

## **ODREĐIVANJE KAPACITETA ZA UPRAVLJANJE OPTEREĆENJEM U CILJU SKLADIŠTENJA ENERGIJE I SMANJENJA VRŠNE SNAGE**

V. Šiljkut, JP EPS Direkcija za distribuciju električne energije, Srbija  
N. Rajaković, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, Srbija  
J. Stević, Elektrodistribucija Beograd, Srbija  
M. Šuštran, Elektrodistribucija Beograd, Srbija

### **UVOD**

U ovom radu je prikazan predlog metodologije za procenu kapaciteta nekog konzumnog područja za upravljanje opterećenjem (skr. DSM) i odziv potrošnje (DR), u funkciji skladištenja energije, u konceptu “pametnih” mreža. Ovaj rad naglašava važnost ovog pitanja, posebno u mrežama sa velikim uplivom snažno fluktuirajuće (varijabilne, intermitentne) proizvodnje električne energije iz obnovljivih izvora (RES), kao što su fotonaponski paneli (PV) i vetrogeneratori (WTG). Stoga, pažljivo odabran i adekvatno dimenzionisan DSM/DR program može da odigra veoma važnu ulogu u optimizaciji rada distributivnog elektroenergetskog sistema. On takođe može snažno da utiče na dugoročno planiranje mreže, značajnim i dugotrajnijim smanjenjem vršne snage, donoseći koristi i smanjenje troškova operateru distributivnog sistema.

Osmišljeno je i testirano nekoliko metoda za procenu kapaciteta konzuma za DSM, uz korišćenje raspoloživih baza podataka “Elektrodistribucije Beograd” (EDB) o njenim potrošačima i opterećivanju elemenata njene mreže. Najefektivniji metod zasniva se na poređenju dnevnih profila opterećenja za isti datum u dve godine, koga karakterišu različite ili čak suprotne meteorološke prilike. Potrošnja električne energije u ta dva slučaja biće značajno različita, kao i vrednosti opterećenja sistema. Metoda predlaže poređenje profilâ opterećenja zabeleženih istog ili približnog datuma tokom više uzastopnih godina iz istorije opterećivanja. Za svaki takav par profila opterećenja, operater može da odredi maksimalan i minimalan kapacitet za DSM/DR, i to u dve različite varijante, obrazložene u radu. Dodatno, moguće je normalizovati ove vrednosti, za svaki razmatrani par profila, njihovim deljenjem sa odgovarajućom, utvrđenom razlikom potrošnje električne energije. Samo jedna od ove četiri veličine, ona sa najmanjim varijacijama svoje normalizovane vrednosti, ima najbolju korelaciju sa sračunatim iznosom električne energije, dostupnim za daljinsko upravljanje. Stoga ta veličina treba da bude iskorišćena kao osnova za procenu upravljivog opterećenja.

Opisana metodologija može da bude primenjena kako za zimsku, tako i za letnju sezonu. Kao ilustracija, u radu su prikazani rezultati primene predložene metodologije na celokupno konzumno područje EDB.

### **PREDLOZI METODA ZA PROCENU KAPACITETA DSM/DR I PROBLEMI U PRIMENI**

Za procenu kapaciteta upravljivog opterećenja moguće je primeniti nekoliko različitih pristupâ i metodâ:

- a) korišćenje odnosa potrošnje po nižoj i višoj tarifi,
- b) poređenje dnevnih dijagrama za isti datum u dve sezone sa oprečnim meteorološkim prilikama,
- c) oduzimanje snage toplifikovanih i gasifikovanih potrošača i
- d) metoda zasnovana na anketiranju potrošača.

U nastavku će detaljnije biti izložene samo prve dve metode i ilustrovani rezultati dobijeni njihovom primenom. Naime, u vreme sprovođenja ovog istraživanja, raspoloživi podaci nisu bili dovoljni za uspešnu primenu treće metode. U raspoloživim bazama podataka uglavnom se nalaze samo podaci o maksimalno odobroj vršnoj snazi potrošača (ili obračunskoj snazi), dok stvarno zabeležena njihova maksimalna snaga – kod ogromne većine potrošača – nikada nije merena niti registrovana, jer to merni uređaji ne omogućavaju. Prevazilaženje ovog problema, iako krajnje ograničeno, moguće je primenom određenih metoda za procenu vršne snage, npr. na osnovu godišnjeg protoka, mada su one u EDB razvijane i primenjivane uglavnom na srednjenaponskom nivou, [1], a ne i na niskonaponskom, NN. Metoda c) je stoga, barem teorijski, primenjiva kod onih potrošača na NN koji su podvedeni pod sistem daljinskog očitavanja brojila (AMR). Kod svakog od njih je moguće i snimanje aktivne snage u vremenu, pa je izvodljiva i njihova agregacija. Osnovno ograničenje za širu primenu ove metode leži u činjenici da je veoma mali broj potrošača u ovom trenutku podveden pod AMR (svoga 38 trafo-rejona obuhvaćeno je ovim pilot-projektom u EDB). Dodatno, metoda je interesantna samo za ona područja u kojima postoji kako daljinski sistem grejanja ili gasifikacija, tako i grejanje na električnu energiju. To dodatno smanjuje uzorak na kome je ova metoda primenjiva. Takođe, za jedan manji uzorak konzuma (jedan trafo-rejon sa AMR) urađena je probna primena metode c), ali je uočeno da postoji nepravilnost u vremenu pri uzorkovanju podataka, tako da ih nije bilo moguće uparivati i agregirati na korektan način. Od metode anketiranja potrošača se takođe odustalo, jer bi bilo potrebno dodatno angažovanje velikog broja anketara, javili bi se dodatni troškovi za izradu i umnožavanje anketnog materijala, potrebno je dodatno vreme da se prikupljeni materijali i podaci sistematizuju i obrade i sl. Pri svemu tome, za dobijeni rezultat ne postoji garancija da bi dao realnu sliku – ni o potencijalu stvarno upravljivog opterećenja, niti o stvarnoj spremnosti potrošača na učešće u DSM/DR projektu.

### **Metoda korišćenja odnosa potrošnje po nižoj i višoj tarifi**

Bazu podataka u kojoj se prati potrošnja kupaca i koja se koristi za izradu obračuna, moguće je pretražiti i iz nje ekstrahovati podatke o potrošačima (u područjima od interesa ili na celom području neke elektrodistribucije) kod kojih je, u zimskoj sezoni, potrošnja po nižoj tarifi mnogo veća od potrošnje po višoj. Ovo govori da je reč o potrošačima sa termo-akumulacionim (TA) pećima ili akumulacionim bojlerima, koji koriste sadašnje finansijske povoljnosti nižeg dnevnog tarifnog stava.

Potrebno je agregirati potrošnju ovih kupaca, detektovati izvore njihovih napajanja na srednjem naponu (SN) i u odgovarajućoj aplikaciji pronaći karakteristične dijagrame opterećenja odgovarajućih napojnih vodova 10 kV. Za određene vremenske periode, agregiranu potrošnju potom treba uporediti sa odgovarajućim dijagramima, iz kojih je onda moguće proceniti udeo potrošnje električne energije u TA pećima i bojlerima.

Prema obliku dnevnog dijagrama opterećenja i agregiranim podacima, moguće je odrediti kakva bi promena dijagrama bila potrebna i – shodno tome – koji bi DSM/DR pristup i metoda bili najsvrsishodniji za postizanje tog cilja. Mogućnosti su: odsecanje vršnog opterećenja, popunjavanje dolja, pomeranje opterećenja, fleksibilno oblikovanje pomoću DR, oblikovanje novim efikasnim korišćenjem energije ili merama energetske efikasnosti.

Takođe je moguće ekstrahovati podatke vezane za sve potrošače kod kojih je ukupna potrošnja tokom zime značajno veća nego tokom leta. Reč bi bila, dakle, o ukupnoj potrošnji kupaca sa električnim grejanjem. Kada bi se od te vrednosti oduzeo prethodno agregiran iznos potrošnje kupaca sa TA pećima, dobila bi se potrošnja kupaca koji koriste uređaje za direktno grejanje ili dogrevanje prostorija (električne kotlove za etažno grejanje, uljne radijatore, električne grejalice, ploče i sl.). Za njih bi trebalo osmisliti posebne metode i programe DSM/DR, pogotovu što njihovo učešće u vršnom opterećenju može biti evidentno i značajno.

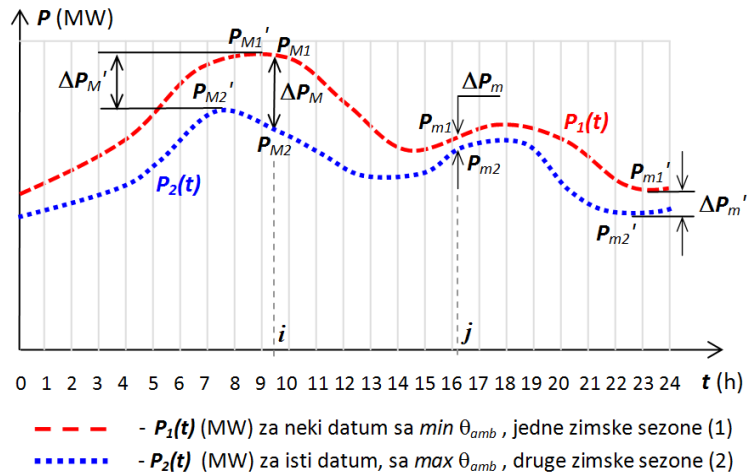
### **Metoda poređenja dnevnih dijagrama za isti datum u dve sezone, sa oprečnim meteorološkim prilikama**

U više mahova se dogodilo da isti datum u dve susedne ili bliske zimske sezone karakterišu drastično različite ili oprečne meteorološke prilike. To se pre svega odnosi na srednju dnevnu spoljašnju temperaturu, od koje u najvećoj meri zavisi dnevno vršno električno opterećenje, [2]. Naše podneblje je karakteristično po tome što jedne godine temperatura može biti daleko iznad nule u nekom zimskom mesecu, a neke druge godine, u istome mesecu, daleko ispod nule. (Ovo se može dogoditi čak i tokom istog meseca u istoj godini!) Jasno je da će tada i potrošnja električne energije i opterećenje EES biti drastično različito, kao što je to ilustrovano grafikom sa slike 1. Područje između dve krive na grafiku sa slike 1 predstavlja električnu energiju iskorišćenu za dogrevanje prostorijâ, koje svakako može biti upravljivo, u većoj ili manjoj meri.

Sa slike 1 se vidi da sa svakog para dnevnih dijagrama za isti datum u bilo koje dve posmatrane godine, možemo odrediti najveći i najmanji kapacitet DR, ovde označene sa  $\Delta P_M$  i  $\Delta P_m$ , respektivno.

Najveći iznos aktivne snage angažovane za dogrevanje prostorija, koji je – barem teoretski – raspoloživ za upravljanje, jednak je maksimalnoj razlici između vrednosti opterećenja  $P_1(t)$  u nekom trenutku  $t=t_i$  posmatranog dana jedne, referentne zimske sezone i snage opterećenja  $P_2(t_i)$  u istom tom trenutku, istoga datuma neke druge zimske sezone, u kojoj su meteorološke prilike bile blaže:

$$\Delta P_M = P_{M1} - P_{M2} = \max \{P_1(t) - P_2(t)\} \Big|_{t=t_i} . \quad (1)$$



Slika 1 Dnevni dijagram jednog konzumnog područja u dve zimske sezone sa oprečnim meteorološkim prilikama

Najmanji iznos aktivne snage angažovane za dogrevanje prostorija, raspoloživ za upravljanje, jednak je minimalnoj razlici između vrednosti opterećenja  $P_1(t)$  u nekom trenutku  $t=t_j$  posmatranog dana jedne, referentne zimske sezone i snage opterećenja  $P_2(t_j)$  u istom tom trenutku, istoga datuma neke druge zimske sezone, u kojoj su meteorološke prilike bile blaže:

$$\Delta P_m = P_{m1} - P_{m2} = \min \{P_1(t) - P_2(t)\} \Big|_{t=t_j} . \quad (2)$$

Alternativno, može se posmatrati – uglavnom uži – opseg opterećenja raspoloživog za upravljanje, koga definišu gornja i donja granica određene na sledeći način, takođe ilustrovan na slici 1:

razlika između vrednosti vršnog opterećenja  $P'_{M1}$  zabeleženog u dnevnom dijagramu za neki datum tokom referentne zimske sezone i vrednosti vršnog opterećenja  $P'_{M2}$  iz dnevnog dijagrama za isti datum tokom neke druge zimske sezone, u kojoj su meteorološke prilike bile blaže:

$$\Delta P'_M = P'_{M1} - P'_{M2} = \max \{P_1(t)\} - \max \{P_2(t)\} , \quad (3)$$

i razlika između najmanje vrednosti opterećenja  $P'_{m1}$  iz dnevnog dijagrama za neki datum tokom referentne zimske sezone i najmanje vrednosti opterećenja  $P'_{m2}$  iz dnevnog dijagrama za isti datum tokom neke druge zimske sezone, u kojoj su meteorološke prilike bile blaže:

$$\Delta P'_m = P'_{m1} - P'_{m2} = \min \{P_1(t)\} - \min \{P_2(t)\} . \quad (4)$$

Pri ovome se može dogoditi i slučaj da bude:

$$\Delta P'_m > \Delta P'_M , \quad (5)$$

tj. da razlika dnevnih minimuma bude veća od razlike dnevnih vršnih opterećenja, ali najčešće važi:

$$\Delta P_m < \Delta P'_m < \Delta P'_M < \Delta P_M . \quad (6)$$

Sada se, međutim, postavlja sledeće pitanje: koji od navedenih opsegâ je relevantnije koristiti za procenu kapaciteta upravljivog opterećenja – uži ili širi? Svakako da je korišćenje užeg na strani sigurnosti tj. restriktivnije, pogotovu kad je reč o tehno-ekonomskim razmatranjima isplativosti primene DSM/DR programa i projekata. Procene zasnovane na tom užem, restriktivnijem opsegu će, prirodno, dati pesimističnije rezultate. Ovu dilemu može da reši pristup preko energije, tj. potrošnje, a ne preko opsega upravljive snage. Naime, **bez obzira što se elektroenergetska mreža dimenzioniše prema vrednosti vršne snage, i bez obzira što DSM/DR programi utiču upravo na smanjenje njenog iznosa, ono što „popunjava“ i ravna dijagram opterećenja (zahvaljujući primeni ovih programâ) jeste energija čije se korišćenje izmešta iz periodâ vršnih u periode nižih opterećenja.** Dakle, treba posmatrati energiju, tj. površinu između krivih  $P_1(t)$  i  $P_2(t)$  sa slike 1, kojom se – primenom DSM ili DR projekata – može manipulirati. Njena vrednost je određena izrazom:

$$\Delta W = \int_0^{24h} P_1(t) dt - \int_0^{24h} P_2(t) dt \quad (7)$$

U slučaju 15-minutnih merenja, kakva su ona na SCADA EDB, (7) se svodi na:

$$\Delta W = \left[ \sum_{i=0}^{96} P_1(t_i) - \sum_{i=0}^{96} P_2(t_i) \right] \cdot 0,25 h \quad , \text{ [MWh] ili [kWh]} \quad (8)$$

Nadalje, u ovom radu predlažemo da se jedan dan (najbolje – dan maksimalnog opterećenja celokupnog konzuma neke ED tokom jedne godine) usvoji kao referentni dan u toj, referentnoj godini  $x$ , i da se njegov dnevni dijagram opterećenja redom uparuje sa dijagramima opterećenja zabeleženima istog tog datuma tokom  $k$  ostalih godina, podvrgnutih analizi i označenih sa  $y = x-1, x-2, \dots, x-k$ .

Na takve parove dijagrama treba primeniti prethodno opisanu metodologiju. Zatim je moguće normalizovati vrednosti  $\Delta P_M, \Delta P_m, \Delta P'_M$  i  $\Delta P'_m$ , dobijene prema (1) ÷ (4) za svaki razmatrani par dijagrama, njihovim deljenjem sa vrednošću odgovarajuće razlike potrošnje  $\Delta W$  za taj par  $(x, y)$ :

$$\Delta P_{Mn}(x, y) = \frac{\Delta P_M(x, y)}{\Delta W(x, y)} \quad , \quad (9)$$

gde je:

$x$  – referentna godina sa referentnim danom/datumom, a

$y$  – neka druga godina, sa povoljnijim meteorološkim uslovima za taj, referentni, datum.

Upravo onu od ove četiri ovako normalizovane veličine električne snage ( $\Delta P_{Mn}, \Delta P_{mn}, \Delta P'_{Mn}$  i  $\Delta P'_{mn}$ ) koja ima najmanje varijacije u nizu od  $k$  parova razmatranih godina, treba koristiti kao osnovu za procenu kapaciteta upravljivog opterećenja. Naime, **veličina sa najmanjim varijacijama svoje normalizovane vrednosti ima najbolju korelaciju sa sračunatim opsegom energije,  $\Delta W$ , raspoloživim za upravljanje.**

## ODABIR ULAZNIH PODATAKA ZA PREDLOŽENE METODE

### Ulazni podaci za metodu korišćenja odnosa potrošnje po nižoj i višoj tarifi

Kao ulazni, za prvu metodu su korišćeni podaci iz baze EDB sa potrošnjama kupaca, koji se inače koriste za izradu obračuna za utrošenu električnu energiju. Analizom su obuhvaćeni gotovo svi kupci priključeni na niskonaponsku (NN) mrežu EDB, inače razvrstani u dve kategorije; prva je kategorija „široke potrošnje – domaćinstva“, u kojoj je ukupan broj analiziranih potrošača bio 746.038, a druga – kategorija „potrošnja na niskom naponu“, i to onaj njen deo koga čine fizička lica (pretežno domaćinstva sa ugrađenim tzv. direktnim mernim grupama, skr. DMG). Ovih kupaca je u trenutku analize bilo 6382. Potrošnje svih ovih kupaca posmatrane su tokom tri karakteristična perioda tokom godine, v. Tabelu 1, i razvrstavane su prema određenim kriterijumima, detaljno obrazloženim u poglavlju ovog rada sa prikazom rezultata.

Tabela 1 Kategorije potrošnje, broj i ukupna prosečna mesečna potrošnja kupaca na NN podvrgnutih analizi

Kategorija	Vrsta kupaca	Broj kupaca	Prosečna mesečna potrošnja (kWh)		
			Zimski period	Rubni letnji period	Vršni letnji period
Široka potrošnja	Domaćinstva	746.038	411.437.501	255.762.197	239.611.178
Niski napon	Domać. sa DMG	6.382	14.979.170	5.475.740	4.797.777

### Ulazni podaci za metodu poređenja dnevnih dijagrama za isti datum u dve sezone, sa oprečnim meteorološkim prilikama

Dodatna pogodnost za primenu ove metode ukazala se upravo u vreme rada na ovom istraživanju, zbog činjenice da je zimska sezona 2012/13. bila izuzetno blaga, sa veoma malim brojem dana sa snežnim padavinama i temperaturama ispod nule. Zapravo, jedini hladni period tokom nje zabeležen je krajem prve polovine decembra 2012, u vreme kada to nije tipično. Tako je i trenutak vršnog opterećenja konzuma EDB u navedenoj sezoni bio 12.12.2012. u 18:45, za razliku od niza prethodnih, kada je dan vršnog opterećenja padao u dublju zimu i pred praznike kao što su sveti Nikola, veče pred Novu godinu ili pravoslavno Badnje veče. Zbog toga je kao referentna usvojena poslednja zimska sezona (2012/13.) tj. 2012. kao referentna godina. Za referentni datum u njoj usvojen je navedeni 12. decembar. Tri meseca zimskog perioda 2012/13: novembar, januar i februar, bila su iznad stogodišnjeg mesečnog proseka za grad Beograd, dok je mesec decembar zbog pojave nešto dužeg ledenog talasa, bio nešto ispod stogodišnjeg mesečnog proseka za grad Beograd. Ove činjenice su osobito pogodovale primeni ove metode za procenu kapaciteta DSM/DR. Korišćeni su podaci o opterećenjima sa SCADA EDB.

## REZULTATI PRIMENE PREDLOŽENIH METODA

### Rezultati primene metode korišćenja odnosa potrošnje po nižoj i višoj tarifi, zimi i leti

U nastavku će najpre biti izloženi rezultati analize prosečne potrošnje tokom letnjeg perioda 2012. i zimske sezone 2012/13, svih kupaca priključenih na niskom naponu (NN) na konzumnom području EDB. S obzirom da je ceo novembar 2012. karakterisala neuobičajeno visoka srednja dnevna temperatura, za vršnu zimsku sezonu 2012/13. usvojen je tromesečni period od početka decembra 2012. do kraja februara 2013. U formulama i na graficima u ovom poglavlju navedeni period nosi oznaku (Z). Da bi se u analizama izbegao uticaj efekta povećanja potrošnje usled intenzivnog rashlađivanja prostorija klima-uređajima tokom najtoplijih letnjih meseci, kao „leto“ (L) su usvojena tri rubna meseca – april, maj i septembar. Da bi se, pak, istražio i kapacitet za DSM/DR koji postoji u klima-uređajima, posmatran je i analiziran i tromesečni vršni letnji period (jun-avgust 2012.), u poglavlju označen sa (K). Prema prvoj predloženoj i obrazloženoj metodologiji, posmatrane su i međusobno poređene potrošnje tokom ova tri perioda, i to na sledeći način; postavljeni su određeni kriterijumi prema kojima je, u bazi podataka koja se koristi za izradu obračuna kupcima, izvršeno pretraživanje i razvrstavanje kupaca (potrošača), u odgovarajuće grupe.

Osnovni kriterijumi, koji su takođe međusobno kombinovani u cilju filtriranja potrošača u manje podgrupe, od različitog interesa za DSM/DR, bili su sledeći:

$$\frac{W_Z}{W_L} > 1,5 \quad , \quad (10) \qquad \frac{W_Z}{W_L} > 2,0 \quad , \quad (11)$$

$$\frac{W_Z}{W_K} > 1,5 \quad , \quad (12) \qquad \frac{W_Z}{W_K} > 2,0 \quad , \quad (13)$$

$$\frac{W_K}{W_L} > 1,25 \quad , \quad (14) \qquad \frac{W_K}{W_L} > 1,5 \quad , \quad (15)$$

$$\frac{W_{MTZ}}{W_{MTL}} > 1,25 \quad , \quad (16) \qquad \frac{W_{MTZ}}{W_{MTL}} > 1,5 \quad , \quad (17)$$

$$\frac{W_{MTZ}}{W_{MTK}} > 1,25 \quad (18) \text{ i} \qquad \frac{W_{MTZ}}{W_{MTK}} > 1,5 \quad , \quad (19)$$

gde su:

$W_Z$  – prosečna mesečna potrošnja električne energije tokom vršne zimske sezone;

$W_L$  – prosečna mesečna potrošnja električne energije tokom leta, bez uticaja klima-uređaja;

$W_K$  – prosečna mesečna potrošnja električne energije tokom vršne letnje sezone, sa uticajem klima-uređaja;

$W_{MTZ}$  – prosečna mesečna potrošnja električne energije po manjoj tarifi (MT) tokom vršne zimske sezone;

$W_{MTL}$  – prosečna mesečna potrošnja električne energije po MT tokom leta, bez uticaja klima-uređaja;

$W_{MTK}$  – prosečna mesečna potrošnja po MT tokom vršne letnje sezone, sa uticajem klima-uređaja.

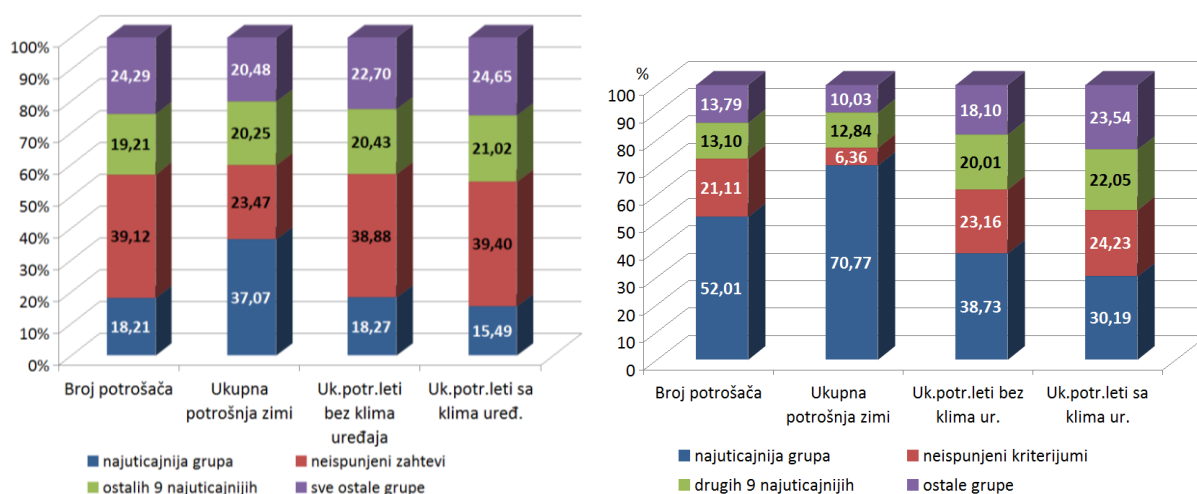
Pretrage baza podataka EDB sa potrošnjama kupaca, prema gore navedenim kriterijumima i njihovim kombinacijama, izvršene su za dve kategorije, za sve kupce priključene na NN mrežu EDB, v. Tabelu 1.

Ono što je zanimljivo kod obe kategorije potrošnje, jeste to da se, u odnosu na ostale, brojnošću u ukupno utrošenom električnom energijom, jasno izdvojila ista grupa potrošača, koja zadovoljava kriterijume (11), (13), (17) i (19). U kategoriji *Široke potrošnje*, ova grupa je, doduše, malobrojnija od najveće – one koja ne zadovoljava nijedan od postavljenih kriterijuma, v. grafik levo na slici 2. Uprkos tome, ta prva grupa je najuticajnija, jer u zimskom periodu troši ubedljivo najveći deo energije. Ona obuhvata svega 18,21% potrošača iz ove kategorije, a tada troši čak 37,07% ukupne električne energije za kategoriju „*Široka potrošnja*“. To ovu grupu čini najozbiljnijim kandidatom za primenu DSM/DR programa. Udeo bilo koje druge grupe, pa i onih prvih narednih po broju i uticaju, za red veličine je manji.

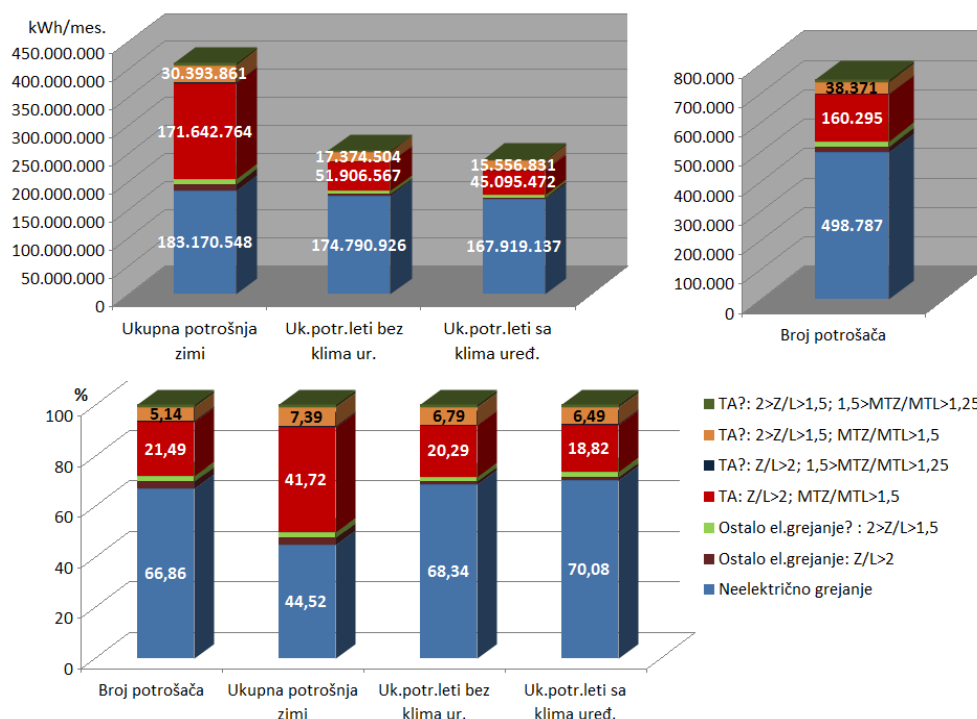
Kod kupaca sa DMG, grafik desno na slici 2, grupa koja zadovoljava navedene kriterijume je i najbrojnija (52,1%) i najuticajnija (70,77% energije u ovoj kategoriji potrošnje). Ipak, reč je o relativno malom broju kupaca u odnosu na ceo konzum (oko 6,5% svih potrošača priključenih na NN), pa bi primena DSM/DR programa na nju imala manje efekte od eventualne masovne primene u kategoriji široka potrošnja. Sa druge strane, s obzirom na tehničku mogućnost registrovanja maksimalne vrednosti srednje 15-minutne snage, efekti eventualnog DSM/DR programa ovde bi bili lakši za praćenje. Takođe, imajući u vidu da je prosečna potrošnja po kupcu u kategoriji „*Niski napon*“ mnogo veća, ova kategorija potrošnje tj. grupa kupaca sa DMG pogodnija je za pilot-programe DSM/DR i za brže postizanje njihovih početnih efekata.

Dalji korak je predstavljalo dodatno filtriranje baze podataka u cilju raspoznavanja potrošača sa TA pećima, tj. njihovog odvajanja od ostalih potrošača koji koriste električnu energiju za zagrevanje svojih prostorija. Suština

ovog postupka leži u tome da se iz grupe potrošača koja tokom zime ima značajno veću ukupnu potrošnju električne energije nego tokom leta, odvoje potrošači koji imaju osetno veću potrošnju po nižoj (manjoj) tarifi, kako zimi, tako i manju potrošnju po toj tarifi leti nego zimi. Rezultati ovakvog razvrstavanja potrošača prema ovim kriterijumima dati su na slici 3.



Slika 2 Udeo broja i potrošnje prosečnih potrošača u najbrojnijim i najuticajnijim grupama iz kategorija Široka potrošnja (domaćinstva), levo, i Niski napon – fizička lica (sa DMG), desno



Slika 3 Udeli neelektričnog i različitih vrsta električnog grejanja u ukupnoj potrošnji kategorije Široka potrošnja – u apsolutnim iznosima (gore levo), u procentima (dole) i broj potrošača (gore desno)

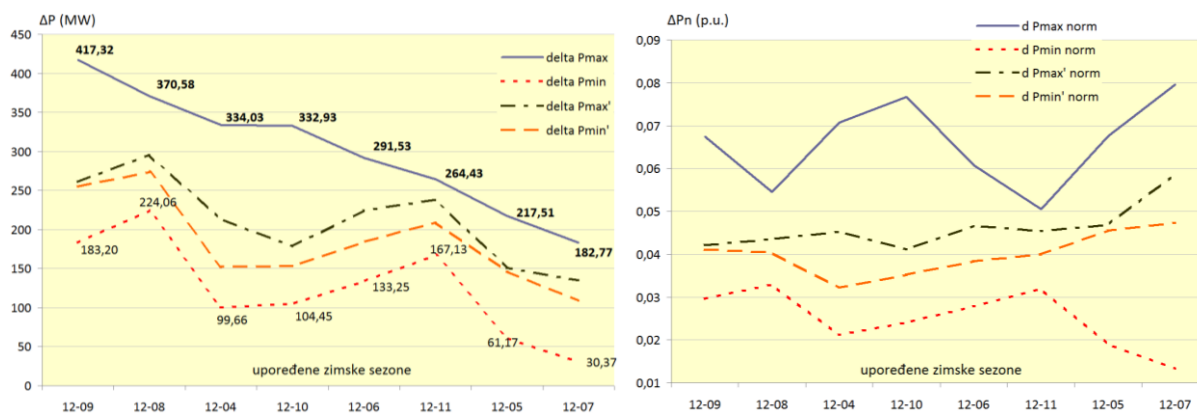
Kao što vidimo sa slike 3, potrošača koji sigurno koriste TA peći ima trostruko manje nego onih koji sigurno imaju neelektrično grejanje. Ipak, uticaj potrošača sa TA pećima na ukupnu potrošnju tokom zime je više nego značajan, jer se gotovo izjednačava sa udelom te druge, tri puta brojnije grupe potrošača. Zanimljivo je da je tokom leta (sa i bez uticaja klima-uređaja), potrošnja električne energije po ovako razvrstanim grupama potrošača, praktično srazmerna njihovoj brojnosti. To znači da je u svim, ovde razmatranim, grupama potrošača iz kategorije „Široka potrošnja – domaćinstva“, približno jednak udeo potrošača koji koriste klima-uređaje, i da je njihovo ponašanje leti (način korišćenja rashladnih uređaja), približno isto.

Analogno pretraživanje baze EDB urađeno je i za kategoriju „Potrošnja na niskom naponu“, za fizička lica sa DMG (dakle, pretežno je reč takode o domaćinstvima). Za razliku od prethodne kategorije potrošnje, u ovoj,

malobrojnijoj, udeo potrošača (u %) sa električnim grejanjem i akumuliranjem energije je gotovo trostruko veći. Pritom je njihov udeo u ukupno utrošenoj energiji još osetniji (77,5%). Ipak, reč je o relativno malom broju potrošača, pa je ukupni njihov uticaj osetno manji.

### Rezultati primene metode poređenja grafika dnevnih opterećenja za isti datum u različitim godinama

Ovaj metod je primenjen na celokupno konzumno područje EDB, sa izuzetkom područja Mladenovca i direktnih kupaca na 110 kV naponskom nivou, koristeći podatke sa SCADA EDB. Gradić Mladenovac i okolno područje napajaju se električnom energijom izolovano (kao ostrvo), preko jedne transformatorske stanice (TS) 110/35 kV i nekoliko TS 35/10 kV, bez poveznih vodova 35 kV sa bilo kojim drugim delom konzumnog područja EDB. Preduzeća za distribuciju električne energije su 2008. godine preuzela od kompanije za prenosnu mrežu, „Elektromreže Srbije“ (EMS), tzv. direktne kupce (tj. potrošače električne energije) na 110 kV. U ovoj analizi smo, dakle, razmatrali sumarne podatke sa svih ostalih obračunskih mernih mesta na kojima EMS prodaje električnu energiju EDB-u. Podaci i profili opterećenja, registrovani tokom nekoliko poslednjih godina, obuhvataju i sumarna opterećenja i potrošnju u tom preostalom, ali i najvećem, delu konzumnog područja EDB. Prethodno opisana metodologija poređenja primenjena je na 2012. kao referentnu, i na osam prethodnih godina. Analizirani su kako zimski, tako i letnji period, s tim što su referentni datumi bili 12. decembar i 6. avgust. Naime, 6. avgusta 2012. je zabeležena najveća srednja dnevna temperatura u Beogradu tokom te godine, koja je usvojena kao referentna. Pritom, bio je to jedan od najtoplijih dana otkako se vrše merenja. Srednja dnevna temperatura je toga dana iznosila čak 32,4 °C, pa je i to bila pogodna okolnost za primenu ove metode. Vrednosti veličina  $\Delta P_M$ ,  $\Delta P_m$ ,  $\Delta P'_M$  i  $\Delta P'_m$  sa slike 4a sračunate su prema (1)-(4). Njihovom, ranije opisanom, normalizacijom prema odgovarajućim vrednostima razlika potrošnje,  $\Delta W$ , prema (9), dobijene su krive prikazane na slici 4b. Ta slika pokazuje najjaču korelaciju  $\Delta W$  sa  $\Delta P'_M$  i  $\Delta P'_m$  (srednje krive). Stoga bi zaključak mogao da bude da jedna od ovih dveju veličina može da se koristi kao osnova za procenu kapaciteta kontrolabilnog opterećenja unutar konzumnog područja EDB. Dakle, prema slici 4a, on bi se kretao u opsegu od 100 do 300 MW (bez područja Mladenovca).



(a) apsolutne vrednosti razlike snage opterećenja (b) normalizovane vrednosti prema razlikama u protoku

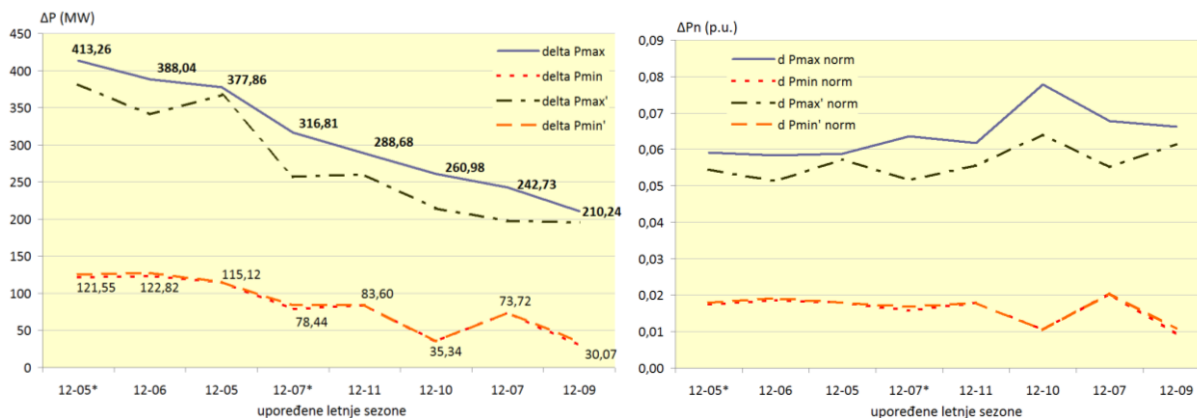
Slika 4 Najveće i najmanje razlike opterećenja na dan 12. decembra tokom osam godina, u odnosu na referentnu, 2012. godinu

Urađena je i detaljnija analiza noćnog zimskog režima, radi određivanja kapaciteta TA-peći, pomoću poređenja razlika tokom osam zimskih sezona u odnosu na 12.12.2012, i to u po tri karakteristična trenutka: vreme nastupanja niže tarife (ponoć), trenutak noćnog maksimuma referentnog datuma, 12.12.2012. (u 00:45, opterećenje je iznosilo 1325,8 MW) i trenuci noćnih maksimuma za isti datum u prethodnih osam godina. Dobijen je opseg od 135 do 350 MW. Njegova srednja vrednost iznosi 242,5 MW. Ako, pak, posmatramo samo razliku noćnog maksimuma i noćnog minimuma 12.12. svake godine ponaosob, dobija se nešto uži opseg, od 196 do 280 MW. Sredina tog, užeg, opsega iznosi 237,8 MW. Stoga sa velikom sigurnošću možemo tvrditi da kapacitet TA iznosi oko 240 MW.

Analogno, analizirana su i tri karakteristična trenutka popodnevni i večernji maksimuma tokom letnjeg perioda: trenutak popodnevnog maksimuma referentnog datuma, 6.8.2012. (u 13:45, opterećenje iznosilo 985,23 MW), trenuci popodnevni maksimuma i trenuci apsolutnog, popodnevnog ili večernjeg, maksimuma, svi za isti datum u prethodnih osam godina (tj. za približan datum 2005. i 2007, umesto 2004. i 2008, kada su letnja merenja sa SDU izostala – ove godine su označene zvezdicom (\*) na sl. 5). Na osnovu ove analize, procenjen je ukupni kapacitet klima uređaja za DSM/DR, na konzumu EDB (bez Mladenovca), na oko 110 MW. Opseg u kom se ovaj kapacitet kreće je daleko širi, od 194 do 413 MW (v. sl. 5a), ali samo manji deo ovoga



kapaciteta može biti upravljiv, jer bi isključivanje kompletne navedene snage dovelo do neprihvatljivog porasta temperature prostorijâ. Srednja vrednost razlika dnevnih maksimuma i minimalnih opterećenja 6. avgusta (ili približnog datuma) svake analizirane godine ponaosob iznosi 107,19 MW. Ta vrednost odgovara donjim krivama  $\Delta P_m$  i  $\Delta P'_m$  sa slike 5a, dobijenim opisanom metodologijom primenjenom na letnju sezonu. Te, donje krive treba uzeti kao relevantne za procenu kapaciteta DSM/DR, na osnovu normalizacije sa slike 5b, koja je pokazala njihovu najjaču korelaciju sa odgovarajućim razlikama u raspoloživoj električnoj energiji,  $\Delta W$ .



(a) apsolutne vrednosti razlike snage opterećenja (b) normalizovane vrednosti prema razlikama u protoku

Slika 5 Najveće i najmanje razlike opterećenja na sâm dan ili oko 6. avgusta tokom šest godina, u odnosu na referentnu, 2012. godinu

## ZAKLJUČAK

Kao prvi preduslov za svrsishodno uvođenje DSM/DR programa i mera, ključno je raspoznavanje vrste i obima kapaciteta nekog konzuma za njih. U tom pogledu, ovaj rad prikazuje rezultate i doprinos istraživanja više metoda za utvrđivanje kapaciteta DSM/DR.

Metoda zasnovana na istraživanju odnosa potrošnje po višoj i nižoj tarifi može jasno da ukaže na kupce koji koriste električnu energiju za grejanje prostorija, kao i na one među njima koji koriste TA-peći. Za razliku od te energije koja može biti predmet upravljanja potrošnjom, i koja se ovom metodom lako može odrediti, njome nije moguće preciznije odrediti iznos dela vršne snage kojom se tada može upravljati.

U tom pogledu, ovaj rad ukazuje na najefektivniju – metodu poređenja registrovanih profila opterećenja za iste (ili slične) datume sa oprečnim meteorološkim prilikama. Naime, ta praktična metoda, koristeći veoma pouzdane, a lako dostupne i raspoložive podatke sa SCADA, daje najpreciznije rezultate. Ona je primenjiva kako za manja napojna područja (sredjenaponskih vodova i transformatorskih stanica), tako i za integralno konzumno područje neke elektrodistribucije.

Predložena metodologija za procenu DSM/DR kapaciteta omogućava njihovu preciznu identifikaciju, bolje i prikladnije modelovanje konkretnih DSM/DR programa, realističnije osmišljavanje planova njihovog širenja i sveobuhvatnije sagledavanje mogućih efekata (npr. skladištenje ili dodatna potrošnja energije u periodima viškova u sistemu, smanjenje vršne snage i dr.). Sve ovo može doprineti kako optimizaciji rada mreže, tako i njenom optimalnom dugoročnom planiranju, donoseći uštede i koristi za kompaniju.

## LITERATURA

1. Maksimovich S, Shiljkut V, 2009, "Methods for electrical power losses evaluation in electricity distribution networks", Proceedings CIRED 20<sup>th</sup> International Conference on Electricity Distribution, Prague, Paper 0011
2. Maksimović S, 2005, "Zavisnost vršne snage konzumnog područja JP „Elektrodistribucija-Beograd“ od meteoroloških parametara", 27. Savetovanje JukoCIGRE, Zlatibor.

Vladimir Šiljkut, JP EPS, Direkcija za distribuciju električne energije, Vojvode Stepe 412, 11000 Beograd, 011/395-26-36, Fax: 011/397-19-19, 064/897-46-72; 064/396-0-384; [vladimir.siljkut@eps.rs](mailto:vladimir.siljkut@eps.rs), [vmshiljkut@yahoo.com](mailto:vmshiljkut@yahoo.com)

Prof. dr Nikola Rajaković, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd, 011/337-01-68, 063/555-375, [rajakovic@etf.rs](mailto:rajakovic@etf.rs).

Jelena Stević, Privredno društvo za distribuciju električne energije "Elektrodistribucija Beograd" d.o.o., Masarikova 1-3, 11000 Beograd, 011/36-16-706; 064/834-22-05, [jelena.stevic@edb.rs](mailto:jelena.stevic@edb.rs)

Miloš Šustran, Privredno društvo za distribuciju električne energije "Elektrodistribucija Beograd" d.o.o., Masarikova 1-3, 11000 Beograd, 011/36-16-706; [milos.sustran@edb.rs](mailto:milos.sustran@edb.rs)