

## UTVRĐIVANJE SPECIFIČNOG RASHLADNOG KAPACITETA PROSTORIJA PRI MODELOVANJU PROGRAMA UPRAVLJANJA OPTEREĆENJEM

V. Šiljkut, JP EPS Direkcija za distribuciju električne energije, Srbija  
N. Rajaković, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, Srbija  
M. Dilparić, Elektrotehnički institut "Nikola Tesla" Beograd, Srbija  
I. Batas Bijelić, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, Srbija

### UVOD

U ovom radu je prikazana metodologija određivanja specifičnog rashladnog kapaciteta prostorija. Koriste se realne, petominutne vrednosti temperatura okoline i 15-minutne vrednosti električnog opterećenja jednog konzumnog područja. Za njega se utvrđuje zavisnost vršnog dnevnog opterećenja od srednje dnevne temperature. Analiza se vrši u diskretnim, unapred utvrđenim koracima (temperaturnim opsezima). Suština metode je da se za svaki od tih opsega uprosečuje vrednost dnevne vršne snage, a potom linearizuje središnji deo dobijene krive. Nagib tako dobijene prave predstavlja traženi specifični kapacitet. Ova veličina govori koliko se električne energije troši na dogrevanje ili rashlađivanje prostorija u razmatranom području, po jedinici temperature. Ukoliko odabrana širina temperaturnih opsega odgovara dodatnoj promeni temperature prostorijâ koja se može smatrati prihvatljivom s aspekta komfora korisnika, onda se dobijeni specifični kapacitet direktno može koristiti za modelovanje programa upravljanja opterećenjem (DSM) ili odziva potrošnje (DR). Takav program bi bio baziran na dodatnom angažovanju uređaja za klimatizaciju prostorija (leti, kada je opterećenje sistema malo), odnosno na isključivanju dela uređajâ za grejanje (zimi, u slučajevima preopterećenja sistema).

Naime, potpuno poseban vid skladišta energije predstavljaju same zgrade, zahvaljujući njihovoj toplotnoj inerciji i kapacitetu. Mnogi veliki gradovi u svetu, u studijama svog dugoročnog energetskog razvoja, ozbiljno planiraju iskorišćenje ovog kapaciteta u svrhu skladištenja energije, smanjenja vrhova opterećenja i strmina snage proizvodnje iz snažno fluktuirajućih obnovljivih izvora (V-RES), optimizacije rada elektroenergetskog sistema i smanjenja gubitaka. Suština je da se unapred odredi jedan opseg tolerancije u kome je dozvoljeno odstupanje temperature prostorijâ, i da se potom primene dinamički modelovani termostati. Oni bi – reagujući na osnovu signala o stanju opterećenosti distributivnog elektroenergetskog sistema tj. o eventualnim viškovima snage iz V-RES – dodatno upravljali uređajima za grejanje odnosno rashlađivanje prostorija. Pritom bi ograničenje predstavljale granice dozvoljene promene temperature prostorija.

Ovakvi DSM modeli su uglavnom kombinovani sa programima energetske efikasnosti (retrofita). Pritom se akcenat mahom stavlja na javne i komercijalne zgrade. U ovom radu je, pak, analizi podvrgnuto područje jedne transformatorske stanice 10/0,4 kV u Beogradu, u kome preovlađuju domaćinstva. Analiziran je dvomesečni vršni letnji period i modelovan odgovarajući DSM program zasnovan na upravljanju klima-uređajima.

### OPIS STUDIJE SLUČAJA

Tokom 2013. sprovedeno je istraživanje čiji je cilj bilo utvrđivanje uticaja jedne hipotetičke mikro-elektreane sa jedinicama V-RES, na profil opterećenja realne mreže, kao i to na koji način programi DSM/DR mogu da

doprinesu balansiranju snage tj. da odigraju ulogu skladištenja energije. U okviru toga, istražen je i specifični kapacitet samih zgrada, zahvaljujući kome one same mogu da posluže kao skladište energije i doprinesu optimalnom radu elektroenergetskog – u ovom slučaju – elektrodistributivnog sistema.

### Određivanje uzorka konzuma i ulaznih podataka za proračune

Odabran je jedan uzorak realne mreže “Elektrodistribucije Beograd” (EDB), kako bi se sagledale i uvažile stvarne mogućnosti i ograničenja za instaliranje V-RES (ovde: PV panela). Snage proizvodnje računate su za različit broj panela, prema insolaciji iz 2012, tj. proizvodnji postojeće elektrane na Školi “Končar” u Beogradu.

Što se tiče potrošnje, utvrđeno je da su raspoloživi uzorci niskonaponskog konzuma sa relevantnim merenjima isuviše mali u odnosu na ukupan broj potrošača, da bi mogli da posluže kao osnov za tipizaciju. Takođe, raspoloživi podaci o merenjima na niskom naponu (NN) su takvi, da takođe mogu da dovedu do pogrešnih zaključaka. Naime, tokom prikupljanja i vrednovanja raspoloživih podataka, naišlo se na probleme koji postoje u vezi integriteta i konzistentnosti podataka. Reč je, npr, o podacima o broju i načinu grejanja potrošača na NN i o merenim snagama kod daljinski očitavanih kupaca (AMR). Ovi problemi su bili takvi da u vreme sprovođenja istraživanja nisu mogli da budu prevaziđeni. Stoga se moralo osloniti na pouzdane podatke sa srednjeg napona (SN), tj. na 15-minutna merenja sa SCADA EDB, uz odgovarajuće aproksimacije i preslikavanja. Naime, bilo je očigledno da će se takvim pristupom učiniti daleko manja greška od one koja bi se imala korišćenjem malog (i stoga verovatno netipičnog) uzorka, pritom sa nepotpunim i nekonzistentnim podacima o merenjima snage.

Iz navedenih razloga, pouzdanije je koristiti 15-minutna merenja na izvodnim ćelijama SN, i preslikati ih na nivo TS 10/0,4 kV i, eventualno, na NN. Ova merenja su prikupljena iz aplikacije *WinMer*, obrađena i napravljeni su odgovarajući ulazni fajlovi za proračune. Na SCADA EDB se registruju struje, a snage su proračunske i približne, jer, naravno, zavise od trenutnih vrednosti napona i faktora snage. U proračunima smo za ove veličine pretpostavili vrednosti od 10 kV i 0,95, respektivno, mada je stvarni faktor snage veći, barem u zimskoj, kritičnijoj sezoni, posmatrano na području Beograda, kao celini. Zbog toga je u odgovarajućim proračunskim fajlovima predviđeno da se mogu varirati i napon i faktor snage (moraju se, naime, usvojiti neke srednje godišnje vrednosti), da bi se na osnovu izmerenih struja u 10 kV ćelijama dobile snage.

Korišćena su 15-minutna merenja za 2012. godinu, za jedan izvod 10 kV koji napaja nekoliko TS 10/0,4 kV sa potrošačima koji imaju različite načine grejanja i mogućnosti upravljanja potrošnjom. Ove, izmerene snage su potom „kuplovane“ snagama proizvodnje jedne fiktivne, solarne elektrane, proizvoljne instalisane snage.

Podaci sa SCADA EDB uzeti su za odabranu izvodnu ćeliju 10 kV br. 26 u TS 35/10 kV “Dušanovac” (skr. DNV26). Ova ćelija napaja podzemnim (kablovskim) vodom 10 kV sledeće TS 10/0,4 kV, registarskih brojeva: V-296 “Bulevar Vojvode Stepe 106, tipa “u objektu”, instalisane snage 1000 kVA, sa potrošačima na AMR i mešovitim načinom grejanja prostorija;

V-13 “Gostivarska 12a”, MBTS, 1000 kVA, postoji AMR, manjina potrošača sa centralnim grejanjem;

V-1852 “Kralja Vladimira 22”, limenka, 630 kVA, nije na AMR, manji broj stanova na centralnom grejanju;

V-1091 “Bulevar Vojvode Stepe 68”, limenka, 630+400=1030 kVA, jedan transformator sa AMR, mešovito grejanje;

V-1115 “Bože Jankovića 2”, u objektu, 1000 kVA, sa AMR, potrošači bez centralnog grejanja;

V-1114 “Vojvode Stepe 37-39”, u objektu, 1000 kV, sa AMR, potrošači bez centralnog grejanja.

Iz odgovarajućih tehničkih i komercijalnih baza podataka EDB, korišćenjem relevantnih aplikacija prikupljeni su i podaci o onim potrošačima napojenim preko navedene izvodne ćelije, koji su daljinski očitavani (AMR). Kod ovih potrošača bi se moglo, počev od naredne zimske sezone, da podesi stalno očitavanje snage (npr. na satnom ili čak 15-minutnom nivou), radi sprovođenja programa DSM/DR i detaljnijih analiza, u budućnosti. Naime, dosadašnja merenja, raspoloživa u vreme ovog istraživanja, nažalost, nisu bila u pravilnim intervalima, a postoje i velike “rupe”, ponekad i od dan-dva. Stoga takva merenja sa NN, u ovom trenutku, nisu bila upotrebljiva.

Za dalje analize je, kao početni uzorak, usvojena TS 10/0,4 kV koja nosi registarsku oznaku V-1091 i pojedini potrošači na njoj – oni koji su podvedeni pod sistem AMR. Utvrđen je broj i vrsta (način) grejanja potrošača na TS V-1091. Na njoj postoje potrošači i sa daljinskim (centralnim) grejanjem i bez njega (pretežno sa TA pećima). Svi koji su sa centralnim grejanjem imaju i AMR. Na prvom energetskom transformatoru u V-1091, od onih potrošača podvedenih pod AMR sistem, ima oko 40% koji su bez centralnog grejanja (mahom sa TA pećima), a na drugom ih je oko 71%. Ukupno, na nivou cele TS, pokrivenost “termaša” AMR-om iznosi oko 60%. Shodno ranije navedenoj opasci o merenim podacima, za sve potrošače (za rejon cele TS) uzet je proporcionalno umanjen grafik opterećenja izvodne ćelije 10 kV DNV26. Dakle, preračunata su opterećenja izvodne ćelije DNV26 na nivo TS V-1091, srazmerno njenoj instalisanoj snazi transformatorâ (400+630 kVA), u odnosu na ukupnu instalisanu snagu svih TS 10/0,4 kV na ovom izvodu (5660 kVA).

Takvi, proporcionalno umanjeni podaci 15-minutnih snaga DNV26 tokom 2012. korišćeni su kao ulazni za dalje proračune. Pri svemu ovome, pretpostavljena je ravnomerna raspodela snaga potrošnje i između dva transformatora u ovoj TS, srazmerno njihovim naznačenim snagama. S obzirom da su oni kratkotrajno preopteretljivi (i do 20%) – sigurnosti radi – usvojena je kao ograničenje njihova instalisana snaga (ukupno, dakle,  $1030 \text{ kVA} \cdot 0,95 = 978,5 \text{ kW}$ ).

Što se meteoroloških podataka tiče, korišćene su petominutne vrednosti spoljne temperature. Analiziran je vršni letnji period (juli i avgust 2012.) i kapacitet klima-uređaja za DSM/DR.

## OPIS METODOLOGIJE

Insolacija je osetno veća leti, pa će stoga i proizvodnja električne energije iz fotonaponskih (PV) panela biti daleko veća nego tokom ostalog dela godine. Sa druge strane, opterećenje je leti osetno manje nego zimi (barem kod onih potrošača bez daljinskog grejanja), pa njihova razlika tada treba i može da bude kuplovana pomoću nekog DSM/DR programa, npr. sa uticajem i podešavanjem klima-uređaja pomoću dinamički modelovanih termostata, [1], ili korišćenjem “pametnih” utičnica i naprednih koncepata, kao što je *ColorPower*, [2].

### Utvrđivanje kapaciteta upravljivog opterećenja u odabranom području

Mogućnosti variranja temperature u prostorijama, kako bi se kompenzovao eventualni višak energije iz PV i sprečio povratni tok električne energije u SN mrežu, može se proceniti iz dijagrama opterećenja za V-1091. Treba uporediti dijagrame za visoku letnju sezonu i prelazni period (tj. kolika je razlika u vršnim snagama u rano popodne, kad je snaga iz PV najveća, ali i korišćenje klima-uređaja u vršnoj sezoni najintenzivnije), pa tu razliku svesti proporcionalno na odabrani broj potrošača za koji smo pretpostavili PV panele, u odnosu na ukupan broj potrošača na V-1091. Energija kojom možemo da balansiramo tada će biti jednaka umnošku te svedene razlike u vršnoj snazi ovih dnevnih dijagrama i vremenskog perioda u kom postoji višak energije iz PV-elektrane.

Drugi, u istraživanju primenjeni, i ovde opisani pristup za procenu kapaciteta upravljivog opterećenja je sledeći: polazeći od pojedinačnih dnevnih dijagrama strujâ opterećenja ćelije DNV26, množenjem sa 1,732, 10 i 0,95, dobijamo profile opterećenja (u kW) tokom svih dana u 2012. S obzirom da su merenja 15-minutna, neophodno je, radi unifikacije sa prethodno pribavljenim vrednostima ključnih veličina, svesti ova merenja na polusatna. Svođenje na opterećenja TS V-1091 vrši se na uobičajeni, ranije opisani, način.

Sa druge strane, iz pribavljenih petominutnih vrednosti meteoroloških veličina tokom 2012. takođe je moguće načiniti svođenje na polusatne vrednosti, uključujući i temperaturu okoline. Za svaki dan ponaosob, iz svih 48 polusatnih (ili iz originalnih, petominutnih) vrednosti temperature okoline, izračunavamo srednju dnevnu temperaturu. Naime, upravo ova veličina najjače utiče na iznos vršne dnevne snage, [3]. Zatim grupišemo dijagrame opterećenja prema vrednosti ove veličine, i to u njenim diskretnim koracima od 1 ili najviše 2 °C. Ovom prilikom usvojena je ova druga vrednost, jer neka istraživanja, poput [4], pokazuju da se dodatna promena (povećanje ili sniženje) temperature prostorija od 2 °C može smatrati prihvatljivom s aspekta komfora korisnika. Efekat termičke inercije zgradâ ovoga puta zanemarujemo. Od grupisanih profila opterećenja zatim sačinjavamo po jedan, uprosečeni, za svaku konkretnu vrednost spoljašnje temperature (ili za njen opseg). Iz takvog dijagrama očitavamo maksimalnu dnevnu vrednost snage opterećenja, a može se lako sračunati i ukupno utrošena električna energija tokom tog, posmatranog, dana.

Na opisani način moguće je uspostaviti sledeće korelacije: srednja dnevna temperatura-vršna dnevna električna snaga; i srednja dnevna temperatura-srednja vrednost potrošnje električne energije. Ova prva zavisnost je unekoliko značajnija za određivanje kapaciteta upravljivog opterećenja. Za letnji period, jasno je da razlika u dijagramima opterećenja usled različitih vrednosti spoljašnje temperature, nastaje kao posledica većeg ili manjeg korišćenja klima-uređaja. Kada se za ceo posmatrani vremenski period taj, varijabilni deo opterećenja ekstrahuje iz dijagramâ opterećenja, dobiće se profili opterećenja kakvi bi se imali da uopšte nema klima-uređaja. Od ovakvih profila opterećenja treba oduzeti snage proizvodnje iz PV panela u realnom vremenu. Ostatak je neophodno nadomestiti nekim relevantnim programom za upravljanje opterećenjem tj. ovde – klima uređajima.

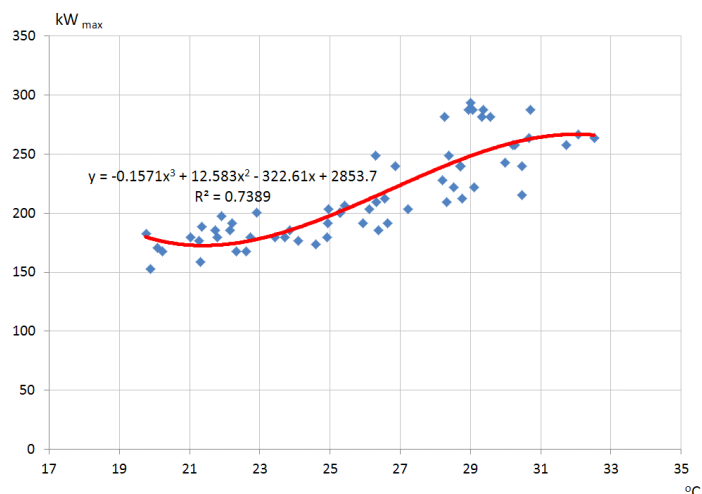
## REZULTATI UTVRĐIVANJA SPECIFIČNOG RASHLADNOG KAPACITETA PROSTORIJA

Prethodno opisano modelovanje uticaja spoljašnje temperature vazduha na porast snage potrošnje u odabranom konzumnom području (TS V-1091), kao rezultat daje specifični rashladni kapacitet prostorija u njemu. On se nadalje može iskoristiti pri modelovanju i proračunima vezanim za DSM/DR program.

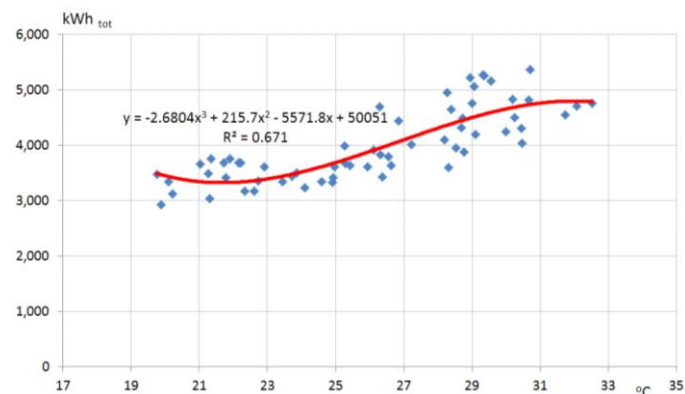
Iz petominutnih vrednosti temperature vazduha sračunate su njihove polusatne vrednosti (radi kompatibilnosti sa ostalim podacima koji se koriste), kao i vrednosti srednje dnevne temperature,  $\theta_{sr}^a$ , s obzirom na dokazani njen prvenstveni uticaj na vrednost dnevnog vršnog opterećenja,  $P_{md}$ . Na ranije već opisani način sračunata su tj. procenjena 15-minutna opterećenja konzuma V-1091, a potom i ukupna dnevna potrošnja električne energije,  $W_d$ , za svaki dan u julu i avgustu 2012. Potom je detektovano koji se dani u posmatrana dva vršna letnja meseca grupišu u koji od intervala srednje dnevne temperature, opsega 2 °C. Ovi opsezi se kreću od 19-21 °C, do 31-33 °C. Takođe, uvidom u hronološke dijagrame opterećenja ćelije 10 kV DNV26, utvrđeno je da tokom jula i avgusta vršni deo dijagrama pada u period od 11 do 18 h. Stoga je za svaki od tih perioda utvrđena i električna energija utrošena tokom njega. Zbirni rezultati su prikazani u Tabeli 1, u Dodatku ovoga rada.

Kada se sve tačne vrednosti srednjih dnevnih temperatura upare sa proračunatim vršnim opterećenjem V-1091, njenim dnevnim potrošnjama i potrošnjama tokom dnevnih vršnih perioda, dobijaju se odgovarajuće zavisnosti

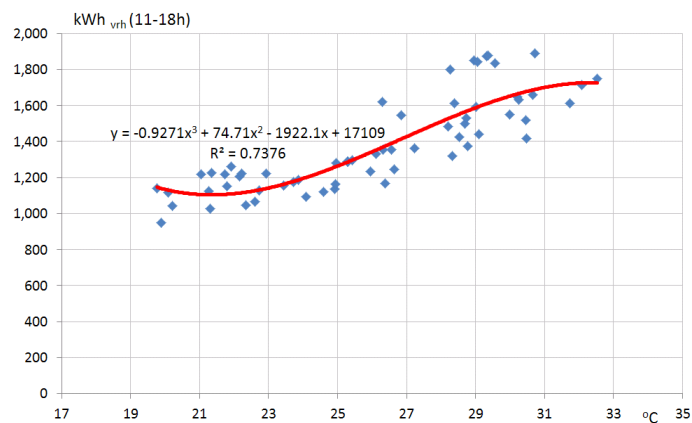
ilustrovane na slikama 1 do 3. Na svakoj od njih, dobijeni „oblak“ podataka može se aproksimirati jednom S-krivom, tipičnom za termičku inerciju zgrada i način korišćenja klima-uređaja. Naime, za niže letnje temperature, porast električne snage usled uključivanja klima je najpre blag. U središnjem opsegu porasta srednje dnevne temperature, klime se intenzivnije uključuju, S-kriva postaje strma, a zavisnost  $P_{md} = f(\theta_{sr}^a)$  postaje linearna. Za najtoplije dane, sve klime bivaju uključene, i dalji rast  $\theta_{sr}^a$  ne dovodi više do porasta  $P_{md}$ . Analogno snazi, slično razmatranje važi i za utrošenu električnu energiju. S-krive su ovde predstavljene polinomima trećeg reda, čije formule su naznačene na samim slikama 1 do 3, kao i stepen ( $R^2$ ) fitovanja (tj. sa kolikom preciznošću S-kriva aproksimira „oblak“ podataka). Tačke u „oblacima“ su dani u julu i avgustu 2012.



Slika 1 Zavisnost proračunate dnevne vršne snage TS V-1091 od srednje dnevne temperature

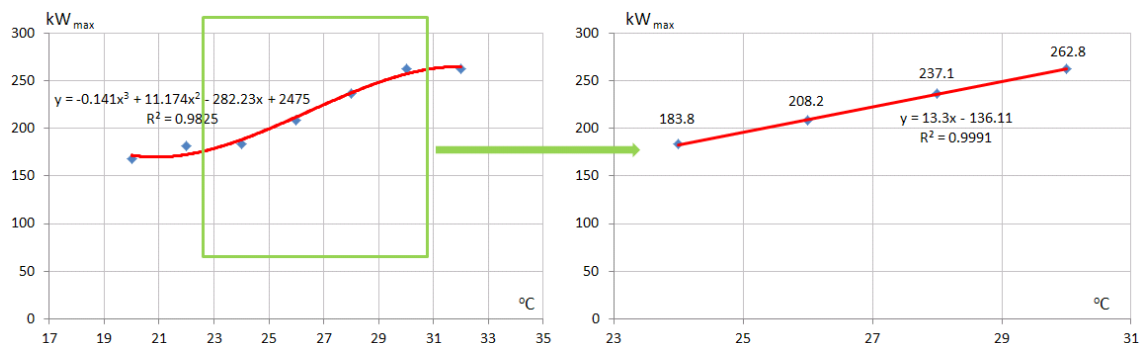


Slika 2 Zavisnost dnevne potrošnje konzuma TS V-1091 od srednje dnevne temperature

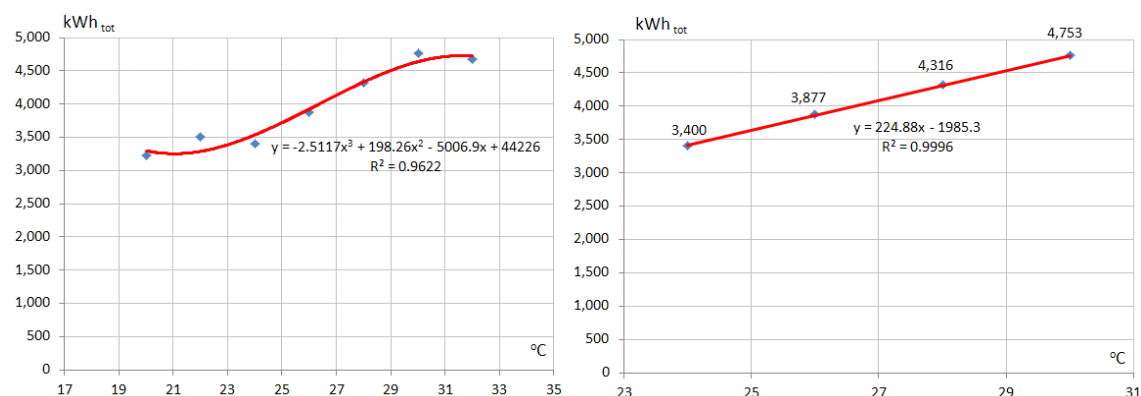


Slika 3 Zavisnost vršne potrošnje konzuma TS V-1091 od srednje dnevne temperature

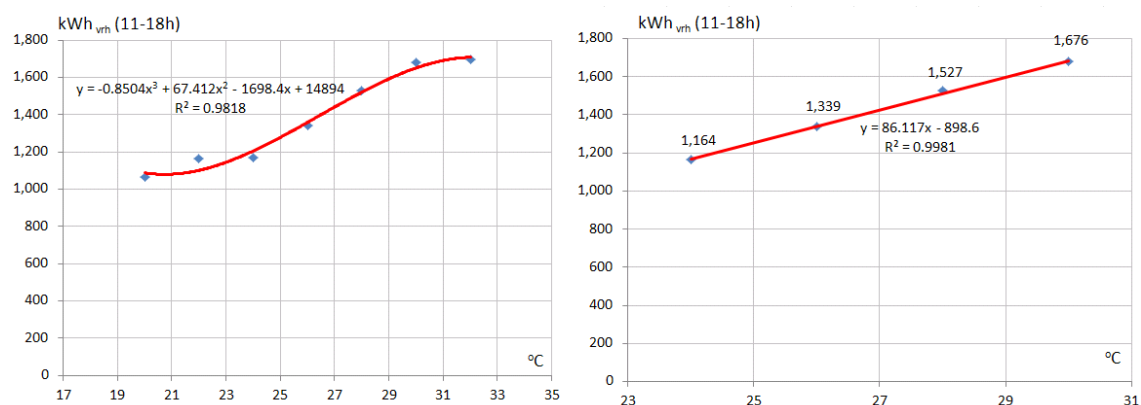
U narednom koraku, sve razmatrane vrednosti iz svakog pojedinačnog opsega srednje dnevne temperature (od 19-21 °C do 31-33 °C, v. sl. 1 do 3), uprosečene su. Time se dobijaju vrednosti i zavisnosti prikazane na slikama 4 do 6 levo. Vidimo da se stepen podudarnosti S-krive sa ovim vrednostima značajno uvećao.



Slika 4 Zavisnost dnevne vršne snage TS V-1091 od intervala srednje dnevne temperature



Slika 5 Zavisnost dnevne potrošnje konzuma TS V-1091 od intervala srednje dnevne temperature



Slika 6 Zavisnost vršne potrošnje konzuma TS V-1091 od intervala srednje dnevne temperature

U konačnom koraku, posmatramo samo središnji deo tih S-krivih, i vršimo njegovu linearizaciju. Ona je prikazana na slikama 4 do 6, desno. Vidimo da je stepen podudarnosti aproksimirane prave sa uprosečenim vrednostima posmatranih veličina najveći (preko 99%). Na slici 4, desno, nagib  $k_{P_{m0}}^L$  prave:

$$P_{md} = f(\theta_{sr}^a) = P_{m0} + k_{P_{m0}}^L \cdot \theta_{sr}^a, \quad (1)$$

koji iznosi 13,3 kW/°C, predstavlja traženi, specifični kapacitet klima-uređaja za DSM/DR i biće korišćen za dalje proračune. Vrednost  $P_{m0}$  predstavlja odsečak prave (1) na osi snage, koji bi se imao za vrednost  $\theta_{sr}^a = 0$  °C.

## MODELOVANJE DSM PROGRAMA U ODABRANOM PODRUČJU

Za potrebe simulacije kombinovanog dejstva sa V-RES, modelovan je sledeći DSM program: kontrolna merna grupa AMR sistema na NN tabli u TS čiji su potrošači podvedeni pod ovaj sistem naprednog merenja, podešena je da uzorkuje polusatne vrednosti opterećenja transformatora 10/0,4 kV. Ukoliko ono padne ispod cca 10% njegove naznačene snage (u kVA), putem PLC se ka potrošačima šalje signal za dodatno uključivanje njihovih trošila koja su, uz odgovarajuće podsticije (npr. 15% niža cena kWh, prema važećoj regulativi) podređena nekom DSM programu i tehničkom podsistemu. Pretpostavimo da se ovaj signal uključivanja šalje i u slučaju da između prethodnog (30 minuta ranije) i trenutnog merenja snage potrošnje TS, razlika bude veća od nekog unapred zadatog iznosa. Kod potrošača mogu biti implementirani npr. Wireless uređaji za stohastičko uključivanje/isključivanje akumulacionih bojlera, [2] ili dinamički modelovani termostati, [1], koji će dati komandu za pojačan rad klima-uređaja.

Istraživanjem su obuhvaćene dve varijante DSM programa – sa konstantnom i sa promenljivom vrednošću dodatno uključenog opterećenja. Ovde ćemo obrazložiti i ilustrovati rezultate simulacije primene ove potonje.

### Varijanta DSM programa sa promenljivom vrednošću dodatnog opterećenja

Ovu varijantu razmotrićemo samo za klima uređaje, tj. njihov pojačan rad kao moguće dodatno opterećenje, i to isključivo u periodu njihovog najintenzivnijeg korišćenja (juli i avgust).

U slučaju TS V-1091 i njenih potrošača, DSM model ćemo ilustrovati pomoću sledećih vrednosti:

- minimalno dozvoljena zbirna snaga opterećenja oba transformatora: 103 kW;
- kritična vrednost gradijenta smanjenja snage između dva polusatna merenja: 75 kW/30°;

S obzirom na činjenicu da temperatura prostorija može da se menja za  $\pm 2$  °C, a da komfor korisnika ne bude osetnije narušen, u prethodno izloženoj analizi specifičnoga kapaciteta,  $k^L_{Pm\theta}$ , odabrani su intervali od po 2 °C. Uz zanemarivanje efekta toplotne inercije zgradâ, prilikom pada opterećenja TS V-1091 ispod ranije postavljenog nivoa (103 kW) ili sa gradijentom većim od 75 kW/30°, smatraćemo da modelovani DSM program, putem PLC i Wireless šalje komandu za pojačan rad klima-uređaja. U tom slučaju, njihovi dinamički modelovani termostati funkcionišu na sledeći način:

- ukoliko razlika snage potrošnje V-1091 i snage proizvodnje iz PV panela sabrana sa proizvodom 13,3 kW/°C i 2 °C daje zbir veći od 103 kW, onda se termostat isključuje nakon sniženja temperature od najviše dozvoljenih 2 °C. Pritom se snaga potrošnje uvećava za 103 kW;
- ukoliko je gore navedeni zbir manji, snaga potrošnje se uvećava upravo za njegov iznos.

Pritom, ukoliko je nova vrednost snage potrošnje (sa dodatno uključenim klima-uređajima, AC) i dalje manja od snage proizvodnje iz PV-panela, onda to znači da je sigurno ostvareno sniženje temperature od 2 °C. Ukoliko to, pak, nije slučaj, temperatura prostorija je snižena za vrednost količnika razlike snage potrošnje sa dodatnim angažovanjem klima-uređajima i snage potrošnje bez njega, i vrednosti 13,3 kW/°C.

Svi napred navedeni uslovi mogu se matematički predstaviti pomoću sledećih izraza:

$$\Delta P = P_{dem} - P_{gPV} + k^L_{Pm\theta} \cdot |\Delta\theta_{max}| > 0.1 \cdot P_{inst}^{PT} \Rightarrow \Delta P_{dem} = 0.1 \cdot P_{inst}^{PT}; \Delta\theta_r = -2 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (2)$$

$$\Delta P = P_{dem} - P_{gPV} + k^L_{Pm\theta} \cdot |\Delta\theta_{max}| < 0.1 \cdot P_{inst}^{PT} \Rightarrow \Delta P_{dem} = \Delta P; |\Delta\theta_r| = \frac{P_{dem}^{AC+} - P_{dem} + P_{gPV}}{k^L_{Pm\theta}} < 2 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (3)$$

gde su:

$P_{dem}$  – prvobitna, zabeležena snaga potrošnje (opterećenje) TS V-1091, pri uobičajenom angažovanju klima-uređaja (AC) za date vremenske uslove,

$P_{dem}^{AC+}$  – proračunato opterećenje TS V-1091, pri pojačanom angažovanju klima uređaja (AC+),

$P_{gPV}$  – moguća snaga proizvodnje iz fotonaponskih (PV) panela,

$k^L_{Pm\theta}$  – nagib linearizovane funkcije dnevnog vršnog opterećenja u zavisnosti od srednje dnevne temperature:

$P_{md} = f(\theta_{sr}^a)$ ,

$|\Delta\theta_{max}|$  – dozvoljeni opseg dodatne promene sobne temperature (ovde: 2 °C),

$\Delta P$  – proračunati zbir razlike između  $P_{dem}$  i  $P_{gPV}$  i proizvoda nagiba  $k^L_{Pm\theta}$  i opsega  $|\Delta\theta_{max}|$ ,

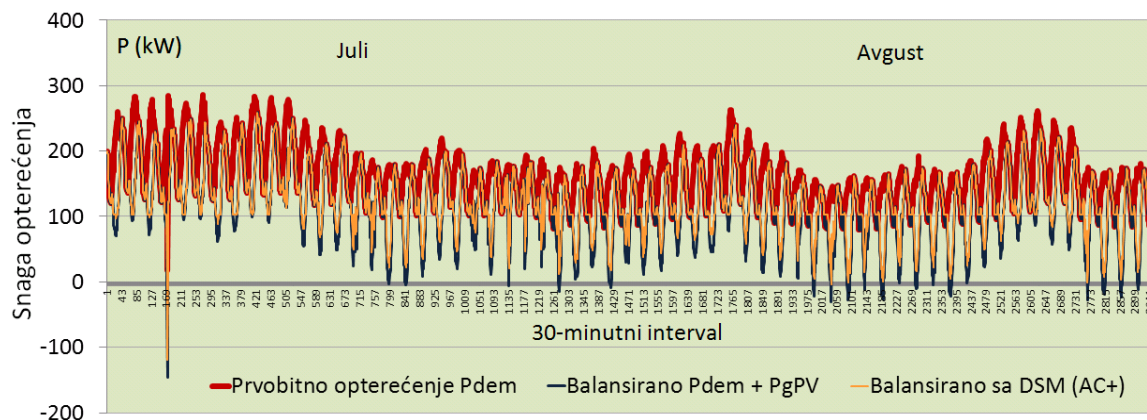
$P_{inst}^{PT}$  – instalisana (naznačena) snaga energetskih transformatora u TS SN/NN reg.br. V-1091,

$\Delta P_{dem}$  – proračunati porast opterećenja koji se očekuje u realnosti,

$\Delta\theta_r$  – proračunata promena sobne temeperature, koja se očekuje u realnosti.

Na slici 7 prikazan je slučaj za instaliranih 840 panela po 250 W, i kada je tokom jula i avgusta aktivirana ovde opisana varijanta programa DSM. Vidimo da samo u nekoliko kratkih vremenskih intervala dolazi do povratnog toka energije iz TS V-1091 ka napojnoj 10 kV mreži.

Broj panela od 840 je izabran za prikaz, jer sa daljim povećanjem broja panela ovako modelovan DSM program nije u stanju da spreči veći inverzni tok energije od konzuma TS V-1091 ka distributivnoj 10 kV mreži. Takođe, dodatne analize ukupnih gubitaka u zavisnosti od snage mikro PV-elektreane, koje su takođe urađene tokom ovog istraživanja, pokazale su da je ovaj broj panela, sa tog aspekta, optimalan za razmatrano konzumno područje i njegovo prvobitno opterećenje. Naime, za taj broj panela, relativno smanjenje ukupnih gubitaka je najveće.



Slika 7 Promena opterećenja TS V-1091 balansirano sa proizvodnjom iz 840 PV panela (po 250 W svaki); kriva koja obuhvata i tamne, donje delove, predstavlja slučaj bez primene DSM programa

## ZAKLJUČAK

Instaliranje i pogon RES jedinica sa jako promenljivom snagom proizvodnje, na niskonaponskoj strani, mogu da dovedu do pojave obrnute transformacije u stanicama SN/NN i do povratnog injektiranja električne energije u srednjenaponsku mrežu. Ova pojava bi bila veoma izražena tokom leta, u slučaju šire primene PV-panela. Osim usloženih tokova snaga, jako podopterećen rad energetskih transformatora u tehno-ekonomskom pogledu daleko je od optimalnog. Da bi se sprečilo nastupanje ovakvih perioda ili ono makar smanjilo po broju i trajanju, svrsishodno je primeniti neki DSM/DR program. Ovde je predložen i modelovan program DSM/DR zasnovan na istraženom rashladnom kapacitetu prostorija. On je utvrđen na uzorku jednog trafo-rejona SN/NN. Programi DSM/DR mogu da odigraju ulogu skladišta energije, u mrežama sa jakim uplivom snažnijih fluktuirajućih RES. Generalno, njima mogu da se smanje fluktuacije i strmine snage u dnevnom dijagramu opterećenja, doprinoseći optimizaciji rada mreže, uključujući smanjenje gubitaka. Naime, pri pogonu V-RES, dolazi do smanjenja gubitaka aktivne snage u mreži, ali relativna vrednost ovog smanjenja dostiže jedan maksimum i potom opada sa daljim povećanjem broja V-RES jedinica. Stoga se za svaki pojedinačni slučaj mora da odredi optimalan broj V-RES jedinica. Kao optimizacioni kriterijum može se koristiti upravo minimum gubitaka u mreži.

## LITERATURA

1. Liang Y, Levine D.I., Shen Z.-J.(M.), 2012, "Thermostats for the Smart Grid: Models, Benchmarks, and Insights", "The Energy Journal", Vol. 33, No. 4., by the IAEE, str. 61-95
2. Papalexopoulos A, Beal J, Florek S, 2013, "Precise Mass-Market Energy Demand Management Through Stochastic Distributed Computing", "IEEE Transactions on Smart Grid", Volume: PP, Issue: 99, str. 1-11
3. Maksimović S, 2005, "Zavisnost vršne snage konzumnog područja JP „Elektrodistribucija-Beograd“ od meteoroloških parametara", 27. Savetovanje JukoCIGRE, Zlatibor.
4. Newsham G.R, Birt B.J, Rowlands I.H, 2011, "A comparison of four methods to evaluate the effect of a utility residential air-conditioner load control program on peak electricity use", "Energy Policy"; Vol. 39, No. 10, str. 6376-6389; ISSN: 0301-4215

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)

Milica Dilparić, Elektrotehnički institut "Nikola Tesla" Beograd, Koste Glavinica 8a, Srbija, [dilparic.milica@gmail.com](mailto:dilparic.milica@gmail.com)

Ilija Batas Bijelić, Elektrotehnički fakultet Univerziteta u Beogradu, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Beograd, [batas@etf.rs](mailto:batas@etf.rs)

## DODATAK – Ulazni podaci za proračun specifičnog rashladnog kapaciteta na konzumu TS V-1091

Tabela 1 Srednje dnevne temperature, vršna opterećenja izvodne ćelije 10 kV DNV26 i proporcionalna vršna opterećenja TS V-1091, vrednosti dnevne i vršne potrošnje u julu i avgustu 2012.

DATUM	Sred.dnev. temp.	Interval sr.dn.tem.	Izvod 10 kV DNV26		TS 10/0,4 kV reg br. V-1091			
	°C	°C	Max P (kW)	W <sub>uk</sub> (kWh)	Max P <sub>V1091</sub> (kW)	W <sub>uk</sub> <sup>V1091</sup> (kWh)	Max P <sub>V1091</sub> <sup>vrh</sup> (kW)	W <sub>uk</sub> <sup>V1091</sup> <sup>vrh</sup> (kWh)
1.7.2012	30.66	29-31	1,448.0	26,462.1	263.5	4,815.5	263.5	1,661.8
2.7.2012	29.35	29-31	1,579.6	28,872.7	287.5	5,254.2	287.5	1,878.9
3.7.2012	28.26	27-29	1,546.7	27,194.3	281.5	4,948.8	281.5	1,800.3
4.7.2012	29.01	29-31	1,612.5	26,108.4	293.4	4,751.2	293.4	1,595.2
5.7.2012	29.56	29-31	1,546.7	28,350.2	281.5	5,159.1	281.5	1,834.0
6.7.2012	29.05	29-31	1,579.6	27,831.9	287.5	5,064.8	287.5	1,843.0
7.7.2012	28.39	27-29	1,365.7	25,516.0	248.5	4,643.4	248.5	1,612.4
8.7.2012	30.20	29-31	1,415.0	26,552.6	257.5	4,832.0	257.5	1,649.8
9.7.2012	30.71	29-31	1,579.6	29,481.5	287.5	5,365.0	287.5	1,890.9
10.7.2012	28.94	27-29	1,579.6	28,683.4	287.5	5,219.8	287.5	1,851.2
11.7.2012	29.32	29-31	1,546.7	28,926.1	281.5	5,263.9	281.5	1,873.7
12.7.2012	26.30	25-27	1,365.7	25,783.4	248.5	4,692.0	248.5	1,622.2
13.7.2012	26.85	25-27	1,316.3	24,401.3	239.5	4,440.5	239.5	1,545.8
14.7.2012	28.73	27-29	1,316.3	24,676.9	239.5	4,490.7	239.5	1,531.6
15.7.2012	25.27	25-27	1,102.4	21,933.2	200.6	3,991.4	200.6	1,289.0
16.7.2012	21.34	21-23	1,036.6	20,674.5	188.6	3,762.3	188.6	1,226.2
17.7.2012	21.03	21-23	987.2	20,143.8	179.7	3,665.7	179.7	1,217.2
18.7.2012	22.15	21-23	1,020.1	20,230.2	185.6	3,681.5	185.6	1,208.9
19.7.2012	26.11	25-27	1,118.9	21,534.2	203.6	3,918.8	203.6	1,330.2
20.7.2012	29.10	29-31	1,217.6	23,031.5	221.6	4,191.2	221.6	1,443.2
21.7.2012	27.22	27-29	1,118.9	22,060.7	203.6	4,014.6	200.6	1,362.4
22.7.2012	21.26	21-23	970.8	19,205.9	176.7	3,495.1	173.7	1,125.8
23.7.2012	22.22	21-23	1,053.1	20,259.0	191.6	3,686.7	191.6	1,222.4
24.7.2012	21.73	21-23	1,020.1	20,222.0	185.6	3,680.0	185.6	1,217.9
25.7.2012	21.90	21-23	1,086.0	20,666.2	197.6	3,760.8	197.6	1,260.6
26.7.2012	22.92	21-23	1,102.4	19,847.6	200.6	3,611.8	200.6	1,221.7
27.7.2012	23.44	23-25	987.2	18,370.9	179.7	3,343.1	179.7	1,155.0
28.7.2012	26.38	25-27	1,020.1	18,811.0	185.6	3,423.2	185.6	1,167.0
29.7.2012	28.32	27-29	1,151.8	19,802.4	209.6	3,603.6	209.6	1,319.7
30.7.2012	23.71	23-25	987.2	18,881.0	179.7	3,435.9	179.7	1,175.3
31.7.2012	24.96	23-25	1,118.9	19,827.1	203.6	3,608.1	203.6	1,280.1
1.8.2012	25.42	25-27	1,135.3	19,995.7	206.6	3,638.8	206.6	1,298.0
2.8.2012	26.55	25-27	1,168.2	20,830.8	212.6	3,790.8	212.6	1,354.2
3.8.2012	28.20	27-29	1,250.5	22,517.3	227.6	4,097.7	227.6	1,483.7
4.8.2012	28.76	27-29	1,168.2	21,316.2	212.6	3,879.1	212.6	1,376.6
5.8.2012	30.46	29-31	1,184.7	22,192.3	215.6	4,038.5	215.6	1,416.3
6.8.2012	32.52	31-33	1,448.0	26,120.7	263.5	4,753.4	263.5	1,751.7
7.8.2012	28.69	27-29	1,316.3	23,697.9	239.5	4,312.5	239.5	1,500.9
8.8.2012	26.31	25-27	1,151.8	21,052.9	209.6	3,831.2	209.6	1,354.2
9.8.2012	25.29	25-27	1,102.4	20,152.0	200.6	3,667.2	200.6	1,288.3
10.8.2012	22.73	21-23	987.2	18,403.8	179.7	3,349.1	179.7	1,127.3
11.8.2012	21.31	21-23	872.1	16,721.4	158.7	3,042.9	158.7	1,027.8
12.8.2012	19.89	19-21	839.2	16,108.5	152.7	2,931.4	152.7	950.7
13.8.2012	20.22	19-21	921.4	17,178.0	167.7	3,126.0	167.7	1,045.0
14.8.2012	22.33	21-23	921.4	17,457.7	167.7	3,176.9	167.7	1,048.0
15.8.2012	22.61	21-23	921.4	17,412.4	167.7	3,168.7	167.7	1,067.5
16.8.2012	24.91	23-25	987.2	18,329.8	179.7	3,335.6	179.7	1,136.3
17.8.2012	24.93	23-25	1,053.1	18,761.7	191.6	3,414.2	191.6	1,165.5
18.8.2012	24.60	23-25	954.3	18,338.0	173.7	3,337.1	173.7	1,122.1
19.8.2012	24.09	23-25	970.8	17,741.5	176.7	3,228.6	173.7	1,093.7
20.8.2012	25.94	25-27	1,053.1	19,851.8	191.6	3,612.6	191.6	1,233.6
21.8.2012	28.52	27-29	1,217.6	21,723.4	221.6	3,953.2	221.6	1,426.8
22.8.2012	29.99	29-31	1,332.8	23,331.8	242.5	4,245.9	242.5	1,549.5
23.8.2012	30.25	29-31	1,415.0	24,713.9	257.5	4,497.4	257.5	1,633.4
24.8.2012	32.07	31-33	1,464.4	25,845.1	266.5	4,703.3	266.5	1,715.7
25.8.2012	31.72	31-33	1,415.0	24,977.2	257.5	4,545.3	257.5	1,614.7
26.8.2012	30.46	29-31	1,316.3	23,669.1	239.5	4,307.3	239.5	1,519.6
27.8.2012	19.76	19-21	1,003.7	19,123.7	182.7	3,480.1	182.7	1,142.3
28.8.2012	20.09	19-21	937.9	18,399.7	170.7	3,348.4	170.7	1,119.1
29.8.2012	21.78	21-23	987.2	18,761.7	179.7	3,414.2	179.7	1,154.3
30.8.2012	23.86	23-25	1,020.1	19,226.5	185.6	3,498.8	185.6	1,188.0
31.8.2012	26.64	25-27	1,053.1	19,975.2	191.6	3,635.1	191.6	1,247.1