

Robert Noskov
HOPS
robert.noskov@hops.hr

Ivica Petrović
HOPS
ivica.petrovic@hops.hr

Patrik Žanić
FERIT Osijek
patrik.zanic@student.ferit.hr

Igor Provči
HOPS
igor.provci@hops.hr

ANALIZA DIJAGRAMA OPTEREĆENJA I KONZUMA PRP OSIJEK UZ UVAŽAVANJE DISTRIBUTIVNIH IZVORA U SN I NN MREŽI

SAŽETAK

Razvojem novih tehnologija te poticanjem obnovljivih izvora energije u posljednjim desetljećima došlo je do značajnog povećanja integracije obnovljivih izvora energije kako u prijenosnoj, tako i u distributivnoj mreži[1]. Tom integracijom postigle su se neki prednosti, ali i manji nedostaci koji su uočljivi pri vođenju elektroenergetskog sustava.

U radu je analizirana zastupljenost pojedinih vrsta distribuiranih izvora smještenih u nesagledivoj SN i NN mreži, koji su priključeni na sučelju mreže PrP Osijek i načinima pravilnog određivanja njihove moguće i ostvarene proizvodnje. Kod određivanja ostvarene proizvodnje biti će uvažene sve utjecajne veličine na pojedinu vrstu proizvodnje te će biti prikazana mogućnost njenog ispravnog valoriziranja.

Na koncu će se prikazati mogućnost pravilnog određivanja dijagrama opterećenja i konzuma PrP-a Osijek, analizirajući pri tome dnevne energetske izvještaje kroz posljednje desetljeće, a korelirajući sa godišnjim podacima o instaliranim snagama elektrana i ostvarenoj proizvodnji u regionalnoj područnoj mreži PrP-a Osijek.

Ključne riječi: dijagram opterećenja, obnovljivi distribuirani izvori, vođenje EES-a

ANALYSIS OF THE DAILY LOAD DIAGRAM AND CONSUMPTION OF THE TRANSMISSION AREA OSIJEK WITH REGARDS TO DISTRIBUTION GENERATION IN MV AND LV GRID

ABSTRACT

In recent decades, the development of new technologies and the promotion of renewable energy has had a significant impact on the increase renewable energy source generation in both the transmission and distribution grid. This integration has achieved some advantages, but also minor disadvantages that are noticeable in the power system management.

This paper analyzes the share of certain types of distributed energy sources located in the non-observable MV and LV grid, which are connected to the interface of the regional transmission area Osijek and ways to correctly determine their possible and effective production. When determining the

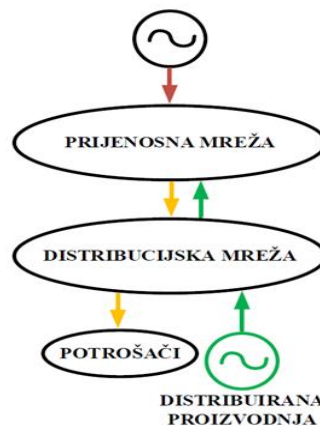
effective production, all influential quantities on a particular type of energy source will be taken into account and the possibility of its correct valorization will be shown.

Finally, this paper will present the possibility of correct determination of load and consumption diagrams of transmission area Osijek by analyzing daily energy load reports over the last decade, and correlating it with the annual data on installed power generation in the regional transmission grid Osijek.

Key words: load diagram, renewable distributed sources, power system management

1. OPĆE ZNAČAJKE DIJAGRAMA OPTREĆENJA, KONZUMA I INTEGRACIJE DISTRIBUIRANE PROIZVODNJE

U tvorbi i određivanju dijagrama opterećenja konzuma ili dijela konzuma kako prijenosne tako i distribucijske mreže, odnosno opterećenja elemenata mreže, sudjeluje velik broj raznovrsnih potrošača uz klasične konvencionalne i distribuirane obnovljive izvore.



Slika 1 Shema EES-a nakon integracije distribuiranih izvora

Potrošači bilo kojeg konzuma su vrlo brojni i raznovrsni, kako u pogledu veličine tako i u pogledu karakteristika ili pak tijeka promjene opterećenja. S obzirom na brojnost i raznovrsnost potrošača i konzuma za analize potrošača te njihovih opterećenja (pojedinačnog i skupnog djelovanja na elemente mreže i sustav u cijelosti) potrošače se može podijeliti na nekoliko kategorija.

Jedna od mogućih podjela potrošača na kategorije jeste:

- kućanstva,
- industrija i komercijalna potrošnja,
- javna rasvjeta i promet,
- poljoprivreda,
- ostala potrošnja.

Udio pojedinih kategorija potrošača prvenstveno ovisi od karakteru konzuma odnosno radi li se o gradskom, industrijskom ili seoskom konzumu.

U gradskom konzumu dominantna kategorija su kućanstva. Ona sudjeluju u potrošnji električne energije od 40% do 80%, pri čemu je gornji interval karakterističan za gradske stambene konzume.

Ostala potrošnja, čije je sudjelovanje približno 20-30%, obuhvaća različite potrošače: obrazovne i socijalne ustanove, zdravstvene ustanove, kulturne ustanove, trgovinu, zanatstvo, komercijalnu potrošnju, komunalna djelatnost, javna rasvjeta, promet, i dr.

Industrijski potrošači se u okviru gradskih izdvajaju kao posebna kategorija. Tu se radi o manjim industrijskim pogonima koji su obično priključeni direktno na srednje naponske (SN) vodove. Veći industrijski potrošači-objekti, čije opterećenje ponekada često premašuje

cjelokupno opterećenje gradskih područja čine industrijski konzum čija se potrošnja ostvaruje neposredno preko vlastitog industrijskog potrošačkog područja.

Osim ove kategorizacije potrošača, prisutne su i druge podjele potrošača. Tako se potrošači dijele na:

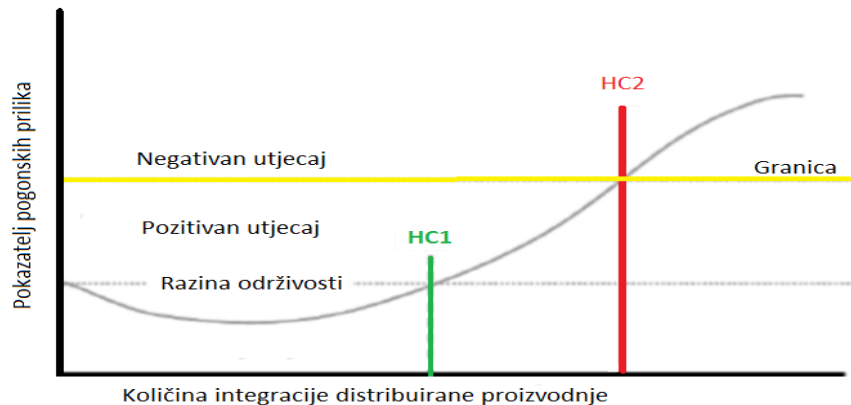
- potrošače na niskom naponu (NN) i
- direktne potrošače na SN ili VN mreži.

U okviru gradskih mreža direktni potrošači su veći potrošači priključeni neposredno na SN ili VN razini. To mogu biti gradski proizvodni i industrijski pogoni, važniji komunalni i infrastrukturni objekti, objekti prometa i sl.

Uz uvažavanje dijagrama opterećenja i svih karakteristika konzuma moraju se uvažiti i utjecaj obnovljivih izvora energije na elektroenergetski mrežu ili njen dio, a osobito o utjecaju pojave problema u:

- regulaciji djelatne snage i frekvenciji (potreba razdiobe snage na generatore),
- regulaciji jalove snage i naponu u sustavu i
- dinamičkoj stabilnosti sustava (stabilnost napona, frekvencija i kut)

Ovisno o prethodnim uvjetima u mreži i razini integracije, ali i kategoriji potrošnje, utjecaj može biti pozitivan ili negativan ovisno o početnim uvjetima u mreži, te razini integracije elektrana u mreži. Na slici 2. prikazan je mogući utjecaj o ovisnosti razine integracije, to jest količini integracije distribuirane proizvodnje iz obnovljivih izvora energije.



Slika 2 Prikaz utjecaja povećanja integracije distribuirane proizvodnje na prienosnu i distributivnu mrežu

Za jasniju predodžbu slike 2 možemo analizirati naponske prilike u mreži. Ako je napon na mjestu priključka i u okolnoj mreži bio niži od nazivnog napona, priključenjem distribuirane proizvodnje na obnovljivi izvor energije, dolazi do poboljšanja naponskih prilika do točke HC1. U slučaju daljnje integracije distribuirane proizvodnje posljedica će biti povišenje napona od točke HC1 do točke HC2, a smatra se prihvatljivim pozitivnim utjecajem.

Ukoliko se proizvodnja iz obnovljivih izvora energije nastavi povećavati na način da se prekorači dopuštena gornja granica napona koja je označena točkom HC2 dolazi do neželjenog utjecaja. Kao rezultat neprihvatljivog negativnog utjecaja doći će ograničenje daljnje integracije obnovljivih izvora u mrežu te će se pojaviti potreba za poduzimanjem dodatnih tehničkih mjera (regulacije u mreži, upravljanja potrošnjom) ili uvođenja naprednih mreža. Sve navedeno uz promjenjivost konzuma dodatno usložnjava problem.

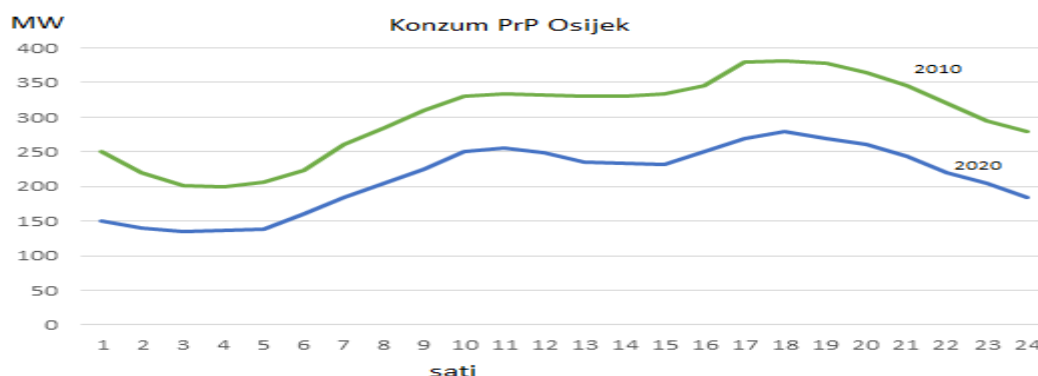
1.1. Dijagram opterećenja PrP-a Osijek i instalirana snaga distribuirane proizvodnja iz obnovljivih izvora energije

Osnovni cilj zamjene konvencionalnih izvora električne energije sa distribuiranim obnovljivim izvorima jeste smanjenje upotrebe fosilnih goriva, a sukladno s tim i smanjenje emisija štetnih plinova

u okoliš. Takva distribuirana proizvodnja električne energije obuhvaća male hidroelektrane, vjetroelektrane manjih snaga, fotonaponske sustave, geotermalne elektrane te mala kogeneracijska postrojenja na biomasu i bioplin.

Pri tome se dotadašnja centralizirana proizvodnja koja se ostvarivala putem visokonaponske prijenosne mreže decentralizira na više lokalnih proizvodnih jedinica smještenih u NN ili SN mreži[3]. Posljedica toga je i zadovoljavanje sve većeg udjela konzuma iz lokalne distributivne proizvodnje, smanjenje tokova snaga kroz prijenosnu mrežu uz prividno smanjenje konzuma prijenosne mreže.

Na slici 3 dan je prikaz dijagrama opterećenja PrP Osijek za vršni konzum kroz desetljeća.



Slika 3 Prikaz usporedbe konzuma PrP Osijek za dane 31.12.2010. i 31.12.2020. godine

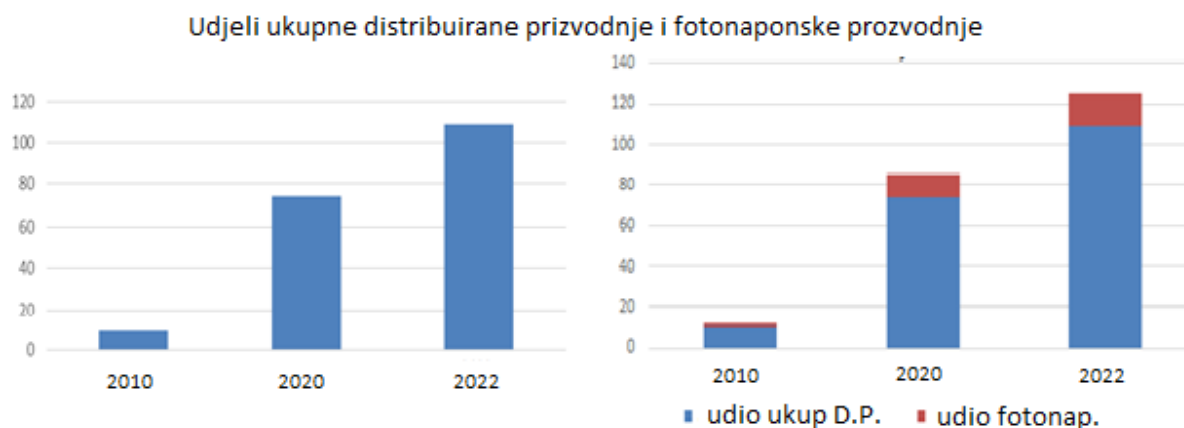
Kod toga je važno znati, da se u navedenom razdoblju od 2010. do 2020. godine događa vrlo intenzivna integracija obnovljivih izvora energije koji se smještaju u SN i NN mrežu, a riječ je pretežito o kogeneracijskim elektranama na bioplin i kogeneracijskim elektranama na biomasu ili pak u manjem iznosu o fotonaponskim elektranama. Onaj dio proizvodnih jedinica odnosno instalirane i ostvarene proizvodnje, koji je priključen direktno na prijenosnu mrežu je jasno alociran i saglediv[5]. Drugi dio proizvodnje iz obnovljivih izvora koji je smješten u SN ili NN mreži je samo djelomično poznat i saglediv.

Na slijedećoj tablici dan je prikaz instaliranih snaga distribuiranih elektrana većih od 10 kW puštenih u pogon u razdoblju od 2010. do 2022. godine, samo za neke karakteristične godine na razini PrP Osijek po distributivnim područjima i ukupno na razini PrP Osijek. Pri tome je važno napomenuti da nisu prikupljeni i uvaženi podaci iz fotonaponskih sustava manjih od 10 kW, a koji u znatno manjoj mjeri utječu na veličine dijagrama opterećenja jer o istima ne postoje pouzdani podaci.

Tablica 1. Pregled instaliranih snaga DG (kW) puštenih u pogon na području PrP Osijek bez fotonaponskih izvora

DP	Pregled instaliranih snaga DG (MW)		
	2010.g	2020.g	2022.g
Osijek	3,3	33,1	40,9
Vinkovci	7,0	30,8	38,8
Sl. Brod	-	9,0	15,5
Požega	-	8,5	9,5
Virovitica	-	3,0	4,5
Ukupno DP u PrP Osijek (MW)	10,3	74,4	109,2

Iz Tablice 1. može se zaključiti da postoji gotovo linearan rast instaliranih snaga distribuiranih generatora na području PrP Osijek koji se nalazi u rasponu od 8% do 12% na godinu. Na slici 4 dan je prikaz udjela instaliranih snaga po godinama u PrP Osijek za sve vrste proizvodnje te udjela instaliranih fotonaponskih izvora u ukupnoj distribuiranoj proizvodnji po godinama.



Slika 4 Prikaz usporedbe instaliranih snaga distribuirane proizvodnje po godinama za PrP Osijek a) bez fotonaponskih izvora, b) sa instaliranim fotonaponskim izvorima

Kod određivanja ostvarene proizvodnje potrebno je uvažiti sve utjecajne i karakteristične veličine za pojedinu vrstu proizvodnje. Pri tome je važno uvažiti da je udio fotonaponskih sustava u instaliranoj snazi distribuirane proizvodnje iznosi približno 15% ukupnog iznosa svih distribuiranih izvora

2. DOPRINOS OSTVARENE DISTRIBUIRANE PROZVODNJE U DIJAGRAMU OPTEREĆENJA

2.1. Određivanje udjela distribuirane proizvodnje u dijagramu opterećenja u prethodnom razdoblju

Aktivne distribucijske mreže i mikromreže, za razliku od dosadašnjih pasivnih mreža, uvelike utječu na tokove snaga u prijenosnim i distribucijskim mrežama. Samim time predstavljaju izazov za održavanje dopuštene razine napona te pravilno udešene i djelovanje zaštite, ali mogu imati znatan utjecaj na struju kratkog spoja.

Sa druge strane, proizvodni izvori su sada bliži krajnjim potrošačima pa utječu na smanjenje gubitaka prijenosnog sustava te, također, mogu sudjelovati u pružanju pomoćnih usluga sustavu u vidu održavanja napona, frekvencije te brze ponovne uspostave sustava poslije velikih poremećaja. U slučaju daljnje izgradnje takvih objekata te uz sve već navedeno, određeni dijelovi prijenosne mreže mogu u narednom razdoblju značajno promijeniti svoju ulogu.

Kod određivanja ostvarene distribuirane proizvodnje pa time i određivanja stvarnog ukupnog konzuma, moraju biti uvažene sve utjecajne i karakteristične veličine za pojedine vrste proizvodnje te prikazana mogućnost njenog ispravnog valoriziranja po satu, danu, godišnjem dobu, klimatskim i geografskim uvjetima.

Iz iskustvenih podataka o ostvarenoj proizvodnji na razini sume 5 distribucijskih područja odnosno cijelog PrP-a Osijek, može se prilično točno i sa velikom pouzdanošću odrediti i izračunati suma prosječne satne ostvarene proizvodnja DG iz kogeneracije u odnosu na instaliranu snagu distribuiranih generatora.

Ta vrijednost nam zapravo predstavlja vrijednost za koju sa velikom vjerojatnošću možemo odrediti udio distribuirane proizvodnje u dijagramu opterećenja u prethodnom razdoblju za svaki započeti sat u svakom danu i godini. Isto je prikazano u Tablici 2.

Tablica 2. Pregled suma prosječne satne ostvarene proizvodnje iz kogeneracije

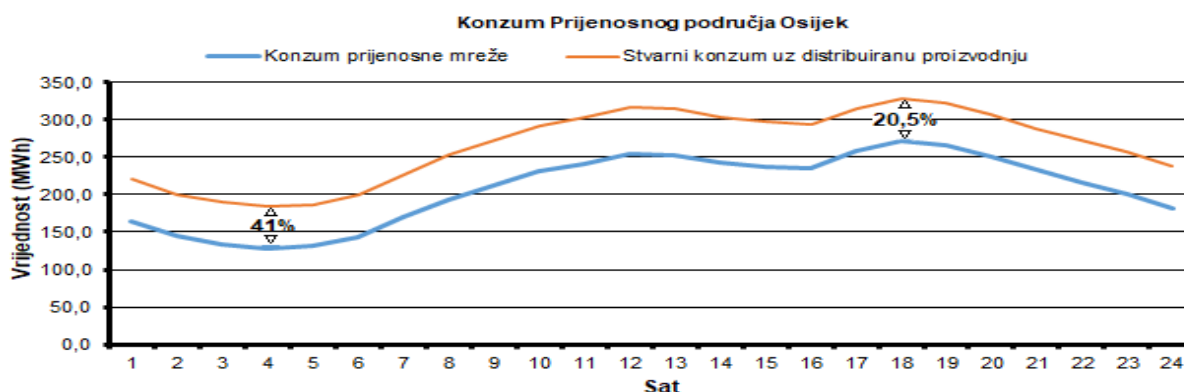
Ostvarenje DG u odnosu na instaliranu snagu u PrP Osijek [%]	Suma prosječne satne proizvodnje iz kogeneracije				
	2010.g	2015.g	2020.g	2022.g	Prosječna vrijednost
	71	79	76	73	74,8

Za pravilno određivanje sume udjela distribuirane proizvodnje iz fotonaponskih sustava u dijagramu opterećenja u prethodnom razdoblju morati će se koristiti kompleksniji i složeniji postupak[4]. On će morati uvažiti broj sunčanih dana u godini na određenom području, godišnje doba, doba dana i vremenske prilike u analiziranom danu. U sljedećoj tablici analizirana je ostvarena proizvodnja iz nekoliko tipova fotonaponskih sustava i različitih starosti (1, 5 i 8 godina starosti) iz prethodnih razdoblja. Navedeno je prikazano u Tablici 3.

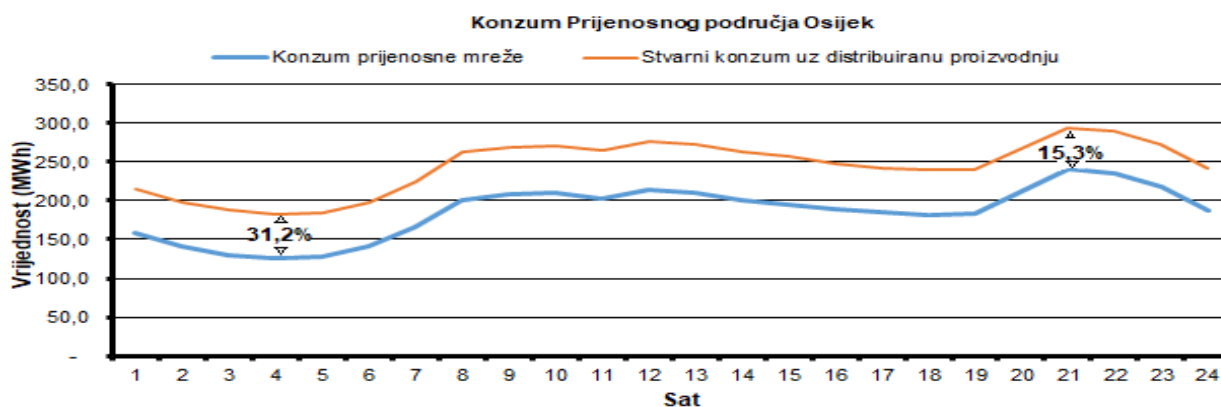
Tablica 3. Pregled sume prosječne satne ostvarene proizvodnje iz fotonaponskih sustava

Suma prosječne satne ostvarene proizvodnje iz fotonaponskih sustava u odnosu na instaliranu snagu [%]								
Ukupno za PrP Osijek	proljeće		ljetno		jesen		zima	
	dan	noć	dan	noć	dan	noć	dan	noć
	4.2	0	7.1	0	5.3	0	3.5	0

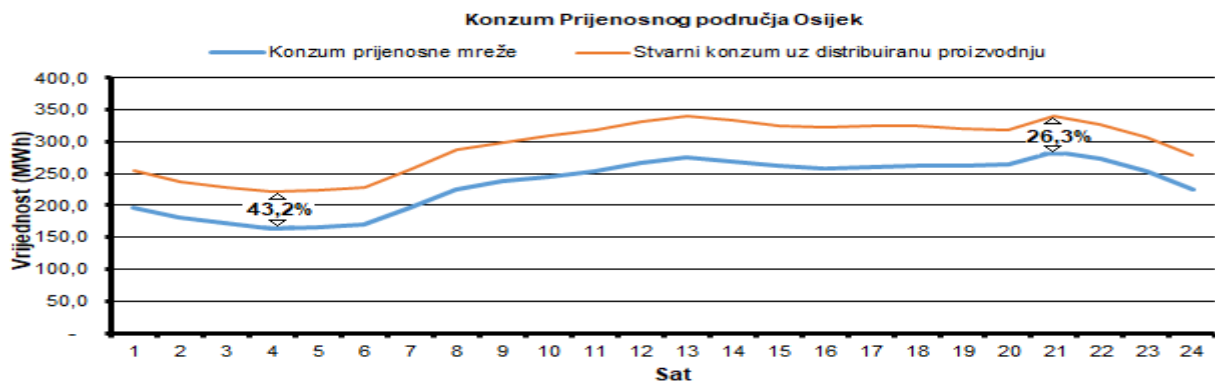
Na osnovu prethodno navedenog na sljedećoj slici biti će predstavljen dijagram opterećenja za dan maksimalnog i minimalnog konzuma u godini koja uvažava doprinose proizvodnje. Na slici 5, a) b) i c) dan je prikaz dijagrama opterećenja konzuma koja uvažava proizvodnju u distributivnoj mreži za dane 31.12.2020. godine, 17.04.2020 godine te 14.08.2020 godine.



Slika 5 a) Dijagram opterećenja i distribuirane proizvodnje PrP Osijek za 31.12.2020. godine



Slika 5 b) Dijagram opterećenja i distribuirane proizvodnje PrP Osijek za 17.04.2020. godine

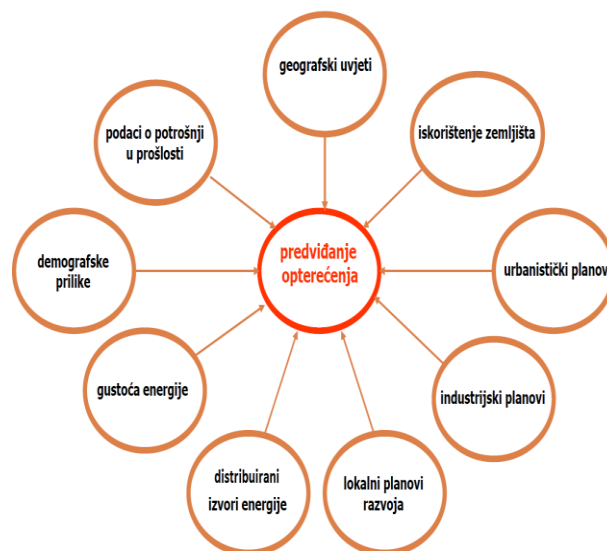


Slika 5 c) Dijagram opterećenja i distribuirane proizvodnje PrP Osijek za 14.08.2020 godine

Na slici 5. a) se iz dijagrama opterećenja, konzuma PrP Osijek i distribuirane proizvodnje PrP Osijek za 31.12.2020. godine može uočiti da je udio distribuirane proizvodnje sudjeluje sa 41,5 % kod minimalnog opterećenja konzuma i 20,5% kod maksimalnog konzuma za navedeni dan. Na slici 5. b) za dan 17.04.2020. godine se vidi da je udio distribuirane proizvodnje sudjeluje sa 31,2 % kod minimalnog opterećenja konzuma i 15,3% kod maksimalnog konzuma. I na koncu na slici 5. c) za dan 14.08.2020. godine se vidi da je udio distribuirane proizvodnje sudjeluje u iznosu od 43,2 % kod minimalnog opterećenja konzuma i 26,3% kod maksimalnog konzuma. Time je pokazano da je vrlo velika varijabilnost udjela distribuirane proizvodnje koje se kreće u iznosu od 15,3% do, 43,2% u odnosu na konzum ostvaren u prijenosnoj mreži.

2.1.1. Predviđanje distribuirane proizvodnje i dijagrama opterećenja PrP Osijek u sadašnjem i narednom razdoblju

Za pravilno predviđanje proizvodnje iz obnovljivih izvora odnosno distribuirane proizvodnje u narednom razdoblju potrebno je uvažiti veliki broj utjecajnih veličina koju imaju svoj doprinos, a koji se moraju valorizirati ili pretpostaviti. Sve navedeno značajno utječe na dijagrama opterećenja i konzum, a ukratko se može predstaviti slikom 6.

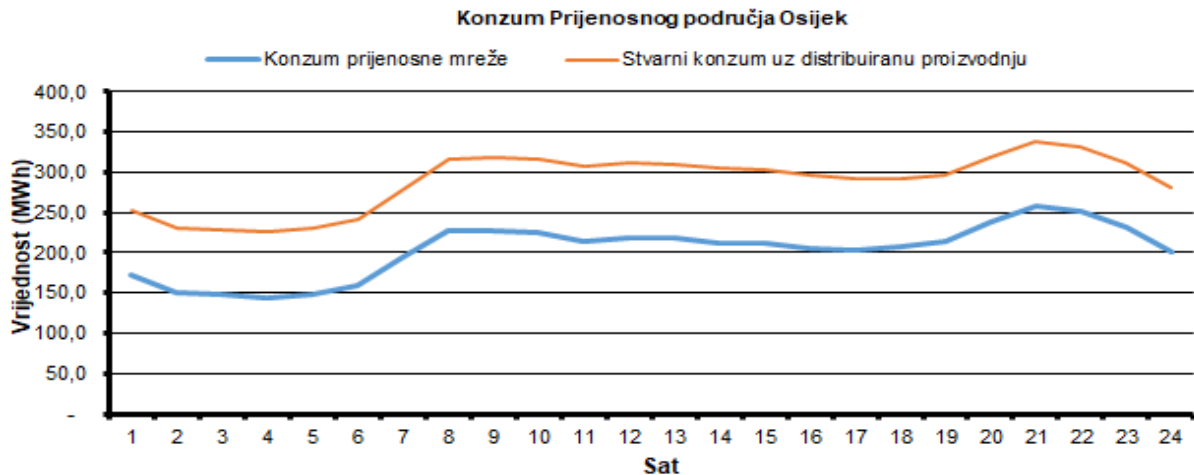


Slika 6 Prikaz utjecajnih veličina na predviđanje opterećenja

Mogućnost predviđanja proizvodnje pa time i dijagrama opterećenja konzuma, uvažavajuće sve navedene veličine bio bi vrlo zahtjevan i kompleksan zadatak. Stoga se ovom postupkom uz relativno

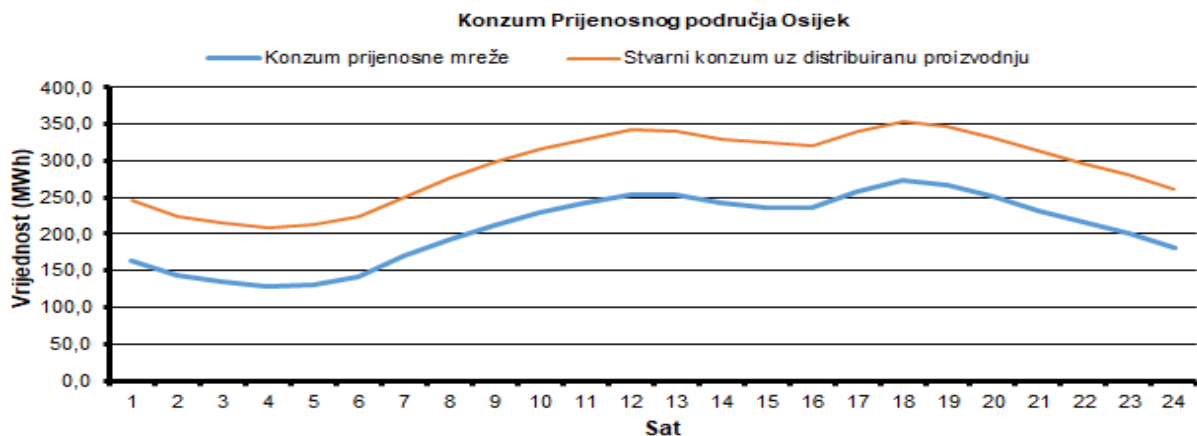
visoku točnost može brže i efikasnije odrediti očekivana proizvodnja i dijagram opterećenja, odnosno predvidjeti iste uz očekivani godišnji porast udjela obnovljivih izvora u iznosu od već naznačenih 10 % iz prethodnog razdoblja koliko je to iz tehničkih razloga maksimalno moguće realizirati.

Za ostvarene vrijednosti dijagrama opterećenja i ostvarene proizvodnje morali smo uvažiti novu ostvarenu i realiziranu izgradnju distribuiranih izvora koji se dogodio do 2022. godine, a koji je prikazan u Tablici 1. Uvažavanjem ostvarene proizvodnje u odnosu na instaliranu snagu u PrP Osijek ostvaren je slijedeći dijagram opterećenja za dan 20.04.2022 godine (karakteristična srijeda) prikazan slikom 7.



Slika 7 Dijagram opterećenja i distribuirane proizvodnje PrP Osijek za dan 20.04.2022 godine[6]

Na koncu je prikazana mogućnost predviđanja dijagrama opterećenja i konzuma PrP-a Osijek, pri tome analizirajući dnevne energetske izvještaje kroz posljednje desetljeće, a korelirajući sa godišnjim podacima o instaliranim elektranama u regionalnoj područnoj mreži PrP-a Osijek u očekivanim sličnim vremenskim prilikama. Isti će uvažiti očekivani ukupan stvarni konzum na kojem neće biti porasta, a koji uvažava povećanje energetske učinkovitosti u građevini i prikazan je slikom 8.



Slika 8 Očekivani dijagram opterećenja i distribuirane proizvodnje PrP Osijek za dan 31.12.2022 godine[6]

Iz dijagrama se jasno može razlučiti porast proizvodnje iz distribuiranih izvora koji iznosi približno 10% na godinu, a uzima sve veći udjel u ostvarenoj proizvodnji i stvarnom dijagramu konzuma. Isto tako, posljednjih godina raste udio proizvodnje iz fotonaponskih sustava od približno 15%, a posebno iz njih ostvarena proizvodnja. Tu je potrebno pridodati jedan veliki dio fotonaponskih izvora manjih snaga do 10kW koji imaju znatan udio u stvarnom dijagramu opterećenja posebno kod povećane insolacije.

Time je dan prikaz mogućnosti predviđanja dijagrama opterećenja i konzuma PrP-a Osijek, služeći se analizom dnevnih energetske izvještaja u posljednjem desetljeću, korelirajući sa instaliranim snagama elektranama i ostvarenom proizvodnjom u njima u regionalnoj područnoj mreži PrP-a Osijek.

ZAKLJUČAK

Nedostatnost informacija pri vođenju sustava doveo je do potrebe za što točnijim predviđanjem i određivanjem stvarnog dijagrama opterećenja prijenosne mreže i mreže PrP Osijek, koji uvažava ostvarenu proizvodnju u distributivnoj mreži.

Iz provedene analize može se zaključiti da se kod određivanja ostvarene distribuirane proizvodnje i stvarnog konzuma, moraju uvažiti sve utjecajne i karakteristične veličine za pojedine vrstu proizvodnje. Njihove stvarne vrijednosti moguće je odrediti na način da se poveća konzum u prijenosnoj mreži od 21% do 45% u ovisnosti o navedenim prilikama i uvažavanje navedenih parametara. Pri tome se u budućim procjenama moraju valorizirati porast instaliranih snaga i ostvarene proizvodnje u prethodnome razdoblju, uvažavajući pri tome očekivane promjene po satu, danu, godišnjem dobu, te vrednujući kod toga klimatske i geografske uvjete.

Iz iskustvenih podataka o ostvarenoj proizvodnji na razini svih 5 distribucijskih područja odnosno PrP Osijek, sa velikom pouzdanošću je određena i izračunata suma prosječne satne ostvarene proizvodnja iz distributivne mreže u odnosu na instaliranu snagu distribuiranih generatora i dijagram opterećenja u prethodnom razdoblju, ali i očekivana proizvodnja u narednom razdoblju.

LITERATURA

- [1] Zhang Jun-fang, Ding Si-min, Hang Yin-li, & Hu Guang. (2009). Research on distributed generation source placement. 2009 International Conference on Sustainable Power Generation and Supply. doi:10.1109/supergen.2009.5347869
- [2] Wei, W., Yin, Q., Bai, Y., Bao, H., Fang, C., & Yang, J. (2013). Regional load forecasting method based on the S-curve power business expansion. 2013 IEEE International Conference of IEEE Region 10 (TENCON 2013). doi:10.1109/tencon.2013.6718969
- [3] Mingtian Fan, Zuping Zhang, Aoxue Su, Huishi Liang, & Wenbo Chen. (2012). Cost-benefit analysis of integration DER into distribution network. CIRED 2012 Workshop: Integration of Renewables into the Distribution Grid. doi:10.1049/cp.2012.0750
- [4] Guwaeder, A., & Ramakumar, R. (2018). Optimal Integration of PV Generation in Distribution Systems. 2018 IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech). doi:10.1109/sustech.2018.8671349
- [5] Ramaswamy, P. C., Vingerhoets, P., & Deconinck, G. (2013). Reconfiguring distribution grids for more integration of distributed generation. 22nd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED 2013). doi:10.1049/cp.2013.0713
- [6] Dnevna energetska izvješća Prp-a Osijek, HOPS