

# Zaštita pumpnog postrojenja od hidrauličkog udara

---

**Bartolović, Krešimir**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2010**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:095994>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-10**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



Sveučilište u Zagrebu  
**Fakultet strojarstva i brodogradnje**

## **ZAVRŠNI RAD**

Voditelj rada:

Prof. dr. Sc. Mario Šavar

Student:

Krešimir Bartolović

Zagreb, 2010.

Sveučilište u Zagrebu  
**Fakultet strojarstva i brodogradnje**

# **ZAVRŠNI RAD**

Student:

Krešimir Bartolović

Zagreb, 2010.

# Sadržaj

POPIS SLIKA I TABLICA.....	1
POPIS OZNAKA I MIJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA.....	2
IZJAVA.....	4
1. Uvod.....	5
2. Stacionarni proračun strujanja fluida u cjevovodu.....	6
2.1 Podatci.....	7
2.2 Realizacija u programu Pipeline.....	9
2.3 Odabir pumpe.....	10
2.4 Stacionarni proračun sa uvrštenom karakteristikom pumpe.....	12
3. Ne stacionarni proračun strujanja fluida nakon trenutnog ispada pumpe iz rada.....	14
3.1 Simulacija hidrauličkog udara bez zaštitne posude.....	14
3.2 Simulacija hidrauličkog udara sa zaštitnom posudom.....	18
4. Proračun debljine stjenke tlačne posude.....	21
4.1 Proračun osnovnih dimenzija.....	21
4.2 Proračun debljine stjenke cilindričnog dijela.....	23
4.3 Proračun debljine stjenke podnice.....	25
4.4 Unutarnji volumen tlačne posude.....	26
5. Zaključak.....	27
POPIS LITERATURE.....	28

# POPIS SLIKA I TABLICA

## POPIS SLIKA

Slika 2-1– Prikaz dionice naftovoda koji će se analizirati .....	6
Slika 2-2 – prikaz tablice 2.a u grafičkom obliku .....	8
Slika 2-3 – shema cjevovoda u Pipeline-u .....	9
Slika 2-4 – prikaz datoteke sa rezultatima.....	9
Slika 2-5 .....	10
Slika 2-6 .....	11
Slika 2-7 .....	11
Slika 2-8 – prikaz datoteke sa rezultatima kada je uvrštena aproksimirana karakteristika pumpe .....	12
Slika 2-9 – geometrija terena sa uvrštenim piezometričkim visinama točaka 5 i 6.....	13
Slika 3-1 - grafičko sučelje programa Hudar.....	14
Slika 3-2 – prikaz sadržaja datoteke Hudar1.rez .....	15
Slika 3-3 – prikaz datoteke Hudar1.rez u grafičkom obliku.....	16
Slika 3-4 - krivulje točaka 3, 4, 11, 12, 22 .....	17
Slika 3-5 - grafičko sučelje programa Hudar (štićeno stanje) .....	18
Slika 3-6 - prikaz datoteke Hudar1.rez u grafičkom obliku (štićeno stanje) .....	19
Slika 3-7 - krivulje točaka 3, 4, 11, 12, 22 (štićeno stanje) .....	20
Slika 4-1 – primjer tlačne posude .....	21
Slika 4-2 - osnovna shema zaštitne posude .....	22

## POPIS TABLICA

Tablica 2-a - prikazuje nadmorske visine pojedinih dijelova cjevovoda u ovisnosti o duljini .....	7
---	---

# POPIS OZNAKA I MIJERNIH JEDINICA FIZIKALNIH VELIČINA

## JEDINICE VEZANE UZ PRORAČUN CJEVOVODA

$\rho \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$	- gustoća nafte
$\nu \left[ \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right]$	- kinematička viskoznost nafte
$D \text{ [m]}$	- promjer cjevovoda
$Q_{\max} \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right] \text{ ili } \left[ \frac{\text{l}}{\text{s}} \right]$	- maksimalni protok nafte
$p_1 \text{ [bar]}$	- tlak na početku promatrane dionice
$p_2 \text{ [bar]}$	- tlak na kraju promatrane dionice
$k \text{ [m]}$	- hrapavost stjenke cijevi

## JEDINICE VEZANE UZ PRORAČUN DEBLJINE STJENKE TLAČNE POSUDE

$c_1 \text{ [m]}$	- dodatak za dopušteno odstupanje materijala
$c_2 \text{ [m]}$	- dodatak zbog smanjenja debljine lima korozijom i trošenjem
$p \text{ [bar]}$	- proračunski tlak
$D_S \text{ [m]}$	- vanjski promjer osnovnog dijela
$D_U \text{ [m]}$	- unutarnji promjer osnovnog dijela
$K \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \right]$	- proračunska čvrstoća
$d_U \text{ [m]}$	- promjer izreza
$d_{\text{scp}} \text{ [m]}$	- promjer stjenke cijevnog priključka
$S_A \text{ [m]}$	- proračunata debljina stjenke

$s$ [m]	- odabrana debljina stjenke
$S_s$ [m]	- debljina stjenke cijevnog priključka
$V_v$ [m <sup>3</sup> ]	- vanjski volumen posude
$V$ [m <sup>3</sup> ]	- unutarnji volumen posude
$L$ [m]	- duljina cilindričnog plašta
$\nu_A$	- koeficijent oslabljenja
$S$	- stupanj sigurnosti

# IZJAVA

Izjavljujem da sam završni rad izradio samostalno.

Ovom prilikom zahvaljujem svom mentoru prof. dr. Sc. Mariu Šavaru jer bez njegove pomoći ne bi uspio izraditi završni rad.

Također zahvaljujem prof.dr.sc. Srećku Švaiću na savjetima za konstrukciju tlačne posude.



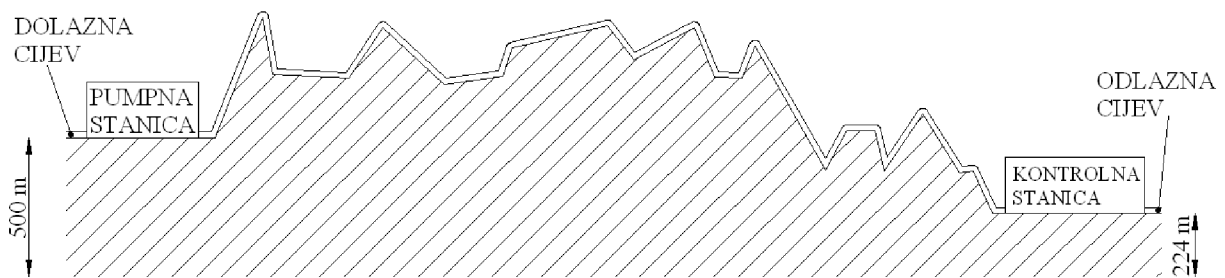
# 1. Uvod

Nafta se u današnje vrijeme koristi za dobivanje raznih derivata koji su esencijalni za svakodnevni život. Derivati su od goriva za pokretanje raznih motora sa unutrašnjim izgaranjem sve do plastika, raznih razrjeđivača, maziva, umjetnih gnojiva i ostaloga. Da bi se nafta preradila mora se transportirati od crpilišta do rafinerija gdje ide na preradu. Nafta se može transportirati pomoću raznih transportnih vozila (kopnenih i pomorskih) ili preko naftovoda. Zbog jednostavnosti i jeftinoće transporta gdje je moguće preferira se transport naftovodom. Također jedna od bitnijih prednosti naftovoda nad vozilima je da se mogu transportirati vrlo velike količine nafte u kratkom vremenu tj. isporuka počinje u vrlo kratkom roku za razliku od vozila gdje treba čekati da vozilo dođe na odredište.

U ovom radu je obrađena 60 kilometarska dionica naftovoda od pumpne do kontrolne stanice. Kada je potrebno prevesti naftu preko brda i ako je to brdo visoko u podnožju brda bi djelovali jako visoki tlakovi, da se to izbjegne postavi još jedna pumpna stanica obično na sredini brda, ta stanica povisi tlak dovoljno da se premosti brdo. Takav slučaj je obrađen u ovom radu. Pumpna stanica se nalazi na 500 m nadmorske visine i njen je zadatak osigura transport nafte do drugog kraja koji se nalazi na 224 m, s tim da se nigdje ne smije javiti podtlak, što osigurava pumpa dovoljne snage. U Pipeline-u se radi i proračun stacionarnih veličina u cjevovodu. U radu je obrađen i ne stacionarni proračun strujanja fluida nakon trenutnog ispada pumpe iz rada pri čemu dolazi do hidrauličkog udara. Simulacija hidrauličkog udara je napravljena u programu Hudar. Prvo je izvršena simulacija bez tlačne posude (bez zaštite). Iz rezultata se vidi da je potrebna zaštita od ovakvih slučajeva, pa je stoga izvršena simulacija sa tlačnom posudom. Tlačna posuda uvelike umanjuje nagle promjene uzrokovane hidrauličkim udarom i uklanja kavitaciju koja se javlja na nekim dijelovima cjevovoda. I još na kraju je pomoću dobivenih veličina konstruirana tlačna posuda i izvršen je proračun debljine stjenke posude.

## 2. Stacionarni proračun strujanja fluida u cjevovodu

Kao što je spomenuto u uvodnom dijelu stacionarni proračun se radi u programu Pipeline. Promatrana dionica nije početak cjevovoda, stoga na ulazu već postoji zadani protok i tlak. Pumpna stanica se nalazi na 500 m nadmorske visine i njezin je zadatak da osigura transport nafte preko brda, s tim da se nigdje ne smije javiti podtlak.

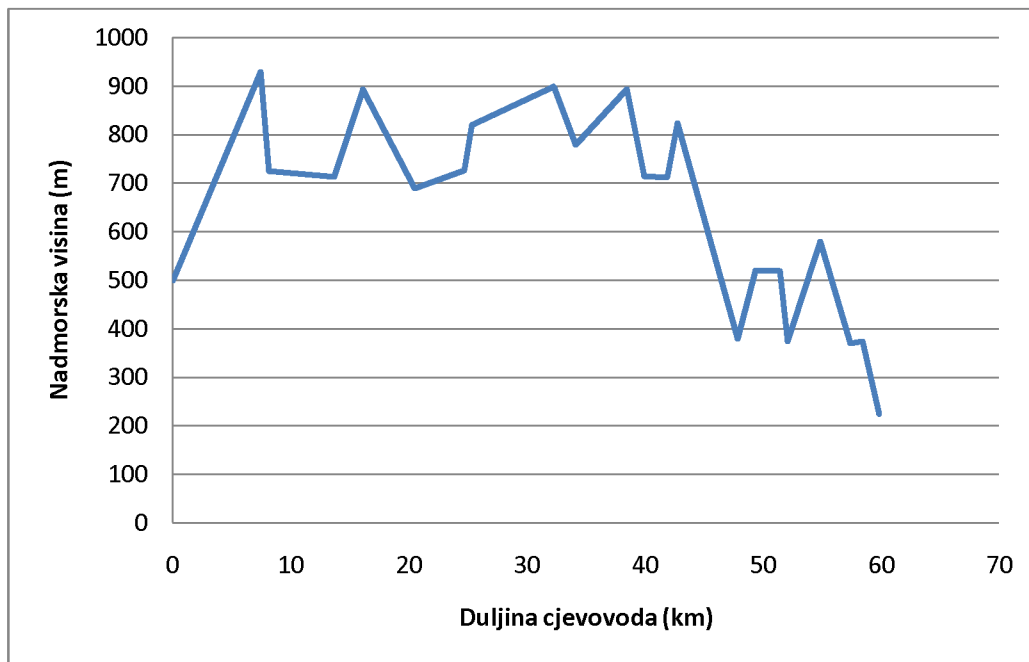


Slika 2-1– Prikaz dionice naftovoda koji će se analizirati

## 2.1 Podatci

Duljina (km)	Nadmorska visina (m)
0	500
7,44	930
8,14	725
13,64	713
16,09	895
20,49	690
24,69	727
25,34	820
32,24	900
34,09	779
38,44	895
39,89	715
41,87	712
42,75	825
47,808	380
49,35	521
51,39	520
52,04	375
54,81	580
57,39	370
58,39	375
59,813	224

**Tablica 2-a - prikazuje nadmorske visine pojedinih dijelova cjevovoda u ovisnosti o duljini**



Slika 2-2 – prikaz tablice 2.a u grafičkom obliku

#### Podatci o nafti i stanju u cjevovodu

$$\rho = 850 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$\nu = 18 \cdot 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

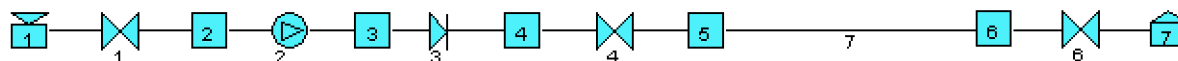
$$D = 36'' = 0.9144 \text{ m}$$

$$Q_{\text{max}} = 3200 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} = 888,89 \frac{1}{\text{s}}$$

$$p_1 = 5 \text{ bar}$$

$$k = 0,01 \text{ m}$$

## 2.2 Realizacija u programu Pipeline



Slika 2-3 – shema cjevovoda u Pipeline-u

Nakon što je definirana shema cjevovoda potrebno je uvrstiti podatke koji su definirani u tablici 2.a.

Mali problem je što se ne mogu uvrstiti podatci o geografiji brda, stoga će se raditi proračun između dvije krajnje točke a valjanost proračuna će se odrediti iz grafa. Nakon izrade sheme i unosa podataka pokreće se proračun.

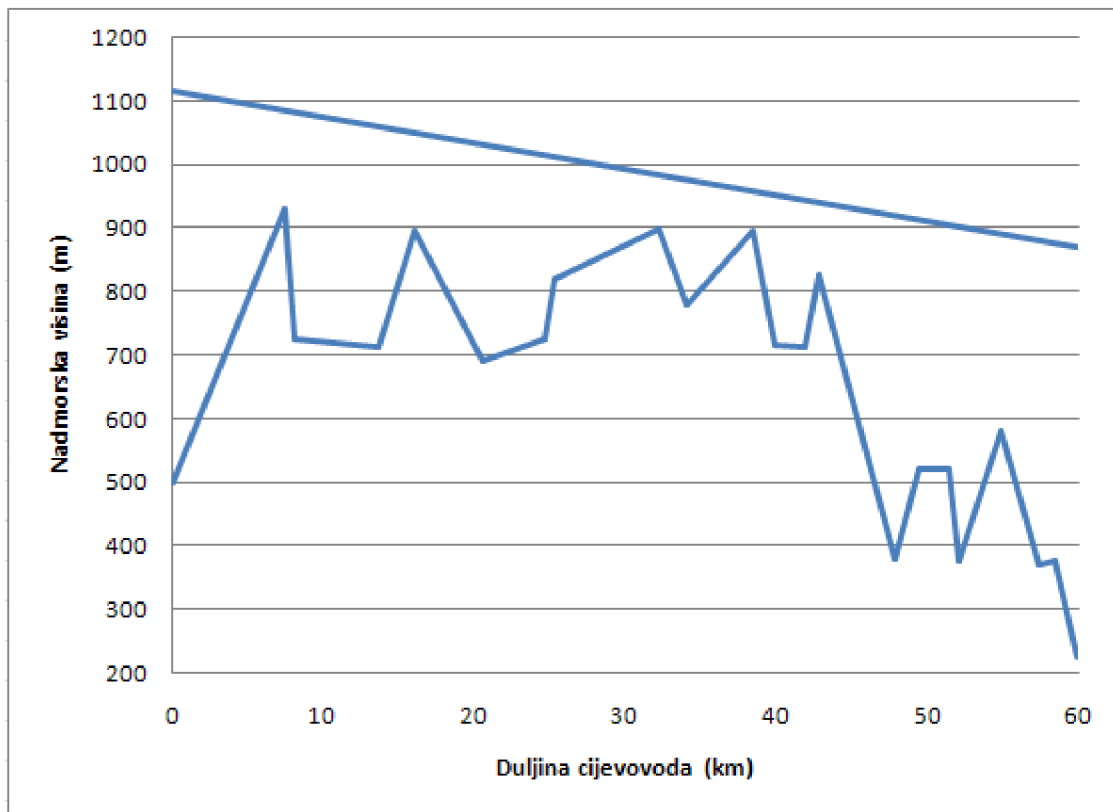
	ELEM.	OD	DO	DULJINA	PROMJER	PROTOK	BRZINA	GUBITAK
NAZIV ELEMENTA	BROJ			m	mm	l/s	m/s	m
	1	1	2		914.4	888.89	1.35	0.09*
	2	2	3		914.4	888.89	1.35	550.00*
	3	3	4		914.4	888.89	1.35	0.05*
	4	4	5		914.4	888.89	1.35	0.09*
	6	6	7		914.4	888.89	1.35	0.09*
	7	5	6	59813.00	914.4	888.89	1.35	281.52

### PIEZOMETRICKE VISINE ,GEODETSKE VISINE, TLAKOVI I POTROSNJE PO CUOROVIMA

	CUOR	H	Zg	H-Zg	p	POTROSNJA
NAZIV CUORA	BROJ	m	m	m	bar	l/s
Dolazna cijev	1*	559.98	500.00	59.98	5.00	-888.89
	2	559.89	500.00	59.89	4.99	
	3	1109.89	500.00	609.89	50.84	
	4	1109.84	500.00	609.84	50.83	
	5	1109.75	500.00	609.75	50.83	
Odlazna cijev	6	828.23	224.00	604.23	50.37	
	7*	828.13	224.00	604.13	50.36	888.89

Slika 2-4 – prikaz datoteke sa rezultatima

Nakon izvršenog proračuna piezometričke visine čvorova 5 i 6 se uvrste se na početak i kraj grafa prikazanog na slici 2.2 te se dobije graf prikazan na slici 2.5



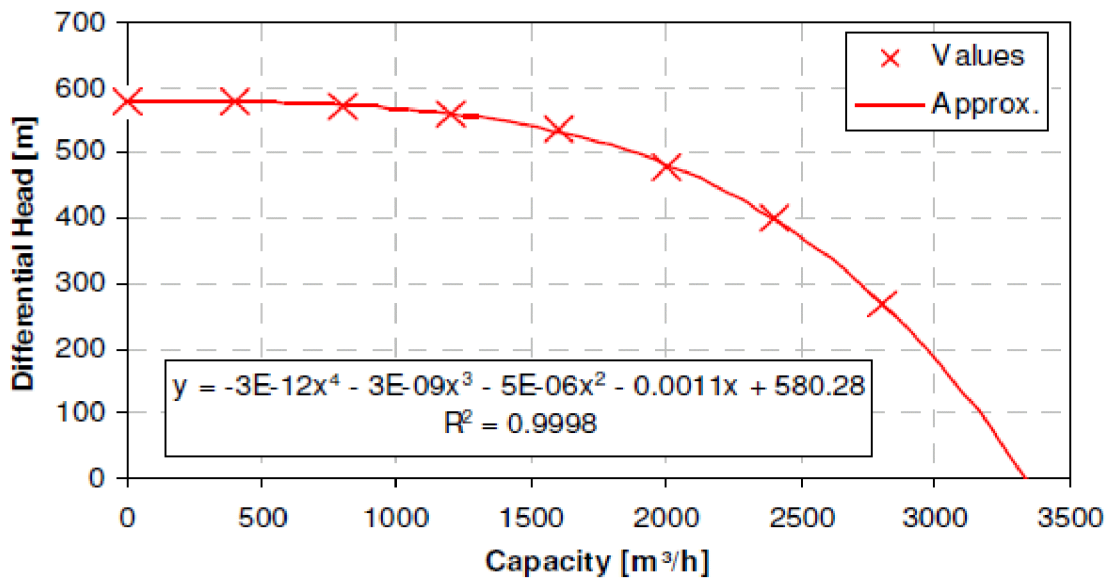
Slika 2-5

Iz grafa prikazanog na slici 2.5 i rezultata proračuna (slika 2.4) je vidljivo da pumpa za ovaj slučaj mora povećati piezometričku visinu za oko 550m za zadani protok.

## 2.3 Odabir pumpe

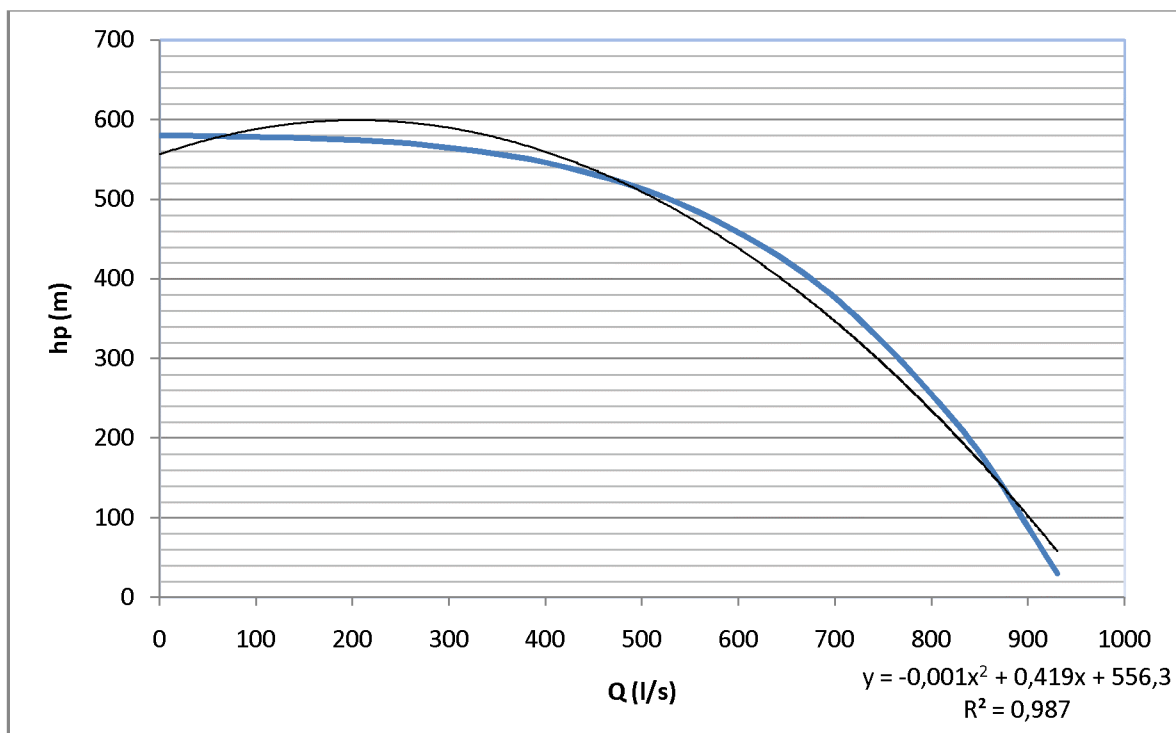
Kod ovakvih pumpnih stanica obično rade dvije ili više pumpa paralelno spojene. Kod ovog slučaja rade dvije pumpe paralelno spojene.

S obzirom da kod protoka od  $3200 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$  visina pumpe mora biti oko 550 m odabrana je pumpa sa karakteristikom prikazanom na slici 2-6. Kada su dvije pumpe paralelno spojene onda svaka preuzima pola protoka. Zbog toga se na karakteristici se gleda za protok od  $1600 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$  gdje je visina nešto manja od 550 m.



Slika 2-6

Slika 2.6 prikazuje karakteristiku odabranih pumpi. Karakteristika je polinom četvrtog stupnja, u programe Pipeline i Hudar može se uvrstiti samo polinom drugog stupnja, zato je ovu karakteristiku potrebno aproksimirati kao polinom drugog stupnja.



Slika 2-7

Slika 2.7 prikazuje originalnu i aproksimiranu karakteristiku pumpe. Također je vidljivo iz grafa da pri protoku od  $444,44 \frac{1}{s}$  ( $1600 \frac{m^3}{h}$ ), razlika između stvarne i aproksimirane krivulje je neznatna.

## 2.4 Stacionarni proračun sa uvrštenom karakteristikom pumpe

Sada se u Pipeline uvrsti aproksimirana karakteristika pumpe, ostale postavke se ne mijenjaju i izvrši se proračun.

ELEM.	OD	DO	DULJINA	PROMJER	PROTOK	BRZINA	GUBITAK
NAZIV ELEMENTA	BROJ		m	mm	l/s	m/s	m
	1	1	2	914.4	888.89	1.35	0.09*
	2	2	3	914.4	888.89	1.35	544.99*
	3	3	4	914.4	888.89	1.35	0.05*
	4	4	5	914.4	888.89	1.35	0.09*
	6	6	7	914.4	888.89	1.35	0.09*
	7	5	6 59813.00	914.4	888.89	1.35	281.52

### PIEZOMETRICKE VISINE ,GEODETSKE VISINE, TLAKOVI I POTROSNJE PO CVOROVIMA

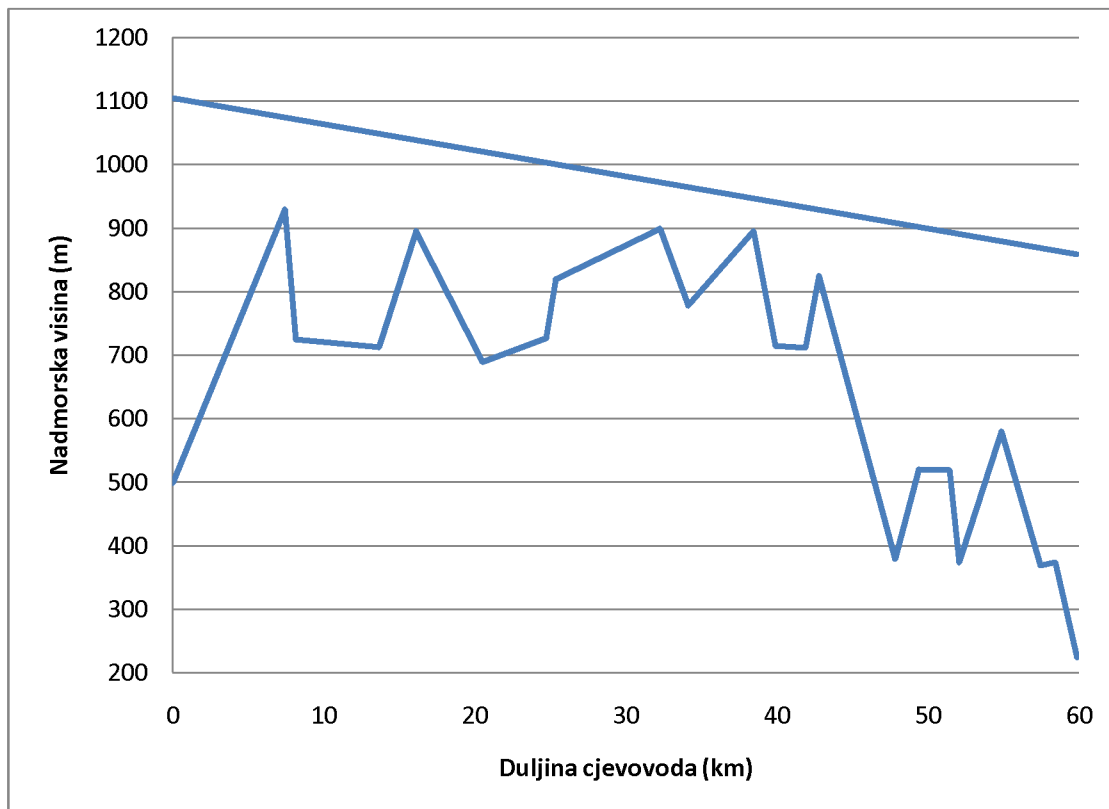
NAZIV CVORA	CVOR	H	Zg	H-Zg	p	POTROSNJA
	BROJ	m	m	m	bar	l/s
Dolazna cijev	1*	559.98	500.00	59.98	5.00	-888.89
	2	559.89	500.00	59.89	4.99	
	3	1104.88	500.00	604.88	50.42	
	4	1104.83	500.00	604.83	50.42	
	5	1104.74	500.00	604.74	50.41	
	6	823.22	224.00	599.22	49.95	
Odlazna cijev	7*	823.12	224.00	599.12	49.94	888.89

Slika 2-8 – prikaz datoteke sa rezultatima kada je uvrštena aproksimirana karakteristika pumpe

Iz proračuna se dobiva tlak na kraju promatrane dionice  $p_2 = 49.94$  bar

Vidljivo je da rezultati sa pretpostavljenom visinom pumpe i rezultati sa uvrštenom karakteristikom se vrlo malo razlikuju, sada je još potrebno nacrtati graf visina sa novim rezultatima.



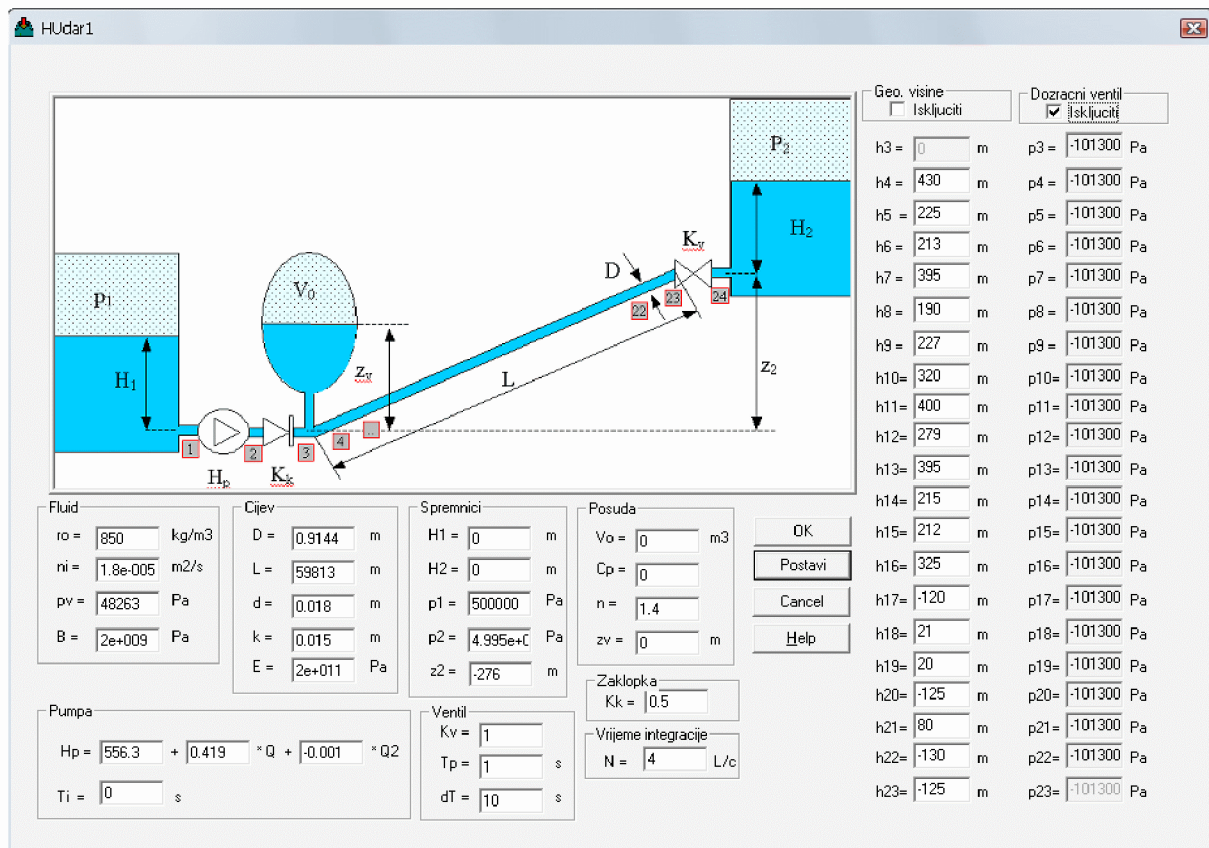


**Slika 2-9 – geometrija terena sa uvrštenim piezometričkim visinama točaka 5 i 6**

Kada se usporede grafovi (slika 2.5 i slika 2.9) promjene gotovo i da nema. Također linija nigdje ne dodiruje brdo stoga se sa sigurnošću može potvrditi da je par pumpi dobro odabran.

### 3. Ne stacionarni proračun strujanja fluida nakon trenutnog ispada pumpe iz rada

#### 3.1 Simulacija hidrauličkog udara bez zaštitne posude



Slika 3-1 - grafičko sučelje programa Hudar

Nakon pokretanja programa Hudar potrebno je podesiti ulazne parametre.

Unesu se podatci o fluidu, cjevovodu, geodetskim visinama, te se unese karakteristika pumpe. Zaštitne posude nema pa se unese da je volumen 0. Dozračnih ventila nema stoga se isključe. Ventil se postavi da zatvaranje počne nakon 1s te zatvaranje traje 10 s. Sada su svi parametri podešeni te se izvrši proračun pritiskom tipke OK.

Nakon što je proračun završen program zapisuje rezultate svih bitnih veličina u nekoliko datoteka.

Hudar1.dat - izlazna datoteka iz programske ljuške HUdar.exe sa ispisanim svim podacima s osnovnog panela.

Output.dat – sadrži tablični prikaz ulaznih podataka i rezultata proračuna.

Hudar1.rez – sadrži rezultate o tlakovima u čvorovima.

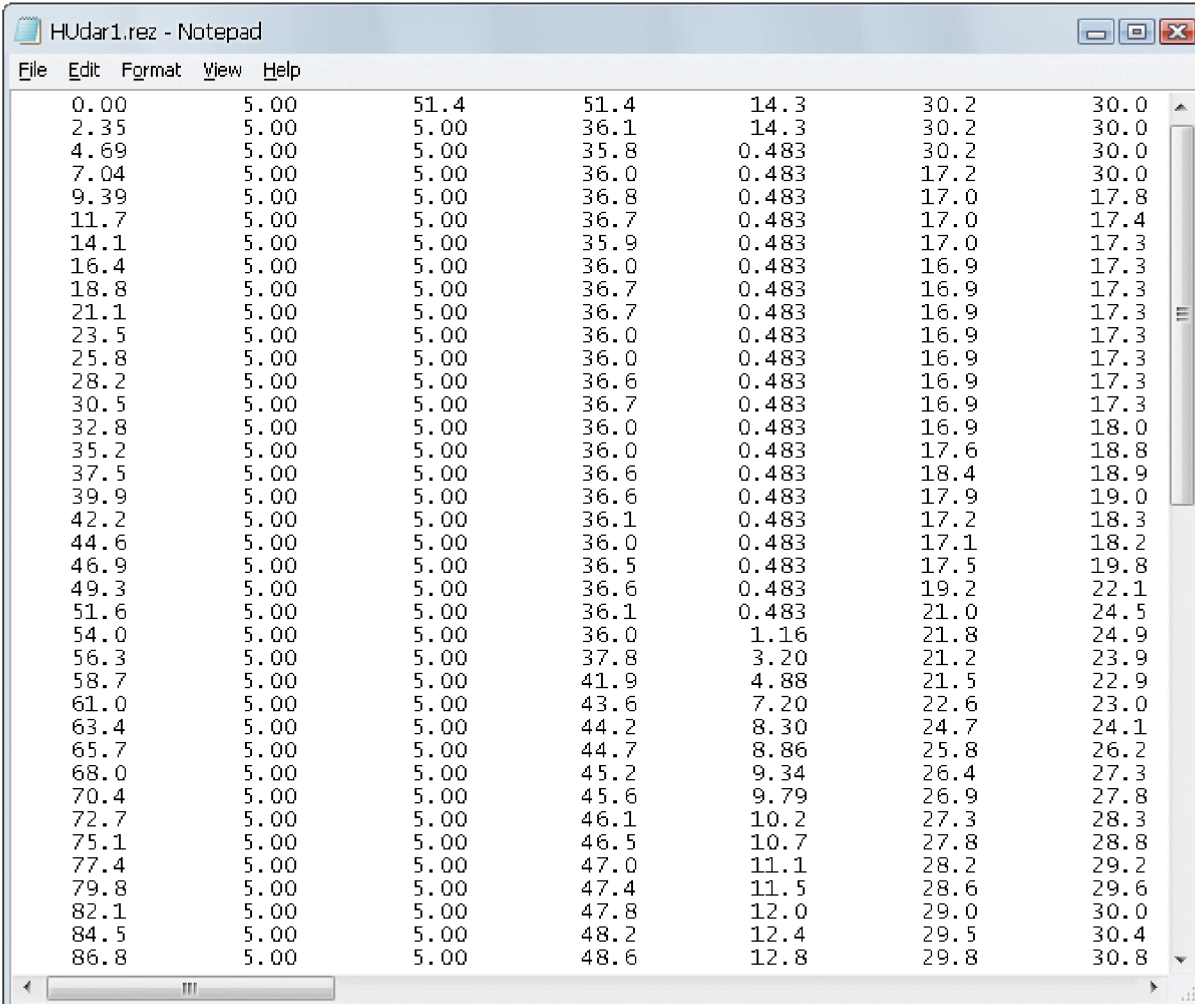
Hudar1v.rez – sadrži rezultate o brzinama kroz elemente.

Posuda.rez – sadrži rezultate vezane uz tlačnu posudu.

Doz#.rez – sadrži rezultate numeričke simulacije za dozračni ventil.

Hudar1.xls – Excel file kojim se rezultati povezuju za potrebe grafičkog prikaza

Kako se ova simulacija bazira na promatranju tlakova analizirati će se datoteka je Hudar1.rez.

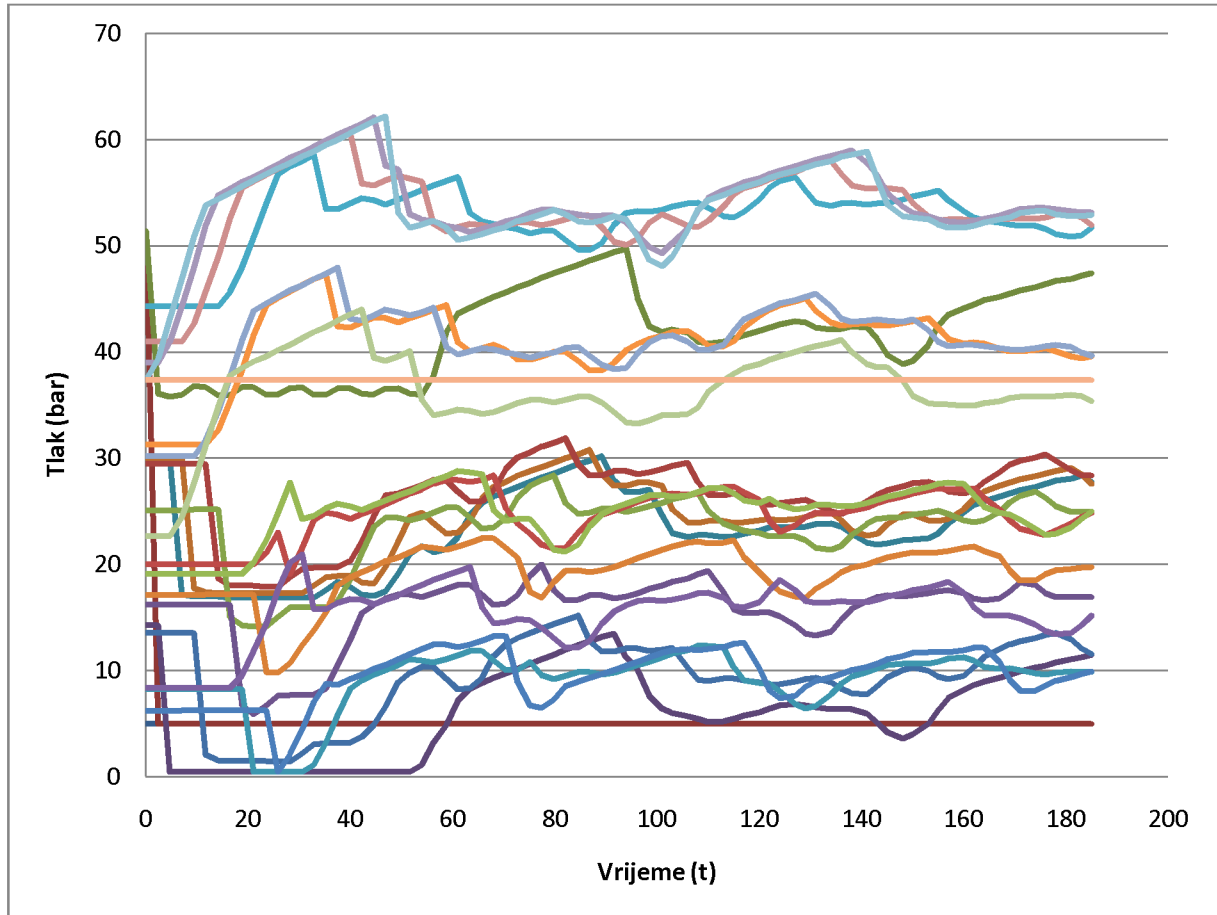


Time	Pressure	Velocity	Temperature	Pressure	Velocity	Temperature	Pressure
0.00	5.00	51.4	51.4	14.3	30.2	30.0	
2.35	5.00	5.00	36.1	14.3	30.2	30.0	
4.69	5.00	5.00	35.8	0.483	30.2	30.0	
7.04	5.00	5.00	36.0	0.483	17.2	30.0	
9.39	5.00	5.00	36.8	0.483	17.0	17.8	
11.7	5.00	5.00	36.7	0.483	17.0	17.4	
14.1	5.00	5.00	35.9	0.483	17.0	17.3	
16.4	5.00	5.00	36.0	0.483	16.9	17.3	
18.8	5.00	5.00	36.7	0.483	16.9	17.3	
21.1	5.00	5.00	36.7	0.483	16.9	17.3	
23.5	5.00	5.00	36.0	0.483	16.9	17.3	
25.8	5.00	5.00	36.0	0.483	16.9	17.3	
28.2	5.00	5.00	36.6	0.483	16.9	17.3	
30.5	5.00	5.00	36.7	0.483	16.9	17.3	
32.8	5.00	5.00	36.0	0.483	16.9	18.0	
35.2	5.00	5.00	36.0	0.483	17.6	18.8	
37.5	5.00	5.00	36.6	0.483	18.4	18.9	
39.9	5.00	5.00	36.6	0.483	17.9	19.0	
42.2	5.00	5.00	36.1	0.483	17.2	18.3	
44.6	5.00	5.00	36.0	0.483	17.1	18.2	
46.9	5.00	5.00	36.5	0.483	17.5	19.8	
49.3	5.00	5.00	36.6	0.483	19.2	22.1	
51.6	5.00	5.00	36.1	0.483	21.0	24.5	
54.0	5.00	5.00	36.0	1.16	21.8	24.9	
56.3	5.00	5.00	37.8	3.20	21.2	23.9	
58.7	5.00	5.00	41.9	4.88	21.5	22.9	
61.0	5.00	5.00	43.6	7.20	22.6	23.0	
63.4	5.00	5.00	44.2	8.30	24.7	24.1	
65.7	5.00	5.00	44.7	8.86	25.8	26.2	
68.0	5.00	5.00	45.2	9.34	26.4	27.3	
70.4	5.00	5.00	45.6	9.79	26.9	27.8	
72.7	5.00	5.00	46.1	10.2	27.3	28.3	
75.1	5.00	5.00	46.5	10.7	27.8	28.8	
77.4	5.00	5.00	47.0	11.1	28.2	29.2	
79.8	5.00	5.00	47.4	11.5	28.6	29.6	
82.1	5.00	5.00	47.8	12.0	29.0	30.0	
84.5	5.00	5.00	48.2	12.4	29.5	30.4	
86.8	5.00	5.00	48.6	12.8	29.8	30.8	

Slika 3-2 – prikaz sadržaja datoteke Hudar1.rez

U prvom stupcu su prikazani vremenski trenutci a u sljedećim stupcima su tlakovi po točkama u vremenskim trenucima.

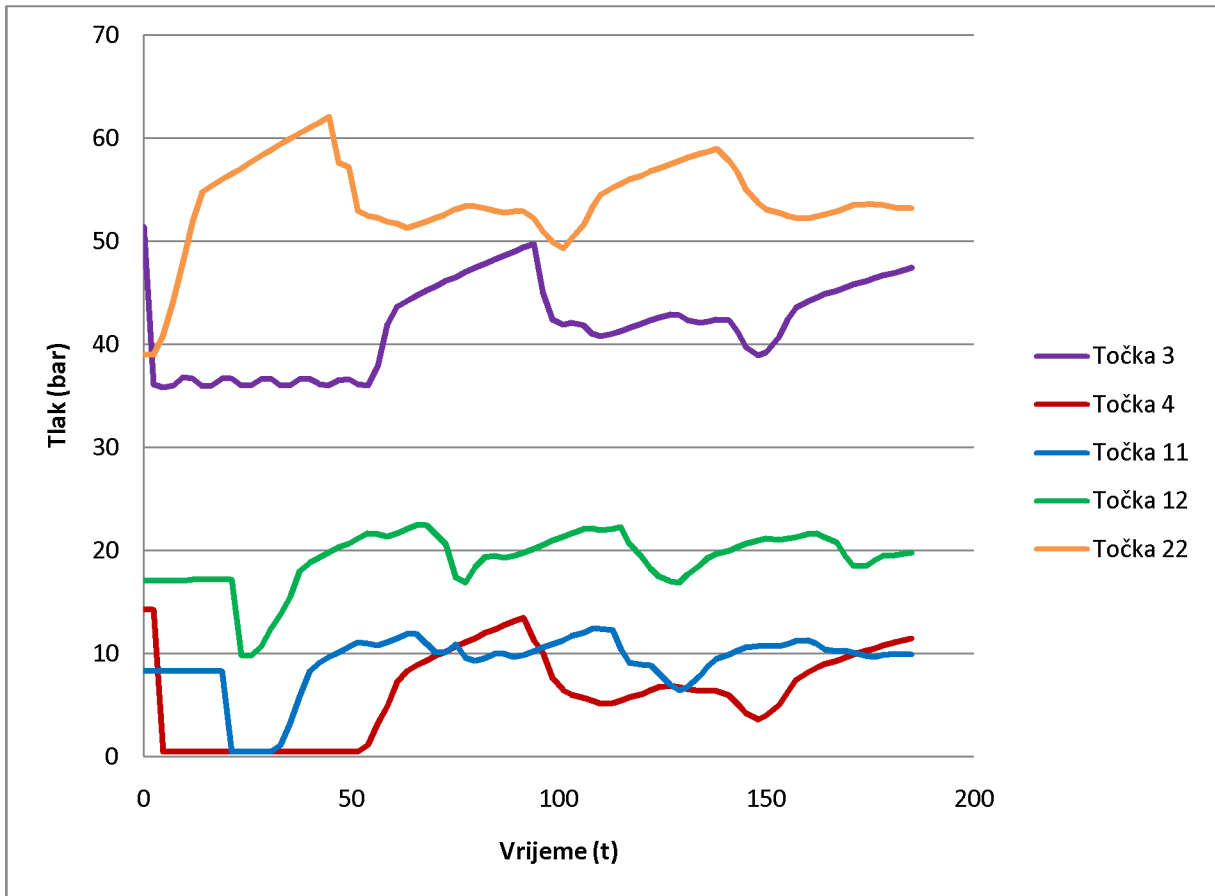
Svi rezultati tlakova se neće prikazuje jer ukupno ima 25x80 brojeva, nego će se podatci uvrstiti u graf da se dobije cjelokupna slika.



**Slika 3-3 – prikaz datoteke Hudar1.rez u grafičkom obliku**

U grafu na slici 3-3 je prikazano previše točaka tj. ima previše krivulja i graf je nepregledan. Zato se radi bolje preglednosti će se odstraniti većina linija. Ostavit će se dvije donje linije jer se u njima javlja kavitacija te još pokoja linija radi usporedbe sa šticećenim stanjem.

Točke koje su prikazane u grafovima (slika 3-4 i slika 3-6) su definirane u grafičkom sučelju programa Hudar u grupi „Geo visine“



Slika 3-4 - krivulje točaka 3, 4, 11, 12, 22

## 3.2 Simulacija hidrauličkog udara sa zaštitnom posudom

The screenshot shows the 'Hudar1' software interface. The main window displays a schematic of a hydraulic system. On the left, a reservoir with fluid level  $H_1$  and pressure  $P_1$  is connected to a pump  $H_p$ . The pump is connected to a pipe with diameter  $D$  and length  $L$ . The pipe has a valve with coefficient  $K_v$  and a check valve with coefficient  $K_k$ . The pipe is inclined upwards. At the end of the pipe, there is a protective vessel with fluid level  $H_2$  and pressure  $P_2$ . The vertical distance from the pipe to the vessel is  $Z_2$ . A volume  $V_0$  is shown above the pipe. The diagram also indicates points 1 through 24 along the pipe and vessel.

The configuration parameters are as follows:

Fluid	Cijev	Spremnici	Posuda
$\rho = 850$ kg/m <sup>3</sup>	$D = 0.9144$ m	$H1 = 0$ m	$V_0 = 200$ m <sup>3</sup>
$\nu = 1.8e-005$ m <sup>2</sup> /s	$L = 59813$ m	$H2 = 0$ m	$C_p = 3.15e+00$
$p_v = 48263$ Pa	$d = 0.018$ m	$p1 = 500000$ Pa	$n = 1.4$
$B = 2e+009$ Pa	$k = 0.015$ m	$p2 = 5.042e+L$ Pa	$z_v = 5$ m
	$E = 2e+011$ Pa	$z2 = -276$ m	

Pumpa:

$$H_p = 556.3 + 0.419 \cdot Q + -0.001 \cdot Q^2$$

$$T_i = 0 \text{ s}$$

Ventil:

$$K_v = 1$$

$$T_p = 1 \text{ s}$$

$$dT = 10 \text{ s}$$

Zaklopka:

$$K_k = 0.5$$

Vrijeme integracije:

$$N = 4 \text{ L/c}$$

Geo. visine (m):

h3 = 0
h4 = 430
h5 = 225
h6 = 213
h7 = 395
h8 = 190
h9 = 227
h10 = 320
h11 = 400
h12 = 279
h13 = 395
h14 = 215
h15 = 212
h16 = 325
h17 = -120
h18 = 21
h19 = 20
h20 = -125
h21 = 80
h22 = -130
h23 = -125

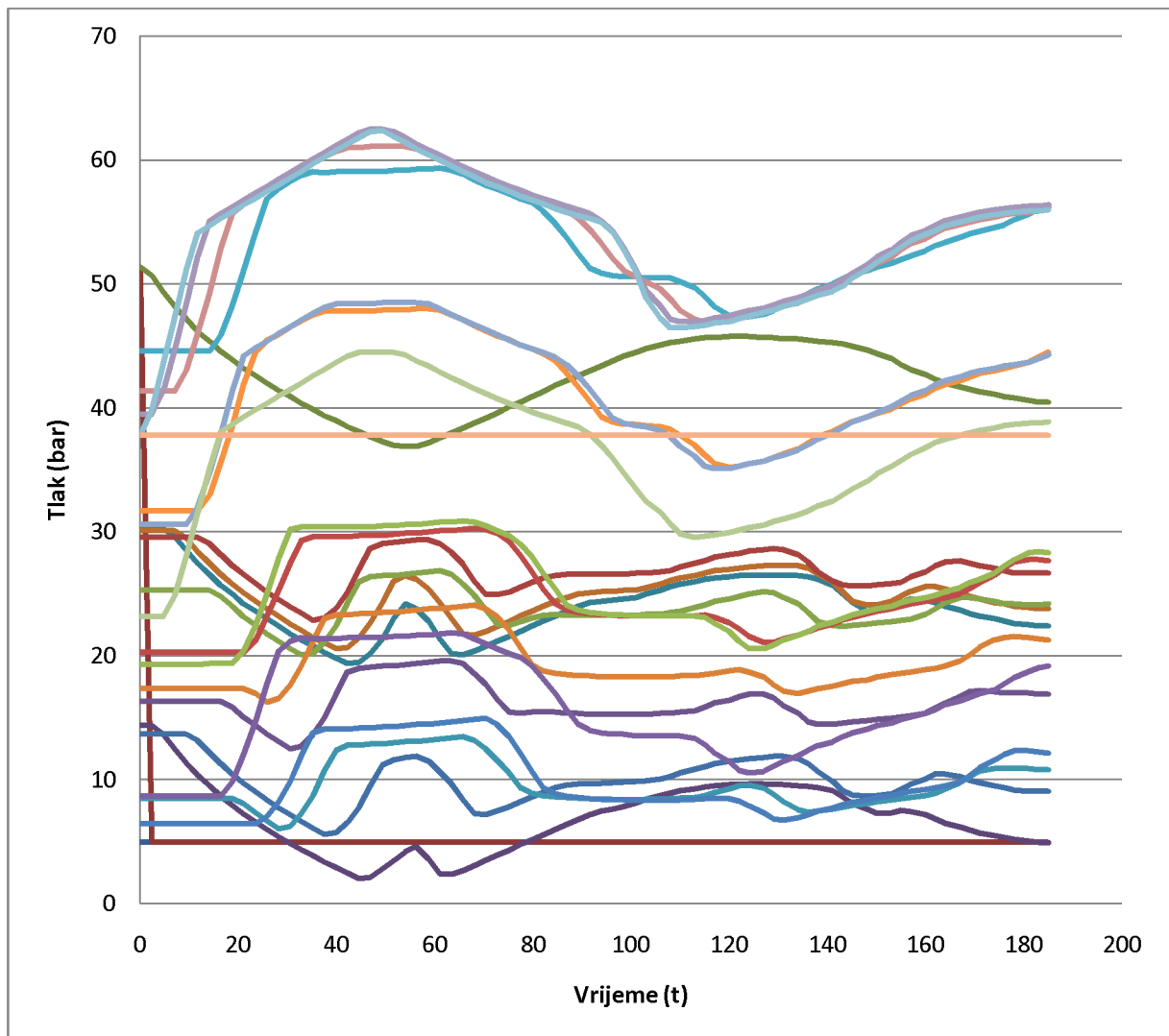
Dozračni ventil (Pa):

p3 = -101300
p4 = -101300
p5 = -101300
p6 = -101300
p7 = -101300
p8 = -101300
p9 = -101300
p10 = -101300
p11 = -101300
p12 = -101300
p13 = -101300
p14 = -101300
p15 = -101300
p16 = -101300
p17 = -101300
p18 = -101300
p19 = -101300
p20 = -101300
p21 = -101300
p22 = -101300
p23 = -101300

Slika 3-5 - grafičko sučelje programa Hudar (štićeno stanje)

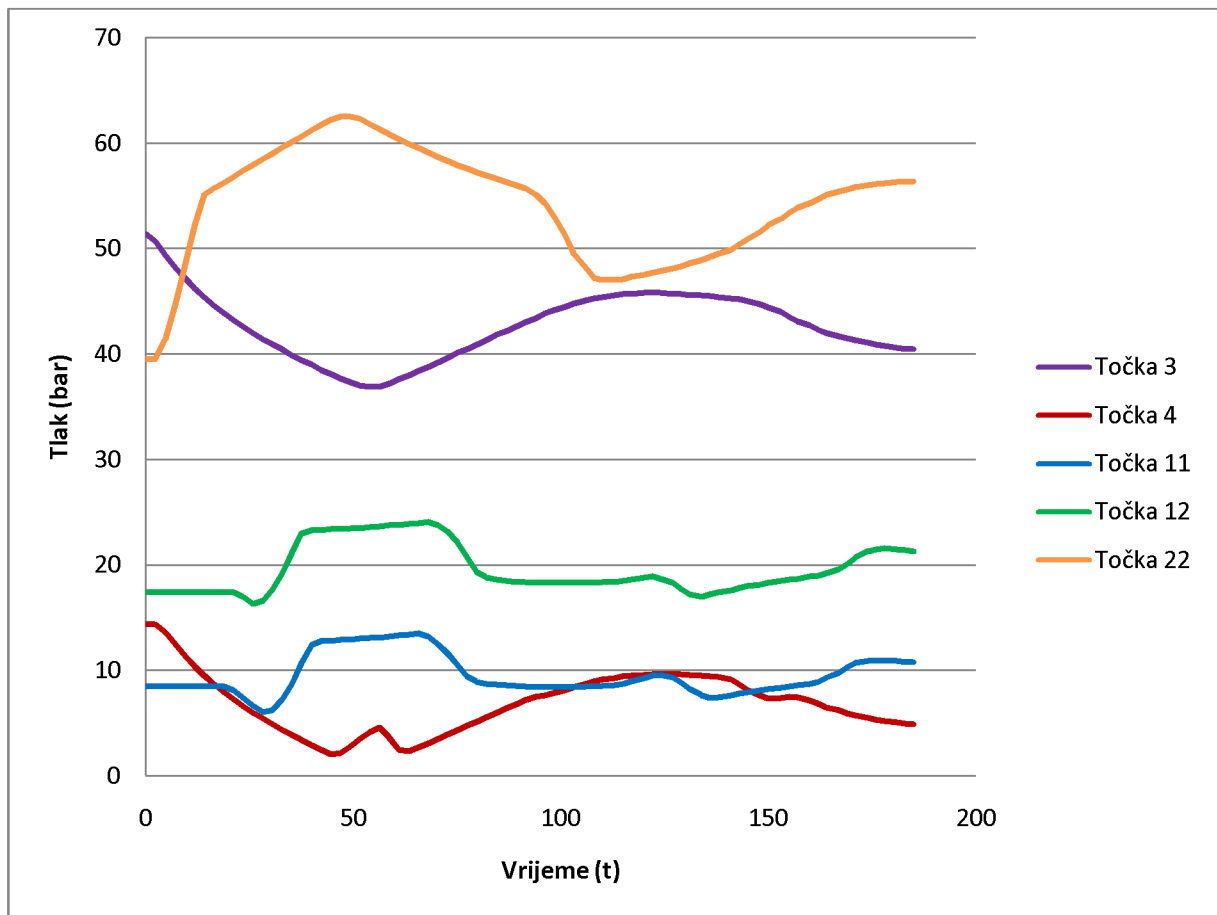
Kao što se vidi iz slike 3.5 postavke su iste kao i kod slučaja u poglavlju 3.1 sa razlikom što u ovom primjeru su uvrštene vrijednosti posude. Isto kao i kod poglavlja 3.1 prekontroliraju se postavke i pritisne se tipka OK.

Kao i kod stanja bez tlačne posude dobiveni rezultati se prikazuju u obliku grafa.



**Slika 3-6 - prikaz datoteke Hudar1.rez u grafičkom obliku (štićeno stanje)**

Kao i kod slučaja bez tlačne posude prikazuju se tlakovi točaka 3, 4, 11, 12, 22.



**Slika 3-7 - krivulje točaka 3, 4, 11, 12, 22 (štićeno stanje)**

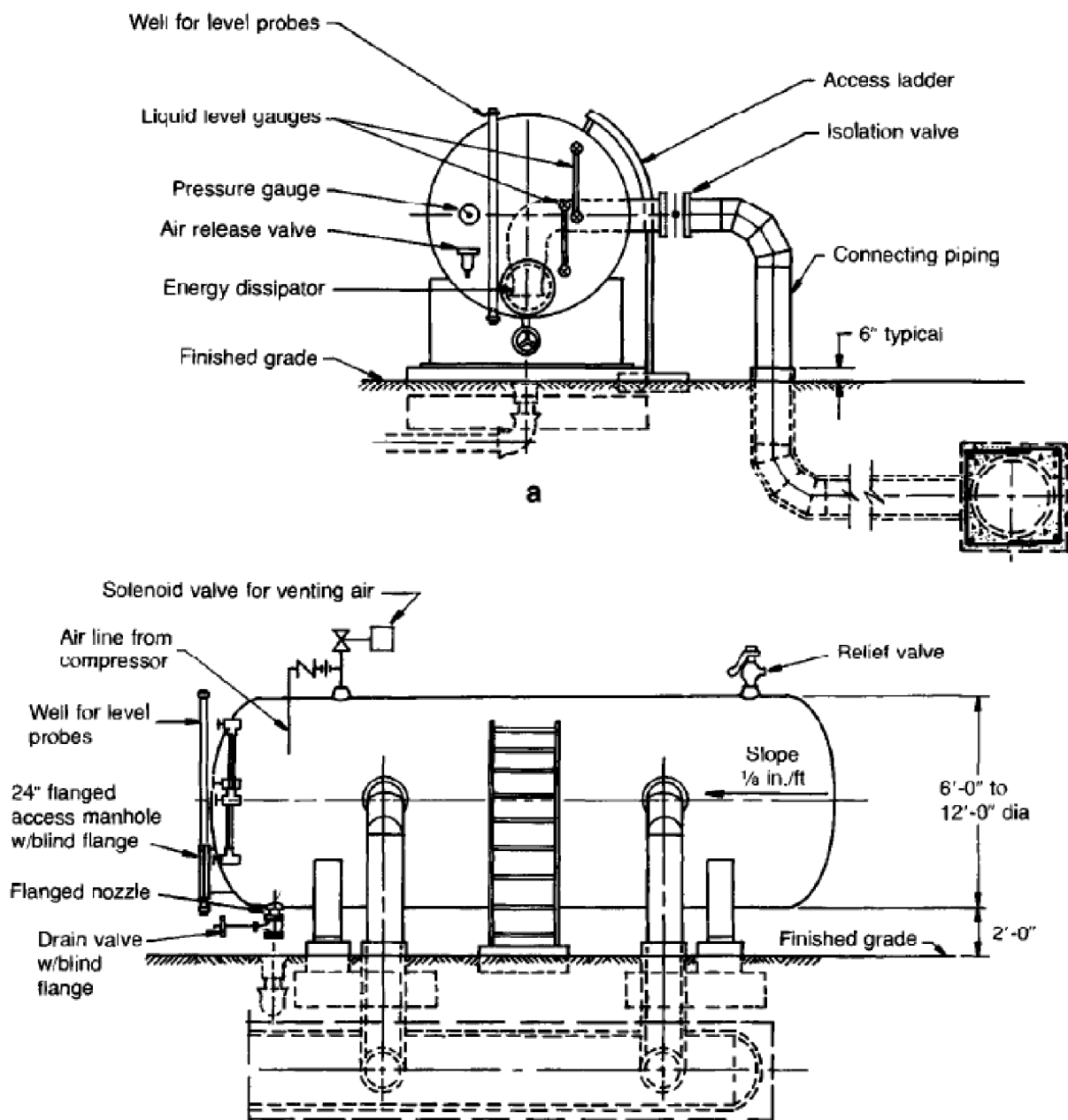
Uspoređujući grafove prikazanim na slikama (3-4) i (3-7) vidi se da su krivulje točaka na slici 3-7 mnogo glađe, tj. nema tako naglih promjena kao kod slučaja bez zaštitne posude. Također se vidi da nema kavitacije kod točaka 4 i 12.



## 4. Proračun debljine stjenke tlačne posude

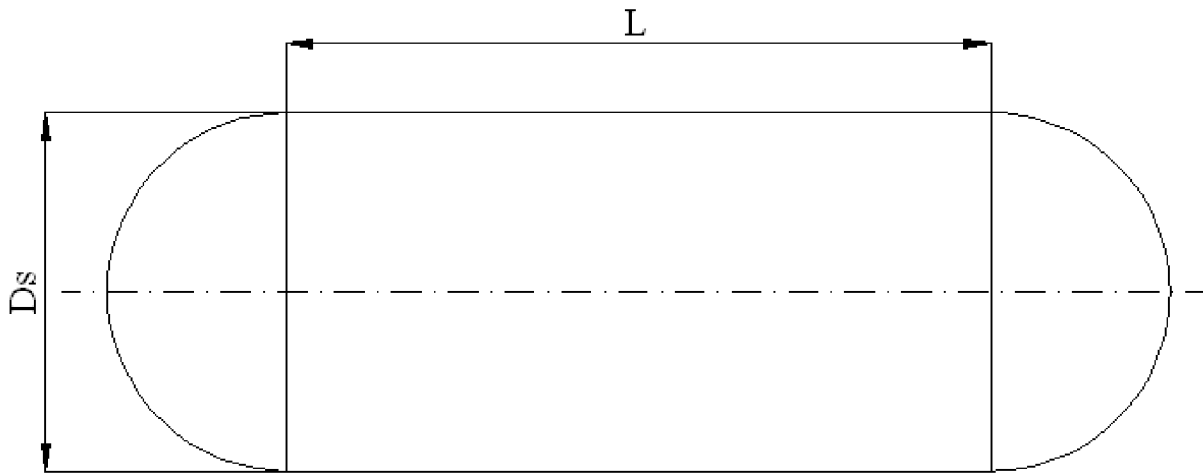
### 4.1 Proračun osnovnih dimenzija

Tlačna posuda će se konstruirati prema primjeru iz knjige: Robert L Sanks: Pumping station design str.187 slika7-3



Slika 4-1 – primjer tlačne posude

Tlačna posuda je zamišljena kao cilindrični spremnik sa poluloptastim poklopcima, gruba shema prema kojoj će se izvršiti proračun je prikazan na slici 4-2.



**Slika 4-2 - osnovna shema zaštitne posude**

Najprije je potrebno odrediti grube dimenzije.

Iz proračuna se zna da volumen mora biti  $V = 200 \text{ m}^3$

Pretpostavi se da su:

$$L = 15 \text{ m}$$

$$D_S = 4 \text{ m}$$

Proračun volumena

$$V_V = \left( L \cdot \frac{D_S^2 \cdot \pi}{4} \right) + \frac{4}{3} \cdot \left( \frac{D_S}{2} \right)^2 \cdot \pi = 219,08 \text{ m}^3$$

Vanjski volumen je nešto veći od proračunatog. Vanjski volumen koristi se samo kao provjera da li su dimenzije dobro odabrane. Kako je pretpostavljeni volumen vrlo blizu proračunatom pretpostavljene dimenzije  $L$  i  $D_S$  su dobro odabrane.

## 4.2 Proračun debljine stjenke cilindričnog dijela

Proračun se provodi prema normama:

GA-HRN M E2 250 i GA-HRN M E2 253 - Proračun dijelova pod tlakom. Opći zahtjevi - Cilindrični plaštev i kugle izvrgnuti unutarnjem tlaku

GA-HRN M E2 252 - Podnice izvrgnute unutarnjem ili vanjskom tlaku

GA-HRN M E2 256 - Izrezi u cilindrima, konusima i kuglama izvrgnutim unutarnjem tlaku

Posuda je napravljena od cilindričnog tijela i dvije poluloptaske podnice. Kuglasti dijelovi kod iste debljine stjenke mogu podnijeti mnogo veće opterećenje nego cilindrični, stoga će kritični dio biti cilindrični i on će određivati debljinu lima.

Prvo se radi proračun debljine cilindra bez oslabljenja izrezom. Dobivena debljina će poslužiti kao orijentir za proračun koeficijenta oslabljenja.

$$c_1 = 0,3 \text{ mm}$$

$$c_2 = 1 \text{ mm}$$

$$D_S = 4000 \text{ mm}$$

$$p = 50 \text{ bar}$$

$$S = 1,5$$

$$K = 355 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} - \text{podatak iz „Krautov strojarski priručnik“ za čelik „PH 355“, str.411}$$

$$\nu_A = 0,85 - \text{kada koeficijent nije poznat uzima se vrijednost 0,85}$$

### Izraz za izračun debljine stjenke

- Izraz je uzet iz GA-HRN M E2 250 i 253 str.27

$$S_A = \frac{D_S \cdot p}{20 \cdot \frac{K}{S} \cdot \nu_A + p} + c_1 + c_2 = \frac{4000 \cdot 50}{20 \cdot \frac{355}{1,5} \cdot 0,85 + 50} + 0,3 + 1 = 50,4 \text{ mm}$$

Najveće oslabljenje je na mjestu najvećeg izreza. Najveći izrez na cilindričnom dijelu je otvor za ispušni Ø350 (Crtež 1, pozicija 2).

$$d_u = 350 \text{ mm}$$

### Proračun debljine stijenke cijevnog priključka

Pretpostavi se da će debljina biti oko 6 mm stoga se uzima da je promjer cijevnog priključka  $d_{scp} = 350 + 2 \cdot 6 = 362$  mm

$$S_S = \frac{d_{scp} \cdot p}{20 \cdot \frac{K}{S} \cdot v_A + p} + c_1 + c_2 = \frac{362 \cdot 50}{20 \cdot \frac{355}{1,5} \cdot 0,85 + 50} + 0,3 + 1 = 5,74 \text{ mm}$$

Proračun pokazuje da minimalna debljina cijevnog priključka mora biti 5,74 mm i s tim se potvrđuje da je pretpostavka dobra te se uzima  $S_S = 6$  mm

### Određivanje koeficijenta oslabljenja izrezom $v_A$

Koeficijent oslabljenja se određuje iz grafa koji se nalazi u GA-HRN M E2 256 str.10

$$v_A = f \left( \frac{S_S - c_1 - c_2}{S_A - c_1 - c_2}, \frac{d_u}{\sqrt{(D_U + S_A - c_1 - c_2) \cdot (S_A - c_1 - c_2)}} \right)$$

$v_A$  je funkcija prikazanih izraza te je ih potrebno odrediti

$S_A$  je dobiven proračunom za slučaj kada nema oslabljenja i tom slučaju je iznosio 50,4 mm, iz iskustva se zna da će debljina biti veća kada je prisutno oslabljenje izrezom te će se pretpostaviti da je debljina  $S_A = 60$  mm

$$\frac{S_S - c_1 - c_2}{S_A - c_1 - c_2} = \frac{6 - 0,3 - 1}{60 - 0,3 - 1} = 0,08$$

$$D_U = D_S - 2 \cdot S_A = 4000 - 2 \cdot 60 = 3880$$

$$\frac{d_u}{\sqrt{(D_U + S_A - c_1 - c_2) \cdot (S_A - c_1 - c_2)}} = \frac{350}{\sqrt{(3880 + 60 - 0,3 - 1) \cdot (60 - 0,3 - 1)}} = 0,73$$

Pomoću ova 2 podatka se iz grafa određuje koeficijent

$$v_A = 0,75 - \text{HRN M.E2.256, str.10, Slika 7}$$

Sada su poznati svi podatci te se može izračunati debljina stijenke cilindričnog dijela

$$S_A = \frac{D_S \cdot p}{20 \cdot \frac{K}{S} \cdot v_A + p} + c_1 + c_2 = \frac{4000 \cdot 50}{20 \cdot \frac{355}{1,5} \cdot 0,75 + 50} + 0,3 + 1 = 56,86 \text{ mm}$$

Proračunom je pokazano da minimalna debljina stijenke mora biti 56,86 mm i s tim je dokazano da je pretpostavka o debljini od 60 mm dobra te se uzima da je debljina stijenke spremnika:  $s = 60$  mm

### 4.3 Proračun debljine stjenke podnice

Podnica je poluloptastog oblika promjera  $D_S = 4000$  mm. Najveći izrez je otvor za ljude (crtež 1, pozicija 1)  $\varnothing 600$  mm. Za razliku od prethodnog primjera gdje se debljina morala odrediti ovdje će se samo vršiti provjera sa se ustanovi da je debljina stjenke od 60 mm dovoljna.

Izraz za proračun debljine stjenke kuglastog oblika

- Izraz je uzet iz GA-HRN M E2 256 str.9

$$S_A = \frac{D_S \cdot p}{40 \cdot \frac{K}{S} \cdot v_A + p} + c_1 + c_2$$

Većinu veličina se preuzima iz poglavlja 4 jedino je potrebno odrediti  $v_A$ .

Potrebno je odrediti debljinu stjenke otvora za ljude

$$d_u = 600 \text{ mm}$$

Pretpostavi se da će debljina cijevnog priključka biti 10 mm pa je

$$d_{scp} = d_u + 2 \cdot 10 = 620 \text{ mm}$$

$v_A = 0,85$  - koeficijent kad nema izreza

$$S_S = \frac{d_{scp} \cdot p}{20 \cdot \frac{K}{S} \cdot v_A + p} + c_1 + c_2 = 8,66 \text{ mm}$$

Proračun pokazuje da minimalna debljina stjenke cijevnog priključka mora biti 8,66 mm, to pokazuje da pretpostavka debljini cijevnog priključka 10 mm dobra, stoga se uzima da je  $S_S = 10$  mm

Sada se radi proračun koeficijenta oslabljenja  $v_A$  sličan kao u prethodnom poglavlju

$$\frac{S_S - c_1 - c_2}{S_A - c_1 - c_2} = \frac{10 - 0,3 - 1}{60 - 0,3 - 1} = 0,15$$

$$\frac{d_u}{\sqrt{(D_U + S_A - c_1 - c_2) \cdot (S_A - c_1 - c_2)}} = \frac{600}{\sqrt{(3880 + 60 - 0,3 - 1) \cdot (60 - 0,3 - 1)}} = 1,25$$

$v_A = 0,62$  - HRN M.E2.256, str.11, Slika 8

$$S_A = \frac{D_S \cdot p}{40 \cdot \frac{K}{S} \cdot v_A + p} + c_1 + c_2 = \frac{4000 \cdot 50}{40 \cdot \frac{355}{1,5} \cdot 0,62 + 50} + 0,3 + 1 = 35,1 \text{ mm}$$

Proračun pokazuje da minimalna debljina poluloptastih podnica mora biti 35,1 mm. Tlačna posude će biti izrađena od lima jedne debljine, a debljina cilindričnog dijela je deblja od debljine podnica. Stoga će tlačna posuda biti izrađena od lima debljine 60 mm.

#### 4.4 Unutarnji volumen tlačne posude.

Debljina lima od 60 mm radi značajnu razliku između unutarnjeg i vanjskog volumena stoga je potrebno izračunati unutarnji volumen i uvjeriti se da je veći ili jednak 200 m<sup>3</sup>.

$$V = \left( L \cdot \frac{D_u^2 \cdot \pi}{4} \right) + \frac{4}{3} \cdot \left( \frac{D_u}{2} \right)^2 \cdot \pi = 207,94 \text{ m}^3$$

## 5. Zaključak

Rad se sastoji od:

- 1.)Uvod
- 2.)Stacionarni proračun strujanja fluida u cjevovodu
  - podatci o nafti, cjevovodu, stanju na ulazu u pumpnu stanicu i geografskim visinama dijelova cjevovoda
  - realizacija naftovoda u programu Pipeline
  - odabir pumpe i prilagodba karakteristike
  - stacionarni proračun sa uvrštenom karakteristikom pumpe
- 3.)Ne stacionarni proračun strujanja fluida nakon trenutnog ispada pumpe iz rada
  - simulacija hidrauličkog udara bez zaštitne posude
  - simulacija hidrauličkog udara sa zaštitnom posudom
- 4.)Proračun debljine stjenke tlačne posude
  - proračun osnovnih dimenzija
  - proračun debljine stjenke cilindričnog dijela
  - proračun debljine stjenke podnice
  - izračun unutarnjeg volumena tlačne posude

## POPIS LITERATURE

- [1] Virag Z, Šavar M: Priručnik za upotrebu programa Gasnet, Zagreb, 2003.
- [2] Virag Z, Šavar M: Priručnik za primjenu računalnog programa HUdar, Zagreb, 2003.
- [3] Robert Sanks L: Pumping station design
- [4] Malinovec Puček M: GA-HRN M E2 250 i 253
- [5] Malinovec Puček M: GA-HRN M E2 252
- [6] Malinovec Puček M: GA-HRN M E2 256
- [7] Krautov Strojarski Priručnik, Zagreb, 1997