

## VJEŽBE 11

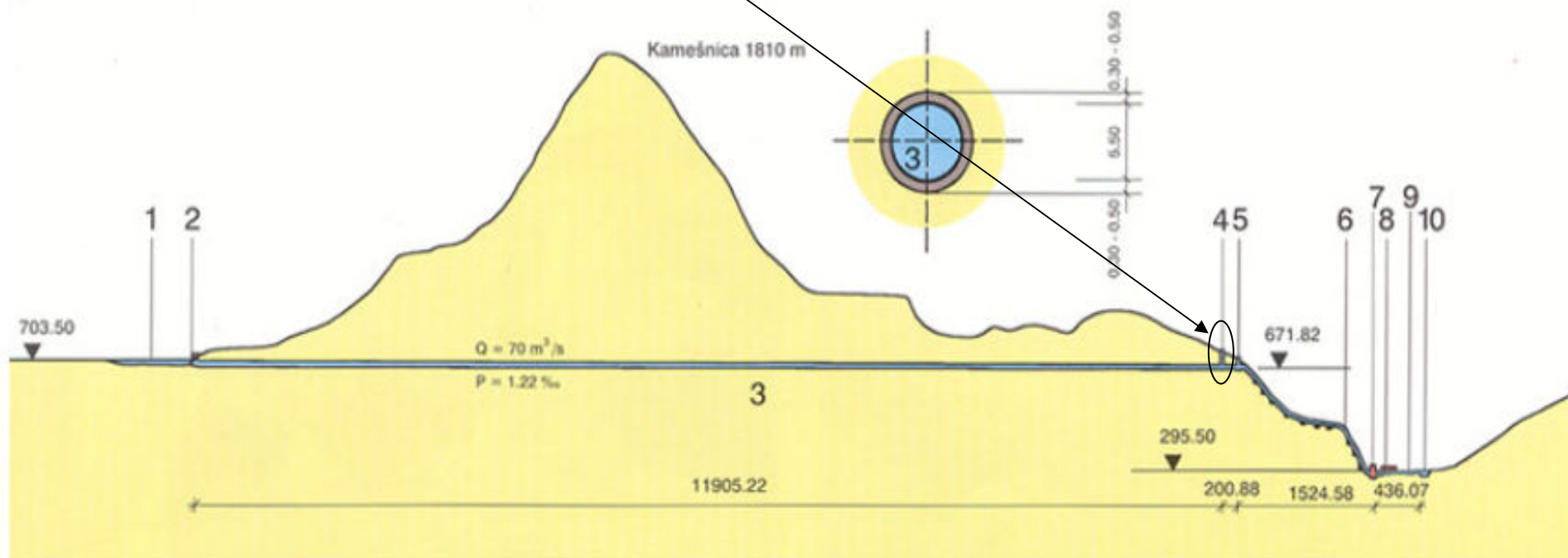
### Procesi u sustavi dovodni tunel – vodna komora – tlačni cjevovod

Split, 23. svibnja 2012.



- 1 KOMPENZACIJSKI BAZEN LIPA
- 2 ULAZNA GRAĐEVINA DOVODNOG TUNELA
- 3 DOVODNI TUNEL
- 4 VODNA KOMORA
- 5 ZASUNSKA KOMORA

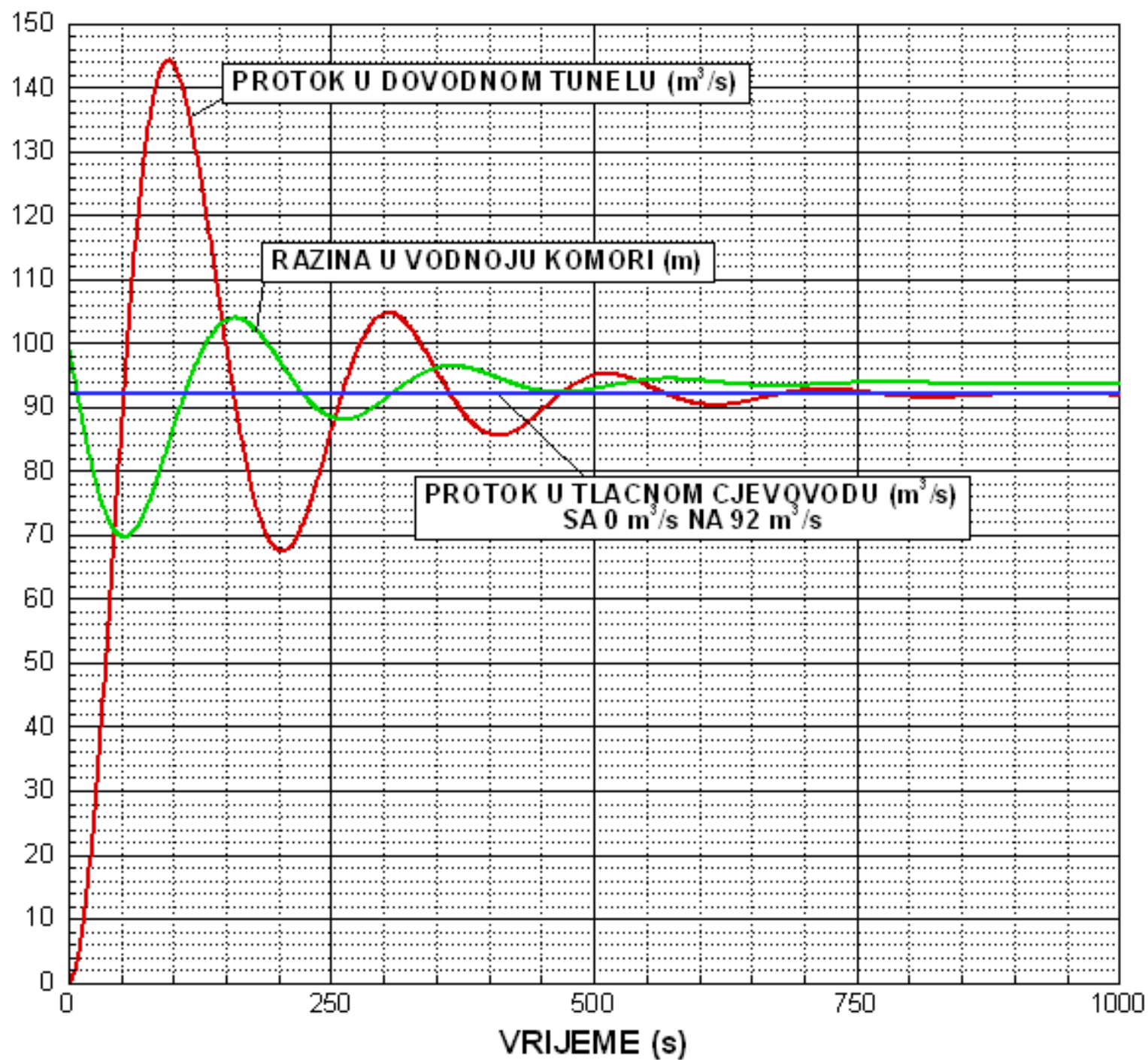
- 6 ČELIČNI TLAČNI CJEVOVOD
- 7 STROJARNICA
- 8 RASKLOPNO POSTROJENJE
- 9 ODVODNI KANAL
- 10 RIJEKA RUDA



- o u ovom dijelu promatrat će se hidraulički problemi na derivacijskom sustavu HE postrojenja**
- o tipičan uzdužni presjek derivacijskog HE postrojenja prikazan je na prethodnoj slici**
- o dovodni tunel projektira se na manja tlačna opterećenja jer vodna komora ublažava djelovanje svih promjena u tlaku u tlačnom dijelu sustava i time sprječava propagaciju fronta poremećaja uzvodno - kroz dovodni tunel do akumulacije**
- o derivacijski tip HE postrojenja ne radi cijelu godinu, već se uključuje samo u razdobljima vršne potrošnje**
- o iz toga se zaključuje da se postrojenje uključuje u pogon i ispada iz pogona**
- o upravo uključivanje i ispadanje iz pogona uzrokuju promjene u potoku, a samim time i u brzini i u tlaku u navedenim dijelovima sustava**

## UKLJUČIVANJE U POGON

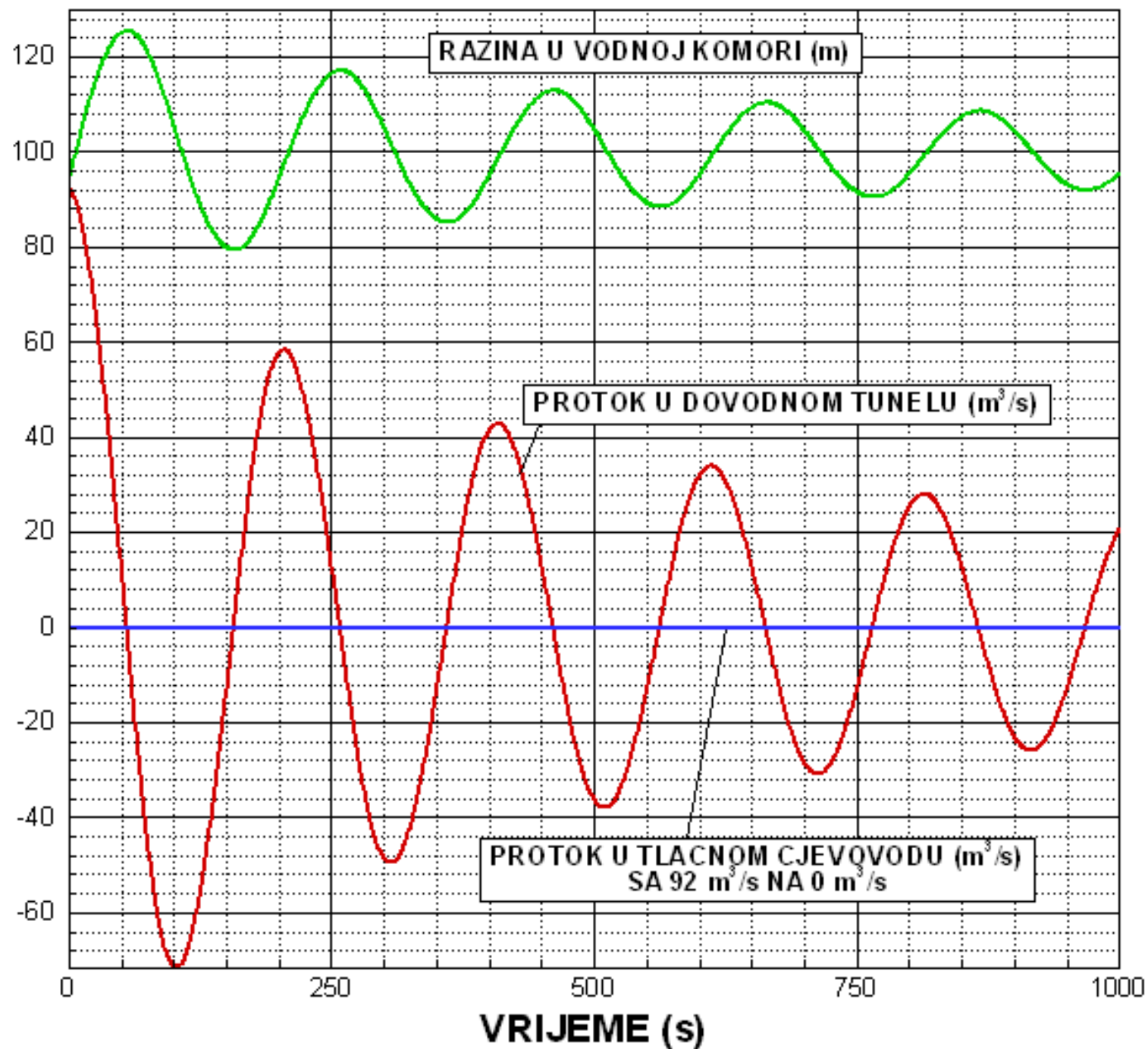
- u početnom trenutku brzina u dovodnom tunelu jednaka je brzini u tlačnom dijelu sustava ( $0 \text{ m}^3/\text{s}$ ).
- kako je brzina nula → nema gubitaka → razina vode u komori jednaka je razini vode u akumulaciji
- u prvoj sekundi se protok u tlačnom cjevovodu povećava sa  $0 \rightarrow 92 \text{ m}^3/\text{s}$
- zbog nastalih promjena u tlačnom cjevovodu u početnim trenucima, vodna komora se prazni, a zbog nastale razlike potencijala između akumulacije i vodne komore dolazi do povećanja protoka u dovodnom tunelu
- pojave su periodične što se može vidjeti na idućoj slici



## ISPADANJE IZ POGONA

- u početnom trenutku brzina u dovodnom tunelu jednaka je brzini u tlačnom dijelu sustava ( $92\text{m}^3/\text{s}$ ).
- kako je brzina različita od nule → postoje gubici → razina vode u komori jednaka je razini vode u akumulaciji umanjenoj za iznos gubitaka na potezu od akumulacije do vodne komore
- u prvoj sekundi se protok u tlačnom cjevovodu smanjuje sa 92 →  $0\text{ m}^3/\text{s}$
- zbog nastalih promjena u tlačnom cjevovodu, vodna komora se puni jer voda u dovodnom cjevovodu po inerciji nastavlja s gibanjem
- tečenja u tlačnom cjevovodu nema, svi procesi se događaju na potezu akumulacija, dovodni tunel, vodna komora
- pojave su periodične što se može vidjeti na idućoj slici





# PRORAČUN OSCILACIJA PROTOKA I RAZINE VODNOG LICA

Problem proračuna oscilacija vodnog lica opisan je:

JEDNADŽBOM KONTINUITETA :

$$Q_D - Q_T = A_K \frac{dh}{dt}$$

Protok u dovodnom tunelu

Protok u tlačnom cjevovodu

Površina poprečnog presjeka vodne komore

Promjena razine vodnog lica u vremenu

DINAMIČKOM JEDNADŽBOM :

$$h_{AKUMULACIJA} = h_{KOMORA} \pm \beta \cdot V^2 + \frac{L}{g} \frac{dV}{dt}$$

Razina vode u akumulaciji

Razina vode u komori

Član promjene brzine u vremenu

+ ako je tečenje u smjeru komore  
- Ako je tečenje u smjeru akumulacije



$$\int_{t_K}^{t_{K+1}} dh = \int_{t_K}^{t_{K+1}} \frac{Q_D - Q_T}{A_K} dt$$

$$\int_{t_K}^{t_{K+1}} dQ = \int_{t_K}^{t_{K+1}} \frac{(h_A - h) - \frac{\beta}{A_D^2} |Q_D| Q_D}{\frac{L}{g \cdot A_D}} dt$$

Integriranjem gornjih jednažbi dobije se sustav dvije jednažbe sa dvije nepoznanice koji se jednostavno rješava za odabrani vremenski korak integracije:

$$h^{K+1} = h^K + \frac{Q_D^K - Q_T^{K+1}}{A_K^K} \cdot \Delta t$$

$$Q_D^{K+1} = Q_D^K + \frac{g \cdot A_D}{L} \left( h_A^{K+1} - h^{K+1} - \frac{\beta}{A_D^2} \cdot |Q_D^K| \cdot Q_D^K \right) \cdot \Delta t$$

## 1. ZADATAK

Potrebno je odrediti maksimalnu razinu izdizanja vodnog lica u cilindričnoj vodnoj komori površine  $A_K = 100 \text{ m}^2$  za slučaj naglog ispadanja iz pogona.  $Q_T = 92 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow 0 \text{ m}^3/\text{s}$ . Promjer dovodnog tunela je 5 m, a dužina  $L = 2000 \text{ m}$ . Razina vode u akumulaciji je 100 m n.m.. Apsolutna hrapacost betonskog dovodnog tunela je  $\varepsilon = 0.4 \text{ mm}$ . Koef. kinematičke viskoznosti je  $1.14 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

$$V_D = \frac{Q_D}{A_D} = \frac{92 \text{ m}^3 / \text{s}}{\frac{5^2 \cdot \pi}{4}} = 4.687 \text{ m/s}$$

$$\text{Re} = \frac{V_D \cdot D}{\nu} = 2 \cdot 10^7$$

$$T.P.R.S \Rightarrow \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1,14 - 2 \log \left( \frac{\varepsilon}{D} + \frac{9,35}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} \right) \Rightarrow \lambda = 0.0115$$

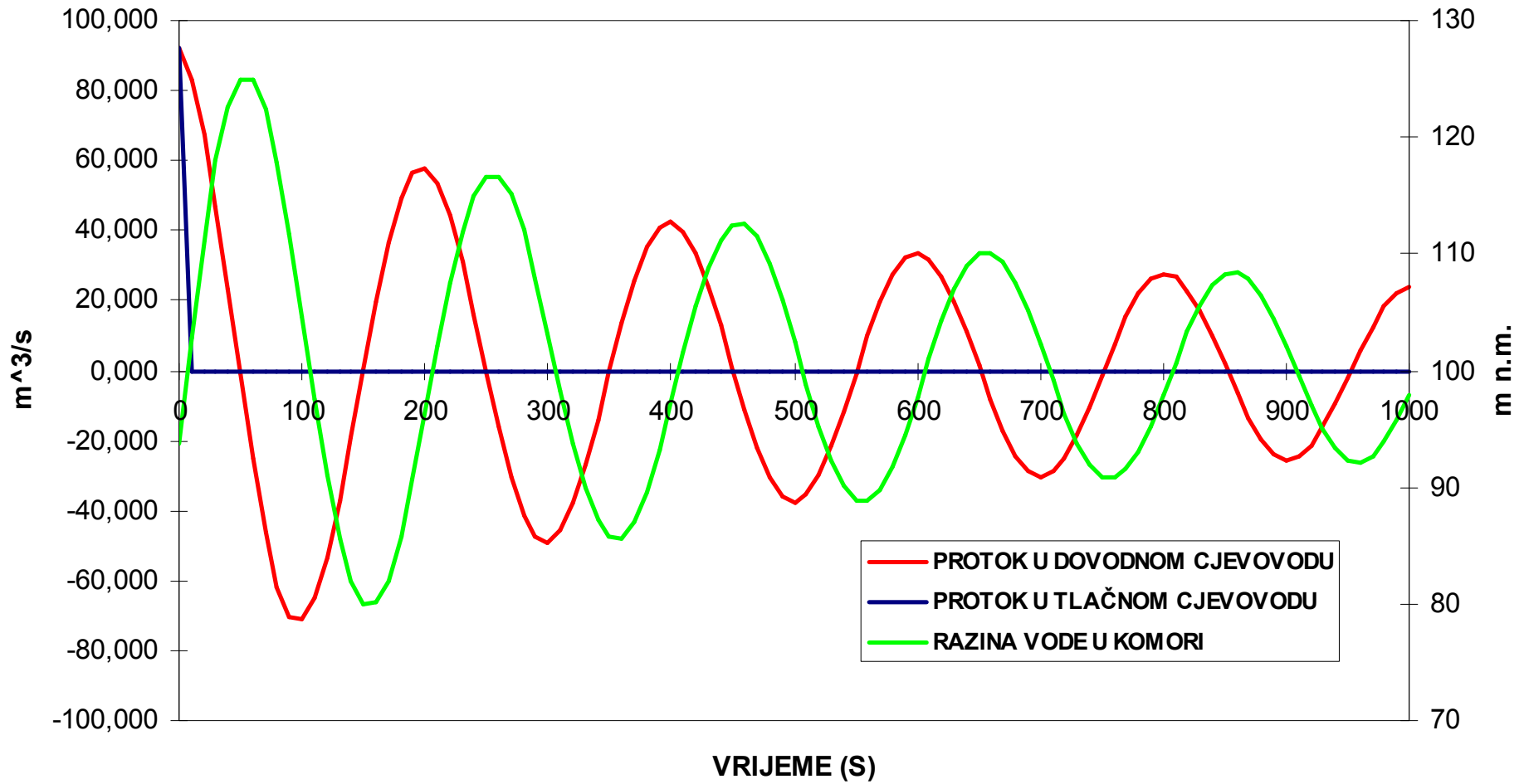
$$\beta = \frac{1}{2 \cdot g} \left( 1 + \lambda \frac{L}{D} \right) = 0.2872$$

$$h = h_A - \beta \frac{Q_D^2}{A_D^2} = 100 \text{ m} - 6.27 \text{ m} = 93.694 \text{ mn.m.}$$

Početni uvjeti su definirani  $\rightarrow$  kreni sa izračunom traženih veličina!!!

KORAK INT.	$\Delta t$ (s)	VREMENSKI KORAK	hA	AK	$Q^T$	h <sup>KOMORA</sup>	$Q^D$
0	10	0	100	100	92	93,694	92,000
1	10	10	100	100	0	102,894	83,139
2	10	20	100	100	0	111,208	67,385
3	10	30	100	100	0	117,947	46,842
4	10	40	100	100	0	122,631	23,472
5	10	50	100	100	0	124,978	-0,980
6	10	60	100	100	0	124,880	-24,941
7	10	70	100	100	0	122,386	-46,054
8	10	80	100	100	0	117,781	-61,657
9	10	90	100	100	0	111,615	-70,115
10	10	100	100	100	0	104,604	-71,022
11	10	110	100	100	0	97,502	-64,997
12	10	120	100	100	0	91,002	-53,300
13	10	130	100	100	0	85,672	-37,462
14	10	140	100	100	0	81,926	-19,048
15	10	150	100	100	0	80,021	0,454
16	10	160	100	100	0	80,066	19,652
17	10	170	100	100	0	82,031	36,681
18	10	180	100	100	0	85,699	49,489
19	10	190	100	100	0	90,648	56,738
20	10	200	100	100	0	96,322	57,970
21	10	210	100	100	0	102,119	53,518
22	10	220	100	100	0	107,471	44,268
23	10	230	100	100	0	111,898	31,403
24	10	240	100	100	0	115,038	16,212
25	10	250	100	100	0	116,659	-0,021
26	10	260	100	100	0	116,657	-16,063
27	10	270	100	100	0	115,051	-30,373
28	10	280	100	100	0	112,014	-41,282
29	10	290	100	100	0	107,886	-47,654
30	10	300	100	100	0	103,121	-49,030

# ISPADANJE IZ POGONA



## 2. ZADATAK

Potrebno je odrediti minimalnu razinu vodnog lica u cilindričnoj vodnoj komori površine  $A_K = 100 \text{ m}^2$  za slučaj naglog ulaska u pogon.  $Q_T = 0 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow 92 \text{ m}^3/\text{s}$ . Promjer dovodnog tunela je 5 m, a dužina  $L = 2000 \text{ m}$ . Razina vode u akumulaciji je 100 m n.m.. Apsolutna hrapacost betonskog dovodnog tunela je  $\varepsilon = 0.4 \text{ mm}$ . Kof. kinematičke viskoznosti je  $1.14 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ .

$$V_D = \frac{Q_D}{A_D} = \frac{92 \text{ m}^3 / \text{s}}{\frac{5^2 \cdot \pi}{4}} = 4.687 \text{ m} / \text{s}$$

Za krajnje  $\rightarrow$   
stacionarno stanje!!

$$\text{Re} = \frac{V_D \cdot D}{\nu} = 2 \cdot 10^7$$

$$T.P.R.S \Rightarrow \frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1,14 - 2 \log \left( \frac{\varepsilon}{D} + \frac{9,35}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} \right) \Rightarrow \lambda = 0.0115$$

$$\beta = \frac{1}{2 \cdot g} \left( 1 + \lambda \frac{L}{D} \right) = 0.2872$$

KORAK INT.	$\Delta t$ (s)	VREMENSKI KORAK	hA	AK	$Q^T$	$h^{KOMORA}$	$Q^D$
0		0	100	100	0	100,000	0,000
1	10	10	100	100	92	90,800	8,860
2	10	20	100	100	92	82,486	25,671
3	10	30	100	100	92	75,853	48,454
4	10	40	100	100	92	71,498	74,219
5	10	50	100	100	92	69,720	99,429
6	10	60	100	100	92	70,463	120,782
7	10	70	100	100	92	73,341	135,989
8	10	80	100	100	92	77,740	144,158
9	10	90	100	100	92	82,956	145,661
10	10	100	100	100	92	88,322	141,684
11	10	110	100	100	92	93,290	133,742
12	10	120	100	100	92	97,464	123,350
13	10	130	100	100	92	100,599	111,855
14	10	140	100	100	92	102,585	100,388
15	10	150	100	100	92	103,424	89,859
16	10	160	100	100	92	103,210	80,973
17	10	170	100	100	92	102,107	74,239
18	10	180	100	100	92	100,331	69,965
19	10	190	100	100	92	98,128	68,255
20	10	200	100	100	92	95,754	69,001
21	10	210	100	100	92	93,454	71,889
22	10	220	100	100	92	91,443	76,422
23	10	230	100	100	92	89,885	81,973
24	10	240	100	100	92	88,882	87,859
25	10	250	100	100	92	88,468	93,426
26	10	260	100	100	92	88,611	98,132
27	10	270	100	100	92	89,224	101,600
28	10	280	100	100	92	90,184	103,647
29	10	290	100	100	92	91,349	104,270
30	10	300	100	100	92	92,576	103,619

# ISPADANJE IZ POGONA

