

GUBICI ELEKTRIČNE ENERGIJE U PRIJENOSNOJ MREŽI HEP-a

mr.sc. Ranko Goić, dipl. ing. Marko Lovrić, dipl. ing. dr.sc. Zorko Cvetković, dipl. ing.

Kategorija: stručni članak

Sažetak

U ovom članku je opisana problematika gubitaka snage i energije u prijenosnoj mreži Hrvatske elektroprivrede. Dan je povijesni osvrt i sadašnje stanje gubitaka u prijenosnoj mreži, dok je analizama tokova snaga pokazana osjetljivost gubitaka o načinu angažiranja elektrana i uvoza električne energije, te smanjenje gubitaka uvjetovano predviđenom izgradnjom prijenosne mreže u narednim godinama.

Ključne riječi: prijenosna mreža, gubici, troškovi

1. Uvod

Veličina gubitaka u prijenosnoj mreži je najznačajniji pokazatelj ekonomičnosti njena rada. Stoga je određivanju i analizi gubitaka u prijenosnoj i distributivnoj mreži potrebno posvetiti veliku pažnju u cilju njihova dovođenja do normalno tehničkih prihvatljivih granica. U ovom članku opisan je problem gubitaka snage i energije u prijenosnoj mreži Hrvatske elektroprivrede (HEP). Dane su osnovne naznake načina tretiranja gubitaka u tržišnom okruženju kroz cijenu korištenja prijenosne mreže, kratak povijesni osvrt na praćenje gubitaka u HEP-u, kao i neke analize osjetljivosti gubitaka u prijenosnoj mreži u ovisnosti o hidrološkim okolnostima i utjecaju izgradnje novih prijenosnih objekata (i obnove postojećih) na smanjenje gubitaka. Članak nema niti može imati pretenziju da predloži način na koji bi trebalo sustavno raditi s dugoročnim ciljem dovođenja gubitke u prijenosnoj mreži HEP-a u neke prosječne evropske norme. Međutim, ima za cilj opisati i ukazati na glavne probleme, neke od mogućih načina rješavanja, te prvenstveno kvantitativno pokazati utjecaj razvoja prijenosne mreže na smanjenje gubitaka.

2. Prijenosna mreža u tržišnom okruženju

U svijetu je zadnjih petnaest godina započeo proces deregulacije u elektroenergetskom sektoru u mnogim zemljama. Elektroenergetski sektor se organizira (regulira) na novim osnovama koji prije svega podrazumjevaju promjenu strukture organizacije klasičnog centraliziranog elektroprivrednog poduzeća. Sam proces restrukturiranja elektroenergetskog sektora u jednom trenutku se pokazao neophodnim kako bi se osigurala bolja efikasnost rada, privatizacija, konkurencija i niža cijena električne energije, što se prvenstveno postiže ukidanjem monopola i uvođenjem tržišta u domeni proizvodnje i prodaje električne energije. Osnovni principi restrukturiranog elektroenergetskog sektora dati su u Direktivi EU 92/96, a svode se na to da ni jedno poduzeće nema monopol na nivou prodaje električne energije na veliko i malo iz čega proizlazi da se pojavljuju različiti sudionici na tržištu električne energije i potiče konkurencija. Prijenosna i distributivna mreža i dalje ostaju regulirane, budući predstavljaju javno dobro gdje nema konkurencije, te moraju osigurati otvoreni pristup svim sudionicima na tržištu bez diskriminacije. Regulatorna agencija koja kontrolira provođenje prethodno definiranih zakona u elektroenergetskom sektoru na svim nivoima formira cijenu korištenja prijenosne i distributivne mreže. Direktivu u različitim oblicima, ovisno o specifičnostima pojedinog elektroenergetskog sustava, prihvaćaju praktički sve europske zemlje.

Da bi se uspostavila nova pravila u organiziranju elektroenergetskog sektora i odnosa na tržištu električne energije potrebno je donijeti zakonsku regulativu koja se sastoji od:

- Pravila trgovine,
- Pravila povezivanja na elektroenergetski sustav i pristup mreži,

- Mjerenja električne energije,
- Cijena korištenja prijenosne i distributivne mreže,
- Mjere sigurnosti, pouzdanosti i razvoja sustava,
- Mjere koje se primjenjuju u prijelaznom razdoblju itd.

Važnu ulogu u radu elektroenergetskog sustava u uvjetima deregulacije imaju prijenosna poduzeća koja mogu biti privatizirana ili državna. Da bi prijenosna mreža mogla zadovoljiti sve zahtjeve ostalih sudionika na tržištu električne energije za prijenosom električne energije, mora se osigurati adekvatna cijenu za korištenje prijenosne mreže koja je regulirana od strane države (Agencije), a koja treba osigurati odgovarajući nivo operativne sigurnosti i razvoja.

Regulatorna agencija mora utvrditi jasne, predvidive i nediskriminirajuće tarife za pristup mreži, te potvrditi tarife za prijenos (i distribuciju). Kod donošenja cijena korištenja prijenosne mreže, regulatorna agencija mora sagledati slijedeće troškove koje imaju prijenosna poduzeća:

- troškovi povezani s investicijama i anuitetima izgrađenih prijenosnih objekata,
- troškovi eksploatacije i održavanja prijenosne mreže,
- troškovi gubitaka električne energije,
- troškovi zbog tehničkih ograničenja (zagušenja) u prijenosnoj mreži kada se zbog sigurnosnih razloga ne može poštivati ekonomski redoslijed angažiranja proizvodnih objekata
- troškovi tranzita električne energije drugih sustava preko vlastite prijenosne mreže i
- troškovi za održavanje urednog rada elektroenergetskog sustava, tj. za pomoćne servise koji se odnose na regulaciju frekvencije i napona u mreži.

Sve navedene cijene moraju u uvjetima tržišno konkurentnog rada EES-a biti javne i transparentne svim sudionicima na tržištu na svim vremenskim nivoima. U ovom članku opisani su prvenstveno troškovi gubitaka električne energije, kao i neke implikacije vezane za razvoj i izgradnju prijenosne mreže na smanjenje istih.

3. Problem gubitaka u prijenosnoj mreži HEP-a

Gubici električne energije u prijenosnim mrežama mogu se podijeliti prema:

- a) mjestu njihovog nastanka (elementi prijenosne mreže) i
- b) ovisnosti o opterećenju (gubici neovisni o opterećenju - stalni gubici, gubici ovisni o opterećenju - promjenljivi gubici)

Gubici u prijenosnim mrežama uzrokuju slijedeće posljedice:

- potrebna je dopunska proizvodnja i potrošnja energenata u termoelektranama ili vode u hidroelektranama
- povećanje investicija u proizvodna i prijenosna postrojenja,
- povećava se cijena prijenosa električne energije
- struje gubitaka dopunski opterećuju prijenosnu mrežu, pogoršavaju naponske prilike i smanjuju raspoložive prijenosne kapacitete koji se nude na tržištu.

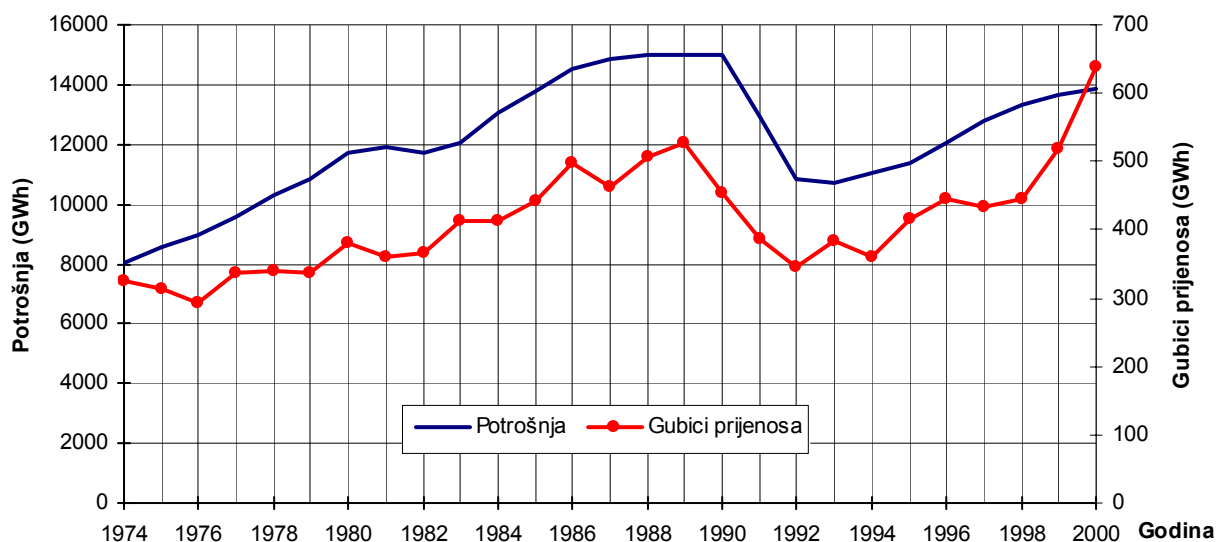
Praćenje gubitaka u hrvatskoj elektroenergetskoj mreži ima svoj razvitak koji je djelomično utjecao na njihovu veličinu. Kad je riječ o gubicima u distributivnoj mreži, vrlo je teško precizno pratiti razvoj tehničkih gubitaka iz razloga što su u podacima vrlo često iznošeni administrativni gubici koji su služili za međusobne obračune distribucije i ZEOH-a, tako da su često bili manipulirani, a tehnički gubici bi ostali sakriveni. Kad se doda činjenica da se u gubicima skrivaju i neisplaćeni računi za potrošak električne energije i krađa električne energije, jasno je da podacima o gubicima treba pristupiti vrlo oprezno. Bez obzira na navedeno, činjenica je da su tehnički gubici u distributivnoj mreži prvisoki. Dva su osnovna razloga utjecala na iznos tehničkih gubitaka distribucije:

Prvi je nagli rast konzuma u razdoblju od 1945. do 1975. godine, kada je praktički jedini cilj distribucije bio održavanje tempa elektrifikacije, dok se o ekonomskim aspektima malo razmišljalo. Osim toga, u to vrijeme je i ponuda na tržištu bila daleko skromnija i najčešće nije postojala mogućnost odabira odnosno optimiranja presjeka vodiča i odgovarajućih materijala.

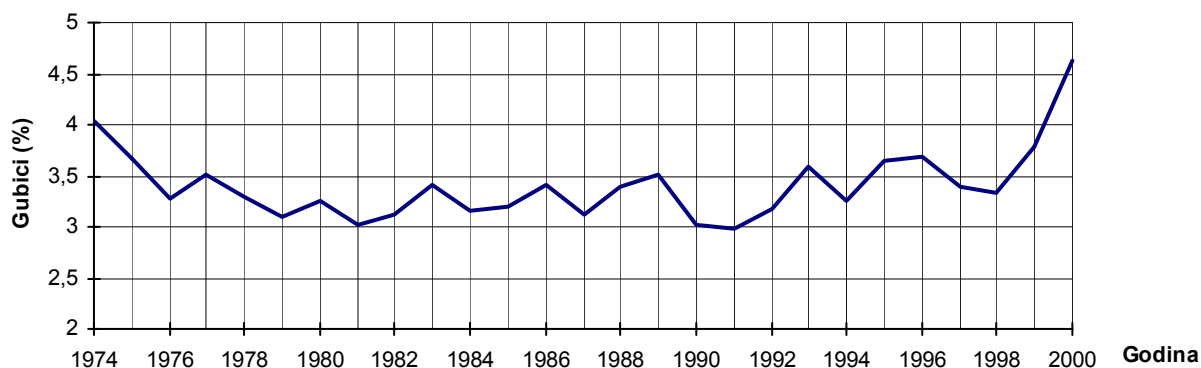
Drugi je razlog bila činjenica da su u proizvodnji električne energije dominirale hidroelektrane, pa se dio gubitaka mogao pokriti "preljevima", što nije ulazilo u troškove. S druge strane, veći presjeci vodiča su tražili i veće investicije, tj. veće izravne troškove, što je uvijek bilo sporno područje.

Kod prijenosne mreže situacija je bitno drugačija. U počecima izgradnje 110 kV-tne mreže ugrađivali su se vodiči manjeg presjeka (AlČe150 mm²), ali se vrlo brzo prešlo na presjek 240 mm², a po potrebi i na veće presjeka odnosno dvostruke dalekovode, što je gubitke prijenosa držalo u prosječnim evropskim granicama. Porast konzuma bio je praćen i uvođenjem 220 kV-tne mreže (1962. godine), odnosno 400 kV-tne mreže (razdoblje 1978-1980. g.), što je povoljno utjecalo na smanjenje gubitaka. Jasno je da se pitanje ekonomičnosti izgradnje prijenosne mreže s vremenom mijenja. Na žalost, mijenja se sve više na štetu razvoja prijenosne mreže, tako da će u budućnosti, pogotovo u tržišno orijentiranom i privatiziranom elektroenergetskom sektoru, biti vrlo teško pronalaziti ekonomske argumente za razvoj prijenosne mreže.

Na slici 1. su prikazani godišnji gubici električne energije usporedno sa ukupnom potrošnjom u elektroenergetskom sustavu HEP-a u razdoblju od 1974. do 2000. godine, dok je na slici 2 prikazan postotni iznos gubitaka u odnosu na potrošnju.

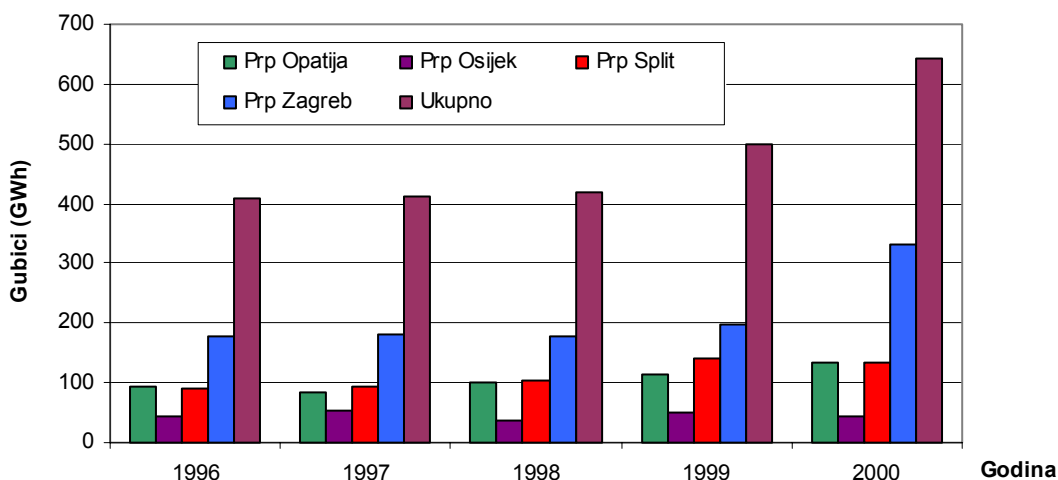


Slika 1: Potrošnja i gubici električne energije u HEP-u u razdoblju od 1974. do 2000. g.



Slika 2: Postotni gubici prijenosa u odnosu na potrošnju u razdoblju od 1974. do 2000. g.

Jedan od naslijeđenih problema prijenosne mreže HEP-a jest činjenica da je ona građena kao podsustav prijenosne mreže bivše države. Zbog toga njena konfiguracija nije ni blizu optimalne po pitanju brojnih kriterija, što je ujedno i jedan od razloga relativno velikih gubitaka. Na slici 3. su prikazani ostvareni gubici električne energije u prijenosnim područjima u razdoblju od 1996. do 2000. godine.



Slika 3: Gubici po prijenosnim područjima u razdoblju od 1996. do 2000. g.

Vidljivo je da veličina ostvarenih gubitaka u elektroenergetskom sustavu HEP-a slijedi logiku oblika krivulje ostvarene potrošnje u navedenom razdoblju (izuzetak zadnje dvije godine gdje je ostvareno znatno povećanje), te da su se gubici električne energije u prijenosnoj mreži kretali od 3 do 4.6% od ukupne potrošnje. To je vrlo veliki raspon, budući da se radi o razlici većoj od 50%. Zbog velikog uvoza električne energije, prvenstveno vodom 400 kV Tumbri-Heviz, ostvaren je veliki porast gubitaka električne energije u prijenosnoj mreži u zadnje dvije godine. S druge strane to znači da cijenu jeftinije uvozne energije treba penalizirati s porastom gubitaka po marginalnoj cijeni u EES-u Hrvatske (oko 60 EU/MWh).

4. Osjetljivost gubitaka snage u prijenosnoj mreži HEP-a o hidrologiji, angažiranju elektrana i uklopnom stanju mreže

Nivo gubitaka u elektroenergetskom sustavu određen je slijedećim faktorima:

- tehničkim stanjem sustava i izgrađenošću i konfiguracijom prijenosne mreže (konfiguracija mreže, broj stupnjeva transformacije, parametri vodova i transformatora, struktura i položaj izvora i potrošača, oblik dnevnih dijagrama opterećenja, itd),
- načinom eksploatacije sustava (raspodjela opterećenja među izvorima, uklopno stanje mreže, nivoima napona u eksploataciji, tranzitom električne energije preko mreže itd).

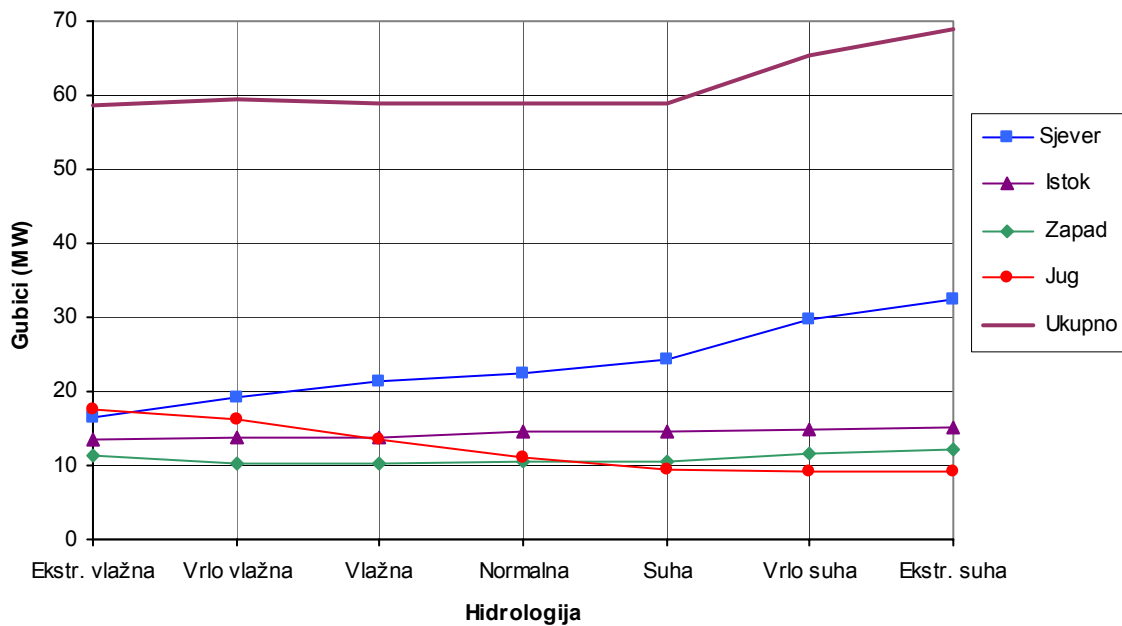
Načinom eksploatacije sustava može se utjecati na nivo gubitaka u prijenosnoj mreži. Za ilustraciju ovog problema, napravljena je analiza tokova snaga i proračun gubitaka električne energije u prijenosnoj mreži HEP-a za različite varijante angažiranja izvora, uvoza i tranzita električne energije, te uklopnog stanja mreže. Proračuni su napravljeni pomoću programskog paketa TOKSwin 2000 koji omogućava analizu gubitaka po elementima mreže, naponskim nivoima i područjima. Osnovne pretpostavke koje su korištene u proračunima su slijedeće:

- vršno opterećenje konzuma u iznosu od 2400 MW,
- uklopno stanje EES-a Hrvatske (mreža 110, 220 i 400 kV) odgovara stanju u prosincu 2000. godine,
- isto vrijedi i za uklopno stanje prijenosne mreže Slovenije i BiH (modelirana je 220 i 400 kV-tna mreža za EES Slovenije, a za EES BiH i 110 kV-tna mreža)
- angažiranje elektrana je napravljeno je za sedam varijanti, približno slijedeći postojeći način angažiranja hidroelektrana za različite hidrološke varijante, a adekvatno tome i potrebnu proizvodnju termoelektrana i potrebni uvoz sa zapada (tablica 1).
- nisu uračunati gubici na transformatorima 110/X kV,
- uz svaku varijantu angažiranja elektrana napravljene su podvarijante:
 - [i] tranzita električne energije iz EES-a BiH na zapad u iznosu 150 MW,
 - [ii] tranzita električne energije sa zapada za EES BiH u iznosu 150 MW,
 - [iii] uključnje DV 220 kV Jajce-Mraclin, Prijedor-Međurić i Tuzla-Đakovo2,
 - [iiii] angažiranje TE-TO Zagreb 4 s 200 MW snage

Tablica 1: Angažiranje elektrana i nabava električne energije (MW)

| Hidrologija | Ekstremno vlažna | Vrlo vlažna | Vlažna | Normalna | Suha | Vrlo suha | Ekstremno suha |
|---------------------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|
| Konzum | 2400 | 2400 | 2400 | 2400 | 2400 | 2400 | 2400 |
| Nabava (zapad) | 120 | 275 | 275 | 350 | 380 | 535 | 665 |
| NE Krško | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TE-TO Zagreb 1,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TE-TO Zagreb 3 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 | 80 |
| TE-TO Zagreb 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| EL-TO Zagreb 1,2 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| EL-TO Zagreb 3,4 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 |
| PTE Osijek 1,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TE-TO Osijek | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| PTE, TE Jertovec 1,2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TE Plomin 1 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| TE Plomin 2 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 | 200 |
| TE Sisak 1 | 190 | 190 | 190 | 190 | 190 | 190 | 190 |
| TE Sisak 2 | 0 | 0 | 0 | 100 | 190 | 190 | 190 |
| TE Rijeka | 0 | 0 | 250 | 250 | 300 | 300 | 300 |
| Ukupno TE | 660 | 660 | 910 | 1010 | 1150 | 1150 | 1150 |
| Drava ukupno | 200 | 145 | 95 | 95 | 95 | 75 | 60 |
| HE Varaždin | 70 | 55 | 35 | 35 | 35 | 25 | 20 |
| HE Čakovec | 65 | 45 | 30 | 30 | 30 | 25 | 20 |
| HE Dubrava | 65 | 45 | 30 | 30 | 30 | 25 | 20 |
| HE Gojak | 50 | 50 | 40 | 35 | 20 | 15 | 15 |
| HE Rijeka | 35 | 35 | 15 | 15 | 10 | 0 | 0 |
| HE Miljacka | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 15 | 10 |
| HE Golubić | 10 | 10 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| HE Jaruga | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Ukupno HE protočne | 320 | 265 | 180 | 175 | 155 | 115 | 105 |
| HE Vinodol | 70 | 65 | 50 | 45 | 30 | 25 | 15 |
| HE Senj | 210 | 210 | 190 | 170 | 150 | 140 | 120 |
| HE Sklope | 5 | 10 | 15 | 15 | 15 | 10 | 10 |
| HE Peruča | 10 | 15 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| HE Orlovac | 210 | 165 | 130 | 110 | 80 | 70 | 60 |
| HE Zakučac | 430 | 410 | 345 | 270 | 225 | 185 | 195 |
| HE Kraljevac | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| RHE Obrovac | 220 | 180 | 160 | 130 | 110 | 80 | 0 |
| HE Dubrovnik | 105 | 105 | 100 | 90 | 75 | 65 | 55 |
| HE Đale | 35 | 35 | 30 | 20 | 15 | 10 | 10 |
| Ukupno HE akumul. | 1300 | 1200 | 1035 | 865 | 715 | 600 | 480 |

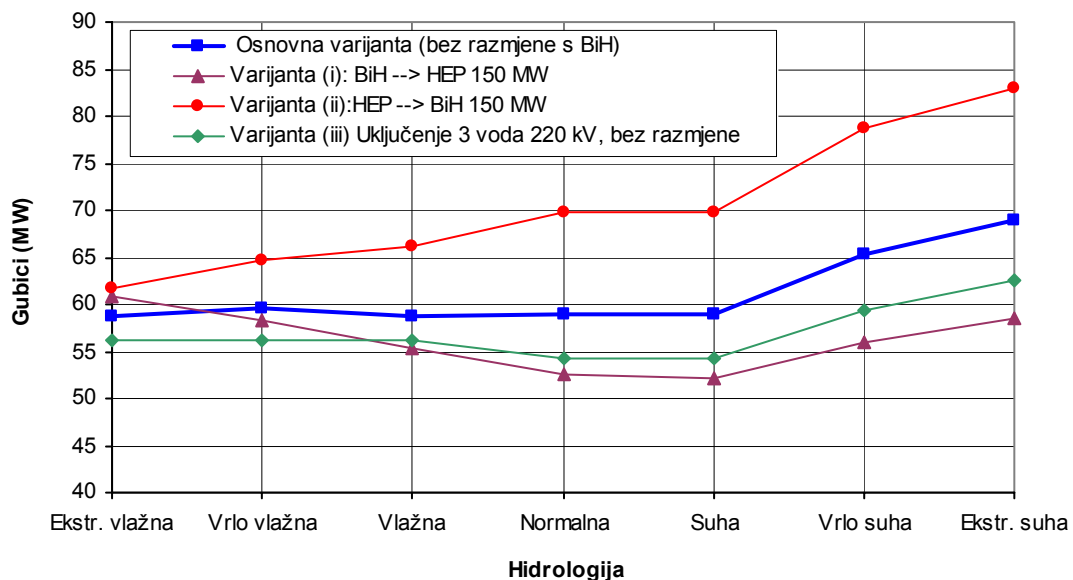
Na slici 4. prikazani su rezultati proračuna gubitaka snage po prijenosnim područjima, gdje se vidi utjecaj angažiranja elektrana na iznose gubitaka. Uočljive su velike promjene gubitaka u prijenosnom području Zagreb (Sjever) i Split (Jug) s promjenom angažiranja elektrana, uz napomenu da su ove promjene suprotnog smjera, što se odražava na manje promjene ukupnih gubitaka u prijenosnoj mreži HEP-a. U tablici 2 i slici 5 dani su iznosi gubitaka snage za navedene podvarijante [i], [ii], [iii].



Slika 4: Gubici snage u prijenosnoj mreži HEP-a za različite varijante angažiranja HE

Tablica 2: Ukupni gubici snage u prijenosnoj mreži HEP-a (bez transformatora 110/x) za podvarijante [i], [ii], [iii] (MW)

| Hidrologija | Ekstr. vlažna | Vrlo vlažna | Vlažna | Norm. | Suha | Vrlo suha | Ekstr. suha |
|---|---------------|-------------|--------|-------|------|-----------|-------------|
| Osnovna varijanta (bez razmjene s BiH) | 58.8 | 59.5 | 58.8 | 58.9 | 58.9 | 65.4 | 68.9 |
| Varijanta (i): BiH --> HEP 150 MW | 60.8 | 58.4 | 55.4 | 52.6 | 52.1 | 55.9 | 58.6 |
| Varijanta (ii):HEP --> BiH 150 MW | 61.8 | 64.6 | 66.1 | 69.7 | 69.9 | 78.8 | 83.1 |
| Varijanta (iii) Uklj. 3 voda 220 kV, bez razmjene | 56.1 | 56.2 | 56.2 | 54.2 | 54.2 | 59.5 | 62.5 |
| Razlika: varijanta (i) - osnovna varijanta | 2.0 | -1.1 | -3.4 | -6.2 | -6.8 | -9.5 | -10.3 |
| Razlika: varijanta (ii) - osnovna varijanta | 3.0 | 5.1 | 7.3 | 10.8 | 11.0 | 13.4 | 14.2 |
| Razlika: varijanta (ii) - varijanta (i) | 1.0 | 6.2 | 10.7 | 17.1 | 17.8 | 22.9 | 24.5 |
| Razlika: varijanta (iii) - osnovna varijanta | -2.7 | -3.3 | -2.7 | -4.7 | -4.7 | -5.9 | -6.4 |



Slika 5. Ukupni gubici snage u prijenosnoj mreži HEP-a (bez transformatora 110/x) za podvarijante [i], [ii], [iii]

Rezultati proračuna prikazani u tablici 2. i na slici 5. ukazuju na slijedeće zaključke:

- primanje ili tranzit na zapad električne energije iz EES-a BiH smanjuje gubitke u prijenosnoj mreži HEP-a,
- davanje ili tranzit sa zapada u EES BiH povećava znatno gubitke u prijenosnoj mreži HEP-a, što je naročito izraženo u varijantama slabog angažiranja hidroelektrana u Dalmaciji,
- uključanjem 220 kV-tnih dalekovoda Jajce-Mraclin, Prijedor-Međurić i Tuzla-Đakovo2 smanjuju se gubici električne energije u prijenosnoj mreži HEP-a, kao i varijacije gubitaka koje nastaju promjenom angažiranja elektrana.

Gubici električne energije u prijenosnoj mreži HEP-a dosta su visoki u odnosu na većinu prijenosnih mreža u drugim državama. Za ilustraciju, može se navesti primjer gubitaka u prijenosnoj i distributivnoj mreži 7 najrazvijenih zemalja, prikazanih u tablici 3, što je preuzeto iz lit. 2. Jasno, ovakva usporedba sigurno nije primjerena s obzirom na nivo tehnološkog razvoja, strukturu mreže i potrošnje električne energije, ali jasno pokazuje koliko smo daleko od nekih prosječnih zapadnih standarda.

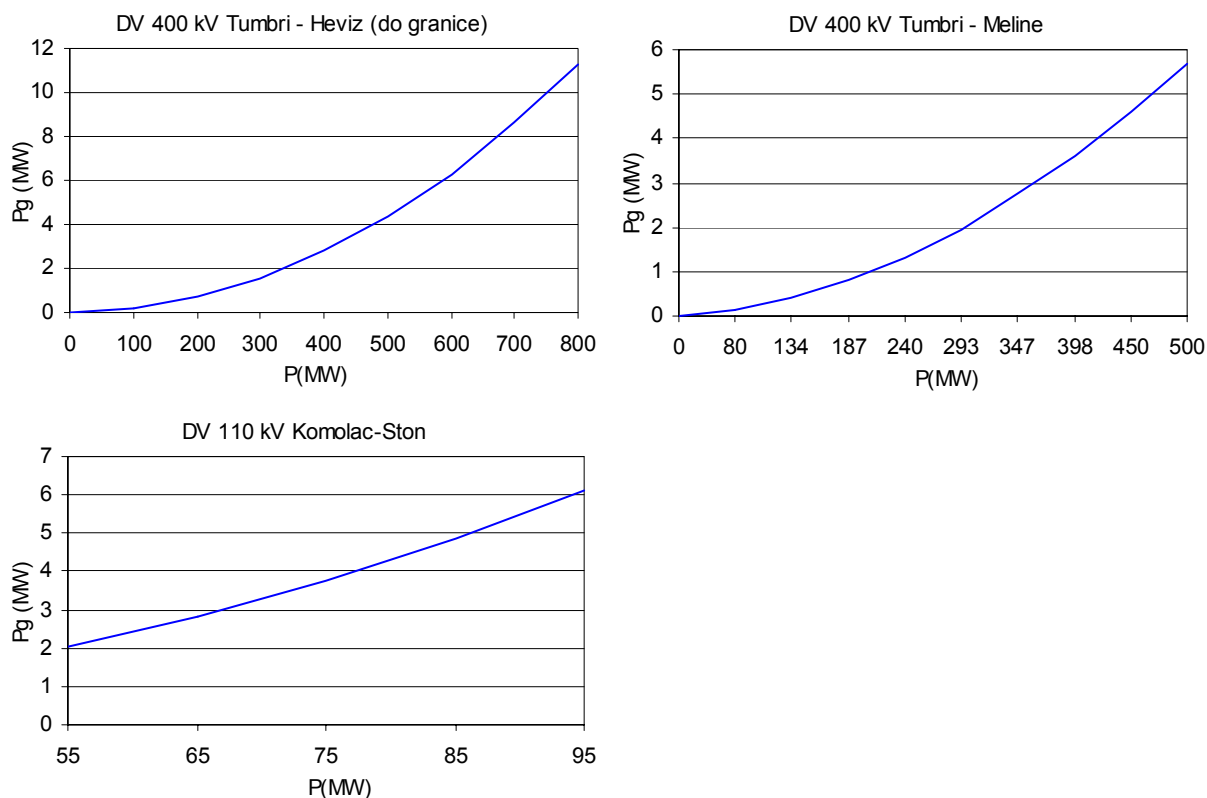
Tablica 3: Ukupni postotni gubici u prijenosnoj i distributivnoj mreži 7 najrazvijenih zemalja

| Godina | 1980 | 1985 | 1990 | 1995 | 1997 |
|-----------|------|------|------|------|------|
| USA | 6.6 | 6.1 | 5.7 | 5.6 | 5.4 |
| UK | 8.5 | 8.7 | 8.1 | 7.6 | 7.6 |
| Njemačka | 4.9 | 4.8 | 4.3 | 5.0 | 4.4 |
| Kanada | 10.0 | 9.6 | 7.7 | 8.4 | 8.8 |
| Francuska | 7.1 | 7.7 | 7.5 | 7.3 | 6.9 |
| Italija | 9.2 | 9.0 | 7.0 | 6.7 | 6.5 |
| Japan | 5.8 | 5.8 | 5.7 | 5.5 | 5.5 |

Gubici u prijenosnoj mreži HEP-a uvjetovani su prvenstveno sadašnjim tehničkim stanjem i povezanošću s drugim elektroenergetskim sustavima, a vrlo visok porast zabilježen u 2000. godini uvjetovan je velikim uvozom, sušnom hidrologijom u prvih deset mjeseci i tranzitom sa zapada za EES BiH. Na povećanje gubitaka u prijenosnoj mreži HEP-a posebno se može izdvojiti:

- Kruženje snage (parazitski ili crni tranzit, tranzit u petlji) EES-a Slovenije preko 400 kV-tnih dalekovoda na potezu Krško-Tumbri-Meline-Divača. Moguće rješenje problema je u dogradnji 400 kV mreže u Sloveniji.
- Gubici na 400 kV-tnom dalekovodu Tumbri-Heviz (od TS Tumbri do mađarske granice), koje je moguće znatno smanjiti puštanjem u pogon druge trojke. Na slici 6a odnosno 6b prikazani su gubici na DV 400 kV Tumbri-Meline odnosno Tumbri-Heviz (do granice).
- Gubici na 110 kV-tnom vodu Komolac-Ston (godišnje od 20 do 30 GWh), zbog evakuacije energije iz HE Dubrovnik, koji su prikazani na slici 6c. Moguće rješenje je dogradnja prijenosne mreže na području Dubrovnika.

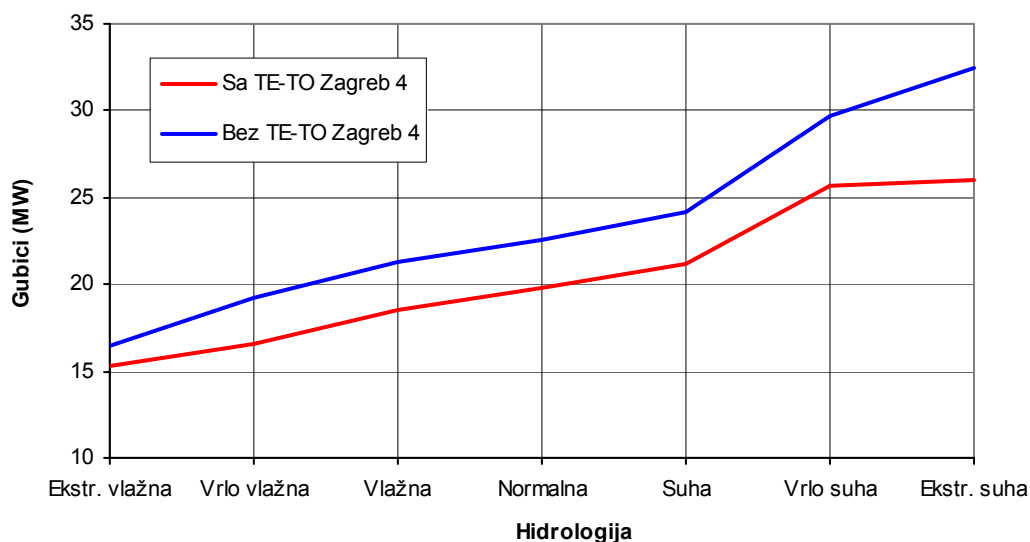
Također se može istaknuti da sadašnja prijenosna mreža HEP-a ima veliku osjetljivost gubitaka s promjenama u proizvodnji i razmjeni električne snage. S druge strane to znači da kod planiranja proizvodnje i razmjene treba uzimati u obzir i faktore penalizacije (obeštećenja) kako bi se osigurali realni troškovi pojedinih elemenata u operativnim troškovima rada EES-a. Nadalje iz ove analize se vidi da daljnje povezivanje prijenosne mreže sa susjednim sustavima smanjuje osjetljivost gubitaka mreže na promjene proizvodnje i razmjene, odnosno smanjuje same gubitke mreže i faktore penalizacije proizvodnje i razmjene .



Slika 6. Gubici snage (u ovisnosti o snazi prijenosa) na vodovima

- 400 kV Tumbri-Meline,
- 400 kV Tumbri – Heviz,
- 110 kV Komolac-Ston

Na smanjenje gubitaka u prijenosnoj mreži HEP-a, posebno na zagrebačkom području utjecati će uključenje TE-TO Zagreb 4 na mrežu (proizvodnja u centru potrošnje). Slika 7 prikazuje ovisnost gubitaka u prijenosnom području Zagreb pri vršnom opterećenju u varijantama sa i bez TE-TO Zagreb 4 za različite varijante angažiranja hidroelektrana.



Slika 7: Gubici snage u prijenosnom području Zagreb sa i bez TE-TO Zagreb 4

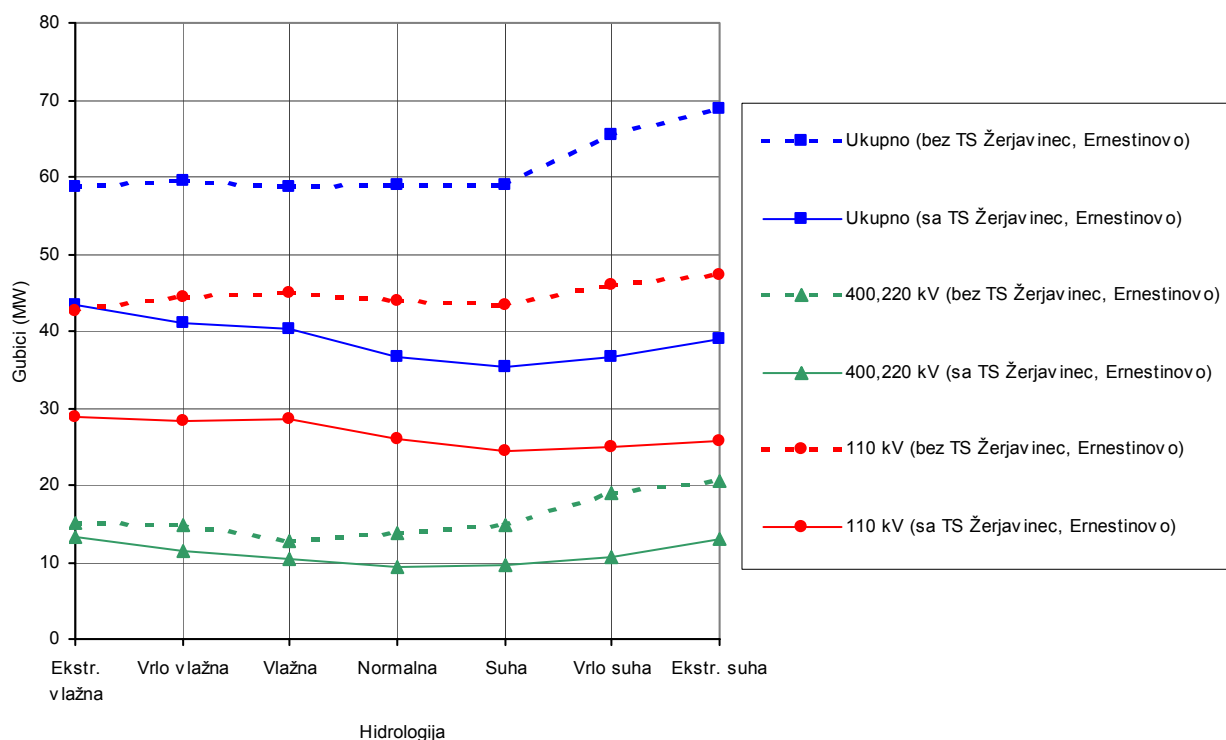
5. Utjecaj izgradnje TS Žerjavinec i TS Ernestinovo na gubitke u prijenosnoj mreži

Posebna varijanta proračuna napravljena je za slučaj izgradnje TS Žerjavinec i TS Ernestinovo. Pretpostavljeno je sljedeće:

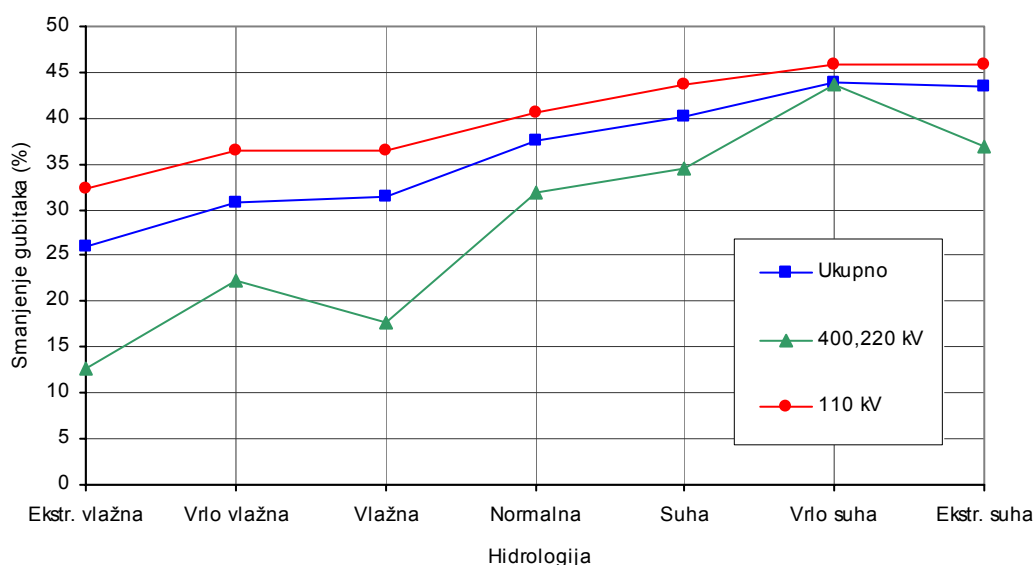
- izgradnja TS Žerjavinec 400/220/110 kV (2 transformatora 400/110 kV, 1 transformator 400/220 kV)
- izgradnja novih i uvođenje nekih postojećih vodova 110 kV u TS Žerjavinec, tako da je TS Žerjavinec povezana na 110 kV sa: TS Dubec (dvostruki vod), TS Resnik i TS Dugo Selo (dva voda)
- puštanje u pogon druge trojke 400 kV-tnog voda prema Mađarskoj (Heviz – Žerjavinec 2x, Žerjavinec – Tumbri, Žerjavinec – Ernestinovo)
- uspostava prijašnjeg stanja 220 kV-tne mreže, uz uvod 220 kV-tnog voda Cirkovce – Mraclin u TS Žerjavinec
- izgradnja TS Ernestinovo 400/110 kV (2 transformatora 400/110 kV)
- 400 kV-tni vod Tumbri – Ernestinovo uveden u TS Žerjavinec
- 400 kV-tni vod Ernestinovo – Ugljevik u pogonu, a Ernestinovo – RP Mladost van pogona
- na TS Ernestinovo povezani 110 kV-tni vodovi prema TS Osijek 1, TS Osijek 2, TS Valpovo, TS Našice, TS Đakovo i TS Vukovar

Proizvodnja elektrana i nabava zadržana je kao u prethodnim varijantama (tablica 1), ovisno o hidrologiji. Također je računato sa uključenim vodovima 220 kV Jajce-Mraclin, Prijedor-Međurić i Tuzla-Đakovo2, sa ukupnom bilancom razmjene prema BiH 0 MW (varijanta [i]).

Na slici 8 prikazan je usporedni prikaz gubitaka u prijenosnoj mreži HEP-a u prethodno promatranoj varijanti [i], te varijanti koja podrazumijeva izgradnju TS Žerjavinec i TS Ernestinovo, te ostale navedene pretpostavke. Prikazani su ukupni gubici u mreži, te posebno gubici u veleprijenosnoj mreži (400,220 kV) i gubici u 110 kV-tnoj mreži. Na slici 9 prikazano je postotno smanjenje gubitaka u odnosu na osnovnu varijantu. U tablici 4 prikazano je smanjenje gubitaka snage u prijenosnoj mreži HEP-a, po prijenosnim područjima i ukupno, nakon izgradnje TS Žerjavinec i TS Ernestinovo. Svi podaci odnose se na gubitke prijenosne mreže bez uračunatih gubitaka transformatora 110/x kV.



Slika 8: Usporedni prikaz gubitaka snage u prijenosnoj mreži HEP-a prije i nakon izgradnje TS Žerjavinec i TS Ernestinovo



Slika 9: Postotno smanjenje gubitaka snage u prijenosnoj mreži HEP-a nakon izgradnje TS Žerjavinec i TS Ernestinovo u odnosu na trenutno stanje mreže

Tablica 4: Smanjenje gubitaka snage u prijenosnoj mreži HEP-a po prijenosnim područjima nakon izgradnje TS Žerjavinec i TS Ernestinovo (MW)

| Hidrologija Područje | Ekstr. vlažna | Vrlo vlažna | Vlažna | Norm. | Suha | Vrlo suha | Ekstr. suha | Pros. |
|----------------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Sjever | 4.1 | 6.5 | 5.8 | 6.0 | 11.2 | 10.3 | 15.6 | 8.5 |
| Istok | 11.6 | 11.9 | 12.4 | 14.0 | 9.8 | 14.0 | 9.3 | 11.9 |
| Zapad | -0.8 | -0.9 | -0.5 | 0.8 | 0.8 | 1.8 | 2.2 | 0.5 |
| Jug | 0.4 | 0.9 | 0.9 | 1.4 | 2.0 | 2.6 | 2.9 | 1.6 |
| Ukupno | 15.3 | 18.4 | 18.5 | 22.2 | 23.7 | 28.7 | 29.9 | 22.4 |

Napomena: predznak (-) znači povećanje gubitaka

Izloženi rezultati vrlo jasno pokazuju koliki bi utjecaj na smanjenje u prijenosnoj mreži HEP-a imala izgradnja navedenih objekata. Najveće smanjenje gubitaka je u 110 kV-tnoj mreži prijenosnog područja Sjever, a pogotovo Istok, što je prvenstveno rezultat bitnih pojačanja 110 kV-tne mreže u centrima potrošnje (Zagreb, Osijek), većim dijelom napajanih transformacijom 400/110 kV iz TS Žerjavinec odnosno TS Ernestinovo. Osjetno smanjenje gubitaka, pogotovo u varijantama sušnije hidrologije, očituje se i u veleprijenosnoj mreži (400, 220 kV), što je prvenstveno rezultat puštanja u pogon druge trojke voda prema Mađarskoj, te napajanja Slavonije preko 400 kV-tnog voda Žerjavinec – Ernestinovo. Promijenjen je i oblik krivulje ovisnosti ukupnih gubitaka o hidrologiji, tako da se nešto veće vrijednosti mogu očekivati pri ekstremnim hidrološkim okolnostima (ekstremno suha i ekstremno vlažna hidrologija), a najmanje pri normalnoj i suhoj hidrologiji. Ukupna osjetljivost gubitaka u prijenosnoj mreži s obzirom na različite varijante angažiranja elektrana i nabave električne energije je smanjena. Prosječno postotno smanjenje gubitaka, uzimajući u obzir sve hidrologije s odgovarajućim vjerojatnostima pojave, iznosi oko 36% (ne računajući gubitke u transformatorima 110/x kV).

Izvršena je i analiza gubitaka snage u prijenosnoj mreži u varijanti bez transformacije 400/220 kV u TS Žerjavinec, koja je pokazala neznatno povećanje gubitaka. Povećanje iznosi prosječno oko 120 kW u svim varijantama angažiranja elektrana.

6. Mjere za smanjenje gubitaka

U svakom elektroenergetskom sustavu, pa tako i HEP-u treba gubitke energije svesti na najmanju moguću mjeru, a jedan od nužnih uvjeta je i točno poznavanje izvora odnosno strukture gubitaka. U prijenosnoj mreži, mjere za smanjenje gubitaka mogu se podijeliti na:

a) Konstruktivne, koje traže dodatne investicije, a to su:

- pojačanje i dogradnja mreže,
 - postavljanje uređaja koji rasterećuju mrežu od prijenosa jalovih snaga,
 - postavljanje uređaja za regulaciju napona i tokova jalovih snaga,
 - stalna kontrola raznih spojeva (termovizija) koji imaju velike prijelazne otpore itd.
- b) Pogonske, koje ne traže dodatne investicije, a gdje spadaju:
- ispravno održavanje svih elemenata prijenosne mreže,
 - pogon mreže s najpovoljnijom konfiguracijom,
 - ekonomična raspodjela snage za više paralelnih transformatora,
 - maksimalno povišenje nivoa pogonskog napona (radi ilustracije, prijenosna mreža 500 kV u PJM interkonekciji u SAD-u se stalno vozi s naponima 530-540 kV,
 - ekonomična raspodjela radnih i jalovih snaga u sustavu (među elektranama i među agregatima u pojedinim elektranama, optimalni tokovi snaga),
 - dobru organizaciju i statistiku vođenja podataka o proizvodnji, prijenosu, tranzitu, vlastitoj potrošnji elektrana i trafostanica, itd.

U većini slučajeva, konstruktivne mjere su efikasnije od pogonskih u pogledu smanjenja gubitaka električne energije. Međutim one traže dopunske investicije koje uvijek ne moraju biti i ekonomski isplative. Za pogonske mjere nisu potrebne dopunske investicije i stoga ih treba uvijek i potpuno provoditi bez obzira što efekt njihove primjene možda nije uvijek naročito značajan.

Da bi se gubici u prijenosnoj mreži mogli smanjiti promjenama u načinu eksploatacije, Nacionalni dispečerski centar potrebno je opremiti odgovarajućim informacijskim i programskim sustavom među kojima je najvažniji onaj za analizu mreža (topologija mreže, estimacija stanja, sigurnosne analiza, analiza osjetljivosti, optimalni tokovi snaga, analiza gubitaka), te najkvalitetnijim tehnološkim sustavom za mjerenje i obračun električne energije, čemu se u mnogim elektroprivredama posvećuje izuzetna pažnja. U modernim dispečerskim centrima analiza gubitaka u prijenosnoj mreži sastavni je dio plana voznog reda/bilance (za svaki sat, dan, tjedan, mjesec i godinu), a uključuje faktore penalizacije za svaku proizvodnu/ponuđenu cijenu u određivanju sustavne marginalne cijene. U vođenja elektroenergetskog sustava u realnom vremenu, smanjenje gubitaka u prijenosnoj mreži je stalni zadatak operatora.

Također u studijama za razvoj, proširenje i dogradnju prijenosne mreže pri usporedbi raznih varijanti budućeg razvoja treba uzimati u obzir i gubitke električne energije u sustavu.

7. Zaključak

Za očekivati je da će u narednim godinama kod godišnje potrošnje električne energije u Hrvatskoj od 14 do 15 TWh gubici u prijenosnoj mreži HEP-a iznositi od 500 do 700 GWh. Može se očekivati i povećanje apsolutnog i relativnog nivoa gubitaka zbog tranzita električne energije od strane drugih elektroprivreda preko prijenosne mreže HEP-a (pitanje povezano s troškovima i naplatom tranzita). Realne su, ali nešto rjeđe, i situacije u kojima dolazi do smanjenja gubitaka u prijenosnoj mreži kod tranzita koji se ostvaruju u suprotnom smjeru od prijenosa za vlastite potrebe (npr. na DV Tumbri/Žerjavinec – Ernestinovo). Stoga je relativni iznos gubitaka električne energije primjerenije, odnosno jedino ispravno, iskazivati u odnosu na prenesenu energiju kroz prijenosnu mrežu HEP-a.

Ako se pretpostave marginalni troškovi električne energije u HEP-u od 50 do 60 EU/MWh (snaga i energija), ekonomska vrijednost gubitaka u prijenosnoj mreži HEP-a na godišnjoj razini se kreće od 25.000.000 do 42.000.000 EU. To je sasvim dovoljan izazov za sve u Sektoru za vođenje i gospodarenje EES-om i Direkciji za prijenos da se pokušaju smanjiti gubici u prijenosnoj mreži promjenama načina eksploatacije elektroenergetskog sustava, stalnom kontrolom mjerenja (mjernih strujnih i naponskih transformatora, brojila itd.), te intervencijama u tehničko stanje mreže koje za sobom traže dodatne investicije.

Analiza izgradnje TS Žerjavinec, TS Ernestinovo, te izgradnje novih i priključka postojećih 400 kV-tnih i 110 kV-tnih vodova s obzirom na gubitke u prijenosnoj mreži, pokazala je bitno smanjenje istih. Okvirna procjena smanjenja ukupnih godišnjih gubitaka energije, računata na osnovu prosječnog smanjenja gubitaka snage pri vršnom opterećenju, ukupne godišnje potrošnje od 15 TWh, te procjenjenog upotrebnog vremena na godišnjem nivou od 5900 h,

iznosi 95 GWh (0,68% ukupne godišnje potrošnje). Uz pretpostavku marginalnih troškova proizvodnje električne energije u HEP-u u rasponu 50-60 EU/MWh, navedeno smanjenje gubitaka u prijenosnoj mreži rezultiralo bi smanjenjem godišnjih troškova za oko $4.75 \cdot 10^6$ - $5.7 \cdot 10^6$ EU, što je dobar poticaj za intenziviranje radova na pripremi i izgradnji navedenih objekata prijenosne mreže.

Literatura

1. M. Ožegović, K. Ožegović: Električne mreže I,II,III, FESB Split, 1988.
2. The Federation of Electric Company, Japan, annual report
3. Godišnja izvješća Hrvatske elektroprivrede i ZEOH-a
4. Programski paket TOKSwIn, FRACTAL d.o.o. Split

Autori:

Mr. sc. Ranko Goić, dipl. ing.
Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Split
R. Boškovića b.b.
21000 Split
rgoic@fesb.hr

Marko Lovrić, dipl. ing.
Hrvatska elektroprivreda d.d., Prijenosno područje Split
Ljudevita Posavskog 5
21000 Split
lovricm@hotmail.com

Dr. sc. Zorko Cvetković, dipl. ing.
HK CIGRE
Berislavićeva 6
10000 Zagreb
zcvetkovic@hk-cigre.hr