

Igor Žarkić  
HEP - Operator distribucijskog sustava d.o.o.  
[igor.zarkic@hep.hr](mailto:igor.zarkic@hep.hr)

Nikola Nino Magdić  
HEP - Operator distribucijskog sustava d.o.o.  
[nikolanino.magdic@hep.hr](mailto:nikolanino.magdic@hep.hr)

Danko Raspor  
HEP - Operator distribucijskog sustava d.o.o.  
[danko.raspor@hep.hr](mailto:danko.raspor@hep.hr)

## KRATKOROČNO PLANIRANJE NA TRŽIŠTU ELEKTRIČNE ENERGIJE

### SAŽETAK

Planiranje potrošnje i proizvodnje električne energije dobiva sve veći značaj na tržištu električne energije. Dosadašnja slika pasivne distribucijske mreže postaje složenija pojavljivanjem novih tržišnih sudionika, te priključivanjem sve većeg broja distribuiranih obnovljivih izvora električne energije što dovodi do zahtjevnih izazova u pogledu planiranja potrošnje i/ili proizvodnje određenog dijela korisnika mreže sa što manjim odstupanjima. Model planiranja ovisi o brojem varijabla koje podjednako utječu kako na potrošnju tako i na proizvodnju električne energije, pa ih se može podijeliti u nekoliko kategorija: vremenske, ekonomske i ekološke, meteorološke, te nasumične. U radu će biti prikazani rezultati kvalitete kratkoročnog planiranja opterećenja distribucijske mreže u jednom programskom alatu koji težinski uzima u obzir navedene varijable.

**Ključne riječi:** tržište električne energije, modeli planiranja opterećenja, tržišni sudionici, vremenske varijable, meteorološki podaci

## SHORT-TERM PLANNING IN THE ELECTRICITY MARKET

### SUMMARY

Planning for electricity consumption and production is gaining importance in the electricity market. The image of the passive distribution network so far becomes more complex with the emergence of new market entrants and the integration of an increasing number of distributed renewable energy sources, which creates challenges for planning the consumption and / or production of a certain number of network users with as few deviations as possible. The planning model depends on a number of variables that equally affect both, electricity consumption and production, and can be divided into several categories: weather, economic, environmental, meteorological and random. The paper will present the results of the quality of short-term load distribution planning in a software tool that uses these variables.

**Key words:** electricity market, load planning models, market participants, weather variables, meteorological data

## 1. UVOD

Planiranje potrošnje i proizvodnje električne energije dobiva sve veći značaj na tržištu električne energije. Dosadašnja slika pasivne distribucijske mreže postaje složenija pojavljivanjem novih tržišnih sudionika, te priključivanjem sve većeg broja distribuiranih obnovljivih izvora električne energije što dovodi do izazova u pogledu planiranja potrošnje i/ili proizvodnje određenog dijela korisnika mreže sa što manjim odstupanjima.

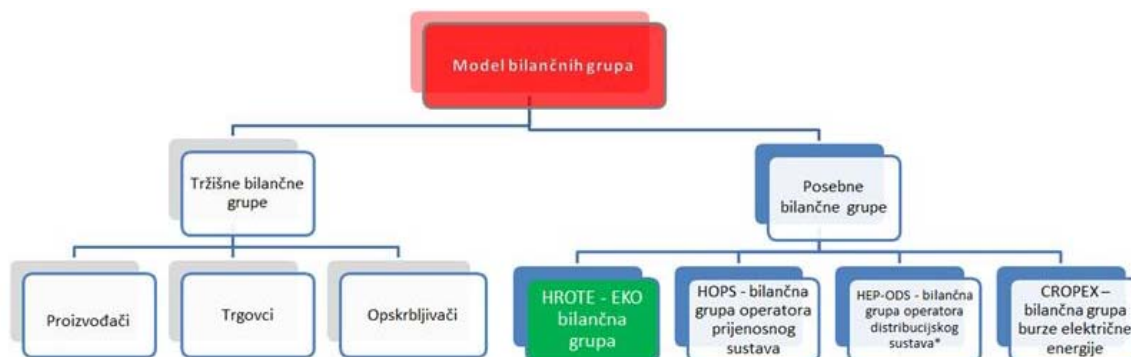
Model planiranja ovisi o brojim varijablama koje podjednako utječu kako na potrošnju tako i na proizvodnju električne energije pa ih se može podijeliti u nekoliko kategorija: vremenske, ekonomske i ekološke, meteorološke, te nasumične. U radu će biti prikazani rezultati kvalitete kratkoročnog planiranja opterećenja distribucijske mreže u jednom programskom alatu koji težinski uzima u obzir navedene varijable.

HEP-Operator distribucijskog sustava d.o.o. (u daljnjem tekstu: HEP ODS) na dnevnoj razini objavljuje nepotvrđene podatke o opterećenju distribucijskog sustava za prethodni dan te će u radu biti analizirana kvaliteta ovih podataka kao i daljnji koraci u poboljšanju ovog poslovnog procesa, a sve u cilju kako bi se što je više moguće olakšalo planiranje bilančnim grupama na hrvatskom tržištu električne energije.

## 2. TRŽIŠTE ELEKTRIČNE ENERGIJE

U Republici Hrvatskoj (u daljnjem tekstu: RH) postoje dva tržišta električne energije. Prilikom otvaranja tržišta u početnoj fazi odabran je model bilateralnog tržišta koji je prema Pravilima organiziranja tržišta električne energije [1] nadograđen s modelom bilančnih grupa u kojem se bilateralnim ugovorima provodi trgovanje električnom energijom.

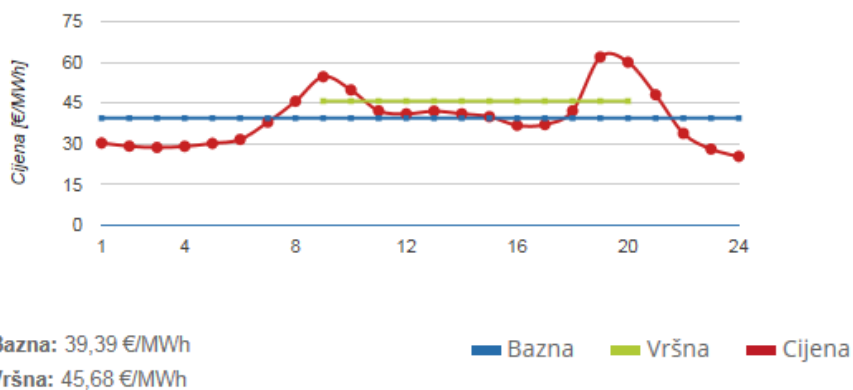
Bilateralni ugovori sklapaju se između opskrbljivača, proizvođača ili trgovaca te u slučaju uvoza ili izvoza električne energije preko granica regulacijskog područja RH.



Slika 1. Model bilančnih grupa [2]

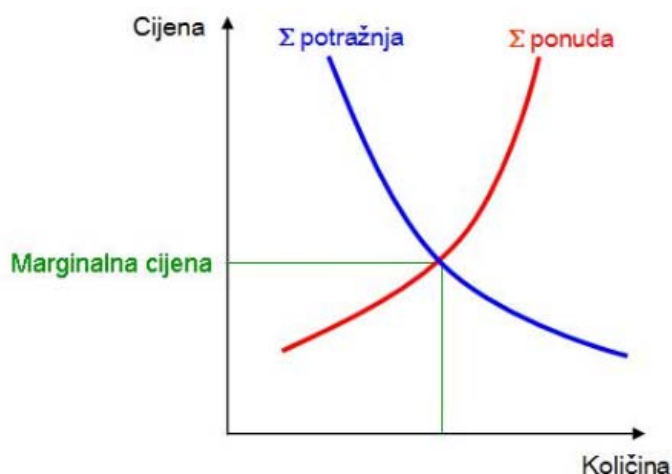
### 2.1. Burza električne energije i utjecaj tržišne cijene

Burza električne energije je središnje mjesto na kojem se obavlja trgovanje između prodavatelja i kupaca električne energije. HRVATSKA BURZA ELEKTRIČNE ENERGIJE d.o.o. (u daljnjem tekstu: CROPEX) odgovorna je za organizaciju i vođenje CROPEX-ovih tržišta u RH [3]. Član burze može biti svaki tržišni sudionik koji ima pravo trgovanja na području Republike Hrvatske. CROPEX-ova tržišta sastoje se od Dan unaprijed tržišta i Unutardnevnog tržišta. Trgovanje na Dan unaprijed tržištu provodi se putem središnje dražbe svakoga dana za isporuku električne energije idućeg dana, dok Unutardnevno tržište članovima omogućava kontinuirano unutardnevno trgovanje. U nastavku na slici 2. prikazane su postignute cijene na Dan unaprijed tržištu za 5. ožujak 2020. godine.



Slika 2. Cijene za Dan isporuke 05.03.2020. na Dan unaprijed tržištu

Za izračun tržišne cijene koristi se pravilo jedinstvene cijene prema kojem se cijena određuje na temelju svih naloga za kupnju i prodaju zaprimljenih od strane članova burze. Za svaki sat trgovanja formira se sumarna krivulja ponude i sumarna krivulja potražnje. Tržišnu cijenu predstavlja sjecište tih krivulja, te svakog sata trgovanja članovi burze čiji su nalozi prihvaćeni trguju električnom energijom po istoj jedinstvenoj cijeni (Slika 3.).



Slika 3. Određivanje tržišne cijene na temelju ponude i potražnje

### 3. PREDIKCIJSKE METODE, MODELI I VARIJABLE

Po svojoj definiciji, isporuka električne energije je isporuka električne energije iz mreže krajnjem kupcu ili predaja proizvedene električne energije u mrežu [4].

Planiranje isporuke električne energije možemo podijeliti u tri kategorije: kratkoročnu (vremenski period od jednog sata do jednog tjedna), srednjoročnu (od jednog tjedna do jedne godine) i dugoročnu (duža od jedne godine). Ove kategorije razlikuju se u preciznosti tako da na primjer možemo za sljedeći dan napraviti predikciju isporuke električne energije određenog područja s tolerancijom 1-3%, dok je tako nešto nemoguće u dugoročnim predviđanjima zbog stalnih promjena cijena na tržištu i vremenskih prilika.

#### 3.1. Varijable u modelima planiranja

Model planiranja ovisi o brojem varijablama koje podjednako utječu kako na potrošnju tako i na proizvodnju električne energije pa ih se može podijeliti u nekoliko kategorija: vremenske, ekonomske i ekološke, meteorološke, te nasumične. U sljedećoj tablici su pojašnjenja za svaku od njih.

Tablica 1. Ključne varijable u modelima planiranja na tržištu električne energije

VREMENSKE VARIJABLE	Godišnja doba (ljetno, zima itd.), doba dana (jutro, večer, noć itd.), dan u tjednu, praznici
EKONOMSKE I EKOLOŠKE VARIJABLE	Ekonomski trendovi (recesija, ekspanzija, itd.), promjena cijena na tržištu električne energije, karakteristike potrošača (gradske sredine, ruralne itd.)
METEOROLOŠKE VARIJABLE	Sunčeva svjetlost, naoblaka, temperatura, vlažnost zraka, brzina vjetera, padaline (kiša, snijeg itd.), olujna nevremena
NASUMIČNE VARIJABLE	Pokretanje/zaustavljanje rada velikih potrošača (tvornice, elektrane itd.), sportski događaji, popularne televizijske emisije i serije, toplinski osjet ugode

Vremenski podaci baziraju se na godišnjem dobu, danima u tjednu te satima u danu. Uočene su značajne razlike u potrošnji prilikom radnih dana i vikenda jer je tijekom tjedna veće industrijsko opterećenje. Također, razlika je i među određenim danima u tjednu te praznicima kada je teže izvršiti prognozu opterećenja. Isto tako, bitne su promjene u ljetnom razdoblju kada se zbog sve viših temperatura javlja potreba za većom upotrebom rashladnih uređaja, no s druge strane smanjenje opterećenja može se objasniti povećanjem broja sati dnevnog svjetla. Najznačajniji od svih uvjeta koji mogu bitno pridonijeti kvaliteti predikcije su klimatski uvjeti, a od raznih klimatskih čimbenika najvažniji su temperatura, vlažnost i sunčevo zračenje.

Kod kratkoročnog planiranja u obzir se uzimaju vremenski period, meteorološke prognoze i kategorije krajnjih korisnika mreže, dok se kod srednjoročnih i dugoročnih koriste povijesni podaci o potrošnji i proizvodnji te klimatskim uvjetima, agregirani podaci prema tipu krajnjeg korisnika mreže na određenom području te demografski podaci.

### 3.2. Predikcijske metode i modeli

Razvijeno je nekoliko predikcijskih metoda i modela, a najznačajnije su bazirane na regresiji, ekspertnim sustavima, ekonometrijskim modelima i pristupom sličnih dana. Uz spomenute, danas se u elektroenergetici sve češće koriste i predikcijski modeli bazirani na neuronskim mrežama koji koriste algoritme s umjetnom inteligencijom.

Metode ekonometrijskog pristupa i metode krajnje namjene koriste se pri srednjoročnom i dugoročnom predviđanju, dok se pri kratkoročnom predviđanju koristi veliki broj metoda poput algoritma "sličnog dana" (na engl. „Similar-day approach“) [5], neuronskih mreža i ekspertnih sustava.

U nastavku je ukratko dan pregled važnijih predikcijskih metoda i modela koji se koriste pri kratkoročnom planiranju.

- Algoritam "sličnog dana" pristup je koji se temelji na povijesnim podacima za dane unutar 1-3 godine unazad koji su sličnih karakteristika. To je jednostavna metoda predikcije gdje se podudaraju i rangiraju vrijednosti. Model prikuplja povijesne podatke, a algoritam uspoređuje prognozirani dan sa ostalim danima iz povijesnog skupa podataka te usklađuje najbližnje na temelju nezavisne varijable. Nakon usklađenja ti se podaci koriste kao predikcija za taj dan. Međutim, tu postoje određeni nedostaci u osnovnoj pretpostavci uključujući tip dana ili blagdana, pa su prognoze manje točne od prognoza koje nastaju pomoću neuronskih mreža. Prednosti takvog dnevnog algoritma su u određenim situacijama kada su ulazni podaci nepotpuni ili se intervali podataka ne podudaraju između nezavisnih i zavisnih varijabli.
- Predikcijske metode koji se zasnivaju na modelima neuronskih mreža. Najčešće umjetne neuronske mreže koje se koriste za predikciju su mreže s unazadnim rasprostriranjem koje im omogućava korištenje kontinuiranih funkcija i nadzirano učenje pomoću algoritama. Algoritmi se koriste u ulaznim i izlaznim podacima gdje se kao ulazni podaci koriste vremenske i meteorološke varijable vezane uz godišnja doba te povijesna mjerenja potrošnje energije za neki

period, dok se kao izlazni podaci koriste izmjerene i potvrđene mjerene podatke za koje se vrši predikcija.

Kod srednjoročnog i dugoročnog planiranja najčešće metode koje se koriste su ekonometrija i metoda krajnje namjere, pri čemu je za srednjoročno planiranje uobičajeno razdoblje od 3 mjeseca do 3 godine, a dugoročno od 3 do 10 godina. U elektroenergetici točnost planiranja ovisi o količini i kvaliteti povijesnih podataka, točnosti pretpostavke i preciznom predviđanju promjena koje utječu na potrošnju i/ili proizvodnju električne energije.

#### 4. MODEL KRATKOROČNOG PREDVIĐANJA OPTEREĆENJA DISTRIBUCIJSKE MREŽE

Prema Pravilima organiziranja tržišta električne energije, na hrvatskom tržištu električne energije razlikujemo tržišne sudionike (proizvođači, opskrbljivači i trgovci) i posebne tržišne sudionike (operator prijenosnog i distribucijskog sustava, burza i operator tržišta), što je već prikazano na slici 1. u drugom poglavlju.

Hrvatski operator prijenosnog sustava (u daljnjem tekstu: HOPS) na svojim službenim stranicama u danu koji neposredno prethodi danu isporuke (dan unaprijed) javno objavljuje tržišni plan, odnosno zbirni plan sudionika na tržištu električne energije za dan isporuke utvrđen temeljem ugovornih rasporeda. Uz tržišni plan, objavljuje i raspoložive nepotvrđene podatke krivulje opterećenja prijenosnog sustava za promatrani dan te na temelju ovih podataka se može s dovoljnom točnošću napraviti predikcija opterećenja prijenosnog sustava za sutra (dan unaprijed). U nastavku ovog poglavlja će biti prikazan princip rada jednog programskog alata koji služi za kratkoročnu predikciju opterećenja prijenosnog sustava.

Alat koristi dva glavna procesa, učenje i predikciju. Učenje je proces kod kojeg se proučavaju povijesne varijable i određuje odnos među njima, dok predikciju koristi za sve što je "naučeno" te primjenjuje prognozirane vremenske i ostale podatke za razvoj predikcije krivulje opterećenja prijenosnog sustava za zadano određeno kratkoročno vremensko razdoblje. Predikcijske metode temelje se na povijesnim podacima uz dostupne vremenske informacije kao što su: temperatura, brzina vjetera, relativna vlaga, ozračenost.

Prema slici 4. u nastavku, prikazano je da se raspoloživi podaci o dnevnom dijagramu opterećenja na sučelju programskog alata automatski učitavaju sa službene stranice HOPS-a [6], te se za preostale sate radi predikcija. Alat je trenutno postavljen na način da najveći udio u predikciji ima vremenska prognoza iz zagrebačke regije, podjednaki utjecaj imaju dalmatinska, kvarnerska i istarska regija, dok najmanji utjecaj ima slavonska regija.

Hour	Plan [MWh]	Ostvarenje [MWh]	Values									
			From	To	Adj. Load	Adj. Abs	Adj. Rel (%)	Load	Temp	Wind	Glob	
1	1648	1586	1	8/11/2016 00:00	01:00	1586.0	0.0	100.0	1586.	13.0	1.8	0.0
2	1473	1436	2	8/11/2016 01:00	02:00	1436.0	0.0	100.0	1436.	13.0	2.1	0.0
3	1390	1360	3	8/11/2016 02:00	03:00	1360.0	0.0	100.0	1360.	13.0	1.3	0.0
4	1350	1330	4	8/11/2016 03:00	04:00	1330.0	0.0	100.0	1330.	13.0	1.0	0.0
5	1341	1341	5	8/11/2016 04:00	05:00	1341.0	0.0	100.0	1341.	12.9	1.3	0.0
6	1386	1393	6	8/11/2016 05:00	06:00	1393.0	0.0	100.0	1393.	13.2	1.5	0.0
7	1528	1537	7	8/11/2016 06:00	07:00	1537.0	0.0	100.0	1537.	14.3	1.9	0.0
8	1783	0	8	8/11/2016 07:00	08:00	1845.2	0.0	100.0	1845.	16.0	2.6	181.0
9	1969	0	9	8/11/2016 08:00	09:00	2020.8	0.0	100.0	2020.	16.5	3.1	313.0
			10	8/11/2016 09:00	10:00	2110.5	0.0	100.0	2110.	16.8	3.7	448.0
			11	8/11/2016 10:00	11:00	2120.9	0.0	100.0	2120.	17.0	4.3	551.0
			12	8/11/2016 11:00	12:00	2206.5	0.0	100.0	2206.	17.6	4.3	763.0
			13	8/11/2016 12:00	13:00	2243.1	0.0	100.0	2243.	18.0	4.2	898.0
			14	8/11/2016 13:00	14:00	2226.4	0.0	100.0	2226.	18.0	4.1	929.0
			15	8/11/2016 14:00	15:00	2177.7	0.0	100.0	2177.	18.7	3.8	880.0
			16	8/11/2016 15:00	16:00	2078.4	0.0	100.0	2078.	19.1	3.6	783.0
			17	8/11/2016 16:00	17:00	2050.3	0.0	100.0	2050.	19.0	3.3	640.0
			18	8/11/2016 17:00	18:00	2019.7	0.0	100.0	2019.	18.5	2.6	450.0
			19	8/11/2016 18:00	19:00	2000.7	0.0	100.0	2000.	17.3	1.9	264.0
			20	8/11/2016 19:00	20:00	2006.7	0.0	100.0	2006.	16.0	1.4	69.0
			21	8/11/2016 20:00	21:00	2060.5	0.0	100.0	2060.	15.6	1.2	0.0
			22	8/11/2016 21:00	22:00	2137.9	0.0	100.0	2137.	15.4	1.1	0.0
			23	8/11/2016 22:00	23:00	1973.1	0.0	100.0	1973.	15.0	0.8	0.0
			24	8/11/2016 23:00	00:00	1803.5	0.0	100.0	1803.	13.7	0.9	0.0

Slika 4. Podaci sa HOPS-ove službene stranice (lijevo) i sučelje programskog alata (desno)

Sučelje programskog alata je u potpunosti automatizirano. U slučaju da određeni dio podataka nije dostupan ili je upitna njihova ispravnost prilikom usporedbe predviđenog i realiziranog, iste je moguće ručno izmijeniti promjenom postavki na samom sučelju. Također, moguće je odabrati različite modele na temelju kojih će se raditi planiranje krivulje opterećenja prijenosnog sustava. U postavkama je moguće istovremeno pokrenuti više različitih modela, te zadani model za koji se smatra da trenutno radi najbolju predikciju. Prije pokretanja izrade predikcije potrebno je unijeti vremenski horizont u satnoj rezoluciji. Dobivena predikcija za bliži vremenski horizont ima bolju točnost od predikcije za daljnji vremenski horizont. Korisnik može odabrati hoće li koristiti predikciju koja se bazira na povijesnim podacima ili će koristiti predikciju koja više prati vremenske promjene.

Na slici 5. u nastavku se mogu vidjeti satna odstupanja planiranih od ostvarenih količina u MWh za obračunsko razdoblje prosinac 2019. godine, a koja su postignuta svakodnevnim pokretanjem predikcijskog modela u 7:30 sati u danu unaprijed (danas) za dan isporuke (sutra). Cilj programskog alata je imati satno pozitivno ili negativno odstupanje unutar 100 MWh od izmjerenih i potvrđenih satnih ostvarenja te se kontinuirano radi na poboljšanju predikcijskog modela u koordinaciji s tehničkom podrškom pružatelja usluge.

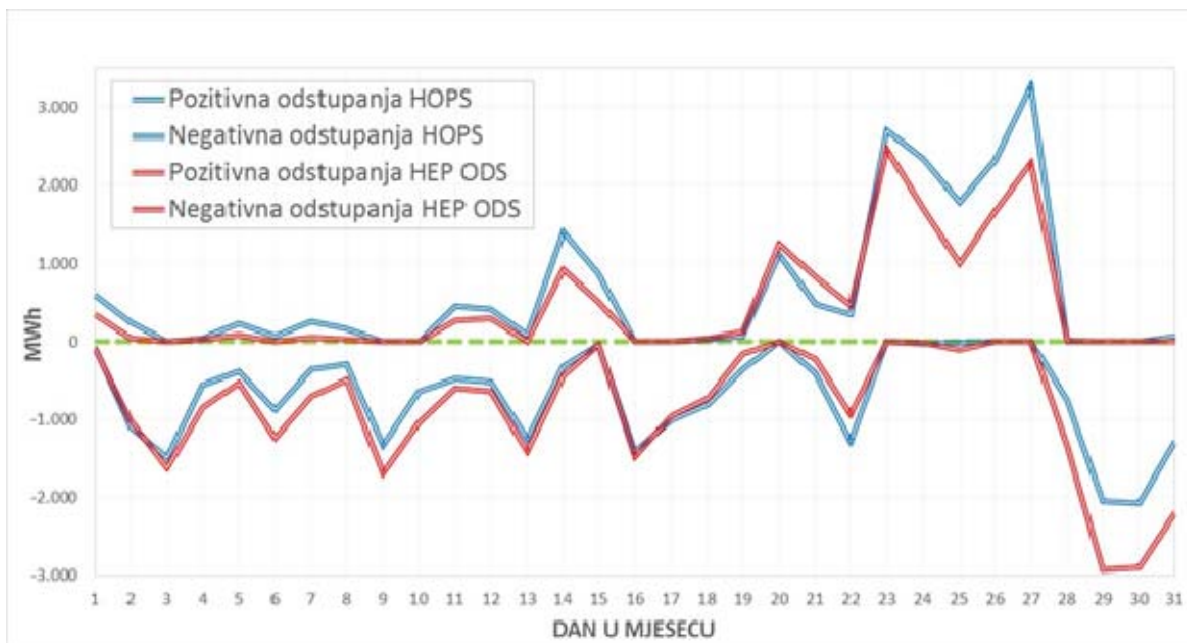
DAN	DATUM	SAT																								ODSTUPANJE		
		1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	POZITIVNO	NEGATIVNO	Ukupno DAN
Ned	1.12.2019	43,5	42,5	45,9	53,5	47,8	36	16,3	8,5	-12	-16,9	-11,7	-13,3	-5,6	-8,1	-4	18,5	-3,1	27,2	38,6	36,8	27,4	42,7	55,5	50,6	591	-75	516,6
Pon	2.12.2019	32,6	32,9	20,6	24,8	25,8	20,8	10,2	-9,1	-23,2	-58,4	-109	-149	-179,6	-177,2	-159,4	-141,4	-75,2	7,9	10,5	0,8	-12,1	-17,2	24,3	30,8	242	-1.111	-868,8
Uto	3.12.2019	-5,1	-20,3	-3,8	-9,3	-1,3	-24,5	-48,2	-69,7	-96,6	-101,6	-112,2	-107,9	-102,7	-78,1	-51,5	-43,8	-75,8	-85,6	-81,6	-97,4	-86,8	-88,3	-55,5	-51,2	0	-1.499	-1.499,0
Sri	4.12.2019	-37,6	-32,2	-10,5	-15,1	-14,5	-28,7	-57	-73,5	-80,3	-73,9	-41,2	-25	-10,5	1,2	12,1	25,8	-1,7	-12,2	-5,5	-16,1	-7,6	-18,2	4,1	-0,3	43	-562	-518,4
Cet	5.12.2019	16,2	1,8	2,2	-24,8	-1,5	-29,5	-42,3	-64,6	-44,3	-39,1	-36,3	-21,1	-23,1	-24,8	-24,7	-11,6	-7,7	43,9	42,2	39,1	41	17	18,1	3,4	225	-395	-170,5
Pet	6.12.2019	-22,2	-6	-6,5	-23,1	-17,6	-18,1	-34,8	-41,2	-43,6	-50	-69,8	-90,3	-95,2	-97,1	-94,7	-86,1	-53	2	19,3	20,4	23,5	-0,1	0,2	-37,6	65	-887	-821,6
Sub	7.12.2019	16,7	-7,9	2,9	-8	15,1	0,6	-5,4	-18,4	-21,8	-29,4	-32,9	-36	-50,9	-63,1	-55,2	-21,7	0,6	30	38,4	45,5	41,2	30,9	27,5	-17,1	249	-368	-118,4
Ned	8.12.2019	33,4	29,4	40,6	17,3	12,4	5,2	7,4	6,6	4,9	-3,8	-4,3	-3,8	-1,9	-21,1	-18,1	-14,3	-20,3	1,9	-13,4	-24,6	-50,3	-46,4	-42,6	-36,1	159	-301	-141,9
Pon	9.12.2019	65,7	68,3	60,1	54,8	-50	-35,4	-31,7	-56,2	-52,1	-49,2	-60,1	-62,9	-64,4	-73,4	-77,5	-108,2	-76,3	-26,5	-28,3	-40,2	-31,9	-25,1	-55,2	-74,6	0	-1.328	-1.328,1
Uto	10.12.2019	-10,6	-0,4	-5	-6,5	-11,9	-15,5	-15,6	-37,8	-33,8	-4,8	-29	-46,1	-43,3	-35,5	-25,4	-27,7	-26,5	-26	-28,8	-25,4	-42,6	-59,9	-31,4	-49,6	0	-639	-639,1
Sri	11.12.2019	-34,5	-44,2	-40,1	-25,3	-25,9	-50	-45,3	-60,5	-71,2	-56,8	-28	-5,1	21,9	40,7	59,4	81,4	56	39,5	21,7	30,5	14,6	7,5	41,4	33,8	448	-487	-38,5
Cet	12.12.2019	49	44,7	58,9	42,7	37,1	20,9	23,9	-14,9	-2	-27	-40,2	-62	-74,4	-76,1	-74,3	-86,9	-65,1	7,6	9,6	14,4	19,9	12,3	33,5	38,5	413	-523	-109,9
Pet	13.12.2019	1,8	5,4	-4,5	12,2	16,7	21,9	10,3	-0,1	8,9	-15,2	-50,2	-75,8	-111,7	-139,3	-145,8	-150,1	-130,2	-69,6	-62,6	-61,3	-57,2	-72,9	-96	-74,9	77	-1.257	-1.180,2
Sub	14.12.2019	-59,3	-44,4	-36,7	-43,4	-27,1	-13,8	-19,1	-32,9	-34,1	-7	53,8	75,9	114	138,3	154	167,1	135,6	87,9	76,6	84	87,3	80,6	96	38,6	1.390	-318	-1.071,9
Pon	15.12.2019	63,9	41,8	29,8	30,4	14,3	0	11,7	-22,2	-16,4	0,2	21,6	41,5	58,8	65,9	76,2	78,4	67	67,9	57,9	62,4	36	20,4	10,7	-3	857	-42	815,2
Ned	16.12.2019	-79,6	-57,4	-49,8	-53,1	-67,5	-69,3	-65,2	-68,7	-41,6	-46,1	-56,9	-70,7	-83,7	-87,8	-92,2	-85,7	-66,4	-17,2	-3,6	-15,1	-42,2	-52,2	-62,9	-72,9	0	-1.408	-1.407,8
Pon	17.12.2019	-61,7	-79,5	-85,9	-93,1	-91,8	-75,2	-67,3	-53,7	-27,3	-24,3	-4,4	-45,7	-39,2	-31,7	-28,1	-14,5	-3	3,4	-2,5	-5,5	-25,6	-11,2	-9,7	-92,2	3	-1.013	-1.009,3
Sri	18.12.2019	-97,7	-83,6	-76,3	-65,6	-69,8	-72,1	-39,1	-34,4	-17,8	-7	-12,6	-19,3	-27,4	-46,3	-35,2	-23,3	-24,1	-0,5	3,7	12,5	3,5	6,1	-9,8	-48,7	26	-811	-785,3
Cet	19.12.2019	4	11,9	21,8	-3,1	-15,1	-25,7	-3	-22,2	-10,1	-23,9	-30,5	-30,4	-40,6	-33	-27,5	-50	-42,9	-6,1	-4,5	1	9,4	0,5	4,4	7,1	60	-369	-308,5
Uto	20.12.2019	-1,6	9,2	-2,1	20,2	24,6	21,2	29,1	32,8	46,7	46,7	53,2	66	73,4	72,3	70,7	53	42,5	83,2	80	82,3	69,4	58	43,3	40,7	1.119	-4	1.114,8
Sub	21.12.2019	19,2	7,2	-2,5	19	12,6	1,2	38,1	29,7	41,1	17,1	-34,8	-82	-95,8	-74,4	-70,6	-43,9	-9,8	39,2	37,3	46,7	49,3	41,6	51,2	20,9	471	-414	57,6
Ned	22.12.2019	51,8	63	63,8	39,7	39,4	41,4	-21,1	-11,5	-54,4	-102,3	-116,2	-134,3	-118,1	-119,3	-146,2	-156,3	-81,9	-69,9	-40,1	-39,9	-52,5	-14,2	2,9	341	-1.278	-936,8	
Pon	23.12.2019	-1,9	-2,2	29,8	58,1	71,3	74,1	119,7	139,4	159,9	165,9	171,3	206,7	218,6	204,4	177,1	143,6	110,4	108,7	104,5	104	87,7	103,3	79,5	58,9	2.699	-2	2.697,2
Uto	24.12.2019	94,8	109,4	133,2	114	97,8	69,8	46,2	-22,1	-10,1	32,6	87,9	98	117,2	115,2	103,5	110	114,6	117,5	119,6	114,5	118,5	143,1	149,9	161,6	2.337	-32	2.304,7
Sri	25.12.2019	90,9	93,4	80,4	86,3	92,2	87,6	71,4	52,9	39	25,8	0,3	-15,6	1	50,1	93	130,5	117,1	104,9	99,6	86,1	85,3	81,1	88,3	119,3	1.776	-16	1.760,8
Cet	26.12.2019	132,8	140,9	142	149,5	151,4	153,4	133,9	119,3	88,5	70,6	54,5	52,9	41,2	50,2	69,7	85,3	72,9	80,5	83,2	75,1	69,3	71,8	89,6	132	2.311	0	2.310,5
Pet	27.12.2019	204,7	198,3	195,5	199,5	184,1	177,1	162,1	143,4	128,8	106,9	99,5	112,7	107,2	96,1	83	74,4	75,3	138,7	142,3	135,7	129,4	129,5	134,5	108,2	3.267	0	3.266,9
Sub	28.12.2019	-63,7	-75	-75,3	-63,4	-70,5	-59,9	-49,1	-22,8	-5	-4,8	-17	-18,3	-11,2	-19,5	-31,4	-19,2	-3,6	2,6	3,1	-4,5	-13,8	-23,4	-38,9	-70,8	6	-761	-755,4
Ned	29.12.2019	-85,6	-77,4	-66,4	-71,1	-78,6	-96,7	-94,5	-112	-121,2	-111,8	-92,4	-89,1	-96,9	-88,4	-90,1	-82,2	-91,9	-77,7	-72	-58,2	-72,2	-87,7	-77,1	-55,4	0	-2.047	-2.046,6
Pon	30.12.2019	-47,8	-38,4	-70,2	-57,7	-44,3	-64,7	-98,9	-129,2	-149,4	-131	-98,6	-83,4	-81,3	-85,7	-79,5	-93,1	-93,7	-107,9	-115,8	-127,8	-103,8	-52	-60	-68,2	0	-2.082	-2.082,4
Uto	31.12.2019	-10,1	11,3	6,1	-1,6	-14,5	-38,4	-114,3	-162,4	-160,1	-137,1	-110,5	-97,7	-74,9	-64,2	-62,2	-64,4	-43,4	-37,5	-32,7	-33,4	-18,8	-4,9	17,4	23,2	58	-1.283	-1.225,1
Prosjeck SAT		5,5	6,8	9,0	8,0	7,8	0,4	-4,5	-19,9	-18,3	-19,6	-22,0	-23,0	-22,4	-19,6	-15,2	-11,2	-9,0	14,4	15,1	14,3	9,9	7,6	15,4	3,8	19.235	-21.310	-2.075,5

Slika 5. Analiza satnog odstupanja pri planiranju krivulje opterećenja prijenosnog sustava u MWh za prosinac 2019. godine

Na temelju analize prikazane slikom 5. može se primijetiti da je u 67 od ukupno 744 satna intervala zabilježeno pozitivno odstupanje iznad 100 MWh u promatranom mjesečnom razdoblju (cca. 9%), s najvećim predikcijskim odstupanjem od 218,6 MWh koje je ostvareno 23. prosinca u periodu od 12 do 13 sati. U 38 satnih intervala je zabilježeno negativno odstupanje iznad -100 MWh (cca. 5%), s najvećim predikcijskim odstupanjem od -179,6 MWh koje je ostvareno 2. prosinca u periodu od 12 do 13 sati. Najveće dnevno pozitivno odstupanje je zabilježeno 27. prosinca (3.267 MWh), a najveće dnevno negativno odstupanje 30. prosinca (-2.082 MWh). Ukupno pozitivno odstupanje za prosinac 2019. godine iznosilo je 19.235 MWh, a negativno -21.310 MWh, što znači da je predikcijski model za prosinac 2019. godine imao ukupno negativno odstupanje u neto iznosu od -2.075 MWh. Prema navedenom, može se zaključiti kako su najveće predikcijske pogreške napravljene u očekivanom razdoblju, odnosno za vrijeme korištenja godišnjih odmora povodom blagdana.

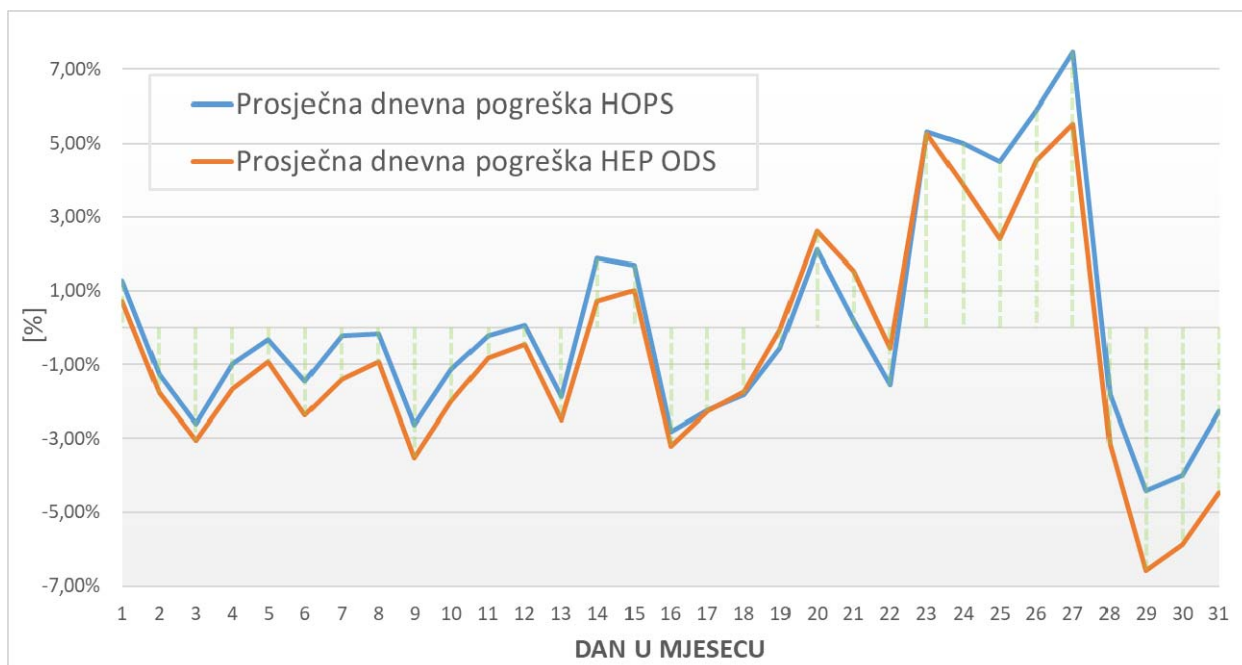
Kako bi se iz ove predikcije mogla napraviti predikcija krivulje opterećenja distribucijskog sustava, potrebno je istu umanjiti za procijenjene gubitke električne energije prijenosnog sustava i potrošnju krajnjih korisnika na prijenosnoj mreži. Uvažavanjem ovih korekcijskih faktora, na slici 6. u nastavku je prikazana usporedba pozitivnih i negativnih dnevnih odstupanja pri planiranju krivulje opterećenja prijenosnog i distribucijskog sustava za prosinac 2019. godine. Može se primijetiti da je pri planiranju krivulje opterećenja distribucijskog sustava najveće dnevno pozitivno odstupanje zabilježeno 23. prosinca (2.463 MWh), a najveće dnevno negativno odstupanje 29. prosinca (-2.932 MWh). Primjetne su sličnosti u odstupanjima budući da se predikcija temelji na istom modelu.





Slika 6. Usporedba pozitivnih i negativnih dnevnih odstupanja pri planiranju krivulje opterećenja prijenosnog i distribucijskog sustava za prosinac 2019. godine

Na slici 7. u nastavku prikazan je postotni udio neto dnevnog odstupanja u odnosu na ostvarene količine opterećenja prijenosnog i distribucijskog sustava. Najveća postotna dnevna pogreška kod oba predikcijska modela zabilježena je u istom danu za pozitivna (27. prosinca 2019. godine) i negativna odstupanja (29. prosinca 2019. godine).



Slika 7. Prosječna dnevna pogreška pri planiranju krivulje opterećenja prijenosnog i distribucijskog sustava za prosinac 2019. godine

Osim predikcije opterećenja prienosnog sustava, ovaj alat sadrži i predikcijske modele planiranja proizvodnje obnovljivih izvora energije (vjetroelektrane, hidroelektrane i solarne elektrane). Pojavljivanjem novih tržišnih sudionika dosadašnja slika pasivne distribucijske mreže postaje sve složenija, što se može vidjeti i u promatranom mjesecu. U prosincu 2019. godine električna energija iz proizvodnih postrojenja na distribucijskoj mreži činila je oko 9% ukupne krivulje opterećenja distribucijskog sustava. Uz primjetan rast obračunskih mjernih mjesta proizvođača na distribucijskoj mreži, pojavljivanjem novih tržišnih sudionika kao što su agregatori te aktivnom uključivanju krajnjih potrošača po principu prosumera, za očekivati je sve veće izazove u pogledu planiranja potrošnje i proizvodnje na distribucijskoj mreži. Daljnjim razvojem tržišta električne energije postojeća koncepcija tradicionalne distribucijske mreže kao pasivne mreže s jednosmjernim tokom energije iz prienosne u distribucijsku mrežu postaje složenija te se stvara potreba za razvojem novih modela pri kratkoročnom planiranju krivulje opterećenja distribucijskog sustava.

Shodno navedenom, u idućem koraku se planira razviti potpuno novi model koji bi na razini distribucijskog područja radio predikciju isporuke električne energije iz prienosne u distribucijsku mrežu te isporuku električne energije iz proizvodnih postrojenja na distribucijskoj mreži. Na slici 8. u nastavku su navedene glavne i automatske meteorološke postaje, a za distribucijska područja koja nisu pokrivena meteorološkim postajama mogu se težinski pridijeliti dostupni podaci od susjednih distribucijskih područja.



Slika 8. Glavne i automatske meteorološke postaje [7]

Kako bi novi model za planiranje krivulje opterećenja distribucijskog sustava imao što manja predikcijska odstupanja, potrebno je podići razinu kvalitete nepotvrđenih podataka na zadovoljavajuću razinu, odnosno da u dnevnim nepotvrđenim podacima nema značajnijih odstupanja od izmjerenih i potvrđenih podataka koji dođu s velikim vremenskim zaostatkom. Primjerice, validacija mjernih podataka se radi do 10.-og u mjesecu za prethodno mjesечно razdoblje, a model zahtijeva zaprimanje povijesnih ostvarenja



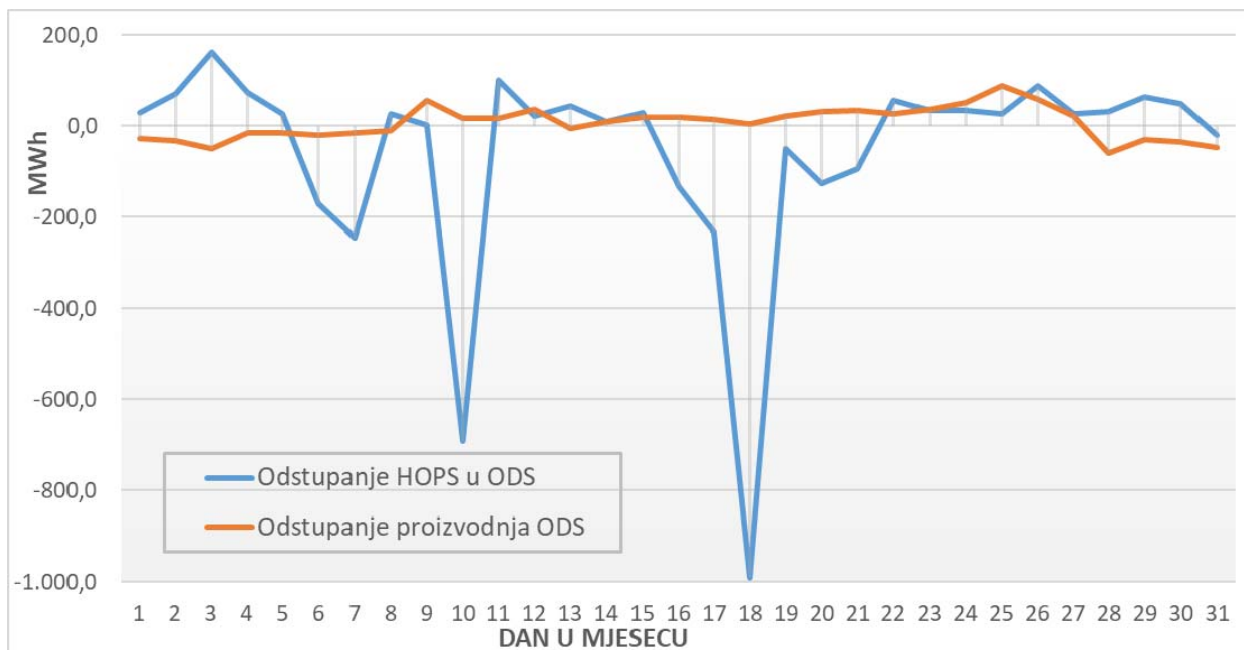
što je ranije moguće. U skladu sa svjetskim trendovima te razvojem tehnologije, trenutno je moguće s dovoljno velikom pouzdanosti imati dnevne nepotvrđene izmjerene i procijenjene povijesne podatke u danu D (danas) za dan D-1 (jučer).

HEP ODS na svojim službenim stranicama objavljuje nepotvrđene podatke preuzimanja energije iz prijenosne mreže i iz proizvodnih postrojenja priključenih na distribucijsku mrežu (prema naponskim razinama) u danu D za dan D-1 [7]. Primjer izvješća za dan 27. prosinca 2019. godine prikazan je na slici 9. u nastavku.

<b>Nepotvrđeni podaci preuzimanja energije u distribucijsku mrežu</b>			
27.12.2019.	iz prijenosne mreže	iz proizvodnih postrojenja na srednjem naponu	iz proizvodnih postrojenja na niskom naponu
Sat	E [MWh/h]	E [MWh/h]	E [MWh/h]
1	1.345	161	12
2	1.213	160	12
3	1.142	159	12
4	1.114	157	12
5	1.134	156	12
6	1.232	153	12
7	1.462	157	12
8	1.656	153	11
9	1.818	156	12
10	1.921	142	14
11	1.922	147	19
12	1.913	152	20
13	1.894	156	20
14	1.861	153	16
15	1.833	149	12
16	1.840	149	12
17	1.977	149	12
18	2.080	151	11
19	2.056	165	9
20	2.033	175	12
21	1.976	174	11
22	1.916	192	9
23	1.788	202	12
24	1.588	203	10
<b>Ukupno</b>	<b>40.714</b>	<b>3.871</b>	<b>306</b>

Slika 9. Nepotvrđeni podaci preuzimanja energije iz prijenosne mreže i iz proizvodnih postrojenja priključenih na distribucijsku mrežu

Odstupanje između dnevnih nepotvrđenih i potvrđenih podataka preuzimanja energije iz prijenosne u distribucijsku mrežu te proizvodnih postrojenja za obračunsko razdoblje prosinac 2019. prikazano je na slici 10. u nastavku. Prema slici se može vidjeti kako nisu zabilježena značajna odstupanja osim za dane 10. i 18. prosinca kada je primjetan nedostatak očitavanja određenog broja mjernih mjesta na sučelju operatora prijenosnog i distribucijskog sustava.



Slika 10. Odstupanje između dnevnih očitanih nepotvrđenih i potvrđenih podataka preuzimanja energije iz prijenosne u distribucijsku mrežu te proizvodnih postrojenja na distribucijskoj mreži

Kontinuirano se radi na poboljšanju ovog poslovnog procesa, a uspostavom novog sučelja operatora prijenosnog i distribucijskog sustava omogućiti će se ažuriranje nepotvrđenih podataka preuzimanja energije iz prijenosne u distribucijsku mrežu u danu D za dan D-1. Također, ponovnim pokretanjem očitavanja za mjerna mjesta proizvođača na distribucijskoj mreži kod kojih nije bilo dohvaćeno očitavanje u prvoj verziji objave, omogućiti će se ažuriranje nepotvrđenih podataka preuzimanja energije iz proizvodnih postrojenja na distribucijskoj mreži u danu D za dan D-1.

## 5. ZAKLJUČAK

Prema trenutnom stanju na tržištu električne energije može se primijetiti da će doći do sve većih izazova u pogledu planiranja potrošnje i/ili proizvodnje određenog dijela korisnika mreže sa što manjim odstupanjima, prvenstveno zbog pojavljivanja novih tržišnih sudionika (agregatori, prosumeri i sl.).

U radu su prikazane najbitnije varijable koje se koriste u kratkoročnim i dugoročnim modelima planiranja na tržištu električne energije te su dani rezultati kvalitete kratkoročnog planiranja opterećenja distribucijske mreže u jednom programskom alatu. Iako značajan utjecaj na prognoziranje imaju povijesni podaci opterećenja i temperatura, iz dobivenih rezultata se može vidjeti kako su najveće predikcijske pogreške ostvarene za vrijeme korištenja godišnjih odmora povodom blagdana što bi se trebalo anulirati korištenjem novih predikcijskih modela baziranim na neuronskim mrežama.

Napravljena je i analiza kvalitete nepotvrđenih podataka o opterećenju distribucijskog sustava koje HEP ODS javno objavljuje na svojim službenim stranicama u danu D za dan D-1. Također su navedeni daljnji koraci u poboljšanju ovog poslovnog procesa, a sve u cilju kako bi se što je više moguće olakšalo planiranje bilančnim grupama na hrvatskom tržištu električne energije.

## 6. LITERATURA

- [1] „Pravila organiziranja tržišta električne energije“, Narodne novine, broj 107/19 i 36/20, Hrvatski operator tržišta energije d.o.o.
- [2] <http://www.hrote.hr/model-trzista>
- [3] <https://www.cropex.hr/hr/trgovanja/opcenito.html>
- [4] „Opći uvjeti za korištenje mreže i opskrbu električnom energijom“, Narodne novine, broj 85/15, Hrvatska energetska regulatorna agencija.
- [5] D. Mileta, B.Milešević, S. Sucic. Application of Neural Network for Zagreb Load Forecasting. 2012.
- [6] <https://www.hops.hr/dijagram-opterecenja-dnevni>
- [7] Državni hidrometeorološki zavod, <http://meteo.hr/>
- [8] <http://www.hep.hr/ods/opskrblijivaci/pravila-primjene-nadomjesnih-krivulja-opterecenja/dnevni-dijagram-opterecenja/627>