

*Fakultet elektrotehnike i računarstva*  
*Zavod za visoki napon i energetiku*

Prijenos i razdjela električne energije

***Rješenja 2. domaće zadaće***

Student: SlavoniaBand

JMBAG: XXXXXXXXXXXX

Rok predaje: 14.06.2012.

Lipanj, 2012.

---

**Sadržaj:**

1. Zadani podaci .....	3.
2. Zadatak .....	3.
3. Popis oznaka i kratica.....	4.
4. Prijenosne jednadžbe.....	5.
5. Pogonsko stanje.....	6.
6. Prazni hod.....	9.
7. Vod zaključen karakterističnom impedancijom .....	11.
8. Duljina voda za 5% veći napon na kraju voda u odnosu na poč. voda u P.H. ....	14.

**1.) Zadani podaci:**

Pogonsko stanje zadano na:	Početak voda
Pogonski napon	415 [kV]
Pogonska snaga	2031.3 [MVA]
Faktor opterećenja	0.997
Vrsta opterećenja	induktivno
Uzdužni jedinični radni otpor	0.021 [ $\Omega/km$ ]
Uzdužna jedinična reaktancija	0.277 [ $\Omega/km$ ]
Poprečna jedinična susceptancija	4.188 [ $\mu\Omega/km$ ]
Dužina	276 [km]

*Tablica 1. Zadani podaci*

**Zadatak:**

Za slijedeća pogonska stanja odredite prilike na vodu (napon i struja na oba kraja voda) i gubitke snage na vodu:

- Zadano pogonsko stanje
  - Prazni hod (pogonski napon je na početku voda)
  - Vod zaključen karakterističnom impedancijom (pogonski napon je na početku voda)
- Grafički prikažite raspodjelu napona i struja duž voda za sva pogonska stanja
- Odredite duljinu voda pri kojoj iznos napona na kraju voda u praznom hodu dostiže vrijednost za 5% veću od nazivne

**Popis oznaka i kratica:**

$\gamma$  konstanta prodiranja [1/m]

$$Z_1 = R_1 + j \cdot X_1 \left[ \frac{\Omega}{\text{km}} \right] \rightarrow \text{jedinična impedancija}$$

$R_1 \rightarrow \text{jedinični radni otpor}$

$X_1 \rightarrow \text{jedinična reaktancija}$

$$Y_1 = G_1 + j \cdot B_1 \left[ \frac{S}{\text{km}} \right] \rightarrow \text{jedinična admintancija}$$

$G_1 \rightarrow \text{jedinični odvod}$

$B_1 \rightarrow \text{jedinična susceptancija}$

$$\gamma = \sqrt{Z_1 \cdot Y_1}$$

$$Z = Z_1 \cdot l \text{ } [\Omega] \rightarrow \text{impedancija}$$

$$Y = Y_1 \cdot l \text{ } [S] \rightarrow \text{admintancija}$$

$$\theta = \sqrt{Z \cdot Y} = \gamma \cdot l \rightarrow \text{valna konstanta voda}$$

$l \text{ } [m] \rightarrow \text{duljina vodiča}$

$$Z_c = \sqrt{\frac{Z_1}{Y_1}} = \sqrt{\frac{Z}{Y}} \text{ } [\Omega] \rightarrow \text{karakteristična impedancija}$$

$$I = \left( \frac{S}{3 \cdot V} \right)^* \text{ } [A] \rightarrow I \rightarrow \text{konjugirano kompleksan broj}$$

$U_1, V_1, I_1 \rightarrow \text{linijski napon, fazni napon i struja na početku voda}$

$U_2, V_2, I_2 \rightarrow \text{linijski napon, fazni napon i struja na kraju voda}$

$$P = S \cdot \cos \varphi \text{ } [W] \rightarrow \text{radna snaga}$$

$$Q = S \cdot \sin \varphi \text{ } [MVA_r] \rightarrow \text{jalova snaga}$$

$$S \text{ } [MVA] \rightarrow \text{privedna snaga}$$

$\cos \varphi \rightarrow \text{faktor opterećenja}$

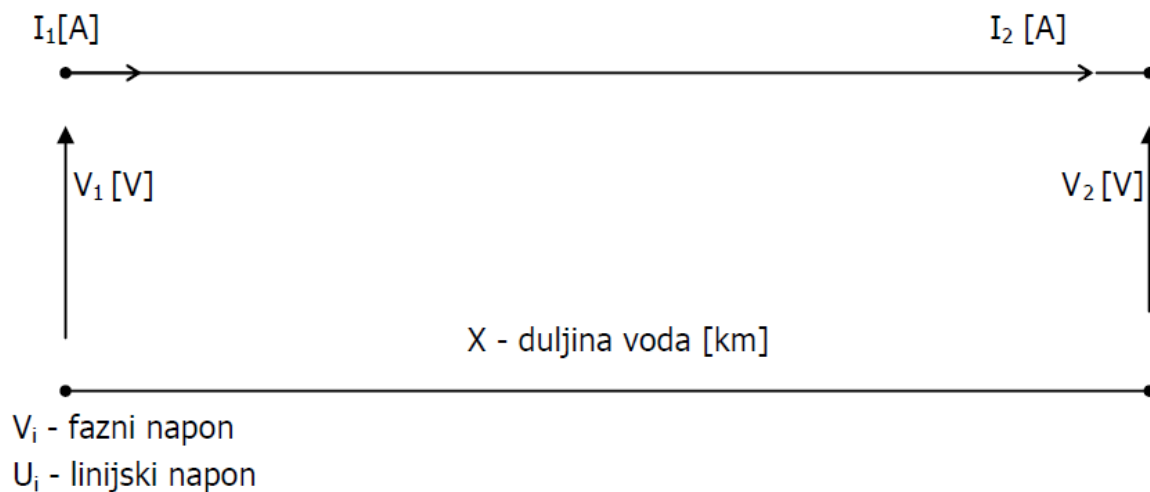
**Prijenosne jednačbe:**

$$V_2 = V_1 \cdot ch(\theta) - I_1 \cdot Z \cdot \frac{sh(\theta)}{\theta}$$

$$I_2 = I_1 \cdot ch(\theta) - V_1 \cdot Y \cdot \frac{sh(\theta)}{\theta}$$

$$V_1 = V_2 \cdot ch(\theta) + I_2 \cdot Z \cdot \frac{sh(\theta)}{\theta}$$

$$I_1 = I_2 \cdot ch(\theta) - V_2 \cdot Y \cdot \frac{sh(\theta)}{\theta}$$



Iz zadanih podataka mogu se odrediti slijedeće vrijednosti koji su potrebni za daljne proračune:

$$Z_1 = R_1 + j \cdot X_1 = 0.021 + j \cdot 0.277 \left[ \frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

$$Z = Z_1 \cdot l = 5.796 + j \cdot 76.452 [\Omega]$$

$$Y_1 = G_1 + j \cdot B_1 = 0 + j \cdot 4.188 \left[ \frac{\mu S}{\text{km}} \right]$$

$$Y = Y_1 \cdot l = 1.15588 \cdot 10^{-3} [S] = 1155.88 [\mu S]$$

$$\theta = \sqrt{Z \cdot Y} = \gamma \cdot l = 0.0113 j \cdot 0.29715$$

$$ch(\theta) = 0.9561 + j \cdot 0.0033$$

$$sh(\theta) = 0.0108 + j \cdot 0.2933$$

$$\varphi = \arccos(0.997) = 4.439222275^\circ$$

$$\sin \varphi = 0.07740155037$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{Z_1}{Y_1}} = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = 257.364946 - j \cdot 9.741733358 [\Omega]$$

Linijski i fazni napon na početku voda za sve slučajeve iznose:

$$U_1 = 415 [kV]$$

$$V_1 = \frac{415}{\sqrt{3}} = 239.6003617 [kV]$$

**a) Pogonsko stanje:**

Najprije možemo pronaći prividnu snagu na početku voda:

$$S_1 = |S_1| \cdot \cos\varphi + j \cdot |S_1| \cdot \sin\varphi = 2031.3 \cdot 0.997 + j \cdot 2031.3 \cdot 0.07740155037 =$$

$$S_1 = 2025.2061 + j \cdot 157.2257693 \text{ [MVA]}$$

Nakon toga računamo struju na početku voda:

$$I_1 = \left( \frac{S}{3 \cdot V_1} \right)^* \text{ [A]}$$

$$I_1 = 2817.4778 - j \cdot 218.73335 \text{ [A]}$$

$$|I_1| = 2825.955767 \text{ [A]}$$

Sada možemo pomoću prijenosnih jednadžbi odrediti prilike na kraju voda te iz toga gubitke snage za pogonsko stanje voda:

Fazni napon na kraju voda:

$$V_2 = V_1 \cdot \cosh(\theta) - I_1 \cdot Z \cdot \frac{\sinh(\theta)}{\theta} = 196.76 - j \cdot 210.24 \text{ [kV]}$$

Linijski napon na kraju voda:

$$U_2 = V_2 \cdot \sqrt{3} = 340.79832 - j \cdot 364.14636 \text{ [kV]}$$

$$|U_2| = 498.74449 \text{ [kV]}$$

Struja na kraju voda:

$$I_2 = I_1 \cdot \cosh(\theta) - V_1 \cdot Y \cdot \frac{\sinh(\theta)}{\theta} = 2694.92 - j \cdot 472.73 \text{ [A]}$$

$$|I_2| = 2736.067883 \text{ [A]}$$

Prividna snaga na kraju voda:

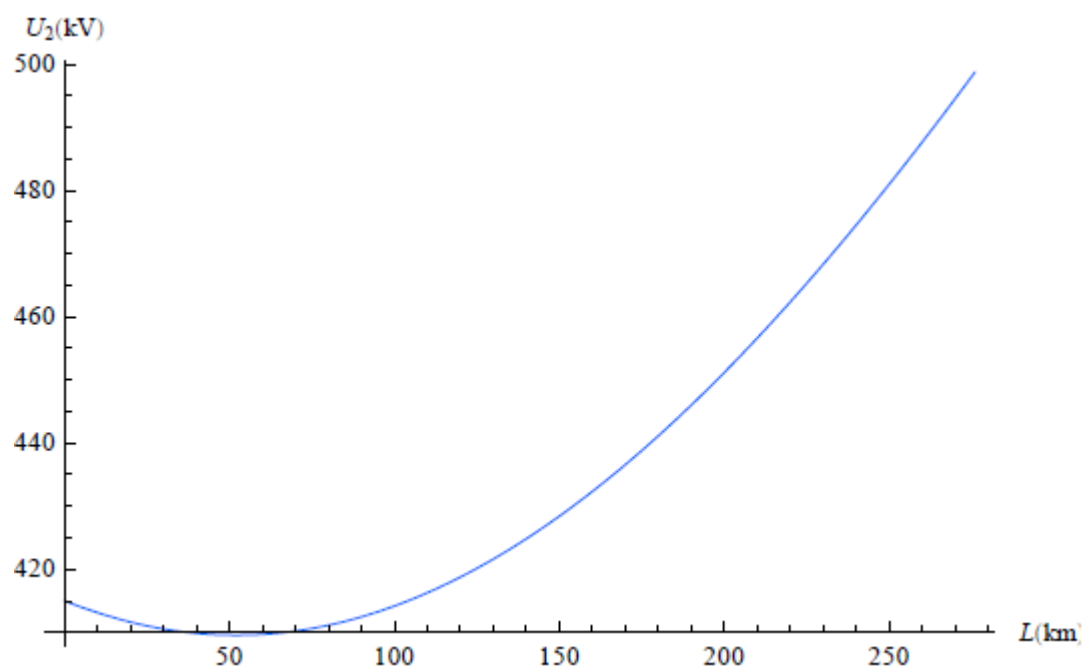
$$S_2 = 3 \cdot V_2 \cdot I_2^* = 1888.92 - j \cdot 1420.7 \text{ [MVA]}$$

Gubici snage na vodu u pogonskom stanju:

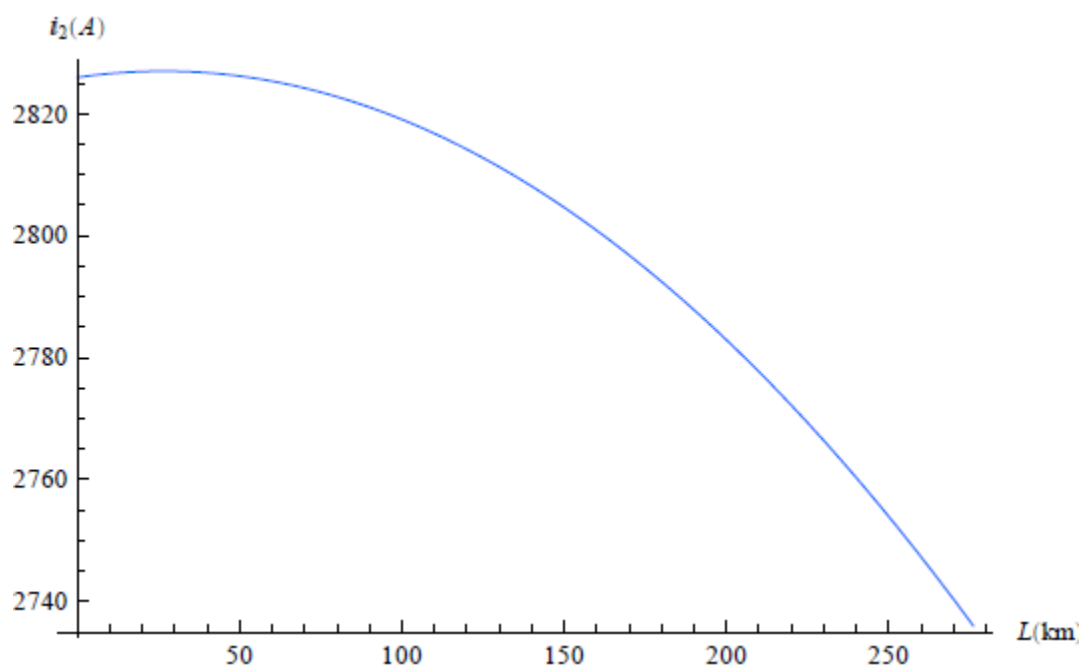
$$\Delta S = S_1 - S_2 = 136.287 + j \cdot 1577.92 \text{ [MVA]}$$

$$|\Delta S| = 1583.8 \text{ [MVA]}$$

Na slikama 1. i 2. su prikazane raspodjele linijskog napona (1.) odnosno struje (2.) duž voda za pogonsko stanje:



Slika 1. Raspodjela linijskog napona duž voda uz zadano pogonsko stanje



Slika 2. Raspodjela struje duž voda uz zadano pogonsko stanje



**b) Prazni hod:**

Kod praznog hoda otvorene su stezaljke na kraju voda pri čemu je  $I_{1PH} = 0 [A]$ . Iz toga slijede da je prividna snaga  $S_{2PH} = 0 [MVA]$ . Iz prijenosnih jednadžbi lako se nađemo struju praznog hoda:

$$I_{2PH} = I_{1PH} \cdot ch(\theta) - V_{1PH} \cdot Y \cdot \frac{sh(\theta)}{\theta} \rightarrow I_{1PH} = \frac{V_{1PH} \cdot Y \cdot \frac{sh(\theta)}{\theta}}{ch(\theta)}$$

S obzirom da je  $V_{1PH} = V_1 = 239.6003617 [kV]$ , slijedi:

$$I_{1PH} = \frac{V_{1PH} \cdot Y \cdot \frac{sh(\theta)}{\theta}}{ch(\theta)} = 0.67148 - j \cdot 285.08 [A]$$

$$|I_{1PH}| = 285.079 [A]$$

Nakon toga, računa se prividna snaga na početku voda:

$$S_{1PH} = 3 \cdot V_{1PH} \cdot I_{1PH}^* = 0.48266 - j \cdot 204.92 [MVA]$$

Konačno se pomoći prijenosnih jednadžbi odrede fazni i linijski napon na kraju voda te gubici snage na vodu za slučaj praznog hoda:

$$V_{2PH} = V_{1PH} \cdot ch(\theta) - I_{1PH} \cdot Z \cdot \frac{sh(\theta)}{\theta} = 250.55 - j \cdot 0.86253 [kV]$$

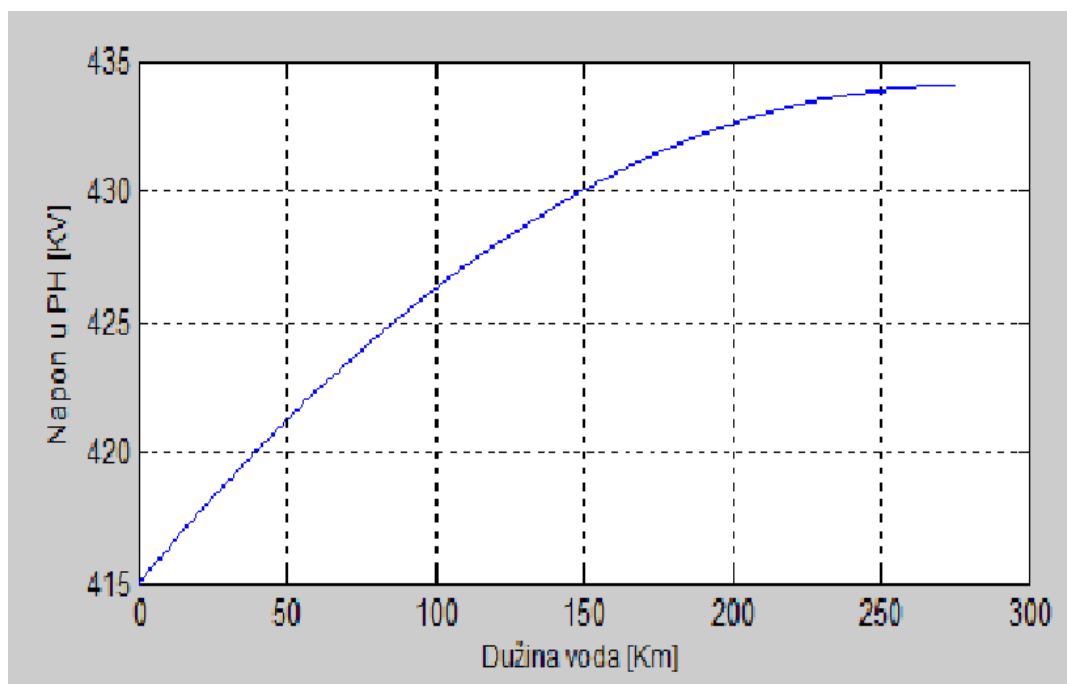
$$U_{2PH} = V_{2PH} \cdot \sqrt{3} = 433.46 - j \cdot 1.4922 [kV]$$

$$|U_{2PH}| = 433.46 [kV]$$

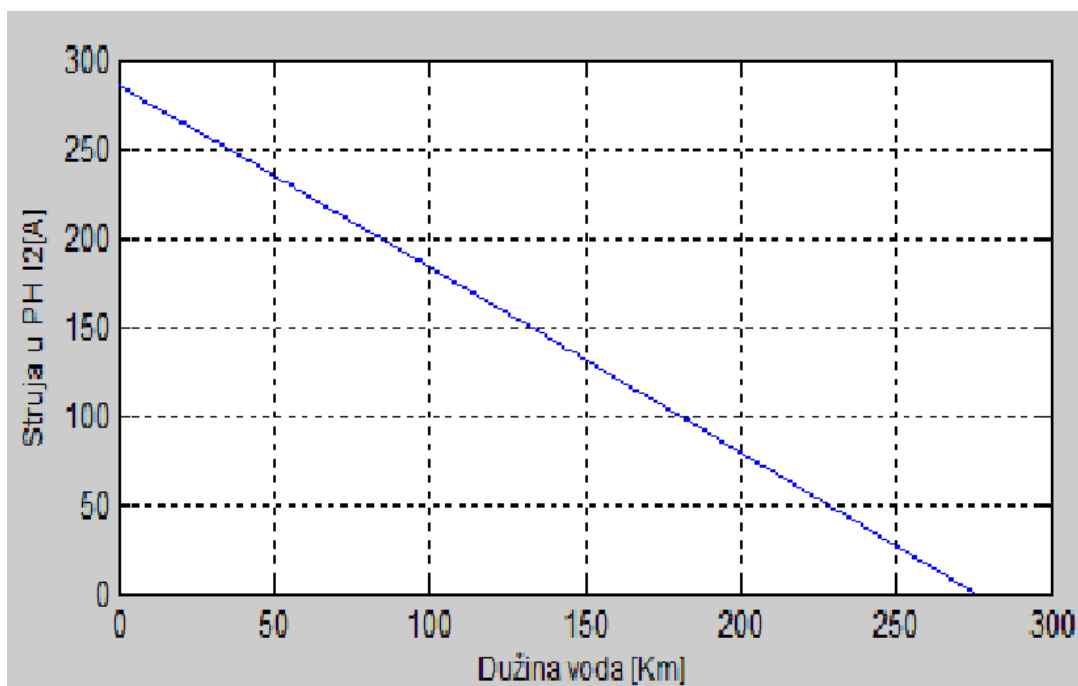
$$\Delta S_{PH} = S_{1PH} - S_{2PH} = 0.48266 - j \cdot 204.92 [MVA]$$

$$\Delta S_{PH} = 204.92 [MVA]$$

Na slikama 3. i 4. su prikazane raspodjele linijskog napona (3.) odnosno struje (4.) duž voda za prazni hod:



Slika 3. Raspodjela linijskog napona duž voda za prazni hod



Slika 4. Raspodjela struje duž voda za prazni hod

**c) Vod zaključen karakterističnom impedancijom:**

Karakteristična impedancija:

$$Z_c = \sqrt{\frac{Z_1}{Y_1}} = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = 257.364946 - j \cdot 9.741733358 [\Omega]$$

Za prilike na kraju voda vrijedi:

$$V_{2Z_c} = I_{2Z_c} \cdot Z_c$$

Uvrštavanjem u prijenosne jednadžbe:

$$V_{2Z_c} = I_{2Z_c} \cdot Z_c = V_{1Z_c} \cdot ch(\theta) - I_{1Z_c} \cdot Z \cdot \frac{sh(\theta)}{\theta}$$

$$I_{2Z_c} = \frac{V_{1Z_c}}{Z_c} \cdot ch(\theta) - I_{1Z_c} \cdot \frac{Z \cdot sh(\theta)}{Z_c \cdot \theta}$$

$$I_{2Z_c} = I_{1Z_c} \cdot ch(\theta) - V_{1Z_c} \cdot Y \cdot \frac{sh(\theta)}{\theta}$$

Zatim dobivamo:

$$I_{1Z_c} = V_{1Z_c} \cdot \frac{\frac{ch(\theta)}{Z_c} + Y \cdot \frac{sh(\theta)}{\theta}}{ch(\theta) - \frac{Z \cdot sh(\theta)}{Z_c \cdot \theta}}$$

S obzirom da je  $V_{1Z_c} = V_1 = 239.6003617 [kV]$ , slijedi:

$$I_{1Z_c} = 929,64 + j \cdot 35.189 [A]$$

$$|I_{1Z_c}| = 930.3089 [A]$$

Nakon toga se prividna snaga na početku voda računa prema slijedećem izrazu:

$$S_{1Z_c} = 3 \cdot V_{1Z_c} \cdot I_{1Z_c}^* = 668.23 - j \cdot 25.249 [MVA]$$

$$I_{2Z_c} = I_{1Z_c} \cdot ch(\theta) - V_{1Z_c} \cdot Y \cdot \frac{sh(\theta)}{\theta} = 888.97 - j \cdot 236.36 [A]$$

$$|I_{2Z_c}| = 919.8556 [A]$$

$$V_{2Z_c} = I_{2Z_c} \cdot Z_c = 226.49 - j \cdot 69.490 [kV]$$

$$U_{2Z_c} = V_{2Z_c} \cdot \sqrt{3} = 392.29 - j \cdot 120.36 [kV]$$

$$|U_{2Z_c}| = 410.34 [kV]$$

Prividna snaga na kraju voda glasi:

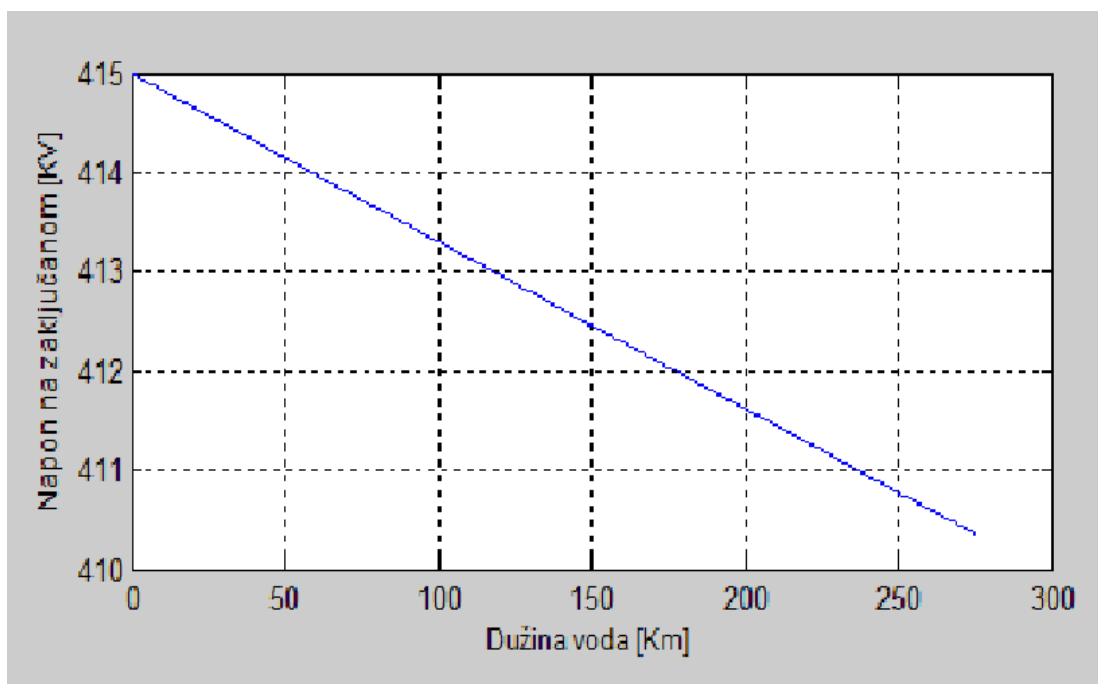
$$S_{2Z_c} = 3 \cdot V_{2Z_c} \cdot I_{2Z_c}^* = 653.30 - j \cdot 24.727 [MVA]$$

I konačno, gubici snage na vodu:

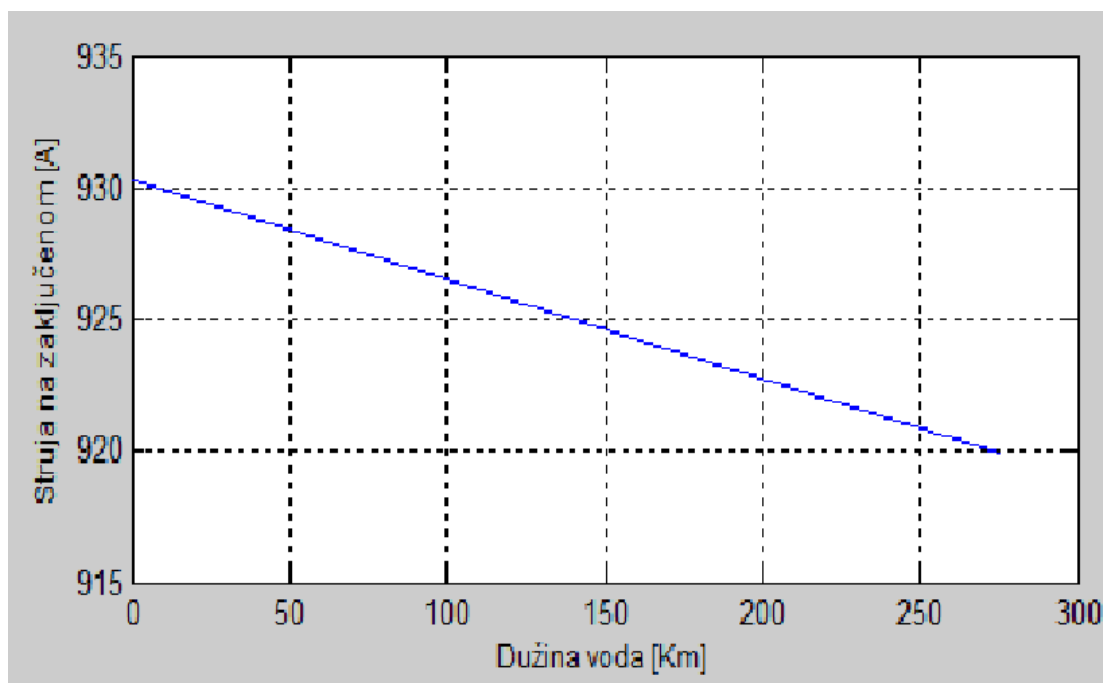
$$\Delta S_{Z_c} = S_{1Z_c} - S_{2Z_c} = 14.93 - j \cdot 0.56693 [MVA]$$

$$\Delta S_{Z_c} = 14.941 [MVA]$$

Na slikama 5. i 6. su prikazane raspodjele linijskog napona (5.) odnosno struje (6.) duž voda za slučaj kada je vod zaključen karakterističnom impedancijom:



Slika 5. Raspodjela linijskog napona duž voda za slučaj voda zaključenog karakterističnom impedancijom



Slika 6. Raspodjela struje duž voda za slučaj voda zaključenog karakterističnom impedancijom

**d) Duljina voda za 5% veći napon na kraju voda u odnosu na početak voda u praznom hodu:**

Na početku voda narinuti je napon od 415 [kV] te se na kraju voda želi postići 5% veći napon u odnosu na nazivni napon 435.75 [kV]. Struja na kraju voda je 0 [A]. Potrebno je naći duljinu voda:

Za slijedeće izraze vrijedi:

$$U_2 = U_1 \cdot 1.05 \rightarrow V_2 \cdot \sqrt{3} = 1.05 \cdot V_1 \cdot \sqrt{3} \rightarrow V_2 = V_1 \cdot 1.05$$

$$V_1 = V_2 \cdot ch(\theta) + I_2 \cdot Z \cdot \frac{sh(\theta)}{\theta} = V_2 \cdot ch(\theta)$$

$$V_1 = 1.05 \cdot V_1 \cdot ch(\theta) \rightarrow ch(\theta) = \frac{1}{1.05}$$

$$(\theta) = arch\left(\frac{1}{1.05}\right)$$

$$\gamma \cdot x = arch\left(\frac{1}{1.05}\right)$$

$$x = \frac{arch\left(\frac{1}{1.05}\right)}{\gamma}$$

Kasnije se konačno dobije:

$$l = |x| = 287.185524[km]$$