristupljeno 25. listopada 2023.)

- [18] <https://pvgroup.pl/hr/index.php/proizvod/inverter-huawei-sun-2000-8kti-m1/>  
(pristupljeno 25. listopada 2023.)
- [19] Matić, Zdeslav. 2007. *Priručnik za energetske korištenje Sunčevog zračenja*. Energetski institut Hrvoje Požar. Zagreb.
- [20] Kulišić, P. 1994. *Sunčane ćelije*. Školska knjiga. Zagreb.
- [21] Lugarić, Luka. 2007. *Mrežni fotonaponski sustavi za kućanstva*. Diplomski rad. Fakultet elektrotehnike i računarstva. Zagreb.
- [22] <https://valentin-software.com/en/products/pvsol-premium/>
- [23] [https://meteo.hr/klima.php?section=klima\\_hrvatska&param=k1\\_9&el=Y6190&it=sunce](https://meteo.hr/klima.php?section=klima_hrvatska&param=k1_9&el=Y6190&it=sunce)
- [24] [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2023\\_07\\_83\\_1298.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2023_07_83_1298.html)
- [25] Majdandžić, Ljubomir. 2009. *Fotonaponski sustavi*. Priručnik. Tehnička škola Ruđera Boškovića u Zagrebu, Srednja škola Oroslavje
- [26] Pehar, Tihomir. Listopad 2009. *Smjernice za izradu projektne dokumentacije fotonaponskog sustava spojenog na elektroenergetsku mrežu*. Diplomski rad. FER. Zagreb.
- [27] Jeršek, Željko. 2019. *Projektiranje fotonaponskog sustava za potrebe kućanstva*. Diplomski rad. FERIT. Osijek.
- [28] Apčag, Hrvoje. 2022. *Projektiranje fotonaponskih elektrana*. Završni rad. FERIT. Osijek.
- [29] Crnogorac, Ilija. 2020. *Dimenzioniranje fotonaponskog sustava za obiteljske kuće za pokrivanje vlastite potrošnje*. Završni rad. FERIT. Osijek.
- [30] Bazina, Kristijan. 2023. *Fotonaponski sustavi za obiteljsku kuću*. Završni rad. Tehnički fakultet. Rijeka.
- [31] Besedić, Ivo. 2023. *Projektiranje fotonaponskog sustava obiteljske kuće u Karlovcu*. Završni rad. Tehničko veleučilište u Zagrebu. Zagreb.

„Svi logotipi i nazivi prikazani u ovom priručniku su vlasništvo respektivnih kompanija.“

## Popis slika

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Slika 1.</b> Sustavi inteligentnih instalacija u kući [autorski rad] .....          | 7  |
| <b>Slika 2.</b> Primjer protokola za različite namjene [autorski rad] .....            | 8  |
| <b>Slika 3.</b> Primjer BACnet protokola [autorski rad] .....                          | 9  |
| <b>Slika 4.</b> Primjer LonWorks protokola [autorski rad] .....                        | 10 |
| <b>Slika 5.</b> Primjer Modbus protokola [autorski rad] .....                          | 10 |
| <b>Slika 6.</b> Primjer KNX protokola [autorski rad] .....                             | 11 |
| <b>Slika 7.</b> Primjer sustava za upravljanje rasvjetom [3] .....                     | 13 |
| <b>Slika 8.</b> Sustav grijanja prostora [4] .....                                     | 14 |
| <b>Slika 9.</b> Sustav za praćenje potrošnje vode [5] .....                            | 15 |
| <b>Slika 10.</b> Sustav videonadzora [6] .....                                         | 16 |
| <b>Slika 11.</b> KNX rješenje za pametne kuće [autorski rad] .....                     | 18 |
| <b>Slika 12.</b> Kontrolna jedinica – 1 tipka [7] .....                                | 20 |
| <b>Slika 13.</b> Kontrolna jedinica – 2 tipke [7] .....                                | 20 |
| <b>Slika 14.</b> Kontrolna jedinica – 4 tipke [7] .....                                | 20 |
| <b>Slika 15.</b> Kontrolna jedinica – 1 ili 2 tipke, 4 točke aktivacije [7] .....      | 20 |
| <b>Slika 16.</b> Kontrolna jedinica – 4 tipke, 4 točke aktivacije [7] .....            | 20 |
| <b>Slika 17.</b> Kontrolna jedinica – 4 tipke, 4 točke aktivacije, kvadratna [7] ..... | 20 |
| <b>Slika 18.</b> Kontrolna jedinica – 4 tipke, 4 točke aktivacije, okrugla [7] .....   | 21 |
| <b>Slika 19.</b> Četverokanalna upravljačka jedinica [7] .....                         | 21 |
| <b>Slika 20.</b> Četverokanalna upravljačka jedinica [7] .....                         | 21 |
| <b>Slika 21.</b> Četverokanalna upravljačka jedinica s oznakama [7] .....              | 21 |
| <b>Slika 22.</b> Četverokanalna upravljačka jedinica s oznakama [7] .....              | 21 |
| <b>Slika 23.</b> Upravljačka jedinica na dodir – 4 točke aktiviranja [7] .....         | 21 |
| <b>Slika 24.</b> Upravljačka jedinica na dodir – 4 točke aktiviranja [7] .....         | 21 |
| <b>Slika 25.</b> Upravljačka jedinica na dodir – 6 točaka aktiviranja [7] .....        | 22 |
| <b>Slika 26.</b> Zaslom osjetljiv na dodir [7] .....                                   | 23 |
| <b>Slika 27.</b> KNX termostatski [7] .....                                            | 23 |
| <b>Slika 28.</b> KNX termostatski sa zaslonom osjetljivim na dodir [7] .....           | 23 |
| <b>Slika 29.</b> Stropno montiran KNX 360° PIR / US detektor [7] .....                 | 25 |
| <b>Slika 30.</b> Stropno montiran KNX 2x180° PIR / US detektor [7] .....               | 25 |
| <b>Slika 31.</b> Zidno montiran KNX 180° PIR / US detektor [7] .....                   | 25 |
| <b>Slika 32.</b> Zidno montiran KNX 270° + 180° PIR detektor [7] .....                 | 25 |

|                                                                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Slika 33.</b> Stropno montiran KNX 360° PIR detektor visoke gustoće [7].....                                                                                                     | 25 |
| <b>Slika 34.</b> Ugradbeni KNX 180° PIR detektor [7] .....                                                                                                                          | 25 |
| <b>Slika 35:</b> Ugradbeni KNX 180° PIR detektor [7] .....                                                                                                                          | 25 |
| <b>Slika 36:</b> Ugradbeni KNX 180° PIR detektor [7] .....                                                                                                                          | 25 |
| <b>Slika 37.</b> Radioupvaljačka jedinica bez baterija [7] .....                                                                                                                    | 26 |
| <b>Slika 38.</b> Radio/KNX sučelje [7] .....                                                                                                                                        | 27 |
| <b>Slika 39.</b> Bežični senzor pokreta [7] .....                                                                                                                                   | 28 |
| <b>Slika 40.</b> KNX TP kabel [8].....                                                                                                                                              | 30 |
| <b>Slika 41.</b> Projektiranje i izrada sustava inteligentnih instalacija [autorski rad] .....                                                                                      | 32 |
| <b>Slika 42.</b> Postavke detektora u automatskom načinu rada [autorski rad] .....                                                                                                  | 34 |
| <b>Slika 43.</b> Postavke detektora u automatskom načinu rada [autorski rad] .....                                                                                                  | 35 |
| <b>Slika 44.</b> Postavke detektora u ručnom ON/ automatskom OFF načinu rada [autorski rad] .....                                                                                   | 35 |
| <b>Slika 45.</b> Postavke detektora u ručnom ON / automatskom OFF načinu rada [autorski rad] .....                                                                                  | 35 |
| <b>Slika 46.</b> Postavke bez regulacije i s ON/OFF opterećenjem [autorski rad] .....                                                                                               | 36 |
| <b>Slika 47.</b> Napajanje KNX sustava [9].....                                                                                                                                     | 36 |
| <b>Slika 48.</b> TP1 priključni blok [10] .....                                                                                                                                     | 38 |
| <b>Slika 49.</b> Primjer ugradnje fotonaponskih panela na krovu kuće [autorski rad] .....                                                                                           | 44 |
| <b>Slika 50.</b> Usporedba zaliha fosilnih i nuklearnih goriva te godišnje potrošnje energije u svijetu naspram godišnjeg Sunčevog zračenja na površini Zemlje [autorski rad] ..... | 46 |
| <b>Slika 51.</b> Visina Sunca, zenitni kut Sunca, Sunčev azimut i kut upada [autorski rad].....                                                                                     | 48 |
| <b>Slika 52.</b> Nadomjesna shema fotonaponske ćelije [autorski rad] .....                                                                                                          | 49 |
| <b>Slika 53.</b> Vrste kristalnih ćelija [11].....                                                                                                                                  | 49 |
| <b>Slika 54.</b> Utjecaj na I-U karakteristiku serijskog i paralelnog otpora [autorski rad] ...                                                                                     | 52 |
| <b>Slika 55.</b> I-U karakteristika FN ćelije [autorski rad].....                                                                                                                   | 53 |
| <b>Slika 56.</b> Ovisnost I-U karakteristike o jakosti Sunčeva zračenja [autorski rad] .....                                                                                        | 53 |
| <b>Slika 57.</b> Maksimalna snaga idealne i realne FN ćelije [autorski rad].....                                                                                                    | 54 |
| <b>Slika 58.</b> Prikaz fotonaponske ćelije unutar panela [12].....                                                                                                                 | 56 |
| <b>Slika 59.</b> Kapsuliranje fotonaponskih ćelija [autorski rad].....                                                                                                              | 56 |
| <b>Slika 60.</b> Struktura fotonaponskog panela [13].....                                                                                                                           | 57 |
| <b>Slika 61.</b> Fotonaponski moduli, nizovi i njihove strujno-naponske karakteristike [autorski rad] .....                                                                         | 58 |
| <b>Slika 62.</b> Tehnički list odabranog FN panela [14] .....                                                                                                                       | 59 |

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Slika 63.</b> Primjer ugradnje jednog tipa izmjenjivača u kućanstvu [autorski rad] .....  | 60 |
| <b>Slika 64.</b> Tehnički list odabranog frekvencijskog pretvarača [15] .....                | 61 |
| <b>Slika 65.</b> Podjela FN sustava [autorski rad] .....                                     | 64 |
| <b>Slika 66.</b> Samostalni fotonaponski sustav [autorski rad] .....                         | 65 |
| <b>Slika 67.</b> Hibridni fotonaponski sustav [autorski rad] .....                           | 66 |
| <b>Slika 68.</b> Mrežni fotonaponski sustav [autorski rad] .....                             | 67 |
| <b>Slika 69.</b> Osnovni dijelovi solarne elektrane [autorski rad] .....                     | 69 |
| <b>Slika 70.</b> Regulator punjenja [16] .....                                               | 70 |
| <b>Slika 71.</b> Spremnik energije fotonaponske elektrane [17] .....                         | 71 |
| <b>Slika 72.</b> Prikaz izmjenjivača [18] .....                                              | 71 |
| <b>Slika 73.</b> Koraci do priključenja kućanstva s vlastitom proizvodnjom [autorski rad] .. | 74 |
| <b>Slika 74.</b> <i>Izbornik Project Data</i> [autorski rad] .....                           | 85 |
| <b>Slika 75.</b> <i>Izbornik tipa sustava i klimatskih podataka</i> [autorski rad] .....     | 85 |
| <b>Slika 76.</b> <i>Izbornik za definiranje potrošnje korisnika</i> [autorski rad] .....     | 86 |
| <b>Slika 77.</b> <i>Kategorija potrošnje korisnika</i> [autorski rad] .....                  | 86 |
| <b>Slika 78.</b> <i>Izbornik različitih profila potrošnje</i> [autorski rad] .....           | 87 |
| <b>Slika 79.</b> Building with Gabled Roof – krov s dvije vode [autorski rad] .....          | 88 |
| <b>Slika 80.</b> Izbornik Storeys [autorski rad] .....                                       | 88 |
| <b>Slika 81.</b> Izbornik Attic Storeys [autorski rad] .....                                 | 89 |
| <b>Slika 82.</b> Object view – postavljanje dimnjaka [autorski rad] .....                    | 89 |
| <b>Slika 83.</b> Pozicioniranje dimnjaka [autorski rad] .....                                | 90 |
| <b>Slika 84.</b> Pozicioniranje drugog krovnog prozora [autorski rad] .....                  | 90 |
| <b>Slika 85.</b> Postavljanje stabla [autorski rad] .....                                    | 91 |
| <b>Slika 86.</b> Odabrani FN modul [autorski rad] .....                                      | 92 |
| <b>Slika 87.</b> Automatsko postavljanje FN modula [autorski rad] .....                      | 92 |
| <b>Slika 88.</b> <i>Postavljanje modula na pomoćne objekte – garažu</i> [autorski rad] ..... | 93 |
| <b>Slika 89.</b> <i>Izbornik Configure module areas together</i> [autorski rad] .....        | 93 |
| <b>Slika 90.</b> <i>Izbornik Configure module areas together</i> [autorski rad] .....        | 94 |
| <b>Slika 91.</b> <i>Postavljanje invertera</i> [autorski rad] .....                          | 94 |
| <b>Slika 92.</b> Izbornik Check System [autorski rad] .....                                  | 95 |
| <b>Slika 93.</b> Odabir kabela [autorski rad] .....                                          | 95 |
| <b>Slika 94.</b> Odabir kabela DC strana [autorski rad] .....                                | 96 |
| <b>Slika 95.</b> Odabir kabela DC strana [autorski rad] .....                                | 96 |
| <b>Slika 96.</b> Izgled sheme [autorski rad] .....                                           | 97 |

|                                                                                                            |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Slika 97.</b> Izgled završnog izvještaja o FNE-u generiran automatski u PVSOL-u [autorski rad] .....    | 98  |
| <b>Slika 98.</b> Karta srednje godišnje ozračenosti vodoravne plohe [23] .....                             | 99  |
| <b>Slika 99.</b> Godišnja proizvodnja fotonaponske elektrane na lokaciji po mjesecima [autorski rad] ..... | 100 |
| <b>Slika 100.</b> Graf distribucije električne energije u sustavu samoopskrbe [autorski rad] .....         | 101 |

## Popis tablica

|                                                                     |     |
|---------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Tablica 1.</b> Godišnja proizvodnja fotonaponske elektrane ..... | 100 |
| <b>Tablica 2.</b> Smanjenje emisije ugljikovog dioksida .....       | 101 |

Svi logotipi i nazivi prikazani u ovom priručniku su vlasništvo respektivnih kompanija.

Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog socijalnog fonda.  
Za više informacija o EU fondovima molimo pogledajte web-stranicu  
Ministarstva regionalnoga razvoja i fondova Europske unije.

[www.strukturnifondovi.hr](http://www.strukturnifondovi.hr)

Sadržaj publikacije isključiva je odgovornost RCK ELPROS.



Projekt je sufinancirala Europska unija iz Europskog socijalnog fonda.