

Analiza ključev delitve prihodka pri koordiniranih dražbah čezmejnih prenosnih zmogljivosti v regiji Srednjevzhodna Evropa

Gašper Artac¹, Blaž Kladnik², Robert Golob¹, Andrej Gubina³

¹ GEN-I, d.o.o., Cesta 4. julija 42, 8270 Krško, Slovenija

² HSE, d.o.o., Koprška ulica 92, 1000 Ljubljana, Slovenija

³ Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška cesta 25, 1000 Ljubljana, Slovenija

E-pošta: gasper.artac@fe.uni-lj.si

Povzetek. V članku predstavljamo problem delitve prihodka pri metodi koordiniranega dodeljevanja čezmejnih prenosnih zmogljivosti na podlagi pretokov delovne moči. Pri tej metodi je predvideno sočasno dodeljevanje čezmejnih prenosnih zmogljivosti na več mejah. S tem se ne maksimira prihodek na posamezni meji kot pri standardni metodi NTC, ampak se maksimira prihodek celotne regije. Zastavlja se vprašanje, kako bi lahko prihodek celotne regije razdelili med udeležene sistemske operaterje. Cilj je, da bi prihodki od zamašitev sistemske operaterje spodbujali k novim investicijam v prenosno omrežje in s tem k odpravljanju zamašitev ter k temu, da bi ponudili toliko čezmejnih prenosnih zmogljivosti, kolikor jim dopuščajo razmere v prenosnem omrežju. Zato med sistemskimi operaterji potekajo intenzivne aktivnosti pri izbiri ključa delitve prihodka. Ključni so zasnovani na tehnični, ekonomski in kombinirani osnovi. V članku predstavljamo kriterije delitve prihodka, katerim bi morali ustrezati ključni, in opisujemo najzanimivejše ključne. Na podlagi izbranih scenarijev čezmejnega trgovanja v regiji Srednjevzhodna Evropa smo izvedli analizo stabilnosti ključev glede na nihanje vplivnih parametrov in osvetlili spremembe, ki jih novi ključni prinašajo glede na delitev prihodka po metodi NTC. Ugotavljamo, da ni optimalnega ključa, ki bi zadostil vsem merilom hkrati. Kljub temu lahko izmed analiziranih ključev izberemo tiste, ki se le-tim najbolj približajo.

Ključne besede: koordinirano dodeljevanje čezmejnih prenosnih zmogljivosti na podlagi pretokov, kriteriji delitve prihodka pri koordiniranih dražbah čezmejnih prenosnih zmogljivosti, ključni delitve prihodka, čezmejno trgovanje

Analysis of Auction Income-Sharing Keys for Coordinated Auctions of Cross-Border Capacity in the Region of Central Eastern Europe

Extended abstract. Traditionally, the Net Transfer Capacity (NTC)-based cross-border capacity calculation and allocation methods have been used in Europe. Following the opening of the electricity markets in the European Union (EU) and the subsequent dearth of cross-border capacities, as well as the EU objective to achieve an efficient and coordinated electricity market, the European Commission and national regulators have proposed that cross-border capacity calculation and allocation methods need to be developed towards the flow-based methods [1] [2]. A coordinated Flow-Based Capacity Allocation (FBCA) method has been developed recently. In this method, the commercial transactions are no longer limited to the interconnections where they are reported, but they are converted into physical power flows by using the Power Transfer Distribution Factors (PTDF) [4], so that the impact of individual commercial transfers on all interconnections in the

region can be considered thus ensuring overall security [5].

The FBCA method allows for a coordinated allocation of cross-border capacities between several zones. Consequently, an auction income of the entire region is maximized rather than on each border, as in the case with NTC method. This gives rise to a question how to share the auction income of the entire region between the involved Transmission System Operators (TSOs). The key objectives should be

- to stimulate new investments in transmission networks thus eliminating congestions on tie lines and
- to stimulate the TSOs to offer as much cross-border capacities as allowed for their security situation in the transmission network.

Therefore, the TSO, both at the European and the regional level have been intensively looking for an auction income-sharing key that would meet legal, economic and other important criteria identified for auction income sharing [6]. Several auction income-sharing keys have been proposed based either on technical, economic or combined basis (Table 1).

In our investigation, we simulated the cross-border capacity allocation in the region of Central Eastern Europe and analyzed the results of each, observed auction income-sharing key. In an analysis of each auction income-sharing key, we assessed the stability of the share size as well as the economic

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

Operacijo delno financira Evropska unija, in sicer iz Evropskega socialnega sklada.

Prejet 14. september, 2010

Odobren 24. oktober, 2010

difference in the allocation of the income it brings when compared to the current NTC method. In our simulations we used a mathematical model of the FBCA method (Figure 2) based on the linear optimization problem [7]. To generate bids to purchase the cross-border capacities at all borders in the region of Central Eastern Europe, we employed a bid-generating model cross-border capacities [11], employing historical data on electricity prices and balances in a particular area.

The share of each TSO in the auction income for the NTC and the FBCA methods is shown in Figure 4. In some auction income-sharing keys, individual TSO shares can vary by more than 10 per cent when using the FBCA method, which means that some keys allow for maintenance of a stable share. The highest variance is detected in the auction income-sharing keys Shadow Price - SP and Integral Absolute Usage Weighted with Clearing Price - AU_SP, indicating that the most of the auction income is shared only among those TSOs that control the continuously congested tie lines. The results show that the shares obtained with the integral auction income sharing keys (Integral Absolute Usage - IAU, Integral Modified Absolute Usage - IMAU, Integral Clearing Price - ICP and Integral Absolute Usage Weighted with Clearing Price - IAU_CP) for the external TSOs are expected to be higher. This is because these keys take into account additional flows at the external borders resulting from commercial transactions within the region of Central Eastern Europe. The value of the Sum Square Error (SSE) of the auction income shares over auction income sharing keys compared to the NTC method is shown in Figure 5. Auction income keys Absolute Usage Weighted with Clearing Price - IAU_CP, Integral Modified Absolute Usage - IMAU, Integral Absolute Usage - IAU and Clearing Price - CP have the smallest SEE, followed by the auction income sharing keys Absolute Usage - AU, Absolute Usage Weighted with Clearing Price - AU_CP, Integral Clearing Price - ICP and Modified Absolute Usage - MAU. The highest variance is detected in auction income keys Absolute Usage Weighted with Shadow Price - AU_SP and Shadow Price - SP. The standard deviation of the auction income shares as per individual keys for each TSO is shown in Figure 6. Auction income-sharing keys Absolute Usage - AU, Integral Absolute Usage - IAU, Modified Absolute Usage - MAU, and Integral Modified Absolute Usage - IMAU produce the most stable auction income shares, followed by the keys Clearing Price - CP, Integral Clearing Price - ICP, Absolute Usage Weighted with Clearing Price - AU_CP and Integral Absolute Usage Weighted with Clearing Price - IAU_CP, while the keys Shadow Price - SP and Absolute Usage Weighted with Shadow Price - AU_SP produce least stable auction income shares.

Analysis of the results of individual auction income sharing keys shows that at the moment none of the keys fully meets all the criteria set for auction income sharing. The choice of the most appropriate auction income sharing key in the region of Central Eastern Europe depends on the accepted criteria for auction income sharing and the chosen method of evaluation of each criterion. The most appropriate auction income-sharing keys for the real-world application are Integral Modified Absolute Usage - IMAU and Integral Absolute Usage Weighted with Clearing Price - IAU_CP keys. The principles of the current NTC method are imitated well enough by both keys exhibiting a similar share of the auction income to the current NTC method and having stable auction income at the same time. Both the Integral Modified Absolute

Usage - IMAU and the Integral Absolute Usage Weighted with Clearing Price - IAU_CP keys also reward the TSOs in their controlling the continuously congested tie lines and encourage them to invest in new transmission capacity. These two auction income-sharing keys also partly reward those TSOs who have a well-developed transmission network. Although the results are applied to the region of Central Eastern Europe, they can be applied to other regions where the FBCA method is foreseen to be implemented.

Keywords: Coordinated flow-based capacity-allocation method, Criteria for auction income sharing, Auction income-sharing keys, Cross-border trade

1 Uvod

V Evropi se, od kar je odprt trg z električno energijo, v uporablja NTC (angl. *Net Transfer Capacity*) model izračuna in dodeljevanja čezmejnih prenosnih zmogljivosti (ČPZ). Ker želi Evropska unija doseči učinkovito in usklajeno trgovanje z električno energijo, so Evropska komisija in nacionalni regulatorji podali pobudo, naj gre razvoj metod izračuna in dodeljevanja ČPZ v smeri izvajanja na podlagi pretokov [1], [2]. Te metode morajo spoštovati sigurnostne kriterije omrežja, ki se odražajo v obliki omejitev ČPZ, hkrati pa morajo biti zavezane povečanju čezmejnega trgovanja, in sicer z maksimizacijo skupnega prihodka. Ta pomeni tudi optimalno tržno vrednost čezmejnega trgovanja. Tako se je v zadnjih letih razvila metoda koordiniranega dodeljevanja ČPZ na podlagi pretokov (FBCA) [3].

Sedanja metoda NTC dodeljevanja ČPZ temelji na izračunu fizičnega pretoka na meji med sosednjima sistemskima operaterjema (SO), vendar ne upošteva fizičnih pretokov, ki so posledica komercialnih izmenjav med preostalimi tržnimi območji. Prihodek od zamašitev se pri dražbah ČPZ določi iz presečišča med krivuljo ponudbe in povpraševanja ČPZ, dosežena cena ponavadi pomeni razliko v tržni ceni električne energije med sosednjima tržnima območjema. Na dražbi ustvarjen prihodek se med vpletene SO razdeli v razmerju 50:50.

Pri metodi FBCA komercialne izmenjave niso več omejene na posamezno mejo med sosednjima SO, ampak so pretvorjene v fizične pretoke z uporabo faktorjev matrike vpliva spremembe prenosa električne energije (ang. *Power Transfer Distribution Factors - PTDF*) [4]. Tako metoda FBCA temelji na boljšem upoštevanju fizikalnega delovanja prenosnega omrežja, saj se upošteva vpliv posameznih komercialnih izmenjav na preostale dele prenosnega omrežja in njihova sigurnost [5]. Predvideno je sočasno dodeljevanje ČPZ na več mejah, kjer so vse ponudbe za ČPZ optimizirane centralizirano. Tako je pri zamašitvi na določenem vodu prihodek rezultat sočasnega trgovanja na vseh mejah v regiji. S tem se ne maksimira prihodek na posamezni meji kot pri metodi NTC, ampak se maksimira prihodek celotne regije. Prihodek pa se

med udeležene SO v regiji deli po vnaprej natančno določenem ključu delitve prihodka.

Namen članka je analiza različnih ključev delitve prihodka. Poglavlje 2 predstavlja različne kriterije delitve prihodka, poglavje 3 predstavlja predlagane ključne, poglavje 4 pa osnovne privzete in metodologijo analize delitve prihodka za regijo Srednjevzhodna Evropa. Rezultate simulacij delitve prihodka podaja poglavje 5. Sklep predstavlja poglavje 6 skupaj z oceno izbire najprimernejšega ključa za uporabo v praksi.

2 Kriteriji za ključ delitve prihodka

Pri ključih delitve prihodka je treba definirati niz kriterijev, s katerimi zadostimo pravnim, ekonomskim in drugim zahtevam, [6]. Tako zagotovimo pregledno, pravično in ekonomsko učinkovito delitev prihodka, ki bo nagrajevala pretekle investicije v prenosno omrežje in spodbujala SO k učinkovitejši uporabi sredstev za investiranje v nove ČPZ, kar dolgoročno pripomore k odpravljanju zamašitev in s tem k sprostitvi čezmejnega trgovanja [7].

2.1 Pravno zavezujoča merila

Temelja za pravno ureditev delitve prihodka sta Uredba (ES) št. 1228/2003 [8] in Priloga k Uredbi (ES) št. 1228/2003 [9], ki ob upoštevanju posebnosti nacionalnih in regionalnih trgov z električno energijo določata smernice za upravljanje in dodeljevanje ČPZ med nacionalnimi omrežji. Dokumenta za ključ predstavljata naslednja merila:

1. Biti mora pregleden.
2. Ne sme spodbujati strateškega obnašanja (npr. zmanjšanja ČPZ).
3. Biti mora pošten in nediskriminacijski.
4. Prihodek je lahko samo posledica zamašitve v regiji.

2.2 Ekonomska merila

Namen ekonomskih kriterijev je spodbujanje SO k optimalni izkoriščenosti obstoječih ČPZ in spodbujanje k novim investicijam v prenosnem omrežju. S tem bi se povečala družbena blaginja za vse udeležence, saj se prihodek porazdeli med tiste SO, ki z vidika odpravljanja zamašitev in nesorazmerij v tržni ceni električne energije najbolj potrebujejo sredstva. Ekonomski kriteriji za ključ so:

5. Spodbujati mora maksimiranje skupne tržne vrednosti čezmejnega trgovanja.
6. Spodbujati mora dolgoročno zmanjšanje zamašitev ČPZ.
7. Upoštevati mora investicije SO v prenosno omrežje.

2.3 Druga merila

Poleg zgoraj naštetih kriterijev obstajajo tudi druga pomembna merila delitve prihodka, ki jih ni mogoče uvrstiti v zgornji kategoriji. Pri teh merilih za ključ velja:

8. Biti mora konsistenten z vsemi časovnimi okviri dodeljevanja ČPZ.
9. Temeljiti mora na parametrih, ki so rezultat dražbe ali se uporabijo pri dražbi.
10. Omogočati mora gladek prehod od sheme prihodkov pri obstoječi metodi NTC.
11. Biti mora robusten na kratkoročne spremembe razmer na trgu z električno energijo.
12. Biti mora lahko uresničljiv, razumljiv in sprejemljiv.

3 Ključ delitve prihodka

Na podlagi definiranih meril delitve prihodka so se oblikovali različni ključ delitve prihodka, ki temeljijo na tehnični, ekonomski ali kombinirani podlagi.

Tehnični ključ	Absolutna uporaba (AU)
	Celovita absolutna uporaba (IAU)
	Izboljšana absolutna uporaba (MAU)
	Celovita izboljšana absolutna uporaba (IMAU)
Ekonomske ključ	Dualna cena (SP)
	Tržna cena (CP)
	Celovita tržna cena (ICP)
Kombinirani ključ	Absolutna uporaba, tehtana z dualno ceno (AU_SP)
	Absolutna uporaba, tehtana s tržno ceno (AU_CP)
	Celovita absolutna uporaba, tehtana s tržno ceno (IAU_CP)

Tabela 1: Ključ delitve prihodka

Table 1: Auction income-sharing keys

3.1 Ključ brez lastnosti celovitosti

3.1.1 Tehnični ključ delitve prihodka

Tehnični ključ delitve prihodka težijo k nagrajevanju preteklih investicij v prenosno omrežje in upoštevanju dejanske uporabe prenosnega omrežja, ne glede na ponudbo, povpraševanje in razliko cen med tržnimi območji. To pomeni, da dobijo večji delež prihodka tisti SO, ki že imajo dobro zgrajene ČPZ med posameznimi tržnimi območji, kar omogoča veliko količino pretokov skozi tržno območje SO. Tehnični ključ so tako spodbuda za SO k maksimiranju ponujenih ČPZ na trgu, s čimer bi bile posledično dosežene manjše razlike v cenah električne energije med območji.

Pri ključu **Absolutna uporaba** (ang. *Absolute Usage* – AU) se skupni prihodek v regiji deli na posamezno mejo glede na razmerje med pretoki delovne moči na tej meji in vsote pretokov delovne moči na vseh mejah, (1). Pri tem so upoštevani pretoki delovne moči, ki so posledica vseh sprejetih ponudb.

$$R_m = TR \cdot \frac{\sum_{A,B(A \neq B)} |PTDF_{i,A \rightarrow B}| \cdot AC_{A \rightarrow B}}{\sum_M \sum_{A,B(A \neq B)} |PTDF_{i,A \rightarrow B}| \cdot AC_{A \rightarrow B}} \quad (1)$$

R_m je prihodek na posamezni meji, TR skupni prihodek, $PTDF_{i,A \rightarrow B}$ je vpliv komercialne izmenjave na i -tem vodu iz tržnega območja A v območje B , $AC_{A \rightarrow B}$ predstavlja vsoto sprejetih količin ČPZ za prenos iz tržnega območja A v območje B . M je število vseh SO v regiji. Ker pri izračunu prihodka na posamezni meji ni pomembna smer pretoka delovne moči zaradi vpliva komercialne izmenjave na i -tem vodu, se med sosedna SO R_m deli v razmerju 50:50.

Pri ključu **Izboljšana absolutna uporaba** (ang. *Modified Absolute Usage – MAU*) se prihodek od vsake sprejete ponudbe deli na posamezno mejo glede na razmerje med pretoki delovne moči na tej meji in vsoto pretokov delovne moči na vseh mejah, (2). Upoštevani so pretoki delovne moči, ki so posledica sprejetih ponudb. Pri tem ključu se poleg pretoka, ki je posledica sprejetih ponudb, upošteva tudi tržna cena ČPZ v povezavi s temi pretoki.

$$R_m = \sum_{A,B (A \neq B)} CP_{A \rightarrow B} \cdot AC_{A \rightarrow B} \cdot \frac{|PTDF_{i,A \rightarrow B}|}{\sum_M |PTDF_{i,A \rightarrow B}|} \quad (2)$$

Oznaka $CP_{A \rightarrow B}$ pomenia tržno ceno ČPZ za prenos med tržnima območjema A in B .

3.1.2 Ekonomski ključ delitve prihodka

Ekonomski ključ delitve prihodka temeljijo predvsem na zadostitvi ekonomskih kriterijev, ki govorijo o optimalni izkoriščenosti obstoječih ČPZ, in na spodbujanju novih investicij v prenosno omrežje. Delitev prihodka stremi k izboljšanju družbene blaginje za udeležence na trgu, saj se prihodek porazdeli med tiste SO, ki so ga z vidika odpravljanja zamašitev na vodih in nesorazmerij v tržni ceni električne energije najbolj potrebni.

Pri ključu **Dualna cena** (ang. *Shadow Price - SP*) se skupni prihodek v regiji deli samo med tiste SO, ki imajo zamašene vode, in sicer v razmerju med dualno ceno na zamašenem vodu in vsoto vseh dualnih cen na vseh zamašenih vodih. Dualna cena pove, koliko naraste prihodek, če se razpoložljivi maksimalni pretok na zamašenem vodu (ang. *Available Maximal Flow - AMF*) poveča za 1 MW, (3). Prihodek na zamašenem vodu si delita samo SO, ki si lastita omenjeni vod.

$$R_m = TR \cdot \frac{SP_{i,A \rightarrow B} + SP_{i,B \rightarrow A}}{\sum_M (SP_{M,A \rightarrow B} + SP_{M,B \rightarrow A})} \quad (3)$$

Oznaka $SP_{i,A \rightarrow B}$ pomeni dualno ceno na i -tem zamašenem vodu iz območja A v območje B .

Pri ključu **Tržna cena** (ang. *Clearing Price - CP*) se skupni prihodek v regiji deli v razmerju tržne cene ČPZ za prenos električne energije med sosednima tržnima območjema in vsote vseh tržnih cen ČPZ za prenos med vsemi mejnimi tržnimi območji, (4).

$$R_m = TR \cdot \frac{CP_{A \rightarrow B} + CP_{B \rightarrow A}}{\sum_{A,B (A \neq B)} CP_{A \rightarrow B}} \quad (4)$$

3.1.3 Kombinirani ključ delitve prihodka

Kombinirani ključ delitve prihodka so kombinacija med tehničnimi in ekonomskimi ključmi.

Pri ključu **Absolutna uporaba, tehtana z dualno ceno** (ang. *Absolute Usage Weighted with Shadow Price – AU_SP*), se skupni prihodek v regiji deli glede na razmerje ključa absolutna uporaba, tehtana z dualno ceno na posameznem zamašenem vodu (produkt pretoka delovne moči in dualne cene na zamašenem vodu), in vsoto vrednosti ključa AU_SP na vseh zamašenih vodih, (5).

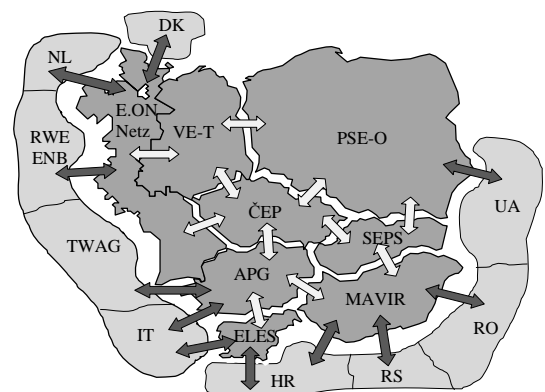
$$R_m = TR \cdot \frac{\sum_{A,B (A \neq B)} SP_{i,A \rightarrow B} \cdot |PTDF_{i,A \rightarrow B}| \cdot AC_{A \rightarrow B}}{\sum_M \sum_{A,B (A \neq B)} SP_{M,A \rightarrow B} \cdot |PTDF_{i,A \rightarrow B}| \cdot AC_{A \rightarrow B}} \quad (5)$$

Pri ključu **Absolutna uporaba, tehtana s tržno ceno** (ang. *Absolute Usage weighted with the Clearing Price - AU_CP*) se skupni prihodek regije deli v razmerju med ključem AU_CP na posamezni meji (produkt pretoka delovne moči in tržne cene ČPZ na upoštevani meji) in vsoto vrednosti ključa AU_CP na vseh mejah, (6).

$$R_m = TR \cdot \frac{\sum_{A,B (A \neq B)} CP_{A \rightarrow B} \cdot |PTDF_{i,A \rightarrow B}| \cdot AC_{A \rightarrow B}}{\sum_M \sum_{A,B (A \neq B)} CP_{A \rightarrow B} \cdot |PTDF_{i,A \rightarrow B}| \cdot AC_{A \rightarrow B}} \quad (6)$$

3.2 Ključ delitve prihodka z lastnostjo celovitosti

Dodeljevanje prihodka pri necelovitih ključih delitve prihodka lahko vodi do diskriminacije, saj upoštevajo zgolj meje znotraj regije. To lahko odpravimo z vpeljavo lastnosti celovitosti, kjer se upoštevajo dodatni pretoki, ki so posledica komercialnih izmenjav znotraj regije, na zunanjih mejah regije.



Upoštevane meje pri izračunu s

↔ ključ z lastnostjo celovitosti in brez nje

↔ ključ z lastnostjo celovitosti

Slika 1: Upoštevanje mej pri ključih delitve prihodka z upoštevanjem in brez upoštevanja lastnosti celovitosti v regiji Srednjevzhodna Evropa.

Figure 1: Borders which are considered with the auction income sharing keys with and without characteristic of integrity in the region of Central Eastern Europe.

Slika 1 prikazuje meje pri ključih delitve prihodka z upoštevanjem in brez upoštevanja lastnosti celovitosti v regiji Srednjevzhodna Evropa¹. Če vzamemo za primer komercialno izmenjavo 1000 MW iz Češke v Slovenijo, ta povzroči 1000 MW pretoka na vseh čeških mejah in samo približno 300 MW na slovenskih mejah, saj italijanska in hrvaška meja nista del te regije. Vzajemnost dosežemo z uporabo celovitih ključev, ki upoštevajo tudi pretoke, ki so posledica dodeljevanja v regiji, na zunanjih mejah regije. Tako dobimo štiri dodatne ključe, in sicer IAU, IMAU ICP in IAU_CP.

4 Osnovni privzetki in metodologija

4.1 Izvedba simulacij delitve prihodka

Simulacijo dodeljevanja ČPZ in analizo posameznega ključa delitve prihodka smo opravili na podlagi podatkov v regiji Srednjevzhodna Evropa. Omejili smo se na analizo dnevnega dodeljevanja ČPZ brez predhodnih (letnih in mesečnih) dodeljevanj. V dolgoročnem pogledu je namreč letni prihodek približno enak, če ČPZ dodeljujemo na letnih, mesečnih in dnevni dražbah ali samo na dnevni dražbah, saj je povpraševanje na letnih in mesečnih dražbah zgolj povprečno pričakovano povpraševanje na dnevni dražbah (če zanemarimo premijo tveganja). Analizo posameznega ključa smo naredili na podlagi 1000 naključno generiranih scenarijev dodeljevanja ČPZ. Pri tem se naključno spreminjajo cena električne energije, količina salda, ki ga SO v določenem obdobju v tržnem območju realizira kot presežek ali primanjkljaj proizvodne moči, in topologija omrežja.

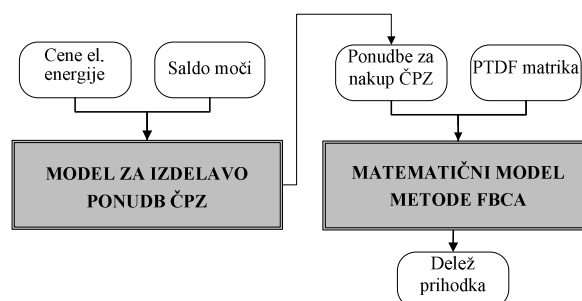
Pri analizi ključev delitve prihodka smo se osredotočili predvsem na oceno stabilnosti delitve prihodka za posamezne SO in na oceno sprememb deleža prihodka za posamezne SO glede na dodeljevanje prihodka po sedanji metodi NTC. Pri oceni sprememb delitve prihodka glede na metodo NTC smo delitev po posameznih ključih primerjali z delitvijo po metodi NTC za letne dražbe 2007 v regiji Srednjevzhodna Evropa. Za ovrednotenje delitve po posameznih ključih glede na metodo NTC smo zaradi morebitnega negativnega ali pozitivnega odstopanja prihodka posameznega SO uporabili povprečno vrednost vsote kvadratov odstopanj (ang. *Sum Square Error - SSE*)², ki nam za posamezen ključ pove velikost vsote odstopanj od sedanjih deležev pri metodi NTC.

Za ovrednotenje stabilnosti prihodka posameznega ključa delitve prihodka glede na nihanje vplivnih parametrov smo izhajali iz standardnega odklona posameznega ključa. Standardni odklon deležev prihodka pove, kakšna je izpostavljenost posameznega ključa negotovosti vplivnih parametrov, kot so ponujene

cene in količine ČPZ ter stanje prenosnega omrežja. Visok standardni odklon pove, da ključ ni konstanten pri ohranjanju deleža glede na spremenjene razmere na trgu, zato povzroča možnost večjega nihanja prihodka. To z vidika ohranjanja kontinuitete ni zaželeno.

4.2 Model za izdelavo ponudb ČPZ

Za izvedbo simulacije dodeljevanja ČPZ smo uporabili model, ki ga sestavljata dva dela in ga prikazuje slika 2. Prvi del je model za izdelavo ponudb ČPZ³, pri katerem smo na podlagi preteklih mesečnih podatkov o trgovanju za vsako tržno območje najprej izračunali povprečno ceno električne energije in količino salda moči. Če je tržno območje posameznega SO izkazovalo negativni saldo moči, je moral električno energijo uvoziti z območij s pozitivnim saldrom moči in nasprotno.



Slika 2: Shematski prikaz modela dodeljevanja ČPZ

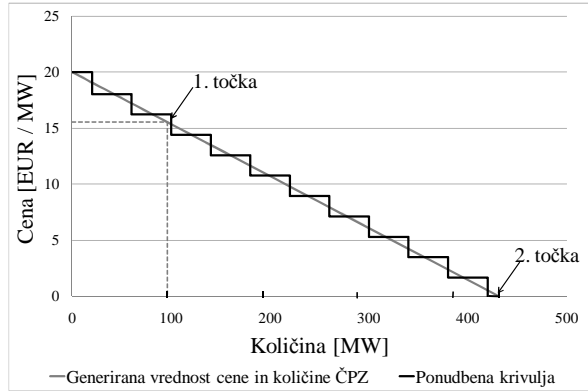
Figure 2: Schematic diagram of the cross-border capacity-allocation model

Ponudbe za nakup ČPZ smo oblikovali s preprostim algoritmom, kjer smo salde moči med tržnimi območji razporejali tako, da ima na koncu vsako tržno območje vrednost salda moči enako nič. To pomeni, da v mesečnem povprečju porabi ravno toliko električne energije, kot je proizvede. Pri tem smo upoštevali še izmenjave med preostalimi tržnimi območji, ki niso del regije Srednjevzhodna Evropa. S tem smo dobili količine ČPZ na mejah med tržnimi območji. Nato smo iz dobljene količine ČPZ na meji in razlike v tržni ceni električne energije oblikovali prvo točko ponudbene premice. Z analizo preteklih ponudbenih krivulj ČPZ smo ugotovili, da je linearna oblika ponudbene premice relativno dober približek za osrednji del splošne krivulje ponudbe za nakup ČPZ. Na podlagi statistične analize smo ugotovili, da je celotna količina povpraševanja v povprečju 4,5-krat večja od količine dodeljenih ČPZ, in tako smo določili 2. točko ponudbene premice pri ceni 0 €/MWh. Ponudbene premice smo nato enakomerno razdelili na manjše količine, da smo jih približali primerni obliki ponudbe za nakup ČPZ, kot kaže slika 3. Algoritem oblikuje ponudbe ČPZ na vseh mejah območij regije Srednjevzhodna Evropa.

¹ V regiji Srednjevzhodna Evropa je osem SO. To so APG, ČEPS, E.ON Netz, ELES, MAVIR, PSE-O, SEPS in VE-T [5].

² Vsota kvadratov odstopanj je definirana kot $\sum(x_i - x_p)^2$.

³ Model za izdelavo ponudb ČPZ so razvili na Elektro Slovenija, d.o.o. in je podrobneje opisan v [11].



Slika 3: Oblikovanje ponudb za nakup ČPZ med dvema območjema

Figure 3: Design of purchasing bids of the cross-border capacity between two areas

4.3 Matematični model metode FBCA

Drugi del modela, ki ga prikazuje slika 2, je matematični model metode FBCA. Pri metodi FBCA je pri izvajanju dražb glede na fizikalne in sigurnostne omejitve v omrežju maksimiran skupni prihodek celotne regije. Najprej na podlagi izkušenj določimo, kateri vodi v prenosnem omrežju so za čezmejno trgovanje najbolj kritični. Nato za vsak tak kritičen vod izračunamo razpoložljivi maksimalni pretok (angl. *Available Maximum Flow* – AMF). Sledi izračun porazdelitve pretokov moči v prenosnem omrežju, ki je določen z matriko PTDF, katere elementi odražajo vpliv želene količine ponudbe za natančno določen par izvornega in ponornega območja v odnosu s pretoki na kritičnem vodu. Za vso regijo je matrika PTDF velikosti $(L \times M \cdot (M-1))$, kjer je L število vseh kritičnih vodov v kombinaciji s kritičnimi izpadi, $M \cdot (M-1)$ število vseh mogočih kombinacij izmenjav med tržnimi območji, pri čemer je M število SO. Podrobnosti izračuna AMF in matrike PTDF opisuje [5].

Matematično je dražba ČPZ optimizacija, kjer se določi, kateri udeleženci na trgu bodo zastopani pri dodelitvi ČPZ in kolikšen bo njihov delež. Pri tem so ponudbe za nakup ČPZ spremenljivke, skupni prihodek je kriterijska funkcija, omejene ČPZ pa so glavne omejitve. Ob predpostavki, da je odnos med količino komercialnih izmenjav in pripadajočim pretokom na vodu linearen, lahko optimizacijski problem zapišemo z naslednjim linearnim zapisom [7]:

$$\max \sum_{P_{A \rightarrow B} \in Z} [c_{\text{off}}(p_{A \rightarrow B}) \cdot v_{\text{acc}}(p_{A \rightarrow B})]$$

pri čemer.: (7)

$$v_{\text{acc}}(p_{A \rightarrow B}) \leq v_{\text{off}}(p_{A \rightarrow B})$$

$$0 \leq v_{\text{off}}(p_{A \rightarrow B})$$

$$\sum_{A \rightarrow B \in Z} \{PTDF_{i, A \rightarrow B} \cdot \sum_{P_{A \rightarrow B} \in Z} [v_{\text{acc}}(p_{A \rightarrow B})]\} \leq AMF_i,$$

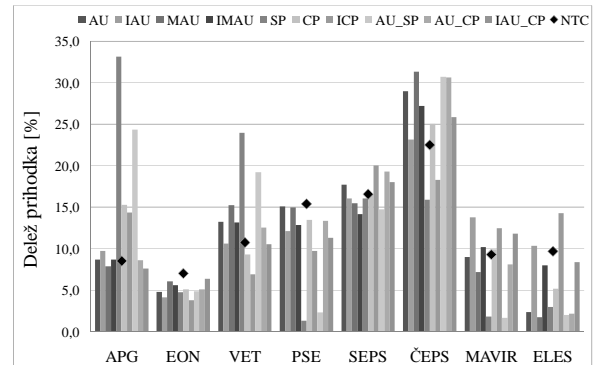
kjer $p_{A \rightarrow B}$ pomeni ponudbo za nakup ČPZ za prenos električne energije iz tržnega območja A v območje B, c_{off} pomeni ponujeno ceno, v_{acc} predstavlja sprejeto in v_{off} ponujeno količino te ponudbe, $PTDF_{i, A \rightarrow B}$ predstavlja element matrike PTDF, ki prikazuje pretok na kritičnem vodu, zaradi komercialne izmenjave iz tržnega območja A do območja B ter AMF_i vrednost razpoložljivega maksimalnega pretoka na kritičnem vodu.

Končna dosežena cena na dražbi za nakup ČPZ je vedno odvisna od prispelih ponudb in od razpoložljivih ČPZ, ki so na voljo za trženje. Če je vseh prispelih ponudb manj kot razpoložljive ČPZ, je tržna cena (ang. *Clearing Price* – CP) za zakup ČPZ enaka nič. Če je količina prispelih ponudb večja pa zaradi medsebojne odvisnosti pretokov moči v prepletenem omrežju izračun tržne cene ni trivialen problem. Tržna cena sprejetih ponudb, ki pripomorejo k zamašitvi na kritičnih vodih, se določa glede na produkt faktorjev matrike PTDF in dualne cene na zamašenih kritičnih vodih. Tržna cena ponudbe od izvornega A do ponornega B tržnega območja se torej izračuna takole [12]:

$$CP_{A \rightarrow B} = \sum_i PTDF_{i, A \rightarrow B} \cdot SP_{i, A \rightarrow B} \quad (8)$$

5 Rezultati

5.1 Primerjava delitve prihodka z metodo NTC

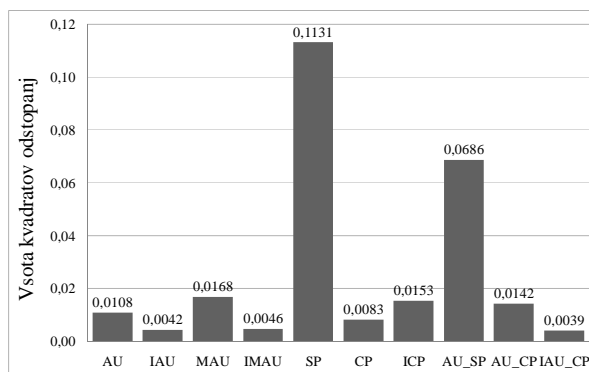


Slika 4: Primerjava deležev prihodka posameznih ključev delitve prihodka in sedanje metode NTC po posameznih SO

Figure 4: Comparison of auction income shares between the each auction income-sharing key and the NTC method for each TSO

Slika 4 prikazuje primerjavo deležev prihodka med posameznimi ključi delitve prihodka pri metodi FBCA in po metodi NTC po posameznih SO. Pri prehodu na metodo FBCA se deleži prihodka pri posameznih ključih med seboj razlikujejo tudi za več kot 10 odstotkov. To pomeni, da nekateri ključi ne ohranjajo stabilnega deleža. Izrazito največje odstopanje zasledimo pri ključih SP in AU_SP, saj si večino prihodka razdelijo le tisti SO, ki imajo stalne zamašitve na vodih. Rezultati kažejo, da so deleži prihodka

celovitih ključev (IAU, IMAU, ICP in IAU_CP) v zunanjih SO pričakovano večji zaradi upoštevanja pretokov na zunanjih mejah, ki so posledica komercialnih izmenjav znotraj regije srednjevzhodna Evropa.



Slika 5: Vsota kvadratov odstopanj deležev prihodka posameznega ključa v primerjavi z metodo NTC

Figure 5: Sum Square-Error of the auction income shares over various auction income-sharing keys compared to the NTC method

Takšni rezultati so posledica dejstva, da se delež prihodka pri ključih delitve prihodka IAU_CP in AU_CP izračunava na zelo podoben način kot pri metodi NTC. Pri tej je prihodek odvisen od komercialnega pretoka in tržne cene ČPZ na meji, slednja pa je odvisna od razlik v ceni električne energije med sosednjima območjema.

Pri ključih IAU_CP in AU_CP lahko zasledimo podoben cilj, le da upoštevata vse komercialne izmenjave v regiji, ki jih pretvorita v fizične pretoke na mejah in jih pomnožita z razliko med cenami električne energije med sosednjimi območji.

Na podobnem principu temeljita tudi ključa IMAU in MAU, kjer se poleg pretoka, ki je posledica sprejetih ponudb, upošteva tudi tržno ceno ČPZ v povezavi s temi pretoki.

Ključa IAU in AU ne upoštevata tržne cene ČPZ, ampak le delež pretoka, ki je posledica sprejetih ponudb.

Ključa ICP in CP, ki temeljita le na vsoti tržnih cen ČPZ med sosednjima tržnima območjema, sta precej neustrezna že s samega stališča izračuna, saj je delež odvisen predvsem od števila mej z drugimi SO v regiji in ne upošteva količin izmenjav električne energije. Tako imajo notranji SO pričakovano večji delež od vsi drugi SO v regiji.

Ključ SP je teoretično najprimernejši za spodbujanje novih investicij v prenosno omrežje. Simulacija je pokazala, da ta ključ sicer res namenja prihodek na mesto, kjer nastajajo zamašitve, vendar je velikost posameznih deležev močno odvisna od velikosti zamašitve. Ta ključ torej zelo motivira SO k navideznemu zmanjšanju fizičnih zmogljivosti prenosnega omrežja, da bi povečal zamašitev in povečal

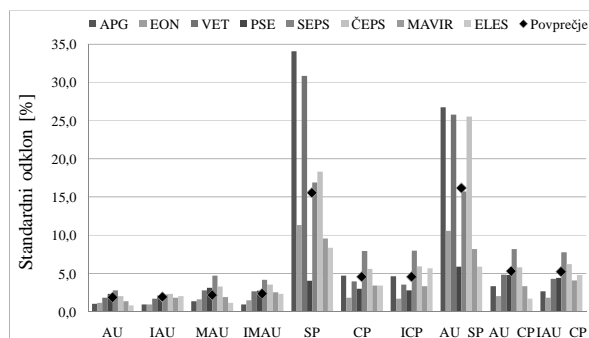
svoj delež prihodka. Podobno velja za ključ AU_SP. Na splošno ugotavljamo, da se ključ z lastnostjo celovitosti bolje približajo vrednostim deležev prihodka pri metodi NTC.

5.2 Ocena stalnosti delitve prihodka

Slika 6 prikazuje standardni odklon deležev prihodka posameznih ključev delitve prihodka za posamezne SO. Pika označuje povprečni standardni odklon posameznega ključa. Najbolj stalne prihodke imajo ključ AU, IAU, MAU, in IMAU. Sledijo jim ključ CP, ICP, AU_CP in IAU_CP, ključa SP in AU_SP pa imata najmanj stabilne prihodke.

Na stalnost prihodka pri ključih delitve prihodka AU in IAU vpliva predvsem upoštevanje različnih dnevnih matrik PTFD in s tem različnih stanj v EES, ne pa toliko spreminjanje ponujene cene in količine ČPZ. Zaradi dodatnega vpliva cene in količine ČPZ je pri ključih MAU in IMAU stalnost prihodka nekoliko slabša kot pri ključih AU in IAU. Na stalnost prihodka pri ključih CP, ICP, AU_CP in IAU_CP močno vplivajo razmere na trgu, saj je delitev prihodka odvisna od tržne cene ČPZ na meji, slednja pa je odvisna od razlik v ceni električne energije med sosednjima tržnima območjema.

Ker se razmere na trgu lahko kar hitro spremenijo, je delež prihodka pri ključih CP in ICP zelo nestabilen in tudi negotov, saj z manjšanjem razlik med cenami električne energije v celotni regiji delež prihodka postopoma upade. Možnosti upadanja prihodka se izogneta ključa AU_CP in IAU_CP, ki poleg tržne cene ČPZ na meji upošteva tudi delež pretoka, ki je posledica sprejetih ponudb. Pri ključih SP in AU_SP je stalnost prihodka odvisna od stalnosti dualne cene na zamašenih vodih v območju SO. Dualna cena je odvisna predvsem od količine pretokov na vodih območja SO, kar pomeni, da je odvisna od stanja EES in razmer na trgu z električno energijo, ki se močno spreminjajo. Delež prihodka pri teh dveh ključih povzroča nestabilno delitev prihodka.



Slika 6: Standardni odklon deležev prihodka posameznih ključev po posameznih SO

Figure 6: Standard deviation of the auction income shares of auction income keys for each TSO

6 Sklep

Analiza posameznih ključev delitve prihodka je pokazala, da ni mogoče poudarjati samo enega ključa, ki bi popolnoma zadostil vsem kriterijem. Med analiziranimi ključi sta za praktično uporabo najprimernejša ključa IMAU in IAU_CP, ker dobro posnemata principe delitve prihodka metode NTC. Pri njihju je prihodek odvisen od komercialnega pretoka in tržne cene ČPZ na meji in od razlik v ceni električne energije med sosednima tržnima območjema. Dobro se približata deležem prihodka po sedanjih metodi NTC, imata stabilne prihodke, nagrajujeta tiste SO, kjer prihaja do sistematičnih zamašitev v omrežju, in spodbujata SO k investiranju v nove prenosne zmogljivosti. Oba deloma nagrajujeta tudi tiste SO, ki imajo dobro razvito prenosno omrežje. Primeren je tudi ključ IAU, ki pri delitvi prihodka upošteva le deleže pretokov, ne pa tudi tržne vrednosti ČPZ.

Za SO ELES ima ključ ICP sicer največji delež prihodka, vendar ocenjujemo, da ta ključ nima možnosti implementacije v realnosti, saj ne upošteva količin trgovanja, ampak je odvisen le od števila mej in razlik v cenah električne energije. Podobno velja za ključ CP. Ocenjujemo, da so za SO ELES med analiziranimi ključi najprimernejši ključ IMAU, IAU_CP in IAU. Izmed necelovitih ključev, to so tisti, ki ne upoštevajo pretokov na zunanjih mejah regije Srednjevzhodna Evropa, pa ključ MAU, AU_CP in AU. Pri ključih z lastnostjo celovitosti opazimo za SO ELES tudi precejšnje povečanje deležev prihodka, v povprečju so za 10 odstotkov višje povprečne vrednosti, kot pri ključih, ki te lastnosti nimajo.

Analizo bo mogoče razširiti predvsem z natančnejšim izračunom matrik PTFD in z uporabo večje količine informacij glede na pričakovane ponudbe in povpraševanja na trgih v regiji Srednjevzhodna Evropa. Ponuja se tudi posplošitev, ugotovitev in analogna uporaba teh ključev v drugih regijah, kjer se pripravljajo regionalno dodeljevanje ČPZ na podlagi pretokov.

7 Literatura

- [1] Thilo K. (2005). Congestion management in Liberalized Electricity Markets – Theoretical Concepts and International Application, Zurich
- [2] Consentec and Frontier Economics. (2004). Analysis of Cross-Border Congestion Management Methods for the EU Internal Electricity Market. Study commissioned by the European Commission, Directorate-General Energy and Transport. Final report
- [3] Blaž Kladnik, Gašper Artač, Tomaž Štokelj, Andrej Gubina. (2010). Opis metode koordiniranega dodeljevanja čezmejnih prenosnih zmogljivosti na podlagi pretokov moči. Elektrotehniški vestnik. Volume 77. Number 5. Ljubljana 2010
- [4] ETSO. (2007). Regional Flow-Based Allocations (State of play). ETSO Final paper

- [5] Consentec and Frontier Economics. (2007). Concept of the Technical Parameters Calculation for the Flow-Based Capacity Allocation in the CEE Region
- [6] ETSO. (2008). Auction Income Sharing from Regional (Flow-based) Coordinated Allocations
- [7] ETSO. (2006). Flow Based Coordinated Auction Dry Run in SEE Region. ETSO Report for the 8th Athens Forum
- [8] Uredba(ES) št. 1228/2003 Evropskega parlamenta in sveta z dne 26. junija 2003 o pogojih za dostop do omrežja za čezmejne izmenjave električne energije. Uradni list Evropske unije z dne 15. 7. 2003
- [9] Priloga k Uredbi (ES) (št. 1228/2003) 2006/770/ES, Sklep komisije z dne 9. novembra 2006 o spremembi Priloge k Uredbi(ES) št. 1228/2003 o pogojih za dostop do omrežja za čezmejne izmenjave električne energije. Uradni list Evropske unije z dne 11. 11. 2006, str. 59–65
- [10] Direktiva (ES) št. 2003/54 Evropskega parlamenta in sveta z dne 26. junija 2003 o skupnih pravilih za notranji trg z električno energijo in o razveljavitvi Direktive (ES) št. 96/92
- [11] Jamnikar, T. (2008). Delitev prihodkov pri dodeljevanju čezmejnih prenosnih zmogljivosti na podlagi pretokov z uporabo ekonomskih kriterijev. Diplomsko delo
- [12] Aurélie D. (2007). Capacity Allocation Using the Flow-Based Method. Master of Science thesis

Gašper Artač je diplomiral leta 2008 na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Je mladi raziskovalec iz gospodarstva pri podjetju GEN-I, d.o.o. Njegovo področje raziskovanja obsega načrtovanje proizvodnje, zadostnost elektroenergetskega sistema in ekonomika v elektroenergetiki.

Blaž Kladnik je diplomiral leta 2008 na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani. Je mladi raziskovalec iz gospodarstva pri podjetju HSE, d.o.o. Njegovo področje raziskovanja obsega upravljanje odjema 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 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 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. Leta 2000 je bil kot Fulbrightov štipendist in gostujoči raziskovalec na MIT (Cambridge, ZDA). Med letoma 2002 in 2005 je zasnoval in vodil Oddelek upravljanja tveganj v Sektorju trženja na HSE, d.o.o. Je predstojnik Laboratorija za energetske strategije, UL FE. V letih 2008 in 2009 je bil tudi član Electricity Research Centra, University College Dublin (Irski). Njegovo raziskovalno področje obsega deregulacijo in ekonomiko EES, načrtovanje proizvodnje, obvladovanje tveganj, gospodarjenje s sredstvi EES ter obnovljive vire električne energije–trženje in regulativo.