

Luciano Delbianco  
Visoka tehnička škola u Puli – Politehnički studij  
[delbianco@politehnika-pula.hr](mailto:delbianco@politehnika-pula.hr)

Denis Brajković  
HEP – ODS d.o.o., Elektroistra Pula  
[denis.brajkovic@hep.hr](mailto:denis.brajkovic@hep.hr)

Davor Mišković  
HEP – ODS d.o.o., Elektroistra Pula  
[davor.miskovic@hep.hr](mailto:davor.miskovic@hep.hr)

## ANALIZA ZNAČAJKI POTROŠNJE ELEKTRIČNE ENERGIJE KOD KUPACANA NISKIM NAPONU NA PODRUČJU HEP - ODS D.O.O. ELEKTROISTRA

### SAŽETAK

U referatu su prikazani rezultati analize mjerenja potrošnje električne energije za kućanstava u koja su ugrađena mjerila za pohranjivanje podataka o energiji. Određene su značajke opterećenja kupaca i njihovih nadomjesnih krivulja opterećenja. Tipične krivulja opterećenja određene su metodom grupiranja.

Odabrano je pet transformatorskih područja, s trideset kućanstava. Navedena područja odabrana su tako da reprezentiraju različite stambene zone u pogonu Pula.

**Ključne riječi:** nadomjesna krivulja opterećenja, normativi potrošnje, vršne vrijednosti snage, faktor istodobnosti, krivulja trajanja vršnog opterećenja.

## ANALYSIS OF METERING OF ELECTRICAL ENERGY CONSUMPTION IN HOUSEHOLDS IN THE REGION OF HEP - ODS D.O.O. ELEKTROISTRA

### SUMMARY

The paper presents results of analysis of metering of electrical energy consumption in households which have ARM. The intention was to create the load profile curve which was achieved by the grouping method.

Five transformer areas were chosen, with thirty households altogether. The mentioned areas were chosen as to represent the various typical residential zones in the greater Pula area.

**Key words:** standard load profile, consumption parameters, peak load, coincidence factor, load duration curve.

### 1. UVOD

Poznavanje značajki i normativa potrošnje i opterećenja odnosno profila potrošnje po grupama kupaca bitno je za procjenu potrošnje električne energije, obračun i raspodjelu troškova za energiju uravnoteženja, upravljanje, planiranje održavanja i razvoja distribucijskog sustava. Osim navedenoga, otvaranje tržišta električne energije donosi nove zahtjeve pred operatora prijenosnog sustava, operatora distribucijskog sustava, operatora tržišta energije i opskrbljivače, od kojih je jedan nužnost istraživanja

standardnih krivulja opterećenja onih kupaca koji nemaju mjerila za pohranjivanje podataka o energiji u vremenskom razdoblju.

Određivanje značajki opterećenja kupaca i njihovih nadomjesnih krivulja opterećenja bitno je iz niza razloga od koji su najvažniji sljedeći:

- mogućnost ispravnog planiranja opterećenja u svrhu planiranja elektroenergetske mreže;
- uporaba standardne krivulje opterećenja za kategoriju kupaca na niskom naponu – kućanstvo;
- utvrđene standardne krivulje opterećenja koriste se za kategorizaciju kupaca pri izradi i analizi tarifnih sustava te drugih podzakonskih akata.

Pri analizi značajki kućanstva kao kupaca električne energije, poželjno je definirati karakteristične zone potrošnje:

- urbana područja (uže središte grada, zone višekratnih stambenih objekata);
- ruralna područja;
- naselja orijentirana turizmu.

Iz praktičnih razloga, odabir kućanstava i transformatorskih područja u kojima su mjerena opterećenja, u ovoj fazi istraživanja ograničen je na područje pogona Pula. Odabrano je pet transformatorskih područja, s trideset kućanstava u kojima su mjerena opterećenja, napajanim iz sljedećih TS 10(20)/0,4 kV:

- TS Barban (izvangradska mreža) s razdobljem mjerenja od 1.8.2007. do 15.2.2008.;
- TS Pilica s razdobljem mjerenja od 1.7.2007. do 1.3.2008.;
- TS Neboder s razdobljem mjerenja od 1.7.2007. do 1.3.2008. te
- TS Tartinijeva s razdobljem mjerenja od 1.7.2007. do 1.3.2008.
- TS Valsabion s razdobljem mjerenja od 1.7.2007. do 1.3.2008.

Navedena područja odabrana su tako da reprezentiraju različite stambene zone u pogonu Pula. Pritom se vodilo računa kako o vrsti stambene zone (neboderi, obiteljske zgrade, izvangradska naselja) tako i prisustvu drugih energenata (gradski plin). Pri odabiru kućanstava gdje su ugrađena mjerila za pohranjivanje podataka o energiji u vremenskom razdoblju, uvažena je njihova potrošnja iz prethodnih razdoblja.

## 2. OSNOVNE ZNAČAJKE REZULTATA MJERENJA

Tablica I prikazuje značajke očitavanja petnaest minutnih prosječnih vrijednosti snage na odabranim mjernim mjestima kupaca i transformatorskih stanica.

Tablica I Popis TS 10(20)/0,4 kV i adresa kupaca gdje su mjerena opterećenja

TS/adresa kupca	Oznaka	$P_m$ kW	$P_{sr}$ kW	$\sigma$ kW	$W$ kWh	$T_m$ h
<b>TS Tartinijeva</b>		385,80	167,41	79,86	980420	3872
KRANJČEVIĆEVA ULICA 3	1	2,76	0,31	0,49	1818	1208
KRANJČEVIĆEVA ULICA 3	2	5,92	0,64	0,90	3724	1169
KRANJČEVIĆEVA ULICA 3	3	3,44	0,30	0,51	1751	935
KRANJČEVIĆEVA ULICA 3	4	3,24	0,21	0,31	1212	766
KRANJČEVIĆEVA ULICA 3	5	3,16	0,18	0,31	1068	630
KOVAČIĆEVA ULICA 2	6	7,88	1,37	1,59	8040	1868
RADIĆEVA ULICA 27	7	4,36	0,35	0,55	2034	878
RADIĆEVA ULICA 27	8	7,96	0,64	1,32	3737	1608
<b>TS Neboder</b>		442,60	140,39	72,00	822183	2833
KRLEŽINA ULICA 35	10	2,52	0,22	0,26	1286	826
KRLEŽINA ULICA 35	11	5,76	0,46	0,69	2677	768
KRLEŽINA ULICA 35	12	4,04	0,20	0,33	1181	527
KRLEŽINA ULICA 37	13	7,16	0,85	1,03	4989	1176
KRLEŽINA ULICA 37	14	9,32	1,04	1,28	6103	1071
KRLEŽINA ULICA 37	15	2,20	0,07	0,18	429	323
KRLEŽINA ULICA 37	16	4,60	0,38	0,56	2211	1225

TS/adresa kupca	Oznaka	$P_m$ kW	$P_{sr}$ kW	$\sigma$ kW	$W$ kWh	$T_m$ h
KRLEŽINA ULICA 37	17	7,16	0,93	1,01	5451	1322
<b>TS Pilica</b>		90,00	25,21	9,74	147642	2510
DE FRANCESCHIJEVA UL.5	19	9,00	0,59	0,74	3431	639
DE FRANCESCHIJEVA UL.15	20	7,44	0,87	0,93	5066	1143
DE FRANCESCHIJEVA 24	21	6,12	0,90	0,70	5283	1337
DE FRANCESCHIJEVA UL.14	25	6,24	0,77	0,75	4526	1484
<b>TS Barban</b>		215,00	97,64	25,48	464024	3991
BARBAN, BARBAN 4	27	4,16	0,33	0,41	1573	755
BARBAN, BARBAN 5	28	4,16	0,52	0,65	2490	1196
BARBAN, BARBAN 8	29	4,12	0,24	0,29	1156	569
BARBAN, BARBAN 83	30	6,72	0,58	0,72	2735	827
BARBAN, BARBAN 83	31	7,40	0,58	1,14	2773	748
BARBAN, BARBAN 83	32	7,68	0,50	0,78	2380	629
BARBAN, BARBAN 14	33	5,60	0,74	0,74	3528	1325
<b>TS Valsabion</b>		372,20	132,33	69,05	774943	3592
PJEŠČANA UVALA 1. OG.5	36	4,12	0,04	0,22	234	428
PJEŠČANA UVALA 2. OG.12	37	4,24	0,14	0,38	805	1436
PJEŠČANA UVALA 2. OG.10	40	4,12	0,10	0,39	584	1066

Prikazane su sljedeće vrijednosti, tablica I:

$P_m$  vršna vrijednost izmjerene snage, kW  
 $P_{sr}$  srednja vrijednost izmjerene snage, kW  
 $\sigma$  standardna devijacija izmjerene snage, kW  
 $W$  ukupna izmjerena energija, kWh  
 $T_m$  trajanje vršnog opterećenja, h

Trajanje vršnog opterećenja izračunato je prema sljedećoj formuli:

$$T_m = \frac{W}{P_m} \cdot \frac{8760}{\left(N_d / 4\right)}, \quad \text{h} \quad (1)$$

gdje je  $N_d$  broj dobrih očitavanja na temelju kojih je izračunata energija.

Faktor istodobnosti opterećenja kupaca izračunava se iz:

$$f_{ist} = \frac{P_{\Sigma,m}}{\sum_{i=1}^N P_{m,i}} = \frac{49 \text{ kW}}{163 \text{ kW}} = 0,3 \quad (2)$$

gdje su:

$P_{\Sigma,m}$  vršna vrijednost zajedničke krivulje opterećenja, kW

$P_{m,i}$  vršno opterećenje  $i$ -tog kupca, kW

Dobiveni faktor istodobnosti moguće je provjeriti pomoću Rusck-ove formule:

$$f_{ist} = \frac{f_{\infty} \cdot N + (1 - f_{\infty}) \sqrt{N}}{N} = \frac{0,15 \cdot 30 + (1 - 0,15) \sqrt{30}}{30} = 0,305 \quad (3)$$

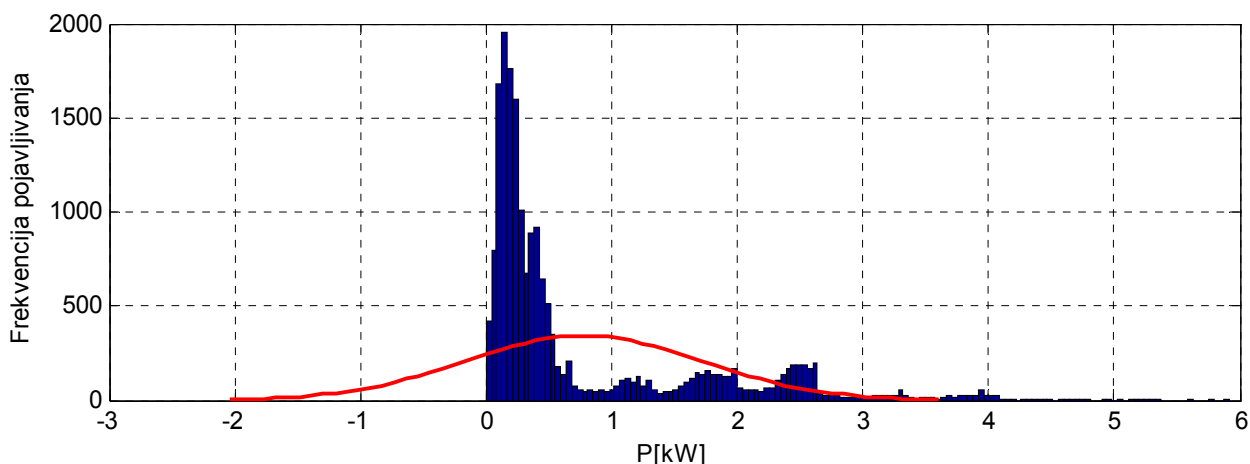
Od osnovnih značajki izmjerenih podataka važno je istaknuti sljedeće:

- trajanje vršnog opterećenja na transformatorskim stanicama kreće se od 2510 sati na TS Pilica, do 3991 sati na TS Barban;
- Prosječno trajanje vršnog opterećenja  $T_m$  na promatranim mjernim mjestima kupaca električne energije je oko 1000 sati godišnje;
- Prosječno vršno opterećenje  $P_m$ , na promatranim mjernim mjestima kupaca električne energije je oko 5,42 kW;

- d) Izračunati faktor istodobnosti  $f_{ist}$ , izračunat temeljem (2) iznosi 0,3 i u odgovara onome izračunatom pomoću Rusckove formule, (3), uz faktor beskonačno  $f_{\infty}=0,15$ .

### 3. HISTOGRAMI I KUMULATIVNA DISTRIBUCIJA IZMJERENIH VRIJEDNOSTI

U statističkim razdiobama izmjerenih snaga kupaca pretežu niže izmjerene vrijednosti snaga. Teoretska distribucija koja bi odgovarala empirijskoj vjerojatno je Rayleigh-jeva distribucija, slika 1 i . Plavom bojom prikazana je frekvencija pojavljivanja pojedine veličine očitavanja snage, dok je crvenom bojom prikazana normalna distribucija.



Slika 1 Statistička razdioba vjerojatnosti opterećenja na brojilu kupca broj 2, tablica

### 4. PROSJEČNE DNEVNE KRIVULJE OPTEREĆENJA

Iz izmjerenih vrijednosti, izračunate su prosječne dnevne krivulje opterećenja. Prosječna vrijednost za svaki petnaest minutni interval dobiva se tako da se zbroj svih vrijednosti snage tijekom svakog pojedinog intervala podijeli s brojem očitavanja za taj interval.

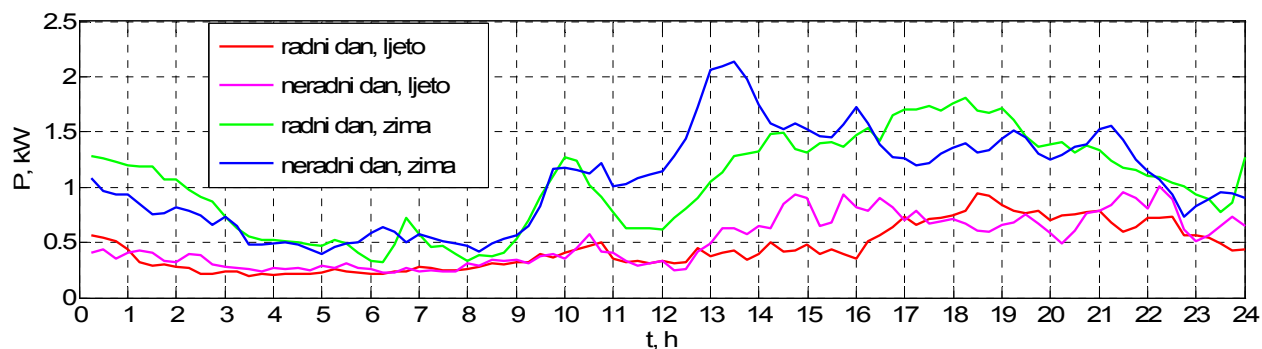
Za svakog mjerno mjesto izračunat je prosječna dnevna krivulja opterećenja, dobivena kao prosjek mjerenja svakog petnaest-minutnog dnevnog intervala temeljem formule:

$$p_{sr}(t) = \frac{\sum_{i=1}^N p_i(t)}{N}, \quad \text{kW} \quad (4)$$

gdje su:

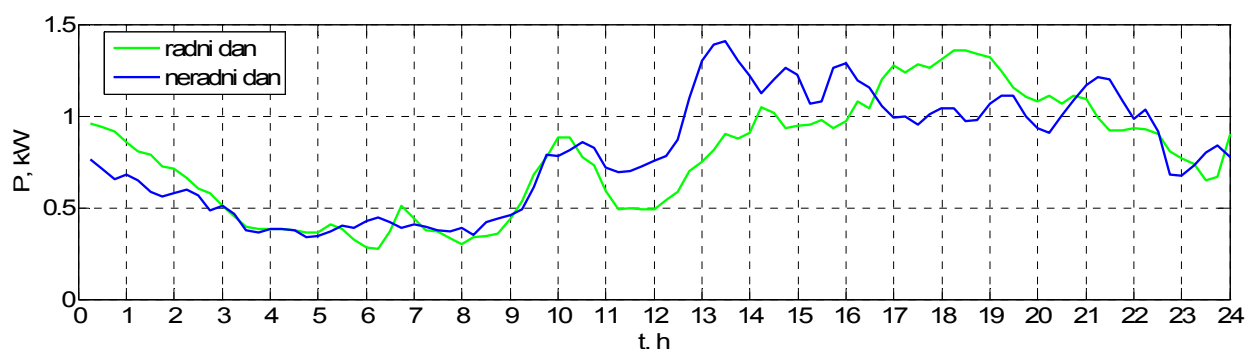
- $t$  petnaest minutni interval tijekom dana, h
- $N$  broj mjerenja u intervalu  $t$ , h
- $p_i(t)$   $i$ -ta izmjerena snaga u intervalu  $t$ , kW

Ukoliko se želi istražiti utjecaj sezone (ljet-zima), odnosno radnog i neradnog dana, moguće je za svaku sezonu, odnosno za radni i neradni dan izračunati prosječna dnevna krivulja opterećenja, slika 2. Pritom se „zima“ odnosi na 11., 12., 1., 2. i 3. mjesec, dok se „ljet“ odnosi na 4., 5., 6., 7., 8., 9., i 10. mjesec. Takva podjela se temelji na definiciji zimske i ljetne sezone u tarifnom sustavu za krajnjeg kupca.



Slika 2 Prosječna dnevna krivulja opterećenja na brojilu kupca broj 2, tablica I

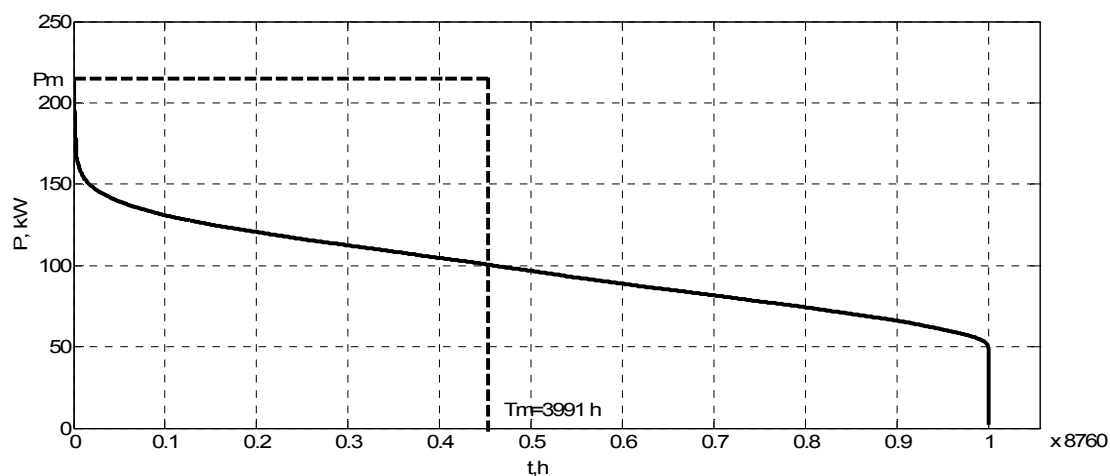
Ukoliko se želi istražiti samo utjecaj radnog i neradnog dana moguće je za radni i neradni dan izračunati prosječnu dnevni krivulju opterećenja, slika 3.



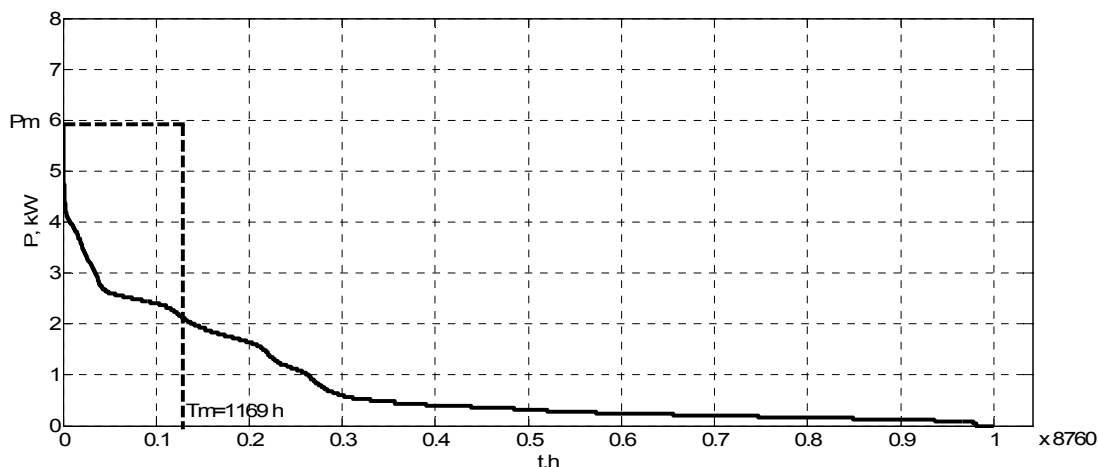
Slika 3 Prosječna dnevna krivulja opterećenja na brojilu kupca broj 2, tablica I

## 5. KRIVULJE TRAJANJA VRŠNOG OPTEREĆENJA

Kao primjer napravljene su krivulje trajanja vršnog opterećenja. Apscisa je prikazana u relativnim vremenskim jedinicama (0-1), zbog toga što mjerenja nisu trajala godinu dana, odnosno 8760 sati. Krivulje vršnog opterećenja napravljene su redanjem vrijednosti očitavanja od najveće prema najmanjoj. Trajanje vršnog opterećenja na transformatorskim stanicama kreće se od 2510 sati na TS Pilica, do 3991 sati na TS Barban, slika 4. Prosječno trajanje vršnog opterećenja na mjernim mjestima kupaca je oko 1000 sati godišnje, slika 5 (u ovom slučaju, za konkretnog kupca broj 2,  $T_m=1169h$ ).



Slika 4 Krivulja trajanje vršnog opterećenja na TS Barban, tablica I



Slika 5 Krivulja trajanje vršnog opterećenja na brojilu kupca broj 2, tablica I

## 6. TIPIČNE KRIVULJE OPTEREĆENJA KUPACA

U svrhu pronalaženja tipičnih krivulja opterećenja kupaca koji nemaju mjerila za pohranjivanje podataka o energiji u vremenskom razdoblju, svakom kupcu pridijeljena je oznaka (1,2,3,...,40), tablica I.

Za svakog kupca izračunat je prosječni dnevna krivulja opterećenja, dobivena kao prosjek mjerenja svakog petnaest-minutnog dnevnog intervala, temeljem sljedeće formule:

$$p_{sr}(t) = \frac{\sum_{i=1}^N p_i(t)}{N} \quad (5)$$

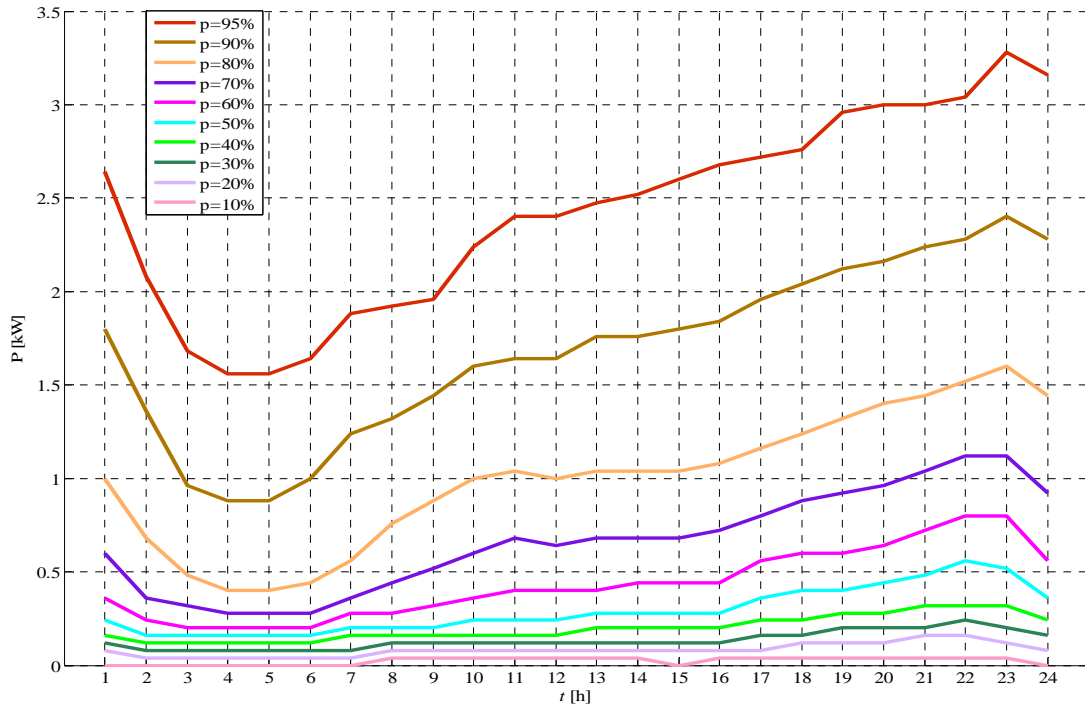
gdje su:

$t$  petnaest minutni interval tijekom dana

$N$  broj mjerenja u intervalu  $t$

$p_i(t)$   $i$ -ta izmjerena snaga u intervalu  $t$

Za svaki petnaest minutni interval moguće je napraviti kumulativnu funkciju distribucije koja pokazuje vjerojatnost pojavljivanja određene vrijednosti snage u promatranom vremenskom intervalu. Ukoliko se za svaki petnaest minutni interval odrede percentile vjerojatnosti, moguće je nacrtati dnevne krivulje percentila vjerojatnosti. Na primjer 95% percentila (crvena boja na slici) označava da postoji 95% vjerojatnosti da će izmjerene vrijednosti snage biti jednake ili ispod iscrtane vrijednosti percentile. Temeljem izračunatih prosječnih krivulja opterećenja na mjernim mjestima svih kupca, napravljene su krivulje percentila vjerojatnosti pojavljivanja određene snage u svakom od vremenskih intervala tijekom dana. Vidljivo je da je veća vjerojatnost pojave većih snaga tijekom večernjih sati, slika 6.



Slika 6 Dnevne krivulje percentila snaga

## 7. ODREĐIVANJE TIPIČNIH KRIVULJA OPTEREĆENJA METODOM GRUPIRANJA

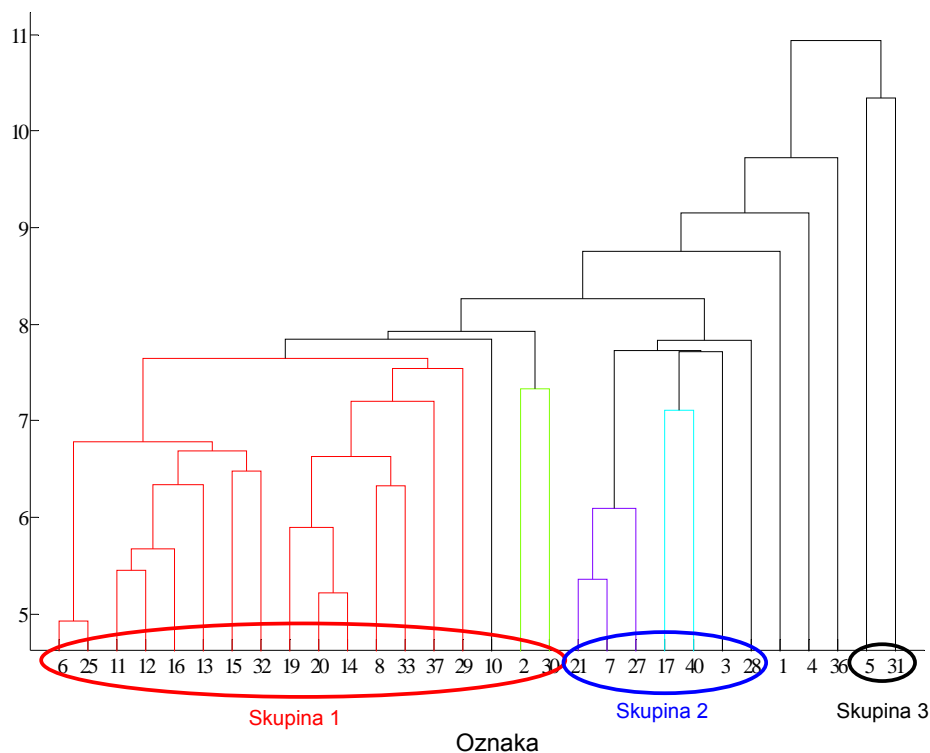
Razvrstavanje jedinki, odnosno pojava u grupe u skladu s njihovim značajkama temelj je mnogih znanstvenih istraživanja. Svaka jedinka koja je predmet istraživanja, obično je opisana mjernim podacima, odnosno skupom mjerenja njenih značajki i odnosa s ostalim pojavama. Analizom grupiranja pomoću odabrane ocjene sličnosti, nastoji se razvrstati promatrani skup pojava u grupe, pronalaženjem sličnosti u njihovoj strukturi i vrijednosti podataka. Grupe se stvaraju tako da je sličnost unutar grupe veća od sličnosti između grupa. Jedinke razvrstane u grupe dalje će se obrađivati uzimajući u obzir obilježja grupe, a ne pojedine jedinice, budući da su članovi grupe međusobno slični po obilježjima. Grupiranjem se nastoje istaknuti sličnosti između objekata na temelju neke odabrane mjere sličnosti, odnosno mjere različitosti. Najočitija mjera različitosti dvaju objekata je njihova međusobna udaljenost u skupu razmatranih objekata. Drugim riječima, dva su objekta sličnija što je njihova međusobna udaljenost manja i obrnuto. Kao najčešća mjera upotrebljava se Euklidova udaljenost:

$$d(i, k) = \sqrt{\sum_{j=1}^N x_{ij} - x_{kj}} = \left[ (\bar{x}_i - \bar{x}_k)^T (\bar{x}_i - \bar{x}_k) \right]^{1/2} \quad (6)$$

Podaci o objektima prikupljeni mjerenjem ili na neki drugi način, rijetko se upotrebljavaju točno u obliku u kojem su i prikupljeni. Obično se prema zahtjevima konkretnog analitičkog postupka provodi neki oblik normalizacije podataka. Kako bi se krivulje normirale na vrijednosti od 0 do 1, prosječne krivulje opterećenja mogu se podijeliti maksimalnom vrijednošću svake od krivulje prema sljedećoj formuli:

$$p_{sr, norm}(t) = \frac{p_{sr}(t)}{\max(p_{sr})}, t = 1, \dots, 96 \quad (7)$$

Ukoliko se na izmjerene podatke krivulja opterećenja primijeni metoda analize grupiranja, moguće je nacrtati tzv. dendrogram, slika 7, koji pomoću mjere Euklidove udaljenosti pronalazi razlike i sličnosti između normaliziranih prosječnih krivulje opterećenja svakog kupca.

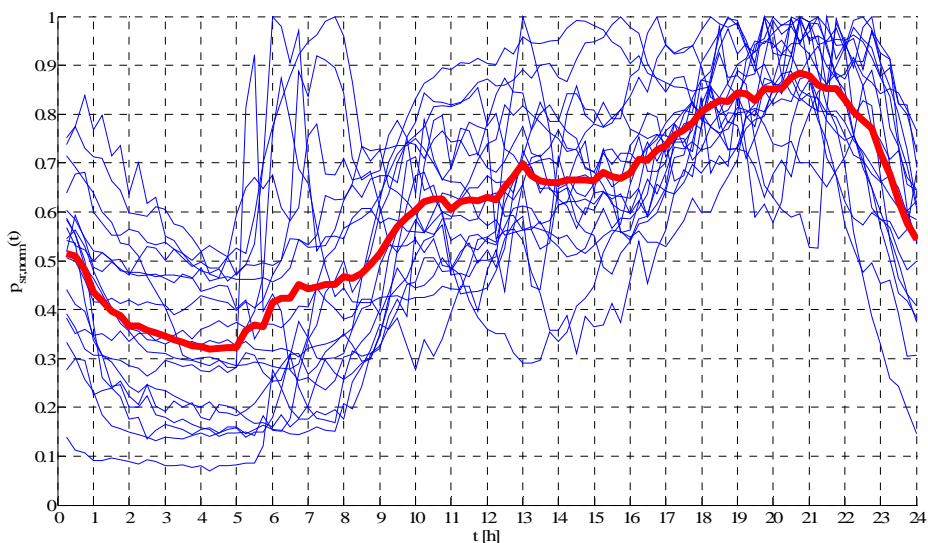


Slika 7 Razvrstavanje prosječnih krivulja opterećenja kupaca u tri grupe

Temeljem analize grupiranja prosječne krivulje opterećenja kupaca razvrstane su u tri grupe, slika 7. Pritom je važno naglasiti da oznake na slici odgovaraju onima iz popisa kupaca na čijim su mjernim mjestima napravljena mjerenja, tablica I.

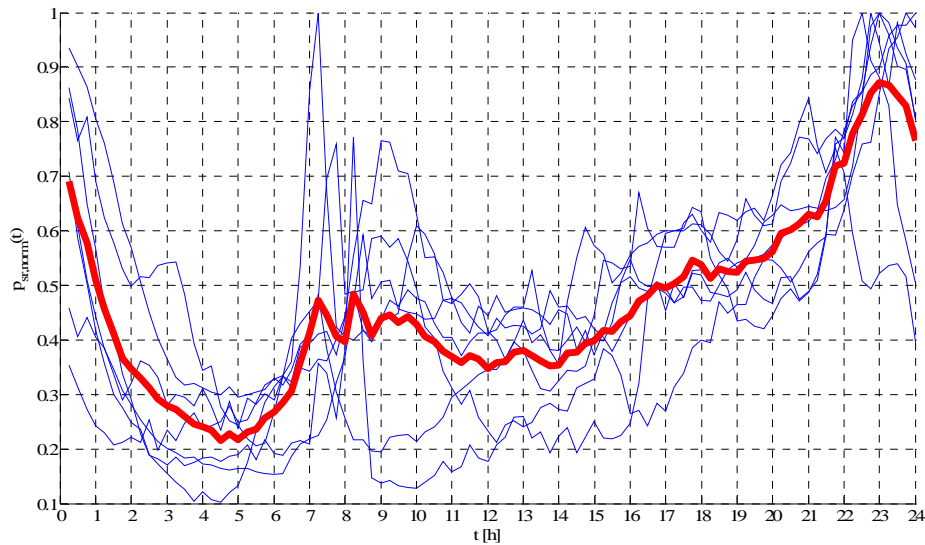
Prosječne krivulje opterećenja temeljem dendrograma, slika 7 razvrstane su u tri grupe:

- U prvoj grupi našli su se kupci sa sljedećim oznakama: 6; 25; 11; 12; 16; 13; 15; 32; 19; 20; 14; 8; 33; 37; 29; 10; 2 i 30, slika 8;
- U drugoj grupi našli su se kupci sa sljedećim oznakama: 21; 7; 27; 17; 40; 3 i 28, slika 9;
- U trećoj grupi našli su se kupci sa sljedećim oznakama 5 i 31, slika 10;
- Kupci s oznakama 1; 4 i 36 nisu svrstani ni u jednu grupu.

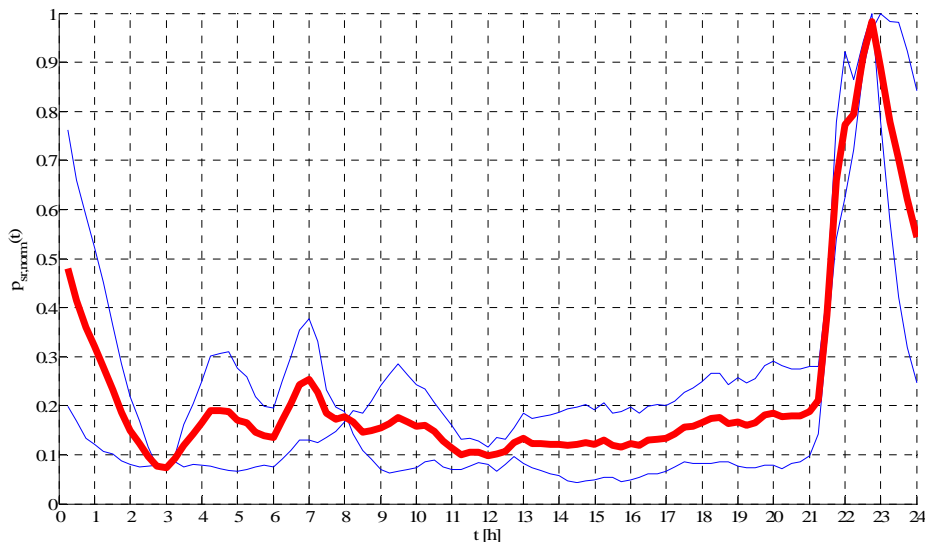


Slika 8 Prosječna krivulja opterećenja prve grupe kupaca





Slika 9 Prosječna krivulja opterećenja druge grupe kupaca



Slika 10 Prosječna krivulja opterećenja treće grupe kupaca

## 8. ZAKLJUČAK

U članku su prikazani rezultati analize podataka o izmjenjenim snagama u pet transformatorskih područja, s trideset kućanstava. Trajanje vršnog opterećenja na transformatorskim stanicama kreće se od 2510 sati na TS Pilica do 3991 na TS Barban. Prosječno trajanje vršnog opterećenja kupaca energije je oko 1000 sati godišnje. Prosječno vršno opterećenje kupaca je oko 5,42 kW. Faktor istodobnosti opterećenja kupaca iznosi 0,3. Prikazan je primjer histograma razdiobe vjerojatnosti izmjenjenih vrijednosti. Kod kupaca primjetnija je razdioba u kojoj pretežu niže izmjerene vrijednosti snaga. Teoretska distribucija koja bi odgovarala empirijskoj vjerojatno je Rayleigh-jeva distribucija.

Prikazan je primjer krivulje opterećenja za radni dan-ljeto, neradni dan –ljeto, radni dan – zima i neradni dan-zima. Pritom se „zima“ odnosi na 11., 12., 1., 2. i 3. mjesec, dok se „ljeto“ odnosi na 4., 5., 6., 7., 8., 9., i 10. mjesec. Prikazane su krivulje za radni i neradni dan, neovisno o sezoni.

Za ilustrativne svrhu napravljene su krivulje trajanja vršnog opterećenja. Krivulje su prikazane u relativnim vremenskim jedinicama (0-1), zbog toga što mjerenja nisu trajala godinu dana, odnosno 8760

sati. Temeljem izračunatih prosječnih krivulje opterećenja na mjernim mjestima svih kupaca, napravljene su krivulje percentila vjerojatnosti pojavljivanja određene snage u svakom od vremenskih intervala tijekom dana. Vidljivo je da je veća vjerojatnost pojave većih snaga tijekom večernjih sati.

Budući da se krivulje dosta razlikuju po obliku, proveden je postupak razvrstavanja krivulja u grupe kako bi se dobili tipični oblici krivulja opterećenja kupaca. Temeljem analize grupiranja prosječne krivulje opterećenja kupaca razvrstani su u tri grupe. Kako bi se dobili reprezentativniji rezultati, trebalo bi obuhvatiti veći reprezentativni uzorak kupaca električne energije.

## LITERATURA

- [1] Žutobradić, S., Wagmann, L., Mihalek, E., „Radeka, I, Šagovac, G., Istraživanje karakteristika opterećenja kućanstava na području grada Zagreba“, Energija, 2001.
- [2] „Analiza značajki potrošnje električne energije kod kupaca na niskom naponu na području HEP – Operatora distribucijskog sustava“, DP Elektroistra Pula, 1997.
- [3] Blagajac, S., „Uporaba algoritma grupiranja pri predviđanju opterećenja razdjelnih mreža urbanih područja“, magistarski rad, ETF Zagreb, 1995.