



## UNAPREĐENA METODOLOGIJA ZA REŠAVANJE KRATKOROČNE NEADEKVATNOSTI

DUŠAN PREŠIĆ\*<sup>1</sup>  
ANDRIJANA ĐALOVIĆ<sup>1</sup>  
DUŠAN VLAISAVLJEVIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>CENTAR ZA KOORDINACIJU SIGURNOSTI SCC D.O.O. BEOGRAD

<sup>2</sup>ELEKTROENERGETSKI KOORDINACIONI CENTAR

BEOGRAD

REPUBLIKA SRBIJA

*Kratak sadržaj* — Prognoza kratkoročne adekvatnosti je ENTSO-E projekat koji ima za cilj da odredi da li proizvodni kapacitet neke zemlje i njene mogućnosti za uvozom mogu da zadovolje njenu prognoziranu potrošnju, posmatrano na panevropskom nivou. U slučaju nezadovoljene adekvatnosti na panevropskom nivou, regionalni koordinatori sigurnosti treba da sprovedu procenu adekvatnosti i na regionalnom nivou, fokusirajući se pritom na konkretnu oblast za koju je detektovana neadekvatnost.

U okviru Horizon 2020 projekta CROSSBOW, SCC je u saradnji sa bugarskim operatorom prenosnog sistema ESO EAD razvio metodologiju za detekciju i rešavanje kratkoročne neadekvatnosti u regionu Jugoistočne Evrope, dok se unapređenje pomenute metodologije sprovodi kroz aktuelni Horizon 2020 projekat TRINITY.

Cilj ovog rada je da prikaže unapređenu TRINITY metodologiju za rešavanje kratkoročne neadekvatnosti na regionalnom nivou, fokusirajući se pritom na razlike u odnosu na metodologiju koja je razvijena u okviru CROSSBOW projekta. U radu su takođe prikazani rezultati primene osnovne CROSSBOW i unapređene TRINITY metodologije na realnom primeru iz regiona Jugoistočne Evrope.

*Ključne reči* — neadekvatnost, optimizacija, transakcija

---

\* [dusan.presic@scc-rsci.com](mailto:dusan.presic@scc-rsci.com)

## 1. UVOD

Prognoza kratkoročne adekvatnosti (Short Term Adequacy – STA) je ENTSO-E projekat koji ima za cilj da odredi da li proizvodni kapacitet neke zemlje i njene mogućnosti za uvoz mogu da zadovolje prognoziranu potrošnju. Trenutno se prognoza adekvatnosti radi na panevropskom nivou, svakog dana za sledećih sedam dana. U slučaju nezadovoljene adekvatnosti na panevropskom nivou, regionalni koordinatori sigurnosti (Regional Security Coordinators – RSCs) treba da sprovedu procenu adekvatnosti i na regionalnom nivou, fokusirajući se pritom na konkretnu oblast za koju je detektovana neadekvatnost. [1]

U okviru Horizon 2020 projekta CROSSBOW, SCC je u saradnji sa bugarskim operatorom prenosnog sistema ESO EAD razvio metodologiju za rešavanje neadekvatnosti u regionu Jugoistočne Evrope (JIE) – u daljem tekstu „CB metodologija“. Predložena metodologija se sastoji iz dva dela: modelovanje indikatora adekvatnosti probabilističkim principom (razvio ESO EAD), dok drugi deo metodologije predstavlja algoritam za određivanje optimalnih transakcija u cilju rešavanja neadekvatnosti (razvio SCC) – u daljem tekstu „CB algoritam“. Pored razvoja metodologije, u okviru CROSSBOW projekta je izvršen i razvoj alata od strane španske kompanije ETRA.

CB metodologija je detaljno objašnjena u okviru postojećeg Cigre rada [2]. Kako njen prvi deo, vezan za modelovanje indikatora adekvatnosti probabilističkim principom, nije unapređivan, on neće ni biti tema ovog rada. Sa druge strane, unapređenje CB algoritma se sprovodi kroz aktuelni Horizon 2020 projekat TRINITY, te će ono detaljno biti objašnjeno u ovom radu – u daljem tekstu „TY algoritam“.

U Poglavlju 2 biće opisana unapređenja TY algoritma u odnosu na CB algoritam. Ulazni podaci potrebni za sprovođenje TY algoritma biće opisani u Poglavlju 3. U Poglavlju 4 ovog rada opisan je TY algoritam za određivanje optimalnih transakcija u cilju rešavanja neadekvatnosti na regionalnom nivou. U Poglavlju 5 će biti prikazani rezultati primene CB i TY algoritma na realnom primeru, za slučaj nezadovoljene adekvatnosti u tri biding zone JIE istovremeno: Srbiji, Crnoj Gori i Sloveniji.

## 2. UNAPREĐENJA TY ALGORITMA U ODNOSU NA CB ALGORITAM

CB algoritam je baziran na analizama osetljivosti mreže, gde se za optimalno rešenje bira onaj skup transakcija koji najmanje uvećava ukupan tok aktivne snage po interkonektivnim dalekovodima JIE [2]. Izbor baš ovakve optimizacione funkcije se može opravdati namerom autora da se odredi skup optimalnih transakcija koje rešavaju potencijalnu neadekvatnost, a koje pri tom minimalno opterećuju interkonektivne dalekovode regiona, kako bi što više prenosnog kapaciteta ostalo za tržišne transakcije [2]. Međutim, prilikom revizije CROSSBOW projekta od strane nezavisnih tehničkih eksperata Evropske komisije, ovaj pristup rešavanja neadekvatnosti nije ocenjen kao najbolje primenjeno rešenje, jer u sebi nije sadržao tržišne elemente. Slični komentari su dobijeni i od eksperata ENTSO-E STA projektnog tima kada im je polovinom 2019. godine CB metodologija predstavljena u sklopu diseminacije CROSSBOW projekta.

Stoga je SCC, u saradnji sa EKC-om, u okviru TRINITY projekta razvio sledeća unapređenja TY algoritma u odnosu na CB algoritam:

- uzimanje u obzir različitih tipova proizvodnje prilikom sprovođenja analiza osetljivosti mreže;
- primena pseudo-troškova za korišćenje prenosnih kapaciteta na interkonekcijama datog regiona, kao i pseudo-troškova za angažovanje pojedinih tipova proizvodnje;
- mogućnost korišćenja vrednosti raspoloživih prenosnih kapaciteta (Available Transfer Capacity – ATC) za granice JIE umesto vrednosti preostalog prenosnog kapaciteta (Remaining Available Margin – RAM) za interkonektivne dalekovode JIE.

Treba napomenuti da su prva dva unapređenja značajna, jer suštinski menjaju objektnu funkciju CB algoritma, jer se kod TY algoritma za optimalno rešenje bira onaj skup generatora koji ima najmanju cenu proizvodnje i transporta električne energije prilikom rešavanja potencijalne neadekvatnosti. Takođe, uvažavanjem različitih tipova proizvodnje u optimizacionoj funkciji, stvara se mogućnost da se optimizacija sprovede čak na nivou proizvodne jedinice.

### 3. ULAZNI PODACI TY ALGORITMA

Indikator adekvatnosti je očekivana satna vrednost preostalog/nedovoljnog proizvodnog kapaciteta (Expected Remaining/Insufficient Capacity – ERIC) i predstavlja vrednost proizvodnog kapaciteta (u MW-ima) koji bidding zona  $i$  može da izveze a da pri tom ostane adekvatna, odnosno vrednost kapaciteta koji bidding zona  $i$  mora da uveze da bi zadovoljila granični kriterijum adekvatnosti ( $ERIC_i$ ).  $ERIC_i$  vrednosti su proračunate primenom CB metodologije [2].

S obzirom da TY algoritam uvažava optimizaciju različitih tipova proizvodnje, potrebno je sve pozitivne  $ERIC_i$  vrednosti raščlaniti na vrednosti koje odgovaraju svakom od tipova proizvodnje date bidding zone ( $ERIC_i^g$ ). Neka su date sledeće veličine:

- $M$  – broj bidding zona u datom regionu;
- $C$  – broj bidding zona u datom regionu za dati sat za koje važi  $ERIC_k < 0, k \in \{1, 2, \dots, C\}$ ;
- $N$  – broj bidding zona u datom regionu za dati sat za koje važi  $ERIC_i \geq 0, i \in \{1, 2, \dots, N\}$ ;
- $G$  – broj tipova proizvodnje koji su definisani za svaku bidding zonu u datom regionu.

Pozitivna  $ERIC_i$  vrednost se može raščlaniti na pojedinačne  $ERIC_i^g$  vrednosti srazmerno učešću matematičkog očekivanja raspoloživog kapaciteta proizvodnog tipa ( $M_i^g$ ) u matematičkom očekivanju ukupnog raspoloživog proizvodnog kapaciteta ( $M_i^{sys}$ ), kao što je dato sledećom relacijom:

$$ERIC_i^g = \frac{M_i^g}{M_i^{sys}} \cdot ERIC_i \quad (1)$$

$ERIC_i^g$  vrednosti se proračunavaju primenom CB metodologije i autorima su dostupne kao gotov proizvod koji se dalje koristi u procesu određivanja optimalnih angažovanja pojedinih tipova proizvodnje u cilju rešavanja neadekvatnosti. Pored određivanja  $ERIC_i^g$  vrednosti, ulazni podaci TY algoritma su (biće dodatno objašnjeni u Poglavlju 4):

- faktori raspodele tokova aktivnih snaga određeni za svaki tip proizvodnje na osnovu analize osetljivosti sistema;
- vrednosti jediničnih troškova transakcija na granicama/dalekovodima;
- vrednosti jediničnih troškova angažovanja određenog tipa proizvodnje za bidding zone koje učestvuju u procesu optimizacije;
- ATC/RAM vrednosti (u zavisnosti da li se optimizacija vrši na nivou granice ili interkonektivnog dalekovoda);
- apsolutna vrednost nedovoljnog proizvodnog kapaciteta regiona;
- $K_T$  i  $K_G$  težinski faktori u okviru optimizacione funkcije.

### 4. TY ALGORITAM

Kao i u slučaju CB algoritma, TY algoritam se sastoji iz tri koraka [2]:

- Analiza osetljivosti sistema;
- Optimizacija modela adekvatnosti;
- Provera kriterijuma sigurnosti.

Prva dva koraka će biti detaljnije opisana u narednim potpoglavljima. Treći korak se odnosi na sprovođenje analiza sigurnosti na odgovarajućim mrežnim modelima na kojima su primenjene mere za rešavanje neadekvatnosti određene u drugom koraku. Kako su analize sigurnosti jedna od funkcija koje RSC-i sprovode u okviru svojih operativnih aktivnosti, one u ovoj fazi razvoja algoritma nisu rađene te ovde neće ni biti detaljnije opisivane [2].

#### 4.1 Analiza osetljivosti sistema

U okviru CB algoritma, u koraku analize osetljivosti sistema, proračunavaju se dva skupa podataka [2]:

- faktori raspodele tokova aktivnih snaga (Power Transfer Distribution Factor – *PTDF*);
- vrednosti preostalog prenosnog kapaciteta (Remaining Available Margin – *RAM*).

*PTDF* vrednost mrežnog elementa je faktor osetljivosti koji pokazuje uticaj komercijalnih razmena na tok aktivne snage po tom mrežnom elementu. Ona se proračunava kao odnos razlike toka aktivne snage pre i posle simulirane transakcije između dve oblasti i vrednosti date simulirane transakcije [3]. Transakcija se simulira povećanjem proizvodnje u oblasti koja izvozi i smanjenjem proizvodnje u oblasti koja uvozi. Promena proizvodnje i na strani izvoza i na strani uvoza se vrši tako da bude srazmerna vrednosti angažovanja u baznom stanju modela [2].

U okviru TY algoritma, u analizama osetljivosti mreže proračunavaju se *PTDF* i *RAM* vrednosti na isti način koji je opisan u okviru CB algoritma, ali ovog puta uzimajući u obzir različite tipove proizvodnje. Naime, u biding zoni za koju važi  $ERIC_i \geq 0$  detektuju se elektrane koje pripadaju datom tipu proizvodnje  $g$ . Zatim se simulira transakcija iz date biding zone  $i$  u *HUB* povećanjem proizvodnje samo za elektrane koje pripadaju pomenutom tipu proizvodnje  $g$ . Ovaj proces se sprovodi za svih  $N$  biding zona i za sve tipove proizvodnje  $G$ , što znači da je ukupan broj *PTDF* proračuna  $N \cdot G$ . Tokom svih ovih *PTDF* proračuna, neophodno je simulirati transakcije tako da svaka *HUB* biding zona ima uvoz proporcionalan koeficijentu neadekvatnosti ( $U_k$ ), koji je dat sledećom relacijom:

$$U_k = \frac{ERIC_k}{TIC} \cdot 100\%, k = \{1, 2, \dots, C\}, \quad (2)$$

gde *TIC* (Total Insufficient Capacity) predstavlja apsolutnu vrednost ukupnog očekivanog nedovoljnog proizvodnog kapaciteta regiona [2].

#### 4.2 Optimizacija modela adekvatnosti

Neka je sa  $L$  dat ukupan broj posmatranih bilateralnih granica, odnosno interkonektivnih dalekovoda u JIE. Ova vrednost ima dvojako značenje u zavisnosti od toga da li korisnik algoritma u procesu optimizacije koristi *ATC* ili *RAM* vrednosti za ograničenje transakcija. Ako se koriste *ATC* vrednosti onda je  $L$  broj posmatranih bilateralnih granica, a ako se koriste *RAM* vrednosti onda je  $L$  broj posmatranih interkonektivnih dalekovoda. U svakom slučaju, model adekvatnosti je dat relacijom:

$$\Delta F_{[L,1]} = W_{TOT[L,N \cdot G]} \times X_{gen[N \cdot G,1]}, \quad (3)$$

gde je:

- $\Delta F_{[L,1]} = [\Delta f_1, \Delta f_2, \dots, \Delta f_j, \dots, \Delta f_L]^T$  – vektor kolona promena tokova aktivnih snaga po posmatranim granicama/dalekovodima JIE izazvanih transakcijama u cilju rešavanja neadekvatnosti;
- $W_{TOT[L,N \cdot G]} = [W^1, W^2, \dots, W^g, \dots, W^G]$  – matrica *PTDF* vrednosti za posmatrane granice/dalekovode JIE, uzimajući u obzir različite tipove proizvodnje  $g$  prilikom simuliranja transakcije iz biding zone  $i$  u *HUB*, pri čemu je:

$$W^g_{[L,N]} = \begin{bmatrix} PTDF_{11}^g & PTDF_{12}^g & \dots & PTDF_{1N}^g \\ PTDF_{21}^g & PTDF_{22}^g & \dots & PTDF_{2N}^g \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ PTDF_{L1}^g & PTDF_{L2}^g & \dots & PTDF_{LN}^g \end{bmatrix} \quad (4)$$

- $X_{gen[N \cdot G,1]} = [X^1, X^2, \dots, X^g, \dots, X^G]^T$  – vektor kolona angažovanja predefinisano tipa proizvodnje  $g$  iz date biding zone  $i$ , pri čemu je:

$$X^g_{[N,1]} = [x_1^g, x_2^g, \dots, x_i^g, \dots, x_N^g]^T \quad (5)$$

Cilj optimizacije je da se odredi optimalno angažovanje (izraženo u MW) svih predefinisanih tipova proizvodnje  $g$  po biding zonama  $i$ , koje rešava problem neadekvatnosti na regionalnom nivou minimizacijom ponderisanih suma troškova proizvodnje i prenosa aktivne snage. Ako je  $K_G$  težinski faktor za favorizaciju troškova angažovanja proizvodnje, a  $K_T$  težinski faktor za favorizaciju troškova transakcija na svim granicama/dalekovodima, tada je objektna funkcija optimizacije data relacijom:

$$\min\{K_G \cdot C_G + K_T \cdot C_T\}, K_G + K_T = 100\% \quad (6)$$

Troškovi angažovanja proizvodnje ( $C_G$ ) predstavljaju vektorski proizvod jedinične cene angažovanja predefinisano tipa proizvodnje  $g$  u datoj biding zoni  $i$  ( $pg_i^g$ ) i vrednosti angažovanja proizvodnje istog predefinisano tipa  $g$  za istu biding zonu  $i$  ( $x_i^g$ ), a data je relacijom:

$$C_G = PG_{[1,N \cdot G]} \times X_{gen[N \cdot G, 1]}, \quad (7)$$

gde je  $PG_{[1,N \cdot G]} = [pg_1^1, pg_2^1, \dots, pg_i^g, \dots, pg_N^G]$  – vektor jediničnih troškova angažovanja određenog tipa proizvodnje za biding zone koje učestvuju u procesu optimizacije [€/MW].

Troškovi transakcija na svim posmatranim granicama/dalekovodima ( $C_T$ ) predstavljaju vektorski proizvod jedinične cene transakcije na određenoj granici/dalekovodu  $j$  ( $pt_j$ ) i apsolutne promene toka aktivne snage na istoj granici/dalekovodu  $j$  ( $\Delta f_j$ ), a data je relacijom:

$$C_T = PT_{[1,L]} \times |\Delta F_{[L,1]}|, \quad (8)$$

gde je  $PT_{[1,L]} = [pt_1, pt_2, \dots, pt_j, \dots, pt_L]$  – vektor jediničnih troškova transakcija na granicama/dalekovodima [€/MW].

Optimalno rešenje minimizacione funkcije (6) treba da zadovolji jedan uslov po tipu jednakosti opisan relacijom (9) i tri skupa uslova po tipu nejednakosti opisanih relacijama (10), (11) i (12):

$$\sum_{i=1}^N \sum_{g=1}^G x_i^g = TIC \quad (9)$$

$$0 \leq x_i^g \leq ERIC_i^g, \forall i = 1, 2, \dots, N \wedge \forall g = 1, 2, \dots, G \quad (10)$$

$$\begin{cases} \Delta f_j \leq ATC_j^+, j = 1, 2, \dots, L \wedge L \equiv \text{granice} \\ \Delta f_j \leq RAM_j^+, j = 1, 2, \dots, L \wedge L \equiv \text{interkonektivni dalekovod} \end{cases} \quad (11)$$

$$\begin{cases} \Delta f_j \geq -ATC_j^-, j = 1, 2, \dots, L \wedge L \equiv \text{granice} \\ \Delta f_j \geq -RAM_j^-, j = 1, 2, \dots, L \wedge L \equiv \text{interkonektivni dalekovod} \end{cases} \quad (12)$$

Za slučaj da  $L$  predstavlja granice,  $ATC_j^+$  predstavlja  $ATC$  vrednost na datoj granici u smeru koji odgovara usmerenju granice, dok  $ATC_j^-$  predstavlja  $ATC$  vrednost na datoj granici u smeru koji je suprotan od usmerenja granice ( $ATC_j^-$  se uvek predstavlja kao pozitivna vrednost). Isto objašnjenje važi i za slučaj da  $L$  predstavlja interkonektivne dalekovode. Uslovi (11) i (12) su neophodni zbog činjenice da tok aktivne snage po granici  $j$  u cilju rešavanja neadekvatnosti može da bude negativan.

## 5. REZULTATI PRIMENE TY ALGORITMA ZA REŠAVANJE NEADEKVATNOSTI

Tokom januara i februara 2020. godine, SCC je u saradnji sa kompanijom ESO EAD izvršio preliminaru demonstraciju CB metodologije u skladu sa zahtevima CROSSBOW projekta. Tom prilikom su proračunate  $ERIC$  vrednosti za 6 nedelja, pri čemu su svi rezultati javno dostupni [4]. Za potrebe ovog rada, kako bi mogla da se izvrši uporedna analiza CB i TY algoritma, uzet je slučaj procene adekvatnosti za 18. sat dana 04.03.2020. godine (sreda), kada je detektovana neadekvatnost u 3 biding zone: Srbiji (-160MW), Crnoj Gori (-135MW) i Sloveniji (-853MW). Ukupan nedovoljni proizvodni kapacitet regiona se dobija sumom apsolutnih vrednosti svih negativnih  $ERIC$  vrednosti za dati sat, te iznosi:  $TIC = 1148MW$ .

Kao i u CB algoritmu, ukupan broj biding zona koje čine JIE je 11 ( $M = 11$ ), tj. region čine prenosni sistemi sledećih država: AL, BA, BG, GR, HR, HU, ME, MK, RO, RS i SI. S obzirom da je neadekvatnost u datom satu detektovana za 3 biding zone ( $C = 3$ ), broj potencijalnih biding zona koje bi mogle izvozom aktivne snage da pomognu rešavanje neadekvatnosti je 8 ( $N = M - C = 8$ ).

Za potrebe TY algoritma, uočeno je 5 tipova proizvodnje ( $G = 5$ ) kao dominantni u JIE: nuklearne elektrane (NUK), elektrane na fosilna goriva (FOS), gasne elektrane (GAS), hidroelektrane (HID) i obnovljivi izvori energije (OIE).

S obzirom na to da je CROSSBOW preliminarna demonstracija rađena u petak 28.02.2020. godine za 7 dana unapred, za potrebe *PTDF* proračuna idealno bi bilo koristi objedinjeni mrežni model prognoziranog stanja Kontinentalne Evrope za 5 dana unapred. Međutim, kako izrada takvog modela još uvek nije uspostavljena, korišćen je objedinjeni mrežni model prognoziranog stanja Kontinentalne Evrope od srede 26.02.2020. godine, jer je pretpostavljeno da će on bolje predstaviti stanje sistema na dan 04.03.2020. od objedinjenog mrežnog modela za subotu 29.02.2020, koji je datog petka bio dostupan kao model sa najdaljim horizontom prognoze. Isti mrežni model je korišćen i u TY algoritmu, da bi se održala konzistentnost ulaznih podataka.

### 5.1 Usporedna analiza rezultata CB algoritma i rezultata TY algoritma sa CB podešenjima

Prvi korak u analizi rezultata TY algoritma bio je da se izvrši poređenje rezultata CB algoritma i rezultata TY algoritma sa CB podešenjima. Naime, ukoliko se podese vrednosti  $K_G = 0$  i  $PT_{[1,L]} = 1$ , a za ograničenja u relacijama (11) i (12) se koriste *RAM* vrednosti iz CB algoritma, objektna funkcija TY algoritma se svodi na objektnu funkciju CB algoritma, pa se očekivalo da ovako podešen TY algoritam odredi isto optimalno rešenje kao i CB algoritam. *PTDF* vrednosti su u okviru TY algoritma sa CB podešenjima proračunate za svih  $N$  biding zona i svih  $G$  tipova proizvodnje na svih 86 interkonektivnih dalekovoda JIE (naponskih nivoa 400kV, 200kV i 110kV), koliko je dostupno u datom mrežnom modelu ( $L = 86$ ). Tabela 1 prikazuje originalne rezultate optimizacije CB algoritma ( $X_{CB}$ ) i rezultate TY algoritma sa datim CB podešenjima ( $X_{TY-CB}$ ), pri čemu su *ERIC* vrednosti u oba slučaja iste.

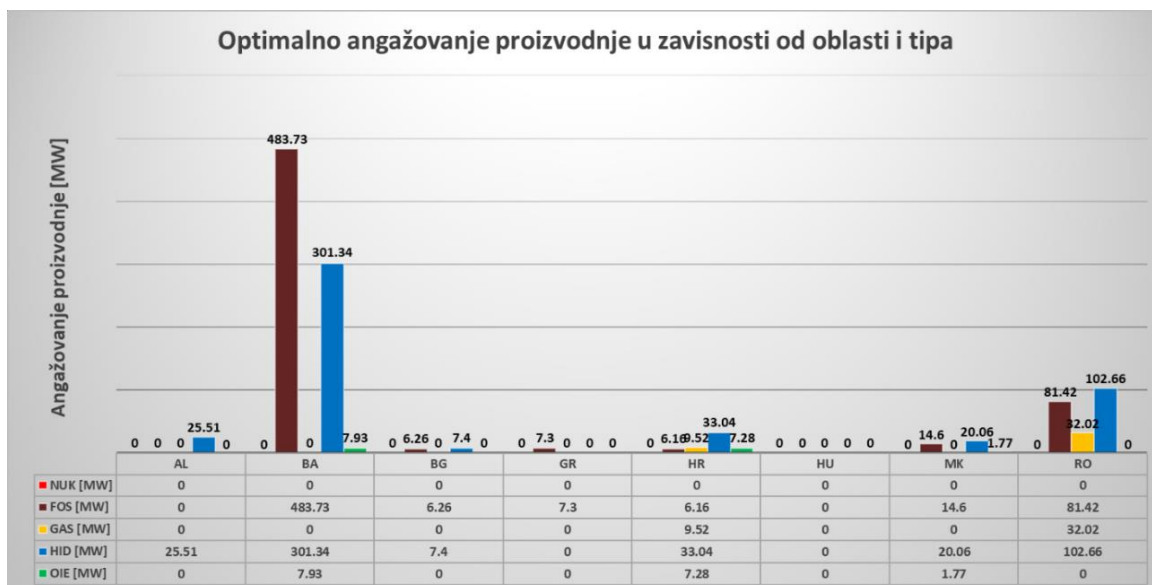
Tabela 1: Poređenje rezultata CB algoritma i rezultata TY algoritma sa CB podešenjima

| Izvoz  | $X_{CB}[MW]$ | $X_{TY-CB}[MW]$ | <i>ERIC</i> [MW] |
|--------|--------------|-----------------|------------------|
| AL→HUB | 32,51        | 25,51           | 670              |
| BA→HUB | 793          | 793             | 793              |
| BG→HUB | 0            | 13,66           | 965              |
| GR→HUB | 10,37        | 7,3             | 1346             |
| HR→HUB | 56           | 56              | 56               |
| HU→HUB | 0            | 0               | 0                |
| MK→HUB | 32,22        | 36,43           | 59               |
| RO→HUB | 223,89       | 216,1           | 354              |

Iz priložene tabele se može videti da su rezultati datih optimizacija približno isti – razlike u optimalnim rešenjima se pripisuju činjenici da se u ova dva algoritma različito vrši *PTDF* proračun. Naime, dok se u CB algoritmu pri proračunu *PTDF* vrednosti vrši pomeranje proizvodnje čitavih biding zona, u TY algoritmu se vrši pomeranje proizvodnje po tipovima u svakoj biding zoni. Iz tog razloga iste elektrane dobijaju različite faktore učešća prilikom izvoza u HUB, što kasnije u manjoj meri utiče na optimalno rešenje.

Zanimljivo je napomenuti da je optimalno rešenje dobijeno TY algoritmom sa CB podešenjima ipak neznatno bolje u odnosu na optimalno rešenje dobijeno originalnim CB algoritmom, jer je ukupna promena tokova aktivnih snaga po svim posmatranim interkonektivnim dalekovodima (Total Increase of Flow – TIF) manja ( $TIF_{CB} = 2544,26MW$  dok je  $TIF_{TY-CB} = 2518,07MW$ ). To znači da TY algoritam daje bolja rešenja čak i kada je podešen sa CB parametrima.

Slika 1 prikazuje raspodelu optimalnog rešenja TY algoritma sa CB podešenjima u zavisnosti od tipa proizvodnje i biding zone. Sa datog grafika se može uočiti da su dominantni tipovi proizvodnje koji učestvuju u procesu rešavanja potencijalne neadekvatnosti FOS i HID, dok OIE gotovo da nema u optimalnom rešenju.



**Slika 1: Optimalno angažovanje proizvodnje u zavisnosti od biding zone i tipa za TY algoritam sa CB podešenjima**

Rezultati datog optimalnog rešenja su prikazani i na Slici 2, gde se pored procentualnog udela angažovanja svakog tipa po biding zonama, može videti i povećanje tokova aktivnih snaga po granicama kao posledica rešavanja potencijalne neadekvatnosti. Na datoj mapi zanimljivo je uočiti da značajan tok aktivne snage u SI (269,06MW) dolazi preko granica koje nisu deo JIE regiona (IT-SI i AT-SI), što znači da u datom scenariju postoje značajni kružni tokovi snaga koji idu van JIE regiona da bi se rešio problem neadekvatnosti detektovan u JIE. Takođe, treba uočiti da sve biding zone učestvuju u optimalnom rešenju, osim HU koja je granično adekvatna ( $ERIC_{HU} = 0$ ).



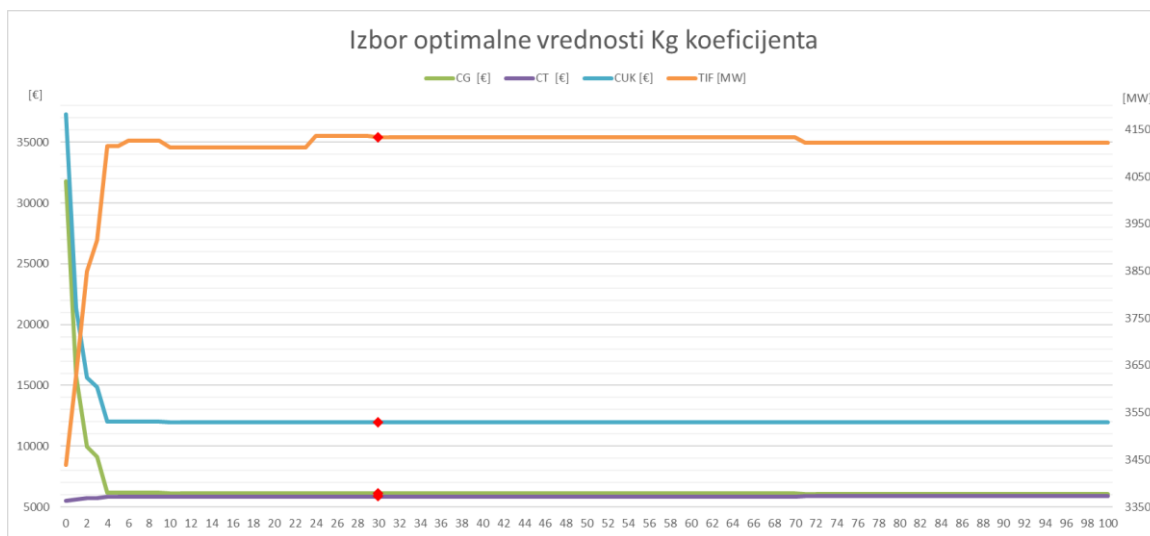
**Slika 2: Geografski prikaz povećanja tokova aktivnih snaga po granicama kao i optimalnog angažovanja (i procentualne raspodele po tipovima proizvodnje) svake od adekvatnih biding zona prilikom rešavanja potencijalne neadekvatnosti korišćenjem TY algoritma sa CB podešenjima**

## 5.2 Rezultati unapređenog TY algoritma

Kao što je to ranije opisano, primena TY algoritma zahteva korišćenje dodatnog skupa ulaznih podataka:

- $ERIC_i^g$  vrednosti su određene na osnovu rezultata CB metodologije;
- $PTDF$  vrednosti su u okviru TY algoritma proračunate za svih  $N$  bidding zona i svih  $G$  tipova proizvodnje na svih 86 interkonektivnih dalekovoda JIE (naponskih nivoa 400kV, 200kV i 110kV), koliko je dostupno u datom mrežnom modelu. Međutim, odlukom autora u cilju prikazivanja nove funkcionalnosti, TY algoritam je testiran korišćenjem dostupnih  $ATC$  vrednosti, koje su preuzete sa sajtova koordinisanih aukcijskih kuća SEE CAO [5] i JAO [6]. Iz tog razloga je izvršeno sumiranje  $PTDF$  vrednosti na 24 granica JIE ( $L = 24$ ), što je bilo moguće s obzirom da je  $PTDF$  proračun izvršen korišćenjem DC metoda proračuna tokova snaga.
- $PG_{[1,N;G]}$  vrednosti su određene u skladu sa SRMC (Short Run Marginal Costs) pristupom na osnovu dostupnih izvora [7] i [8] u skladu sa subjektivnom procenom autora, s obzirom da nije postojao drugi način da se dođe do jediničnih cena proizvodnje po datim tipovima i datim državama regiona.
- $PT_{[1,L]}$  vrednosti su preuzete sa sajtova koordinisanih aukcijskih kuća SEE CAO [5] i JAO [6].

Kada se uvrste svi pomenuti ulazni podaci, jedina podesiva nezavisna ulazna veličina koju korisnik TY algoritma može da bira je faktor  $K_G$ , s obzirom da je onda faktor  $K_T$  zavisna promenljiva prema relaciji (6). Da bi korisnik znao koja  $K_G$  vrednost daje najbolje rezultate sa stanovišta troškova, u okviru ovog rada je izvršena analiza osetljivosti ukupne cene optimalnog rešenja ( $C_{UK}$ ) u zavisnosti od promene  $K_G$ . Inače, cena optimalnog rešenja ( $C_{UK}$ ) predstavlja sumu troškova angažovanja proizvodnje ( $C_G$ ) i troškova transakcija na svim posmatranim granicama ( $C_T$ ), i u pomenutoj analizi osetljivosti predstavlja svojevrsnu objektu funkciju. Slika 3 prikazuje promenu  $C_{UK}$ ,  $C_G$ ,  $C_T$  i  $TIF$  vrednosti za sve moguće vrednosti  $K_G$  faktora.



Slika 3 Izbor optimalne vrednosti  $K_G$  koeficijenta

Sa date slike se može uočiti da je za male vrednosti  $K_G$  faktora  $C_{UK}$  dosta veliki, jer se u toj oblasti optimizacija dominantno vrši na osnovu  $C_T$  sabirka objektne funkcije. Kako  $K_G$  raste,  $C_G$  sabirak objektne funkcije postaje sve dominantniji, te  $C_{UK}$  opada. Sa druge strane  $TIF$  znatno raste, jer  $C_T$  sabirak objektne funkcije ima sve manje na značaju. Minimalna  $C_{UK}$  vrednost se postiže pri  $30\% \leq K_G \leq 72\%$ , jer tada TY algoritam daje isto optimalno rešenje bez obzira na vrednost  $K_G$  faktora. Za  $K_G > 72\%$  dobijaju se rešenja sa neznatno većim  $C_{UK}$  od minimalnog.

Da bi korisnik imao predstavu koja je najbolja vrednost  $K_G$  faktora da bi  $C_{UK}$  bilo minimalno, opisana analiza osetljivosti mora da se sprovede na velikom broju sati u kojima je predviđena neadekvatnost. Za potrebe ovog rada to se nije radilo, pa su usvojene vrednosti:  $K_G = 30\%$  i  $K_T = 100\% - K_G = 70\%$ .



Slika 4 prikazuje raspodelu optimalnog rešenja TY algoritma u zavisnosti od tipa proizvodnje. Sa datog grafika se može uočiti da su dominantni tipovi proizvodnje koji učestvuju u procesu rešavanja potencijalne neadekvatnosti HID i OIE, dok FOS i GAS nema u optimalnom rešenju. Zanimljivo je uočiti da kod RO postoji značajno NUK angažovanje.



**Slika 4: Optimalno angažovanje proizvodnje u zavisnosti od biding zone i tipa za TY algoritam**

Rezultati datog optimalnog rešenja su dati i na Slici 5 gde se pored procentualnog udela angažovanja svakog tipa po biding zonama, može videti i povećanje tokova aktivnih snaga po granicama kao posledica rešavanja potencijalne neadekvatnosti. Zanimljivo je uočiti da u optimalnom rešenju pored HU, ne učestvuje ni HR iako je  $ERIC_{HR} > 0$ . Ovo se može objasniti činjenicom da blizina HUB-u više nije bitan faktor u objektnoj funkciji TY algoritma, pa potencijalnu neadekvatnost dominantno rešava angažovanje geografski udaljenijih elektrana koje imaju manju cenu angažovanja.



**Slika 5: Geografski prikaz povećanja tokova aktivnih snaga po granicama kao i optimalnog angažovanja (i procentualne raspodele po tipovima proizvodnje) svake od adekvatnih biding zona prilikom rešavanja potencijalne neadekvatnosti korišćenjem TY algoritma**

Najznačajniji parametri optimalnog rešenja dobijenog TY algoritmom sa CB podešenjima i unapređenim TY algoritmom prikazani su u Tabeli 2. Kao što je i očekivano,  $TIF$  vrednost je značajno veća kod TY algoritma u odnosu na TY algoritam sa CB podešenjima, jer troškovi transporta za 30% manje učestvuju u objektnoj funkciji. Sa druge strane, optimalno rešenje dobijeno TY algoritmom ostvaruje značajne uštede po pitanju ukupnih troškova, jer je  $C_G$  za okvirno 20 000 € manje kod optimalnog rešenja dobijenog TY algoritmom u odnosu na rešenje dobijeno TY algoritmom sa CB podešenjima.

**Tabela 2: Usporedni prikaz parametara optimalnog rešenja dobijenog TY algoritmom sa CB podešenjima (TY-CB kolona) i unapređenim TY algoritmom (TY kolona)**

| Parametri    | TY-CB     | TY        |
|--------------|-----------|-----------|
| $K_G$ [%]    | 0         | 30        |
| $K_T$ [%]    | 100       | 70        |
| $TIF$ [MW]   | 2 518,07  | 4 132,85  |
| $C_G$ [€]    | 26 084,58 | 6 092,76  |
| $C_T$ [€]    | 2 518,07  | 5 852,80  |
| $C_{UK}$ [€] | 28 602,65 | 11 945,56 |

## 6. ZAKLJUČAK

Pre svega, u radu je prikazano kako pravilnim izborom ulaznih podataka objektna funkcija TY algoritma može da se svede na objektnu funkciju CB algoritma, koja daje gotovo iste rezultate kao i CB algoritam. Potom, na osnovu uporedne analize optimalnih rešenja dobijenih CB i TY algoritmom, može se uočiti prednost TY algoritma, s obzirom da dolazi do značajnog smanjenja ukupnih troškova angažovanja i transakcija aktivne snage kojom se rešava potencijalna neadekvatnost. Pored pomenutog, prednost TY algoritma u odnosu na CB algoritam je i to što uvažavanjem tipova proizvodnje TY algoritam daje teorijsku mogućnost da se optimizacija sprovede čak na nivou proizvodne jedinice, gde ograničenje može predstavljati samo procesorska moć hardvera koji obavlja optimizaciju, s obzirom na veliki broj  $PTDF$  proračuna u datoj situaciji. Najzad, na datom primeru je prikazano da se minimizacijom ukupnih troškova proizvodnje i transakcija aktivnih snaga, dobija očekivano optimalno rešenje, odnosno da se zadovoljenje adekvatnosti postiže najvećim delom uvozom iz kontrolnih oblasti koje imaju na raspolaganju tipove proizvodnje sa jeftinijom cenom angažovanja.

## ZAHVALNICA

Rad je deo Horizon 2020 projekta TRINITY (*H2020-863874 Transmission system enhancement of regional borders by means of Intelligent market technology*). Ovaj dokument je urađen uz finansijsku pomoć Evropske Unije. Sadržaj ovog dokumenta je isključivo odgovornost autora i ni pod kojim okolnostima se ne može smatrati da odražava stav Evropske Unije.

## LITERATURA

- [1] “Methodology for Short-term and Seasonal Adequacy Assessments in accordance with Article 8 of Regulation (EU) 2019/941 of the European Parliament and of the Council on risk-preparedness in the electricity sector and repealing Directive 2005/89/EC”, mart 2020.
- [2] A. Đalović, B. Stamenković, M. Lukić, D. Prešić, „Rešavanje neadekvatnosti u regionu Jugoistočne Evrope”, 34. savetovanje CIGRE Srbija, Vrnjačka Banja, jun 2019.
- [3] “Documentation of the CWE FB MC solution”, CWE TSO-i, jun 2018
- [4] Rezultati RAA preliminarne demonstracije: <http://eso.bg/doc?crossbow>
- [5] Sajt aukcijske kuće SEE CAO: <https://www.seecao.com/>
- [6] Sajt aukcijske kuće JAO: <https://www.jao.eu/>
- [7] TYNDP 2020 Scenarios, ENTSO-E: <https://2020.entsos-tyndp-scenarios.eu/>
- [8] „A carbon pricing design for the Energy Community Final Report“, Kantor, E3M, januar 2021.

# IMPROVED METHODOLOGY FOR SOLVING SHORT-TERM INADEQUACY

DUŠAN PREŠIĆ\*<sup>1</sup>  
ANDRIJANA ĐALOVIĆ<sup>1</sup>  
DUŠAN VLAISAVLJEVIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>SECURITY COORDINATION CENTRE SCC LTD. BELGRADE

<sup>2</sup>ELECTRICITY COORDINATING CENTER LTD.

BELGRADE

REPUBLIC OF SERBIA

*Abstract* – Short-term adequacy forecast is ENTSO-E project established on Pan-European level with a goal to determine if available generation capacity of certain area and import from other areas meet the forecasted load of that area. In case that unsatisfied adequacy is determined on Pan-European level, regional security coordinators should apply methodologies for regional adequacy assessments, focusing on specific area with detected inadequacy.

Within Horizon 2020 project CROSSBOW, SCC is in cooperation with Bulgarian transmission system operator ESO EAD developed methodology for detection and solving of short-term inadequacy in South East Europe, while improvement of mention methodology is performed within Horizon 2020 project TRINITY.

Aim of this paper is to show improved TRINITY methodology for solving short-term inadequacy on regional level, focusing on differences between it and same methodology developed within CROSSBOW project. Based on realistic example from South East Europe, results of starting CROSSBOW and improved TRINITY methodology are also presented in this paper.

*Key words* – Inadequacy, Optimisation, Transaction

---

\* [dusan.presic@scc-rsci.com](mailto:dusan.presic@scc-rsci.com)