

PLANIRANJE RAZVOJA PRENOSNE MREŽE

2. Planiranje razvoja prenosnih mreža

2. Planiranje razvoja prenosnih mreža

- Sa gledišta planiranja razlikujemo nadzemne i kablovske vodove.
- Vodovi su okarakterisani sa naponskim nivoom, brojem i presekom provodnika po fazi, brojem paralelnih vodova na istim stubovima i tipom izolacije.
- Sa strane isplativosti vodovi se posmatraju kroz:
 - Investicione troškove (materijal za izgradnju, troškovi trase, projektovanje, montaža, nadzor, stavljanje u pogon, probni rad, itd.) i
 - Troškove eksploatacije (pogonski troškovi)
- Osnovni problemi koje treba rešiti pri planiranju prenosnih vodova su:
 - Izbor naponskog nivoa (standardizovane vrednosti)
 - Izbor trase (težnja da bude geografski najkraća)
 - Izbor tipa voda (nadzemni ili kablovski)
 - Izbor stubova voda (određuje konfiguracija terena i usvojeni standardi)
 - Projektna rešenja prenosnih vodova tj. da li je vod jednostruki ili dvostruki na istim ili posebnim stubovima.
 - Ekonomija koju određuju investicioni i eksploatacioni troškovi projekta.

2. Planiranje razvoja prenosnih mreža

2.1. Investicioni troškovi vazdušnih vodova

- Investicioni troškovi vazdušnih vodova (ili troškovi izgradnje) za određeni naponski nivo i prenosnu snagu, najviše zavise od prirode terena preko kojeg prolaze.
- Kako u slučaju dugih prenosnih vodova teren po pravilu nije homogen, u studijama razvoja ti troškovi se usrednjavaju svodeći ih na neku zajedničku prosečnu specifičnu cenu u [NJ] po [km] dužine voda.
- Ta prosečna cena u sebi sadrži sledeće komponente troškova:
 - Troškovi projektovanja, otkupa zemljišta, prava prolaza, montaže, nadzora itd. koji su za određeni naponski nivo približno konstantni.
 - Troškovi stubova, temelja, zatega, izolatora i uzemljenja stubova, koji zavise od maksimalnog (nominalnog) naponskog nivoa.
 - Troškovi provodnika i pribora za montažu, koji zavise od poprečnog preseka provodnika.

2. Planiranje razvoja prenosnih mreža

2.1. Investicioni troškovi vazdušnih vodova

- Primera radi u tabeli je data struktura troškova nadzemnih prenosnih vodova 400 kV, koji su građeni u bivšoj Jugoslaviji 80-ih godina.

Stubovi	≈ 24.5 %
Provodnici, zaštitna užad i uzemljenje vodova	≈ 25.3 %
Izolatori sa armaturama za vešanje provodnika	≈ 14.1 %
Temelji stubova	≈ 9.7 %
Monažni radovi	≈ 26.4 %
Zbirno	≈ 100 %

- Pretpostavka je da su navedeni relativni odnosi slični i danas.

2. Planiranje razvoja prenosnih mreža

2.1. Investicioni troškovi vazdušnih vodova

- Specifični troškovi izgradnje (investicioni troškovi) po [km] dužine vazdušnog voda mogu se izraziti preko formule:

$$C'_{IV} = A' + B'U_n + C'q_v \text{ [NJ/km]} \quad (1)$$

gde su:

A' u [NJ/km], B' u [NJ/(V·km)] i C' u [NJ/(mm²·km)] adekvatno izabrane konstante

U_n u [V] je nominalni napon koji definiše i maksimalni pogonski (linijski) napon prenosnog voda

q_v u [mm²] poprečni presek faznog provodnika prenosnog voda.

- Jasno je da je ova formula sasvim opšta i da vrednosti koeficijenata A' , B' i C' zavise od terena, naponskog nivoa, korišćenog materijala provodnika, kao i od tipa i materijala stubova.
- Ovi koeficijenti mogu od slučaja do slučaja da variraju u širokim granicama.

2. Planiranje razvoja prenosnih mreža

2.1. Investicioni troškovi vazdušnih vodova

- Investicioni troškovi su vremenski koncentrisani na sam period izgradnje, koji je mnogo kraći od životnog veka prenosnog voda (obično $n=30$ god.).
- Zbog toga se troškovi (1) ravnomerno raspoređuju na ceo životni vek, što se uvažava preko investicionog anuitetnog faktora c_{IV}^g u [r.j./god] ili [%/god], tako da su godišnji investicioni troškovi prenosnog voda:

$$C_{IV}^g = c_{IV}^g C'_{IV} \text{ [NJ/(km} \cdot \text{god)]} \quad (2a)$$

- Ovde investicioni anuitetni faktor c_{IV}^g (ili godišnja stopa troškova) obuhvata sve godišnje troškove neposredno vezane za investicije.
- Kumulativni aktualizovani troškovi prenosnog sistema za period od n godina i bez troškova neisporučene energije izračunavaju se preko formule:

$$C_{IV} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{(1+i)^k} \sum_j C_{IV}^g \text{ [NJ]} \quad (2b)$$

gde je $j=1,2,\dots,L$, indeks prenosnog elementa.

2. Planiranje razvoja prenosnih mreža

2.2. Eksploatacioni troškovi vazdušnih vodova

- Eksploatacioni (pogonski) troškovi vazdušnih vodova sadrže dve osnovne komponente:
 - Stalne troškove pogona i održavanja
 - Promenljive troškove gubitaka.
- Ovi, po prirodi različiti troškovi, obično se svode na određeni vremenski period (godina).
- Da bi bili uporedivi sa investicionim troškovima, moraju se aktualizovati za čitav životni vek voda i korišćenjem postupaka aktualizacije svesti na isti vremenski trenutak.
- Stalni godišnji troškovi pogona i održavanja voda obuhvataju
 - troškove tekućeg i investicionog održavanja i
 - druge materijalne troškove, poreze, takse, doprinose, osiguranje i lične dohotke zaposlenih.

2. Planiranje razvoja prenosnih mreža

2.2. Eksploatacioni troškovi vazdušnih vodova

- Ovi troškovi su relativno mali i ravnomerno vremenski raspoređeni.
- Obično se izračunavaju kao deo ($c_{OMV}^{og}=1-3 \text{ \%/god}$) ukupnih investicionih troškova voda (2).
- Za godišnju stopu stalnih troškova pogona i održavanja c_{OMV}^{og} u [r.j./god] i godišnju stopu aktualizacije i u [r.j./god], stalni kumulativni aktualizovani troškovi su:

$$C_{OMVa}^{og} = c_{OMV}^{og} C'_{IV} \sum_{k=1}^n \frac{1}{(1+i)^k} = c_{OMV}^{og} \cdot (PWF) \cdot C'_{IV} \quad (3)$$

- Primera radi za $c_{OMV}^{og}=3 \text{ \%/god}$, $i=7 \text{ \%/god}$ i $n=30$ god, dobija se:

$$(PWF) = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} = 12.409$$

- Stalni kumulativni aktualizovani troškovi pogona i održavanja su jednaki:

$$C_{OMVa} = 0.03 \cdot 12.409 \cdot C'_{IV} = 0.3723 \cdot C'_{IV} \text{ [NJ/km]}$$

2. Planiranje razvoja prenosnih mreža

2.2. Eksploatacioni troškovi vazdušnih vodova

- Mogu se izračunati fiksni godišnji troškovi vazdušnog voda. Oni su jednaki zbiru investicionih troškova i troškova održavanja:

$$C_{FV}^g = C_{IV}^g + C_{OMV}^g = c_{IV}^g C'_{IV} + c_{OMV}^{og} C'_{IV} = c_{FV}^g C'_{IV} \quad (4)$$

- Može se uvesti anuitetni faktor fiksnih godišnjih troškova voda:

$$c_{FV}^g = c_{IV}^g + c_{OMV}^{og} \text{ [r.j./god] } \quad (5)$$

2. Planiranje razvoja prenosnih mreža

2.2. Eksploatacioni troškovi vazdušnih vodova

- Godišnji troškovi gubitaka vazdušnog voda imaju dve komponente:
 - Džulove gubitke
 - Gubitke na koronu
- Specifični Džulovi gubici po [km] dužine trofaznog voda pri maksimalnoj struji voda I_M u [A] su:

$$\Delta P_{JM} = 3 \cdot \frac{\rho}{q_v} I_M^2 \text{ [W/km]}; I_M = \frac{P_M}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi} \text{ [A]} \quad (6)$$

gde je:

ρ - specifični otpor faznog provodnika voda u $[(\Omega \cdot \text{mm}^2)/\text{km}]$

q_v - poprečni presek faznog provodnika u $[\text{mm}^2]$

P_M - maksimalna snaga prenosa u [W]

U_n - nominalni linijski napon prenosnog voda u [V]

$\cos \varphi$ - faktor prenosne snage voda

2. Planiranje razvoja prenosnih mreža

2.2. Eksploatacioni troškovi vazdušnih vodova

- S druge strane, specifični godišnji gubici energije (ΔW_j^g) u [kWh/(km·god)] zavise od vremena trajanja gubitaka pri maksimalnom godišnjem opterećenju (τ_g^g), izraženog u [h/god] ili faktora godišnjih gubitaka (m_g^g):

$$\Delta W_j^g = \Delta P_{jM} \cdot \tau_g^g \cdot 10^{-3} \text{ [kWh/(km} \cdot \text{god)]} \quad (7)$$

- Specifični troškovi Džulovih gubitaka (c_j^g) izraženi u [NJ/(km·god)] zavise od prosečne cene godišnje izgubljene energije (c_{Wg}^g), izražene u [NJ/kWh]:

$$c_j^g = \Delta W_j^g \cdot c_{Wg}^g = 3 \cdot \frac{\rho}{q_v} \cdot I_M^2 \cdot \tau_g^g \cdot c_{Wg}^g \text{ [NJ/(km} \cdot \text{god)]} \quad (8)$$

2. Planiranje razvoja prenosnih mreža

2.2. Eksploatacioni troškovi vazdušnih vodova

- Aktualizovani kumulativni troškovi specifičnih Džulovih gubitaka, za godišnju stopu aktualizacije i i životni vek voda n su:

$$C_{Ja}^g = c_j^g \sum_{k=1}^n \frac{1}{(1+i)^k} = c_j^g \cdot (PWF) = \quad (9)$$

$$= 3 \cdot \frac{\rho}{q_v} \cdot I_M^2 \cdot \tau_g^g \cdot c_{Wg}^g \cdot 10^{-3} \cdot (PWF) = j_{\Delta} \frac{I_M^2}{q_v} [\text{NJ}/(\text{km} \cdot \text{god})]$$

gde je:

$$j_{\Delta} = 3 \cdot \rho \cdot \Gamma_a; \Gamma_a = \tau_g^g \cdot c_{Wg}^g \cdot 10^{-3} \cdot (PWF) \quad (10)$$

- Za već analizirane ulazne podatke voda ($i=7\%$ /god i $n=30$ god) dobija se:

$$(PWF) = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} = 12.409$$

- Vrednosti parametara su:

$$\Gamma_a = 12.409 \cdot 10^{-3} \cdot \tau_g^g \cdot c_{Wg}^g [\text{NJ}/\text{W}]$$

$$j_{\Delta} = 3 \cdot \rho \cdot \Gamma_a = 37.23 \cdot 10^{-3} \cdot \rho \cdot \tau_g^g \cdot c_{Wg}^g [(\text{NJ} \cdot \text{mm}^2)/(\text{A}^2 \cdot \text{km} \cdot \text{god})]$$

2. Planiranje razvoja prenosnih mreža

2.2. Eksploatacioni troškovi vazdušnih vodova

- Gubici na koronu su mali u odnosu na Džulove gubitke.
- Značajni su samo za prenosne vazdušne vodove vrlo visokog (VVN) i ultra visokog napona (UVN)
- Oni nastaju kada maksimalni pogonski napon voda (U_M) pređe kritičnu vrednost (U_{kr}), koja se izračunava preko empirijske formule:

$$U_{kr} = \frac{80}{c_v} \sqrt{n_0 q_{1v}} \cdot 10^{-9} \text{ [V]} \quad (11)$$

gde je:

c_v - podužni kapacitet voda u opsegu 8-10 nF/km

n_0 - broj provodnika u snopu po fazi

q_{1v} - poprečni presek jednog provodnika u snopu po fazi, izražen u [mm²]

2. Planiranje razvoja prenosnih mreža

2.2. Eksploatacioni troškovi vazdušnih vodova

- Aktualizovani godišnji troškovi gubitaka na koronu računaju se preko formule:

$$C_{cora}^g = k \cdot U_M \cdot (U_M - U_{kr}) \text{ [NJ/(km} \cdot \text{god)]} \quad (12)$$

gde je:

k - faktor aktualizacije u [NJ/(V²·km·god)]

U_M - najviši pogonski napon u [V]

U_{kr} - kritični napon (11)

- Ukupni aktualizovani godišnji troškovi eksploatacije po [km] dužine vazdušnog voda dobijaju se kao zbir troškova pogona, Džulovih gubitaka i gubitaka na koronu:

$$C_{EXVa}^g = C_{OMVa}^{og} + C_{Ja}^g + C_{cora}^g \text{ [NJ/(km} \cdot \text{god)]} \quad (13)$$

2. Planiranje razvoja prenosnih mreža

2.2. Eksploatacioni troškovi vazdušnih vodova

- Ukupni aktualizovani godišnji troškovi po jedinici dužine voda se računaju kao zbir godišnjih investicionih troškova i troškova eksploatacije.
- U slučaju zanemarenih troškova gubitaka na koronu, za ukupne troškove se po jedinici dužini dobija:

$$C_{Va}^g = C_{IV}^g + C_{EXVa}^g = C_{IV}^g + C_{OMVa}^{og} + C_{Ja}^g = A + BU_n + Cq_v + j_{\Delta} \frac{I_M^2}{q_v} [\text{NJ}/(\text{km} \cdot \text{god})] \quad (14)$$

- Vrednosti koeficijenata A, B i C se dobijaju korekcijom koeficijenata A', B' i C' iz izraza (1) pomoću anuitetnog godišnjeg faktora fiksnih troškova (c_{FV}^g) iz izraza (5)

2. Planiranje razvoja prenosnih mreža

2.3. Troškovi kablovskih vodova

- Troškovi izgradnje i eksploatacije kablovskih vodova mogu se proračunati preko sličnog izraza datog jednačinom (14).
- Razlika je da se umesto troškova gubitaka na koronu pojavljuju troškovi dielektričnih gubitaka, koji su takođe zanemarjivi u odnosu na Džulove gubitke.
- Drugim rečima, formula (14) primenljiva je i za kablovske vodove ali sa različitim (znatno višim) vrednostima koeficijenata A, B i C.
- Naročito je visoka vrednost konstantnog člana A koji se zavisno od karakteristika terena može menjati u širokim granicama.
- Primer eksplicitnih izraza za investicione troškove vodova (Francuska, 1970):

$$C'_{IV(v)} = 6000 + 0.16 \cdot U_n + 60 \cdot q_v \text{ [FF/km]}$$

$$C'_{IV(k)} = 60000 + 2.5 \cdot U_n + 200 \cdot q_v \text{ [FF/km]}$$

2. Planiranje razvoja prenosnih mreža

2.3. Troškovi kablovskih vodova

- Slično, za ukupne aktualizovane godišnje troškove vodova date izrazom (14) u Francuskoj su važile formule:

$$C_{Va(v)}^g = 7000 + 0.20 \cdot U_n + 75 \cdot q_v + 200 \frac{I_M^2}{q_v} \text{ [FF/(km} \cdot \text{god)]}$$

$$C_{Va(k)}^g = 70000 + 3.0 \cdot U_n + 250 \cdot q_v + 250 \frac{I_M^2}{q_v} \text{ [FF/(km} \cdot \text{god)]}$$

- Navedeni numerički podaci su za sadašnje vreme verovatno prilično zastareli pa ih treba prihvatiti sa određenom rezervom.