

# Vodenje porabe in njena elastičnost na trgu z električno energijo

Iztok Zlatar, Blaž Kladnik, Robert Golob, Andrej F. Gubina

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška 25, 1000 Ljubljana  
E-pošta: [iztok.zlatar@fe.uni-lj.si](mailto:iztok.zlatar@fe.uni-lj.si)

**Povzetek.** Pojem vodenje porabe električne energije (ang. *Demand Side Management - DSM*) je danes pomemben način varčevanja z električno energijo. Kot dopolnilna storitev systemskega operaterja in dobaviteljev električne energije omogoča preoblikovanje dnevnega obremenitvenega diagrama v posameznih urah in zmanjšanje količine porabljene električne energije. V članku predstavljamo vpliv DSM na porabo električne energije na trgu z električno energijo. Na kratko povzemamo definicijo elastičnosti ponudbe odjema in prikažemo vpliv na tržno ceno v dveh primerih. Vpliv izbranih ukrepov DSM smo simulirali na testnem sistemu slovenskega elektroenergetskega sistema (EES) s simulatorjem trga z električno energijo ELMASplus, razvitim na UL, Fakulteti za elektrotehniko, kateremu smo dodali modul DSM. Orodje za modeliranje elastičnosti porabe nam omogoča ocenjevati, kako intenzivnost izvajanja ukrepov DSM lahko vpliva na gibanje porabe električne energije in cen električne energije.

**Ključne besede:** vodenje porabe električne energije, DSM, elastičnost odjema, simulator trga z električno energijo

## Demand-Side Bidding and Demand Elasticity in the Electricity Market

**Extended abstract.** In the era of changing climate and rising costs of energy, demand side management (DSM) presents an important way of reducing electricity demand. Formerly the domain of vertically integrated utilities, DSM is making its comeback also in the deregulated environment. As a supplementary service of the system operator and power suppliers, specific DSM programs are used for load diagram shaping. Flattening the load curve has been recognized by utilities as an effective way of cutting down the cost of producing electricity. Moreover, it offers the suppliers a tool for optimizing their trading portfolio.

The paper shortly describes DSM and explains how the DSM programs can be used to influence the load diagram in the open market environment. A new DSM module is presented, incorporated into the existing electricity market simulation package ELMASplus. The DSM module takes into account the elasticity of demand-side offers. A conceptual framework is developed for evaluation of the influence of elasticity of demand in an open electricity market.

For simulation of demand-side bidding and demand elasticity, a software package ELMASplus, developed at University of Ljubljana, was used. ELMASplus models the day-ahead simultaneous 24-hour supply and demand auction. The simulation time step in ELMASplus is one hour. It takes into account the key factors that influence the electricity prices, such as power plant characteristics, their bidding strategies, transmission system attributes, and the relevant hydrological data for hydro power plants. Based on the chosen operating scenarios, fuel and emission coupon price forecasts, and hydrology and demand forecast, ELMASplus simulates the day-ahead electricity market auction. The results are

hourly market clearing price (MCP) and the corresponding power-plant production schedule. From these results, electricity production of each generation unit, its income from electricity sales, fuel consumption and associated costs, GHG emissions and comparable consumption savings can be calculated.

The paper presents the concept of an elastic demand bid, illustrating the idea through simulations. In an elastic demand bid, the demand for a commodity (e.g. electricity) decreases as the price of the commodity increases. First, a virtual case is described, showing how demand-bid elasticity influences the demand of electricity. Two supply bids are taken into consideration. **Napaka! Vira sklicevanja ni bilo mogoče najti.** shows that:

- in case of supply offer 1, the MCP in elastic demand bidding is lower than in inelastic demand bidding,
- in case of supply offer 2, the MCP in elastic demand bidding is higher than in inelastic demand bidding.

We can conclude that expensive supply, met by elastic demand bid, leads to relatively lower MCP, whereas cheap supply leads to relatively higher MCP.

Finally, the concept is illustrated on a real-test case, based on the Slovenian power system. The demand elasticities of  $\varepsilon = 5\%$  and  $\varepsilon = 10\%$  were tested on a 24 hour load profile. The results are shown in Figure 7 and Figure 8. The paper therefore demonstrates how the simulation package ELMASplus can be used for a comprehensive evaluation of possible demand scenarios, incorporating demand-side bidding strategies into the electricity market.

**Keywords:** demand-side management, demand elasticity, electricity-market simulator

Raziskava je nastala v okviru raziskovalne skupine Elektroenergetski sistemi, P2-0356, ki jo financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARRS).

## 1 Uvod

V času, ko se srečujemo z rastočimi cenami energije, omejitvami glede izpustov toplogrednih plinov in težavami glede umestitve vedno novih proizvodnih enot v okolje, je vodenje porabe električne energije (DSM,

ang. *Demand Side Management*) pomemben mehanizem za zmanjševanje rasti porabe energije, zagotavljanja energetske neodvisnosti in izpolnjevanje mednarodnih okoljskih zavez.

V tradicionalno organiziranem elektrogospodarstvu je DSM pri vodenju elektroenergetskega sistema omogočal optimizacijo procesa: proizvodnja-prenos in dobava-odjem električne energije. Vertikalno integrirana elektropodjetja so uporabljala DSM programe predvsem za zmanjševanje stroškov proizvodnje in prenosa. Z njimi so določene skupine odjemalcev spodbujali, da so glede na potrebe sistema prilagajali svojo porabo električne energije ter čim večji del porabljali v obdobjih zunaj koničnih obremenitev. Tipična načina sta bila dvotarifno obračunavanje in pogodbe o prekinitvah dobave (ang. *Interruptible Load Contracts*) [1].

V dereguliranem elektrogospodarstvu je DSM dopolnilna storitev sistemskih operaterjev in dobaviteljev električne energije, [2]. Ukrepi DSM so usmerjeni v zmanjšanje količine porabljene električne energije, zmanjševanju koničnih obremenitev EES s premikanjem ali rezanjem konice, ter optimiranju stroškov odjemalca in dobavitelja električne energije.

Sistemskemu operaterju so programi DSM orodje za vodenje EES, dobaviteljem električne energije in odjemalcem ponujajo ekonomske koristi, država pa v njih vidi instrument za varčevanje z električno energijo in sredstvo za izpolnjevanje mednarodnih dogovorov.

Kljub teoretični možnosti prožnega odziva odjema na ceno na trgu z električno energijo je v praksi odjem največkrat privzet kot neelastičen [3]. Čeprav so odjemalci sposobni sprejemati racionalne odločitve o času in načinu porabe energije glede na ceno, ki je ponujena na trgu, se jim to v večini primerov ne izplača. Razen velikih porabnikov ima pri večini električna energija relativno majhen delež v skupnih stroških. Aktivno sodelovanje na organiziranem trgu z električno energijo bi jim prineslo relativno visoke fiksne stroške odziva na tržni cenovni signal ob nesorazmerno majhnem prihranku denarja, zato večine odjemalcev sodelovanje na trgu na debelo ne zanima. Količinska in cenovna tveganja namesto njih prevzemajo dobavitelji električne energije, ki več manjših odjemalcev združijo v agregiran profil odjema in jim elektriko ponujajo na trgu na drobno.

V članku predstavljamo metodologijo za modeliranje ukrepov DSM pri odjemalcih na povsem odprtem trgu z električno energijo. Odziv odjemalcev na cenovni signal zaradi ukrepov DSM smo simulirali s simulacijskim modelom dnevnega trga z električno energijo ELMASplus [6]. V ta namen smo zasnovali modul DSM, ki upošteva elastičnost odjema. Metodologijo smo preizkusili na testnem modelu slovenskega elektroenergetskega sistema.

## 2 Vpliv DSM na porabo v tržnih razmerah

### 2.1 Uvod

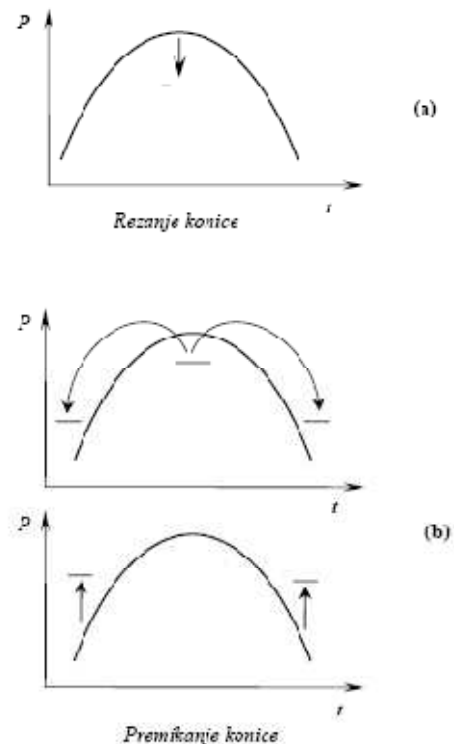
Na področju raziskav DSM ima vodilno vlogo Mednarodna agencija za energijo, IEA (International Energy Agency). Od leta 1993 proučuje tehnologije in metode za zmanjševanje porabe električne energije in za vpliv na časovno razporeditev njene rabe. Leta 2004 je IEA objavila Mednarodno bazo programov DSM (The International Database on Energy Efficiency Programmes - INDEEP), ki vsebuje 229 programov DSM iz 14 držav. Prenovljeni INDEEP bo izšel v začetku leta 2009 [4]. V njem je IEA programe DSM glede na vpliv na porabo električne energije razdelila na dve skupini [5]:

- oblikovanje obremenitvenega diagrama ter
- prilagajanje (zniževanje) ravni porabe, da bi zmanjšali količino porabljene električne energije.

Ta delitev omogoča razvrščanje in vrednotenje programov DSM, pri čemer se v posameznih programih ti dve področji lahko prepletata.

### 2.2 Oblikovanje obremenitvenega diagrama

Dnevni obremenitveni diagram na Slika 1 oblikujemo ali gladimo tako, da znižujemo konično moč (a) ali to moč prerazporejamo v obdobja manjše porabe (b) [5]. Uporabimo lahko rezanje ali premikanje konice.



Slika 1: Oblikovanje obremenitvenega diagrama  
Figure 1. Shaping of the load diagram

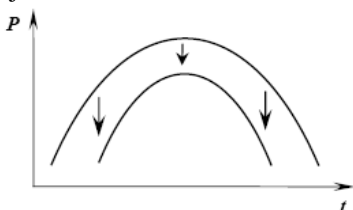
Oblikovanje obremenitvenega diagrama sistemskemu operaterju prinaša naslednje prednosti [3]:

- izboljšano zanesljivost sistema z znižanjem konic, povečanjem rezervnih zmogljivosti, in z zmanjšanjem odvisnosti od vršnih enot;
- hitrejšo možnost ponovne vzpostavitve sistema pri morebitnih okvarah;
- večjo zanesljivost pri obvladovanju tveganj skozi meritve odjema in zajem profilov;
- manjše stroške vlaganj v sistemske zmogljivosti zaradi njihove izboljšane izkoriščenosti;
- povečanje integracije razpršene proizvodnje, ki bo razbremenila prenosni sistem, in
- napredek pri razvoju in uporabi tehnologij merjenja, nadzora in komunikacij, dinamičnega prilagajanja odjema, nestalni proizvodnji električne energije iz obnovljivih virov energije (E-OVE), modeliranja in napovedovanja potreb po shranjevanju energije ter obnašanja odjemalcev.

Dobavitelju pa oblikovanje obremenitvenega diagrama z izboljšanjem kratkoročnega prilagajanja cen omogoča zmanjšanje cenovnega tveganja na trgu na debelo ter možnost, da del s tem povezanih prihrankov deli z odjemalcem.

### 2.3 Uravnavanje ravni moči odjema

Za izpolnjevanje vedno višjih ciljev pri varčevanju z energijo bi morale države uvesti mehanizme za spodbujanje zmanjševanja porabe vseh vrst energije. Energetska učinkovitost je definirana kot razmerje med doseženim učinkom (npr. storitvijo, blagom ali energijo) ter vloženo energijo [11]. Zmanjševanje krivulje moči v času prikazuje Slika. 2.



Slika. 2: Zmanjševanje obremenitvenega diagrama  
Figure 2: Load diagram: demand-level reduction

Zmanjševanje dnevnega obremenitvenega diagrama poleg manjše skupne letne količine porabljene energije krepi energetska neodvisnost države ter zmanjšuje izpuste toplogrednih plinov. Tovrstni programi prinašajo naslednje prednosti [3]:

- spodbujajo razvoj trgov za podjetja, ki ponujajo energetske storitve, ter
- omogočajo dodelitev spodbud in obveznosti porabnikom, kar spodbuja njihovo večje angažiranje in poveča energetska učinkovitost tudi z instrumenti, kot so npr. beli certifikati.

## 3 Paket ELMASplus

Za analizo vpliva elastičnosti odjemalcev na razvoj cene na trgu z električno energijo smo uporabili programski paket ELMASplus, razvit na UL, Fakulteti za elektrotehniko katerega shemo podaja Slika 3 [6]. ELMASplus omogoča simulacijo dvostranskih dnevnih avkcij na trgu z električno energijo, pri tem pa poleg modeliranja sosednjih EES in prenosnih omejitev upošteva še natančne hidrološke razmere rek, tehnične lastnosti agregatov, njihove načrtovane remonte in naključne izpade. S simulacijo trga z električno energijo dobimo kot rezultat urne podatke o sistemski ceni in porabljeni energiji za dan naprej. Poleg teh ELMASplus izoblikuje vozne rede z urno angažiranostjo posameznih agregatov, iz teh pa izračuna proizvodnjo in prihodek proizvodnih podjetij. Z njegovo pomočjo je mogoče simulirati in proučevati poljubne scenarije gradnje in obratovanja proizvodnih enot, saj omogoča model tudi večletne simulacije, pa tudi analizo ponudbenih strategij proizvajalcev na trgu. Korak simulacije smo omejili na eno uro, kar ustreza delovanju za Slovenijo najpomembnejših trgov z električno energijo ter zrnatosti vozni redov proizvodnje v Sloveniji.

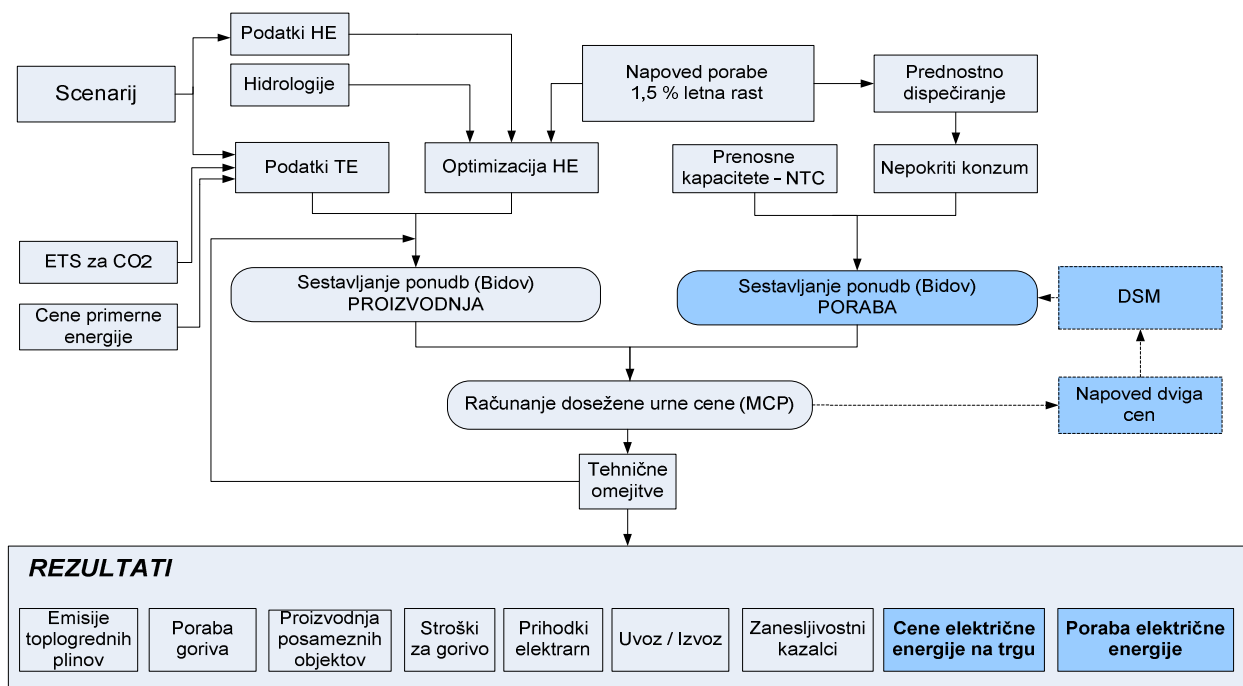
Najobsežnejši korak je priprava vhodnih podatkov in zahteva natančen opis vseh proizvodnih objektov v sistemu. Vhodni podatki obsegajo napoved porabe, podatke o obratovalnem stanju termoagregatov in njihovi pripravljenosti za obratovanje, izračun proizvodnje energije v hidroelektrarnah, čezmejne prenosne zmogljivosti ter modeliranje cen električne energije v sosednjih sistemih [7].

Rezultati simulacij z ELMASplus obsegajo cene električne energije, porabo goriv, emisije ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ , prašni delci), zanesljivostne kazalce, bilanco uvoza energije v EES in prihodke elektrarn.

### 3.1 Sestavljanje ponudb proizvajalcev

Da bi lahko simulirali delovanje trga z električno energijo, moramo najprej modelirati ponudbe proizvajalcev in porabnikov. Ponudbe proizvajalcev na trgu se razlikujejo glede na tip elektrarne in izbrano strategijo. Hidroelektrarne (HE) lahko zaradi svoje prilagodljivosti nastopijo tako, da bi proizvajale čim več vršne energije. Ker HE nimajo stroškov goriva, obenem pa vode ne želijo prelivati, privzamemo, da ponujajo električno energijo na trgu po ceni 0 €/MWh.

Termoelektrarne (TE) morajo obratovati vsaj na tehničnem minimumu, saj so stroški izklopov in ponovnih vklopov veliki. Preostali del proizvodnje TE ponujajo tako, da bi pokrile fiksne stroške obratovanja in ustvarile še nekaj dobička. Jedrske elektrarne so manj fleksibilne, zato težijo k pasovnemu obratovanju. Za vsakega proizvajalca je treba oblikovati urne ponudbe obratovanja za naslednji dan, ki morajo vsebovati cene in količine ponujene moči [4].



Slika 3: Shema simulacijskega paketa ELMASplus  
Figure 3: Flowchart of the ELMASplus Simulation tool

Krivulja ponudbe proizvajalcev mora biti odsekoma linearna in monotono naraščajoča funkcija, (1).

$$C_h = f_h(P) \quad (1)$$

$C_h$  je ponudbena cena,  $f_h$  funkcija ponudbe in  $P_h$  moč v uri  $h$ .

Funkcija povpraševanja mora biti odsekoma linearna in monotono padajoča (2).

$$C_h = d_h(P) \quad (2)$$

$C_h$  je cena povpraševanja,  $d_h$  funkcija povpraševanja in  $P_h$  moč v uri  $h$ .

Ponudbe proizvajalcev in odjemalcev se na trgu za vsako uro uredijo v naraščajoče zaporedje. Presečišče obeh krivulj določa tržno ceno (MCP, angl. *Market Clearing Price*) in količino v izbrani uri [6][8]. Proizvajalci, ki so ponudili nižjo ali enako ceno kot MCP, so uvrščeni v vozni red, drugi pa tisto uro ne proizvajajo. Porabniki, ki so ponudili več ali vsaj toliko, kot znaša MCP, pa bodo tisto uro odjemali skladno s svojim povpraševanjem.

### 3.2 Sestavljanje elastične ponudbe odjema

Doslej je bil v programskem paketu ELMASplus odjem modeliran kot neelastičen, torej neobčutljiv na ceno električne energije. Odjemalci so bili torej pripravljeni kupiti energijo ne glede na njeno ceno. Da bi lahko modelirali njihovo cenovno elastičnost, smo

morali zasnovati model elastičnosti odjema, ki smo ga nato kot nov DSM modul vgradili v ELMASplus.

Povpraševanje po večini dobrin se zmanjša, če se cena dobrine dvigne. Če je krivuljo težko določiti, se pogosto privzamejo majhne spremembe in delovna točka, okoli katere se krivulja lahko linearizira. Cenovna elastičnost  $\varepsilon$ , (3), je tako definirana kot relativni naklon krivulje povpraševanja. Ker so cene in količine normirane okoli točke ravnovesja ( $p_0$ ,  $q_0$ ), lahko zapišemo, [1]:

$$\varepsilon = \frac{\Delta P}{\frac{\Delta C}{c_0}} \Rightarrow \varepsilon = \frac{\Delta P}{\Delta C} \quad (3)$$

Točka MCP na **Napaka! Vira sklicevanja ni bilo mogoče najti.** označuje par tržne cene in moči povpraševanja v uri  $h$ . Elastično krivuljo povpraševanja za izbrano leto oblikujemo s pomočjo matrike točk MCP za vsako uro v letu. Urna moč povpraševanja se giblje med zgornjo in spodnjo mejo  $P_{sp}$  in  $P_{zg}$ , ki sta v naši simulaciji določeni glede na urno napoved porabe. Cenovna kapica povpraševanja je določena s pomočjo indeksa *VOLL* (ang. *Value of Lost Load*). Indeks *VOLL* pomeni vrednost nedobavljene energije in mora biti dovolj visok, da bi kot cenovni signal ob primanjkljaju proizvodnje lahko spodbujal investicije v nove proizvodne vire ali v ukrepe URE, [9][10].

Vprašamo se lahko, za koliko bi bili odjemalci pripravljeni znižati povpraševanje po moči, če bi se

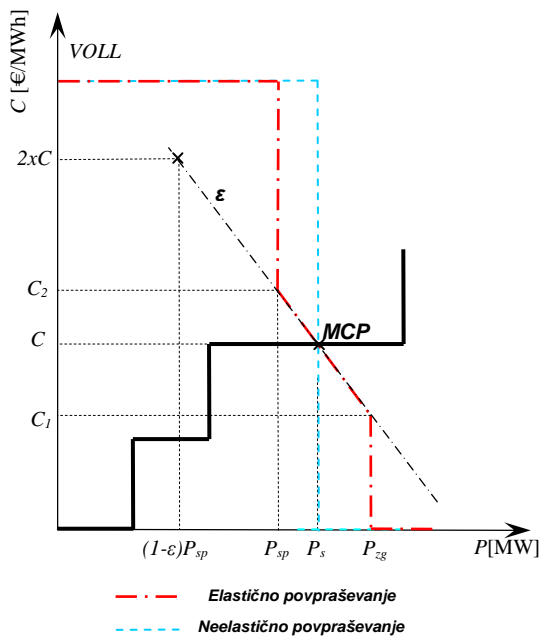
cena energije  $C$  podvojila. Z napovedjo višanja cene postanejo privlačni ukrepi DSM, ki zmanjšujejo porabo in konično obremenitev. Na **Napaka! Vira sklicevanja ni bilo mogoče najti.** je s  $P_s$  označeno povpraševanje pri ceni  $C$ . Če bi se podvojila, bi se povpraševanje zmanjšalo. Dobimo dva para točk:

- $(P_s, C)$ , če povpraševanje ni elastično, in
- $((1-\varepsilon)P_s, 2C)$ , ki označuje odziv elastične porabe ob napovedi dviga cen na trgu.

Skozi točki lahko potegnemo premico s smernim koeficientom  $\varepsilon$ , ki je za vsako uro drugačen. Elastičnost smo omejili na  $P_{zg} = 1,3P_s$  in  $P_{sp} = 0,7P_s$ . Paziti moramo, da za vsako uro  $h$  v letu velja  $P_{zg,h} < P_{maks}$  in  $P_{sp,h} > P_{min}$ ,  $h = 1 \dots 8760$ .  $P_{min}$  in  $P_{maks}$  pomeni največje oz. najmanjše povpraševanje odjemalcev v simuliranem letu. Poskrbeli smo, da sta ta pogoja vedno izpolnjena. Privzeli smo tudi, da cena nikoli ne bo negativna in da je cena navzgor omejena s  $C_{maks} = VOLL$ . Enačbo funkcije povpraševanja, zapisano v (2), lahko torej podrobneje zapišemo kot (4).

$$d_h = \begin{cases} VOLL, & P < P_{sp} \\ -\frac{P_{zg} - P_{sp}}{C_2 - C_1} \cdot P, & P_{sp} < P < P_{zg} \end{cases} \quad (4)$$

Krivulja povpraševanja odjemalcev z območjem elastičnosti med  $P_{zg}$  in  $P_{sp}$  za poljubno uro  $h$  v letu je prikazana na **Napaka! Vira sklicevanja ni bilo mogoče najti.**

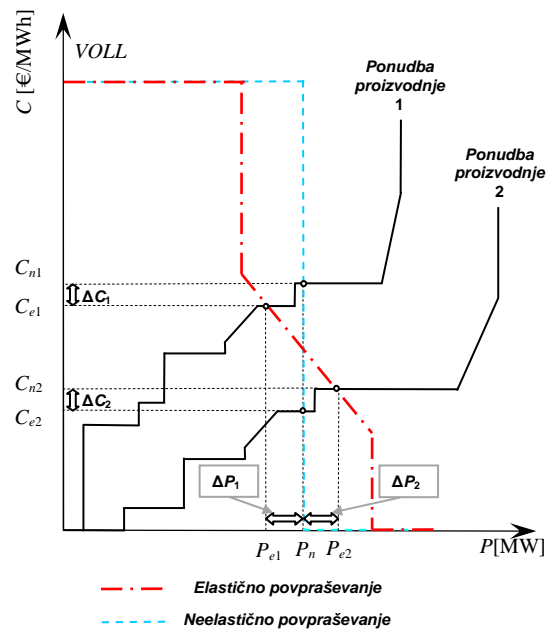


Slika 4: Krivulja povpraševanja z območjem elastičnosti med  $P_{zg}$  in  $P_{sp}$  za poljubno uro  $h$   
 Figure 4: Demand bid for the hour  $h$  in the elastic area between  $P_{zg}$  in  $P_{sp}$

### 3.3 Vpliv elastične ponudbe odjema na porabo

Elastičnost odjemalcev v praksi pomeni prilagajanje odjema ceni električne energije na trgu. Ko je električna energija na trgu poceni, se je odjemalcu splača kupiti več. Če je draga, je odjemalec kupi manj. **Napaka! Vira sklicevanja ni bilo mogoče najti.** prikazuje opisani odnos. Pri ponudbi proizvodnje 1, kjer nabor angažiranih elektrarn ponuja visoko ceno, se poraba pri elastičnem odjemu v primerjavi z neelastičnim odjemom zmanjša za  $\Delta P_1$ . Pri ponudbi proizvodnje 2 pa se poraba poveča za  $\Delta P_2$ . Če primerjamo MCP pri elastični in neelastični ponudbi odjema, opazimo naslednje:

- pri visoki ponudbi proizvodnje 1 je dosežena cena pri elastičnem povpraševanju nižja, kot pri neelastičnem, saj je tržna količina manjša. Mejna angažirana proizvodna enota je torej cenejša, kot bi bila pri neelastičnem odjemu;
- pri nizki ponudbi proizvodnje 2 je dosežena cena pri elastičnem povpraševanju višja kot pri neelastičnem. Večja je tudi tržna količina.



Slika 5: Vpliv elastičnosti odjema na porabo  
 Figure 5: Influence of demand elasticity on the total demand

Sklenemo lahko, da dražja ponudba proizvodnje pri elastičnem odjemu prispeva k manjši porabi. Elastičnost odjema pa v primerjavi z neelastičnim odjemom odvisno od višine ponudbe vodi bodisi k nižjim cenam in porabi bodisi k njenemu relativnemu povečanju pri nizkih cenah proizvodnje.

## 4 Testni primer

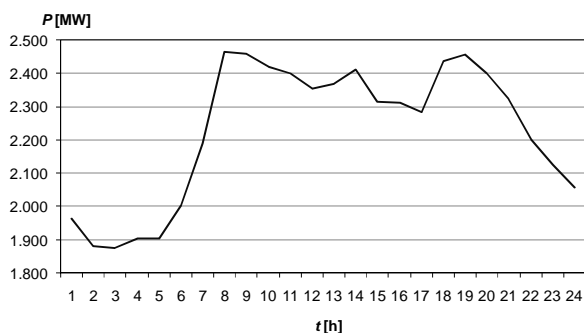
Vpliv elastičnosti povpraševanja smo simulirali za izbrani dan z ELMASPlus. Uporabili smo testni model

EES Slovenije ter predpostavili dve različni elastičnosti odjema,  $\varepsilon = 5\%$  in  $\varepsilon = 10\%$ . Za primer smo vzeli sredo, 20. 1. 2016, z napovedano dnevno porabo energije 53.519 MWh, Slika 6.

Testni primer vsebuje naslednji nabor hidro- in termoelektarn, Tabela 1 in Tabela 2. Oba nabora vsebujeta objekte, ki bodo najverjetneje obratovali leta 2016.

HE	$P_i$ [MW]	HE	$P_i$ [MW]
Dravograd	26	Doblar I.	30
Vuzenica	56	Doblar II.	40
Vuhred	72	Plave I.	15
Ožbalt	73	Plave II.	19
Fala	58	Solkan	32
MB otok	60	Zadlaščica	8
Zlatoličje	114	Blanca	42,5
Formin	116	Krško	41,5
Moste I.	13	Brežice	39,5
Moste II.	8	Trbovlje	27,8
Mavčiče	38	Suhadol	39,3
Medvode	26	ČHE Kozjak	400
Vrhovo	34	ČHE Avče	178

Tabela 1: Seznam vključenih hidroenergetskih objektov  
Table 1: The HPPs in the simulation



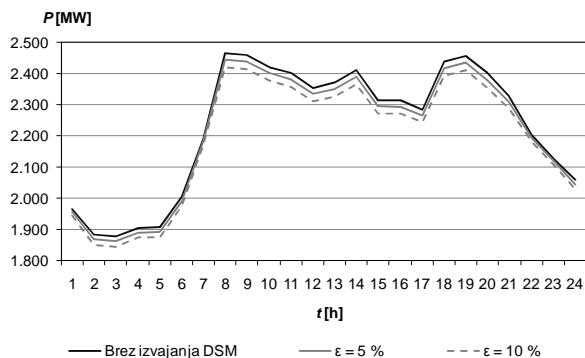
Slika 6: Napovedan obremenitveni diagram za 20. 1. 2016  
Figure 6: Forecasted load diagram for 20. January 2016

TE	$P_i$ [MW]
Šoštanj, Blok 5	345
Šoštanj, Blok 5, PT	84
Šoštanj, Blok 6	600
NEK	348
TE-TOL, Bloki 1,2,3	210
TE-TOL, PPE 1	100
TE-TOL, PPE 2	69
TEB, Bloka 4, 5	228
TET, Blok 1	63
TET, Blok 2	125

Tabela 2: Seznam vključenih termoeenergetskih objektov  
Table 2: TPPs in the simulation

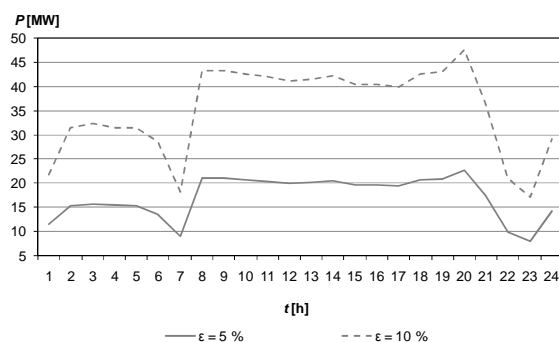
## 5 Rezultati

Pri prikazu rezultatov simulacije smo se osredotočili na vpliv elastičnosti odjema na porabo električne energije. Slika 7 prikazuje tri profile porabe električne energije: brez izvajanja DSM (togo povpraševanje), z elastičnostjo 5 %, ter z elastičnostjo 10 %.



Slika 7: Vpliv elastičnosti odjema na porabo na testnem primeru  
Figure 7: Influence of demand elasticity on the demand

Slika 8 prikazuje absolutno spremembo urnega profila porabe pri 5-odstotni elastičnosti in pri 10-odstotni elastičnosti v primerjavi s togim povpraševanjem. Vidimo lahko, da se je pri obeh obravnavanih elastičnostih skoraj v vseh urah potrebna proizvodnja elektrarn zmanjšala in v nobeni uri povečala. Očitno je ta dan cena električne energije visoka, kar je glede na izbrano zimsko obdobje logično. Zanimivo je tudi, da elastičnost manj vpliva pozno zvečer in čez noč, nato pa se prihranek čez noč večja, kar bi lahko bil vpliv elektrarn s pasovnim obratovanjem, ki s ceneni ponudbami nižajo MCP in s tem zmanjšujejo učinek DSM. Ta je največji čez dan, ko so angažirane tudi dražje enote, kar potrjujejo tudi večji prihranki pri  $\varepsilon = 10\%$ .



Slika 8: Absolutna sprememba urnega profila  
Figure 8: Absolute change of the load profile

## 6 Sklep

Z izvajanjem ukrepov tržno orientiranega DSM, ki sledijo uvedbi ustreznih merilnih tehnologij pri odjemalcih in ustreznim posodobitvam omrežja, so odjemalci finančno stimulirani za zmanjševanje ali časovno prilagajanje svojega odjema. V obdobjih, ko energije primanjkuje in je zaradi tega tudi dražja (tipično v časih koničnih obremenitev), se lahko odjemalci, vključeni v program DSM, v zameno za finančne ugodnosti odpovedo določeni količini električne energije, s čimer odjem postane elastičen. Stopnjo elastičnosti  $\varepsilon$  smo modelirali in vgradili v simulacijski paket ELMASPlus, s katerim smo analizirali vpliv ukrepov DSM na tržno ceno in porabo električne energije.

V članku pokažemo, da elastičnost odjema ne pomeni nujno le varčevanja z energijo, temveč omogoča odjemu, da se odzove na predvidene cene energije. V posameznih obdobjih, ko je poraba velika in so angažirane dražje enote, vodi DSM k nižji porabi. Ko pa je energija cenejša, se poveča tudi elastično povpraševanje. Stopnjo elastičnosti je odvisna od veliko dejavnikov, še posebno pa od stopnje izvajanja ukrepov DSM, kot tudi od cene elektrike, ki motivira odjemalce, da se aktivno odzovejo na spremembe cene na trgu.

Z možnostjo modeliranja elastičnosti porabe smo dobili instrument, ki nam omogoča ocenjevati, kako intenzivnost izvajanja ukrepov DSM lahko vpliva na rast porabe električne energije in rast cen električne energije. V prihodnje bi bilo treba raziskati še vpliv mejne cene, pri kateri bi DSM vselej vodil k zmanjševanju porabe, njeno odvisnost od cikličnih in diskretnih dogodkov v delovanju trga ter vpliv elastičnosti na ponudbene strategije proizvajalcev in odjemalcev na trgu z električno energijo.

## 7 Literatura

- [1] D. S. Kirschen, G. Strbac, P. Cumperayot, and D. P. Mendes. Factoring the elasticity of demand in electricity prices. *IEEE TPWRS*, vol. 15, pp. 612–617, maj 2000.
- [2] Gellings, C. W., Chamberlin, J. H., Demand-Side Management: Concepts & Methods. Second Edition. The Fairmont Press, Lilburn, 1993.
- [3] D. Kirschen, Demand-side view of electricity markets, *IEEE TWRS*, vol. 18, no. 2, pp. 520–527, maj 2003.
- [4] IEA, The Implementing Agreement on Demand-Side Management Technologies and Programmes – TASK 1: INDEEP Analysis Report, 2004.
- [5] Gellings, C. W., P.E.. Demand Forecasting in the Electric Utility Industry. Second Edition. Pennwell
- [6] Golob R., Stokelj T., Paravan D., Stojkowska B., Uporaba simulacijskega orodja za napovedovanje razmer na trgu električne energije, *Elektrotehniški vestnik* 68(5): 277–285, 2001, Ljubljana, Slovenija.
- [7] Zlatar, I., Kozan, B. Gubina, A.F., Long-Term Security of Supply Assessment under Open Electricity Market - Energy Policy Impacts in Slovenia. *ICRMEM '08*, str.164–170, november 2008.
- [8] D. W. Bunn. Modeling Prices in Competitive Electricity Markets. John Wiley & Sons, 2004.
- [9] R. Billinton, J. Oteng-Adjei, R. Ghajar. A comparison of two alternate methods to establish an interrupted energy assessment rate. *IEEE TPWRS*, 1987, pp.751-757.
- [10] K.K. Kariuki, R.N. Allan. Evaluation of reliability worth and value of lost load. *IEE Proc. Gener.Transm.Distrib.*, Vol.143, No.2, marec 1996, pp.171-180.
- [11] Evropski parlament. Direktiva 2006/32/ES Evropskega parlamenta in Sveta z dne 5. aprila 2006 o učinkovitosti rabe končne energije in o energetskih storitvah ter o razveljavitvi Direktive Sveta 93/76/EGS, Bruselj.
- [12] Capgemini, VaasaETT, Enerdata. Demand Response: A decisive breakthrough for Europe. How Europe could save Gigawatts, Billions of Euros and Millions of tons of CO<sub>2</sub>, 2008.
- [13] Vlada Republike Slovenije. Nacionalni akcijski načrt za energetsko učinkovitost za obdobje 2008–2016, 2008, Ljubljana.

**Iztok Zlatar** je diplomiral leta 2006 na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Trenutno je podiplomski študent in mladi raziskovalec v Laboratoriju za energetske strategije. Njegovo področje raziskovalnega dela vključuje obratovanje elektroenergetskih sistemov, ekonomiko v elektroenergetiki, upravljanje s sredstvi ter obnovljive vire energije.

**Blaž Kladnik** je diplomiral leta 2008 na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Trenutno je podiplomski študent in raziskovalec na Fakulteti za elektrotehniko, Univerze v Ljubljani. Njegovo področje raziskovanja obsega vodenje porabe električne energije, obnovljive vire energije in učinkovito rabo energije.

**Robert Golob** je doktoriral leta 1994 na Univerzi v Ljubljani, Fakulteti za elektrotehniko, kjer je od leta 2008 izredni profesor. Kot Fulbrightov štipendist je prebil leto 1998 na podoktorskem izpopolnjevanju na Georgia Tech (ZDA). Med letoma 1999 in 2002 je bil državni sekretar za energetiko. Je predsednik uprav podjetij Gen-I, d.o.o., in Istrabenz Gorenje, d.o.o. Je član strokovnih združenj CIGRE Paris in IEEE.

**Andrej Gubina** je doktoriral leta 2002 na Univerzi v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, kjer je od leta 2006 tudi docent. Leto 2000 je kot Fulbrightov štipendist in gostujoči raziskovalec prebil na MIT, Cambridge, ZDA. Med letoma 2002 in 2005 je ustanovil in vodil Oddelek upravljanja s tveganji v Sektorju trženja na HSE, d.o.o., v Ljubljani. Od marca 2007 je predstojnik Laboratorija za energetske strategije, UL FE. Od avgusta 2008 je kot raziskovalni predavatelj tudi član Electricity Research Centra, University College Dublin, Irska. Njegovo raziskovalno področje obsega deregulacijo in ekonomiko EES, načrtovanje proizvodnje na trgu z električno energijo, obvladovanje tveganj, gospodarjenje s sredstvi EES, ter obnovljive vire električne energije - trženje in regulativo.