

Dinamično prilagajanje simulacijskih modelov DACF za analize N-1 v realnem času

Jan Kostevc¹, Uroš Gabrijel¹, Rafael Mihalič²

¹ Elektro Slovenija d.o.o., Hajdrihova 2, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija

² Fakulteta za elektrotehniko, Univerza v Ljubljani, Tržaška 25, SI – 1000 Ljubljana, Slovenija

E-pošta: jan.kostevc@eles.si, uros.gabrijel@eles.si, rafael.mihalic@fe.uni-lj.si

Povzetek. Analize stanja elektroenergetskega sistema (EES) v realnem času so pomembno orodje pri ugotavljanju trenutne obratovalne točke EES. Z njimi ugotavljamo ustreznost kriteriju N-1, ki je poleg dinamičnih analiz najbolj uveljavljen prikaz obratovalne sigurnosti sistema. Na podlagi teh analiz lahko sprejmemo določene ukrepe (npr. spremembe topologije, prerazporeditev proizvodnje, ...), ki ustrezno zmanjšajo obremenjenost sistema in omogočajo njegovo zanesljivo obratovanje. Zagotavljanje varnega obratovanja, katerega glavni kazalec je kriterij N-1, je ena osnovnih nalog systemskega operaterja prenosnega omrežja. Analize, ki jih v realnem času izvajajo na DACF (*Day Ahead Congestion Forecast*) modelih, ki pomenijo napoved stanja celotne UCTE interkonekcije za dan vnaprej, potrebujejo dinamično prilagajanje modela glede na trenutno obratovalno točko sistema, zaradi česar se podaljša računski čas. Operater mora pred analizo N-1 na podlagi izkušenj in strokovnega znanja model slovenskega EES čim bolje prilagoditi trenutnemu stanju ter tako kompenzirati vplive negotovosti napovedi, trgovanja znotraj dneva, regulacije delovnih moči idr. V članku predstavljamo metodo za dinamično prilagoditev modela DACF s pomočjo injekcij moči zunaj opazovanega EES, na podlagi znanih meritev pretokov moči SCADA in PTDF (*Power Transfer Distribution Factors*), ki je prešla v vsakodnevno uporabo slovenskega operaterja prenosnega omrežja.

Ključne besede: elektroenergetski sistem, DACF, PTDF, meritve SCADA, simulacijski model

Dynamic balancing of DACF simulation models for the purpose of real-time N-1 analysis

Extended abstract. Real-time analysis of the state of the Slovenian transmission system (TS) remains to be one of the most important indicators in evaluation of the current operational point of TS and thus giving an indication on N-1 security. Analysis based on the DACF (*Day Ahead Congestion Forecast*) models prediction on system state of the entire UCTE interconnection on a day-ahead basis, are considered inaccurate from the real-time operation point of view. The main reason behind that is the time needed to modify the DACF model, so make it compliant with the current system conditions. The system operator, using expert knowledge and experience, balances the Slovenian TS model and eliminates its inaccuracies caused by different uncertainties (intraday market exchanges, regulations and other estimations of the DACF model). In this paper we present a method for balancing network models using power injections outside of the observed system, based on SCADA measurements and PTDFs (*Power Transfer Distribution Factors*). The method has already been implemented into the daily routine of the national system operator and has proven to be a helpful and accurate tool in evaluating system security.

Keywords: transmission system, DACF, PTDF, simulation model

1 Uvod

Sistemskemu operaterju prenosnega omrežja (SOPO) je po energetskega zakonu naloženo zagotavljanje zanesljivega obratovanja prenosnega dela elektroenergetskega sistema (EES) Slovenije. Obratovalno stanje sistema mora v vsakem trenutku izpolnjevati kriterij N-1, kar pomeni, da mora sistem nemoteno obratovati kljub izpadu kateregakoli elektroenergetskega elementa prenosnega sistema oziroma da posamezni izpad ne sme povzročiti nadaljnjih preobremenitev in posledičnih izpadov. Preverjanje zanesljivosti obratovanja po kriteriju N-1 je v domeni operaterja republiškega centra vodenja (RCV) in zahteva natančno poznavanje trenutnih ter pričakovanih razmer v EES. Analize trenutnega systemskega stanja so pomembno in odgovorno delo, temeljijo pa predvsem na operaterjevih izkušnjah in poznavanju sistema. Slednji ima nalogo prilagoditi simulacijski model trenutnemu obratovalnemu stanju v najkrajšem mogočem času, da se pri analizi čim bolj približa stanju sistema v realnem času. S prilagoditvijo simulacijskega modela obratovalnemu stanju v realnem času lahko s pomočjo programske opreme za izračun

pretokov moči v kratkem času opravi analizo stanja EES in preveri ustreznost sistema kriteriju N-1.

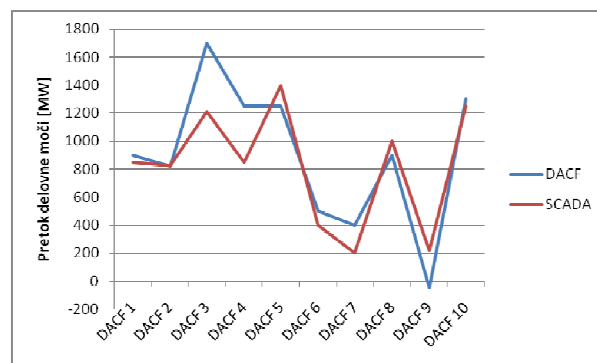
Zaradi deregulacije trga električne energije, neposredne bližine Italije, ki je največji uvoznik električne energije v Evropi, ter zapletene gradnje novih prenosnih daljnovodov se je obremenjenost slovenskega EES močno povečala. Obratovanje sistema je pogosto veliko bliže mejnim zmožnostim sistema. Svoje pripomore tudi trenutno veljavna NTC metodologija določanja prenosnih zmogljivosti v Evropi, ki jo na svojih mejah upošteva tudi Slovenija. Ta upošteva le dvostranske izmenjave in ne njihovega vpliva na pretoke drugod. Zato prihaja do težko predvidljivih pretokov, ki so veliko večji od tržno določenih (na slovensko-italijanski meji presegajo fizični pretoki tržne tudi za več kot 4-krat). Večji pretoki pomenijo večjo obremenjenost EES, spremembam, ki so nastale po deregulaciji trga, pa podobno kot v tujini, ni bilo mogoče slediti z vlaganji v omrežje, saj je hitrost le-teh omejena zaradi okoljskih dejavnikov in dejavnikov civilnih pobud.

2 Primerjava napovedi DACF s stanjem v realnem času

Namen postopka DACF je omogočiti vpogled v stanje celotne interkonekcije za posamezne ure naslednjega dne. Datoteka DACF vsebuje napoved topološkega stanja ter vire in ponore delovne in jalove moči velikih odjemnih mest. Njihov glavna uporabna vrednost je ocena sigurnosti obratovanja tako za dan vnaprej kot tudi za obratovanje v realnem času, pri čemer je treba datoteko DACF sproti posodabljati glede na meritve električnih parametrov lokalnega EES prek sistema SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*). Zaradi netočnosti napovedi za dan vnaprej se rezultati izračuna pretokov moči datotek DACF oz. simulacijskih modelov lahko drastično razlikujejo od merjenih vrednosti v realnem času, kar prikazuje slika 1. Na sliki 1 je model DACF št. 3 napovedal izjemno velike pretoke delovne moči (okoli 1700 MW na meji s sosednjim SOPO), ki bi resno ogrozili sigurnost obratovanja slovenskega EES. Realno stanje tistega dne je pokazalo veliko manjše pretoke. Nasprotno se je zgodilo v primerih DACF 5 in DACF 8, ko so pretoki na meji presegli napovedane za približno 100 MW.

Uporabnost modelov DACF za analize v realnem času je torej omejena in zahteva nenehno prilagajanje modela trenutnim razmeram. Prilagajanje realnemu stanju je do zdaj potekalo v dveh korakih. V prvem operater v model DACF uvozi podatke o odjemu in proizvodnji delovne in jalove moči vseh odjemnih mest na 110, 220 in 400 kV nivoju opazovanega EES ter trenutno topologijo celotnega opazovanega sistema (omenjeni podatki se zapisujejo s pomočjo meritev SCADA). Drugi korak pomeni prilagoditev pretokov moči na mejah, kar so do nedavnega izvajali s pomočjo

spreminjanja proizvedene moči posameznih regij oz. držav UCTE. Tako pripravljen model DACF je sicer dober približek realnim razmeram, a je v večini primerov kljub prilagajanju pomenil le približek, ki ni nujno prinesel verodostojnih rezultatov analiz N-1.



Slika 1: Primerjava pretokov moči na meji A med napovedjo DACF in meritvami v realnem času iz sistema SCADA – analiza 10 modelov

Figure 1. Power-flow comparison on border A, between DACF forecasts and SCADA real-time measurements – analysis based on 10 models

3 Metodologija uravnoteženja modela DACF s pomočjo injekcij moči

Potreba po izboljšanju metodologije prilagajanja simulacijskih modelov DACF stanju sistema v realnem času tako z vidika točnosti uravnoteženega modela kot z vidika hitrosti izvedbe je privedla do razvoja direktne metode, ki za doseg uravnoteženega modela uporablja vplivne distribucijske faktorje PTDF (Power Transfer Distribution Factors).

3.1 Vplivni distribucijski faktor PTDF

Kazalci PTDF [1] obravnavajo vpliv parov izvor-ponor delovne moči na prerazporeditev obremenitve po omrežju. Faktorje PTDF je mogoče uporabiti za napoved pretokov moči ob znani topologiji omrežja in obnašanju proizvajalcev in odjemalcev v sistemu. Napoved temelji na izračunu pretokov moči izhodiščnega obratovalnega stanja in predpostavki o konstantnih vrednostih faktorjev PTDF.

$$P_{ij} = P_{ij}^{(0)} + \Delta P_{ij}, \quad (1)$$

pri čemer je $P_{ij}^{(0)}$ pretok delovne moči na vodu i-j v izhodiščnem obratovalnem stanju, (indeksa i in j pomenita vozlišči na obeh koncih voda). ΔP_{ij} pomeni spremembo pretoka na vodu i-j, P_{ij} pa pomeni novi pretok delovne moči na tem vodu. Tako se pretoki moči določijo na hiter način brez ponovnega, časovno zamudnega iterativnega izračuna.

Izračun faktorjev PTDF temelji na enačbah statičnega ravnotežja delovnih moči v EES. Pretok moči po vodu i - j je na splošno odvisen od vseh napetosti in faznih kotov v posameznih vozliščih, dolžine in karakteristik voda, kar zapišemo takole:

$$P_{ij} = |\underline{U}_i|^2 \cdot G_{ii} - |\underline{U}_i| \cdot |\underline{U}_j| \cdot [G_{ij} \cdot \cos(\delta_i - \delta_j) + B_{ij} \cdot \sin(\delta_i - \delta_j)], \quad (2)$$

pri čemer je P_{ij} pretok delovne moči med vozliščema i in j , G_{ii} pomeni vsoto prečne in vzdolžne prevodnosti med vozliščema i in j , G_{ij} vzdolžno prevodnost voda med vozliščema i in j , B_{ij} pa vzdolžno susceptanco voda med vozliščema i in j . Amplitudi napetosti i -tega oz. j -tega vozlišča sta $|\underline{U}_i|$ in $|\underline{U}_j|$, kota i -tega in j -tega vozlišča pa δ_i in δ_j .

Enačba spremembe pretoka delovne moči na vodu v odvisnosti od spremembe napetosti in faznega kota z upoštevanjem linearnega člena v Taylorjevi vrsti je enaka:

$$\Delta P_{ij} = \frac{\partial P_{ij}}{\partial \delta} \cdot \Delta \delta + \frac{\partial P_{ij}}{\partial |\underline{U}|} \cdot \Delta |\underline{U}|, \quad (3)$$

kjer je ΔP_{ij} sprememba pretoka delovne moči na vodu i - j , $\Delta |\underline{U}|$ pomeni vektor sprememb napetosti vozlišč, $\Delta \delta$ pa vektor sprememb kotov vozlišč. Odvoda injiciranih delovnih moči po napetostih in kotih sta vektorja sprememb spremenljivk stanj.

V enačbi (3) je mogoče vektorja sprememb spremenljivk stanja izraziti na podlagi enačbe (4).

$$\underbrace{\begin{bmatrix} \Delta P_i \\ \Delta Q_i \end{bmatrix}}_{\mathbf{J}} = \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{\partial P_i}{\partial \delta} & \frac{\partial P_i}{\partial |\underline{U}|} \\ \frac{\partial Q_i}{\partial \delta} & \frac{\partial Q_i}{\partial |\underline{U}|} \end{bmatrix}}_{\mathbf{J}} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |\underline{U}| \end{bmatrix} = \mathbf{J} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |\underline{U}| \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Izrazimo ju kot:

$$\begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |\underline{U}| \end{bmatrix} = \mathbf{J}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \mathbf{P} \\ \Delta \mathbf{Q} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

kjer \mathbf{J} pomeni Jacobijevo matriko, $\Delta \mathbf{P}$ in $\Delta \mathbf{Q}$ pa spremembo injiciranih delovnih moči oz. jalovih moči v posameznih vozliščih v sistemu. Uporaba enačbe (5) privede do končnih enačb za spremembo delovnih moči na vodu i - j :

$$\Delta P_{ij} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{ij}}{\partial \delta} & \frac{\partial P_{ij}}{\partial |\underline{U}|} \end{bmatrix} \cdot \mathbf{J}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \mathbf{P} \\ \Delta \mathbf{Q} \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Enačbo (6) v razširjeni obliki zapišemo kot:

$$\Delta P_{ij} = \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{\partial P_{ij}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_{ij}}{\partial \delta_g} & \dots & \frac{\partial P_{ij}}{\partial \delta_N} & \frac{\partial P_{ij}}{\partial |\underline{U}_{g+1}|} & \dots & \frac{\partial P_{ij}}{\partial |\underline{U}_N|} \end{bmatrix}}_{\text{PTDF}_{ij}} \cdot \mathbf{J}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \dots \\ \Delta P_g \\ \dots \\ \Delta P_N \\ \Delta Q_{g+1} \\ \dots \\ \Delta Q_N \end{bmatrix}. \quad (7)$$

PTDF za pretok moči na vodu i - j pa pomeni vrstični vektor:

$$\text{PTDF}(P)_{ij} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{ij}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_{ij}}{\partial \delta_g} & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \frac{\partial P_{ij}}{\partial \delta_N} & \frac{\partial P_{ij}}{\partial |\underline{U}_{g+1}|} & \dots & \dots & \dots & \dots \end{bmatrix} \cdot \mathbf{J}^{-1}. \quad (8)$$

Posamezen element vektorja pomeni odvod pretoka po vodu i - j po kotu in napetosti posameznega vozlišča.

Pri izbiri parov izvor-ponor se je izkazalo, da je najbolje, če so ti pari čim bližje opazovanemu sistemu, saj bolj oddaljeni pari dajo manjše vplivne faktorje, kar posledično poveča napako. Poleg tega mora biti število parov enako številu opazovanih vodov (mejni vodi), saj mora biti matrika PTDF, ki jo tvorijo ti pari, kvadratna, ker jo je treba pri izračunu invertirati. Tako smo za potrebe uravnoveženja simulacijskih modelov DACF vzeli prva vozlišča zunaj opazovanega EES in eno od teh vozlišč vzeli kot ponor vsem drugim. Drugi del para izvor-ponor je tako skupen vsem. Mejni daljnovod, ki je s tem vozliščem povezan, pa je nekakšen ventil, saj je pretok na njem določen s popravljenim saldnom opazovanega EES in z injekcijami delovnih moči prilagojenimi pretoki na drugih mejnih daljnovodih. Injicirana moč na koncu t.i. »ventilskega voda« je po velikosti enaka vsoti vseh drugih injiciranih moči, le z nasprotnim predznakom.

3.2 Metodologija

S poznavanjem vplivnih faktorjev PTDF in trenutnih pretokov moči na mejnih daljnovodih lahko z injekcijami delovnih moči zunaj opazovanega omrežja popravimo s postopkom DACF napovedane pretoke in se približamo dejanskemu stanju. Izračun matrike PTDF, ki jo je treba izračunati za vsak model DACF posebej (po prilagoditvi topologije iz meritev SCADA), omogoča večina programskih paketov za izračun pretokov moči, zato je v članku opisana metoda še posebej primerna, saj ne zahteva angažiranosti dodatnih programov.

Prvi korak uravnoveženja modela DACF ostane enak tistemu, ki so ga operaterji že do sedaj uporabljali. Uvoz podatkov o trenutni topologiji, porabi in odjemu delovnih in jalovih moči posameznih odjemnih mest prilagodi slovensko omrežje realnemu stanju. Za odpravo pretokov moči, ki nastanejo kot posledica medregionalnih izmenjav, pa je treba popraviti pretoke

moči na mejnih daljnovodih. Pri tem prav tako uporabimo SCADA meritve pretokov delovnih moči v realnem času, na mejnih daljnovodih opazovanega sistema – lokalni sistem ima osem mejnih daljnovodov (dvosistemske daljnovode štejemo kot enosistemske), ki jih podamo v vektorju $|P_{SCADA}|$:

$$|P_{SCADA}| = \begin{bmatrix} P_{DV_1} \\ P_{DV_2} \\ P_{DV_1} \\ P_{DV_2} \\ P_{DV_3} \\ P_{DV_4} \\ P_{DV_5} \\ P_{DV_6} \\ P_{DV_7} \\ P_{DV_8} \end{bmatrix} \quad (9)$$

Iz modela DACF dobimo vektor $|P_{DACF}|$, ki pomeni izračunane pretoke delovnih moči na mejnih daljnovodih, ki jih dobimo iz napovedi DACF. S pomočjo obeh vektorjev, $|P_{DACF}|$ in $|P_{SCADA}|$, ter matrike PTDF, lahko izračunamo injekcije moči, potrebne za prilagoditev pretokov delovnih moči na mejnih daljnovodih. Najprej pa je treba saldo slovenskega EES (vsota delovne moči na mejnih daljnovodih, ki da skupno uvoženo oz. izvoženo delovno moč slovenskega EES v določenem trenutku) prilagoditi izmerjenemu. Meritve pretokov delovne moči SCADA na mejnih daljnovodih v seštevku podajo iskani saldo, model DACF pa saldo, ki ga je treba popraviti. Kljub vnosu trenutne proizvedene in porabljene delovne moči se namreč zaradi merilnih napak časovno nesinhroniziranih meritev in razlik v izračunanih in dejanskih izgubah saldo delovne moči Slovenije po DACF in meritvah SCADA lahko bistveno razlikuje, kar zahteva določeno prilagoditev. V ta namen s pomočjo skalirnih faktorjev popravimo odjemno moč slovenskega EES tako, da sta salda enaka. Naslednji korak je izračun injekcij delovnih moči po naslednji enačbi₁:

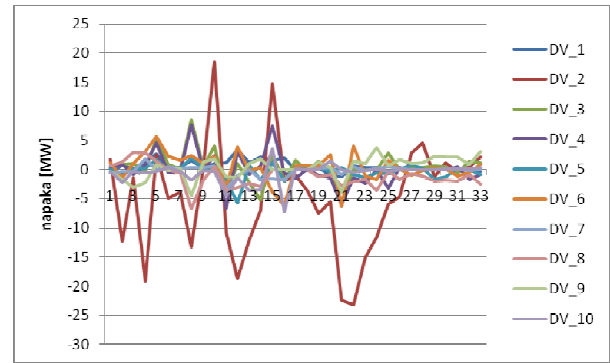
$$|P_{INJ}| = [PTDF]^{-1} \cdot (|P_{DACF}| - |P_{SCADA}|) \quad (10)$$

Izračunane injekcije moči uravnotežijo model slovenskega EES in hkrati obdržijo celovit model UCTE, ki ga lahko uporabimo za nadaljnje analize (npr. vpliv sprememb proizvodnje električne moči posamezne regije). Po opisani metodi bilančno vozlišče reagira minimalno, saj pokriva le izgube, nastale zaradi vstavljenih injekcij delovnih moči. Vsota vseh injiciranih moči je enaka nič, saj je injekcija v t. i.

ventilskem vozlišču enaka vsoti injekcij preostalih mejnih vozlišč.

3.3 Primerjava rezultatov analiz N-1

Uporabnost uravnoveženega modela se pokaže pri analizah N-1. Za doseg dobrih rezultatov se je treba čim bolj približati realnim pretokom oz. obremenitvi notranjega sistema. Kot je razvidno iz slike 2, nastane na mejnih daljnovodih kljub uravnoveženju napaka, ki pa je zanemarljiva in predvsem posledica sprememb v izgubah. Največja je seveda na ventilskem daljnovodu (DV_2 na sliki 2), saj sprememba izgub povzroči spremembo salda slovenskega EES, ki se kaže predvsem na mejnem daljnovodu, povezanem z ventilskim vozliščem.



Slika 2: Napaka uravnoveženega modela po posameznih mejnih daljnovodih

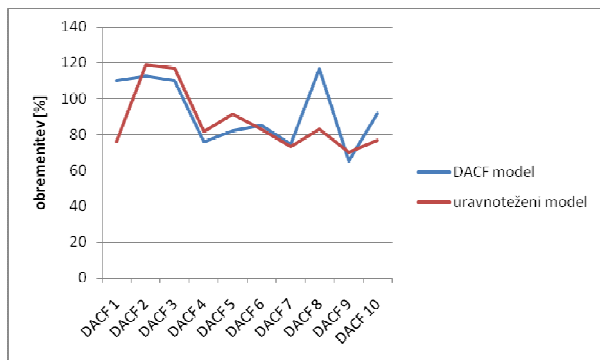
Figure 2. Balanced network model tie-line error

Napaka na mejnih daljnovodih, razen na ventilskem, ne preseže 5 MW in je na večini daljnovodov celo manjša od 1 MW, nekoliko večja je le na dvosistemskih daljnovodih, saj se v realnosti pretoki po obeh sistemih razlikujejo, v simulacijskem modelu pa so enaki. Kljub nekoliko večji napaki na ventilskem daljnovodu pa je leta ob pravilni izbiri slednjega zanemarljiva.

To je potrdila tudi primerjava pretokov delovnih moči notranjih daljnovodov uravnoveženega modela z meritvami SCADA. Napaka je tudi pri slednjih zanemarljiva, posledica so bistveno boljši rezultati analiz N-1 v primerjavi z analizo neuravnoveženega modela DACF.

Primerjave analiz N-1 med neuravnoveženim in uravnoveženim modelom DACF pokaže večja odstopanja, ki lahko privedejo do napačnih sklepov in temu sledečim nepravilnim ukrepom za odpravo preobremenitev. Pri pripravi opisane metode smo si pomagali tudi z rezultati nekaterih študij, ki obravnavajo izdelavo ekvivalentov zunanega EES. Te so pokazale, da mora biti zunanji ekvivalent dovolj oddaljen od opazovanega sistema, da lahko zaupamo točnosti analize. Postavitev injekcij opisane metode je odvisna

predvsem od razpoložljivosti meritev, ki pa so na voljo tudi za nekatere daljnovode v tujini. S tem se poveča število injekcij delovne moči, le-te pa se oddaljijo od opazovanega sistema, kar poveča točnost analiz N-1 tudi pri izpadlih daljnovodih, bliže mejam opazovanega sistema.



Slika 3: Primerjava rezultatov analize N-1 na kritičnem delu omrežja med 10 modeli DACF pred uravnoreženjem modelov in po njem

Figure 3. Comparison of the N-1 analysis results on a critical part of the observed network between ten DACF models before and after balancing

4 Sklepi

Napovedi stanja EES za dan naprej (DACF) v realnem času vedno odstopajo, zato je treba prilagajati model sistema razmeram v realnem času. Dosedanja metoda je od operaterja zahtevala veliko znanja in dobro poznavanje sistema, hkrati pa ni vedno dala ustreznih rezultatov. Razvoj nove metode uravnoreženja modelov DACF je narekovala potreba po izboljšavah, tako z vidika točnosti uravnoreženega modela, kot z vidika hitrosti izvedbe. Bistven korak k rešitvi problema je uporaba faktorjev PTFD, s pomočjo katerih, upoštevajoč meritve iz sistema SCADA in izračunane pretoke moči iz modela DACF, določimo potrebne injekcije moči. Le-te opazovani sistem (npr. slovenski EES) uravnorežijo (približajo stanju v realnem času) ter pri tem minimalno vplivajo na delovanje bilančnega vozlišča. Rezultat tako uravnoreženega modela je natančna analiza N-1, ki je osnova določanja obratovalne sigurnosti. Zagotavljanje le-te pa je osnovna dejavnost upravljavcev prenosnih omrežij.

5 Literatura

- [1] Napoved prenosnih izgub v elektroenergetskem sistemu na podlagi vplivnih distribucijskih faktorjev; Klančnik, Rejc, Pantoš, Elektrotehnični vestnik, Volume 76, leto 2009
- [2] Energetski zakon (uradno prečiščeno besedilo) (EZ-UPB2), Ur.l. RS, št. 27/2007
- [3] Variation of distribution factors with loading; Ross Baldick, CSEM WP 104, September 2002
- [4] Extended Factors for Linear Contingency Analysis; Sauer, Reinhard, Overbye; 34th Hawaii Int. Conference on System Sciences 2001
- [5] Online Integration of SCADA with Network simulation tool; Kalki Communication Technologies

Jan Kostevc je leta 2007 diplomiral na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Trenutno je zaposlen na Elektro – Slovenija, d.o.o., kot analitik v službi za podporo obratovanju. Njegovo področje dela obsega obratovanje EES, sistemske analize, sistemsko obratovalno stabilnost in WAMS (wide area measurement system).

Uroš Gabrijel je leta 2003 doktoriral na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Trenutno je zaposlen kot vodja službe za podporo obratovanju na Elektro – Slovenija, d.o.o. Njegovo področje dela poleg sistemskih analiz obsega direktne metode za ugotavljanje tranzientne stabilnosti in naprave FACTS.

Rafael Mihalič je diplomiral, magistriral in doktoriral na Fakulteti za elektrotehniko in računalništvo v Ljubljani. Po diplomi je postal asistent na omenjeni fakulteti. Med letoma 1988 in 1991 je bil zaposlen pri Siemensu AG v Erlangnu. Trenutno je redni profesor na Fakulteti za elektrotehniko v Ljubljani in predstojnik Katedre za elektroenergetske sisteme in naprave. Je član CIGRE, član IEEE in predsednik ŠK B4 SLOKO CIGRE. Področje delovanja vključuje predvsem analizo elektroenergetskih sistemov in naprav FACTS.