

Tomislav Baričević
Energetski institut Hrvoje Požar
tbalicevic@eihp.hr

Danko Vidović
Energetski institut Hrvoje Požar
dvidovic@eihp.hr

Minea Skok
Energetski institut Hrvoje Požar
mkok@eihp.hr

Viktorija Dudjak
Energetski institut Hrvoje Požar
vdudjak@eihp.hr

PREPORUKE ZA PLANIRANJE DISTRIBUCIJSKE MREŽE TEMELJEM ANALIZE TEHNIČKIH GUBITAKA ELEKTRIČNE ENERGIJE U DISTRIBUCIJSKOJ MREŽI HEP ODS-A

SAŽETAK

U radu su prikazana osnovna načela postupka i rezultati proračuna tehničkih gubitaka u distribucijskoj mreži HEP ODS-a. Detaljno su analizirani tehnički gubici u primarnoj distribucijskoj mreži i vodovima 10(20) kV, uključujući transformatore 110/SN u vlasništvu operatora prijenosnog i distribucijskog sustava, kako bi se usporedile dvije koncepcije razvoja distribucijske mreže, klasična s tri naponske razine 110-35-10 kV i novija s dvije naponske razine 110-20 kV. Rezultati upućuju na zaključak kako je u pogledu tehničkih gubitaka povoljniji sustav s izravnom transformacijom 110/20 kV i jednom razinom srednjeg napona (20 kV). Stoga je radi optimiranja ulaganja potrebno u značajnoj mjeri integralno planirati razvoj distribucijske mreže i prijenosne mreže naponske razine 110 kV.

Ključne riječi: tehnički gubici električne energije od transformacije 110/SN do mreže 10(20) kV, integralno planiranje razvoja distribucijske i prijenosne mreže

RECOMMENDATIONS FOR DISTRIBUTION NETWORK PLANNING BASED ON ANALYSES OF TECHNICAL ENERGY LOSSES IN HEP DSO DISTRIBUTION NETWORK

SUMMARY

The paper presents basic principles and results of calculations of technical energy losses in HEP DSO distribution network. Detailed analysis of technical losses in primary distribution network and 10(20) kV lines including 110/MV transformers owned by transmission and distribution system operators is conducted to compare two concepts of the distribution network development, a classical one with three voltage levels 110-35-10 kV and a newer one with two voltage levels 110-20 kV. The results point to the conclusion that, in terms of technical losses, a system with direct transformation 110/20 kV and one medium voltage level (20 kV) is preferred. Therefore, in order to optimize the investment, it is necessary to consider integrated development planning of the distribution network and the 110 kV voltage level transmission network.

Key words: technical energy losses from 110/MV transformers to 10(20) kV network, integral distribution and transmission network planning

1. UVOD

Tehnički gubitci električne energije su važan pokazatelj stanja distribucijske mreže. U referatu je temeljem studije gubitaka [1] dan njihov pregled po pojedinim distribucijskim područjima HEP ODS-a i elementima distribucijske mreže, od vodova 110 kV, preko transformatora 110/SN, vodova 35(30) kV, transformatora 35(30)/10(20) kV, vodova 10(20) kV, transformatora 10(20)/0,4 kV do mreže niskog napona, priključaka te brojila i mjerne opreme. Temeljem usporedbe karakteristika distribucijske mreže i iznosa tehničkih gubitaka po distribucijskim područjima određene su smjernice za planiranje razvoja distribucijske mreže u pogledu energetske učinkovitosti, odnosno tehničkih gubitaka električne energije.

2. PREGLED PRIMIJENJENIH METODA PRORAČUNA TEHNIČKIH GUBITAKA

Tehničke gubitke električne energije dijelimo na dvije osnovne vrste: gubitke neovisne o opterećenju i gubitke ovisne o opterećenju. Gubitci neovisni o opterećenju nastaju u praznom hodu strojeva, transformatora i drugih uređaja zbog magnetiziranja njihovih jezgri te gubitci zbog odvoda (dielektrični gubitci i gubitci na izolatorima). Pod gubiticima ovisnim o opterećenju u pravilu se podrazumijevaju samo toplinski gubitci zbog protjecanja struje kroz vodič. Proporcionalni su kvadratu jakosti struje i mogu se računati kao proporcionalni kvadratu prividne snage.

Glavne varijable koje najznačajnije utječu na točnost procjene tehničkih gubitaka električne energije u promatranom elementu distribucijske mreže su:

- distribuirana energija,
- vršno opterećenje i oblik krivulje trajanja opterećenja,
- neistodobnost opterećenja,
- nesimetričnost opterećenja,
- temperaturna ovisnost otpora vodiča i
- model (karakteristike) mreže.

Za vjerodostojnu analizu i proračun tehničkih gubitaka električne energije nužna kvalitetna energetska bilanca, koja vjerodostojno odražava tokove energije po naponskim razinama i elementima distribucijske mreže, uključujući sva preuzimanja, odnosno predaje električne energije iz promatrane distribucijske mreže, odnosno njenog dijela:

- nabava s mreže prijenosa i drugih distribucijskih mreža,
- nabava od elektrana priključenih na distribucijsku mrežu,
- predaju u mrežu prijenosa i druge distribucijske mreže,
- prodaju krajnjim kupcima,
- gubitke električne energije.

Detaljni prikaz utjecaja pojedinih komponenti energetske bilance na prikaz i proračune gubitaka te prijedlozi za unapređenje praćenja energetske bilance dani su u [2]. Proračuni tehničkih gubitaka provedeni su temeljem vjerodostojnih iznosa energija distribuiranih promatranim razinama (elementima) distribucijske mreže. Radi usporedbe pojedinih distribucijskih područja u pogledu tehničkih gubitaka, izraženi su kao relativna vrijednost u odnosu na energiju distribuiranu promatranom razinom (elementom) distribucijske mreže ili ukupno promatrani u odnosu na nabavu električne energije.

Prikazane vrijednosti tehničkih gubitaka odnose se na stanje distribucijske mreže 2014. godine, što za primarnu distribucijsku mrežu, u kojoj su ocjenjivani tehnički gubitci na razini pojedinih elemenata mreže, znači praćenje stanja (ulaska i izlaska iz pogona, uklopnog stanja) tijekom godine, a za mrežu 10(20) kV, transformaciju 10(20)/0,4 kV i mrežu niskog napona stanje na kraju godine (31.12.2014.).

Odabir metode proračuna tehničkih gubitaka u prvom redu ovisi o brojnosti elemenata mreže i dostupnosti kvalitetnih podataka za modeliranje mreže i opterećenja. Sukladno tome, primijenjene su sljedeće metode proračuna tehničkih gubitaka:

- 1) proračuni gubitaka po pojedinim vodovima 110 kV i 35(30) kV provedeni su na stvarnim modelima vodova, proračunom dielektričnih gubitaka i gubitaka snage u vodičima na satnoj razini temeljem krivulja opterećenja odgovarajućih transformatora 110/SN iz SCADA sustava HEP ODS-a i SCADA/EMS sustava HOPS-a;
- 2) proračuni gubitaka transformatora 110/35(30) kV, 110/10(20) kV, 35(30)/10(20) kV i 10/20 kV provedeni su temeljem stvarnih parametara gubitaka transformatora ili nadomjesnih određenih kao srednje vrijednosti poznatih za istovjetne transformatore približno jednake starosti, proračunom gubitaka snage ovisnih i neovisnih o opterećenju za svaki sat temeljem godišnjih krivulja opterećenja (ili struja i napona) transformatora iz SCADA sustava HEP ODS-a i SCADA/EMS sustava HOPS-a;
- 3) procjena gubitaka električne energije u vodovima 10(20) kV relativno je visoke točnosti, jer je temeljena na stvarnom modelu mreže, tokovima snaga pri vršnom opterećenju temeljenim na studijama razvoja SN mreža pojedinih distribucijskih područja i godišnjem vremenu trajanja gubitaka prema dobivenom iz stvarne krivulje trajanja opterećenja promatranog distribucijskog područja modificirane na razinu zbroja neistodobnih opterećenja izvoda 10(20) kV;
- 4) proračun gubitaka u transformaciji 10(20)/0,4 kV temeljem stvarnih parametara gubitaka transformatora ili nadomjesnih određenih kao srednje vrijednosti poznatih za istovjetne transformatore približno jednake starosti, proračunom gubitaka snage ovisnih i neovisnih o opterećenju primjenom godišnjeg vremena trajanja gubitaka prema dobivenom iz stvarne krivulje trajanja opterećenja promatranog distribucijskog područja modificirane na razinu zbroja neistodobnih opterećenja transformatora 10(20)/0,4 kV;
- 5) proračun gubitaka u vodovima niskog napona proveden je na približnim stohastički modeliranim izvodima niskog napona, točnim simetričnim proračunom tokova snaga na približnom opisu godišnje krivulje trajanja opterećenja dobivene iz stvarne krivulje trajanja opterećenja promatranog distribucijskog područja modificirane na razinu zbroja neistodobnih opterećenja transformatora 10(20)/0,4 kV nizom parova diskretnih vrijednosti (PT, ΔT_i) i proračunu energetskih prilika u mreži za svaku razinu opterećenja;
- 6) gruba procjena gubitaka u priključnim vodovima, pri čemu su u obzir uzeti samo priključci na niskom naponu, dok su ostali zanemareni;
- 7) gubitci u brojilima i ostalim uređajima u sustavu mjerenja potrošnje električne energije određeni su za stanje broja brojila 2014. godine temeljem analize HEP ODS-a prevedene za potrebe studije opravdanosti masovnog uvođenja naprednih brojila [3].

Provedene analize pokazale su da je za točnije određivanje tehničkih gubitaka potrebno:

- za transformatore 110/SN, vodove 35(30) kV i transformatore 35(30)/10(20) kV uzeti u obzir satna mjerenja opterećenja odvojeno za oba smjera toka energije (gubitcima doprinose neovisno o smjeru);
- za transformatore 110/SN i 35(30)/10(20) kV uzeti u obzir stvarno stanje uključenosti, kako bi gubitci neovisni o opterećenju bili točno vrednovani;
- za transformatore 10(20)/0,4 kV potrebno je temeljem sustavnih mjerenja detaljnije analizirati opterećenja i utjecaj nesimetričnosti opterećenja;
- za mrežu niskog napona potrebno je odrediti tipične izvode (po duljini i obliku) te temeljem sustavnih mjerenja detaljnije analizirati opterećenja i utjecaj nesimetričnosti opterećenja;
- relativne tehničke gubitke prikazati i u odnosu na nabavu umanjenu za potrošnju „na granici“ promatrane distribucijske mreže (detaljnije obrazloženo u [2]).

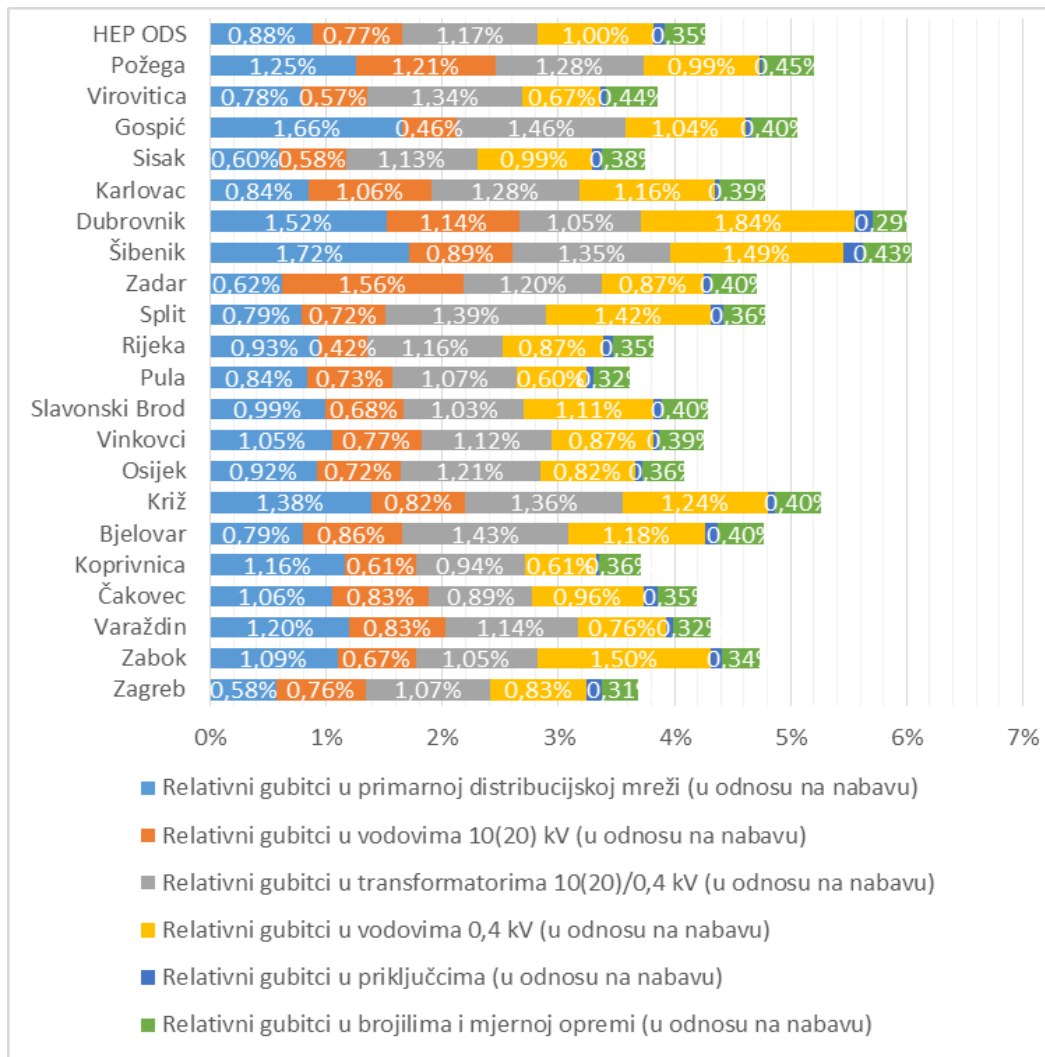
Predloženi novi način praćenja gubitaka u pogledu tehničkih gubitaka¹ se svodi na prikaz relativno u odnosu na ukupnu nabavu (ulaz u distribucijsku mrežu), a ne u odnosu na neto nabavu kao što je slučaj sa sadašnjim bilancama nabave i prodaje električne energije (PEE tablice).

Za praćenje i usporedbu tehničkih gubitaka je osim uobičajenih pokazatelja iznosa relativno u odnosu na (1) nabavu energije u promatrano distribucijsko područje i (2) distribuiranu energiju promatranim elementom mreže korisno pratiti sljedeće dodatne pokazatelje: (3) tehničke gubitke - relativno u odnosu na nabavu umanjenu za prodaju na VN (odnosno općenito na granici distribucijske mreže, kako je objašnjeno u [2]), (4) tehničke gubitke neovisne o opterećenju - relativno u odnosu na nabavu umanjenu za prodaju na VN i (5) udio tehničkih gubitaka neovisnih o opterećenju u ukupnim tehničkim gubitcima.

¹ U pogledu netehničkih gubitaka utjecaj novog načina prikaza je veći radi uvođenja korekcije mjerenja prodaje električne energije kupcima na niskom naponu (prvenstveno kategorije kućanstvo).

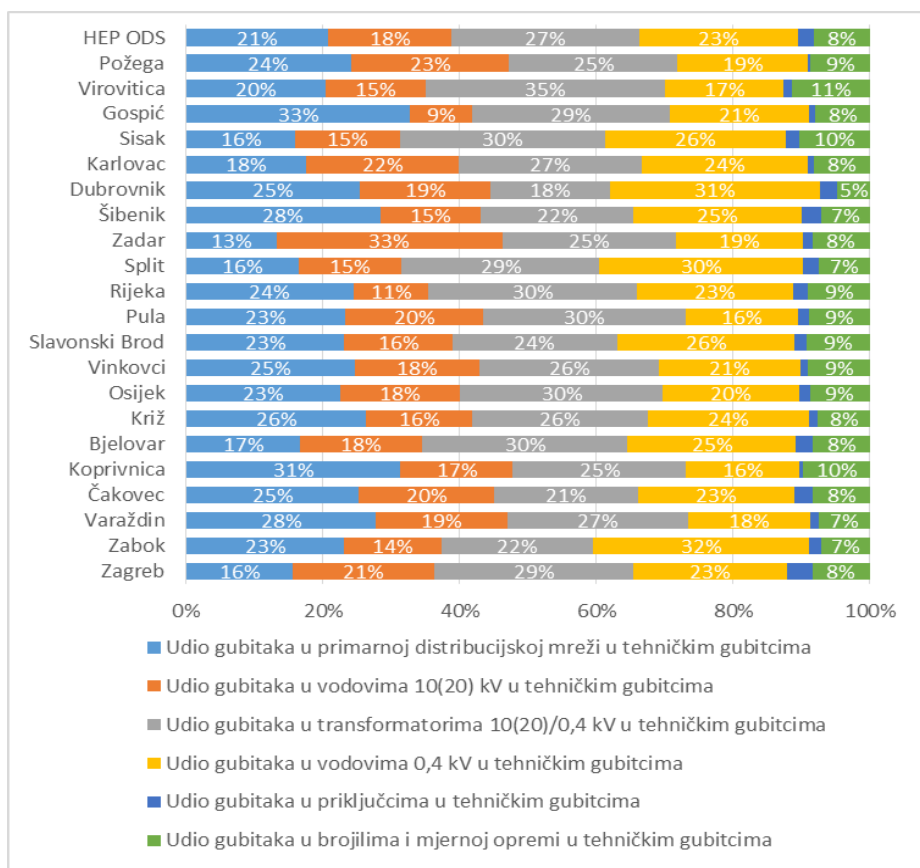
3. PREGLED TEHNIČKIH GUBITAKA U DISTRIBUCIJSKIM MREŽAMA HEP ODS-a

U nastavku je dan sažeti pregled tehničkih gubitaka električne energije u distribucijskoj mreži HEP ODS-a po distribucijskim područjima i sastavnicama (elementima) mreže. Slika 1 prikazuje tehničke gubitke relativno u odnosu na nabavu. Najveći su na području Elektre Šibenik (6,05%) i Elektrojuga Dubrovnik (5,99%), a najmanji na području Elektroistre Pula (3,62%), Elektre Zagreb (3,69%), Elektre Koprivnica (3,70%), Elektroprimorja Rijeka (3,82%) i Elektre Virovitica (3,85%). U slučaju Elektre Sisak tehnički gubitci iznose 3,75% nabave, no potrebno je uzeti u obzir kako su u biti za 0,8% veći, ako se ne promatra potrošnja na 110 kV. Prosjek tehničkih gubitaka na razini HEP ODS-a je 4,27% (odnosno 4,29% prema sadašnjem načinu prikaza sukladno bilanci nabave i prodaje).



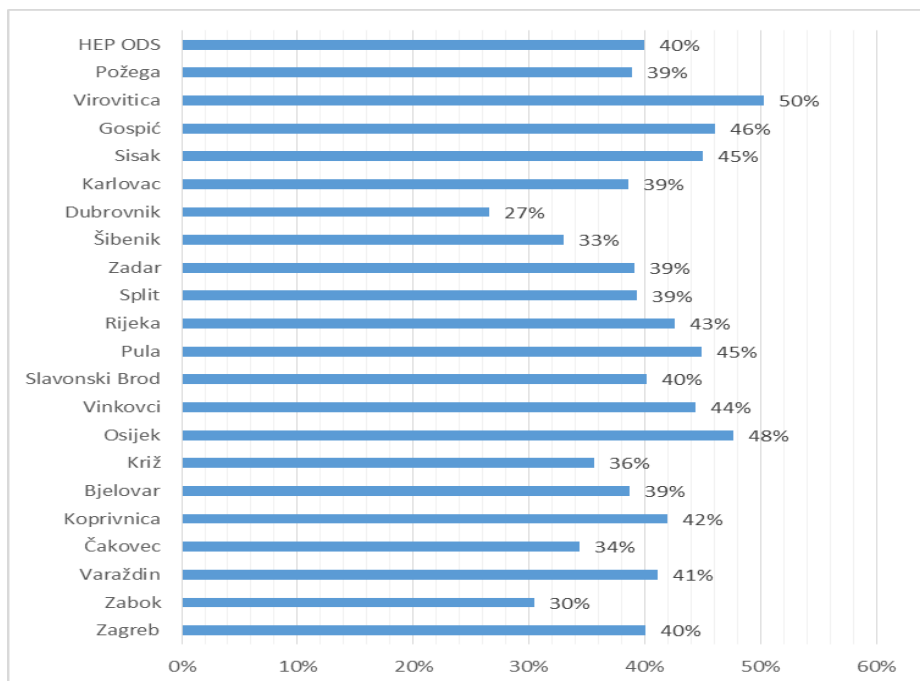
Slika 1 Tehnički gubitci električne energije u distribucijskoj mreži HEP ODS-a

Iz prikaza strukture tehničkih gubitaka (Slika 2) vidljive su relativno velike razlike po distribucijskim područjima. U prosjeku (na razini HEP ODS-a) najveći dio (27%) otpada na transformaciju 10(20)/0,4 kV (s varijacijom po distribucijskim područjima od 18% do 35%), a zatim slijede vodovi 0,4 kV (23%, s varijacijom od 16% do 32%). Pribroje li se tehničkih gubitcima u vodovima niskog napona i doprinosi priključaka, brojila i mjerne opreme, dobiva se udio od 34% (s varijacijama od 27% do 41%). Udio tehničkih gubitaka u primarnoj distribucijskoj mreži je 21% (s varijacijama od 13% do 33%), a najmanji doprinos ima mreža 10(20) kV (18%, s varijacijama od 9% do 33%). Uočljiv je vrlo visoki udio tehničkih gubitaka u brojlilima i mjernoj opremi (8%), što se dijelom može objasniti relativno velikim udjelom trofaznih priključaka kupaca kategorije kućanstvo i općenito relativno velikim udjelom potrošnje kupaca kategorije kućanstvo, odnosno općenito kupaca na niskom naponu.

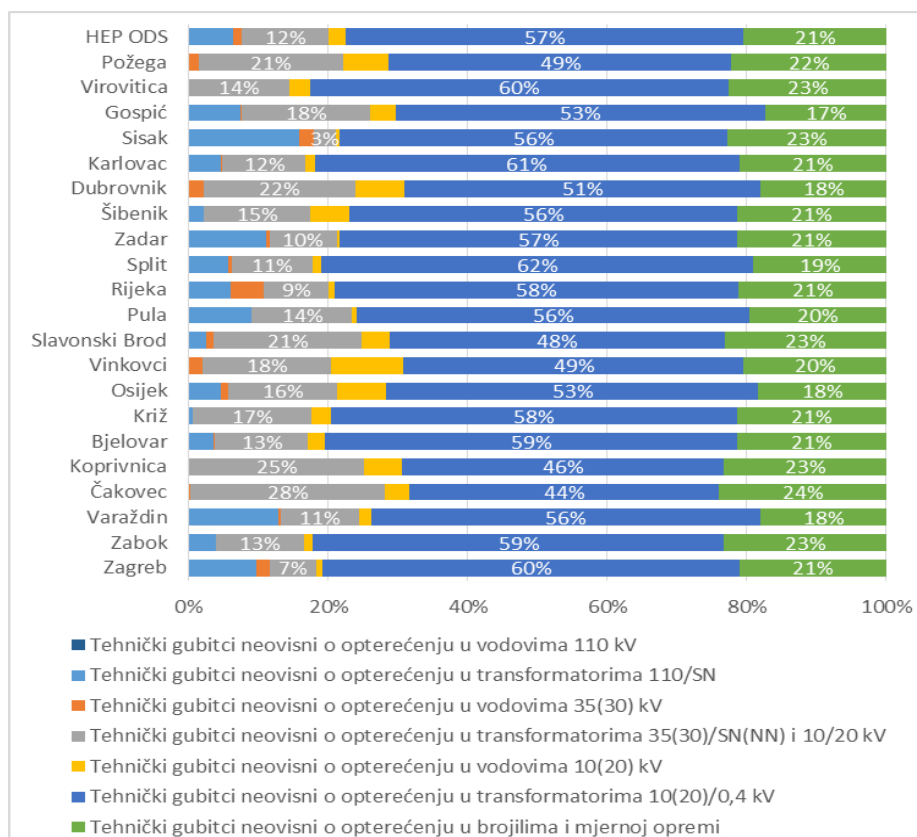


Slika 2 Struktura tehničkih gubitaka električne energije u distribucijskoj mreži HEP ODS-a

Udio tehničkih gubitaka neovisnih o opterećenju (Slika 3) je 40%, s velikim razlikama po distribucijskim područjima, od 27% na području Elektrojuga Dubrovnik do 50% na području Elektre Virovitica. Iz prikaza strukture tehničkih gubitaka neovisnih o opterećenju (Slika 4) vidljivo je kako se dominantni dio (57%) odnosi na transformaciju 10(20)/0,4 kV. Slijede tehnički gubitci u brojilima i mjernoj opremi s doprinosom 21%. Udio transformacije 110/SN i 35(30)/10(20) kV, koji u biti može varirati ovisno o stanju uključenosti/isključenosti pojedinog transformatora, te na taj način posredno donekle ovisi o opterećenju, je 18%. Preostalih 4% čine dielektrični gubitci u kabelima (pretežno 10(20) kV).



Slika 3 Udio tehničkih gubitaka neovisnih o opterećenju u ukupnim tehničkim gubitcima



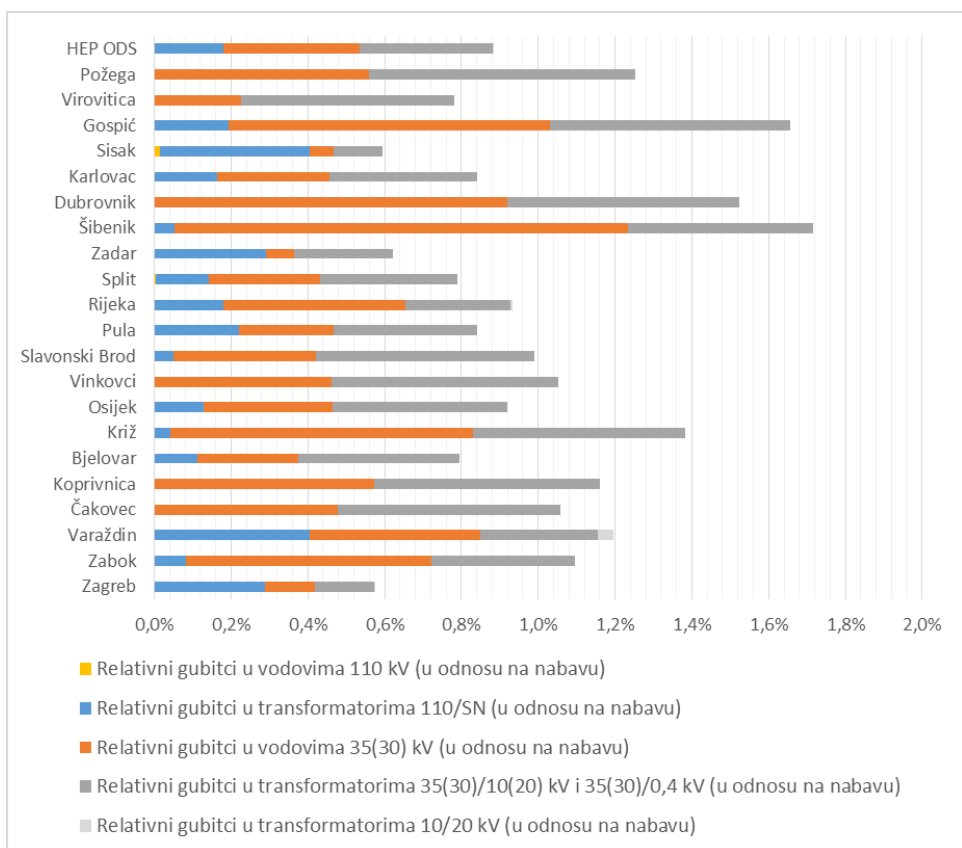
Slika 4 Struktura tehničkih gubitaka neovisnih o opterećenju

4. PREPORUKE ZA PLANIRANJE RAZVOJA DISTRIBUCIJSKE MREŽE U POGLEDU ENERGETSKE UČINKOVITOSTI (TEHNIČKIH GUBITAKA)

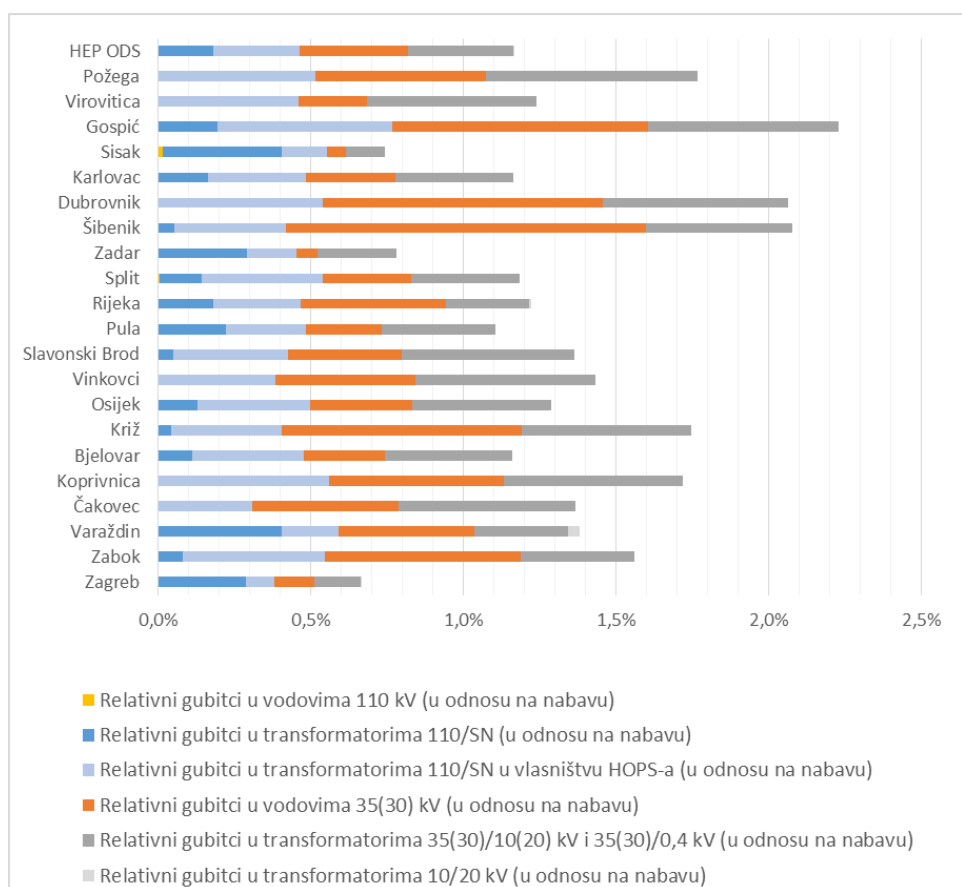
Analiza tehničkih gubitaka u primarnoj distribucijskoj mreži (transformacija 110/SN, 35(30)/SN i 10/20 kV te vodovi 35(30) kV) provedena je pojedinačno po elementima mreže te je detaljno analiziran utjecaj dviju koncepcija razvoja distribucijske mreže, klasične s tri naponske razine 110-35-10 kV i novije s dvije naponske razine 110-20 kV, na tehničke gubitke električne energije odnosno energetske učinkovitost distribucijske mreže. Pritom su za najveći dio objekata (više od 90%) provedeni proračuni tehničkih gubitaka na satnoj razini, korištenjem podataka o opterećenjima (ili strujama i naponima) iz SCADA sustava HEP ODS-a i SCADA/EMS sustava HOPS-a.

Ukupni tehnički gubitci energije u primarnoj distribucijskoj mreži iskazani relativno u odnosu na nabavu, koja ujedno odgovara i distribuiranoj energiji (Slika 5), manji su u distribucijskim područjima u kojima je značajnije zastupljena izravna transformacija 110/10(20) kV (Elektra Zagreb, Elektra Sisak, Elektra Zadar), dok su visoki u distribucijskim područjima s razgranatom 35(30) kV nadzemnom mrežom (Elektra Šibenik, Elektrolika Gospić, Elektrojug Dubrovnik, Elektra Križ, Elektra Požega). Tehničke gubitke po elementima primarne distribucijske mreže nije jednostavno uspoređivati, radi različitih udjela izravne transformacije 110/10(20) kV, odnosno mreže 35(30) kV i transformacije 35(30)/10(20) kV.

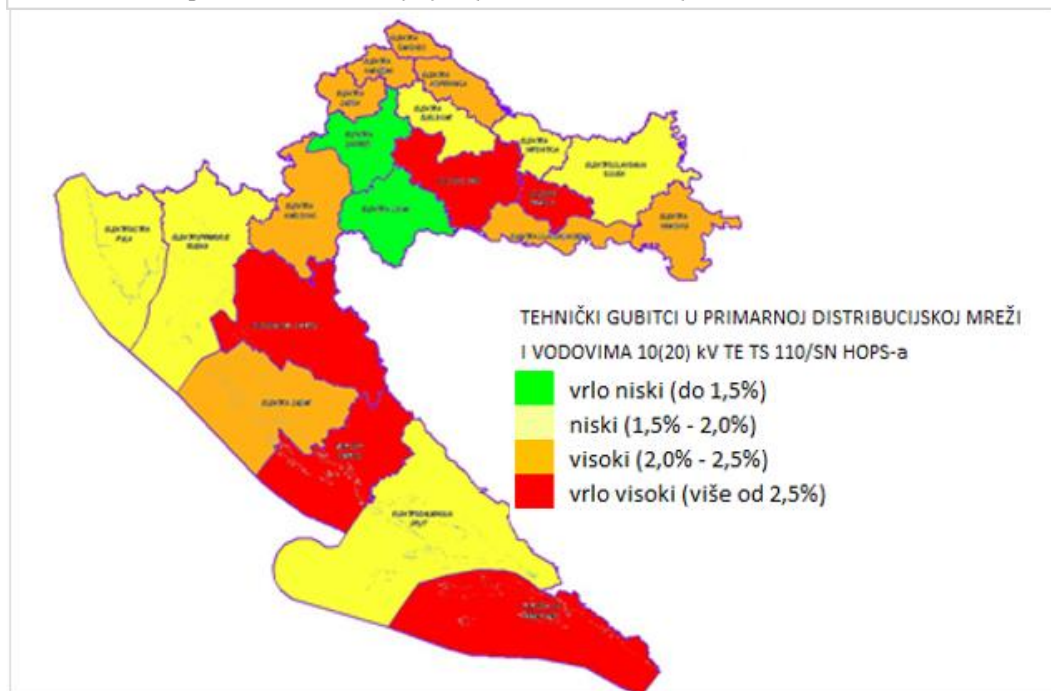
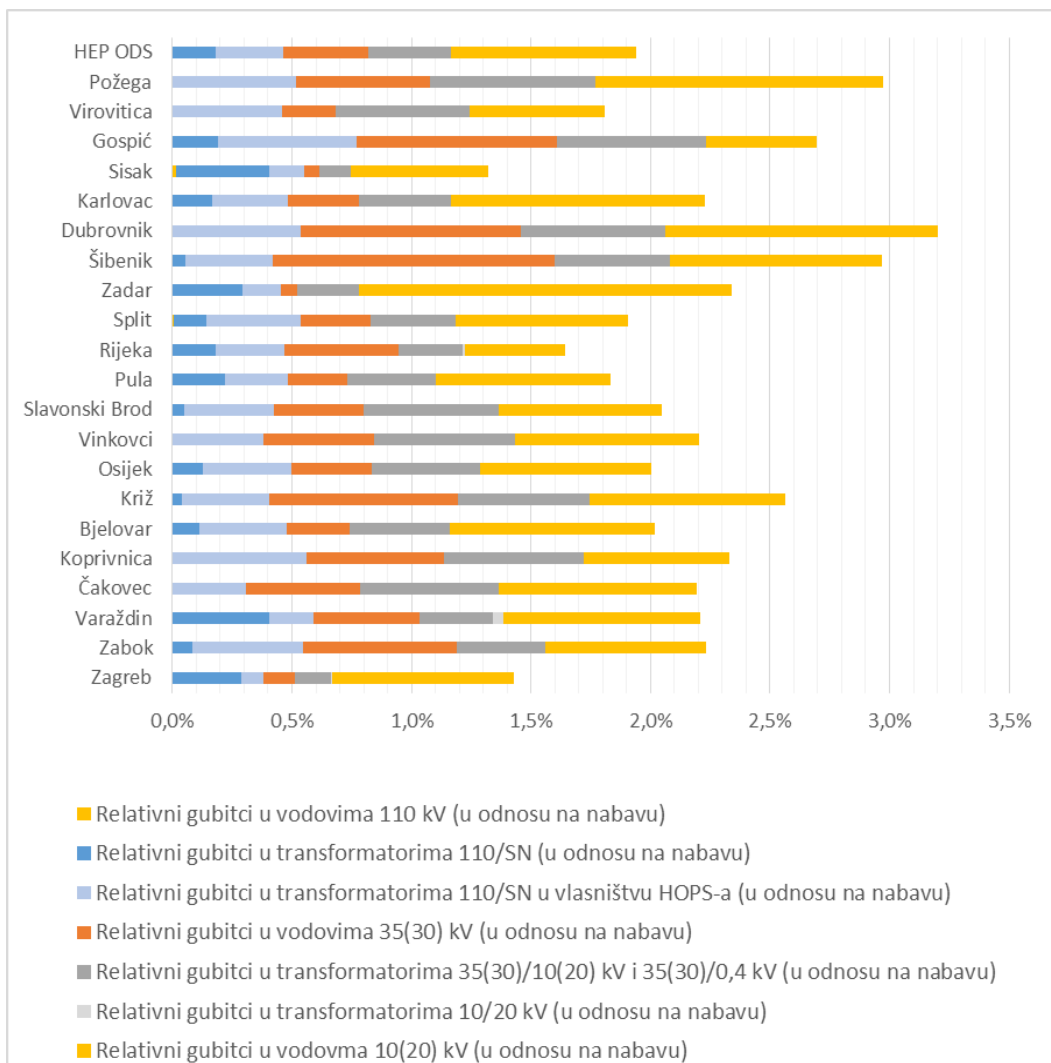
Uzme li se u obzir kako je u distribucijskim područjima s razgranatom mrežom 35(30) kV prisutan i veći broj TS 110/35 kV u vlasništvu HOPS-a, razlika dvije promatrane koncepcije razvoja distribucijske mreže u pogledu tehničkih gubitaka u primarnoj mreži je još veća u korist izravne transformacije (Slika 6). Za sveobuhvatnu usporedbu dviju koncepcija razvoja distribucijske mreže u pogledu energetske učinkovitosti (neovisno o podjeli vlasništva nad transformatorima 110/SN između HEP ODS-a i HOPS-a) potrebno je u analizu uključiti i tehničke gubitke u vodovima 10 kV, odnosno 20 kV (Slika 7), jer su izravnoj transformaciji svojstveni nešto dulji izvodi. Prosjek na razini Hrvatske je 1,94%, a izraženo niže vrijednosti tehničkih gubitaka imaju samo Elektra Sisak (1,32%) i Elektra Zagreb (1,43%), radi kombinacije izravne transformacije 110/10(20) kV i značajnog udjela pogonskog napona 20 kV. Suprotno tome, visoke tehničke gubitke imaju distribucijska područja s razgranatom mrežom 35(30) kV i zanemarivim udjelom pogonskog napona 20 kV (Elektrojug Dubrovnik 3,20%, Elektra Požega 2,97%, Elektra Šibenik 2,96%, Elektrolika Gospić 2,70%, Elektra Križ 2,56%).



Slika 5 Relativni tehnički gubitci u primarnoj distribucijskoj mreži (u odnosu na nabavu)



Slika 6 Relativni tehnički gubitci u primarnoj distribucijskoj mreži i transformaciji 110/SN u vlasništvu HOPS-a (u odnosu na nabavu)



Slika 7 Relativni tehnički gubitci u primarnoj distribucijskoj mreži i transformaciji 110/SN u vlasništvu HOPS-a te mreži 10(20) kV (u odnosu na nabavu)

5. ZAKLJUČAK

Tehnički gubitci električne energije su važan pokazatelj stanja distribucijske mreže, koji uz usporedbu s karakteristikama distribucijske mreže po distribucijskim područjima može pomoći u određivanju smjernica za planiranje razvoja distribucijske mreže u pogledu energetske učinkovitosti, odnosno tehničkih gubitaka električne energije.

Prosjek tehničkih gubitaka na razini HEP ODS-a je 4,27%, a po distribucijskim područjima variraju od 3,85% do 6,05%. U prosjeku (na razini HEP ODS-a) najveći dio (27%) otpada na transformaciju 10(20)/0,4 kV, a zatim slijede vodovi 0,4 kV, priključci i mjerna oprema (34%). Udio tehničkih gubitaka u primarnoj distribucijskoj mreži je 21%, a u vodovima 10(20) kV 18%. Udio tehničkih gubitaka neovisnih o opterećenju je 40%, od čega je 57% doprinos transformatora SN/NN, a 21% doprinos brojila i mjerne opreme.

Detaljna analiza tehnički gubitci u primarnoj distribucijskoj mreži i vodovima 10(20) kV, uključujući transformatore 110/SN neovisno o vlasništvu operatora prijenosnog ili distribucijskog sustava, upućuje na zaključak kako je u pogledu tehničkih gubitaka razvoj distribucijske mreže potrebno postupno usmjeravati s klasičnog sustava s tri naponske razine 110-35-10 kV prema novijem sustavu s izravnom transformacijom 110/20 kV i jednom razinom srednjeg napona (20 kV). Prosjek navedenih tehničkih gubitaka na razini Hrvatske je 1,94%, a izraženo niže vrijednosti tehničkih gubitaka imaju samo Elektra Sisak i Elektra Zagreb, radi kombinacije značajnog udjela izravne transformacije 110/10(20) kV i pogonskog napona 20 kV. Suprotno tome, visoke tehničke gubitke imaju distribucijska područja s razgranatom mrežom 35(30) kV i zanemarivim udjelom pogonskog napona 20 kV.

Provedene analize upućuju na zaključak kako je radi optimiranja ulaganja potrebno u značajnoj mjeri integralno planirati razvoj distribucijske mreže i prijenosne mreže naponske razine 110 kV, što ukazuje na potrebu razvoja metodologije izrade analiza tehničke i ekonomske opravdanosti ulaganja u susretne objekte prijenosne i distribucijske mreže, koja bi trebala uključivati vrednovanje svih relevantnih alternativnih rješenja.

6. LITERATURA

- [1] Stručna i znanstvena potpora u izradi metodologije za planiranje gubitaka električne energije i metodologije za izračun ostvarenja gubitaka te procjene tehničkih gubitaka i neovlašteno preuzete električne energije, EIHP za HEP – Operator distribucijskog sustava d.o.o., 2016.
- [2] T. Baričević, M. Skok „Prijedlog unapređenja metodologije određivanja gubitaka električne energije i pregled tehničkih i netehničkih gubitaka u distribucijskoj mreži HEP ODS-a“, 6. (12.) savjetovanje HO CIRED, 13.-16. svibnja 2018., Opatija, Hrvatska
- [3] Izrada studije izvodljivosti, uključujući analizu troškova i koristi, za investicije u naprednu mrežu koje će se potencijalno sufinancirati iz EU fondova, EIHP za Ernst & Young Savjetovanje d.o.o., odnosno HEP d.d. kao konačnog naručitelja, 2016.