

# Zagotavljanje rezerv delovne moči pri odjemalcih električne energije, 2. del – testni sistem

Gašper Artac<sup>1</sup>, Blaž Kladnik<sup>2</sup>, Melita Hajdinjak<sup>3</sup>, Robert Golob<sup>1</sup>, Andrej F. Gubina<sup>3</sup>

<sup>1</sup> GEN-I, d. o. o., Vrblina 17, 8270 Krško, Slovenija

<sup>2</sup> HSE, d. o. o., Koprška 92, 1000 Ljubljana, Slovenija

<sup>3</sup> Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška 25, 1000 Ljubljana, Slovenija

E-pošta: gasper.artac@gen-i.si

**Povzetek.** V članku smo proučili možnost odjemalcev električne energije, da zagotavljajo rezerve delovne moči. Uporabnost novega modela, ki je bil predstavljen v prvem delu članka, smo prikazali na vrsti primerov, s katerimi smo želeli zajeti različne lastnosti odjemalcev in mogoče deleže OVE v sistemu. Za testni sistem smo uporabili *IEEE Reliability Test System*. Rezultati kažejo, da imajo različne lastnosti odjemalcev velik vpliv na zagotavljanje rezerv odjemalcev električne energije in koristi, ki jih imajo pri tem odjemalci. Odjemalci, ki so dovolj prilagodljivi, lahko pri zagotavljanju rezerv uspešno konkurirajo s proizvodnimi enotami. Poleg tega se z večanjem deleža OVE v sistemu povečujejo potrebe po rezervah in s tem zagotavljanje rezerv, ki jih prispevajo odjemalci.

**Ključne besede:** zagotavljanje rezerv delovne moči s strani odjemalcev električne energije, ponudbena funkcija rezerv delovne moči, stohastični model, sočasen trg z električno energijo in rezerv delovne moči, povratni energetski učinek

## Demand-side Active-power Reserve Provision, part 2 – Case Studies

The paper examines the possibility of the demand-side active-power reserve provision. To demonstrate the model proposed in the first part of the paper demand participation in the system reserve provision for a 24-hour time period using the *IEEE Reliability Test System* is simulated. The results show that flexibility greatly affects the demand-side reserve provision. An adequately flexible demand can efficiently compete with generators in providing the system reserve and obtain greater benefit by modifying its load in order to provide the reserve. The results also show that at a high share of the renewable energy sources, some of the reserve needs to be provided by consumers.

## 1 UVOD

V članku predstavljamo testni sistem, s katerim smo preverili možnost zagotavljanja rezerv delovne moči pri odjemalcih električne energije. V nadaljevanju podajamo najprej definicijo testnega sistema, nato pa prikazujemo rezultate delovanja novega modela, ki je bil predstavljen v članku [1].

## 2 TESTNI SISTEM

### 2.1 Definicija

Za prikaz delovanja modela zagotavljanja rezerv pri odjemalcih električne energije za dan vnaprej smo za testni sistem uporabili *IEEE Reliability Test System* [2]. Izbrani testni sistem ima 32 proizvodnih enot različnih tehnologij. Stroškovne krivulje, ki jih potrebujemo za oblikovanje ponudb proizvajalcev, imajo obliko kvadratne funkcije [3]. Ker je stroškovna krivulja posamezne proizvodne enote kvadratna funkcija cene in moči, ne izpolnjuje zahtev linearnega programiranja. Zato moramo namesto kvadratne stroškovne krivulje uporabiti njen linearni približek. Kvadratno stroškovno krivuljo lineariziramo z odsekoma zvezni linearnimi krivuljami, ki je sprejemljiv približek kvadratne stroškovne krivulje [4].

Za potrebe prikaza delovanja modela zagotavljanja rezerv pri odjemalcih električne energije pri različnih tipih odjemalcev smo združen odjem zaradi jasnosti prikaza rezultatov enakomerno razdelili na štiri skupine odjema. Obravnavani odjemalci se prilagajajo razmeram na elektroenergetskem trgu. Realne parametre prilagodljivosti je zelo težko pridobiti. Način, ki se je do zdaj izkazal za najprimernejšega, je pridobivanje podatkov iz pilotnih projektov integracije aktivnega odjema, s čimer pridemo do parametrov dejanskega

odziva odjemalcev. Žal se v Sloveniji tovrstni projekti še ne izvajajo, zato smo parametre prilagodljivosti določili tako, da smo zajeli razpon prilagodljivosti odjemalcev od neprilagodljivih do zelo prilagodljivih. Parametri prilagodljivih odjemalcev so prikazani v tabeli 1.

Tabela 1: Parametri prilagodljivih odjemalcev 1

	Odjem 1	Odjem 2	Odjem 3	Odjem 4
Elastičnost $\varepsilon$	-0,3	0	-0,15	-0,3
Referenčna cena $\lambda_{ref}$ [€/MWh]	50	50	30	10
Delež prilagodljivega odjema DPO [%]	40	10	25	40
VOLL €/MWh	2000			

Zaradi prikaza delovanja modela zagotavljanja rezerv pri odjemalcih električne energije pri različno prilagodljivih odjemalcih smo Odjem 1 in Odjem 4 opredelili kot zelo prilagodljiva, pri čemer ima Odjem 1 visoko referenčno ceno. Odjem 3 je delno prilagodljiv, medtem ko je Odjem 2 zelo slabo prilagodljiv. Vrednost VOLL pri vseh skupinah odjema je 2000 €/MWh.

Delež prilagodljivega odjema (DPO) je na splošno odvisen od tega, ali odjem v določenem časovnem obdobju poveča ali zmanjša svojo porabo. Za zmanjšanje porabe je DPO določen kot

$$DPO_{j,t}^u = (P_{ref,j,t} - P_{D,j,t}^{min}) / P_{ref,j,t} \cdot 100\%. \quad (1)$$

Za povečanje porabe je DPO določen kot

$$DPO_{j,t}^d = (P_{D,j,t}^{max} - P_{ref,j,t}) / P_{ref,j,t} \cdot 100\%, \quad (2)$$

kjer je  $P_{ref}$  referenčna cena skupine odjemalcev  $j$  in  $P_D^{min}$  ter  $P_D^{max}$  spodnja in zgornja meja prilagodljivega odjema skupine odjemalcev  $j$ .

Proizvodnja iz OVE je definirana kot delež združenega odjema v EES, pomnožena z urnim profilom vetrne proizvodnje. Urni profil je realizirana vetrna proizvodnja v Republiki Irski (EirGrid).

## 2.2 Obravnavani primeri

Za ponazoritev delovanja modela zagotavljanja rezerv pri odjemalcih električne energije smo definirali deset primerov, s katerimi želimo prikazati:

- vpliv deleža proizvodnje iz OVE v EES,
- vpliv parametrov prilagodljivosti odjemalcev,
- koristi in stroške odjemalcev in
- vpliv povratnega energetskega učinka.

Za prikaz vpliva deleža proizvodnje iz OVE v EES na zagotavljanje rezerv pri odjemalcih električne energije

smo definirali tri primere deležev proizvodnje iz OVE. V prvem primeru je delež proizvodnje iz OVE enak 0 %, v drugem 25 % in v tretjem 50 %. Parametri prilagodljivosti odjemalcev so v vseh treh primerih enaki kot v tabeli 1. S tem smo prikazali tudi vpliv različnih parametrov prilagodljivosti odjemalcev na zagotavljanje rezerv pri odjemalcih električne energije.

Koristi in stroške rezerv ter energije odjemalcev in stroške neprostovoljnega zmanjšanja odjema z zagotavljanjem rezerv in brez zagotavljanja rezerv pri odjemalcih električne energije smo prikazali s primeri, ki so enaki kot prvi, drugi in tretji primer, ter s tremi dodatnimi primeri. Četrty, peti in šesti primer so paroma enaki kot prvi trije primeri, vendar v teh primerih odjemalci električne energije ne zagotavljajo rezerv.

Do zdaj definirani primeri 1–6 imajo definirane štiri različne skupine odjema. Za prikaz vpliva povratnega energetskega učinka na zagotavljanje rezerv pri odjemalcih električne energije pa smo v vsakem primeru obravnavali le združen odjem. S tem smo definirali štiri nove primere z enakim urnim profilom in enakimi parametri prilagodljivosti. Velikost povratnega energetskega učinka, trajanje povratnega učinka in druge parametre prilagodljivosti za primere 7, 8, 9 in 10 prikazuje tabela 2. Delež proizvodnje iz OVE v vseh primerih znaša 25 %.

Tabela 2: Parametri povratnega energetskega učinka in prilagodljivosti

	Primer 7	Primer 8	Primer 9	Primer 10
Velikosti povratnega energetskega učinka PS [%]	30	25	50	0
Trajanje povratnega energetskega učinka DP [h]	4	1	1	0
Elastičnost $\varepsilon$	-0,15			
Referenčna cena $\lambda_{ref}$ [€/MWh]	30			
Delež prilagodljivega odjema DPO [%]	25			
VOLL [€/MWh]	2 000			

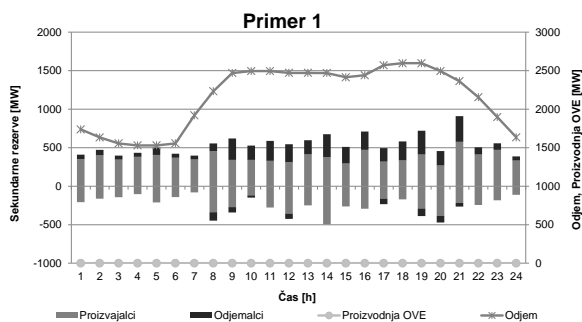
Zaradi preglednosti smo predvidevali, da odjemalci niso občutljivi na ceno električne energije. To pomeni, da je njihova prilagodljivost namenjena le zagotavljanju rezerv.

## 3 REZULTATI

Slike 1–3 prikazujejo vpliv OVE v EES na zagotavljanje sekundarnih rezerv odjemalcev in proizvajalcev električne energije. Za vsak primer sta poleg sekundarnih rezerv prikazana tudi urni profil združenega odjema v izbranem dnevu in urni profil vetrne proizvodnje. Za ravnovesje med proizvodnjo in porabo lahko v prvih 15 minutah po motnji v EES skrbijo tudi minutne terciarne rezerve, ki jih zagotavljajo proizvajalci. Zato smo jih ob prikazu prišteli k pozitivnim sekundarnim rezervam.

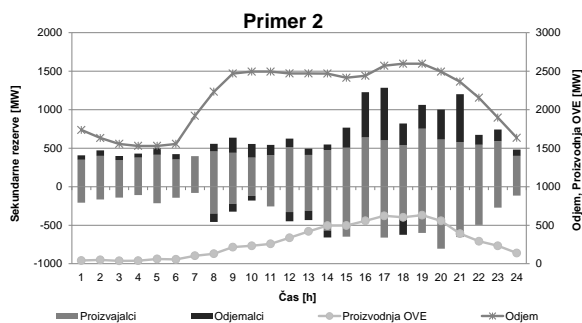
<sup>1</sup> Parametri prilagodljivosti so lastnosti odjemalcev in jih določa vsak posamezni odjemalec sam ali jih zanje določi agregator.

V prvem primeru (slika 1), ko v sistemu ni proizvodnje OVE, na količino potrebnih sekundarnih rezerv vplivajo napaka v napovedi porabe in naključni izpadi proizvodnih enot. V nočnih urah je zaradi manjše porabe potrebnih manj rezerv. V teh urah dobršen del pozitivnih sekundarnih rezerv zagotavljajo proizvajalci. Odjemalci zagotavljajo približno 15 % zahtevanih pozitivnih sekundarnih rezerv. V urah z veliko porabo (od 9. do 21. ure) pa se delež rezerv, ki jih zagotavljajo odjemalci, poveča na približno 40 %. Zaradi velike porabe in s tem večje proizvodnje električne energije je na voljo manj razpoložljive moči iz proizvodnih enot, ki bi jo lahko namenili za pozitivne sekundarne rezerve. Za razliko pa je v nočnih urah na voljo veliko rezerv moči iz proizvodnih enot, saj le-te obratujejo z manjšo močjo. Negativne sekundarne rezerve zagotavljajo odjemalci predvsem v urah, ko v sistemu pride do večje spremembe porabe. V teh urah se vklopijo ali izklopijo nove proizvodne enote, ki zaradi tehničnih omejitev, kot so minimalna moč in največje hitrosti spremembe izhodne moči, ne morejo zagotavljati dovolj negativne sekundarne rezerve.

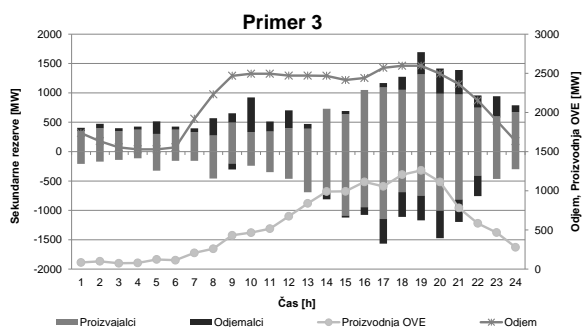


Slika 1: Zagotavljanje sekundarnih rezerv odjemalcev in proizvajalcev za primer 1 (brez OVE)

V drugem (slika 2) in tretjem primeru (slika 3) se zahtevana količina sekundarnih rezerv zaradi proizvodnje OVE in s tem povezane napake napovedi OVE poveča skladno s povečanjem proizvodnje OVE. Zaradi spremenljive narave OVE in povečane zahtevane količine sekundarnih rezerv se zagotavljanje sekundarnih rezerv odjemalcev poveča. Kljub temu pa je zagotavljanje pozitivnih sekundarnih rezerv odjemalcev v drugem primeru nekoliko večje kot v tretjem primeru. V tretjem primeru zaradi tako visokega deleža OVE obratujejo nekatere proizvodne enote na zmanjšani ali celo na minimalni moči. S tem je na voljo več razpoložljive moči proizvodnih enot, ki bi jo lahko namenili za pozitivne sekundarne rezerve. Po drugi strani pa je na voljo manj razpoložljive moči za zmanjšanje proizvodnje. Zato odjemalci zagotavljajo več negativnih sekundarnih rezerv.



Slika 2: Zagotavljanje sekundarnih rezerv odjemalcev in proizvajalcev za primer 2 (25 % OVE)



Slika 3: Zagotavljanje sekundarnih rezerv odjemalcev in proizvajalcev za primer 3 (50 % OVE)

Tabeli 3 in 4 prikazujeta vsoto urnih količin rezerv, ki jih zagotavljajo odjemalci in proizvajalci električne energije. Zaradi že omenjenih razlogov skupna količina rezerv z večanjem deleža OVE v EES raste. Kot smo že omenili, se stroški zmanjšanja porabe z večanjem do zdaj porabljene energije pri zagotavljanju pozitivnih rezerv povečujejo. Zato so pozitivne sekundarne rezerve večje od terciarnih rezerv, ki jih zagotavljajo odjemalci električne energije. Kljub temu pa se ta razlika v tretjem primeru zmanjša, saj je zahtevana količina terciarnih rezerv tako velika, da je proizvajalci ne morejo zadostiti oziroma bi jo lahko zadostili le po višji ceni.

Tabela 3: Vsota rezerv v 24 urah, ki jih zagotavljajo odjemalci

Odjemalci			
Primer / Tip rezerv	SR <sub>u</sub> [MW]	SR <sub>d</sub> [MW]	TR [MW]
Primer 1	3.904	581	993
Primer 2	4.749	862	1.170
Primer 3	4.402	2.862	2.995

Tabela 4: Vsota rezerv v 24 urah, ki jih zagotavljajo proizvajalci

Proizvajalci				
Primer / Tip rezerv	SR <sub>u</sub> [MW]	SR <sub>d</sub> [MW]	TR <sub>q</sub> [MW]	TR <sub>s</sub> [MW]
Primer 1	3.072	5.467	5.983	0
Primer 2	4.646	8.277	6.841	1.384
Primer 3	7.455	11.959	7.109	1.753

Zagotavljanje sekundarnih in terciarnih rezerv odjemalcev z različnimi parametri prilagodljivosti je prikazano v tabeli 5. Odjemalci z večjo prilagodljivostjo zagotavljajo več rezerv. Tako odjemalec 4, ki je najbolj prilagodljiv, zagotavlja največje sekundarne rezerve. Odjemalec 1 ima enake lastnosti, razen referenčne cene, ki je višja. Zato je izhodišče njegove ponudbene cenovne krivulje višje. To pa je razlog, da zagotavlja manj sekundarnih rezerv. Kljub temu, da je odjemalec 2 zelo slabo prilagodljiv, v določenih urah zagotavlja sekundarne rezerve. Vendar pa je to zgolj v urah, ko je potreba po rezervah v EES velika.

Pri zagotavljanju terciarnih rezerv je vpliv parametrov prilagodljivosti podoben. Vendar pa mora biti sprememba porabe, ki je namenjena sekundarnim ali terciarnim rezervam, manjša od deleža prilagodljivosti odjema. Zato je lahko v primerih, ko odjemalec zagotavlja večjo količino sekundarnih rezerv, delež terciarnih rezerv manjši in nasprotno. Zato je v nočnih urah, ko odjemalci zagotavljajo malo sekundarnih rezerv, delež terciarnih rezerv večji.

Tabela 5: Zagotavljanje sekundarnih in terciarnih rezerv odjemalcev

Primer 1			
Odjem / Tip rezerv	SR <sub>u</sub> [MW]	SR <sub>d</sub> [MW]	TR [MW]
Odjem 1	90	0	94
Odjem 2	13	0	12
Odjem 3	411	581	162
Odjem 4	3.390	0	725
Primer 2			
Odjem / Tip rezerv	SR <sub>u</sub> [MW]	SR <sub>d</sub> [MW]	TR [MW]
Odjem 1	656	259,58	151
Odjem 2	151	0	17
Odjem 3	636	602,51	232
Odjem 4	3.306	0	765
Primer 3			
Odjem / Tip rezerv	SR <sub>u</sub> [MW]	SR <sub>d</sub> [MW]	TR [MW]
Odjem 1	898	1.477	812
Odjem 2	212	62	114
Odjem 3	811	1.322	536
Odjem 4	2.482	0	1.532

Tabela 6 prikazuje vsoto urnih količin koristi, stroškov rezerv, stroškov energije in stroškov neprostovoljnega zmanjšanja odjema za primere, ko odjemalci zagotavljajo rezerve, in za primere, ko jih ne zagotavljajo. Korist, ki jo imajo odjemalci z zagotavljanjem rezerv, z večanjem deleža OVE raste. Z večanjem potreb po rezervah raste tudi dosežena cena za te rezerve, ki vpliva na korist odjemalca. Poleg tega pa odjemalci zagotavljajo čedalje več rezerv. V primerih, ko odjemalci ne zagotavljajo rezerv, seveda nimajo koristi.

Kot smo že omenili, se z večanjem deleža OVE potrebe po rezervah v EES povečujejo. Zato se viša tudi cena za rezerve in s tem povezani stroški rezerv. V primerih, ko odjemalci ne zagotavljajo rezerv, so ti stroški višji. Posebno to velja za primer 6, ko je delež

OVE v sistemu največji. Takrat je potreba po rezervah v sistemu tako velika, da je proizvajalci sami ne morejo zadostiti. Zato pride do neprostovoljnega zmanjšanja moči porabe in s tem povezani stroški se povečajo. To vpliva tako na stroške rezerv, kot tudi na stroške energije. V preostalih primerih se stroški energije z večanjem deleža OVE nižajo. Zaradi specifičnih lastnosti namreč proizvajalci iz OVE ponujajo nižjo ceno na trgu kot drugi proizvajalci. Kot kaže primer 6, pa to velja zgolj do določenega deleža OVE v sistemu. Stroški energije so nižji tudi, kadar odjemalci zagotavljajo rezerve.

Bolj ko je odjemalec prilagodljiv, večjo ima korist z zagotavljanjem rezerv. Pri odjemalcih, ki so manj prilagodljivi, se lahko zgodi, da imajo v določenem scenariju stanja v EES celo negativno korist. Kljub temu pa te koristi ne vplivajo veliko na celotno njihovo korist pri zagotavljanju rezerv, saj je verjetnost takih scenarijev zelo majhna. V večini scenarijev odjemalci aktivirajo nič ali malo rezerv, ki so bile rezervirane. To pa pomeni, da dobijo plačano rezervacijo rezerv. Ker odjemalci nimajo priložnostnih stroškov, to zanje pomeni zgolj korist.

Tabela 6: Koristi, stroški rezerv, stroški energije in stroški neprostovoljnega zmanjšanja odjema v 24 urah

	Korist [€/h]	Stroški rezerv [€/h]	Stroški energije [€/h]	Stroški neprostovoljnega zmanjšanja odjema [€/h]
Primer 1	40.417	172.824	1.972.164	4.080
Primer 2	70.152	297.760	1.259.121	7.143
Primer 3	132.798	502.411	1.171.283	30.545
Primer 4	/	275.858	2.020.774	15.004
Primer 5	/	322.785	1.415.330	34.070
Primer 6	/	3.745.397	4.645.358	2.826.263

## 4 SKLEP

Uporabnost novega modela smo prikazali na vrsti primerov, s katerimi smo želeli zajeti različne lastnosti odjemalcev in mogoče deleže proizvodnje iz OVE v sistemu. Za testni sistem smo uporabili *IEEE Reliability Test System*. Rezultati kažejo, da imajo različne lastnosti odjemalcev velik vpliv na zagotavljanje rezerv odjemalcev električne energije in njihove koristi. Odjemalci, ki so dovolj prilagodljivi, lahko pri zagotavljanju rezerv uspešno konkurirajo proizvodnim enotam. Bolj ko so odjemalci prilagodljivi, večji delež rezerv zagotavljajo in večje koristi imajo. Kljub temu se pri določenih odjemalcih, ki so manj prilagodljivi, lahko zgodi, da imajo pri zagotavljanju rezerv negativne koristi oziroma škodo, vendar je verjetnost takšnega scenarija zelo majhna. Na delež rezerv, ki ga zagotavljajo odjemalci, vpliva tudi povratni energetski učinek. Večji ko je ta učinek, manjši delež rezerv zagotavljajo odjemalci. Po drugi strani pa se njihova korist s povratnim energetskim učinkom poveča.

Rezultati hkrati tudi kažejo, da se s povečevanjem deleža proizvodnje iz OVE v sistemu povečujejo tudi potrebe po rezervah in s tem zagotavljanje rezerv odjemalcev. Poleg tega se zaradi povečanja deleža proizvodnje iz OVE povečuje tudi potreba po negativnih rezervah, ki v preteklosti niso imele tolikšnega pomena kot pozitivne. Zagotavljanje rezerv odjemalcev vpliva na znižanje stroškov SOPO za nakup rezerv, saj imamo v sistemu več ponudbe, ki nadomesti dražje možnosti ter pripomore k povečanju zanesljivosti EES. Pri zelo velikem deležu proizvodnje iz OVE se lahko namreč celo zgodi, da v sistemu ni dovolj proizvodnje in zato pride do neprostoVOLjnega zmanjšanja moči. Če pa rezerve zagotavljajo tudi odjemalci, se verjetnost tega učinka bistveno zmanjša.

Na koncu pa zagotavljanje rezerv odjemalcev vpliva tudi na izboljšanje zanesljivosti EES, saj se zmanjša količina neprostoVOLjnega zmanjšanja odjema, hkrati pa se znižajo tudi stroški neprostoVOLjnega zmanjšanja odjema.

Rezultati našega testnega sistema kažejo na pozitivne učinke odziva odjemalcev električne energije pri zagotavljanju rezerv. Takšni učinki so bili s številnimi pilotnimi projekti po svetu potrjeni tudi v praksi. To naj bo spodbuda za uvedbo novih pilotnih projektov na področju integracije aktivnega odjema tudi v Sloveniji. O teh projektih se že dlje časa govori, do izvedbe pa na žalost še ni prišlo.

## 5 ZAHVALA

Raziskava je nastala v okviru raziskovalne skupine Elektroenergetski sistemi, P2-0356, ki jo financira Javna agencija za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (ARRS). Avtorji se zahvaljujejo tudi Tehnološki agenciji Slovenije in EU, ki je raziskavo podprla s sredstvi iz Evropskega socialnega sklada.

## LITERATURA

- [1] G. Artač, B. Kladnik, M. Hajdinjak, R. Golob, and A. F. Gubina, "Zagotavljanje rezerv delovne moči pri odjemalcih električne energije, 1. del – model," *Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 84 (1-2), pp. 15-25, 2015.
- [2] C. Grigg et al., "The IEEE Reliability Test System-1996. A report prepared by the Reliability Test System Task Force of the Application of Probability Methods Subcommittee," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 14, no. 3, pp. 1010–1020, 1999.
- [3] Q. Binh Dam, A. P. Sakis Meliopoulos, G. T. Heydt, and A. Bose, "A Breaker-Oriented, Three-Phase IEEE 24-Substation Test System," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 25, no. 1, pp. 59–67, Feb. 2010.
- [4] D. S. Kirschen and G. Strbac, *Fundamentals of Power System Economics*. 2004.
- [5] EirGrid, "<http://www.eirgrid.com/operations/systemperformancedata/windgeneration/>"

**Gašper Artač** je doktoriral leta 2013 na Fakulteti za elektrotehniko, Univerze v Ljubljani. Med leti 2008 in 2013 je bil mladi raziskovalec iz gospodarstva pri podjetju GEN-I, d.o.o., in v Laboratoriju za energetske strategije na Fakulteti za elektrotehniko. Njegovo področje raziskovanja je obsegalo področje odzivnosti in upravljanje odjema električne energije, stohastično modeliranje trga z električno energijo, učinkovito rabo energije, obnovljive vire energije in ekonomiko v elektroenergetiki. Sedaj je kot tržni analitik zaposlen v podjetju GEN-I, d.o.o..

**Blaž Kladnik** je doktoriral 2013 na Fakulteti za elektrotehniko, Univerze v Ljubljani. V letih 2008 in 2009 je bil kot raziskovalec in asistent zaposlen v Laboratoriju za energetske strategije na Fakulteti za elektrotehniko. Med leti 2010 in 2013 je bil mladi raziskovalec iz gospodarstva v podjetju HSE, d.o.o. in v Laboratoriju za energetske strategije. Njegovo področje raziskovanja je obsegalo modeliranje odzivnosti in upravljanje odjema, agentnega modeliranja trga električne energije, učinkovito rabo energije, obnovljive vire energije in ekonomiko v elektroenergetiki. Kot trgovec s plinom in analitik upravljanja s portfelji je zaposlen v HSE, d.o.o..

**Melita Hajdinjak** je leta 2006 doktorirala s področja elektrotehnike, leta 2012 pa s področja matematike, oboje na Univerzi v Ljubljani. Zaposlena je kot docentka s področja matematike na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Njeno raziskovalno delo sega na področja analize in modeliranja podatkov, matematične logike, inteligentnih informacijskih sistemov in uporabne statistike.

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

**Andrej Gubina** je doktoriral l. 2002 na Univerzi v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, kjer je od l.2011 tudi izredni profesor. Leto 2000 je kot Fulbrightov štipendist in gostujoči raziskovalec prebil na MIT, Cambridge, ZDA. Med leti 2002 in 2005 je osnoval 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. Leta 2008 in 2009 je kot Research Lecturer deloval tudi v Electricity Research Centru, University College Dublin, Irska. Njegovo raziskovalno področje obsega deregulacijo in ekonomiko EES, načrtovanje proizvodnje v pogojih trga z električno energijo, obvladovanje tveganj, gospodarjenje s sredstvi EES-a, ter obnovljive vire električne energije - trženje in regulativo.