

Zaštita pumpnog postrojenja od hidrauličkog udara

Kuhar, Matija

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:235:818706>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-11**

Repository / Repozitorij:

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



FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

ZAVRŠNI RAD

Voditelj rada:

Doc. dr. sc. IVO DŽIJAN

MATIJA KUCHAR

ZAGREB, 2010.

FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE
SVEUČILIŠTA U ZAGREBU

ZAVRŠNI RAD

MATIJA KUCHAR

ZAGREB, 2010.



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
 Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
 proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo
 materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Matija Kuhar**

Mat. br.: 0035153952

Naslov: **Zaštita pumpnog postrojenja od hidrauličkog udara**

Opis zadatka:

Da bi se osigurale potrebe za vodom naselja od 25 000 stanovnika potrebno je sagraditi vodospremu na koti 102 m iznad pumpne stanice.

Voda se dobavlja iz obližnjeg jezera te se transportira od pumpne stanice 12.3 km dugim cjevovodom do vodospreme. Prilikom iskapčanja pumpi koje dobavljaju vodu javlja se hidraulički udar. Potrebno je osmisлити zaštitu pumpi od hidrauličkog udara.

Ukoliko vodu transportiramo samo u režimu jeftinije električne energije, a tijekom skuplje tarife koristimo vodu iz vodospreme moguće je ostvariti uštedu.

Potrebno je provjeriti ekonomsku opravdanost izgradnje vodosprema ako pretpostavite da će se izgradnja u potpunosti financirati putem kredita koji će se otplaćivati tijekom 20 godina uz 10% kamata. Pretpostavite vrijeme projekta 20 godina, stopu poreza na dobit 20% te da je amortizaciona stopa 5% kroz 20 godina, a minimalno atraktivna stopa povrata (MARR) $i = 15\%$.

Rad treba sadržavati:

1. Dimenzioniranje vodospreme uzimajući u obzir 24 satnu rezervu vode
2. Načiniti stacionarni proračun strujanja fluida u cjevovodu te odabrati pumpu
3. Načiniti nestacionarni proračun strujanja fluida nakon trenutnog ispada pumpe iz rada te odabrati veličinu tlačne posude.
4. Načiniti proračun osnovnih parametara tlačne posude (debljina stijenke)
5. Načiniti studiju isplativosti izgradnje vodospreme.
6. Crtež tlačne posude
7. Crtež pumpne stanice
8. Diskusiju rezultata, te zaključke.

Rezultate proračuna prikazati odgovarajućim tablicama, dijagramima i slikama.

U radu treba navesti literaturu i eventualno dobivenu pomoć tijekom izrade.

Zadatak zadan:

11. prosinca 2009.

Zadatak zadao:

Ivo Džijan

Doc. dr. sc. Ivo Džijan

Rok predaje rada:

Prosinac 2010.

Predsjednik Povjerenstva:

Dubravko Majetić
 Prof. dr. sc. Dubravko Majetić

Referada za diplomske i završne ispite

Obrazac DS - 3B/PDS - 3B

SAŽETAK :

Ovim radom predstavljen je projekt izgradnje vodospreme. Predstavljen je stacionarni i nestacionarni proračun vodovoda, odabir pumpe, te je projektirana zaštita kod isključivanja pumpe iz rada.

Vodosprema se koristi na za vrijeme skuplje tarife električne energije, a tijekom jeftinije u nju se dobavlja voda, uz to napravljena je analiza isplativosti gradnje vodospreme.

Za zaštitu od hidrauličkog udara kod isključivanja pumpe predviđen je tlačni spremnik iz kojeg se nadoknađuje protok i smanjuje utjecaj hidrauličkog udara.

Izjavljujem da sam ovaj završni rad izradio samostalno, svojim znanjem te uz pomoć navedene literature.

Zahvala:

Zahvaljujem, doc.dr.sc. Ivi Džijanu što je prihvatio voditi me kroz ovaj rad, dr.sc.Mariju Šavaru na savjetima i pomoći tijekom izrade ovog rada.

Također zahvaljujem svima ostalima koji su mi pomogli tijekom rada savjetima i dobronamjernim primjedbama, te posebno svojim roditeljima i sestri na podršci i strpljenju.

SADRŽAJ:

POPIS SLIKA , DIJAGRAMA I TABLICA:	5
OZNAKE:	7
1. UVOD.....	8
1.1. TEORIJSKE ZAKONITOSTI	8
1.1.1. STACIONARNO STRUJANJE	8
1.1.2. NESTACIONARNO STRUJANJE	10
2. POČETNI UVIJETI	12
2.1 POTROŠNJA VODE TIJEKOM DANA	12
2.2. VELIČINA VODOSPREME I POTREBNI PROTOCI	15
2.3 PODACI O CJEVOVODU I FLUIDU.....	17
3. STACIONARNO STRUJANJE.....	20
3.1. PRVI SLUČAK	21
3.1.1. ODABIR PUMPE	22
3.2. DRUGI SLUČAJ.....	29
4. NESTACIONARNO STANJE – HIDRAULIČKI UDAR	30
4.1. SUSTAV BEZ ZAŠTITE	30
4.2. ODABIR TLAČNE POSUDE	36
4.3. SUSTAV SA ZAŠTITOM OD HIDRAULIČKOG UDARA	40
5. EKONOMSKA ANALIZA.....	46
6. PREDSTAVLJANJE ODABRANIH UREĐAJA.....	52
6.1 PUMPE	52
6.2 TLAČNA POSUDA.....	52
6.3 GENERATOR	52
6.4 VODOSPREMA	52
ZAKLJUČAK	55
LITERATURA:	56

POPIS SLIKA , DIJAGRAMA I TABLICA:

slika 1.1 – cijev oštećena hidrauličkim udarom	10
tablica 1.2 – različiti načini zaštite od hidrauličnog udara.....	11
slika 2.1 – prikaz dnevne potrošnje vode.....	12
dijagram 2.1 – prikaz dnevne potrošnje vode jedne osobe.....	13
dijagram 2.2 – prikaz dnevne potrošnje vode 25000 stanovnika.....	13
tablica 2.1 - potrošnja vode po satu.....	15
tablica 2.2 – preporučene brzine vode u vodovodnim cijevima	17
tablica 2.3 – karakteristike PEHD cijevi	18
tablica 2.4 – ulazni podaci za Pipeline program.....	19
slika 3.1 – model iz Pipeline programu.....	20
slika 3.2 – rezultati dobiveni u Pipeline programu.....	21
slika 3.3 – odnos serijskog i paralelnog spoja pumpi.....	22
tablica 3.1 – odabir pumpe (mehanička i ekonomska analiza).....	23
slika 3.4 – podaci iz kataloga.....	24
slika 3.5 – karakteristike pumpe dobivene od proizvođača	25
dijagram 3.1 - karakteristike pumpe dobivene od proizvođača.....	26
slika 3.6 – vanjske mjere pumpe.....	27
dijagram 3.2 – karakteristika pumpe.....	28
slika 3.7 - rezultati dobiveni nakon simulacije.....	29
Slika 4.1 – ulazni panel Hudar programa.....	30
tablica 4.1 – podaci iz datoteke Output .dat.....	34
dijagram 4.1 – anvelopa tlakova.....	34
diagram 4.2 – vrijednost tlakova u čvorovima 3,10 i 22	35
slika 4.2 – odabrani raspored naprezanja.....	37
slika 4.3 – tlak i naprezanje u uzdužnom smjeru.....	37
slika 4.4 – tlak i naprezanje u poprečnom smjeru.....	39
slika 4.5 – ulazni panel s vrijednostima za spremnik.....	40
tablica 4.2 – rezultati iz datoteke Output.dat.....	43
dijagram 4.3 - anvelope tlakova (sa spremnikom).....	43
dijagram 4.4 –vrijednost tlakova u točkama 3,10 i 22 (sa spremnikom).....	44
dijagram 4.5 – protok vode iz i u spremnik.....	45
dijagram 4.6 – volumen zraka u spremniku.....	45

tablica 5.1 – potrošnja bez vodospreme.....	47
tablica 5.2 – potrošnja s vodospremom	48
tablica 5.3 – plan otplate kredita.....	49
tablica 5.4 – plan prihoda i rashoda.....	50
tablica 5.4 – plan toka novca.....	51
prilog 6.2 – crtež tlačne posude.....	53
prilog 6.3 – crtež pumpne stanice.....	54

OZNAKE:

$$\rho = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} - \text{gustoća fluida}$$

$$V = \text{m}^3 - \text{volumen}$$

$$p = \text{Pa} - \text{mehanički tlak}$$

$$\nu = \frac{\text{m}^2}{\text{s}} - \text{koeficijent kinematičke viskoznosti}$$

$$L, d = \text{m} - \text{duljina, promjer cijevi}$$

$$g = \frac{\text{m}}{\text{s}^2} - \text{gravitacijsko ubrzanje}$$

$$k = \text{m} - \text{visina hrapavosti}$$

$$K = \text{Pa} - \text{modul elastičnosti cijevi}$$

$$c = \frac{\text{m}}{\text{s}} - \text{brzina zvuka}$$

$$E = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} - \text{Joungov modul elastičnosti}$$

$$h_p = \text{m} - \text{visina dobave pumpe}$$

$$\lambda = \text{koeficijent otpora trenja}$$

$$\sigma = \frac{\text{N}}{\text{m}^2} - \text{naprezanje}$$

1. UVOD

Potrebno je izgraditi vodospremu na koti 102 [m] iznad rezervoara kako bi se osigurala 24 satna potreba za vodom naselja od 25000 stanovnika. Voda se dobavlja tijekom režima jeftinije električne energija iz obližnjeg jezera te se transportira 12.3 [km] dugim cjevovodom od vodospreme.

1.1. TEORIJSKE ZAKONITOSTI

1.1.1. STACIONARNO STRUJANJE

Za potrebe proračuna potrebno je koristiti i matematički model, tj. sve one jednadžbe i zakonitosti koji su primjenjivi na ovaj slučaj.

Za stacionarno strujanje vrijede slijedeći izrazi:

Suma protoka kroz jedan čvor mora biti jednaka nuli, tj. onoliki protok koliki ulazi u čvor mora i napustiti taj čvor.

$$\sum_{k=1}^{NI} Q_k - Q_N = 0$$

Za svaki element pad tlaka računa se pomoću Darcy-Weissbach obrasca

$$h_p = \frac{\Delta p}{\rho g} = \lambda \frac{Lv^2}{D2g} = \lambda \frac{8LQ^2}{\pi^2 D^5 g}$$

λ - faktor trenja koji se određuje eksperimentalno, a u općem slučaju je funkcija relativne hrapavosti i Reynoldsova broja.

Za laminarno strujanje $Re < 2300$

$$\lambda = \frac{Re}{64}$$

Za turbulentno strujanje prema Colebrook – White- ovoj formuli

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -0.86859 \ln \left(0.2698 \frac{k}{D} + \frac{2.5119}{\text{Re} \sqrt{\lambda}} \right)$$

Potrebne podatke možemo naći u Moodyjevom dijagramu.

Model sustava dobijemo tako da za svaki čvor postavimo sumu protoka, a za svaki element pad tlaka prema Darcy-Weissbachu.

Pri tome dobijemo nepoznanice :

- piezometrarsku visinu (h_N) za svaki čvor
- protak (Q_M) kroz svaki element

Postoje različite metode rješavanja:

- direktno rješavanje sustava jednažbi
- metoda čvorova
- metoda Hardy-Crossa

Postupak rješavanja metodom Hardy-Crossa :

- postavljanje smjerova strujanja
- postavljanje inicijalnih protoka
- definiranje petlji
- iterativna korekcija protoka
- prestanak iterativnog postupka kod postignute točnosti

Program PipeLine računa prema Hardy-Cross metodi, te izvršava gore navedeni postupak.

1.1.2. NESTACIONARNO STRUJANJE

Analiza rada cjevovodne mreže temeljene na modelu stacionarnog strujanja fluida ne daje sliku o događajima u mreži pri njezinu puštanju u rad ili pri zaustavljanju rada. Proračun nestacionarnog strujanja daje nam uvid u promjene koje se događaju tijekom puštanja mreže u rad i njenog isključivanja.

Hidraulički udar je najčešći i najteži problem strujanja fluida u radu cjevovodnih mreža. Pod tim pojmom podrazumijeva se nagla i značajna promjena tlaka uslijed promjene brzine vode na jednom kraju. Veliki pritisak generiran tijekom hidrauličkog udara može dovesti do katastrofalnih kvarova skupih komponenata kao što su pumpe, turbine, ventili itd.



slika 1.1 – cijev oštećena hidrauličkim udarom

Dominantan je utjecaj sila inercije i sila elastičnosti. Brzine širenja promjene tlaka u tlačnom cjevovodu vrlo su velike, za čelične cjevovode reda veličine 1000 m/s. Prirast tlaka uslijed udara može dosegnuti nekoliko desetaka bara. Izraženost efekta hidrauličkog udara ovisi o protoku kroz cjevovod, duljini cjevovoda, njegovim elastičnim svojstvima, dimenzijama cjevovoda i vremenu u kojem je zatvoren zatvarač (ugašena pumpa).

Pri izučavanju pojave hidrauličkog udara temeljni i pionirski doprinos dali su u svojim radovima N.E. Žukovski (1899) i L. Allievi (1925). Po formuli Žukovskog, pri trenutnom potpunom zatvaranju, prirast tlaka na zatvaraču će doseći vrijednost $\Delta p = \rho v_0 \cdot a$, pri

čemu je v_0 - brzina u tlačnom cjevovodu prije zaustavljanja toka, a a -brzina širenja elastičnih poremećaja.

Zbog toga se nameće potreba analize nestacionarnog strujanja u cijevnim mrežama radi određivanja maksimalnog tlaka pri hidrauličkom udaru. Ako taj tlak bude veći od dopuštenog treba definirati način zaštite mreže od hidrauličkog udara.

Metoda zaštite od hidrauličkog udara ovisi o sustavu koji je potrebno štititi, a naravno treba misliti i o ekonomskoj strani.

Method of Protection (In approximate order of increasing cost)	Required range of variables	Remarks
Inertia of pump	$\frac{MN^2}{\omega \Delta H_0} > 0.01$	Approximate only
Pump bypass reflux valve	$\frac{av_0}{gh_0} \gg 1$	Some water may also be drawn through pump
In-line reflux valve	$\frac{av_0}{gh} > 1$	Normally used in conjunction with some other method of protection. Water column separation possible
Surge tank	h small	Pipeline should be near hydraulic grade line so height of tank is practical
Automatic release valve	$\frac{av_0}{gh_0} \ll 1$ $\frac{2L}{a} > 5$ secs	Pipeline profile should be convex downwards. Water column separation likely
Discharge tanks	$\frac{av_0}{gh} > 1$	h = pressure head at tank. Pipeline profile should be convex upwards
Air vessel	$\frac{av_0}{gh_0} < 1$	Pipeline profile preferably convex downwards

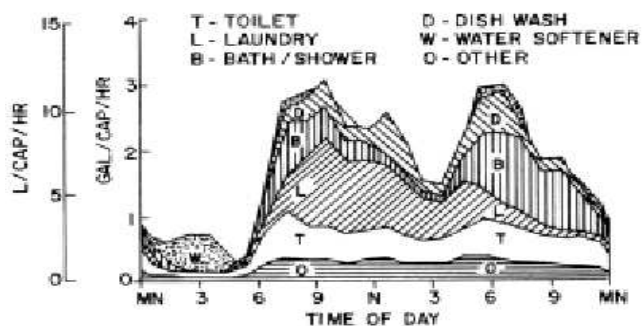
tablica 1.2 – različiti načini zaštite od hidrauličkog udara

2. POČETNI UVIJETI

2.1 POTROŠNJA VODE TIJEKOM DANA

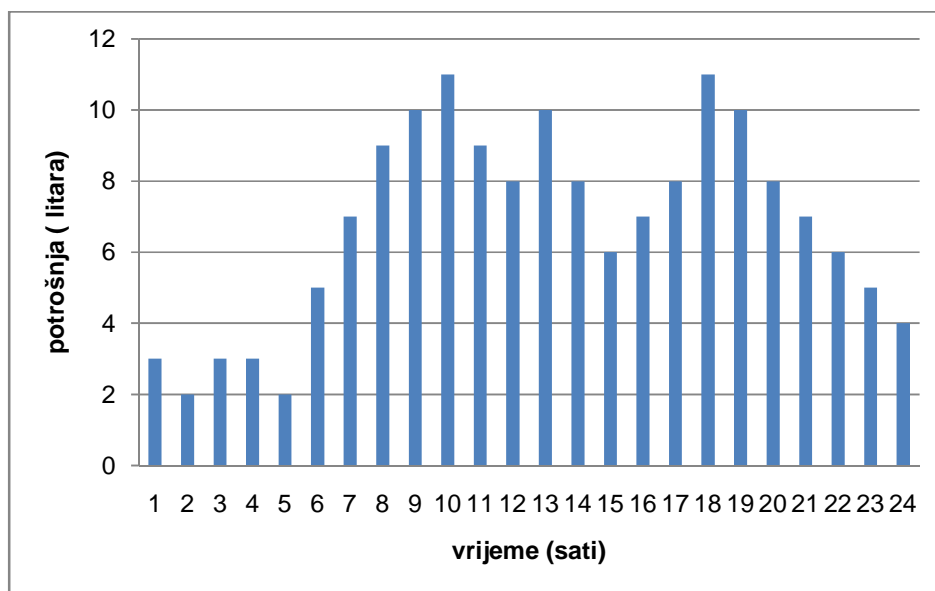
Prema različitim istraživanjima postoje i različite vrijednosti dnevne potrošnje vode po stanovniku. Po istraživanjima američke agencije za očuvanje okoliša jednočlano domaćinstvo troši dnevno oko 160 litara vode po stanovniku.

Slika 2.1 prikazuje raspored potrošnje raspodijeljeno po satima i ovisno o mjestu gdje je potrošena voda (različito šrafirano).



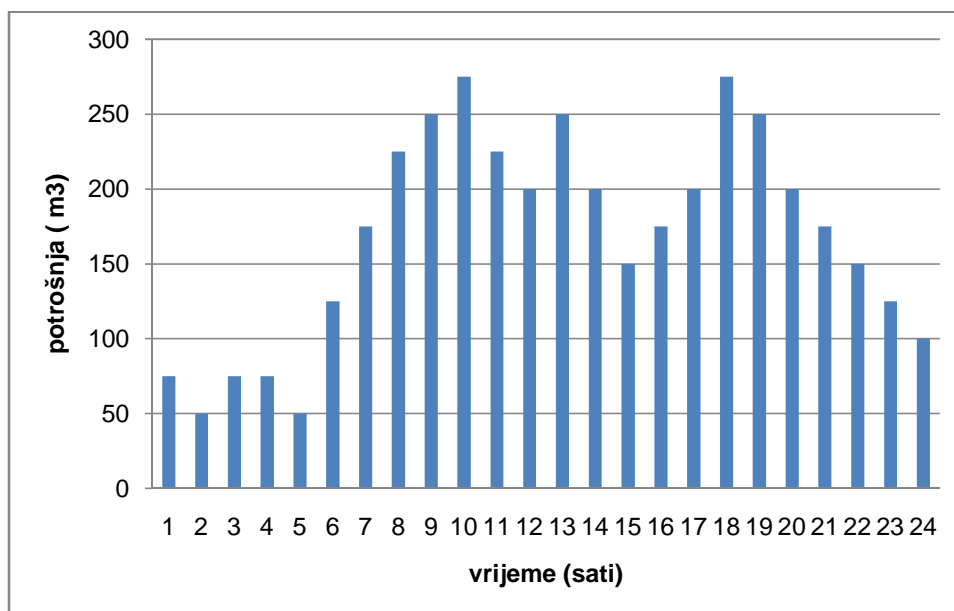
slika 2.1 – prikaz dnevne potrošnje vode

Dijagram 2.1 prikazuje potrošnju vode tijekom jednog dana za jednog člana kućanstva .



dijagram 2.1 – prikaz dnevne potrošnje vode jedne osobe

Dijagram 2.2 prikazuje potrošnju vode tijekom jednog dana za 25000 stanovnika.



dijagram 2.2 – prikaz dnevne potrošnje vode 25000 stanovnika

Iz dijagrama 2.1 se vidi da je potrošnja za jednu osobu maksimalna u 10 i 18 sati, a jednaka je 11 l/h (odnosno $0.011 \text{ m}^3/\text{h}$). Iz dijagrama 2.2 je vidljivo da je za 25000 stanovnika maksimalni potrební protok $275 \text{ m}^3/\text{h}$ odnosno $0,076 \text{ m}^3/\text{s}$ (76 l/s).

Iz tih podataka se može izračunati da je ukupna dnevna potrošnja za jednog stanovnika 162 litre ($0,162 \text{ m}^3$), a za 25000 stanovnika dnevno treba 4050000 litara (4050 m^3).

2.2. VELIČINA VODOSPREME I POTREBNI PROTOCI

Potrebe koje nameće zadatak su da vodosprema treba zadovoljavati potrebe za vodom tijekom režima skuplje električne energije, te 24 satnu rezervu vode.

Raspored dnevnih tarifa :

- zimsko računanje vremena: VT od 07-21 sat, NT od 21-07 sati
- ljetno računanje vremena: VT od 08-22 sata, NT od 22-08 sati;

Iz rasporeda tarifa se može vidjeti da je 14 sati skuplje tarife, a 10 sati jeftinije tarife.

sat	m3/h
1	75
2	50
3	75
4	75
5	50
6	125
7	175
8	225
9	250
10	275
11	225
12	200
13	250
14	200
15	150
16	175
17	200
18	275
19	250
20	200
21	175
22	150
23	125
24	100

tablica 2.1 - potrošnja vode po satu

Iz tablice 2.2. se može zbrojiti da se tijekom režima skuplje električne energije potroši 3050 m³ vode, a tijekom režima jeftinije električne energije potroši 1000 m³.

U zadatku je zadano da je potrebno transportirati vodu do vodospreme sam tijekom režima jeftinije električne energije, pa se može izvesti zaključak da tijekom 10 sati režima jeftinije energije treba transportirati cijelu dnevnu potrošnju.

Jednostavnim računom :

$$Q_{1h} = \frac{4050}{10}$$

$$Q_{1h} = 405 \text{ [m}^3\text{/h]}$$

U tablici 2.2 može se uočiti da ni u jednom satu tijekom režima jeftinije električne energije nema potrebnog protoka većeg od 405 [m³/h] pa se može zaključiti, da ako se cijelo vrijeme tijekom režima jeftine električne energije transportira protok od 405 [m³/h], zadovoljit će se potrebe stanovništva, a ostatak će ispuniti vodospremu potrebnu za dnevne potrebe.

U zadatku je zadano da veličina vodospreme mora biti dovoljna da može sadržavati 24 satnu rezervu vode. Stoga ako je režim skuplje struje potrebno 3050 [m³], a za 24 satnu rezervu 4050 [m³], spremnik će morati imati volumen od minimalno 7100 [m³].

2.3 PODACI O CJEVOVODU I FLUIDU

Različite cjevovodi imaju različite potrebne brzine strujanja fluida u njima. Tablica 2.1 prikazuje potrebne i propisane brzine.

VRSTA VODA	Brzina vode u [m/s]
Kućni priključci	1.0 – 2.5
Razvodni vodovi	1.0 – 2.0
Vertikale	1.0 – 2.0
Grane i ogranci	1.0 – 2.5
Vertikale i grane u bolnicama, hotelima i sl.	0.5 – 0.7
Topla voda-cirkulacijski vodovi	0.2 – 0.4

tablica 2.2 – preporučene brzine vode u vodovodnim cijevima

Za svoje ću vodove uzeti kao potrebnu brzinu 1.5 [m/s] (sredina između 1 i 2 [m/s]). Tijekom proračuna pomoću programa dobiti ću vrijednost brzine koja približna toj vrijednosti.

Prema formuli :

$$Q = A \cdot w \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

slijedi:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{w \cdot \pi}} [m]$$

$$d = 0.309[m]$$

Prema dobivenoj vrijednosti biram standardnu vrijednost PEHD cijevi od 450 [mm] (gustoće 74.4 [kg/m], debljine stjenke 61.5 [mm], pa slijedi unutarnji promjer 327 [mm])

Za izradu vodova upotrebljavaju se razne vrste cijevi. Izabrao sam PEHD cijevi i s njima ću vršiti proračun. Izrađene su od polietilena visoke kakvoće.

PEHD cijevi imaju karakteristike:

SVOJSTVO	STANDARD	JED. MJERE	VRIJEDNOST	
			PE 80	PE 100
Gustoća	ISO 1183	kg/m ³	930 - 950	> 950
Maseni protok taline MFR 190/5	ISO 1133	g/10min	0,4 - 1,3	0,2 - 0,5
Čvrstoća	ISO 527	N/mm ²	> 18	> 23
Modul elastičnosti	ISO 527	N/mm ²	> 600	> 1000
Toplinska rastezljivost	ASTM D696	K ⁻¹	(1,3 - 2) x 10 ⁻⁴	(1,3 - 2) x 10 ⁻⁴
Toplinska provodljivost 20°C	DIN 52 612	W/mK	0,4	0,4
Površinski el. otpor	DIN 53 482	Ω	> 10 ¹³	> 10 ¹³

tablica 2.3 – karakteristike PEHD cijevi

Osim promjera cijevi za proračun su potrebe i karakteristike fluida (vode).

- Gustoća vode : $998.2 \text{ [kg/m}^3\text{]}$
- Kinematička viskoznost: $1.004 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^2\text{/s]}$
- Dinamička viskoznost: $1.002 \cdot 10^{-3} \text{ [Pa/s]}$
- Volumni modul elastičnosti vode: $2.22774 \cdot 10^9 \text{ [Pa]}$

Prema zadanim podacima radim model u Pipeline programu. Najprije formiram tablicu u kojoj upisujem podatke za pojedini element (tlakove, visine , potrošnje, duljine vodova) , tablica 2.4

ČVOR	ELEMENT	TLAK [Pa]	POTROŠNJA [l/s]	VISINA [m]	DULJINA [m]
1		101300	0		
	7 - cijev				
2					
	1 - ventil				
3					
	2 - pumpa				
4					
	3 - zaklopka				
5					
	4 - ventil				
6					
	5 - cijev				12300
7				102	
	6 - ventil				
8	8 - potrošač		76	102	

tablica 2.4 – ulazni podaci za Pipeline program

Umjesto karakteristike pumpe stavio sam 0, a na broj pumpi 1. Kasnije ću koristiti broj pumpi ovisno o optimalnom rješenju.

3. STACIONARNO STRUJANJE

Uzevši podatke iz tablice 2.4, može se u Pipeline programu napraviti model kojeg će program proračunati. Slika 3.1 prikazuje model za ovaj specifičan zadatak.



slika 3.1 – model iz Pipeline programu

Zbog nepoznavanja karakteristike pumpe kako sam već naveo prethodno, provest ću dva proračuna.

Prvi će biti slučaj bez karakteristike pumpe i iz njega očekujem da ću dobiti podatke prema kojima ću moći u katalogu pronaći pumpu koja bi odgovarala.

Drugi će slučaj biti provjera za realni slučaj s odabranom pumpom i njenom karakteristikom.

3.1. PRVI SLUČAK

Nakon što je program izvršio proračun dobio sam slijedeće rezultate:

NAZIV ELEMENTA	ELEM.	OD	DO	DULJINA	PROMJER	PROTOK	BRZINA	GUBITAK
	BROJ			m	mm	l/s	m/s	m
	1	2	3		327.0	112.50	1.34	0.09*
	2	3	4		327.0	112.50	1.34	0.00*
	3	4	5		327.0	112.50	1.34	0.09*
	5	5	6		327.0	112.50	1.34	0.09*
	6	6	7	12300.00	327.0	112.50	1.34	63.83
	7	7	8		327.0	112.50	1.34	0.09*
	8	1	2	3.00	327.0	112.50	1.34	0.02

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
	1*	10.35	0.00	10.35	1.01	-112.50
	2	10.33	0.00	10.33	1.01	
	3	10.24	0.00	10.24	1.00	
	4	10.24	0.00	10.24	1.00	
	5	10.15	0.00	10.15	0.99	
	6	10.06	0.00	10.06	0.98	
	7	-53.78	102.00	-155.78	-15.25	
	8*	-53.87	102.00	-155.87	-15.26	112.50

slika 3.2 – rezultati dobiveni u Pipeline programu

Iz rezultata se može vidjeti da je brzina strujanja 1.34 [m/s] što odgovara potrebnim brzinama poznatima iz prakse (trebalo bi biti 1 – 2 [m/s]). Tlakove koji se javljaju također je potrebno provjeriti, a iz rezultata je vidljivo da nema velikih promjena i to je u redu. Također je iz rezultata vidljivo da je za potrebna dobavu vode na 102 [m] potrebna određena visina (snaga) pumpe.

$$1 \text{ [bar]} \approx 10 \text{ [m]}$$

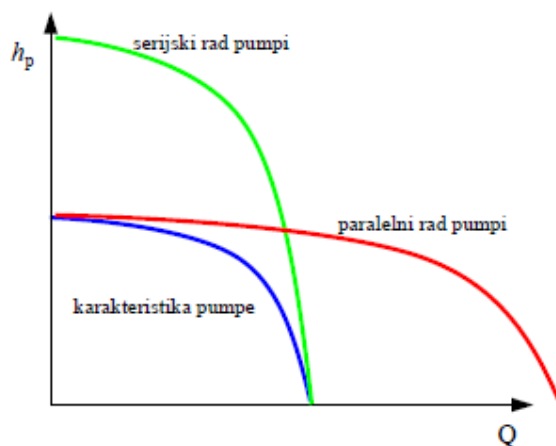
$$H_p = 155.87 + 10 \approx 166 \text{ [m]}$$

Sada kada znam potrebnu visinu pumpe od 166 [m] i potreban protok 405 [m³/h] (112.5 [l/s]) mogu iz kataloga pronaći pumpu koja će zadovoljiti te uvjete.

3.1.1. ODABIR PUMPE

Prema potrebnih 166[m] visine dobave pumpe i potrebnom protoku od 405 [m³/h] tražio sam na internetu i u katalozima pumpu koja bi zadovoljila tražene uvjete.

Odlučio sam da ću koristiti više od jedne pumpe kako bi se u slučaju kvara samo smanjio protok na kratko. Dodat ću i dodatne pumpe da bi u slučaju kvara mogao njih koristiti.



slika 3.3 – odnos serijskog i paralelnog spoja pumpi

U praksi se često radi s paralelno ili serijski spojenim pumpama. U paralelnom radu jednakih pumpi visina dobave je zajednička za sve pumpe, a ukupni protok je jednak zbroju protoka kroz sve pumpe.

Slika 3.3 prikazuje karakteristiku jedne pumpe (plava krivulja), te karakteristike serijskog rada (zelena krivulja) i paralelnog rada (crvena krivulja) dviju takvih pumpi.

Kako bi optimalno odabrali pumpu potrebno je osim samog mehaničkog dijela promotriti i ekonomsku stranu.

Iz Grundfosovog kataloga izabrao sam četiri pumpe koje odgovaraju mehaničkim (hidrauličkim) zahtjevima. Sljedeća tablica 3.1 ih prikazuje.

pumpa	CV-125	CV-150	CV-300	CR-120
el.snaga[kW]	75	90	132	75
masa [kg]	1070	1560	2230	771
protok	101,5	135	202,5	101,5
hp	166	166	166	166
br.pumpi	4	3	2	4
br. dodatnih pumpi	2	2	2	2
η - pompe	0,732	0,693	0,741	0,713
η - motora	0,93	0,94	0,95	0,952
ukupni η (jedna pumpa)	0,681	0,651	0,704	0,679
pojedinačna cijena[€]	15000	18000	26400	15000
cijena dodatnih pumpi	30000	36000	52800	30000
ukupa cijena svih pumpi	90000	90000	105600	90000
Snaga Ph[W]	45830,88	60957,33	91435,99	45830,88
Snaga Ph[kW]	45,83	60,96	91,44	45,83
Snaga ukupna [kW]	269,29	280,73	259,78	270,08
Potrošnja[kWh]				
za 1 dan	2692,92	2807,28	2597,80	2700,80
za 1 godinu	982917,41	1024658,06	948196,25	985790,39
za 20 godina	19658348,24	20493161,16	18963925,05	19715807,79
Cijena el. Energ.				
jeftinija[€/kWh]	0,054			
Cijena [€]				
za 1 dan	145,42	151,59	140,28	145,84
za 1 godinu	53077,54	55331,54	51202,60	53232,68
za 20 godina	1061550,81	1106630,70	1024051,95	1064653,62
Cijena pumpe i energije	1151550,81	1196630,70	1129651,95	1154653,62

tablica 3.1 – odabir pumpe (mehanička i ekonomska analiza)

Prema tablici 3.1 biram pumpu Grundfos CV 300-40.

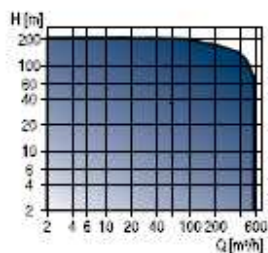
Pumpa je jednostupanjska ili višestupanjska centrifugalna s mogućnošću instaliranja u cjevovod ili u betonski temelj. Nije samousisna.

Koristiti ću dvije takve pumpe u paralelnom radu da bi zadovoljio zahtjeve za protokom od 405 [m³/h], da bih osigurao sustav od kvara predvidio sam još dvije pumpe koje će biti spremne da se uključe u slučaju kvara jedne ili obje crpke.



CV, CPV, CPH

Višestupanjske centrifugalne crpke



Tehnički podaci

Protok, Q:	max. 560 m ³ /h
Visina, H:	max. 200 m
Temp. medija:	-15 °C do +120 °C
Radni tlak:	max. 20 bara

Primjena

- Crpke su pogodne za dizanje tekućina u
- uređajima za pranje
 - rashladnim i klimatizacijskim sustavima
 - sustavima za opskrbu vodom
 - sustavima za obradu vode
 - protupožarnoj zaštiti
 - industrijskim pogonima
 - punjenju kotlova.

Karakteristike i prednosti

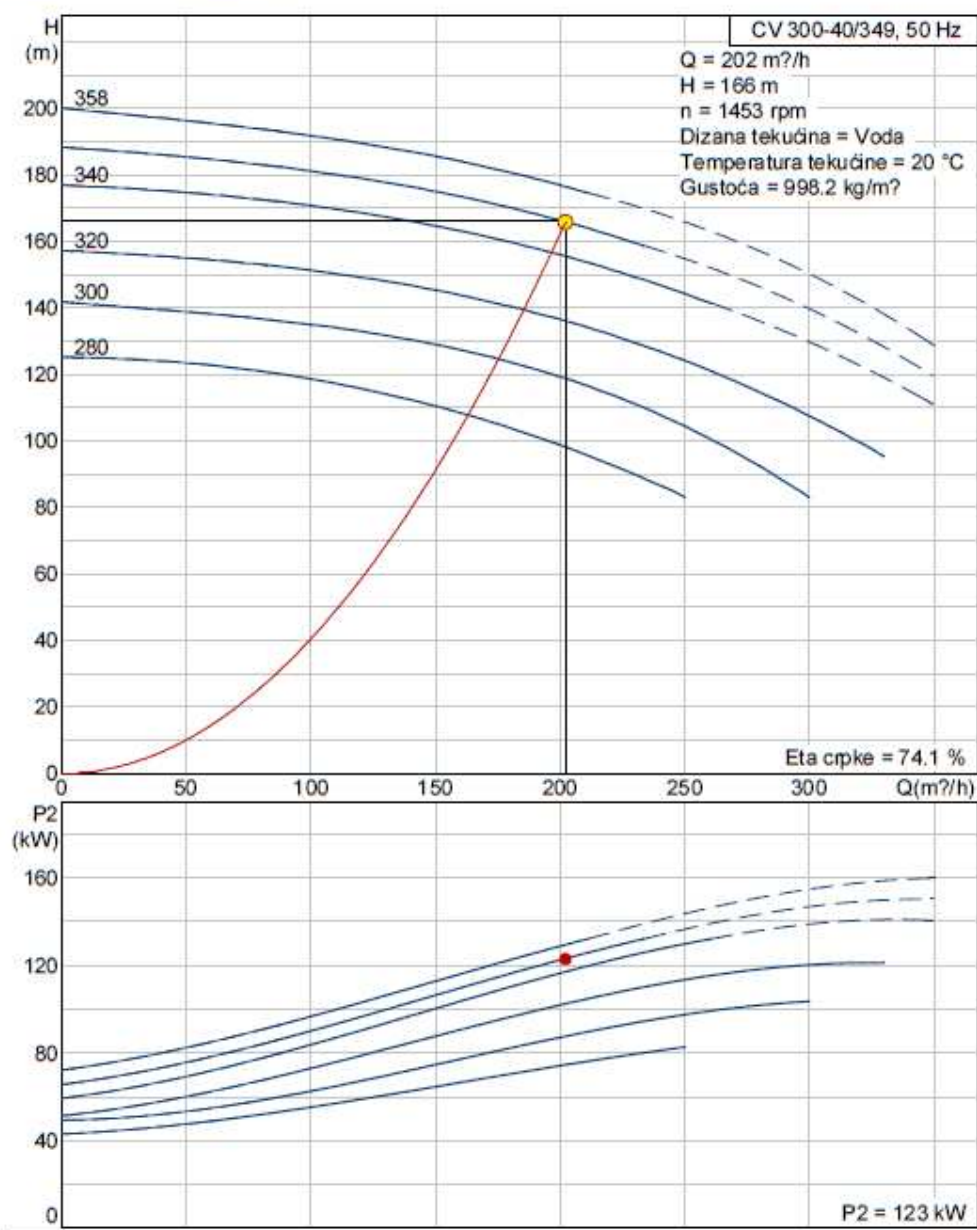
- niska brzina (4-polni motori)
- izdržljivost - teški uvjeti rada
- niska razina buke
- vertikalno i horizontalno instaliranje.

slika 3.4 – podaci iz kataloga

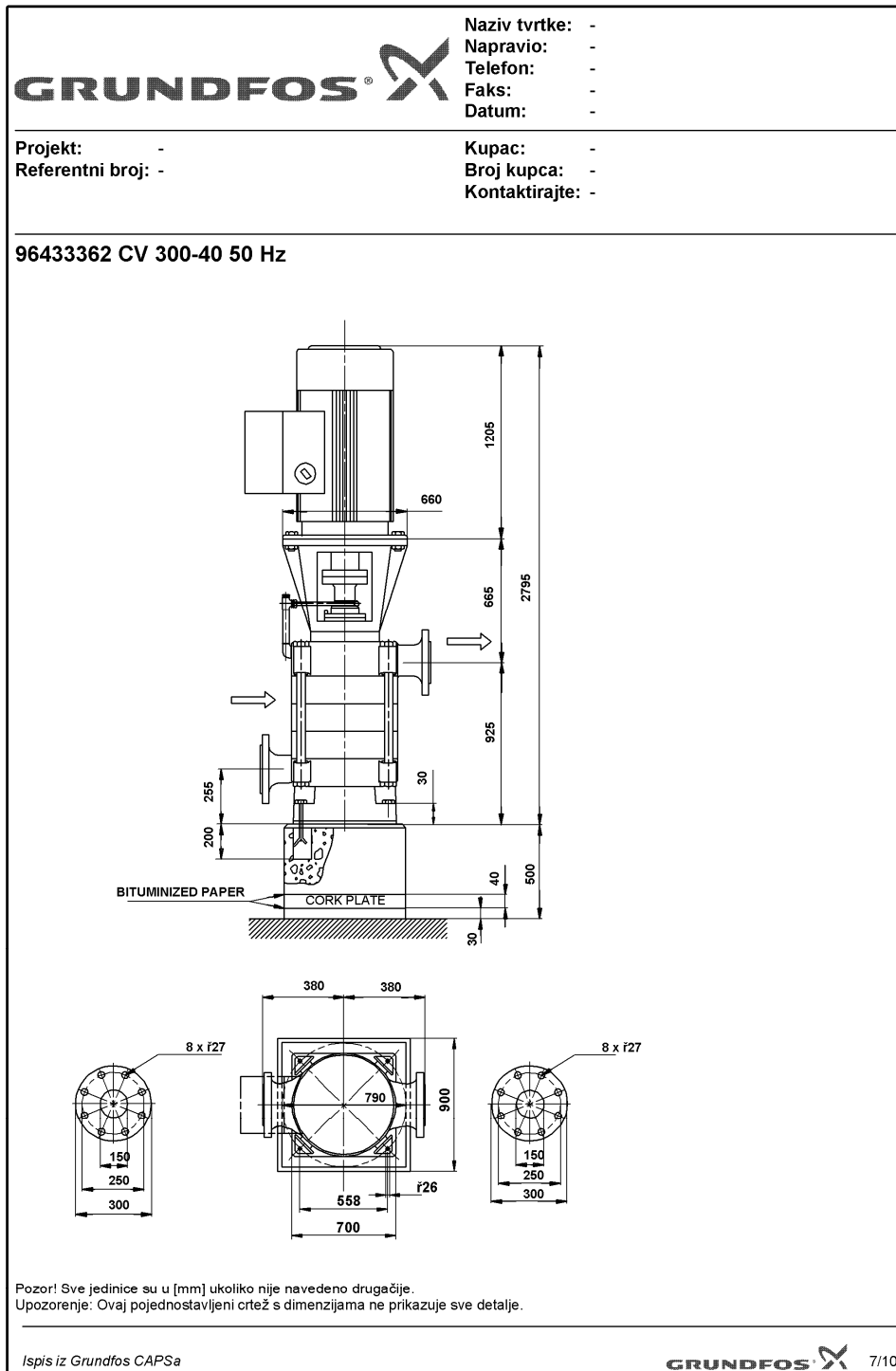
Opis	Vrijednost
Ime proizvoda::	CV 300-40 -A DAQE
Proizvodni br.::	96433362
EAN broj::	5700393581869
Technical:	
Speed for pump data:	1450 rpm
Stvarno izračunani protok:	208 m ³ /h
Postignuta visina dizanja crpke:	175 m
Brtva vratila:	DAQE
Tolerancija krivulje:	ISO 9906 Annex A
Stupnjevi:	4
Materijali:	
Kućište crpke:	Lijeivano željezo EN-JL1040
Impeler:	Lijeivano željezo EN-JL1040
Kôd za materijal:	A
Installation:	
Maksimalna temperatura okoline:	40 °C
Maksimalni radni tlak:	20 bar
Standardna prirubnica:	DIN
Ulaz crpke:	DN 150
Izlaz crpke:	DN 150
Tlačna faza:	PN 40
Liquid:	
Liquid temperature range:	-15 .. 120 °C
Temp. tekućine:	20 °C
Gustoća:	998.2 kg/m ³
Electrical data:	
Tip motora:	MMG 315M
Broj polova:	4
Potrebna snaga - P2:	132 kW
Frekvencija struje:	50 Hz
Potrebni napon:	3 x 380-415 V
Metoda startanja:	zvijezda/trokut
Nazivna struja:	234 A
Starting current:	590 %
cos fi - faktor snage:	0,89
Nazivna brzina:	1487 rpm
Efikasnost motora uz puno opterećenje:	95,0 %
Klasa zaštite (IEC 34-5):	55
Klasa izolacije (IEC 85):	F
Others:	
Neto masa:	2230 kg

slika 3.5 – karakteristike pumpe dobivene od proizvođača

96433362 CV 300-40 50 Hz

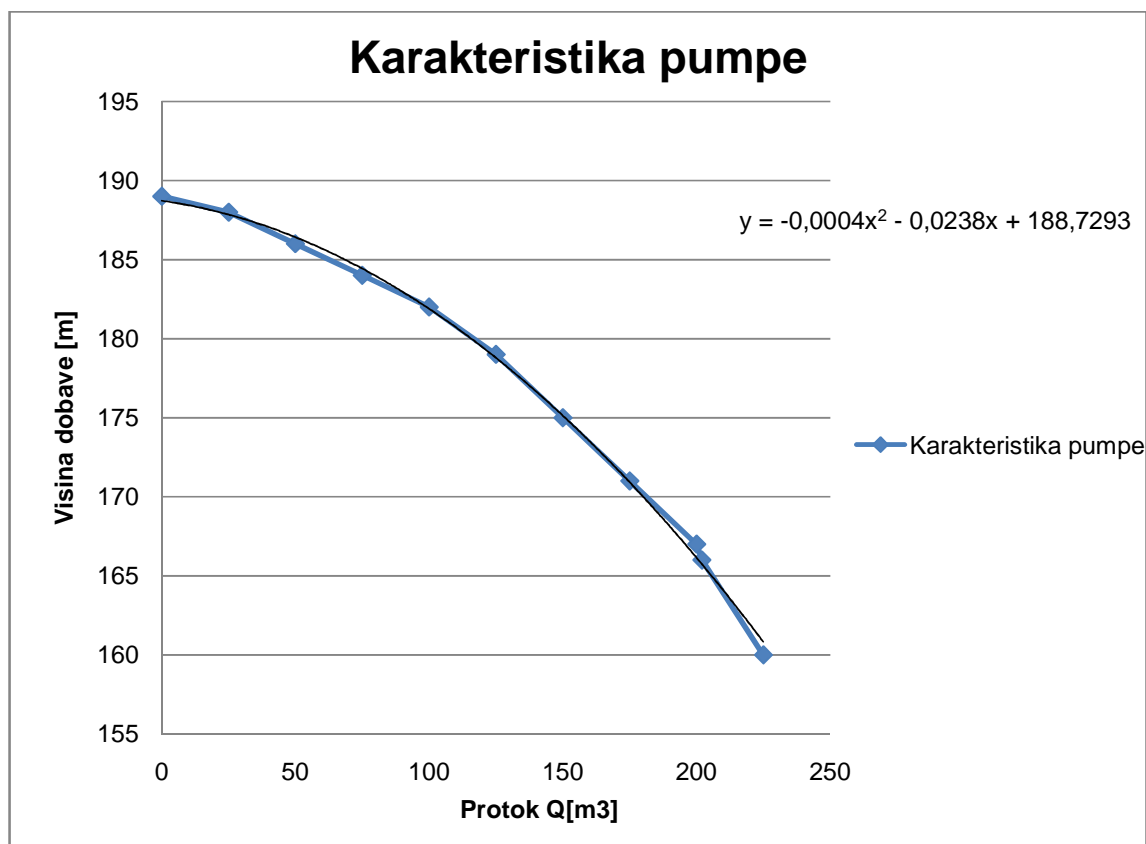


dijagram 3.1 - karakteristike pumpe dobivene od proizvođača



slika 3.6 – vanjske mjere pumpe

Dijagram 3.2 predstavlja karakteristiku pumpe na kojoj sam označio točke kako bi dobio jednadžbu krivulje koja opisuje tu karakteristiku.



dijagram 3.2 – karakteristika pumpe

Jednadžba $y = -0.0004x^2 - 0.0238x + 188.7293$ predstavlja jednadžbu visine dobave pumpe.

$$H_p = -0.0004q^2 - 0.0238q + 188.7293$$

3.2. DRUGI SLUČAJ

Sada kada sam dobio karakteristiku pumpe, vraćam se ponovno u Pipeline i ponovno pokrećem simulaciju, ali ovaj puta sam uvrstio vrijednosti dobivene za pumpu.

	ELEM.	OD	DO	DULJINA	PROMJER	PROTOK	BRZINA	GUBITAK
NAZIV ELEMENTA	BROJ			m	mm	l/s	m/s	m
	1	2	3		327.0	112.50	1.34	0.09*
	2	3	4		327.0	112.50	1.34	186.19*
	3	4	5		327.0	112.50	1.34	0.09*
	5	5	6		327.0	112.50	1.34	0.09*
	6	6	7	12300.00	327.0	112.50	1.34	63.83
	7	7	8		327.0	112.50	1.34	0.09*
	8	1	2	3.00	327.0	112.50	1.34	0.02

PIEZOMETRICKE VISINE ,GEODETSKE VISINE, TLAKOVI I POTROSNJE PO CVOROVIMA						
	CVOR	H	Zg	H-Zg	p	POTROSNJA
NAZIV CVORA	BROJ	m	m	m	bar	l/s
	1*	10.35	0.00	10.35	1.01	-112.50
	2	10.33	0.00	10.33	1.01	
	3	10.24	0.00	10.24	1.00	
	4	196.43	0.00	196.43	19.23	
	5	196.34	0.00	196.34	19.22	
	6	196.25	0.00	196.25	19.21	
	7	132.41	102.00	30.41	2.98	
	8*	132.32	102.00	30.32	2.97	112.50

slika 3.7 - rezultati dobiveni nakon simulacije

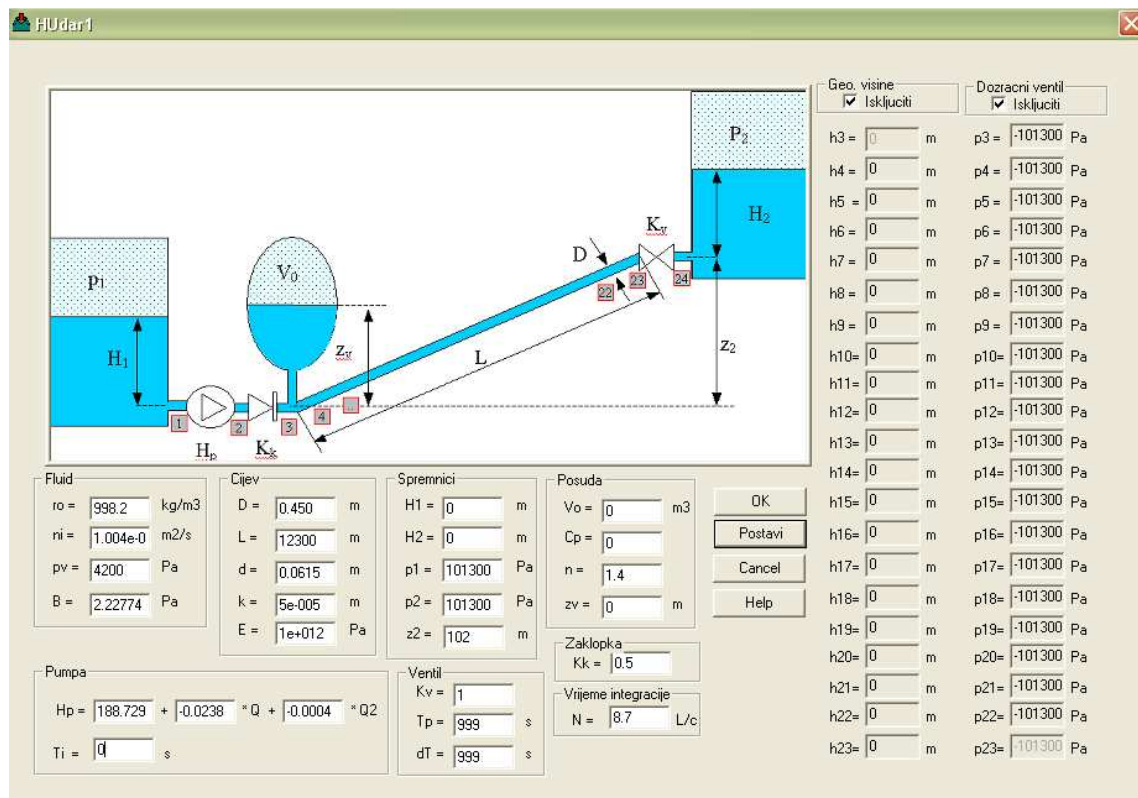
4. NESTACIONARNO STANJE – HIDRAULIČKI UDAR

4.1. SUSTAV BEZ ZAŠTITE

Za proračun nestacionarnog strujanja koristio sam program Hudar. Njime se može vidjeti prijelazne pojave koje se događaju kod isključivanja pumpe iz rada, ili kod kvara ("ispada pumpe iz rada").

Slika 4.1 prikazuje ulazni panel u kojem upisujem podatke o sustavu. Koristiti ću sustav bez dozračnog ventila. Tako da u panelu isključujem tu opciju.

Upisujem sve poznate podatke, a za vrijednosti posude ostavljam nule što znači da posude nema u sustavu. Pumpa se isključuje u nultom trenutku jer sam tako podesio.



Slika 4.1 – ulazni panel Hudar programa

Nakon što stisnemo tipku OK, program napravi proračun te spremi rezultate u datoteke. Jedna od najvažnijih je Output.dat.

Kada ju otvorimo možemo vidjeti važne podatke o ponašanju sustava.

Tablica koja slijedi prikazuje rezultate iz datoteke Output.dat.

.... FIZIKALNA SVOJSTVA FLUIDA PRI RADNOJ TEMPERATURI

GUSTOĆA FLUIDA $\rho = 998.2 \text{ kg/m}^3$
 KOEFICIJENT KINEMATSKJE VISKOZNOSTI $\nu = 1.004E-06 \text{ m}^2/\text{s}$
 TLAK ISPARAVANJA $P_{VA} = 4200.0 \text{ Pa}$
 VOLUMNI MODUL ELASTICNOSTI $K = 2.228E+09 \text{ Pa}$

MODUL ELASTICNOSTI MATERIJALA CIJEVI $E = 1.000E+12 \text{ Pa}$

.... PODACI O ELEMENTIMA

ELEM.	BR.	D	L	HR	DELTA	C	KU	TP	TZ	U0	C-POSUDE	N	ZG
		mm	m	mm	mm	m/s	-	s	s	m**3	Pa*m**(3N)	-	m
CIJEV	3	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	4	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	5	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	6	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	7	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	8	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	9	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	10	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	11	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	12	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	13	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	14	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	15	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	16	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	17	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	18	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	19	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	20	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	21	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	22	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
PUMPA	1	450.0						0.0	0.0				
B0=		1.887E+02	B1= -2.380E-02	B2= -4.000E-04	B3= 0.000E+00								
KLAPNA	2	450.0											

.... PODACI O GEODETSKIM VISINAMA

CUOR	ZG	CUOR	ZG	CUOR	ZG	CUOR	ZG
m		m		m		m	
1	0.00	2	0.00	3	0.00	4	5.10
5	10.20	6	15.30	7	20.40	8	25.50
9	30.60	10	35.70	11	40.80	12	45.90
13	51.00	14	56.10	15	61.20	16	66.30
17	71.40	18	76.50	19	81.60	20	86.70
21	91.80	22	96.90	23	102.00	24	102.00

.... ISPIS STACIONARNOG STANJA

EL.	BRZINA	EL.	BRZINA	EL.	BRZINA	EL.	BRZINA
m/s		m/s		m/s		m/s	
1	2.127	2	2.127	3	2.127	4	2.127
5	2.127	6	2.127	7	2.127	8	2.127
9	2.127	10	2.127	11	2.127	12	2.127
13	2.127	14	2.127	15	2.127	16	2.127
17	2.127	18	2.127	19	2.127	20	2.127
21	2.127	22	2.127	23	2.127		

CUOR	H	CUOR	H	CUOR	H	CUOR	H
m		m		m		m	
1	10.35	2	199.07	3	199.07	4	194.75
5	190.42	6	186.10	7	181.77	8	177.45
9	173.12	10	168.80	11	164.47	12	160.15
13	155.82	14	151.50	15	147.18	16	142.85
17	138.53	18	134.20	19	129.88	20	125.55
21	121.23	22	116.90	23	112.58	24	112.35

.... PODACI O GRANICNIM UVJETIMA I STRUKTURI MREZE

GRANICNI UVJETI

2 8 1 1 2 2 3 3 4 1 6 5 22 22 23
23 24

STRUKTURA MREZE

IPMAX= 47
1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8
8 9 9 10 10 11 11 12 12 13 13 14 14 15 15
16 16 17 17 18 18 19 19 20 20 21 21 22 22 23
23 24

**** R E Z U L T A T I

APSOLUTNI TLAK P , bar
BRZINA U , m/s

URIJEME s	P(1) U(1)	P(2) U(2)	P(3) U(-3)	P(4) U(4)	P(6) U(6)	P(8) U(8)	P(10) U(10)	P(13) U(12)	P(16) U(14)	P(18) U(16)	P(21) U(18)	P(22) U(20)	P(23) U(22)	P(24) U(23)
0.00	1.01	19.49	19.49	18.56	16.72	14.87	13.03	10.26	7.49	5.65	2.88	1.96	1.04	1.01
	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13
0.41	1.01	1.01	1.01	18.56	16.72	14.87	13.03	10.26	7.49	5.65	2.88	1.96	1.04	1.01
	0.89	0.89	0.89	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13
0.81	1.01	1.01	1.01	0.59	16.72	14.88	13.03	10.26	7.49	5.65	2.88	1.96	1.04	1.01
	0.89	0.89	0.89	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13
1.22	1.01	1.01	1.01	0.27	16.72	14.88	13.03	10.26	7.50	5.65	2.88	1.96	1.04	1.01
	0.91	0.91	0.91	0.95	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13
1.63	1.01	1.01	1.01	0.26	0.04	14.88	13.03	10.26	7.50	5.65	2.88	1.96	1.04	1.01
	0.91	0.91	0.91	0.88	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13
2.03	1.01	1.01	1.01	0.76	0.04	14.88	13.03	10.26	7.50	5.65	2.88	1.96	1.04	1.01
	0.93	0.93	0.93	0.89	1.01	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13
2.44	1.01	1.01	1.01	0.79	0.04	13.03	10.26	7.50	5.65	2.88	1.96	1.04	1.04	1.01
	0.87	0.87	0.87	0.89	0.97	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13
2.85	1.01	1.01	1.01	0.51	0.04	0.04	13.03	10.27	7.50	5.65	2.88	1.96	1.04	1.01
	0.88	0.88	0.88	0.88	0.93	1.12	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13
3.25	1.01	1.01	1.01	0.80	0.04	0.04	10.27	7.50	5.65	2.88	1.96	1.04	1.04	1.01
	0.86	0.86	0.86	0.84	0.89	1.09	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13
3.66	1.01	1.01	1.01	0.80	0.04	0.04	10.27	7.50	5.65	2.88	1.96	1.04	1.04	1.01
	0.83	0.83	0.83	0.85	0.85	1.04	1.24	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13
4.07	1.01	1.01	1.01	0.50	0.17	0.04	10.27	7.50	5.65	2.88	1.96	1.04	1.04	1.01
	0.81	0.81	0.81	0.82	0.82	1.01	1.22	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13
4.47	1.01	1.01	1.01	0.73	0.28	0.04	0.04	7.50	5.65	2.88	1.96	1.04	1.04	1.01
	0.83	0.83	0.83	0.80	0.79	0.96	1.16	1.36	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13
4.88	1.01	1.01	1.01	0.91	0.27	0.04	0.04	7.50	5.65	2.88	1.96	1.04	1.04	1.01
	0.78	0.78	0.78	0.77	0.77	0.93	1.13	1.34	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13
5.29	1.01	1.01	1.01	0.78	0.25	0.04	0.04	7.50	5.65	2.88	1.96	1.04	1.04	1.01
	0.76	0.76	0.76	0.77	0.75	0.88	1.07	1.27	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13
5.69	1.01	1.01	1.01	0.87	0.53	0.04	0.04	0.04	5.65	2.88	1.96	1.04	1.04	1.01
	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73	0.86	1.05	1.25	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13	2.13
6.10	1.01	1.01	1.01	0.78	0.34	0.04	0.04	0.04	5.65	2.88	1.96	1.04	1.04	1.01
	0.71	0.71	0.71	0.71	0.73	0.81	0.99	1.18	1.38	1.59	2.13	2.13	2.13	2.13
6.51	1.01	1.01	1.01	0.78	0.31	0.04	0.04	0.04	0.04	2.88	1.96	1.04	1.04	1.01
	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.78	0.97	1.16	1.37	1.58	2.13	2.13	2.13	2.13
6.91	1.01	1.01	1.01	0.80	0.32	0.04	0.04	0.04	0.04	2.88	1.96	1.04	1.04	1.01
	0.67	0.67	0.67	0.67	0.67	0.73	0.91	1.10	1.29	1.50	1.71	2.13	2.13	2.13
7.32	1.01	1.01	1.01	0.69	0.30	0.04	0.04	0.04	0.04	2.88	1.96	1.04	1.04	1.01
	0.65	0.65	0.65	0.65	0.64	0.71	0.89	1.08	1.28	1.48	1.70	2.13	2.13	2.13
7.73	1.01	1.01	1.01	0.76	0.49	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	1.96	1.04	1.04	1.01
	0.64	0.64	0.64	0.63	0.62	0.66	0.84	1.02	1.21	1.40	1.61	1.83	2.13	2.13
8.13	1.01	1.01	1.01	0.85	0.42	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	1.04	1.04	1.01
	0.61	0.61	0.61	0.60	0.60	0.63	0.81	1.00	1.19	1.39	1.60	1.82	2.13	2.13
8.54	1.01	1.01	1.01	0.95	0.48	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	1.03	1.01
	0.59	0.59	0.59	0.58	0.57	0.59	0.76	0.94	1.12	1.31	1.51	1.72	1.88	1.88
8.95	1.01	1.01	1.01	0.90	0.58	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.18	1.03	1.01
	0.55	0.55	0.55	0.56	0.55	0.56	0.74	0.92	1.10	1.30	1.50	1.71	1.88	1.88
9.35	1.01	1.01	1.01	0.80	0.51	0.89	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.17	1.03	1.01
	0.53	0.53	0.53	0.53	0.54	0.52	0.69	0.86	1.04	1.23	1.42	1.62	1.66	1.66
9.76	1.01	1.01	1.01	0.86	0.52	0.32	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.86	1.03	1.01
	0.50	0.50	0.50	0.51	0.51	0.50	0.66	0.84	1.02	1.21	1.41	1.61	1.65	1.65
10.17	1.01	1.01	1.01	0.80	0.42	0.30	0.04	0.04	0.04	0.04	0.21	0.89	1.02	1.01
	0.48	0.48	0.48	0.49	0.48	0.49	0.62	0.79	0.96	1.14	1.33	1.51	1.54	1.54
10.57	1.01	1.01	1.01	0.79	0.59	0.21	0.04	0.04	0.04	0.04	0.23	0.40	1.02	1.01
	0.46	0.46	0.46	0.46	0.45	0.46	0.59	0.76	0.94	1.12	1.31	1.50	1.53	1.53
10.98	1.01	1.01	1.01	0.84	0.58	0.12	0.04	0.04	0.04	0.04	0.23	0.37	1.02	1.01
	0.44	0.44	0.44	0.43	0.44	0.44	0.55	0.72	0.89	1.06	1.24	1.40	1.37	1.37
11.39	1.01	1.01	1.01	0.97	0.49	0.15	0.04	0.04	0.04	0.04	0.19	0.83	1.02	1.01

11.79	1.01	1.01	1.01	0.96	0.53	0.24	0.04	0.04	0.04	0.04	0.63	0.83	1.02	1.01
	0.38	0.38	0.38	0.39	0.39	0.39	0.48	0.64	0.81	0.98	1.16	1.26	1.26	1.26
12.20	1.01	1.01	1.01	0.76	0.53	0.20	0.04	0.04	0.04	0.04	0.68	0.83	1.02	1.01
	0.35	0.35	0.35	0.37	0.36	0.36	0.45	0.62	0.79	0.96	1.14	1.24	1.24	1.24
12.61	1.01	1.01	1.01	0.76	0.62	0.25	0.04	0.04	0.04	0.04	0.48	0.87	1.02	1.01
	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.33	0.41	0.57	0.74	0.90	1.08	1.14	1.15	1.15
13.01	1.01	1.01	1.01	0.83	0.48	0.34	0.04	0.04	0.04	0.04	0.49	0.67	1.02	1.01
	0.32	0.32	0.32	0.31	0.32	0.31	0.38	0.55	0.71	0.88	1.06	1.12	1.13	1.13
13.42	1.01	1.01	1.01	0.92	0.48	0.38	0.04	0.04	0.04	0.04	0.44	0.64	1.02	1.01
	0.30	0.30	0.30	0.29	0.28	0.29	0.34	0.50	0.66	0.83	1.00	1.03	1.02	1.02
13.83	1.01	1.01	1.01	0.91	0.63	0.32	0.04	0.04	0.04	0.04	0.39	0.79	1.02	1.01
	0.27	0.27	0.27	0.27	0.26	0.27	0.31	0.48	0.64	0.81	0.98	1.01	1.00	1.00
14.23	1.01	1.01	1.01	0.82	0.68	0.27	0.04	0.04	0.04	0.04	0.57	0.76	1.02	1.01
	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24	0.24	0.27	0.43	0.59	0.75	0.92	0.91	0.91	0.91
14.64	1.01	1.01	1.01	0.92	0.74	0.33	0.04	0.04	0.04	0.04	0.57	0.80	1.02	1.01
	0.22	0.22	0.22	0.21	0.22	0.21	0.25	0.41	0.57	0.73	0.90	0.89	0.89	0.89
15.05	1.01	1.01	1.01	0.96	0.62	0.35	0.04	0.04	0.04	0.04	0.61	0.82	1.02	1.01
	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.19	0.21	0.36	0.52	0.68	0.82	0.81	0.81	0.81
15.46	1.01	1.01	1.01	0.94	0.63	0.45	0.04	0.04	0.04	0.04	0.66	0.83	1.02	1.01
	0.16	0.16	0.16	0.17	0.17	0.17	0.18	0.34	0.50	0.66	0.80	0.79	0.78	0.78
15.86	1.01	1.01	1.01	0.86	0.63	0.39	0.08	0.04	0.04	0.04	0.78	0.86	1.02	1.01
	0.13	0.13	0.13	0.14	0.14	0.15	0.14	0.30	0.45	0.61	0.71	0.72	0.71	0.71
16.27	1.01	1.01	1.01	0.80	0.65	0.34	0.20	0.04	0.04	0.04	0.81	0.96	1.02	1.01
	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.27	0.43	0.59	0.69	0.69	0.69	0.69
16.68	1.01	1.01	1.01	0.83	0.63	0.36	0.14	0.04	0.04	0.04	0.69	0.97	1.01	1.01
	0.10	0.10	0.10	0.09	0.10	0.09	0.10	0.23	0.38	0.54	0.61	0.62	0.63	0.63
17.08	1.01	1.01	1.01	0.94	0.52	0.41	0.15	0.04	0.04	0.18	0.65	0.75	1.01	1.01
	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.06	0.20	0.36	0.51	0.58	0.59	0.61	0.61
17.49	1.01	1.01	1.01	0.96	0.56	0.38	0.22	0.04	0.04	0.21	0.51	0.70	1.01	1.01
	0.04	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.16	0.32	0.47	0.52	0.53	0.52	0.52
17.90	1.01	1.01	1.01	0.81	0.69	0.33	0.15	0.04	0.04	0.23	0.45	0.77	1.01	1.01
	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.01	0.02	0.14	0.29	0.44	0.50	0.50	0.49	0.49
18.30	1.01	1.01	1.01	0.80	0.71	0.42	0.10	0.04	0.04	0.20	0.67	0.76	1.01	1.01
	0.00	0.00	0.00	-0.01	0.00	-0.01	-0.01	0.10	0.25	0.40	0.44	0.43	0.42	0.42
18.71	1.01	1.01	1.35	0.96	0.62	0.43	0.12	0.04	0.04	0.11	0.73	0.92	1.01	1.01
	0.00	0.00	0.00	-0.03	-0.03	-0.03	-0.04	0.07	0.22	0.38	0.42	0.41	0.39	0.39
19.12	1.01	1.01	1.88	1.30	0.65	0.43	0.18	0.04	0.04	0.09	0.79	0.98	1.01	1.01
	0.00	0.00	0.00	-0.05	-0.06	-0.06	-0.07	0.03	0.18	0.33	0.35	0.34	0.34	0.34
19.52	1.01	1.01	2.26	1.73	0.71	0.40	0.24	0.04	0.04	0.28	0.81	0.89	1.01	1.01
	0.00	0.00	0.00	-0.06	-0.08	-0.08	-0.08	0.00	0.16	0.31	0.32	0.31	0.32	0.32
19.93	1.01	1.01	2.58	2.14	1.01	0.42	0.23	0.04	0.04	0.34	0.70	0.85	1.01	1.01
	0.00	0.00	0.00	-0.05	-0.10	-0.11	-0.11	-0.03	0.12	0.26	0.26	0.25	0.26	0.26
20.34	1.01	1.01	3.02	2.46	1.49	0.52	0.19	0.04	0.04	0.34	0.69	0.83	1.01	1.01
20.74	1.01	1.01	3.35	2.84	1.89	0.80	0.21	0.04	0.04	0.41	0.75	0.85	1.01	1.01
	0.00	0.00	0.00	-0.05	-0.11	-0.16	-0.16	-0.10	0.05	0.18	0.17	0.18	0.17	0.17
21.15	1.01	1.01	3.67	3.22	2.26	1.25	0.31	0.04	0.04	0.40	0.79	0.94	1.01	1.01
	0.00	0.00	0.00	-0.05	-0.10	-0.16	-0.19	-0.13	0.02	0.14	0.14	0.15	0.14	0.14
21.56	1.01	1.01	4.10	3.59	2.63	1.66	0.60	0.04	0.04	0.34	0.76	0.96	1.01	1.01
	0.00	0.00	0.00	-0.05	-0.10	-0.16	-0.21	-0.17	-0.02	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
21.96	1.01	1.01	4.51	4.01	2.99	2.04	1.08	0.04	0.04	0.28	0.77	0.84	1.01	1.01
	0.00	0.00	0.00	-0.05	-0.10	-0.16	-0.22	-0.20	-0.04	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06
22.37	1.01	1.01	4.93	4.37	3.36	2.42	1.47	0.04	0.04	0.25	0.78	0.83	1.01	1.01
	0.00	0.00	0.00	-0.05	-0.11	-0.16	-0.21	-0.23	-0.08	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
22.78	1.01	1.01	5.23	4.77	3.79	2.82	1.76	0.04	0.04	0.34	0.72	0.94	1.01	1.01
	0.00	0.00	0.00	-0.05	-0.11	-0.16	-0.19	-0.25	-0.11	-0.03	-0.03	-0.02	-0.03	-0.03
23.18	1.01	1.01	5.62	5.14	4.17	3.18	1.94	0.07	0.06	0.36	0.71	0.90	1.01	1.01
	0.00	0.00	0.00	-0.05	-0.11	-0.16	-0.20	-0.22	-0.15	-0.08	-0.08	-0.08	-0.07	-0.07
23.59	1.01	1.01	6.04	5.55	4.60	3.51	2.37	0.48	0.19	0.31	0.66	0.79	1.01	1.01
	0.00	0.00	0.00	-0.05	-0.11	-0.14	-0.19	-0.22	-0.18	-0.11	-0.11	-0.12	-0.11	-0.11
24.00	1.01	1.01	6.47	5.93	4.95	3.69	2.67	0.89	0.21	0.28	0.66	0.77	1.01	1.01
	0.00	0.00	0.00	-0.06	-0.10	-0.15	-0.17	-0.23	-0.21	-0.15	-0.16	-0.16	-0.17	-0.17
24.40	1.01	1.01	6.82	6.37	5.27	4.14	2.69	0.92	0.13	0.43	0.71	0.88	1.01	1.01
	0.00	0.00	0.00	-0.06	-0.09	-0.14	-0.17	-0.20	-0.24	-0.18	-0.20	-0.19	-0.21	-0.21
24.81	1.01	1.01	7.26	6.74	5.46	4.45	3.09	1.23	0.10	0.45	0.77	0.95	1.01	1.01

...

...

...

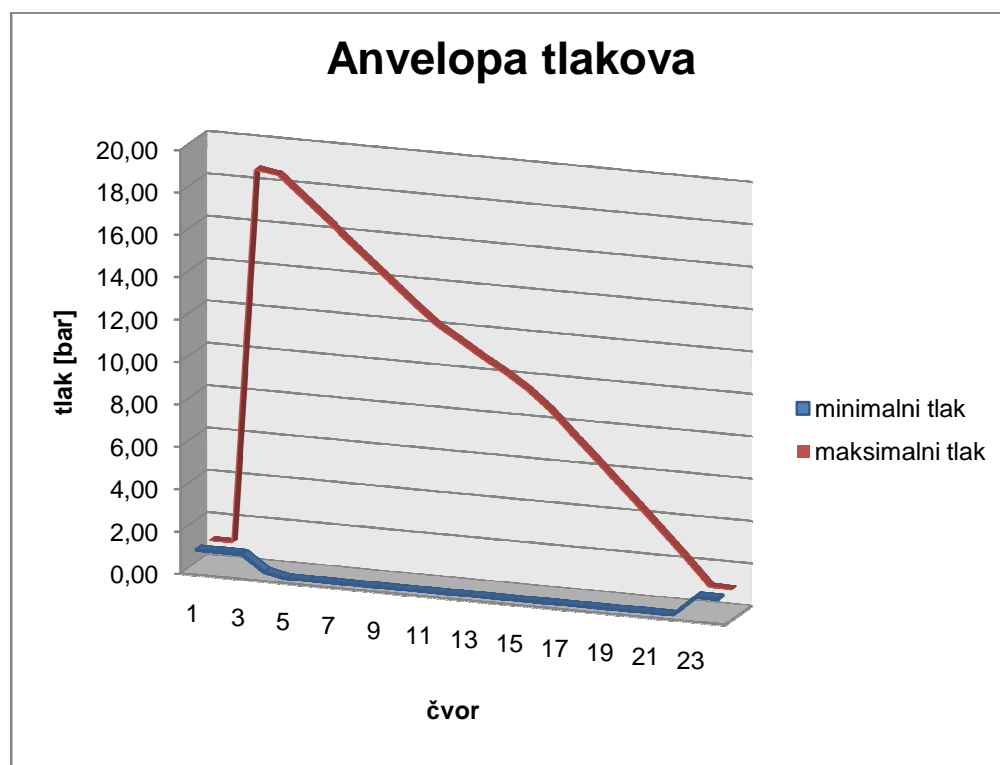
.... ANVELOPA TLAKOVA

ČVOR	1	2	3	4	5	6	7	8
P _{MAX}	1.01	1.01	18.72	18.56	17.64	16.72	15.80	14.88
P _{MIN}	1.01	1.01	1.01	0.26	0.04	0.04	0.04	0.0
P _v	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
ČVOR	9	10	11	12	13	14	15	16
P _{MAX}	13.96	13.03	12.16	11.51	10.83	10.21	9.50	8.62
P _{MIN}	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
P _v	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
ČVOR	17	18	19	20	21	22	23	24
P _{MAX}	7.54	6.50	5.44	4.38	3.29	2.19	1.04	1.01
P _{MIN}	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	1.01	1.01
P _v	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04

MAKSIMALNI TLAK P_{MAX}= 18.72 BAR , T=36.60 S , I= 3
 MINIMALNI TLAK P_{MIN}= 0.04 BAR , T= 2.03 S , I= 7

tablica 4.1 – podaci iz datoteke Output .dat

Iz tih podataka moguće je napraviti dijagrame kako bi se vidjele ovisnosti različitih vrijednosti.

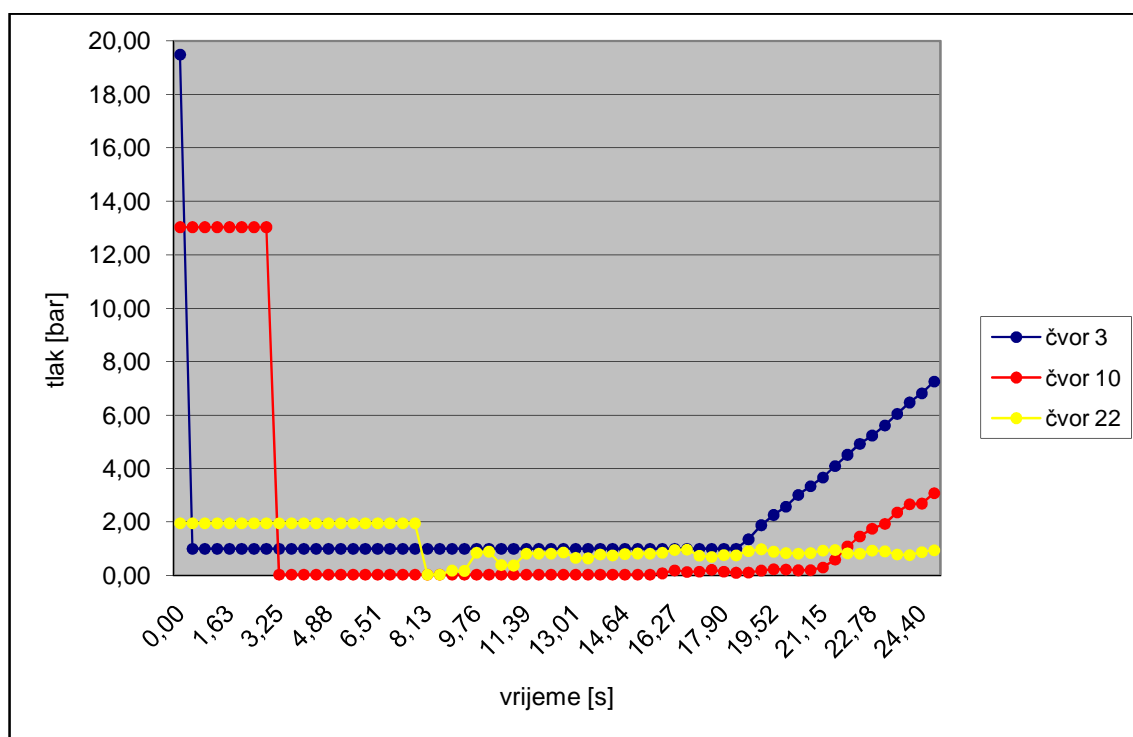


dijagram 4.1 – anvelopa tlakova

Anvelopa tlakova prikazuje odnos minimalnih i maksimalnih tlakova koji se javljaju kroz točke sustava. Iz dijagrama 4.1 je vidljivo da se kavitacija pojavljuje u čvorovima 5 – 22.

Kao što se može vidjeti i u tablici 4.1.

Osim anvelope tlakova moguće je konstruirati dijagram koji prikazuje vrijednost tlaka u nekom dijelu sustava kroz neko vrijeme. Izabrao sam čvorove 3, 10 i 22, kako bi opisao promjene u sustavu. Slijedeći dijagram 4.2 opisuje promjene tlaka koje se događaju u čvorovima 3, 10 i 22.



dijagram 4.2 – vrijednost tlakova u čvorovima 3,10 i 22

4.2. ODABIR TLAČNE POSUDE

Slijedi odabir tlačne posude koja će štiti sustav od hidrauličkog udara. Kada se pumpa naglo isključi ili pokvari "ispadne iz rada", zaklopka će se zatvoriti i početi će teći voda iz tlačne posude u sustav.

Početni protok istjecanja vode iz posude jednak je protoku kroz cijev u stacionarnom stanju, a period pražnjenja je višekratnik vremena L/c . Iz rezultata koje sam dobio može se u tablici 4.1 vidjeti da je brzina strujanja kroz cijev jednaka 2.127 [m/s], protok 0.1786 [m³/s], brzina zvuka kroz cijev $c = 1481.9$ [m/s], a period kroz cijev $L/c = 8.3$.

Ako vrijeme pražnjenja posude uzimam kao $5L/c = 41.5$, dobijem da je potrební volumen posude 7.412 [m³] zaokružiti ću na 7.5 [m³] zbog sigurnosti.

Volumen zraka u posudi je jednak volumenu tekućine, tako da je ukupni volumen posude 15 [m³].

Iz vrijednosti tlaka koji se vidi u tablici 4.1, za čvor 3 mogu izračunati konstantu posude:

- tlak je 19.49 [bar]
- eksponent adijabatske promjene $n = 1.4$

iz toga slijedi :

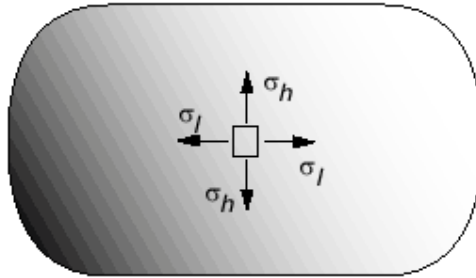
$$C = 1949000 \cdot 7.5^{1.4}$$

$$C = 32726352.8 \text{ [Pa} \cdot \text{m}^{4.4}\text{]}$$

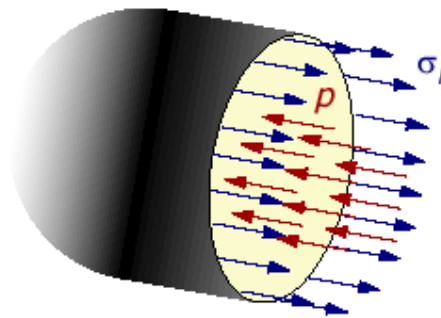
Odabrao sam cilindrični oblik spremnika.

Pošto volumen mora biti 15 [m³], odlučio sam da radius bude 1 [m], a duljina valjkastog dijela 3.45 [m]. (prilog 6.2)

Kako bi izračunao potrebnu debljinu oplata odlučio sam se koristiti najjednostavnijim modelom, kojim ću dobiti približno točne vrijednosti.



slika 4.2 – odabrani raspored naprezanja



slika 4.3 – tlak i naprezanje u uzdužnom smjeru

Iz slike 4.3 može se prema 3. Newton-ovom zakonu postaviti slijedeća jednadžba:

$$\sigma_l \cdot t \cdot 2 \cdot \pi \cdot r = p \cdot \pi \cdot r^2$$

iz toga slijedi

$$t = \frac{p \cdot r}{\sigma_l \cdot 2}$$

Ako umjesto naprezanja uvrstim dopušteno naprezanje dobiti ću debljinu stijenke. Dopušteno naprezanje biram prema HRN EN 10028-3:2003 za čelik za tlačne posude koje imaju :

- $R_e = 480$ [MPa]
- $R_m = 630 - 720$ [MPa]

Za čelike i oblik koji sam odabrao, potrebna je određena sigurnost, kako bi se dobilo dopušteno naprezanje. Za slučajeve tlačnih posuda preporučena sigurnost je 2.

Tako da dobivam sljedeću jednadžbu:

$$\sigma_{\text{dop}} = \frac{R_e}{S}$$

$$\sigma_{\text{dop}} = \frac{480}{2} = 240 \text{ [MPa]}$$

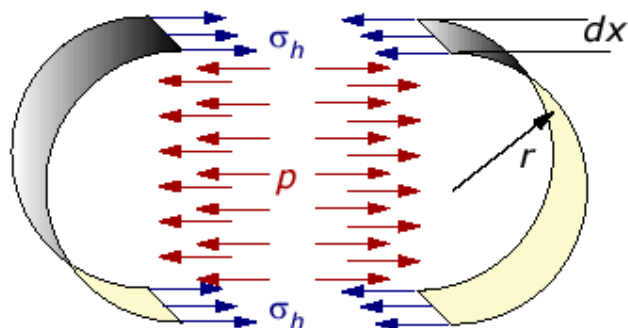
Ako sad to uvrštavam u jednadžbu za debljinu lima i dobivam:

$$t = \frac{1949000 \cdot 1}{280000000 \cdot 2} = 0.00348 \text{ [m]}$$

$$t \approx 3,5 \text{ [mm]}$$

Standardna debljina je 4 mm.

Za poprečno naprezanje vrijedi sljedeće:



slika 4.4 – tlak i naprezanje u poprečnom smjeru

Iz slike 4.4 može se prema također prema 3. Newton-ovom zakonu postaviti slijedeća jednadžba:

$$\sigma_h \cdot t \cdot 2 \cdot dx = p \cdot r \cdot 2 \cdot dx$$

pa slijedi:

$$t = \frac{p \cdot r}{\sigma_h}$$

$$t = \frac{1949000 \cdot 1}{280000000} = 0.00696$$

$$t \approx 7 [mm]$$

Standardna debljina je 8 [mm].

Kako bi se cijela oplata mogla izraditi iz jednake debljine, uzimam veću debljinu.

Izabrana debljina oplata spremnika je 8 [mm].

4.3. SUSTAV SA ZAŠTITOM OD HIDRAULIČKOG UDARA

Sada kada sam odabrao veličinu spremnika, potrebno je ponovno napraviti proračun u programu Hudar, kako bi se vidjele karakteristike sustava s ugrađenim spremnikom.

Slijedeća slika ponovno predstavlja ulazni panel u kojeg sad upisujem iste podatke kao u točki 4.1, ali je razlika što sad upisujem i podatke za spremnik.

Pod volumen zraka u posudi upisujem 15 [m³], pod konstantu posude upisujem prije izračunatu vrijednost konstante posude $C_0 = 32726352.8$ [Pa · m^{4.4}], eksponent adijabatske promjene stanja $n = 1.4$, visina je 0.

The screenshot shows the Hudar software interface. The main window displays a schematic diagram of a hydraulic system with a surge tank. The diagram includes a pump (H_p), a pipe (L), a surge tank (V₀), and a reservoir (H₂). The surge tank is connected to the pipe at a distance z_x from the pump. The pipe has a diameter D and a length L. The surge tank has a volume V₀ and a height z₂. The reservoir has a height H₂ and a pressure P₂. The pump has a head H_p and a pressure P₁. The surge tank has a pressure P₁ and a height H₁. The pipe has a loss coefficient K_x and a loss coefficient K_s. The surge tank has a loss coefficient K_s and a loss coefficient K_x. The reservoir has a loss coefficient K_s and a loss coefficient K_x.

The input parameters are as follows:

Fluid	Cijev	Spremnici	Posuda
ro = 998.2 kg/m ³	D = 0.450 m	H1 = 0 m	Vo = 15 m ³
ni = 1.004e-0 m ² /s	L = 12300 m	H2 = 0 m	Cp = 3272635
pv = 4200 Pa	d = 0.0615 m	p1 = 101300 Pa	n = 1.4
B = 2.22774 Pa	k = 5e-005 m	p2 = 101300 Pa	zv = 0 m
	E = 1e+012 Pa	z2 = 102 m	

The Pump parameters are:

Pumpa
H _p = 188.179 + (-0.0238) * Q + (-0.0004) * Q ²
Ti = 0 s

The Valve parameters are:

Ventil
Kv = 1
Tp = 999 s
dT = 999 s

The Surge Tank parameters are:

Posuda
Zaklopka Kk = 0.5
Vrijeme integracije N = 17 L/c

The right side of the interface shows a table for Geo. visine (Geo. heights) and Dozračni ventil (Ventil) parameters:

Geo. visine	Dozračni ventil
h3 = 0 m	p3 = -101300 Pa
h4 = 0 m	p4 = -101300 Pa
h5 = 0 m	p5 = -101300 Pa
h6 = 0 m	p6 = -101300 Pa
h7 = 0 m	p7 = -101300 Pa
h8 = 0 m	p8 = -101300 Pa
h9 = 0 m	p9 = -101300 Pa
h10 = 0 m	p10 = -101300 Pa
h11 = 0 m	p11 = -101300 Pa
h12 = 0 m	p12 = -101300 Pa
h13 = 0 m	p13 = -101300 Pa
h14 = 0 m	p14 = -101300 Pa
h15 = 0 m	p15 = -101300 Pa
h16 = 0 m	p16 = -101300 Pa
h17 = 0 m	p17 = -101300 Pa
h18 = 0 m	p18 = -101300 Pa
h19 = 0 m	p19 = -101300 Pa
h20 = 0 m	p20 = -101300 Pa
h21 = 0 m	p21 = -101300 Pa
h22 = 0 m	p22 = -101300 Pa
h23 = 0 m	p23 = -101300 Pa

slika 4.5 – ulazni panel s vrijednostima za spremnik

.... FIZIKALNA SVOJSTVA FLUIDA PRI RADNOJ TEMPERATURI

GUSTOĆA FLUIDA $\rho = 998.2 \text{ kg/m}^3$
 KOEFICIJENT KINEMATSKE VISKOZNOSTI $\nu = 1.004 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$
 TLAK ISPARAVANJA $p_{\text{VA}} = 4200.0 \text{ Pa}$
 VOLUMNI MODUL ELASTICNOSTI $K = 2.228 \times 10^9 \text{ Pa}$

MODUL ELASTICNOSTI MATERIJALA CIJEVI $E = 1.000 \times 10^{12} \text{ Pa}$

.... PODACI O ELEMENTIMA

ELEM.	BR.	D	L	HR	DELTA	C	KU	TP	TZ	U0	C-POSUDE	N	ZG
		mm	m	mm	mm	m/s	-	s	s	m ³	Pa*m ³ (3N)	-	m
CIJEV	3	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	4	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	5	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	6	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	7	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	8	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	9	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	10	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	11	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	12	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	13	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	14	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	15	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	16	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	17	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	18	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	19	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	20	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	21	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
CIJEV	22	450.0	615.0	0.050	61.50	1481.9							
PUMPA	1	450.0						0.0	0.0				
		$B0 = 1.882 \times 10^2$	$B1 = -2.380 \times 10^{-2}$	$B2 = -4.000 \times 10^{-4}$	$B3 = 0.000 \times 10^0$								
KLAPNA	2	450.0											
POSUDA	3									15.0	3.273×10^7	1.40	0.00

.... PODACI O GEODETSKIM VISINAMA

CVOR	ZG	CVOR	ZG	CVOR	ZG	CVOR	ZG
m		m		m		m	
1	0.00	2	0.00	3	0.00	4	5.10
5	10.20	6	15.30	7	20.40	8	25.50
9	30.60	10	35.70	11	40.80	12	45.90
13	51.00	14	56.10	15	61.20	16	66.30
17	71.40	18	76.50	19	81.60	20	86.70
21	91.80	22	96.90	23	102.00	24	102.00

.... ISPIS STACIONARNOG STANJA

EL.	BRZINA	EL.	BRZINA	EL.	BRZINA	EL.	BRZINA
m/s		m/s		m/s		m/s	
1	2.120	2	2.120	3	2.120	4	2.120
5	2.120	6	2.120	7	2.120	8	2.120
9	2.120	10	2.120	11	2.120	12	2.120
13	2.120	14	2.120	15	2.120	16	2.120
17	2.120	18	2.120	19	2.120	20	2.120
21	2.120	22	2.120	23	2.120		

CVOR	H	CVOR	H	CVOR	H	CVOR	H
m		m		m		m	
1	10.35	2	198.52	3	198.52	4	194.22
5	189.93	6	185.63	7	181.33	8	177.03
9	172.74	10	168.44	11	164.14	12	159.85
13	155.55	14	151.25	15	146.95	16	142.66
17	138.36	18	134.06	19	129.77	20	125.47
21	121.17	22	116.87	23	112.58	24	112.35

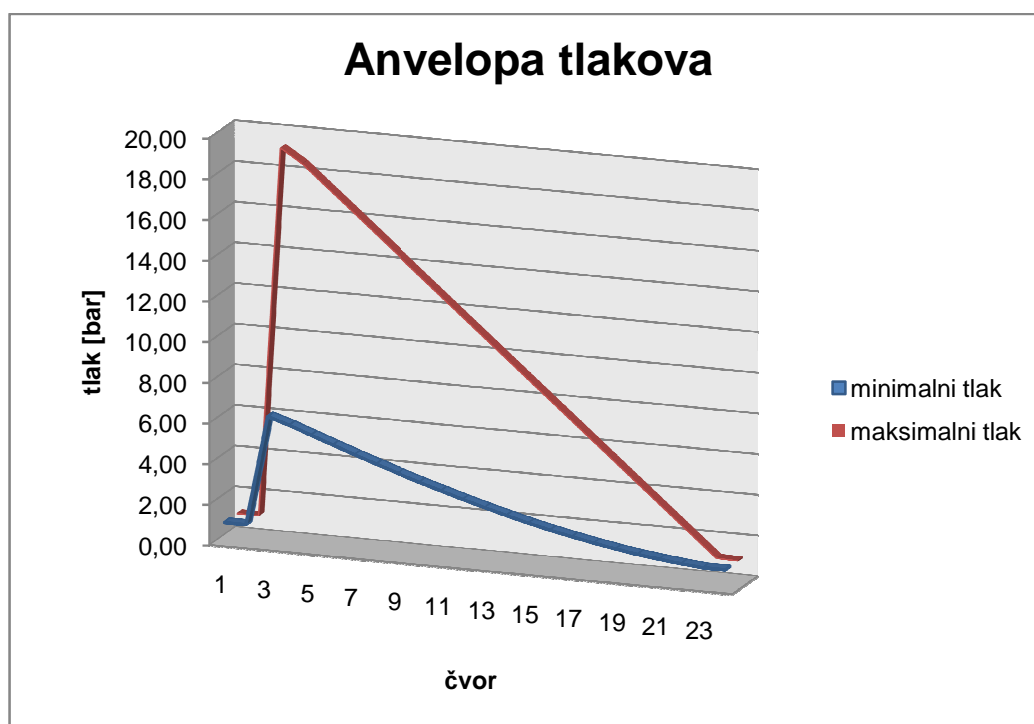
.... ANVELOPA TLAKOVA

CVOR	1	2	3	4	5	6	7	8
P _{MAX}	1.01	1.01	19.19	18.51	17.59	16.68	15.76	14.84
P _{MIN}	1.01	1.01	6.43	6.10	5.71	5.33	4.95	4.59
P _v	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
CVOR	9	10	11	12	13	14	15	16
P _{MAX}	13.92	13.00	12.08	11.16	10.24	9.32	8.40	7.48
P _{MIN}	4.24	3.90	3.58	3.26	2.96	2.67	2.40	2.15
P _v	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
CVOR	17	18	19	20	21	22	23	24
P _{MAX}	6.56	5.64	4.72	3.80	2.88	1.96	1.04	1.01
P _{MIN}	1.93	1.72	1.53	1.36	1.23	1.11	1.01	1.01
P _v	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04

MAKSIMALNI TLAK P_{MAX}= 19.19 BAR , T= 0.41 S , I= 3
 MINIMALNI TLAK P_{MIN}= 1.01 BAR , T=96.39 S , I= 23

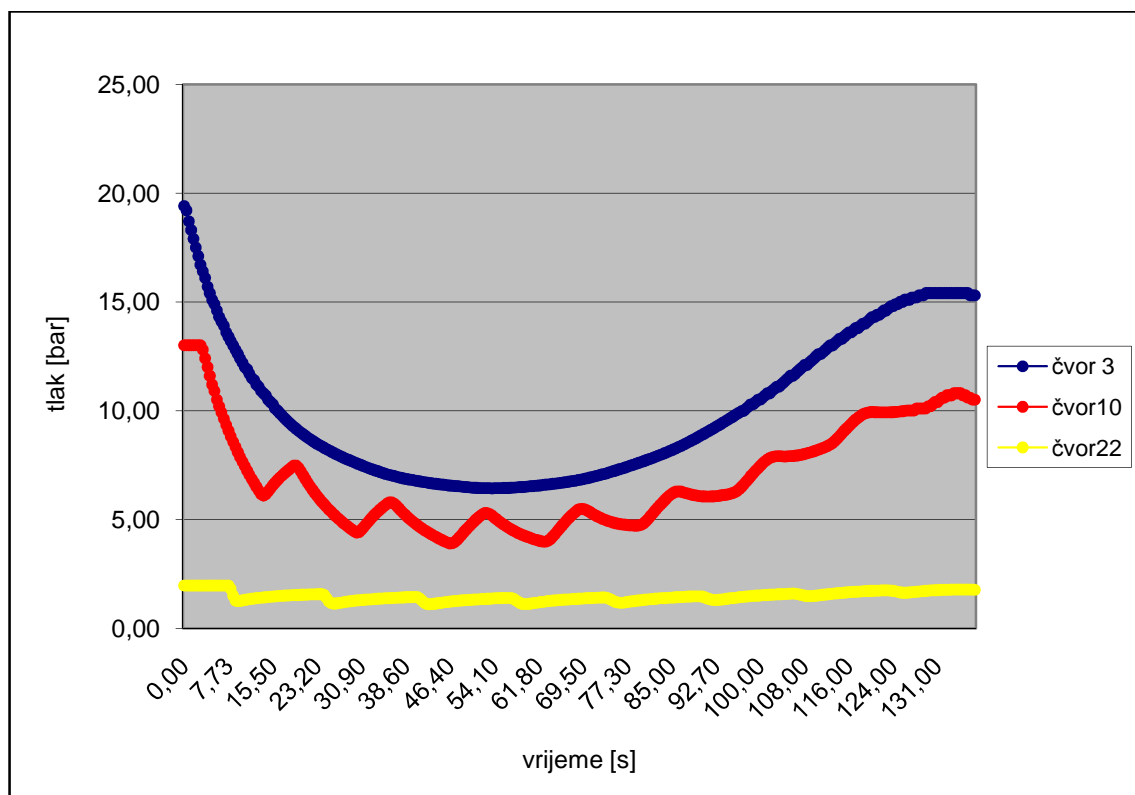
tablica 4.2 – rezultati iz datoteke Output.dat

Iz dobivenih rezultata sam ponovno napravio dijagrame kako bi se mogle uočiti razlike. Prije i poslije ugradnje spremnika.



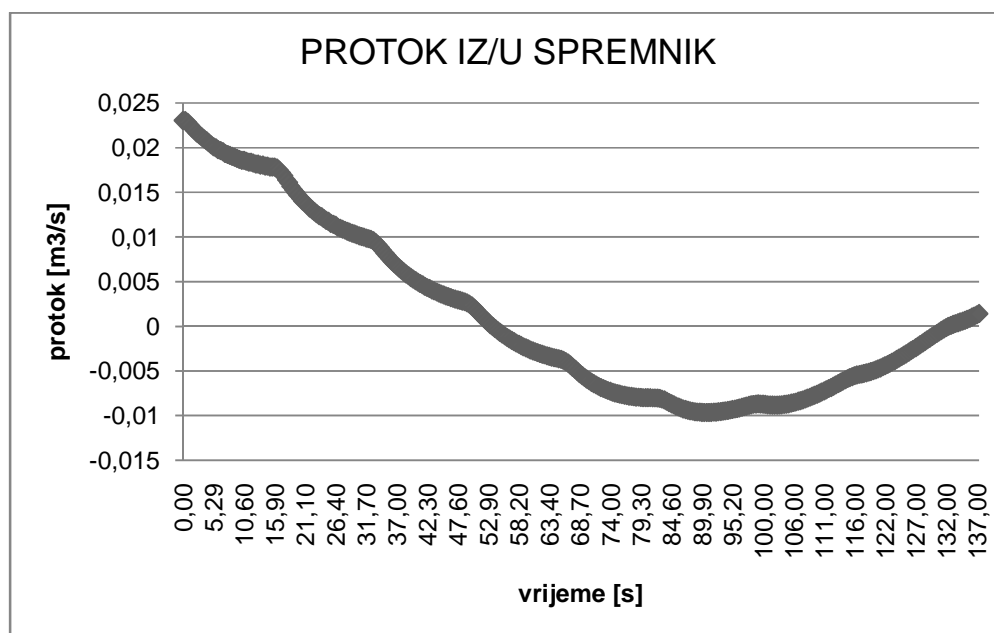
dijagram 4.3 - anvelope tlakova (sa spremnikom)

Iz dijagrama 4.3 je moguće vidjeti da minimalni tlak u sustavu više nije toliko nizak da bi se stvarala kavitacija.



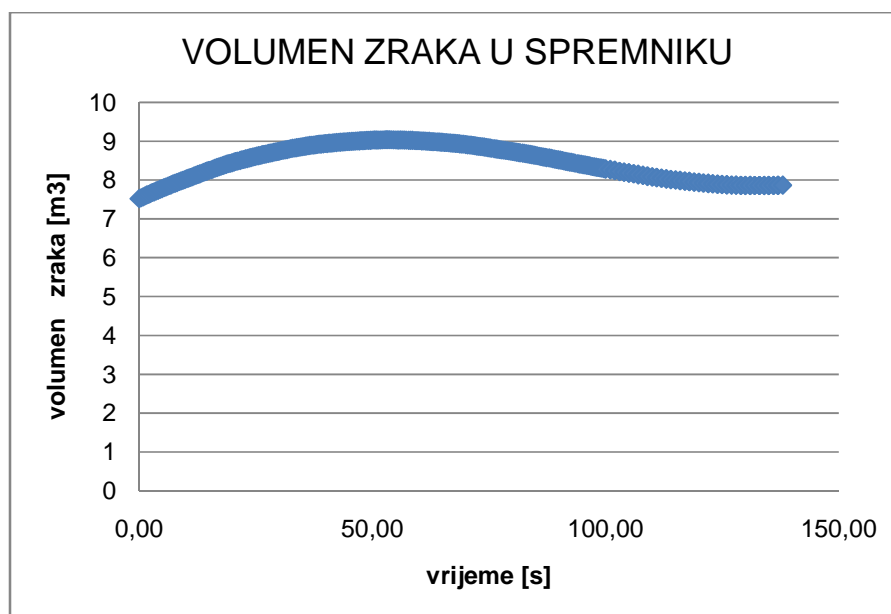
dijagram 4.4 –vrijednost tlakova u čvorovima 3,10 i 22 (sa spremnikom)

Dijagram 4.4 prikazuje promjene tlaka u sustavu za čvorove 3,10 i 22, i kako se vidi ni u jednom trenutku tlak ne pada ispod tlaka kavitacije i nema naglih promjena tlaka.



dijagram 4.5 – protok vode iz i u spremnik

Na dijagramu 4.5 se vidi kako se mijenja protok iz spremnika, i kasnije se mijenja predznak, što znači da voda teče natrag u spremnik. Isto to samo na malo drugačiji način prikazuje dijagram 4.6, koji prikazuje volumen zraka u tlačnom spremniku. Ovdje se vidi kako se volumen zraka povećava, a kada se počinje spremnik ponovno puniti smanjuje se volumen zraka.



dijagram 4.6 – volumen zraka u spremniku

5. EKONOMSKA ANALIZA

Kako sam već ranije izračunao potrebno je 7100 [m³] zapremine vodospreme kako bi se uskladištila sva voda, prema zahtjevima zadatka.

Stoga je potreban volumen vodospreme od 7100 [m³].

Predvidio sam dva oblika :

- oblik kvadra
- valjkasti oblik

Kvadar:

Dimenzije vodospreme : 19 [m] x 19 [m] x 19.7 [m]

Za vodospremu je propisana debljina zidova od 0.3 [m].

Iz tih podataka mogu izračunati potrebnu količinu betona za zidove vodospreme.

Lako se izračuna donja površina zidova, tako da oduzmemo unutarnjih mjera od površine vanjskih.

Dobijem slijedeće : $(18,60 \cdot 18,60) - (18 \cdot 18) = 21.96$ [m²]

Ako to pomnožim s 22 [m] (visinom) dobiti ću volumen zidova 483 [m³].

Volumeni gornje ploče i temelja su jednake, ako zanemarim otvore na gornjoj ploči.

$(2 \cdot 18.60 \cdot 18.60 \cdot 0.3) = 207.57$ [m³]

Ukupno 690,58 [m³]

Cijena betonskih radova je 250 [€/m³]

tako da je cijena radova za kvadar 172644 €

Valjak:

Dimenzije (unutarnje): promjer – 21.3 [m], dubina - 20 [m]

Zidovi : pomoću formule za kružni vijenac dobijem površinu osnovice pa pomnožim s 20 i dobije volumen zidova od : 407 [m³]

Temelj i ploča su jednakih dimenzija: promjer 21.9 [m] i visine 0.3 [m] ,što daje ukupno za ploče 226 [m³]

Sveukupno 633 [m³], što košta 158250 €

Odabirem valjak jer je jeftinije.

Kako bih saznao kolika mi je ušteda (ako je uopće ima) napravio sam izračun potrošnje električne energije. Sljedeće tablice prikazuju potrebnu energiju i na kraju cijenu te energije.

sat	pumpa radi	Q[m ³ /h]	Q[m ³ /s]	Hp	η	P	P(elektromotora)
1	da	75	0,0208	104,19	0,33	21255,50	64410,61
2	da	50	0,0139	102,85	0,27	13988,09	51807,74
3	da	75	0,0208	104,19	0,33	21255,50	64410,61
4	da	75	0,0208	104,19	0,33	21255,50	64410,61
5	da	50	0,0139	102,85	0,27	13988,09	51807,74
6	da	125	0,0347	108,31	0,40	36826,69	92066,72
7	da	175	0,0486	114,31	0,53	54413,46	102666,91
8	da	225	0,0625	122,17	0,64	74770,65	116829,14
9	da	250	0,0694	126,80	0,70	86227,01	123181,45
10	da	275	0,0764	131,85	0,74	98627,24	133251,25
11	da	225	0,0625	122,17	0,64	74770,65	116829,14
12	da	200	0,0556	118,02	0,57	64205,12	112640,57
13	da	250	0,0694	126,80	0,70	86227,01	123181,45
14	da	200	0,0556	118,02	0,57	64205,12	112640,57
15	da	150	0,0417	111,08	0,47	45322,22	96430,26
16	da	175	0,0486	114,31	0,53	54413,46	102666,91
17	da	200	0,0556	118,02	0,57	64205,12	112640,57
18	da	275	0,0764	131,85	0,74	98627,24	133251,25
19	da	250	0,0694	126,80	0,70	86227,01	123181,45
20	da	200	0,0556	118,02	0,57	64205,12	112640,57
21	da	175	0,0486	114,31	0,53	54413,46	102666,91
22	da	150	0,0417	111,08	0,47	45322,22	96430,26
23	da	125	0,0347	108,31	0,40	36826,69	92066,72
24	da	100	0,0278	106,02	0,35	28838,45	82395,56
Σ		4050				jeftinija	762473,47
						skuplja	1622031,46
						cijena(0,054 [€/h])	41,17
						cijena(0,105 [€/h])	170,31
						ukupno(dan)	211,49
						1-godina	77192,71
						20 godina	1543854,15

tablica 5.1 – potrošnja bez vodospreme

sat	pumpa radi	Q[m ³ /h]	Q[m ³ /s]	hp	η	P	P(elektromotora)
1	da	405	0,1125	166	0,704	182871,99	259761,34
2	da	405	0,1125	166	0,704	182871,99	259761,34
3	da	405	0,1125	166	0,704	182871,99	259761,34
4	da	405	0,1125	166	0,704	182871,99	259761,34
5	da	405	0,1125	166	0,704	182871,99	259761,34
6	da	405	0,1125	166	0,704	182871,99	259761,34
7	ne	0	0		0,000	0,00	0,00
8	ne	0	0		0,000	0,00	0,00
9	ne	0	0		0,000	0,00	0,00
10	ne	0	0		0,000	0,00	0,00
11	ne	0	0		0,000	0,00	0,00
12	ne	0	0		0,000	0,00	0,00
13	ne	0	0		0,000	0,00	0,00
14	ne	0	0		0,000	0,00	0,00
15	ne	0	0		0,000	0,00	0,00
16	ne	0	0		0,000	0,00	0,00
17	ne	0	0		0,000	0,00	0,00
18	ne	0	0		0,000	0,00	0,00
19	ne	0	0		0,000	0,00	0,00
20	ne	0	0		0,000	0,00	0,00
21	da	405	0,1125	166	0,704	182871,99	259761,34
22	da	405	0,1125	166	0,704	182871,99	259761,34
23	da	405	0,1125	166	0,704	182871,99	259761,34
24	da	405	0,1125	166	0,704	182871,99	259761,34
	Σ	4050					2597613,45
						cijena(0,054 [€/h])	140,27
						1-godina	51198,96
						20 godina	1023979,22

tablica 5.2 – potrošnja s vodospremom

Ako se usporedi tablica 5.1 i tablica 5.2 vidi se da je godišnja ušteda : 25993.75 €

Zadatak predviđa financiranje investicije putem kredita uz kamatnu stopu od 10%, i rok otplate 20 godina.

Sljedeći je korak da izračunam kolika bi bila rata otplate kredita.

To radim prema formuli:

$$A = P \cdot \frac{i \cdot (1 + i)^N}{(1 + i)^N - 1}$$

Uvrštavanjem vrijednosti :

- glavnica $P = 158250 \text{ €}$
- kamatna stopa $i = 10\% = 0.1$
- vrijeme ukamačivanja $N = 20$ godina

Dobijem vrijednost od 18586.36 €.

Iz dobivenog se može vidjeti da je rata manja od uštede pa se može zaključiti da će se ostvariti određen profit.

godina	glavnica	kamata	otplaćeno	rata
0	158250,00	0,00	0,00	0,00
1	158250,00	15825,00	2761,36	18586,36
2	155488,64	15548,86	3037,50	18586,36
3	152451,14	15245,11	3341,25	18586,36
4	149109,90	14910,99	3675,37	18586,36
5	145434,53	14543,45	4042,91	18586,36
6	141391,62	14139,16	4447,20	18586,36
7	136944,42	13694,44	4891,92	18586,36
8	132052,51	13205,25	5381,11	18586,36
9	126671,40	12667,14	5919,22	18586,36
10	120752,18	12075,22	6511,14	18586,36
11	114241,03	11424,10	7162,26	18586,36
12	107078,78	10707,88	7878,48	18586,36
13	99200,29	9920,03	8666,33	18586,36
14	90533,96	9053,40	9532,96	18586,36
15	81001,00	8100,10	10486,26	18586,36
16	70514,74	7051,47	11534,89	18586,36
17	58979,85	5897,99	12688,37	18586,36
18	46291,48	4629,15	13957,21	18586,36
19	32334,27	3233,43	15352,93	18586,36
20	16981,33	1698,13	16888,23	18586,36

tablica 5.3 – plan otplate kredita

god	prihodi	rashodi	rashodi	oporezivi prihod	porez na dobit (20%)	prihod	prihod
	ušteta el energije €	amortizacija	kamata				sadašnje vrijednost
0							
1	25993,75	7912,50	15825,00	2256,25	451,25	1805,00	1640,91
2	25993,75	7912,50	15548,86	2532,39	506,48	2025,91	1674,30
3	25993,75	7912,50	15245,11	2836,14	567,23	2268,91	1704,66
4	25993,75	7912,50	14910,99	3170,26	634,05	2536,21	1732,26
5	25993,75	7912,50	14543,45	3537,80	707,56	2830,24	1757,35
6	25993,75	7912,50	14139,16	3942,09	788,42	3153,67	1780,16
7	25993,75	7912,50	13694,44	4386,81	877,36	3509,45	1800,90
8	25993,75	7912,50	13205,25	4876,00	975,20	3900,80	1819,75
9	25993,75	7912,50	12667,14	5414,11	1082,82	4331,29	1836,89
10	25993,75	7912,50	12075,22	6006,03	1201,21	4804,83	1852,47
11	25993,75	7912,50	11424,10	6657,15	1331,43	5325,72	1866,63
12	25993,75	7912,50	10707,88	7373,37	1474,67	5898,70	1879,51
13	25993,75	7912,50	9920,03	8161,22	1632,24	6528,98	1891,21
14	25993,75	7912,50	9053,40	9027,85	1805,57	7222,28	1901,85
15	25993,75	7912,50	8100,10	9981,15	1996,23	7984,92	1911,53
16	25993,75	7912,50	7051,47	11029,78	2205,96	8823,82	1920,32
17	25993,75	7912,50	5897,99	12183,26	2436,65	9746,61	1928,32
18	25993,75	7912,50	4629,15	13452,10	2690,42	10761,68	1935,58
19	25993,75	7912,50	3233,43	14847,82	2969,56	11878,26	1942,19
20	25993,75	7912,50	1698,13	16383,12	3276,62	13106,49	1948,20
						Σ	36725,01

tablica 5.4 – plan prihoda i rashoda

Iz tablice 5.4 je vidljivo da je ukupni prihod (tj. dobit nakon svih davanja) jednaka 36725.01 € sadašnje vrijednosti.

Indeks profitabilnosti projekta je 4.31 (158250/36725.01) .

Odnosno zarada je 0.23% uloženog novca.

Ako gledamo ukupnu uštedu pretvorenu u sadašnju vrijednost ($A=25993,75$)

$$P = A \cdot \frac{(i+1)^N - 1}{i(i+1)^N}$$

$$P = 221546.43$$

Ukupna dobit na projektu (ukupna dobit – investicija = 221546.43 – 158250 = 63296.43 €) je pozitivna pa je projekt prihvaljiv.

S obzirom da je za projekt bilo investirano 158250 €, a nakon što je vraćen kredit, ostvarena je dobit, projekt je profitabilan, tj. financijski opravdan.

god	poslovanje		investicija	financiranje/glavnica		tok novca	
	prihodi	amortizacija		posuđena	otplaćena	tok novca	sadašnja vrijednost
0			-158250	158250			
1	1805,00	7912,50			2761,36	12478,86	11344,42
2	2025,91	7912,50			3037,50	12975,90	10723,89
3	2268,91	7912,50			3341,25	13522,65	10159,77
4	2536,21	7912,50			3675,37	14124,08	9646,94
5	2830,24	7912,50			4042,91	14785,64	9180,72
6	3153,67	7912,50			4447,20	15513,37	8756,89
7	3509,45	7912,50			4891,92	16313,86	8371,59
8	3900,80	7912,50			5381,11	17194,41	8021,32
9	4331,29	7912,50			5919,22	18163,01	7702,89
10	4804,83	7912,50			6511,14	19228,47	7413,41
11	5325,72	7912,50			7162,26	20400,47	7150,24
12	5898,70	7912,50			7878,48	21689,68	6911,00
13	6528,98	7912,50			8666,33	23107,81	6693,51
14	7222,28	7912,50			9532,96	24667,75	6495,79
15	7984,92	7912,50			10486,26	26383,68	6316,04
16	8823,82	7912,50			11534,89	28271,21	6152,64
17	9746,61	7912,50			12688,37	30347,49	6004,09
18	10761,68	7912,50			13957,21	32631,39	5869,04
19	11878,26	7912,50			15352,93	35143,69	5746,27
20	13106,49	7912,50			16888,23	37907,22	5634,67
						Σ	154295,13

tablica 5.5 – plan toka novca

6. PREDSTAVLJANJE ODABRANIH UREĐAJA

6.1 PUMPE

Kako sam već ranije u radu izračunao koristiti ću 2 pumpe u paralelnom radu, a dvije dodatne ću koristiti kao rezervne, kako bi spriječio prestanak dobave vode u slučaju kvara. Prema nekim pokazateljima bila bi dovoljna jedna rezervna pumpa, ali radi određene sigurnosti predvidio sam dvije.

6.2 TLAČNA POSUDA

Izračun spremnika sam napravio u točki 4.2, pa se iz tog može rezimirati da je spremnik veličine 15 [m³]. Dimenzije se mogu vidjeti na prilogu 6.2

6.3 GENERATOR

Pumpe za svoj pogon koriste elekromotore, koji koriste električnu energiju. Nedopustivo je stoga da motori ostanu bez napajanja jer pogon prestaje funkcionirati. Iz toga razloga sam predvidio generator, koji bi se koristio u slučaju prestanka opskrbe električnom energijom. Generator bi svojom snagom morao zadovoljiti potrebe električne energije elektromotora za pogon crpki. Snaga generatora mora biti najmanje 264 [kW], jer se koriste dvije pumpe od 132 [kW]. (Prilog 6.3)

6.4 VODOSPREMA

U točkama 2.2 i 5. sam izračunao vrijednosti volumena vodospreme te njenog oblika. Volumen vodospreme je 7100 [m³], a oblik koji mi je odgovarao je valjkasti vanjskih dimenzija 21.9 [m] promjera i 20.6 [m] visine.

Prilog 6.2

Prilog 6.3

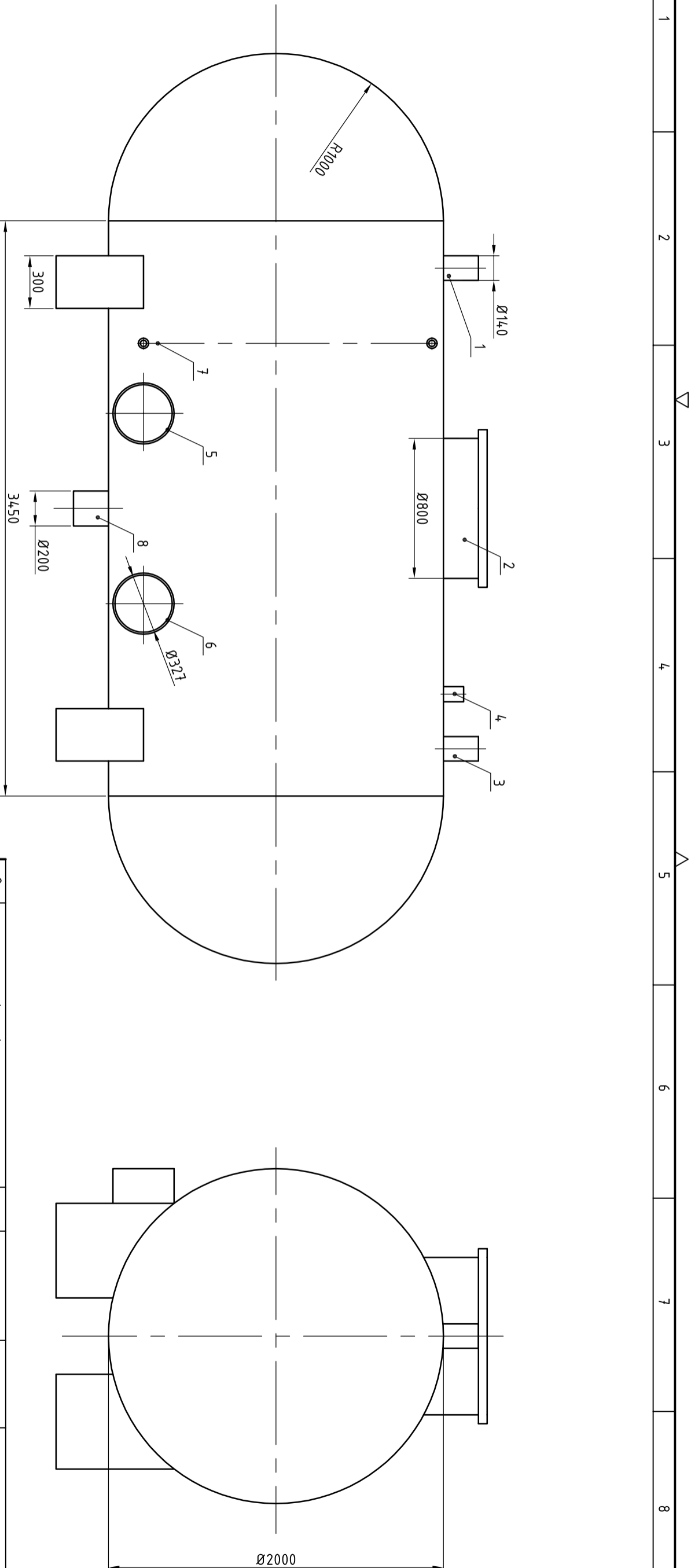
ZAKLJUČAK

Hidraulički udar susrećemo svakodnevno pri zatvaranju slavine, no na njega ne obraćamo pažnju jer je neznatne jačine te ne stvara probleme. Kod sustava kao što je ovaj, hidraulički udar stvara velike probleme i zato je od iznimne važnosti da na njega obratim pozornosti. Kako se kroz rad moglo vidjeti u sustavu bez zaštite bi se javljale nagle promjene tlakova i kavitacija koja bi uzrokovala znatnu štetu za cjevovodu, pumpi, tj. na cijelom susustavu. Dodavanjem tlačnog spremnika riješen je problem hidrauličkog udara. Spremnik služi kao prigušnik sustava i onemogućava velike promijene tlaka, te pojavu kavitacije.

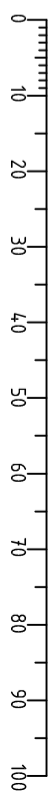
Od 1738. su poznati Bernoullijevi principi i opis potencijalne energije fluida. Ti principi još i danas nisu zasterijeli. Te se može iz njih uz pomno planiranje izvući korist. U ovom se radu može vidjeti da baš iz te potencijalne energije proizlazi ušteda. Gradnjom spremnika se ostvaruje ušteda na potrošenoj električnoj energiji od 25993.75 € godišnje, što pokazuje da je vodosprema korisna. Za njenu gradnju su potrebna znatna sredstva zato ako ih financiramo kreditom imamo određene "gubitke koštanja novca" (kamate), ali i nakon vraćanja kredita ostala su određena sredstva, što pokazuje da je projekt isplativ.

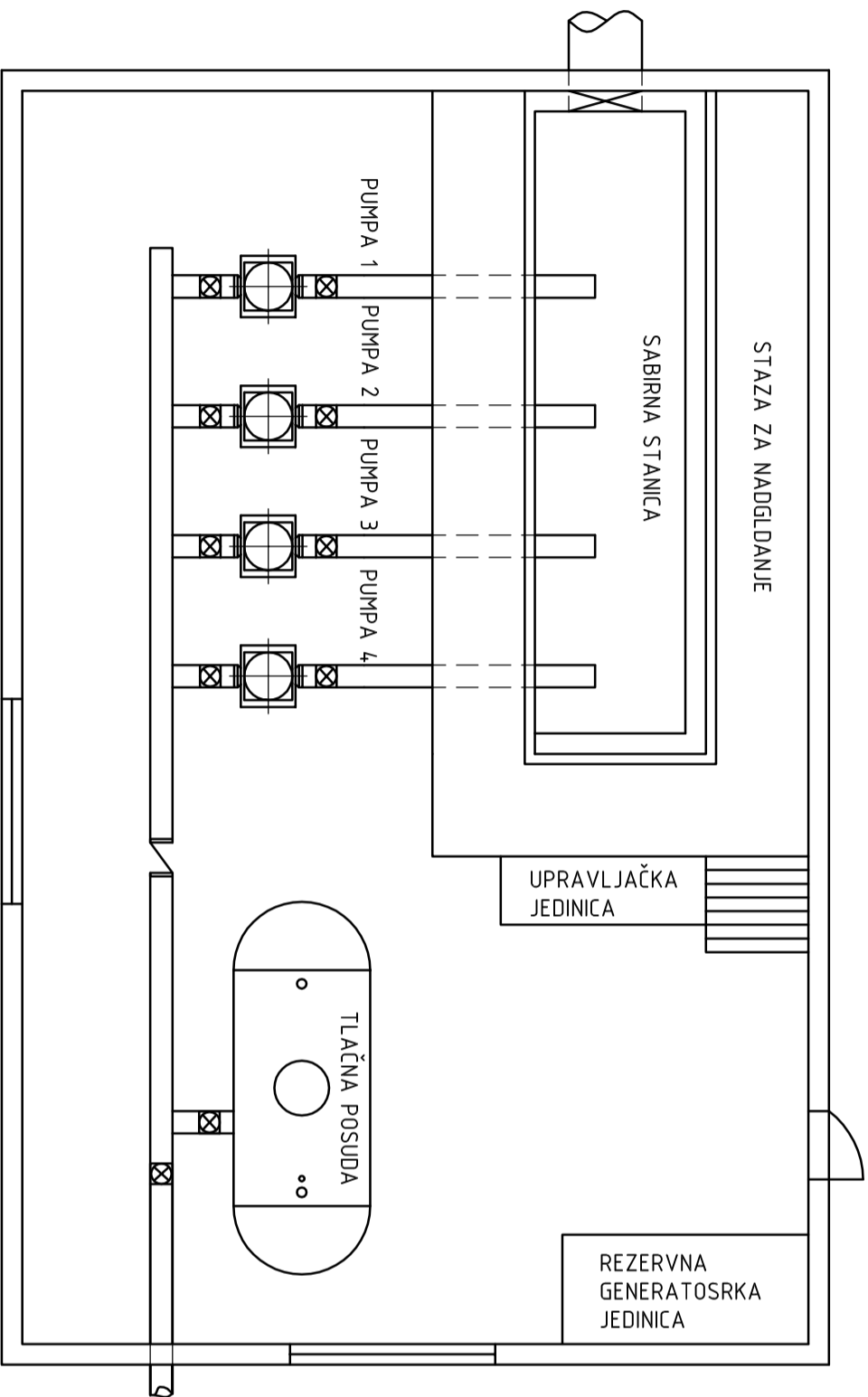
LITERATURA:

- [1] Šavar, M : Komunalna hidrotehnika, www.fsb.hr/hydro , Zagreb 2006.
- [2] Šavar, M : Hidraulika cijevnih mreža, www.fsb.hr/hydro , Zagreb
- [3] Gjetvaj, G : Praktikum iz hidraulike –skripta , 2008.
- [4] Sanks, R : Pumping station design
- [5] Stuhne, M : Diplomski rad , Zageb 2009.
- [6] Priručnik Hudar
- [7] AlPro – ATT katalog PEHD cijevi
- [8] Grundfos katalog
- [9] Pipeline.exe
- [10] Hudar.exe
- [11] EPA – slika 2.1 i podaci, www.epa.gov
- [12] Kalinić, Z : Dimenzioniranje cjevovoda, www.kalinic.info, 2006.




8	Ispust								
7	Mjerač razine vode (vodomjer)								
6	Izlaz vode								
5	Ulaz vode								
4	Priključak za kompresor								
3	Priključak za manometar								
2	Otvor za čišćenje i kontrolu								
1	Odzračni ventil								
Broj naziva - code		Naziv dijela	Kom.	Crtež broj Norma	Materijal	Sirove dimenzije Proizvođač	Masa		
Projektirao		Datum	Ime i prezime		Potpis				
Razradio									
Crtao		21.01.2010.	Matija Kuhar						
Pregledao									
Mentor									
ISO - tolerancije		Objekt:	Objekt broj:						
Napomena:		R. N. broj:							
Materijal:		Masa:	Smjer: Konstrukcijski		Kopija				
Naziv:		TLAČNI SPREMNIK - PRIL06 6.2		ZAVRŠNI RAD		Format:			
Mjerilo originala		1:25		Crtež broj:		Listova:			
						List:			





SKALA

Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	 FSB Zagreb
Razradio				
Crtao	26.01.2010	Matija Kuhar		
Pregledao				
Objekt:		Objekt broji:		
Napomena:		R. N. broji:		
Materijal:	Masa:	ZAVRŠNI RAD		Kopija
Naziv:		PUMPA STANICA - PRILOG 6.3		Format:
Mjerilo originala		1:100		Listova:
Crtež broji:				List:

