

# Projekt DESERTEC kot alternativa jedrski energiji v Nemčiji

Dušan Božič, Rafael Mihalič, Miloš Pantoš

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška 25, 1000 Ljubljana, Slovenija  
E-pošta: dusan.bozic@fe.uni-lj.si, rafael.mihalic@fe.uni-lj.si, milos.pantos@fe.uni-lj.si

**Povzetek.** Zapiranje nemških jedrskih elektrarn po nesreči v Fukušimi je največji dolgoročno nenačrtovani »dogodek« v evropskem elektroenergetskem sistemu (EES). Namen prispevka je s pomočjo scenarijske analize ugotoviti tehnično izvedljivost nadomestitve jedrske energije v Nemčiji z energijo iz obnovljivih virov (OVE), ki bi jo zagotavljal projekt DESERTEC. Pri tem se osredotočamo predvsem na zadostnost proizvodnih virov električne energije v Nemčiji in zadostnost interkonekcijskih povezav med nemškim EES in EES sosednjih držav. Analiza problema temelji na izračunih delovnih pretokov moči v evropskem EES pri različnih obratovalnih stanjih, pri čemer uporabljamo DACF (angl. Day Ahead Congestion Forecast) model EES Evrope oz. sistema ENTSO-E, ki vsebuje napoved topološkega stanja elementov ter vire in ponore delovne moči velikih odjemnih mest ter metodo enosmernega izračuna pretokov moči. Rezultati kažejo, da je nadomestitev jedrske energije v Nemčiji z OVE projekta DESERTEC s stališča zadostnosti proizvodnih virov električne energije v Nemčiji in zadostnost interkonekcijskih povezav med nemškim EES in EES sosednjih držav izvedljiva, vendar pa bi bilo treba pri tem upoštevati omejitve proizvodnje konvencionalnih virov v Nemčiji, da pretoki moči na meddržavnih vodih ne bi preobremenili teh vodov.

**Ključne besede:** DESERTEC, jedrska energija, izračun pretokov moči, obnovljivi viri energije

## Project DESERTEC as an alternative to the nuclear energy in Germany

Closing down the German nuclear power plants after the Fukushima accident represents the largest long-term unplanned "event" in the European Electricity System (EES). The purpose of this paper is to determine the technical feasibility of replacing the German nuclear energy with the energy from the renewable sources, provided by the DESERTEC project. The focus is primarily on the German electricity generation adequacy and the adequacy of the interconnections between Germany and the neighboring countries. The analysis is based on calculations of the power flow at different EES operating states. The model used for the power flow calculations is the Day Ahead Congestion Forecast model of ENTSO-E and the method used to calculate power flows is the direct current method. The results show that the substitution of the German nuclear energy with the energy from the renewable sources of the DESERTEC project is feasible, providing that by limiting the production of the conventional power plants in Germany the line flows on the interconnections between Germany and the neighboring countries would not overload the power lines.

## 1 UVOD

Jedrska nesreča na Japonskem, ki jo je marca leta 2011 povzročil uničujoči cunami, je po vsem svetu sprožila val sprememb v energetskih politikah držav glede izrabe jedrske energije [1]. Več držav se je

odločilo za postopno opustitev jedrskih programov. Švica je zaprtje jedrskih elektrarn predvidela do leta 2034, Japonska do leta 2040, pri čemer odločitev še ni dokončna, Nemčija pa je le nekaj dni po nesreči zaprla osem jedrskih reaktorjev s skupno inštalirano močjo 8,8 GW, popolnoma pa namerava jedrski program opustiti do leta 2022, ko bodo zaprli še preostalih devet delujočih reaktorjev. S tem bo Nemčija izgubila še dodatnih 12,7 GW inštalirane moči. Skupaj bo Nemčija zaradi zaprtja jedrskih elektrarn izgubila 21,5 GW inštalirane moči, kar pa poraja vprašanje glede zadostnosti proizvodnih virov v nemškem EES, s katerim so se v preteklosti ukvarjali že številni avtorji [2]–[6].

Kenneth et al. [2], [3] so ugotovili, da bi ob pomanjkanju uvoza električne energije Nemčija izpadlo energijo večinoma nadomestila s premogom in plinom. Predvidevajo potrebo po omejevanju proizvodnje OVE zaradi preobremenitve omrežja ter težave pri izvozu električne energije ob dnevih z veliko proizvodnjo OVE zaradi povečanih pretokov električne energije s severa Nemčije proti jugu in proti Poljski.

Lichtenbömer in Samadi [4] sta ugotovila, da ima Nemčija realne možnosti, da do leta 2025 ali morda tudi prej opusti izrabo jedrske energije, če prej uspešno izvede ojačitev omrežja in zagotovi dodatno moč za zagotavljanje ravnovesja med proizvodnjo in porabo.

Matthes et al. [5] poročajo, da bi Nemčija lahko vse jedrske elektrarne nadomestila s pomočjo rezerv in že načrtovanih plinskih in termoelektrarn s skupno inštalirano močjo 21 GW.

Kunz et al. [6] so s pomočjo modela ELMOD, ki so ga razvili Leuthold et al. [7], simulirali posledice zaprtja sedmih najstarejših jedrskih elektrarn v Nemčiji na EES srednje Evrope. Pri tem so kot prvi pri analizi vplivov upoštevali tudi elektroenergetsko omrežje z vsemi svojimi omejitvami in ugotovili, da se bo po zaprtju nemških jedrskih elektrarn povečal predvsem uvoz električne energije v Nemčijo iz Nizozemske, Avstrije in Poljske, pri čemer se bo proizvodnja konvencionalnih virov na fosilna goriva povečevala tako v Nemčiji kot drugod v srednji Evropi. Ugotavljajo tudi, da to ne bo povzročilo težav sigurnosti EES, pri čemer opozarjajo, da so raziskavo izvedli le za »tipičen« dan, ki ne zajema vseh mogočih obratovalnih stanj sistema, zato predlagajo dodatne raziskave, ki bi vključevale tudi nihanje proizvodnje vetrnih in sončnih elektrarn.

Vse dosedanje raziskave kažejo, da naj bi se po zaprtju jedrskih elektrarn v Nemčiji proizvodnja konvencionalnih virov, ki uporabljajo fosilna goriva, povečala, kar pa bi Nemčijo oddaljilo od zastavljenih ciljev, da bo do leta 2020 s pomočjo OVE pokrila 35 %, do leta 2050 pa kar 80 % svojih potreb po električni energiji. Za doseg te ciljev bi morala Nemčija nadomestiti jedrske elektrarne z investicijami, ki bi vključevale OVE, kot je na primer projekt DESERTEC [8]-[11]. Ta bi Nemčiji zagotavljal 15 GW električne moči iz sončnih elektrarn, zgrajenih v puščavah severne Afrike.

V prispevku s pomočjo scenarijske analize ugotavljamo s stališča zadostnosti proizvodnih virov električne energije v Nemčiji in zadostnost interkonekcijskih povezav med nemškim EES in EES sosednjih držav tehnično izvedljivost nadomestitve jedrske energije v Nemčiji z energijo iz OVE, ki bi jo zagotavljal projekt DESERTEC. Glede na to, da je že zdaj obratovanje EES Nemčije s svojim velikim deležem inštaliranih OVE velik problem za obratovanje sosednjih EES in ENTSO-E kot celote (spomnimo se razpada ENTSO-E na tri otoke zaradi »motnje« v Nemčiji), velja proučiti zlasti ta del ENTSO-E. Pri tem se osredotočamo predvsem na zadostnost proizvodnih virov električne energije v Nemčiji in zadostnost interkonekcijskih povezav med nemškim EES in EES sosednjih držav.

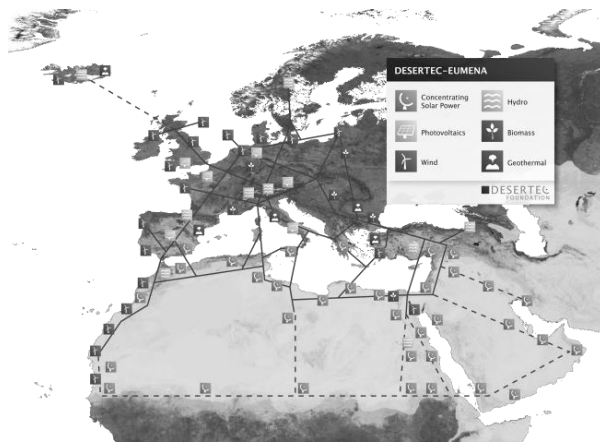
## 2 METODOLOGIJA

Analiza problema temelji na izračunih pretokov moči v evropskem EES pri različnih obratovalnih stanjih sistema. V podpoglavju 2.1 predstavljamo model EES, uporabljen pri simulacijah pretokov moči v omrežju, v podpoglavju 2.2 pa metodo za izračun pretokov moči v omrežju.

### 2.1 Model elektroenergetskega sistema

Za izračun pretokov moči v omrežju smo uporabili DACF (Day Ahead Congestion Forecast) model ENTSO-E, ki vsebuje napoved topološkega stanja elementov ter vire in ponore delovne moči velikih odjemnih mest in se po navadi uporablja za oceno sigurnosti obratovanja EES za dan vnaprej [12]. Pri tem smo za različna obratovalna stanja sistema prilagajali proizvodnjo in porabo v sistemu, pri čemer smo proizvodnjo OVE modelirali kot zmanjšanje porabe v sistemu.

Pri scenarijih z DESERTEC smo njegovo proizvodnjo modelirali kot 5 GW injekcije delovne moči v Španiji, Italiji in Grčiji, saj je iz slike 1 razvidno, da bi v primeru realizacije projekta DESERTEC HVDC (angl. High Voltage Direct Current Transmission System) povezovali proizvodne centre OVE v Afriki z Evropo v teh državah in se tako vključevale v obstoječi EES Evrope.



Slika 1: Predvidena lokacija projekta DESERTEC [11]

Pri tem natančna lokacija priklopa ni pomembna, saj so te države električno daleč od Nemčije, pretokov moči v teh državah pa pri analizi obravnavanega problema nismo obravnavali.

### 2.2 Metoda za izračun pretokov moči

Za izračun pretokov moči smo uporabili metodo enosmernegega izračuna pretokov moči, ki jo definira enačba:

$$P_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{\delta_i - \delta_j}{X_{ij}}, \quad (1)$$

pri čemer  $P_i$  označuje pretok delovne moči na strani  $i$  elementa  $ij$ ,  $\delta_i$  in  $\delta_j$  označujeta kota napetosti v vozliščih  $i$  in  $j$ ,  $X_{ij}$  pa označuje reaktanco elementa med vozliščema  $i$  in  $j$ .

Za metodo enosmernega izračuna pretokov moči smo se odločili, ker nas pri ugotavljanju zadostnosti proizvodnih virov električne energije v Nemčiji in zadostnost interkonekcijskih povezav med nemškim EES in EES sosednjih držav napetostni profil in pretok jalove moči v omrežju ne zanimata, ker ju je mogoče uravnati lokalno, hkrati pa je konvergenca metode enosmernega izračuna pretokov moči boljša od konvergence Newton-Raphsonove metode za izračun pretokov moči, ki upošteva tudi jalovo moč v sistemu. Z uporabo enosmerne metode tudi pridobimo na robustnosti izračunov, kar nam dovoljuje simulacijo pretokov moči pri scenarijih, v katerih bi lahko z Newton-Raphsonovo metodo naleteli na težave s konvergenco izračunov, saj v modelu EES, ki ga modeliramo s 1820 generatorji, 14.849 vodi in transformatorji in 9663 vozlišči, proizvodnje in porabe jalove moči ne prilagajamo razmeram v sistemu.

### 3 SCENARIJI

Pri ugotavljanju tehnične izvedljivosti nadomestitve jedrske energije v Nemčiji z energijo iz OVE, ki bi jo zagotavljal projekt DESERTEC, smo se oprli na scenarijsko analizo problema. Pri tem smo s stališča nemškega EES simulirali najbolj neugodne razmere porabe in proizvodnje OVE v EES Nemčije. Definirali smo dva skrajna, vendar na podlagi preteklih podatkov verjetna scenarija, in sicer uvozni scenarij, pri katerem je Nemčija neto uvoznica električne energije, in izvozni scenarij, pri katerem Nemčija električno energijo izvažata. Simulacijo obeh scenarijev smo izvedli za leti 2014 in 2020. Leto 2020 smo izbrali, ker lahko za to leto v literaturi najdemo podatke o predvideni inštalirani moči OVE v Nemčiji in ker je leto 2020 blizu leta 2022, ko namerava Nemčija dokončno opustiti svoj jedrski program, leto 2014 pa je referenca, s pomočjo katere bomo lahko sklepali, ali se bodo v prihodnosti razmere oziroma možnosti za opustitev jedrskega programa v Nemčiji s stališča zadostnosti proizvodnih virov električne energije v Nemčiji in zadostnosti interkonekcijskih povezav med nemškim EES in EES sosednjih držav izboljševali ali slabšali. Pri analizi problema smo upoštevali tudi nihanje proizvodnje OVE, kar so Kunz et al. v [6] poudarili kot pomanjkljivost njihove raziskave.

V pod poglavju 3.1 in 3.2 predstavljamo izvozni in uvozni scenarij, ki smo ju uporabili pri simulacijah.

#### 3.1 Izvozni scenarij

Izvozni scenarij predvideva, da ob istem času nastopita največja proizvodnja OVE in najmanjša poraba električne energije v Nemčiji. Za leto 2014 smo izhajali iz podatkov o obratovanju EES Nemčije, ki so podani v [13] in [14], za leto 2020 pa smo napovedi o inštalirani moči sončnih in vetrnih elektrarn in porabi električne energije v Nemčiji povzeli po [15]-[17]. Podatke povzemata tabeli 1 in 2.

Tabela 1: Poraba električne energije v Nemčiji med letoma 2014 in 2020

Leto	Max poraba [GW]	Min poraba [GW]
2014	73,379	46,559
2015	72,645	46,093
2016	71,919	45,632
2017	71,200	45,176
2018	70,488	44,724
2019	69,783	44,277
2020	69,085	43,834

Tabela 1 podaja napoved porabe električne energije v Nemčiji, pri čemer sta podatka o največji in najmanjši porabi v letu 2014 pridobljena iz ENTSO-E baze podatkov o urni porabi električne energije v Evropi po državah [14], napoved za obdobje med letoma 2015 in 2020 pa je izvedena s pomočjo [17], kjer predvidevajo, da bo letna rast porabe električne energije med letoma 2014 in 2020 negativna, in sicer -1,0 %.

Tabela 2: Inštalirana moč sončnih in vetrnih elektrarn v Nemčiji za leti 2014 in 2020

	Inštalirana moč 2014 [GW]	Inštalirana moč 2020 [GW]
Sonce	35,651	52,000
Veter (kopno)	32,005	37,000
Veter (morje)	0,508	14,000
<b>Skupaj</b>	<b>68,164</b>	<b>103,000</b>

Tabela 2 podaja trenutno stanje inštalirane moči OVE v Nemčiji [13] in napoved inštalirane moči OVE za leto 2020, kot predvidevata [15] in [16]. Iz tabele je razvidno, da je trenutna inštalirana moč sončnih elektrarn v Nemčiji 35,651 GW, inštalirana moč vetrnih elektrarn pa 32,513 GW. Pri tem znaša inštalirana moč vetrnih elektrarn na kopnem 32,005 GW, inštalirana moč vetrnih parkov na morju pa 0,508 GW. Skupna moč OVE v Nemčiji v letu 2014 znaša 68,164 GW. Do leta 2020 je pričakovati, da se bosta rasti inštalirane moči sončnih elektrarn in vetrnih elektrarn na kopnem nekoliko upočasnili, močno pa naj bi se povečala gradnja vetrnih parkov na morju. Tako naj bi do leta 2020 skupna inštalirana moč vetrnih parkov na morju znašala 14,000 GW, inštalirana moč vetrnih elektrarn na kopnem pa 37,000 GW. Če temu dodamo še predvideno inštalirano moč sončnih elektrarn v letu 2020, ki naj bi znašala 52,000 GW, vidimo, da bo leta 2020 skupna inštalirana moč OVE v Nemčiji znašala 103,000 GW.

Izvozni scenarij predvideva, da ob istem času nastopita največja proizvodnja OVE in najmanjša poraba električne energije v Nemčiji. Tako znaša poraba v EES Nemčije za leto 2014 pri izvoznem scenariju 46,559 GW, proizvodnja OVE pa 36,000 GW. Toliko je namreč znašala največja skupna izmerjena proizvodnja

sončnih in vetrnih elektrarn v Nemčiji v letu 2013, [13]. Pri izvoznem scenariju za leto 2020 znaša poraba v EES Nemčije 43,834, pri proizvodnji OVE pa je najprej treba iz inštalirane moči in proizvodnje OVE za leto 2014 izračunati faktor proizvodnje za leto 2014, nato pa s pomočjo napovedi inštalirane moči OVE v Nemčiji sklepati o njihovi proizvodnji za leto 2020. Iz tega sledi, da bo največja proizvodnja OVE v Nemčiji leta 2020 dosegla približno 55 GW.

### 3.2 Uvozni scenarij

Uvozni scenarij v nasprotju z izvoznim scenarijem predvideva, da ob istem času nastopita najmanjša proizvodnja OVE in največja poraba električne energije v Nemčiji. Iz tabel 1 in 2 je razvidno, da znaša poraba v EES Nemčije za leto 2014 pri uvoznem scenariju 73,379 GW, proizvodnja OVE pa 120 MW, toliko je namreč znašala najmanjša izmerjena proizvodnja OVE v Nemčiji v letu 2013, [13]. Pri uvoznem scenariju za leto 2020 znaša poraba v EES Nemčije 69,085 GW, za proizvodnjo OVE pa po podobnem razmisleku kot pri izvoznem scenariju dobimo, da naj bi leta 2020 znašala 181 MW. Tabela 3 povzema glavne specifikke simuliranih scenarijev.

Tabela 3: Scenariji

Leto		2014	2020
IZVOZ	Proizvodnja OVE [GW]	36,000	54,398
	Poraba [GW]	46,559	43,834
	DESERTEC	DA	DA
UVOZ	Proizvodnja OVE [GW]	0,120	0,181
	Poraba [GW]	73,379	69,085
	DESERTEC	DA	DA

## 4 REZULTATI

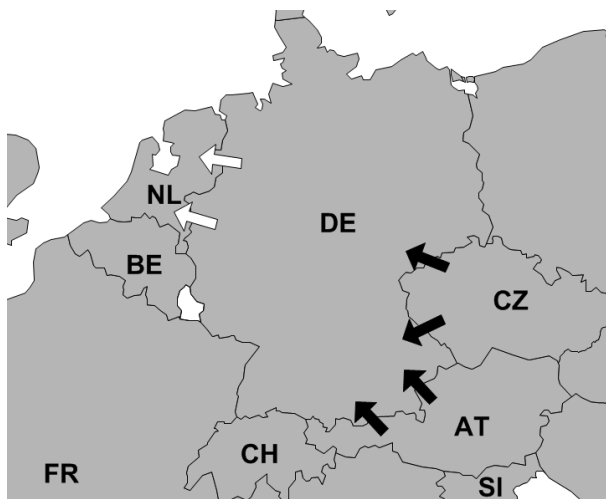
Pri analizi tehnične izvedljivosti nadomestitve jedrske energije v Nemčiji z energijo obnovljivih virov, ki bi jo zagotavljal projekt DESERTEC, smo za leti 2014 in 2020 simulirali uvozni in izvozni scenarij, kot ju definira tabela 3. Pri tem smo jedrske elektrarne v Nemčiji izklopili, izpad proizvodnje delovne moči pa nadomestili z injekcijami konstantne delovne moči v Španiji, Italiji in Grčiji, kot to predvideva projekt DESERTEC. Pri simulaciji scenarijev smo nato s spreminjanjem proizvodnje v Nemčiji ugotavljali meje obratovanja konvencionalnih virov pri različnih scenarijih, da na nemških mejnih vodih ne pride do preobremenitev. Rezultate podaja tabela 4.

Tabela 4: Meje obratovanja nemškega EES ob različnih scenarijih proizvodnje obnovljivih virov in porabe v sistemu

Leto		2014	2020
<b>IZVOZ</b>	Proizvodnja kon. max. [GW]	43,100	21,800
<b>UVOZ</b>	Proizvodnja kon. min. [GW]	72,500	67,600

Iz tabele 4 je razvidno, da je pri izvoznem scenariju za leto 2014, ko je poraba električne energije v Nemčiji najmanjša in proizvodnja OVE največja, največja mogoča proizvodnja konvencionalnih virov navzgor omejena na 43,100 GW, saj bi se z večanjem proizvodnje konvencionalnih virov čez to mejo večal tudi izvoz električne energije iz Nemčije, pri čemer bi pretoki na mejah preobremenili te vode. Ob tem scenariju se lahko na prvi pogled vprašamo, kakšen smisel ima navzgor omejena proizvodnja klasičnih proizvodnih virov, če je proizvodna OVE največja mogoča. Problem je v tem, da je za obratovanje EES potreben določen delež klasičnih proizvodnih virov per se, in sicer zaradi zahtev obratovanja pri minimalni moči in zaradi deleža rotirajočih mas. Podobno velja tudi za leto 2020, s to razliko, da konvencionalne elektrarne dosežejo svojo največjo mogočo proizvodnjo že nekoliko prej, in sicer pri 21,800 GW. To je posledica gradnje novih OVE, katerih inštalirana moč naj bi do leta 2020 znašala 103 GW. Pri uvoznem scenariju je zgodba obrnjena, in sicer največja poraba električne energije v Nemčiji sovpada z minimalno proizvodnjo OVE. Pri tem pa iščemo najmanjšo proizvodnjo konvencionalnih virov v Nemčiji, pri kateri bi z nadaljnjim manjšanjem proizvodnje prišlo do termičnih preobremenitev meddržavnih vodov Nemčije zaradi uvoza električne energije. Za leto 2014 ugotovimo, da je minimalna proizvodnja konvencionalnih virov 72,500 GW, za leto 2020 pa 67,600 GW. Padec minimalne proizvodnje konvencionalnih virov v letu 2020 v primerjavi z letom 2014 je posledica padca porabe električne energije v Nemčiji med letoma 2014 in 2020 ter povečane inštalirane moči in hkrati tudi minimalne proizvodnje OVE.

S simulacijami smo tudi potrdili ugotovitve Kenneth et al. [2],[3], in sicer, da bodo v prihodnosti pri opustitvi uporabe jedrske energije v Nemčiji največje težave z zamažitvami nastale na severnih in južnih mejah Nemčije. Tako se pri izvoznih scenarijih največje težave pokažejo na meji med Nemčijo in Nizozemsko, pri uvoznih scenarijih pa so ozko grlo meddržavne povezave na jugu Nemčije z Avstrijo in Češko. Slika 2 prikazuje smer pretokov električne energije pri različnih scenarijih. Smer pretoka energije pri izvoznem scenariju označujejo bele puščice, smer pretoka energije pri uvoznem scenariju pa prikazujejo črne puščice.



Slika 2: Smeri pretokov električne energije pri različnih scenarijih

## 5 SKLEP

Opustitev uporabe jedrske energije pri proizvodnji električne energije v Nemčiji so v preteklosti obravnavali že številni avtorji, katerih izsledke smo predstavili v uvodu. Njihova glavna ugotovitev je, da je opustitev s tehničnega vidika izvedljiva, hkrati pa ugotavljajo, da bi se pri tem proizvodnja konvencionalnih virov povečala, kar bi Nemčijo oddaljilo od zastavljenih ciljev, da bo do leta 2020 s pomočjo OVE pokrila 35 %, do leta 2050 pa kar 80 % svojih potreb po električni energiji. Namen tega prispevka je proučiti možnost, da bi izpadlo jedrsko energijo nadomestili z energijo iz obnovljivih virov, ki bi jo zagotavljal projekt DESERTEC. Pri tem smo se osredotočili predvsem na zadostnost konvencionalnih virov v Nemčiji in zadostnost interkonekcijskih povezav med Nemčijo in sosednjimi državami.

Rezultati kažejo, da je nadomestitev jedrske energije v Nemčiji z OVE projekta DESERTEC izvedljiva, vendar pa bi bilo treba pri tem upoštevati omejitve proizvodnje konvencionalnih virov, da pretoki moči na meddržavnih vodih ne bi kršili termičnih mej vodov, seveda pri tem internih problemov EES nismo upoštevali, kar še zdaleč ni zanemarljiv problem, vendar presega okvire tega dela. Za leto 2020 rezultati kažejo, da bi bilo treba pri uvoznem scenariju, ko je poraba v Nemčiji največja, hkrati pa proizvodnja OVE najmanjša, s pomočjo konvencionalnih virov proizvesti vsaj 67,600 GW električne moči. Pri izvoznem scenariju, ko je poraba v Nemčiji najmanjša, proizvodnja konvencionalnih virov pa največja, pa bi bilo treba proizvodnjo konvencionalnih virov omejiti navzgor pri 21,800 GW. Glede na to, da sta najmanjša in največja izmerjena proizvodnja konvencionalnih virov v Nemčiji za leto 2013 znašali 64,800 GW in 18,900 GW [13] in da namerava Nemčija do leta 2020 zgraditi še dodatnih 21 GW plinskih in termoelektrarn [5], lahko povzamemo, da projekt DESERTEC, če bo

uresničen, pomenil realno alternativo jedrski energiji v Nemčiji.

Za konec je treba poudariti, da smo pri analizi tehnične izvedljivosti nadomestitve jedrske energije v Nemčiji s pomočjo OVE iz projekta DESERTEC obravnavali le zadostnost proizvodnje električne energije v Nemčiji in zadostnost čezmejnih povezav med EES Nemčije in EES sosednjih držav, pri čemer lokalnih stanj EES posameznih držav nismo obravnavali.

## LITERATURA

- [1] Yang-Hyun Koo, Yong-Sik Yang, Kun-Woo Song "Radioactivity release from the Fukushima accident and its consequences: A review", *Progress in Nuclear Energy*, 74, str. 61–70, 2014.
- [2] Bruninx Kenneth, Madzharov Darin, Delarue Erik, D'haeseleer William, Impact of the German nuclear phase-out on Europe's electricity generation—A comprehensive study, *Energy Policy*, 60, str. 251–261, 2013.
- [3] Bruninx Kenneth, Madzharov Darin, Delarue Erik, D'haeseleer, William, "Impact of the German nuclear phase-out on Europe's electricity generation", *European Energy Market (EEM), 2012 9th International Conference on the 1(10)*, str. 10–12, 2012.
- [4] Lechtenböhrer Stefan, Samadi Sascha, "Blown by the wind. Replacing nuclear power in German electricity generation", *Environmental Science & Policy*, 25, str. 234–241, 2013.
- [5] Matthes Chr. Felix, Harthan O. Ralph, Loreck Charlotte, "Schneller Ausstieg aus der Kernenergie in Deutschland . Kurzfristige Ersatzoptionen , Strom- und CO<sub>2</sub> - Preiseffekte Kurzanalyse für die Umweltstiftung WWF Deutschland", *O'ko-Institut e.V., Tech. Rep.*, 2011.
- [6] Kunz Friedrich, Von Hirschhausen Christian, Möst Dominik, Weigt Hannes, "EUI Working Papers: Security of Supply and Electricity Network Flows after a Phase-Out of Germany ' s Nuclear Plants : Any Trouble Ahead?", 2011.
- [7] Leuthold Florian, Weigt Hannes, von Hirschhausen Christian, "A large-scale spatial optimization model of the european electricity market", *Networks and Spatial Economics*, 12, str. 75–107, 2012.
- [8] Dessouky O. Menatalla, "The environmental impact of large scale solar energy projects on the MENA deserts: Best practices for the DESERTEC initiative", *EUROCON, 2013 IEEE*, str.784–788, 2013.
- [9] Cooper Christopher, Sovacool K. Benjamin, "Miracle or mirage? The promise and peril of desert energy part 1", *Renewable Energy*, 50, str. 628–636, 2013.
- [10] Cooper Christopher, Sovacool K. Benjamin, "Miracle or mirage? The promise and peril of desert energy part 2", *Renewable Energy*, 50, str. 820–825, 2013.
- [11] "Clean Power from Desert- The Desertec Concept for Energy, Water and Climate Security – WhiteBook 4<sup>th</sup> Edition", *Desertec foundation*, 2009.
- [12] Kostevc Jan, Gabriel Uroš, Mihalič Rafael, "Dinamično prilaganje simulacijskih modelov DACF za analize N-1 v realnem času", *Elektrotehniški vestnik*, 77(2-3), str 90–94, 2010.
- [13] Burger Bruno, "Electricity production from solar and wind in Germany in 2013", *Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE*, 2014.
- [14] European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E) Data Portal, na spletu, <https://www.entsoe.eu/resources/data-portal/> (13.8.2014).
- [15] Wirth Harry, "Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland," *Fraunhofer Instituts für Solare Energiesysteme ISE*, 2013.
- [16] DENA (Deutsche Energie-Agentur GmbH), "dena-Netzstudie II. Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015 – 2020 mit Ausblick 2025", 2010.
- [17] Eurelectric, "Power Statistics & Trends 2012 synopsis", 2012.

**Dušan Božič** se je rodil leta 1987 v Sloveniji. Diplomiral je leta 2011 na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Trenutno je zaposlen kot raziskovalec v Laboratoriju za elektroenergetske sisteme na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani. Njegovo raziskovalno področje zajema delovanje in zaščito elektroenergetskega sistema, trg z električno energijo, zanesljivost elektroenergetskega sistema in sistemske storitve.

**Rafael Mihalič** je diplomiral leta 1986, magistriral leta 1989 in doktoriral leta 1993 na Fakulteti za elektrotehniko in računalništvo v Ljubljani. Po diplomi je postal asistent na omenjeni fakulteti na Katedri za elektroenergetske sisteme in naprave. Med letoma 1988 in 1991 je bil zaposlen pri SIEMENS AG Erlangen na inštitutu za razdeljevanje električne energije in načrtovanje omrežij. Od leta 2005 je redni profesor na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani. Je član CIGRE, član IEEE, predsednik ŠK B4 SLOKO CIGRE. Področje delovanja vključuje predvsem analizo elektroenergetskih sistemov in naprav FACTS.

**Miloš Pantoš** se je rodil leta 1977 v Sloveniji. Diplomiral je leta 2001 in doktoriral leta 2005 na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Trenutno je zaposlen kot izredni profesor na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani. Je vodja Laboratorija za elektroenergetske sisteme. Njegovo raziskovalno področje zajema delovanje in zaščito elektroenergetskega sistema, trg z električno energijo in sistemske storitve.