

Petra Jurin
Grid ONE d.o.o.
petra.jurin@gridone.hr
Goran Jurišić
Grid ONE d.o.o.
goran.juriscic@gridone.hr

Ivona Šironja
Grid ONE d.o.o.
ivona.sironja@gridone.hr

ANALIZA PODATAKA MJERENIH NA NAPREDNIM BROJILIMA KUĆANSTAVA U SVRHU OSTVARENJA OSMOTRIVOSTI PO DUBINI MREŽE

SAŽETAK

Porast kompleksnosti distribucijskog sustava i korištenja energije u kućanstvima nadilazi razinu gdje su sama mjerenja dovoljna. Distribuirana proizvodnja i samoopskrba unose nepoznanice i zahtijevaju nove analize. Mjereni podaci nemaju vrijednost bez pravilnog prikupljanja i obrade. Dok nadzor pruža osnovne informacije, osmotrivost podataka omogućava intuitivno razumijevanje i lakše donošenje odluka. Cilj rada je osmotrivost putem vizualizacije podataka za jasniji prikaz informacija. Fokus je na analizi mjerenja u kućanstvima kako bi se bolje razumjele energetske navike. To pomaže u optimizaciji mreže i integraciji obnovljivih izvora. Planirano korištenje i pohrana podataka postaju ključni. U radu se opisuju prikupljanje, obrada i analiza podataka kroz vremenske serije i vizualne tehnike.

Ključne riječi: osmotrivost mjerenih podataka, kućanstva, distribucijski sustav, fleksibilnost mreže, samoopskrba, vremenske serije, vizualizacija podataka, integracija obnovljivih izvora

ANALYSIS OF DATA MEASURED BY SMART HOUSEHOLD METERS TO ACHIEVE OBSERVABILITY ACROSS NETWORK DEPTH

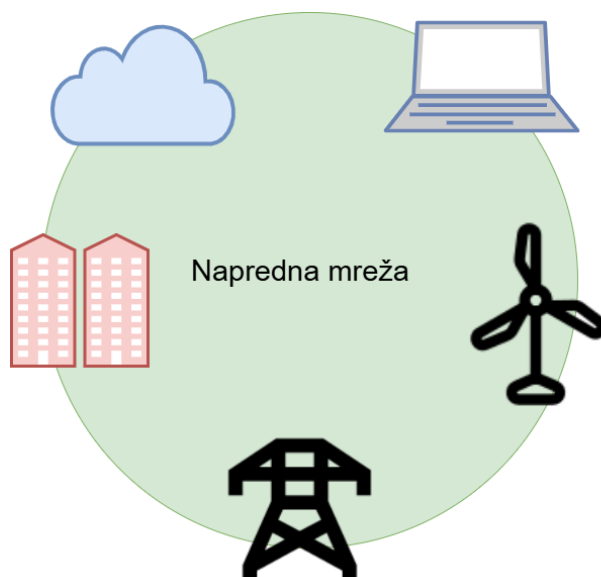
SUMMARY

The increase in the complexity of the distribution system and households exceeds the level where measurements alone are sufficient. Distributed production and self-supply introduce unknowns and require new analyses. Measured data have no value without proper collection and processing. While monitoring provides basic information, data visibility enables intuitive understanding and easier decision-making. The goal of the work is visibility through data visualization for a clearer presentation of information. The focus is on the analysis of household measurements in order to better understand energy habits. This helps in grid optimization and integration of renewable sources. Planned use and data storage become key. The paper describes the collection, processing and analysis of data through time series and visual techniques.

Key words: observability of measured data, households, distribution system, network flexibility, self-supply, time series, data visualization, integration of renewable sources

1. UVOD

Napredna mreža je elektroenergetski sustav koji integrira napredne informacijske tehnologije s tradicionalnim komponentama što uključuje proizvođače, kupce te sve elemente sustava koji ih povezuju. Cilj pametne mreže je povećati učinkovitost, pouzdanost i sigurnost proizvodnje, prijenosa, distribucije i potrošnje električne energije.



Slika 1: Napredna mreža

Uz planove za razvoj napredne mreže očekuje se povećanje broja distribuiranih izvora energije te električnih vozila. Ugradnja naprednih brojila ključan je dio razvoja napredne mreže jer omogućuju daljinsku kontrolu mjernog mjesta, uključivanje i isključivanje, ali i prikupljanje podataka u diskretnim vremenskim intervalima. Prema dokumentu Desetogodišnji (2020. – 2029.) plan razvoja distribucijske mreže HEP ODS-a [1] planirana je ugradnja odnosno zamjena postojećih brojila naprednim brojlama kod krajnjih kupaca. Takav plan odgovara dužnostima operatora distribucijskog sustava opisanim u dokumentu Opći uvjeti za korištenje mreže i opskrbu električnom energijom [2]. Povećanje kompleksnosti distribucijskog sustava čini klasična mjerenja nedovoljnim za precizno praćenje potrošnje i proizvodnje kućanstava. Instalacija pametnih brojila omogućava prikupljanje velike količine podataka o potrošnji i mreži koji se koriste za daljnju primjenu. Iako se prikupljeni podaci u teoriji mogu koristiti za analizu i optimizaciju uvjeta u mreži primarna svrha prikupljanja podataka je obračun troška električne energije. Pri tome je bitno obratiti pozornost na interval uzorkovanja ovisno o svrsi. Dok je za određene primjene poželjno imati što veće frekvencije uzorkovanja, za druge to može stvoriti nepotrebne troškove pohrane i računalnih resursa potrebnih za analizu. Dobro planiranje korištenja podataka ključno je kako bi se izbjegao nepotrebn trošak resursa zbog neiskorištenosti. Prema anketi provedenoj 2020. godine 43% prikupljenih podataka ostaje neiskorišteno nakon pohrane [3]. Pravilno upravljanje podacima presudno je za razumijevanje i optimizaciju mreže. Sami podaci nemaju vrijednost ako se ne prikupljaju i obrađuju na odgovarajući način. Zato je potrebno definirati konkretne slučajeve i relacije u kojima ih želimo koristiti. Pri tom treba na umu imati razliku između nadzora i osmotrivosti.

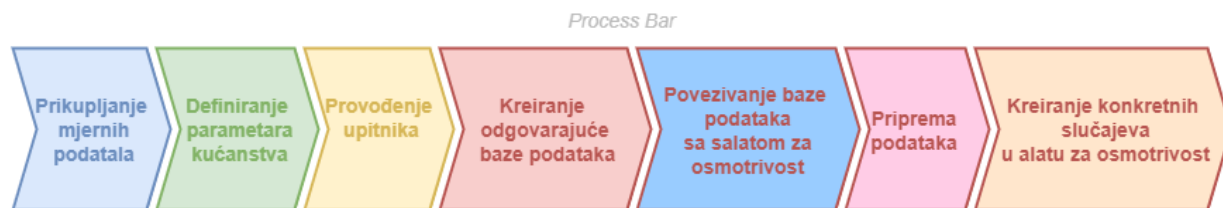
Osmotrivost omogućuje brze i intuitivne zaključke te umanjuje potrebu za dodatnim analizama. Alati za osmotrivost sustava olakšavaju uočavanje trendova, problema i specifičnih stanja koja mogu upućivati na potrebu za daljnjom analizom.

Cilj ovog rada je prikazati kako osmotrivosti podataka prikupljenih s naprednih brojila skupa sa setom definiranih podataka o samim kućanstvima u kojima se brojila nalaze, može olakšati donošenje odluka i daljnja istraživanja. Vizualizacije kao alat za postizanje osmotrivosti sustava poslužit će za jasnije prepoznavanje ključnih informacija, što može biti presudno za optimizaciju sustava i bolji pregled stanja i mogućnosti promatrane mreže.

2. DEFINIRANJE, PRIKUPLJANJE I OBRADA PODATAKA ZA DALJNU ANALIZU

2.1. Definiranje procesa obrade podataka

Podaci korišteni za analizu kombinacija su mjernih podataka s naprednih brojila u kućanstvima te prikupljenim podacima o samom kućanstvima u kojima se brojilo nalazi. Prikupljanje i obrada provedeni su u više koraka kao što je vidljivo na slici 2.



Slika 2: Proces obrade podataka

2.1.1. Prikupljanje i obrada mjerenih podataka

Mjereni podaci koji su korišteni su dio seta podataka sa brojila korisnika koji su na svom naprednom brojilu imali ugrađen P1 Link uređaj. Pomoću ugrađenog P1 Link uređaja podaci su prikupljeni u 10 sekundnim intervalima, ali skup koji je korišten za provedbu analize bio je sveden na 15 minutni interval kako bi se smanjili potrebni resursi. Inicijalni skup sadržavao je različite setove podataka ovisno o tipu brojila u kućanstvu. Kao relevantno za provedenu analizu odabrano je sljedeće : uvezena energija, izvezena energija, ulazna snaga, izlazna snaga, faktor snage te ukoliko se radi o kućanstvu s trofaznim priključkom promatrana je ulazna i izlazna snaga za svaku fazu.

2.1.2. Definiranje i provedba upitnika o parametrima kućanstava u kojima se obavlja mjerenje

Mjerenim podacima za potrebe analize pridruženi su podaci o kućanstvima. Podaci koji su prikupljeni su: županija, tip kućanstva s mogućnostima odabira kuća ili stan, godina izgradnje objekta ili zadnje obnove, ima li kućanstvo toplinsku izolaciju, broj članova kućanstva, broj zaposlenih članova kućanstva, broj članova kućanstva koji rade od kuće, korištenje električne energije za grijanje, ukoliko se koristi električna energija za grijanje koja se metoda koristi, instalirana snaga fotonapona (ukoliko postoji), posjedovanje rashladnog uređaja, posjedovanje električnog vozila, posjedovanje punionice za električno vozilo. Anketa je provedena telefonski, u obliku online forme te pri ugradnji samog P1Link uređaja na napredno brojilo.

2.1.3. Definiranje pokazatelja sustava kroz odabrane korelacije

Imajući na umu dostupni set podataka definirani su sljedeći slučajevi za prikaz :

- 1) Nuravnoteženost opterećenja faza, Grad Zagreb
- 2) Nuravnoteženost opterećenja faza koeficijent, Grad Zagreb
- 3) Raspodjela instalirane snage fotonaponskih panela
- 4) Odnos neto izvezene energije i instalirane snage fotonapona
- 5) Odnos predane i preuzete energije u ovisnosti o instaliranoj snazi fotonapona
- 6) NKO podaci
- 7) Instalirana snaga fotonapona u obliku histograma
- 8) Korelacija instalirane snage fotonapona i prosječnog vršnog opterećenja kućanstva
- 9) Prikaz uvezene i izvezene energije
- 10) Korelacija instalirane snage fotonapona sa uvezenom energijom ovisno o broju članova kućanstva

- 11) Prosjek preuzete energije ovisno o broju članova kućanstva
- 12) Prosjek neto preuzete energije ovisno o broju članova kućanstva
- 13) Odnos vršne izvezene snage i instalirane snage fotonapona

Odabrani slučajevi predstavljaju reprezentativan presjek mogućnosti korištenja ovog strukturiranog seta podataka u različitim analizama.

2.2. Kreiranje grafova u alatu Grafana

Nakon što su svi prikupljeni mjerni podaci, kao i podaci o kućanstvima u kojima se mjerenje provodi, pohranjeni u posebno dizajniranu SQL bazu kreiranu isključivo za potrebe ove analize te je omogućena izrada SQL upita koji generiraju odgovarajuće skupove podataka potrebne za provedbu korelacija.

Osim prilagođenog kreiranja skupova podataka prema zahtjevima korelacije, uklonjena su mjerenja identificirana kao netočna, čime je osigurana veća pouzdanost analiziranih rezultata. Međutim, analiza je ukazala na potrebu za razvojem sofisticiranijih metoda za prepoznavanje, filtriranje i nadopunu netočnih podataka, kako bi se dodatno poboljšala točnost i kvaliteta rezultata. Prilikom odabira tipa grafičkog prikaza, posebna pažnja posvećena je korištenju vizualizacijskih metoda koje najbolje odgovaraju prijenosu ključnih informacija. Odabrane vizualizacije prilagođene su pokazateljima sustava koji se promatraju, čime se osigurava jasniji uvid u podatke i njihovu interpretaciju.

SQL baza povezana je s alatom Grafana, koji služi za vizualizaciju podataka i praćenje sustava u stvarnom vremenu. Omogućuje prikaz podataka iz SQL baze kroz grafove, tablice i druge vizualne elemente. Koristi se za praćenje ključnih pokazatelja, analizu trendova i otkrivanje odstupanja. U Grafani je kreiran dashboard koji prikazuje sve relevantne vizualizacije, omogućujući brzu i jasnu interpretaciju podataka.

3. ANALIZA KORELACIJA

Analiza je provedena na skupu podataka koji obuhvaća mjerenja prikupljena u vremenskom periodu od 11.10.2024. do 11.11.2024. čime je omogućena jednostavnost obrade i preglednost rezultata analize. Vremenski raspon od mjesec dana odabran je kako bi bio moguć uvid u podatke ali uz smanjenu kompleksnost obrade i pohrane podataka u ovoj fazi istraživanja. Trenutno je obuhvaćeno 24 kućanstva, što predstavlja mali broj te onemogućuje generalizaciju rezultata analize. Za rezultate koji to omogućuju trebao bi puno veći broj obuhvaćenih mjernih mjesta i promatrani period. Cilj ovoga rada nije donošenje zaključaka na temelju uzorka već korištenje dostupnog skup kako bi se pokazale mogućnosti podataka prikupljenih putem naprednih brojala sa ciljem ostvarenja osmotrivosti.

Vizualizacija podataka ključna je za trenutno razumijevanje trendova i uzoraka potrošnje, stoga su svi prikazi grupirani u jedan dashboard kao što je vidljivo na slici 3 unutar Grafana alata. Na taj način ostvarena je jednostavnost i preglednost svih ključnih informacija koje proizlaze iz samih prikaza. Pritom je velika pozornost pridodana odabiru odgovarajuće vrste prikaza na način da omogućuje najlakši prijenos smisla promatraču.



Slika 3: Grafana dashboard

Na slikama 4 i 5 prikazan je primjer prikaza neuravnoteženosti opterećenja faza za područje Grada Zagreba na temelju podataka o snazi kroz vrijeme u pojedinoj fazi u obliku tortnog dijagrama. Slika 4 prikazuje tortni grafikon neuravnoteženosti opterećenja faza na području Grada Zagreba gdje se na samom dijagramu vrijednosti prikazuju postotno u odnosu na ukupni zbroj prosječne snage svake pojedine faze u promatranom periodu, dok je u legendi prikaz i sam brojčani iznos.

U tortnom dijagramu na slici 5 definiran je koeficijent neuravnoteženja kako bismo dočarali utjecaj korištenja različitih faktora u isticanju odnosa među veličinama. Koeficijent neuravnoteženja izračunat je za svaku fazu zasebno. Maksimalna snaga P_{max} predstavlja maksimalnu snagu te faze, dok P_{avg3F} predstavlja prosjek opterećenja kada se uzmu u obzir sve faze. Sam koeficijent je njihov omjer zatim je skaliran na 1 kako bi se bolje prikazali postotni odnosi. Ulazni podatak uz snagu po fazi kroz vrijeme je županije u kojoj se kućanstvo nalazi. Bitno je napomenuti zbog nedostatka podatka o fazi na koju je kućanstvo priključeno za kućanstva sa jednofaznim priključkom u ovom paru vizualizacija set za analizu dodatno je sužen isključivo na kućanstva sa trofaznim priključkom. Broj prikazan na samom grafu jednak je ono0me u legendi. Podaci strukturirani na ovaj način lako bi se mogli koristiti za prikaz bilo kojeg područja s obzirom skup podataka sadrži i područje definirano geografskim koordinatama te na taj način provoditi analize lokalnog tipa ukoliko raspolažemo mjerenjima dovoljnog broj kućanstava.

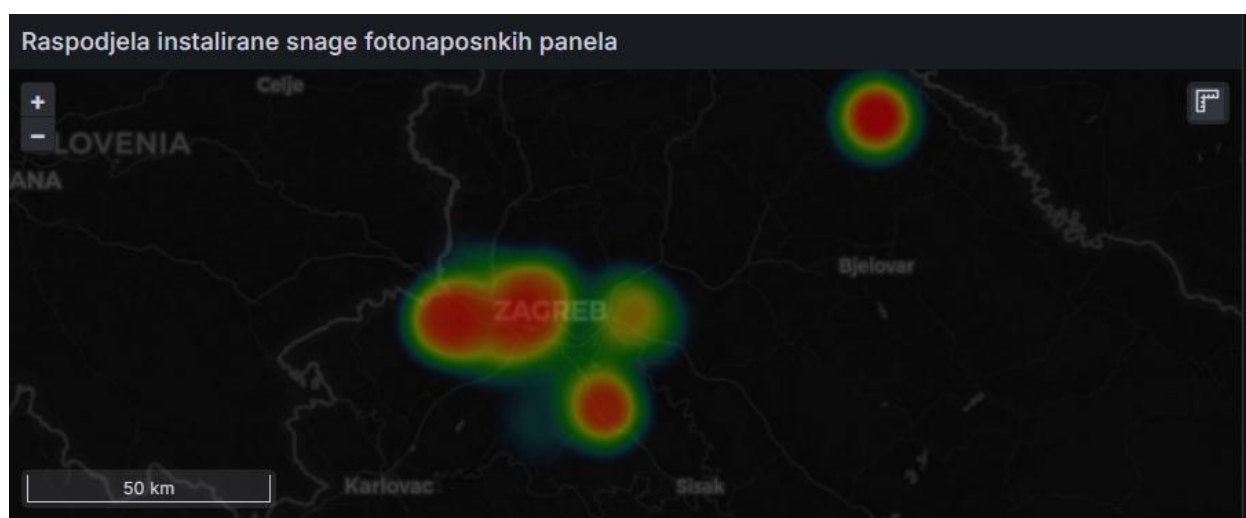


Slika 4: Neuravnoteženost opterećenja faza, Grad Zagreb



Slika 5: Neuravnoteženost opterećenja faza koeficijent, Grad Zagreb

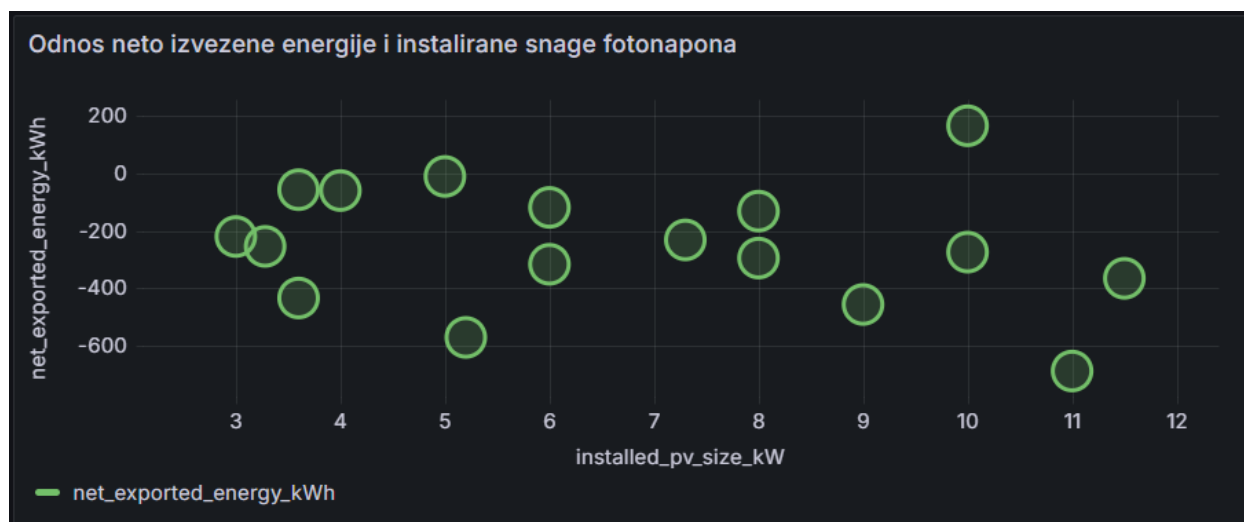
Na slici 6 prikazana je raspodjela instalirane snage fotonaponskih panela na geografskoj karti. Ovakvi prikazi jako su korisni za analizu regionalnih razlika. Kućanstva obuhvaćena anketom većinski su se nalazila na području grada Zagreba s okolicom. U kreiranju prikaza korištena su samo kućanstva sa instaliranom fotonaponskom elektranom.



Slika 6: Raspodjela instalirane snage fotonaponskih panela

Na slikama 7, 8, 9 i 10 prikazani su klasični korelacijski dijagrami koji unatoč jednostavnosti mogu jako dobro prikazati pojedine odnose. Korištenjem različitog broja dimenzija i boja postignuto je uspješno prenošenje različitih informacija.

Na slici 7 prikazan je odnos neto izvezene energije kućanstva i instalirane snage fotonapona. Na osi apscisa prikazana je instalirana snaga fotonaponske elektrane kućanstva u kW, a na osi ordinata prikazana je neto izvezena energija u kWh. Neto izvezena energija predstavlja ukupni iznos energije predane u mrežu u promatranom vremenskom razdoblju. Pozitivna vrijednost neto izvezene energije predstavlja kućanstva koja više proizvode nego troše dok negativna neto izvezena energija predstavlja kućanstva kod kojih potrošnja energije premašuje proizvodnju. Iako je prikazan mali skup kućanstava što onemogućuje dobru generalizaciju, moguće je zaključiti da na danom skupu kućanstava s povećanjem instalirane snage fotonapona na kućanstvu smanjuje se izvoz energije i neto izvezena energija postaje sve više negativna.



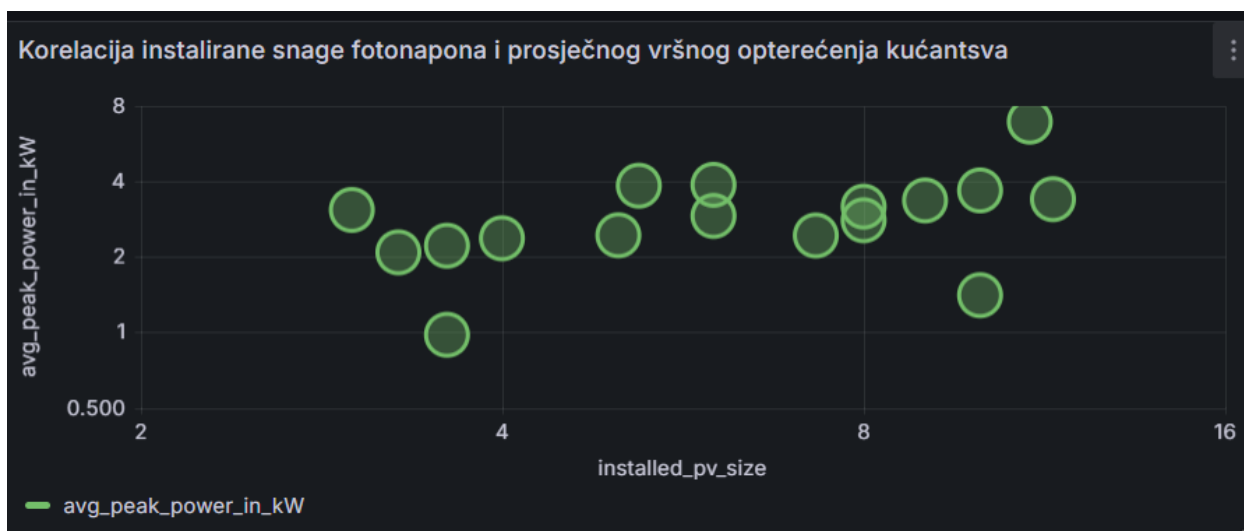
Slika 7: Odnos neto izvezeno energije i instalirane snage fotonapona

Na slici 8 prikazane točke predstavljaju kućanstvo opisano parom vrijednosti; neto izvezena energija na osi ordinata i instalirana snaga fotonapona na osi apscisa. Izvezena energija izražena je u kWh te predstavlja ukupni iznos energije predane u mrežu u promatranom vremenskom razdoblju, uvezena energija također je izražena u kWh te predstavlja ukupno preuzetu energiju u promatranom vremenskom razdoblju. Na dijagramu su korištene dvije boje kako bi se podijelila kućanstva na dva podskupa, one sa i bez hlađenja. Dodana je treća dimenzija koja predstavlja instaliranu snagu fotonapona. Promatrani skup značajno je neuravnotežen te samo jedno promatrano kućanstvo nema sustav hlađenja. Na grafu je vidljivo da s porastom instalirane snage fotonaponske elektrane rastu uvoz i izvoz električne energije sa iznimkom jednog kućanstva koje isključivo uvozi električnu energiju.



Slika 8: Odnos predane i preuzete energije i instalirane snage fotonapona

Na slici 9 prikazan je odnos instalirane snage fotonapona kućanstva i prosječno vršno opterećenje kućanstva u promatranom vremenskom periodu. Prosječna vršna snaga izražena u kWh izračunata je tako da je uzet prosjek zabilježenih vršnih vrijednosti snage preuzimanja po danima za mjerna mjesta. Ovaj graf kao i prethodni korelacijski dijagrami jako je koristan za uočavanje odnosa i zavisnosti između različitih podataka te može dati početni uvid kao podlogu za daljnje istraživanje međuodnosa u sustavu. Moguće je zaključiti da s porastom vršne snage preuzimanja kućanstva raste i instalirana snaga fotonapona.



Slika 9: Korelacija instalirane snage fotonapona i prosječnog vršnog opterećenja kućanstva

Na slici 10 prikazana je korelacija instalirane snage fotonapona sa uvezenom energijom ovisno o broju članova kućanstva. Na osi apscisa prikaza je uvezena energija u kWh te predstavlja ukupno preuzetu energiju iz mreže u promatranom razdoblju na osi ordinata prikazana je instalirana snaga fotonaponskih panela. Treću dimenziju predstavlja broj članova kućanstva koji nam omogućuje da bolje promotrimo utjecaj svakog dodanog člana kućanstva na potrebu za dodatnom uvezenom energijom. Promatrani skup uključuje i kućanstva bez instaliranog fotonapona. Skup je značajno neuravnotežen te sadrži samo 3 kućanstva s 4 člana međutim i dalje možemo vidjeti da za svaku skupinu sa porastom instalirane snage raste i iznos uvezeno energije što može ukazivati da za promatrani skup podataka veća instalirana snaga ne znači manji uvoz električne energije.



Slika 10: Korelacija instalirane snage fotonapona sa uvezenom energijom ovisno o broju članova kućanstva

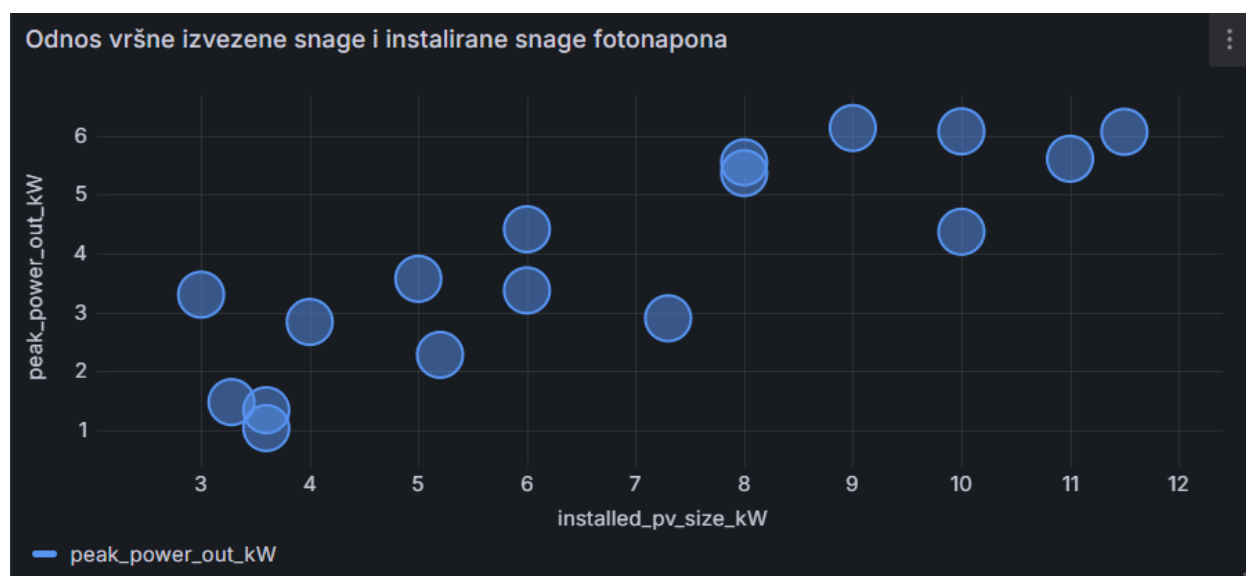
Na slici 11 prikazan je stupčasti dijagram koji prikazuje prosjek neto preuzete energije ovisno o broju članova kućanstva. Na osi ordinata u kWh prikazan je iznos neto preuzete energije koji je rezultat razlike ukupno preuzete i ukupno predane energije iz mreže u promatranom vremenskom periodu. Na osi apscisa prikazane su kategorije kućanstava kreirane prema proju članova u kućanstvu.

Usporedbom dijagrama sa slika 10 i 11 možemo vidjeti kako se iz sličnog seta podataka korištenjem različitih tipova dijagrama informacija različito prenosi i oba prikaza imaju vlastita ograničenja. Na dijagramu na slici 10 povećanjem broja točaka moglo bi doći do teške preglednosti, dok stupčasti dijagram gubi upravo podatak o veličini uzorka i ima manji broj mogućih dimenzija uz očuvanje preglednosti.



Slika 11: Prosječno preuzeta energija ovisno o broju članova kućanstva

Dijagram na slici 12 odličan je primjer prikazivanja međudodnosa između dvije varijable te donošenja zaključaka na jednostavnom grafu gdje bi dodatni grafički elementi otežavali jednostavan prijenos informacije. Prikazan je odnos vršne izvezene snage i instalirane snage fotonapona pojedinog kućanstva. Vršna izvezena snaga na osi ordinata predstavlja maksimalni zabilježeni iznos snage predane u mrežu za svaki uređaj, a na osi apscisa prikazana je instalirana snaga fotonapona kućanstva s mjernim uređajem u kW. Promatrana su isključivo kućanstva koja imaju instalirani fotonapon.



Slika 12: Odnos vršne izvezene snage i instalirane snage fotonapona

4. ZAKLJUČAK

Napredne mreže sa integriranim naprednim brojilima koja omogućuju prikupljanje podataka o potrošnji i proizvodnji energije vrijedan su resurs. No ipak vrijednost prikupljenih podataka ovisi o pravilnoj obradi i analizi. Vizualizacija podataka kao alat u postizanju osmotrivosti distribucijskog sustava ključna je za brže donošenje odluka. Analiza je u ovom slučaju provedena na ograničenom skupu podataka te bi za relevantnu analizu i precizne rezultate stanja mreže trebalo uključiti još mjernih mjesta te promatrati njihova mjerenja kroz dulji vremenski period. Također potrebno je unaprijediti analizu naprednim metodama uklanjanja netočnih podataka i nadopunom nedostajućih mjerenja. Korištenje Grafana dashboarda omogućilo je pregledan i intuitivan prikaz konkretnih primjera i odnosa te je odličan alat za interpretaciju rezultata.

5. LITERATURA

- [1] Desetogodišnji (2020. – 2029.) plan razvoja distribucijske mreže HEP ODS-a , siječanj 2020.
- [2] Narodne novine, "Opći uvjeti za korištenje mreže i opskrbu električnom energijom," Službeni list Republike Hrvatske, br. 104/2020, rujan 2020. [Online]. Dostupno: https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2020_09_104_1954.html. [Pristupljeno: 31. siječnja 2025.]
- [3] Seagate Technology, Rethink Data: Put More of Your Business Data to Work From Edge to Cloud, IDC Research, 2020.