

Pametna kuća

Stanić, Ružica

Master's thesis / Diplomski rad

2024

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:559184>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-21**

Repository / Repozitorij:

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK

Sveučilišni studij

PAMETNA KUĆA

Diplomski rad

Ružica Stanić

Osijek, 2024.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac D1: Obrazac za ocjenu diplomskog rada na sveučilišnom diplomskom studiju****Ocjena diplomskog rada na sveučilišnom diplomskom studiju**

| | |
|---|--|
| Ime i prezime pristupnika: | Ružica Stanić |
| Studij, smjer: | Sveučilišni diplomski studij Elektrotehnika, Elektroenergetika |
| Mat. br. pristupnika, god. | D-1471, 07.10.2022. |
| JMBAG: | 0165083469 |
| Mentor: | prof. dr. sc. Zvonimir Klaić |
| Sumentor: | |
| Sumentor iz tvrtke: | |
| Predsjednik Povjerenstva: | prof. dr. sc. Damir Šljivac |
| Član Povjerenstva 1: | prof. dr. sc. Zvonimir Klaić |
| Član Povjerenstva 2: | dr. sc. Matej Žnidarec |
| Naslov diplomskog rada: | Pametna kuća |
| Znanstvena grana diplomskog rada: | Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika) |
| Zadatak diplomskog rada: | Opisati sustav pametne kuće, tehnologije i strukturu. Objasniti sustav upravljanja energijom u kućanstvu, arhitekturu sustava te načine upravljanja distribuiranim izvorima energije. Na temelju rezultata mjerenja analizirati troškove punjenja električnog automobila u kućanstvu s obzirom na različite scenarije punjenja i tarifne modele električne energije. |
| Datum ocjene pismenog dijela diplomskog rada od strane mentora: | 18.09.2024. |
| Ocjena pismenog dijela diplomskog rada od strane mentora: | Izvrstan (5) |
| Datum obrane diplomskog rada: | 27.09.2024. |
| Ocjena usmenog dijela diplomskog rada (obrane): | Izvrstan (5) |
| Ukupna ocjena diplomskog rada: | Izvrstan (5) |
| Datum potvrde mentora o predaji konačne verzije diplomskog rada čime je pristupnik završio sveučilišni diplomski studij: | 30.09.2024. |

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA **OSIJEK****IZJAVA O IZVORNOSTI RADA**

Osijek, 30.09.2024.

| | |
|--|--|
| Ime i prezime Pristupnika: | Ružica Stanić |
| Studij: | Sveučilišni diplomski studij Elektrotehnika, Elektroenergetika |
| Mat. br. Pristupnika, godina upisa: | D-1471, 07.10.2022. |
| Turnitin podudaranje [%]: | 9 |

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Pametna kuća**

izrađen pod vodstvom mentora prof. dr. sc. Zvonimir Klaić

i sumentora

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija.

Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis pristupnika:

SADRŽAJ

| | |
|---|-----------|
| 1. UVOD | 1 |
| 2. PREGLED PODRUČJA TEME | 2 |
| 3. SUSTAV PAMETNE KUĆE | 4 |
| 3.1. Pojam pametne kuće | 4 |
| 3.2. Tehnologije pametne kuće. | 5 |
| 3.2.1. Sustavi temeljeni na oblaku | 6 |
| 3.2.2. Sustavi temeljeni na lokalnom upravljanju | 7 |
| 3.3. Struktura pametne kuće | 8 |
| 4. SUSTAV UPRAVLJANJA ENERGIJOM U KUĆANSTVU | 19 |
| 4.1. Definicija sustava upravljanja energijom u kućanstvu | 19 |
| 4.2. Arhitektura sustava upravljanja energijom u kućanstvu. | 21 |
| 4.3. Odgovor na potražnju | 23 |
| 4.4. Distribuirani izvori energije u pametnim kućama | 25 |
| 5. KUPAC KORISNIK POSTROJENJA ZA SAMOOPSKRBU | 28 |
| 5.1. Analiza troškova punjenja električnog automobila u kućanstvu | 32 |
| 5.1.1. Sunčan dan (06. lipnja 2024.) | 34 |
| 5.1.2. Oblačan dan (12. lipnja 2024.) | 41 |
| 6. ZAKLJUČAK | 49 |
| LITERATURA | 51 |
| SAŽETAK | 55 |
| ABSTRACT | 55 |
| ŽIVOTOPIS | 56 |
| PRILOZI | 57 |

1. UVOD

Pametna kuća primjenjuje napredne tehnologije za daljinsko upravljanje i automatizaciju različitih aspekata doma, kao što su rasvjeta, audiovizualni uređaji, kućanski aparati, senzori, sigurnosni sustavi te grijanje, ventilacija i klimatizacija. Optimizira potrošnju električne energije, prepoznaje potencijalne opasnosti i prilagođava funkcionalnosti doma prema korisničkim preferencijama. Korisnici mogu postavljati automatizirane scenarije za svakodnevne aktivnosti i upravljati pametnim uređajima putem aplikacija, web sučelja i glasovnih asistenata na pametnim telefonima i tabletima.

Ovaj diplomski rad opisuje tehnologiju pametne kuće. Kroz poglavlje 'Pregled područja teme' pružen je uvid u aspekte pametne kuće kao što su energetska učinkovitost, sustav rasvjete, sustav grijanja, ventilacije i klimatizacije te sigurnosni sustavi i sustavi kućne zabave. Poglavlje 'Sustav pametne kuće' fokusira se na definiciju i strukturu pametne kuće, kao i tehnologije pametne kuće uključujući njihove prednosti i nedostatke. U poglavlju 'Sustav upravljanja energijom u kućanstvu' opisan je koncept upravljanja energijom kao i arhitektura sustava upravljanja energijom. Također, razmatran je doprinos distribuiranih izvora energije u kontekstu pametnih kuća kao i strategija odgovora na potražnju. Poglavlje 'Kupac korisnik postrojenja za samoopskrbu' analizira troškove punjenja električnog automobila u kući s fotonaponskim sustavom u različitim scenarijima jednog oblačnog i jednog sunčanog dana.

2. PREGLED PODRUČJA TEME

Autori u literaturi [1] ističu kako pametne kuće mogu optimizirati potrošnju energije i poboljšati energetska učinkovitost koordiniranjem rada pametnih uređaja. Pametni prekidači, žarulje i sustavi upravljanja rasvjetom nude rješenja koja naglašavaju uštedu energije. Pametni termostati prilagođavaju se korisničkim preferencijama i vanjskim uvjetima kako bi učinkovito regulirali temperaturu. Potrošnja energije pametnih kućnih uređaja, poput pećnica, perilica posuđa, perilica rublja i hladnjaka, može se sniziti primjenom daljinskog upravljanja, energetske učinkovitih postavki i optimizacije opterećenja. Integracija obnovljivih izvora energije, poput fotonaponskih modula, doprinosi energetske neovisnosti i smanjenju troškova energije. Sustav za praćenje energije omogućuje mjerenje i analizu potrošnje energije u stvarnom vremenu, pružajući korisnicima uvid i upravljanje nad potrošnjom.

Prema publikaciji [2], integracija pametnih sustava rasvjete omogućuje korisnicima upravljanje nad rasvjetom putem pametnih telefona, tableta ili glasovnih asistenata. Korisnici imaju mogućnost podešavanje svjetline i boje svjetla prema individualnim željama. Nadalje, pametna rasvjeta znatno doprinosi energetske učinkovitosti i održivosti. Mogućnost vremenskog rasporeda rasvjete na temelju prisutnosti ili doba dana dodatno snižava potrošnju što rezultira nižim računima za električnu energiju. Osim toga, korisnici mogu stvoriti personalizirane scenarije automatizacije. Također, pametni sustavi rasvjete često se integriraju s drugim pametnim uređajima, kao što su pametni termostati i sigurnosne kamere, stvarajući kohezivni i međusobno povezani sustav.

Prema radu [3], sustavi grijanja, ventilacije i klimatizacije HVAC (eng. *Heating, Ventilation, and Air Conditioning*) integriraju tehnologije poput pametnih termostata, ventilacijskih otvora i senzora za detekciju raznih faktora poput tlaka, prisutnosti ljudi, otvorenih prozora i kvalitete zraka. Pametni termostati koriste sofisticirane algoritme za prilagodbu postavki temeljenih na čimbenicima kao što su prisutnost ljudi, vanjski uvjeti i korisničke preferencije. Oni omogućuju praćenje unutarnjih uvjeta u stvarnom vremenu pomoću senzora, pružajući korisnicima uvid u temperaturne promjene i performanse sustava. Također, koriste podatke o ponašanju korisnika radi optimizacije potrošnje energije i povećanja energetske učinkovitosti.

Prema istraživanju [4], sigurnosni sustavi u pametnim kućama koriste se za nadzor okruženja i reagiranje na potencijalne prijetnje slanjem obavijesti upozorenja. Za zaštitu stanara i imovine, koriste različite mehanizme, uključujući protuprovalne alarme, nadzorne kamere, senzore kretanja, senzore požara i curenja plina te pametne sustave zaključavanja vrata. Biometrijski sigurnosni sustavi koriste jedinstvene biološke karakteristike, kao što su otisci prstiju, prepoznavanje lica ili glasa, za provjeru identiteta korisnika i omogućavanje pristupa sigurnosnom sustavu pametnog doma.

Prema radu [5], sustav pametne kućne zabave obuhvaća pametne televizore, projektore, monitore i zvučnike. Nudi korisnicima pristup multimedijским sadržajima s interneta, uključujući serije, filmove, sportske događaje i glazbu. Također, sustav prilagođava postavke prema individualnim preferencijama korisnika, uključujući podešavanje osvjetljenja, zvuka i vizualnih prikaza. Pametna rasvjeta se može povezati i sinkronizirati s medijskim uređajima, prilagođavajući boje svjetla prema sadržaju na ekranu. Iskustvo zabave dodatno je personalizirano putem sustava preporuka koji analiziraju navike korisnika kako bi predvidjeli i sugerirali relevantne sadržaje.

3. SUSTAV PAMETNE KUĆE

Pametna kuća i sustavi kućne automatizacije uključuju širok raspon rješenja za upravljanje, nadzor i automatizaciju procesa unutar kuće.

3.1. Pojam pametne kuće

Pametna kuća (eng. *Smart Home*) definirana je kao stambeni prostor koji integrira mrežno povezane uređaje i aparate, obično putem kućne mreže ili interneta, radi poboljšanja energetske učinkovitosti i održavanja udobnosti stanovnika. Također, omogućava daljinsko nadziranje i upravljanje kućnim uređajima putem pametnih aplikacija, pametnih telefona ili drugih umreženih uređaja, bilo unutar ili izvan doma. Sustave pametne kućne automatizacije karakterizira ušteda energije, optimalan rad opterećenja, jednostavnost korištenja, visoka učinkovitost i sigurnost koju pružaju korisniku. Arhitektura pametne kuće dijeli se na dva okruženja: unutarnje i vanjsko. Dok vanjsko okruženje obuhvaća sve elemente pametne mreže, poput pametnih brojlara i obnovljivih izvora energije, unutarnje okruženje obuhvaća sve uređaje i aparate unutar same kuće [6] [7].

Korištenje daljinskog upravljanja elektroničkom opremom jedna je od primjena Interneta stvari IoT (eng. *Internet of Things*) koji treba internetsku vezu za upravljanje uređajima. Glavni koncept koji stoji iza automatizacije pametnog doma temelje na IoT-u jest učiniti kuću pametnijom, energetske učinkovitijom i lakšom za život, omogućujući komunikaciju između kućnih uređaja te daljinsko upravljanje i nadzor putem pametnih telefona i drugih uređaja [8].

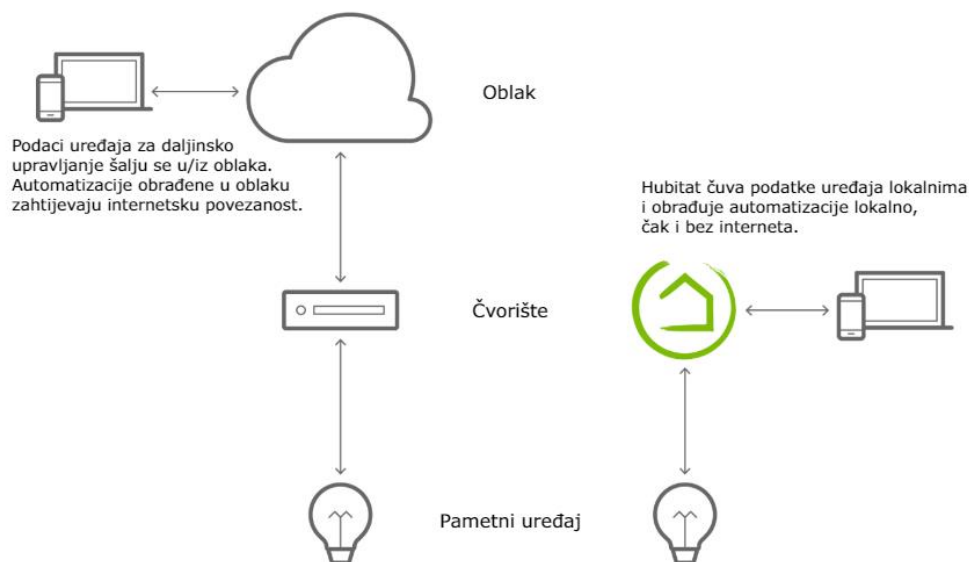
IoT je mreža koja omogućuje nadzor i upravljanje fizičkog okruženja prikupljanjem, promatranjem, obradom i analizom podataka generiranih senzorskim uređajima i inteligentnim objektima. Koristi odgovarajuće komunikacijske protokole i infrastrukture informacijske tehnologije za međusobnu komunikaciju uređaja. Stvara okruženje pametnog doma u kojem se fizički objekti, poput kućanskih aparata i uređaja, povezuju na internet i pružaju pametne usluge korisnicima [8].

Pametni domovi i sustavi kućne automatizacije obuhvaćaju širok spektar tehnoloških rješenja za upravljanje, nadzor i automatizaciju različitih funkcija u domu. Mogu se podijeliti u sedam glavnih kategorija: sigurnosni sustavi, sustavi za upravljanje energijom, audiovizualni i zabavni sustavi, sustavi za upravljanje rasvjetom, pametni kućanski aparati, uslužna robotika te sustavi za zdravstvenu skrb [9].

3.2. Tehnologije pametne kuće

Tržište pametne kuće može se podijeliti na sustave pametne kuće temeljene na oblaku (eng. *Cloud*) i lokalne sustave pametne kuće (eng. *Local*). Hibridna rješenja koja kombiniraju oba pristupa također mogu biti održiva opcija, pružajući prednosti i jednog i drugog sustava [10].

Na slici 3.1. prikazane su dvije tehnologije pametne kuće. Sustavi temeljeni na oblaku omogućuju upravljanje pametnim uređajima putem interneta, pri čemu se podaci pohranjuju na udaljenim poslužiteljima, što omogućuje upravljanje s bilo kojeg mjesta. Nasuprot tome, sustavi temeljeni na lokalnom upravljanju oslanjaju se na lokalnu mrežu, gdje se podaci obrađuju i pohranjuju unutar kuće, pružajući veću sigurnost i privatnost, ali ograničavajući mogućnost upravljanja izvan kuće [11].



Slika 3.1. Sustav temeljen na oblaku (lijevo) i sustav temeljen na lokalnom upravljanju na primjeru Hubitat platforme (desno) [11]

Platforme, kao što su OpenHAB, Home Assistant, Domoticz i OpenMotics, predstavljaju sustave kućne automatizacije otvorenog koda. Njihov izvorni kod je javno dostupan što korisnicima omogućuje besplatno korištenje, prilagođavanje i dijeljenje softvera. S druge strane, platforme, kao što su Apple Home, Google Home, Amazon Alexa, Samsung SmartThings i Control4, koriste zatvoreni kod. Njihov izvorni kod je vlasništvo tvrtke i nije dostupan za modifikacije ili dijeljenje od strane korisnika. Dok se vlasnički sustavi integriraju isključivo s uređajima i softverom tvrtke koja je proizvela sustav ili tvrtke koja ima licencirana autorska prava na njega, otvoreni sustavi mogu se integrirati s nizom uređaja i rješenja različitih proizvođača što omogućuje bilo kojem proizvođaču razvijanje uređaja kompatibilnih s tim sustavima [12].

3.2.1. Sustavi temeljeni na oblaku

U sustavima temeljenima na oblaku, kao što su Apple Home, Google Home, Amazon Alexa i Samsung SmartThings, softver za automatizaciju koristi internetsku vezu za upravljanje uređajima. Podaci se obrađuju na poslužitelju u oblaku, a komunikacija između kućnih uređaja i vanjskih usluga odvija se putem interneta [13].

Prednosti [14]:

- daljinski pristup omogućuje korisnicima upravljanje uređajima s bilo kojeg mjesta s internetskom vezom
- veća skalabilnost jer usluge u oblaku mogu upravljati mnogim uređajima bez hardverskih ograničenja
- automatska ažuriranja osiguravaju pristup najnovijim značajkama i sigurnosnim poboljšanjima
- niže početno ulaganje, uz pretplatničke naknade za usluge u oblaku.

Nedostaci [14]:

- sigurnost i privatnost mogu biti ugroženi jer se podaci pohranjuju i obrađuju na poslužiteljima u oblaku
- pouzdanost ovisi o kvaliteti internetske veze i dostupnosti usluge u oblaku što može biti problematično u slučaju prekida interneta
- veća latencija zbog komunikacije s poslužiteljima u oblaku može uzrokovati kašnjenja u vremenu odgovora
- potpuna ovisnost o internetskoj vezi za većinu funkcija što znači da je sustav podložan prekidima internetske povezanosti
- ograničene mogućnosti prilagodbe sa značajkama koje obično unaprijed definira pružatelj usluga u oblaku.

3.2.2. Sustavi temeljeni na lokalnom upravljanju

Lokalni sustavi pametnih kuća, kao što su OpenHAB, Home Assistant, Domoticz i Hubitat, omogućuju upravljanje pametnim uređajima izravno unutar lokalne mreže, bez potrebe za internetskom vezom. Uređaji se povezuju s centralnom jedinicom putem žičnih ili lokalnih bežičnih veza [13].

Prednosti [14]:

- veća privatnost i sigurnost zbog obrade i pohrane podataka unutar lokalnog sustava
- veća pouzdanost jer sustav ne ovisi o uslugama u oblaku i internetskoj povezanosti
- manja latencija zahvaljujući lokalnoj obradi bez potrebe za komunikacijom s udaljenim poslužiteljima
- manja ovisnost o internetskoj povezanosti jer osnovne funkcije rade lokalno
- veće mogućnosti prilagodbe omogućuju korisnicima implementaciju određenih značajki prema vlastitim željama.

Nedostaci [14]:

- ograničene mogućnosti daljinskog pristupa često zahtijevaju prisutnost korisnika unutar lokalne mreže radi upravljanja
- ograničena skalabilnost zbog lokalnih hardverskih ograničenja; proširenje sustava može zahtijevati nadogradnju hardvera
- zahtijeva ručna ažuriranja; korisnici moraju upravljati nadogradnjama softvera i sigurnosnim zakrpama
- zahtijeva prethodno ulaganje u hardver i ručno održavanje.

3.3. Struktura pametne kuće

Pametna kuća može se opisati kao kombinacija različitih elemenata, uključujući pametne uređaje i aparate, senzore i aktuatora, centralne jedinice, komunikacijski sustav i uređaje za daljinsko upravljanje. Oni zajedno grade složenu arhitekturu s ciljem poboljšanja upravljanja kućnim uređajima i pružanja boljih usluga korisnicima [15].

1) Pametni uređaji

Pametni kućni uređaji čine mrežu sofisticiranih kućanskih aparata, senzora, aktuatora, prekidača i drugih komponenti. Predstavljaju unaprijeđene verzije tradicionalnih uređaja i nude funkcionalnosti kao što su automatizacija svakodnevnih zadataka, mogućnost daljinskog upravljanja kućnim sustavima te sposobnost reagiranja na promjene u okolini. Dizajnirani su za interakciju s okolinom kako bi prikupljali informacije i slali ih centralnoj jedinici pametnog doma, istovremeno primajući upute za upravljanje i izvršavanje zadataka [16] [17].

Senzori su ključni elementi u sustavima pametnih kuća jer omogućuju prikupljanje i prijenos podataka iz okoline prema drugim uređajima, kao i obavješavanje o važnim promjenama i događajima. Njihova primarna funkcija je osigurati točne i pravovremene informacije koje omogućuju sustavima da reagiraju na promjene u okruženju i pokrenu specifične automatizirane procese. Pored prikupljanja podataka, senzori često uključuju mogućnosti analize informacija. Napredne metode obrade podataka, koje uključuju algoritme strojnog učenja i tehnologiju umjetne inteligencije, omogućuju senzoru da interpretira podatke. Ova analiza u stvarnom vremenu omogućuje sustavima pametnih kuća da prepoznaju obrasce u ponašanju, anticipiraju potrebe korisnika i automatski prilagode rad uređaja kako bi poboljšali učinkovitost i udobnost [18].

Aktuatori su uređaji odgovorni za pretvaranje digitalnih ili električnih signala u fizičke radnje. Njihova uloga je izvršavanje unaprijed definiranih scenarija prilagođenih korisnikovim potrebama. Mogu se podijeliti u dvije glavne kategorije: oni koji upravljaju napajanjem i oni koji obavljaju specifične mehaničke funkcije. U prvu kategoriju spadaju uređaji, poput pametnih utičnica, utikača te prekidača, koji omogućuju sustavu pametne kuće upravljanje napajanjem različitih kućnih uređaja. U drugu kategoriju spadaju različite vrste elektromotora koji obavljaju specifične mehaničke funkcije, kao što su otvaranje vrata, podizanje i spuštanje roleta, upravljanje ventilacijskim sustavima ili prilagodba položaja prozora [18].

2) Pametno čvorište

Pametno čvorište, koje djeluje kao „mozak“ i centralna jedinica pametne kuće, igra ključnu ulogu u sustavu kućne automatizacije. Jedna od ključnih sposobnosti je pohranjivanje velikih količina podataka i njihova obrada u stvarnom vremenu. Ima integrirani računalni sustav i podržava povezivanje s raznovrsnim pametnim uređajima unutar doma. Prima i izvršava naredbe ili automatizirane radnje koje korisnik šalje putem glasovnih naredbi, mobitela ili drugih uređaja. Služi kao ključna pristupna točka za vanjska sučelja, omogućujući korisnicima nadzor i upravljanje pametnim uređajima bez obzira na to gdje se nalaze. Pametni uređaji mogu se spojiti na čvorište putem žičnih ili bežičnih tehnologija [15].

Koristi različite ulaze i komunikacijske protokole kako bi uspostavio vezu između svih uređaja u sustavu. Jedna od njegovih glavnih funkcija je prevođenje različitih protokola komunikacije, omogućujući nesmetanu interakciju među uređajima različitih proizvođača. Također, provodi autentifikaciju uređaja. Korisnici mogu zatražiti informacije o statusu uređaja ili poslati upravljačke naredbe putem interneta čime se omogućava upravljanje domom i izvan granica lokalne mreže. Može biti samostalan uređaj ili integriran u druge uređaje, kao što su pametni zvučnici ili zasloni [16].

Postoje različite topologije kućnih mreža koje se razlikuju prema načinu povezivanja uređaja i ulozi čvorišta u prijenosu informacija. U centraliziranoj topologiji, jedno čvorište prima informacije od svih senzora i sučelja te šalje naredbe uređajima, no kvar čvorišta može uzrokovati prekid rada mreže. U decentraliziranoj topologiji, više čvorišta raspoređenih širom mreže koordinira rad sustava čime se povećava robusnost jer kvar jednog čvorišta utječe samo na dio mreže. Distribuirana topologija ne koristi čvorišta jer senzori i uređaji imaju integrirane funkcije čvorišta te izravno komuniciraju. Hibridna topologija kombinira elemente centralizirane, decentralizirane i distribuirane strukture, s mogućnošću korištenja jednog centralnog ili više decentraliziranih čvorišta, dok sučelja, senzori i uređaji mogu međusobno prosljeđivati informacije i djelovati kao čvorišta [19].

3) Uređaji za daljinsko upravljanje

Upravljački sustavi omogućuju korisnicima daljinski nadzor i upravljanje različitim pametnim uređajima i sustavima. Također, omogućuju dodavanje novih uređaja, pružaju informacije o trenutnom stanju povezanih uređaja i senzora te nude alate za stvaranje automatiziranih scena. Mobilne i web aplikacije na pametnim telefonima, tabletima i računalima te glasovni asistenti, kao što su Alexa, Google Assistant i Siri, omogućuju korisnicima interakciju s uređajima u pametnim domovima [20].

4) Komunikacijski protokoli

Protokol predstavlja skup standarda i pravila koja definiraju način komunikacije između uređaja unutar pametnog doma. Djeluje kao jezik uređaja, osiguravajući da uređaji mogu pouzdano i sigurno međusobno razmjenjivati informacije. Primarna svrha protokola za pametnu kuću je osigurati interoperabilnost i kompatibilnost između uređaja različitih proizvođača [21].

Komunikacija može biti žična ili bežična, a komunikacijske tehnologije mogu se kategorizirati prema njihovim karakteristikama poput raspona, brzine prijenosa, frekvencije, energetske učinkovitosti, standarda i sigurnosnih karakteristika. Žični sustavi kućne automatizacije nude veću pouzdanost i poboljšanu sigurnost zahvaljujući stabilnoj komunikaciji putem kabela, dok istovremeno imaju veći trošak i zahtijevaju složeniju instalaciju. S druge strane, bežični sustavi su ekonomičniji i fleksibilniji, omogućujući jednostavniju instalaciju i lakše prilagođavanje postojećoj mreži, ali s nižom pouzdanošću i sigurnošću zbog potencijalnih smetnji i mogućnosti neovlaštenog pristupa [22] [23].

i. Žični sustavi kućne automatizacije

Žični sustav kućne automatizacije podrazumijeva međusobno povezivanje svih uređaja i centralne jedinice putem kabela. Implementacija žične kućne automatizacije zahtijeva detaljno planiranje i preciznu instalaciju, uključujući građevinske radove za ugradnju kabela unutar kuće. Ovaj pristup je posebno pogodan prilikom izgradnje ili renoviranja kuće, jer omogućuje integraciju ožičenja s postojećim električnim sustavom [23].

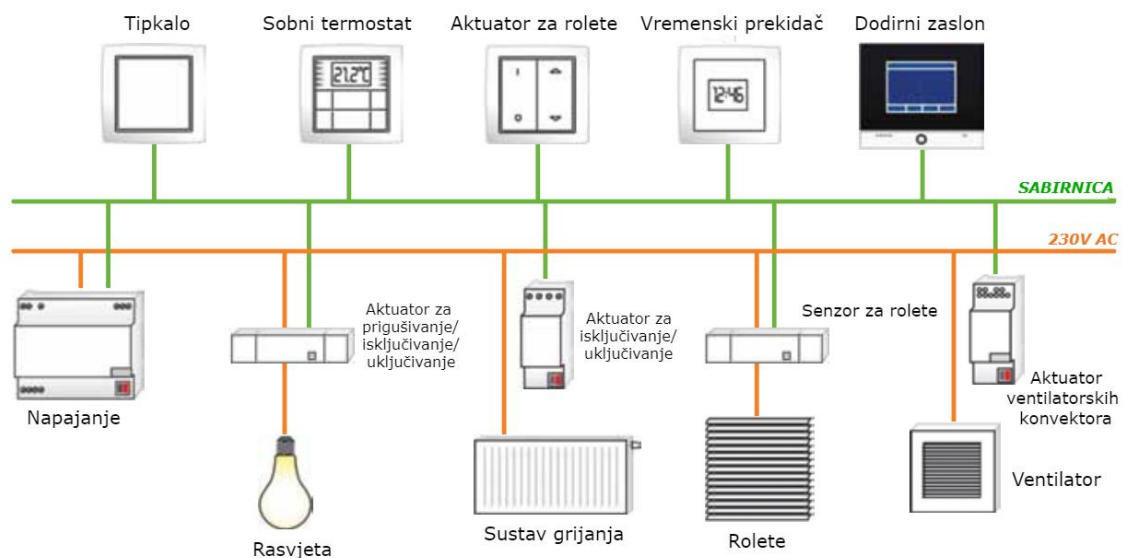
- **KNX**

KNX je otvoreni komunikacijski standard za automatizaciju domova i zgrada koji koristi zajedničku sabirničku mrežu. Ova tehnologija omogućuje svim uređajima u sustavu da koriste istu metodu za prijenos podataka i međusobnu razmjenu informacija putem sabirničkog sustava. Ključna karakteristika KNX sabirničkog sustava je njegova decentralizirana struktura što znači da ne zahtijeva centralnu jedinicu. Glavna prednost decentralizirane strukture je u tome što prekidi u radu utječu samo na funkcije povezane s pogođenim uređajem, dok ostatak sustava ostaje operativan [24].

Komunikacija između uređaja u KNX sustavu može se ostvariti korištenjem različitih komunikacijskih medija:

1. KNX TwistedPair (KNX TP) - komunikacija putem upletene parice (sabirnice)
2. KNX Powerline (KNX PL) - komunikacija putem postojeće 230V električne mreže
3. KNX Radio Frequency (KNX RF) - komunikacija putem radio signala
4. KNX IP - komunikacija putem Ethernet-a

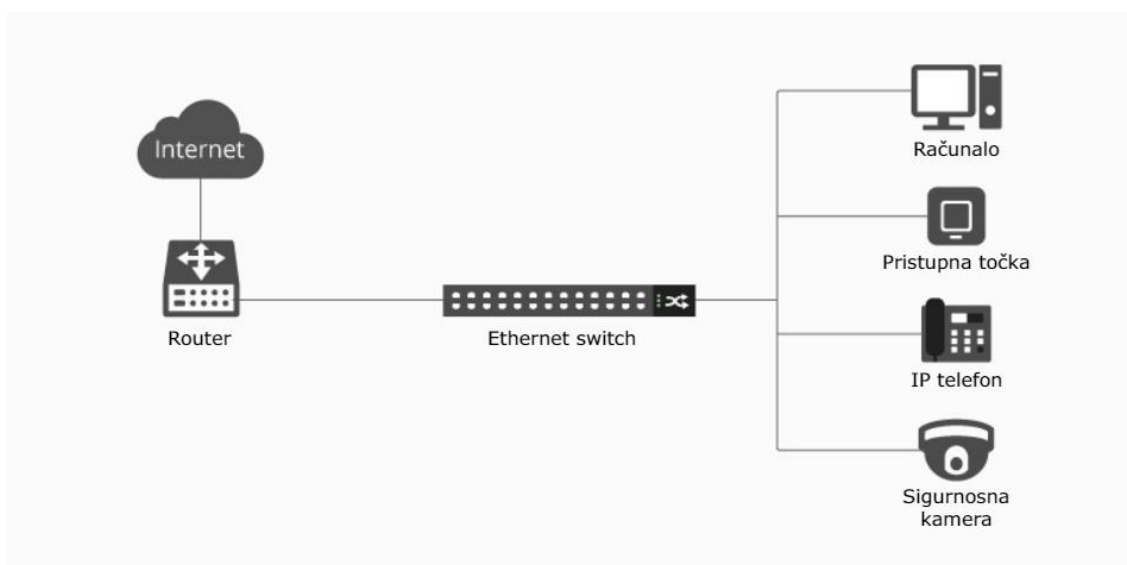
U KNX sustavu, uređaji se mogu podijeliti u tri kategorije: sistemski uređaji (napajanja, programska sučelja), senzori (detekcija događaja u zgradi) i aktuatori (primanje i izvršavanje naredbi). Senzori pretvaraju detektirane događaje u podatkovne pakete i šalju ih duž sabirnice, dok aktuatori primaju te podatke i izvršavaju odgovarajuće radnje.



Slika 3.2. Tipična KNX sabirnička mreža [25]

- **Ethernet**

Ethernet je žična komunikacijska tehnologija koja se široko koristi za lokalne mreže, koristeći upletene parice i optičke kabele za prijenos podataka velikom brzinom prema standardu IEEE 802.3. Ethernet pruža stabilnu i robusnu vezu za pametne kućne uređaje, a zbog velike propusnosti prikladan je za uređaje koji zahtijevaju brzu i pouzdanu internetsku vezu poput pametnih televizora, igračih konzola i uređaja za internetski prijenos, kao i za uređaje koji rade unutar lokalne mreže poput računala i pisača. Također, Ethernet minimizira rizik od mrežnih smetnji, osiguravajući stabilnu komunikaciju između uređaja. Iako Ethernet ne pruža visoku razinu sigurnosti za pametne kućne sustave, osigurava siguran prijenos podataka putem drugih protokola koji rade preko Etherneta [21].

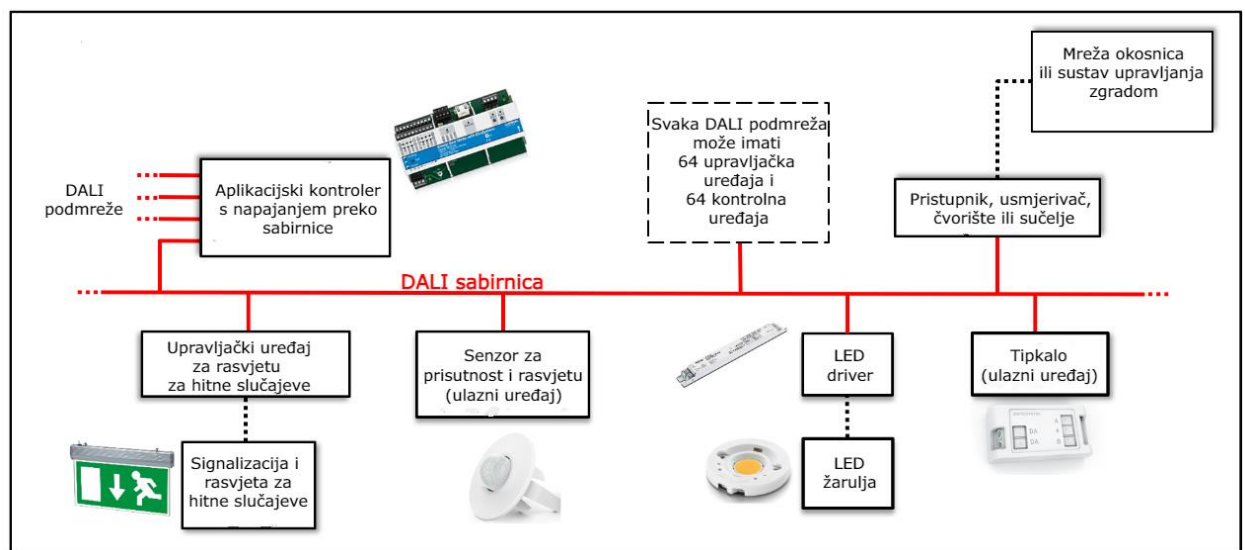


Slika 3.3. Povezivanje uređaja putem Etherneta [26]

- **DALI (eng. *Digital Addressable Lighting Interface*)**

DALI je specijalizirani protokol za digitalno upravljanje rasvjetom koji omogućuje jednostavnu instalaciju robusnih, skalabilnih i fleksibilnih rasvjetnih mreža. DALI-2 standard donosi brojne nadogradnje, uključujući nove naredbe i značajke te kontrolne uređaje, uz bolju interoperabilnost u odnosu na prethodnu verziju. DALI omogućuje ključne značajke poput upravljanja, konfiguracije i ispitivanja uređaja preko 2-žilne sabirnice, gdje se napajanje i podaci prenose istim parom žica. Dvosmjerna komunikacija omogućava uređajima prijavljivanje kvarova ili pružanje statusnih informacija, a sustav podržava individualno, grupno i emitirano adresiranje uređaja, izvođenje unaprijed programiranih scena te fleksibilnu rekonfiguraciju putem softvera. Svaki upravljački uređaj može pohraniti do 16 scena. Maksimalna duljina kabela (udaljenost između najudaljenijih uređaja) je 300 m, dok sabirnica pruža 16 V i do 250 mA [27].

Ključne komponente DALI-2 sustava uključuju upravljačke uređaje, kontrolne uređaje i napajanje za sabirnicu. Upravljački uređaji, poput LED drivera, osiguravaju napajanje izvorima svjetlosti. Kontrolni uređaji podijeljeni su na aplikacijske kontrolere, koji koriste informacije, donose odluke i šalju naredbe upravljačkim uređajima, te ulazne uređaje poput senzora svjetla, prisutnosti i tipkala te uređaja koji omogućuju korisnički unos. Napajanja za sabirnicu osiguravaju energiju potrebnu za DALI komunikaciju. DALI-2 proizvodi mogu integrirati više funkcija poput aplikacijskog kontrolera s integriranim napajanjem za sabirnicu. Svaka podmreža podržava 64 upravljačka uređaja i 64 kontrolna uređaja [27].



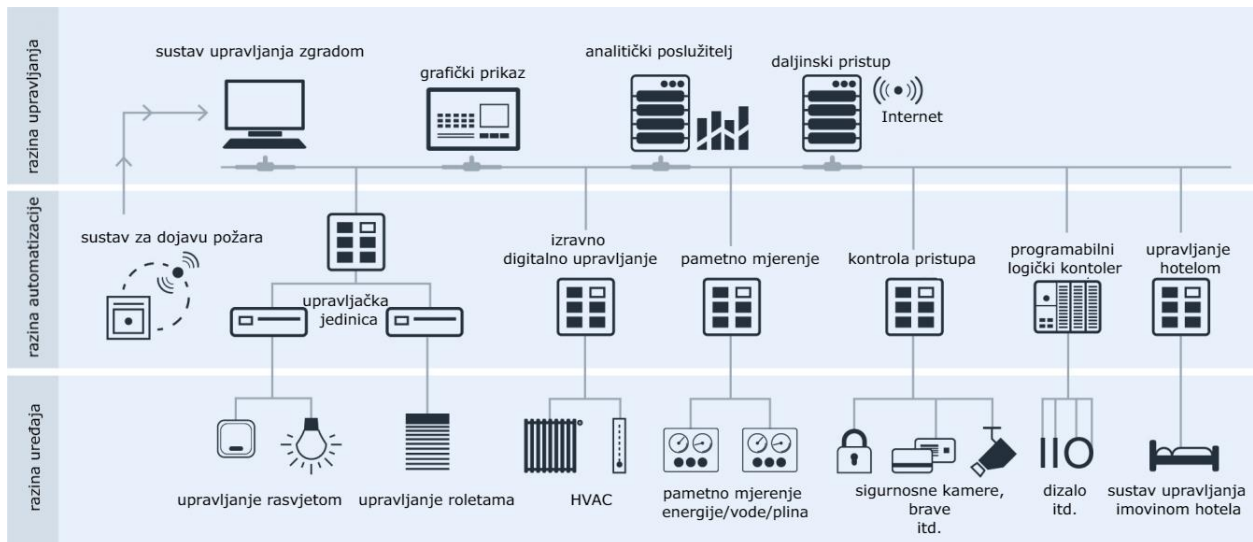
Slika 3.4. Primjer DALI sustava [27]

- **BACnet (eng. *Building Automation and Control Network*)**

BACnet je međunarodni standard za podatkovnu automatizaciju zgrada i upravljačke mreže. Uključuje specifičnu podršku za aplikacije automatizacije zgrada, uključujući sustave za grijanje, ventilaciju, klimatizaciju (HVAC), rasvjetu, kontrolu pristupa, dizala, sigurnosne sustave i sustave za detekciju požara. Omogućuje mrežnu infrastrukturu neovisnu o proizvođaču čime se postiže interoperabilnost među uređajima i sustavima u širokom spektru aplikacija za automatizaciju zgrada. BACnet definira komunikacijske poruke, formate i pravila za razmjenu podataka, naredbi i statusnih informacija, što omogućava međusobno djelovanje različitih sustava [28].

BACnet Secure Connect (BACnet/SC) je dodatak BACnet protokolu, koji uvodi siguran i šifriran komunikacijski podatkovni sloj za prijenos podataka. Dizajniran je da zadovolji zahtjeve, pravila i ograničenja IP infrastruktura. Zbog svoje šifrirane prirode, posebno je prikladan za aplikacije s visokim zahtjevima za kibernetičku sigurnost, poput vojnih i vladinih objekata, ali i za industrijske

procesu i proizvodne pogone visoke vrijednosti. Radi u osnovi isto što i BACnet/IP i MS/TP, odnosno prenosi informacije i naredbe između uređaja. Ključna razlika je u tome što BACnet/SC šifrira podatke, omogućujući da samo uređaji s odgovarajućim enkripcijskim ključevima mogu pristupiti sadržaju poruka [28].



Slika 3.5. BACnet mreža na primjeru zgrade hotela [28]

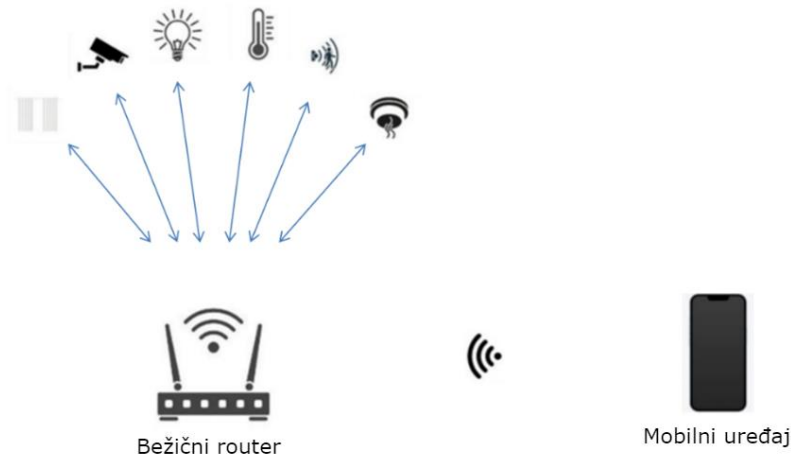
ii. Bežični sustavi kućne automatizacije

Alternativa žičnoj kućnoj automatizaciji su bežični sustavi, gdje samo centralna jedinica može biti povezana putem kabela, dok su svi ostali uređaji međusobno i na centralnu jedinicu povezani putem bežičnih tehnologija kao što su Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee i Z-Wave. Ovaj sustav može funkcionirati na dva načina: putem autonomne centralne jedinice ili izravnog povezivanja s kućnim usmjerivačem. U prvom scenariju, uređaji komuniciraju putem namjenske bežične mreže kao što su Zigbee ili Z-Wave, dok se u potonjem slučaju uređaji spajaju na kućni usmjerivač za komunikaciju putem Wi-Fi mreže [23].

- **Wi-Fi**

Wi-Fi, kao bežična komunikacijska tehnologija, omogućuje uređajima povezivanje s mrežom putem radiovalova. Temelji se na standardu IEEE 802.11 i djeluje na frekvencijskim pojasevima od 2,4 GHz do 5 GHz, a u novijim verzijama koristi i šire pojaseve, uključujući 6 GHz. Ova tehnologija je široko podržana i izrazito svestrana što je čini prikladnim za širok raspon pametnih uređaja. Pruža široku pokrivenost omogućujući uređajima da se povežu s različitih mjesta unutar doma. Također, Wi-Fi nudi dovoljnu propusnost za uređaje koji zahtijevaju prijenos velikih količina podataka poput internetskog prijenosa. Međutim, može uzrokovati smetnje uređajima koji

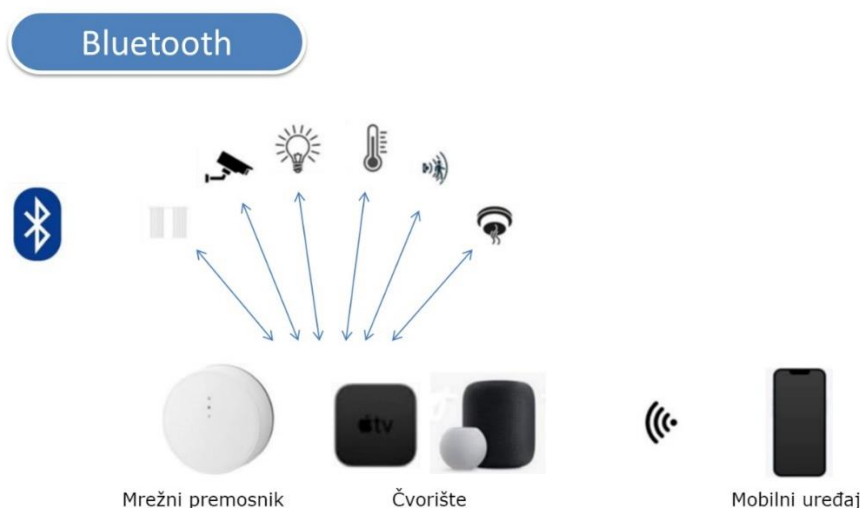
koriste različite frekvencije, a prepreke poput zidova ili namještaja mogu oslabiti signal i smanjiti pokrivenost. Također, uređaji koji koriste Wi-Fi troše više energije u usporedbi s protokolima niske potrošnje što ih čini manje pogodnima za pametne uređaje s baterijskim napajanjem. Što se tiče sigurnosti, Wi-Fi koristi WPA2 i WPA protokole šifriranja za zaštitu podataka, no sigurnost mreže također ovisi o jakim lozinkama i redovitim ažuriranjima softvera koja otklanjaju ranjivosti [21].



Slika 3.6. Primjer Wi-Fi povezivanja uređaja [29]

- **Bluetooth/Bluetooth Low Energy (BLE)**

Bluetooth i BLE su tehnologije bežične komunikacije namijenjene uređajima male snage. Rade u frekventijskom pojasu od 2,4 GHz, omogućujući bežični prijenos i prijem podataka na kratkim udaljenostima. Niska potrošnja energije čini ih čestim izborom za pametne uređaje s baterijskim napajanjem. Omogućuju učinkovit prijenos podataka i podržavaju izravnu komunikaciju između uređaja. Ograničenja poput kratkog dometa čine ih manje prikladnima za uređaje koji zahtijevaju široku pokrivenost ili velike brzine prijenosa podataka. Što se tiče sigurnosti, Bluetooth i BLE koriste AES-CCM enkripciju za zaštitu podataka, ali je važno osigurati da su uređaji i softver ažurirani radi sprječavanja potencijalnih sigurnosnih ranjivosti [21].



Slika 3.7. Primjer Bluetooth povezivanja uređaja [29]

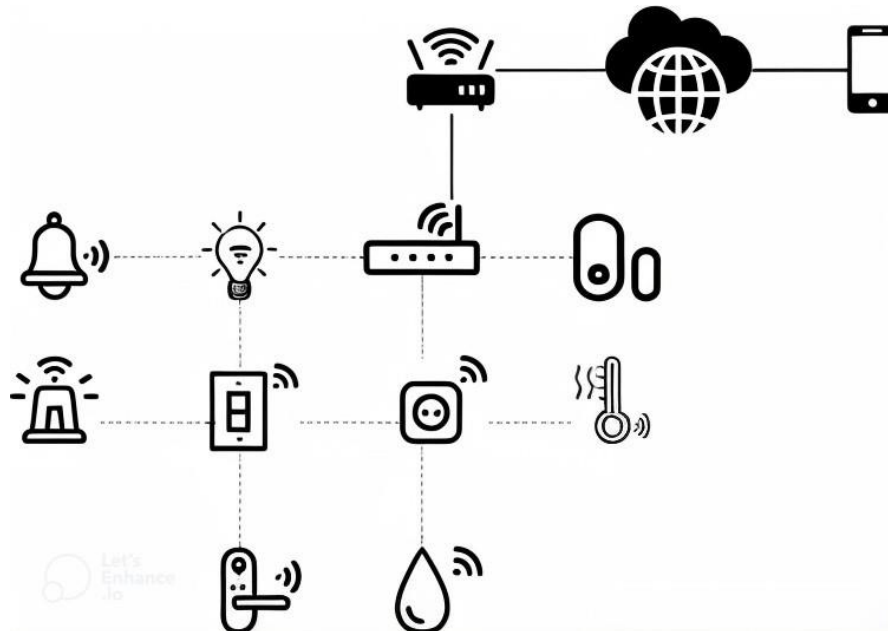
- **Zigbee**

Zigbee je bežični komunikacijski protokol niske potrošnje namijenjen jeftinim uređajima s kratkim dometom. Radi u frekvencijskom pojasu od 2,4 GHz i koristi mrežnu topologiju isprepletenih veza (eng. *mesh network topology*) koja omogućuje uređajima da djeluju kao čvorovi čime se proširuje pokrivenost mreže. U slučaju kvara čvora, mreža se automatski rekonfigurira i održava vezu s preostalim čvorovima. Zigbee se ističe kao pogodan za pametne kuće zahvaljujući niskoj potrošnji energije i sposobnosti mrežnog umrežavanja. Međutim, ograničen raspon Zigbee-ja može ga učiniti manje prikladnim za veće domove ili prostore s brojnim fizičkim barijerama. Proširenje pokrivenosti može zahtijevati dodatne Zigbee usmjerivače ili repetitore što može povećati troškove i složenost mreže. Koristi standard AES-128, uz redovita ažuriranja softvera [21].

- **Z-Wave**

Z-Wave je bežični komunikacijski protokol koji radi na frekvencijskom pojasu ispod 1 GHz pružajući pouzdanu i sigurnu komunikaciju među uređajima. U Z-Wave mreži, uređaji formiraju mrežnu topologiju isprepletenih veza čime se povećava pokrivenost i osigurava kontinuitet veze čak i u slučaju kvara pojedinih čvorova. Uređaji djeluju kao repetitori što povećava pouzdanost i domet mreže, omogućujući preusmjeravanje signala kroz druge dostupne rute u slučaju problema s pojedinim uređajem. Z-Wave, zbog energetske učinkovitosti, široko je primjenjiv u područjima kao što su pametna rasvjeta, sigurnosni sustavi i pametni termostati. Međutim, kao vlasnički

protokol, Z-Wave može imati ograničenu kompatibilnost s uređajima drugih proizvođača. Kada je riječ o sigurnosti, Z-Wave koristi AES-128 enkripciju i podržava dvosmjernu autentifikaciju između uređaja kako bi osigurao da samo ovlašteni uređaji mogu pristupiti mreži. Također, osigurava stalnu sigurnost putem OTA ažuriranja (eng. *over-the-air*) [21].



Slika 3.8. Topologija Zigbee i Z-Wave protokola [30]

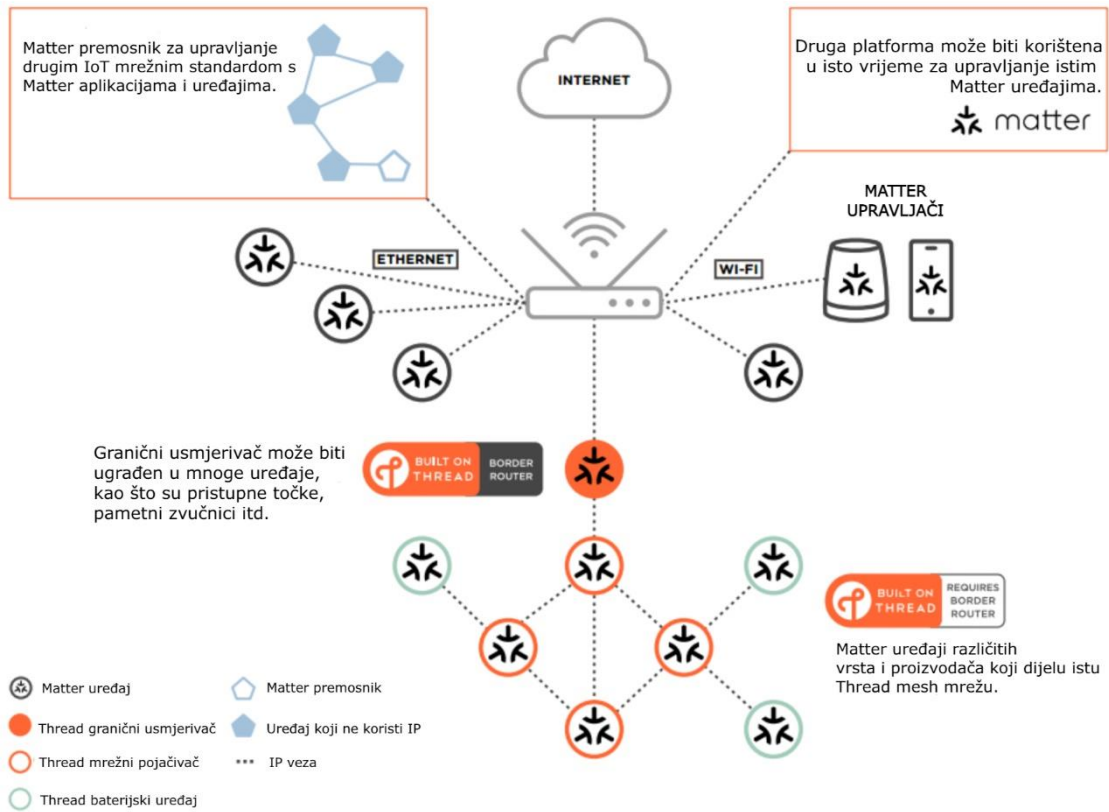
- **Matter**

Matter je standard otvorenog koda za pametne uređaje koji koriste bežične komunikacijske protokole. Temelji se na IPv6 što ga čini univerzalnim rješenjem koje se lako integrira s već postojećim Wi-Fi mrežama. Podržava rad preko Thread-a, Wi-Fi-ja i Ethernet-a, omogućujući komunikaciju između različitih protokola i osiguravajući kompatibilnost uređaja unutar pametne kuće. Međutim, korištenje Matter protokola zahtijeva certifikat od Connectivity Standards Alliance (CSA), dok se zaštita korisničkih podataka osigurava kroz AES-128 enkripciju i redovita OTA ažuriranja [21].

- **Thread**

Thread je bežični komunikacijski protokol koji koristi IPv6 i frekvenciju od 2,4 GHz, a temelji se na mrežnoj topologiji isprepletenih veza. Osigurava skalabilnost pametnih kućnih sustava, omogućujući jednostavno dodavanje novih uređaja u mrežu. Pruža energetska učinkovitost što ga čini prikladnim za uređaje s baterijskim napajanjem. Također, podržava sigurnu i pouzdanu komunikaciju unutar pametne kuće. Ipak, ima manju dostupnost uređaja u usporedbi s raširenijim

protokolima kao što su Wi-Fi ili Zigbee. Što se tiče sigurnosti, Thread uključuje sigurnosne mehanizme koji štite uređaje od neovlaštenih napada i curenja podataka, dok redovita OTA ažuriranja poboljšavaju softver i pomažu u prevenciji sigurnosnih prijetnji [21].



Slika 3.9. Topologija mreže s Matter i Thread protokolima [31]

4. SUSTAV UPRAVLJANJA ENERGIJOM U KUĆANSTVU

Praćenje potrošnje energije u pametnoj kući ima značajnu ulogu u smanjenju ukupnih troškova električne energije. Analiza snage i potrošnje energije ovisi o različitim faktorima poput broja električnih uređaja i kućanskih aparata, njihove nominalne snage, obrazaca korištenja i mjera za uštedu energije.

Efikasnost potrošnje i energetska učinkovitost ključne su za optimizaciju troškova električne energije. Inovacije u energetske učinkovitim uređajima, kao i napredni sustavi upravljanja energijom te obnovljivi izvori energije, značajno utječu na poboljšanje energetske učinkovitosti i doprinose održivijem načinu života.

4.1. Definicija sustava upravljanja energijom u kućanstvu

Sustav upravljanja energijom u kućanstvu HEMS (eng. *Home Energy Management System*) digitalni je sustav za učinkovito nadziranje, upravljanje te optimiziranje proizvodnje, pohrane i potrošnje energije u kućanstvima. Koristi napredne tehnologije poput napredne mjerne infrastrukture AMI (eng. *Advanced Metering Infrastructure*), pametnog prikupljanja podataka i inteligentne interakcije s uređajima unutar kućne mreže. HEMS integrira mrežu kućnih uređaja, uključujući pametna brojila, utičnice, prekidače, kućanske aparate i interaktivna sučelja u jedan centralizirani sustav. Jedan od ključnih aspekata HEMS-a je prilagodba rada sustava na temelju različitih parametara, kao što su cijena energije, meteorološki uvjeti, obrasci opterećenja te individualne postavke i preferencije korisnika [32] [33].

AMI je napredna komunikacijska platforma koja omogućuje dvosmjernu interakciju između pametne mreže i pametnih kuća. AMI koristi napredne tehnologije za mjerenje i prikupljanje podataka o potrošnji energije, omogućujući korisnicima praćenje potrošnje u stvarnom vremenu. Sastoji se od tri glavne komponente, a to su pametna brojila, komunikacijska mreža te sustav za prikupljanje i upravljanje podacima unutar elektroenergetske mreže. Ove komponente zajedno čine jedinstvenu platformu koja ne samo da omogućuje upravljanje potrošnjom energije, već i automatizaciju distribucije, uključujući otkrivanje i lokalizaciju kvarova, zaštitu i izolaciju sustava, poboljšanje energetske učinkovitosti i daljinsko upravljanje [33] [34].

Pametna mreža predstavlja napredni električni sustav koji koristi podatkovnu mrežu za učinkovitu integraciju svih aspekata proizvodnje i potrošnje, osiguravajući niske troškove i visoku sigurnost. Omogućuje dvosmjernu komunikaciju između distribucijskih poduzeća i krajnjih korisnika, čime se omogućava ne samo prijenos energije, već i prijenos podataka u stvarnom vremenu. Pametna mreža povećava fleksibilnost električne mreže kroz napredne tehnike praćenja te upravljanja ponude i potražnje, što može rezultirati snižavanjem ukupne potrošnje električne energije i povećanjem pouzdanosti opskrbe [35].

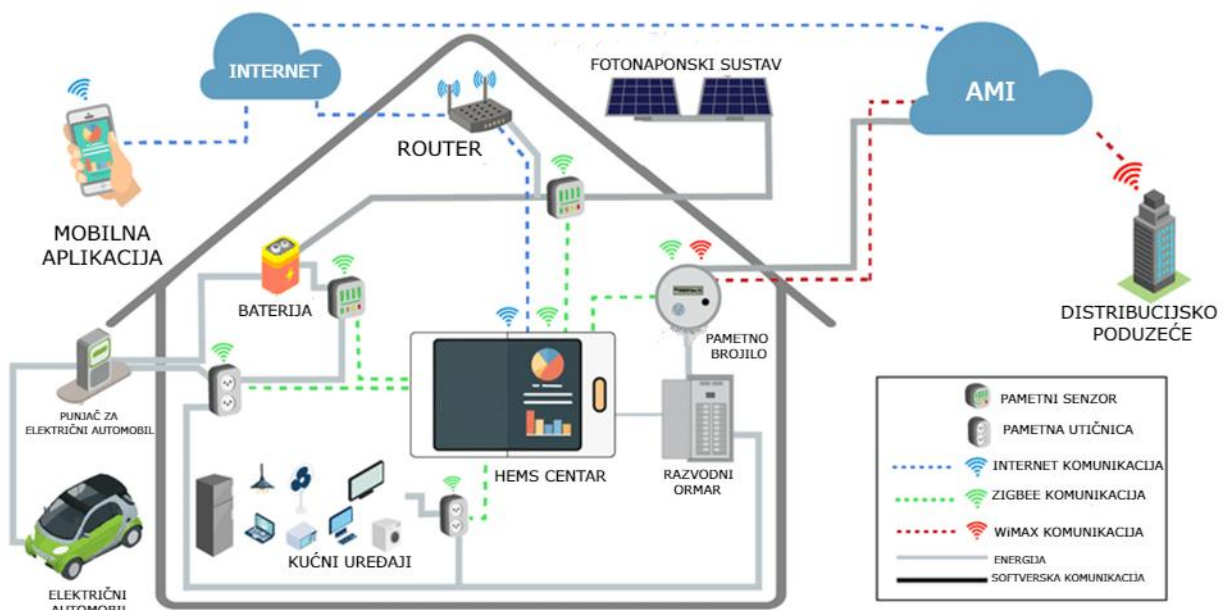
Pametna brojila su ključni elementi pametnih mreža, igrajući ključnu ulogu u upravljanju potražnjom i podržavajući sustave za upravljanje energijom u kućanstvu koji optimiziraju raspodjelu energije u pametnim kućama na temelju informacija o cijenama energije [35].

Rješenja mrežnih operatora, kao što su odgovor na potražnju, upravljanje potražnjom, smanjenje vršnih opterećenja i premještanje opterećenja, doprinijela su potrebi za sveobuhvatnim i inteligentnim sustavima upravljanja energijom u kućanstvima.

Upravljanje potražnjom DSM (eng. *Demand Side Management*) ključna je komponenta pametne mreže koja se definira kao prilagodba obrazaca potrošnje korisnika kako bi se postigle željene promjene u krivulje opterećenja elektroenergetskih sustava. Pomaže distribucijskim poduzećima i operatorima mreže smanjiti vršno opterećenje i izravnati profile potrošnje korisnika, što mrežu čini održivijom i doprinosi smanjenju ukupnih operativnih troškova te smanjenju potreba za izgradnjom novih proizvodnih kapaciteta. Glavni cilj DSM-a je uravnotežiti ponudu i potražnju u elektroenergetskim sustavima kroz primjenu strategija za smanjenje troškova električne energije, dinamičnih tarifa i programa odgovora na potražnju temeljenih na poticajima [36].

4.2. Arhitektura sustava upravljanja energijom u kućanstvu

Sustav upravljanja energijom u kućanstvu u osnovi se sastoji od komunikacijske infrastrukture, pametnog brojila, HEMS centra i kućnih uređaja. HEMS centar komunicira s pametnim utičnicama povezanim s različitim uređajima u pametnoj kući. Istovremeno, komunicira s pametnim mrežama putem pametnog brojila. Prema podacima o cijenama električne energije, HEMS centar korisniku nudi mogućnosti za optimizaciju potrošnje i ostvarivanje ušteda. Arhitektura sustava upravljanja energijom u kućanstvu prikazana je na slici 4.1.



Slika 4.1. Arhitektura sustava upravljanja energijom u kućanstvu [37]

HEMS centar, koji se često naziva i "mozak" pametne kuće za upravljanje električnom energijom, igra ključnu ulogu u sustavu upravljanja energijom. Prikuplja informacije o potrošnji električne energije i statusu uređaja. Koristi napredne algoritme za analizu podataka o potrošnji i statusu te za optimizaciju potrošnje električne energije u kući. Centralizira upravljanje nad svim aspektima energetske potrošnje u domu, omogućujući potrošačima upravljanje sigurnosnim kamerama, sustavima grijanja, ventilacije i klimatizacije (HVAC), perilicama rublja i drugim uređajima. Upravljanje se obavlja putem korisničkih sučelja kao što su mobilne aplikacije ili web portali. HEMS centar može se integrirati s vanjskim elektroenergetskim mrežama i sustavima za upravljanje energijom, omogućujući daljinsko upravljanje i prilagodbu energetske potrošnje u skladu s vanjskim uvjetima, kao što su promjene u cijenama energije ili dostupnost obnovljivih izvora energije [34] [38].

Pametna brojila su robusni uređaji za mjerenje, pohranu, obradu i prijenos podataka o potrošnji električne energije. Njihova primarna funkcija je osigurati redovito i precizno mjerenje koje služi osnovnoj svrsi pametne mreže, a to je snižavanje nepotrebne potrošnje i snižavanje potražnje tijekom vršnih sati. Dok konvencionalna brojila služe isključivo za mjerenje potrošene energije, pametna brojila pružaju dodatne informacije kao što su ukupno harmonijsko izobličenje (THD), frekvencija, kvaliteta električne energije, vrijeme vršnog opterećenja i podaci za specifične vremenske intervale. Osim prijenosa podataka o potrošnji energije, omogućuju i napredno upravljanje pametnim uređajima putem dvosmjerne komunikacije, što korisnicima i operaterima omogućuje daljinsko uključivanje ili isključivanje određenih uređaja u kućanstvu. Također, podržavaju implementaciju dinamičkih tarifa električne energije, komunikaciju s uređajima povezanim na sustav upravljanja energijom te otkrivanje i sprječavanje gubitaka energije i neovlaštenih zahvata, uključujući krađu energije. U nekim zemljama, pametna brojila koriste se u sustavima pretplaćenog mjerenja, gdje korisnici unaprijed plaćaju određeni iznos koji im omogućuje korištenje energije dok se taj iznos ne potroši. Druga opcija je funkcija upozorenja koja omogućuje pametnim brojilima da se programiraju za praćenje određenih potrošnih limita, te obavještavaju korisnike kada je taj limit dosegnut [34].

Kućanski aparati i uređaji, poput klima uređaja, perilica rublja, sušilica, hladnjaka, štednjaka, perilica posuđa, punjača za električna vozila, termostata, prekidača, utičnica i sigurnosnih kamera, nude mogućnosti nadzora i upravljanja putem uređaja za daljinsko upravljanje. Razni kućni uređaji i sustavi za pohranu energije mogu se temeljito analizirati i modelirati prema njihovim karakteristikama i načinu korištenja [17] [38].

Kako bi se implementirali optimalne strategije za koordinirano upravljanje uređajima, pametni uređaji mogu se podijeliti u dvije osnovne kategorije:

1) Nefleksibilni uređaji

Uređaji čiji rad ne može biti prekinut ili odgođen bez značajnog utjecaja na funkcionalnost koju pružaju. Dijele su u dvije glavne kategorije. Prva kategorija obuhvaća uređaje koji su "uvijek uključeni" ili u "stanju pripravnosti", kao što su hladnjaci, internetski usmjerivači, modemi, telefoni, senzori i telefonske sekretarice. Drugu kategoriju čine uređaji koji moraju raditi u točno određenim vremenskim razdobljima i ne mogu se premještati u druga razdoblja, poput osobnih računala, televizora, rasvjete i pisaača [39].

2) Fleksibilni uređaji

Uređaji čiji se rad može prilagoditi različitim vremenskim razdobljima. Mogu se rasporediti za optimalan rad i uključiti ili isključiti prema potrebi. Primjeri uključuju perilice rublja, perilice posuđa, sušilice za rublje, klima uređaje, glačala i električna vozila. Prema kontinuitetu vremena rada, mogu se podijeliti na neprekinute i prekinute. Nепреkinuti uređaji, poput perilice rublja, moraju neprekidno raditi tijekom radnog ciklusa. Prekinuti uređaji, poput usisavača, mogu se pauzirati tijekom rada [39].

4.3. Odgovor na potražnju

Programi odgovora na potražnju DRP (eng. *Demand Response Programs*) omogućuju korisnicima sudjelovanje u radu elektroenergetskih mreža snižavanjem ili prilagodbom svoje potrošnje energije kao odgovor na promjene cijena električne energije ili druge financijske poticaje tijekom razdoblja visokih veleprodajnih cijena ili kada je pouzdanost sustava ugrožena. Takvi programi imaju za cilj pomoći elektroenergetskim sustavima tijekom vršne potražnje ili u nepredviđenim situacijama. Glavna razlika između DSM-a i DR-a je u tome što se DSM provodi na strani distribucijskog poduzeća, dok se DR primjenjuje i na strani distribucijskog poduzeća i na strani potrošača, odvojeno ili zajedno, kako bi se postiglo minimalno vršno opterećenje i troškovi električne energije. DRP-ovi se dijele na programe temeljene na poticajima i programe temeljene na cijenama [35] [36].

Programi temeljeni na poticajima IBDR (eng. *Incentive Based Demand Response*) podrazumijevaju ugovor između korisnika i distribucijskog poduzeća prema kojem korisnici daju određeni stupanj ovlasti distribucijskom poduzeću za izravno upravljanje, smanjenje ili prekid opterećenja u zamjenu za financijske poticaje ili naknade na računu. Postoje fiksni ili vremenski promjenjivi poticaji uz posebna ograničenja za daljinsko upravljanje potrošačkim uređajima [35] [36].

- Izravno upravljanje opterećenjem: Distribucijsko poduzeće daljinski upravlja ili privremeno isključuje električnu opremu korisnika.
- Program prekida potrošnje: Korisnici se obvezuju sniziti potrošnju energije u kratkom roku što obično uključuje periode visoke potražnje ili opterećenja mreže.
- Program licitiranja potražnje: Kupci nude ponude snižene potrošnje temeljene na veleprodajnim cijenama na tržištu električne energije.

- Program za hitne slučajeve: Korisnici reaguju na hitne signale vezane uz pouzdanost elektroenergetskog sustava kao što su rizici po stabilnost mreže, nestašica energije ili prekidi u opskrbi.
- Program tržišta kapaciteta: Korisnici preuzimaju obvezu pružanja podrške mreži u slučaju kvarova ili drugih sustavnih problema izazvanih nedostatkom kapaciteta.
- Tržište pomoćnih usluga: Usluge potpore elektroenergetskom sustavu koje su nužne za održavanje kvalitete energije i pouzdanosti sustava. Može uključivati regulaciju napona, regulaciju frekvencije i osiguranje rezervi na strani potražnje.

Programi temeljeni na cijenama PBDR (eng. *Price Based Demand Response*) nude dinamičke cijene električne energije koje potiču potrošače da prilagode fleksibilna opterećenja prema različitim vremenskim razdobljima kako bi iskoristili povoljnije cijene te smanjili račune za električnu energiju. U praksi, programi temeljeni na cijenama obično više odgovaraju kućanstvima od programa temeljenim na poticajima [35] [36].

- Tarifno određivanje prema vremenu korištenja ToUP (eng. *Time of Use Pricing*):

Tarifno određivanje prema vremenu korištenja je sustav koji prilagođava cijene električne energije prema različitim vremenskim blokovima tijekom dana. Dan je obično podijeljen na tri bloka: vršni, srednje vršni i izvan vršni. U vršnim razdobljima, cijena električne energije je najviša pa je trošak električne energije najviši tijekom vršnih sati. Stoga se potrošače potiče da snize potrošnju u vršnim satima i preusmjere je na srednje vršne ili izvan vršne sate kako bi se postigao ravnomjerniji profil opterećenja na elektroenergetskoj mreži [36].

- Tarifno određivanje u stvarnom vremenu RTP (eng. *Real Time Pricing*):

Tarifno određivanje u stvarnom vremenu je sustav u kojem se cijene električne energije dinamički mijenjaju ovisno o satu ili danu što izravno utječe na potrošnju korisnika tijekom razdoblja visoke potražnje. RTP se može podijeliti u dva sustava: tarifno određivanje dan unaprijed i tarifno određivanje po satu. U tarifnom određivanju dan unaprijed, distribucijsko poduzeće korisnicima objavljuje cijene za sljedeći dan, dok se u tarifnom određivanju po satu cijena mijenja iz sata u sat i prati profil opterećenja [36].

- Tarifno određivanje kritičnih vrhunaca CPP (eng. *Critical Peak Pricing*):

Tarifno određivanje kritičnih vrhunaca je sustav u kojem distribucijska poduzeća primjenjuju više cijene električne energije tijekom kritičnih vršnih događaja, dok ostatak sezone nude popuste na standardne cijene. Ovaj sustav je sličan tarifnom određivanju prema vremenu korištenja.

Distribucijska poduzeća primjenjuju različite pristupe u oblikovanju svojih programa, od definiranja kritičnog vršnog događaja, broja takvih događaja u godini, do određivanja dodatnih troškova za potrošnju električne energije tijekom kritičnih vrhunaca, kao i visine standardnog popusta. Kritična razdoblja obično se proglašavaju tijekom ljetnih mjeseci (od lipnja do rujna) kada se očekuje visoka potražnja ili manjak opskrbe električnom energijom [40].

- Progresivne blokovne tarife IBR (eng. *Inclining Block Rate*):

U IBR-u, cijene električne energije su podijeljene u nekoliko blokova, pri čemu cijene rastu svakim sljedećim blokom, odnosno povećanjem potrošnje. Prvi blok potrošnje naplaćuje se po najnižoj cijeni, a kako potrošnja raste, prelazi se na skuplje blokove koji se naplaćuju po višim cijenama. Postupak se primjenjuje do kraja mjeseca, a početkom sljedećeg mjeseca IBR se ponovno postavlja na početnu cijenu prvog bloka. Na primjer, prvih 50 kWh može biti naplaćeno po cijeni od 2 jedinice, sljedećih 50 kWh po cijeni od 2,5 jedinice, i tako redom [36].

4.4. Distribuirani izvori energije u pametnim kućama

Distribuirani izvori energije DER (eng. *Distributed Energy Resources*) predstavljaju male energetske jedinice koje proizvode, pohranjuju ili troše energiju, uključujući fotonaponske sustave, električna vozila, baterije i dizalice topline. Povezivanje različitih jedinica s mrežom i međusobno predstavlja značajan izazov zbog niza proizvođača, protokola i sustava koji obično međusobno ne komuniciraju. Kako bi se u potpunosti iskoristio potencijal svake jedinice, nužno je osigurati njihovu međusobnu povezanost. Tehnologije Interneta stvari nude rješenja za besprijekornu komunikaciju između mreže i distribuiranih izvora energije [41].

Pametni fotonaponski sustavi kombiniraju fotonaponske module s naprednom tehnologijom kako bi optimizirali proizvodnju i korištenje energije. Za razliku od tradicionalnih sustava, koji prvenstveno proizvode električnu energiju, pametni fotonaponski sustavi uključuju dodatne komponente koje omogućuju inteligentno upravljanje energijom, čime se optimizira potrošnja energije u stvarnom vremenu i postiže maksimalna ušteda troškova. Pametni sustavi za nadzor solarne energije korisnicima pružaju tehnološko rješenje koje omogućuje praćenje i upravljanje radom fotonaponskih modula te ukupnom potrošnjom energije u stvarnom vremenu. Obično se sastoje od nadzornih uređaja ili softvera koji pružaju detaljne informacije o proizvodnji solarne energije, potrošnji energije u kućanstvu i učinkovitosti sustava. Kako bi se povećala funkcionalnost i učinkovitost, pametni fotonaponski moduli koriste napredne tehnologije poput ugrađenih senzora, mikroprocesora i komunikacijskih modula. Ove tehnologije omogućuju

praćenje proizvodnje energije, temperature i performansi modula u stvarnom vremenu što omogućuje pravovremeno održavanje i optimizaciju rada sustava. Fotonaponski moduli mogu se neprimjetno integrirati s raznim pametnim kućnim sustavima, a ova integracija omogućuje maksimalno iskorištavanje solarne energije optimizacijom proizvodnje, pohrane i korištenja energije uz smanjenje ovisnosti o elektroenergetskoj mreži. Pametni kućni uređaji, sustavi za pohranu energije, uređaji za nadzor i upravljanje energijom te pametne mreže mogu komunicirati s fotonaponskim modulima kako bi optimizirali potrošnju energije, povećali vlastitu potrošnju solarne energije i doprinijeli učinkovitijem te održivijem energetsom sustavu [42].

Kućni sustav za pohranu energije omogućuje prikupljanje i pohranu električne energije proizvedene iz različitih izvora, poput fotonaponskih modula, vjetroturbina ili elektroenergetske mreže, tijekom razdoblja niske potražnje. Višak proizvedene energije pohranjuje se u baterije tijekom razdoblja visoke proizvodnje ili niske potrošnje. Pohranjena energija koristi se kasnije u kućanstvima, smanjujući ovisnost o mreži i povećavajući učinkovitost korištenja vlastite energije. Tipični kućni sustavi za pohranu energije mogu napajati ključne uređaje kao što su svjetla, hladnjaci te sustavi grijanja i hlađenja, dok veći sustavi za pohranu baterija mogu podržati energetske zahtjevnije uređaje poput punjača za električna vozila. Postoje različite vrste baterija za pohranu energije, uključujući litij-ionske, olovne, baterije na bazi nikla i protočne baterije. Njihovi kapaciteti variraju ovisno o tehnologiji, konfiguraciji sustava i potrebama kućanstva, a mogu skladištiti od nekoliko kilovat-sati (kWh) do nekoliko desetaka kWh energije. Sustavi nadzora kontinuirano prate razine energije i obrasce potrošnje, omogućujući korisnicima optimizaciju korištenja energije. Korisnici mogu birati između korištenja pohranjene energije, obnovljivih izvora, električne mreže ili čak prodaje viška energije natrag u mrežu. Uštede ostvarene kroz sustave za pohranu energije ovise o nekoliko čimbenika, uključujući veličinu sustava, obrasce potrošnje energije u kućanstvu, cijene električne energije i dostupne poticaje [43] [44].

Električna vozila EV (eng. *Electric Vehicle*) su posebna vrsta pametnih uređaja zbog svoje sposobnosti pohrane energije. Integracija punjenja električnih vozila s pametnim sustavima kuće ne samo da omogućuje automatizirano punjenje, već i značajno doprinosi upravljanju energijom i optimizaciji. Sustavi pametnih kuća omogućuju korisnicima da prilagode punjenje električnih vozila prema vlastitim željama, optimizirajući troškove iskorištavanjem povoljnijih tarifa električne energije, programa odgovora na potražnju ili sustava upravljanja energijom. Također, omogućuju integraciju punjenja s obnovljivim izvorima energije, poput fotonaponskih modula, kao i koordiniranje punjenja vozila s kućnim baterijskim sustavima. Dodatno, omogućuju praćenje statusa punjenja u stvarnom vremenu, pružajući podatke o razini baterije, brzini punjenja i

predviđenom vremenu dovršetka punjenja. Kroz mobilne aplikacije korisnici mogu daljinski nadzirati i upravljati punjenjem, mijenjati postavke i primiti obavijesti o završenom punjenju te biti pravovremeno obaviješteni u slučaju problema. Postoje dvije vrste punjenja EV-a: jednosmjerno i dvosmjerno. Kod jednosmjernog punjenja, električna energija se prenosi iz električne mreže u vozilo, što je poznato kao Grid-to-Vehicle (G2V), a može biti nekontrolirano i kontrolirano. Kod nekontroliranog punjenja, mreža nema nadzor nad ciklusima punjenja, dok je kod kontroliranog punjenja, proces usklađen s drugim potrošačima kako bi se minimiziralo opterećenje u razdobljima vršne potrošnje. Kontrolirano punjenje može biti ručno, gdje korisnik bira vrijeme punjenja, ili automatsko, gdje sustav upravljanja energijom u kućanstvu odlučuje o optimalnom trenutku za punjenje. Dvosmjerno punjenje omogućava EV-ima rad u različitim načinima, uključujući Grid-to-Vehicle (G2V), Vehicle-to-Grid (V2G), Vehicle-to-Home (V2H) i Vehicle-to-Building (V2B). U ovim načinima rada, EV može ne samo puniti bateriju, već i isporučivati energiju natrag u mrežu ili napajati kuću ili zgradu [32] [45].

Dizalice topline su uređaji koji koriste geotermalnu toplinu, podzemnu vodu ili okolni zrak za grijanje i hlađenje. Suvremene dizalice topline, zahvaljujući tehnološkim inovacijama, postižu veću energetska učinkovitost u usporedbi s tradicionalnim sustavima grijanja. Kompresori s promjenjivom brzinom, koji prilagođavaju rad potrebama kućanstva, snižavaju potrošnju energije i produžuju vijek trajanja sustava. Pametni termostati, integrirani s dizalicama topline, omogućuju daljinsko upravljanje temperature, automatski prilagođavaju postavke na temelju obrazaca korištenja i optimiziraju korištenje energije na temelju popunjenosti prostora te vremenske prognoze. Mogućnost višestupanjskog grijanja i hlađenja, omogućuje rad s različitim kapacitetima i održavanje dosljedne temperature, sprječavajući rad sustava punim kapacitetom kada to nije potrebno. Zonska kontrola, koja omogućuje podjelu prostora na različite zone s individualnim postavkama temperature, dodatno poboljšava udobnost i energetska učinkovitost, a posebno je korisna za veće kuće s više katova. Pametne kuće često povezuju dizalice topline s fotonaponskim modulima i sustavima za pohranu energije, čime maksimiziraju energetska učinkovitost i održivost [46] [47].

5. KUPAC KORISNIK POSTROJENJA ZA SAMOOPSKRBU

Prema Zakonu o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji (NN 138/21), 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“ [48].

Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji (NN 83/2023) primjenjuje se od 1. siječnja 2024. za sve postojeće i nove korisnike te ostaje na snazi do 31. prosinca 2025. Krajnji kupci s vlastitom proizvodnjom, prema izmijenjenom članku 51., smatraju se korisnicima postrojenja za samoopskrbu, a korisnik postrojenja za samoopskrbu zadržat će svoj status čak i ako u kalendarskoj godini isporuči više električne energije nego što je preuzeo [49].

Prema Zakonu [49], opskrbljivači električne energije obavezni su preuzimati 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
2. ostvarili su pravo na trajno priključenje na elektroenergetsku mrežu, za proizvodna postrojenja koja se smatraju jednostavnim građevinama
3. ukupna priključna snaga svih proizvodnih postrojenja na jednom obračunskom mjernom mjestu ili više mjernih mjesta u višestambenoj zgradi ili zajednici obnovljivih izvora energije u slučaju više obračunskih mjernih mjesta ne prelazi 500 kW
4. krajnji kupac s priključnom snagom manjom od 20 kW može instalirati proizvodno postrojenje najviše do snage 20 kW
5. krajnji kupac s priključnom snagom većom od 20 kW može instalirati proizvodno postrojenje najviše do snage svojeg priključka
6. krajnji kupac s vlastitom proizvodnjom ili korisnik postrojenja za samoopskrbu isporučuje električnu energiju preko istog obračunskog mjernog mjesta preko kojeg kupuje električnu energiju od opskrbljivača odnosno preko obračunskog mjernog mjesta koje se nalazi na priključku višestambene zgrade

7. krajnji kupac s vlastitom proizvodnjom ili korisnik postrojenja za samoopskrbu vodi podatke o proizvedenoj električnoj energiji i isporučenoj električnoj energiji.

Preuzimanje električne energije od krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom ili korisnika postrojenja za samoopskrbu uređuje se ugovorom o opskrbi koji sklapaju opskrbljivač i krajnji kupac s vlastitom proizvodnjom ili korisnik postrojenja za samoopskrbu. Ovaj ugovor obavezno uključuje odredbe o preuzimanju viškova električne energije, odnosno energije proizvedene povrh potrošene na obračunskom mjernom mjestu [49].

Opskrbljivač električne energije u svakom obračunskom razdoblju izdaje račun krajnjem kupcu kategorije kućanstva za razliku između preuzete i isporučene električne energije (kWh) u svakoj tarifi, kao i za razliku između isporučene i preuzete električne energije (kWh) od strane krajnjeg kupca s vlastitom proizvodnjom. Ove količine koriste se za obračun dijela cijene koji se regulira za troškove prijenosa i distribucije električne energije, svih naknada te poreznih i drugih davanja. Obračunsko razdoblje iznosi jedan kalendarski mjesec [49].

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

- za bijeli tarifni model:

$$C_{iVT} = 0,8 \cdot C_{pVT} \text{ za višu tarifu (VT)} \quad (5-1)$$

$$C_{iNT} = 0,8 \cdot C_{pNT} \text{ za nižu tarifu (NT)} \quad (5-2)$$

- za plavi tarifni model:

$$C_{iJT} = 0,8 \cdot C_{pJT} \text{ za jedinstvenu tarifu (JT)} \quad (5-3)$$

gdje je:

C_{pVT} – cijena ukupne električne energije preuzete iz mreže od strane krajnjeg kupca unutar obračunskog razdoblja, za vrijeme trajanja više dnevne tarife, izražena u EUR/kWh

C_{pNT} – cijena ukupne električne energije preuzete iz mreže od strane krajnjeg kupca unutar obračunskog razdoblja, za vrijeme trajanja niže dnevne tarife, izražena u EUR/kWh

C_{pJT} – cijena ukupne električne energije preuzete iz mreže od strane krajnjeg kupca unutar obračunskog razdoblja, za vrijeme trajanja jedinstvene 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

$CiJT$ – cijena ukupne električne energije isporučene u mrežu od strane proizvodnog postrojenja u vlasništvu EUR/kWh.

**Za izračun otkupne cijene u obzir se uzima cijena električne energije preuzete iz mreže od strane krajnjeg kupca bez naknada za korištenje mreže te drugih naknada i poreza, unutar obračunskog razdoblja.*

Cijene električne energije za opskrbu kupaca iz kategorije kućanstvo iznose [50]:

| Tarifni model | JT (EUR/kWh) | VT (EUR/kWh) | NT (EUR/kWh) |
|---------------|--------------|--------------|--------------|
| bijeli | - | 0,074789 | 0,036697 |
| plavi | 0,070276 | - | - |

Prema Zakonu [49], otkupne cijene električne energije iznose:

- za bijeli tarifni model

$$VT = 0,8 \cdot 0,074789 = 0,059831 \text{ EUR/kWh}$$

$$NT = 0,8 \cdot 0,036697 = 0,029358 \text{ EUR/kWh}$$

- za plavi tarifni model

$$JT = 0,8 \cdot 0,070276 = 0,056221 \text{ EUR/kWh}$$

Uzmu li se u obzir troškovi korištenja distribucijske i prijenosne mreže koji čine ukupnu naknadu za korištenje mreže [50]:

| Tarifni model | JT (EUR/kWh) | VT (EUR/kWh) | NT (EUR/kWh) |
|---------------|--------------|--------------|--------------|
| bijeli | - | 0,051762 | 0,022563 |
| plavi | 0,041144 | - | - |

te naknada za poticanje proizvodnje iz obnovljivih izvora u iznosu od 0,013239 EUR/kWh, cijena električne energije preuzete iz mreže iznosit će:

- za bijeli tarifni model

$$VT = 0,074789 + 0,051762 + 0,013239 = 0,139790 \text{ EUR/kWh}$$

$$NT = 0,036697 + 0,022563 + 0,013239 = 0,072499 \text{ EUR/kWh}$$

- za plavi tarifni model

$$JT = 0,070276 + 0,041144 + 0,013239 = 0,124659 \text{ EUR/kWh}$$

Stoga, uzimajući u obzir naknadu za korištenje mreže te naknadu za poticanje proizvodnje iz obnovljivih izvora energije, možemo izračunati da otkupne cijene električne energije, u odnosu na cijene električne energije preuzete iz mreže, iznose 42,80% za višu tarifu, odnosno 40,49% za nižu tarifu te 50,96% za jedinstvenu tarifu.

**Sve navedene cijene električne energije nisu uvećane za iznos PDV-a (stopa 13%).*

5.1. Analiza troškova punjenja električnog automobila u kućanstvu

Kuća smještena u Osijeku opremljena je fotonaponskim sustavom vršne snage 5 kW, s ukupnom instaliranom snagom modula od 6,8 kW. Elektrana je namijenjena proizvodnji električne energije za potrebe kućanstva. Proizvedena energija fotonaponskog sustava primarno je usmjerena na pokrivanje potrošnje kućanstva i punjenje električnog automobila, dok višak proizvedene energije preuzima HEP ODS.

Cilj je odrediti optimalno vrijeme za punjenje električnog automobila tijekom jednog sunčanog i jednog oblačnog dana kako bi troškovi punjenja bili minimalni. Za procjenu financijske isplativosti punjenja automobila u različitim dijelovima dana i noći, razmatraju se 3 scenarija:

1. Scenarij: Punjenje električnog automobila tijekom dana maksimalnom snagom punjenja
2. Scenarij: Punjenje električnog automobila tijekom dana u trenucima kada proizvodnja fotonaponskog sustava premašuje potrošnju kućanstva
3. Scenarij: Punjenje električnog automobila tijekom noći maksimalnom snagom punjenja

Punjenje električnog automobila izmjeničnom strujom odvija se kroz tri faze, a to su: početno povećanje do maksimalne snage, faza konstantne snage i završna faza u kojoj se baterija približava punoj napunjenosti. U prvoj fazi (od početka punjenja do obično između 20% i 30% kapaciteta) baterija se puni najvećom strujom koju dopuštaju ugrađeni punjač i kućni punjač, uz postupno povećanje snage. Ugrađeni punjač unutar električnog automobila, koji pretvara izmjeničnu struju u istosmjernu, ograničava maksimalnu brzinu punjenja, pa se automobil na punjaču od 11 kW ne može puniti brže od toga. Druga faza, koja traje do postizanja određenog stanja napunjenosti SoC (eng. *State of Charge*), obično između 80% i 90%, održava konstantnu snagu punjenja. U završnoj fazi, kako se SoC povećava, snaga punjenja postupno se smanjuje, dok baterija ne bude potpuno napunjena, kako bi se zaštitila baterija i osigurala učinkovita apsorpcija energije. Održavanje razine napunjenosti baterije unutar raspona od 20% do 80% pridonosi očuvanju životnog vijeka i učinkovitosti baterije.

Automobil se puni trofaznim kućnim punjačem za električne automobile s maksimalnim kapacitetom punjenja od 11 kW, a za punjenje električnog automobila u razdoblju od 4 sata potrebno je 34,52 kWh. U tablici 5.1. prikazani su podaci o snazi punjača za svaku fazu, kao i ukupna snaga punjača te ukupna potrošnja električne energije u intervalima od 10 minuta.

Tablica 5.1. Podaci punjenja električnog automobila

| Vrijeme | P_L1 [W] | P_L2 [W] | P_L3 [W] | P_ukupno [W] | E_ukupno [Wh] |
|--------------|----------|----------|----------|--------------|---------------|
| 13:40:00.000 | 854,55 | 836,25 | 861,67 | 2.552,46 | 425,41 |
| 13:50:00.000 | 3.490,40 | 3.422,45 | 3.526,64 | 10.439,48 | 1739,91 |
| 14:00:00.000 | 3.491,83 | 3.425,02 | 3.531,74 | 10.448,59 | 1741,43 |
| 14:10:00.000 | 3.353,62 | 3.285,97 | 3.392,47 | 10.032,06 | 1672,01 |
| 14:20:00.000 | 3.448,48 | 3.377,55 | 3.487,78 | 10.313,80 | 1718,97 |
| 14:30:00.000 | 3.439,95 | 3.374,64 | 3.484,88 | 10.299,48 | 1716,58 |
| 14:40:00.000 | 3.440,61 | 3.368,26 | 3.479,55 | 10.288,42 | 1714,74 |
| 14:50:00.000 | 3.443,33 | 3.374,95 | 3.484,63 | 10.302,91 | 1717,15 |
| 15:00:00.000 | 3.438,67 | 3.373,85 | 3.481,33 | 10.293,85 | 1715,64 |
| 15:10:00.000 | 3.439,65 | 3.367,88 | 3.473,39 | 10.280,92 | 1713,49 |
| 15:20:00.000 | 3.437,46 | 3.369,66 | 3.469,22 | 10.276,33 | 1712,72 |
| 15:30:00.000 | 3.435,50 | 3.365,32 | 3.467,77 | 10.268,59 | 1711,43 |
| 15:40:00.000 | 3.433,43 | 3.365,78 | 3.470,91 | 10.270,12 | 1711,69 |
| 15:50:00.000 | 3.431,78 | 3.362,31 | 3.466,71 | 10.260,80 | 1710,13 |
| 16:00:00.000 | 3.431,35 | 3.360,75 | 3.467,21 | 10.259,32 | 1709,89 |
| 16:10:00.000 | 3.442,61 | 3.366,69 | 3.478,93 | 10.288,23 | 1714,70 |
| 16:20:00.000 | 3.384,73 | 3.310,44 | 3.418,65 | 10.113,82 | 1685,64 |
| 16:30:00.000 | 3.261,87 | 3.195,59 | 3.305,57 | 9.763,03 | 1627,17 |
| 16:40:00.000 | 1.442,95 | 1.418,77 | 1.513,41 | 4.375,13 | 729,19 |
| 16:50:00.000 | 1.445,49 | 1.420,29 | 1.512,51 | 4.378,29 | 729,72 |
| 17:00:00.000 | 1.443,49 | 1.421,70 | 1.513,68 | 4.378,88 | 729,81 |
| 17:10:00.000 | 1.408,09 | 1.384,65 | 1.477,48 | 4.270,22 | 711,70 |
| 17:20:00.000 | 1.450,43 | 1.425,07 | 1.515,35 | 4.390,84 | 731,81 |
| 17:30:00.000 | 1.448,66 | 1.429,19 | 1.517,76 | 4.395,61 | 732,60 |
| 17:40:00.000 | 1.374,04 | 1.355,43 | 1.445,87 | 4.175,34 | 695,89 |

Prema tarifnim stavkama za bijeli tarifni model, cijene električne energije preuzete iz mreže, uključujući troškove korištenja distribucijske i prijenosne mreže te naknadu za obnovljive izvore, iznose:

$$VT = 0,139790 \text{ EUR/kWh}$$

$$NT = 0,072499 \text{ EUR/kWh}$$

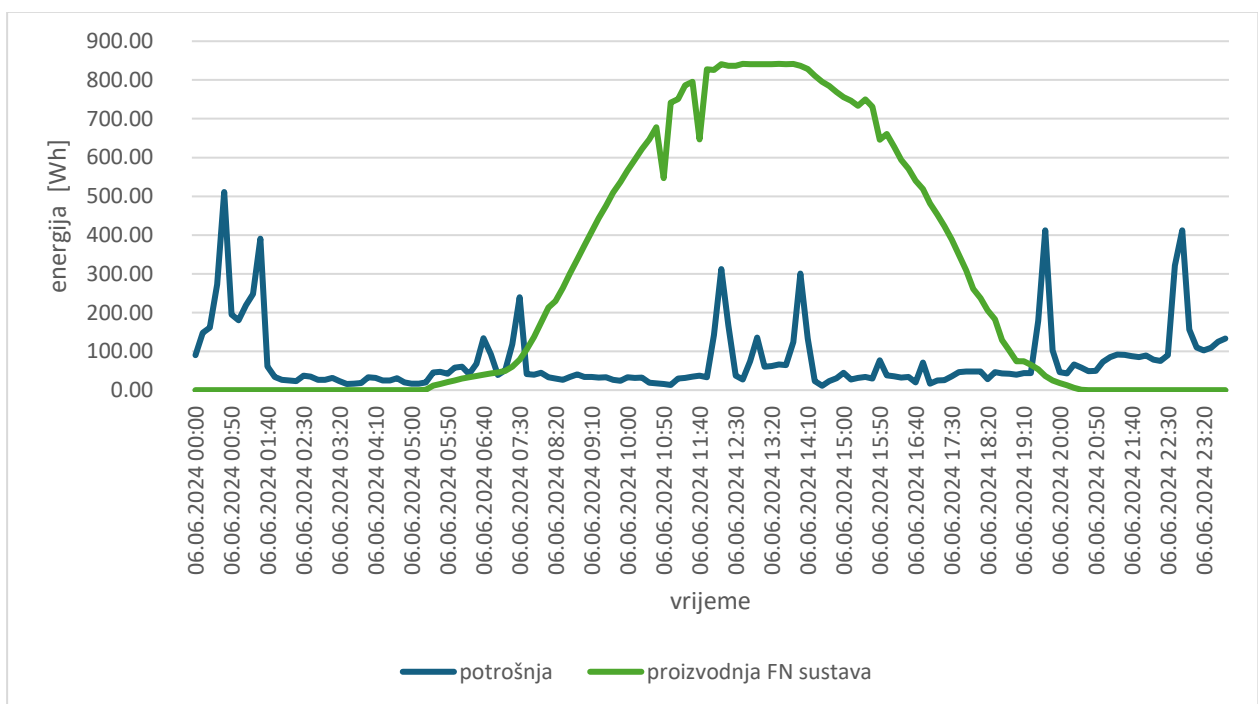
i sukladno odredbama Zakona [49], otkupne cijene viškova električne energije od krajnjih kupaca korisnika postrojenja za samoopskrbu iznose:

$$CiVT = 0,059831 \text{ EUR/kWh}$$

$$CiNT = 0,029358 \text{ EUR/kWh}$$

5.1.1. Sunčan dan (06. lipnja 2024.)

Odabran sunčan dan je 6. lipanj 2024., te se cijene više i niže tarife određuju prema ljetnom računanju vremena. Prema ovom rasporedu, viša tarifa je na snazi u razdoblju od 08:00 do 22:00, dok niža tarifa traje od 22:00 do 08:00. Na slici 5.1. prikazane su krivulje proizvodnje fotonaponskog sustava i potrošnje kuće za sunčan dan. Podaci o proizvodnji fotonaponskog sustava i potrošnji kućanstva prikupljeni su u intervalima od 10 minuta. Ukupna potrošnja energije za sunčan dan iznosi 11,06 kWh pri čemu je 5,10 kWh potrošeno za vrijeme više tarife, a 5,96 kWh za vrijeme niže tarife. Ukupna proizvodnja fotonaponskog sustava iznosi 39,86 kWh, pri čemu je tijekom više tarife proizvedeno 39,13 kWh, a za vrijeme niže tarife 0,73 kWh.

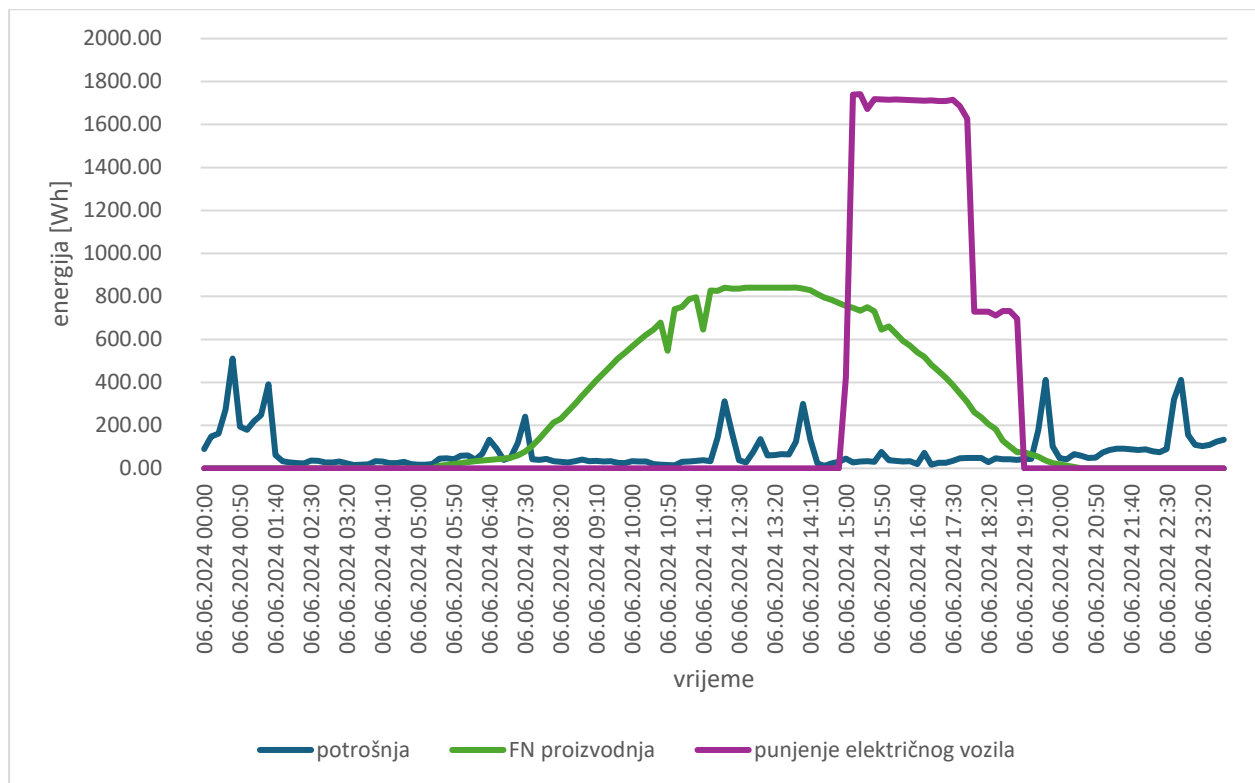


Slika 5.1. Potrošnja kuće i proizvodnja fotonaponskog sustava (sunčan dan)

Punjenje električnog automobila tijekom sunčanog dana analizirano je kroz tri različita slučaja:

1) Punjenje električnog automobila tijekom dana maksimalnom snagom punjenja

Na slici 5.2. prikazane su krivulje potrošnje kućanstva, proizvodnje fotonaponskog sustava i punjenja električnog automobila pri maksimalnoj snazi punjenja tijekom dana. Električni automobil se puni u razdoblju od 15:00 do 19:00 tijekom kojeg je potrošeno ukupno 34,52 kWh.



Slika 5.2. Punjenje električnog vozila tijekom dana maksimalnom snagom punjenja (sunčan dan)

Uz osnovnu potrošnju i punjenje automobila, u razdoblju više tarife, iz mreže je preuzeto 25,67 kWh, dok je u mrežu predano 25,18 kWh pa opskrba iznosi 0,49 kWh. Tijekom niže tarife, iz mreže je preuzeto 5,39 kWh, a predano 0,16 kWh pa opskrba iznosi 5,23 kWh.

Trošak električne energije u višoj tarifi iznosi:

$$0,49 \text{ kWh} \cdot 0,139790 \frac{\text{EUR}}{\text{kWh}} = 0,07 \text{ EUR}$$

dok u nižoj tarifi iznosi:

$$5,23 \text{ kWh} \cdot 0,072499 \frac{\text{EUR}}{\text{kWh}} = 0,38 \text{ EUR}$$

što daje ukupni trošak od:

$$0,07 \text{ EUR} + 0,38 \text{ EUR} = 0,45 \text{ EUR}$$

Uzme li se u obzir iznos PDV-a, ukupni trošak iznosi: $0,45 \text{ EUR} + 0,13 \cdot 0,45 \text{ EUR} = 0,51 \text{ EUR}$.

Ako pretpostavimo da će se isti obrazac troška električne energije održati tijekom cijelog mjeseca, mjesečni trošak bi iznosio:

$$0,45 \frac{\text{EUR}}{\text{dan}} \cdot 30 \text{ dana} = 13,50 \text{ EUR}$$

Uvećan za iznos PDV-a, mjesečni trošak bi iznosio:

$$13,50 \text{ EUR} + 0,13 \cdot 13,50 \text{ EUR} = 15,26 \text{ EUR}.$$

Dok bi za plavi tarifni model, rezultat bio sljedeći:

Uz osnovnu potrošnju i punjenje automobila, iz mreže je preuzeto 31,06 kWh, dok je u mrežu predano 25,34 kWh pa opskrba iznosi 5,72 kWh.

Trošak električne energije iznosi:

$$5,72 \text{ kWh} \cdot 0,124659 \frac{\text{EUR}}{\text{kWh}} = 0,71 \text{ EUR}$$

Uzme li se u obzir iznos PDV-a, ukupni trošak iznosi: $0,71 \text{ EUR} + 0,13 \cdot 0,71 \text{ EUR} = 0,80 \text{ EUR}$.

Ako pretpostavimo da će se isti obrazac troška električne energije održati tijekom cijelog mjeseca, mjesečni trošak bi iznosio:

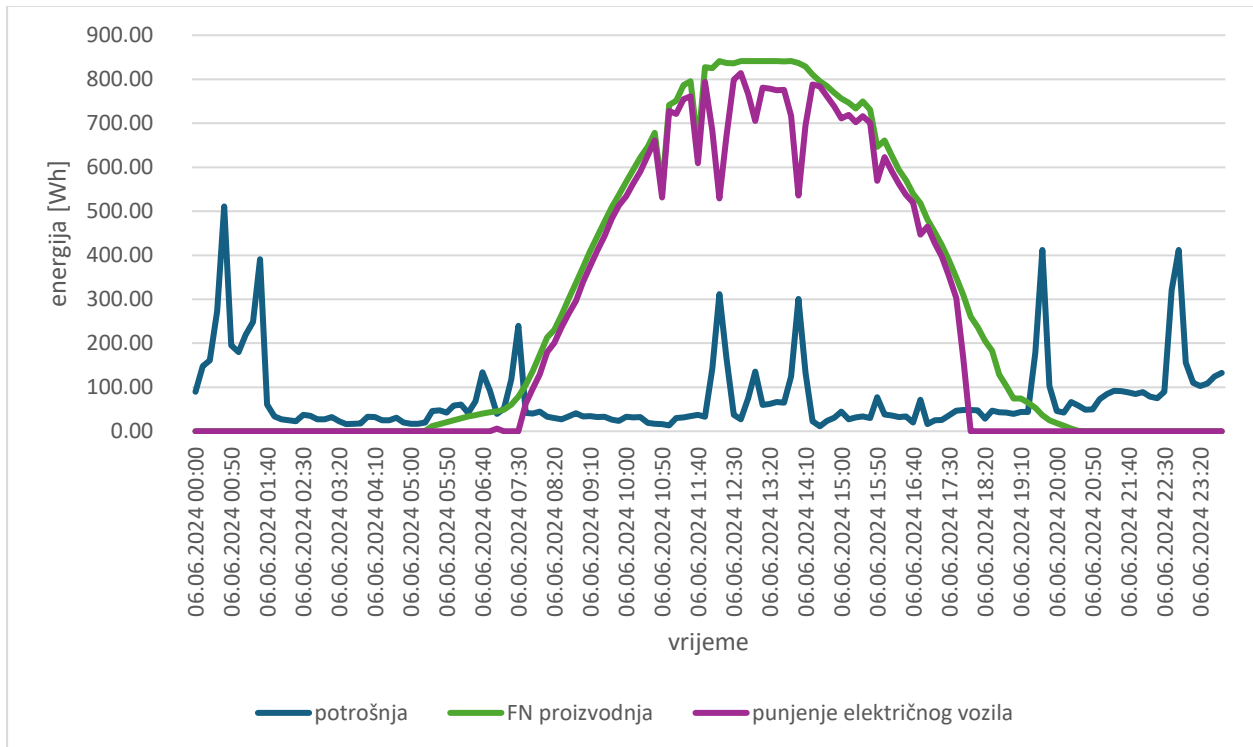
$$0,71 \frac{\text{EUR}}{\text{dan}} \cdot 30 \text{ dana} = 21,30 \text{ EUR}$$

Uvećan za iznos PDV-a, mjesečni trošak bi iznosio:

$$21,30 \text{ EUR} + 0,13 \cdot 21,30 \text{ EUR} = 24,07 \text{ EUR}.$$

2) Punjenje električnog automobila tijekom dana za razliku proizvodnje i potrošnje kućanstva

Na slici 5.3. prikazane su krivulje potrošnje kućanstva, proizvodnje fotonaponskog sustava i punjenja električnog automobila tijekom dana za razliku proizvodnje i potrošnje. Automobil se puni tijekom dana u trenucima kada je proizvodnja fotonaponskog sustava veća od trenutne potrošnje što omogućava maksimalno iskorištavanje proizvedene električne energije.



Slika 5.3. Punjenje električnog vozila tijekom dana za razliku proizvodnje i potrošnje (sunčan dan)

Uz osnovnu potrošnju i punjenje automobila, u periodu više tarife, iz mreže je preuzeto 1,37 kWh, a predano u mrežu 1,04 kWh pa opskrba iznosi 0,33 kWh. Tijekom niže tarife, iz mreže je preuzeto 5,39 kWh te predano 0,00 kWh čime opskrba iznosi 5,39 kWh.

Trošak električne energije u višoj tarifi iznosi:

$$0,33 \text{ kWh} \cdot 0,139790 \frac{\text{EUR}}{\text{kWh}} = 0,05 \text{ EUR}$$

dok u nižoj tarifi iznosi:

$$5,39 \text{ kWh} \cdot 0,072499 \frac{\text{EUR}}{\text{kWh}} = 0,39 \text{ EUR}$$

što daje ukupni trošak od:

$$0,05 \text{ EUR} + 0,39 \text{ EUR} = 0,44 \text{ EUR}$$

Uzme li se u obzir iznos PDV-a, ukupni trošak iznosi: $0,44 \text{ EUR} + 0,13 \cdot 0,44 \text{ EUR} = 0,50 \text{ EUR}$.

Pretpostavljajući isti trend troška električne energije za cijeli mjesec, mjesečni trošak bi iznosio:

$$0,44 \frac{\text{EUR}}{\text{dan}} \cdot 30 \text{ dana} = 13,20 \text{ EUR}$$

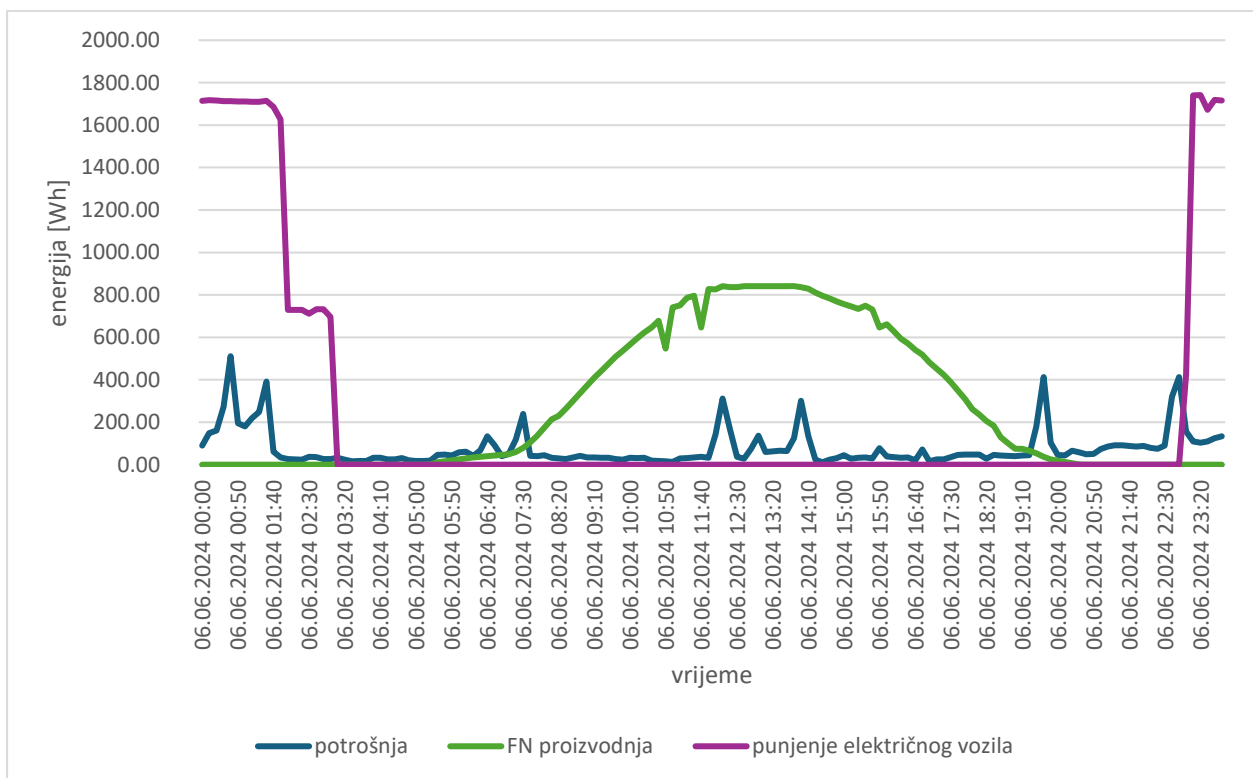
Uvećan za iznos PDV-a, mjesečni trošak bi iznosio:

$$13,20 \text{ EUR} + 0,13 \cdot 13,20 \text{ EUR} = 14,92 \text{ EUR}.$$

Tijekom dana, fotonaponska elektrana proizvela je dovoljno energije za punjenje baterije električnog automobila, pri čemu je bilo potrebno 34,52 kWh.

3) Punjenje električnog automobila tijekom noći maksimalnom snagom punjenja

Na slici 5.4. prikazane su krivulje potrošnje kućanstva, proizvodnje fotonaponskog sustava i punjenja električnog automobila maksimalnom snagom punjenja tijekom noći. Punjenje automobila odvija se od 23:00 do 03:00 za što je potrošeno 34,52 kWh.



Slika 5.4. Punjenje električnog vozila tijekom noći maksimalnom snagom punjenja (sunčan dan)

Uz osnovnu potrošnju kućanstva i punjenje automobila, u razdoblju više tarife, iz mreže je preuzeto 1,37 kWh, dok je u mrežu predano 35,40 kWh čime višak proizvodnje iznosi 34,03 kWh. Tijekom niže tarife iz mreže je preuzeto 39,91 kWh, a predano 0,16 kWh te je opskrba 39,75 kWh.

Zarada od otkupljene električne energije u višoj tarifi iznosi:

$$34,03 \text{ kWh} \cdot 0,059831 \frac{\text{EUR}}{\text{kWh}} = 2,04 \text{ EUR}$$

dok trošak u nižoj tarifi iznosi:

$$39,75 \text{ kWh} \cdot 0,072499 \frac{\text{EUR}}{\text{kWh}} = 2,88 \text{ EUR}$$

što daje ukupni trošak od:

$$2,88 \text{ EUR} - 2,04 \text{ EUR} = 0,84 \text{ EUR}$$

Uzme li se u obzir iznos PDV-a, ukupni trošak iznosi: $0,84 \text{ EUR} + 0,13 \cdot 0,84 \text{ EUR} = 0,95 \text{ EUR}$.

Pretpostavljajući isti trend troška električne energije za cijeli mjesec, mjesečni trošak bi iznosio:

$$0,84 \frac{\text{EUR}}{\text{dan}} \cdot 30 \text{ dana} = 25,20 \text{ EUR}$$

Uvećan za iznos PDV-a, mjesečni trošak bi iznosio:

$$25,20 \text{ EUR} + 0,13 \cdot 25,20 \text{ EUR} = 28,48 \text{ EUR}.$$

Tablica 5.2. prikazuje preuzete, isporučene i neto količine električne energije za punjenje električnog automobila u tri različita scenarija za sunčan dan. Najveći trošak punjenja električnog automobila od 0,95 EUR ostvaren je u trećem scenariju, gdje je automobil punjen maksimalnom snagom tijekom noći, kada je na snazi niža tarifa električne energije. Dok je najmanji trošak od 0,50 EUR ostvaren u drugom scenariju, u kojem je automobil punjen tijekom dana za razliku proizvodnje fotonaponskog sustava i potrošnje kućanstva, pri čemu proizvodnja fotonaponskog sustava pokriva svu potrebnu energiju za punjenje automobila.

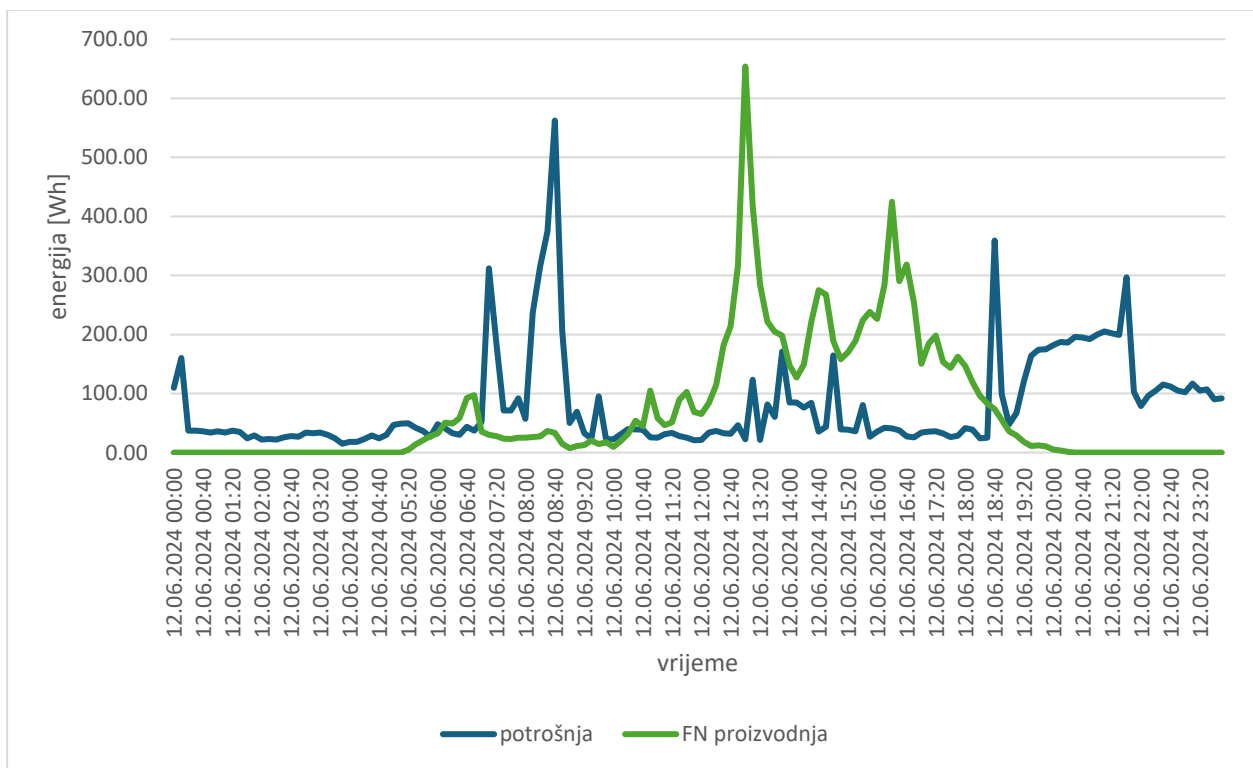
U prvom scenariju, automobil je punjen tijekom dana koristeći energiju iz fotonaponskog sustava, no punjenje nije optimalno usklađeno s trenucima kada postoji višak proizvedene energije. Zbog toga je potrebno nadoknaditi manjak energije kupnjom iz mreže što je dovelo do povećanja ukupnih troškova. U drugom scenariju, automobil je punjen u trenucima kada fotonaponski sustav generira višak energije. Na taj način, maksimalno je iskorištena dostupna solarna energija što je smanjilo ukupne troškove. U trećem scenariju, automobil je punjen noću kada fotonaponski sustav ne proizvodi energiju. Stoga se cjelokupna energija za punjenje mora kupiti iz mreže što, unatoč nižoj tarifi, uzrokuje veće troškove u odnosu na prethodne scenarije u kojima se koristila energija iz fotonaponskog sustava.

Tablica 5.2. Usporedba scenarija za sunčan dan

| scenarij | | VT | NT | ukupno |
|----------|----------------|-------|-------|--------|
| prvi | preuzeto (kWh) | 25,67 | 5,39 | 31,06 |
| | predano (kWh) | 25,18 | 0,16 | 25,34 |
| | opskrba (kWh) | 0,49 | 5,23 | 5,72 |
| | višak (kWh) | / | / | / |
| | trošak (EUR) | 0,08 | 0,43 | 0,51 |
| drugi | preuzeto (kWh) | 1,37 | 5,39 | 6,76 |
| | predano (kWh) | 1,04 | 0,00 | 1,04 |
| | opskrba (kWh) | 0,33 | 5,39 | 5,72 |
| | višak (kWh) | / | / | / |
| | trošak (EUR) | 0,06 | 0,44 | 0,50 |
| treći | preuzeto (kWh) | 1,37 | 39,91 | 41,28 |
| | predano (kWh) | 35,40 | 0,16 | 35,56 |
| | opskrba (kWh) | / | 39,75 | 39,75 |
| | višak (kWh) | 34,03 | / | 34,03 |
| | trošak (EUR) | -2,30 | 3,25 | 0,95 |

5.1.2. Oblačan dan (12. lipnja 2024.)

Izabran oblačan dan je 12. lipnja 2024. pa su cijene više i niže tarife određene prema ljetnom računanju vremena. Prema ovom režimu, viša tarifa vrijedi od 08:00 do 22:00, dok niža tarifa vrijedi od 22:00 do 08:00. Na slici 5.5. prikazane su krivulje proizvodnje fotonaponskog sustava i potrošnje kućanstva za oblačan dan. Podaci o proizvodnji fotonaponskog sustava kao i potrošnja kućanstva bilježe se u intervalima od 10 minuta. Ukupna potrošnja za oblačan dan iznosi 11,53 kWh, pri čemu je 7,97 kWh potrošeno u višoj tarifi, a 3,56 kWh u nižoj tarifi. Ukupna proizvodnja fotonaponskog sustava iznosi 10,35 kWh, od čega je tijekom više tarife proizvedeno 9,74 kWh, a tijekom niže tarife 0,61 kWh.

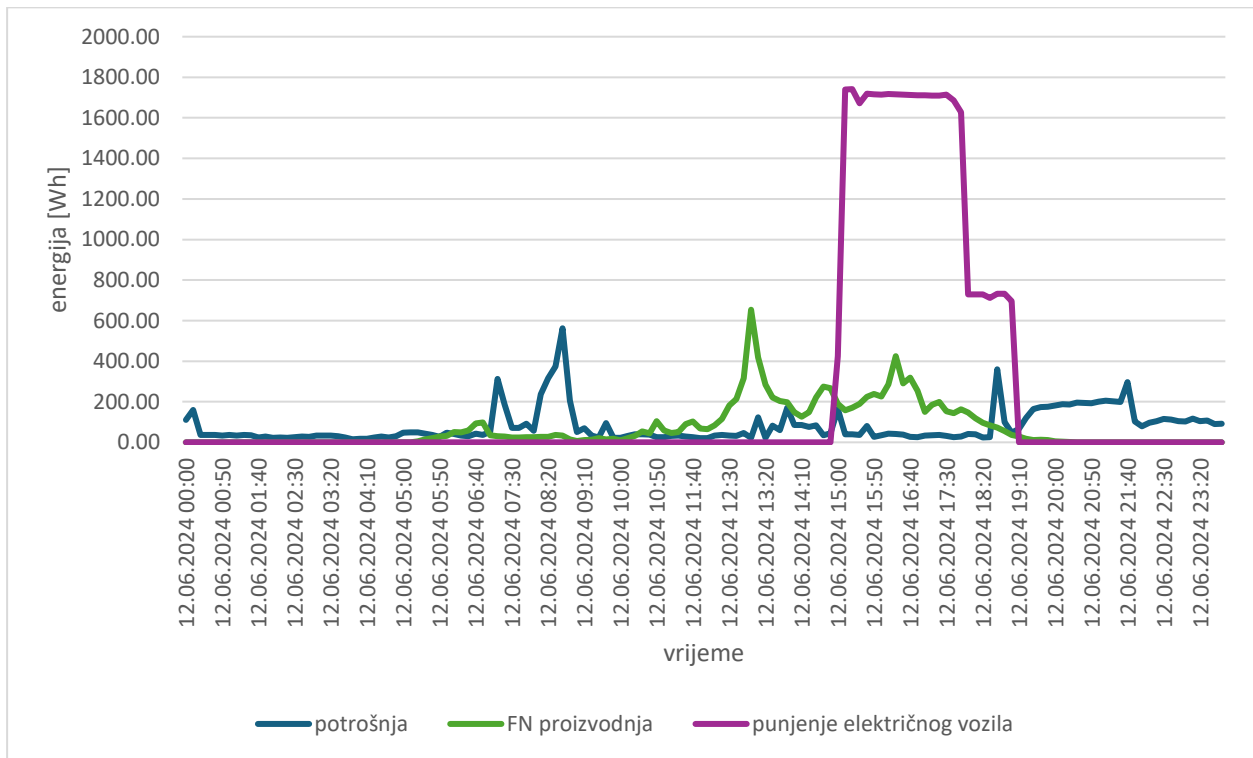


Slika 5.5. Potrošnja kuće i proizvodnja fotonaponskog sustava (oblačan dan)

Punjenje električnog automobila tijekom oblačnog dana analizirano je kroz tri različita slučaja:

1) Punjenje električnog automobila tijekom dana maksimalnom snagom punjenja

Na slici 5.6. prikazane su krivulje potrošnje kućanstva, proizvodnje fotonaponskog sustava i punjenja električnog automobila pri maksimalnoj snazi punjenja tijekom dana. Automobil se puni u razdoblju od 15:00 do 19:00 tijekom kojeg je potrošeno ukupno 34,52 kWh.



Slika 5.6. Punjenje električnog vozila tijekom dana maksimalnom snagom punjenja (oblačan dan)

Uz osnovnu potrošnju i punjenje automobila, u periodu više tarife iz mreže je preuzeto 36,16 kWh, u mrežu je predano 3,41 kWh što rezultira opskrbom od 32,75 kWh. U periodu niže tarife iz mreže je preuzeto 3,11 kWh, a predano 0,16 kWh što daje opskrbu od 2,95 kWh.

Trošak električne energije u višoj tarifi iznosi:

$$32,75 \text{ kWh} \cdot 0,139790 \frac{\text{EUR}}{\text{kWh}} = 4,58 \text{ EUR}$$

dok u nižoj tarifi iznosi:

$$2,95 \text{ kWh} \cdot 0,072499 \frac{\text{EUR}}{\text{kWh}} = 0,21 \text{ EUR}$$

što daje ukupni trošak od:

$$4,58 \text{ EUR} + 0,21 \text{ EUR} = 4,79 \text{ EUR}$$

Uzme li se u obzir iznos PDV-a, ukupni trošak iznosi: $4,79 \text{ EUR} + 0,13 \cdot 4,79 \text{ EUR} = 5,41 \text{ EUR}$.

Ako pretpostavimo da će se isti obrazac troška električne energije održati tijekom cijelog mjeseca, mjesečni trošak bi iznosio:

$$4,79 \frac{\text{EUR}}{\text{dan}} \cdot 30 \text{ dana} = 143,70 \text{ EUR}$$

Uvećan za iznos PDV-a, mjesečni trošak bi iznosio:

$$143,70 \text{ EUR} + 0,13 \cdot 143,70 \text{ EUR} = 162,38 \text{ EUR}.$$

Dok bi za plavi tarifni model, rezultat bio sljedeći:

Uz osnovnu potrošnju i punjenje automobila, iz mreže je preuzeto 39,27 kWh, dok je u mrežu predano 3,57 kWh pa opskrba iznosi 35,70 kWh.

Trošak električne energije iznosi:

$$35,70 \text{ kWh} \cdot 0,124659 \frac{\text{EUR}}{\text{kWh}} = 4,45 \text{ EUR}$$

Uzme li se u obzir iznos PDV-a, ukupni trošak iznosi: $4,45 \text{ EUR} + 0,13 \cdot 4,45 \text{ EUR} = 5,03 \text{ EUR}$.

Ako pretpostavimo da će se isti obrazac troška električne energije održati tijekom cijelog mjeseca, mjesečni trošak bi iznosio:

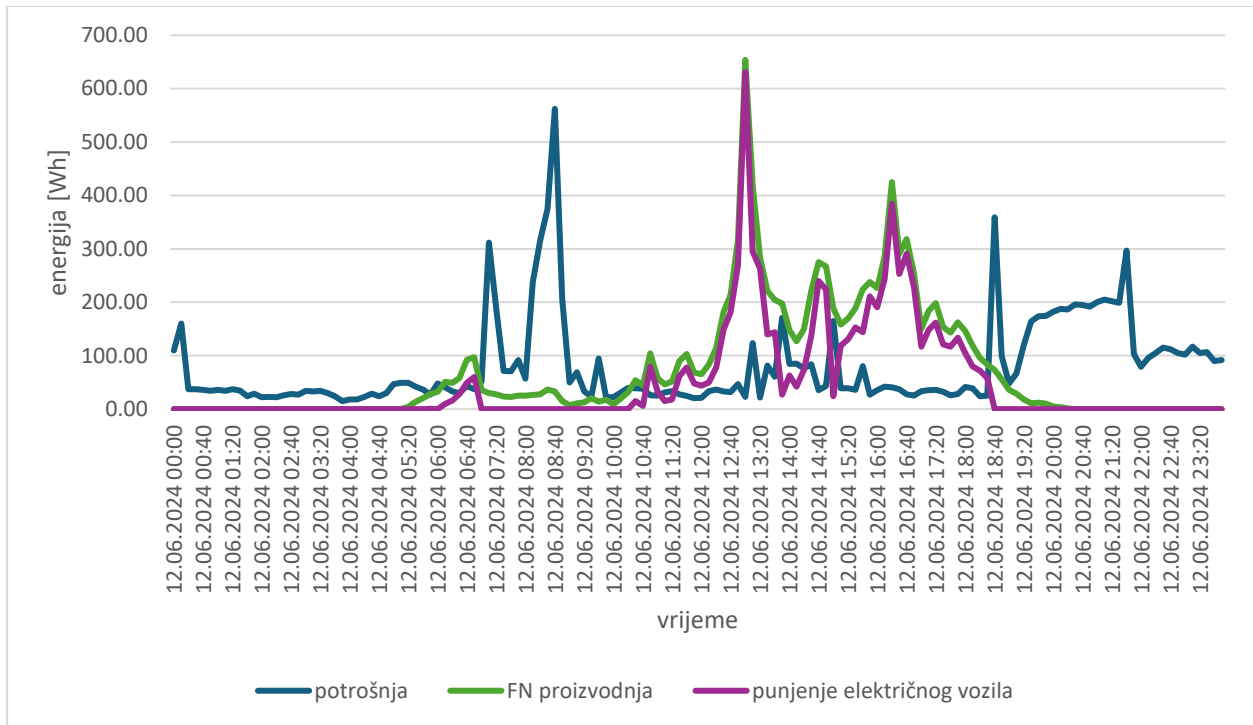
$$4,45 \frac{\text{EUR}}{\text{dan}} \cdot 30 \text{ dana} = 133,50 \text{ EUR}$$

Uvećan za iznos PDV-a, mjesečni trošak bi iznosio:

$$133,50 \text{ EUR} + 0,13 \cdot 133,50 \text{ EUR} = 150,86 \text{ EUR}.$$

2) Punjenje električnog automobila tijekom dana za razliku proizvodnje i potrošnje kućanstva

Na slici 5.7. prikazane su krivulje potrošnje kućanstva, proizvodnje fotonaponskog sustava i punjenja električnog automobila tijekom dana za razliku proizvodnje i potrošnje. Automobil se puni tijekom dana u trenucima kada je proizvodnja fotonaponskog sustava veća od trenutne potrošnje.



Slika 5.7. Punjenje električnog vozila tijekom dana za razliku proizvodnje i potrošnje (oblačan dan)

Uz osnovnu potrošnju i punjenje automobila, tijekom perioda više tarife iz mreže je preuzeto 5,13 kWh, a u mrežu je predano 0,00 kWh čime opskrba iznosi 5,13 kWh. Tijekom perioda niže tarife iz mreže je preuzeto 3,12 kWh, a u mrežu je predano 0,00 kWh što daje opskrbu od 3,12 kWh.

Trošak električne energije u višoj tarifi iznosi:

$$5,13 \text{ kWh} \cdot 0,139790 \frac{\text{EUR}}{\text{kWh}} = 0,72 \text{ EUR}$$

dok u nižoj tarifi iznosi:

$$3,12 \text{ kWh} \cdot 0,072499 \frac{\text{EUR}}{\text{kWh}} = 0,23 \text{ EUR}$$

što daje ukupni trošak od:

$$0,72 \text{ EUR} + 0,23 \text{ EUR} = 0,95 \text{ EUR}$$

Uzme li se u obzir iznos PDV-a, ukupni trošak iznosi: $0,95 \text{ EUR} + 0,13 \cdot 0,95 \text{ EUR} = 1,07 \text{ EUR}$.

Pretpostavljajući isti trend troška električne energije za cijeli mjesec, mjesečni trošak bi iznosio:

$$0,95 \frac{\text{EUR}}{\text{dan}} \cdot 30 \text{ dana} = 28,50 \text{ EUR}$$

Uvećan za iznos PDV-a, mjesečni trošak bi iznosio:

$$28,50 \text{ EUR} + 0,13 \cdot 28,50 \text{ EUR} = 32,21 \text{ EUR}.$$

Tijekom dana, fotonaponska elektrana nije proizvela dovoljno energije za punjenje električnog automobila koje je zahtijevalo 34,52 kWh. Za punjenje automobila, elektrana je uspjela osigurati 7,06 kWh. Ukoliko bi se punjenje nastavilo preko noći kada su tarife niže potrebno je iz mreže preuzeti 27,46 kWh što čini dodatni trošak od:

$$27,46 \text{ kWh} \cdot 0,072499 \frac{\text{EUR}}{\text{kWh}} = 1,99 \text{ EUR}$$

Odnosno, uzimajući u obzir PDV:

$$1,99 \text{ EUR} + 0,13 \cdot 1,99 \text{ EUR} = 2,25 \text{ EUR}$$

pa bi ukupni trošak uvećan za iznos PDV-a iznosio:

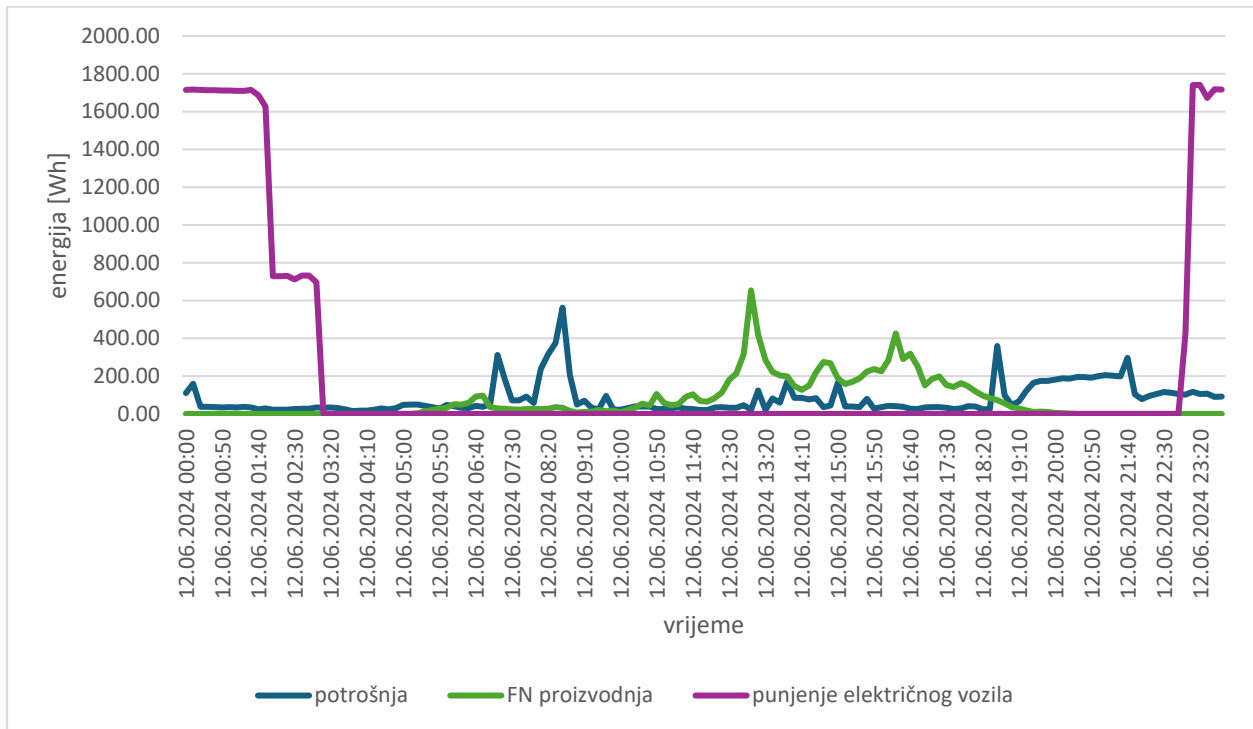
$$1,07 \text{ EUR} + 2,25 \text{ EUR} = 3,32 \text{ EUR}$$

dok bi mjesečni trošak, uz pretpostavku istog trenda troška električne energije, iznosio:

$$3,32 \frac{\text{EUR}}{\text{dan}} \cdot 30 \text{ dana} = 99,60 \text{ EUR}.$$

3) Punjenje električnog automobila tijekom noći maksimalnom snagom punjenja

Na slici 5.8. prikazane su krivulje potrošnje kućanstva, proizvodnje fotonaponskog sustava i punjenja električnog vozila maksimalnom snagom punjenja tijekom noći. Automobil se puni od 23:00 do 03:00 za što je potrošeno 34,52 kWh.



Slika 5.8. Punjenje električnog vozila tijekom noći maksimalnom snagom punjenja (oblačan dan)

Uz osnovnu potrošnju kućanstva i punjenje automobila, u periodu više tarife iz mreže je preuzeto 5,12 kWh, u mrežu je predano 6,89 kWh pa višak proizvedene energije iznosi 1,77 kWh. U periodu niže tarife iz mreže je preuzeto 37,63 kWh, u mrežu je predano 0,16 kWh, a opskrba iznosi 37,47 kWh.

Zarada od otkupljene električne energije u višoj tarifi iznosi:

$$1,77 \text{ kWh} \cdot 0,059831 \frac{\text{EUR}}{\text{kWh}} = 0,11 \text{ EUR}$$

dok trošak u nižoj tarifi iznosi:

$$37,47 \text{ kWh} \cdot 0,072499 \frac{\text{EUR}}{\text{kWh}} = 2,72 \text{ EUR}$$

što daje ukupni trošak od:

$$2,72 \text{ EUR} - 0,11 \text{ EUR} = 2,61 \text{ EUR}$$

Uzme li se u obzir iznos PDV-a, ukupni trošak iznosi: $2,61 \text{ EUR} + 0,13 \cdot 2,61 \text{ EUR} = 2,95 \text{ EUR}$.

Pretpostavljajući isti trend troška električne energije za cijeli mjesec, mjesečni trošak bi iznosio:

$$2,61 \frac{\text{EUR}}{\text{dan}} \cdot 30 \text{ dana} = 78,30 \text{ EUR}$$

Uvećan za iznos PDV-a, mjesečni trošak bi iznosio:

$$78,30 \text{ EUR} + 0,13 \cdot 78,30 \text{ EUR} = 88,48 \text{ EUR}.$$

U tablici 5.3. prikazane su preuzete, isporučene i neto količine električne energije za punjenje električnog automobila u tri različita scenarija za oblačan dan. Najveći trošak punjenja električnog automobila od 5,41 EUR ostvaren je u prvom scenariju gdje je automobil punjen maksimalnom snagom punjenja tijekom dana. Dok je najmanji trošak od 1,07 EUR ostvaren u drugom scenariju u kojem je automobil punjen u trenucima u kojima proizvodnja fotonaponskog sustava premašuje potrošnju kućanstva, no proizvodnja nije bila dovoljna da pokrije cjelokupnu energiju za punjenje. Uzme li se u obzir da se punjenje nastavlja tijekom noći, dodatni trošak iznosi 2,25 EUR što čini ukupni trošak od 3,32 EUR.

U prvom scenariju, automobil je punjen maksimalnom snagom tijekom dana. Budući da proizvodnja fotonaponskog sustava nije dovoljna da pokrije svu energiju potrebnu za punjenje, preostala je količina energije kupljena iz mreže za vrijeme trajanja više tarife, što je rezultiralo većim ukupnim troškom. U drugom scenariju, automobil je punjen viškom energije koju je proizveo fotonaponski sustav, čime je eliminirana potreba za kupnjom dodatne energije iz mreže, što je dovelo do minimalnih ukupnih troškova. Ipak, ograničene količine viška solarne energije nisu zadovoljile potrebnu količinu za punjenje automobila. U trećem scenariju, automobil je punjen maksimalnom snagom tijekom noći, pri čemu je sva potrebna energija za punjenje kupljena iz mreže kada su cijene električne energije niže pa je ovaj scenarij rezultirao nižim ukupnim troškom u usporedbi s punjenjem tijekom dana.

Tablica 5.3. Usporedba scenarija za oblačan dan

| scenarij | VT | NT | ukupno | |
|----------|----------------|-------|--------|-------|
| prvi | preuzeto (kWh) | 36,16 | 3,11 | 39,27 |
| | predano (kWh) | 3,41 | 0,16 | 3,57 |
| | opskrba (kWh) | 32,75 | 2,95 | 35,70 |
| | višak (kWh) | / | / | / |
| | trošak (EUR) | 5,17 | 0,24 | 5,41 |
| drugi | preuzeto (kWh) | 5,13 | 3,12 | 8,25 |
| | predano (kWh) | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| | opskrba (kWh) | 5,13 | 3,12 | 8,25 |
| | višak (kWh) | / | / | / |
| | trošak (EUR) | 0,81 | 0,26 | 1,07 |
| treći | preuzeto (kWh) | 5,12 | 37,63 | 42,75 |
| | predano (kWh) | 6,89 | 0,16 | 7,05 |
| | opskrba (kWh) | / | 37,47 | 37,47 |
| | višak (kWh) | 1,77 | / | 1,77 |
| | trošak (EUR) | -0,12 | 3,07 | 2,95 |

6. ZAKLJUČAK

Pametna kuća predstavlja inovativan i napredan način upravljanja domovima koristeći modernu tehnologiju. Integracija uređaja i sustava unutar pametne kuće donosi brojne prednosti koje poboljšavaju kvalitetu života. Jedna od najznačajnijih prednosti je energetska učinkovitost koja pridonosi smanjenju troškova energije kroz optimizaciju potrošnje. Povećana sigurnost je još jedna ključna prednost, zahvaljujući naprednim sigurnosnim sustavima koji uključuju kamere, senzore za kretanje i pametne brave. Osim toga, pametne kuće omogućuju visoku razinu udobnosti i praktičnosti kroz automatizaciju svakodnevnih aktivnosti i daljinsko upravljanje uređajima i kućanskim aparatima putem glasovnih asistenata i aplikacija, često čak i izvan kuće. S druge strane, postoje i određeni nedostaci koje je važno uzeti u obzir. Jedan od glavnih izazova su visoki početni troškovi instalacije i integracije pametnih sustava što predstavlja prepreku za mnoge korisnike. Također, oslanjanje na internetsku povezanost stvara rizik od potencijalnih problema s privatnošću i sigurnošću podataka. Kompatibilnost između različitih uređaja i sustava također može predstavljati problem. Budući da mnogi proizvođači razvijaju vlastite standarde i protokole, integracija različitih uređaja u koherentan sustav zahtijeva pažljivo planiranje i odabir opreme.

Integracija obnovljivih izvora energije u pametnu kuću značajno unaprjeđuje njezinu efikasnost i održivost te doprinosi energetskej neovisnosti i smanjenju troškova.

U ovom radu razmatrana je kuća s instaliranim fotonaponskim sustavom vršne snage 5 kW, pri čemu se proizvedena električna energija koristi za opskrbu kućanstva i punjenje električnog automobila, dok se višak energije prodaje opskrbljivaču. Proračun je bio usmjeren na određivanje optimalnog vremena za punjenje automobila, uzimajući u obzir uvjete jednog oblačnog i jednog sunčanog dana. Usporedbom rezultata, utvrđeno je da su ukupni troškovi električne energije za oblačan dan veći nego za sunčan dan u sva tri scenarija punjenja automobila. Najveća razlika zabilježena je prilikom punjenja automobila maksimalnom snagom tijekom dana budući da je proizvodnja fotonaponskog sustava tijekom oblačnog dana bila znatno manja pa je veći dio energije kupljen iz mreže. Prema rezultatima proračuna za sunčan dan, najmanji ukupni trošak električne energije, uzimajući u obzir osnovnu potrošnju kućanstva i punjenje automobila, postignut je u slučaju punjenja tijekom dana u trenucima kada je proizvodnja veća od potrošnje, prilikom čega je fotonaponski sustav osigurao dovoljnu količinu energije za punjenje automobila. Za oblačan dan, najmanji trošak je također ostvaren za slučaj punjenja automobila tijekom dana u trenucima kada je proizvodnja veća od potrošnje, no proizvodnja fotonaponskog sustava nije zadovoljila potrebnu energiju za punjenje automobila pa se punjenje nastavilo noću koristeći energiju iz mreže za vrijeme trajanja niže tarife i stvarajući dodatni trošak. Obzirom na tu

činjenicu, najmanji ukupni trošak za oblačan dan ostvaren je u scenariju u kojem je automobil punjen noću maksimalnom snagom uzimajući energiju iz mreže.

Stoga, za sunčan dan najisplativije je puniti automobil tijekom dana kada fotonaponski moduli proizvode najviše energije. Nasuprot tome, za oblačan dan najisplativije je punjenje noću, budući da je tijekom dana proizvodnja fotonaponskog sustava smanjena zbog nedostatka sunčeve svjetlosti.

Pri odabiru optimalnog vremena za punjenje električnog automobila, važno je uzeti u obzir i dostupnost automobila kod kuće tijekom dana, bilo radnim danima ili vikendima. Optimalna strategija za punjenje automobila uključuje kombiniranje proizvodnje fotonaponskog sustava, potrošnje kućanstva, nižih cijena električne energije i dostupnosti automobila. Podrazumijeva planiranje punjenja automobila u skladu s vremenskim prognozama i dnevnim rasporedom kućanstva kako bi se maksimalno iskoristili periodi visoke proizvodnje i niže cijene električne energije.

LITERATURA

- [1] A. A. Malysheva, B. Rawat, N. Singh, P. C. Jena i Kapil, Energy Efficiency Assessment in Smart Homes: A Comparative Study of Energy Efficiency Tests, 2024.
- [2] R. Wolniak i W. Grebski, The Usage of Smart Lighting in Smart Home, 2023.
- [3] A. N. Tak, B. Becerik-Gerber, L. Soibelman i G. Lucas, A framework for investigating the acceptance of smart home technologies: Findings for residential smart HVAC systems, 2023.
- [4] Q. I. Sarhan, Systematic Survey on Smart Home Safety and Security Systems Using the Arduino Platform, 2020.
- [5] L. Y. Rock, F. P. Tajudeen i Y. W. Chung, Usage and impact of the internet-of-things-based smart home technology: a quality-of-life perspective, 2022.
- [6] M. H. Elkholy, T. Senjyu, M. E. Lotfy, A. Elgarhy, N. S. Ali i S. T. Gaafar, Design and Implementation of a Real-Time Smart Home Management System Considering Energy Saving, *Sustainability*, 2022.
- [7] W. Ali, G. Dustgeer, M. Awais i M. A. Shah, IoT based Smart Home: Security Challenges, Security Requirements and Solutions, 2017.
- [8] N. Solangi, A. Khan, M. F. Qureshi, N. Zaki, U. M. Qureshi i Z. Umair, IoT Based Home Automation System: Security Challenges and Solutions.
- [9] M. Bäckman, Smart Homes and Home Automation, Berg Insight, 2022.
- [10] tedee.com, Cloud-based or local? Which smart home system to choose for your place, dostupno na: <https://tedee.com/cloud-based-or-local-which-smart-home-system-to-choose-for-your-place/> [8.4.2024.]
- [11] Stacey on IoT, Hubitat makes a strong case for the cloud-less smart home hub, dostupno na: <https://staceyoniot.com/hubitat-makes-a-strong-case-for-the-cloud-less-smart-home-hub/> [8.4.2024.]
- [12] Hestia Magazine, Open vs proprietary: choosing the right automation system for your smart home, dostupno na: <https://www.hestiamagazine.eu/open-vs-proprietary-systems-choosing-the-right-system-for-your-smart-home> [8.4.2024.]
- [13] smart-automations.eu, Local Control in the Smart Home, dostupno na: <https://smart-automations.eu/blog/local-control-vs-cloud/> [11.4.2024.]
- [14] Dusun IoT, Smart Home Hub, All You Need to Know in 2024, dostupno na: <https://www.dusuniot.com/blog/smart-home-hub-all-you-need-to-know-in-2023/> [11.4.2024.]

- [15] A. K. Ray i A. Bagwari, Study of Smart Home Communication Protocol's and security & privacy Aspects, 2017.
- [16] The architecture for a smart home gateway, International Telecommunication Union, 2022.
- [17] H. Du, Q. Han, D. Yang, B. de Vries i T. van Houten, Data privacy and smart home energy appliances: A stated choice experiment, *Heliyon*, 2023.
- [18] Indeema Software, Smart Home IoT Devices: Understanding the Hardware Components, dostupno na: <https://indeema.com/blog/smart-home-iot-devices--understanding-the-hardware-components> [18.4.2024.]
- [19] L. V. Moreno, M. L. Ruiz, J. M. Hernández, M. Á. V. Duboy i M. Lindén, The Role of Smart Homes in Intelligent Homecare and Healthcare Environments, *Ambient Assisted Living and Enhanced Living Environments*, 2017.
- [20] M. Ashiq i S. Vishwam R, Smart Home Automation: A Review of Technologies and Applications, *International Journal of Research Publication and Reviews*, 2023.
- [21] Lemberg Solutions, Top 7 Smart Home Protocols Compared, dostupno na: <https://lebergsolutions.com/blog/smart-home-protocols-explained> [26.4.2024.]
- [22] V. Merdis, Wireless Communication Protocols for Home Automation, 2019.
- [23] Maior TV Lift, Wired vs Wireless Home Automation, dostupno na: <https://www.maiortvlift.com/lifestyle/home-automation/differences-between-wired-and-wireless-home-automation/> [22.4.2024.]
- [24] knx.fi, KNX Basics, dostupno na: https://www.knx.fi/doc/esitteet/KNX-Basics_en.pdf [23.4.2024.]
- [25] mysmart.com.au, KNX The Smart Guide - mySmart, dostupno na: https://www.mysmart.com.au/wp-content/uploads/2015/06/MYSCTI-KNX-SmartGuide_email-1.pdf [10.9.2024.]
- [26] FS Community, Gigabit Switch: How Much Do You Know?, dostupno na: <https://community.fs.com/article/what-is-a-gigabit-switch.html> [10.9.2024.]
- [27] DALI Alliance, dostupno na: <https://www.dali-alliance.org/> [10.9.2024.]
- [28] BACnet International, dostupno na: <https://bacnetinternational.org/> [10.9.2024.]
- [29] Allion Labs, Let's Talk Smart Home Devices, dostupno na: https://www.allion.com/tech_netc_smarthome/ [11.9.2024.]
- [30] A. Zohourian, S. Dadkhah, E. Neto, H. Mahdikhani, P. Danso, H. Molyneaux i A. Ghorbani, IoT Zigbee device security: A comprehensive review, *Internet of Things*, 2023.

- [31] Thread Group, Thread in Homes, dostupno na: <https://www.threadgroup.org/BUILT-FOR-IOT/Smart-Home> [11.9.2024.]
- [32] U. Zafar, S. Bayhan i A. Sanfilippo, Home Energy Management System Concepts, Configurations, and Technologies for the Smart Grid, *IEEE Access*, 2020.
- [33] Y. Ma, X. Chen, L. Wang i J. Yang, Study on Smart Home Energy Management System Based on Artificial Intelligence, *Journal of Sensors*, 2021.
- [34] E. Kabalci i Y. Kabalci, Smart metering and smart monitoring systems, 2020.
- [35] M. Shakeri, J. Pasupuleti, N. Amin, M. Rokonuzzaman, N. Asim, S. K. Tiong, F. W. Low, C. T. Yaw, N. A. Samsudin, C. K. Hen i C. W. Lai, An Overview of the Building Energy Management System Considering the Demand Response Programs, Smart Strategies and Smart Grid, *Energies*, 2020.
- [36] A. Shewale, A. Mokhade, N. Funde i N. D. Bokde, An Overview of Demand Response in Smart Grid and Optimization Techniques for Efficient Residential Appliance Scheduling Problem, *Energies*, 2020.
- [37] J. M. Veras, I. R. S. Silva, P. R. Pinheiro, R. A. L. Rabêlo, A. F. S. Veleso, F. A. S. Borges i J. J. P. C. Rodrigues, A Multi-Objective Demand Response Optimization Model for Scheduling Loads in a Home Energy Management System, *Sensors*, 2018.
- [38] B. Zhou, W. Li, K. W. Chan, Y. Cao, Y. Kuang, X. Liu i X. Wang, Smart home energy management systems: Concept, configurations, and scheduling strategies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016.
- [39] B. Asare-Bediako, SMART energy homes and the smart grid : a framework for intelligent energy management systems for residential customers, 2014.
- [40] EnergySage, Critical Peak Pricing: What You Need To Know | EnergySage, dostupno na: <https://www.energysage.com/electricity/critical-peak-pricing-overview/> [14.5.2024.]
- [41] gridX, Distributed energy resource management system (DERMS), dostupno na: <https://www.gridx.ai/knowledge/distributed-energy-resource-management-system-derms> [16.5.2024.]
- [42] Energy Matters, Integrating Solar Panels With Smart Home Innovations, dostupno na: <https://www.energymatters.com.au/renewable-news/integrating-solar-panels-with-smart-home-innovations/> [17.5.2024.]
- [43] Power Sonic, Battery Energy Storage Systems: The Future of Energy is Home-Centric, dostupno na: <https://www.power-sonic.com/blog/batteries/home-energy-storage-systems-the-future-of-energy-is-home-centric/> [20.5.2024.]

- [44] Savings Boost: Home Energy Storage Systems Explained, dostupno na: <https://solar.huawei.com/en/blog/en/2024/home-energy-storage> [20.5.2024.]
- [45] Cyberswitching, The Intersection of Electric Cars and Smart Homes, dostupno na: <https://cyberswitching.com/the-intersection-of-electric-cars-and-smart-homes/> [21.5.2024.]
- [46] greenhomeheatpumps.co.uk, Innovative Features To Look For In Modern Heat Pump Systems, dostupno na: <https://www.greenhomeheatpumps.co.uk/innovative-features-to-look-for-in-modern-heat-pump-systems> [20.5.2024.]
- [47] Organica Engineering, 7 benefits of electrification using heat pumps, dostupno na: <https://organicaeng.com.au/blog/7-benefits-of-electrification-using-heat-pumps/> [20.5.2024.]
- [48] Zakon o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji NN 138/21, 2021.
- [49] Zakon o izmjenama i dopunama Zakona o obnovljivim izvorima energije i visokoučinkovitoj kogeneraciji NN 83/2023, 2023.
- [50] hep.hr, Tarifne stavke (cijene), dostupno na: <https://www.hep.hr/elektra/kucanstvo/tarifne-stavke-cijene/1547> [10.6.2024.]

SAŽETAK

Pametna kuća definirana je kao stambeni prostor opremljen naprednim tehnologijama koje omogućuju automatizaciju i daljinsko upravljanje raznim sustavima, kao što su rasvjeta, grijanje, ventilacija, klimatizacija, sigurnosni sustavi i kućanski aparati, s ciljem poboljšanja udobnosti, sigurnosti i energetske učinkovitosti. Ovaj diplomski rad istražuje pojam i strukturu pametne kuće, kao i sustav upravljanja energijom u kućanstvu, uključujući odgovor na potražnju i utjecaj distribuiranih izvora energije u pametnim kućama. Na primjeru pametne kuće s fotonaponskim sustavom, razmatrana su tri scenarija punjenja električnog automobila. Analizirani su slučajevi punjenja električnog automobila maksimalnom snagom tijekom dana i noći, kao i slučaj punjenja automobila tijekom dana u trenucima kada proizvodnja fotonaponskog sustava premašuje potrošnju kućanstva. Cilj je utvrditi najisplativiji period za punjenje električnog automobila u kućanstvu s fotonaponskim sustavom, uzimajući u obzir jedan oblačan i jedan sunčan dan.

Ključne riječi: električni automobil, fotonaponski sustav, odgovor na potražnju, pametna kuća, sustav upravljanja energijom u kućanstvu

ABSTRACT

A smart home is defined as a residential space equipped with advanced technologies that enable automation and remote control of various systems, such as lighting, heating, ventilation, air conditioning, security systems, and household appliances, with the aim of enhancing comfort, security, and energy efficiency. This master's thesis explores the concept and structure of a smart home, as well as the home energy management system, including demand response and the impact of distributed energy resources in smart homes. Using the example of a smart home with a photovoltaic system, three scenarios of charging an electric car were considered. The analyzed cases include charging the electric car at maximum power during the day and night, as well as charging during the day when the photovoltaic system's production exceeds the household's consumption. The goal is to determine the most cost-effective period for charging an electric car in a household with a photovoltaic system, considering both a cloudy and a sunny day.

Keywords: electric car, photovoltaic system, demand response, smart home, home energy management system

ŽIVOTOPIS

Ružica Stanić rođena je 14. srpnja 2000. u Slavonskom Brodu, Republika Hrvatska. Pohađala je Osnovnu školu Josip Kozarac Slavonski Šamac. Po završetku osnovnoškolskog obrazovanja, 2015. godine upisuje Gimnaziju Antuna Gustava Matoša Đakovo. Nakon završene srednje škole, nastavila je obrazovanje na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek. Godine 2019. upisala je sveučilišni prijediplomski studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija, smjer Elektrotehnika. Na trećoj godini studija uručeno joj je priznanje za postignut uspjeh u studiranju po Odluci Fakultetskog vijeća FERIT-a. Godine 2022. upisala je sveučilišni diplomski studij Elektrotehnika, smjer Elektroenergetika.

PRILOZI

Tablica 1: Potrošnja i FN proizvodnja za sunčan dan

| Datum i vrijeme | Potrošnja | FN proizvodnja |
|--------------------|-----------|----------------|
| [dd.MM.yyyy HH:mm] | Wh | Wh |
| 06.06.2024 00:00 | 90,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 00:10 | 148,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 00:20 | 161,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 00:30 | 273,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 00:40 | 511,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 00:50 | 195,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 01:00 | 180,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 01:10 | 219,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 01:20 | 248,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 01:30 | 391,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 01:40 | 61,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 01:50 | 34,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 02:00 | 27,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 02:10 | 25,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 02:20 | 23,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 02:30 | 37,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 02:40 | 35,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 02:50 | 27,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 03:00 | 27,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 03:10 | 32,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 03:20 | 23,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 03:30 | 16,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 03:40 | 17,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 03:50 | 18,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 04:00 | 33,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 04:10 | 32,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 04:20 | 25,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 04:30 | 25,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 04:40 | 31,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 04:50 | 20,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 05:00 | 17,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 05:10 | 17,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 05:20 | 19,64 | 0,64 |
| 06.06.2024 05:30 | 45,95 | 11,95 |
| 06.06.2024 05:40 | 47,28 | 16,28 |
| 06.06.2024 05:50 | 42,73 | 20,73 |
| 06.06.2024 06:00 | 58,17 | 25,17 |
| 06.06.2024 06:10 | 60,63 | 29,63 |
| 06.06.2024 06:20 | 41,52 | 33,52 |
| 06.06.2024 06:30 | 67,82 | 36,82 |
| 06.06.2024 06:40 | 133,94 | 39,94 |

| | | |
|------------------|--------|--------|
| 06.06.2024 06:50 | 92,88 | 42,88 |
| 06.06.2024 07:00 | 39,38 | 45,38 |
| 06.06.2024 07:10 | 51,35 | 49,35 |
| 06.06.2024 07:20 | 118,37 | 60,37 |
| 06.06.2024 07:30 | 239,83 | 78,83 |
| 06.06.2024 07:40 | 41,80 | 104,80 |
| 06.06.2024 07:50 | 40,09 | 137,09 |
| 06.06.2024 08:00 | 44,46 | 174,46 |
| 06.06.2024 08:10 | 33,07 | 213,07 |
| 06.06.2024 08:20 | 29,84 | 229,84 |
| 06.06.2024 08:30 | 27,00 | 264,00 |
| 06.06.2024 08:40 | 33,70 | 300,70 |
| 06.06.2024 08:50 | 40,97 | 336,97 |
| 06.06.2024 09:00 | 33,91 | 372,91 |
| 06.06.2024 09:10 | 34,25 | 409,25 |
| 06.06.2024 09:20 | 32,26 | 443,26 |
| 06.06.2024 09:30 | 33,09 | 476,09 |
| 06.06.2024 09:40 | 26,44 | 509,44 |
| 06.06.2024 09:50 | 23,83 | 536,83 |
| 06.06.2024 10:00 | 33,02 | 567,02 |
| 06.06.2024 10:10 | 31,54 | 594,54 |
| 06.06.2024 10:20 | 32,33 | 622,33 |
| 06.06.2024 10:30 | 19,37 | 646,37 |
| 06.06.2024 10:40 | 17,22 | 678,22 |
| 06.06.2024 10:50 | 15,99 | 546,99 |
| 06.06.2024 11:00 | 13,63 | 741,63 |
| 06.06.2024 11:10 | 29,82 | 750,82 |
| 06.06.2024 11:20 | 31,57 | 786,57 |
| 06.06.2024 11:30 | 34,53 | 795,53 |
| 06.06.2024 11:40 | 37,38 | 646,38 |
| 06.06.2024 11:50 | 33,15 | 827,15 |
| 06.06.2024 12:00 | 142,57 | 825,57 |
| 06.06.2024 12:10 | 311,97 | 840,97 |
| 06.06.2024 12:20 | 166,76 | 836,76 |
| 06.06.2024 12:30 | 37,51 | 836,51 |
| 06.06.2024 12:40 | 27,23 | 841,23 |
| 06.06.2024 12:50 | 74,92 | 840,92 |
| 06.06.2024 13:00 | 135,90 | 840,90 |
| 06.06.2024 13:10 | 60,08 | 841,08 |
| 06.06.2024 13:20 | 62,00 | 841,00 |
| 06.06.2024 13:30 | 66,22 | 841,22 |
| 06.06.2024 13:40 | 64,80 | 840,80 |
| 06.06.2024 13:50 | 124,39 | 841,39 |
| 06.06.2024 14:00 | 300,72 | 836,72 |
| 06.06.2024 14:10 | 133,55 | 828,55 |
| 06.06.2024 14:20 | 23,06 | 811,06 |

| | | |
|------------------|--------|--------|
| 06.06.2024 14:30 | 11,29 | 795,29 |
| 06.06.2024 14:40 | 23,26 | 784,26 |
| 06.06.2024 14:50 | 31,13 | 769,13 |
| 06.06.2024 15:00 | 44,87 | 755,87 |
| 06.06.2024 15:10 | 27,43 | 746,43 |
| 06.06.2024 15:20 | 31,77 | 733,77 |
| 06.06.2024 15:30 | 33,74 | 749,74 |
| 06.06.2024 15:40 | 29,80 | 730,80 |
| 06.06.2024 15:50 | 77,22 | 646,22 |
| 06.06.2024 16:00 | 37,90 | 660,90 |
| 06.06.2024 16:10 | 35,61 | 627,61 |
| 06.06.2024 16:20 | 32,09 | 594,09 |
| 06.06.2024 16:30 | 33,94 | 570,94 |
| 06.06.2024 16:40 | 20,25 | 540,25 |
| 06.06.2024 16:50 | 71,42 | 518,42 |
| 06.06.2024 17:00 | 16,46 | 481,46 |
| 06.06.2024 17:10 | 25,33 | 452,33 |
| 06.06.2024 17:20 | 25,58 | 422,58 |
| 06.06.2024 17:30 | 35,56 | 388,56 |
| 06.06.2024 17:40 | 46,75 | 349,75 |
| 06.06.2024 17:50 | 48,19 | 309,19 |
| 06.06.2024 18:00 | 48,07 | 261,07 |
| 06.06.2024 18:10 | 47,83 | 236,83 |
| 06.06.2024 18:20 | 28,65 | 205,65 |
| 06.06.2024 18:30 | 46,82 | 182,82 |
| 06.06.2024 18:40 | 42,90 | 128,90 |
| 06.06.2024 18:50 | 42,10 | 102,10 |
| 06.06.2024 19:00 | 39,63 | 74,63 |
| 06.06.2024 19:10 | 43,57 | 74,57 |
| 06.06.2024 19:20 | 44,10 | 65,10 |
| 06.06.2024 19:30 | 178,66 | 53,66 |
| 06.06.2024 19:40 | 411,93 | 36,93 |
| 06.06.2024 19:50 | 102,65 | 24,65 |
| 06.06.2024 20:00 | 46,36 | 18,36 |
| 06.06.2024 20:10 | 42,75 | 12,75 |
| 06.06.2024 20:20 | 66,17 | 6,17 |
| 06.06.2024 20:30 | 58,33 | 1,33 |
| 06.06.2024 20:40 | 49,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 20:50 | 50,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 21:00 | 73,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 21:10 | 85,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 21:20 | 92,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 21:30 | 91,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 21:40 | 88,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 21:50 | 85,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 22:00 | 89,00 | 0,00 |

| | | |
|------------------|--------|------|
| 06.06.2024 22:10 | 79,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 22:20 | 75,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 22:30 | 90,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 22:40 | 321,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 22:50 | 412,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 23:00 | 156,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 23:10 | 110,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 23:20 | 103,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 23:30 | 109,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 23:40 | 125,00 | 0,00 |
| 06.06.2024 23:50 | 133,00 | 0,00 |

Tablica 2: Potrošnja i FN proizvodnja za oblačan dan

| Datum i vrijeme | Potrošnja | FN proizvodnja |
|--------------------|-----------|----------------|
| [dd.MM.yyyy HH:mm] | Wh | Wh |
| 12.06.2024 00:00 | 110,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 00:10 | 160,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 00:20 | 37,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 00:30 | 37,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 00:40 | 36,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 00:50 | 34,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 01:00 | 36,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 01:10 | 34,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 01:20 | 37,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 01:30 | 35,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 01:40 | 24,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 01:50 | 29,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 02:00 | 22,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 02:10 | 23,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 02:20 | 22,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 02:30 | 26,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 02:40 | 28,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 02:50 | 27,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 03:00 | 34,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 03:10 | 33,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 03:20 | 34,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 03:30 | 30,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 03:40 | 24,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 03:50 | 15,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 04:00 | 18,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 04:10 | 18,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 04:20 | 23,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 04:30 | 29,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 04:40 | 24,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 04:50 | 30,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 05:00 | 47,00 | 0,00 |

| | | |
|------------------|--------|--------|
| 12.06.2024 05:10 | 49,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 05:20 | 49,39 | 4,39 |
| 12.06.2024 05:30 | 42,02 | 14,02 |
| 12.06.2024 05:40 | 36,72 | 20,72 |
| 12.06.2024 05:50 | 27,09 | 28,09 |
| 12.06.2024 06:00 | 48,21 | 32,21 |
| 12.06.2024 06:10 | 40,82 | 50,82 |
| 12.06.2024 06:20 | 33,06 | 49,06 |
| 12.06.2024 06:30 | 30,30 | 58,30 |
| 12.06.2024 06:40 | 43,45 | 92,45 |
| 12.06.2024 06:50 | 37,19 | 97,19 |
| 12.06.2024 07:00 | 51,58 | 35,58 |
| 12.06.2024 07:10 | 311,96 | 29,96 |
| 12.06.2024 07:20 | 186,82 | 27,82 |
| 12.06.2024 07:30 | 71,36 | 23,36 |
| 12.06.2024 07:40 | 71,03 | 23,03 |
| 12.06.2024 07:50 | 92,06 | 25,06 |
| 12.06.2024 08:00 | 57,28 | 25,28 |
| 12.06.2024 08:10 | 237,34 | 26,34 |
| 12.06.2024 08:20 | 315,41 | 27,41 |
| 12.06.2024 08:30 | 374,69 | 36,69 |
| 12.06.2024 08:40 | 562,22 | 33,22 |
| 12.06.2024 08:50 | 206,05 | 15,05 |
| 12.06.2024 09:00 | 50,08 | 7,08 |
| 12.06.2024 09:10 | 69,14 | 11,14 |
| 12.06.2024 09:20 | 32,94 | 12,94 |
| 12.06.2024 09:30 | 23,44 | 20,44 |
| 12.06.2024 09:40 | 95,10 | 14,10 |
| 12.06.2024 09:50 | 22,43 | 17,43 |
| 12.06.2024 10:00 | 22,38 | 9,38 |
| 12.06.2024 10:10 | 31,01 | 20,01 |
| 12.06.2024 10:20 | 39,94 | 31,94 |
| 12.06.2024 10:30 | 39,13 | 54,13 |
| 12.06.2024 10:40 | 38,62 | 44,62 |
| 12.06.2024 10:50 | 25,67 | 104,67 |
| 12.06.2024 11:00 | 25,10 | 58,10 |
| 12.06.2024 11:10 | 31,44 | 46,44 |
| 12.06.2024 11:20 | 33,40 | 51,40 |
| 12.06.2024 11:30 | 27,95 | 89,95 |
| 12.06.2024 11:40 | 24,97 | 102,97 |
| 12.06.2024 11:50 | 20,71 | 68,71 |
| 12.06.2024 12:00 | 21,32 | 65,32 |
| 12.06.2024 12:10 | 33,63 | 83,63 |
| 12.06.2024 12:20 | 36,60 | 114,60 |
| 12.06.2024 12:30 | 32,94 | 181,94 |
| 12.06.2024 12:40 | 31,85 | 213,85 |

| | | |
|------------------|--------|--------|
| 12.06.2024 12:50 | 46,57 | 316,57 |
| 12.06.2024 13:00 | 22,75 | 653,75 |
| 12.06.2024 13:10 | 123,47 | 418,47 |
| 12.06.2024 13:20 | 21,49 | 284,49 |
| 12.06.2024 13:30 | 81,51 | 221,51 |
| 12.06.2024 13:40 | 60,48 | 204,48 |
| 12.06.2024 13:50 | 171,02 | 198,02 |
| 12.06.2024 14:00 | 84,81 | 147,81 |
| 12.06.2024 14:10 | 85,04 | 127,04 |
| 12.06.2024 14:20 | 76,22 | 149,22 |
| 12.06.2024 14:30 | 84,16 | 221,16 |
| 12.06.2024 14:40 | 35,34 | 275,34 |
| 12.06.2024 14:50 | 43,56 | 267,56 |
| 12.06.2024 15:00 | 164,78 | 188,78 |
| 12.06.2024 15:10 | 39,18 | 158,18 |
| 12.06.2024 15:20 | 38,84 | 169,84 |
| 12.06.2024 15:30 | 36,01 | 189,01 |
| 12.06.2024 15:40 | 80,30 | 224,30 |
| 12.06.2024 15:50 | 27,05 | 238,05 |
| 12.06.2024 16:00 | 35,48 | 226,48 |
| 12.06.2024 16:10 | 42,05 | 285,05 |
| 12.06.2024 16:20 | 40,87 | 424,87 |
| 12.06.2024 16:30 | 37,55 | 290,55 |
| 12.06.2024 16:40 | 27,45 | 318,45 |
| 12.06.2024 16:50 | 25,53 | 253,53 |
| 12.06.2024 17:00 | 33,70 | 150,70 |
| 12.06.2024 17:10 | 35,33 | 184,33 |
| 12.06.2024 17:20 | 36,31 | 198,31 |
| 12.06.2024 17:30 | 32,33 | 153,33 |
| 12.06.2024 17:40 | 26,15 | 143,15 |
| 12.06.2024 17:50 | 28,37 | 162,37 |
| 12.06.2024 18:00 | 41,51 | 146,51 |
| 12.06.2024 18:10 | 38,81 | 118,81 |
| 12.06.2024 18:20 | 24,23 | 96,23 |
| 12.06.2024 18:30 | 25,15 | 83,15 |
| 12.06.2024 18:40 | 359,41 | 73,41 |
| 12.06.2024 18:50 | 98,82 | 55,82 |
| 12.06.2024 19:00 | 48,21 | 36,21 |
| 12.06.2024 19:10 | 66,84 | 28,84 |
| 12.06.2024 19:20 | 120,15 | 18,15 |
| 12.06.2024 19:30 | 164,09 | 11,09 |
| 12.06.2024 19:40 | 174,22 | 12,22 |
| 12.06.2024 19:50 | 174,59 | 10,59 |
| 12.06.2024 20:00 | 182,12 | 5,12 |
| 12.06.2024 20:10 | 187,57 | 3,57 |
| 12.06.2024 20:20 | 186,41 | 1,41 |

| | | |
|------------------|--------|------|
| 12.06.2024 20:30 | 196,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 20:40 | 195,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 20:50 | 192,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 21:00 | 200,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 21:10 | 205,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 21:20 | 202,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 21:30 | 199,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 21:40 | 297,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 21:50 | 103,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 22:00 | 79,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 22:10 | 96,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 22:20 | 105,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 22:30 | 115,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 22:40 | 112,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 22:50 | 105,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 23:00 | 102,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 23:10 | 117,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 23:20 | 105,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 23:30 | 107,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 23:40 | 90,00 | 0,00 |
| 12.06.2024 23:50 | 92,00 | 0,00 |