Hidrauličko dimenzioniranje složene vodne komore

Babić, Simona

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:
University of Split, Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy / Sveučilište u Splitu, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:123:329039

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split

zir.nsk.hr

UNIVERSITY OF SPLIT

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE

DIPLOMSKI RAD

Simona Babić

Split, veljača 2020. godine

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Simona Babić

Hidrauličko dimenzioniranje složene vodne komore

Diplomski rad

Split, veljača 2020. godine

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

STUDIJ:	**DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**
KANDIDAT:	**Simona Babić**
BROJ INDEKSA:	**661**
KATEDRA:	**Katedra za hidromehaniku i hidrauliku**
PREDMET:	**Hidraulika**

ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD

Tema:
Hidrauličko dimenzioniranje složene vodne komore

Opis zadatka: Studentica će izraditi matematički model funkcioniranja složene vodne komore u sustavu akumulacija, dovodni tuneli, 3 vodne komore, te 5 tlačnih cjevovoda kojima voda dolazi do 5 turbina. Potrebno je postaviti sve dinamičke jednadžbe, jednadžbe kontinuiteta i jednadžbe snage za svih 5 turbina, vodeći računa i o razinama donje vode u odvodnom kanalu. Osnovni zadatak je dimenzionirati vodne komore na razini idejnog projekta, za zadane veličine, te za varijante brzog pojedinačnog ili skupnog uključivanja turbina.
Vodne komore moraju, za pojedine načine uključivanja i isključivanja turbina, biti dovoljne površine kako bi se oscilacije uvijek umirile, te kako bi minimalna postignuta razina vode u komori bila takva da zrak ne uđe u donji dio cilindrične vodne komore, uz odgovarajuću sigurnost.
Postavljene diferencijalne jednadžbe treba riješiti numeričkom integracijom primjenom mješovitog postupka. Za rješenje problema treba izraditi programsko rješenje u FORTRAN-u. Sve rezultate treba prikazati grafički na dovoljnom broju primjera.

U Splitu, listopad 2019. godine

Voditelj Diplomskog rada:

Doc. dr. sc. Davor Bojanić, dipl.ing.građ.

Hidrauličko dimenzioniranje složene vodne komore

Sažetak:

U ovom diplomskom radu prikazan je matematički hidraulički model nestacionarnog tečenja pod tlakom u složenom hidrotehničkom sustavu derivacijske hidroelektrane koji se sastoji od akumulacije, dva dovodna tunela, tri vodne komore, pet tlačnih cjevovoda s turbinama i odvodnog kanala, u svrhu dimenzioniranja 3 vodne komore. Model je izrađen u programskom jeziku FORTRAN95. Napravljeno je više varijanti potrebnih dimenzija vodnih komora koje zadovoljavaju pojedine načine uključivanja turbina u pogon. Rezultati proračuna svake varijante prikazani su na grafički.

Ključne riječi:

matematički model, derivacijska hidroelektrana, dimenzioniranje vodnih komora

Hydraulic sizing of complex water chamber

Abstract:

In this graduate thesis, a mathematical hydraulic model of non-stationary pressurized flow in a complex hydrotechnical system of a derivative hydroelectric power plant consisting of an accumulation, two supply tunnels, three water chambers, five pressure pipelines with turbines and a drainage channel, for the purpose of sizing 3 water chambers, was performed. The model was created in the FORTRAN95 programming language. Several variants of necessary dimensions of the water chambers have been made that satisfy certain ways of incorporating the turbines into operation. The calculation results of each variant are shown grafphically.

Keywords:

mathematical model, derivative hydroelectric power plant, sizing of water chambers

SADRŽAJ

1. UVOD ... 1

1. TEORIJSKE OSNOVE MATEMATIČKOG MODELA ... 2

1.1. HIDRODINAMIČKI UVJETI I JEDNADŽBE ZA VODNE KOMORE ... 2

1.2. STABILNOST SUSTAVA VODNE KOMORE ... 4

2. MATEMATIČKI MODEL SUSTAVA ... 8

2.1. OPIS MODELA ... 8

2.2. FORMULACIJA MATEMATIČKOG MODELA ... 9

2.2.1. EKSPLICITNO – IMPLICITNA METODA ... 12

2.3. NEWTON-RAPHSON METODA RJEŠAVANJA SUSTAVA NELINEARNIH JEDNADŽBI ... 14

2.4. SLAGANJE SUSTAVA JEDNADŽBI PREMA NEWTON-RAPHSONOVOJ METODI ... 16

3. PROGRAMSKO RJEŠENJE ... 22

3.1. ULAZNI PODACI ... 22

3.1.1. GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE DOVODNIH TUNELA I CIJEVI ... 22

3.1.2. PRORAČUN DONJE VODE ... 22

3.1.3. GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE VODNIH KOMORA ... 24

3.1.4. SNAGA TURBINA ... 31

3.1.5. FORMIRANJE ULAZNOG FILE-A ZA DINAMIČKU ANALIZU ... 34

4. REZULTATI PRORAČUNA ... 37

4.1. VARIJANTA 1 ... 37

4.1.1. Varijanta 1.1 - h_a = 330 (m n.m.) ... 37

4.1.2. Varijanta 1.2 – h_a = 345 (m n.m.) ... 43

4.2. VARIJANTA 2 ... 48

4.2.1. VARIJANTA 2.1 – h_a = 330 (m n.m.) ... 48

4.2.2. VARIJANTA 2.2 – h_a = 345 (m n. m.) ... 54

4.3. VARIJANTA 3 ... 60

4.3.1. VARIJANTA 3.1 – h_a = 330 (m n. m.) ... 60

4.3.2. VARIJANTA 3.2 – h_a = 345 (m n. m.) ... 66

4.4. VARIJANTA 4 ... 71

4.4.1. VARIJANTA 4.1 – h_a = 330 (m n. m.) ... 71

4.4.2. VARIJANATA 4.2 – h_a = 345 (m n. m.) ... 77

4.5. VARIJNATA 5 ... 83

4.5.1. VARIJANTA 5.1 – h_a = 330 (m n. m.) ... 83

4.5.2. VARIJANTA 5.2 – h_a = 345 (m n. m.) 89
4.6. VARIJANTA 6 94
4.6.1. VARIJANTA 6.1 – h_a = 330 (m n. m.) 94
4.6.2. VARIJANTA 6.2 – h_a = 345 (m n. m.) 100
4.7. VARIJANTA 7 106
4.7.1. VARIJANTA 7.1 – h_a = 330 (m n. m.) 106
4.7.2. VARIJANTA 7.2 – h_a = 345 (m n. m.) 112
5. RASPRAVA 118
6. PROGRAMSKO RJEŠENJE U FORTRANU 95 120
7. ZAKLJUČAK 132
8. LITERATURA 133
9. PRILOZI 134

1. UVOD

Hipotetska hidroelektrana Knin je visokotlačno derivacijsko postrojenje koje čini: akumulacija, dovodni tuneli, 3 vodne komore, 5 tlačnih cjevovoda kojima voda dolazi do 5 turbina, te odvodni kanal kojim voda iz hidroelektrane otječe prema rijeci.

U navedenom postrojenju akumulacija ima zadatak da svojom branom uspori vodu kako bi se postigao maksimalni energetski potencijal akumulirane vode, a svojom zapremninom da izravna promjenjiv dotok u trajanju nekog unaprijed određenog vremenskog perioda. Višak vode, u odnosu na propuštanje kroz turbine hidroelektrane, se akumulira, dok u periodu manjeg dotoka, pražnjenjem akumulacije se nadoknađuje potrebna količina na turbinama. Dva dovodna tunela imaju zadatak da dovedu vodu iz akumulacije do vodnih komora 1 i 2 uz što manji gubitak raspoložive energijske visine. Voda iz dovodnih tunela 1 i 2 i vodnih komora 1 i 2, provodi se sa dva cjevovoda do vodne komore broj 3, a zatim tlačnim cijevovodima do strojarnice, predajući energiju turbinama. Voda iz turbina, već s malim izlaznim brzinama, ulazi u tzv. aspirator koji difuznim oblikom još više smanjuje izlazne brzine. Ispuštanjem vode sa izlaznim smanjenjem brzina povećava se bruto proizvedena energija na turbinama, jer aspirator sisajući djeluje na vodu pri prolazu kroz turbinu.

Vodostaj akumulacije varira od minimalne razine 330,0 (m n.m.) do maksimalne razine u vrijednosti od 345,0 (m n.m.).

Desni dovodni tunel je dug 8000 (m) i promjer mu je 7,0 (m), dok je lijevi dovodni tunel dug 8100 (m) i promjer mu je 7,6 (m). Na kraju tunela smješten je sustav vodnih komora 1 i 2. Nizvodno od sustava navedenih komora na udaljenosti od 200 (m) smješteno je zajedničko okno vodne komore preko kojeg su cjevovodi međusobno spojeni. Pri dnu okna smještena je vodna komora 3 s donjim proširenjem. Nadalje je smještena zasunska komora do koje vodi pristupni tunel. Iz jednog tunela izlaze dva, a iz drugoga tri tlačna cjevovoda koja ulaze u zasunsku komoru. Strojarnica i prostor za transformatore su smješteni u jedinstvenoj podzemnoj prostoriji-strojarnici. Do strojarnice u kojoj je ugrađeno 5 proizvodnih jedinica dolazi se pomoću pristupnog tunela. Svih 5 turbina ima instalirani protok u iznosu od po 50 (m^3/s). Na difuzore turbina nastavlja se odvodni tunel koji prelazi u odvodni kanal.

1. TEORIJSKE OSNOVE MATEMATIČKOG MODELA

1.1. HIDRODINAMIČKI UVJETI I JEDNADŽBE ZA VODNE KOMORE

U navedenom sustavu mogu se posebno izdvojiti dio dovodnog sustava i vodna komora, te posebno tlačni cjevovodi i turbine. Naime, brzine promjene protoka u dovodnom sustavu su u odnosu na promjene protoka u tlačnom dijelu znatno manje, tako da se može smatrati da je u dovodnom tunelu voda nestlačiva. Radi nestlačivosti vode u dovodnom tunelu protok se uzduž tunela može smatrati konstantnim u svakom pojedinom trenutku, tako da se tokom vremena u svim profilima jednako mijenja. Za razliku od dovodnog tunela, u tlačnom cjevovodu promjene brzina u profilu turbine su brze i kraće od potrebnog vremena proširenja poremećaja do vodne komore, tako da se trebaju uzimati u obzir efekti stišljivosti vode i cjevovoda (pojava vodnog udara). Hidrodinamika cijevnih sustava svodi se na primjenu Bernoullijeve jednadžbe u nestacionarnom režimu:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{{v_1}^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{{v_2}^2}{2g} + \Delta H_e + \frac{1}{g}\int_{l_1}^{l_2} \frac{\partial v}{\partial t} dl \qquad (1)$$

gdje je:

z_1, p_1, v_1- geodetska kota, tlak i srednja brzina u uzvodnom profilu cijevi određenim stacionažom, mjereno po osi cijevi

z_2, p_2, v_2- isto kao gore, ali u nizvodnom profilu,

ΔH_e - zbroj svih lokalnih i linijskih gubitaka energijske visine između dvaju profila,

$\frac{1}{g}\int_{l_1}^{l_2} \frac{\partial v}{\partial t} dl$ - integralna veličina energijske visine između dvaju presjeka potrebne za ubrzavanje tekućine (vode),

ρ - gustoća tekućine (vode)

g - ubrzanje sile teže

Za rješenje problema potrebno je uvesti još jednadžbu kontinuiteta.

Integralni član ubrzanja Bernoullijeve jednadžbe sadrži pod integralom promjenu brzine po vremenu, integrirajući je uzduž toka. Ako se uzduž cijevi, kao što je dovodni tunel, može smatrati da nema zakašnjenja u promjeni brzine, tada promjena $\frac{\partial v}{\partial t}$ nije ovisna o stacionaži l, pa se može pisati:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{{v_1}^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{{v_2}^2}{2g} + \Delta H_e + \frac{L}{g}\frac{dv}{dt} \qquad (2)$$

gdje je:

L - dužina po osi cijevi između profila.

Upotrebom na primjeru sustava vodne komore dobiva se :

a) Dinamička jednadžba

$$h_A = h \pm \beta v^2 + \frac{L}{g}\frac{dv}{dt} \tag{3}$$

gdje je:

h_A - vodostaj u akumulaciji

h - vodostaj u vodnoj komori

$\frac{L}{g}\frac{dv}{dt}$ - član ubrzanja mase u dovodnom tunelu, pozitivan u slučaju ubrzanja

βv^2 – ukupni gubici, pozitivni ako v ima smjer prema komori

Određuje se iz relacije ukupnih gubitaka:

$$\Delta H_e = \beta v^2 = \xi_u \frac{v^2}{2g} + \lambda \frac{L}{D}\frac{v^2}{2g} + \xi_{iz}\frac{v^2}{2g} \tag{4}$$

dakle, na uobičajen način, kao za stacionarno strujanje.

b) Jednadžba kontinuiteta

Zasniva se na održanju volumenskog protoka: razlika dotoka u otjecanju iz vodne komore izaziva podizanje vodostaja u vodnoj komori.

Prema tome :

$$Q - Q_T = A_k \frac{dh}{dt} \tag{5}$$

gdje je :

$Q = A_D \cdot v$ - protok u dovodnom tunelu u bilo kojem trenutku

A_D - površina poprečnog presjeka dovodnog tunela

$A_k \frac{dh}{dt} = Q_k$ - protok kojim se puni vodna komora

A_k - površina poprečnog presjeka komore, općenito promjenjiva po visini

$\frac{dh}{dt}$ - brzina gibanja vodostaja (vode) u komori.

1.2. STABILNOST SUSTAVA VODNE KOMORE

Hidroelektrana koja je uključena u hidroenergetski sustav treba proizvoditi struju određene frekvencije. Elektroenergetski sustav ne trpi promjene frekvencije, tako da je sustav turbina i generatora posebno reguliran da zadovolji navedeni uvjet. Suvremena pravila tehničke eksploatacije energetskih mreža zahtjevaju konstantnost frekvencije izmjenične struje reda veličine ±0.2% od normalne veličine. Frekvencija električne struje, proizvedena određenim generatorom, ovisi o kutnoj brzini obrtaja rotora generatora. Ta zavisnost određena je izrazom:

$$f = \frac{pn}{60} \tag{6}$$

gdje je:

f - frekvencija struje u periodima /s

n - broj okretaja u minuti

p - broj parova polova generatora

Gibanje rotora agregata (turbina + generator) određena je osnovnom dinamičkom jednadžbom stroja:

$$I\frac{d\omega}{dt} = M_V - M_O \tag{7}$$

gdje je :

I - polarni moment tromosti obrtnih dijelova agregata,

ω - kutna brzina agregata,

M_V - moment vanjskih sila koje pokreću stroj,

M_O - moment sila otpora, nastalih opterećenjem generatora i drugih, disipativnih sila.

Uvjet konstantnosti frekvencije zahtjeva konstantnu kutnu brzinu, to jest da vrijedi $\frac{dw}{dt}$ = 0, tako da je potrebno ispuniti uvjet:

$$M_V = M_O \tag{8}$$

što znači da moment vanjskih pokretačkih sila mora biti jednak momentu sila otpora.

Kako je moment vanjskih sila na turbini određen sa :

$$M_V = \frac{\rho\ g\ Q\ H\ \eta}{\omega} \tag{9}$$

gdje je iskorištena snaga toka vode:

$$N = \rho\ g\ Q\ H\ \eta \tag{10}$$

slijedi da hidroelektrana u pogonu treba raditi u režimu konstantne snage.

Snaga na turbini, odnosno agregatu, određena je veličinom protoka Q i energijskim padom H, kao i koeficijentom iskorištenja η turbine i agregata. Hidraulički sustav dovoda je takav da se sva tri parametra mijenjaju kod bilo koje promjene protoka ili piezometarske visine, ispred i iza turbine. Da bi agregat proizveo struju konstantne frekvencije, informacija o promjeni broja okretaja rotora agregata prenosi se na poseban uređaj, regulator snage, koji odmah daje impulse za promjenu položaja lopatica privodnog kola, kako bi se protok Q i pad H prilagodili, tako da snaga agregata ostane konstantna. Iz izraza za snagu nije teško zaključiti da se sa smanjenjem pada H povećava protok i obrnuto. Upuštanje agregata u pogon na određenu snagu prazni vodnu komoru, u kojoj vodostaj opada, čime se smanjuje pad H na turbinama. Da bi turbina održala režim konstantne snage, regulator povećava protok Q, te time dodatno djeluje na povećano pražnjenje vodne komore. Sličan, ali obrnuti trend postoji i u fazi dizanja vodostaja u vodnoj komori, regulator smanjuje protok i povećava oscilaciju, dakle regulator turbina ima tendenciju povećanja oscilacija. Ako je vodna komora nepovoljno dimenzionirana, otpori strujanja su slabiji od utjecaja regulatora te se pojavljuju progresivne oscilacije.

Vodna komora treba biti tako dimenzionirana da se oscilacije u svakom slučaju amortiziraju. Ispitivanje stabilnosti vodne komore provodi se kod najniže kote vodostaja u akumulaciji, najviše kote vodostaja donje vode, za varijantu glatkog tunela i varijantu parcijalnog otvaranja sa 50% snage N na 100% N. Problem stabilnosti vodne komore svodi se na rješavanje diferencijalnih jednadžbi.

a) Jednadžba kontinuiteta :

$$Q - Q_T = A_k \frac{dh}{dt} \tag{11}$$

b) Dinamička jednadžba :

$$h_A = h \pm \beta v^2 + \frac{L}{g}\frac{dv}{dt} \tag{12}$$

c) Jednadžba konstantne snage turbine, N=const. :

$$N = \rho\ g\ Q_{T0}\ H_0\ \eta_0 = \rho\ g\ Q_T\ H\ \eta \tag{13}$$

Nakon diferenciranja po vremenu:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{du}{dt} + \frac{A_k}{A_D}\frac{d^2z}{dt^2} \tag{14}$$

Uvjet konstantnosti snage bit će:

$$Q_{T0}H_0 = Q_T(H_{ST} + z) \tag{15}$$

gdje se smatra da je η = const. Dijeleći gornji izraz sa A_D , dobije s:

$$\frac{Q_{T0}H_0}{A_D} = \frac{Q_T}{A_D}(H_{ST} + z) \tag{16}$$

Nakon diferenciranja po vremenu, uvodeći $u = \frac{Q_T}{A_D}$:

$$\frac{du}{dt} = -\frac{u_0H_0}{(H_{st} + z)^2}\frac{dz}{dt} \tag{17}$$

Uvodeći (14) i (17) u dinamičku jednadžbu dobije se:

$$\frac{L}{g}\frac{A_k}{A_D}\frac{d^2z}{dt^2} + \frac{L}{g}\left[\frac{u_0H_0}{(H_{st} + z)^2}\right]\frac{dz}{dt} + z + \beta v^2 = 0 \tag{18}$$

Ova diferencijalna jednadžba (18) ne može se u općem slučaju egzaktno integrirati pa se rješava približno. U slučaju malih amplituda "z" oscilacija vodostaja u vodnoj komori, mogu se produkti malih vrijednosti viših redova izostaviti u odnosu na ostale članove, tako da se jednadžba linearizira:

$$\frac{d^2z}{dt^2} + 2a\frac{dz}{dt} + bz = 0 \tag{19}$$

Njemački hidrauličar D.Thoma prvi je, na ovakav način, izveo kriterij za stabilnost vodne komore. Da bi cilindrična vodna komora bila stabilna potrebno je da ima minimalnu površinu:

$$A_k \geq A_{TH} = \frac{v_0^2}{2g} \cdot \frac{LA_D}{\Delta h_0(H_{st} - \Delta h_0)} \tag{20}$$

Granična vrijednost Thominog kriterija:

$$\frac{L}{g} \cdot \frac{A_D}{A_K} \cdot \frac{v_0^2}{{\Delta h_0}^2} > 40 \tag{21}$$

Veličina ε:

$$\varepsilon = \frac{L}{g} \cdot \frac{A_D}{A_K} \cdot \frac{v_0^2}{\Delta h_0{}^2} = \frac{z_*^2}{\Delta h_0{}^2} \tag{22}$$

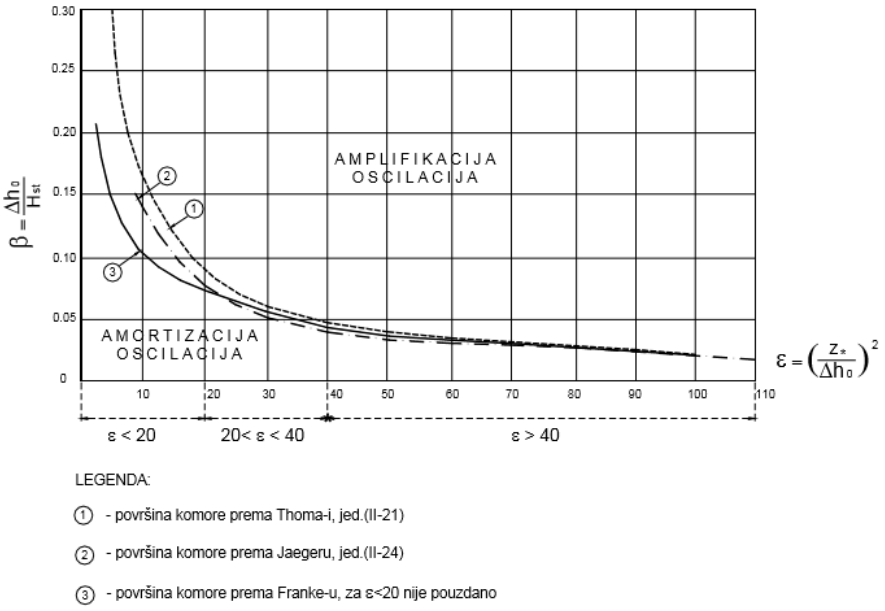
zove se parametar VOGT-a. Ako je sustav dovodni tunel - vodna komora - tlačni cjevovod takvih dimenzija da ima 20 < ε < 40, tada se prema Jaeger-u može uzeti :

$$A_J = n^* A_{Th} \tag{23}$$

gdje je Jaeger-ov faktor povećanja površine vodne komore:

$$n^* = 1 + 0.482 \frac{z^*}{(H_{st} - \Delta h_0)} \tag{24}$$

Za niže parametre ε nije razrađena teorija te se stabilnost određuje numeričkom integracijom ili hidrauličkim modelom. Na slici br. 1 prikazan je dijagram za određivanje stabilnosti cilindrične vodne komore.



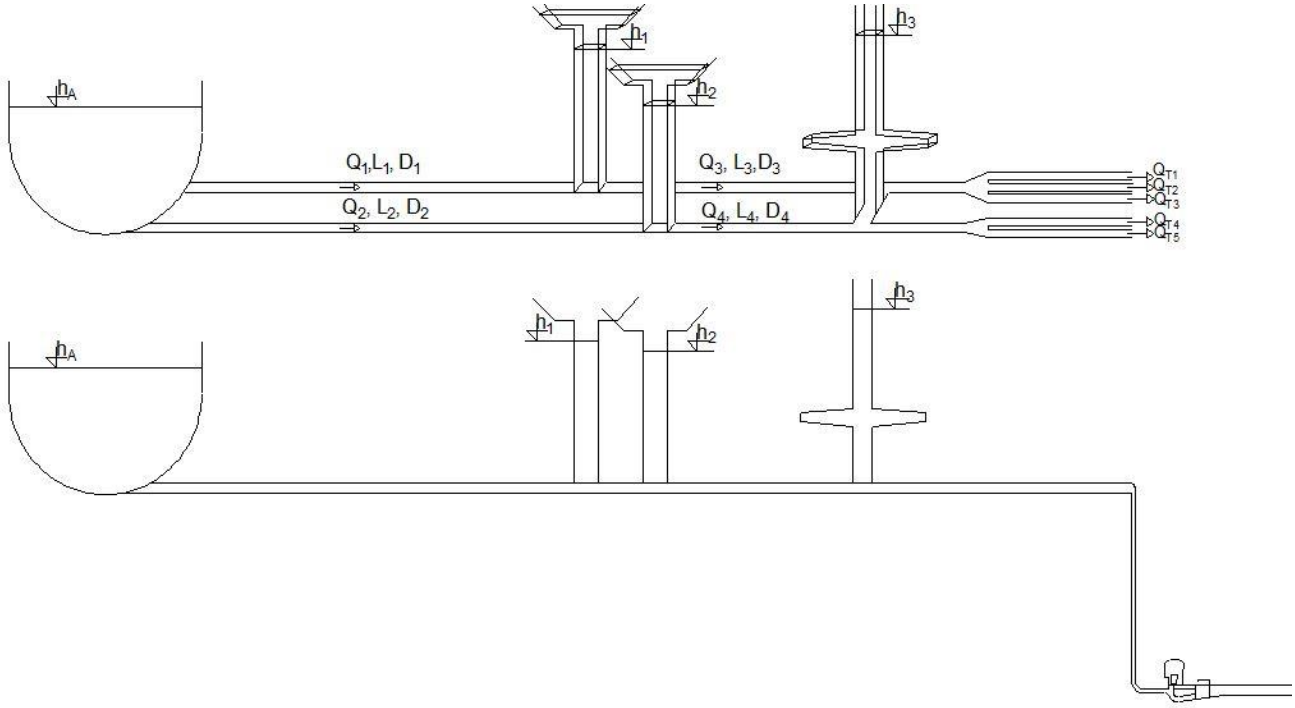
Slika 1 Dijagram za određivanje stabilnosti cilindrične vodne komore

2. MATEMATIČKI MODEL SUSTAVA

2.1. OPIS MODELA

Cilj izrade matematičkog modela je dimenzioniranje vodne komore za zadane veličine, te za varijante brzog pojedinačnog ili skupnog uključivanja turbina. Vodne komore moraju, za pojedine načine uključivanja i isključivanja turbina, biti dovoljne površine kako bi se oscilacije uvijek umirile, te kako bi minimalna postignuta razina vode u komori bila takva da zrak ne uđe u donji dio cilindrične vodne komore, uz odgovarajuću sigurnost.

Skica sustava prikazana je u nastavku:



Slika 2 Skica sustava hidroelektrane

2.2. FORMULACIJA MATEMATIČKOG MODELA

Ponašanje sustava opisano je sljedećim jednadžbama:

a) Jednadžba kontinuiteta za prvu vodnu komoru:

$$A_1 \cdot \frac{dh_1}{dt} = Q_1 - Q_3 \tag{25}$$

b) Jednadžba kontinuiteta za drugu vodnu komoru:

$$A_2 \cdot \frac{dh_2}{dt} = Q_2 - Q_4 \tag{26}$$

c) Jednadžba kontinuiteta za treću vodnu komoru:

$$A_3 \cdot \frac{dh_3}{dt} = Q_3 + Q_4 - Q_{T1} - Q_{T2} - Q_{T3} - Q_{T4} - Q_{T4} - Q_{T5} \tag{27}$$

d) Dinamička jednadžba za prvi dovodni tunel:

$$h_A = h_1 \pm \beta_1 Q_1^2 + \frac{L_1}{gA_1} \cdot \frac{dQ_1}{dt} \tag{28}$$

e) Dinamička jednadžba za drugi dovodni tunel:

$$h_A = h_2 \pm \beta_2 Q_2^2 + \frac{L_2}{gA_2} \cdot \frac{dQ_2}{dt} \tag{29}$$

f) Dinamička jednadžba za cijev tri:

$$h_A = h_3 \pm \beta_3 Q_3^2 + \frac{L_3}{gA_3} \cdot \frac{dQ_3}{dt} \tag{30}$$

g) Dinamička jednadžba za cijev četiri:

$$h_A = h_4 \pm \beta_4 Q_4^2 + \frac{L_4}{gA_4} \cdot \frac{dQ_4}{dt} \tag{32}$$

h) Jednadžba za snagu prve turbine:

$$N_1^{K+1} = \rho \cdot g \cdot Q_{T1}^{K+1} \cdot (h_3^{k+1} - h_D^{k+1}) \cdot \eta \tag{33}$$

i) Jednadžba za snagu druge turbine:

$$N_2^{K+1} = \rho \cdot g \cdot Q_{T2}^{K+1} \cdot (h_3^{k+1} - h_D^{k+1}) \cdot \eta \tag{34}$$

j) Jednadžba za snagu treće turbine:

$$N_3^{K+1} = \rho \cdot g \cdot Q_{T3}^{K+1} \cdot (h_3^{k+1} - h_D^{k+1}) \cdot \eta \tag{35}$$

k) Jednadžba za snagu četvrte turbine:

$$N_4^{K+1} = \rho \cdot g \cdot Q_{T4}^{K+1} \cdot (h_3^{k+1} - h_D^{k+1}) \cdot \eta \tag{36}$$

l) Jednadžba za snagu pete turbine:

$$N_5^{K+1} = \rho \cdot g \cdot Q_{T5}^{K+1} \cdot (h_3^{k+1} - h_D^{k+1}) \cdot \eta \tag{37}$$

Sustav jednadžbi kontinuiteta i dinamičkih jednadžbi se integrira u nekom konačnom vremenskom intervalu $[t^k, t^{k+1}]$. Cjelovito stanje sustava je poznato na početku intervala $t = t^k$, a na kraju intervala kad je $t = t^{k+1}$ se proračunava novo stanje sustava.
Oznake k i $k+1$, gdje $k = 1,2,3, \dots, n$ označavaju stanje sustava u pojedinom trenutku, odnosno u pojedinom vremenskom koraku.

Integralni oblik sustava jednadžbi:

a) Jednadžba kontinuiteta za prvu vodnu komoru:

$$\int_k^{k+1} dh_1 = \int_k^{k+1} \left(\frac{Q_1 - Q_3}{A_1}\right) dt \tag{38}$$

b) Jednadžba kontinuiteta za drugu vodnu komoru:

$$\int_k^{k+1} dh_2 = \int_k^{k+1} \left(\frac{Q_2 - Q_4}{A_2}\right) dt \tag{39}$$

c) Jednadžba kontinuiteta za treću vodnu komoru:

$$\int_k^{k+1} dh_3 = \int_k^{k+1} \left(\frac{Q_3 + Q_4 - Q_{T1} - Q_{T2} - Q_{T3} - Q_{T4} - Q_{T4} - Q_{T5}}{A_3}\right) dt \tag{40}$$

d) Dinamička jednadžba za prvi dovodni tunel:

$$\int_k^{k+1} dQ_1 = \int_k^{k+1} \left(\frac{(h_A - h_1) \pm \beta_1 |Q_1| Q_1}{\frac{L_1}{gA_1}}\right) dt \tag{41}$$

e) Dinamička jednadžba za drugi dovodni tunel:

$$\int_k^{k+1} dQ_2 = \int_k^{k+1} \left(\frac{(h_A - h_2) \pm \beta_2 |Q_2| Q_2}{\frac{L_2}{gA_2}}\right) dt \tag{42}$$

f) Dinamička jednadžba za cijev tri:

$$\int_k^{k+1} dQ_3 = \int_k^{k+1} \left(\frac{(h_1 - h_3) \pm \beta_3 |Q_3| Q_3}{\frac{L_3}{g A_3}} \right) dt \tag{43}$$

g) Dinamička jednadžba za cijev četiri:

$$\int_k^{k+1} dQ_4 = \int_k^{k+1} \left(\frac{(h_2 - h_3) \pm \beta_4 |Q_4| Q_4}{\frac{L_4}{g A_4}} \right) dt \tag{43}$$

Nakon integracije lijeve strane jednadžbi dobije se:

a) Jednadžba kontinuiteta za prvu vodnu komoru:

$$h_1^{K+1} = h_1^K + \int_k^{k+1} \left(\frac{Q_1 - Q_3}{A_1} \right) dt \tag{44}$$

b) Jednadžba kontinuiteta za drugu vodnu komoru:

$$h_2^{K+1} = h_2^K + \int_k^{k+1} \left(\frac{Q_2 - Q_4}{A_2} \right) dt \tag{45}$$

c) Jednadžba kontinuiteta za treću vodnu komoru:

$$h_3^{K+1} = h_3^K + \int_k^{k+1} \left(\frac{Q_3 + Q_4 - Q_{T1} - Q_{T2} - Q_{T3} - Q_{T4} - Q_{T4} - Q_{T5}}{A_3} \right) dt \tag{46}$$

d) Dinamička jednadžba za prvi dovodni tunel:

$$Q_1^{K+1} = Q_1^K + \int_k^{k+1} \left(\frac{(h_A - h_1) \pm \beta_1 |Q_1| Q_1}{\frac{L_1}{g A_1}} \right) dt \tag{47}$$

e) Dinamička jednadžba za drugi dovodni tunel:

$$Q_2^{K+1} = Q_2^K + \int_k^{k+1} \left(\frac{(h_A - h_2) \pm \beta_2 |Q_2| Q_2}{\frac{L_2}{g A_2}} \right) dt \tag{48}$$

f) Dinamička jednadžba za cijev tri:

$$Q_3^{K+1} = Q_3^K + \int_k^{k+1} \left(\frac{(h_1 - h_3) \pm \beta_3 |Q_3| Q_3}{\frac{L_3}{g A_3}} \right) dt \tag{49}$$

g) Dinamička jednadžba za cijev četiri:

$$Q_4^{K+1} = Q_4^K + \int_k^{k+1} \left(\frac{(h_2 - h_3) \pm \beta_4 |Q_4| Q_4}{\frac{L_4}{g A_4}} \right) dt \tag{50}$$

Desna strana jednadžbi se ne može direktno integrirati zbog složenih pod-integralnih funkcija. Za kraće vremenske intervale mogu se primijeniti neke od metoda numeričke integracije i dovoljno dobro izračunati integrale. U ovoj formulaciji je korišten implicitno-eksplicitan postupak tj. mješoviti postupak s parametrom integracije Θ=0,5.

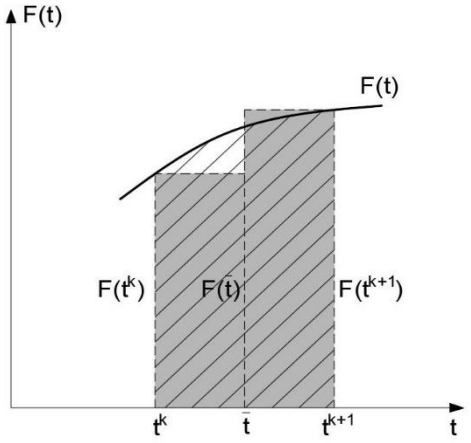
2.2.1. EKSPLICITNO – IMPLICITNA METODA

Korištenje mješovitog postupka objasnit će se na primjeru jednadžbe:

$$\frac{dy}{dt} = F(t) \tag{51}$$

Ako se separiraju varijable i integrira funkciju u vremenskom intervalu $[t^k, t^{k+1}]$ dobit će se sljedeća jednadžba:

$$y^{k+1} = y^k + \int_k^{k+1} F(t)dt \tag{52}$$



Slika 3 Numerička aproksimacija integrala funkcije F(t)

Integral funkcije $F(t)$ predstavlja površinu ispod krivulje u intervalu $[t^k, t^{k+1}]$, te se aproksimira pravokutnim površinama.

Po teoremu o srednjoj vrijednosti integrala može se napisati da je:

$$y^{k+1} - y^k = F(\tilde{t}) \cdot (t^{k+1} - t^k) \tag{53}$$

gdje srednji vremenski trenutak uzima vrijednost $t^k \leq \tilde{t} \leq t^{k+1}$.

Funkcijska vrijednost $F(t)$ je nepoznata, ali se može aproksimirati s površinama dvaju pravokutnika, pa je konačna aproksimacija integrala:

$$y^{k+1} - y^{k} = (1-\theta)\cdot F\left(t^{k}\right)\cdot\left(t^{k+1}-t^{k}\right) + \theta\cdot F\left(t^{k+1}\right)\cdot\left(t^{k+1}-t^{k}\right) \tag{54}$$

Vrijednost člana jednadžbe $F\left(t^{k}\right)\cdot\left(t^{k+1}-t^{k}\right)$ je eksplicitni dio aproksimacije, jer se aproksimira na temelju poznatog stanja na početku vremenskog intervala, a vrijednost $F\left(t^{k+1}\right)\cdot\left(t^{k+1}-t^{k}\right)$ je implicitni dio jer se aproksimira na temelju nepoznatog stanja na kraju vremenskog intervala.

Parametar parcijalne integracije θ ima funkciju raspodjele eksplicitne i implicitne vrijednosti. θ uzima vrijednost $0 \le \theta \le 1$, i eksperimentalno se pokazalo da se najbolji rezultati dobiju s vrijednosti $\theta = 0{,}55$.

Nakon primjene mješovite metode na sustav jednadžbi dobije se konačan oblik jednadžbi za konačan vremenski period.

a) Jednadžba kontinuiteta za prvu vodnu komoru:

$$h_1^{K+1} = h_1^{K} + (1-\theta)\cdot\Delta t\cdot\frac{Q_1^{K}-Q_3^{K}}{A_1^{K}} + \theta\cdot\Delta t\cdot\frac{Q_1^{K+1}-Q_3^{K+1}}{A_1^{K+1}} \tag{55}$$

b) Jednadžba kontinuiteta za drugu vodnu komoru:

$$h_2^{K+1} = h_2^{K} + (1-\theta)\cdot\Delta t\cdot\frac{Q_2^{K}-Q_4^{K}}{A_2^{K}} + \theta\cdot\Delta t\cdot\frac{Q_2^{K+1}-Q_4^{K+1}}{A_2^{K+1}} \tag{55}$$

c) Jednadžba kontinuiteta za treću vodnu komoru:

$$h_3^{K+1} = h_3^{K} + (1-\theta)\cdot\Delta t\cdot\frac{Q_3^{K}+Q_4^{K}-Q_{T1}^{K}-Q_{T2}^{K}-Q_{T3}^{K}-Q_{T4}^{K}-Q_{T5}^{K}}{A_3^{K}} + \theta\cdot\Delta t\cdot\frac{Q_3^{K+1}+Q_4^{K+1}-Q_{T1}^{K+1}-Q_{T2}^{K+1}-Q_{T3}^{K+1}-Q_{T4}^{K+1}-Q_{T5}^{K+1}}{A_3^{K+1}} \tag{56}$$

d) Dinamička jednadžba za prvi dovodni tunel:

$$Q_1^{K+1} = Q_1^{K} + (1-\theta)\cdot\Delta t\cdot\frac{gA_1}{L_1}\cdot\left(h_A - h_1^{K} - \beta_1^{K}\cdot\left|Q_1^{K}\right|\cdot Q_1^{K}\right) + \theta\cdot\Delta t\cdot\frac{gA_1}{L_1}\cdot\left(h_A - h_1^{K+1} - \beta_1^{K+1}\cdot\left|Q_1^{K+1}\right|\cdot Q_1^{K+1}\right) \tag{57}$$

e) Dinamička jednadžba za drugi dovodni tunel:

$$Q_2^{K+1} = Q_2^{K} + (1-\theta)\cdot\Delta t\cdot\frac{gA_2}{L_2}\cdot\left(h_A - h_2^{K} - \beta_2^{K}\cdot\left|Q_2^{K}\right|\cdot Q_2^{K}\right) + \theta\cdot\Delta t\cdot\frac{gA_2}{L_2}\cdot\left(h_A - h_2^{K+1} - \beta_2^{K+1}\cdot\left|Q_2^{K+1}\right|\cdot Q_2^{K+1}\right) \tag{58}$$

f) Dinamička jednadžba za cijev tri:

$$Q_3^{K+1} = Q_3^{K} + (1-\theta)\cdot\Delta t\cdot\frac{gA_3}{L_3}\cdot\left(h_1^{K} - h_3^{K} - \beta_3^{K}\cdot\left|Q_3^{K}\right|\cdot Q_3^{K}\right) + \theta\cdot\Delta t\cdot\frac{gA_3}{L_3}\cdot\left(h_1^{K+1} - h_3^{K+1} - \beta_3^{K+1}\cdot\left|Q_3^{K+1}\right|\cdot Q_3^{K+1}\right) \tag{59}$$

g) Dinamička jednadžba za cijev četiri:

$$Q_4^{K+1} = Q_4^K + (1-\theta)\cdot\Delta t\cdot\frac{gA_4}{L_4}\cdot\left(h_2^K - h_3^K - \beta_4^K\cdot\left|Q_4^K\right|\cdot Q_4^K\right) + \theta\cdot\Delta t\cdot\frac{gA_4}{L_4}\cdot\left(h_2^{K+1} - h_3^{K+1} - \beta_4^{K+1}\cdot\left|Q_4^{K+1}\right|\cdot Q_4^{K+1}\right) \quad (60)$$

Jednadžbe koje opisuju sustav čine nelinearni sustav od dvanaest jednadžbi s dvanaest nepoznanica:

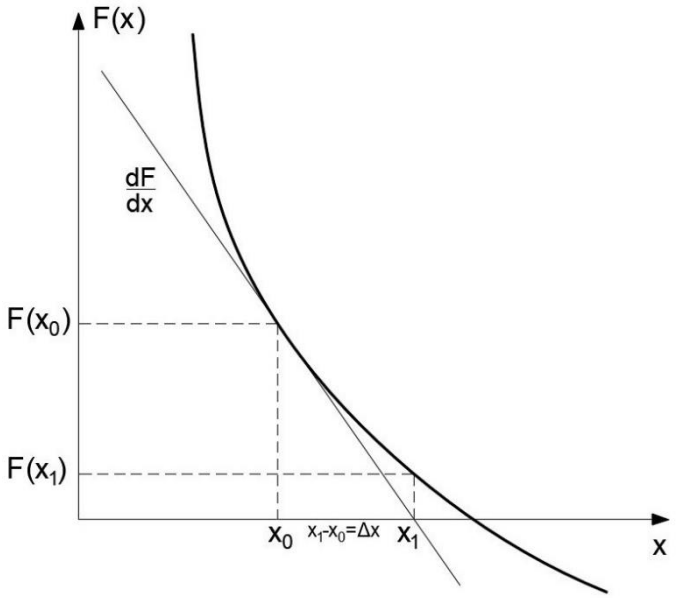
$$h_1^{K+1}, h_2^{K+1}, h_3^{K+1}, Q_1^{K+1}, Q_2^{K+1}, Q_3^{K+1}, Q_4^{K+1}, Q_{T1}^{K+1}, Q_{T2}^{K+1}, Q_{T3}^{K+1}, Q_{T4}^{K+1}, Q_{T5}^{K+1}\ .$$

Sustav je rješiv primjenom Newtonove metode.

2.3. NEWTON-RAPHSON METODA RJEŠAVANJA SUSTAVA NELINEARNIH JEDNADŽBI

Newton-ova metoda se često koristi za numeričko rješavanje nelinearnih jednadžbi, a temelji se na korištenju linearne aproksimacije za rješavanje jednadžbi.

Neka je $F(x)$ neka opća funkcija i neka je r rješenje za $F(x) = 0$. Prvi korak u nalaženju rješenja r je pretpostavka rješenja x_0. Iz prve pretpostavke naći će se druga pretpostavka x_1 koja je bliža rješenju r, i tako iterativno dok razlika pretpostavljene i izračunate veličine postane približno jednaka: $x_n - r \approx 0$.



Slika 4 Graf funkcije F(x)

Za pretpostavljenu vrijednost x_0 provuče se tangenta na graf $F(x)$; na mjestu gdje tangenta siječe os x dobivena je pretpostavka x_1 za sljedeću iteraciju. Postupak se nastavlja dok se ne nađe točka u kojoj graf funkcije F(x) siječe os x, te samim time rješenje $F(x) = 0$.
Nagib tangente je zapravo derivacija funkcije u točki za koju je tangenta provučena.

$$\frac{dF}{dx} = \frac{-F(x_0)}{x_1 - x_0} \tag{61}$$

$$x_1 = x_0 - \frac{F(x_0)}{\frac{dF(x)}{dx}} \tag{62}$$

Općenito može se zapisati:

$$x_{n+1} = x_n - \frac{F(x_n)}{\frac{dF(x)}{dx}} \tag{63}$$

$$\frac{dF}{dx} \cdot \Delta x = -F(x) \tag{64}$$

gdje je:

$$\Delta x = x_{n+1} - x_n \tag{65}$$

Postupak se ponavlja iterativno dok se ne dobije $\Delta x \approx 0$.

2.4. SLAGANJE SUSTAVA JEDNADŽBI PREMA NEWTON-RAPHSONOVOJ METODI

Prethodno navedeni sustav od dvanaest nelinearnih jednadžbi s dvanaest nepoznanica potrebno je preformulirati da bi se mogla primijeniti Newtonova metoda. Prvi korak je prebacivanje svih članova na jednu stranu i izjednačavanje s nulom, te nalaženje derivacija funkcije po svih dvanaest nepoznatih varijabli

$(h_1^{K+1}, h_2^{K+1}, h_3^{K+1}, Q_1^{K+1}, Q_2^{K+1}, Q_3^{K+1}, Q_4^{K+1}, Q_{T1}^{K+1}, Q_{T2}^{K+1}, Q_{T3}^{K+1}, Q_{T4}^{K+1}, Q_{T5}^{K+1})$.

a) Funkcija F(1)

$$F(1) = h_1^{K+1} - h_1^K - (1-\theta)\cdot\Delta t\cdot\frac{Q_1^K - Q_3^K}{A_1^K} - \theta\cdot\Delta t\cdot\frac{Q_1^{K+1} - Q_3^{K+1}}{A_1^{K+1}} = 0 \tag{66}$$

Derivacija funkcije F(1) po nepoznatim varijablama:

$$FF(1,1) = \frac{\partial F_1}{\partial h_1^{K+1}} = 1{,}0\,, \quad FF(1,4) = \frac{\partial F_1}{\partial Q_1^{K+1}} = -\frac{\theta\Delta t}{A_1^{K+1}}, \quad FF(1,6) = \frac{\partial F_1}{\partial Q_3^{K+1}} = \frac{\theta\Delta t}{A_1^{K+1}} \tag{67}$$

Derivacije po ostalim nepoznatim varijablama su jednake 0.

b) Funkcija F(2)

$$F(2) = h_2^{K+1} - h_2^K - (1-\theta)\cdot\Delta t\cdot\frac{Q_2^K - Q_4^K}{A_2^K} - \theta\cdot\Delta t\cdot\frac{Q_2^{K+1} - Q_4^{K+1}}{A_2^{K+1}} = 0 \tag{68}$$

Derivacija funkcije F(2) po nepoznatim varijablama:

$$FF(2,2) = \frac{\partial F_2}{\partial h_2^{K+1}} = 1{,}0\,, \quad FF(2,5) = -\frac{\partial F_2}{\partial Q_2^{K+1}} = -\frac{\theta\Delta t}{A_2^{K+1}}, \quad F(2,7) = \frac{\partial F_2}{\partial Q_4^{K+1}} = \frac{\theta\Delta t}{A_2^{K+1}} \tag{69}$$

Derivacije po ostalim nepoznatim varijablama su jednake 0.

c) Funkcija F(3)

$$F(3) = h_3^{K+1} - h_3^K - (1-\theta)\cdot\Delta t\cdot\frac{Q_3^K + Q_4^K - Q_{T1}^K - Q_{T2}^K - Q_{T3}^K - Q_{T4}^K - Q_{T5}^K}{A_3^K} - \theta\cdot\Delta t\cdot\frac{Q_3^{K+1} + Q_4^{K+1} - Q_{T1}^{K+1} - Q_{T2}^{K+1} - Q_{T3}^{K+1} - Q_{T4}^{K+1} - Q_{T5}^{K+1}}{A_3^{K+1}} = 0 \tag{70}$$

Derivacija funkcije F(3) po nepoznatim varijablama:

$$FF(3,3) = \frac{\partial F_3}{\partial h_3^{K+1}} = 1{,}0, \quad FF(3,6) = \frac{\partial F_2}{\partial Q_3^{K+1}} = -\frac{\theta\Delta t}{A_3^{K+1}} \tag{71}$$

$$FF(3,7) = \frac{\partial F_2}{\partial Q_4^{K+1}} = -\frac{\theta\Delta t}{A_3^{K+1}}, \quad FF(3,8) = \frac{\partial F_2}{\partial Q_{T1}^{K+1}} = \frac{\theta\Delta t}{A_3^{K+1}} \tag{72}$$

$$FF(3,9) = \frac{\partial F_2}{\partial Q_{T2}^{K+1}} = \frac{\theta \Delta t}{A_3^{K+1}}, \quad FF(3,10) = \frac{\partial F_2}{\partial Q_{T3}^{K+1}} = -\frac{\theta \Delta t}{A_3^{K+1}} \tag{73}$$

$$FF(3,11) = \frac{\partial F_2}{\partial Q_{T4}^{K+1}} = \frac{\theta \Delta t}{A_3^{K+1}}, \quad FF(3,12) = \frac{\partial F_2}{\partial Q_{T5}^{K+1}} = \frac{\theta \Delta t}{A_3^{K+1}} \tag{74}$$

Derivacije po ostalim nepoznatim varijablama su jednake 0.

d) Funkcija F(4)

$$F(4) = Q_1^{K+1} - Q_1^K - (1-\theta) \cdot \Delta t \cdot \frac{gA_1}{L} \cdot (h_A - h_1^K - \beta_1^K \cdot |Q_1^K| \cdot Q_1^K) - \theta \cdot \Delta t \cdot \frac{gA_1}{L} \cdot (h_A - h_1^{K+1} - \beta_1^{K+1} \cdot |Q_1^{K+1}| \cdot Q_1^{K+1}) = 0 \tag{75}$$

Derivacija funkcije F(4) po nepoznatim varijablama:

$$FF(4,1) = \frac{\partial F_4}{\partial h_1^{K+1}} = \frac{\theta \Delta t g A_1}{L_1}; \quad FF(4,4) = \frac{\partial F_4}{\partial Q_1^{K+1}} = 1 + 2 \cdot \frac{\theta \Delta t g A_1 \beta_1^{K+1}}{L_1} \cdot Q_1^{K+1} \tag{76}$$

Derivacije po ostalim nepoznatim varijablama su jednake 0.

e) Funkcija F(5)

$$F(5) = Q_2^{K+1} - Q_2^K - (1-\theta) \cdot \Delta t \cdot \frac{gA_2}{L} \cdot (h_A - h_2^K - \beta_2^K \cdot |Q_2^K| \cdot Q_2^K) - \theta \cdot \Delta t \cdot \frac{gA_2}{L} \cdot (h_A - h_2^{K+1} - \beta_2^{K+1} \cdot |Q_2^{K+1}| \cdot Q_2^{K+1}) = 0 \tag{77}$$

Derivacija funkcije F(5) po nepoznatim varijablama:

$$FF(5,2) = \frac{\partial F_5}{\partial h_2^{K+1}} = \frac{\theta \Delta t g A_2}{L_2}; \quad FF(5,5) = \frac{\partial F_5}{\partial Q_2^{K+1}} = 1 + 2 \cdot \frac{\theta \Delta t g A_2 \beta_2^{K+1}}{L_2} \cdot Q_2^{K+1} \tag{78}$$

Derivacije po ostalim nepoznatim varijablama su jednake 0.

f) Funkcija F(6)

$$F(6) = Q_3^{K+1} - Q_3^K - (1-\theta) \cdot \Delta t \cdot \frac{gA_3}{L} \cdot (h_1^K - h_3^K - \beta_3^K \cdot |Q_3^K| \cdot Q_3^K) - \theta \cdot \Delta t \cdot \frac{gA_3}{L} \cdot (h_1^{K+1} - h_3^{K+1} - \beta_3^{K+1} \cdot |Q_3^{K+1}| \cdot Q_3^{K+1}) = 0 \tag{79}$$

Derivacija funkcije F(6) po nepoznatim varijablama:

$$FF(6,1) = \frac{\partial F_6}{\partial h_1^{K+1}} = -\frac{\theta \Delta t \cdot g \cdot A_3}{L_3}, \quad FF(6,3) = \frac{\partial F_6}{\partial h_3^{K+1}} = \frac{\theta \Delta t \cdot g \cdot A_3}{L_3} \tag{80}$$

$$FF(6,6) = \frac{\partial F_6}{\partial Q_3^{K+1}} = \frac{\theta \Delta t \cdot g \cdot A_3}{L_3} \cdot 2 \cdot \beta_3^{K+1} \cdot Q_3^{K+1} + 1.0 \tag{81}$$

Derivacije po ostalim nepoznatim varijablama su jednake 0.

g) Funkcija F(7)

$$F(7) = Q_4^{K+1} - Q_4^K + (1-\theta)\cdot\Delta t\cdot\frac{gA_4}{L}\cdot(h_2^K - h_3^K - \beta_4^K\cdot|Q_4^K|\cdot Q_4^K) - \theta\cdot\Delta t\cdot\frac{gA_4}{L}\cdot(h_2^{K+1} - h_3^{K+1} - \beta_4^{K+1}\cdot|Q_4^{K+1}|\cdot Q_4^{K+1}) = 0 \quad (82)$$

Derivacija funkcije F(7) po nepoznatim varijablama:

$$FF(7,2) = \frac{\partial F_7}{\partial h_2^{K+1}} = -\frac{\theta\Delta t g A_4}{L_4},\quad FF(7,3) = \frac{\partial F_7}{\partial h_3^{K+1}} = \frac{\theta\Delta t g A_4}{L_4} \quad (83)$$

$$FF(7,7) = \frac{\partial F_7}{\partial Q_4^{K+1}} = \frac{\theta\Delta t g A_4}{L_4}\cdot 2\cdot\beta_4^{K+1}\cdot Q_4^{K+1} + 1.0 \quad (84)$$

Derivacije po ostalim nepoznatim varijablama su jednake 0.

h) Funkcija F(8)

$$F(8) = N_1^{K+1} - \rho\cdot g\cdot Q_{T1}^{K+1}\cdot(h_3^{k+1} - h_D^{k+1})\cdot\eta = 0 \quad (85)$$

Derivacija funkcije F(8) po nepoznatim varijablama:

$$FF(8,3) = \frac{\partial F_8}{\partial h_3^{K+1}} = -\rho\cdot g\cdot Q_{T1}^{K+1}\cdot\eta;\qquad FF(8,8) = \frac{\partial F_8}{\partial Q_{T1}^{K+1}} = -\rho\cdot g\cdot(h_3^{k+1} - h_D^{k+1})\cdot\eta \quad (86)$$

Derivacije po ostalim nepoznatim varijablama su jednake 0.

i) Funkcija F(9)

$$F(9) = N_2^{K+1} - \rho\cdot g\cdot Q_{T2}^{K+1}\cdot\left(h_3^{k+1} - h_D^{k+1}\right)\cdot\eta = 0 \quad (87)$$

Derivacija funkcije F(9) po nepoznatim varijablama:

$$FF(9,3) = \frac{\partial F_9}{\partial h_3^{K+1}} = -\rho\cdot g\cdot Q_{T2}^{K+1}\cdot\eta;\qquad FF(9,9) = \frac{\partial F_9}{\partial Q_{T2}^{K+1}} = -\rho\cdot g\cdot(h_3^{k+1} - h_D^{k+1})\cdot\eta \quad (88)$$

Derivacije po ostalim nepoznatim varijablama su jednake 0.

j) Funkcija F(10)

$$F(10) = N_3^{K+1} - \rho\cdot g\cdot Q_{T3}^{K+1}\cdot(h_3^{k+1} - h_D^{k+1})\cdot\eta = 0 \quad (89)$$

Derivacija funkcije F(10) po nepoznatim varijablama:

$$FF(10,3) = \frac{\partial F_{11}}{\partial h_3^{K+1}} = -\rho\cdot g\cdot Q_{T3}^{K+1}\cdot\eta;\qquad FF(10,10) = \frac{\partial F_{10}}{\partial Q_{T3}^{K+1}} = -\rho\cdot g\cdot(h_3^{k+1} - h_D^{k+1})\cdot\eta \quad (90)$$

Derivacije po ostalim nepoznatim varijablama su jednake 0.

k) Funkcija F(11)

$$F(11) = N_4^{K+1} - \rho \cdot g \cdot Q_{T4}^{K+1} \cdot (h_3^{k+1} - h_D^{k+1}) \cdot \eta = 0 \tag{91}$$

Derivacija funkcije F(11) po nepoznatim varijablama**:**

$$FF(11,3) = \frac{\partial F_{12}}{\partial h_3^{K+1}} = -\rho \cdot g \cdot Q_{T4}^{K+1} \cdot \eta; \qquad FF(11,11) = \frac{\partial F_{10}}{\partial Q_{T4}^{K+1}} = -\rho \cdot g \cdot (h_3^{k+1} - h_D^{k+1}) \cdot \eta \tag{92}$$

Derivacije po ostalim nepoznatim varijablama su jednake 0.

l) Funkcija F(12)

$$F(12) = N_5^{K+1} - \rho \cdot g \cdot Q_{T5}^{K+1} \cdot (h_3^{k+1} - h_D^{k+1}) \cdot \eta = 0 \tag{92}$$

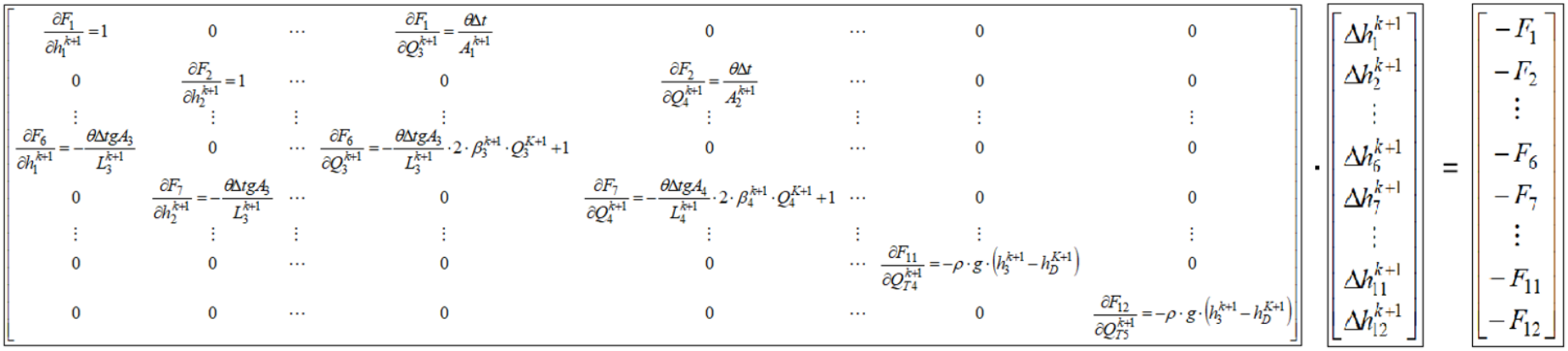
Derivacija funkcije F(12) po nepoznatim varijablama**:**

$$FF(12,3) = \frac{\partial F_{13}}{\partial h_3^{K+1}} = -\rho \cdot g \cdot Q_{T5}^{K+1} \cdot \eta; \qquad FF(12,12) = \frac{\partial F_{10}}{\partial Q_{T5}^{K+1}} = -\rho \cdot g \cdot (h_3^{k+1} - h_D^{k+1}) \cdot \eta \tag{93}$$

Derivacije po ostalim nepoznatim varijablama su jednake 0.

Sustav jednadžbi po Newton-ovoj metodi može se zapisati u matričnom obliku:

$$[J] \cdot [\Delta] = [-F] \tag{94}$$



Slika 5 Matrični oblik sustava

Rješenje sustava je vektor prirasta [Δ]:

$$[\Delta] = [J]^{-1} \cdot [-F] \tag{95}$$

Popravljene vrijednosti traženog rješenja na kraju vremenskog intervala dobiju se tako što se prethodno izračunate veličine (ili pretpostavljene u prvom koraku) povećaju za izračunate pojedine priraste:

$$\mathrm{h}_1^{\mathrm{K+1,novo}} = \mathrm{h}_1^{\mathrm{K+1,staro}} + \Delta h_1$$

$$\mathrm{h}_2^{\mathrm{K+1,novo}} = \mathrm{h}_2^{\mathrm{K+1,staro}} + \Delta h_2$$

$$\mathrm{h}_3^{\mathrm{K+1,novo}} = \mathrm{h}_3^{\mathrm{K+1,staro}} + \Delta h_3$$

$$\mathrm{Q}_1^{\mathrm{K+1,novo}} = \mathrm{Q}_1^{\mathrm{K+1,staro}} + \Delta Q_1$$

$$\mathrm{Q}_2^{\mathrm{K+1,novo}} = \mathrm{Q}_2^{\mathrm{K+1,staro}} + \Delta Q_2$$

$$\mathrm{Q}_3^{\mathrm{K+1,novo}} = \mathrm{Q}_3^{\mathrm{K+1,staro}} + \Delta Q_3$$

$$\mathrm{Q}_4^{\mathrm{K+1,novo}} = \mathrm{Q}_4^{\mathrm{K+1,staro}} + \Delta Q_4$$

$$\mathrm{Q}_{\mathrm{T1}}^{\mathrm{K+1,novo}} = \mathrm{Q}_{\mathrm{T1}}^{\mathrm{K+1,staro}} + \Delta Q_{T1}$$

$$\mathrm{Q}_{\mathrm{T2}}^{\mathrm{K+1,novo}} = \mathrm{Q}_{\mathrm{T2}}^{\mathrm{K+1,staro}} + \Delta Q_{T2}$$

$$\mathrm{Q}_{\mathrm{T3}}^{\mathrm{K+1,novo}} = \mathrm{Q}_{\mathrm{T3}}^{\mathrm{K+1,staro}} + \Delta Q_{T3}$$

$$\mathrm{Q}_{\mathrm{T4}}^{\mathrm{K+1,novo}} = \mathrm{Q}_{\mathrm{T4}}^{\mathrm{K+1,staro}} + \Delta Q_{T4}$$

$$\mathrm{Q}_{\mathrm{T5}}^{\mathrm{K+1,novo}} = \mathrm{Q}_{\mathrm{T5}}^{\mathrm{K+1,staro}} + \Delta Q_{T5}$$

Navedeni sustav jednadžbi rješavan je pomoću programskog rješenja u Fortranu 95.

3. PROGRAMSKO RJEŠENJE

3.1. ULAZNI PODACI

3.1.1. GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE DOVODNIH TUNELA I CIJEVI

Desni dovodni tunel je dug 8000 (m), promjer mu je 7,0 (m), apsolutna hidraulička hrapavost $\varepsilon = 0{,}0015\ (m)$ i koeficijent lokalnog gubitka energije na ulazu $\xi_{ulaza} = 2{,}0$.

Lijevi dovodni tunel dug 8100 (m), promjer mu je 7,6 (m), apsolutna hidraulička hrapavost $\varepsilon = 0{,}0015\ (m)$ i koeficijent lokalnog gubitka energije na ulazu $\xi_{ulaza} = 2{,}0$.

Na kraju tunela smješten je sustav vodnih komora 1 i 2. Nizvodno od sustava navedenih komora na udaljenosti od 200 (m) smješteno je zajedničko okno vodne komore preko kojeg su cjevovodi međusobno spojeni. Cijev 3 je promjera 7,0 (m), dok je cijev 4 promjera 7,6 (m), a apsolutna hidraulička hrapavost obje cijevi iznosi $\varepsilon = 0{,}0015\ (m)$, a koeficijent lokalnog gubitka energije na ulazu je zanemaren.

3.1.2. PRORAČUN DONJE VODE

Krivulja protoka donje vode u odvodnom tunelu i odvodnom kanalu određena je primjenom Manning-Strickler-ove formule, i to iterativnim postupkom za veći broj odabranih protoka. Za svaki odabrani protok izračunata je normalna dubina y_n.

$$v = K \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{I_0} \tag{96}$$

gdje je:

K - Stricklerov koeficijent hrapavosti (K=50,0)

R - hidaulički radijus (R=A/O)

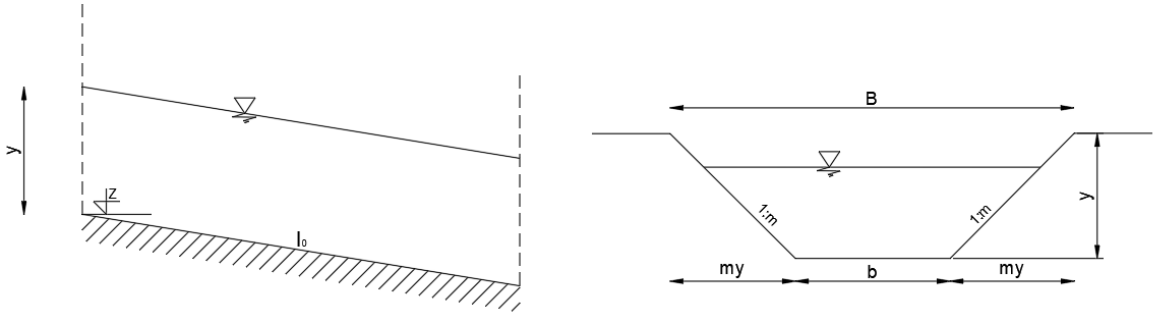
I_0 - nagib dna korita ($I_0 = 0{,}005$)

Nadalje:

$$Q = v \cdot \mathrm{A} \tag{97}$$

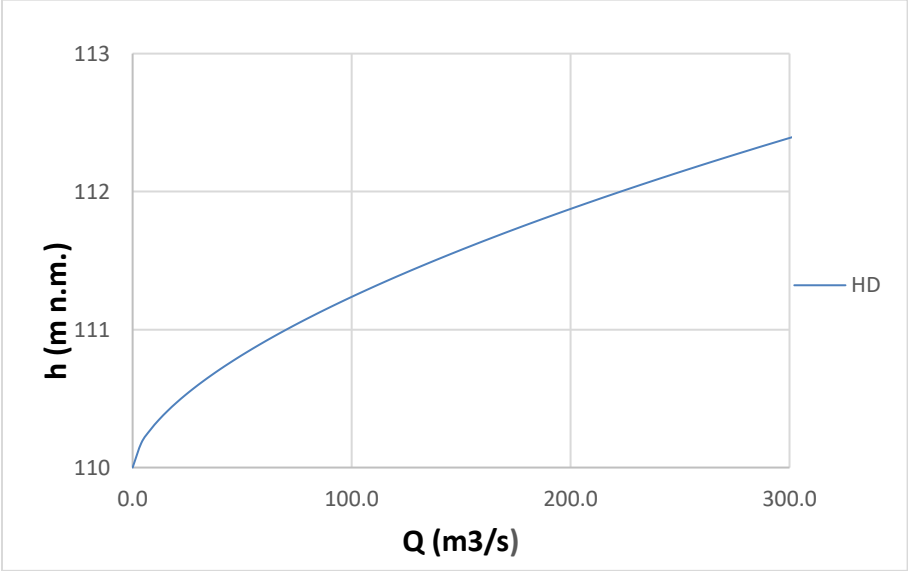
Iz čega slijedi da je:

$$Q = K \cdot \frac{A^{5/3}}{O^{2/3}} \cdot \sqrt{I_0} \tag{98}$$



Slika 6 Uzdužni i poprečni presjek korita

Širina dna korita iznosi 20 (m), a nagib pokosa je 1:1.



Slika 7 Krivulja protoka donje vode

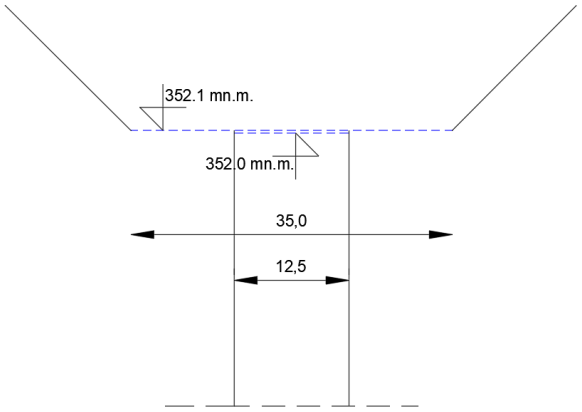
3.1.3. GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE VODNIH KOMORA

U sustavu hidroelektrane su definirane tri vodne komore.

Na kraju dovodnih tunela nalaze se vodne komore 1 i 2 koje imaju gornje proširenje, a nizvodno od njih vodna komora 3 s donjim proširenjem.

U nastavku je definirana geometrija gore navedenih vodnih komora.

a) Vodne komora 1 i 2 jednakih su geometrijskih karakteristika.



Slika 8 Površine i kote karakterističnih presjeka VK 1 i 2

Br.točke	h (m n.m.)	A(m2)
1	0,000	120,26
2	352,0	120,64
3	352,1	1250,0
4	353,0	1500,0
5	354,0	1750,0
6	355,0	2000,0
7	356,0	2250,0
8	357,0	2500,0
9	358,0	2750,0
10	400,0	4000,0

b) Vodna komora 3 ima donje proširenje, a njeno dimenzioniranje sadrži 3 uvjeta :

1. Kriterij stabilnosti

2. Minimalna razina vode u vodnoj komori kod ulasku sustava u turbinski pogon pri minimalnom vodostaju akumulacije treba biti veća od minimalno dozvoljene, to jest za otprilike 1.0 metar iznad donjeg ruba donjeg proširenja vodne komore

3. Maksimalna razina vode u vodnoj komori pri ispadnju sustava iz turbinskog pogona treba biti manja od maksimalno dozvoljene, to jest za ne smije premašiti gornji rub gornjih proširenja vodnih komora 1 i 2.

Kriterij za stabilnost vodne komore po D.Thomi :

$$A_k \geq A_{TH} = \frac{v_0^2}{2g} \cdot \frac{LA_D}{\Delta h_0 (H_{st} - \Delta h_0)} \tag{99}$$

gdje je:

A_k - površina poprečnog presjeka komore, općenito promjenjiva po visini

v_0 - brzina u dovodnom tunelu

L - duljina dovodnog tunela

A_D - površina poprečnog presjeka dovodnog tunela

Δh_0 - gubici

H_{st} - stacionarna razina vode

Granična vrijednost Thominog kriterija:

$$\frac{L}{g} \cdot \frac{A_D}{A_K} \cdot \frac{v_0^2}{{\Delta h_0}^2} > 40 \tag{100}$$

Veličina ε zove se parametar VOGT-a.

$$\varepsilon = \frac{L}{g} \cdot \frac{A_D}{A_K} \cdot \frac{v_0^2}{{\Delta h_0}^2} = \frac{z_*^2}{{\Delta h_0}^2} \tag{101}$$

$$A_{TH} = \frac{v_0^2}{2g} \cdot \frac{LA_D}{\Delta h_0 (H_{st} - \Delta h_0)} \tag{102}$$

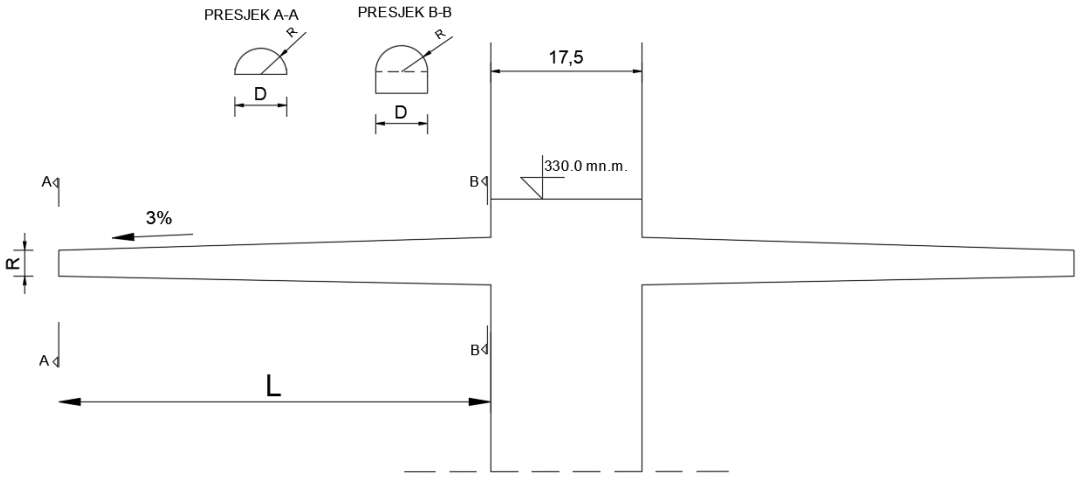
Nakon uvrštavanja vrijednosti izračunata je površina A_{TH} i parametar Vogt-a:

$$A_{TH} = \frac{2{,}982^2}{19{,}62} \cdot \frac{8250{,}0 \cdot 83{,}85}{6{,}59 \cdot (211{,}26 - 6{,}59)} = 232{,}16\ m^2 \tag{103}$$

$$\varepsilon = \frac{8250,0}{9,81} \cdot \frac{83,85}{232,16} \cdot \frac{2,982^2}{6,59^2} = 62,05 > 40 \tag{104}$$

Nakon proračuna parametra Vogt-a zaključuje se da je zadovoljen kriterij raspona veličine ε za primjenu proračuna površine vodne komore po Thominom kriteriju. Izračunati promjer vodne komore iznosi 17,19 (m), a usvojena je vrijednost od D_{k3}=17,50 (m).

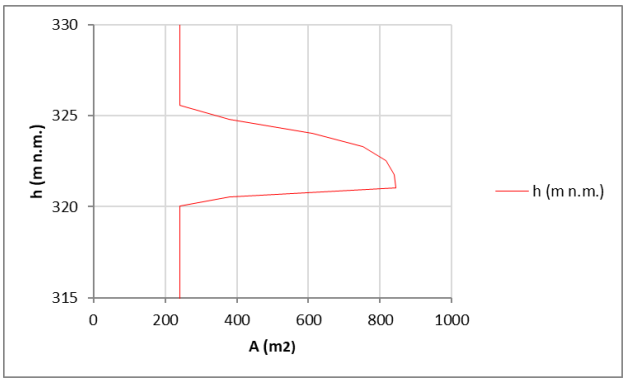
Potrebno je definirati donje proširenje vodne komore 3.



Slika 9 Shematski prikaz treće vodne komore

Napravljeno je više varijanti proširenja kako bi se odabralo optimalno proširenje za željeni režim rada turbina.

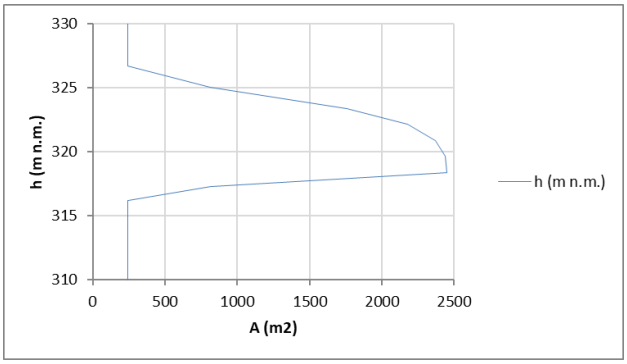
Prva varijanta ima donje proširenje dužine L = 50,0 (m) i promjera D = 6,0 (m).



Slika 10 A-h dijagram donjeg proširenja teće vodne komore

Br.točke	h (m n.m.)	A(m2)
1	0	240,528
2	320,040	240,528
3	320,540	379,234
4	321,040	843,240
5	321,79	839,140
6	322,540	816,390
7	323,290	752,240
8	324,040	611,000
9	324,790	752,000
10	325,580	240,528
11	400,000	240,528

Druga varijanta ima donje proširenje dužine L = 110,0 (m) i promjera D = 10,0 (m)

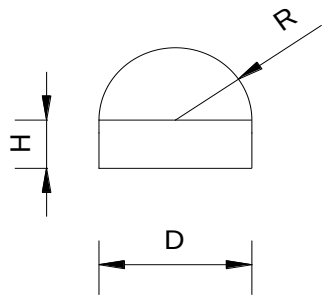


Slika 11 A-h dijagram donjeg proširenja treće vodne komore

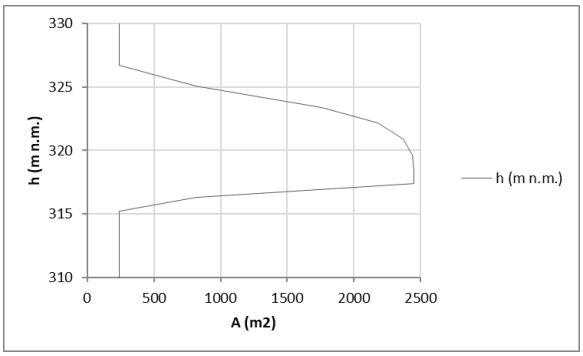
Br.točke	h (m n.m.)	A(m2)
1	0,000	240,528
2	316,204	240,528
3	317,304	815,926
4	318,404	2450,584
5	319,654	2439,360
6	320,904	2369,646
7	322,154	2179,435
8	323,404	1757,475
9	325,054	815,926
10	326,704	240,528
11	400,000	240,528

Treća varijanta ima donje proširenje dužine L = 110,0 (m) i promjera D = 10,0 (m).

Poprečni presjek se sastoji od pravokutnog dijela širine 2R, visine H i polukruga promjera R. Vrijednost H u trećoj varijanti iznosi 1 (m).



Slika 12 Poprečni presjek donjeg proširenja treće vodne komore

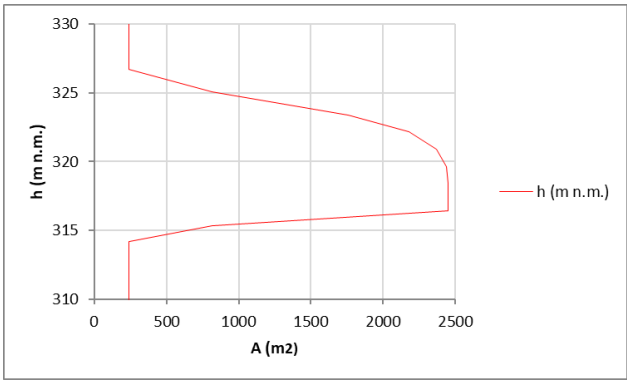


Slika 13 A-h dijagram donjeg proširenja treće vodne komore

Br. točke	h (m n.m.)	A(m^2)
1	0,000	240,528
2	315,204	240,528
3	316,304	815,926
4	317,404	2450,584
5	318,404	2450,584
6	319,654	2439,360
7	320,904	2369,646
8	322,154	2179,435
9	323,404	1757,475
10	325,054	815,926
11	326,704	240,528
12	400,000	240,528

Četvrta varijanta ima donje proširenje dužine L = 110,0 (m) i promjera D = 10,0 (m).

Poprečni presjek se sastoji od pravokutnog dijela širine 2R, visine H i polukruga promjera R. Vrijednost H u četvrtoj varijanti iznosi 2 (m).

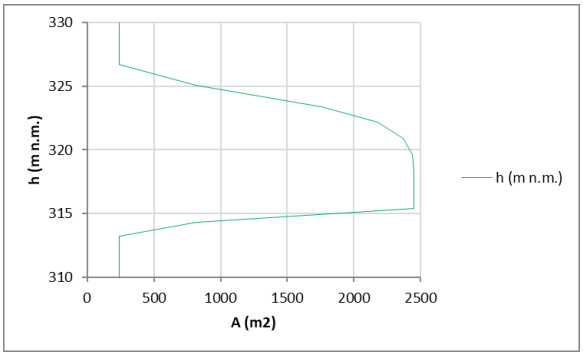


Slika 14 Slika 15 A-h dijagram donjeg proširenja treće vodne komore

Br.točke	h (m n.m.)	A(m2)
1	0,000	240,528
2	314,204	240,528
3	315,304	815,926
4	316,404	2450,584
5	317,404	2450,584
6	318,404	2450,584
7	319,654	2439,360
8	320,904	2369,646
9	322,154	2179,435
10	323,404	1757,475
11	325,054	815,926
12	326,704	240,528
13	400,000	240,528

Peta varijanta ima donje proširenje dužine L = 110,0 (m) i promjera D = 10,0 (m).

Poprečni presjek se sastoji od pravokutnog dijela širine 2R, visine H i polukruga promjera R. Vrijednost H u petoj varijanti iznosi 3 (m).

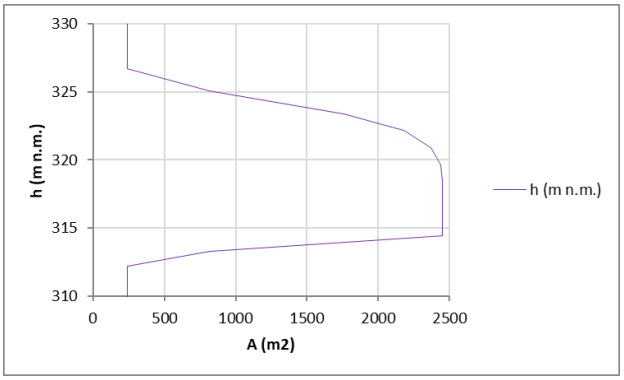


Slika 16 Slika 17 A-h dijagram donjeg proširenja treće vodne komore

Br.točke	h (m n.m.)	A(m2)
1	0,000	240,528
2	313,204	240,528
3	314,304	815,926
4	315,404	2450,584
5	316,904	2450,584
6	318,404	2450,584
7	319,654	2439,360
8	320,904	2369,646
9	322,154	2179,435
10	323,404	1757,475
11	325,054	815,926
12	326,704	240,528
13	400,000	240,528

Šesta varijanta ima donje proširenje dužine L = 110,0 (m) i promjera D = 10,0 (m).

Poprečni presjek se sastoji od pravokutnog dijela širine 2R, visine H i polukruga promjera R. Vrijednost H u šestoj varijanti iznosi 4 (m).

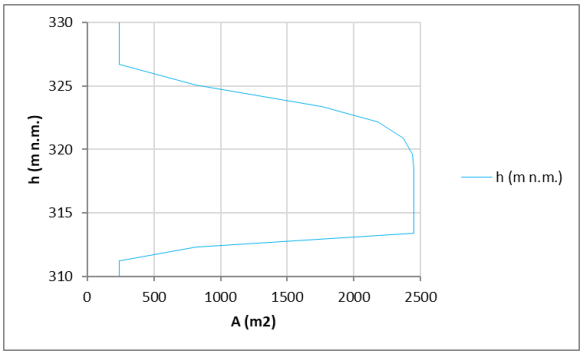


Slika 18 Slika 19 A-h dijagram donjeg proširenja treće vodne komore

Br.točke	h (m n.m.)	A(m2)
1	0,000	240,528
2	312,204	240,528
3	313,304	815,926
4	314,404	2450,584
5	316,404	2450,584
6	318,404	2450,584
7	319,654	2439,360
8	320,904	2369,646
9	322,154	2179,435
10	323,404	1757,475
11	325,054	815,926
12	326,704	240,528
13	400,000	240,528

Sedma varijanta ima donje proširenje dužine L = 110,0 (m) i promjera D = 10,0 (m).

Poprečni presjek se sastoji od pravokutnog dijela širine 2R, visine H i polukruga promjera R. Vrijednost H u sedmoj varijanti iznosi 7 (m).



Slika 20 Slika 21 A-h dijagram donjeg proširenja treće vodne komore

Br.točke	h (m n.m.)	A(m2)
1	0,000	240,528
2	309,204	240,528
3	310,304	815,926
4	311,404	2450,584
5	313,154	2450,584
6	314,904	2450,584
7	316,654	2450,584
8	318,404	2450,584
9	319,654	2439,360
10	320,904	2369,646
11	322,154	2179,435
12	323,404	1757,475
13	325,054	815,926
14	326,704	240,528
15	400,000	240,528

3.1.4. SNAGA TURBINA

Za zadani instalirani protok turbine od $Q_T = 50{,}0\ m^3/s$ iskorištenA snagu toka vode računa se sljedećim izrazom:

$$N = \rho\ g\ Q_T\ H\ \eta \tag{104}$$

gdje je:

ρ - gustoća vode (1000 kg/m^3)

g - ubrzanje sile teže (9,81 m/s^2)

Q_T - protok turbine

H - energijski pad = $H_3\ - H_{DONJE\ VODE}$

η - koeficijent iskorištenja snage vodnog toka na turbinama i generatoru

Q (m3/s)	H (m n.m.)	N (W)
50	212,02	88396406,62

H_3 je vodostaj u vodnoj komori 3 pri stacionarnom radu svih 5 turbina i pri minimalnoj razini vode u akumulaciji.

$H_{DONJE\ VODE}$ je vodostaj u odvodnom kanalu pri protoku od 250 (m^3/s), tj. pri stacionarnom radu svih 5 turbina.

U nastavku se daje proračun stanja u sustavu za stacionarni rad svih 5 turbina.

$$h_A = h_3 + \xi_{u1} \cdot \frac{v_1^2}{2g} + \lambda_1 \cdot \frac{L_1}{D_1} \cdot \frac{v_1^2}{2g} + \lambda_3 \cdot \frac{L_3}{3} \cdot \frac{v_1^2}{2g} \tag{105}$$

$$h_A = h_3 + \beta_1 \cdot Q_1^2 \tag{106}$$

$$\beta_1 = \frac{1}{2g(D_1^2 \frac{\pi}{4})^2} \left(\xi_{u1} + \lambda_1 \frac{L_1 + L_3}{D_1}\right) \tag{107}$$

$$h_A = h_3 + \beta_2 \cdot Q_2^2 \tag{108}$$

$$\beta_2 = \frac{1}{2g(D_2^2 \frac{\pi}{4})^2} \left(\xi_{u2} + \lambda_2 \frac{L_2 + L_4}{D_2}\right) \tag{109}$$

$$Q_1 + Q_2 = 250 m^2/\text{s} \tag{110}$$

Nepoznanice su : $h_3,\ Q_1,\ Q_2$

$$F_1 = h_A - h_3 - \beta_1 \cdot Q_1^2 = 0 \tag{111}$$

$$F_2 = h_A - h_3 - \beta_2 \cdot Q_2^2 = 0 \tag{112}$$

$$F_3 = Q_1 - Q_2 - 250 = 0 \tag{113}$$

Derivacija funkcije F_1 po nepoznatim varijablama:

$$\frac{\partial F_1}{\partial h_3} = -1{,}0\ ; \qquad \frac{\partial F_1}{\partial Q_1} = -2\beta_1 Q_1\ ; \qquad \frac{\partial F_1}{\partial Q_2} = 0{,}0 \tag{114}$$

Derivacija funkcije F_2 po nepoznatim varijablama:

$$\frac{\partial F_2}{\partial h_3} = -1{,}0\ ; \qquad \frac{\partial F_2}{\partial Q_1} = 0{,}0\ ; \qquad \frac{\partial F_2}{\partial Q_2} = -2\beta_2 Q_2 \tag{115}$$

Derivacija funkcije F_3 po nepoznatim varijablama:

$$\frac{\partial F_3}{\partial h_3} = 0{,}0\ ; \qquad \frac{\partial F_3}{\partial Q_1} = -1{,}0\ ; \qquad \frac{\partial F_3}{\partial Q_2} = 1{,}0 \tag{116}$$

$$\frac{\partial F_1}{\partial h_3} \cdot \Delta h_3 + \frac{\partial F_1}{\partial Q_1} \cdot \Delta Q_1 + \frac{\partial F_1}{\partial Q_2} \cdot \Delta Q_2 = -F_1 \tag{117}$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial h_3} \cdot \Delta h_3 + \frac{\partial F_2}{\partial Q_1} \cdot \Delta Q_1 + \frac{\partial F_2}{\partial Q_2} \cdot \Delta Q_2 = -F_2 \tag{118}$$

$$\frac{\partial F_3}{\partial h_3} \cdot \Delta h_3 + \frac{\partial F_3}{\partial Q_1} \cdot \Delta Q_1 + \frac{\partial F_3}{\partial Q_2} \cdot \Delta Q_2 = -F_3 \tag{119}$$

$$D = \begin{vmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial h_3} & \frac{\partial F_1}{\partial Q_1} & \frac{\partial F_1}{\partial Q_2} \\ \frac{\partial F_2}{\partial h_3} & \frac{\partial F_2}{\partial Q_1} & \frac{\partial F_2}{\partial Q_2} \\ \frac{\partial F_3}{\partial h_3} & \frac{\partial F_3}{\partial Q_1} & \frac{\partial F_3}{\partial Q_2} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}$$

$$D = a_{11} \cdot (a_{22} \cdot a_{33} - a_{23} \cdot a_{32}) - a_{21} \cdot (a_{12} \cdot a_{33} - a_{13} \cdot a_{32}) + a_{31} \cdot (a_{12} \cdot a_{23} - a_{13} \cdot a_{22}) \tag{120}$$

$$D_{\Delta h_3} = \begin{vmatrix} -F_1 & \frac{\partial F_1}{\partial Q_1} & \frac{\partial F_1}{\partial Q_2} \\ -F_2 & \frac{\partial F_2}{\partial Q_1} & \frac{\partial F_2}{\partial Q_2} \\ -F_3 & \frac{\partial F_3}{\partial Q_1} & \frac{\partial F_3}{\partial Q_2} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}$$

$$D_{\Delta h_3} = a_{11} \cdot (a_{22} \cdot a_{33} - a_{23} \cdot a_{32}) - a_{21} \cdot (a_{12} \cdot a_{33} - a_{13} \cdot a_{32}) + a_{31} \cdot (a_{12} \cdot a_{23} - a_{13} \cdot a_{22}) \quad (121)$$

$$\Delta h_3 = \frac{D_{\Delta h_3}}{D} \quad (122)$$

$$D_{\Delta Q_1} = \begin{vmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial h_3} & -F_1 & \frac{\partial F_1}{\partial Q_2} \\ \frac{\partial F_2}{\partial h_3} & -F_2 & \frac{\partial F_2}{\partial Q_2} \\ \frac{\partial F_3}{\partial h_3} & -F_3 & \frac{\partial F_3}{\partial Q_2} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}$$

$$D_{\Delta Q_1} = a_{11} \cdot (a_{22} \cdot a_{33} - a_{23} \cdot a_{32}) - a_{21} \cdot (a_{12} \cdot a_{33} - a_{13} \cdot a_{32}) + a_{31} \cdot (a_{12} \cdot a_{23} - a_{13} \cdot a_{22}) \quad (123)$$

$$\Delta Q_1 = \frac{D_{\Delta Q_1}}{D} \quad (124)$$

$$D_{\Delta Q_2} = \begin{vmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial h_3} & \frac{\partial F_1}{\partial Q_1} & -F_1 \\ \frac{\partial F_2}{\partial h_3} & \frac{\partial F_2}{\partial Q_1} & -F_2 \\ \frac{\partial F_3}{\partial h_3} & \frac{\partial F_3}{\partial Q_1} & -F_3 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \end{vmatrix}$$

$$D_{\Delta Q_2} = a_{11} \cdot (a_{22} \cdot a_{33} - a_{23} \cdot a_{32}) - a_{21} \cdot (a_{12} \cdot a_{33} - a_{13} \cdot a_{32}) + a_{31} \cdot (a_{12} \cdot a_{23} - a_{13} \cdot a_{22}) \quad (125)$$

$$\Delta Q_2 = \frac{D_{\Delta Q_2}}{D} \quad (126)$$

Izračunata vrijednost vodostaja h_3 iznosi 322,020 (m) dok su vrijednosti protoka slijedeće : Q_1=112,351 m^3/s, Q_2=137,649 m^3/s.

3.1.5. FORMIRANJE ULAZNOG FILE-A ZA DINAMIČKU ANALIZU

Ulazni parametri potrebni za proračun:

Θ	DT	NDT	NPIS
0,5	1	8000	5

gdje je :

Θ – parametar integracije

DT – vremenski korak

NDT – broj računskih vremenskih koraka

NPIS - razmak vremenskih koraka koji se zapisuju u izlaznu datoteku.

Na osnovi svih prethodno definiranih podataka kreira se ulazni file za svaku varijantu na sljedeći način:

1. ULAZNI PODACI ZA VARIJANTU 1
2. GEOMETRIJSKI PODACI DOVODNIH TUNELA
 L1,D1,EPSI1,KSIU1
 L2,D2,EPSI2,KSIU2
 L3,D3,EPSI3,KSIU3
 L4,D4,EPSI4,KSIU4
3.PODACI ZA KRIVULJU DONJE VODE
 NDV
HDV(1),QDV(1)
HDV(2),QDV(2)
4. PODACI ZA PRVU VODNU KOMORU
NK1
HK1(1),AK1(1)
HK1(2),AK1(2)
…
5. PODACI ZA DRUGU VODNU KOMORU
NK2
HK2(1),AK2(1)
HK2(2),AK2(2)

6. PODACI ZA TRECU VODNU KOMORU
NK3
HK3(1),AK3(1)
HK3(2),AK3(2)
7. PODACI ZA SNAGU PRVE TURBINE
NNT1
TT1(1),NT1(1)
…
11. PODACI ZA SNAGU PETE TURBINE
NNT5
TT5(1),NT5(1)
12. POCETNO STANJE
H11, H21, H31, Q11, Q21, Q31, Q41, QT11, QT21, QT31, QT41, QT51
13.ZAVRSNI PODACI
THETA,DT,NDT,NPIS

gdje je:
NDV - broj redaka s parovima podataka HDV(1),QDV(1)
HDV(1) - razina vodostaja donje vode
QDV(1) - protok - donja voda
NK1 - broj redaka s parovima podataka HK1(1),AK1(1)
HK1(1) - razina vodostaja u prvoj vodnoj komori
AK1(1) - površina poprečnog presjeka prve vodne komore
NK2 - broj redaka s parovima podataka HK2(1),AK2(1)
HK2(1) - razina vodostaja u drugoj vodnoj komori
AK2(1) - površina poprečnog presjeka druge vodne komore
NK3 - broj redaka s parovima podataka HK3(1),AK3(1)
HK3(1) - razina vodostaja u trecoj vodnoj komori
AK3(1) - površina poprečnog presjeka trece vodne komore
NNT1 - broj redaka s parovima podataka TT1(1),NT1(1)
TT1(1) - vremena koja definiraju snagu prve turbine
NT1(1) - snaga prve turbine
NNT2 - broj redaka s parovima podataka TT2(1),NT2(1)
TT2(1) - vremena koja definiraju snagu druge turbine
NT2(1) - snaga druge turbine
NNT3 - broj redaka s parovima podataka TT3(1),NT3(1)
TT3(1) - vremena koja definiraju snagu trece turbine
NT3(1) - snaga trece turbine
NNT4 - broj redaka s parovima podataka TT4(1),NT4(1)
TT4(1) - vremena koja definiraju snagu cetvrte turbine
NT4(1) - snaga cetvrte turbine
NNT5 - broj redaka s parovima podataka TT5(1),NT5(1)
TT5(1) - vremena koja definiraju snagu pete turbine
NT5(1) - snaga pete turbine
H11 - razina u prvoj vodnoj komori na početku intervala
H21 - razina u drugoj vodnoj komori na početku intervala

H31 - razina u trećoj vodnoj komori na početku intervala
Q11 - protok u prvom dovodnom tunelu na početku intervala
Q21 - protok u drugom dovodnom tunelu na početku intervala
Q31 - protok u trećem dovodnom tunelu na početku intervala
Q41 - protok u četvrtom dovodnom tunelu na početku intervala
QT11 - protok prve turbine na početku intervala
QT21 - protok druge turbine na početku intervala
QT31 - protok treće turbine na početku intervala
QT41 - protok četvrte turbine na početku intervala
QT51 - protok pete turbine na početku intervala

Nakon definiranja ulaznog file-a, pristupa se proračunu u programu „DIPLOMSKI “, napisanom u programskom jeziku FORTRAN 95. Rezultati proračuna su obrađeni u Excelu-u i prikazani u nastavku.

4. REZULTATI PRORAČUNA

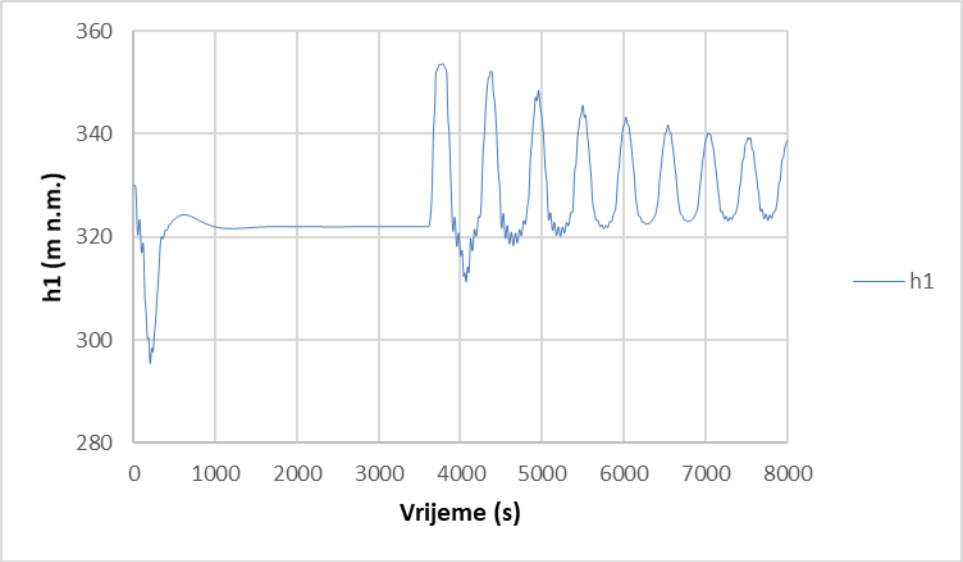
4.1. VARIJANTA 1

Vodna komora ima duljinu proširenja L=50,0 (m), D = 6,0 (m) i nema produbljenja donjeg proširenja vodne komore 3.

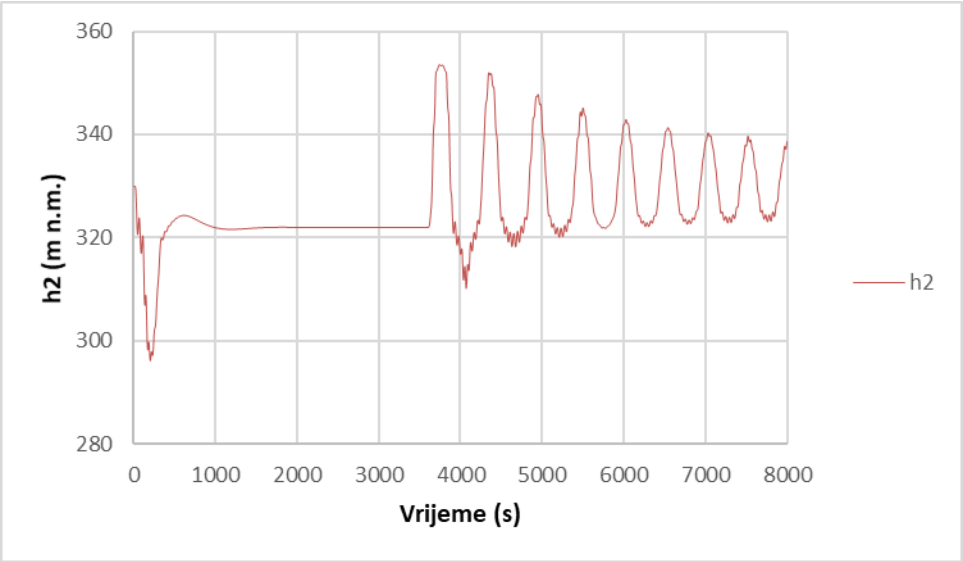
Sve turbine se uključuju istovremeno u desetoj sekundi (od 10. do 30. sekunde), a isključuju nakon šezdeset minuta.

4.1.1. Varijanta 1.1 - h_a = 330 (m n.m.)

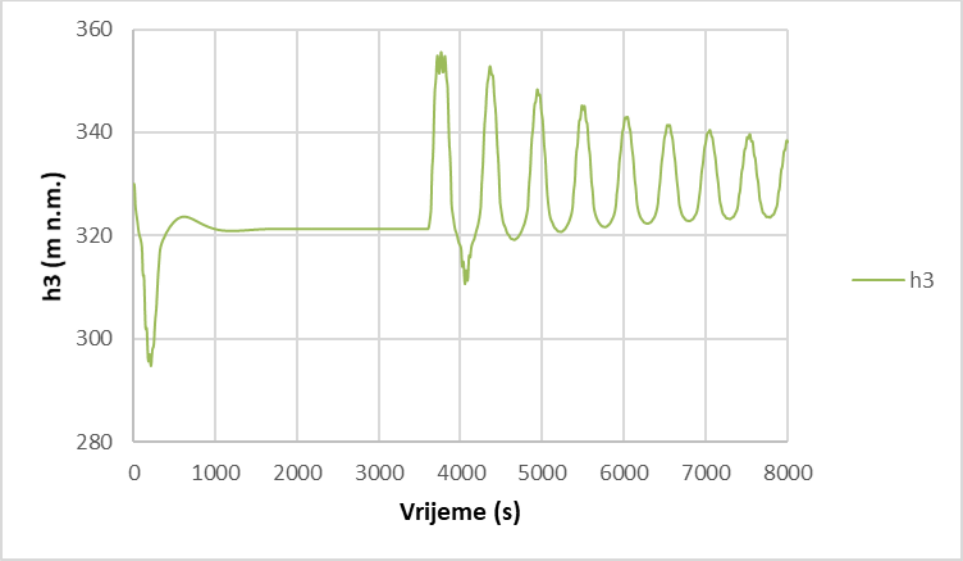
Vodostaj u akumulaciji je minimalan i vrijednost mu je h_a = 330 (m n.m.).



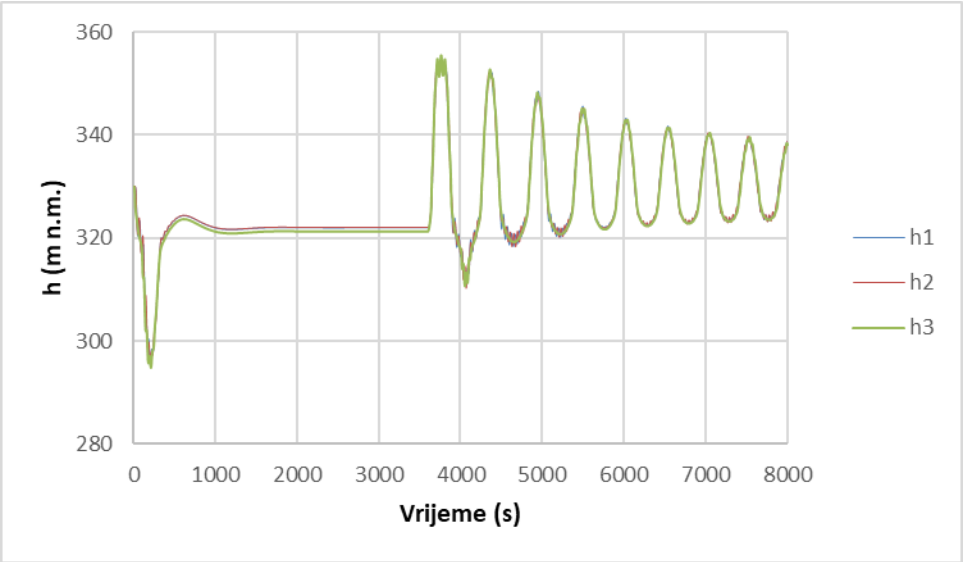
Slika 22 Vodostaj h1 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 1.1



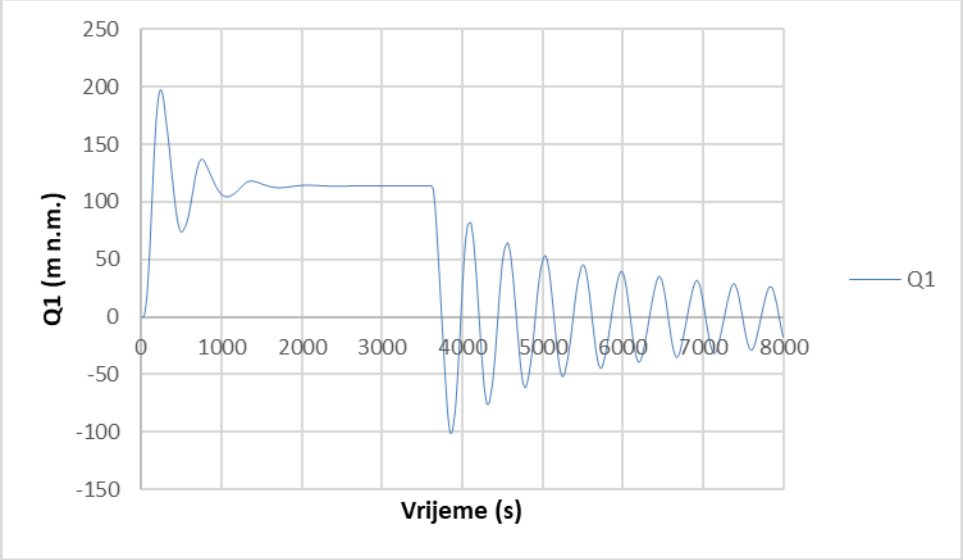
Slika 23 Vodostaj h2 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 1.1



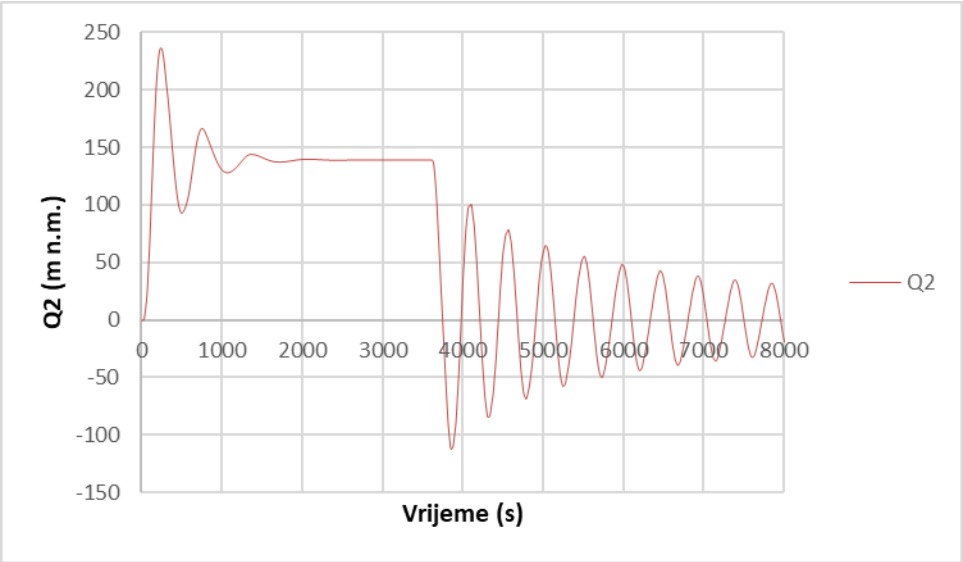
Slika 24 Vodostaj h3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 1.1



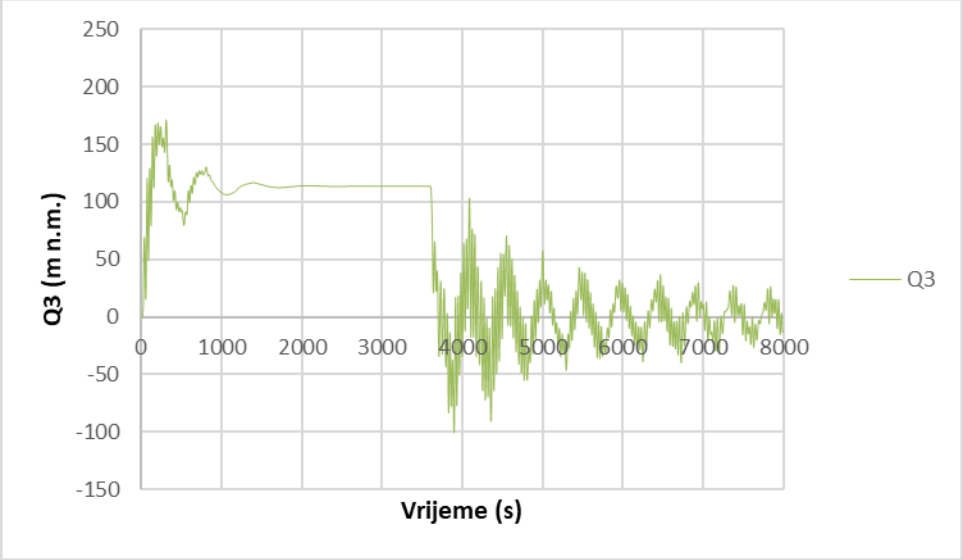
Slika 25 Vodostaji u vodnim komorama 1, 2 i 3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 1.1



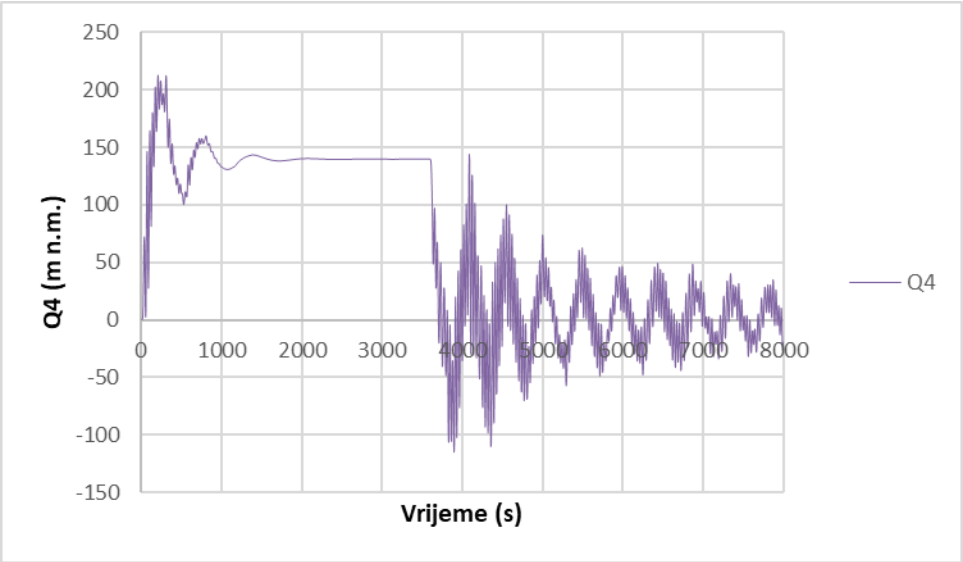
Slika 26 Protok Q1 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 1.1



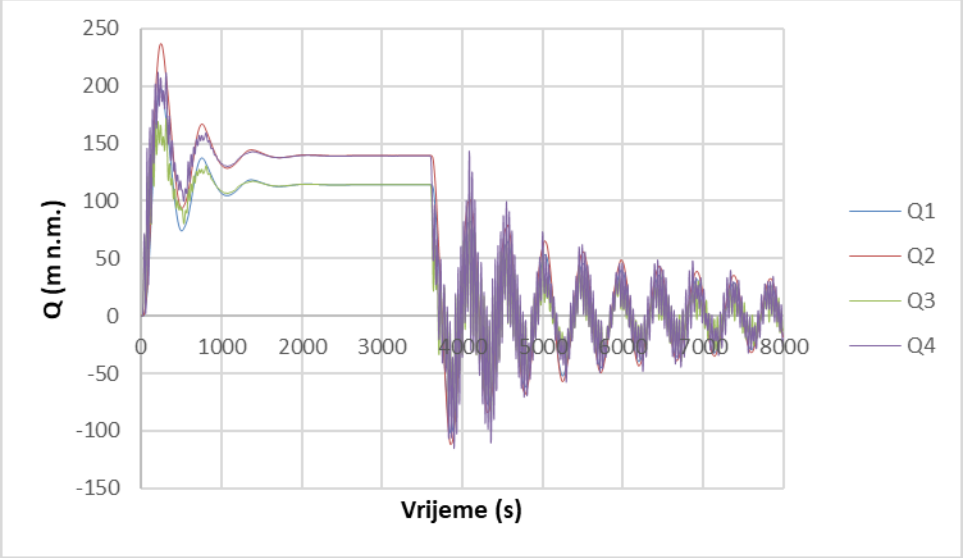
Slika 27 Protok Q2 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 1.1



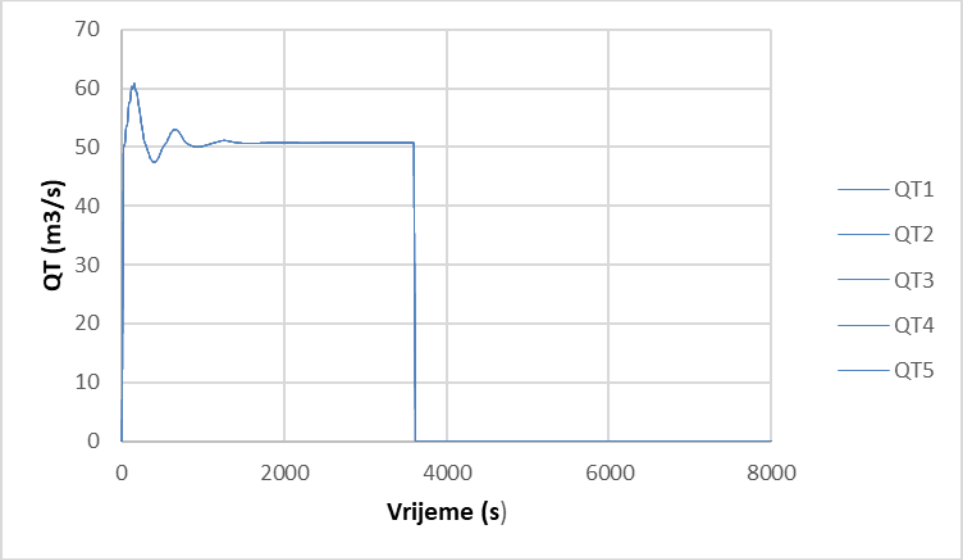
Slika 28 Protok Q3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 1.1



Slika 29 Protok Q4 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 1.1



Slika 30 Protoci u tunelima 1, 2, 3 i 4 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 1.1



Slika 31 Protoci prema turbinama u ovisnosti o vremenu za Varijantu 1.1

Prikaz minimalnih vrijednosti vodostaja h (m n.m.) i protoka Q (m^3/s) pri minimalnom vodostaju u akumulaciji za Varijantu 1.1:

h1	h2	h3	Q1	Q2	Q3	Q4
295,34	296,1	294,79	-100,29	-110,53	-115,54	-119,57

Najniža kota u komori 3 koja mora biti ostvarena kako bi sustav funkcionirao iznosi h= 322,04 (m n.m.), dok je najniža postignuta u ovoj varijanti h=294,79 (m n.m.) za 27,25 (m) manja od minimalne dozvoljene.

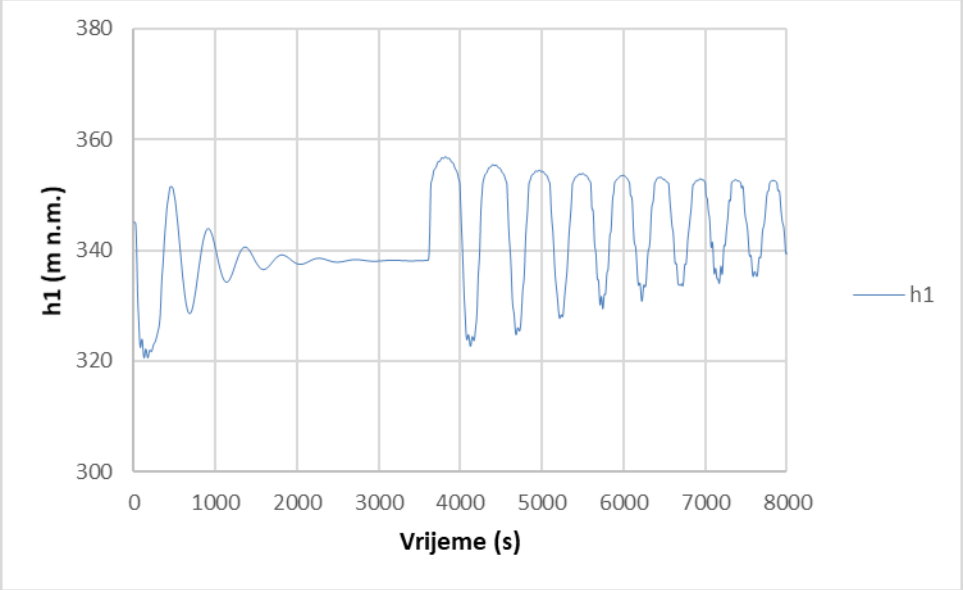
Prikaz maksimalnih vrijednosti vodostaja h (m n.m.) i protoka Q (m^3/s) pri minimalnom vodostaju u akumulaciji za Varijantu 1.1:

h1	h2	h3	Q1	Q2	Q3	Q4
353,66	353,63	355,56	179,022	214,561	170,844	206,207

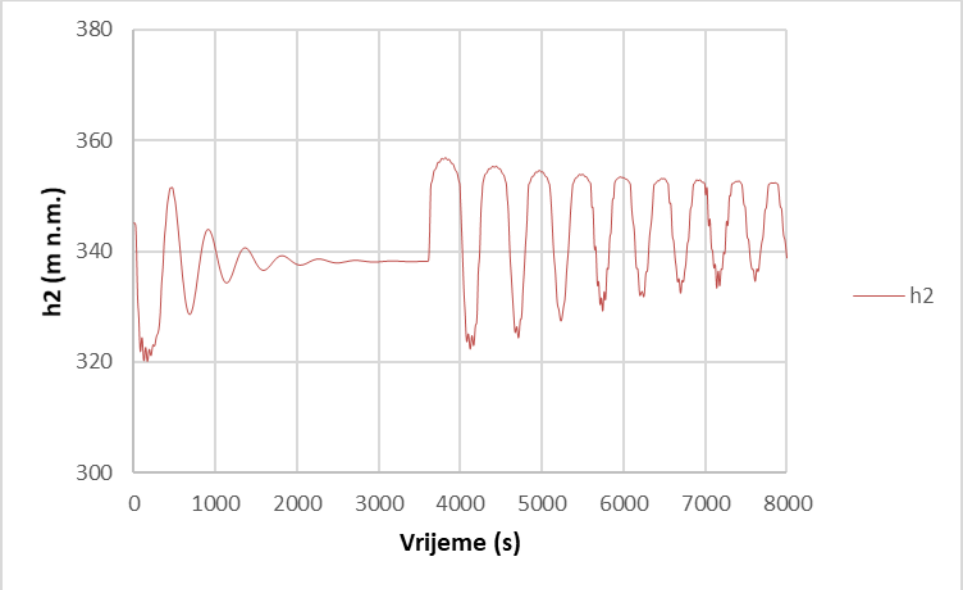
minimalno dozvoljene (h=322,04 (m n.m.)),

4.1.2. Varijanta 1.2 – h_a = 345 (m n.m.)

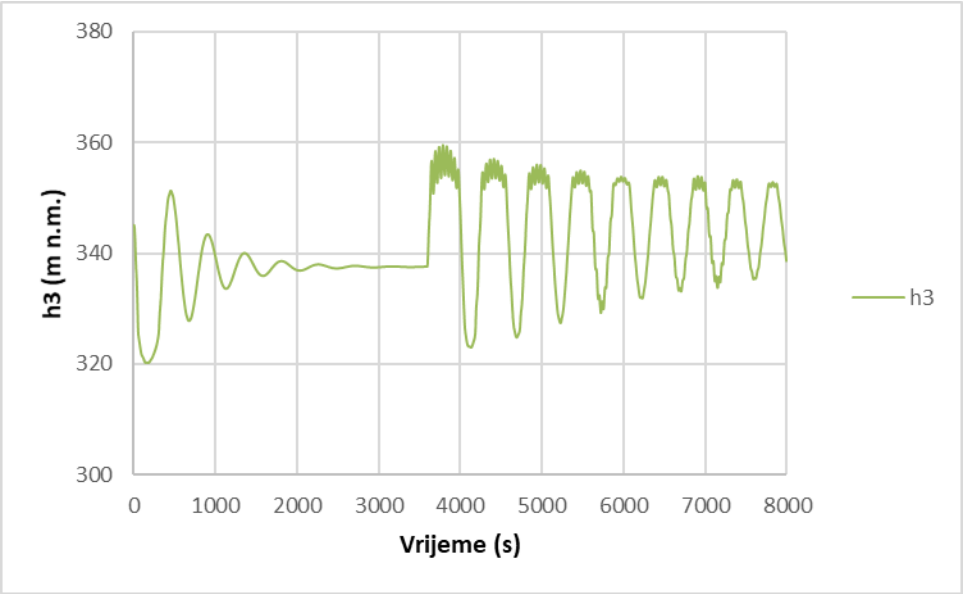
Vodostaj u akumulaciji je maksimalan i vrijednost mu je h_a = 345 (m n.m.).



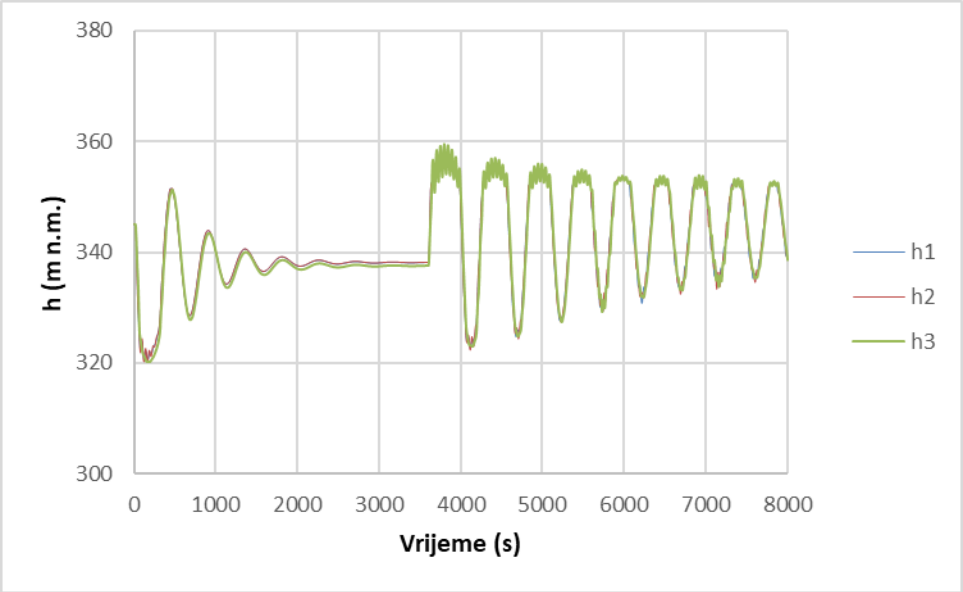
Slika 32 Vodostaj h1 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 1.2



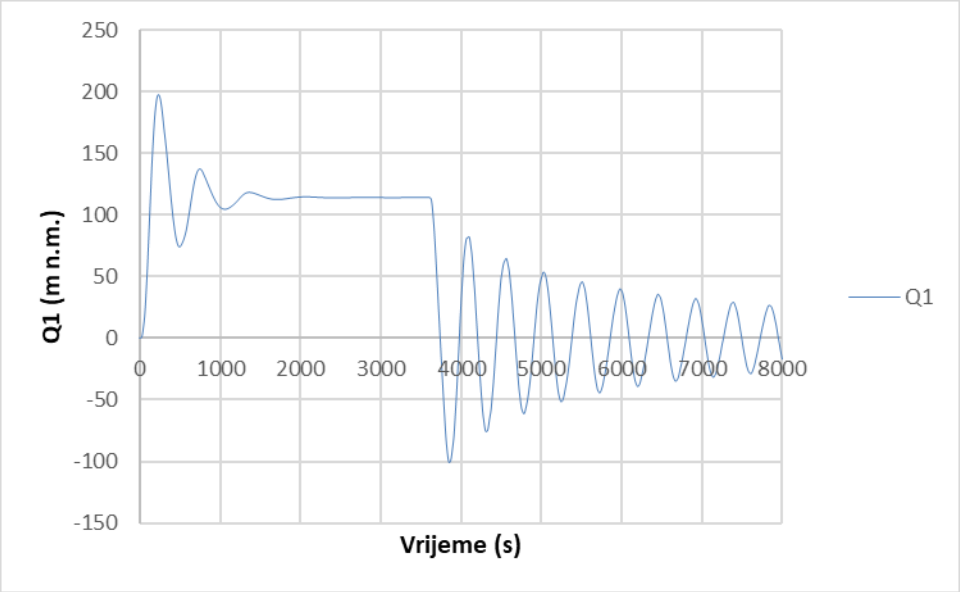
Slika 33 Vodostaj h2 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 1.2



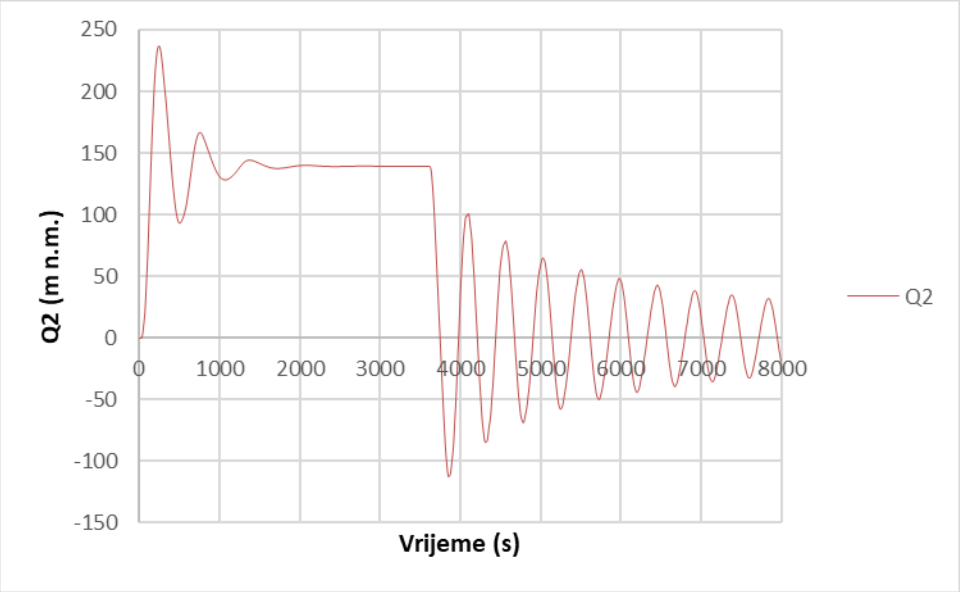
Slika 34 Vodostaj h3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 1.2



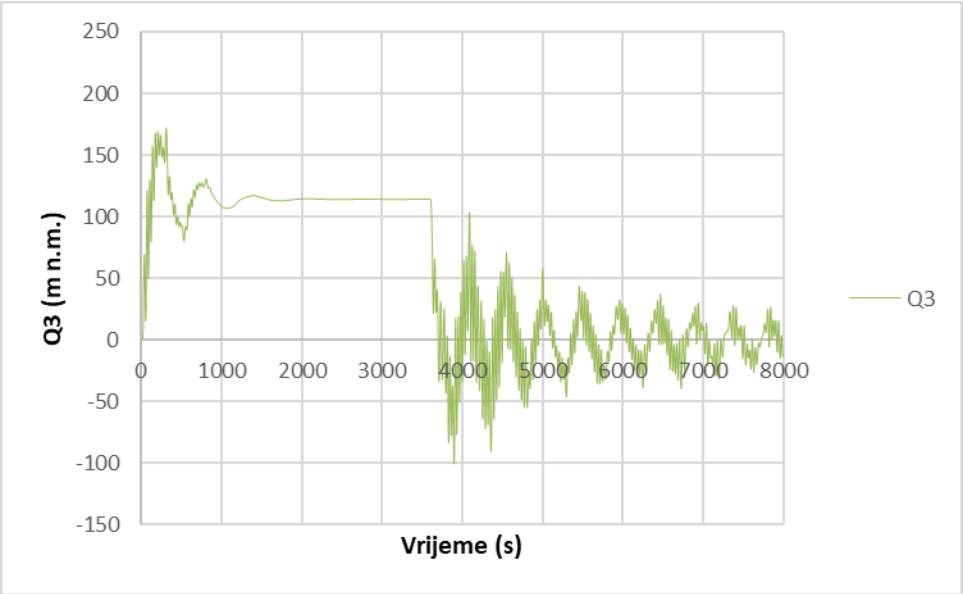
Slika 35 Vodostaji u komorama 1, 2 i 3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 1.2



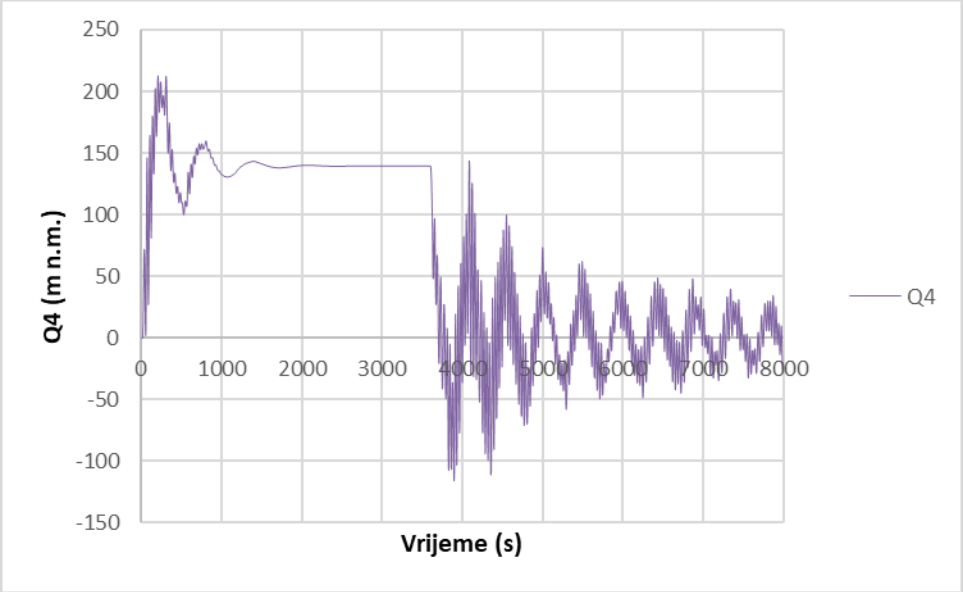
Slika 36 Protok Q1 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 1.2



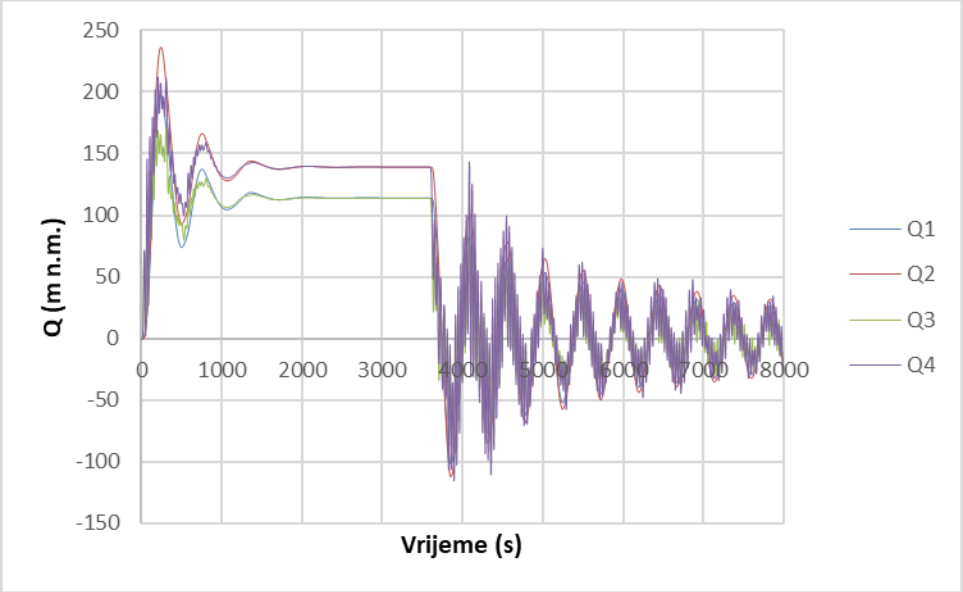
Slika 37 Protok Q2 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 1.2



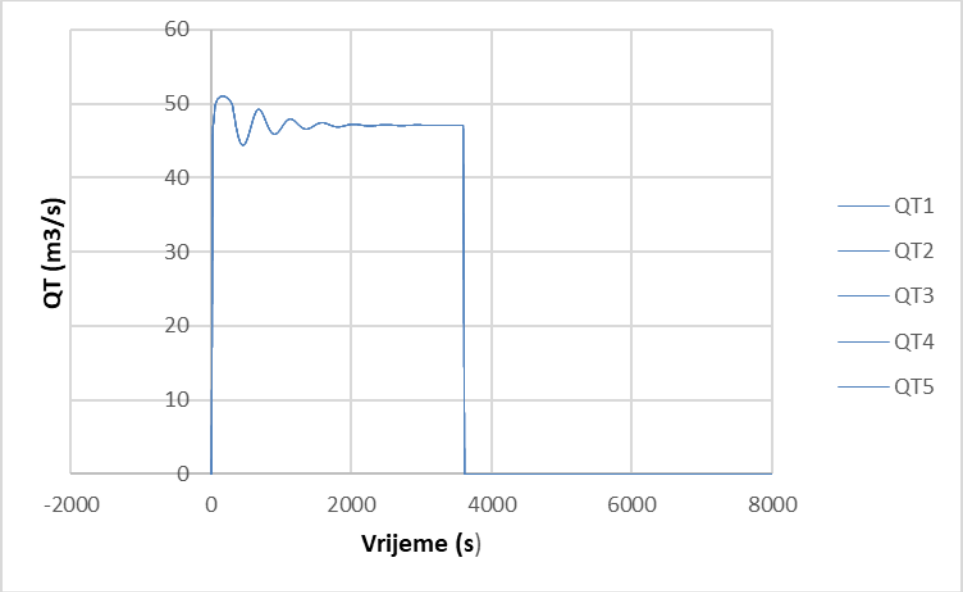
Slika 38 Protok Q3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 1.2



Slika 39 Protok Q4 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 1.2



Slika 40 Protoci u tunelima 1, 2, 3 i 4 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 1.2



Slika 41 Protoci prema turbinama u ovisnosti o vremenu za Varijantu 1.2

Prikaz minimalnih vrijednosti vodostaja h (m n.m.) i protoka Q (m^3/s) pri maksimalnom vodostaju u akumulaciji za Varijantu 1.2:

h1	h2	h3	Q1	Q2	Q3	Q4
320,48	320,04	320,13	-90,86	-100,91	-55,55	-64,33

Najniža kota u komori 3 koja mora biti ostvarena kako bi sustav funkcionirao iznosi h= 322,04 (m n.m.), dok je najniža postignuta u ovoj varijanti h=320,13 (m n.m.) za 1,91 (m) manja od minimalne dozvoljene.

Prikaz maksimalnih vrijednosti vodostaja h (m n.m.) i protoka Q (m^3/s) pri maksimalnom vodostaju u akumulaciji za Varijantu 1.2:

h1	h2	h3	Q1	Q2	Q3	Q4
356,85	356,83	359,48	168,76	203,637	160,08	197,33

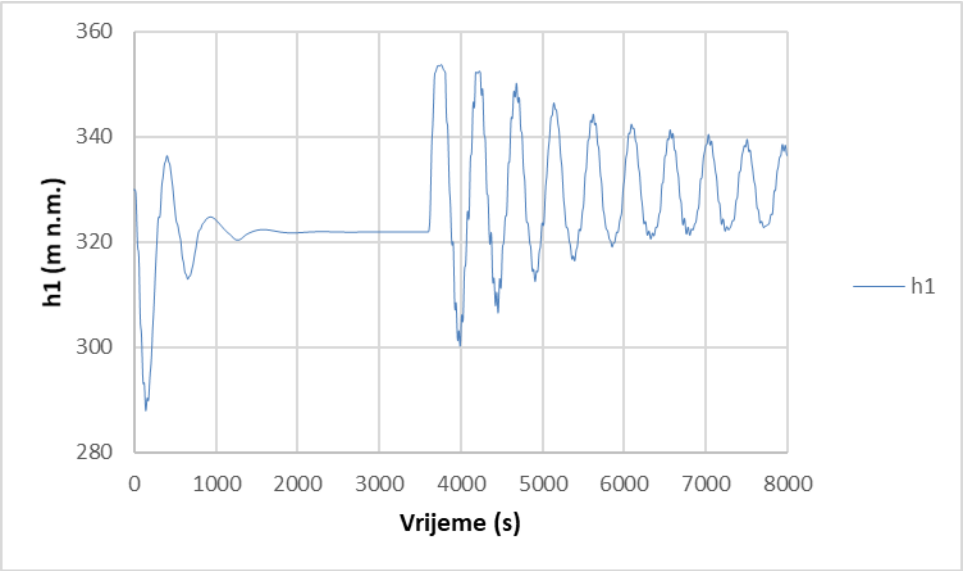
4.2. VARIJANTA 2

Vodna komora ima duljinu proširenja L=110,0 (m), D = 10,0 (m) i nema produbljenja donjeg proširenja vodne komore.

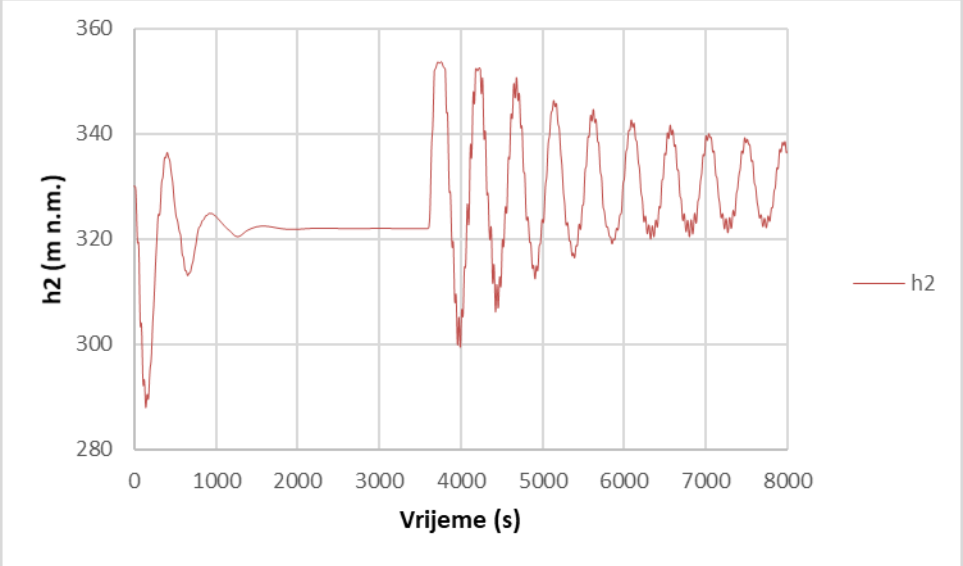
Dvije turbine se uključuju u desetoj sekundi (od 10. do 30. sekunde), dvije se uključuju nakon deset minuta, jedna nakon dvadeset minuta, a isključuju se sve zajedno nakon sat vremena.

4.2.1. VARIJANTA 2.1 – h_a = 330 (m n.m.)

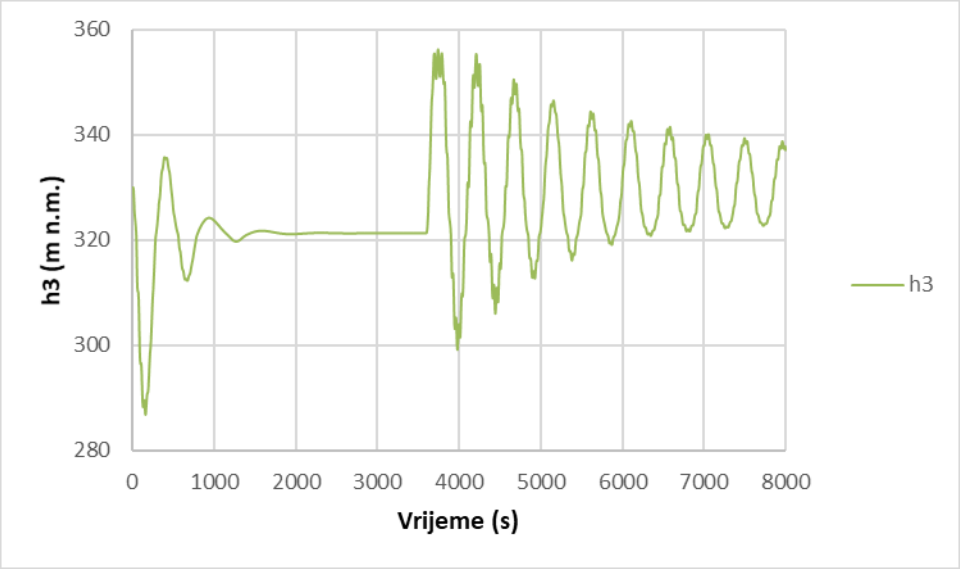
Vodostaj u akumulaciji je mminimalan i vrijednost mu je h_a = 330 (m n.m.).



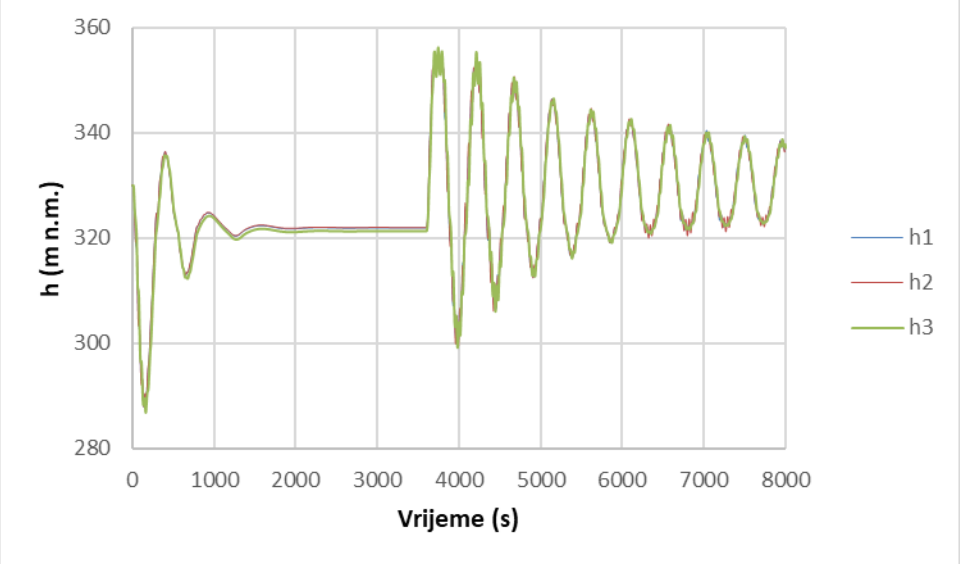
Slika 42 Vodostaj h1 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 2.1



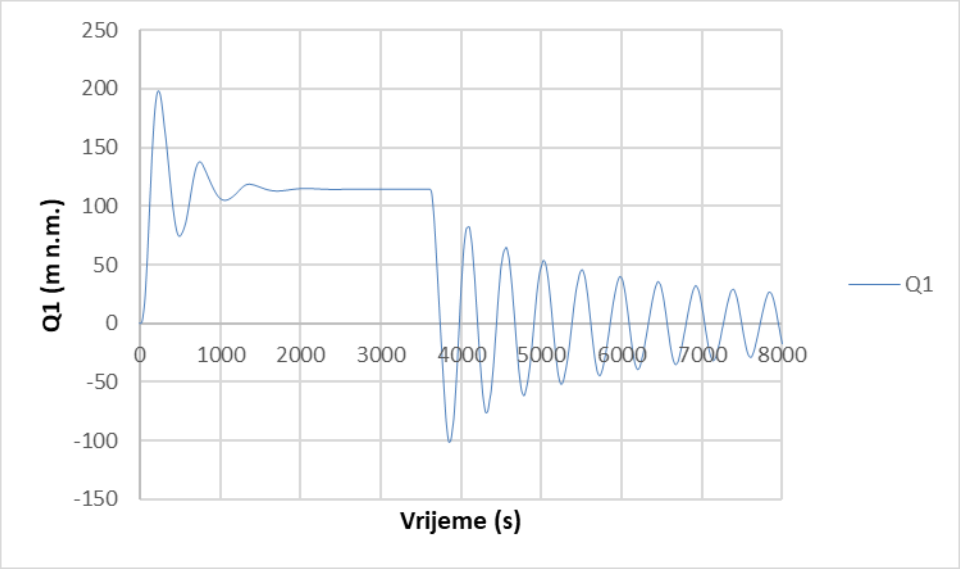
Slika 43 Vodostaj h2 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 2.1



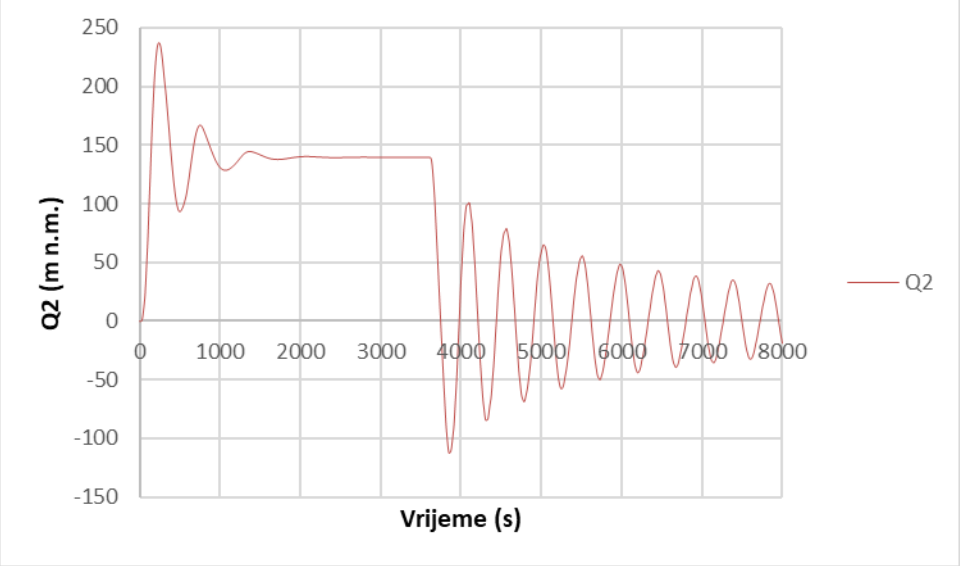
Slika 44 Vodostaj h3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 2.1



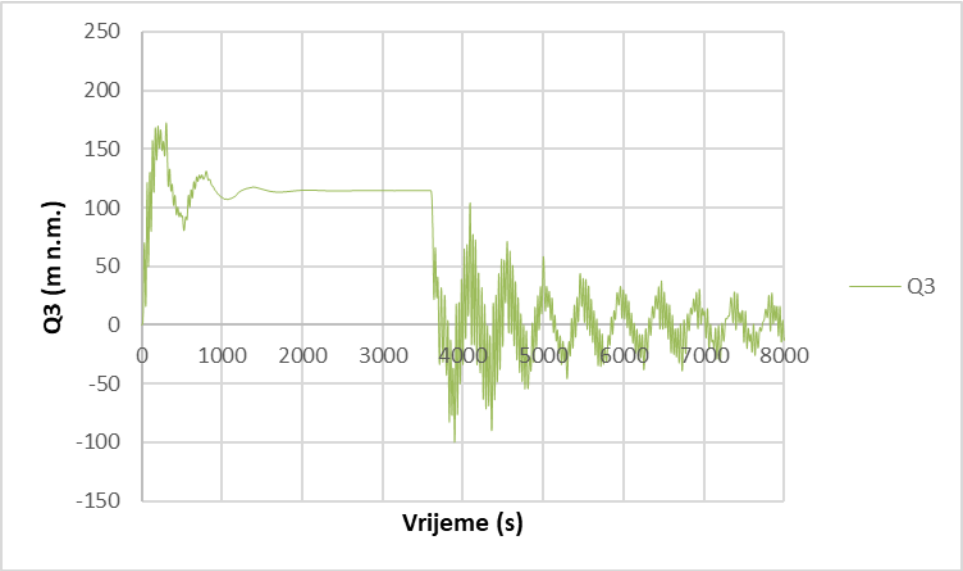
Slika 45 Vodostaji u komorama 1, 2 i 3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 2.1



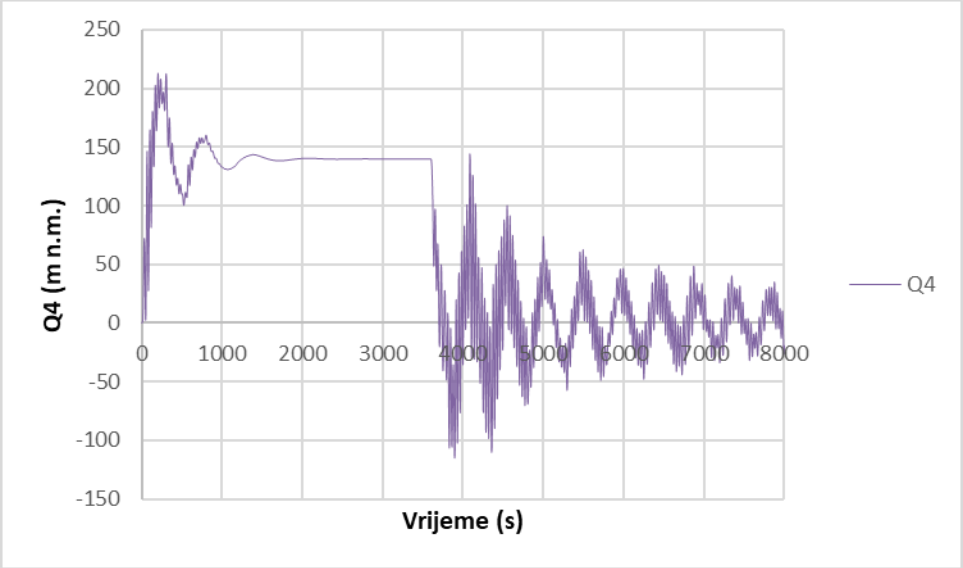
Slika 46 Protok Q1 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 2.1



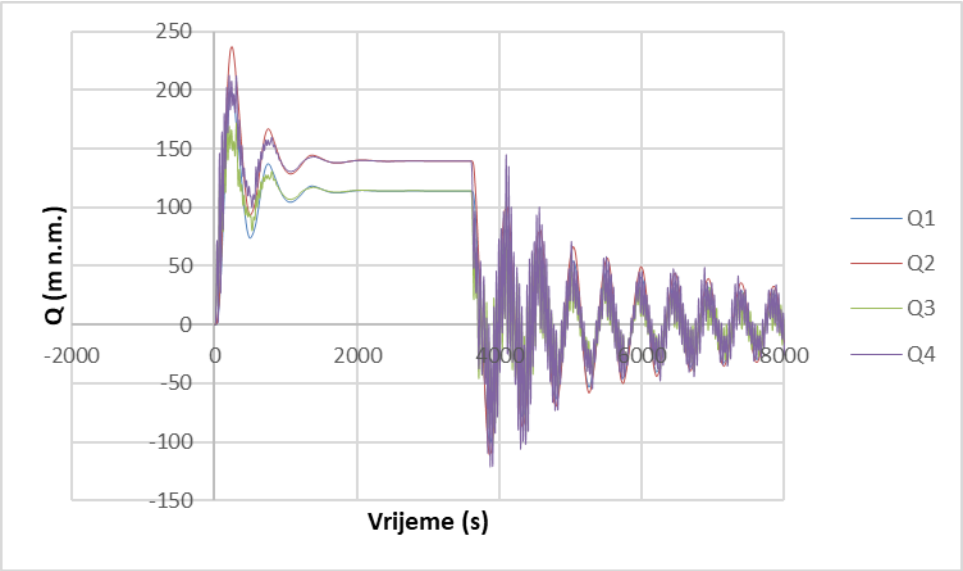
Slika 47 Protok Q2 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 2.1



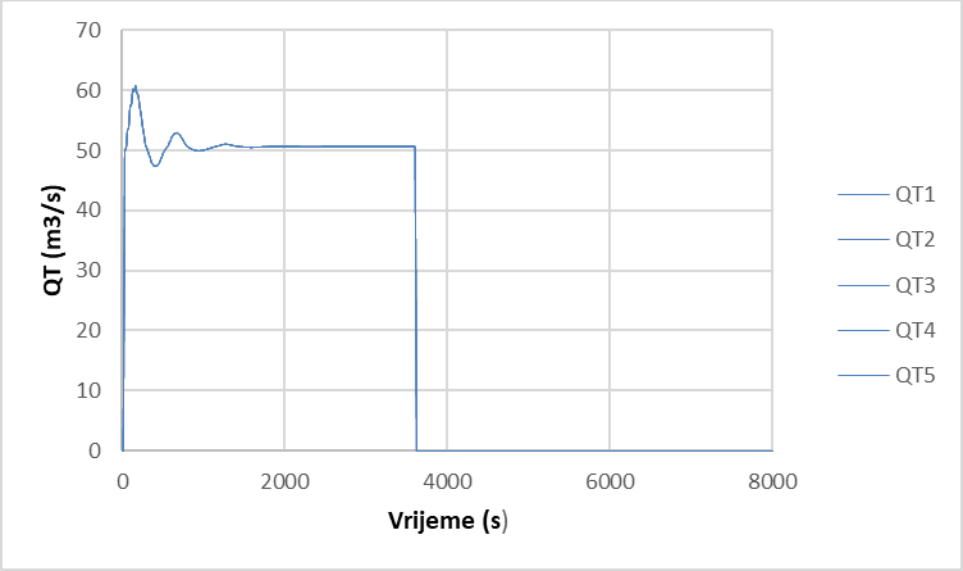
Slika 48 Protok Q3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 2.1



Slika 49 Protok Q4 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 2.1



Slika 50 Protoci u dovodnim tunelima 1, 2, 3 i 4 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 2.1



Slika 51 Protoci prema turbinama u ovisnosti o vremenu za Varijantu 2.1

Prikaz minimalnih vrijednosti vodostaja h (m n.m.) i protoka Q (m^3/s) pri minimalnom vodostaju u akumulaciji za Varijantu 2.1:

h1	h2	h3	Q1	Q2	Q3	Q4
287,95	287,94	286,73	-100,69	-111,22	-102,74	-121,06

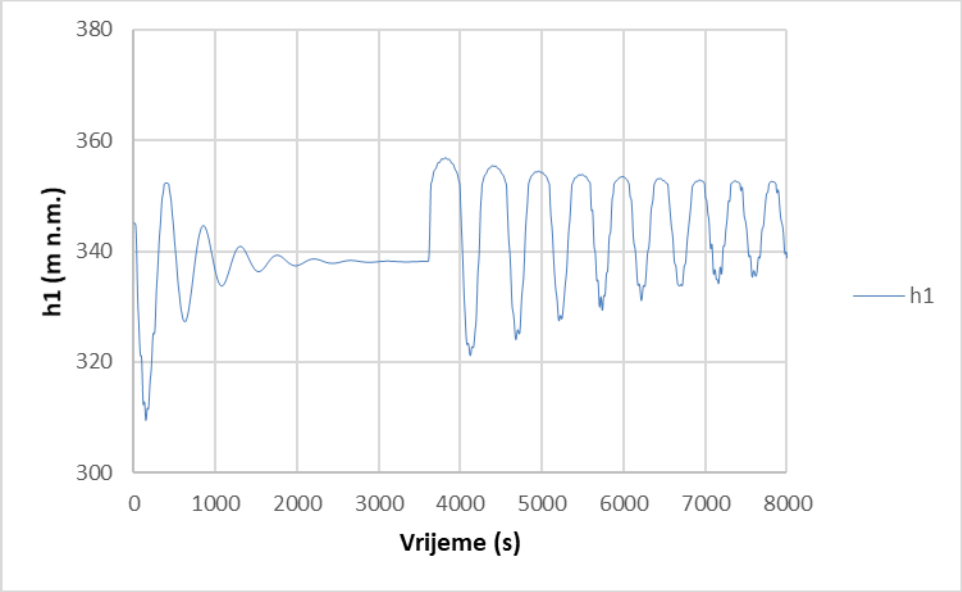
Najniža kota u komori 3 koja mora biti ostvarena kako bi sustav funkcionirao iznosi h= 319,40 (m n.m.), dok je najniža postignuta u ovoj varijanti h=286,73 (m n.m.) za 32,67 (m) manja od minimalne dozvoljene.

Prikaz maksimalnih vrijednosti vodostaja h (m n.m.) i protoka Q (m^3/s) pri minimalnom vodostaju u akumulaciji za Varijantu 2.1:

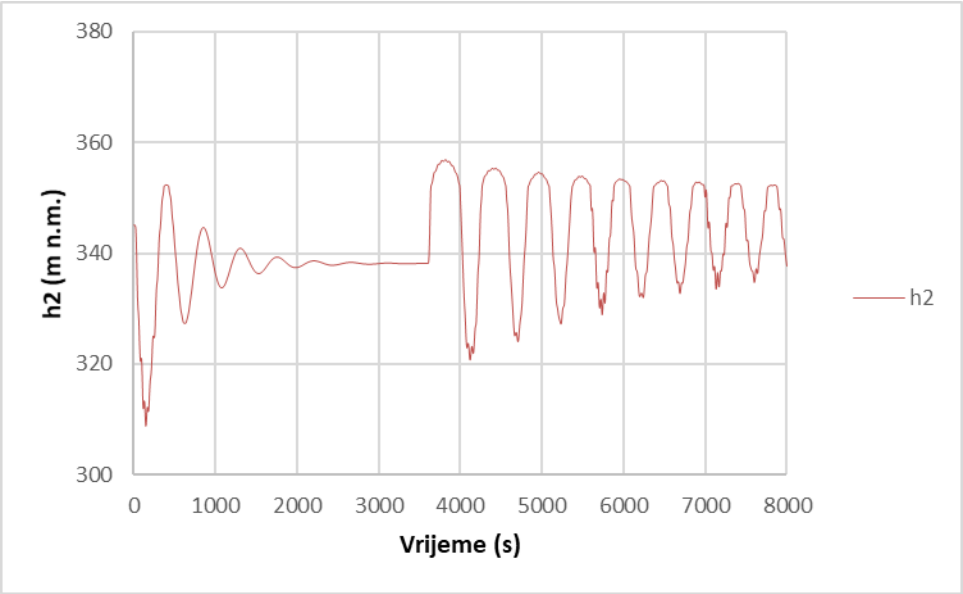
h1	h2	h3	Q1	Q2	Q3	Q4
350,00	350,61	350,10	137,28	166,71	169,20	212,50

4.2.2. VARIJANTA 2.2 – h_a = 345 (m n. m.)

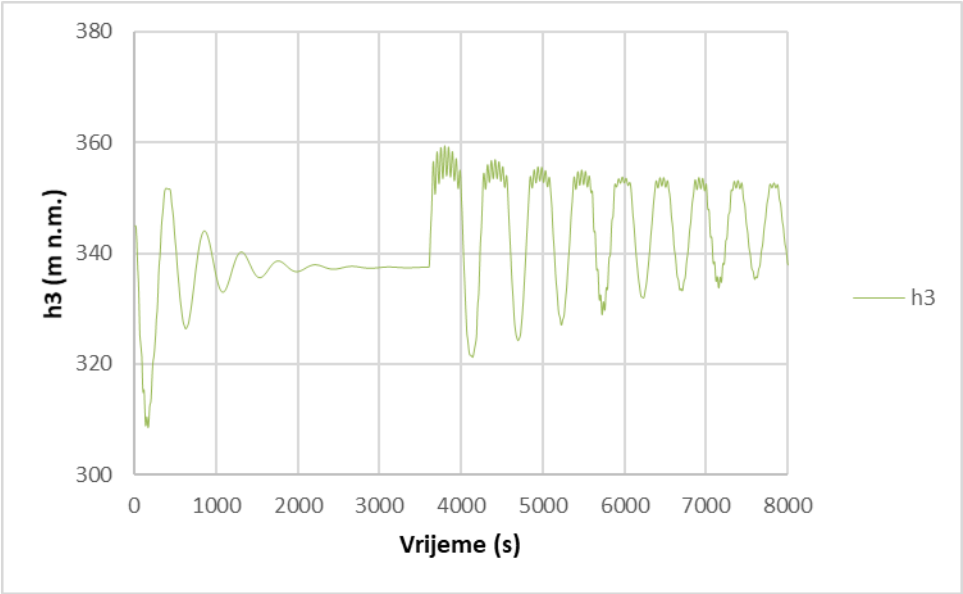
Vodostaj u akumulaciji je maksimalan i vrijednost mu je h_a = 345 (m n.m.).



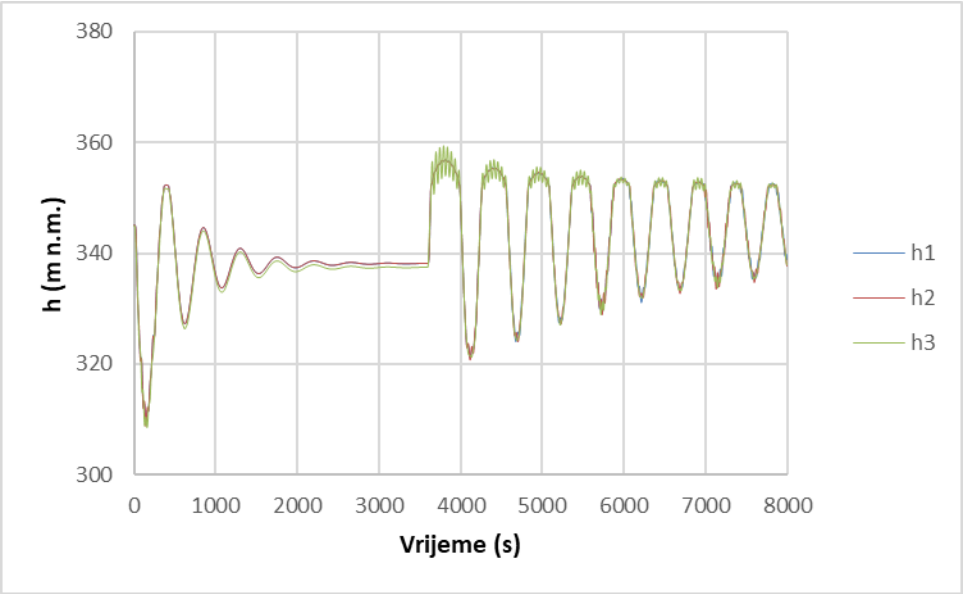
Slika 52 Vodostaj h1 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 2.2



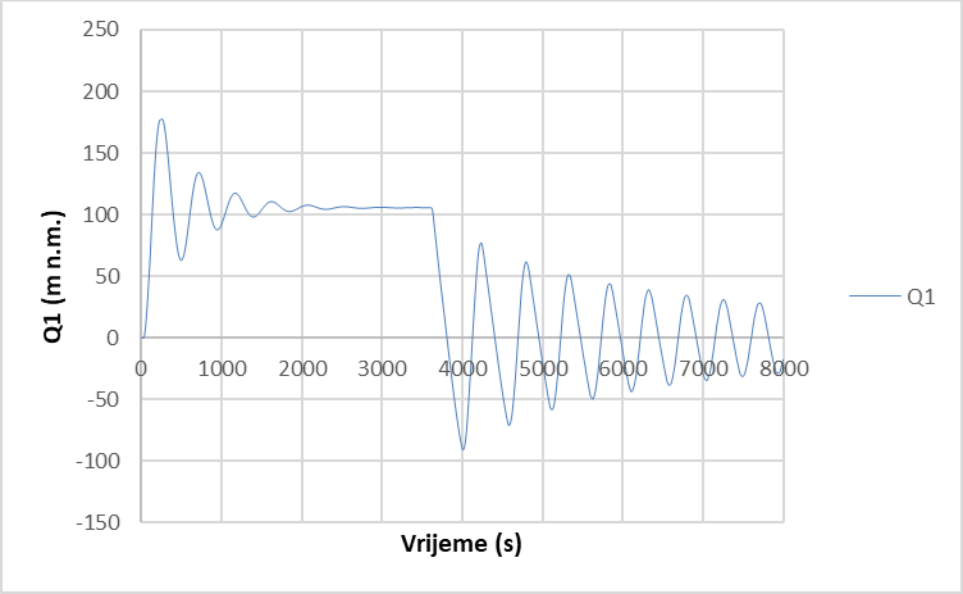
Slika 53 Vodostaj h2 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 2.2



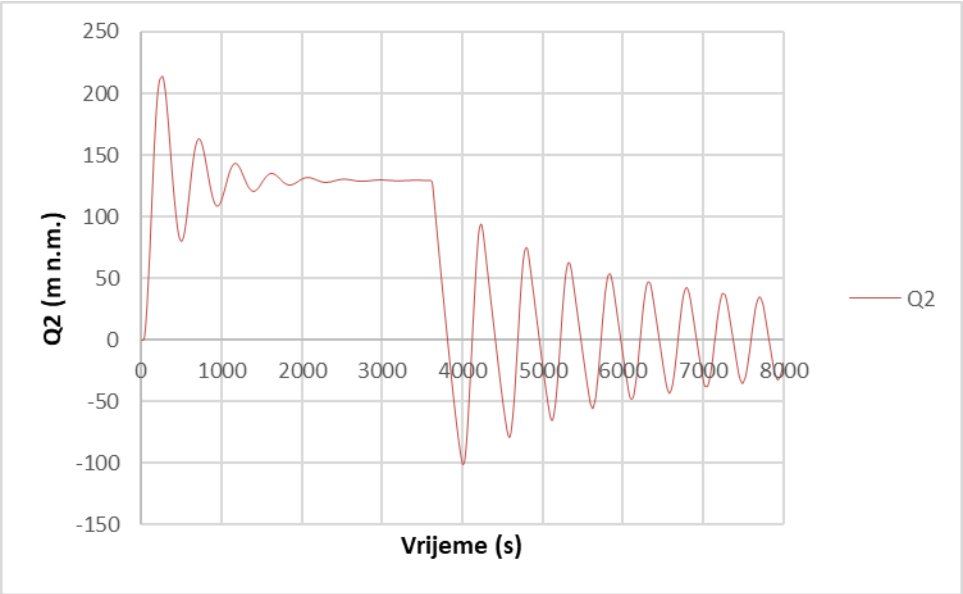
Slika 54 Vodostaj h3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 2.2



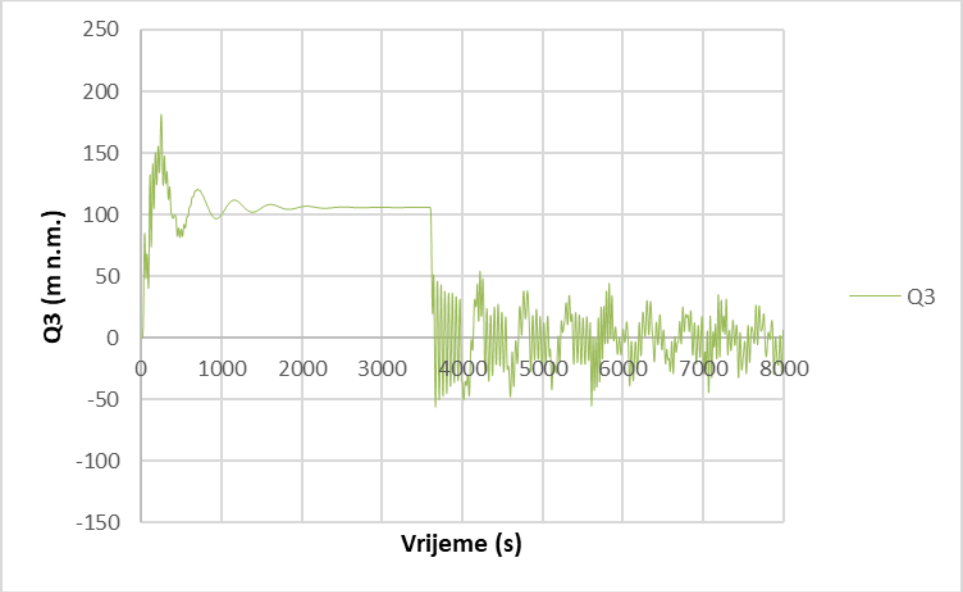
Slika 55 Vodostaji u vodnim komorama 1, 2 i 3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 2.2



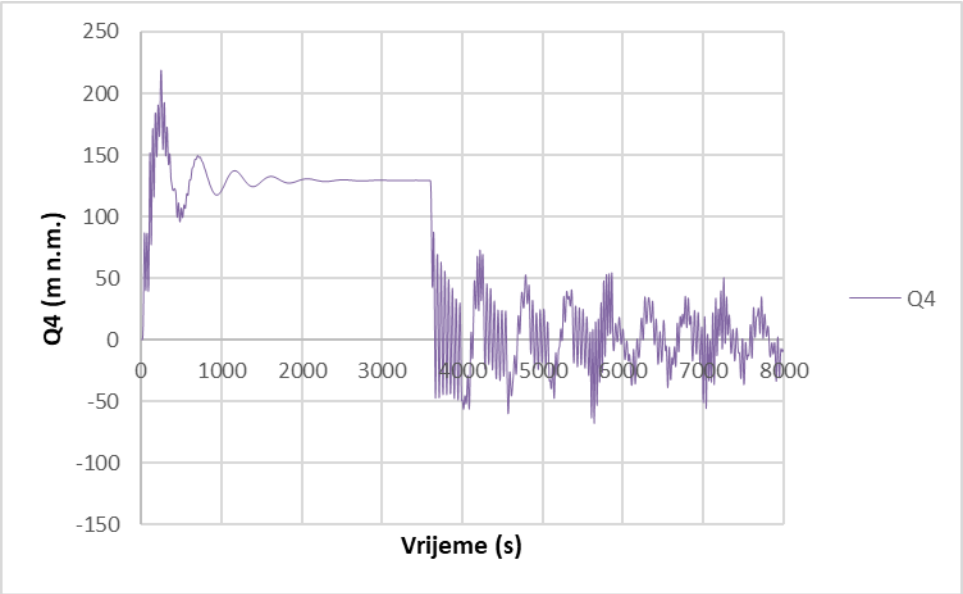
Slika 56 Protok Q1 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 2.2



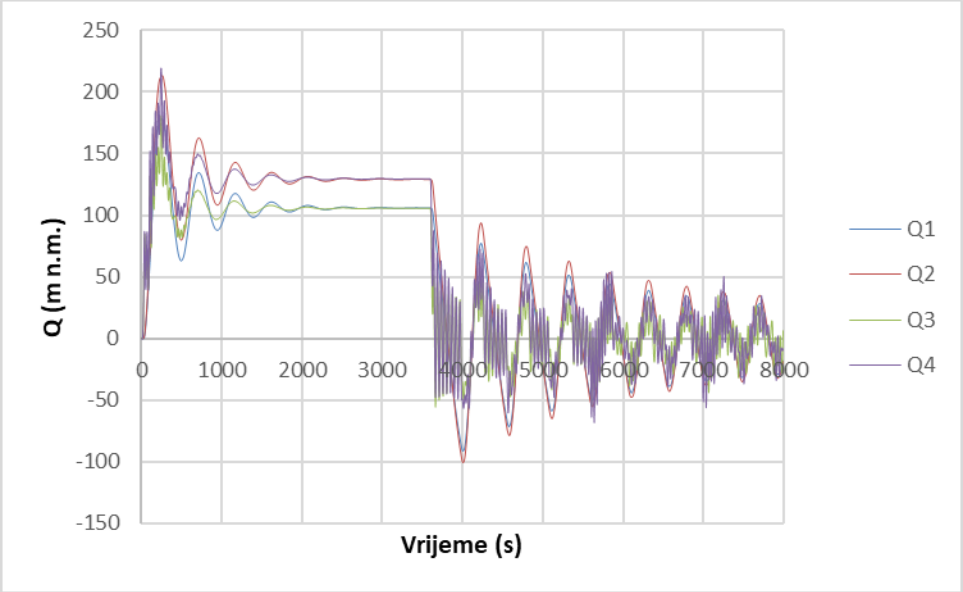
Slika 57 Protok Q2 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 2.2



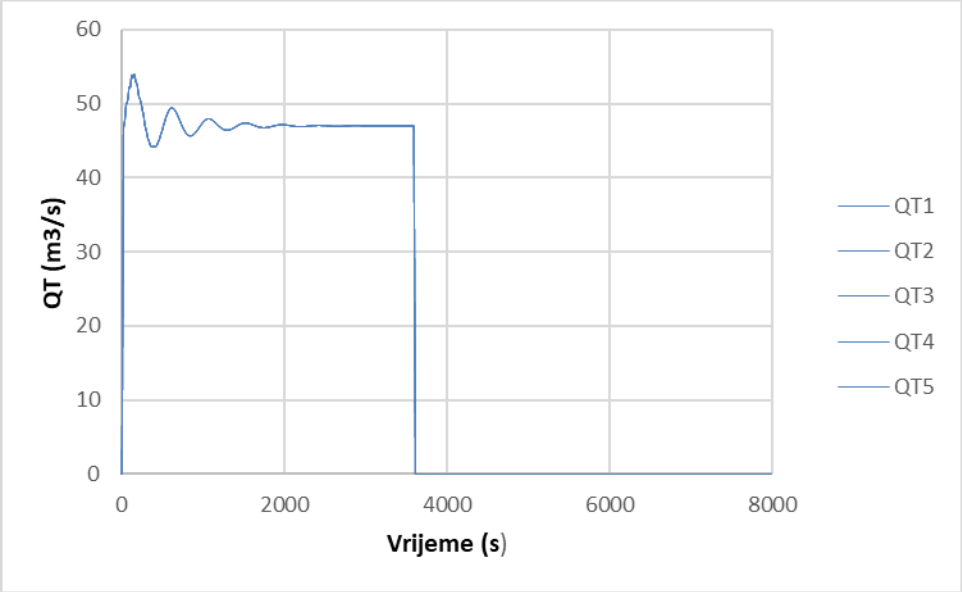
Slika 58 Protok Q3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 2.2



Slika 59 Protok Q4 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 2.2



Slika 60 Protoci u dovodnim tunelima 1, 2, 3 i 4 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 2.2



Slika 61 Protoci prema turbinama u ovisnosti o vremenu za Varijantu 2.2

Prikaz minimalnih vrijednosti vodostaja h (m n.m.) i protoka Q (m^3/s) pri maksimalnom vodostaju u akumulaciji za Varijantu 2.2:

h1	h2	h3	Q1	Q2	Q3	Q4
309,40	308,80	308,56	-90,84	-100,91	-56,15	-67,96

Najniža kota u komori 3 koja mora biti ostvarena kako bi sustav funkcionirao iznosi h= 319,40 (m n.m.), dok je najniža postignuta u ovoj varijanti h=308,56 (m n.m.) za 10,84 (m) manja od minimalne dozvoljene.

Prikaz maksimalnih vrijednosti vodostaja h (m n.m.) i protoka Q (m^3/s) pri maksimalnom vodostaju u akumulaciji za Varijantu 2.2:

h1	h2	h3	Q1	Q2	Q3	Q4
356,85	356,83	359,49	177,77	213,75	181,30	218,97

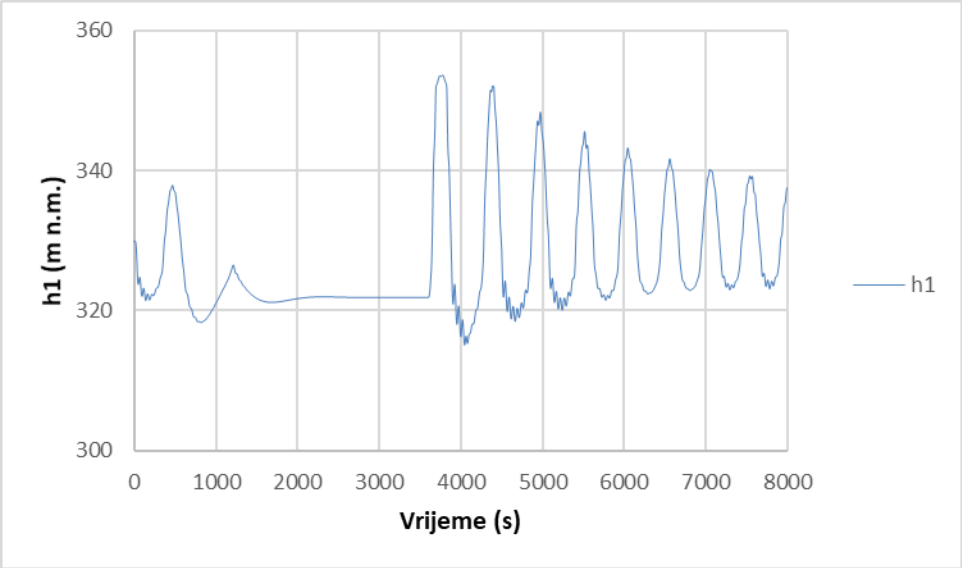
4.3. VARIJANTA 3

Vodna komora ima duljinu proširenja L=110,0 (m), D = 10,0 (m) i produbljenja koje iznosi 1 (m).

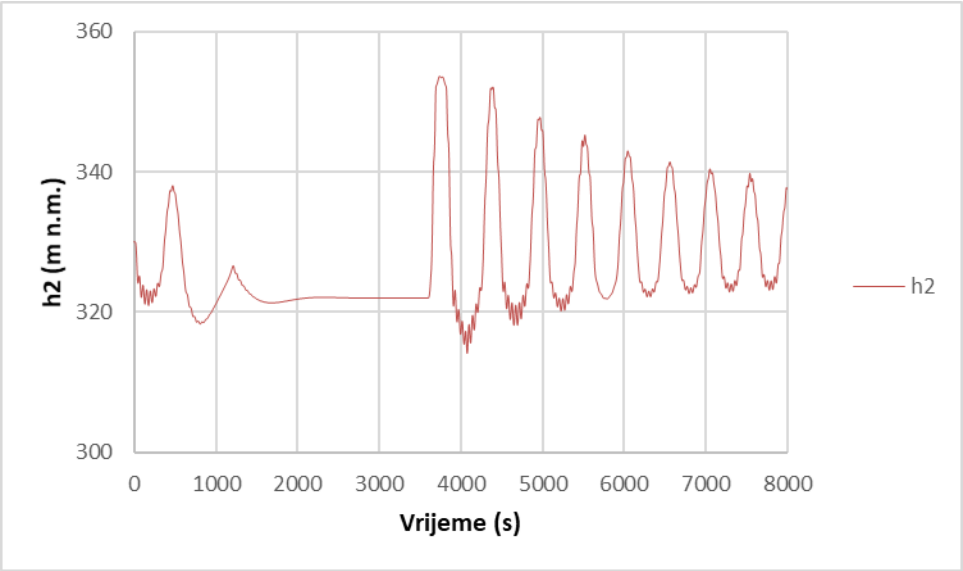
Tri turbine se uključuju u desetoj sekundi (od 10. do 30. sekunde), dvije nakon 20 minuta, a isključuju se sve zajedno nakon sat vremena.

4.3.1. VARIJANTA 3.1 – h_a = 330 (m n. m.)

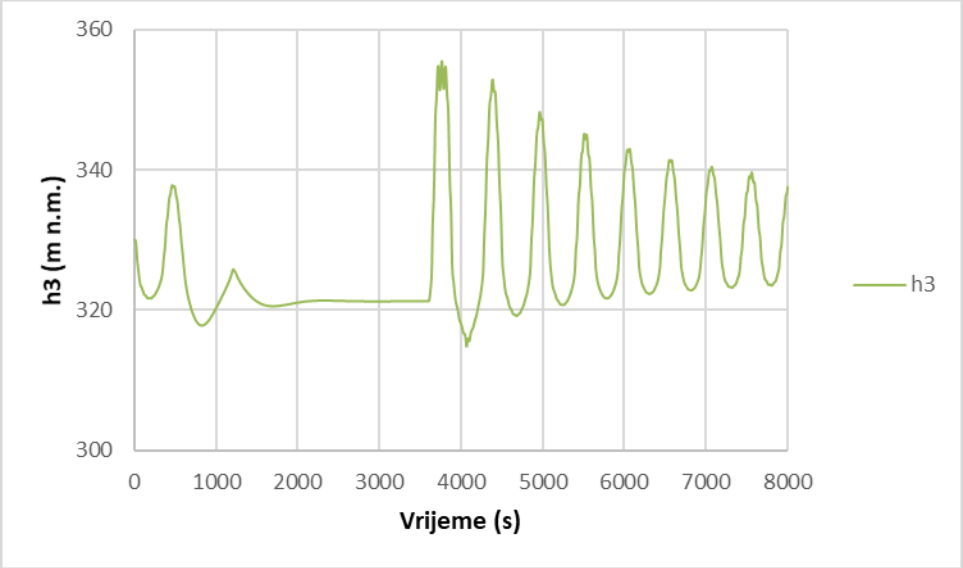
Vodostaj u akumulaciji je minimalan i vrijednost mu je h_a = 330 (m n.m.).



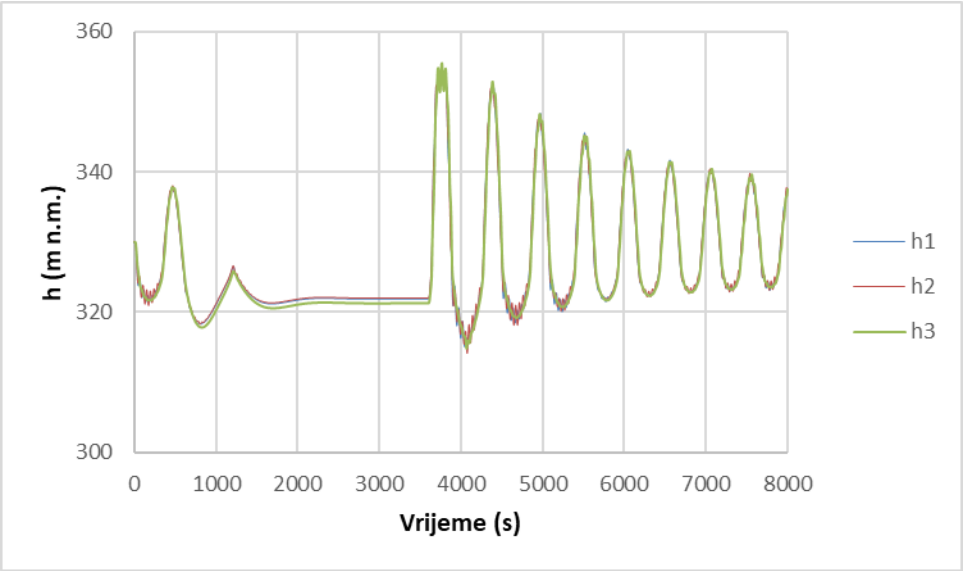
Slika 62 Vodostaj h1 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 3.1



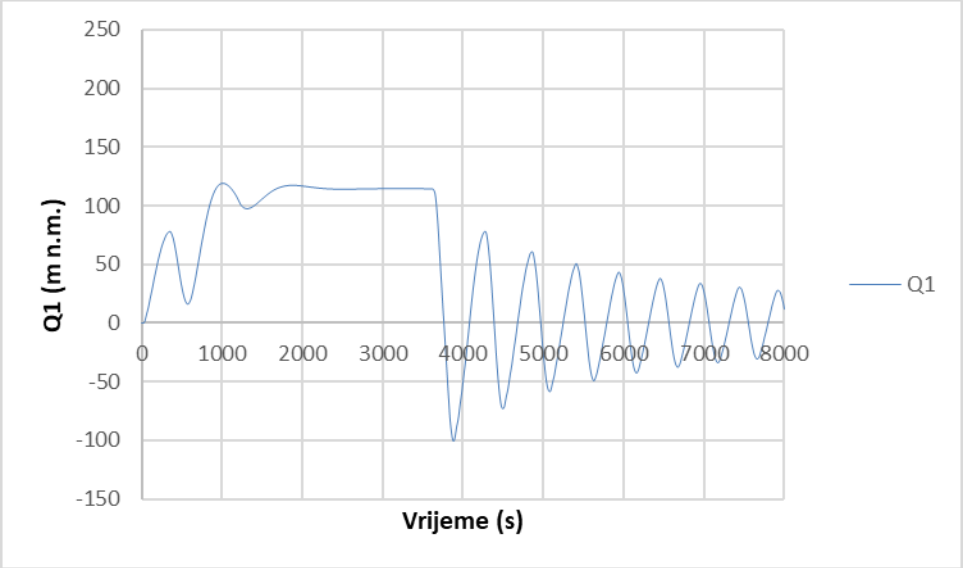
Slika 63 Vodostaj h2 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 3.1



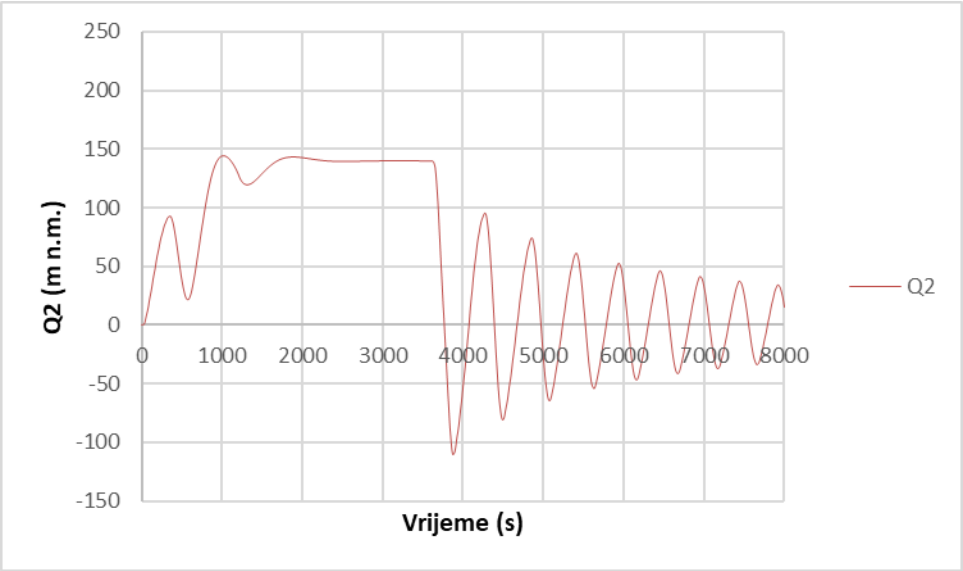
Slika 64 Vodostaj h3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 3.1



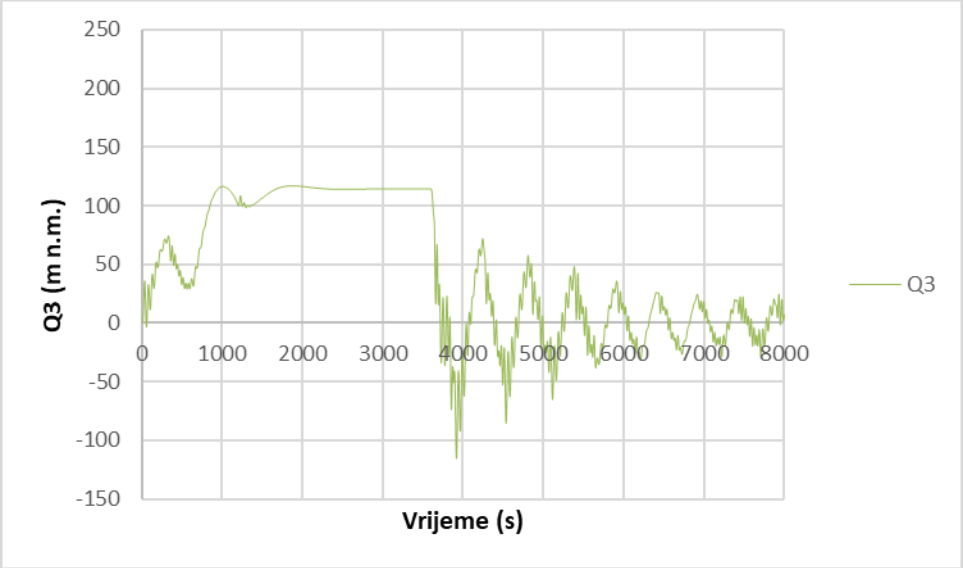
Slika 65 Vodostaji u vodnim komorama 1, 2 i 3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 3.1



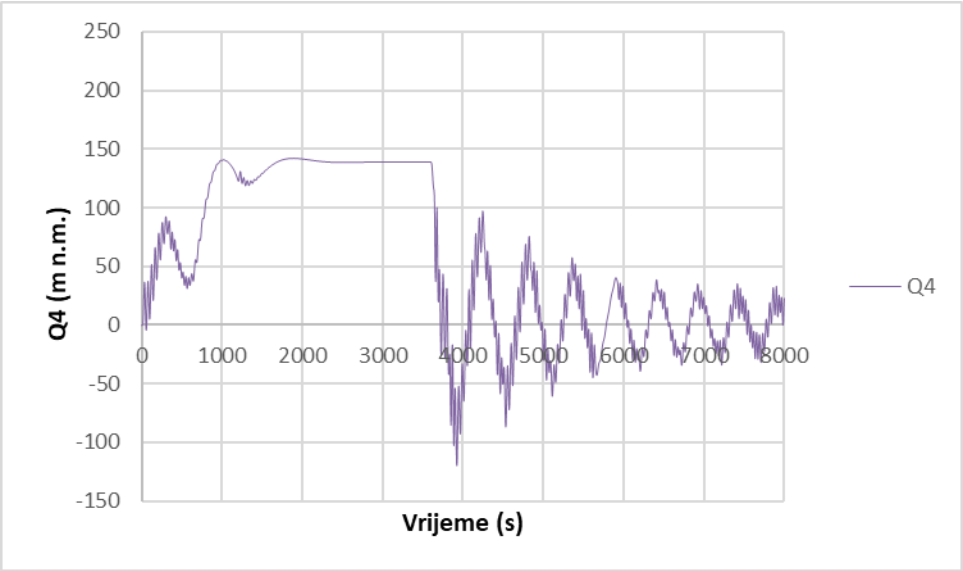
Slika 66 Protok Q1 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 3.1



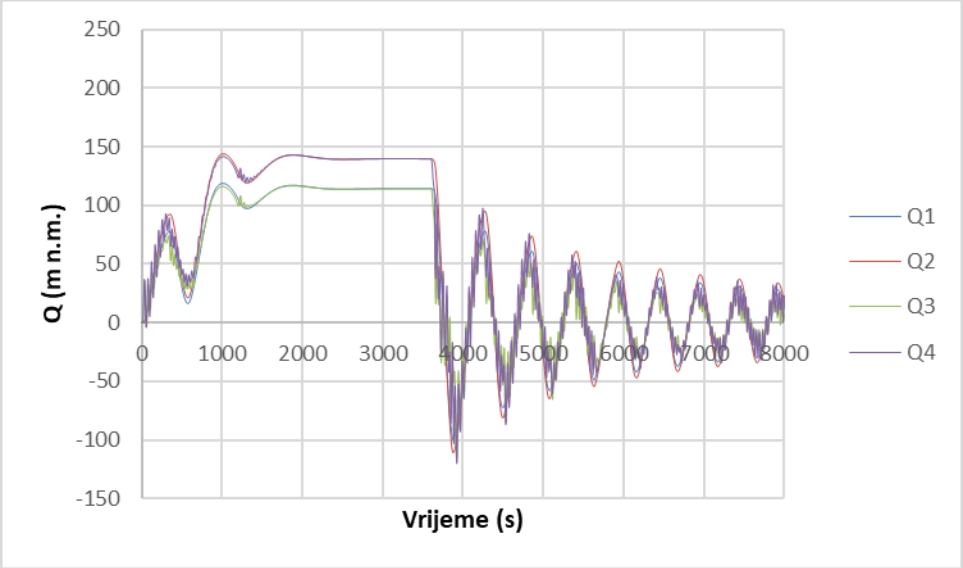
Slika 67 Protok Q2 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 3.1



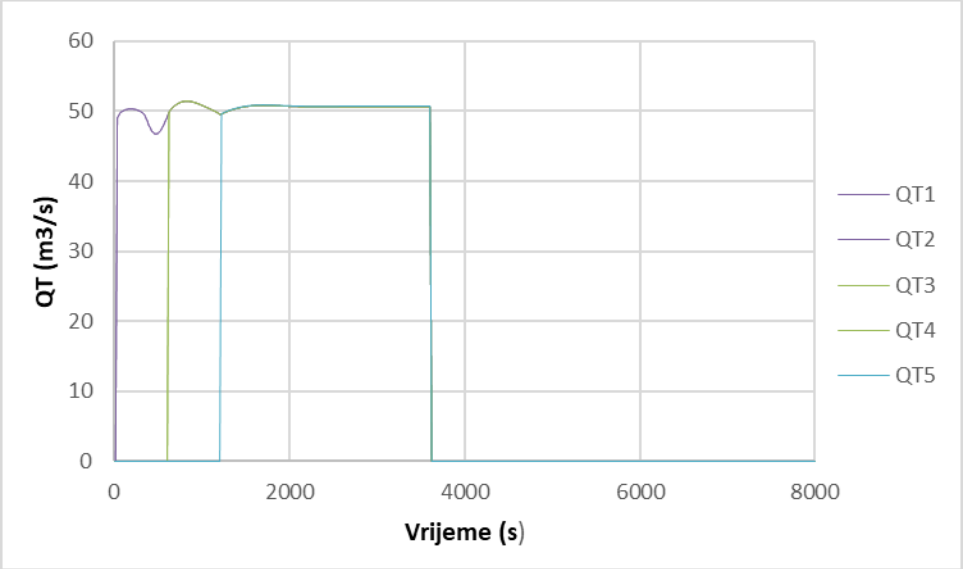
Slika 68 Protok Q3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 3.1



Slika 69 Protok Q4 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 3.1



Slika 70 Protoci u dovodnim tunelima 1, 2, 3 i 4 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 3.1



Slika 71 Protoci prema turbinama u ovisnosti o vremenu za Varijantu 3.1

Prikaz minimalnih vrijednosti vodostaja h (m n.m.) i protoka Q (m^3/s) pri minimalnom vodostaju u akumulaciji za Varijantu 3.1:

h1	h2	h3	Q1	Q2	Q3	Q4
319,16	318,94	318,82	-100,29	-110,55	-115,55	-119,59

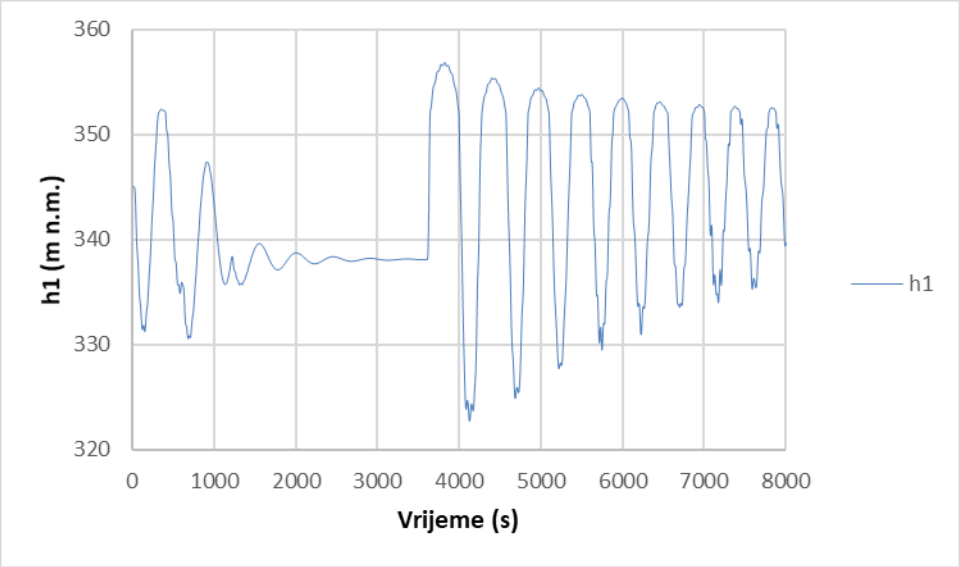
Najniža kota u komori 3 koja mora biti ostvarena kako bi sustav funkcionirao iznosi h= 318,40 (m n.m.), dok je najniža postignuta u ovoj varijanti h=318,817 (m n.m.) za 0,417 (m) veća od minimalne dozvoljene.

Prikaz maksimalnih vrijednosti vodostaja h (m n.m.) i protoka Q (m^3/s) pri minimalnom vodostaju u akumulaciji za Varijantu 3.1:

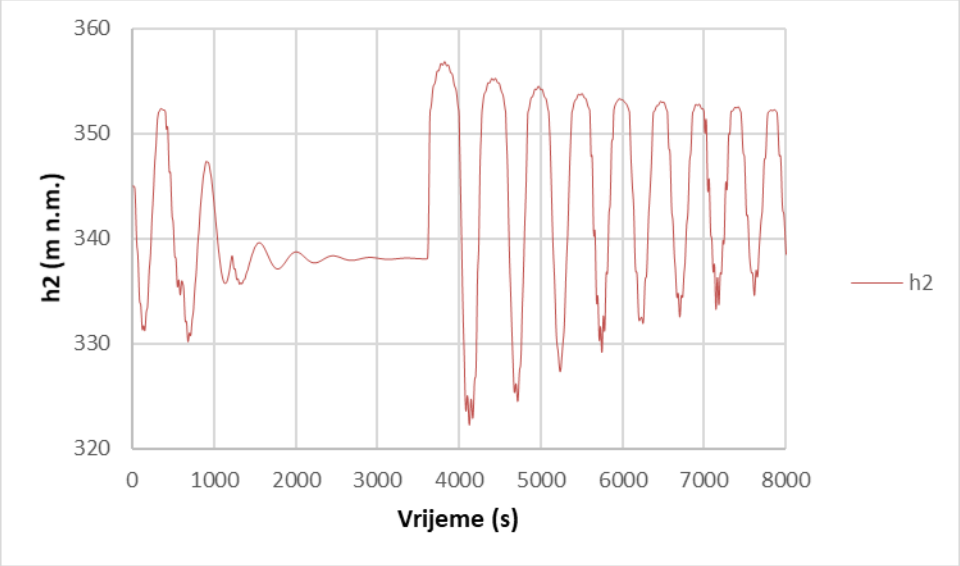
h1	h2	h3	Q1	Q2	Q3	Q4
353,66	353,63	355,56	118,69	143,80	116,68	142,53

4.3.2. VARIJANTA 3.2 – h_a = 345 (m n. m.)

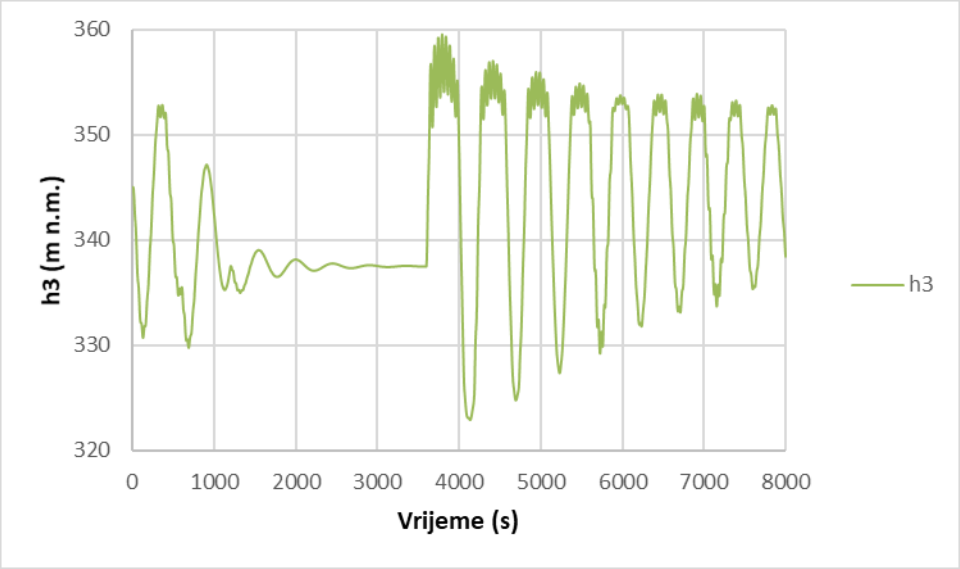
Vodostaj u akumulaciji je maksimalan i vrijednost mu je h_a = 345 (m n.m.).



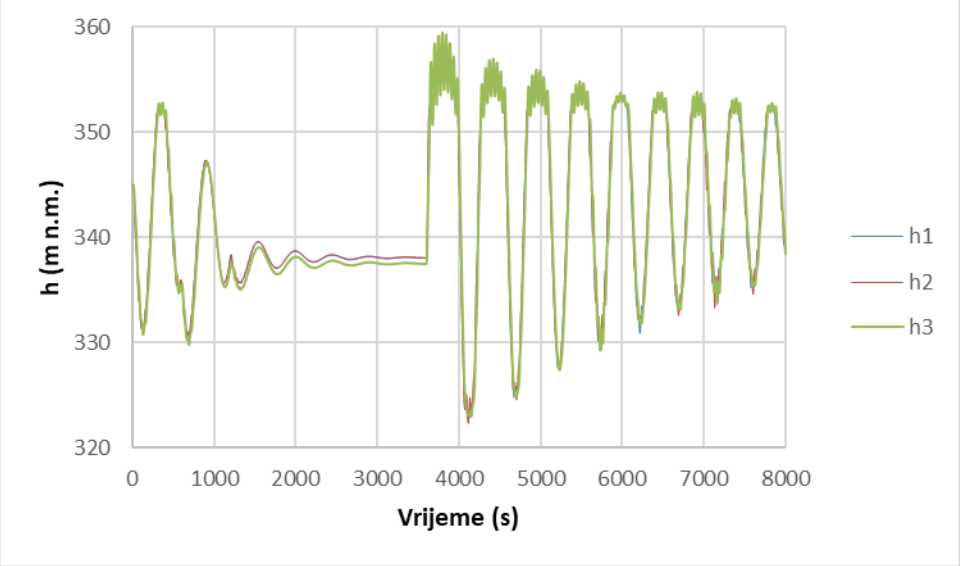
Slika 72 Vodostaj h1 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 3.2



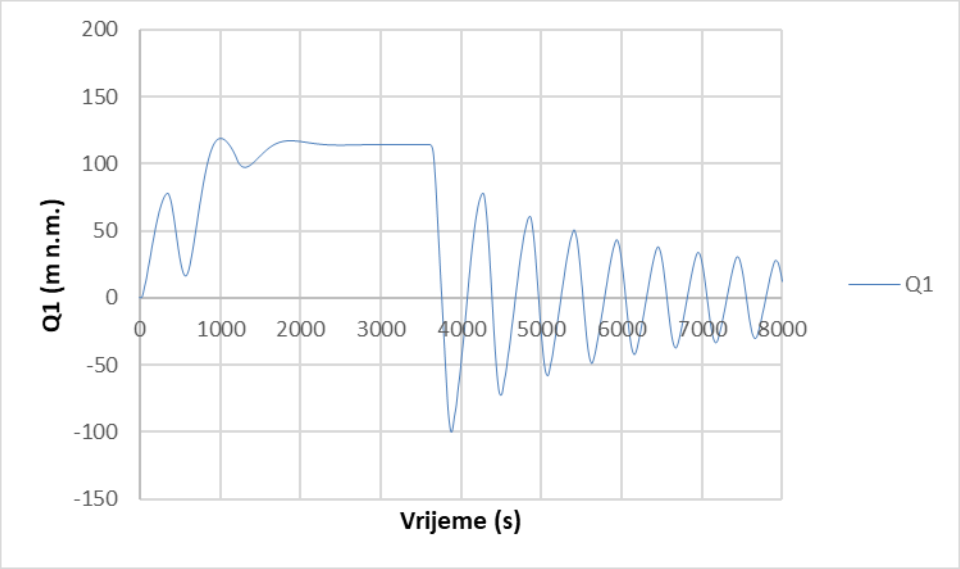
Slika 73 Vodostaj h2 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 3.2



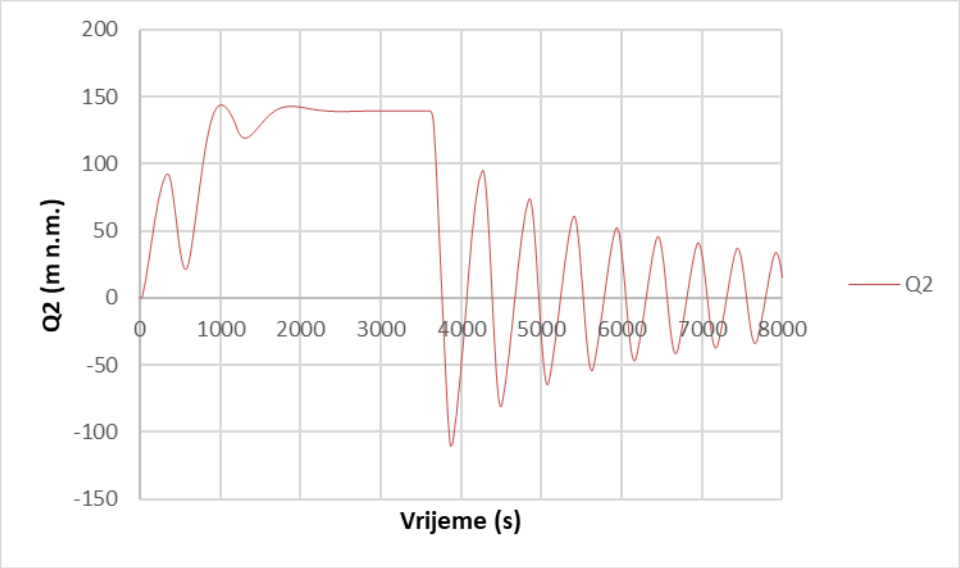
Slika 74 Vodostaj h3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 3.2



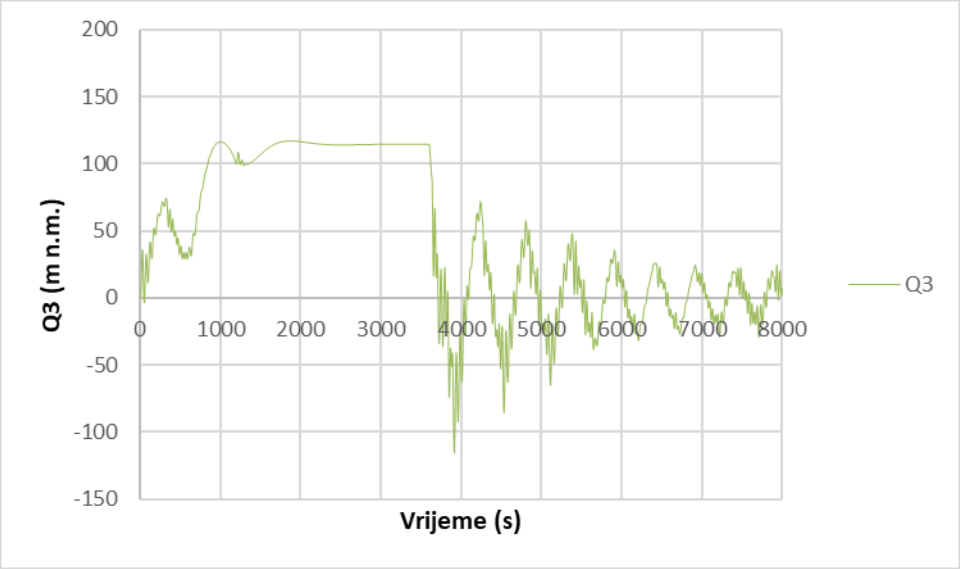
Slika 75 Vodostaji u vodnim komorama 1, 2 i 3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 3.2



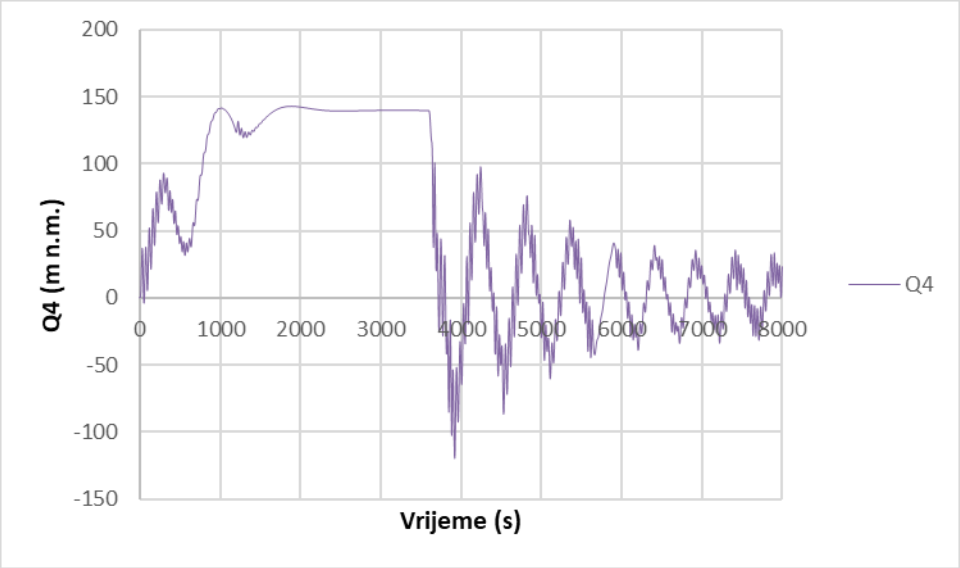
Slika 76 Protok Q1 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 3.2



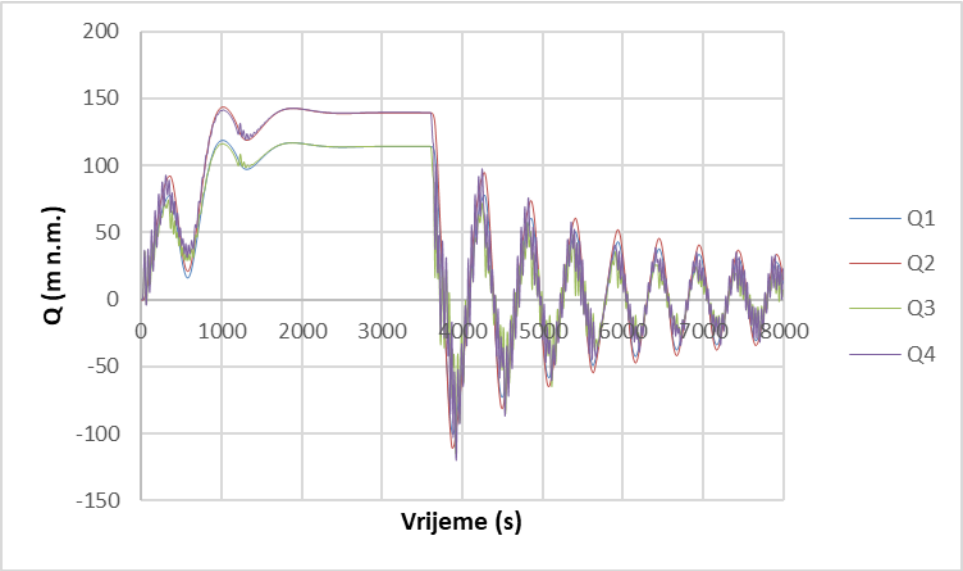
Slika 77 Protok Q2 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 3.2



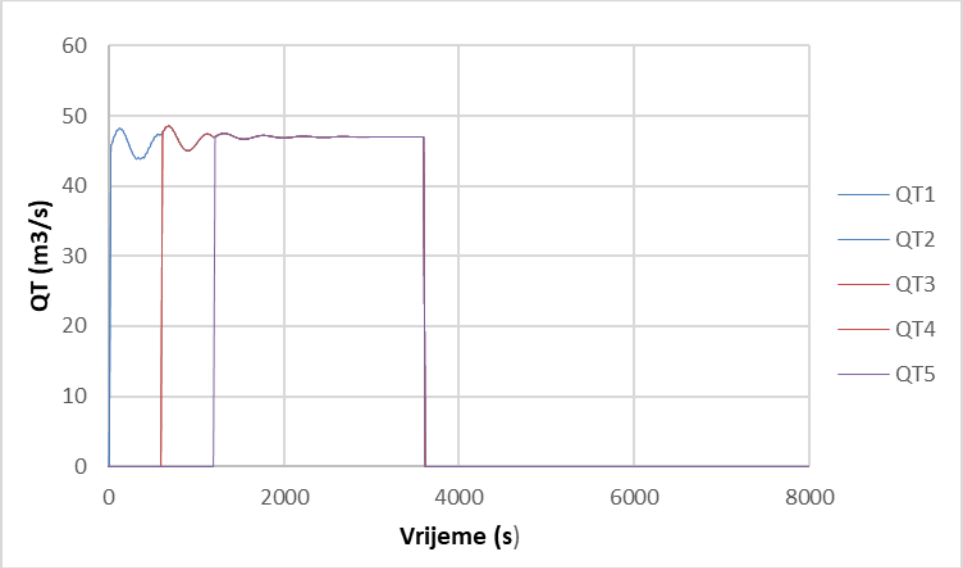
Slika 78 Protok Q3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 3.2



Slika 79 Protok Q4 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 3.2



Slika 80 Protoci u dovodnim tunelima 1, 2, 3 i 4 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 3.2



Slika 81 Protoci prema turbinama u ovisnosti o vremenu za Varijantu 3.2

Prikaz minimalnih vrijednosti vodostaja h (m n.m.) i protoka Q (m^3/s) pri maksimalnom vodostaju u akumulaciji za Varijantu 3.2:

h1	h2	h3	Q1	Q2	Q3	Q4
322,67	322,24	322,91	-90,93	-101,04	-58,28	-63,71

Najniža kota u komori 3 koja mora biti ostvarena kako bi sustav funkcionirao iznosi h= 318,40 (m n.m.), dok je najniža postignuta u ovoj varijanti h=322,91 (m n.m.) za 4,51 (m) veća od minimalne dozvoljene.

Prikaz maksimalnih vrijednosti vodostaja h (m n.m.) i protoka Q (m^3/s) pri maksimalnom vodostaju u akumulaciji za Varijantu 3.2:

h1	h2	h3	Q1	Q2	Q3	Q4
356,84	356,85	359,52	112,40	136,71	109,92	134,67

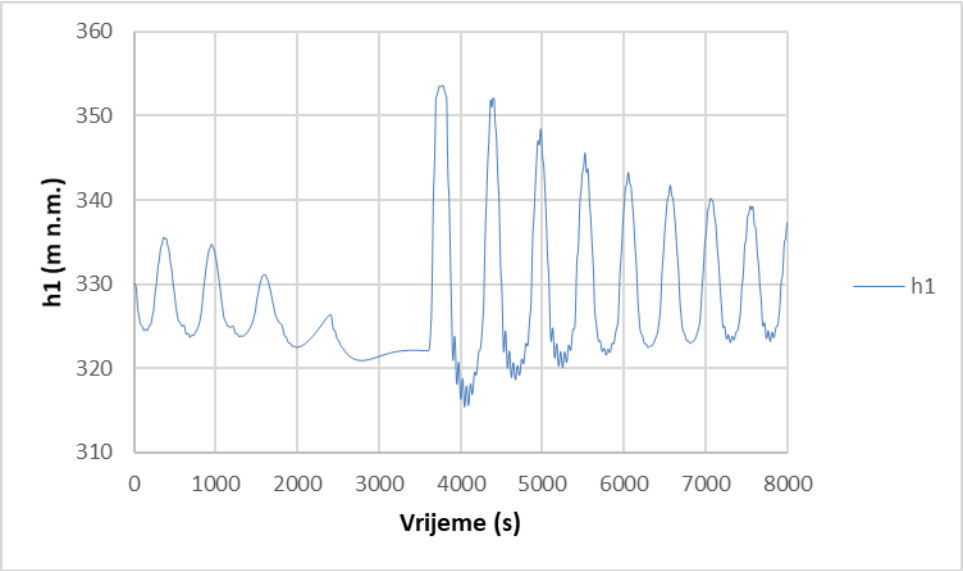
4.4. VARIJANTA 4

Vodna komora ima duljinu proširenja L=110,0 (m) i D = 10,0 (m). Produbljenje u trećoj vodnoj komori iznosi 2 (m).

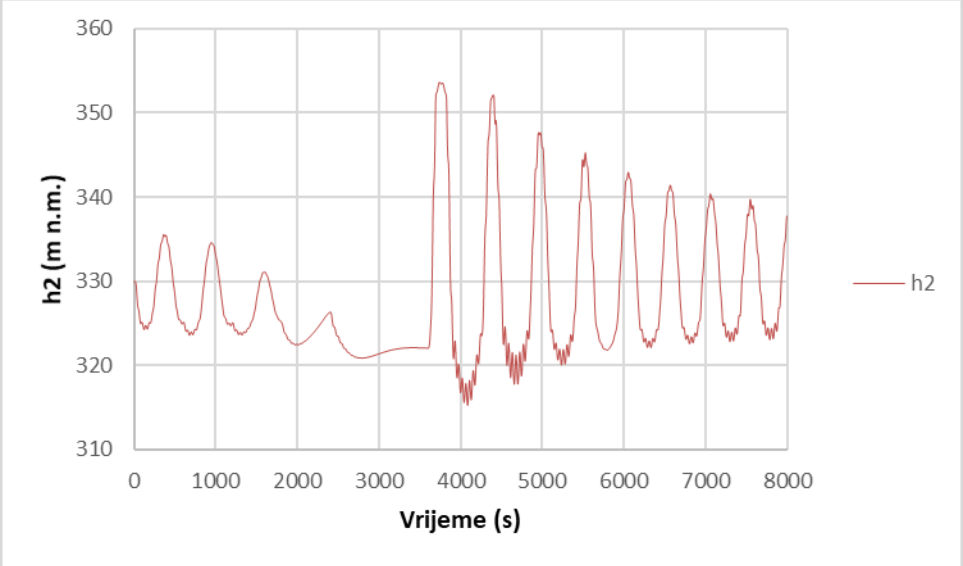
Prva turbina se uključuje u desetoj sekundi (od 10. do 30. sekunde), a ostale sa razmakom od deset minuta. Isključuju se sve zajedno nakon sat vremena.

4.4.1. VARIJANTA 4.1 – h_a = 330 (m n. m.)

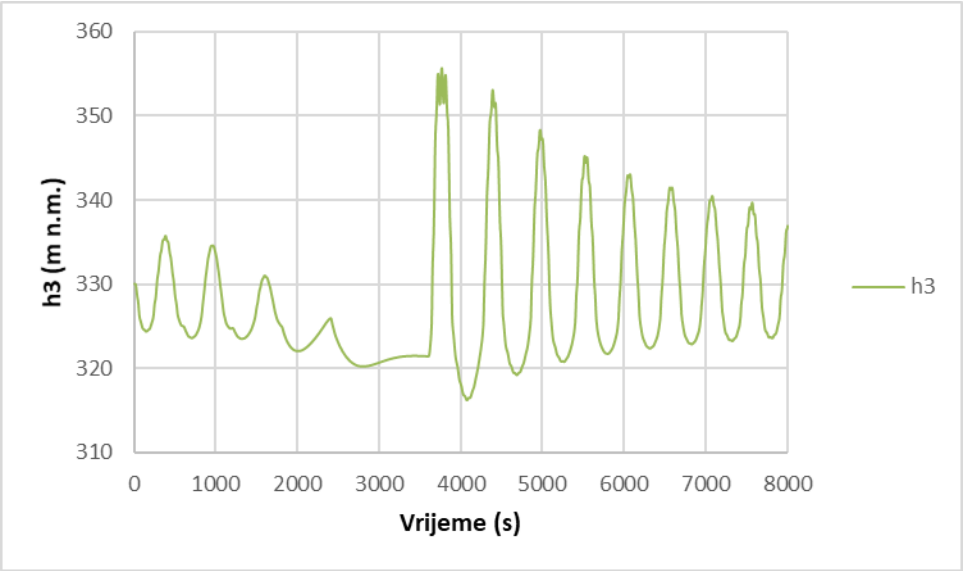
Vodostaj u akumulaciji je minimalan i vrijednost mu je h_a = 330 (m n.m.).



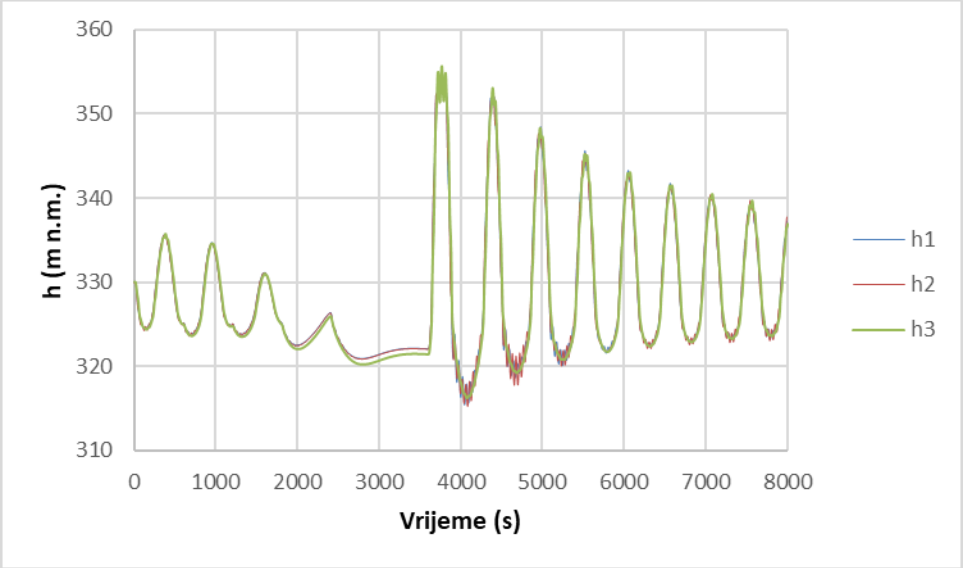
Slika 82 Vodostaj h1 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 4.1



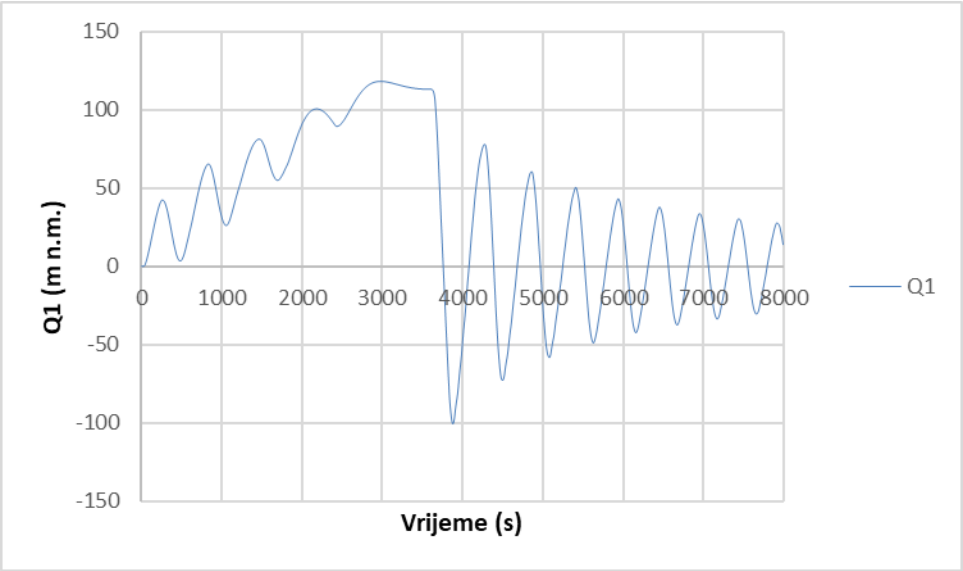
Slika 83 Vodostaj h2 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 4.1



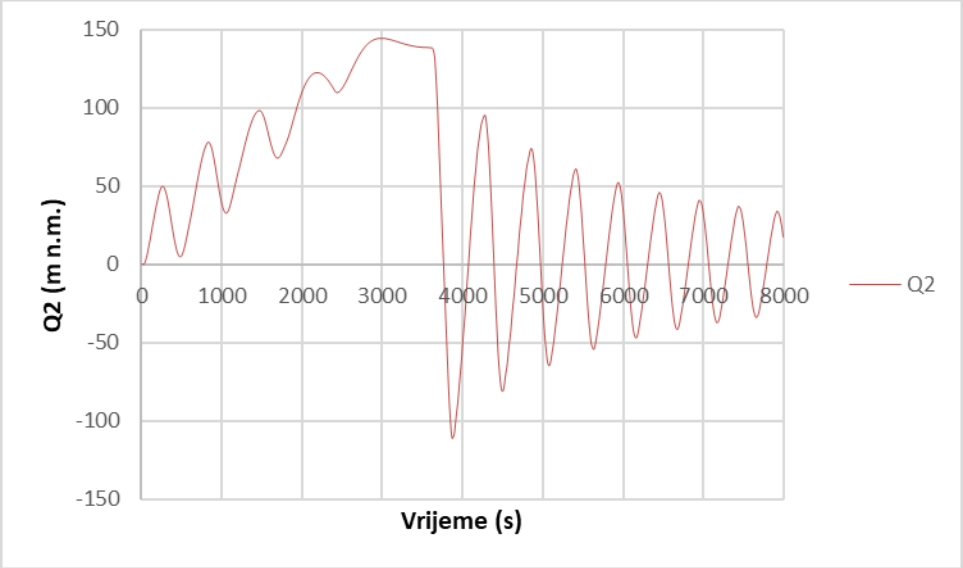
Slika 84 Vodostaj h3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 4.1



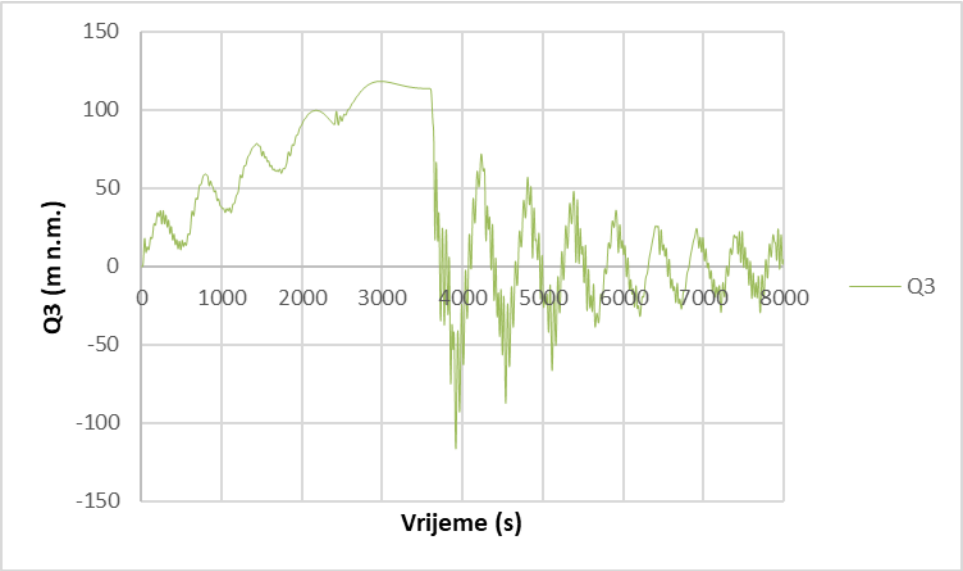
Slika 85 Vodostaji u komorama 1, 2 i 3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 4.1



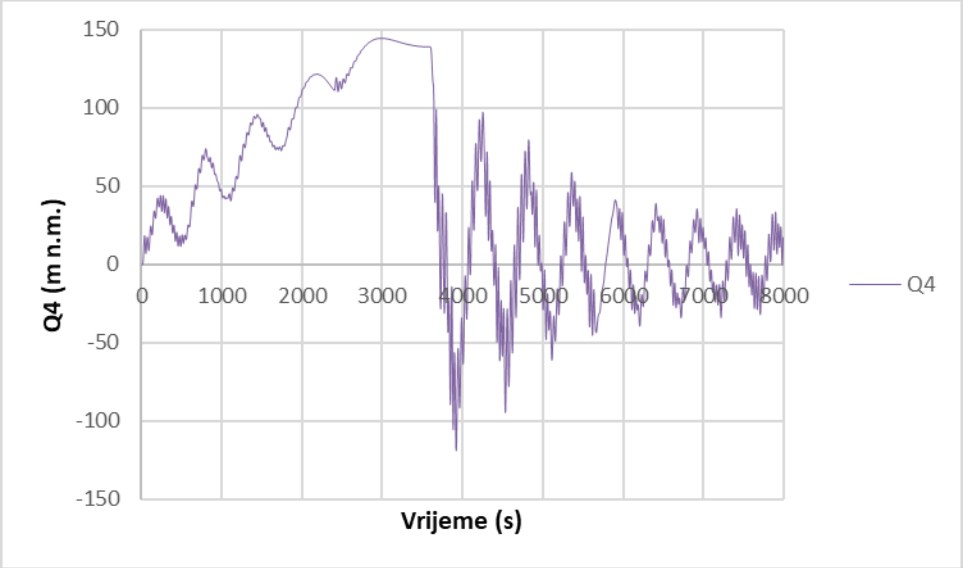
Slika 86 Protok Q1 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 4.1



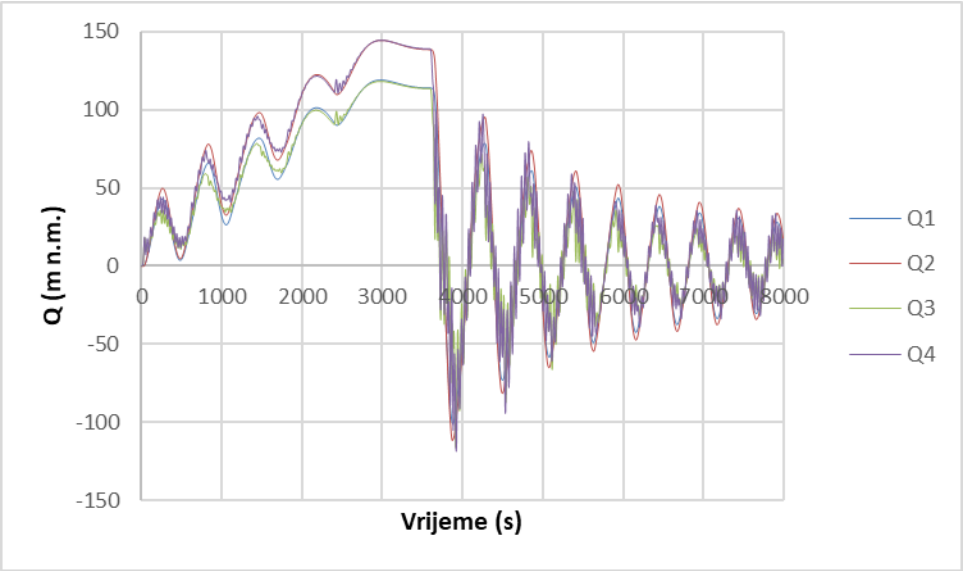
Slika 87 Protok Q2 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 4.1



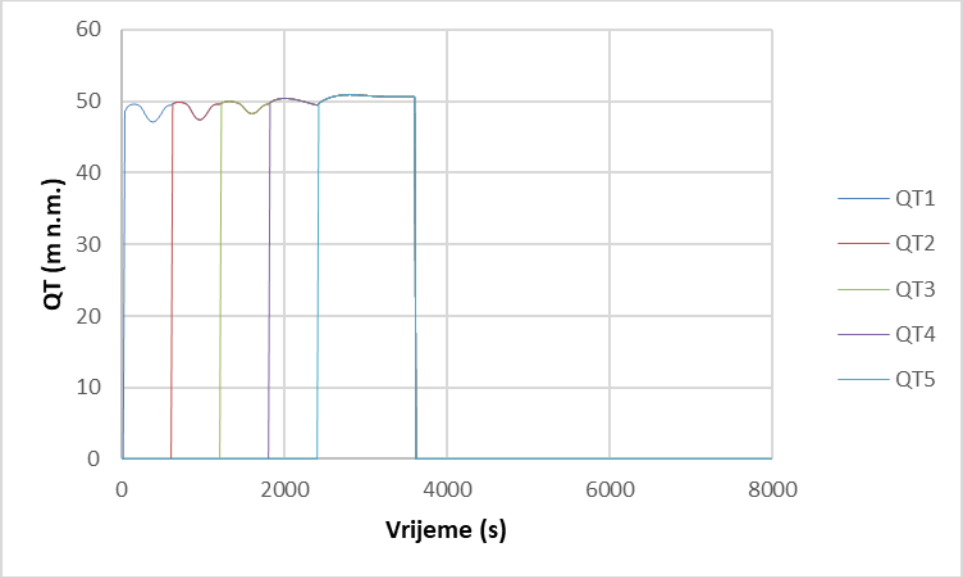
Slika 88 Protok Q3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 4.1



Slika 89 Protok Q4 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 4.1



Slika 90 Protoci u dovodnim tunelima 1, 2, 3 i 4 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 4.1



Slika 91 Protoci prema turbinama u ovisnosti o vremenu za Varijantu 4.1

Prikaz minimalnih vrijednosti vodostaja h (m n.m.) i protoka Q (m^3/s) pri minimalnom vodostaju u akumulaciji za Varijantu 4.1:

h1	h2	h3	Q1	Q2	Q3	Q4
318,34	318,29	318,17	-100,97	-111,48	-116,23	-118,66

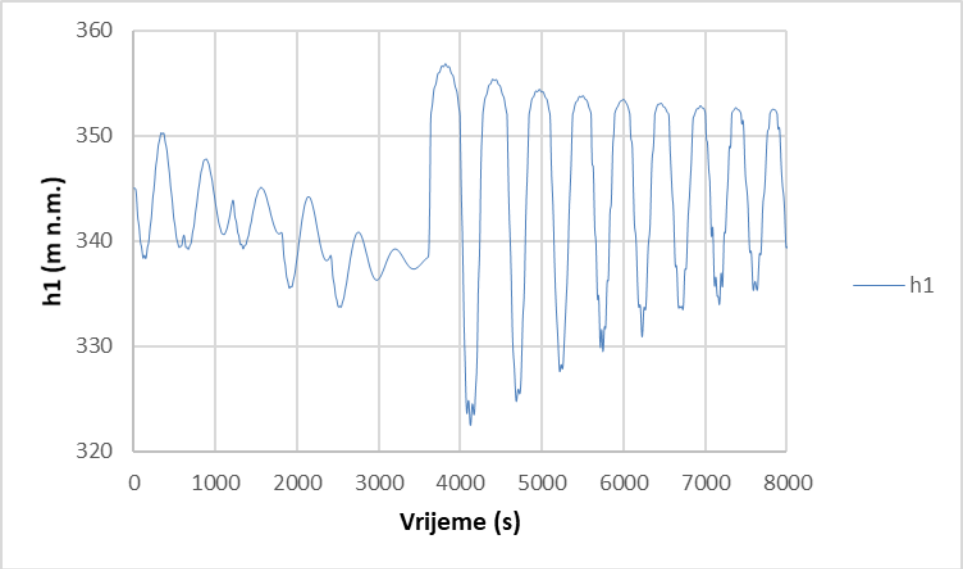
Najniža kota u komori 3 koja mora biti ostvarena kako bi sustav funkcionirao iznosi h= 317,40 (m n.m.), dok je najniža postignuta u ovoj varijanti h=318,17 (m n.m.) za 0,77 (m) veća od minimalne dozvoljene.

Prikaz maksimalnih vrijednosti vodostaja h (m n.m.) i protoka Q (m^3/s) pri minimalnom vodostaju u akumulaciji za Varijantu 4.1:

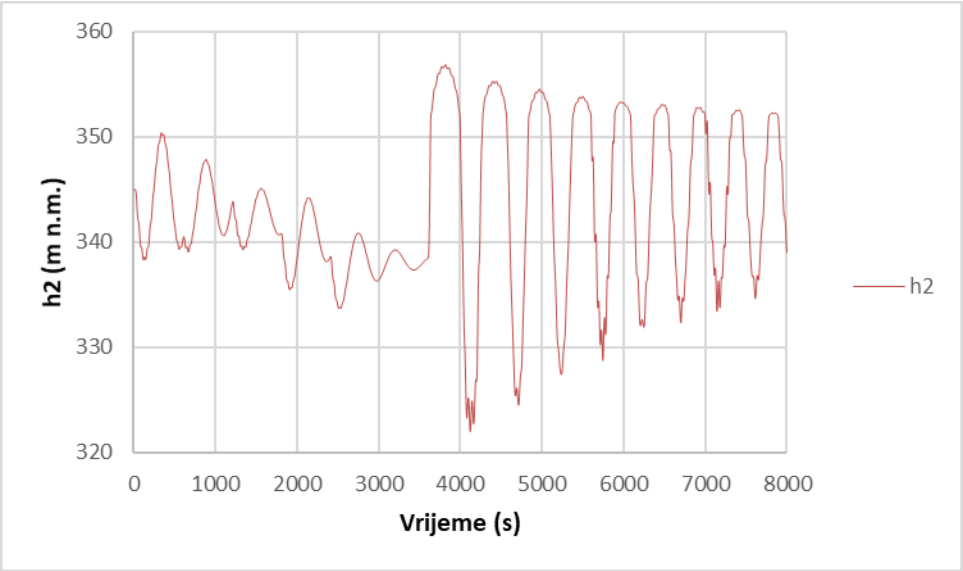
h1	h2	h3	Q1	Q2	Q3	Q4
353,68	353,68	355,68	118,54	144,67	118,15	144,27

4.4.2. VARIJANATA 4.2 – h_a = 345 (m n. m.)

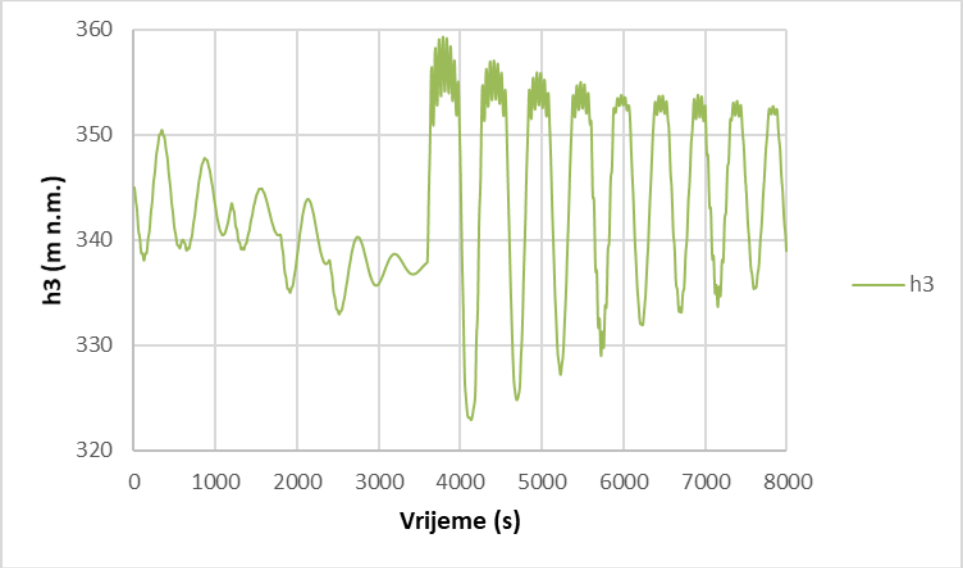
Vodostaj u akumulaciji je maksimalan i vrijednost mu je h_a = 345 (m n.m.).



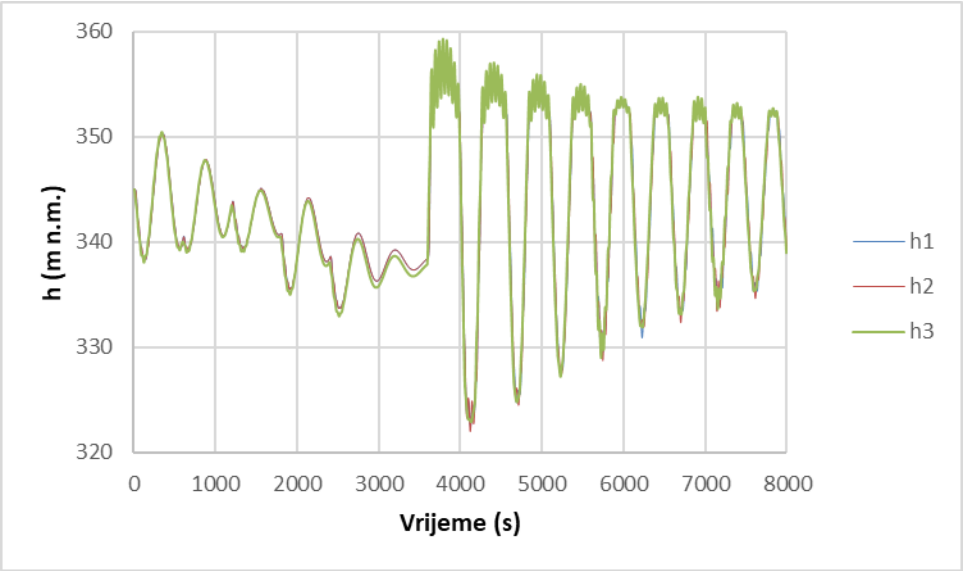
Slika 92 Vodostaj h1 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 4.2



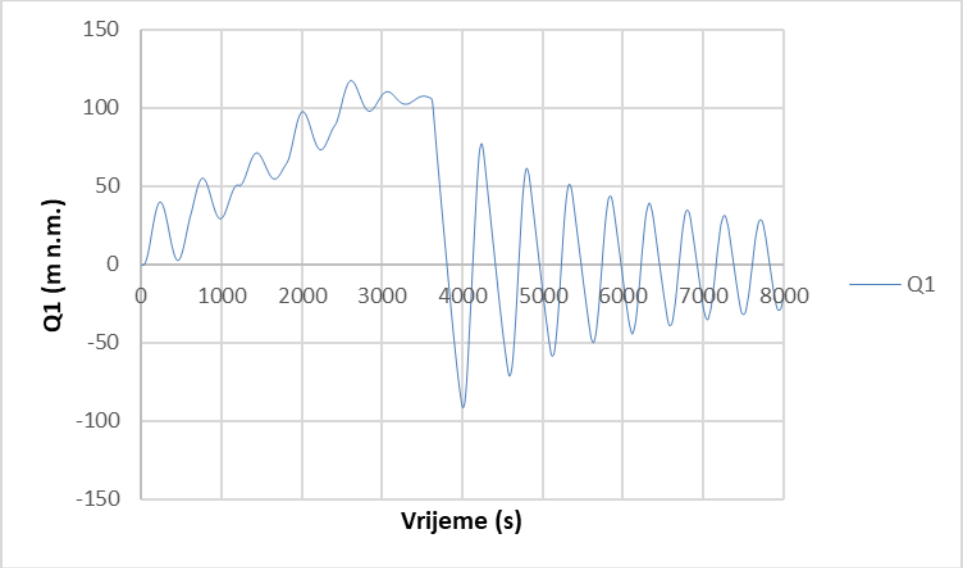
Slika 93 Vodostaj h2 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 4.2



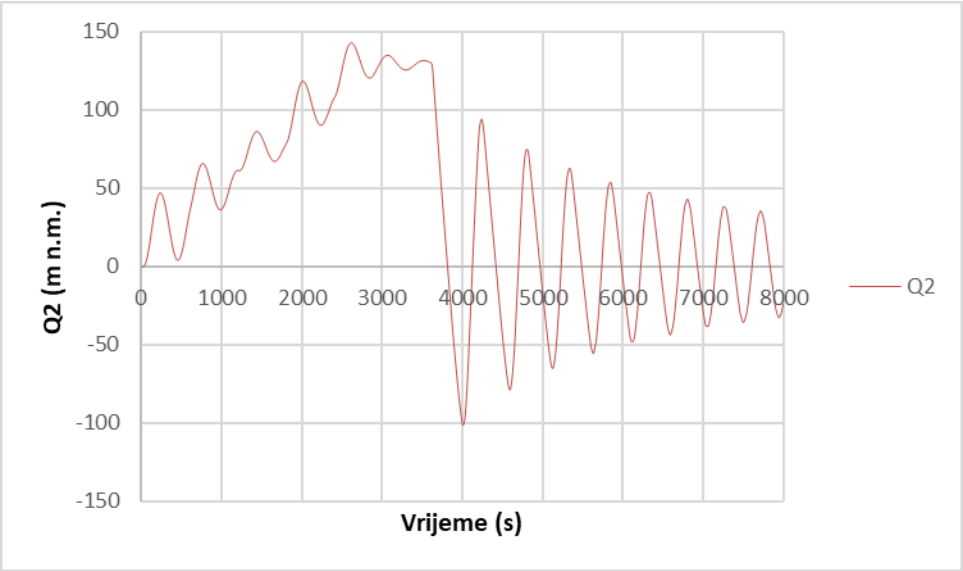
Slika 94 Vodostaj h3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 4.2



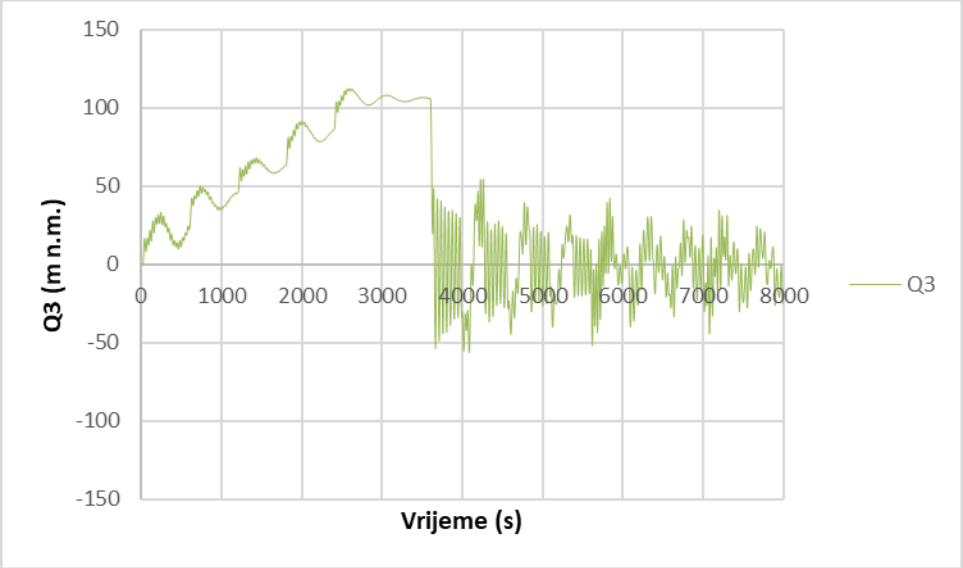
Slika 95 Vodostaji u komorama 1, 2 i 3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 4.2



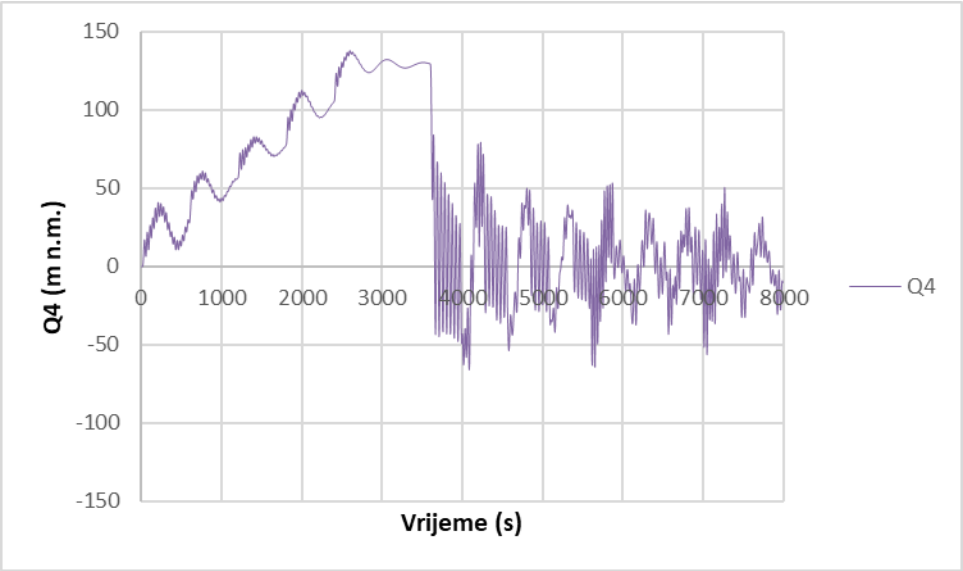
Slika 96 Protok Q1 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 4.2



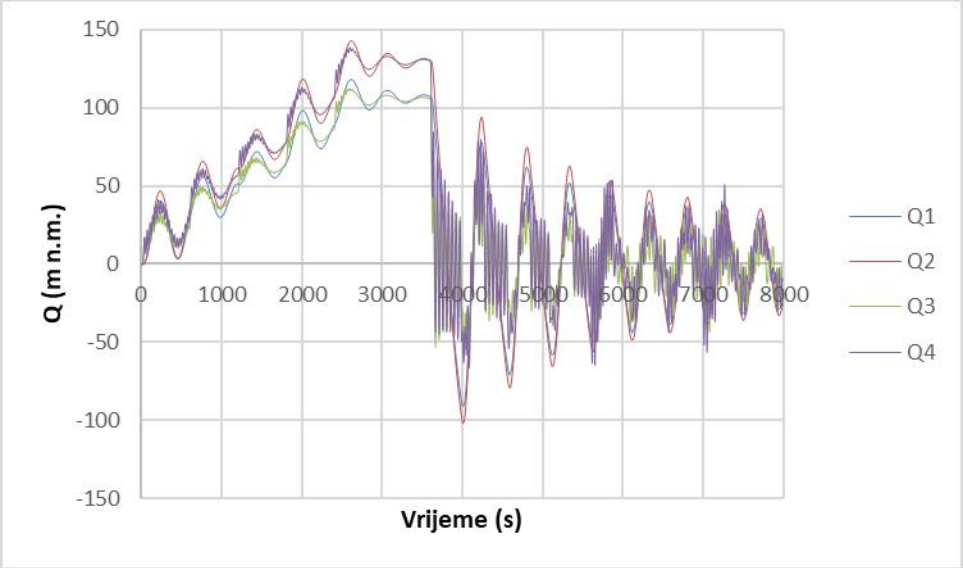
Slika 97 Protok Q2 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 4.2



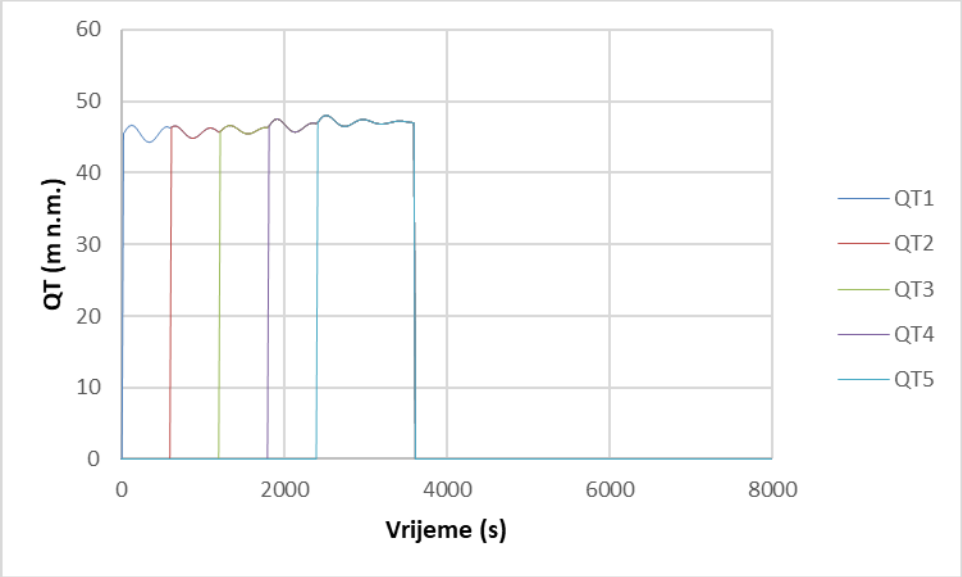
Slika 98 Protok Q3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 4.2



Slika 99 Protok Q4 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 4.2



Slika 100 Protoci u dovodnim tunelima 1, 2, 3 i 4 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 4.2



Slika 101 protoci prema turbinama u ovisnosti o vremenu za Varijantu 4.2

Prikaz minimalnih vrijednosti vodostaja h (m n.m.) i protoka Q (m^3/s) pri maksimalnom vodostaju u akumulaciji za Varijantu 4.2:

h1	h2	h3	Q1	Q2	Q3	Q4
322,43	321,98	322,86	-91,29	-101,36	-56,09	-66,03

Najniža kota u komori 3 koja mora biti ostvarena kako bi sustav funkcionirao iznosi h= 317,40 (m n.m.), dok je najniža postignuta u ovoj varijanti h=322,86 (m n.m.) za 5,46 (m) veća od minimalne dozvoljene.

Prikaz maksimalnih vrijednosti vodostaja h (m n.m.) i protoka Q (m^3/s) pri maksimalnom vodostaju u akumulaciji za Varijantu 4.2:

h1	h2	h3	Q1	Q2	Q3	Q4
356,87	356,86	359,35	117,78	143,018	112,66	138,29

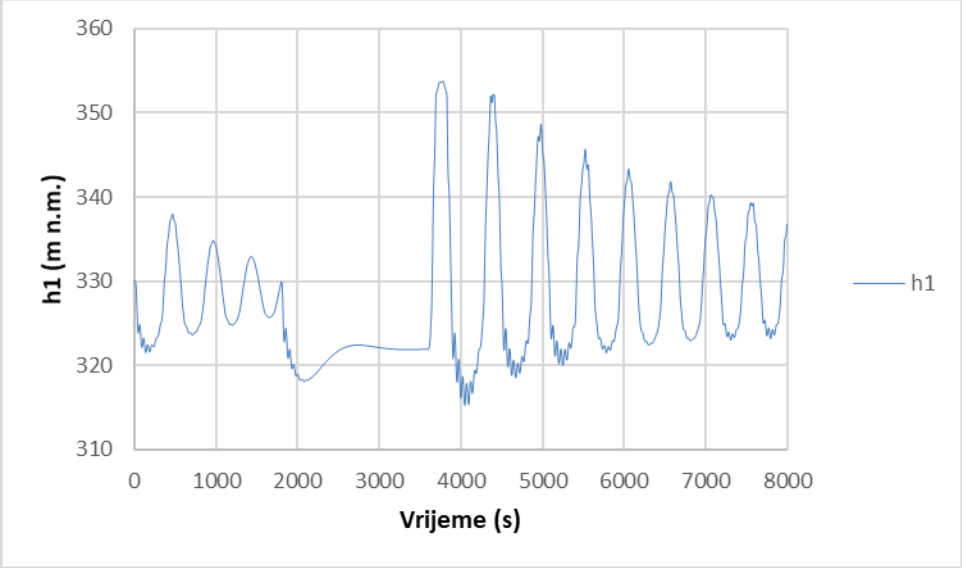
4.5. VARIJNATA 5

Vodna komora ima duljinu proširenja L=110,0 (m) i D = 10,0 (m). Produbljenje iznosi 3 (m).

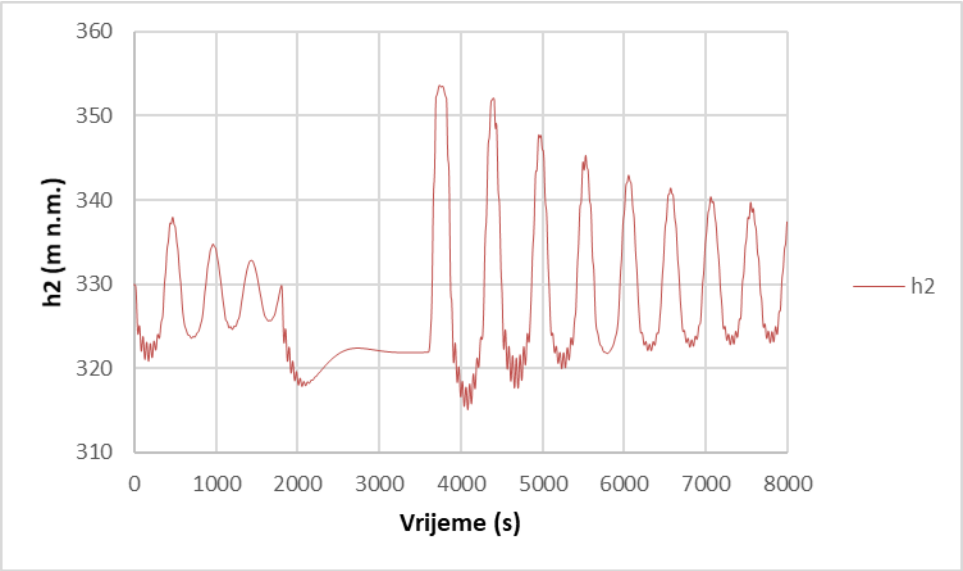
Dvije turbine se uključuju u desetoj sekunndi (od 10. do 30. sekunde), dvije nakon 10 minuta, jedna nakon 20 minuta. Sve turbine se isključuju u 60. minuti.

4.5.1. VARIJANTA 5.1 – h_a = 330 (m n. m.)

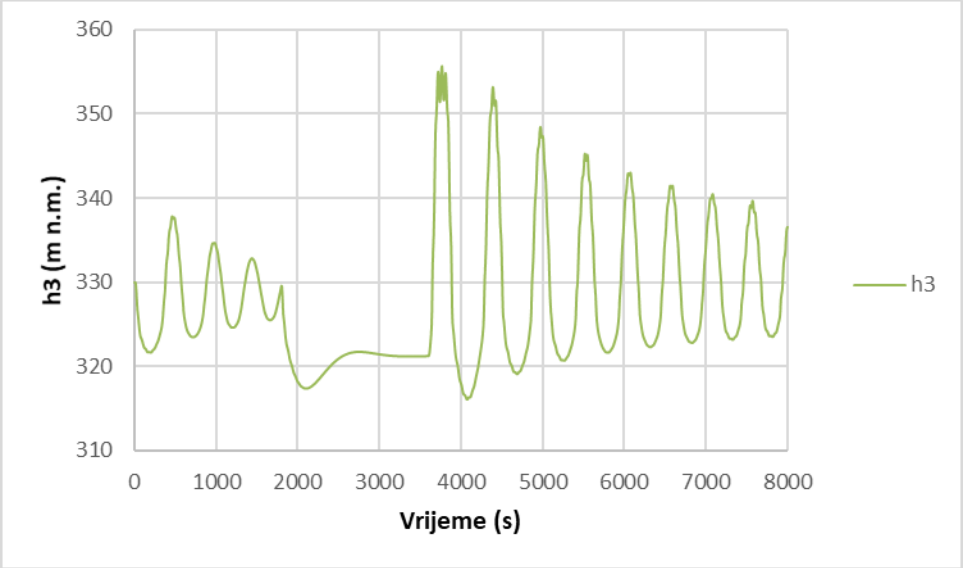
Vodostaj u akumulaciji je minimalan i vrijednost mu je h_a = 330 (m n.m.).



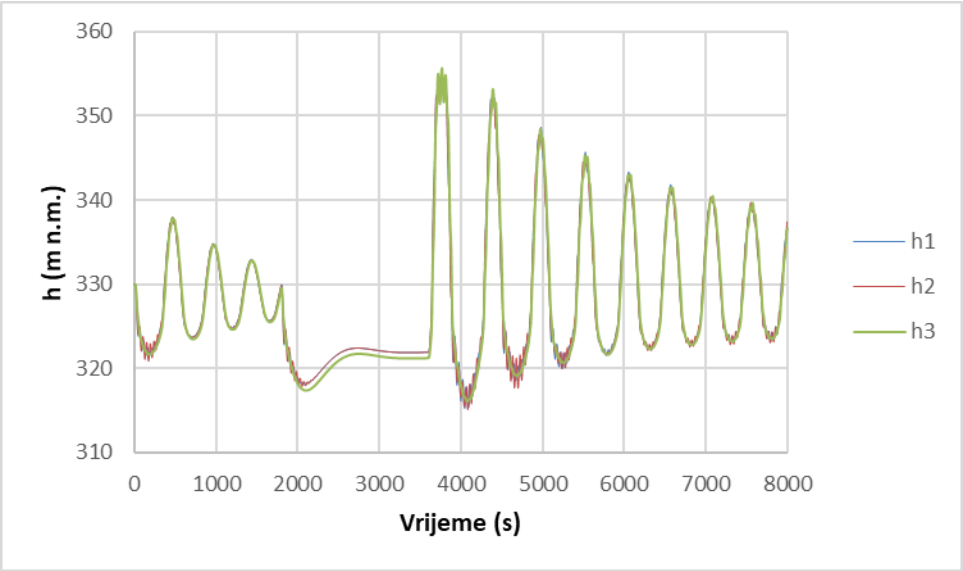
Slika 102 Vodostaj h1 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 5.1



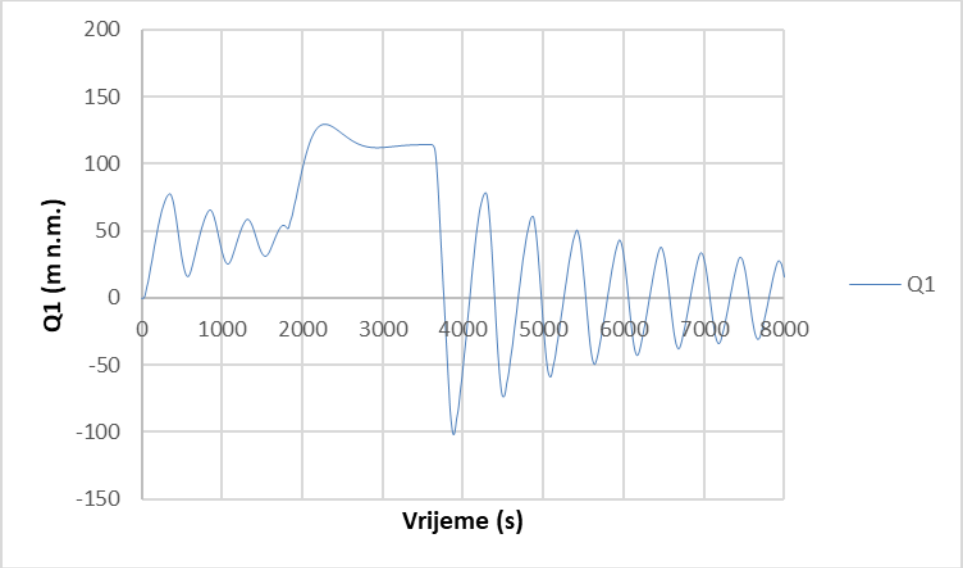
Slika 103 Vodostaj h2 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 5.1



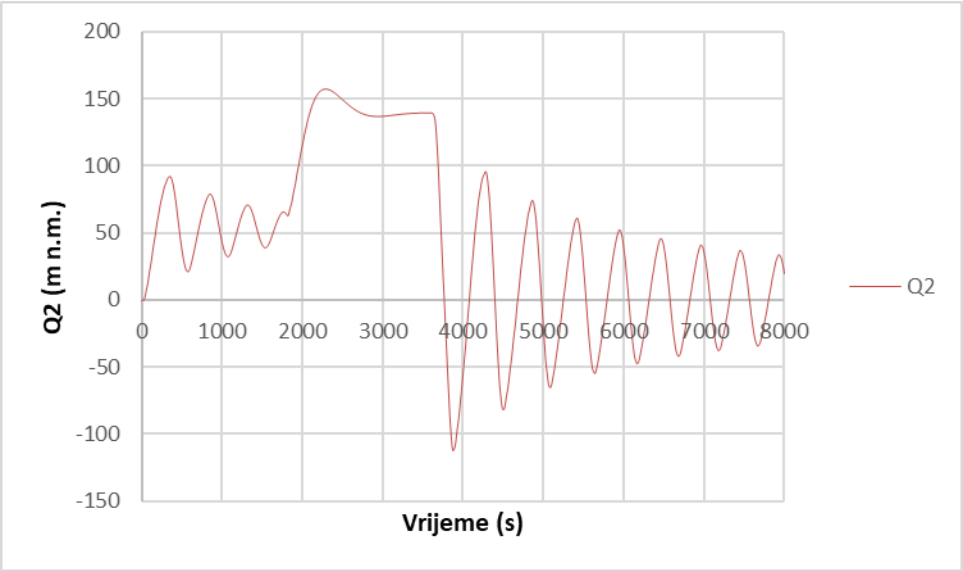
Slika 104 Vodostaj h3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 5.1



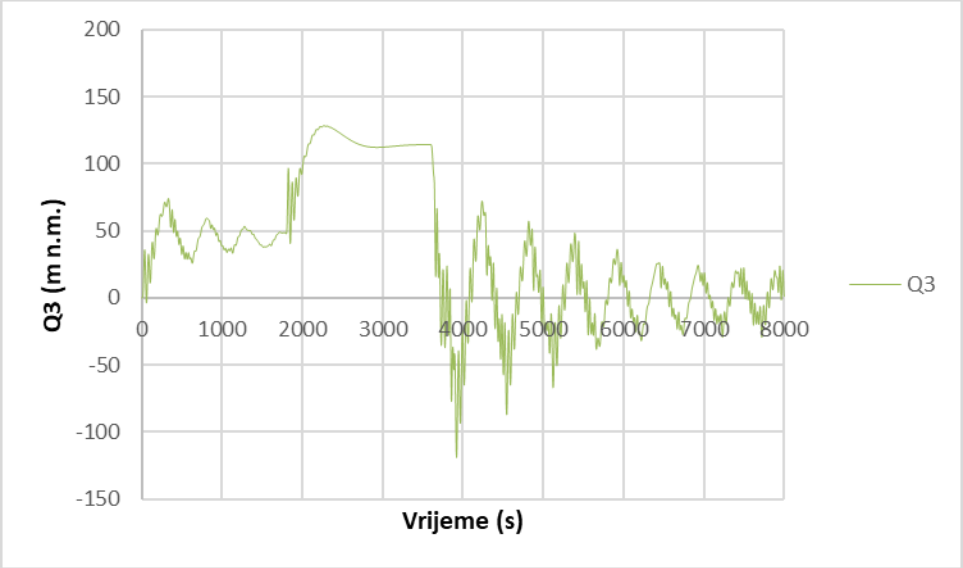
Slika 105 Vodostaji u vodnim kjomorama 1, 2 i 3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 5.1



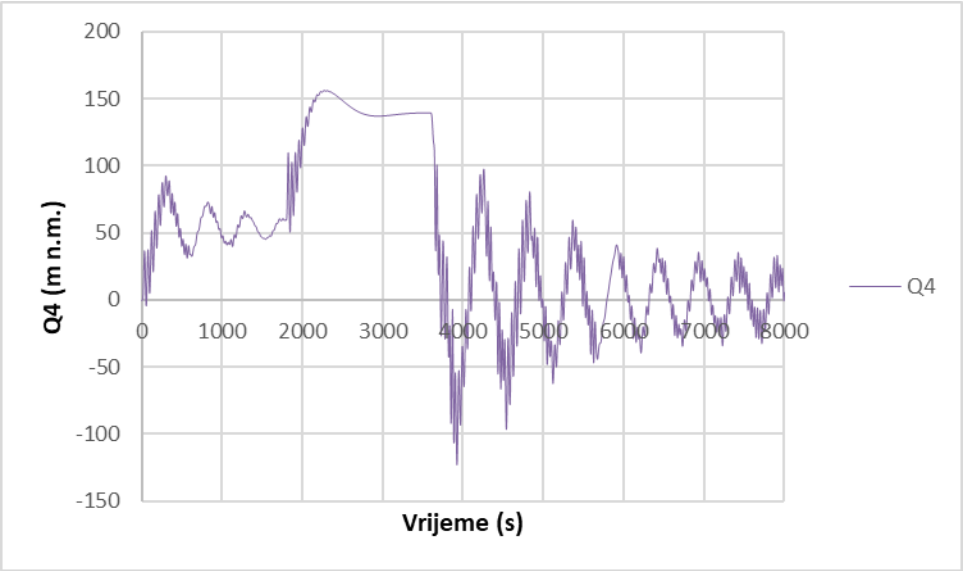
Slika 106 Protok Q1 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 5.1



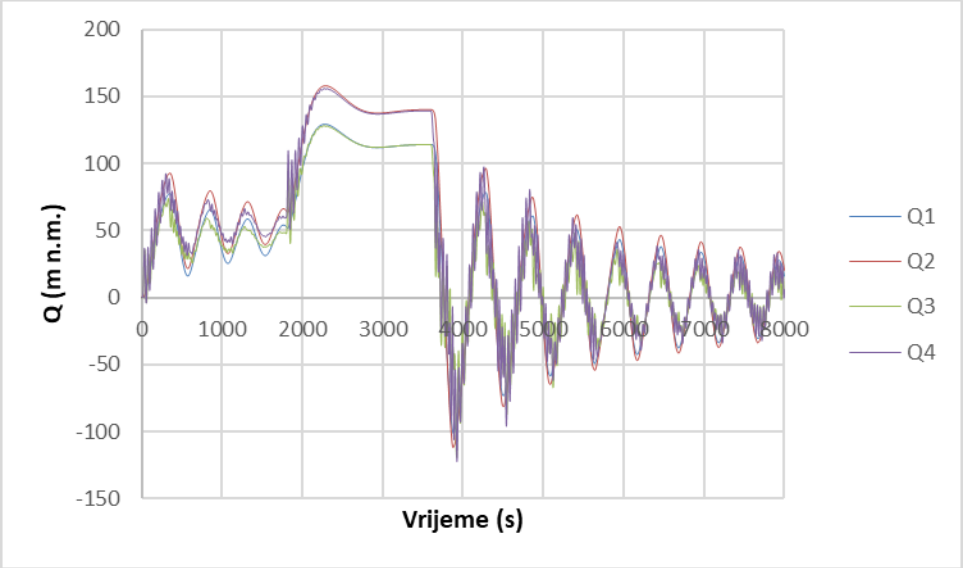
Slika 107 Protok Q2 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 5.1



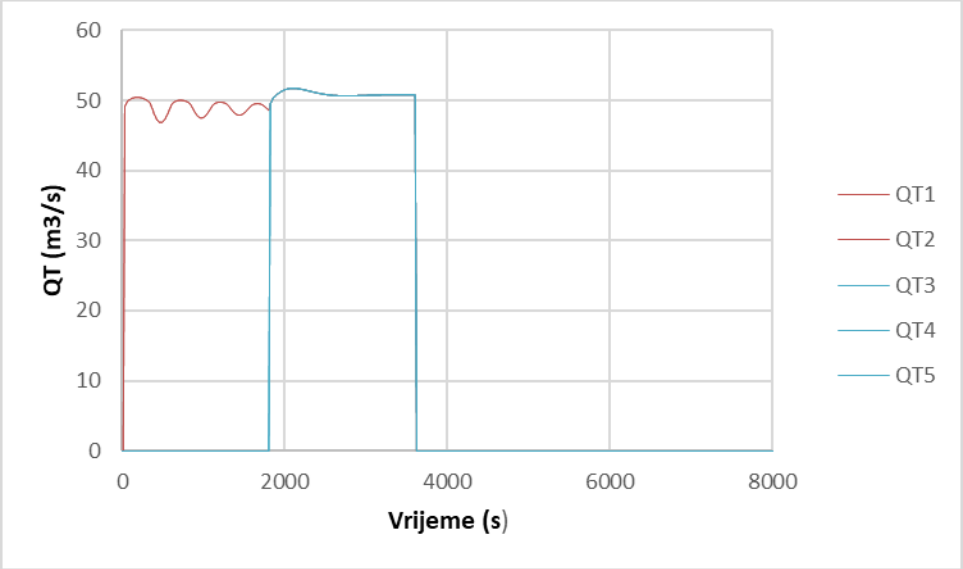
Slika 108 Protok Q3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 5.1



Slika 109 Protok Q4 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 5.1



Slika 110 Protoci u dovodnim tunelima 1, 2, 3 i 4 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 5.1



Slika 111 Protoci prema turbinama u ovisnosti o vremenu za Varijantu 5.1

Prikaz minimalnih vrijednosti vodostaja h (m n.m.) i protoka Q (m^3/s) pri minimalnom vodostaju u akumulaciji za Varijantu 5.1:

h1	h2	h3	Q1	Q2	Q3	Q4
315,27	315,12	316,51	-101,67	-112,23	-119,14	-122,68

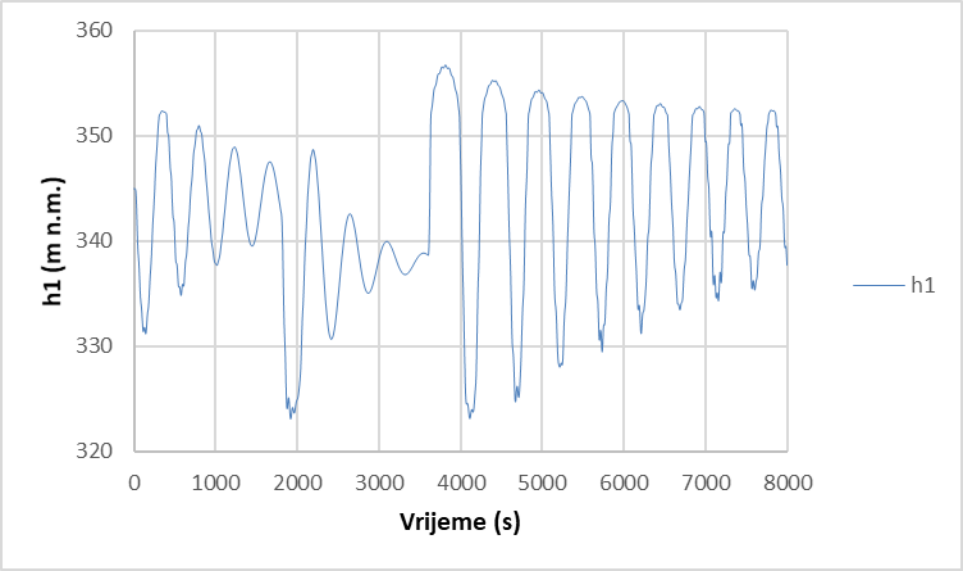
Najniža kota u komori 3 koja mora biti ostvarena kako bi sustav funkcionirao iznosi h= 316,40 (m n.m.), dok je najniža postignuta u ovoj varijanti h=316,51 (m n.m.) za 0,11 (m) veća od minimalne dozvoljene.

Prikaz maksimalnih vrijednosti vodostaja h (m n.m.) i protoka Q (m^3/s) pri minimalnom vodostaju u akumulaciji za Varijantu 5.1:

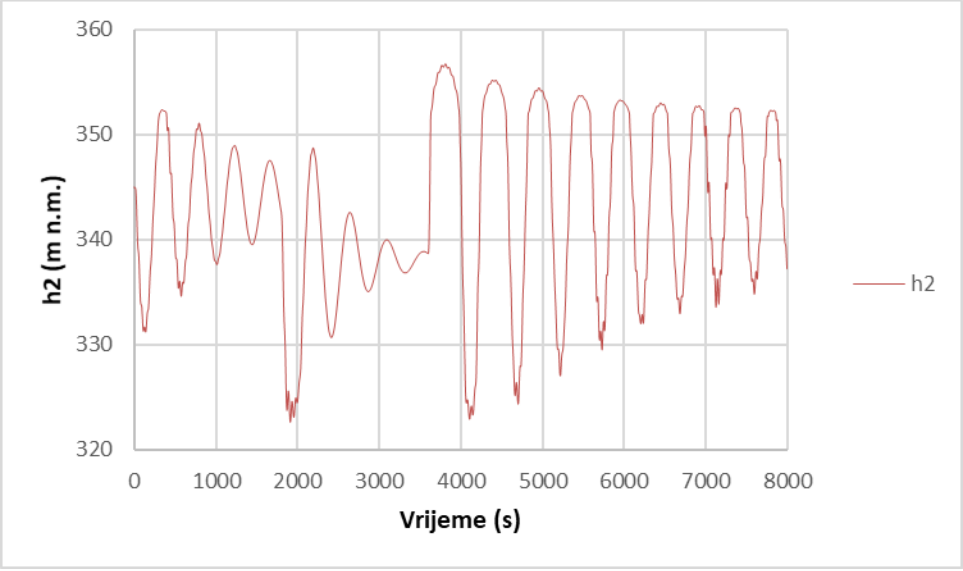
h1	h2	h3	Q1	Q2	Q3	Q4
353,75	353,72	355,70	129,57	157,61	128,56	156,52

4.5.2. VARIJANTA 5.2 – h_a = 345 (m n. m.)

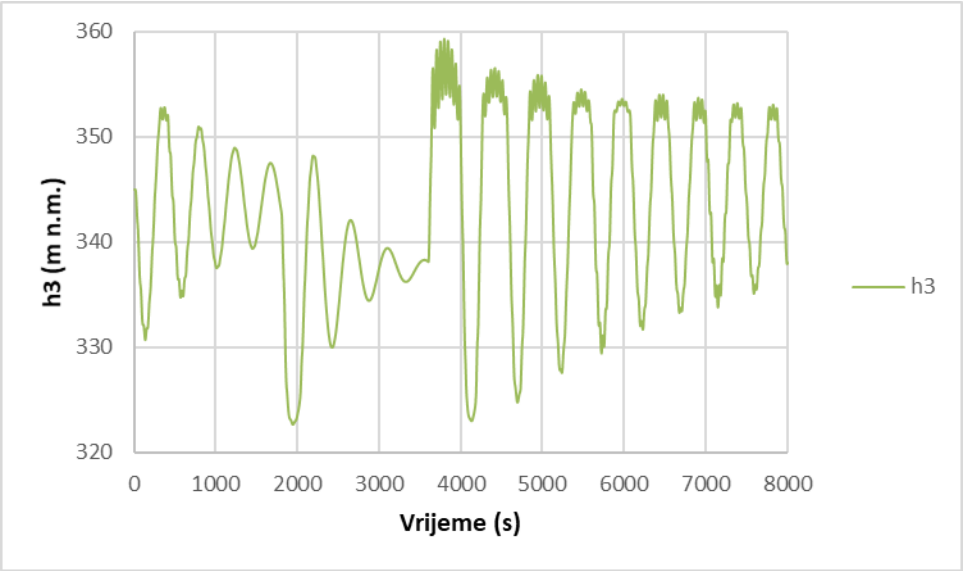
Vodostaj u akumulaciji je maksimalan i vrijednost mu je h_a=345 (m n.m.).



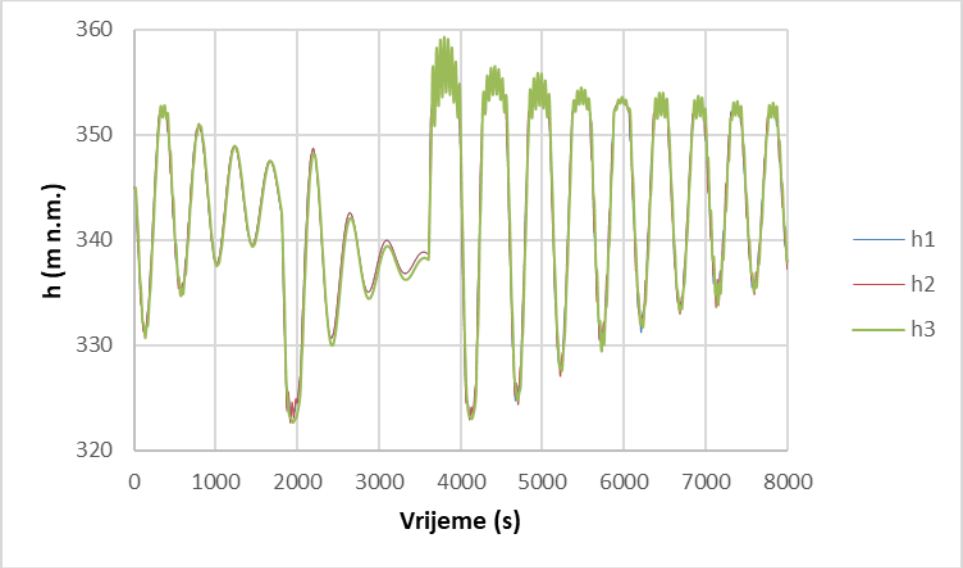
Slika 112 Vodostaj h1 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 5.2



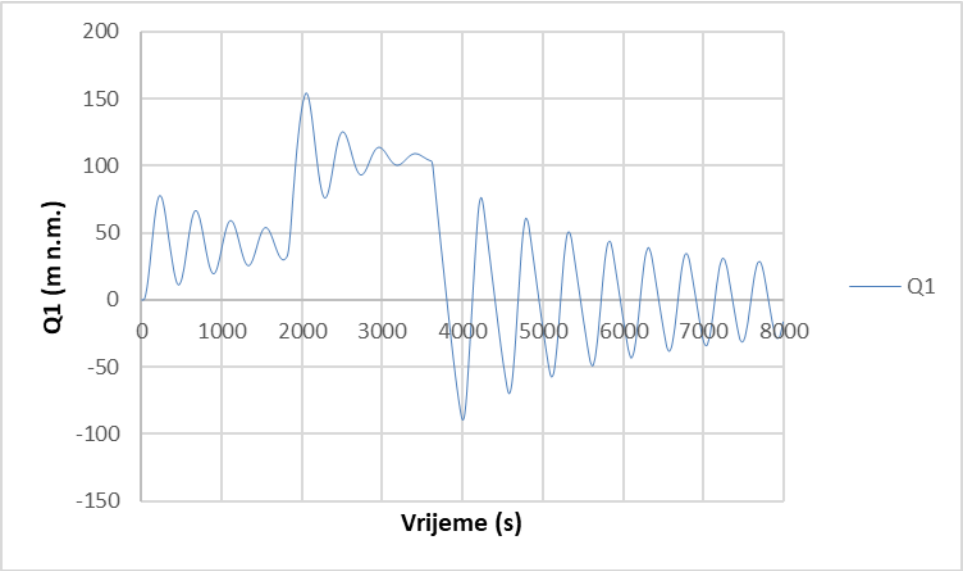
Slika 113 Vodostaj h2 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 5.2



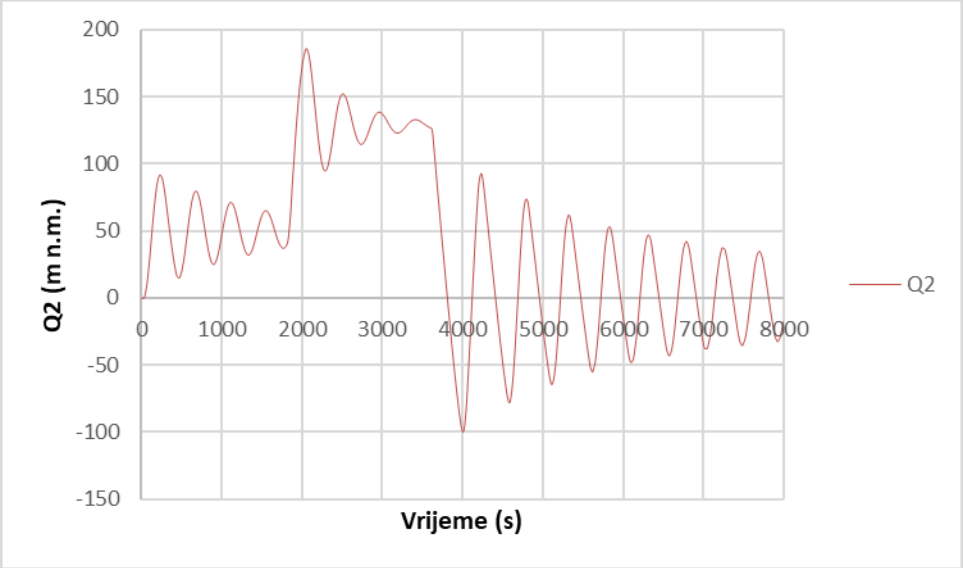
Slika 114 Vodostaj h3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 5.2



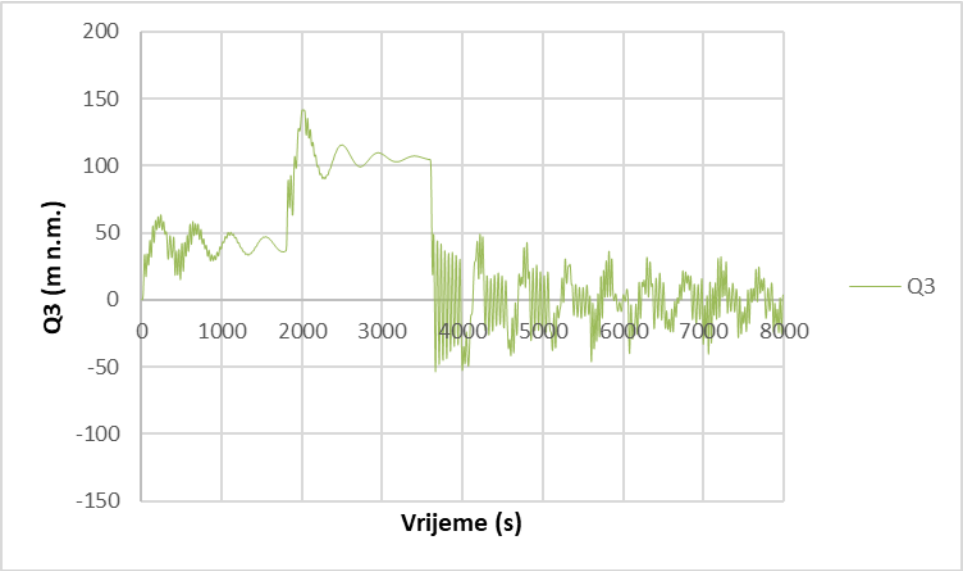
Slika 115 Vodostaji u vodnim komorama 1, 2 i 3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 5.2



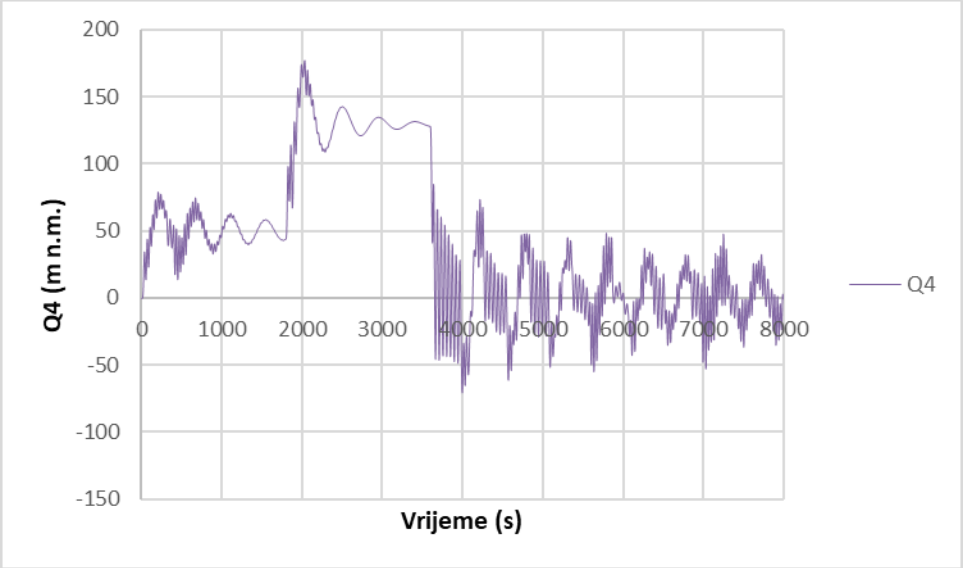
Slika 116 Protok Q1 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 5.2



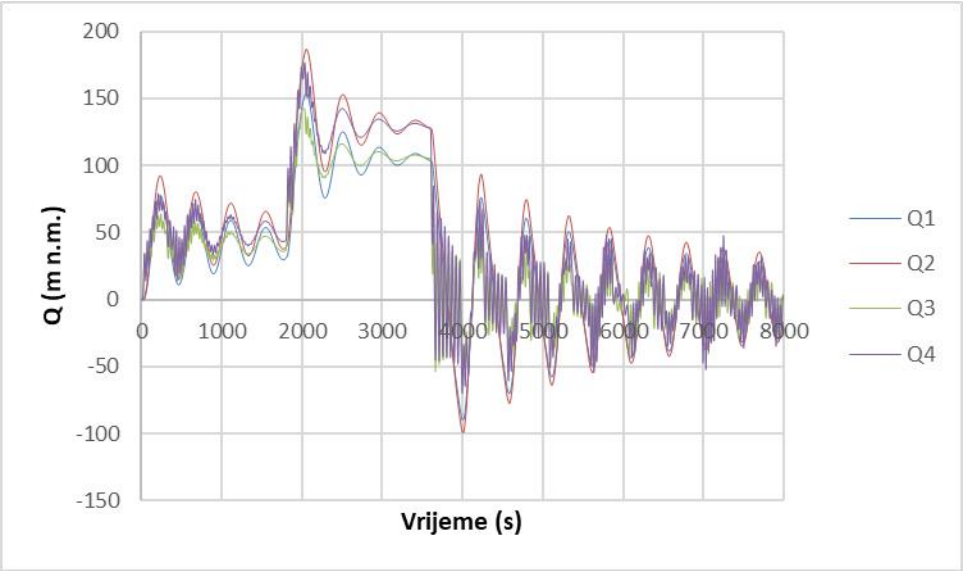
Slika 117 Protok Q2 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 5.2



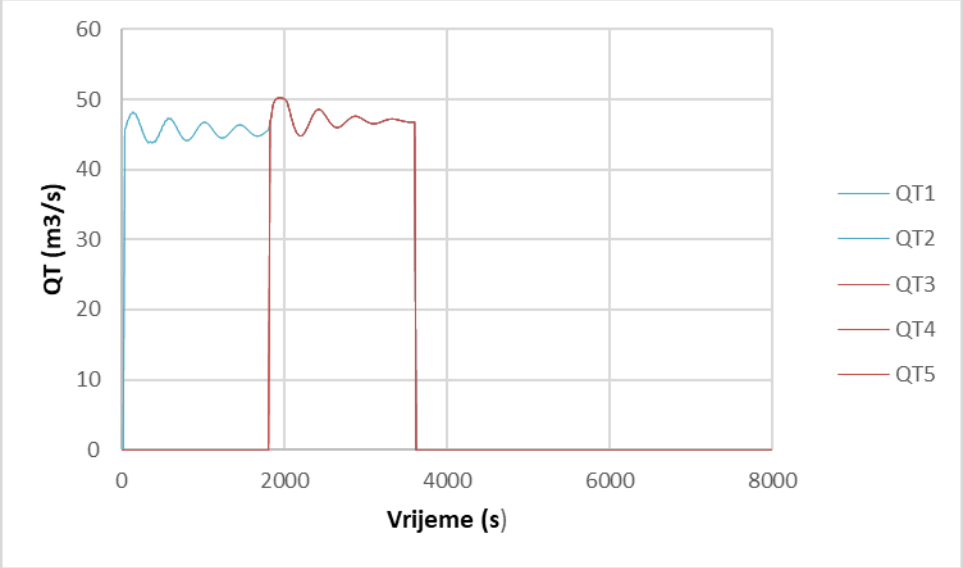
Slika 118 Protok Q3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 5.2



Slika 119 Protok Q4 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 5.2



Slika 120 Protoci u dovodnim tunelima 1, 2, 3 i 4 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 5.2



Slika 121 Protoci prema turbinama u ovisnosti o vremenu za Varijantu 5.2

Prikaz minimalnih vrijednosti vodostaja h (m n.m.) i protoka Q (m^3/s) pri maksimalnom vodostaju u akumulaciji za Varijantu 5.2:

h1	h2	h3	Q1	Q2	Q3	Q4
323,08	322,65	322,66	-89,77	-99,72	-54,00	-70,34

Najniža kota u komori 3 koja mora biti ostvarena kako bi sustav funkcionirao iznosi h= 316,40 (m n.m.), dok je najniža postignuta u ovoj varijanti h=322,66 (m n.m.) za 6,26 (m) veća od minimalne dozvoljene.

Prikaz maksimalnih vrijednosti vodostaja h (m n.m.) i protoka Q (m^3/s) pri maksimalnom vodostaju u akumulaciji za Varijantu 5.2:

h1	h2	h3	Q1	Q2	Q3	Q4
356,77	356,75	359,32	154,53	186,26	142,19	177,06

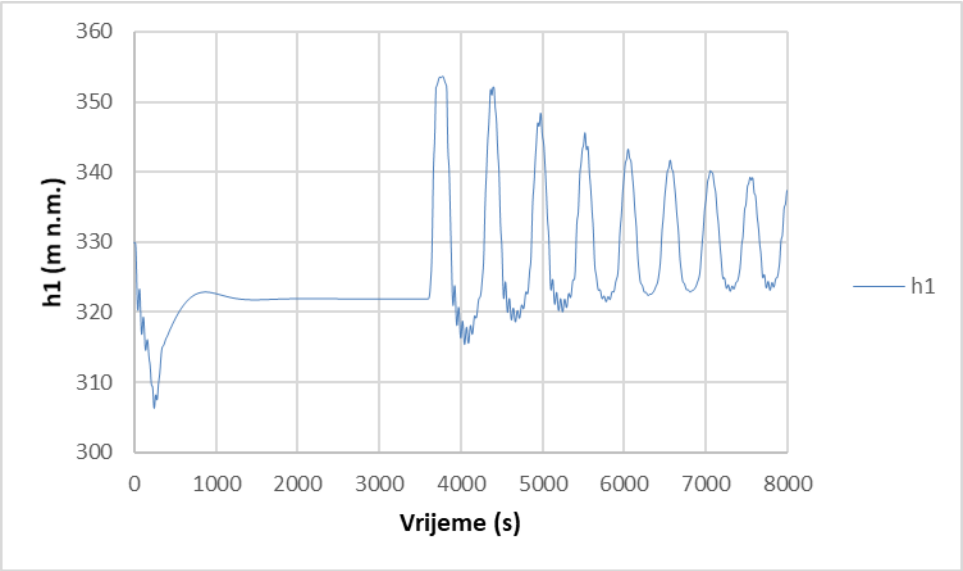
4.6. VARIJANTA 6

Vodna komora ima duljinu proširenja L=110,0 (m) i D = 10,0 (m). Produbljenje iznosi 4 (m).

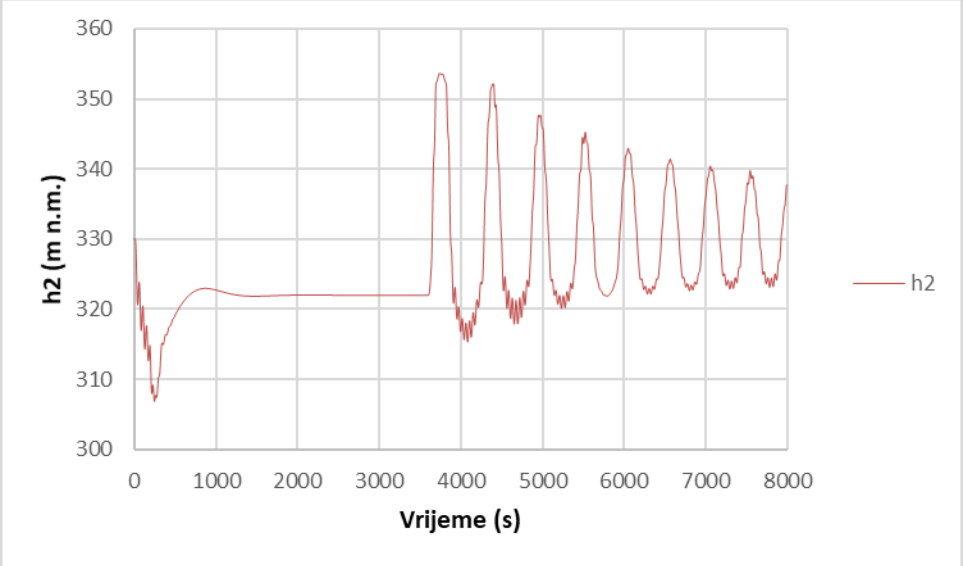
Sve turbine se uključuju u desetoj sekundi (od 10. do 30. sekunde) i isključuju se nakon sat vremena.

4.6.1. VARIJANTA 6.1 – h_a = 330 (m n. m.)

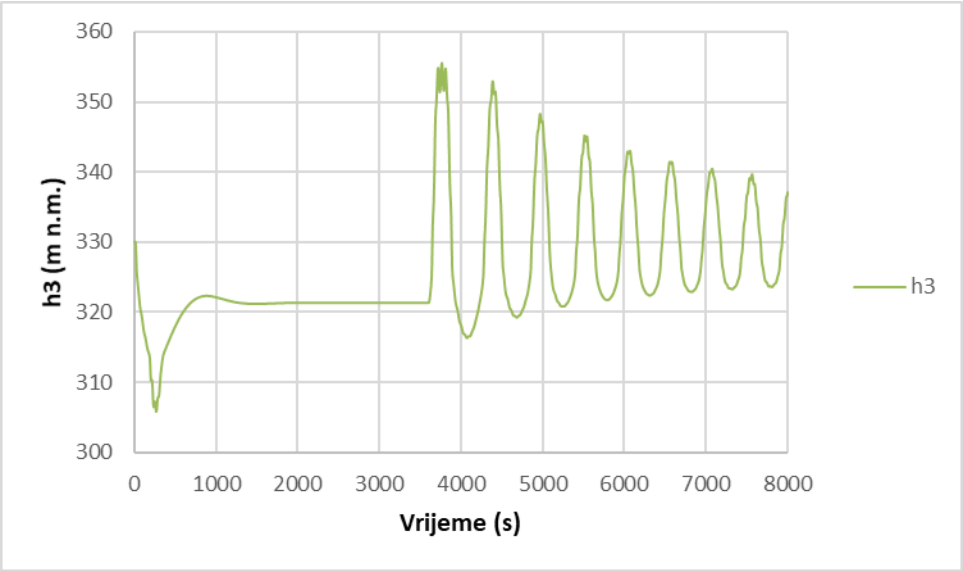
Vodostaj u akumulaciji je minimalan i vrijednost mu je h_a = 330 (m n.m.).



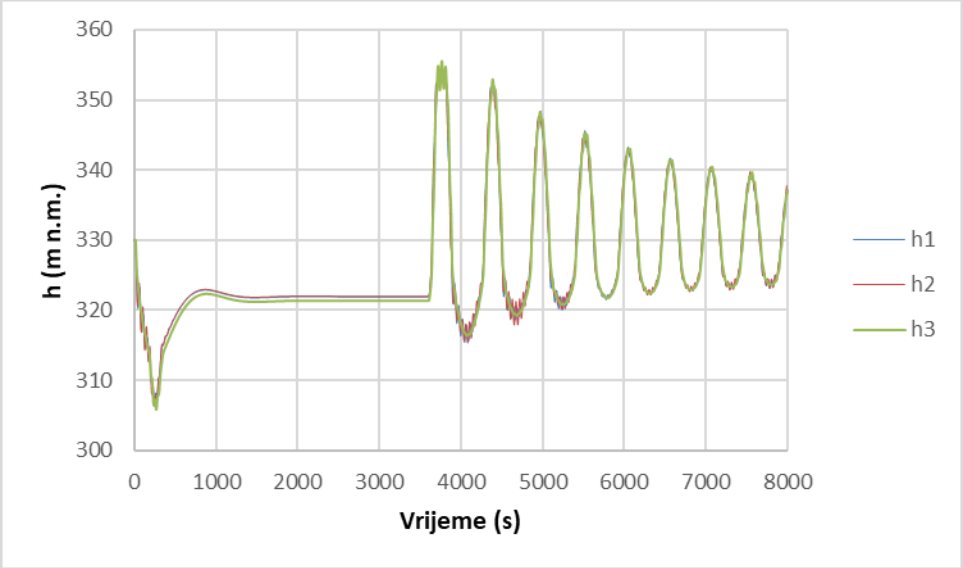
Slika 122 Vodostaj h1 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 6.1



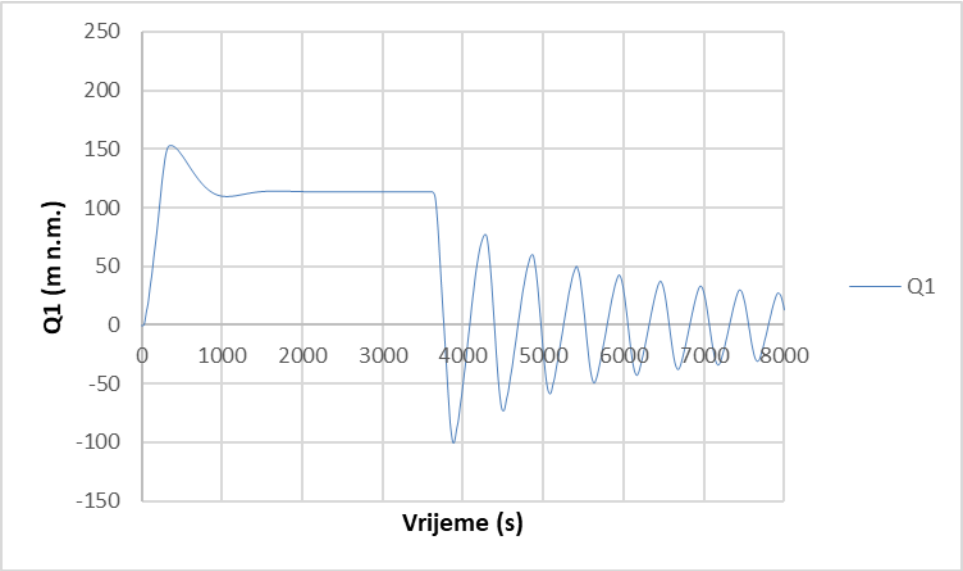
Slika 123 Vodostaj h2 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 6.1



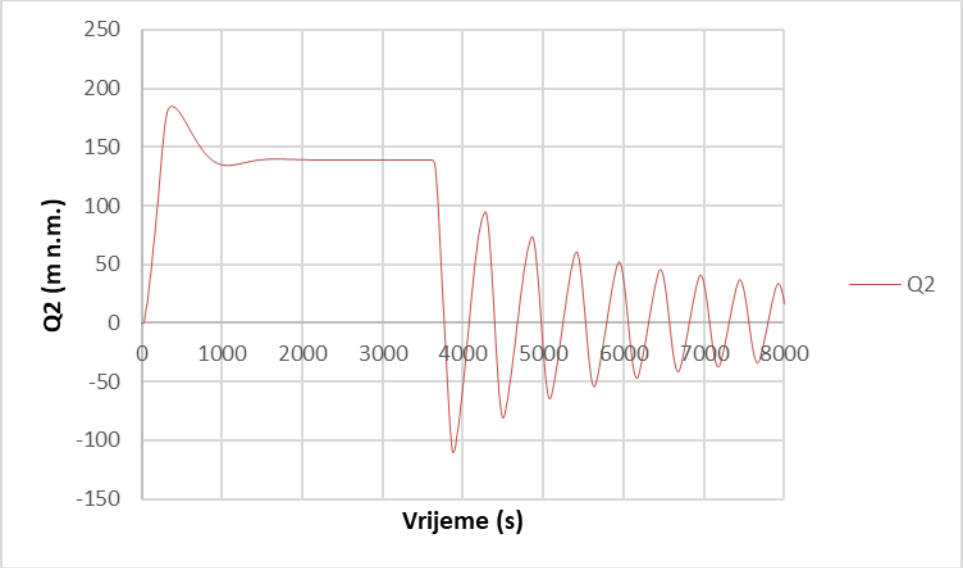
Slika 124 Vodostaj h3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 6.1



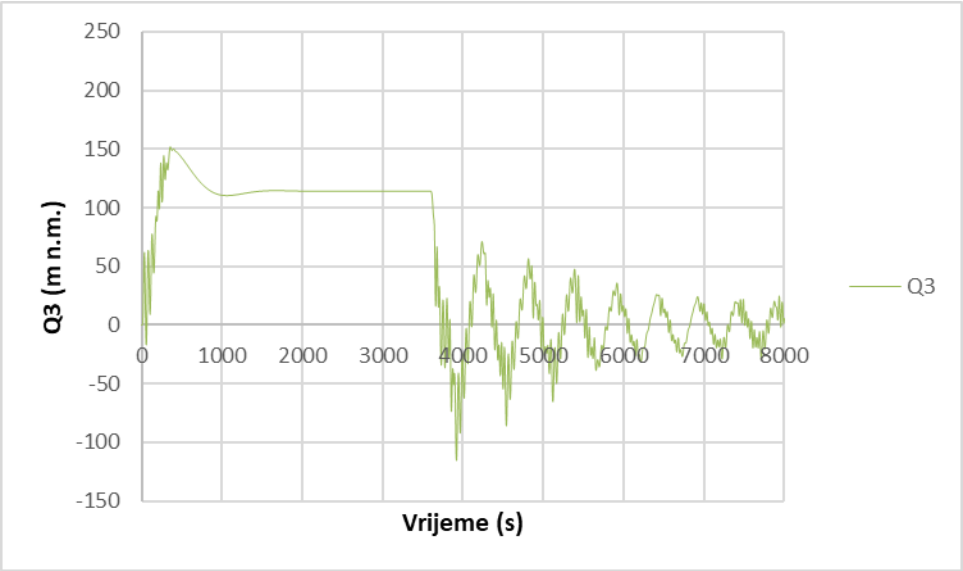
Slika 125 Vodostaji u vodnim komorama 1, 2 i 3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 6.1



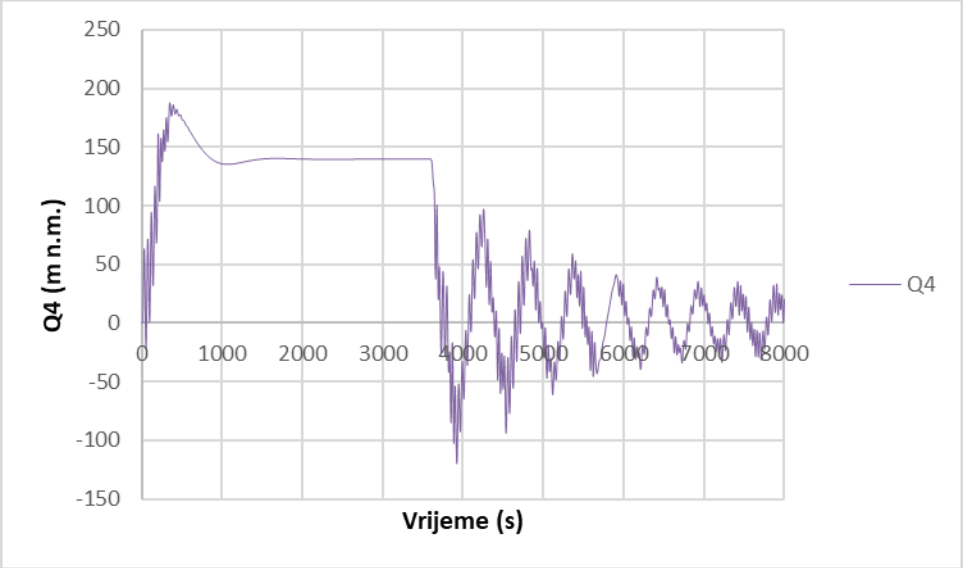
Slika 126 Protok Q1 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 6.1



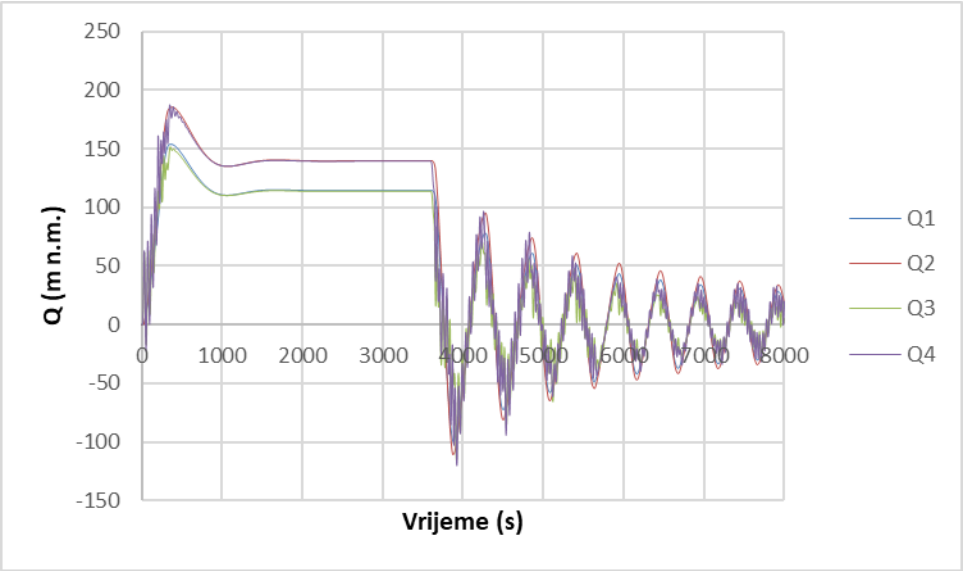
Slika 127 Protok Q2 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 6.1



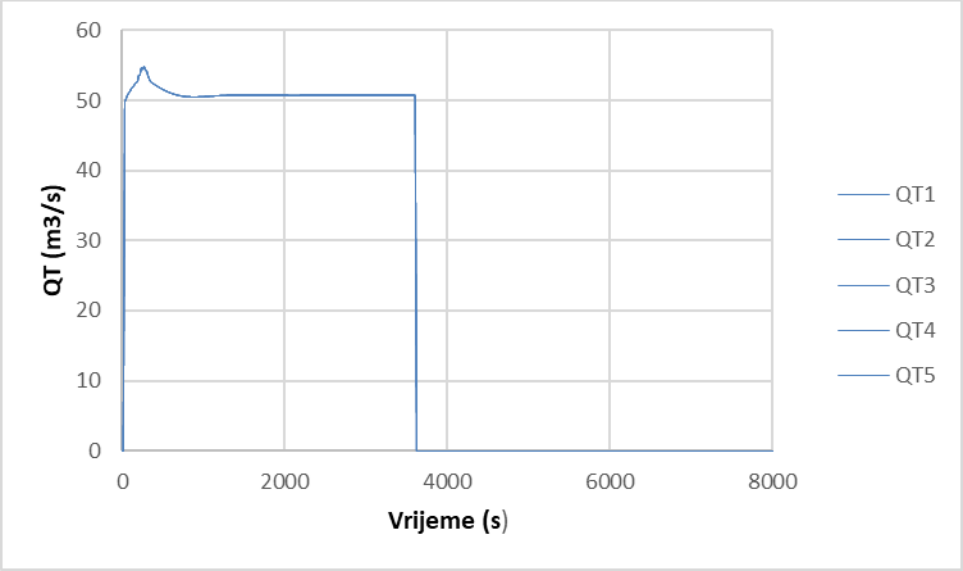
Slika 128 Protok Q3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 6.1



Slika 129 Protok Q4 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 6.1



Slika 130 Protoci u dovodnim tunelima 1, 2, 3 i 4 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 6.1



Slika 131 Protoci prema turbinama u ovisnosti o vremenu za Varijantu 6.1

Prikaz minimalnih vrijednosti vodostaja h (m n.m.) i protoka Q (m^3/s) pri minimalnom vodostaju u akumulaciji za Varijantu 6.1:

h1	h2	h3	Q1	Q2	Q3	Q4
306,35	306,85	305,73	-100,29	-110,53	-115,47	-119,63

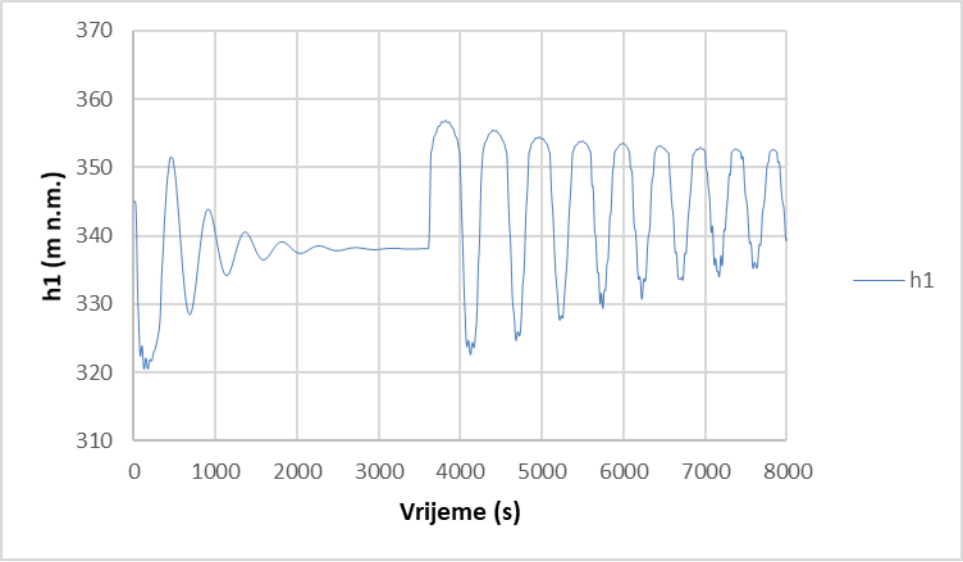
Najniža kota u komori 3 koja mora biti ostvarena kako bi sustav funkcionirao iznosi h= 315,40 (m n.m.), dok je najniža postignuta u ovoj varijanti h=305,73 (m n.m.) za 9,67 (m) manja od minimalne dozvoljene.

Prikaz maksimalnih vrijednosti vodostaja h (m n.m.) i protoka Q (m^3/s) pri minimalnom vodostaju u akumulaciji za Varijantu 6.1:

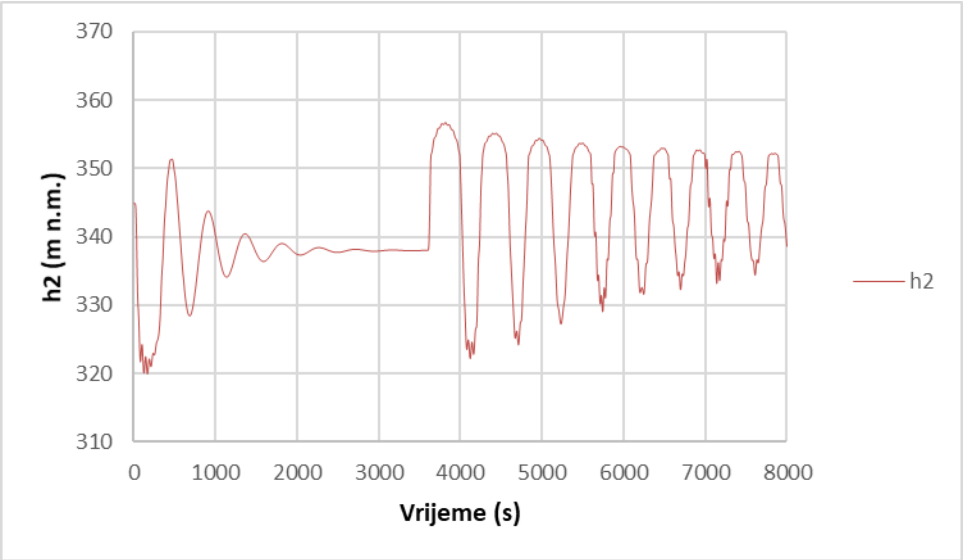
h1	h2	h3	Q1	Q2	Q3	Q4
353,67	353,64	355,57	153,53	185,18	151,83	187,46

4.6.2. VARIJANTA 6.2 – h_a = 345 (m n. m.)

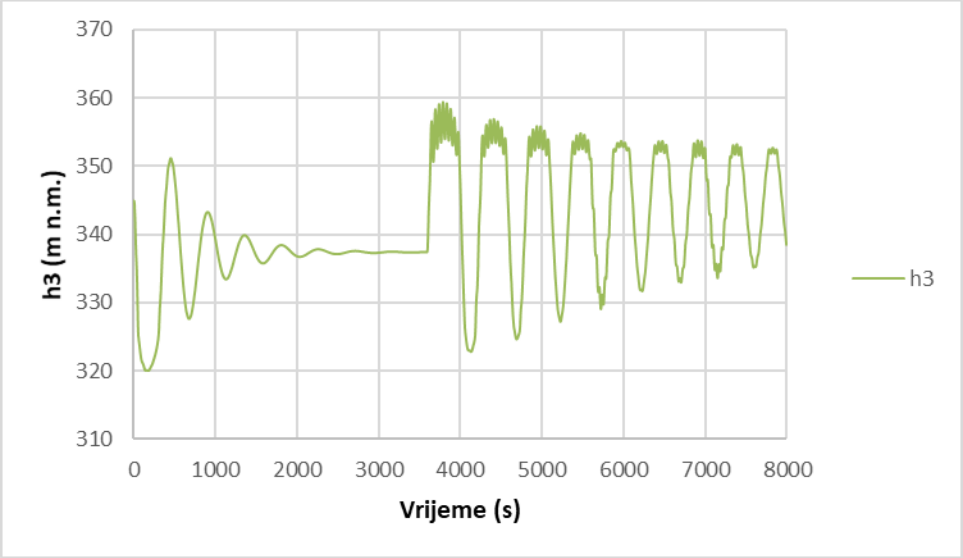
Vodostaj u akumulaciji je maksimalan i vrijednost mu je h_a = 345 (m n.m.).



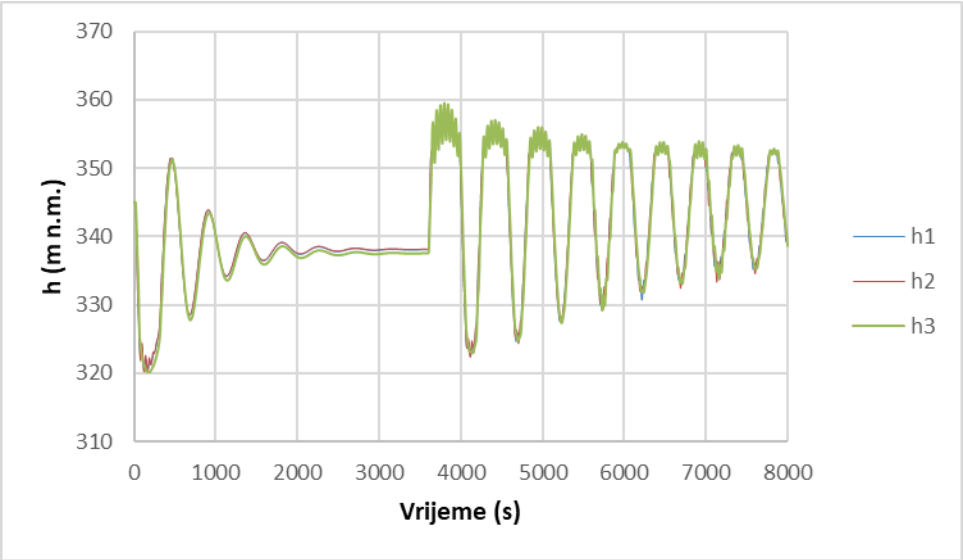
Slika 132 Vodostaj h1 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 6.2



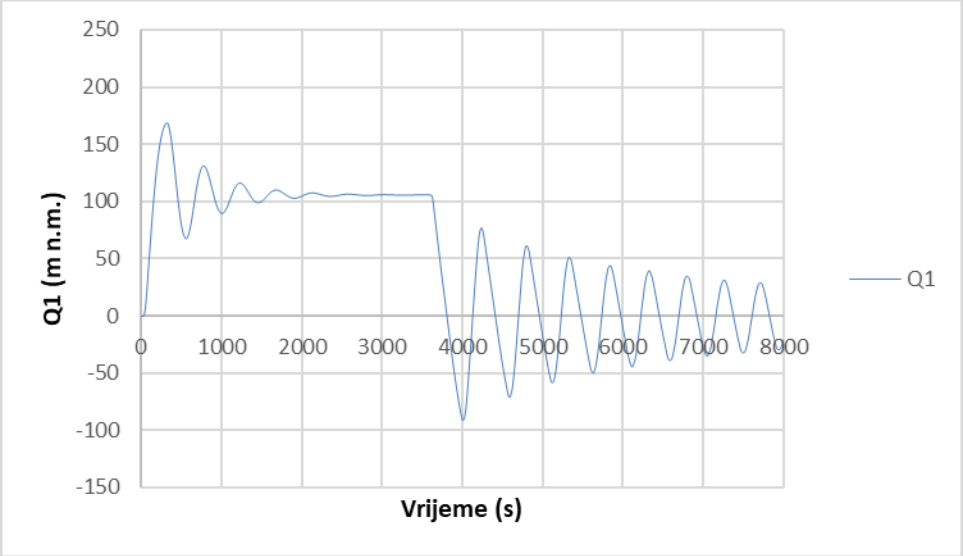
Slika 133 Vodostaj h2 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 6.2



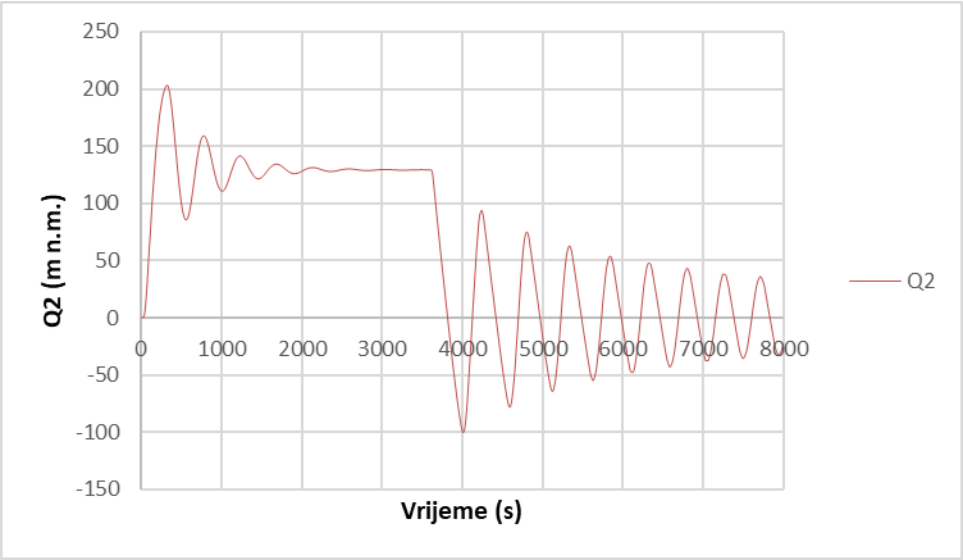
Slika 134 Vodostaj h3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 6.2



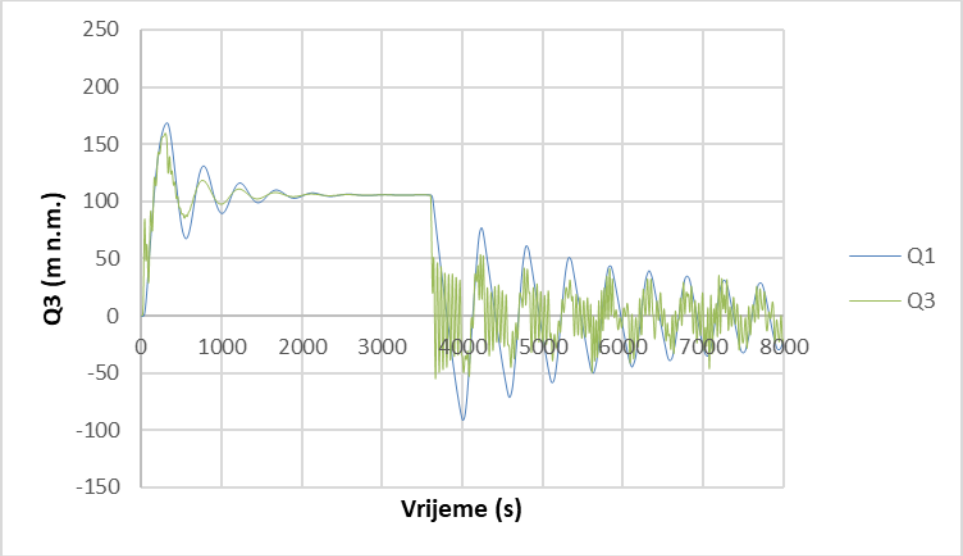
Slika 135 Vodostaji u vodnim kjomorama 1, 2 i 3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 6.2



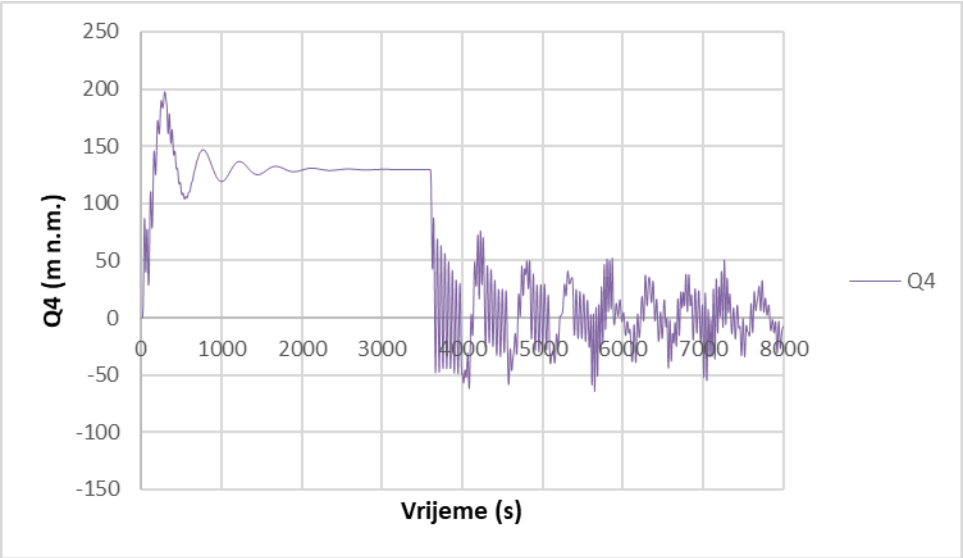
Slika 136 Protok Q1 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 6.2



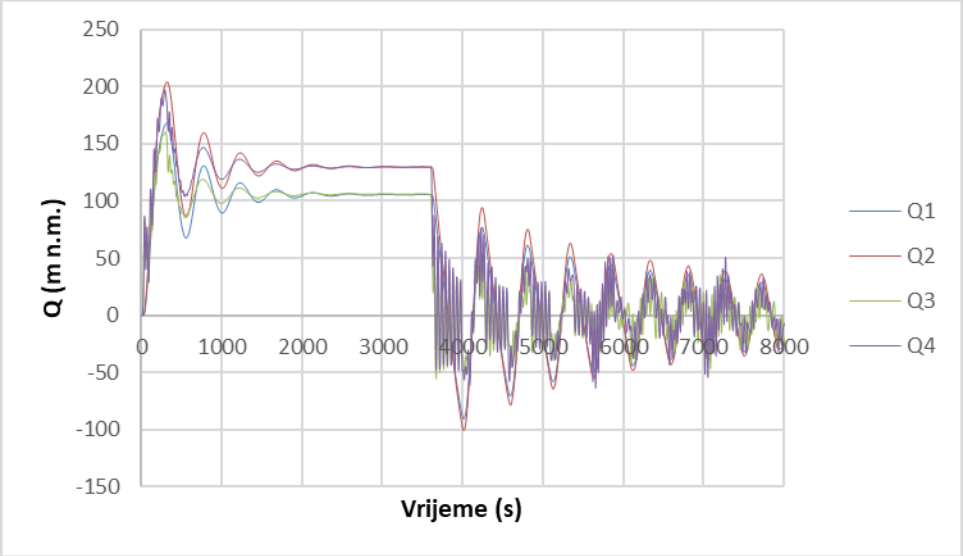
Slika 137 Protok Q2 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 6.2



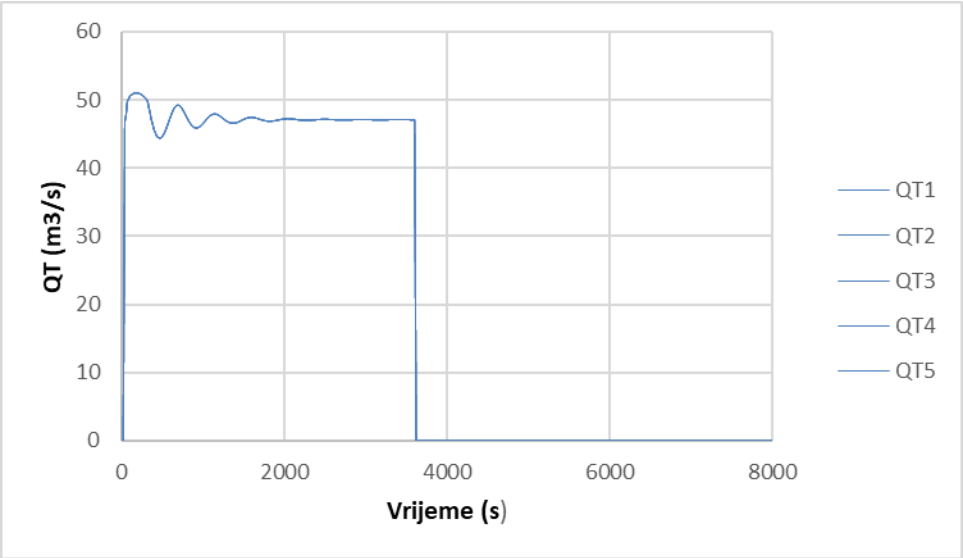
Slika 138 Protoci Q1 i Q3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 6.2



Slika 139 Protok Q4 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 6.2



Slika 140 Protoci u dovodnim tunelima 1, 2, 3 i 4 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 6.2



Slika 141 protoci prema turbinama u ovisnosti o vremenu za Varijantu 6.2

Prikaz minimalnih vrijednosti vodostaja h (m n.m.) i protoka Q (m^3/s) pri maksimalnom vodostaju u akumulaciji za Varijantu 6.2:

h1	h2	h3	Q1	Q2	Q3	Q4
320,48	320,04	320,13	-90,86	-100,91	-55,55	-64,33

Najniža kota u komori 3 koja mora biti ostvarena kako bi sustav funkcionirao iznosi h= 315,40 (m n.m.), dok je najniža postignuta u ovoj varijanti h=320,13 (m n.m.) za 4,73 (m) veća od minimalne dozvoljene.

Prikaz maksimalnih vrijednosti vodostaja h (m n.m.) i protoka Q (m^3/s) pri maksimalnom vodostaju u akumulaciji za Varijantu 6.2:

h1	h2	h3	Q1	Q2	Q3	Q4
356,85	356,83	359,48	168,76	203,64	160,08	197,33

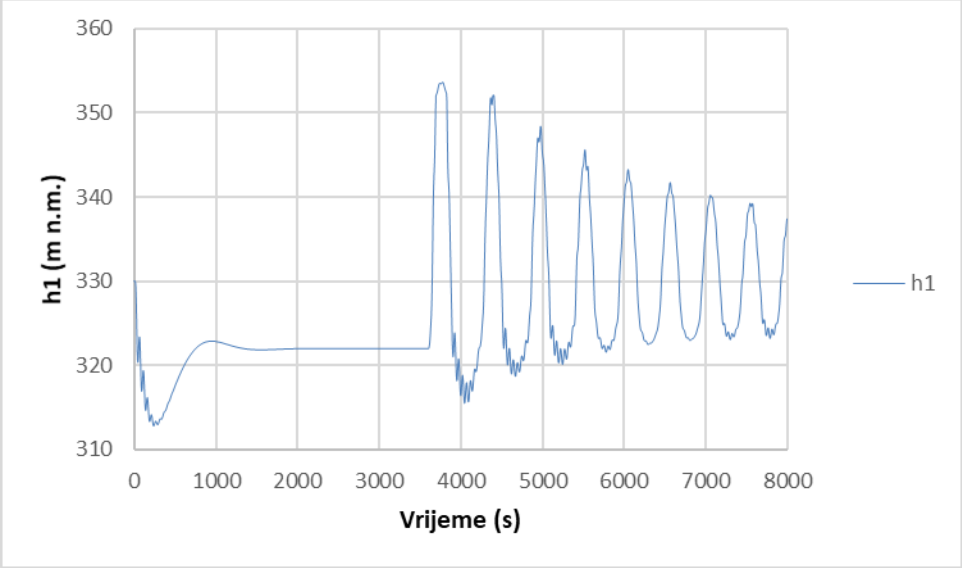
4.7. VARIJANTA 7

Vodna komora ima duljinu proširenja L=110,0 (m) i D = 10,0 (m). Produbljenje iznosi 7 (m).

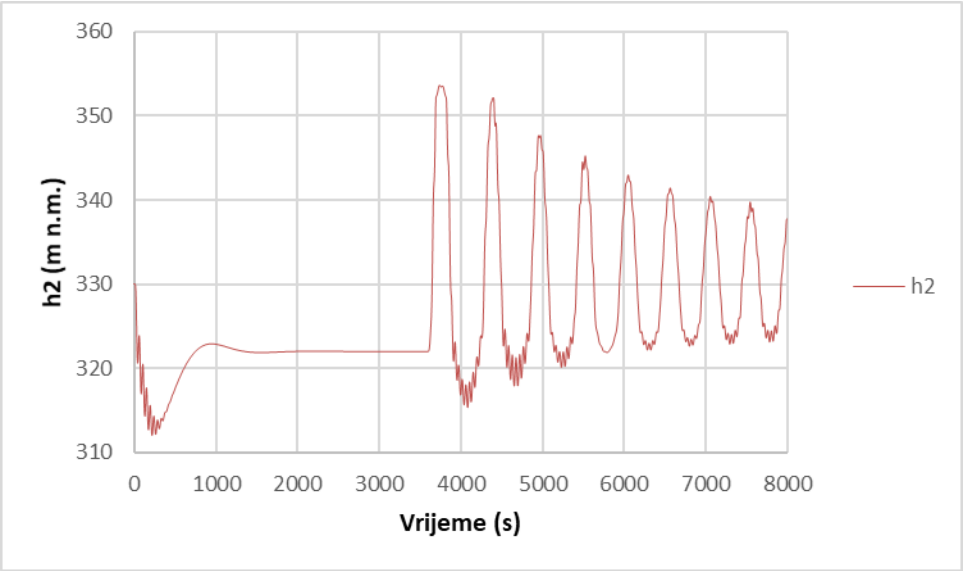
Sve turbine se uključuju u desetoj sekundi (od 10. do 30. sekunde) i isključuju se nakon sat vremena.

4.7.1. VARIJANTA 7.1 – h_a = 330 (m n. m.)

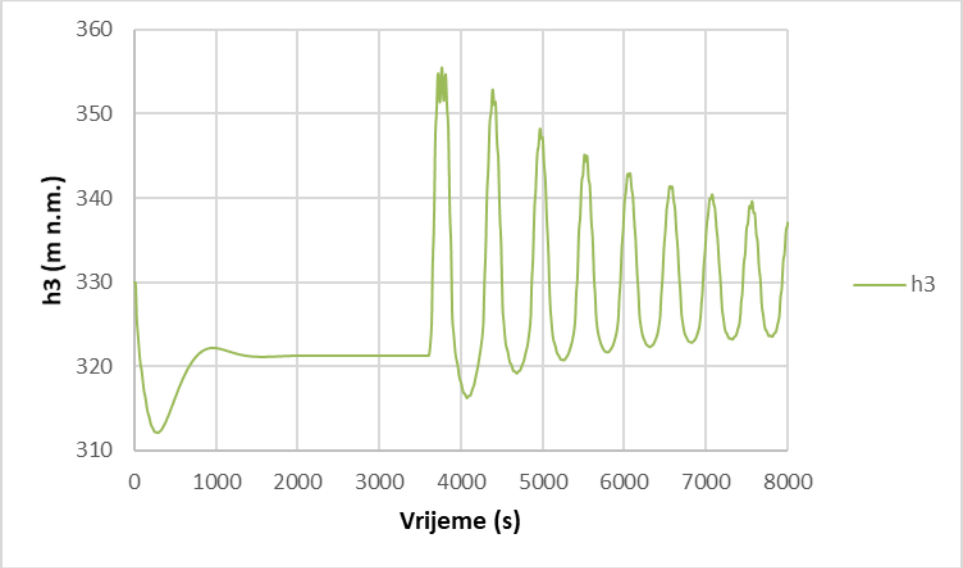
Vodostaj u akumulaciji je minimalan i vrijednost mu je h_a = 330 (m n.m.).



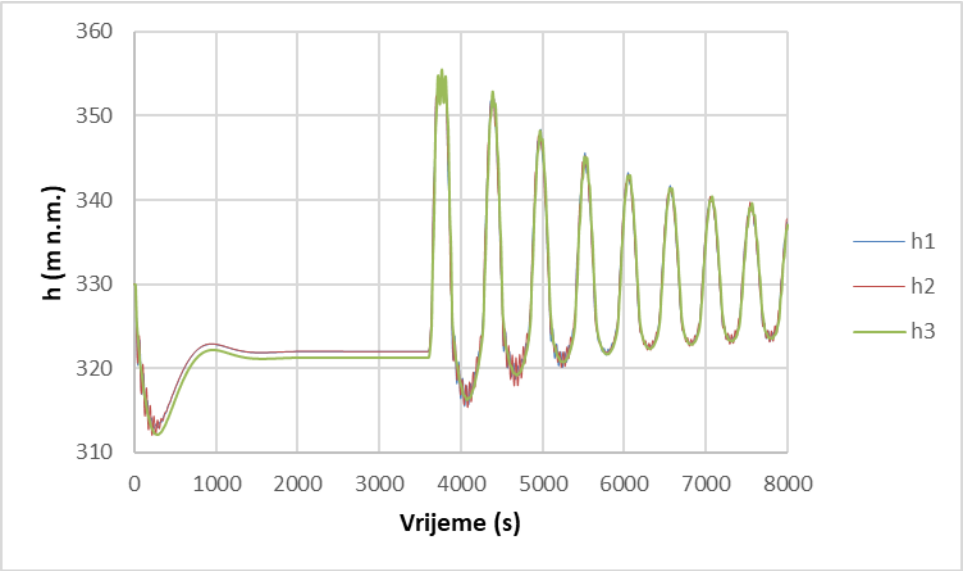
Slika 142 Vodostaj h1 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 7.1



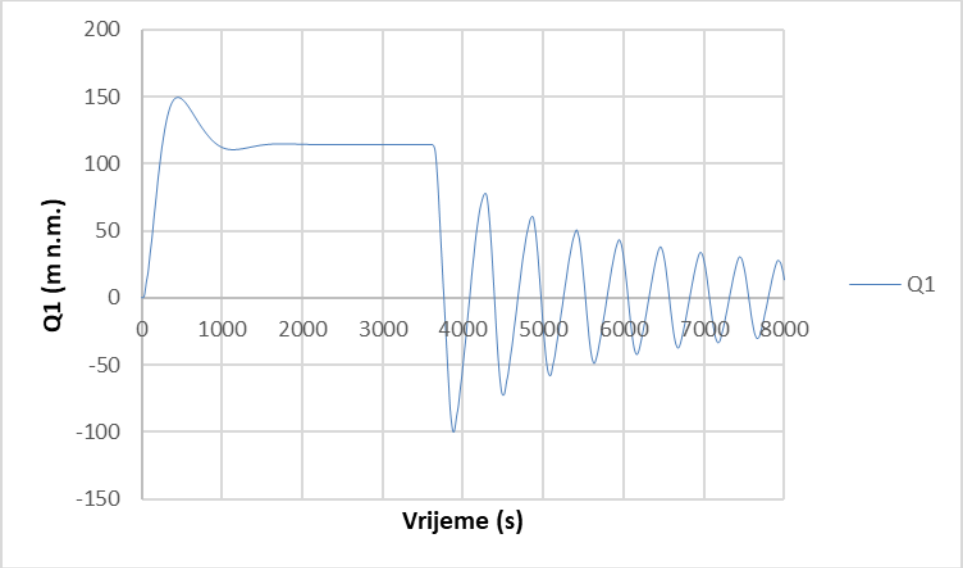
Slika 143 Vodostaj h2 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 7.1



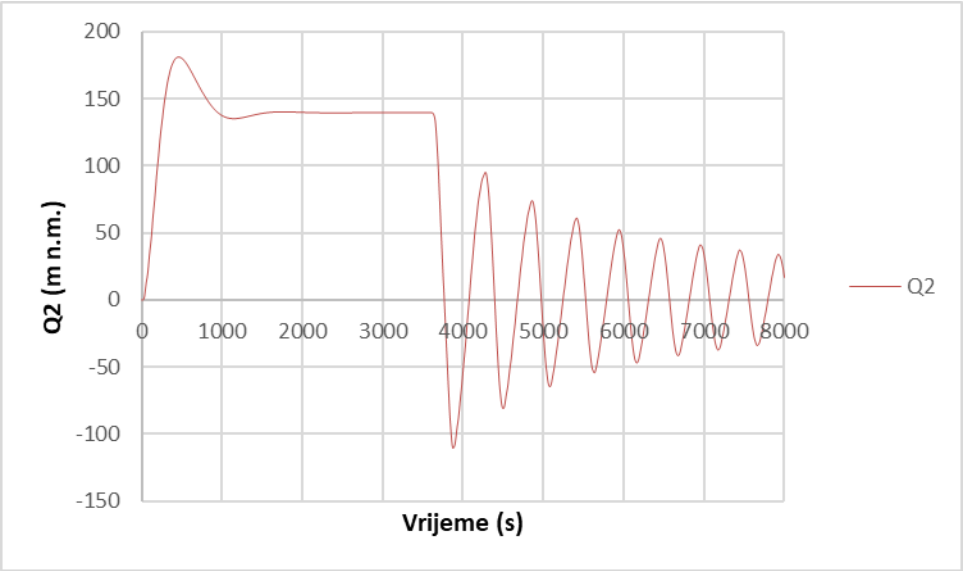
Slika 144 Vodostaj h3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 7.1



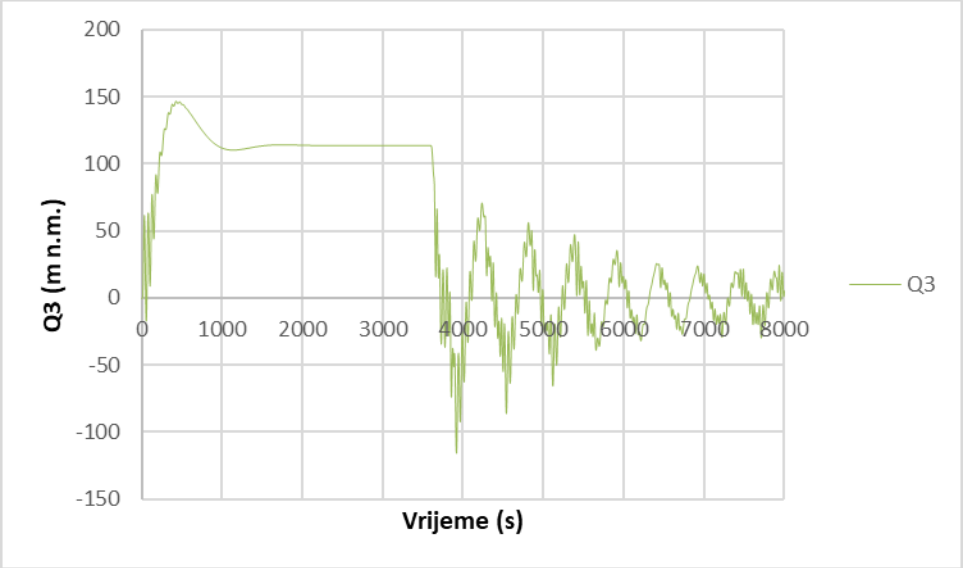
Slika 145 Vodostaji u vodnim komorama 1, 2 i 3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 7.1



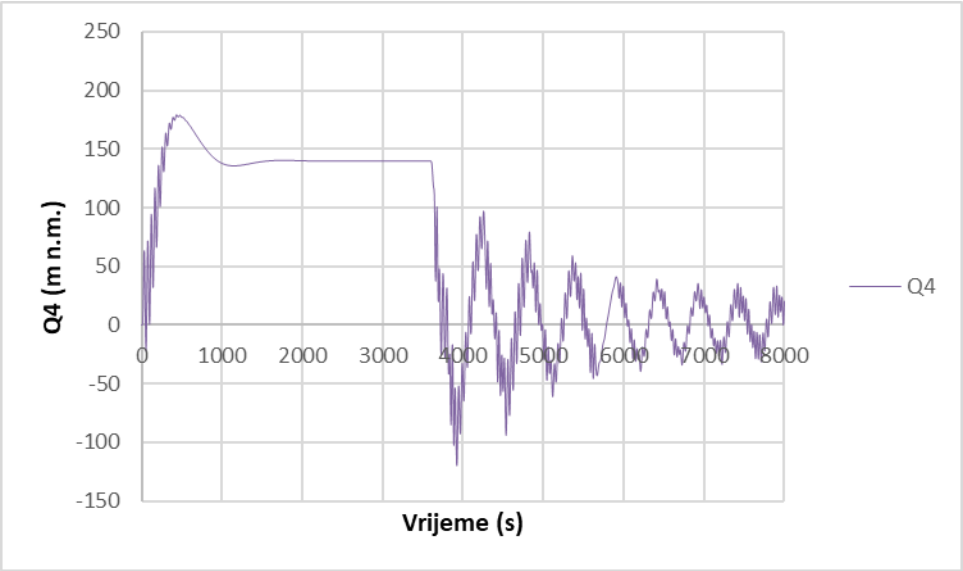
Slika 146 Protok Q1 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 7.1



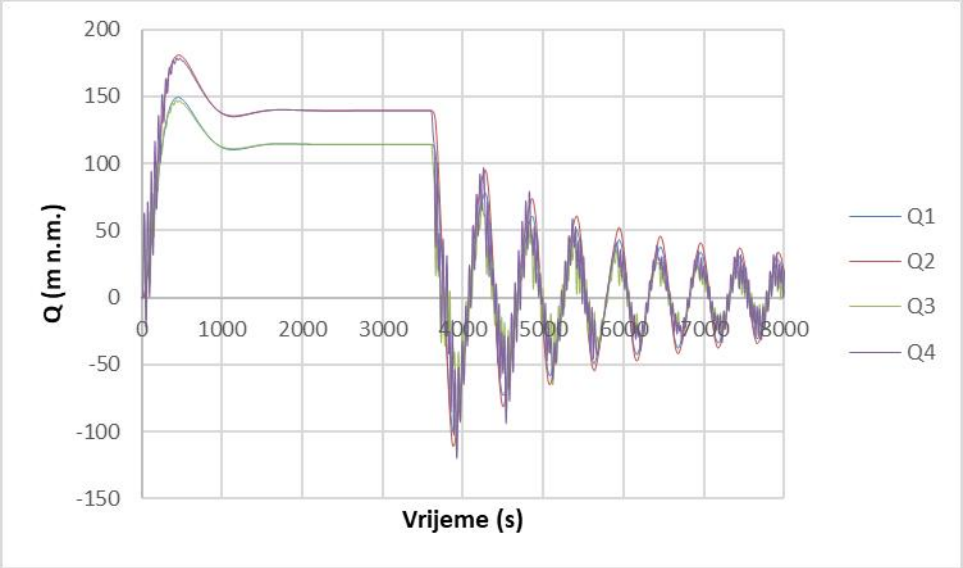
Slika 147 Protok Q2 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 7.1



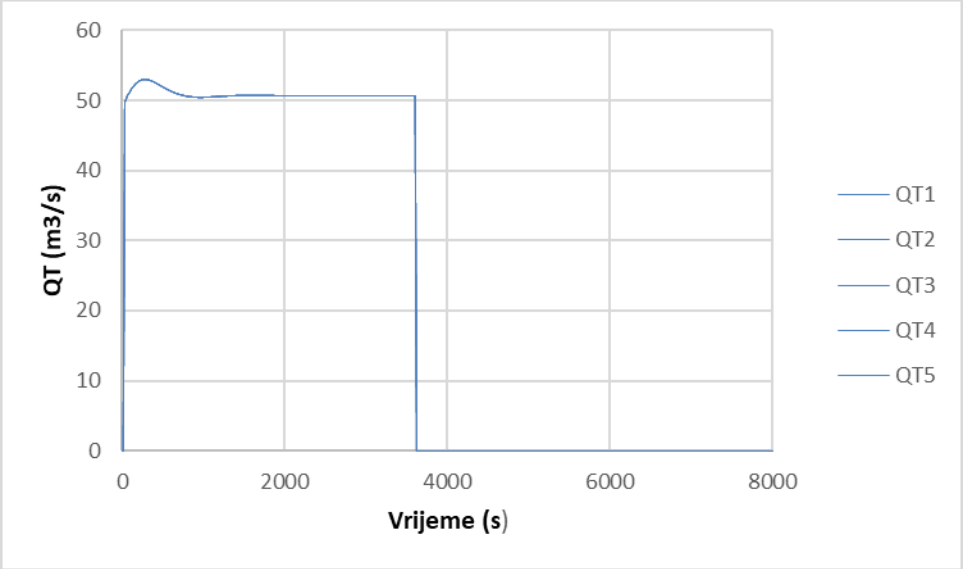
Slika 148 Protok Q3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 7.1



Slika 149 Protok Q4 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 7.1



Slika 150 Protoci u dovodnim tunelima 1, 2, 3 i 4 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 7.1



Slika 151 Protoci prema turbinama u ovisnosti o vremenu za Varijantu 7.1

Prikaz minimalnih vrijednosti vodostaja h (m n.m.) i protoka Q (m^3/s) pri minimalnom vodostaju u akumulaciji za Varijantu 7.1:

h1	h2	h3	Q1	Q2	Q3	Q4
312,77	312,02	312,48	-100,28	-110,52	-115,51	-119,58

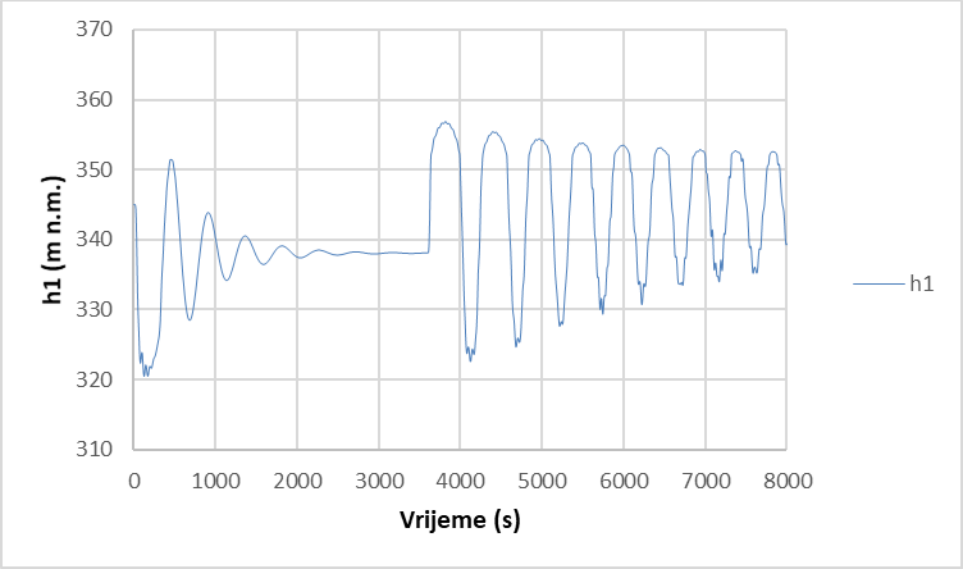
Najniža kota u komori 3 koja mora biti ostvarena kako bi sustav funkcionirao iznosi h= 312,40 (m n.m.), dok je najniža postignuta u ovoj varijanti h=312,48 (m n.m.) za 0,08 (m) veća od minimalne dozvoljene.

Prikaz maksimalnih vrijednosti vodostaja h (m n.m.) i protoka Q (m^3/s) pri minimalnom vodostaju u akumulaciji za Varijantu 7.1:

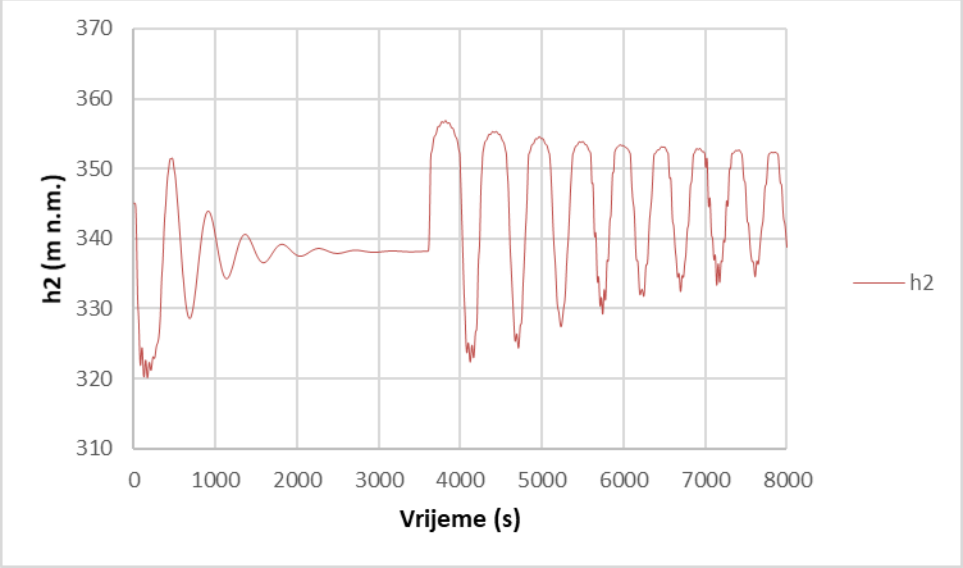
h1	h2	h3	Q1	Q2	Q3	Q4
353,66	353,63	355,56	149,31	180,97	147,13	178,83

4.7.2. VARIJANTA 7.2 – h_a = 345 (m n. m.)

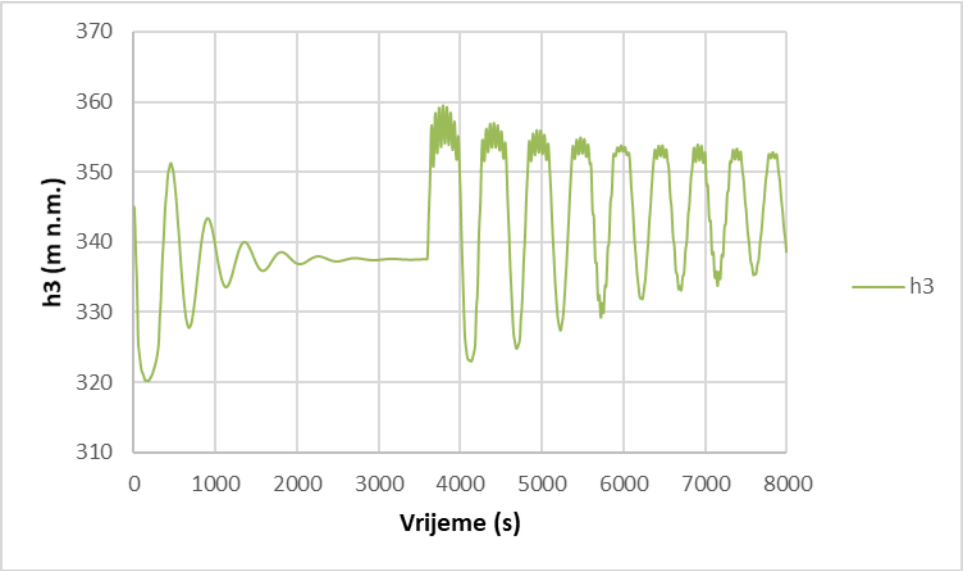
Vodostaj u akumulaciji je maksimalan i vrijednost mu je h_a = 345 (m n.m.).



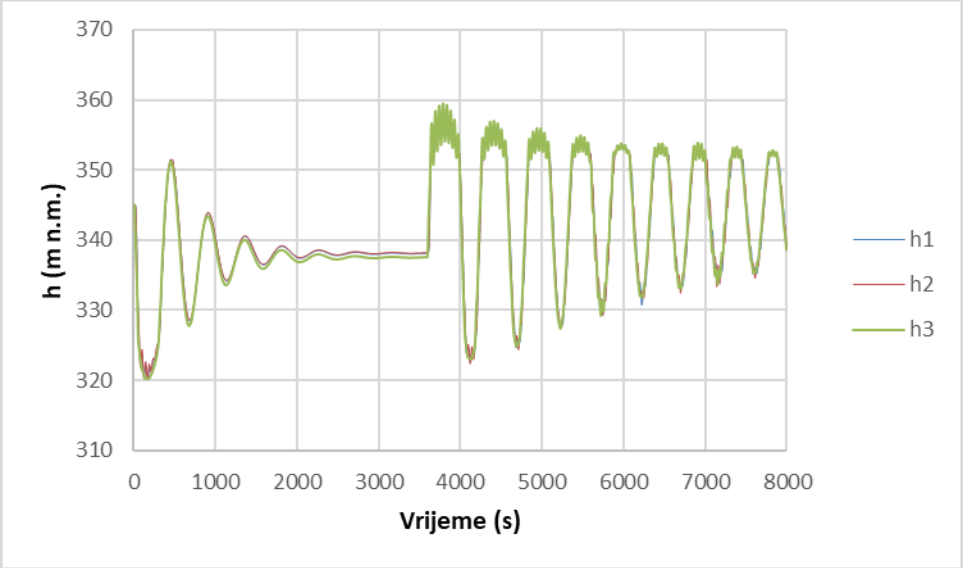
Slika 152 Vodostaj h1 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 7.2



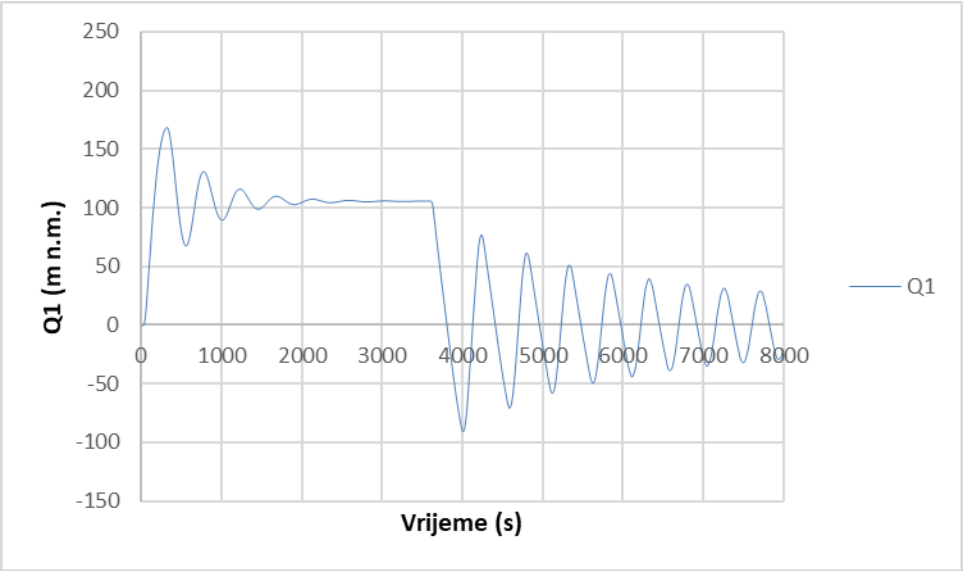
Slika 153 Vodostaj h2 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 7.2



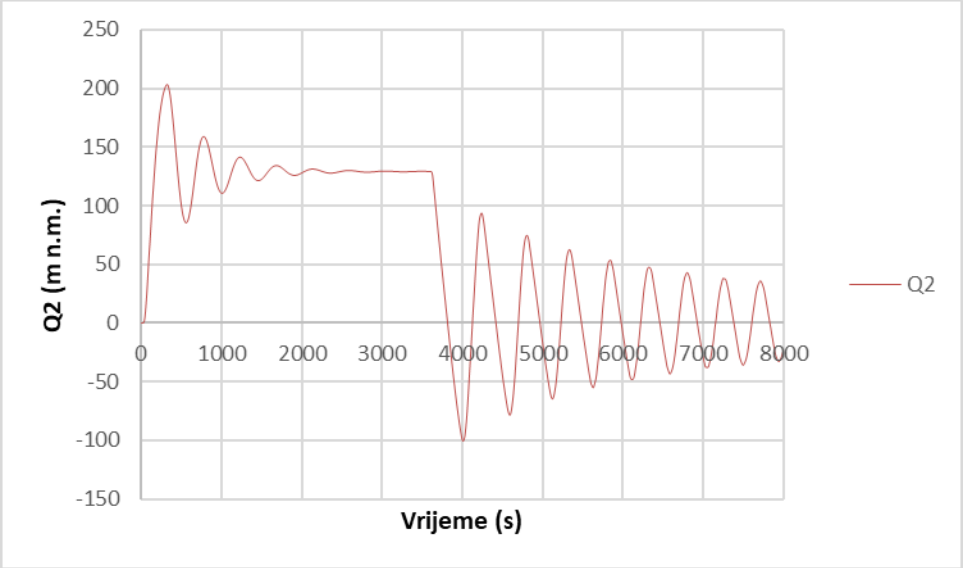
Slika 154 Vodostaj h3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 7.2



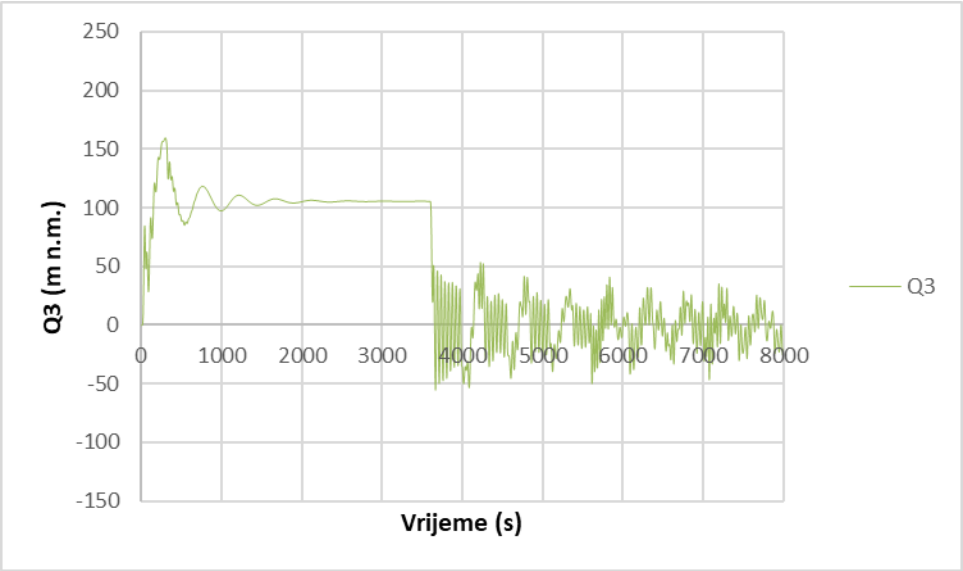
Slika 155 Vodostaji u vodnim komorama 1, 2 i 3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 7.2



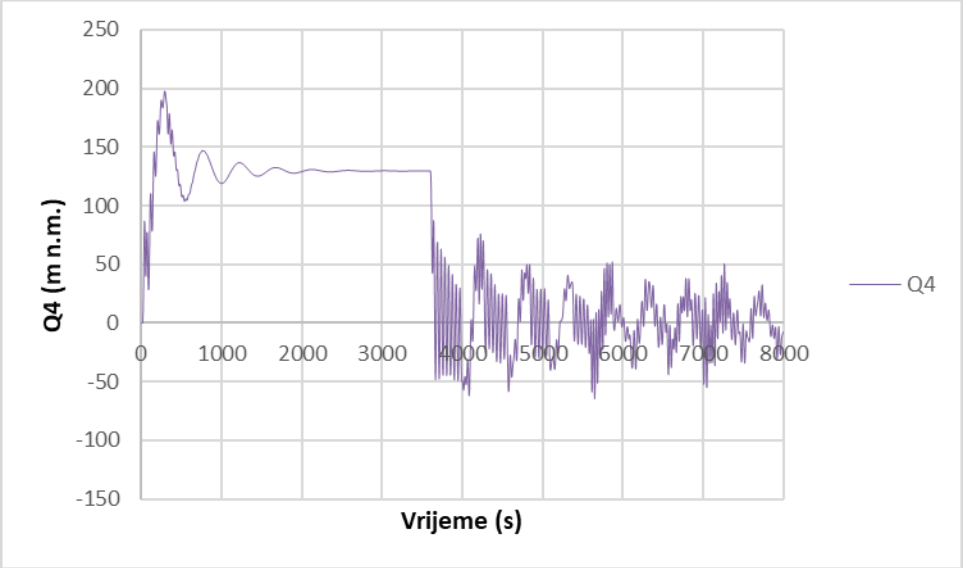
Slika 156 Protok Q1 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 7.2



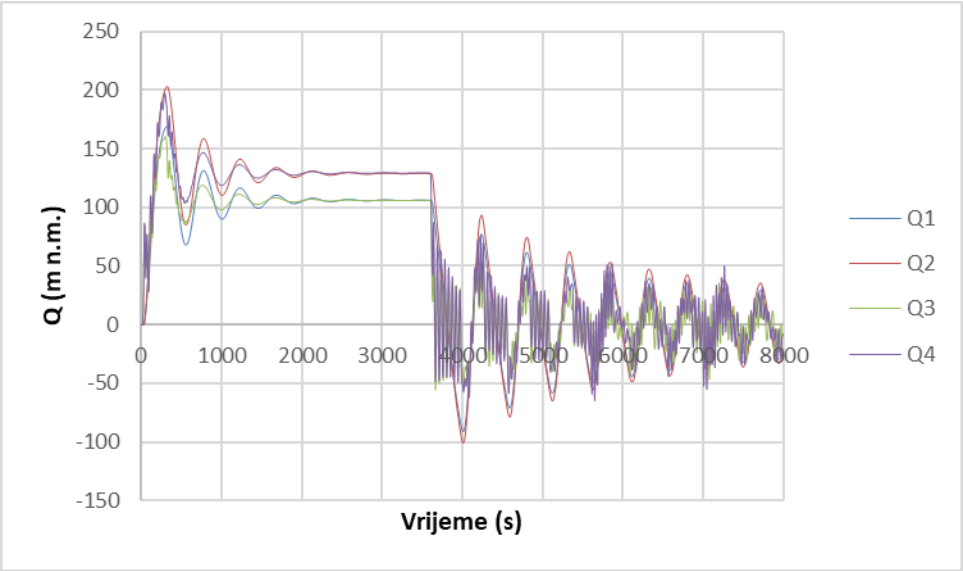
Slika 157 Protok Q2 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 7.2



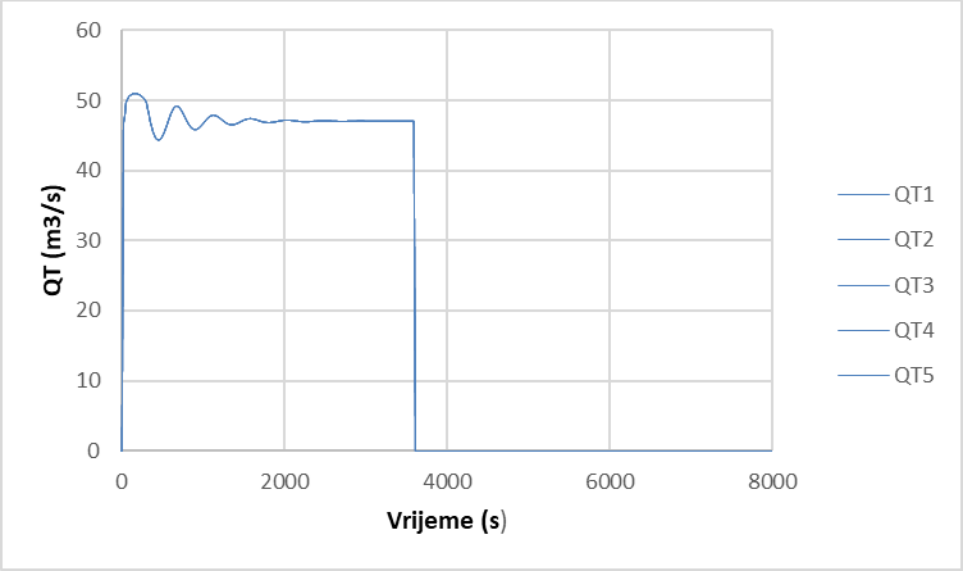
Slika 158 Protok Q3 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 7.2



Slika 159 Protok Q4 u ovisnosti o vremenu za Varijantu 7.2



Slika 160 Protoci u dovodnim tunelima u ovisnosti o vremenu za Varijantu 7.2



Slika 161 Protoci prema turbinama u ovisnosti o vremenu za Varijantu 7.2

Prikaz minimalnih vrijednosti vodostaja h (m n.m.) i protoka Q (m^3/s) pri minimalnom vodostaju u akumulaciji za Varijantu 7.2:

h1	h2	h3	Q1	Q2	Q3	Q4
320,48	320,04	320,13	-90,86	-100,91	-55,55	-64,33

Najniža kota u komori 3 koja mora biti ostvarena kako bi sustav funkcionirao iznosi h= 312,40 (m n.m.), dok je najniža postignuta u ovoj varijanti h=320,13 (m n.m.) za 7,73 (m) veća od minimalne dozvoljene.

Prikaz maksimalnih vrijednosti vodostaja h (m n.m.) i protoka Q (m^3/s) pri minimalnom vodostaju u akumulaciji za Varijantu 7.2:

h1	h2	h3	Q1	Q2	Q3	Q4
356,85	356,83	359,48	168,76	203,64	160,08	197,33

5. RASPRAVA

Varijanta 1 vodne komore s donjim proširenjem duljine L=50,0 (m) i promjerom cilindričnog dijela D=17,5 (m) pri uključivanju svih turbina u isto vrijeme (od 10. do 30. sekunde) ne zadovoljava uvjet da je minimalna razina vode u vodnoj komori (h=294,793 (m n.m.)), kod ulaska sustava u turbinski pogon pri minimalnom vodostaju akumulacije (h=330,0 (m n.m.)), veća od minimalno dozvoljene (h=322,04 (m n.m.)), to jest za približno 1.0 (m) iznad donjeg ruba donjeg proširenja vodne komore. Minimalna razina u komori nakon isključivanja turbina iz pogona iznosi h=311,292 (m n.m.). Maksimalna razina vode u komori 1 pri isključivanju turbina iz pogona i maksimalnoj razini vode u akumulaciji iznosi h=356,852 (m n.m.) dok u komori 2 pri istim uvijetima iznosi h=356,827 (m n.m.).

Nakon povećanja duljine donjeg proširenja varijanta 2 predstavlja vodnu komoru s donjim proširenjem duljine L=110,0 (m) i promjerom cilindričnog dijela D=17,5 (m) koja pri uključivanju svih turbina u isto vrijeme (od 10. do 30. sekunde) ne zadovoljava uvjet da je minimalna razina vode u vodnoj komori (h=286,731 (m n.m.)), kod ulaska sustava u turbinski pogon pri minimalnom vodostaju akumulacije (h=330,0 (m n.m.)), veća od minimalno dozvoljene (h=319,40 (m n.m.)). Minimalna razina u komori nakon isključivanja turbina iz pogona iznosi h=299,097 (m n.m.). Maksimalna razina vode u komori 1 pri isključivanju turbina iz pogona i maksimalnoj razini vode u akumulaciji iznosi h=356,846 (m n.m.) dok u komori 2 pri istim uvijetima iznosi h=356,829 (m n.m.).

Varijanta 3 je vodna komora s donjim proširenjem duljine L=110,0 (m) i promjerom cilindričnog dijela D=17,5 (m). Poprečni presjek donjeg proširenja vodne komore se sastoji od od pravokutnog dijela visine H=1,0 (m) i širine 2R=10,0 (m) te polukruga promjera R=5,0 (m). Turbine se uključuju postupno tako da se u desetoj sekundi uključe dvije, sljedeće dvije nakon 10 minuta te jedna preostala nakon 20 minuta. Vodostaj pri uključivanja turbina u pogon ne pada ispod minimalno dozvoljenog (h=318,40 (m n.m.)) i iznosi h=321,688 (m n.m.). Minimalna razina u komori nakon isključivanja turbina iz pogona iznosi h=318,817 (m n.m.). Maksimalna razina vode u komori 1 pri isključivanju turbina iz pogona i maksimalnoj razini vode u akumulaciji iznosi h=356,843 (m n.m.) dok u komori 2 pri istim uvijetima iznosi h=356,854 (m n.m.). Zaključak je da ova varijanta izbora vodne komore zadovoljava način uključivanja turbina u pogon iz Varijante 3.

Varijanta 4 je vodna komora s donjim proširenjem duljine L=110,0 (m) i promjerom cilindričnog dijela D=17,5 (m). Poprečni presjek donjeg proširenja vodne komore sastoji se od pravokutnog dijela visine H=2,0 (m) i širine 2R=10,0 (m) te polukruga promjera R=5,0 (m). Nakon postupnog uključivanja turbina u pogon to jest uključivanja jedne po jedne turbine u pogon nakon svakih 10 minuta vodostaj ne pada ispod minimalno dozvoljenog (h=317,40 (m n.m.)) i iznosi h=324,341 (m n.m.). Minimalna razina u komori nakon isključivanja turbina iz pogona iznosi h=318,167 (m n.m.). Maksimalna razina vode u komori 1 pri isključivanju turbina iz pogona i maksimalnoj

razini vode u akumulaciji iznosi h=356,870 (m n.m.) dok u komori 2 pri istim uvijetima iznosi h=356,860 (m n.m.). Zaključak je da ova varijanta izbora vodne komore zadovoljava način uključivanja turbina u pogon iz Varijante 4.

Varijanta 5 je vodna komora s donjim proširenjem duljine L=110,0 (m) i promjerom cilindričnog dijela D=17,5 (m). Poprečni presjek donjeg proširenja vodne komore sastoji se od pravokutnog dijela visine H=3,0 (m) i širine 2R=10,0 (m) te polukruga promjera R=5,0 (m). Turbine se uključuju u pogon postupno na način da se u desetoj sekundi uključe dvije i nakon 30 minuta preostale tri. Pri uključivanju turbina u pogon minimalna razina vode (h=316,40 (m n.m.)) je zadovoljena i iznosi h=321,680 (m n.m.). Minimalna razina u komori nakon isključivanja turbina iz pogona iznosi h=316,508 (m n.m.). Maksimalna razina vode u komori 1 pri isključivanju turbina iz pogona i maksimalnoj razini vode u akumulaciji iznosi h=356,852 (m n.m.) dok u komori 2 pri istim uvijetima iznosi h=356,827 (m n.m.). Zaključak je da ova varijanta izbora vodne komore zadovoljava način uključivanja turbina u pogon iz Varijante 5.

Niti jedna od prethodno navedenih varijanti vodne komore ne zadovoljava potrebne uvjete pri uključivanju svih turbina u pogon u isto vrijeme. Daljnjim povećanjem vrijednosti H u poprečnom presjeku donjeg proširenja vodne komore vodostaj teži minimalno potrebnom kako bi sustav funkcionirao.

Varijanta 6 je vodna komora s donjim proširenjem duljine L=110,0 (m) i promjerom cilindričnog dijela D=17,5 (m). Poprečni presjek donjeg proširenja vodne komore sastoji se od pravokutnog dijela visine H=4,0 (m) i širine 2R=10,0 (m) i polukruga promjera R=5,0 (m). Turbine se uključuju u pogon u isto vrijeme u desetoj sekundi i potrebna minimalna kota vodostaja (h=315,40 (m n.m.)) nije zadovoljena, a njena vrijednost je h=305,727 (m n.m.). Minimalna razina u komori nakon isključivanja turbina iz pogona iznosi h=316,267 (m n.m.). Maksimalna razina vode u komori 1 pri isključivanju turbina iz pogona i maksimalnoj razini vode u akumulaciji iznosi h=356,852 (m n.m.) dok u komori 2 pri istim uvijetima iznosi h=356,827 (m n.m.). Zaključak je da ova varijanta izbora vodne komore ne zadovoljava način uključivanja turbina u pogon iz Varijante 6.

Varijante u kojima je H=5,0 (m) i H=6,0 (m) također ne zadovoljavaju minimalne kote pri uključivanju i ispadanju turbina iz pogona.

Varijanta 7 je vodna komora s donjim proširenjem duljine L=110,0 (m) i promjerom cilindričnog dijela D=17,5 (m). Poprečni presjek donjeg proširenja vodne komore se sastoji od pravokutnog dijela visine H=7,0 (m) i širine 2R=10,0 (m) te polukruga promjera R=5,0 (m). Turbine se uključuju u pogon u isto vrijeme u desetoj sekundi i isključuju se nakon 60 minuta. U ovoj varijanti je zadovoljena minimalna kota vode (h=312,40 (m n.m.)) te njena vrijednost iznosi h=312,484 (m n.m.). Minimalna razina u komori nakon isključivanja turbina iz pogona iznosi h=316,264 (m n.m.). Maksimalna razina vode u komori 1 pri isključivanju turbina iz pogona i maksimalnoj razini vode u akumulaciji iznosi h=356,852 (m n.m.) dok u komori 2 pri istim uvijetima iznosi h=356,827 (m n.m.). Zaključak je da ova varijanta izbora vodne komore zadovoljava način uključivanja turbina u pogon iz Varijante 7.

6. PROGRAMSKO RJEŠENJE U FORTRANU 95

```
      PROGRAM DIPLOMSKI
      COMMON /S1/ L1,D1,EPSI1,KSIU1,L2,D2,EPSI2,KSIU2
      COMMON /S2/ L3,D3,EPSI3,KSIU3,L4,D4,EPSI4,KSIU4
      COMMON /S3/ NDV,HDV(100),QDV(100)
      COMMON /S4/ NK1,HK1(100),AK1(100),NK2,HK2(100),AK2(100)
      COMMON /S5/ NK3,HK3(100),AK3(100)
      COMMON /SNAGA1/ NNT1,TT1(100),XNT1(100),NNT2,TT2(100),XNT2(100)
      COMMON /SNAGA2/ NNT3,TT3(100),XNT3(100),NNT4,TT4(100),XNT4(100)
      COMMON /SNAGA3/ NNT5,TT5(100),XNT5(100)
      COMMON /S6/ DT,NDT,THETA

      REAL L1,L2,L3,L4,KSIU1,KSIU2,KSIU3,KSIU4

      IUL=5
      IZL=6
      CALL OPEN(IUL,IZL)
      CALL CITA(IUL,HA,H11,H21,H31,Q11,Q21,Q31,Q41,QT11,QT21,QT31,QT41,QT51,NPIS)
      IBR=0
      WRITE(IZL,300) T1,H11,H21,H31,Q11,Q21,Q31,Q41,QT11,QT21,QT31,QT41,QT51,IBR
      WRITE(IZL,300*) T1,H11,H21,H31,Q11,Q21,Q31,Q41,QT11,QT21,QT31,QT41,QT51,IBR
300   FORMAT(F7.0,3F8.3,4F10.3,5F10.3,I5)

      T1=0.0
      DO 100 I=1,NDT
      WRITE(*,30) I
30    FORMAT(I6)
      T2=T1+DT
      CALL SIMUL(T2,HA,H11,H21,H31,Q11,Q21,Q31,Q41,QT11,QT21,QT31,QT41,QT51,&
      H12,H22,H32,Q12,Q22,Q32,Q42,QT12,QT22,QT32,QT42,QT52,IBR)
      WRITE(*,30) I

!     ZAPISIVANJE SVAKOG NPIS STANJA
      IR=I/NPIS
      XR=FLOAT(I)/FLOAT(NPIS)
      RIR=FLOAT(IR)
      IF(XR.EQ.RIR) WRITE(IZL,300) T2,H12,H22,H32,Q12,Q22,Q32,Q42,QT12,QT22,QT32,QT42,QT52,IBR
      IF(I.EQ.NDT) WRITE(IZL,300) T2,H12,H22,H32,Q12,Q22,Q32,Q42,QT12,QT22,QT32,QT42,QT52,IBR

      T1=T2
      H11=H12
      H21=H22
      H31=H32
      Q11=Q12
      Q21=Q22
      Q31=Q32
      Q41=Q42
```

```
      QT11=QT12
      QT21=QT22
      QT31=QT32
      QT41=QT42
      QT51=QT52

100   CONTINUE
      STOP
      END

      SUBROUTINE OPEN(IUL,IZL)
      CHARACTER*20 IME
      WRITE(*,1)
1     FORMAT(' UPISI IME ULAZNE DATOTEKE')
      READ(*,2) IME
2     FORMAT(A)
      OPEN(UNIT=IUL,FILE=IME,STATUS='OLD')
      WRITE(*,5) IME
5     FORMAT(' OTVORENA ULAZNA DATOTEKA ',A)
      WRITE(*,3)
3     FORMAT(' UPISI IME IZLAZNE DATOTEKE')
      READ(*,2) IME
      OPEN(UNIT=IZL,FILE=IME,STATUS='REPLACE')
      WRITE(*,6) IME
6     FORMAT(' OTVORENA IZLAZNA DATOTEKA ',A)
      RETURN
      END

      SUBROUTINE SIMUL(T2,HA,H11,H21,H31,Q11,Q21,Q31,Q41,QT11,QT21,QT31,QT41,QT51,&
      H12,H22,H32,Q12,Q22,Q32,Q42,QT12,QT22,QT32,QT42,QT52,IBR)

      COMMON /S1/ L1,D1,EPSI1,KSIU1,L2,D2,EPSI2,KSIU2
      COMMON /S2/ L3,D3,EPSI3,KSIU3,L4,D4,EPSI4,KSIU4
      COMMON /S3/ NDV,HDV(100),QDV(100)
      COMMON /S4/ NK1,HK1(100),AK1(100),NK2,HK2(100),AK2(100)
      COMMON /S5/ NK3,HK3(100),AK3(100)
      COMMON /SNAGA1/ NNT1,TT1(100),XNT1(100),NNT2,TT2(100),XNT2(100)
      COMMON /SNAGA2/ NNT3,TT3(100),XNT3(100),NNT4,TT4(100),XNT4(100)
      COMMON /SNAGA3/ NNT5,TT5(100),XNT5(100)
      COMMON /S6/ DT,NDT,THETA
      DIMENSION FF(12,12),F(12)

      REAL L1,L2,L3,L4,KSIU1,KSIU2,KSIU3,KSIU4
      REAL NI

      TOC=0.0001
      ALFA=1.1
      PI=3.141592
```

```
      NI=0.00000131
      RO=1000.0
      ETA=0.85
      B1=9.5
      B2=B1
      Z1=352.0
      Z2=Z1

      AD1=D1**2.*PI/4.
      AD2=D2**2.*PI/4.
      AD3=D3**2.*PI/4.
      AD4=D4**2.*PI/4.

      H12=H11
      H22=H21
      H32=H31
      Q12=Q11
      Q22=Q21
      Q32=Q31
      Q42=Q41
      QT12=QT11
      QT22=QT21
      QT32=QT31
      QT42=QT41
      QT52=QT51
      A11=BH(NK1,HK1,AK1,H11)
      A21=BH(NK2,HK2,AK2,H21)
      A31=BH(NK3,HK3,AK3,H31)
      IBR=0
100   CONTINUE
      IBR=IBR+1

      QD2=QT12+QT22+QT32+QT42+QT52
      IF(QD2.LT.0.0) QD2=0.0
      IF(QD2.GT.500.0) QD2=500.0
      HD2=BH(NDV,QDV,HDV,QD2)

      A12=BH(NK1,HK1,AK1,H12)
      A22=BH(NK2,HK2,AK2,H22)
      A32=BH(NK3,HK3,AK3,H32)

      F(1)=H12-H11-(1.-THETA)*DT*(Q11-Q31)/A11-THETA*DT*(Q12-Q32)/A12
      FF(1,1)=1.0
      FF(1,2)=0.0
      FF(1,3)=0.0
      FF(1,4)=-THETA*DT/A12
      FF(1,5)=0.0
      FF(1,6)=THETA*DT/A12
```

```
    FF(1,7)=0.0
    FF(1,8)=0.0
    FF(1,9)=0.0
    FF(1,10)=0.0
    FF(1,11)=0.0
    FF(1,12)=0.0

    F(2)=H22-H21-(1.-THETA)*DT*(Q21-Q41)/A21-THETA*DT*(Q22-Q42)/A22
    FF(2,1)=0.0
    FF(2,2)=1.0
    FF(2,3)=0.0
    FF(2,4)=0.0
    FF(2,5)=-THETA*DT/A22
    FF(2,6)=0.0
    FF(2,7)=THETA*DT/A22
    FF(2,8)=0.0
    FF(2,9)=0.0
    FF(2,10)=0.0
    FF(2,11)=0.0
    FF(2,12)=0.0

    F(3)=H32-H31-(1.-THETA)*DT*(Q31+Q41-QT11-QT21-QT31-QT41-QT51)/A31-THETA*DT*(Q32+Q42-
QT12-QT22-QT32-QT42-QT52)/A32
    FF(3,1)=0.0
    FF(3,2)=0.0
    FF(3,3)=1.0
    FF(3,4)=0.0
    FF(3,5)=0.0
    FF(3,6)=-THETA*DT/A32
    FF(3,7)=-THETA*DT/A32
    FF(3,8)=THETA*DT/A32
    FF(3,9)=THETA*DT/A32
    FF(3,10)=THETA*DT/A32
    FF(3,11)=THETA*DT/A32
    FF(3,12)=THETA*DT/A32

    V11=Q11/AD1
    RE11=V11*D1/NI
    CALL LAMBDA(D1,RE11,EPSI1,ALAM11)
    V12=Q12/AD1
    RE12=V12*D1/NI
    CALL LAMBDA(D1,RE12,EPSI1,ALAM12)
    BETA11=1.0/(19.62*(D1**2.*PI/4.)**2.)*(KSIU1+ALAM11*L1/D1)
    BETA12=1.0/(19.62*(D1**2.*PI/4.)**2.)*(KSIU1+ALAM12*L1/D1)

    F(4)=Q12-Q11-(1.-THETA)*DT*(9.81*AD1/L1)*(HA-H11-BETA11*ABS(Q11)*Q11)-
THETA*DT*(9.81*AD1/L1)*(HA-H12-BETA12*ABS(Q12)*Q12)
    FF(4,1)=(THETA*DT*9.81*AD1)/L1
```

```
      FF(4,2)=0.0
      FF(4,3)=0.0
      FF(4,4)=1.0+2.0*((THETA*DT*9.81*AD1*BETA12)/L1)*Q12
      FF(4,5)=0.0
      FF(4,6)=0.0
      FF(4,7)=0.0
      FF(4,8)=0.0
      FF(4,9)=0.0
      FF(4,10)=0.0
      FF(4,11)=0.0
      FF(4,12)=0.0

      V21=Q21/AD2
      RE21=V21*D2/NI
      CALL LAMBDA(D2,RE21,EPSI2,ALAM21)
      V22=Q22/AD2
      RE22=V22*D2/NI
      CALL LAMBDA(D2,RE22,EPSI2,ALAM22)
      BETA21=1.0/(19.62*(D2**2.*PI/4.)**2.)*(KSIU2+ALAM21*L2/D2)
      BETA22=1.0/(19.62*(D2**2.*PI/4.)**2.)*(KSIU2+ALAM22*L2/D2)

      F(5)=Q22-Q21-(1.-THETA)*DT*(9.81*AD2/L2)*(HA-H21-BETA21*ABS(Q21)*Q21)-
THETA*DT*(9.81*AD2/L2)*(HA-H22-BETA22*ABS(Q22)*Q22)
      FF(5,1)=0.0
      FF(5,2)=(THETA*DT*9.81*AD2)/L2
      FF(5,3)=0.0
      FF(5,4)=0.0
      FF(5,5)=1.0+2.0*((THETA*DT*9.81*AD2*BETA22)/L2)*Q22
      FF(5,6)=0.0
      FF(5,7)=0.0
      FF(5,8)=0.0
      FF(5,9)=0.0
      FF(5,10)=0.0
      FF(5,11)=0.0
      FF(5,12)=0.0

      V31=Q31/AD3
      RE31=V31*D3/NI
      CALL LAMBDA(D3,RE31,EPSI3,ALAM31)
      V32=Q32/AD3
      RE32=V32*D3/NI
      CALL LAMBDA(D3,RE32,EPSI3,ALAM32)
      BETA31=1.0/(19.62*(D3**2.*PI/4.)**2.)*(ALAM31*L3/D3+ALFA)
      BETA32=1.0/(19.62*(D3**2.*PI/4.)**2.)*(ALAM32*L3/D3+ALFA)

      F(6)=Q32-Q31-(1.-THETA)*DT*(9.81*AD3/L3)*(H11-H31-BETA31*ABS(Q31)*Q31)-
THETA*DT*(9.81*AD3/L3)*(H12-H32-BETA32*ABS(Q32)*Q32)
      FF(6,1)=-THETA*DT*9.81*AD3/L3
```

```
      FF(6,2)=0.0
      FF(6,3)=THETA*DT*9.81*AD3/L3
      FF(6,4)=0.0
      FF(6,5)=0.0
      FF(6,6)=1.0+2.0*THETA*DT*9.81*AD3*BETA32/L3*Q32
      FF(6,7)=0.0
      FF(6,8)=0.0
      FF(6,9)=0.0
      FF(6,10)=0.0
      FF(6,11)=0.0
      FF(6,12)=0.0

      V41=Q41/AD4
      RE41=V41*D4/NI
      CALL LAMBDA(D4,RE41,EPSI4,ALAM41)
      V42=Q42/AD4
      RE42=V42*D4/NI
      CALL LAMBDA(D4,RE42,EPSI4,ALAM42)
      BETA41=1.0/(19.62*(D4**2.*PI/4.)**2.)*(ALAM41*L4/D4+ALFA)
      BETA42=1.0/(19.62*(D4**2.*PI/4.)**2.)*(ALAM42*L4/D4+ALFA)

    F(7)=Q42-Q41-(1.-THETA)*DT*(9.81*AD4/L4)*(H21-H31-BETA41*ABS(Q41)*Q41)-
THETA*DT*(9.81*AD4/L4)*(H22-H32-BETA42*ABS(Q42)*Q42)
      FF(7,1)=0.0
      FF(7,2)=-THETA*DT*9.81*AD4/L4
      FF(7,3)=THETA*DT*9.81*AD4/L4
      FF(7,4)=0.0
      FF(7,4)=0.0
      FF(7,6)=0.0
      FF(7,7)=1.0+2.0*THETA*DT*9.81*AD4*BETA42/L4*Q42
      FF(7,8)=0.0
      FF(7,9)=0.0
      FF(7,10)=0.0
      FF(7,11)=0.0
      FF(8,12)=0.0

      XNT12=BH(NNT1,TT1,XNT1,T2)
      XNT22=BH(NNT2,TT2,XNT2,T2)
      XNT32=BH(NNT3,TT3,XNT3,T2)
      XNT42=BH(NNT4,TT4,XNT4,T2)
      XNT52=BH(NNT5,TT5,XNT5,T2)

      F(8)=XNT12-RO*9.81*QT12*(H32-HD2)*ETA
      FF(8,1)=0.0
      FF(8,2)=0.0
      FF(8,3)=-RO*9.81*QT12*ETA
      FF(8,4)=0.0
      FF(8,5)=0.0
```

```
FF(8,6)=0.0
FF(8,7)=0.0
FF(8,8)=-RO*9.81*(H32-HD2)*ETA
FF(8,9)=0.0
FF(8,10)=0.0
FF(8,11)=0.0
FF(8,12)=0.0

F(9)=XNT22-RO*9.81*QT22*(H32-HD2)*ETA
FF(9,1)=0.0
FF(9,2)=0.0
FF(9,3)=-RO*9.81*QT22*ETA
FF(9,4)=0.0
FF(9,5)=0.0
FF(9,6)=0.0
FF(9,7)=0.0
FF(9,8)=0.0
FF(9,9)=-RO*9.81*(H32-HD2)*ETA
FF(9,10)=0.0
FF(9,11)=0.0
FF(9,12)=0.0

F(10)=XNT32-RO*9.81*QT32*(H32-HD2)*ETA
FF(10,1)=0.0
FF(10,2)=0.0
FF(10,3)=-RO*9.81*QT32*ETA
FF(10,4)=0.0
FF(10,5)=0.0
FF(10,6)=0.0
FF(10,7)=0.0
FF(10,8)=0.0
FF(10,9)=0.0
FF(10,10)=-RO*9.81*(H32-HD2)*ETA
FF(10,11)=0.0
FF(10,12)=0.0

F(11)=XNT42-RO*9.81*QT42*(H32-HD2)*ETA
FF(11,1)=0.0
FF(11,2)=0.0
FF(11,3)=-RO*9.81*QT42*ETA
FF(11,4)=0.0
FF(11,5)=0.0
FF(11,6)=0.0
FF(11,7)=0.0
FF(11,8)=0.0
FF(11,9)=0.0
FF(11,10)=0.0
FF(11,11)=-RO*9.81*(H32-HD2)*ETA
```

```
      FF(11,12)=0.0

      F(12)=XNT52-RO*9.81*QT52*(H32-HD2)*ETA
      FF(12,1)=0.0
      FF(12,2)=0.0
      FF(12,3)=-RO*9.81*QT52*ETA
      FF(12,4)=0.0
      FF(12,5)=0.0
      FF(12,6)=0.0
      FF(12,7)=0.0
      FF(12,8)=0.0
      FF(12,9)=0.0
      FF(12,10)=0.0
      FF(12,11)=0.0
      FF(12,12)=-RO*9.81*(H32-HD2)*ETA

      DO K=1,12
      F(K)=-F(K)
      END DO

       IF(IBR.GT.50) THEN
       RETURN
       ENDIF

      CALL SOLVER(FF,F,12)
      FAK=1.0
      H12=H12+FAK*F(1)
      H22=H22+FAK*F(2)
      H32=H32+FAK*F(3)
      Q12=Q12+FAK*F(4)
      Q22=Q22+FAK*F(5)
      Q32=Q32+FAK*F(6)
      Q42=Q42+FAK*F(7)
      QT12=QT12+FAK*F(8)
      QT22=QT22+FAK*F(9)
      QT32=QT32+FAK*F(10)
      QT42=QT42+FAK*F(11)
      QT52=QT52+FAK*F(12)

      IF(QT12.LT.0.0) QT12=0.0
      IF(QT22.LT.0.0) QT22=0.0
      IF(QT32.LT.0.0) QT32=0.0
      IF(QT42.LT.0.0) QT42=0.0
      IF(QT52.LT.0.0) QT52=0.0

!     PROVJERA TOCNOSTI
      DO K=1,12
        IF(ABS(F(K)).GT.TOC) THEN
```

```
      GO TO 100
      ENDIF
    END DO

    RETURN
    END

    SUBROUTINE LAMBDA(D,RE,EPSI,ALAM)
    IF(RE<2320)THEN
    ALAM=64.0/RE
    RETURN
    ENDIF
    TOC=0.000001
    ALAM1=0.02

100   CONTINUE

    ARG=EPSI/(D*3.71)+2.51/(RE*SQRT(ALAM1))
    RNAZ=2.0*LOG10(ARG)

    ALAM=1.0/RNAZ**2

    IF(ABS(ALAM1-ALAM).GT.TOC)THEN
    ALAM1=ALAM
    GOTO 100
    ENDIF
    RETURN
    END

    FUNCTION BH(N,X,Y,XX)
    DIMENSION X(N),Y(N)
    NI=1
    DO 1 I=1,N-1
    IF(X(I)-XX) 2,4,3
2    NI=I
1    CONTINUE
3    BH=Y(NI)+(Y(NI+1)-Y(NI))*(XX-X(NI))/(X(NI+1)-X(NI))
    RETURN
4    BH=Y(I)
    RETURN
    END

    SUBROUTINE SOLVER(A,B,N)
    DIMENSION A(N,N),B(N),X(30)
    N1=N-1
    DO 3 K=1,N
    I1=K+1
    DO 2 I=I1,N
```

```
      FAK=-A(I,K)/A(K,K)
      DO 1 J=K,N
1     A(I,J)=A(I,J)+FAK*A(K,J)
2     B(I)=B(I)+B(K)*FAK
3     CONTINUE
      X(N)=B(N)/A(N,N)
      DO 4 K=1,N1
      I=N-K
      S=0.
      DO 5 L=1,K
      J=I+L
5     S=S+A(I,J)*X(J)
4     X(I)=(B(I)-S)/A(I,I)
      DO 6 I=1,N
      B(I)=X(I)
6     CONTINUE
      RETURN
      END

      SUBROUTINE CITA(IUL,HA,H11,H21,H31,Q11,Q21,Q31,Q41,QT11,QT21,QT31,QT41,QT51,NPIS)
      COMMON /S1/ L1,D1,EPSI1,KSIU1,L2,D2,EPSI2,KSIU2
      COMMON /S2/ L3,D3,EPSI3,KSIU3,L4,D4,EPSI4,KSIU4
      COMMON /S3/ NDV,HDV(100),QDV(100)
      COMMON /S4/ NK1,HK1(100),AK1(100),NK2,HK2(100),AK2(100)
      COMMON /S5/ NK3,HK3(100),AK3(100)
      COMMON /SNAGA1/ NNT1,TT1(100),XNT1(100),NNT2,TT2(100),XNT2(100)
      COMMON /SNAGA2/ NNT3,TT3(100),XNT3(100),NNT4,TT4(100),XNT4(100)
      COMMON /SNAGA3/ NNT5,TT5(100),XNT5(100)
      COMMON /S6/ DT,NDT,THETA

      REAL L1,L2,L3,L4,KSIU1,KSIU2,KSIU3,KSIU4

      READ(IUL,1)
1     FORMAT(2X,/,2X)

      READ(IUL,*) L1,D1,EPSI1,KSIU1
      READ(IUL,*) L2,D2,EPSI2,KSIU2
      READ(IUL,*) L3,D3,EPSI3,KSIU3
      READ(IUL,*) L4,D4,EPSI4,KSIU4

!     CITANJE PODATAKA ZA DONJU VODU
      READ(IUL,2)
2     FORMAT(2X)

      READ(IUL,*) NDV
      DO I=1,NDV
      READ(IUL,*) QDV(I),HDV(I)
      END DO
```

```
!   CITANJE PODATAKA ZA PRVU KOMORU
    READ(IUL,2)

    READ(IUL,*) NK1
    DO I=1,NK1
    READ(IUL,*) HK1(I),AK1(I)
    END DO

!   CITANJE PODATAKA ZA DRUGU KOMORU
    READ(IUL,2)

    READ(IUL,*) NK2
    DO I=1,NK2
    READ(IUL,*) HK2(I),AK2(I)
    END DO

!   CITANJE PODATAKA ZA TRECU KOMORU
    READ(IUL,2)

    READ(IUL,*) NK3
    DO I=1,NK3
    READ(IUL,*) HK3(I),AK3(I)
    END DO

!   CITANJE PODATAKA ZA SNAGU PRVE TURBINE
    READ(IUL,2)

    READ(IUL,*) NNT1
    DO I=1,NNT1
    READ(IUL,*) TT1(I),XNT1(I)
    END DO

!   CITANJE PODATAKA ZA SNAGU DRUGE TURBINE
    READ(IUL,2)

    READ(IUL,*) NNT2
    DO I=1,NNT2
    READ(IUL,*) TT2(I),XNT2(I)
    END DO

!   CITANJE PODATAKA ZA SNAGU TRECE TURBINE
    READ(IUL,2)

    READ(IUL,*) NNT3
    DO I=1,NNT3
    READ(IUL,*) TT3(I),XNT3(I)
    END DO
```

```
!   CITANJE PODATAKA ZA SNAGU CETVRTE TURBINE
    READ(IUL,2)

    READ(IUL,*) NNT4
    DO I=1,NNT4
    READ(IUL,*) TT4(I),XNT4(I)
    END DO

!   CITANJE PODATAKA ZA SNAGU PETE TURBINE
    READ(IUL,2)

    READ(IUL,*) NNT5
    DO I=1,NNT5
    READ(IUL,*) TT5(I),XNT5(I)
    END DO

!   CITANJE PODATAKA ZA POCETNO STANJE
    READ(IUL,2)

    READ(IUL,*) HA,H11,H21,H31,Q11,Q21,Q31,Q41,QT11,QT21,QT31,QT41,QT51

!   CITANJE ZAVRSNIH PODATAKA
    READ(IUL,2)

    READ(IUL,*) THETA,DT,NDT,NPIS

    RETURN
    END
```

7. ZAKLJUČAK

Izradom ovog diplomskog rada provedena je analiza funkcioniranja složene vodne komore u sustavu akumulacija, dovodni tuneli, 3 vodne komore, te 5 tlačnih cjevovoda kojima voda dolazi do 5 turbina. Analiza je napravljena pomoću matematičkg hidrauličkg modela nestacionarnog tečenja u zadanom hidrotehničkom sustavu. Formulacija modela je izvedena na temelju jednadžbi nestacionarnog strujanja, te je ispisana u programskom jeziku Fortran95.

Definirano je 7 varijanti dimenzioniranja kako bi se, za pojedine načine uključivanja i isključivanja turbina, odredile dovoljne površine horizontalnih presjeka vodnih komora, da bi se oscilacije uvijek umirile, te kako bi minimalna postignuta razina vode u komori bila takva da zrak ne uđe u donji dio cilindrične vodne komore, uz odgovarajuću sigurnost.

Varijante 3, 4 i 5 su vodne komore s donjim proširenjem duljine L=110,0 (m) i promjerom cilindričnog dijela D=17,5 (m). Poprečni presjek donjeg proširenja vodne komore sastoji se od pravokutnog dijela visine H i širine 2R m te polukruga promjera R. Za vrijednosti H=1,0 (m), H=2,0 (m) i H=3,0 (m) pri postupnom uključivanju turbina u pogon sustav ispravno funkcionira. Kako bi sustav funkcionirao pri uključivanju u pogon svih turbina u isto vrijeme, potrebna vrijednost visine H iznosi 7,0 (m).

8. LITERATURA

[1] V. Jović, Osnove hidromehanike, 2006.

[2] V. Jović, Hidraulika - interna skripta, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije u Splitu.

[3] V. Jović, Analysis and modeling of non-steady flow in pipe and channel networks, John Wiley and Sons,Ltd, 2013.

[4] The Newton-Raphson Method, http://www.math.ubc.ca/~anstee/math104/newtonmethod.pdf.

[5] A. Harapin, Kratke osnove rada s programskim jezikom FORTRAN, Split: Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, 2009.

9. PRILOZI

Prilog 1 – Treća vodna komora – Varijanta 1

Prilog 2 – Treća vodna komora – Varijanta 2

Prilog 3 – Treća vodna komora – Varijanta 3

Prilog 4 – Treća vodna komora – Varijanta 4

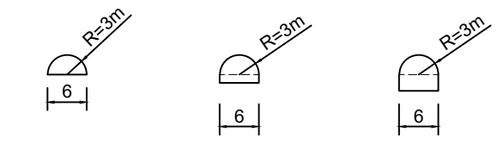
Prilog 5 – Treća vodna komora – Varijanta 5

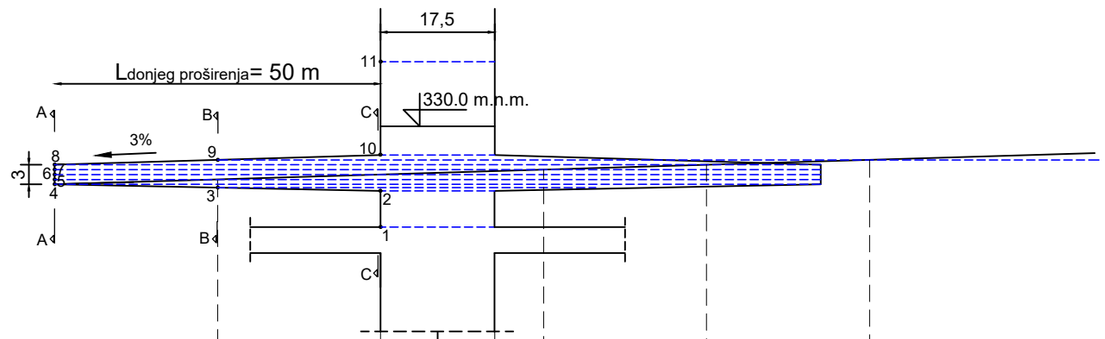
Prilog 6 – Treća vodna komora – Varijanta 6

Prilog 7 – Treća vodna komora – Varijanta 7

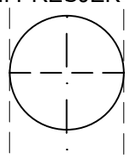
3. VODNA KOMORA - 1. VARIJANTA

PRESJEK A-A PRESJEK B-B PRESJEK C-C

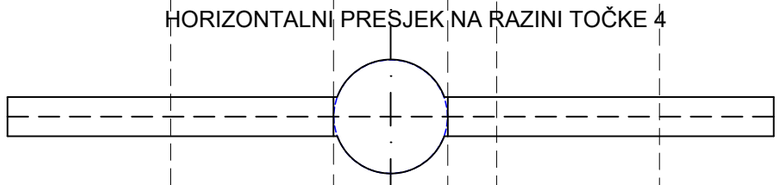




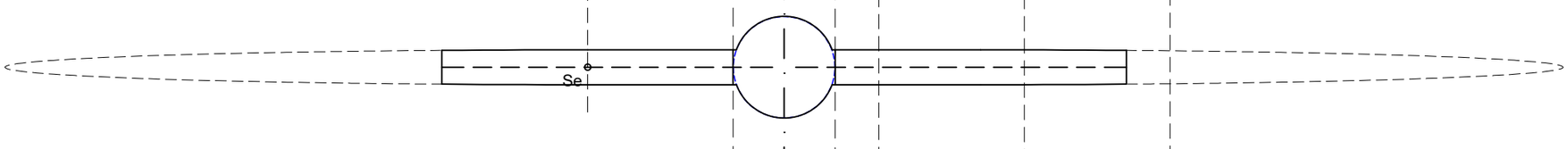
HORIZONTALNI PRESJEK 1, 2,10,11



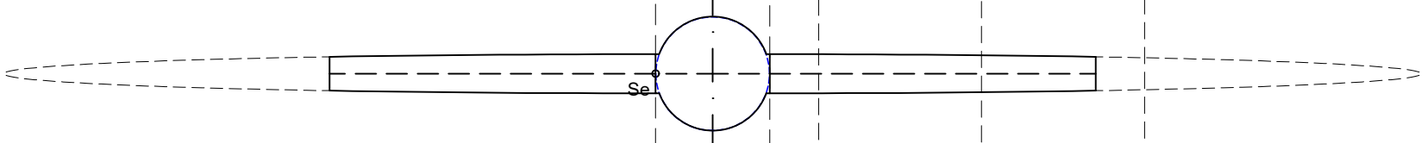
HORIZONTALNI PRESJEK NA RAZINI TOČKE 4



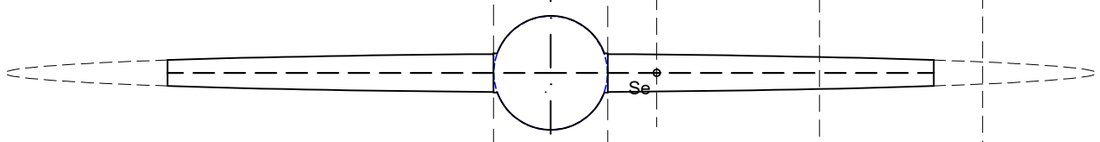
HORIZONTALNI PRESJEK NA RAZINI TOČKE 5



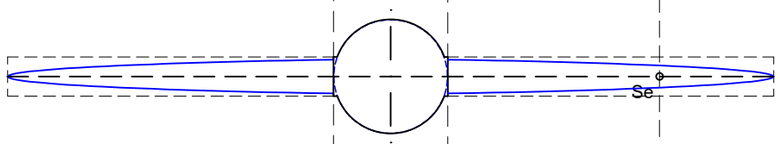
HORIZONTALNI PRESJEK NA RAZINI TOČKE 6



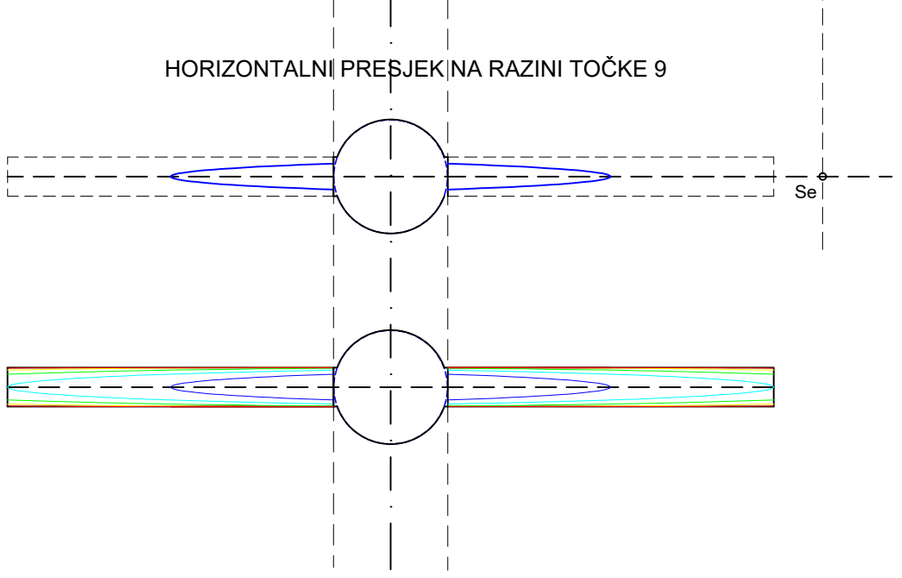
HORIZONTALNI PRESJEK NA RAZINI TOČKE 7



HORIZONTALNI PRESJEK NA RAZINI TOČKE 8

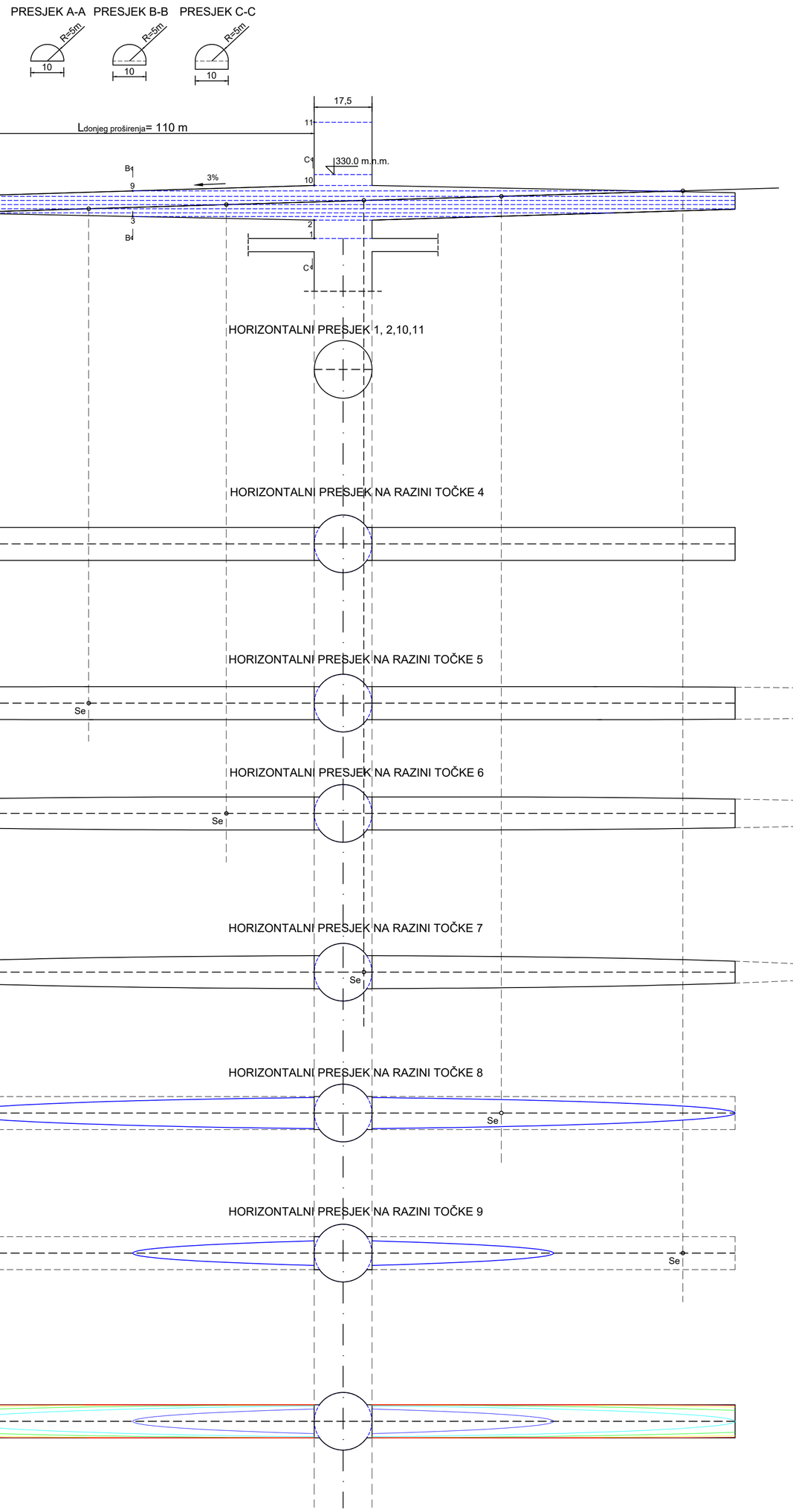


HORIZONTALNI PRESJEK NA RAZINI TOČKE 9



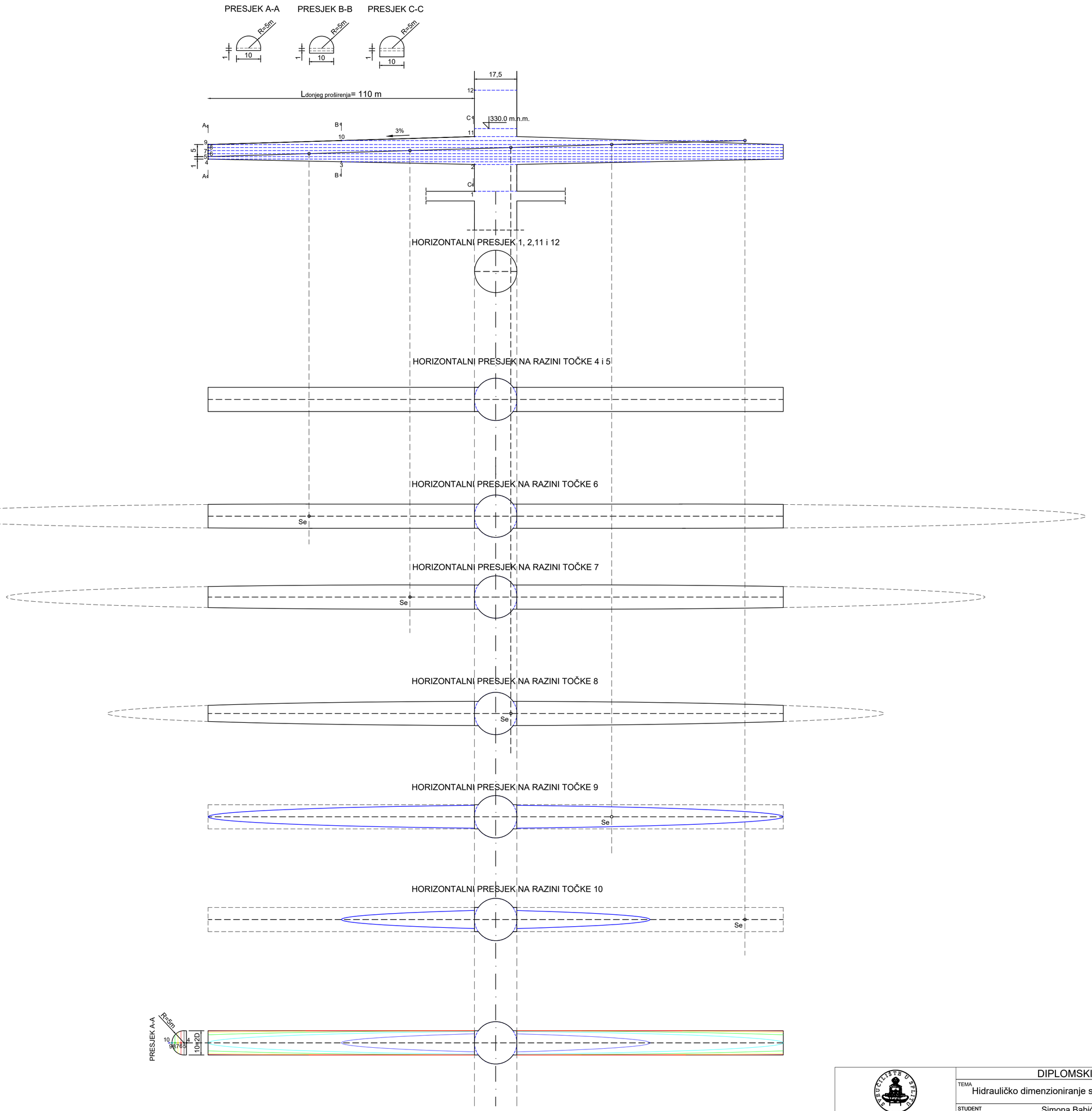
SVEUČILIŠTE U SPLITU GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	DIPLOMSKI RAD	
	TEMA: Hidrauličko dimenzioniranje složene vodne komore	
	STUDENT: Simona Babić, 661	
	SADRŽAJ: Vodna komora 3, varijanta 1	MJERILO: 1:1000
	DATUM: veljača, 2020.	BROJ PRILOGA: 1

3. VODNA KOMORA - 2. VARIJANTA



SVEUČILIŠTE U SPLITU GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	DIPLOMSKI RAD	
	TEMA: Hidrauličko dimenzioniranje složene vodne komore	
	STUDENT: Simona Babić, 661	
	SADRŽAJ: Vodna komora 3, varijanta 2	MJERILO: 1:1000
	DATUM: veljača, 2020.	BROJ PRILOGA: 2

3.VODNA KOMORA - 3.VARIJANTA, PROŠIRENJE 1m



SVEUČILIŠTE U SPLITU
GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

DIPLOMSKI RAD

TEMA: Hidrauličko dimenzioniranje složene vodne komore

STUDENT: Simona Babić, 661

SADRŽAJ: Vodna komora 3, varijanta 3

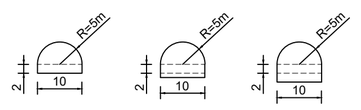
MJERILO: 1:1000

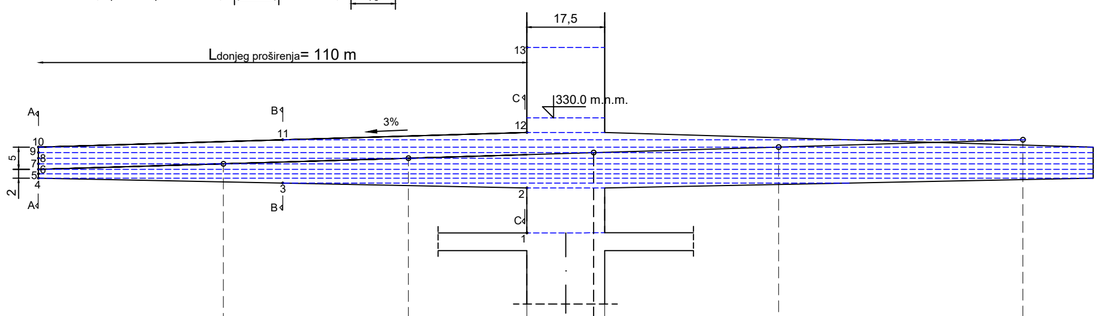
BROJ PRILOGA: 3

DATUM: veljača, 2020.

3.VODNA KOMORA - 4.VARIJANTA, PROŠIRENJE 2m

PRESJEK A-A PRESJEK B-B PRESJEK C-C

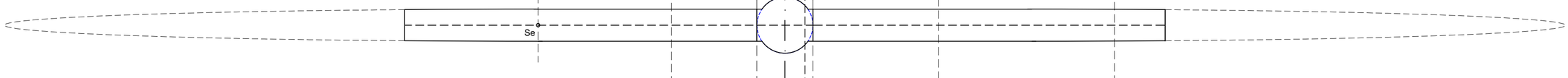




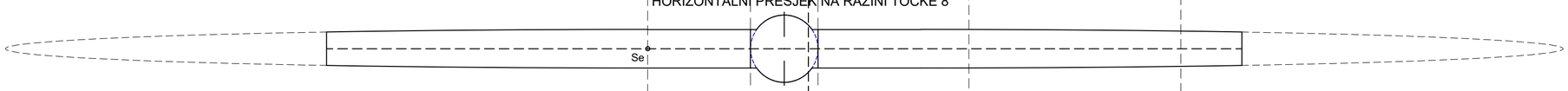
HORIZONTALNI PRESJEK 1, 2,12,13

HORIZONTALNI PRESJEK NA RAZINI TOČKE 4,5,6

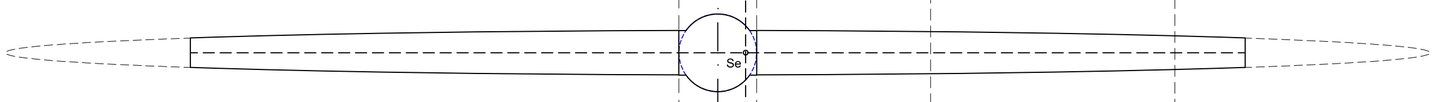
HORIZONTALNI PRESJEK NA RAZINI TOČKE 7



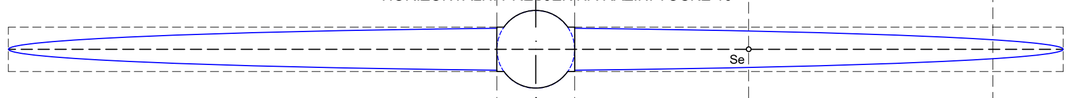
HORIZONTALNI PRESJEK NA RAZINI TOČKE 8



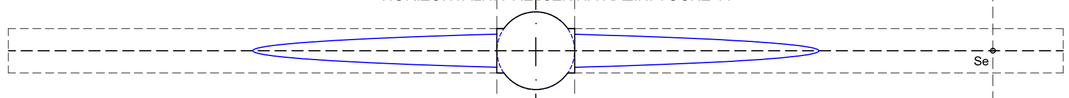
HORIZONTALNI PRESJEK NA RAZINI TOČKE 9

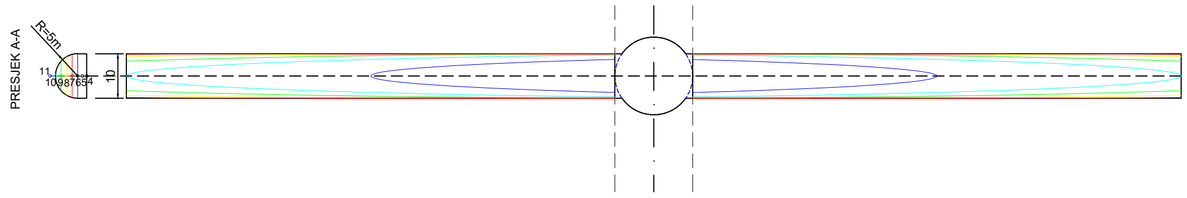


HORIZONTALNI PRESJEK NA RAZINI TOČKE 10



HORIZONTALNI PRESJEK NA RAZINI TOČKE 11





SVEUČILIŠTE U SPLITU
GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

DIPLOMSKI RAD

TEMA: Hidrauličko dimenzioniranje složene vodne komore

STUDENT: Simona Babić, 661

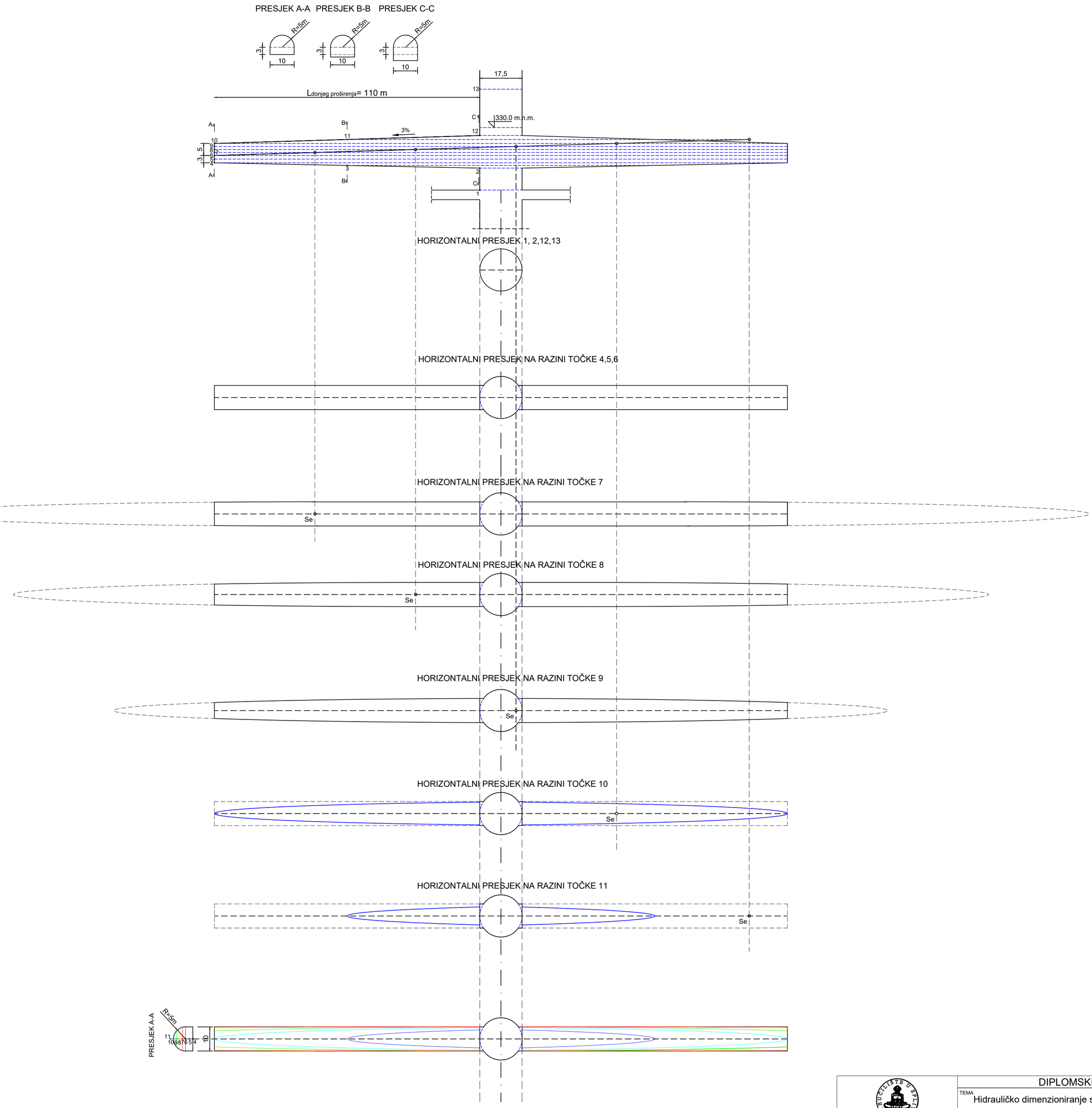
SADRŽAJ: Vodna komora 3, varijanta 4

MJERILO: 1:1000

DATUM: veljača, 2020.

BROJ PRILOGA: 4

3.VODNA KOMORA - 5.VARIJANTA, PROŠIRENJE 3m



SVEUČILIŠTE U SPLITU
GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

DIPLOMSKI RAD

TEMA: Hidrauličko dimenzioniranje složene vodne komore

STUDENT: Simona Babić, 661

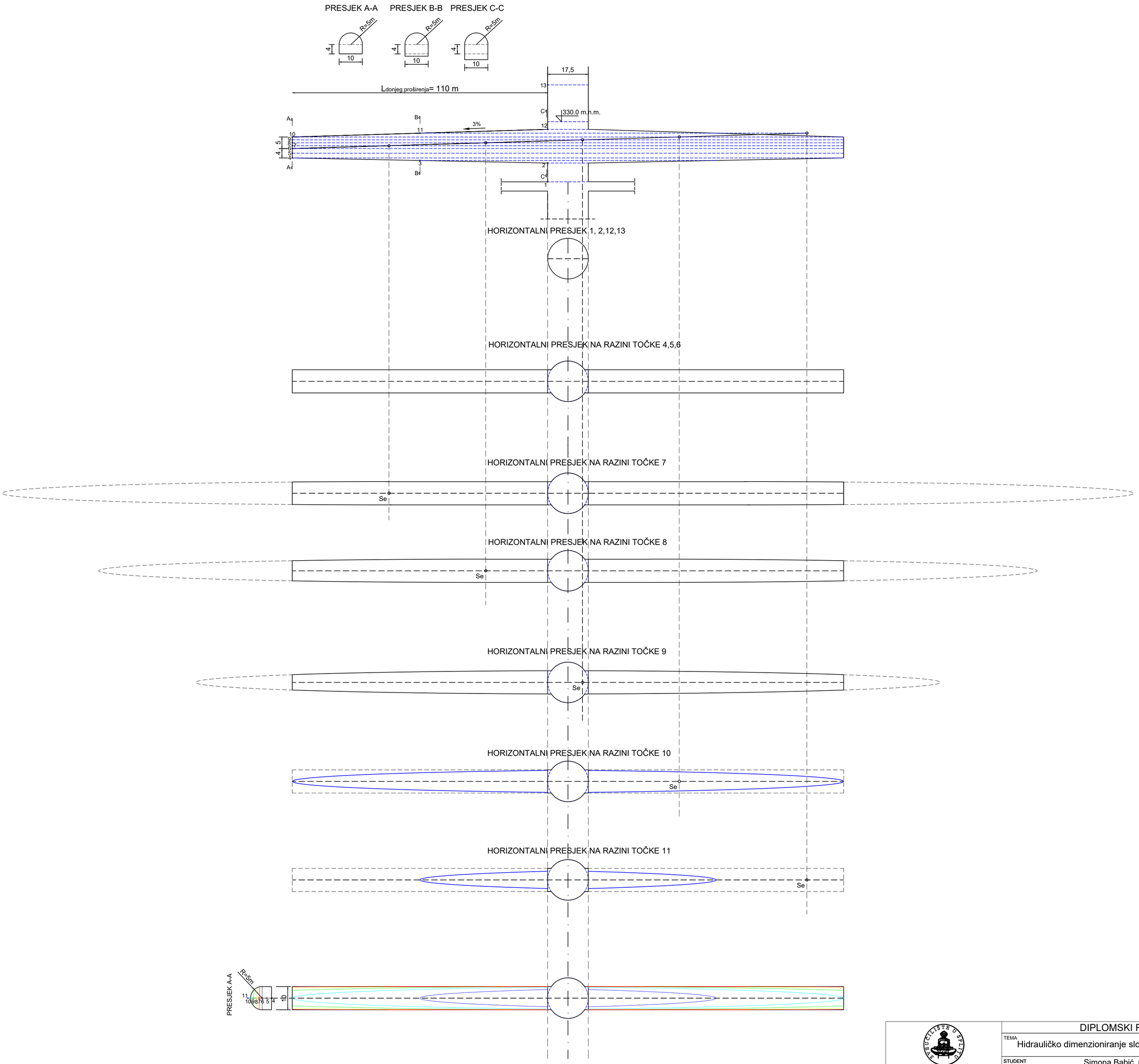
SADRŽAJ: Vodna komora 3, varijanta 5

MJERILO: 1:1000

BROJ PRILOGA: 5

DATUM: veljača, 2020.

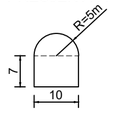
3.VODNA KOMORA - 6.VARIJANTA, PROŠIRENJE 4m



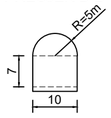
SVEUČILIŠTE U SPLITU GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET 21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15	DIPLOMSKI RAD
TEMA	Hidrauličko dimenzioniranje složene vodne komore
STUDENT	Simona Babić, 661
SADRŽAJ	Vodna komora 3, varijanta 6
MJERILO	1:1000
BROJ PRILOGA	6
DATUM	veljača, 2020.

3.VODNA KOMORA - 7.VARIJANTA, PROŠIRENJE 7m

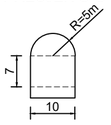
PRESJEK A-A

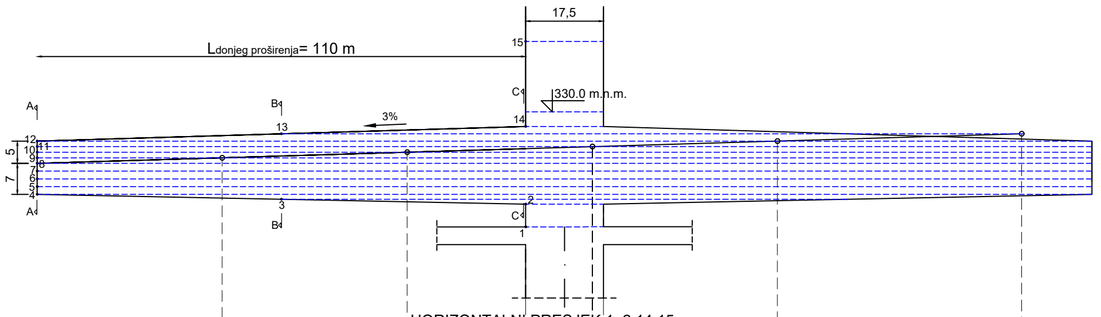


PRESJEK B-B

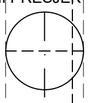


PRESJEK C-C

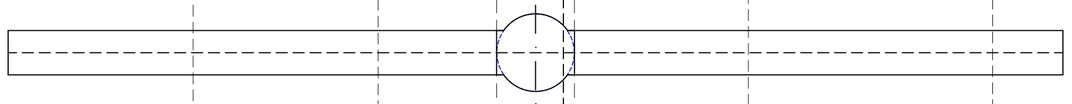




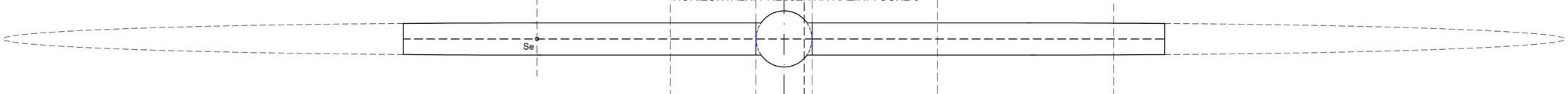
HORIZONTALNI PRESJEK 1, 2,14,15



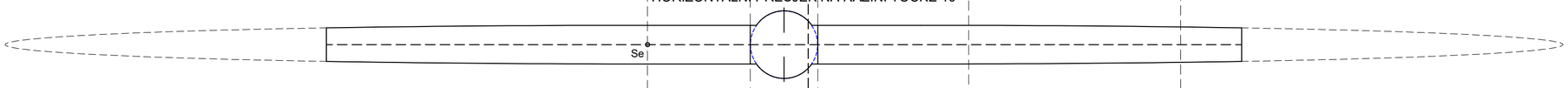
HORIZONTALNI PRESJEK NA RAZINI TOČKE 4,5,6,7 i 8



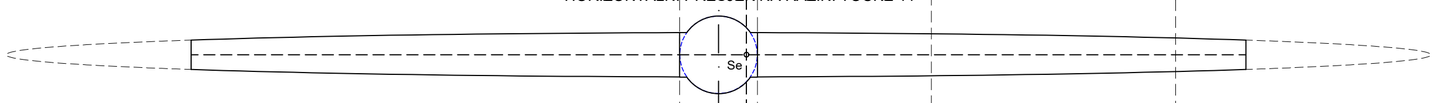
HORIZONTALNI PRESJEK NA RAZINI TOČKE 9



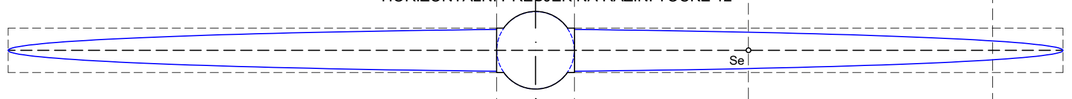
HORIZONTALNI PRESJEK NA RAZINI TOČKE 10



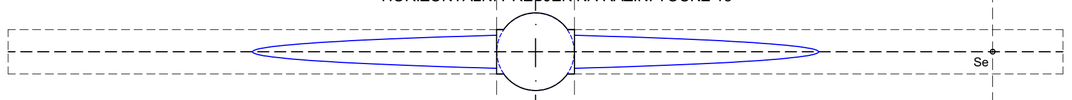
HORIZONTALNI PRESJEK NA RAZINI TOČKE 11

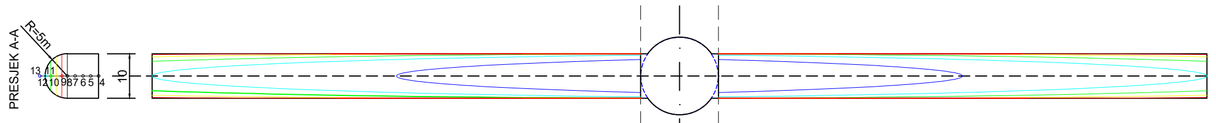


HORIZONTALNI PRESJEK NA RAZINI TOČKE 12



HORIZONTALNI PRESJEK NA RAZINI TOČKE 13





SVEUČILIŠTE U SPLITU
GRAĐEVINSKO - ARHITEKTONSKI FAKULTET
21000 SPLIT, MATICE HRVATSKE 15

DIPLOMSKI RAD

TEMA: Hidrauličko dimenzioniranje složene vodne komore

STUDENT: Simona Babić, 661

SADRŽAJ: Vodna komora 3, varijanta 7

MJERILO: 1:1000

BROJ PRILOGA: 7

DATUM: veljača, 2020.