

Izbor agregata i ekonomski dispečing u prisustvu obnovljivih izvora energije

Dorđe Lazović

Student drugog ciklusa studija
Univerzitet u Beogradu, Elektrotehnički fakultet
Beograd, Srbija
lazovicdj94@gmail.com

Sažetak— Porast brige oko klimatskih promena u svetu, sve veći nedostatak fosilnih energetske resursa i sve veća potreba za održivijom energetskom mrežom, doveli su do porasta instalisane snage obnovljivih izvora energije (OIE) u elektroenergetskim sistemima. Povećanjem udela obnovljive energije javlja se potreba za izučavanjem njihovog uticaja na eksploataciju i planiranje rada elektroenergetskog sistema. U ovom radu je izučavana problematika angažovanja agregata podeljena na dve velike celine: izbor agregata i ekonomski dispečing. Za rešavanje navedenih problema korišćeni su algoritmi zasnovani na optimizacionoj metodi Kvadratnog programiranja implementirani u softverskom programu *Matlab*. Kao rezultat proračuna dobija se plan rada konvencionalnih agregata na godišnjem horizontu, pri čemu su analizirani i uticaji OIE na sam odabir i preraspodelu snaga između njih.

Ključne riječi— obnovljivi izvori energije; izbor agregata; ekonomski dispečing;

I. UVOD

Proizvodnja električne energije iz konvencionalnih termoelektrana dovela je do značajnih klimatskih promena uzrokovanih emisijom štetnih gasova. Ovaj problem, kao i ograničena količina fosilnih goriva, doveli su do povećanja instalisane snage OIE u elektroenergetskim sistemima. Integracijom OIE proizilaze mnoge ekonomske i ekološke prednosti. Sa druge strane, zbog svoje intermitentne prirode, oni dovode do povećanja varijabilnosti i nestabilnosti rada sistema, što povećava teškoće prilikom upravljanja. Složenost balansiranja proizvodnje i potrošnje uz uvažavanje sistemskih ograničenja i minimizaciju proizvodnih troškova, pojavom novih "zelenih" izvora energije predstavlja još veći izazov na koji je potrebno odgovoriti.

Za svaki jednočasovni interval rada potrebno je napraviti plan proizvodnje agregata, sa ciljem podmirivanja sistemskih potreba za aktivnom snagom. Planiranje se radi kako na kratkoročnom, tako i dugoročnom vremenskom horizontu. Pri tome problem je neophodno posmatrati i sa tehničke i sa ekonomske strane. Ova tematika se definiše kao problem angažovanja agregata koji je dalje moguće podeliti na dve velike celine: izbor agregata i ekonomski dispečing, što je detaljno opisano u referencama [1] i [2].

U sistemu je uvek potrebno da postoji odgovarajuća obrtna rezerva, koja čini meru pouzdanosti sistema. I pored održavanja

pouzdanosti sistema, nije pametno da svi agregati budu sinhronizovani na mrežu, pošto vršna opterećenja traju samo nekoliko sati tokom dana, te bi u periodima niskih opterećenja agregati radili sa snagama bliskim tehničkom minimumu, a sa velikim specifičnim troškovima. Takav rad agregata nije ekonomski isplativ, te je u periodu pripreme pogona potrebno od razpoloživih agregata napraviti izbor onih koji će biti u pogonu, sa ciljem minimizacije pogonskih troškova. Ova tematika se definiše kao izbor agregata i predstavlja optimizacioni postupak čiji je cilj nalaženje optimalnog rasporeda rada agregata na dugoročnom vremenskom horizontu, uz uvažavanje varijabilne potrošnje i sistemskih ograničenja. Kada su agregati izabrani, neophodno je obaviti ekonomski dispečing, koji podrazumeva nalaženje optimalne preraspodele opterećenja između agregata koju su u pogonu sa ciljem da se postignu minimalni troškovi rada uz uvažavanje operativnih ograničenja. Preraspodela se obično vrši na satnom horizontu, sa tendencijom smanjenja vremenskog intervala porastom udela obnovljivih izvora i razvojem tržišta električne energije.

Angažovanje agregata predstavlja izrazito složen optimizacioni postupak zbog velike dimenzionalnosti i nelinearnosti problema, kao i zastupljenosti velikog broja ograničenja. Razvijeni su različiti postupci za njegovo rešavanje i kao glavni kandidati nameću se matematičke optimizacione metode navedene u [3]: Linearno programiranje, Linearno programiranje u kombinaciji sa celim brojevima, Kvadratno programiranje, Lagranževa relaksaciona metoda, Dinamičko programiranje, Genetski algoritmi i dr.

U ovom radu primenjena je optimizaciona metoda Kvadratnog programiranja implementirana u *Matlab-u*, sa ciljem rešavanja ekonomskog dispečinga termoagregata u prisustvu OIE. Algoritam za rešavanje ekonomskog dispečinga primenjen je za rešavanje problema izbora agregata sa proširenim skupom ograničenja, što je analizirano u [4] i [5]. Kao rezultat analiza dobija se plan angažovanja termoagregata na godišnjem vremenskom horizontu, pri čemu su takođe razmatrani uticaji povećanja instalisanih kapaciteta OIE na dobijene rezultate.

II. KVADRATNO PROGRAMIRANJE

Kvadratno programiranje je optimizaciona metoda za nalaženje ekstremne vrednosti objektivne funkcije, koja je kvadratne prirode, dok su sva ograničenja linearnog tipa.

Kvadratnim programiranjem rešava se problem nalaženja vektora nepoznatih x , za koji se postiže minimum sledeće kriterijumske funkcije:

$$\min \left(\frac{1}{2} x^T H x + f^T x \right), \quad (1)$$

uz uvažavanje odgovarajućih ograničenja tipa jednakosti i nejednakosti:

$$a \cdot x < b, \quad (2)$$

$$A_{eq} \cdot x = b_{eq}, \quad (3)$$

$$l_b < x < u_b, \quad (4)$$

H , A i A_{eq} su kvadratne matrice, dok su f , b , b_{eq} , l_b , u_b , i x matrice kolona. Za nalaženje optimalnog vektora x , neophodno je poznavati matrice H i f , dok su ostali elementi opcionog tipa.

Metodom kvadratnog programiranja moguće je rešiti problem ekonomskog dispečinga. Neophodno je tačno formulisati zadatak i svesti ga u pogodan oblik kojim je definisano kvadratno programiranje. U ovom radu korišćena je funkcija *quadprog* softverskog programa *Matlab*. Na osnovu ulaznih matrica dobija se minimum objektivne funkcije a zatim se rekursivnom tehnikom traži optimalno rešenje, pod uslovom da se ostvari konvergencija postupka.

III. EKONOMSKI DISPEČING

Ekonomski dispečing podrazumeva određivanje snaga proizvodnje raspoloživih generatorskih jedinica tako da ukupni pogonski troškovi u sistemu budu minimalni. Pri tome moraju biti zadovoljena različita sistemska ograničenja, a mreža se posmatra kao crna kutija, tj. ne vodi se računa o ograničenjima vodova, kao i tokovima aktivnih i reaktivnih snaga po njenim granama.

Pogonski troškovi (troškovi rada) generatorskih jedinica se obično predstavljaju kvadratnom funkcijom. Za troškove održavanja, skladištenja, transporta i sopstvene potrošnje, smatra se da ne zavise od izlazne snage agregata, te su oni predstavljeni slobodnim članom. Drugi deo funkcije pogonskih troškova predstavljaju troškovi proizvodnje električne energije, tj. troškovi sagorevanja goriva, i oni zavise od izlazne snage generatora. Objektivna funkcija za posmatrani vremenski horizont, za koji se traži optimalna raspodela snaga na izlazu generatorskih jedinica, predstavljena je sumom pogonskih troškova svih agregata za koje se vrši analiza:

$$\min F_T(P_G) = \sum_{i=1}^N F_i(P_{Gi}), \quad (5)$$

gde je izraz za pogonske troškove odgovarajuće i -te generatorske jedinice dat sledećom relacijom:

$$F_i(P_{Gi}) = a_i P_{Gi}^2 + b_i P_{Gi} + c_i \quad [NJ], \quad (6)$$

gde su a_i [NJ/MW^2], b_i [NJ/MW] i c_i [NJ] koeficijenti pogonskih troškova, P_{Gi} [MW] izlazna jednočasovna snaga

i -tog generatora, dok je N ukupan broj agregata za koji se vrši analiza.

Objektivna funkcija je ograničena sledećim uslovima:

a) *ograničenje balansne jednačine snage*

Ukupna proizvodnja svih termoagregata mora biti jednaka sumi gubitaka (P_L) i potrošnje (P_D) umanjjenih za proizvodnju iz OIE (P_{RES}):

$$P_D - P_{RES} + P_L = \sum_{i=1}^N P_{Gi}. \quad (7)$$

Gubici u sistemu se dobijaju na osnovu B koeficijenata gubitaka i u tom slučaju zavise samo od proizvodnje, a ne od pogonskih uslova u mreži. Mogu se predstaviti preko Kronove formule gubitaka:

$$P_L(\{P_{Gi}\}) = \sum_i^N \sum_j^N P_{Gi} B_{i,j} P_{Gi} + \sum_i^N B_{i,0} P_{Gi} + B_{0,0}, \quad (8)$$

gde su $B_{i,i}$, $B_{i,0}$ i $B_{0,0}$ koeficijenti gubitaka koji se određuju za tipizirane radne režime elektroenergetskog sistema.

b) *generatorska ograničenja proizvodnje*

Izlazna snaga svake generatorske jedinice mora biti između nominalne snage i snage koja odgovara njenom tehničkom minimumu:

$$P_{Gi}^{min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{max}. \quad (9)$$

c) *ograničenja brzine promene snage generatora*

Opseg stvarnog rada generatorske jedinice takođe je određen brzinom promene njene izlazne snage. Pretpostavka je da ona trenutno odgovara na promenu svoje izlazne snage unutar definisanog opsega. Ograničenja brzine promene izlazne snage generatora definisana su sledećim izrazima:

$$\text{- kada snaga generatora raste: } P_{Gi}^{t+1} - P_{Gi}^t \leq R_i^{up}, \quad (10)$$

$$\text{- kada snaga generatora opada: } P_{Gi}^t - P_{Gi}^{t+1} \leq R_i^{down}, \quad (11)$$

gde $i = 1 \dots N$, $t=1 \dots T$. R_i^{up} i R_i^{down} predstavljaju maksimalni porast i smanjenje snage pri prelasku iz tekućeg intervala t u naredni $t+1$, za agregat i .

Ograničenja (9), (10) i (11) se mogu prikazati jedinstvenim izrazom:

$$\max(P_{Gi}^{min}, P_{Gi}^t - R_i^{down}) \leq P_{Gi}^{t+1} \leq \min(P_{Gi}^{max}, P_{Gi}^t + R_i^{up}) \quad (12)$$

Kako bi se objektivna funkcija (5) predstavila izrazom (1), definiše se vektor nepoznatih x , matrica H , kao i matrica kolona f :

$$x = [P_{G1}, P_{G2}, \dots, P_{GN}]^T \quad (13a)$$

$$f = \left[\frac{b_1}{1-2B_{11}P_{G1}-B_{01}}, \frac{b_2}{1-2B_{22}P_{G2}-B_{02}}, \dots, \frac{b_N}{1-2B_{NN}P_{GN}-B_{0N}} \right], \quad (13b)$$

$$H = \begin{bmatrix} \frac{a_1}{1-2B_{11}P_{G1}-B_{01}} & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \frac{a_2}{1-2B_{22}P_{G2}-B_{02}} & \dots & 0 \\ 0 & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \dots & \frac{a_N}{1-2B_{NN}P_{GN}-B_{0N}} \end{bmatrix} \quad (13c)$$

Kako bi se zadovoljila jednakost (3), matrice A_{eq} i b_{eq} se formulišu na sledeći način:

$$b_{eq} = P_D - P_{RES} + (1+z)P_L, \quad (14a)$$

$$A_{eq} = [1, \dots, 1] + z \left\{ x^T \times \begin{bmatrix} B_{11} & \dots & B_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ B_{N1} & \dots & B_{NN} \end{bmatrix} + [B_{01}, \dots, B_{0N}] + \left[\frac{B_{00}}{P_{G1}}, \dots, \frac{B_{00}}{P_{GN}} \right] \right\}. \quad (14b)$$

P_D je potrošnja, P_{RES} proizvodnja iz OIE, P_L gubici koji se računaju preko Kronove formule (8), a z kontrolni parametar kojim se može ubrzati proces konvergencije postupka (obično uzima vrednost 1).

Za ispunjenje uslova nejednakosti $l_b < x < u_b$, matrice kolona l_b i u_b se za svaki posmatrani interval t određuju preko izraza [12]:

$$l_b = [P_{G1,t}^{min}, P_{G2,t}^{min}, \dots, P_{GN,t}^{min}]^T, \quad (15a)$$

$$u_b = [P_{G1,t}^{max}, P_{G2,t}^{max}, \dots, P_{GN,t}^{max}]^T. \quad (15b)$$

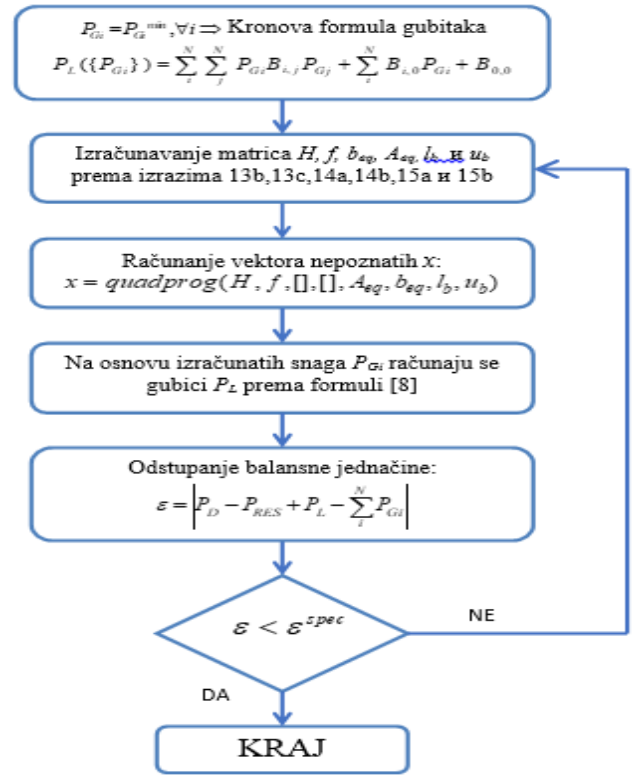
Vektor nepoznatih x se računa na osnovu ulaznih matrica: $H, f, A, b, A_{eq}, b_{eq}, l_b$ i u_b koje moraju biti jednoznačno određene. Pri rešavanju ekonomskog dispečinga, jasno je da pojedine ulazne matrice zavise od vektora nepoznatih x , te je neophodno iterativnim postupkom doći do krajnje optimalne raspodele snaga na izlazu generatorskih jedinica. Algoritam za rešavanje ekonomskog dispečinga je prikazan na "Sl. 1".

IV. IZBOR AGREGATA

Izbor agregata podrazumeva određivanje proizvodnih jedinica koje će biti sinhronizovane na mrežu za svaki sat vremenskog horizonta za koji se vrši planiranje. Pri tome, neophodno je uvažiti ograničenja koja se odnose na proizvodne jedinice, njihovo uključenje i isključenje, kao i sistemske potrebe za potrošnjom i rezervom.

Objektivna funkcija koju treba minimizovati je suma svih pogonskih troškova tokom posmatranog vremenskog perioda. Za izbor termoagregata definisana je sledećim izrazom:

$$\min F_T(P_G) = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^M u_i^t [a_i P_{Gi}^{t2} + b_i P_{Gi}^t + c_i] + u_i^t (1 - u_i^{t-1}) \left[\alpha_i + \beta_i \left(1 - e^{-\frac{t_i}{T_{Hi}}} \right) \right] + u_i^{t-1} (1 - u_i^t) \gamma_i, \quad (10)$$



Slika 1. Algoritam za rešavanje ekonomskog dispečinga

gde su a_i [NJ/MW²], b_i [NJ/MW] i c_i [NJ] koeficijenti troškova rada, P_{Gi} [MW] je izlazna snaga i-tog agregata u posmatranom vremenskom intervalu t , N je ukupan broj agregata za koji se vrši analiza, M ukupan broj diskretizovanih vremenskih intervala, α_i [NJ] i β_i [NJ] koeficijenti funkcije troškova pokretanja agregata i , γ_i [NJ] troškovi zaustavljanja agregata i , T_{Hi} [h] vremenska konstanta hlađenja i -tog agregata, a u_i^t je promenljiva koja uzima vrednost 1 ili 0 u zavisnosti od toga da li tokom intervala t agregat i sinhronizovan na mrežu ili ne.

Prvi sabirak u objektivnoj funkciji odnosi se na troškove rada, drugi na troškove pokretanja, a treći na troškove zaustavljanja agregata.

Ograničenja koja treba uvažiti su:

a) ograničenje balansne jednačine sange

$$P_D - P_{RES} + P_L = \sum_{i=1}^N P_{Gi}. \quad (18)$$

b) generatorska ograničenja proizvodnje

$$P_{Gi}^{min} \leq P_{Gi} \leq P_{Gi}^{max}. \quad (19)$$

c) ograničenja brzine promene snage generatora

$$P_{Gi}^{t+1} - P_{Gi}^t \leq R_i^{up}, \quad (20)$$

$$P_{Gi}^t - P_{Gi}^{t+1} \leq R_i^{down}. \quad (21)$$

d) ograničenje minimalnog propisanog vremena stajanja nakon isključenja:

$$T_i^{stop} \leq t_i^{stop}. \quad (22)$$

h) ograničenje minimalnog propisanog rada nakon uključenja:

$$T_i^{on} \leq t_i^{on}. \quad (23)$$

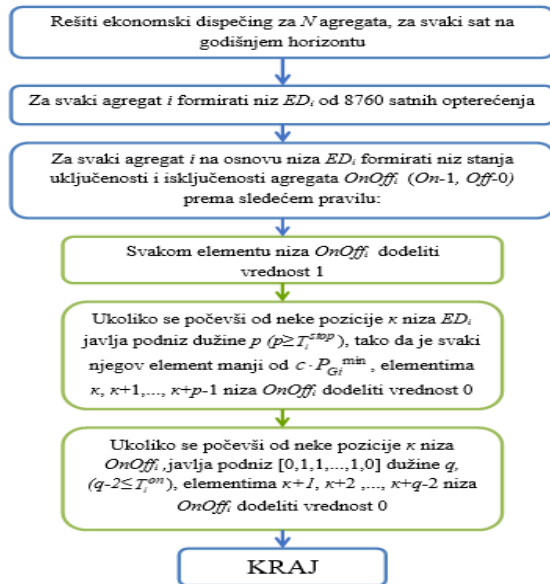
i) ograničenje proizvodnih jedinica koje moraju da budu u pogonu (base unit).

Problem izbora agregata rešavan je na vremenskom horizontu od godinu dana, i zbog velike dimenzionalnosti problema minimizacija funkcije (17) je ekstremno složena. U nastavku rada je predložena aproksimativna metoda za rešavanje izbora agregata na godišnjem horizontu, kojom je izbegnuta složena optimizaciona procedura. Algoritam se zasniva na poređenju specifičnih troškova svih termoagregata. Specifični troškovi predstavljaju cenu proizvodnje 1MWh u zavisnosti od izlazne jednočasovne snage generatorske jedinice. Računaju se prema sledećoj formuli:

$$C_i(P_{Gi}) = \frac{F_i(P_{Gi})}{P_{Gi}} = \frac{a_i P_{Gi}^2 + b_i P_{Gi} + c_i}{P_{Gi}} \text{ [NJ/MWh]}. \quad (24)$$

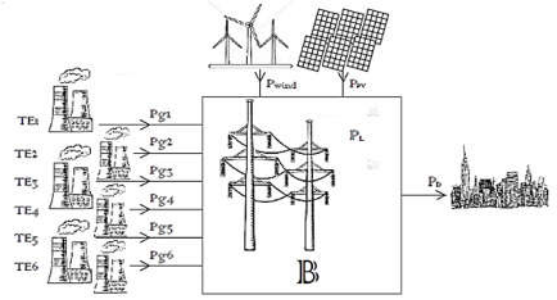
Cilj predložene metode je da se izbegnu dugotrajni radovi pojedinih agregata sa malom izlaznom snagom, a ujedno velikim specifičnim troškovima. To se može očekivati u periodima niske potrošnje. Kako u tim intervalima imamo veliku obrtnu rezervu u sistemu, ideja je da se pojedini skuplji agregati gase, a njihova planirana proizvodnja optimalno preraspodeli na one agregate sa nižim specifičnim troškovima. Grafički prikaz algoritma dat je na "Sl. 2".

Kada je izvršen izbor agregata na godišnjem horizontu, može se pristupiti rešavanju ekonomskog dispečinga, za proizvoljni dan u godini.



Slika 2. Algoritam za rešavanje izbora agregata

V. SIMULACIJA I REZULTATI



Slika 3. Test elektroenergetski sistem

Analizira se test elektroenergetski sistem sa "Sl. 3". Instalirana snaga fotonaponskog sistema je $P_{pv} = 100MW$, a vetroelektrane $P_{wind} = 70MW$. Vršiti se progonoza proizvodnje iz OIE, kao i opterećenja konzuma za svaki sat na godišnjem horizontu. Na mrežu je moguće izvršiti sinhronizaciju šest termoagregata termoelektrana (TE) 1, 2, 3, 4, 5 i 6. Gubici u sistemu P_L se računaju preko Kronove formule gubitaka (8).

Vrednosti B koeficijenata prikazani su u tabeli I. Koeficijent B_{00} iznosi 0.056.

Ograničenja minimalnih i maksimalnih snaga, kao i promene izlaznih snaga termoelektrana prikazana su u tabeli II.

U tabeli III prikazani su koeficijenti funkcija troškova rada, pokretanja i zaustavljanja svih agregata, dok su u tabeli IV prikazane vrednosti vremenskih konstanti hlađenja, minimalno dozvoljena vremena isključenosti i uključenosti agregata.

TABELA I. B-KOEFICIJENTI

B_{ij} [$\times 10^{-3}$]	1	2	3	4	5	6
1	-0.7816	-0.2594	1.4094	0.1182	0.4322	-1.3270
2	0.0850	0.0600	0.0350	-0.0050	-0.0250	-0.0100
3	0.0600	0.0700	0.0450	0.0050	-0.0300	-0.0050
4	0.0350	0.0450	0.1550	0	-0.0500	-0.0300
5	-0.0050	0.0050	0	0.1200	-0.0300	-0.0400
6	-0.0250	-0.0300	-0.0500	-0.0300	0.6450	0.0100

TABELA II. OGRANIČENJA PO SNAZI I PROMENI SNAGE TE

	TE1	TE2	TE3	TE4	TE5	TE6
P_{Gi}^{min} [MW]	120	80	70	50	50	50
P_{Gi}^{max} [MW]	500	350	300	150	200	120
R_i^{up} [MW]	150	50	65	40	50	40
R_i^{down} [MW]	160	90	100	60	80	70

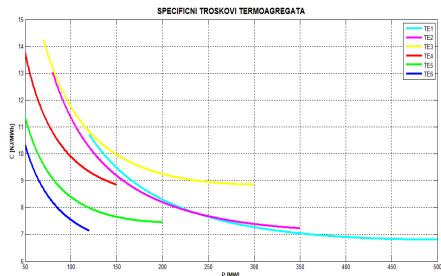
TABELA III. KOEFICIJENTI FUNKCIJA TROŠKOVA TE

	TE1	TE2	TE3	TE4	TE5	TE6
a_i [NJ/MW ²]	0.003	0.0035	0.0065	0.0070	0.0070	0.0045
b_i [NJ/MW]	3.7	4.0	4.8	5.0	4.4	4.1
c_i [NJ]	800	700	630	420	330	300
α_i [NJ]	3000	1900	2000	1500	1400	1300
β_i [NJ]	5200	2800	3000	2500	2400	2200
γ_i [NJ]	4200	2700	2600	1800	1800	1700

TABELA IV. VREMENSKE KONSTANTE I VREMENSKA OGRANIČENJA

	TE1	TE2	TE3	TE4	TE5	TE6
T_{Hi} [h]	8	7	7	5	5	5
T_i^{stop} [h]	10	9	9	7	7	7
T_i^{on} [h]	4	4	4	4	4	4

Na osnovu ulaznih podataka dobija se dijagram specifičnih troškova svih šest termoagregata: "Sl. 4".

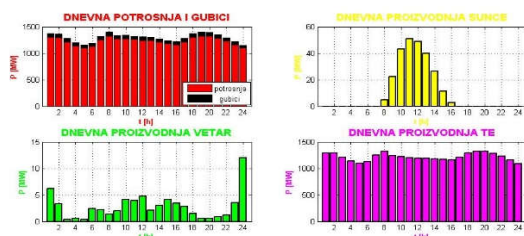


Slika 4. Specifični trškovi TE

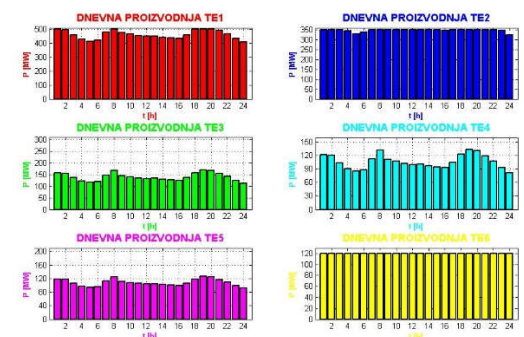
Sa slike se može zaključiti da termoagregati imaju najniže specifične troškove kada rade sa nominalnom snagom, pri čemu su termoagregati TE3 i TE4 skuplji od ostalih.

Rešavanjem algoritama za angažovanje agregata dobijaju se rezultati za odabrani dan u godini. Analiza je izvršena za proizvoljni letnji dan (180. dan), i proizvoljni zimski dan (30. dan u godini).

Na "Sl. 5" prikazan je dijagram: potrošnje, proizvodnje iz OIE i zahtevane proizvodnje termoelektrana, dok je na "Sl. 6" prikazana raspodela snaga na izlazu generatorskih jedinica, sve za 30. dan u godini.

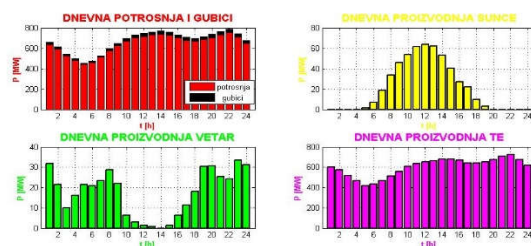


Slika 5. Dijagram proizvodnje i potrošnje za 30.dan

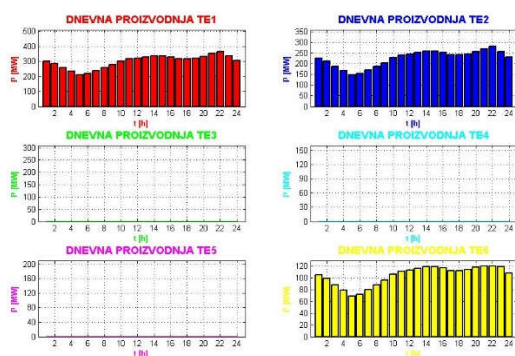


Slika 6. Snage na izlazu generatorskih jedinica za 30.dan

Na "Sl. 7" i "Sl. 8" prikazano je isto to, samo za 180.dan u godini.



Slika 7. Dijagram proizvodnje i potrošnje za 30.dan

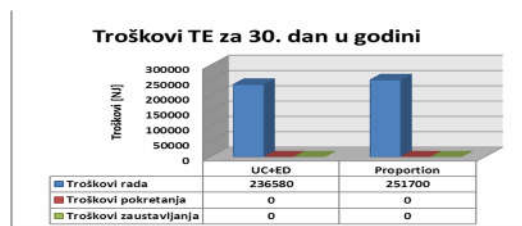


Slika 8. Snage na izlazu generatorskih jedinica za 180.dan

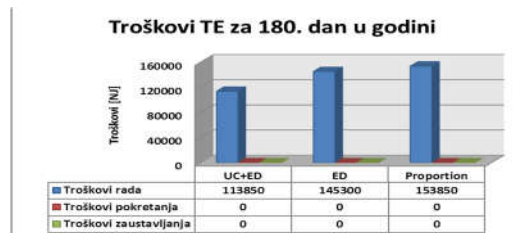
Kako bi se pokazao efekat smanjenja troškova optimalnim angažovanjem agregata, za oba analizirana dana računaju se troškovi rada, pokretanja i gašenja termoagregata u tri varijante:

- kada se vrši i izbor agregata i ekonomski dispečing
- kada se vrši samo ekonomski dispečing, pod pretpostavkom da su svih 6 jedinica u pogonu
- kada se pretpostavi proporcionalna preraspodela snaga između svih 6 generatorskih jedinica u odnosu na njihovu nominalnu snagu

Dijagrami troškova za 30. i 180. dan prikazani su redom na "Sl. 9" i "Sl. 10":

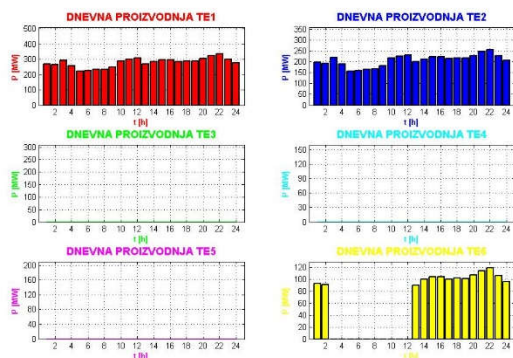


Slika 9. Troškovi za 30.dan



Slika 10. Troškovi za 180. dan

Obavljena je i analiza, kada je u sistemu instalisano 3 puta više proizvodnih kapaciteta iz OIE nego u početnom slučaju. Ideja je da se pokaže kako varijabilnost njihove proizvodnje, koja sada postaje izraženija, utiče na proces angažovanja agregata i na ukupne pogonske troškove u sistemu. Analiza je izvršena samo za 180. dan u godini i dobijeni su sledeći rezultati prikazani na “Sl. 11” i “Sl. 12”.



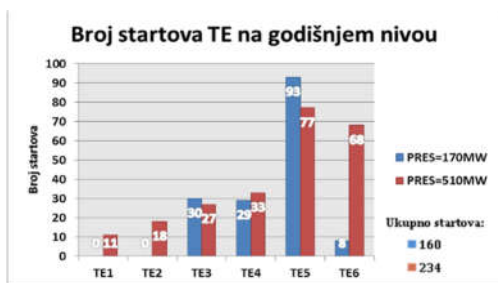
Slika 11. Snage na izlazu generatora za 180.dan sa većim udelom OIE



Slika 12. Troškovi za 180. Dan sa većim udelom OIE

U odnosu na varijantu sa manjim udelom OIE, ovde se javlja manja potreba za ukupnom proizvodnjom iz termoelektrana, dolazi da paljenja i gašenja agregata TE6, manji su troškovi rada, ali se javljaju i troškovi paljenja i gašenja termoelektrana. Zbog svoje intermitentne prirode, OIE utiču da se pojedini termoagregati češće pale i gase, što je ilustrovano na “Sl. 13”, gde je prikazan ukupan broj startova termoagregata na godišnjem nivou u slučaju manjeg i većeg udela OIE u sistemu.

Ovaj efekat troškova se preslikava i na godišnji horizont. Ukupni troškovi rada (62×10^6 N) u prvoj varijanti veći su od ukupnih troškova rada (57×10^6 N) u drugoj varijanti sa većim udelom OIE. S druge strane, troškovi pokretanja (0.6×10^6 N) i troškovi zaustavljanja (0.3×10^6 N) u varijanti 1, manji su nego u varijanti 2: (0.9×10^6 N) i (0.5×10^6 N), respektivno.



Slika 13. Broj startova TE

VI. ZAKLJUČAK

Prisustvo obnovljivih izvora energije dovodi do teškoća u upravljanju elektroenergetskim sistemom. Ekonomski dispečing i izbor agregata su važni problemi na koje OIE imaju veliki uticaj. Uvođenje OIE nameće termoagregatima drugačiji plan rada, zahteva njihovu bržu promenu izlazne snage, kao i češća uključenja i isključenja. Pokazano je da sa porastom instalisanih kapaciteta OIE ovi uticaji postaju sve izraženiji. Takođe, može se zaključiti da su ukupni pogonski troškovi na godišnjem nivou manji sa većim udelom OIE u sistemu.

Obnovljivi izvori energije su budućnost elektroenergetskih sistema, ali brze i neizvesne promene u njihovoj proizvodnji zahtevaju drugačiju strategiju upravljanja sistemom, kako bi se obezbedila ekonomična i sigurna proizvodnja električne energije.

ZAHVALNICA

Zahvaljujem se profesoru Željku Đurišiću i asistentu Dimitriju Koturu sa Elektrotehničkog fakulteta u Beogradu na korisnim savetima i sugestijama prilikom izrade rada.

LITERATURA

- [1] M. S. Čalović, A. T. Sarić, P. S. Stefanov, “Eksplotacija elektroenergetskih sistema u uslovima slobodnog tržišta”, (Tehnički fakultet u Čačku, 2005) J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68–73.
- [2] J. Zhu, “Optimization of Power System operation”, (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2009) K. Elissa, “Title of paper if known,” unpublished.
- [3] A. Ravindran, K. M. Ragsdell, G. V. Reklaitis, “Engineerig Optimization Methods and Applications”, (John Wiley & Sons, 2006).
- [4] D. Bisen , H. M. Dubey, M. Pandit, B. K. Panigrahi, “Solution of Large Scale Economic Load Dispatch Problem using Quadratic Programming and GAMS: A Comparative Analysis”, Journal of Information and Computing Science, Vol. 7, No. 3, 2012, pp. 200-211.
- [5] I. Ziane, F. Benhamida, A. Graa, “Dynamic Economic Load dispatch Using Quadratic Programming: Application to Algerian Electrical Network”, International Yournal of Energy and Power Engineering, Vol. 2, No. 5, 2015

ABSTRACT

The environmental impact of the energy generation in termal power plants, limited fossil fuel resources and the need for more sustainable power system resulted in growing installed capacity of renewable energy sources (RES). This increase of RES requires research of their impact in operation and planning of power system. In this paper, Unit scheduling is explored, and thi problem is divided in two parts: Unit commitment and Economic dispatch. Algorithms for solving this problem are based on optimization method Quadratic programming and implemented in Matlab environment. The result of calculations is annual operation plan of conventional units, and analsys of RES impact in scheduling is performed.

UNIT COMMITMENT AND ECONOMIC DISPATCH WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES

Đorđe Lazović