

Ivan Pavičić, dipl.ing.el.
Hrvatski operator prijenosnog sustava, d.o.o.
ivan.pavicic@hops.hr

dr.sc. Igor Ivanković, dipl.ing.el.
Hrvatski operator prijenosnog sustava, d.o.o.
igor.ivankovic@hops.hr

Ivan Šturlić, dipl.ing.el.
Hrvatski operator prijenosnog sustava, d.o.o.
ivan.sturlic@hops.hr

Boris Avramović, dipl.ing.el.
Hrvatski operator prijenosnog sustava, d.o.o.
boris.avramovic@hops.hr

Matija Mance, dipl.ing.el.
Hrvatski operator prijenosnog sustava, d.o.o.
matija.mance@hops.hr

PRAĆENJE GUBITAKA ZA VODOVE PRIJENOSNE MREŽE

SAŽETAK

Prijenos električne energije se vrši kroz prijenosnu i distributivnu mrežu, koje razlikujemo po nazivnim naponima i karakteru. Prijenosna mreža u Hrvatskoj je definirana 110 kV i višom naponskom razinom i mrežastog je karaktera, dok je distributivna mreža definirana nižom naponskom razinom od 110 kV pa sve do 0,4 kV i radijalnog je karaktera.

Prolaskom električne energije kroz prijenosnu mrežu javljaju se gubitci. Navedene gubitke možemo podijeliti na tehničke gubitke i ne tehničke gubitke. Pod ne tehnički gubitke se smatraju gubitci za koje je nemoguće utvrditi porijeklo (točan iznos i mjesto nastajanja), kao što su krađa, netočna mjerenja, loša evidencija i izračun gubitaka. Tehnički gubitci nastaju poznatim fizičkim učincima prijenosa električne energije i mogu se svesti na prihvatljive razine. Gubitci u prijenosnoj mreži se sastoje od gubitaka na dalekovodima i u transformatorima.

U radu će biti prikazane mogućnosti razvoja poslovnog modela u svrhu izračuna tehničkih gubitaka iz pojedinih informatičkih sustava i usporedba na stvarnim izmjerenim podacima gubitaka. Provedenom analizom je moguće utvrditi i kategorizirati gubitke, te predložiti tehnička rješenja i buduće investicije u dijelove mreže u svrhu smanjenja gubitaka.

Ključne riječi: prijenosna mreža, gubitci na prijenosnim vodovima, izračun gubitaka

PREDICTION OF TECHNICAL LOSSES ON LINES IN TRANSMISSION NETWORK

SUMMARY

Transfer of electricity is conducted through transmission and distribution networks, which are distinguished by the nominal voltages and character. In Croatia transmission network is defined by the 110 kV or higher voltage levels and grid character, while the distribution network is defined by a lower voltage level, lower than 110 kV and to 0.4 kV and have radial character.

Electricity losses in transmission network are generated by physical electrical effects. Those losses can be divided into technical and non-technical losses. Under the non-technical losses are considered losses for which it is impossible to determine the origin (the exact amount and location of formation), such as stealing, inaccurate measurements, poor records and calculation itself. Technical losses are known physical effects of electricity transmission and can be reduced to acceptable levels. Losses in the transmission network consists of losses on tie-lines and transformers.

In the paper it will be presented possibilities for the development business models for the calculation of technical losses from some IT systems and comparison with actual measured data losses. With analysis

it is possible to identify and categorize losses, and propose technical solutions and future investments in parts of the network to reduce losses.

Key words: transmission network, losses on tie-lines, loss calculation

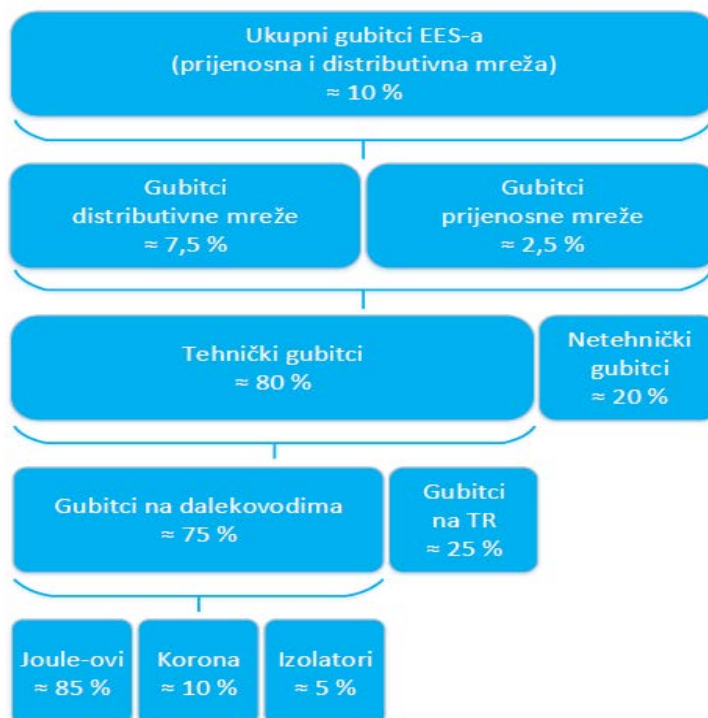
1. UVOD

Gubitci u prijenosnoj mreži se sastoje od gubitaka na dalekovodima i u transformatorima, te su uzrokovani poznatim fizičkim učincima prolaskom električne energije, te se mogu svesti na prihvatljive razine. Standardni načini izračuna gubitaka se rade prema podacima dobivenim iz mjerenja. U novije vrijeme zbog poslovnog okruženja gdje se gubitci tretiraju kao financijski trošak potrebno je gubitke predviđati na temelju izračuna iz poznatih električnih parametara u sustavu. Procjena gubitaka predstavlja važan ekonomski pokazatelj, a ujedno i služi utvrđivanju vrste gubitaka s obzirom na pogonska stanja prijenosne mreže. U radu su navedeni tipovi gubitaka na prijenosnim dalekovodima i očekivane razine gubitaka s obzirom na naponski nivo i konfiguracije stupova koje se koriste u Hrvatskoj. Predstavit će se mogući poslovni sustavi čiji se podaci mogu koristiti kao ulazni parametri za predloženo tehničko rješenje. U konačnici cilj je koristiti što veći set mjernih podataka iz različitih sustava po hijerarhiji s obzirom na točnost i pouzdanost mjernih podataka sve u svrhu izračuna gubitaka unutar dana.

2. GUBITCI U PRIJENOSNOJ MREŽI

2.1. Vrste gubitaka u EES-u

Gubitci u prijenosnoj mreži mogu se svrstati u tehničke gubitke i ne-tehničke gubitke. Tehnički gubitci odnose se na električnu energiju potrošenu na gubitke dalekovoda i gubitke transformatora. Ne-tehnički gubitci sastoje se od krađe električne energije, nepouzdana obrada podataka i pogreške mjerenja. Ne-tehnički gubitci su relativno manje značajni za prijenosnu mrežu i dominantno se pojavljuju unutar distribucijske mreže, te neće biti obrađeni. Kao što smo već spomenuli tehničke gubitke u prijenosnoj mreži dijelimo na gubitke na dalekovodima i transformatorima. Prema dostupnoj literaturi gubitci na dalekovodima su dominantnog utjecaja i mogu se podijeliti na Jouleovi gubitke, gubitke uslijed korone i gubitke na izolatorima, kako je prikazano slikom 1 [1].



Slika 1. Podjela gubitaka s obzirom na podrijetlo i karakter

2.1.1. Jouleovi gubitci

Gubici na dalekovodima se sastoje dominantno ($\approx 90\%$) od joulevih gubitaka zbog efekta zagrijavanja uslijed prolaska struje. Jouleovi gubici direktno ovise o iznosu struje koja prolazi vodiče, pa je tako za prijenosne dalekovode kretanje gubitaka do $\approx 2\text{-}3\%$ (ovisno o dužini dalekovoda i izboru užadi). Prema formuli 1. možemo izračunati Jouleove gubitke [2]:

$$\Delta P = 3 \cdot R \cdot \left[\frac{\sqrt{P_1^2 + \left(Q_1 - \frac{U_1^2 \cdot B}{2} \cdot 10^{-6}\right)^2}}{\sqrt{3} \cdot U_1} \right]^2 \quad [MW] \quad (1)$$

ΔP – Jouleovi gubici na dalekovodu [MW]
 P_1 – radna snaga na početku dalekovoda [MW]
 Q_1 – jalova snaga na početku dalekovoda [Mvar]
 U_1 – napon na početku dalekovoda [kV]
 R – otpor dalekovoda [Ω]
 B – susceptancija dalekovoda [μS]

2.1.2. Gubici korone

Gubici uslijed korone se javljaju kada pogonski napon na dalekovodu ima vrijednosti veće od kritičnog, a posljedično tome dolazi do ionizacije zraka i gubitak energije. Određivanje gubitaka se provodi eksperimentalnim putem, ali je moguće na temelju mjerenih podataka izračunati gubitke korone prema Peek-voj formuli koja se isto temelji na eksperimentalnim radovima. Sam izračun je ograničen nizom parametara, ali zadovoljava izračune za frekvencije od 50 do 60 Hz [3].

$$P_{kor} = \frac{241}{\rho} \cdot (f + 25) \cdot \sqrt{\frac{r}{D}} \cdot (U - U_{kr})^2 [kW/km] \quad (2)$$

ρ – faktor relativne gustoće zraka;
 f – frekvencija [Hz];
 r – polumjer vodiča [cm];
 D – međusobna udaljenost faza [cm];
 U – napon voda prema zemlji [kV];
 U_{kr} – kritični napon [kV].

Usporedbe gubitaka korone uslijed lijepog i lošeg vremena dana je tablicom, gdje je vidljivo da uslijed lošeg vremena za 400 kV dalekovode iznosi korone nisu zanemarivi. Tablicom 2. dan je prikaz iznosa gubitaka za različite vremenske uvjete i konfiguracije vodiča [4] i [5].

Tablica I. Gubici korone uslijed različitih vremenskih uvjeta

Vremenski uvjeti	Gubici izolatorskog lanca (kW/km)		
	220 kV		400 kV
	1 vodič u snopu	2 vodiča u snopu	3 vodiča u snopu
Suho	0,2	0,66	0,17
Kiša	-	28,1	7,6
Inje na vodičima	-	34,5	13,5

2.1.3. Gubici izolatora (struja curenja/odvoda)

Gubici djelatne energije na izolatorima na prijenosnim dalekovodima nisu velikog iznosa za vrijeme suhog vremena, a posebno kada su promatrani dalekovodi novi. S druge strane kada imamo starije dalekovode i zagađenje atmosfere duž trase dalekovoda je značajno, posebnu pažnju treba posvetiti činjenici da izolacija postaje nesavršena i postaje jako osjetljiva na vremenske prilike duž trase dalekovoda, stoga je nužno prilikom računanja ukupnih gubitaka odrediti moguće iznose gubitaka na izolatorskim lancima. Sljedeća formula omogućuje izračunavanje gubitaka [6]:

$$P_{iso} = \left(\frac{U}{\sqrt{3}}\right)^2 \frac{n_p}{R_{iso}} [W/km] \quad (3)$$

Gdje su:

U – linijski napon

R_{iso} – otpor izolatorskog lanca za lijepo vrijeme

n_p – broj izolatora po km

P_{iso} – gubitci

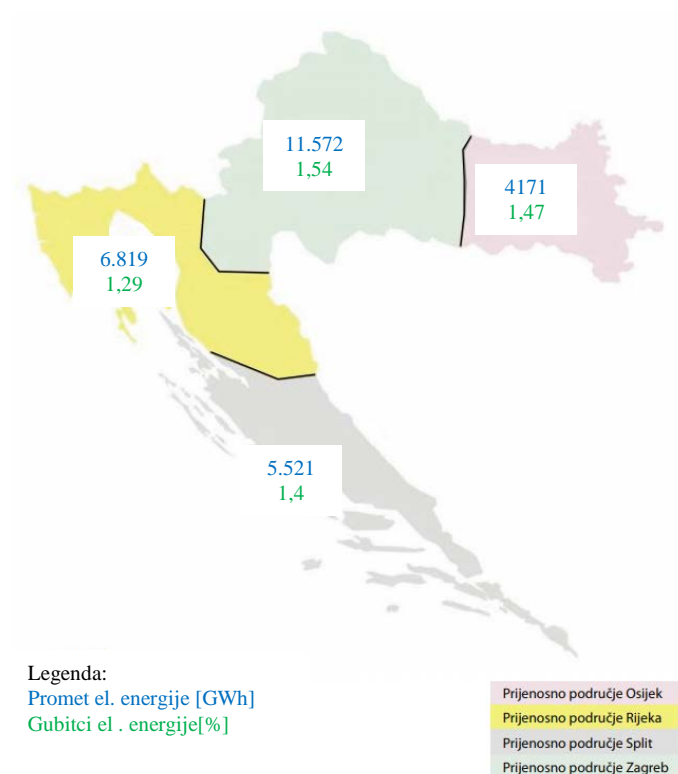
Izračunati gubitci za izolaciju uslijed lijepog vremena za 400 kV su 196 W/km, a za 220 kV su 60 W/km za sve tri faze [5]. Prema eksperimentalnim podacima iz tablice 2. gubitke možemo preračunavati u odnosu na lijepo vrijeme. Za teške vremenske prilike gubitci mogu biti $k = 22$ puta veća od onih mjerenih na suhom vremenu, odnosno za vrijeme jakih kiša i snijega, za napon 400 kV djelatni gubitci energije iznose do 4312 W/km za sve tri faze, a za 220 kV iznose 1331 W/km [4], [5] i [6].

Tablica II. Gubitci uslijed različitih vremenskih uvjeta

Vremenske prilike	Gubitci izolatorskog lanca (W)	
	220 kV	400 kV
<i>Suho</i>	0,1	0,3
<i>Slaba magla</i>	0,15	0,5
<i>Snijeg ispod 0°C</i>	0,25	0,8
<i>Jaka kiša</i>	1	3,2
<i>Jaka neprekinuta kiša</i>	1,1	3,6
<i>Oluja</i>	1,5	4,9
<i>Kiša s jakim snijegom</i>	2,2	7,1

2.2. Izračun gubitaka u prijenosnoj mreži

Gubitci električne energije u prijenosnoj mreži odgovaraju razlici energije koja uđe u prijenosnu mrežu i preda se iz prijenosne mreže. Energija koja uđe u prijenosnu mrežu je preuzeta na granici s susjednim operatorima prijenosnog sustava, na sučelju s proizvodnim pogonima i sučelju prijenosne i distribucijske mreže, isto tako su to iste točke na kojima se predaje energije iz prijenosne mreže uvećana za energije prodanu kupcima na prijenosnoj mreži. Obračunsko razdoblje za izračun gubitaka u prijenosnoj mreži je na mjesečnoj bazi, s time da se gubitci izražavaju na satnoj razini za promatrano mjesečno razdoblje. Na sučelju prijenosnog sustava i svih ostalih navedenih subjekata su instalirana brojila koja čine obračunsko mjerno mjesto, te se sa brojila prikupljaju podaci koji se spremaju u lokalnu i centralnu bazu. Radi bolje preglednosti i praćenja gubitaka na području Republike Hrvatske, prijenosna mreža podijeljena je na 4 regije.



Slika 2. Hrvatska prijenosna mreža podijeljena na 4 regije

3. PRIKUPLJANJE I OBRADA IZMJERENIH PODATAKA

3.1. Modeli i izvori prikupljanja mjerenih podataka

Osnovni elementi postojećeg sustava prikupljanja mjerenja električne energije na nivou prijenosne mreže su mjerni transformatori (strujni i naponski). Na navedene mjerne uređaje se spajaju razni uređaji koji za cilj imaju pratiti glavne električne veličine. U nastavku su navedeni sustavi koji mjere i prikupljaju električne veličine i njihove glavne značajke.

Brojila električne energije

Brojila električne energije unutar postojećeg mjernog sustava vezana su na dva načina. Starija vrsta brojila su spojena na registrator podataka (FAG) i to preko impulsnih ulaza ili komunikacijskim putem. Dio najmodernijih brojila ima mogućnost direktnog komuniciranja sa poslužiteljem. Podaci iz FAG-ova (podaci o energiji odnosno snazi - nivo TS), odnosno mjernih mjesta objedinjavaju se na nivou prijenosnih područja (PrP) HOPS-a u bazama podataka. Osnovne funkcije programskog sustava su: prikupljanje, validiranje, pohrana i obrada obračunskih mjernih podataka te sinkronizacija vremena mjernih uređaja. Nadzorne funkcije sustava otkrivaju poremećaje u prikupljanju i registraciji obračunskih mjernih podataka.

SCADA

Mjerenja u SCADA/AGC/EMS sustavima koriste se za nadzor i vođenje EES-a u stvarnom vremenu. U SCADA/AGC/EMS sustave u centrima vođenja EES-a prenose se i obrađuju mjerenja snage, struje, napona i frekvencije. Mjerenja snage se integriraju na razini SCADA sustava kako bi se izračunala mjerenja energije za potrebne sekundarnog izvora u izvještajima. Tako izračunata mjerenja energije u pravilu su manje točnosti i pouzdanosti od mjerenja energije iz brojila električne energije. Jezgre mjernih transformatora za potrebe ovih mjerenja su klase točnosti 0.5.

Točnost mjerenja ovisi o tipu i generaciji opreme daljinskog nadzora i upravljanja, te o postavljenim mrtvim zonama i parametru osvježavanja. Mrtve zone postavljaju se na razini EE objekta kako bi se rasteretili programi za prikupljanje podataka u SCADA sustavima u centrima. Preporuke za podešenja

mrtvih zona na mjerenjima u novim EE objektima koja se koriste u sustavima u stvarnom vremenu su slijedeće:

- na vodovima razmjene i proizvodnje se mjerenja postavljaju na cikličko slanje s periodom osvježavanja od 4 s bez mrtve zone kao i na mjerenja frekvencije koja se koriste u algoritmu AGC-a,
- na ostala mjerenja postavljaju se mrtve zone u iznosima od 0,5%-1% nazivne vrijednosti mjerenja.

Na EE objektima u kojima je ugrađena starija generacija opreme mrtve zone mogu iznositi i do 1,5% nazivne vrijednosti, a i točnost mjerenja je znatno lošija [7] i [8].

Kvaliteta el.energije

Sustav kvalitete el. energije je izgrađen korištenjem digitalnih uređaja koji omogućavaju mjerenja potrebnih električnih veličina kao što su: napona (fazni i linijski), struja po fazama, frekvencije, faktora snage, viših harmonika, radne, jalove i prividne snage i energije, te njihove promjene. Uređaji omogućavaju snimanje i analizu valnih oblika i tranzijenata, analizu harmonika, prikaz fazorskog dijagrama, debalansa napona i struja itd. Ovi instrumenti zajedno sa pripadajućim programskim paketom ION Enterprise omogućuju pohranu svih veličina i parametara u centralnu bazu podataka. Instrumenti su spojeni na LAN i podaci su dostupni u realnom vremenu za korisnike ovisno o selekciji podataka i definiranim pravima [9].

PMU

Sustav za široki nadzor prijenosne mreže (Wide Area Measurement, WAM system) zasnovan je na sinkroniziranim mjernim uređajima (Phasor Measurement Unit, PMU) koji imaju također vrlo dobre karakteristike, a koje se mogu koristiti za analizu mjerenja gubitaka u prijenosnoj mreži. PMU uređaji spojeni su naponske mjerne transformatore (sekundarni namot za mjerenje) te na strujne mjerne transformatore (sekundarni namot za mjerenje ili zaštitu). Podaci s prijenosnih dalekovoda uzorkuju se s učestalošću od 20 ms. Podaci u realnom vremenu pristižu (kašnjenje je nekoliko desetak ms) i pohranjuju se u WAM sustavu u centru. Na taj način podatke je moguće koristiti za napredene aplikacije u obradi gubitaka na prijenosnim dalekovodima, a to je posebno moguće za unutarnje dalekovode 400 kV, jer su svi pokriveni s PMU uređajima [10] i [11].

Tablica III. Osnovne značajke sustava za mjerenje električne energije

	Učestalost uzorkovanja	Točnost	Trend	Napomena	DWH Prioritet izvora
Brojila električne energije	Kontinuirano mjerenje električne energije	NMT 0,2 SMT 0,2		Točan izračuna unutar promatranog intervala (15 min. i više)	Primarni izvor podataka
SCADA (mjerenje snage)	4 sekunde vodovi razmjene i proizvodnja 10 sekundi Ostala mjerenja	NMT 0.5 SMT 0.5	Mogućnost praćenja trenda struje u promatranom intervalu	Mrtva zona, Osvježavanje, zbog osvježavanja nije u potpunosti točno mjerenje električne energije u promatranom intervalu	Sekundarni izvor podataka
Kvaliteta električne energije	Kontinuirano mjerenje i snimanje viših harmonika	NMT 0.5 SMT 0.5	Mogućnost praćenja trenda struje u promatranom intervalu		Sekundarni izvor podataka
PMU uređaj (mjerenje snage)	Svaki 20 ms	NMT 0.5 SMT 0.5 i 5P30	Točan izračun u promatranom intervalu, Mogućnost praćenja trenda u promatranom intervalu	Točno mjerenje u promatranom intervalu	Ne koristi se u DWH

3.2. Preuvjeti za obradu mjerenih podataka

Za procjenu predvidljivih modela za različite dalekovode za traženo vremensko razdoblje potrebno je poznavati osnovne tehničke značajke prijenosnog sustava, te i ostale uvjeti koji moraju biti ispunjeni:

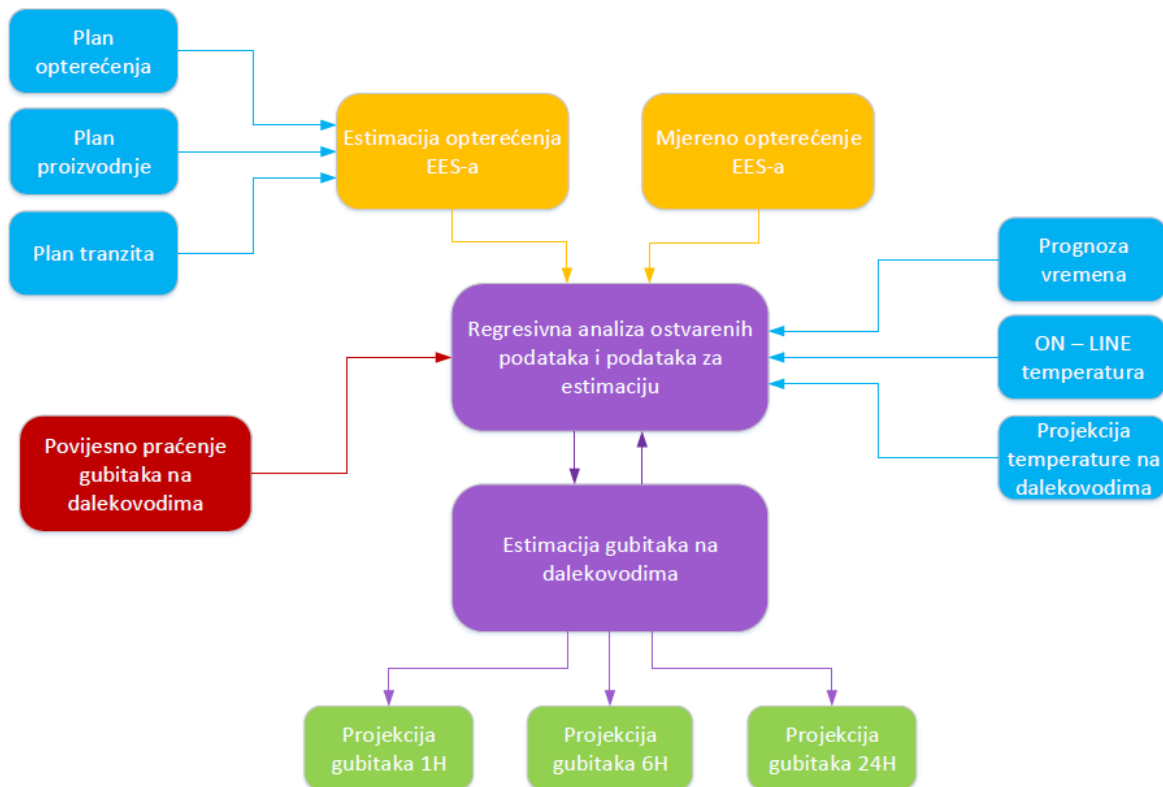
- Estimacija opterećenja sustava
- Mjereno opterećenje sustava
- Mogućnost povijesnog praćenja
- Usporedba estimacije s mjerenim podacima
- Usporedba mjerenih vrijednosti u ovisnosti o vremenskim prilikama
- Predviđanje gubitaka u ovisnosti o trenutnim vremenskim prilikama i povijesnim podacima

Navedeni uvjeti omogućuju bolje i točnije predviđanje gubitaka. Sam proces izračuna projekcije gubitaka je iterativni proces koji koristi postojeće podatke i uspoređuje ih s povijesnim podacima. Detaljniji opis procesa predloženog modela je dan u sljedećem poglavlju.

3.3. Model za predviđanje gubitaka na temelju mjerenih podataka

Za dan unaprijed se unose podloge za planove potrošnje i razmjerno tome planovi proizvodnje i uvoza. Vršiti se proračun tokova snaga na Hrvatskoj mreži i dobivaju se planirane vrijednosti tokova snaga. U navedenom procesu postoje dva dominantna faktora koji trenutno utječu na ukupni izračun tokova snaga, a to su elektrane iz obnovljivih izvora i neplanirani prekogranični tokovi. Trenutno za svako odstupanje proizvodnje el. energije iz obnovljivih odgovoran je operator prijenosnog sustava, koji navedeno odstupanje uravnotežava postojećim mjerama koje ima u tom trenutku. Na odstupanje planiranih prekograničnih tokova isto tako operator prijenosnog sustava nema prevelikog utjecaja zbog nepoznavanja trenutnog stanja u susjednim sustavima. Zbog navedenog, poželjno je da se prilikom izračuna tokova snaga kontinuirano uzimaju novi mjereni podaci, te se vrši ponovno planiranje unutra istog dana.

Prije izračuna projekcije gubitaka nužno je poznavati vremenske uvjete (temperaturu i oborine). Za promatrano područje se unose raspon temperature, te vjerojatnost i vrsta oborina, te se na temelju toga rade bazne krivulje gubitaka dalekovoda. Rezultati se tada uspoređuju s povijesnim podacima i u slučaju odstupanja vrši se korekcija u odnosu na već ostvarene mjerne podatke koji su ujedno i usuglašeni s obzirom na vremenske uvjete. Na temelju toga se vrši estimacija gubitaka za dalekovode u EES sustavu. Nakon pristizanja ostvarenih mjerenih podataka vrši se regresivna analiza gdje se prvo određuje odstupanje mjerenih u odnosu na planirane podatke i tada se u odnosu na odstupanje vrši ponovni izračun na temelju raspona temperature, te vjerojatnost i vrsti oborini. Detaljniji postupak je opisan slikom 3., te se navedeni izračuni vrši u vremenu. Vrijeme osvježavanja izvještaja ovisi o količini i vremenu pristiglih mjerenih podataka.



Slika 3. Model projekcije gubitaka

4. PREDVIĐANJE GUBITAKA NA TEMELJU IZRAČUNA I USPOREDBA S IZMJERENIM VRIJEDNOSTIMA

4.1. Odabir dalekovoda i mogući iznosi gubitaka

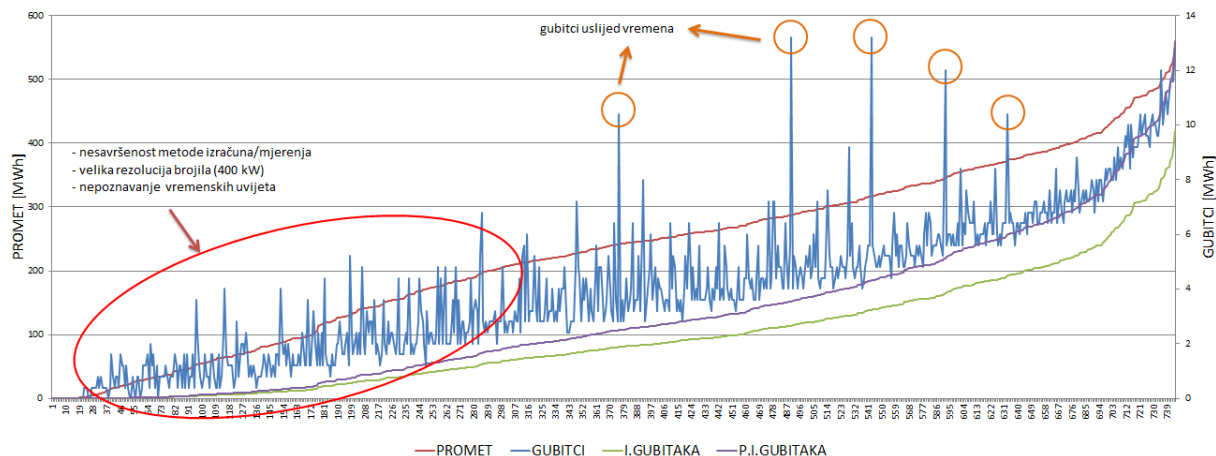
Zbog navedene problematike određivanja tehničkih gubitaka cilj istraživanja je bio ustanoviti kretanje gubitaka na svim naponskim nivoima u prijenosnoj mreži. Za početak je uzet model 110 kV dalekovoda koji ima dominantno jouleove gubitke u ukupnim gubitcima. Za izračun gubitaka korišteni su podaci iz SCADA sustava i uspoređivani s izmjerenim podacima iz brojila. Rezultati na satnoj razini za male snage nije bilo moguće usporediti, što će se kasnije pokazati kao i problem za 220 i 400 kV dalekovode. Razlog nemogućnosti usporedbe rezultata na malim snagama je veliki prijenosni omjer mjernih transformatora, te sukladno tome velika konstanta brojila. Stoga je rađena usporedba na dnevnoj vremenskoj domeni (24 h), te se greška za navedeni 110 kV dalekovod kretala do 10% za najlošije slučajeve. Razlog tako velike greške između modela i izmjerenih podataka je prvenstveno u nepoznavanju temperature vodiča i korelaciji temperature okoline i vodiča. Promatrani dalekovod je prolazio kroz zahtjevniji geografski teren, te je bilo za očekivati da će imati i značajnije odstupanje temperature duž svoje trase.

Najveći izazov za otkrivanje vrste i iznosa gubitaka su 400 kV dalekovodi. Kako je već gore navedeno kod dalekovoda na 400 kV naponskom nivou moguće je očekivati značajne gubitke korone i curenje uslijed loših vremenskih uvjeta. Za promatrani 400 kV dalekovod u godini dana zabilježeno je preko 1000 h za koje se smatra da je udio gubitaka korone i struje curenja veći od 40% ukupnih gubitaka na dalekovodu. Treba navesti da promatrani dalekovod prolazi najzahtjevniji geografski krajolik u Hrvatskoj i značajno mijenja nadmorsku visinu duž svoje trase. Detaljniji izračun gubitaka i usporedba s izmjerenim vrijednostima dan je u sljedećem poglavlju.

4.2. Usporedba predviđenih i izmjerenih podataka

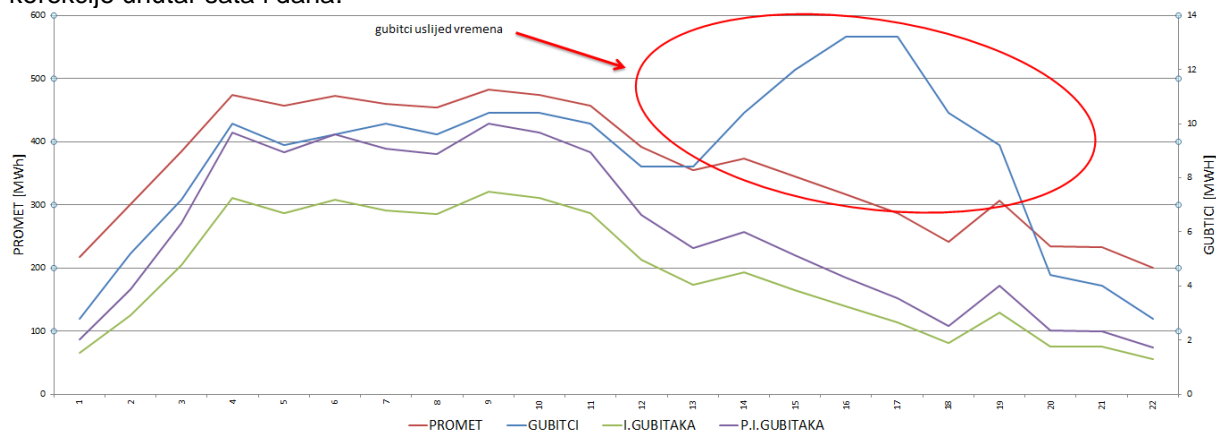
U svrhu predviđanja gubitaka na 400 kV dalekovodima razvijeno je više modela izračuna gubitaka s obzirom na način prikupljanja podataka i mogućnosti obrade istih. Na slici 4. za usporedbu izračuna gubitaka su uzeti podaci s brojila i izračuni gubitaka na temelju podataka iz SCADA-e (I. Gubitaka) i

poboljšani izračun gubitaka (P.I. Gubitaka), koji uzima u obzir dodatne parametre osim iznosa napona i struje. Na slici 4. je vidljivo da je odnos krivulja prometa energije i iznos gubitaka ravnomjeran. Problemi koji su vidljivi i sa slike, a već su prije spomenuti da na malim snaga u satnoj rezoluciji nije moguće postići zadovoljavajući točnost. Vidljivi špicjevi na slici 4. su odraz gubitaka uslijed vremenskih neprilika tj. u konkretnom slučaju snijega. Za navedeni mjesec uočeno je da postoji više od 30 sati za koje se smatra da imaju dominantan utjecaj gubitaka uzrokovanih vremenskim neprilikama.



Slika 4. Kretanje gubitaka na 400 kV dalekovodu unutar jednog mjeseca

Način kretanja gubitaka za dan unaprijed i unutar samog dana je dan slikom 5. Ponovno je vidljivo da do trenutka kada gubitci nekontrolirano rastu uslijed vremena (13 sat) izračun gubitaka i izmjerene vrijednosti se dobro poklapaju. Problem gubitaka koji su uzrokovani uslijed vremena može se riješiti boljom i točnijom prognozom, te boljim praćenjem povijesnih podataka. U konkretnom slučaju je predložen model gdje se uzimaju mjerni podaci iz PMU-a, te se uslijed porasta gubitaka može odmah odrediti iznos i napraviti korekcije unutar sata i dana.



Slika 5. Kretanje gubitaka na 400 kV dalekovodu unutar jednog dana

4.3. Mogućnosti primjene

Predloženi model izračuna gubitaka u realnom vremenu na temelju navedenih poslovnih sustava omogućio bi unaprjeđenje planiranja i nabave gubitaka. Kako s ekonomskog stajališta tako s tehničkog stajališta optimirao bi se proces nabave i ostvarenja gubitaka. Navedeni proces bi se integrirao u kontrolni sustav operatora prijenosnog sustava, te bi se pratila i mjerila efikasnost samog sustava s stajališta gubitaka [10] i [12].

5. ZAKLJUČAK

Prikazani model je logičan nastavak rada na izračunu tehničkih gubitaka na prijenosnim vodovima. Na temelju dostupnih mjerenja iz različitih izvora, usporedbom podataka i usporedbom prijašnjih podataka

iz baza podataka pomoću prediktivnih funkcija, moguće je odrediti Jouleove gubitke u svakoj prijenosnoj liniji za trenutna stanja. Potrebno je razviti i unaprijediti baze podataka za dalekovode koji bi imali povijesne izmjerene podatke. Koristeći sličnu metodologiju kao za Jouleove gubitke, mogu biti predvidljive funkcije za koronu i gubitke curenja uz poboljšano praćenje vremenskih prilika.

ZAHVALA

Rad autora sufinancirali su Hrvatska zaklada za znanost, Hrvatski operator prijenosnog sustava i HEP Proizvodnja kroz projekt WINDLIPS – WIND Energy Integration in Low Inertia Power System, darovnica bro. PAR-02-2017-03.

6. LITERATURA

- [1] Papaefthymiou, G., Beestermoller, C. and Gardiner, A. „Incentives to improve energy efficiency in EU Grids“. Ecofys; 2013.
- [2] Rudolf L. Software solution of technical losses of the transmission network system line. Transactions on Electrical Engineering 2013; 2: 97-101.
- [3] Peek F. Laws of corona I II III. AIEE Transactions 1912; 30: 1889.
- [4] A. Deri, G. Fodor. „Influence of geometric parameters on the corona loss of 220 kV and 400 kV overhead transmission lines“, Technical University Budapest, 1969.
- [5] Baran I, Costea M, Leonida T. On the possibility of using weather forecast to predict corona losses. In: 8th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering; 2013; Bucharest, Romania. pp. 1-6.
- [6] A. Ombua, H. A. Labane, „High voltage lines: energy losses in insulators“, The International Journal of Engineering and Science, Volume 6, Issue 10, 27-10-2017.
- [7] I. Ivanković, I. Kuzle, N. Holjevac, “Multifunctional WAMPAC system concept for out-of-step protection based on synchrophasor measurements“, International journal of electrical power & energy systems (0142-0615), Vol. 87, May 2017, pp 77-88, DOI:10.1016/ijepes.2016.11.005.
- [8] D. Peharda, I. Ivanković, N. Jaman “Using Data from SCADA for Centralized Transformer Monitoring Applications“, 4th International Colloquium "Transformer Research and Asset Management", Pula, Croatia, 10-12 May 2017.
- [9] S. Preglej, A. Dujmović, D. Dereani „Sustavi za nadzor kvalitete električne energije na točkama predaje velikim industrijskim“. CIREN, 2008.
- [10] Y. Wang, Q. Chen, T. Hong, C. Kang “Review of Smart Meter Data Analytics: Applications, Methodologies, and Challenges“, IEEE Transaction on Smart Grid, February 2018, DOI: 10.1109/TSG.2018.2818167.
- [11] C. Unsihuay, O. R. Saavedra “Comparative Studies on Transmission Loss Allocation Methods for Competitive Electricity Markets“, 2003 IEEE Bologna Power Tech Conference, June 23th-26th 2003, Bologna, Italy, DOI: 10.1109/PTC.2003.1304457
- [12] I. Ivanković, K. Žubrinić-Kostović, A. Kekelj, D. Peharda “Korištenje klasifikacije podataka SCADA sustava u naprednim mrežama u svrhu upravljanja održavanjem“, 13. savjetovanje HRO CIGRÉ, Šibenik, 5.-8. studenog 2017.