

# GUBICI ELEKTRIČNE ENERGIJE U SN MREŽI

---

**Odribožić, Vedran**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Engineering / Sveučilište u Rijeci, Tehnički fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:190:120738>

*Rights / Prava:* [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-08-07**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Engineering](#)



SVEUČILIŠTE U RIJECI  
**TEHNIČKI FAKULTET**

Preddiplomski stručni studij elektrotehnike

Završni rad

**GUBICI ELEKTRIČNE ENERGIJE U SN MREŽI**

Rijeka, srpanj 2022.

Vedran Odribožić  
0069077261

SVEUČILIŠTE U RIJECI  
**TEHNIČKI FAKULTET**

Preddiplomski stručni studij elektrotehnike

Završni rad

**GUBICI ELEKTRIČNE ENERGIJE U SN MREŽI**

Mentor: mr. sc. Marijana Živić Đurović, v. pred.

Rijeka, srpanj 2022.

Vedran Odribožić  
0069077261

Rijeka, 15. ožujka 2021.

Zavod: **Zavod za elektroenergetiku**  
Predmet: **Električne energetske mreže**  
Grana: **2.03.01 elektroenergetika**

## ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnik: **Vedran Odribožić (0069077261)**  
Studij: **Preddiplomski stručni studij elektrotehnike**

Zadatak: **Gubici električne energije u SN mreži / Electrical energy losses in MV network**

### Opis zadatka:

U radu je potrebno opisati osnovne karakteristike SN mreže. Opisati osnovne uzroke gubitaka snaga u SN mreži te opisati osnovne korake za učinkovito smanjenje gubitaka. Na primjeru jedne prstenaste SN mreže izvršiti proračun tokova snaga te gubitaka snage.

Rad mora biti napisan prema Uputama za pisanje diplomskih / završnih radova koje su objavljene na mrežnim stranicama studija.

*Odribožić*

Zadatak uručen pristupniku: 15. ožujka 2021.

Mentor:

*M. Živić*

Mr. sc. Marijana Živić Đurović, v. pred.

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:

*Vlahinić*

Prof. dr. sc. Saša Vlahinić

## IZJAVA

Sukladno s člankom 8. Pravilnika o završnom radu, završnom ispitu i završetku stručnih studija Tehničkog fakulteta Sveučilišta u Rijeci, siječnja 2020. godine izjavljujem da sam samostalno izradio završni rad naslova „Gubici električne energije u SN mreži" prema zadatku za završni rad od 15. ožujka 2021. godine.

*Odribožić*

---

Vedran Odribožić

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. STRUKTURA SREDNJENAPONSKE DISTRIBUCIJSKE MREŽE.....	2
3. DIMENZIONIRANJE VODOVA.....	5
4. GUBICI SNAGA.....	8
5. GUBICI ENERGIJE.....	11
6. OVISNOST GUBITAKA O ENERGIJI.....	12
7. ENERGETSKA BILANCA.....	13
8. DIELEKTRIČNI GUBICI .....	14
9. TRANSFORMACIJA 110/SN.....	16
10. VODOVI 35(30) kV.....	18
11. TRANSFORMACIJA 35(30)/10(20) kV I 35(30)/0,4 kV TE 10/20 kV.....	19
12. VODOVI 10(20) kV.....	21
13. TRANSFORMACIJA 10(20)/0,4 kV.....	23
14. PRIMJER IZRAČUNA GUBITAKA SNAGE I PADA NAPONA NA SN VODU.....	24
14.1. Računanje pada napona.....	29
14.2. Računanje pada napona u čvoru.....	30
14.3. Gubici radne i jalove snage za svaki vod.....	35
15. ZAKLJUČAK.....	40
16. LITERATURA.....	41
17. POPIS OZNAKA I KRATICA.....	42
18. SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI NA HRVATSKOM I ENGLJESKOM JEZIKU.....	43

# 1. UVOD

Mrežnim pravilima distribucijskog sustava uređuju se tehnički uvjeti priključenja korisnika distribucijske mreže na elektroenergetsku distribucijsku mrežu, planiranje razvoja mreže, pogona i način vođenja mreže te korištenje mreže. Podjela gubitaka električne energije se dijeli na dvije glavne skupine: tehničke gubitke i netehničke gubitke[1].

Tehnički su gubici fizikalne prirode i posljedica su prolaska električne energije kroz elemente elektroenergetskog sustava, pretvorbe električne energije na naponske razine, pri čemu dolazi do toplinskih gubitaka. Sljedeća podjela tehničkih gubitaka je na stalne i promjenjive gubitke. Stalni gubici nisu ovisni o struji opterećenja koja prolazi kroz elemente elektroenergetskog sustava, te su pod stalne gubitke ubrajani gubici u jezgrama transformatora, gubici nastali koronom i slični gubici. Promjenjivi gubici su gubici koji su proporcionalni kvadratu struje opterećenja mreže, a nalaze se u namotima transformatora i vodičima. Kada se spominje povećanje energetske učinkovitosti mreže te njezinih elemenata, najčešće su podrazumijevani tehnički gubici. Oni ovise o fizikalnim zakonitostima. Gubici su također procjenjivi uz poznavanje elemenata promatrane mreže, opterećenja mreže, topologije i strukture mreže.

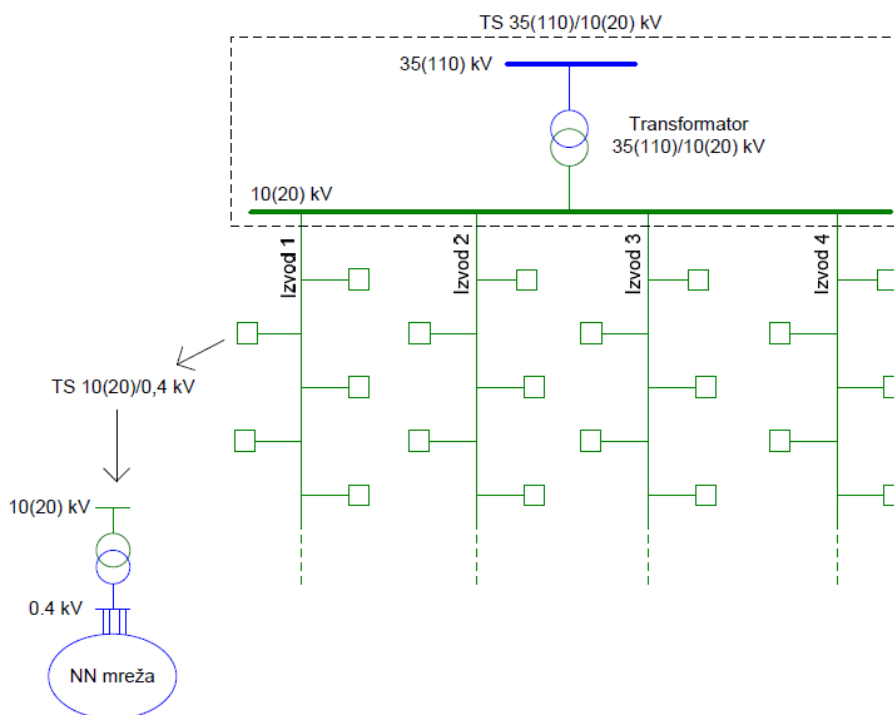
Netehnički gubici spadaju pod električnu energiju koja je isporučena, ali nije izmjerena. Razlozi zbog kojih električna energija nije izmjerena su kvar na mjernoj opremi ili mjerilu, pogreške koje dolaze pri očitavanju i na kraju najčešći način je neovlašteno korištenje električne energije. Neke države u netehničke gubitke uzimaju i tzv. vlastitu potrošnju te potrošnju kod javnih rasvjeta ili prometne signalizacije. Netehnički gubici su određeni razlikom između tehničkih gubitaka od ukupne stvarne vrijednosti gubitaka.

Gubici su dalje podijeljeni na gubitke koji ovise o naponskoj razini, na gubitke u distribucijskoj mreži i na gubitke u prijenosnoj mreži. Kako najčešće gubici proporcionalno ovise o struji opterećenja promatrane mreže, najmanji su gubici u prijenosnim mrežama (manja vrijednost struje, viši napon). U prijenosnoj mreži su netehnički gubici skoro pa zanemarivi, a kod distribucijske mreže su netehnički gubici uzeti u obzir. U distribucijskom sustavu u Hrvatskoj su gubici računati tako da su od količine električne energije koja je isporučena u distribucijski sustav oduzme količina električne energije koja je isporučena kupcima.

## 2. STRUKTURA SREDNJENAPONSKE DISTRIBUCIJSKE MREŽE

Distribucijska srednjenaponska mreža može biti izvedena kao tri različite topologije mreža, a to su zrakasta ili radijalna mreža, prstenasta i linijska ili povezana mreža. Svaka topologija mreže ima svoje karakteristike i značajke gdje se koriste.

Za zrakastu (radijalnu) mrežu koja ima značajku da svi srednjenaponski vodovi koji izlaze iz trafostanice radijalno nisu međusobno povezani, a to znači da kod zrakaste mreže nema rezervnog napajanja. Ako dođe do slučajnog kvara napajanog voda, distribucijske TS koje su napajane s tim vodom ostat će bez napajanja.

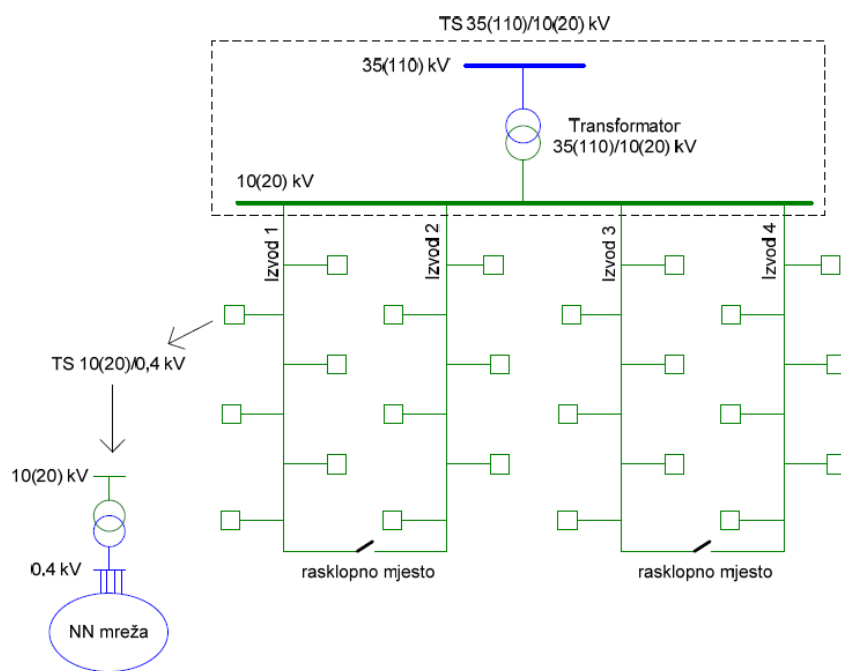


Slika 2.1 Zrakasta (radijalna) 10(20) kV mreža [1]



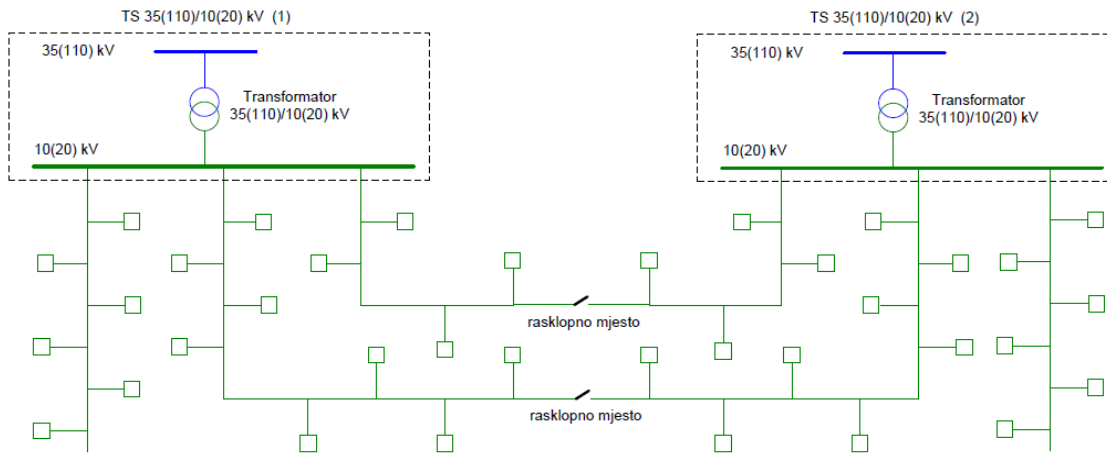
Prstenasta mreža kao značajku ima izvode koji su zrakasto spojeni u razdjelnoj stanici (rasklopno mjesto), te zbog takvog načina povezivanja vodovi mogu poslužiti jedan drugome kao rezerva. Mreže koje imaju točku razdjelnicu sadrže rasklopno mjesto koje je povezana s dvostrukim vodom iz trafostanice koja napaja taj dio voda. U normalnom pogonu rada kod prstenaste mreže rasklopno mjesto je otvoreno, i tako mreža u pogonu predstavlja zrakastu mrežu. Kod takvog voda izlazne mreže su zrakaste i prstenaste.

U slučaju kvara, ili ako dođe do iskapčanja jednog dijela voda radi održavanja na jednoj trasi od izvoda, ta dionica može biti isključena iz pogona s obje strane, odlaznog i dolaznog vodnog polja koji napajaju distribucijsku TS (ovisno o tome na kojem vodu se dogodio kvar). To omogućava da se potrošači koji se nalaze na mjestu kvara ili na mjestu održavanja, mogu napajati iz susjedne TS. Ovo je moguće samo ako je kvar na vodu, u slučaju kvara na SN bloku ili samom transformatoru napajanje nije moguće jer se TS mora isključiti iz pogona.



Slika 2.2. Prstenasta 10(20) kV mreža [1]

Linjske (povezane) mreže su karakteristične po tome što imaju napajanje iz dvije trafostanice x/10(20) kV. U normalnom pogonu se podrazumijeva da je rasklopno mjesto otvoreno, a u slučaju da dođe do kvara na vodu ili trafostanici koja napaja tu točku, napajanje je moguće iz druge trafostanice.



Slika 2.3. Linjska (povezana) 10(20) kV mreža [1]

### 3. DIMENZIONIRANJE VODOVA

Vodovi nam služe za dopremanje potrebne električne energije od izvora gdje se proizvodi električna energija pa sve do krajnjeg kupca koji troši električnu energiju.

U cilju procjene tehničkih gubitaka u distribucijskim područjima potrebno je napraviti proračune gubitaka električne energije koji se odnose na sve elemente koji su u tom dijelu distribucijske mreže, a pod tim podrazumijevamo vodove 110 kV, transformatorske stanice 110/SN, vodove 35(30) kV, transformatorske stanice 35(30)/10(20) kV i ostalu opremu koja spada u distribucijski sustav.

Jako bitan podatak koji pomaže pri procjeni tehničkih gubitaka električne energije je krivulja opterećenja  $P(t)$  promatranih područja ili elementa mreže tijekom promatranog vremena  $T$ . Koristeći metode koje su temeljene na očitanjima krivulje, koja je pogodna za manje ili više točne procjene energetske analize, za primjenu što točnijih metoda kod izračuna potrebno je znati dijagram opterećenja  $P(t)$  svakog korisnika promatrane mreže, odnosno svakog segmenta mreže. Za jako preciznu tehničku procjenu gubitaka može se uzeti vršno opterećenje  $P_m$  i vrijeme trajanja vršnog opterećenja  $T_m$  za cijeli dio promatranog područja.

Odabir metode proračuna u prvom redu ovisi o brojnosti elemenata mreže i dostupnosti kvalitetnih podataka za modeliranje mreže i opterećenja. U tom smislu poseban problem predstavlja mreža niskog napona, ali donekle i mreža 10(20) kV.

Odabir kojom metodom ćemo vršiti proračun ovisi i o određenim pojedinim svojstvima posebnih elemenata mreže, od kojih je od iznimne važnosti pitanje fazne simetrije opterećenja. Kada radimo proračun za mreže srednjeg napona dovoljno je da primjenjujemo metode proračuna tokova snaga koji se zasniva na simetričnom modelu mreže, odnosno uz pretpostavke da se mreža zajedno s opterećenjem gleda kao potpuno simetrični sustav. No, kada imamo slučaj mreže niskog napona ne možemo se pouzdati u takav način proračunavanja jer sama metoda nije dovoljno točna, jer mreže na niskom naponu nisu fazno simetrično građene (prisutni su nam ili jednofazni ili dvofazni odcjepi te nul-vodič), a niti opterećenja koja imamo u mreži nisu simetrična.

Transformatori se promatraju na poseban način, radi gubitaka koji nastaju pri magnetiziranju jezgre, koji ovise malo i o opterećenju (proporcionalni su kvadratu napona, odnosno oni nam ovise o odstupanju stvarne vrijednosti napona od nazivne vrijednosti napona), ali su prisutni tijekom cijelog vremena rada transformatora koji je priključen na mrežu. Zbog toga čine veći dio ukupnih gubitaka u samim transformatorima.

Vrlo je važno da znamo utvrditi uklopna (karakteristična) stanja tijekom cijele godine, a to je najčešće uklopno stanje u redovitom pogonu. Postoji mogućnost da tijekom godine imamo više nego jedno uklopno stanje, a to su npr. dva sezonska u koje spadaju: ljetno uklopno stanje i zimsko uklopno stanje.

Tada takvo uklopno stanje moramo promatrati kao jedno uklopno stanje, a sve u skladu s navedenim ograničenjem s kojima se susrećemo. Metodama kojima se upravlja za procjene na razinama tehničkih gubitaka električne energije (s obzirom na točnost) možemo razlikovati tri dijela.

Način modeliranja mreže. Ovisno o tome koliki je broj elemenata u mreži, pa se tako i primjenjuju dvije vrste pristupa: modeliranje stvarne promatrane mreže i stohastičkog modeliranja ekvivalentne mreže. Kod stvarnog modela mreže se vjerno i geometrijski i energetske opisuje stvarno stanje mreže, a to su svi vodovi u promatranoj mreži i korisnici koji su povezani tim vodovima. A pri opterećenjima i energetskim prilikama modeliranje se vrši s dobivenim podacima koje dobivamo s detaljnim mjerenjima. Stohastički ekvivalentni model primjenjujemo u slučajevima kad se radi s velikim brojem elemenata ili kada dolazi do nedostataka kvalitetnih podataka pa nije moguće napraviti kvalitetno modeliranje stvarne mreže. Osnovni zahtjev bez kojega ekvivalentni model nije moguć je uvjet za ispunjavanje podataka osobine stvarne promatrane mreže. Važan je za dobivanje konačnog rezultata i mora ostati očuvan. Osobine koje su takve su npr. prosječna duljina izvoda, prosječna opterećenja izvoda, ukupna energija koja se preuzima iz mreže višeg napona, te ukupni broj transformatora ili ukupna duljina pojedinih tipova vodiča. Zbog velike kvalitete i količine dostupnih podataka, relativno točno je moguće predstavljanje stvarne promatrane mreže. Upravo zbog takvog modeliranja koje je jako točno je moguće doći do točnog proračuna tokova snaga, a s time se i dobiva rezultat koji je precizan i točan.

Treća mogućnost koristi se kada su rađene samo grube procjene u energetskoj prilici, a u mreži su predstavljene kao svi elemente iste vrste (kod izvoda niskog napona, te kod transformatora 10/0,4 kV i sl.) s jednim elementom koji je jednak parametrima srednjih vrijednosti za promatranu vrstu elemenata pa takvi modelirani ekvivalentni element se primjenjuje kao približan proračun tokova snaga pa se tako dobiva procijenjena energetska prilika, čija se točnost ne procjenjuje lako.

Način proračuna tokova snaga. Kod geometrijski modelirane mreže je moguće da je proračun tokova snaga koji je u načelu točan uz pomoć raznih programskih paketa uz koji su dobiveni proračuni simetričnih i nesimetričnih tokova snaga. Također, isti takvi osnovni proračuni se koriste (ali ne i kada je riječ o stvarnim mrežama) samo na stohastički modeliranim modelima u ekvivalentnim mrežama, koje nam služe za predstavljanje stvarne mreže. Kod ovakvih proračuna snaga postoji alternativno rješenje koje se uzima, a to su približni proračuni, a oni su temeljeni na grubom modelu mreže te energetske prilika prikazanih u toj mreži. Zbog takvih metoda je moguća procjena energetske prilika na promatranoj mreži, ali su takvi proračuni u načelu neprecizni i niske točnosti pa se samim time studija ne koristi.

Način proračuna gubitaka energije na temelju proračunatih gubitaka snage. Kao što je do sada rečeno svaka metoda koje se koristi za proračune gubitaka je temeljena na tokovima snaga. Pošto se energetske bilance uobičajeno dobivaju na jednu godinu, tako nam je vrijeme od jedne godine i procjena tehničkih gubitaka. Ovdje su opisane tri metode. Prva metoda je poznata kao temeljna metoda za gubitke snage pri vršnom opterećenju mreže  $P_m$  i godišnjem vremenu promatranih trajanja gubitaka  $T_g$ , koje se dobivaju pomoću približne vrijednosti trajanja opterećenja (krivulje) i to na razini mreže koju promatramo.

Druga metoda koja se koristi, temeljena je na približnim opisima pri godišnjim krivuljama trajanja opterećenja  $P^T(t)$  te nizom diskretnih vrijednosti  $(P^T, \Delta T_i)$  te proračuna za energetske prilike u mreži za svaku razinu mogućih opterećenja. Time se dobiva niz vrijednosti gubitaka snage  $P_{gi}$ , a samim tim i odgovarajuće gubitke energije koji su jednaki umnošku gubitaka snage te vremena u kojem se promatra pripadajuća diskretna vrijednost u kojoj su dane približno opisane godišnje krivulje za trajanje opterećenja. Također, ovom se metodom ima veća točnost, a to sve ovisi o tome koliki je broj diskretnih razina snage kojima se približno opisuje godišnja krivulja trajanja promatranih opterećenja.

Glavni nedostatak za ove druge metode je zanemarivanje vršnih opterećenja koja nisu istodobna kod pojedinih elemenata mreže, a to bi se moglo postići kada se umjesto krivulje trajanja opterećenja  $P^T(t)$  koristi osnovna krivulja opterećenja  $P(t)$ . Problem nastaje jer je zbog takvih proračuna potreban bolji, odnosno, točniji prikaz krivulje, kao npr. na satnoj razini, te bih se zbog toga moralo, za godišnju analizu tokova snaga, imati 8760 proračuna.

## 4. GUBICI SNAGA

Kada se govori o gubicima električne energije, može ih se svrstati u dvije osnovne vrste koje se dijele na gubitke koji su neovisni o opterećenju i gubici koji su ovisni o opterećenju.

Gubici koji spadaju u gubitke koji su neovisni o opterećenju nastaju kod praznog hoda strojeva, transformatora te drugih uređaja kod kojih je moguće magnetiziranje jezgre. Uzimaju se u obzir i gubici koji nastaju zbog odvoda kao što su gubici na izolatorima, dielektrični gubici i korona. Kada je riječ o TS 110 kV uključivo, onda su gubici korone zanemarivi. Kod gubitaka praznog hoda transformatora smatra se da su neovisni o opterećenju, iako postoji blaga ovisnost pri opterećenjima koja su povezana s ovisnošću o naponu (regulaciji napona).

$$P_g = P_{0n} \left( \frac{U}{U_n} \right)^2 \quad (4.1)$$

Gdje su  $P_{0n}$  gubici praznog hoda transformatora pri nazivnom naponu  $U_n$  i nazivnoj frekvenciji, a  $U \in (0,9U_n; 1,1U_n)$  trenutni pogonski napon.

Gubici u kabelima koji ustvari predstavljaju gubitke energije koji se pod utjecajem polja zagrijavaju nazivamo dielektričnim gubicima, te oni povisuju temperaturu materijala. Oni, također, ovise o tome kakva je vrste izolacijski materijal, ali i o samoj konstrukciji kabela te podnošljivoj temperaturi izolacije. Dielektrična snaga gubitaka u vodovima računana je uz pomoć sljedećeg izraza:

$$P_{diel} = U^2 \cdot \omega C_0 \cdot \tan \delta \cdot 10^{-3} \quad (4.2)$$

gdje su:

$P_{diel}$  - dielektrični gubici u [kW/km]

$U$  - pogonski napon u [kV]

$\omega$  - kružna frekvencija

$C_0$  - pogonski kapacitet u [ $\mu$ F/km]

$\tan \delta$  - faktor dielektričnih gubitaka

Ni dielektrični gubici nisu neovisni o opterećenju, jer faktorska veličina dielektričnih gubitaka ovisna je o kablskoj temperaturi, a samim time i o opterećenju toga kabela. Ovisnost koja je najizraženija o vrsti materijala izolacije, najveći gubici su nađeni kod kablova koji imaju PVC izolaciju, pa kod takvih kablova dielektrični gubici mogu biti uspoređeni s razinom gubitaka koje postoje u vodičima. Dielektrični gubici i gubici magnetiziranja jezgre se uglavnom računaju uz pretpostavku srednjeg pogonskog napona.

Toplinski gubici su podrazumijevani pod gubicima koji su ovisni o opterećenju jer kroz njih teče struja. Može ih se izračunati ako se uzme u obzir srednji pogonski napon i dovoljna točnost, te izbjegavanjem utjecaja struja koje se pojavljuju zbog kolebanja pogonskih napona.

$$P_g = 3 I^2 R = \frac{R}{U^2} S^2 \quad (4.3)$$

gdje su:

$P_g$  – gubici radne snage [kW]

$S$  – prividna snaga [kVA]

$I$  – jakost struje kroz element [A]

$R$  – radni otpor kroz element [ $\Omega$ ]

$U$  – linijski napon [kV]

U slučaju kada dođe do nesimetričnih opterećenja gubici koji ovise o tom opterećenju se povećavaju i iznose :

$$P'_g = \beta P_g \quad (4.4)$$

gdje je  $\beta$  koeficijent nesimetričnosti opterećenja jednak omjeru stvarne (u nesimetričnom režimu) i nominalne (simetrične) struje, jednak

$$\beta = \frac{\sqrt{I_d^2 + I_i^2 + I_o^2}}{I_d} = \sqrt{1 + \delta_i^2 + \delta_o^2} \quad (4.5)$$

gdje su:

$I_d$ - struja direktnog sustava

$I_i$ - struja inverznog sustava

$I_0$ - struja nultog sustava

$\delta_i = I_i/I_d$  – indeks nesimetričnosti struje

$\delta_0 = I_0/I_d$  – indeks simetričnosti struje

Gubici snaga koji ovise o opterećenju, iznosa  $P_{g1}$  pri, na primjer, nazivnom opterećenju  $S_1$ , je moguće preračunavanje na drugo opterećenje  $S$  i to na sljedeći način:

$$P_g = P_{g1} \left( \frac{S}{S_1} \right)^2 \quad (4.6)$$

Ova se ovisnost primjenjuje kod određivanja gubitaka koji ovise o opterećenju u transformatoru, koji je temeljen na poznatim vrijednostima gubitaka koji su prisutni pri nazivnom opterećenju.



## 5. GUBICI ENERGIJE

Uz pretpostavku da su poznate krivulje opterećenja, pri gubicima električne energije moguće ih je dobiti na sljedeći način, da se zbroje vrijednosti gubitaka u određenim intervalima (npr. satima  $N=8760$ , ako se uzme u obzir da se radi analiza za cijelu godinu). Takvi se podatci u ovakvoj studiji koriste za procjene gubitaka na primarnom dijelu distribucijske mreže.

Osnovna veličina za krivulje opterećenja je vršna snaga  $S_m$  i vrijeme koje odgovara trajanju te krivulje za vršno opterećenje  $T_m$  koje je jednako kvocijentu el. energije  $W$  tijekom vremena određenog vremenom kojim traje opterećenje i vršnim opterećenjem koje se nalazi u tom razdoblju, te tako dobivamo formulu:

$$T_m = \frac{W}{P_m} = \frac{\int_0^T P(t) dt}{P_m} \quad (5.1)$$

Također još jedna jako bitna prosječna snaga je  $S_s$ , koja se dobiva kao srednja vrijednost svih izmjerenih snaga iz krivulja opterećenja:

$$S_s = \frac{\sum_{i=1}^N S_i}{N} \quad (5.2)$$

Proračun koji je nešto malo manje točan se primjenjuje kod proračuna gubitaka na vodovima 10/(20) kV, te je vjerodostojno temeljen na procjeni gubitaka koji se nalaze pri vršnom opterećenju, a to je preuzeto iz studije promatranih razvoja distribucijske mreže.

Niža odnosno treća razina procijene za gubitke energije se koristi u slučaju da je krivulja opterećenja nepoznata. Tada se koristi formula koja je približno iskoristiva pri određivanju vremena trajanja opterećenja, odnosno gubitaka krivulje. Faktor oblika koji je jednak  $m$  daje omjer stvarne energije krivulje opterećenja i energije koja bi bila stalna pri vršnom opterećenju tijekom cijelog vremena  $T$ .

$$m = \frac{W}{P_m T} = \frac{P_{sr}}{P_m} = \frac{T_m}{T} \quad (5.3)$$

## 6. OVISNOST GUBITAKA O ENERGIJI

Kod procjene gubitaka vrlo je važno znati pronaći vezu između promjene opterećenja i promjene gubitaka. Gubici koji su neovisni o opterećenju se ne mijenjaju prema definiciji. Ako pri opterećenju električne komponente ili nekog drugog dijela mrežne snagom  $P$  nastaju gubici snage  $P_g$ , odnosno dolazi do gubitka energije  $W_g$ , a u slučaju kada dolazi do povećanja opterećenja  $P$  za  $\Delta P$  tada se i povećaju gubici snage za  $\Delta P_g$ , odnosno povećavaju se gubici energije za  $\Delta W_g$ .

Gubici snage su jednaki kvadratu snage, koji se množe konstantom  $C$ , koja dolazi iz podataka o mreži ( $C = R/U^2$ ):

$$P_g = C * P^2 \quad (6.1)$$

Na temelju ove ovisnosti gubitaka, uz to da nije bilo značajnih ulaganja ili da nije dolazilo do promijene kod uklopnog stanja distribucijske mreže, odnosno prijelaza s nižeg na viši napon, zbog koje bi dolazilo do neke značajnije promijene konstante  $C$ , vrijedi da je sljedeća ovisnost kod promjene gubitaka pri promjeni opterećenja:

$$\frac{\Delta P_g}{P_g} = 2 \frac{\Delta P}{P} + \left(\frac{\Delta P}{P}\right)^2 \quad (6.2)$$

Budući da je zahtjev  $C = konst.$  u pravilu kod promjene opterećenja je da je relativno malena, s dovoljnom točnošću, onda vrijedi:

$$\frac{\Delta P_g}{P_g} = 2 \frac{\Delta P}{P} \quad (6.3)$$

Ako je relativna promjena opterećenja u cijelom promatranom vremenu konstantna ( $\Delta P(t)/P(t) = konst.$ ), jednaka ovisnost vrijedi i za gubitke energije:

$$\frac{\Delta W_g}{W_g} = 2 \frac{\Delta W}{W} \quad (6.4)$$

U slučaju da se do promjene opterećenja dolazi samo privremeno, umjesto faktora 2 potrebno je upotrijebiti manji faktor.

## 7. ENERGETSKA BILANCA

Kada se radi o procijeni gubitaka el. energije kod pojedinih razina odnosno elemenata distribucijske mreže koriste se i metode proračuna, proračuni za svaku razinu voda, odnosno transformatora na primarnom dijelu distribucijske mreže, i modeli ekvivalentnih transformacija 10(20)/0,4 kV i na izvode za NN. Budući da se kod svake procijene određenih svojstva nalaze (ne)točnosti, pa zbog toga procijene koje su izražene kao relativna vrijednost s obzirom na vrijednosti dobivene promatrane energije na određenim distribuiranim razinama (elementima distribucijske mreže) je zbog toga provedena korekcija na distribucijsku energiju prema energetske bilanci. Iz toga se razloga moraju imati vjerodostojni podatci procijene gubitaka i analize električne energije koji su nužni za kvalitetu energetskih bilanci, koja mora vjerodostojno održavati tokove energije po NN razinama distribucijske mreže koja uključuje sljedeća preuzimanja, odnosno govorimo o predaji el. energije:

- 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,
- vlastitu potrošnju HEP ODS-a i
- gubitke električne energije.

## 8. DIELEKTRIČNI GUBICI

Kada se govori o analizi u primarnom dijelu distribucijske mreže (transformacija 110/SN, 35(30)/SN i 10/20 kV te vodovi 35(30) kV) provedena je pojedinačna analiza po elementima mreže, te je pri tome još detaljno analiziran utjecaj koji djeluje na gubitke električne energije, a pri takvim analizama najveći dio analize (preko 90%) se odnosi na proračune koji se nalaze na satnoj razini, i to uz pomoć podataka o opterećenjima (ili strujama ili naponskim).

Iako doprinose relativno malo ukupnim gubicima (0,8%), radi cjelovitosti prikaza bilance gubitaka u distribucijskoj mreži, potrebno je obraditi i dielektrične gubitke koji se javljaju u kabelskim vodovima.

Snaga dielektričnih gubitaka procijenjena je prema tablici ispod. Proračun faktora gubitaka na dugačkim kabelskim trasama prilično je otežan. Za približne proračune za  $P_{diele}$  upotrijebljene su vrijednosti kao što je prikazano u sljedećoj tablici.

Tablica 8.1. Vrijednosti faktora dielektričnih gubitaka  $\tan \delta$

Vrsta izolacije kabela	$\tan \delta$
Papir	$50 \cdot 10^{-4}$
PVC	$2 \cdot 10^{-4}$
PE	$730 \cdot 10^{-4}$

Kapacitet kod pogonskih vodova je u ovisnosti o promjeru vodiča te o vrsti izolacije toga vodiča.

Kod ukupnog izračuna energije dielektričnih gubitaka uzima se u obzir

- kako opterećenje nema značajniji utjecaj na iznose snaga gubitaka
- te da je prisutan stalni pogon kabelske mreže.

Pa iz toga dobivamo da je izraz za energiju dielektričnih gubitaka :

$$W_{diel} = P_{diel} \cdot 8760, \quad (8.1)$$

Postupak koji je opisan se odnosi na kabele 110 kV; 35(30) kV i 10(20) kV. Izračunato je da dielektrični gubici čine otprilike u prosjeku oko 6% gubitaka u vodovima 35(10) kV, odnosno u vodovima 10(20) kV (podatak iz studija 2014. god). U slučaju kod slabo opterećenih kabela s PVC izolacijom, dielektrični gubici kod tog kabela čine veću količinu ukupnog udjela gubitaka u kabelu.

## 9. TRANSFORMACIJA 110/SN

Točnost energetske bilance kod transformacije pri 110/SN u pogledu poznavanja udjela energije koja je distribuirana izravnim transformacijama 110/10(20)kV, odnosno transformacijama 110/35(30)kV, je bitna zbog toga jer nema utjecaj samo na određene gubitke u transformatoru 110/SN, već i na vodove u srednjem naponu 35(30) kV i transformatore 35(30)/10(20) kV, stoga su predloženi postupci prilikom procjene energetske bilance, odnosno tehničkih gubitaka u koje spadaju svi transformatori 110/SN.

Proračuni gubitaka koji se temelje na satnim podacima o opterećenju (ili strujama ili naponima):

- temeljem stvarnih ili nadomjesnih parametara gubitaka transformatora određenih kao srednja vrijednost poznatih za istovjetne transformatore približno jednake starosti,
- proračunom gubitaka snage,
- za svaki sat temeljem godišnjih krivulja opterećenja transformatora.

Dodatni gubici nastali zbog prisilnog hlađenja (vlastita potrošnja) transformatora se zanemaruju. Po pravilu su najčešće prisutni u transformatorima 400/VN i 220/VN, pa i u nekim dijelovima transformatora 110/SN. No, u takvim slučajevima je zanemarivanje takvih komponenata gubitaka uobičajeno, jer se aktiviranje prisilnog hlađenja vrši samo kada se transformator nađe pri relativno visokom opterećenju.

Ova odstupanja se koriste za određivanje konačnih korigiranih gubitaka skaliranjem na iznos energije distribuirane transformatorima 110/SN prema energetske bilanci na sljedeći način:

$$\begin{aligned} & [Gubitci u transformatorima 110/10(20)kV] \\ = & [Gubitci u transformatorima 110/10(20)kV - proračun] / (1 \\ & + [Odstupanje energije u proračunima od energije bilance (%)]) \end{aligned} \quad (9.1)$$

Na isti način su određeni gubici u transformatorima 110/35(30)/10 kV. Jedina je razlika u dodatno razdvojenim iznosima energije distribuirane na naponsku razinu 35(30) kV, odnosno 10 kV (tercijar).

$$\begin{aligned} & [\textit{Gubici transformatora 110/SN}] \\ = & [\textit{Gubici u transformatorima 110/10(20)kV} - \textit{proračun}] / (1 \\ & + [\textit{Odstupanje energije u proračunu od energetske bilance (\%)}]) \end{aligned} \quad (9.2)$$

Na potpuno jednaki način određeni su i gubici u transformaciji 110/10(20) kV, odnosno 110/35(30)/10 kV.

Relativni gubici u transformatorima 110/10(20) kV u odnosu na distribuiranu energiju kreću se od 0,39% u Elektri Karlovac do 0,92% u Elektrolici Gospić, s prosjekom 0,43% na razini HEP ODS-a. Gubici u Elektrolici Gospić su visoki radi vrlo visokog udjela gubitaka neovisnih o opterećenju (87%). Za ostala distribucijska područja taj pokazatelj je između 50% i 88%, a srednja vrijednost na razini HEP ODS-a je 59%.

Transformatori 110/35(30)/10 kV u vlasništvu HEP ODS-a nalaze se samo u Elektri Varaždin, Elektri Sisak i Elektroistri Pula. Gubici iznose manje od 9% ukupnih gubitaka u transformaciji 110/SN u vlasništvu HEP ODS-a.

Udio gubitaka koji nije ovisan o opterećenju je u iznosu od 50% do 88%, a prosjek gledan na razini HEP ODS-a jednak je 59%. Treba uzeti u obzir da u slučaju transformacija 110/SN postoje ovisnosti o opterećenju kada je riječ o upravljanju pogona transformatora (isključeno u sezoni niskog opterećenja i uključeno u sezoni visokog opterećenja). To se postiže promjenom prijenosnog omjera, odnosno automatskom regulacijom napona (ARN) koji iznosi  $\pm 2,5\%$  na VN strani. Transformacije SN/SN i SN/NN se prebacuju ručnom preklopkom na željeni položaj, u beznaponskom stanju (obično se radi na duži period jer zahtjeva manevar u beznaponskom stanju). Automatsko prebacivanje sklopke se vrši na primarnoj strani kako bi se na sekundaru održao željeni napon. Napon mora biti u određenim zadovoljavajućim granicama nazivnih vrijednosti (ili u dozvoljenim granicama odstupanja) kako bih se omogućila kvalitetna opskrba električnom energijom. Kod previsokog napona može doći do kvarova na el. uređajima, proboju izolacije i smanjenju životnog vijeka pojedinih elemenata EES-a. Kod preniskog napona dolazi do većih gubitaka u EES-u, a samim time i do neekonomičnosti samog sustava.

## 10.VODOVI 35(30) kV

Proračun gubitaka po vodovima 35(30) kV provede se:

- na stvarnom modelu vodova,
- proračunom gubitaka snage,
- za svaki sat temeljem godišnjih krivulja opterećenja vodova i odgovarajućih transformatora.

Za vodove kod kojih su zabilježeni visoki gubici potrebno je provjeriti podatke i parametre o krivulji opterećenja.

$$\begin{aligned} & [Gubici u vodovima 35(30)kV] \\ = & [Dielektrični gubici u vodovima 35(30)kV - proračun] \\ & + [Gubici u vodičima 35(30)kV - proračun] / (1 \\ & + [Odstupanje energije u proračunu od energije bilance]) \end{aligned} \quad (10.1)$$

Vodovi 35(30) kV kod kojih se gubici ne pripisuju HEP ODS-u su TS 110/35 kV Krasica – TS 35/10/6,3 kV INA u Elektroprimorju Rijeka i TS 35/20/10 kV Obrovac – TS 35/20 kV Sveti Rok.

Kao i u slučaju transformacije 110/SN, prisutne su velike razlike između distribucijskih područja. Od 0,06% u Elektri Sisak s visokom zastupljenošću izravne transformacije 110/10(20) kV, do 0,94% u Elektrolici Gospić. Prosječni gubici na razini HEP ODS-a su 0,35%.

Udio dielektričnih gubitaka u ukupnim gubicima u vodovima 35(30) kV je u prosjeku 6%, ali u tri distribucijska područja prelazi 10% (Elektra Sisak, Elektroprimorje Rijeka, Elektra Zagreb).



## 11. TRANSFORMACIJA 35(30)/10(20) kV I 35(30)/0,4 kV TE 10/20 kV

Proračuni gubitaka transformatora 35(30)/10(20) kV i 10/20 kV temeljeni su na satnim podacima o opterećenjima (ili strujnim ili naponskim) iz SCADA sustava HEP ODS-a i SCADA/EMS sustava HOPS-a, odnosno provedeni su:

- temeljem stvarnih parametara gubitaka transformatora ili nadomjesnih određenih kao srednje vrijednosti poznatih za istovjetne transformatore približno jednake starosti,
- proračunom gubitaka snage,
- za svaki sat temeljem godišnjih krivulja opterećenja transformatora.

Kod transformatora s iznimno visokim gubicima je potrebno provjeriti podatke i parametre o krivulji opterećenja, te je potrebno napraviti procjenu u kojem vremenskom periodu transformator radi u pogonu, a u kojem je vremenskom periodu van pogona.

Iako na razini HEP ODS-a odstupanje je prihvatljivih 13%, za neka distribucijska područja je vrlo visoko (Elektra Križ 55%, Elektra Zadar 48%, Elektra Šibenik 39%, Elektra Zabok 37%, Elektroistra Pula 34%). Stoga, u slučaju transformacije 35(30)/10(20) kV odstupanje energije od proračuna energetske bilance ne primjenjuje se u skaliranju gubitaka, već se konačna procjena gubitaka određuje kao umnožak distribuirane energije prema energetske bilanci i prosječne vrijednosti kod relativnih gubitaka dobivene proračunom.

Budući da je analiza na satnoj razini ipak obuhvaćen veliki broj transformatora, rezultati se mogu smatrati vjerodostojnima.

$$\begin{aligned} & \text{[Gubici u transformatorima 35(30)/10(20) kV]} \\ = & \text{[Energija distribuirana transformatorima [Relativni gubici u transformatoru 35(30)/10(20) kV} \\ & \text{– Proračun]} \end{aligned}$$

(11.1)

Procjena gubitaka ne temelji se na stvarnim podacima o opterećenjima transformatora, već primjenom sljedećeg pojednostavljenog modela:

- vršno opterećenje 33% instalirane snage transformatora,
- trajanje pogona transformatora 8760 h,
- trajanje vršnog opterećenja 4000 h,
- procjena trajanja gubitaka na 2196 h.

Zajedno s transformacijom 35(30)/10(20) kV promatrana je i transformacija 10/20 kV. Riječ je o dva transformatora 10/20 kV 4 MVA u TS 20/10 kV Lepoglava i jednom 2,5 MVA u TS 35/10-20 kV Kraljevica. Riječ je o zanemarivom iznosu (0,04% tehničkih gubitaka).

Relativni gubici (u odnosu na nabavu) transformatora 35(30)/10(20) kV i 35(30)/0,4 kV i 10/20 kV u prosjeku na razini HEP ODS-a iznose 0,35%, a po distribucijskim područjima iznose od 0,13% do 0,64%. Izraženi relativno u odnosu na transformiranu energiju, na razini HEP ODS-a iznose 0,63%, a po distribucijskim područjima od 0,54% do 0,85%.

Ukupni gubici energije koji se odnose na primarnu distribucijsku mrežu prikazani relativno u odnosu na nabavu. Može se primijetiti da su manji gubici u onim distribucijskim područjima koji imaju značajno više transformacija 110/10(20) kV (Elektra Sisak, Elektra Zagreb, Elektra Zadar, Elektra Karlovac), dok su gubici veći u područjima gdje se više koristi sama mreža 35(30) kV s nadzemnim vodovima (Elektra Gospić, Elektra Požega, Elektrojug Dubrovnik, Elektra Šibenik).

Ako se uzme u obzir to da u distribucijskom području s mrežom 35(30) kV je prisutan veći broj trafostanica 110/35 kV koje su u vlasništvu HOPS-a, razlikujemo dvije vrste razvoja distribucijske mreže prema pregledu gubitaka na primarnoj strani mreže, te je još veći na strani izravne transformacije. Potpuna slika se dobije ako se dodaju još i gubici iz mreže 10(20) kV, s obzirom na to da su u izravnoj transformaciji svojstveni izvodi dulji.

## 12. VODOVI 10(20) kV

Procjena gubitaka električne energije kod 10(20) kV ima relativno visoku točnost, jer se temelji na:

- stvarnom modelu mreže,
- tokovima snaga pri vršnom opterećenju temeljenim na studijama razvoja SN mreža pojedinih distribucijskih područja,
- godišnjem vremenu trajanja gubitaka dobivenim sa stvarnim krivuljama trajanja opterećenja promatranog distribucijskog područja, koji se modificira na razinu zbroja neistodobnih opterećenja 10(20) kV.

Prema studiji za razvoj pojedinih distribucijskih područja, zaključeno je da su gubici u pravilu računati prema razini gubitaka snage (za vršna opterećenja 10 i 20 kV izvoda), te također prema petogodišnjem vremenskom intervalu i to prema početnim stanjima 5-u, 10-u, 15-u i 20-u godinu promatranja horizonta planiranja.

Studije za razvoj u pravilnim proračunima raščlanjuju snagu gubitaka kod tokova snaga na gubitke u 35 kV mreži, transformatorima 35/10(20) kV, te gubitke na mreži 10 kV i 20 kV.

Gubici kod mreža 10 kV i 20 kV se prikazuju zasebno po elementima mreže ili se sumiraju zajedno. Kada bi postojala mogućnost da se pravilno postavi metodologija izračuna gubitaka kod mreže 10 kV i 20 kV, iznimno je važno poznavanje takvih podataka.

Iz studije se uzima relativni iznos gubitaka koji je korigiran prema planiranim vršnim opterećenjima primijenjeno iz studije, te ostvareno s vršnim opterećenjima.

Prema tome treba se uzeti u obzir način na koji se izvode svake pojedinačne studije prema primijenjenom modelu opterećenja:

- istodobna opterećenja 10(20) kV mreža pri vršnim opterećenjima promatranog distribucijskog područja,
- neistodobna vršna opterećenja TS 35/10(20) kV i 110/10(20) kV, a pri tome se ne uzimaju u obzir vršna opterećenja koja nisu neistodobna za 10 kV i 20 kV,
- neistodobna vršna opterećenja izvoda 10 kV i 20 kV.

Za korekcije iznosa vršnih opterećenja kod promatranih mreža se primjenjuje odgovarajući faktor istodobnosti :

- faktor istodobnosti TS 35/10(20) kV i 110/20 kV
- faktor istodobnosti 10 kV i 20 kV izvoda
- ukupni faktor istodobnosti –  $f = f_1 \times f_2$

Faktor istodobnosti je moguće odrediti pomoću krivulja opterećenja. Ako krivulje nisu poznate, koristi se kao obična tipična vrijednosti  $f_1 \in (0,9 ; 1)$  i  $f_2 \in (0,8 ; 0,9)$ .

Faktor istodobnosti je određen pomoću stvarnih vrijednosti krivulja trajanja opterećenja s obzirom na razinu promatrane mreže. Pri tome se krivulja skalira tako da je:

- vršno opterećenje jednako sumi kod neistodobnih vršnih opterećenja pri izvodima 10(20) kV,
- ukupna energija koja je preuzeta iz promatranog distribucijskog područja, odgovara površini oblika grafa koji se nalazi uz prikazanu krivulju.

Zaključujemo da se postupak za procjenu gubitaka energije u 10 kV i 20 kV mreži opisuje sljedećom formulom :

$$W_g = p_{gm\%} \cdot P_m \cdot T_g \quad (12.1)$$

gdje  $p_{gm\%}$  predstavlja relativne vrijednosti za gubitke snaga, gubici su dobiveni pomoću studija za razvoj mreže te je jednaka kao i omjer za apsolutnu vrijednost gubitaka energije kao kod vršnog opterećenja  $P_{gm}$  i vršnog opterećenja  $P_m$ :

$$p_{gm\%} = \frac{P_{gm}}{P_m} \quad (12.2)$$

Gdje je  $P_m$  korigirana vrijednost za maksimalno opterećenje promatrane pri promatranoj mreži, u koju spadaju i neistodobna opterećenja za mreže 10 kV i 20 kV .

### 13. TRANSFORMACIJA 10(20)/0,4 kV

Gubici koji nastaju pri transformaciji 10(20)/0,4 kV su jednaki otprilike kao i gubici u mreži niskog napona, te zajedno čine više od 50% ukupnih gubitaka u distribucijskoj mreži. Točnost dobivenih rezultata kod gubitaka niskog napona je jako niska, ali se zato gubici kod transformacija 10(20)/0,4 kV mogu relativno točno odraditi:

- pomoću parametara stvarnih gubitaka transformatora ili pomoću određene srednje vrijednosti za istovjetne transformatore koji imaju približno jednaku starost,
- proračunom gubitaka snaga,
- ako se uzme primjena godišnjeg vremena trajanja gubitaka dobivenih pomoću stvarne krivulje trajanja opterećenja.

Utjecaj na transformaciju kod 10(20)/0,4 kV je modeliran vrlo temeljito, te je temeljen na stvarnim karakteristikama transformatora koji su se proizvodili od 1965. godine pa sve do danas. Ti transformatori odgovaraju propisanim normama za energetska učinkovitost transformatora u distribucijskoj mreži.

Sljedeće pretpostavke su korištene prilikom dobivanja proračuna za gubitke u transformatorima 10(20)/0,4 kV:

- snaga gubitaka koje je prisutna u jezgri jednaka je jediničnim gubicima,
- snaga gubitaka koja je prisutna u namotajima transformatora jednaka je umnošku jediničnih vrijednosti te kvadratu omjera između vršnog opterećenja te nazivne snage toga transformatora,
- da transformatori rade neprestano i da je vrijednost trajanja gubitaka u jezgri jednaka 8760 h,
- korelacija trajanja gubitaka u namotajima s vršnim opterećenjem, jer je kod krivulje trajanja opterećenja prisutna transformirana energija,
- utjecaj nesimetričnog opterećenja je zanemaren radi nedostataka podataka.

## 14. PRIMJER IZRAČUNA GUBITAKA SNAGE I PADA NAPONA NA SN VODU

Prijenosne mreže prenose veće snage na veće udaljenosti što znači da veći napon zbog ekonomičnosti predstavlja manje gubitke. S prijenosnih mreža pomoću transformatora se prelazi na distribucijske mreže koje dalje napajaju kupce el. energijom. Distribucijske mreže su do 35 kV, a u prijenosne mreže spadaju naponi 110, 220 i 400 kV. Distribucijska mreža je sporna između prijenosne mreže i potrošača u distribucijskoj mreži. Gubici radne snage na vodu se računaju prema sljedećoj formuli:

$$P_g = 3 * I^2 * R \quad (14.1)$$

Gdje nam  $I$  predstavlja jačinu struje koja teče određenim vodom, a  $R$  nam predstavlja otpor toga voda. Iz formule je vidljivo da gubici ovise o kvadratu struje, stoga se dolazi do zaključka da smanjenjem struje odnosno povećanjem napona dolazi do manjih gubitaka. Struju treba smanjiti uz nepromijenjenu prijenosnu snagu kako se ne bih narušila prijenosna snaga sustava.

Distribucijski vodovi kojima se prenosi električna energija od izvora do potrošača se vrši uz određene gubitke, a to su gubici radne i jalove snage i to prema sljedećim formulama:

$$\Delta P_g = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} * R \quad \Delta Q_g = \frac{P^2 + Q^2}{U^2} * X \quad (14.2)$$

Gdje je:

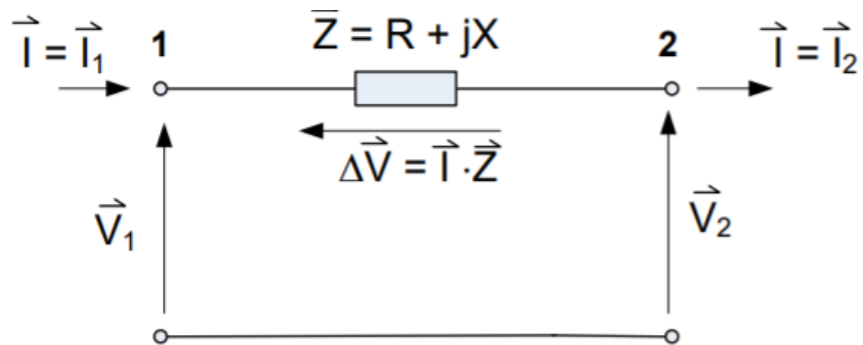
$\Delta P_g$  – trofazni gubici radne snage

$\Delta Q_g$  – trofazni gubici jalove snage

$P$  – radna snaga potrošača (trofazno)

$Q$  – jalova snaga potrošača (trofazno)

$U$  – linijska vrijednost napona na potrošaču



Slika 14.1. Nadomjesni model distribucijskog EE voda [5]

$$\text{Gubitak snage: } \Delta \vec{S} = \Delta \vec{V} * \vec{I}^* = \vec{I} * \vec{Z} * \vec{I}^* \quad (14.3)$$

$$\text{Trofazni gubitak snage: } \Delta \vec{S} = 3\Delta \vec{V} * \vec{I}^* = 3\vec{I} * \vec{Z} * \vec{I}^* \quad (14.4)$$

$$\Delta S = \Delta P + j\Delta Q \text{ gdje je:} \quad (14.5)$$

$\Delta P$  – djelatni (aktivni) gubitak snage

$$\Delta P = R_e(\Delta \vec{S}) = R_e(3 * \vec{I} * \vec{Z} * \vec{I}^*) = R_e(3 * |\vec{I}|^2 * \vec{Z}) \quad (14.6)$$

$$\Delta P = R_e [3 * |\vec{I}|^2 (R + jX)] = 3 * |\vec{I}|^2 * R \quad (14.7)$$

$\Delta Q$  – jalovi (reaktivni) gubitak snage

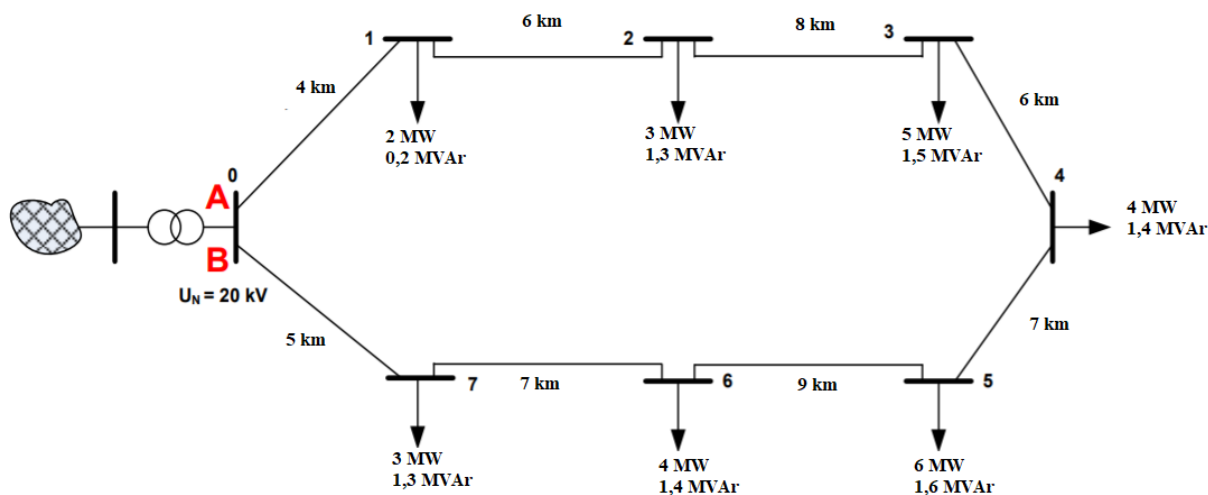
$$\Delta Q = I_m(\Delta \vec{S}) = I_m(3 * \vec{I} * \vec{Z} * \vec{I}^*) = I_m(3 * |\vec{I}|^2 * \vec{Z}) \quad (14.8)$$

$$\Delta Q = R_e [3 * |\vec{I}|^2 (R + jX)] = 3 * |\vec{I}|^2 * X \quad (14.9)$$

Odrađivanje mjesta i iznosa najvećeg pada napona u dvostruko napajanoj 20 kV mreži opterećenoj prema slici.

$R_1 = 0,3 \Omega/km$  (djelatni otpor voda)

$X_1 = 0,15 \Omega/km$  (admitancija voda)



Slika 14.2. Prikazuje primjer prstenaste mreže

Računanje ukupne duljine voda se računa kao zbroj udaljenosti između svih čvorova mreže

$$l_{uk} = l = \sum_i l_i = 4 + 6 + 8 + 6 + 7 + 9 + 7 + 5 = 52 \text{ km}$$

Računanje ukupne radne snage voda se računa kao zbroj svih radnih snaga u čvorovima mreže

$$P_{uk} = P = \sum_i P_i = 2 + 3 + 5 + 4 + 6 + 4 + 3 = 27 \text{ MW}$$

Računanje ukupne jalove sage voda se računa kao zbroj svih jalovih snaga u čvorovima mreže

$$Q_{uk} = Q = \sum_i Q_i = 0,2 + 1,3 + 1,5 + 1,4 + 1,6 + 1,4 + 1,3 = 8,7 \text{ MVar}$$



Računanje radne (djelatne) snage uz pretpostavku da su naponi  $U_A = U_B = U_n = 20 \text{ kV}$ :

$$P_A = \frac{U_n}{R_1} * \frac{U_{A,P} - U_{B,P}}{l} + P \frac{l_B}{l} \quad (14.10)$$

Snaga kroz granu A  $P_A$  se računa kao razlika nazivnog napona  $U_n$  i djelatnog otpora voda  $R_1$  što se množi s razlikom pada napona grana A i B s ukupnom duljinom voda  $l$  i zbrojeno s ukupnom snagom  $P$  koja se može s razlikom duljine promatrane snage voda i ukupnom snagom voda.

Dolazimo do formule da je radna (djelatna) snaga u grani A jednaka razlici ukupne snage tog voda pomnožena s duljinom voda grane koji se djeli sa cijelom duljinom voda.

$$P_{Ai} = P_i \frac{l_{Bi}}{l} \quad (14.11)$$

Snaga u pojedinom čvoru jednaka je razlici snage tog čvora i udaljenosti voda od početka do čvora u kojem se računa snaga s ukupnom duljinom voda.

$$P'_A = \frac{\sum_{i=1}^n P_i * l_{Bi}}{l} \quad (14.12)$$

Kod računanja jalove snage  $Q$  postupak je isti samo umjesto djelatnog otpora voda  $R_1$  koristimo admitanciju voda  $x_1$ .

$$Q_A = \frac{U_n}{x_1} * \frac{U_{A,Q} - U_{B,Q}}{l} + Q \frac{l_B}{l} \quad (14.13)$$

$$Q_{Ai} = Q_i \frac{l_{Bi}}{l} \quad (14.14)$$

$$Q'_A = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i * l_{Bi}}{l} \quad (14.15)$$

Naponi pojnih točaka su jednaki, snage izjednačenja jednake su nuli

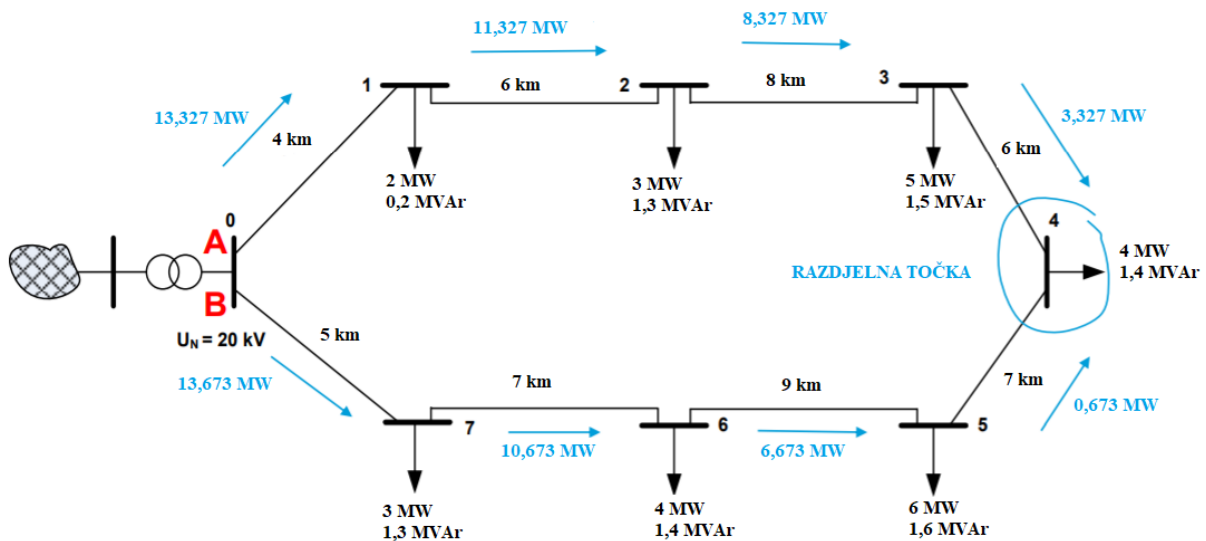
$$P_A = P'_A = \frac{\sum P_i * l_{Bi}}{l_{uk}} = \frac{1}{52} (2 * 48 + 3 * 42 + 5 * 34 + 4 * 28 + 6 * 21 + 4 * 12 + 3 * 5) = 13,327 MW$$

$$P_B = P - P'_A = 27 - 13,327 = 13,673 MW$$

$$Q_A = Q'_A = \frac{\sum Q_i * l_{Bi}}{l_{uk}} = \frac{1}{52} (0,2 * 48 + 1,3 * 42 + 1,5 * 34 + 1,4 * 28 + 1,6 * 21 + 1,4 * 12 + 1,3 * 5) = 4,063 MVar$$

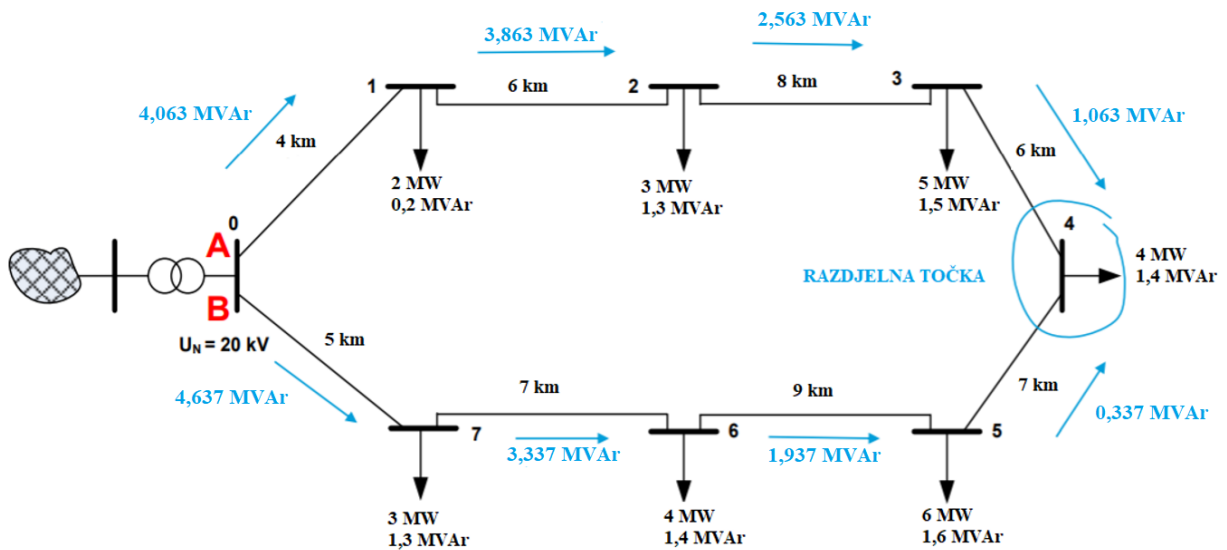
$$Q_B = Q - Q'_A = 8,7 - 4,063 = 4,637 MVar$$

Radna snaga:



Slika 14.3. Prikazuje tokove djelatnih snaga u prstenastoj mreži

Jalova snaga:



Slika 14.4. Prikazuje tokove djelatnih snaga u prstenastoj mreži

### 14.1. Računanje pada napona:

Izračun pada napona u čvoru 4:

$$\Delta U_4 = \frac{R_1}{U_n} \sum_{i=1}^4 P'_i * l_i + \frac{X_1}{U_n} \sum_{i=1}^4 Q'_i * l_i = \Delta U_{4P} + \Delta U_{4Q}$$

Izračun pada napona u čvora 4 zbog radne snage:

$$\Delta U_{4P} = \frac{R_1}{U_n} \sum_{i=1}^4 P'_i l_i = \frac{0,3}{20} (13,327 * 4 + 11,327 * 6 + 8,327 * 8 + 3,327 * 6) = 3,118 \text{ kV}$$

Izračun pada napona u čvora 4 zbog jalove snage:

$$\Delta U_{4Q} = \frac{X_1}{U_n} \sum_{i=1}^4 Q'_i l_i = \frac{0,15}{20} (4,063 * 4 + 3,863 * 6 + 2,563 * 8 + 1,063 * 6) = 0,497 \text{ kV}$$

Ukupni pad napona u čvoru 4 je jednak zbroju pada napona uzrokovanog radnim i jalovim gubicima:

$$\Delta U_4 = \Delta U_{4P} + \Delta U_{4Q} = 3,118 + 0,497 = 3,615 \text{ kV}$$

Ukupni pad napona u čvoru 4:

$$U_4 = U_n - \Delta U_4 = 20 - 3,615 = 16,385 \text{ kV}$$

Pad napona u postotcima (%):

$$\Delta u_{4r} = \frac{\Delta U_4}{U_n} * 100\% = \frac{3,615}{20} * 100\% = 18,075\%$$

## 14.2. Računanje pada napona u čvorovima:

Napon u čvoru 1:

Snaga koja teče vodom od čvora A do čvora 1:  $P_1 = 13,327 \text{ MW}$   $Q_1 = 4,063 \text{ MVar}$

Izračuna pada napona u čvoru 1:

$$\begin{aligned} \Delta U_1 &= \frac{R_1}{U_n} \sum_{i=1}^n P_i * l_i + \frac{X_1}{U_n} \sum_{i=1}^n Q_i * l_i = \frac{0,3}{20} * (13,327 * 4) + \frac{0,15}{20} * (4,063 * 4) = 0,799 + 0,122 \\ &= 0,921 \text{ kV} \end{aligned}$$

Ukupni pad napona u čvoru 1:

$$U_1 = U_n - \Delta U_1 = 20 - 0,921 = 19,079 \text{ kV}$$

Pad napona u postotcima (%):

$$\Delta u_{1r} = \frac{\Delta U_1}{U_n} * 100\% = \frac{0,921}{20} * 100\% = 4,605 \%$$

### Napon u čvoru 2:

Snaga koja teče vodom od čvora 1 do čvora 2:  $P_2 = 11,327 \text{ MW}$   $Q_2 = 3,863 \text{ MVar}$

Izračuna pada napona u čvoru 2:

$$\begin{aligned}\Delta U_2 &= \frac{R_1}{U_n} \sum_{i=1}^n P_i * l_i + \frac{X_1}{U_n} \sum_{i=1}^n Q_i * l_i = \frac{0,3}{20} * (13,327 * 4 + 11,327 * 6) + \frac{0,15}{20} * (4,063 * 4 + 3,863 * 6) \\ &= 1,819 + 0,296 = 2,115 \text{ kV}\end{aligned}$$

Ukupni pad napona u čvoru 2:

$$U_2 = U_n - \Delta U_2 = 20 - 2,115 = 17,885 \text{ kV}$$

Pad napona u postotcima (%):

$$\Delta u_{2r} = \frac{\Delta U_2}{U_n} * 100\% = \frac{2,115}{20} * 100\% = 10,575 \%$$

### Napon u čvoru 3:

Snaga koja teče vodom od čvora 2 do čvora 3:  $P_3 = 8,327 \text{ MW}$   $Q_3 = 2,563 \text{ MVar}$

Izračuna pada napona u čvoru 3:

$$\begin{aligned}\Delta U_3 &= \frac{R_1}{U_n} \sum_{i=1}^n P_i * l_i + \frac{X_1}{U_n} \sum_{i=1}^n Q_i * l_i \\ &= \frac{0,3}{20} * (13,327 * 4 + 11,327 * 6 + 8,327 * 8) + \frac{0,15}{20} \\ &\quad * (4,063 * 4 + 3,863 * 6 + 2,563 * 8) = 2,818 + 0,449 = 3,267 \text{ kV}\end{aligned}$$

Ukupni pad napona u čvoru 3:

$$U_3 = U_n - \Delta U_3 = 20 - 3,267 = 16,733 \text{ kV}$$

Pad napona u postotcima (%):

$$\Delta u_{3r} = \frac{\Delta U_3}{U_n} * 100\% = \frac{3,267}{20} * 100\% = 16,335 \%$$

Napon u čvoru 4:

Snaga koja teče vodom od čvora 3 do čvora 4:  $P_4 = 3,327 \text{ MW}$   $Q_4 = 1,063 \text{ MVar}$

Izračuna pada napona u čvoru 4:

$$\begin{aligned}\Delta U_4 &= \frac{R_1}{U_n} \sum_{i=1}^n P_i * l_i + \frac{X_1}{U_n} \sum_{i=1}^n Q_i * l_i \\ &= \frac{0,3}{20} * (13,327 * 4 + 11,327 * 6 + 8,327 * 8 + 3,327 * 6) + \frac{0,15}{20} \\ &\quad * (4,063 * 4 + 3,863 * 6 + 2,563 * 8 + 1,063 * 6) = 3,118 + 0,497 = 3,615 \text{ kV}\end{aligned}$$

Ukupni pad napona u čvoru 4:

$$U_4 = U_n - \Delta U_4 = 20 - 3,615 = 16,385 \text{ kV}$$

Pad napona u postocima (%):

$$\Delta u_{4r} = \frac{\Delta U_4}{U_n} * 100\% = \frac{3,615}{20} * 100\% = 18,075 \%$$

Pošto je riječ o prstenastoj mreži, proračune je potrebno napraviti za svaki vod zasebno kako bi mogli odrediti točku razdjelnicu. U ovom zadatku se u čvoru 4 pomoću proračuna dobio najniži napon odnosno najveći pad napon, pa je čvor 4 prema tome definiran kao razdjelna točka.

Snaga koja teče vodom od čvora 3 do čvora 4:  $P_4 = 0,673 \text{ MW}$   $Q_4 = 0,337 \text{ MVar}$

Izračuna pada napona u čvoru 4:

$$\begin{aligned}\Delta U_4 &= \frac{R_1}{U_n} \sum_{i=1}^n P_i * l_i + \frac{X_1}{U_n} \sum_{i=1}^n Q_i * l_i \\ &= \frac{0,3}{20} * (13,673 * 5 + 10,673 * 7 + 6,673 * 9 + 0,673 * 7) + \frac{0,15}{20} \\ &\quad * (4,637 * 5 + 3,337 * 7 + 1,937 * 9 + 0,337 * 7) = 3,118 + 0,498 = 3,616 \text{ kV}\end{aligned}$$

Ukupni pad napona u čvoru 4:

$$U_4 = U_n - \Delta U_4 = 20 - 3,616 = 16,384 \text{ kV}$$

Pad napona u postotcima (%):

$$\Delta u_{4r} = \frac{\Delta U_4}{U_n} * 100\% = \frac{3,616}{20} * 100\% = 18,08 \%$$

Napon u čvoru 5:

Snaga koja teče vodom od čvora 4 do čvora 5:  $P_5 = 6,673 \text{ MW}$   $Q_5 = 1,937 \text{ MVar}$

Izračuna pada napona u čvoru 5:

$$\begin{aligned} \Delta U_5 &= \frac{R_1}{U_n} \sum_{i=1}^n P_i * l_i + \frac{X_1}{U_n} \sum_{i=1}^n Q_i * l_i \\ &= \frac{0,3}{20} * (13,673 * 5 + 10,673 * 7 + 6,673 * 9) + \frac{0,15}{20} \\ &\quad * (4,637 * 5 + 3,337 * 7 + 1,937 * 9) = 3,047 + 0,479 = 3,526 \text{ kV} \end{aligned}$$

Ukupni pad napona u čvoru 5:

$$U_5 = U_n - \Delta U_5 = 20 - 3,526 = 16,474 \text{ kV}$$

Pad napona u postotcima (%):

$$\Delta u_{5r} = \frac{\Delta U_5}{U_n} * 100\% = \frac{3,526}{20} * 100\% = 17,63 \%$$

Napon u čvoru 6:

Snaga koja teče vodom od čvora 5 do čvora 6:  $P_6 = 10,673 \text{ MW}$   $Q_6 = 3,337 \text{ MVar}$

Izračuna pada napona u čvoru 6:

$$\begin{aligned} \Delta U_6 &= \frac{R_1}{U_n} \sum_{i=1}^n P_i * l_i + \frac{X_1}{U_n} \sum_{i=1}^n Q_i * l_i = \frac{0,3}{20} * (13,673 * 5 + 10,673 * 7) + \frac{0,15}{20} * (4,637 * 5 + 3,337 * 7) \\ &= 2,146 + 0,349 = 2,495 \text{ kV} \end{aligned}$$

Ukupni pad napona u čvoru 6:

$$U_6 = U_n - \Delta U_6 = 20 - 2,495 = 17,505 \text{ kV}$$

Pad napona u postotcima (%):

$$\Delta u_{6r} = \frac{\Delta U_6}{U_n} * 100\% = \frac{2,495}{20} * 100\% = 12,475 \%$$

Napon u čvoru 7:

Snaga koja teče vodom od čvora do čvora 7:  $P_7 = 13,673 \text{ MW}$   $Q_7 = 4,637 \text{ MVar}$

Izračuna pada napona u čvoru 7:

$$\Delta U_7 = \frac{R_1}{U_n} \sum_{i=1}^n P_i * l_i + \frac{X_1}{U_n} \sum_{i=1}^n Q_i * l_i = \frac{0,3}{20} * (13,673 * 5) + \frac{0,15}{20} * (4,637 * 5) = 1,026 + 0,174 = 1,2 \text{ kV}$$

Ukupni pad napona u čvoru 7:

$$U_7 = U_n - \Delta U_7 = 20 - 1,2 = 18,8 \text{ kV}$$

Pad napona u postotcima (%):

$$\Delta u_{7r} = \frac{\Delta U_7}{U_n} * 100\% = \frac{1,2}{20} * 100\% = 6\%$$

Čvor	Pad napona	Ukupni napon	Pad napona (%)
1	0,921	19,079	4,605
2	2,115	17,885	10,575
3	3,267	16,733	16,335
4	3,615/3,616	16,385/16,384	18,075/18,08
5	3,526	16,474	17,63
6	2,495	17,505	12,475
7	1,2	18,8	6

Tablica 14.1. Pada napona po čvorovima



### 14.3. Gubici radne i jalove snaga za svaki vod:

Gubici radne snage u vodu se računju kao razlika kvadrata zbroja radne i jalove snage promatranog voda sa nazivnim naponom mreže te pomnožena sa djelatnim otporom voda i duljinom promatranog voda.

$$\Delta P_{li} = \frac{P_{li}^2 + Q_{li}^2}{U_n^2} * R * l_{ii}$$

Gubici jalove snage u vodu se računju kao razlika kvadrata zbroja radne i jalove snage promatranog voda sa nazivnim naponom mreže te pomnožena sa admitancijom voda i duljinom promatranog voda.

$$\Delta Q_{li} = \frac{P_{li}^2 + Q_{li}^2}{U_n^2} * X * l_{ii}$$

Ukupnio gubici su zbroj radne i jalove snage

$$\Delta S_{li} = \Delta P_{li} + \Delta Q_{li}$$

Vod A-1:

Snaga potrošača u vodu:  $P = 13,327 \text{ MW}$  ,  $Q = 4,063 \text{ MVAr}$  , Duljina voda  $l = 4 \text{ km}$

Gubici radne sange:

$$\Delta P_{l1} = \frac{P_{l1}^2 + Q_{l1}^2}{U_n^2} * R * l_{i1} = \frac{13,327^2 + 4,063^2}{20^2} * 0,3 * 4 = 0,582 \text{ MW}$$

Gubici jalove sange:

$$\Delta Q_{l1} = \frac{P_{l1}^2 + Q_{l1}^2}{U_n^2} * X * l_{i1} = \frac{13,327^2 + 4,063^2}{20^2} * 0,15 * 4 = 0,291 \text{ MVAr}$$

Ukupni gubici sange na vodu:

$$\Delta S_{l1} = \Delta P_{l1} + \Delta Q_{l1} = 0,582 + j0,291 \text{ MVA}$$

Vod 1-2:

Snaga potrošača u vodu:  $P = 11,327 \text{ MW}$  ,  $Q = 3,863 \text{ MVar}$  , Duljina voda  $l = 6 \text{ km}$

Gubici radne sange:

$$\Delta P_{l2} = \frac{P_{l2}^2 + Q_{l2}^2}{U_1^2} * R * l_{i2} = \frac{11,327^2 + 3,863^2}{19,079^2} * 0,3 * 6 = 0,708 \text{ MW}$$

Gubici jalove sange:

$$\Delta Q_{l2} = \frac{P_{l2}^2 + Q_{l2}^2}{U_1^2} * X * l_{i2} = \frac{11,327^2 + 3,863^2}{19,079^2} * 0,15 * 6 = 0,354 \text{ MVar}$$

Ukupni gubici sange na vodu:

$$\Delta S_{l2} = \Delta P_{l2} + \Delta Q_{l2} = 0,708 + j0,354 \text{ MVA}$$

Vod 2-3:

Snaga potrošača u vodu:  $P = 8,327 \text{ MW}$  ,  $Q = 2,563 \text{ MVar}$  , Duljina voda  $l = 8 \text{ km}$

Gubici radne sange:

$$\Delta P_{l3} = \frac{P_{l3}^2 + Q_{l3}^2}{U_2^2} * R * l_{i3} = \frac{8,327^2 + 2,563^2}{17,885^2} * 0,3 * 8 = 0,569 \text{ MW}$$

Gubici jalove sange:

$$\Delta Q_{l3} = \frac{P_{l3}^2 + Q_{l3}^2}{U_2^2} * X * l_{i3} = \frac{8,327^2 + 2,563^2}{17,885^2} * 0,15 * 8 = 0,285 \text{ MVar}$$

Ukupni gubici sange na vodu:

$$\Delta S_{l3} = \Delta P_{l3} + \Delta Q_{l3} = 0,569 + j0,285 \text{ MVA}$$

Vod 3-4:

Snaga potrošača u vodu:  $P = 3,327 \text{ MW}$  ,  $Q = 1,063 \text{ MVar}$  , Duljina voda  $l = 6 \text{ km}$

Gubici radne sange:

$$\Delta P_{l4} = \frac{P_{l4}^2 + Q_{l4}^2}{U_3^2} * R * l_{i4} = \frac{3,327^2 + 1,063^2}{16,335^2} * 0,3 * 6 = 0,082 \text{ MW}$$

Gubici jalove sange:

$$\Delta Q_{l4} = \frac{P_{l4}^2 + Q_{l4}^2}{U_3^2} * X * l_{i4} = \frac{3,327^2 + 1,063^2}{16,335^2} * 0,15 * 6 = 0,041 \text{ MVar}$$

Ukupni gubici sange na vodu:

$$\Delta S_{l4} = \Delta P_{l4} + \Delta Q_{l4} = 0,082 + j0,041 \text{ MVA}$$

Vod 4-5:

Snaga potrošača u vodu:  $P = 0,627 \text{ MW}$  ,  $Q = 0,337 \text{ MVar}$  , Duljina voda  $l = 7 \text{ km}$

Gubici radne sange:

$$\Delta P_{l5} = \frac{P_{l5}^2 + Q_{l5}^2}{U_4^2} * R * l_{i5} = \frac{0,627^2 + 0,337^2}{16,385^2} * 0,3 * 7 = 0,004 \text{ MW}$$

Gubici jalove sange:

$$\Delta Q_{l5} = \frac{P_{l5}^2 + Q_{l5}^2}{U_4^2} * X * l_{i5} = \frac{0,627^2 + 0,337^2}{16,385^2} * 0,15 * 7 = 0,002 \text{ MVar}$$

Ukupni gubici sange na vodu:

$$\Delta S_{l5} = \Delta P_{l5} + \Delta Q_{l5} = 0,004 + j0,002 \text{ MVA}$$

Vod 5-6:

Snaga potrošača u vodu:  $P = 6,673 \text{ MW}$  ,  $Q = 1,937 \text{ MVar}$  , Duljina voda  $l = 9 \text{ km}$

Gubici radne sange:

$$\Delta P_{l6} = \frac{P_{l6}^2 + Q_{l6}^2}{U_5^2} * R * l_{i6} = \frac{6,673^2 + 1,937^2}{16,384^2} * 0,3 * 9 = 0,486 \text{ MW}$$

Gubici jalove sange:

$$\Delta Q_{l6} = \frac{P_{l6}^2 + Q_{l6}^2}{U_5^2} * X * l_{i6} = \frac{6,673^2 + 1,937^2}{16,384^2} * 0,15 * 9 = 0,243 \text{ MVar}$$

Ukupni gubici sange na vodu:

$$\Delta S_{l6} = \Delta P_{l6} + \Delta Q_{l6} = 0,486 + j0,243 \text{ MVA}$$

Vod 6-7:

Snaga potrošača u vodu:  $P = 10,673 \text{ MW}$  ,  $Q = 3,337 \text{ MVar}$  , Duljina voda  $l = 7 \text{ km}$

Gubici radne sange:

$$\Delta P_{l7} = \frac{P_{l7}^2 + Q_{l7}^2}{U_6^2} * R * l_{i7} = \frac{10,673^2 + 3,337^2}{16,474^2} * 0,3 * 7 = 0,978 \text{ MW}$$

Gubici jalove sange:

$$\Delta Q_{l7} = \frac{P_{l7}^2 + Q_{l7}^2}{U_6^2} * X * l_{i7} = \frac{10,673^2 + 3,337^2}{16,474^2} * 0,15 * 7 = 0,484 \text{ MVar}$$

Ukupni gubici sange na vodu:

$$\Delta S_{l7} = \Delta P_{l7} + \Delta Q_{l7} = 0,978 + j0,484 \text{ MVA}$$

Vod 7-B:

Snaga potrošača u vodu:  $P = 13,673 \text{ MW}$  ,  $Q = 4,637 \text{ MVar}$  , Duljina voda  $l = 5 \text{ km}$

Gubici radne sange:

$$\Delta P_{l8} = \frac{P_{l8}^2 + Q_{l8}^2}{U_7^2} * R * l_{i8} = \frac{13,673^2 + 4,637^2}{20^2} * 0,3 * 5 = 0,782 \text{ MW}$$

Gubici jalove sange:

$$\Delta Q_{l8} = \frac{P_{l8}^2 + Q_{l8}^2}{U_7^2} * X * l_{i8} = \frac{13,673^2 + 4,637^2}{20^2} * 0,15 * 5 = 0,391 \text{ MVar}$$

Ukupni gubici sange na vodu:

$$\Delta S_{l8} = \Delta P_{l8} + \Delta Q_{l8} = 0,782 + j0,391 \text{ MVA}$$

U tablici ispod su podatci dobiveni proračunom:

Vod	Radni gubici kroz vod [MW]	Jalovi gubici kroz vod [MVar]
A-1	0,582	0,291
1-2	0,708	0,354
2-3	0,569	0,285
3-4	0,082	0,041
4-5	0,004	0,002
5-6	0,486	0,243
6-7	0,978	0,484
7-B	0,782	0,391
Ukupni gubici	4,191	2,091

Tablica 14.2. Tablica ukupnog pada napona po vodovima

## 15.ZAKLJUČAK

Svaki elektroenergetski sustav ima za cilj smanjiti gubitke električne energije na najmanju moguću razinu. U distribucijskoj mreži gubici su jednaki razlici između energije koja je dovedana u mrežu i energije koja je predana kupcima električne energije. Gubici su iskazani u postotnom obliku. Dvije skupine gubitaka u distribucijskoj mreži su tehnički i netehnički gubici.

Da bi se učinkovitije smanjili gubici električne energije u distribucijskim mrežama potrebno je djelovati ciljanim pristupom u skladu s uzrocima povećanih gubitaka. Analize su se potrebne provoditi po planu rada (za svaki sat, dan, tjedan, mjesec i godinu) da bi se lakše predvidjela opterećenje i tako osigurala električna energija koja je potrebna kupcima. Problematika koja se javlja kod proračuna gubitaka snage i energije, te troškovi nastali gubicima energije i snage u distribucijskim mrežama je kompleksan, ali važan za distribucijski sustav. Potrebno je redovito održavanje mreže i elemenata distribucijskog sustava kako bi se lakše uočila opterećenja na mreži i izbjegla dodatna pregrijavanje, promjena zastarjele opreme, kosrištenje zadovoljavajuće presjeke vodiča. Utjecaj na gubitke u distribuiranoj proizvodnji ovisi i mjestu priključenja potrošača, karakteristikama distribucijske mreže i karakteristikama potrošnje na mjestu priključenja kupca.

Da bih došlo do smanjenja gubitaka potrebno je opremiti dispečerski centar odgovarajućom opremom koja bi dopremala informacije koje su nužne za analize mreža (topologija mreža, sigurnost analize mreža, analiza osjetljivosti, analiza gubitaka i optimalni tokovi snaga). Potrebni su najkvalitetniji sustavi za mjerenja i obračune električne energije. Operator ima stalni zadatak za smanjenje gubitaka u distribucijskoj mreži i proširenje i dogradnju mreže.

## 16. LITERATURA

- [1] Narodne novine, s interneta, [https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018\\_08\\_74\\_1539.html](https://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2018_08_74_1539.html)
- [2] R. Goić.; D. Jakus.; I. Penović; "Distribucija električne energije" s Interneta, <http://marjan.fesb.hr/~rgoic/dm/skriptaDM.pdf>, 2008
- [3] R. Prenc, Predavanja sa kolegija Elektroenergetska postrojenja, 2019/2020
- [4] HERA, s Interneta, [https://www.hera.hr/hr/docs/HERA\\_izvjesce\\_2019.pdf](https://www.hera.hr/hr/docs/HERA_izvjesce_2019.pdf), lipanj 2020
- [5] Desetogodišnji (2019.-2028.) plan razvoja distribucijske mreže HEP ODS-a s detaljnom razradom za početno trogodišnje i jednogodišnje razdoblje, ožujak 2019
- [6] T. Baričević i dr., 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, srpanj 2016
- [7] M. Ž. Đurović, Predavanja sa kolegija Električne energetske mreže, 2019/2020

## **17. POPIS OZNAKA I KRATICA**

VN – visoki napon

SN – srednji napon

NN – niski napon

TS – trafostanica

HEP – Hrvatska elektroprivreda

ODS – operator distribucijskog sustava

HOPS – Hrvatski operator prijenosnog sustava

SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition

EE – elektroenergetski

ARN – automatska regulacija napona



## **18. SAŽETAK I KLJUČNE RIJEČI NA HRVATSKOM I ENGLESKOM JEZIKU**

Gubici električne energije su pokazatelj kvalitete i ekonomičnosti nekog distribucijskog sustava i dijele se na tehničke i netehničke gubitke. Smanjenje gubitaka električne energije učinkovito se postiže sustavnim pristupom, analizama mreža i analizama gubitaka i tokova snaga koji su bitni za proračune. Proračuni se vrše na satnoj, dnevnoj, tjednoj, mjesečnoj i godišnjoj bazi. Proračuni se izvršavaju kako bi se lakše mogla kontrolirati proizvedena i potrošena električna energija, te kako bi došlo do određenih smanjenja gubitaka u troškovima proizvodnje i gubitaka snage u mreži. Proračuni se provode prilikom projektiranja novih i rekonstruiranja postojećih mreža.

Ključne riječi: gubici električne energije, elektroenergetski sustav, distribucijski sustav, prijenosna mreža, tehnički i netehnički gubici

### **Summary**

Electricity losses are an indicator of the quality and economy of a distribution system and are divided into technical and non-technical losses. Reduction of electricity losses is effectively achieved through a systematic approach, network analysis and analysis of losses and power flows that are essential for calculations. Calculations are made on an hourly, daily, weekly, monthly and annual basis. Calculations are performed to be able to more easily control the produced and consumed electricity, and in order to achieve certain reductions in losses in production costs and power losses in the network. Calculations are carried out when designing new and reconstructing existing networks.

Keywords: electrical energy losses, power system, distribution network, transmission network, technical and non-technical losses