

# Hidraulička analiza rada retencijskog vodospremnika

---

Jankov, Zdenka

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

*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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:123:819273>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-28**



*Repository / Repozitorij:*

[FCEAG Repository - Repository of the Faculty of Civil Engineering, Architecture and Geodesy, University of Split](#)



UNIVERSITY OF SPLIT



**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I**  
**GEODEZIJE**

**ZAVRŠNI RAD**

**Zdenka Jankov**

**Split, srpanj 2023.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU**  
**FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I**  
**GEODEZIJE**

**HIDRAULIČKA ANALIZA RADA RETENCIJSKOG**  
**VODOSPREMNIKA**

**Završni rad**

**Split, srpanj 2023.**

## **Hidraulička analiza rada retencijskog vodospremnika**

### **Sažetak:**

Zadatkom je zadan retencijski vodospremnik za zadani dijagram dotoka. Sustav je analiziran za 3 različite varijante određene funkcijom dotoka u vremenu.

Grafički su prikazani: različiti promjeri ispusne cijevi, različite duljine ispusne cijevi, različite širine preljevnog praga.

### **Ključne riječi:**

Vodospremnik, preljev, preljevni prag, protok, numerička integracija, mješoviti postupak, Newtonova metoda

## **Hydraulic analysis of the retention water tank in operation**

### ***Abstract:***

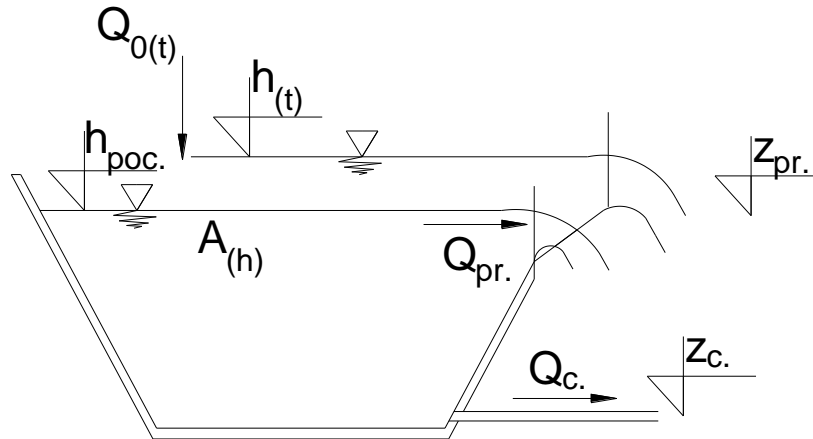
Retention reservoir is given by the task for a given inflow diagram. The system was analyzed for 3 different variants determined by the inflow function of time.

The following are graphically shown: different diameters of the outlet pipe, different lengths of the outlet pipe, different widths of the overflow sill.

### ***Key words:***

Water tank, overflow, overflow threshold, flow, numerical integration, mixed procedure, Newton's method.

## 1. Zadatak za završni rad



Slika 1. Shematski prikaz vodospremnik s preljevom i ispustom

Zadano je:

Površina vodospremnika u funkciji nadmorske visine dana je u sljedećoj tablici:

| $h(\text{m n.m.})$ | $A (\text{m}^2)$ |
|--------------------|------------------|
| 100                | 120              |
| 102                | 160              |
| 104                | 250              |
| 106                | 400              |
| 108                | 800              |

Dotok u vodospremnik u funkciji vremena zadan je u sljedećoj tablici:

| $t(\text{s})$ | $Q_0(\text{m}^3/\text{s})$ |
|---------------|----------------------------|
| 0             | 0,50                       |
| 100           | 2,00                       |
| 300           | 2,00                       |
| 500           | 5,00                       |
| 1000          | 5,00                       |
| 1500          | 1,00                       |
| 10000         | 1,00                       |

Ostale zadane vrijednosti definirane su u sljedećoj tablici:

|                           |            |
|---------------------------|------------|
| $Z_{pr.}$ (m n.m.)        | 105        |
| $B_{pr.}$ (m)             | 4          |
| $m$                       | 0,35       |
| $L$ (m)                   | 100        |
| $D$ (m)                   | 0,50       |
| $\varepsilon$ (m)         | 0,001      |
| $\nu$ (m <sup>2</sup> /s) | 0,00000114 |
| $\xi_u$                   | 0,50       |
| $\xi_z$                   | 1          |
| $\alpha$                  | 1,1        |
| $h_{poč.}$ (m n.m.)       | 102        |
| $Z_c$ (m n.m.)            | 98         |

Studentica će analizirati rad zadanog retencijskog vodospremnika za zadani dijagram dotoka (Varijanta 2), za smanjeni dijagram dotoka u odnosu na zadani (Varijanta 1 - faktor smanjenja 0.5), te za uvećani dijagram dotoka (Varijanta 3). Faktor uvećanja za Varijantu 3 treba odrediti tako da se značajno aktivira preljev na vodospremniku. Potrebno je napraviti analize s različitim promjerima ispusne cijevi (0.3 (m), 0.5 (m) i 0.7 (m)), različitim duljinama ispusne cijevi (50 (m), 100 (m) i 200 (m)), te različitim širinama preljevnog praga (4 (m), 6 (m) i 8 (m)). Sve proračune treba provesti numeričkom integracijom jednadžbe kontinuiteta vodospremnika mješovitim postupkom, a rezultate prikazati grafički.

Mentor:

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

Split, travanj 2023.

## SADRŽAJ

|  |    |
|--|----|
| 1. Zadatak za završni rad .....                                | 4  |
| 2. Tehnički opis .....   | 8  |
| 2.1 Uvod .....   | 8  |
| 2.2 Hidrauličke i geometrijske karakteristike .....            | 9  |
| 3. Proračun vodospremnika: .....                               | 9  |
| 3.1. Postupak proračuna vodospremnika: .....                   | 9  |
| 3.2. Rezultati proračuna vodostaja u vodospremi .....          | 13 |
| 3.3 Grafički prikaz rezultata proračuna .....                  | 13 |
| 3.3.1. Varijanta 1 za dotok u funkciji vremena $Q_{0,1}$ ..... | 14 |
| 3.3.2. Varijanta 2 za dotok u funkciji vremena $Q_{0,2}$ ..... | 16 |
| 3.3.3. Varijanta 3 za dotok u funkciji vremena $Q_{0,3}$ ..... | 23 |
| 3.3.4. Skupni rezultat svih varijacija .....                   | 26 |
| 4. Zaključak .....   | 27 |
| 5. Literatura .....  | 28 |

## POPIS SLIKA

|   |    |
|---|----|
| <a href="#">Slika 1. Shematski prikaz vodospremnik s preljevom i ispustom</a> .....   | 4  |
| <a href="#">Slika 2. Shematski prikaz vodospremnik s preljevom i ispustom</a> .....   | 8  |
| <a href="#">Slika 3. Objasnjenje Newtonove metode</a> .....   | 11 |
| <a href="#">Slika 4. Dotok <math>Q_{0,1}</math> funkciji vremena</a> .....  | 14 |
| <a href="#">Slika 5. Razina vode u vodospremniku u funkciji vremena za dotok <math>Q_{0,1}</math></a> .....                             | 15 |
| <a href="#">Slika 6. Utjecaj promjene širine preljevnog praga “B“ na razinu vode u vodospremniku za protok <math>Q_{0,1}</math></a> ... | 15 |
| <a href="#">Slika 7. Protok prelijevanja za dotok <math>Q_{0,1}</math></a> .....  | 16 |
| <a href="#">Slika 8. Dotok <math>Q_{0,2}</math> u funkciji vremena</a> .....  | 17 |
| <a href="#">Slika 9. Razina vode u vodospremniku u funkciji vremena za dotok <math>Q_{0,2}</math></a> .....                             | 17 |
| <a href="#">Slika 10. Razina vode u vodospremniku u funkciji vremena za cijev promjera 0.3 (m)</a> .....                                | 18 |
| <a href="#">Slika 11. Razina vode u vodospremniku u funkciji vremena za cijev promjera 0.5 (m)</a> .....                                | 18 |
| <a href="#">Slika 12. Razina vode u vodospremniku u funkciji vremena za cijev promjera 0.7 (m)</a> .....                                | 19 |
| <a href="#">Slika 13. Utjecaj promjera odvodne cijevi na razinu vode u vodospremniku u funkciji vremena</a> .....                       | 20 |
| <a href="#">Slika 14. Razina vode u vodospremniku u funkciji vremena za duljinu cijevi 50 (m)</a> .....                                 | 20 |
| <a href="#">Slika 15. Razina vode vodospremniku u funkciji vremena za duljinu cijevi 100 (m)</a> .....                                  | 21 |
| <a href="#">Slika 16. Razina vode u vodospremniku u funkciji vremena za duljinu cijevi 200 (m)</a> .....                                | 21 |
| <a href="#">Slika 17. Utjecaj promjene različitih duljina cijevi na razinu vode u vodospremniku</a> .....                               | 22 |
| <a href="#">Slika 18. Utjecaj promjene širine preljevnog praga “B“ na razinu vode u vodospremniku za protok <math>Q_{0,2}</math></a> .  | 22 |
| <a href="#">Slika 19. Protok prelijevanja za dotok <math>Q_{0,2}</math></a> .....   | 23 |
| <a href="#">Slika 20. Dotok <math>Q_{0,3}</math> u funkciji vremenu</a> .....   | 24 |
| <a href="#">Slika 21. Razina vode u vodospremniku u funkciji vremena za dotok <math>Q_{0,3}</math></a> .....                            | 24 |
| <a href="#">Slika 22. Protok prelijevanja za dotok <math>Q_{0,3}</math></a> .....   | 25 |
| <a href="#">Slika 23. Utjecaj promjene širine preljevnog praga “B“ na razinu vode u vodospremniku za protok <math>Q_{0,3}</math></a> .  | 25 |
| <a href="#">Slika 24. Utjecaj promjene dotoka na razinu vode u vodospremniku u funkciji vremena</a> .....                               | 26 |

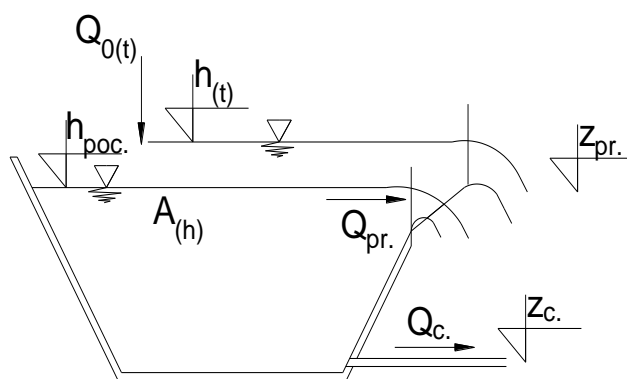


## 2. Tehnički opis

### 2.1 Uvod

Zadatkom je zadan retencijski vodospremnik za zadani dijagram dotoka. Sustav je analiziran za 3 različite varijante određene funkcijom dotoka u vremenu. Za varijantu 1 dotok je smanjen u odnosu na zadani (varijanta 2) s faktorom smanjenja koji iznosi 0.5. Varijanta 3 ima uvećani dotok u funkciji vremena u odnosu na zadani uz faktor povećanja 6, koji rezultira znatnom aktivacijom prelijeva. Faktor je dobiven eksperimentalno koristeći numeričku metodu i softverski paket MS Excel. U ovom radu grafički su prikazani:

- različiti promjeri ispusne cijevi od  $D=0.3$  (m),  $D=0.5$  (m),  $D=0.7$  (m)
- različite duljine ispusne cijevi dimenzija  $L=50$  (m),  $L=100$  (m),  $L=200$  (m)
- različite širine prelijevnog praga  $B=4$  (m),  $B=6$  (m),  $B=8$  (m)



Slika 2. Shematski prikaz vodospremnika s prelijevom i ispustom

## 2.2 Hidrauličke i geometrijske karakteristike

Površina vodospremnika se mijenja ovisno o nadmorskoj visini. Na nadmorskoj visini  $h=100$  (m n.m.) površina vodospremnika iznosi  $A=120$  ( $m^2$ ), za  $h=102$  (m n.m.) površina iznosi  $A=160$  ( $m^2$ ), za  $h=104$  (m n.m.) površina iznosi  $A=250$  ( $m^2$ ), za  $h=106$  (m n.m.) površina vodospremnika iznosi  $A=400$  ( $m^2$ ) i za  $h=108$  (m n.m.) površina iznosi  $A=800$  ( $m^2$ ). Kruna preljevnog praga smještena je na koti  $z_{pr}=105$  (m n.m.). Odvodna cijev je promjera  $D=0.5$  (m) i duljine  $L=100$  (m). Zadatom je zadana apsolutna pogonska hidraulička hrapavost cijevi u iznosu od  $\varepsilon=0,001$  (m) pomoću koje se izračunavaju linijski gubitci energije. Zadana je vrijednost kinematičkog koeficijenta viskoznosti tekućine  $\nu=0,00000114$  ( $m^2/s$ ). Za koeficijent lokalnog gubitka energije na ulazu uzeta je vrijednost  $\xi_u=0,50$ .

## 3. Proračun vodospremnika

### 3.1 Postupak proračuna vodospremnika:

Početna razina vode u vodospremniku je  $102$  (m n.m.) za sve varijante proračuna.

1. Jednadžba kontinuiteta za vodospremnik je:

$$A(h) \cdot \frac{dh}{dt} = Q_0 - Q_{pr} - Q_c \quad (1)$$

Nakon separacije varijabli dobije se:

$$dh = \frac{Q_0 - Q_{pr} - Q_c}{A(h)} \cdot dt \quad (2)$$

Numerička integracija mješovitim postupkom daje:

$$h_2 = h_1 + \frac{Q_0(t_1) - Q_{pr}(h_1) - Q_c(h_1)}{A(h_1)} \cdot (1 - \theta) \cdot \Delta t + \frac{Q_0(t_2) - Q_{pr}(h_2) - Q_c(h_2)}{A(h_2)} \cdot \theta \cdot \Delta t \quad (3)$$

Oznaka  $A$  predstavlja površinu spremnika,  $Q_0$  je dotok,  $Q_c$  je protok kroz odvodnu cijev, dok je  $Q_{pr}$  protok preko preljevnog praga, a  $h$  je vodostaj u vodospremniku.

2. Preljevni protok za vodostaj  $h_1$  računa se prema sljedećem:

$$\text{ako je } h_1 > z_{pr}, Q_{pr}(h_1) = m \cdot B_{pr} \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot (h_1 - z_{pr})^{\frac{3}{2}} \quad (4)$$

$$\text{ako je } h_1 = z_{pr}, Q_{pr}(h_1) = 0.00 \quad (5)$$

$$\text{ako je } h_1 < z_{pr}, Q_{pr}(h_1) = 0.00 \quad (6)$$

Za slučaj kada je vodostaj  $h_1$  viši od kote krune preljevnog praga  $z_{pr}$ , koristi se izraz (4). Ako je vodostaj  $h_1$  manji ili jednak koti krune preljevnog praga  $z_{pr}$ , onda ne može doći do prelijevanja vode te vrijede izrazi (5) i (6).

3. Preljevni protok za vodostaj  $h_2$  računa se prema sljedećem:

$$\text{ako je } h_2 > z_{pr}, Q_{pr}(h_2) = m \cdot B_{pr} \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot (h_2 - z_{pr})^{\frac{3}{2}} \quad (7)$$

$$\text{ako je } h_2 = z_{pr}, Q_{pr}(h_2) = 0.00 \quad (8)$$

$$\text{ako je } h_2 < z_{pr}, Q_{pr}(h_2) = 0.00 \quad (9)$$

Za slučaj kada je vodostaj  $h_2$  viši od kote krune preljevnog praga  $z_{pr}$ , koristi se izraz (7). Ako je vodostaj  $h_2$  manji ili jednak koti krune preljevnog praga  $z_{pr}$ , onda ne može doći do prelijevanja vode te vrijede izrazi (8) i (9).

4. Protok kroz cijev za vodostaj  $h_1$ :

$$Q_c(h_1) = \frac{1}{\sqrt{\xi_u + \lambda \cdot \frac{L}{D} + \alpha + \xi_z}} \cdot \sqrt{2 \cdot g(h_1 - z_c)} \cdot \frac{D^2 \cdot \pi}{4} \quad (10)$$

$$\text{ako je } h_1 = z_{dna}, Q_c(h_1) = 0.00 \quad (11)$$

$$\text{ako je } h_1 < z_{dna}, Q_c(h_1) = 0.00 \quad (12)$$

5. Protok kroz cijev za vodostaj  $h_2$ :

$$Q_c(h_2) = \frac{1}{\sqrt{\xi_u + \lambda \cdot \frac{L}{D} + \alpha + \xi_z}} \cdot \sqrt{2 \cdot g(h_2 - z_c)} \cdot \frac{D^2 \cdot \pi}{4} \quad (13)$$

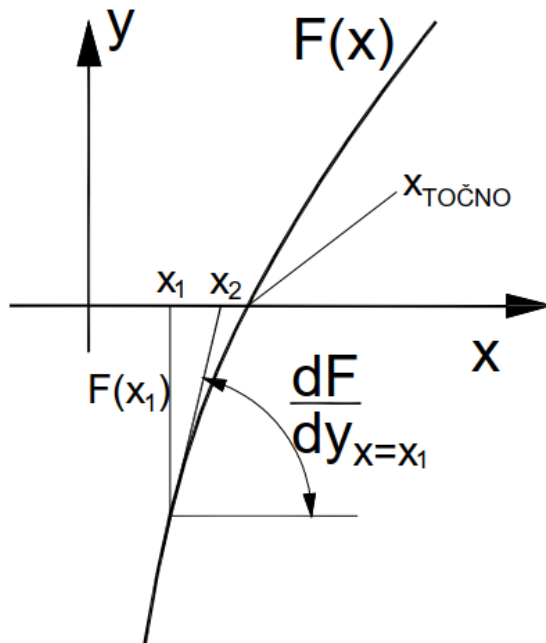
$$\text{ako je } h_2 = z_{dna}, Q_c(h_2) = 0.00 \quad (14)$$

$$\text{ako je } h_2 < z_{dna}, Q_c(h_2) = 0.00 \quad (15)$$

Jednadžba (3) je nelinearna jednadžba s jednom nepoznicom. Traži se  $h_2$  tj. vodostaj na kraju vremenskog intervala.

Primijenit će se Newtonova metoda za rješavanje nelinearnih jednadžbi.

Na slici 3. ukratko je objašnjena Newtonova metoda za rješavanje jedne nelinearne jednadžbe s jednom nepoznicom.



Slika 3. Objašnjenje Newtonove metode

Neka je zadana funkcija  $F(x)$ . Tražimo onaj  $x$  ( $x_{\text{točno}}$ ) za kojeg vrijedi da je  $F(x)=0.0$ . Postupak je takav da se odabere vrijednost  $x_1$ . Za tu vrijednost  $x_1$  izračuna se vrijednost funkcije u toj točki  $F(x_1)$  i vrijednost derivacije u toj točki.

Novu vrijednost za  $x$ , tj.  $x_2$ , koja će biti bliže točnom rješenju, dobit će se iz sljedećeg izraza:

$$(x_2 - x_1) \frac{dF}{dx_{x=x_1}} = -F(x_1) \quad (16)$$

Iz toga slijedi:

$$x_2 = x_1 - \frac{F(x_1)}{\frac{dF}{dx_{x=x_1}}} = -F(x_1) \quad (17)$$

Time je određen postupak postupnog približavanja točnom rješenju.

**Formiranje funkcija F.** Ovdje je nezavisna varijabla vodostaj  $h_2$ .

$$F = h_2 - h_1 - \frac{Q_0(t_1) - Q_{pr}(h_1) - Q_c(h_1)}{A(h_1)} \cdot (1 - \theta) \cdot \Delta t - \frac{Q_0(t_2) - Q_{pr}(h_2) - Q_c(h_2)}{A(h_2)} \cdot \theta \cdot \Delta t = 0 \quad (18)$$

$$Q_C(h_1) = \frac{1}{\sqrt{\xi_{u.} + \lambda \cdot \frac{L}{D} + \alpha + \xi_z}} \cdot \sqrt{2 \cdot g(h_1 - z_c)} \cdot \frac{D^2 \cdot \pi}{4} \quad (19)$$

$$Q_C(h_2) = \frac{1}{\sqrt{\xi_{u.} + \lambda \cdot \frac{L}{D} + \alpha + \xi_z}} \cdot \sqrt{2 \cdot g(h_2 - z_c)} \cdot \frac{D^2 \cdot \pi}{4} \quad (20)$$

$$\text{ako je } h_1 > z_{pr}, Q_{pr}(h_1) = m \cdot B_{pr} \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot (h_1 - z_{pr})^{\frac{3}{2}} \quad (21)$$

$$\text{ako je } h_1 = z_{pr}, Q_{pr}(h_1) = 0.0 \quad (22)$$

$$\text{ako je } h_1 < z_{pr}, Q_{pr}(h_1) = 0.00 \quad (23)$$

$$\text{ako je } h_2 > z_{pr}, Q_{pr}(h_2) = m \cdot B_{pr} \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot (h_2 - z_{pr})^{\frac{3}{2}} \quad (24)$$

$$\text{ako je } h_2 = z_{pr}, Q_{pr}(h_2) = 0.00 \quad (25)$$

$$\text{ako je } h_2 < z_{pr}, Q_{pr}(h_2) = 0.00 \quad (26)$$

Derivacija funkcije F po  $h_2$  je:

$$\frac{dF}{d(h_2)} = 1.0 + \frac{\theta \cdot \Delta t}{A_2} \cdot \left( \frac{dQ_C(h_2)}{d(h_2)} + \frac{dQ_{pr}(h_2)}{d(h_2)} \right) \quad (27)$$

$$\frac{dQ_C(h_2)}{d(h_2)} = \frac{1}{\sqrt{\xi_{u.} + \lambda_2 \cdot \frac{L_1}{D_1} + \alpha}} \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot D_1^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \frac{1}{2 \cdot \sqrt{h_2 - z_c}} \quad (28)$$

$$\text{ako je } h_2 > z_{pr}, \frac{dQ_{pr}(h_2)}{d(h_2)} = m \cdot B_{pr} \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot \frac{3}{2} \cdot (h_2 - z_{pr})^{\frac{1}{2}} \quad (29)$$

$$\text{ako je } h_2 = z_{pr}, \frac{dQ_{pr}(h_2)}{d(h_2)} = 0.00 \quad (30)$$

$$\text{ako je } h_2 < z_{pr}, \frac{dQ_{pr}(h_2)}{d(h_2)} = 0.00 \quad (31)$$

$$h_2^n = h_2 + \Delta h_2 \quad (32)$$

$$h_2^n = h_2 - \frac{F}{\frac{dF}{d(h_2)}} \quad (33)$$

Postupak se ponavlja sve dok prirast  $\left(\frac{F}{\frac{dF}{d(h_2)}}\right)$  po apsolutnoj vrijednosti ne bude manji od zadane točnosti.

Kad se to postigne ide se na novi vremenski interval.

### 3.2. Rezultati proračuna vodostaja u vodospremi

Rezultati su dobiveni rješenjem nelinearne jednačbe opisane u točki 3.1. Rješenje je provedeno u programu “ Microsoft Excel” na sljedeći način:

Numeričkom integracijom mješovitim postupkom dobiveni su podaci o razini vode u vodospremniku, dotoku u vodospremnik, protoku kroz kratku cijev, te preljevnom protoku, ovisno o vremenu. Odabrani su parametri promjera i duljine izlazne cijevi, funkcija dotoka u vodospremnik, te širina preljevno praga za čije su varijacije proračunate razine vode u vodospremnika u funkciji vremena.

U poglavlju 3.3 prvo će se grafički prikazati definirane dotoke u vremenu ( $Q_{0,1}$ ,  $Q_{0,2}$ ,  $Q_{0,3}$ ), a zatim i rezultate analize sustava za različite parametre.

### 3.3. Grafički prikaz rezultata proračuna

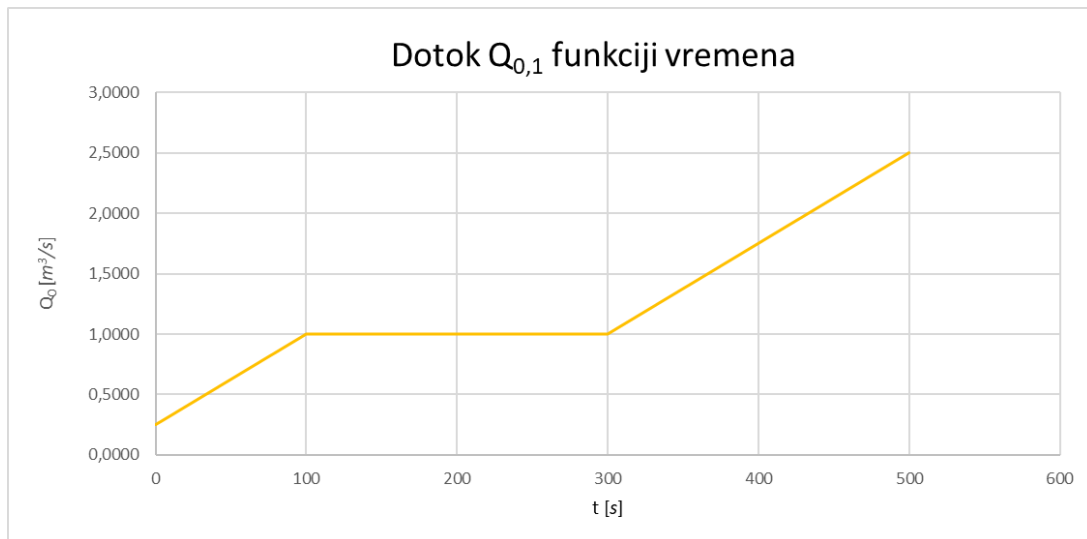
Sustav je analiziran za tri različite varijante dotoka u funkciji vremena. Prva varijanta se odnosi na dotok  $Q_{0,1}$  u funkciji vremena. On predstavlja smanjeni dotok u funkciji vremena u odnosu na zadani dotok u funkciji vremena ( $Q_{0,2}$ ). Varijanta 2 odnosi se na zadani dotok u funkciji vremena  $Q_{0,2}$ , dok dotok u funkciji vremena  $Q_{0,3}$  predstavlja uvećani dotok u odnosu na zadani u funkciji vremena. Vrijednosti za posljednju varijantu su odabrane tako da se ostvari prelijevanje preko preljeva, budući da se za zadani dijagram dotoka prelijevanje nije ostvarilo.

### 3.3.1. Varijanta 1 za dotok u funkciji vremena $Q_{0,1}$

U Varijanti 1 analiziran je utjecaj promjene širine preljevnog praga na funkcioniranje vodospremnika, za dotok  $Q_{0,1}$ .

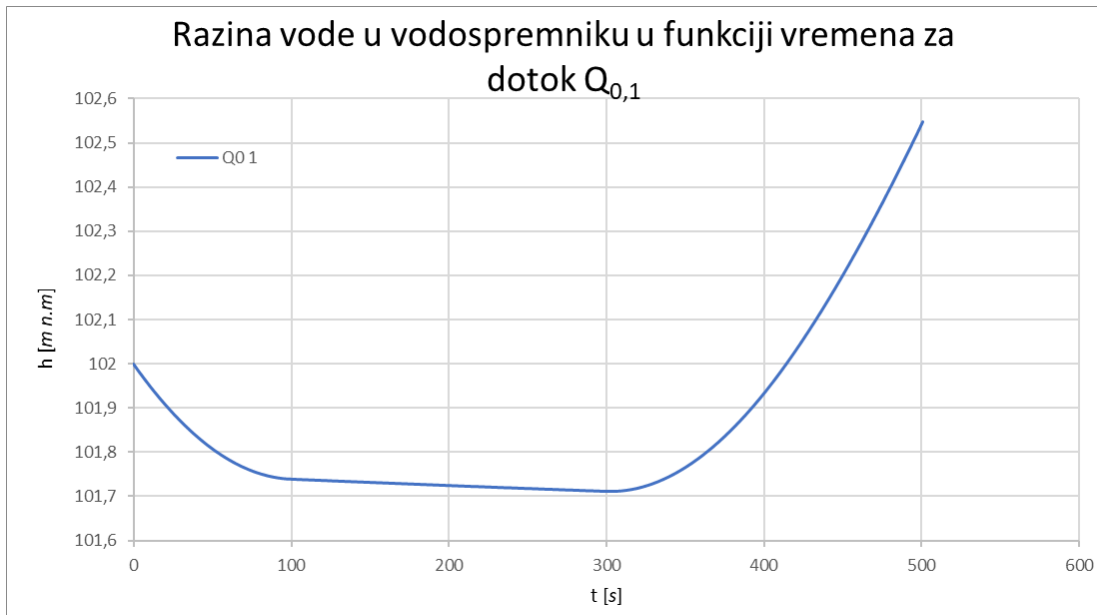
Kod analize utjecaja širine preljevnog praga zadržani su svi ostali parametri jednaki zadanim. To znači da je promjer cijevi  $D=0.5$  (m), duljina cijevi  $L=100$  (m), početni vodostaj u vodospremniku je 102 (m n.m.), te geometrija vodospremnika jednaka zadanoj (tablice na stranicama 5 i 6 ovog rada).

Na slici 4. grafički je prikazan dotok  $Q_{0,1}$  u funkciji vremena. Dotok se do 100-te sekunde linearno povećava, zatim se do 300-te sekunde održava konstantnim, pa se ponovno do 500-te sekunde linearno povećava. Vizualno se dobiva ista krivulja za sve dotoke u funkcijama vremena, jer je zadani dotok pomnožen s konstantnom. Za prvu varijantu, konstanta je iznosila 0.5. Dakle svi dotoci su 2 puta manji od zadanih u svakom trenutku.



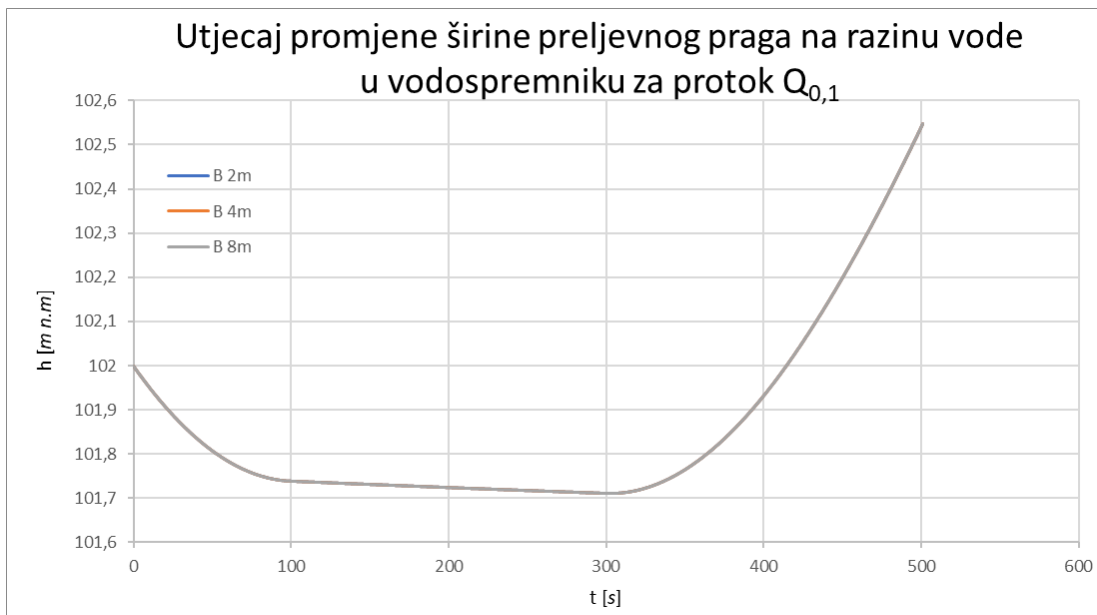
Slika 4. Dotok  $Q_{0,1}$  funkciji vremena

Na slici 5. prikazana je razina vode u vodospremniku u funkciji vremena za dotok  $Q_{0,1}$ . Iz prethodnog grafa vidljivo je da nakon 300-te sekunde dotok počinje ponovno rasti. Na slici ispod zamjećujemo da razina vode u vodospremniku počinje rasti tek iza 310-te sekunde što znači da se tek tada protok izjednačava sa protokom kroz cijev.



Slika 5. Razina vode u vodospremniku u funkciji vremena za dotok  $Q_{0,1}$

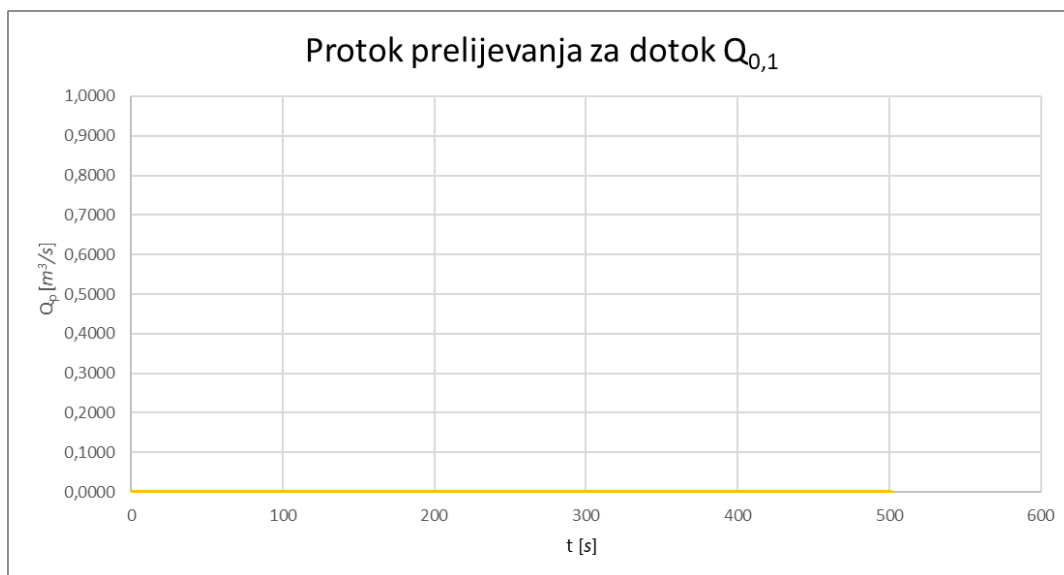
Na slici 6. prikazan je utjecaj širine preljeva „B“ na razinu fluida u spremniku za protok  $Q_{0,1}$ . S obzirom da se krivulje preklapaju zaključuje se da nema prelijevanja.



Slika 6. Utjecaj promjene širine preljevnog praga 2 (m), 4(m), 8(m) na razinu vode u vodospremniku za protok  $Q_{0,1}$



Na slici 7. prikazan je protok prelijevanja za dotok  $Q_{0,1}$ . Ovaj graf je dokaz onoga što je prije zaključeno, a to je da nema prelijevanja.



Slika 7. Protok prelijevanja za dotok  $Q_{0,1}$

### 3.3.2. Varijanta 2 za dotok u funkciji vremena $Q_{0,2}$

U varijanti 2 analiziran je utjecaj promjene širine preljevnog praga, utjecaj promjene duljine cijevi, te utjecaj promjene promjera cijevi na funkcioniranje vodospremnika.

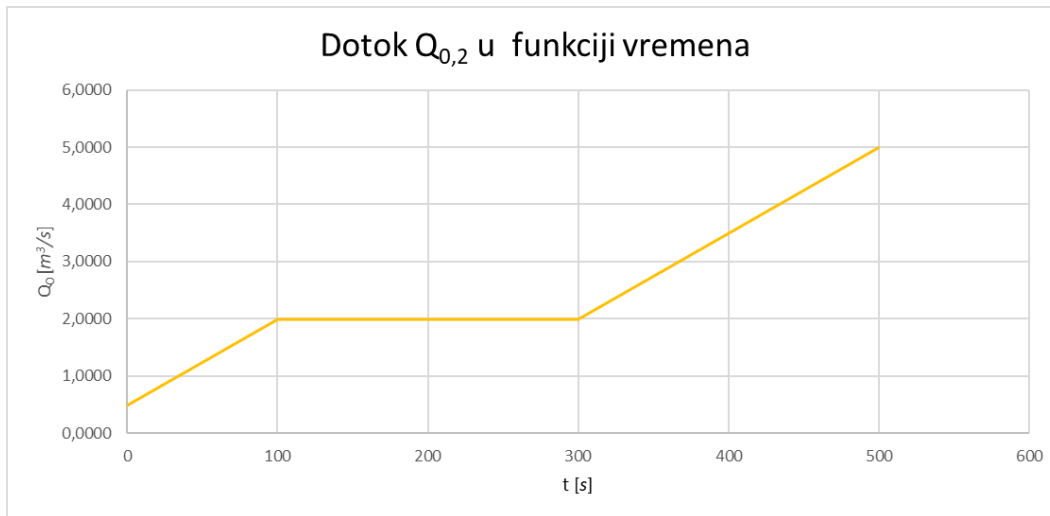
Kod analize utjecaja promjene širine preljevnog praga zadržani su svi ostali parametri jednaki zadanima. To znači da je promjer cijevi  $D=0.5$  (m), duljina cijevi  $L=100$  (m), početni vodostaj u vodospremniku je 102 (m n.m.), te geometrija vodospremnika jednaka zadanoj (tablice na stranicama 5 i 6 ovog rada).

Kod analize utjecaja promjene duljine cijevi zadržani su svi ostali parametri jednaki zadanima. To znači da je promjer cijevi  $D=0.5$  (m), širina preljevnog praga  $B=4$  (m), početni vodostaj u vodospremniku je 102 (m n.m.), te geometrija vodospremnika jednaka zadanoj (tablice na stranicama 5 i 6 ovog rada).

Kod analize utjecaja promjene promjera cijevi zadržani su svi ostali parametri jednaki zadanima. To znači da je širina preljevnog praga  $B=4$  (m), duljina cijevi  $L=100$  (m), početni vodostaj u vodospremniku je 102 (m n.m.), te geometrija vodospremnika jednaka zadanoj (tablice na stranicama 5 i 6 ovog rada).

Druga varijanta se odnosi na zadani protok u funkciji vremena:  $Q_{0,2}$ . Na slici 8. grafički je prikazan dotok  $Q_{0,2}$  u funkciji vremena. Kako je već prethodno spomenuto, vizualno krivulja izgleda isto kao i prethodna, ali su dotoci 2 puta veći za svaki trenutak.

U nastavku će se analizirati sustav mijenjajući parametre elemenata sustava (promjer i duljinu cijevi, širinu kanala,..) zadržavajući dotok u funkciji vremena konstantnim.



Slika 8. Dotok  $Q_{0,2}$  u funkciji vremena

Na slici 9. prikazana je razina vode u vodospremniku u vremenu za dotok  $Q_{0,2}$ . Promjer odvodne cijevi iznosi 0.5 (m), a duljina cijevi iznosi 100 (m). Iz prethodnog grafa vidljivo je da nakon 300-te sekunde dotok ponovno počinje rasti. Na slici ispod zamjećuje se da razina vode u vodospremniku počinje rasti iza 800-te sekunde što znači da se već tada protok izjednačava sa protokom kroz cijev.



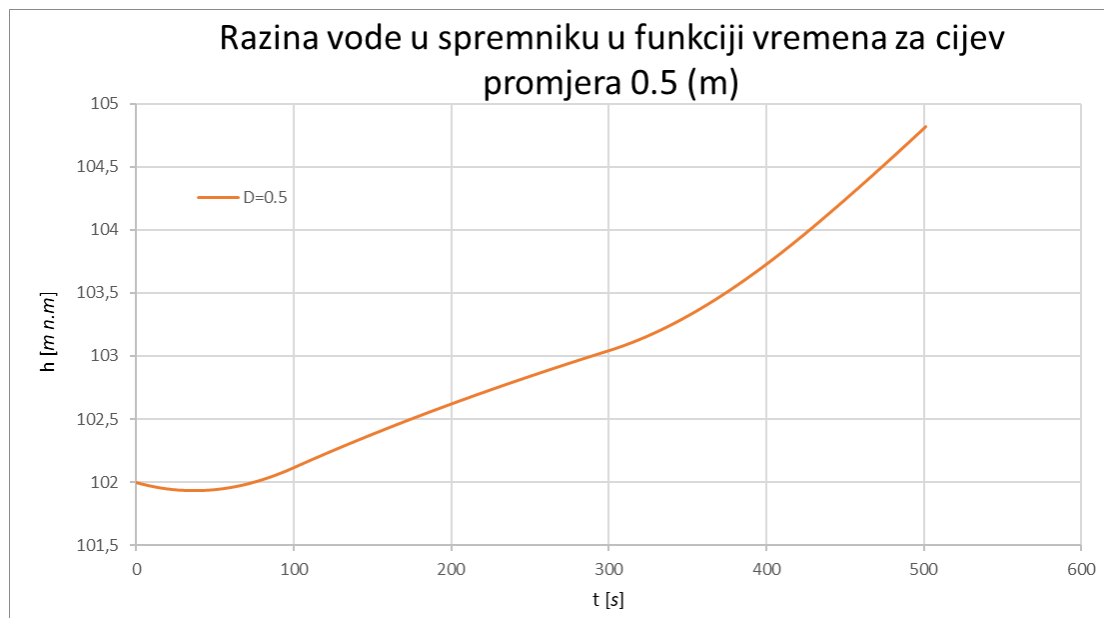
Slika 9. Razina vode u vodospremniku u funkciji vremena za dotok  $Q_{0,2}$

Na slici 10. prikazana je razina vode u vodospremniku u funkciji vremena za cijev promjera 0.3 (m), duljine cijevi od 100 (m). Na samome grafu je vidljivo da je početni vodostaj na koti 102 (m n.m.), a završava na koti 105,53 (m n.m.), dakle dolazi do minimalnog prelijevanja u samom kraju simulacije.



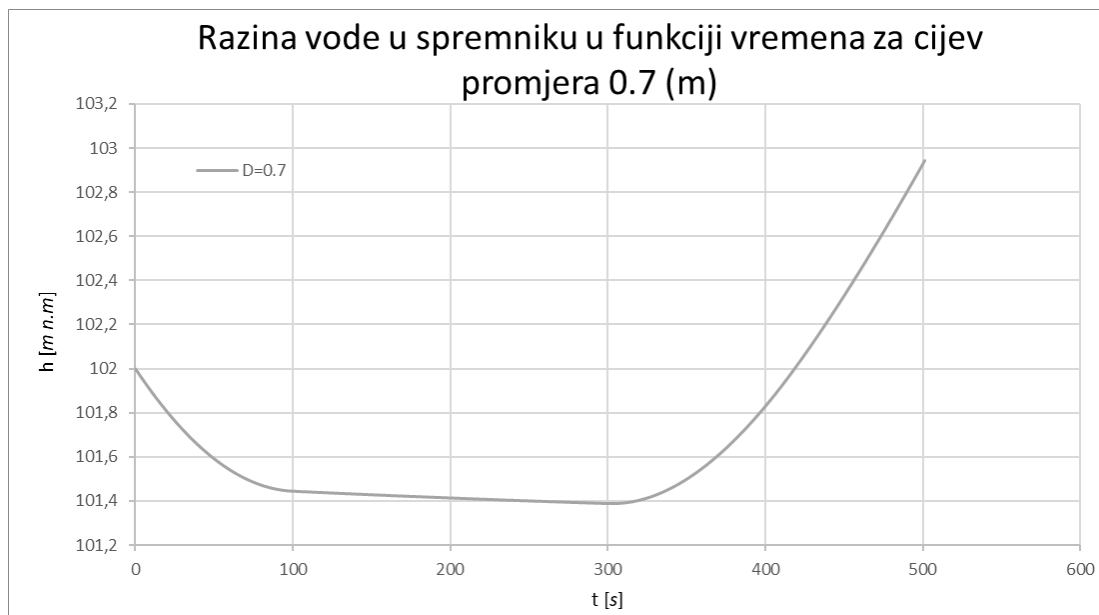
Slika 10. Razina vode u vodospremniku u funkciji vremena za cijev promjera 0.3 (m), duljine cijevi od 100 (m)

Na slici 11. prikazana je razina vode u vodospremniku u funkciji vremena za cijev promjera 0.5 (m), duljine cijevi od 100 (m). Na samome grafu je vidljivo da je početni vodostaj na koti 102 (m n.m.), a razina vode završava na koti 104,56 (m n.m.). Za razliku od prethodne varijacije promjera cijevi ne dolazi do prelijevanja u samom kraju simulacije.



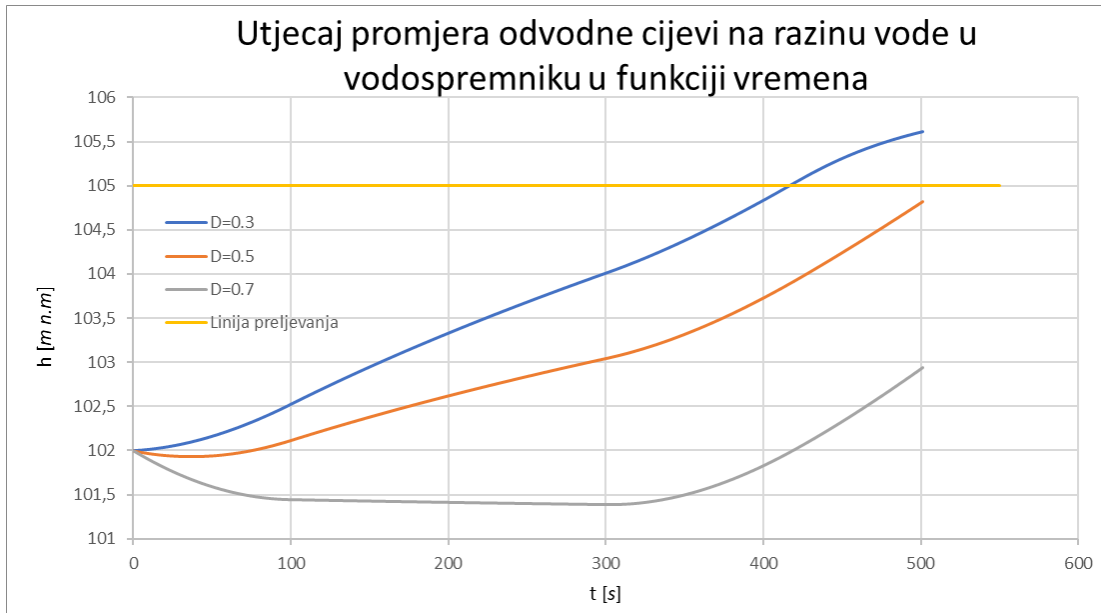
Slika 11. Razina vode u spremniku u funkciji vremena za cijev promjera 0.5 (m), duljine cijevi od 100 (m)

Na slici 12. prikazana je razina vode u vodospremniku u funkciji vremena za cijev promjera 0.7 (m), duljine cijevi od 100 (m). Na samome grafu je vidljivo da je početni vodostaj 102 (m n.m.), a razina vode završava na koti 102,87 (m n.m.). Zanimljivo je primijetiti da je razina vode u vodospremniku između 100-te i 310-te sekunde gotovo konstantna, što znači da je dotok približno jednak protoku kroz cijev u tom intervalu. Nakon povećanja dotoka u 300-toj sekundi počinje rasti razina vode u vodospremniku.



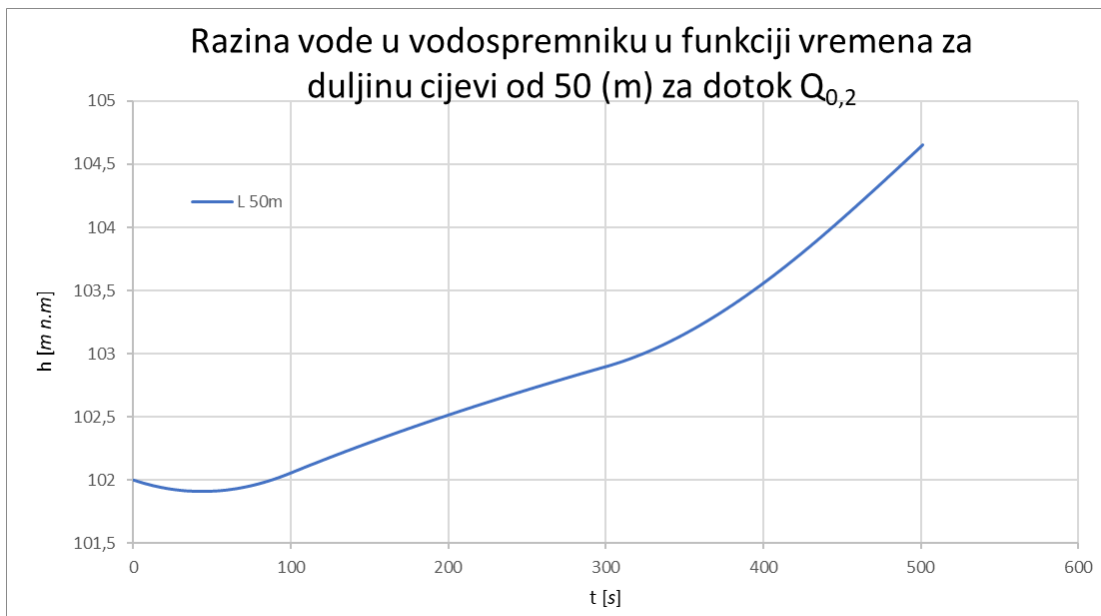
Slika 12. Razina vode u spremniku u funkciji vremena za cijev promjera 0.7 (m), duljine cijevi od 100 (m)

Konačno na slici 13. prikazana su sva tri dijagrama zajedno sa promjerima 0.3 (m), 0.5 (m) i 0.7 (m) da bi se bolje uočile različitosti. Za manji promjer cijevi je i manji protok kroz odvodnu cijev, a samim time i veća razina vode u vodospremniku, dok su za veće promjere veći protoci kroz cijev i manja je razina vode u vodospremniku. Na grafu je prikazana i linija prelijevanja, koja jasnije prikazuje da jedino za promjer cijevi  $D=0.3\text{m}$  dolazi do prelijevanja iz vodospremnika.



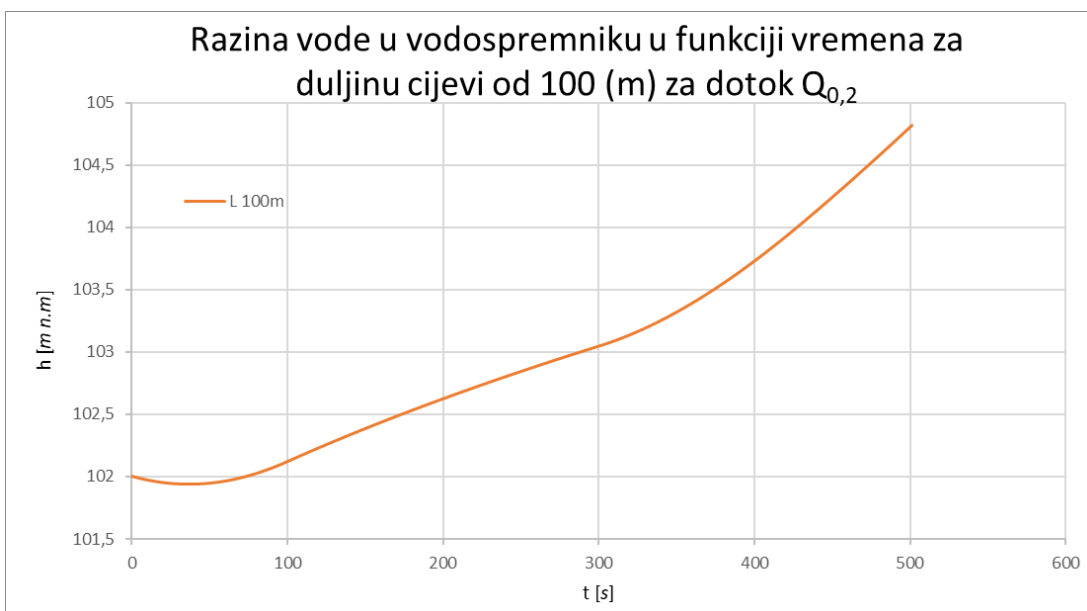
Slika 13. Utjecaj promjera odvodne cijevi na razinu vode u vodospremniku u funkciji vremena

Na slici 14. prikazana je razina vode u vodospremniku u funkciji vremena za duljinu cijevi od 50 (m).



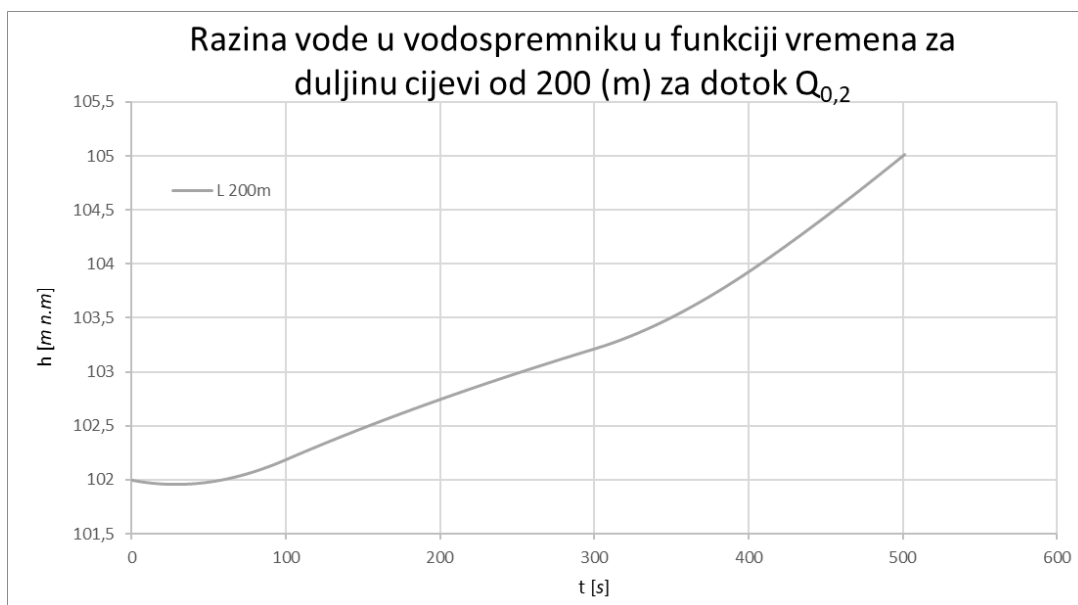
Slika 14. Razina vode u vodospremniku u funkciji vremena za duljinu cijevi od 50 (m)

Na slici 15. prikazana je razina vode u vodospremniku u funkciji vremena za duljinu cijevi od 100 (m).



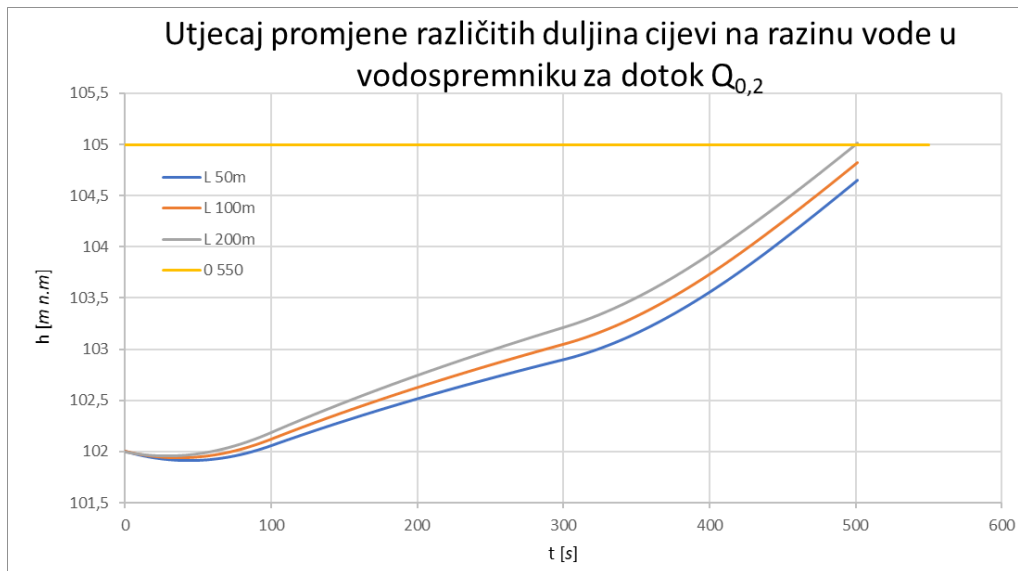
Slika 15. Razina vode u vodospremniku u funkciji vremena za duljinu cijevi od 100 (m)

Na slici 16. prikazana je razina vode u vodospremniku u funkciji vremena za duljinu cijevi od 200 (m). Za razliku od prethodna dva grafa, vidimo da za ovu varijaciju duljine cijevi dolazi do prelijevanja u samom kraju simulacije.



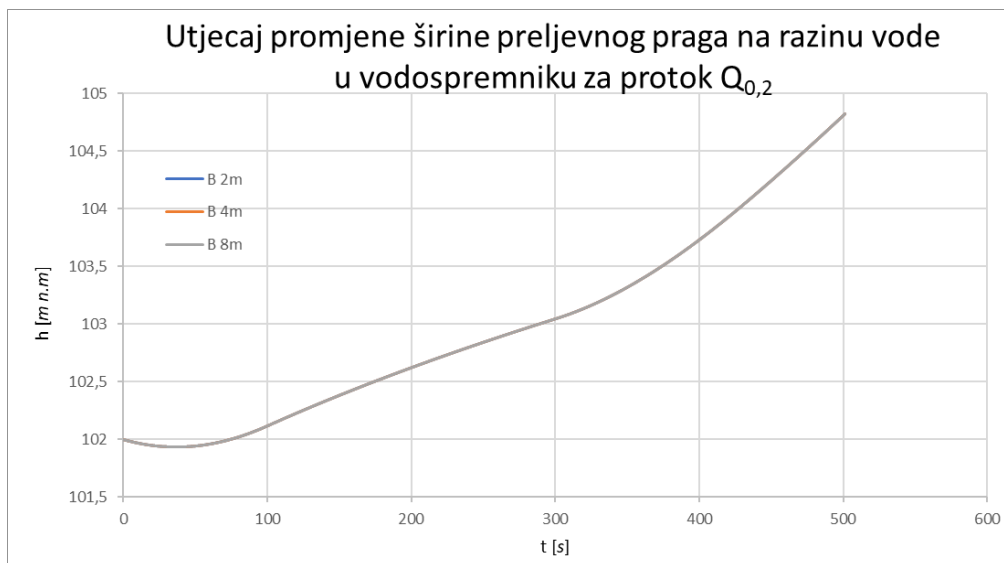
Slika 16. Razina vode u vodospremniku u funkciji vremena za duljinu cijevi 200 (m)

Na slici 17. prikazana je razina vode u vodospremniku u funkciji vremena duljine cijevi  $L=50$  (m),  $L=100$  (m),  $L=200$  (m), a zadanog promjera cijevi  $D=0.5$  (m). Zbog linijskih gubitaka u cjevovodu koji su proporcionalni duljini cijevi, uočeno je da je razina vode u vodospremniku u funkciji vremena niža za kraće cijevi, a viša za duže cijevi. Vidljiva je krivulja prelijevanja koja siječe krivulju  $L=200$  (m) u samom kraju simulacije, što znači da dolazi do prelijevanja za tu varijaciju duljine cijevi.



Slika 17. Utjecaj promjene različitih duljina cijevi ( $L=50$  (m),  $L=100$  (m),  $L=200$  (m), a promjera cijevi  $D=0.5$  (m)) na razinu vode u vodospremniku

Na slici 18 prikazan je utjecaj širine preljevnog praga „B“ za dotok  $Q_{0,2}$ . Kao i za dotok  $Q_{0,1}$  sve krivulje se poklapaju, što ponovno navodi na zaključak da nema prelijevanja u čitavom promatranom vremenskom intervalu. Valja napomenuti da su sve vrijednosti jednake početnima, a varira se samo širina preljevnog praga „B“.



Slika 18. Utjecaj promjene širine preljevnog praga 2 (m), 4(m), 8(m) na razinu vode u vodospremniku za protok  $Q_{0,2}$

Slika 19. potvrđuje prethodni zaključak, gdje je vidljivo da u čitavom promatranom vremenskom intervalu protok prelijevanja je jednak nuli (ne postoji).



Slika 19. Protok prelijevanja za dotok  $Q_{0,2}$

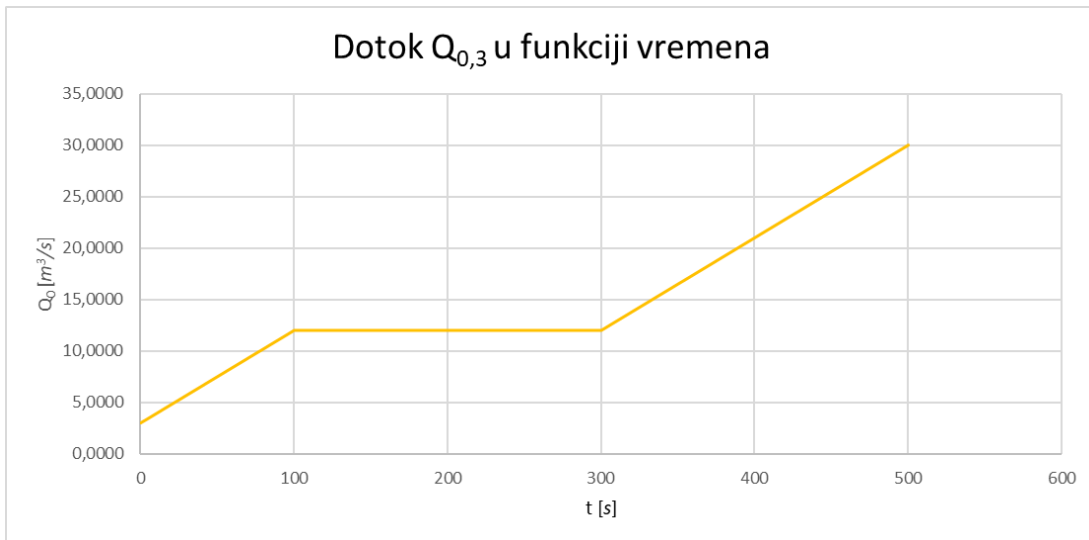
### 3.3.3. Varijanta 3 za dotok u funkciji vremena $Q_{0,3}$

U varijanti 3 analiziran je utjecaj promjene širine preljevnog praga, grafički je prikazan dijagram dotoka u funkciji vremena, razina vode u vodospremniku u funkciji vremena, te protok prelijevanja za dotok  $Q_{0,3}$ .

Kod analize utjecaja promjene širine preljevnog praga zadržani su svi ostali parametri jednaki zadanima. To znači da je promjer cijevi  $D=0.5$  (m), duljina cijevi  $L=100$  (m), početni vodostaj u vodospremniku je 102 (m n.m.), te geometrija vodospremnika jednaka je zadanoj (tablice na stranicama 5 i 6 ovog rada).

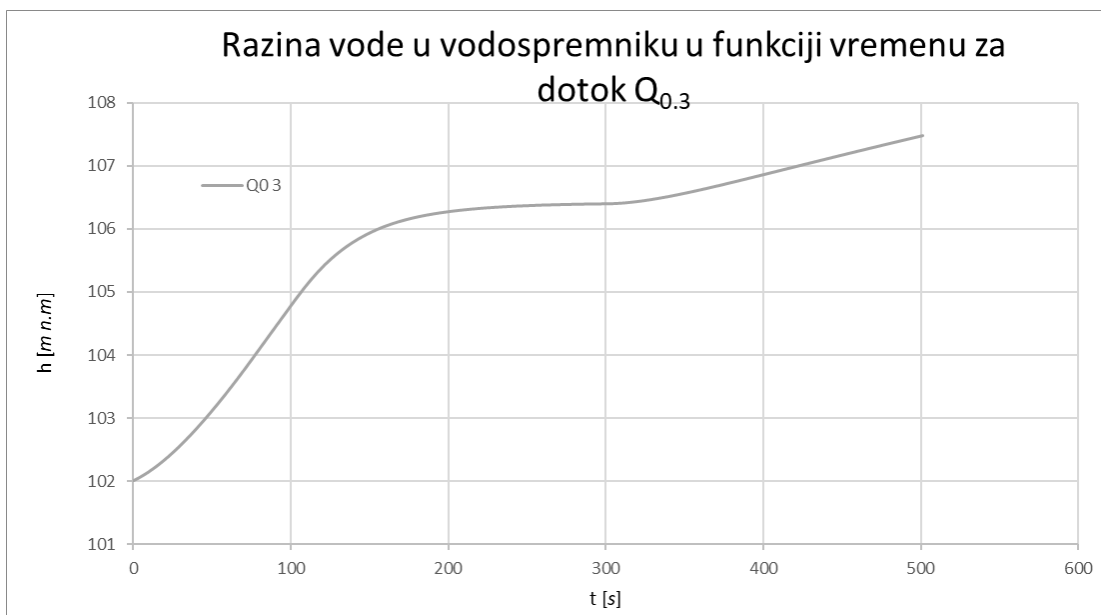
Treća varijanta odnosi se na dotok u funkciji vremena  $Q_{0,3}$ . Konstanta s kojom je pomnožen zadani dotok jednaka je broju 6. To znači da je dotok u svakom trenutku 6 puta uvećan u odnosu na zadani.





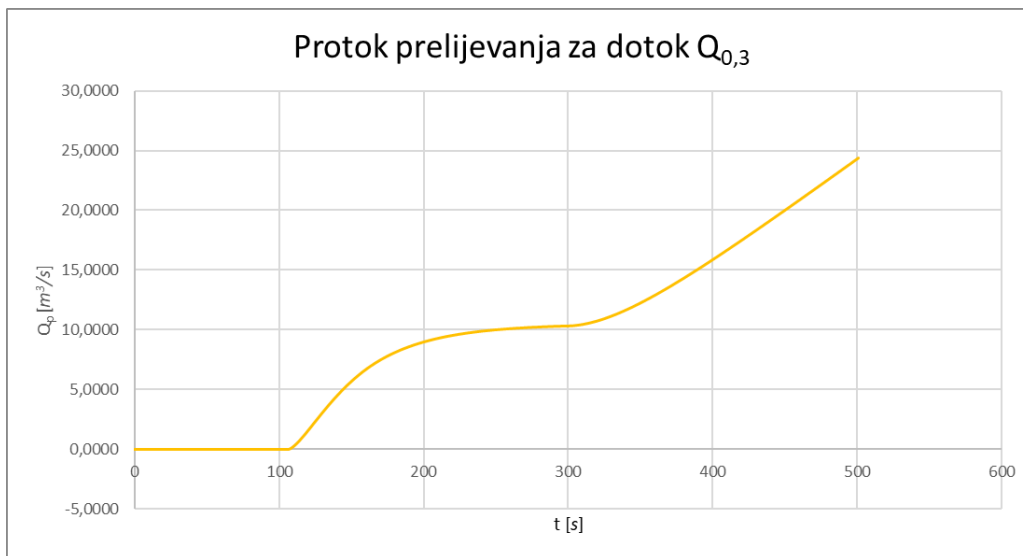
Slika 20. Dotok  $Q_{0,3}$  u funkciji vremena

Na slici 21. prikazana je razina vode u vodospremniku u vremenu za dotok  $Q_{0,3}$ . Iz prethodnog grafa vidljivo je da nakon 300-te sekunde dotok počinje ponovno rasti. Na slici ispod vidljivo je da razina vode u vodospremniku ima stalnu tendenciju rasta, te oblikom podsjeća na prethodni graf. Do prelijevanja dolazi oko 110-te sekunde u sve do kraja simulacije prelijevanje se održava.



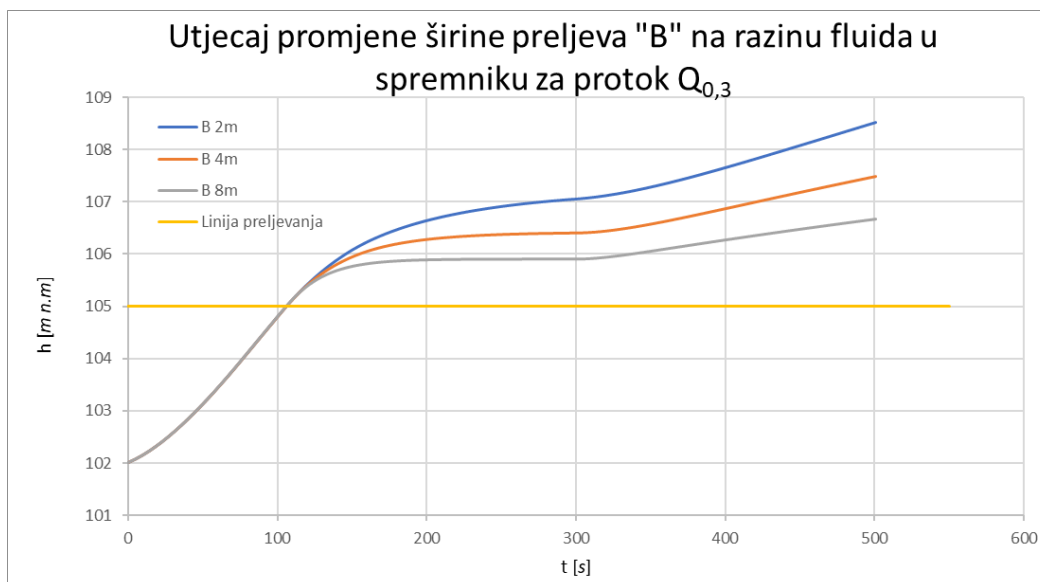
Slika 21. Razina vode u vodospremniku u funkciji vremena za dotok  $Q_{0,3}$

Na slici 22. prikazan je protok prelijevanja za dotok  $Q_{0,3}$ . Vidljivo je da nema prelijevanja do 110-te sekunde, kada uslijed povećanja vode u vodospremniku i prelaženja razine preljevnog praga (105 m n.m.), dolazi do prelijevanja.



Slika 22. Protok prelijevanja za dotok  $Q_{0,3}$

Na slici 23. prikazan je utjecaj promjene širine preljevnog praga „B“ na razinu fluida u spremniku za protok  $Q_{0,3}$ . Za razliku od prethodna dva dotoka, ovdje je vidljiva razlika za pojedine širine preljevnog praga. Zaključak je da postoji prelijevanje za ovaj dotok. Također je prikazan trenutak u kojem počinje prelijevanje. Grafički je to približno vidljivo kao početak odvajanja pojedinih, odnosno na 110-toj (s) od početka vremenskog intervala. Grafički je precizno moguće odrediti trenutak prelijevanja kao sjecište linije prelijevanja i pojedinih krivulja. Također zaključeno je da za širi preljevni prag imamo manju razinu vode, ili stabilniju razinu vode u vodospremniku, dok kod užih se razina povećava s većim nagibom pravca.



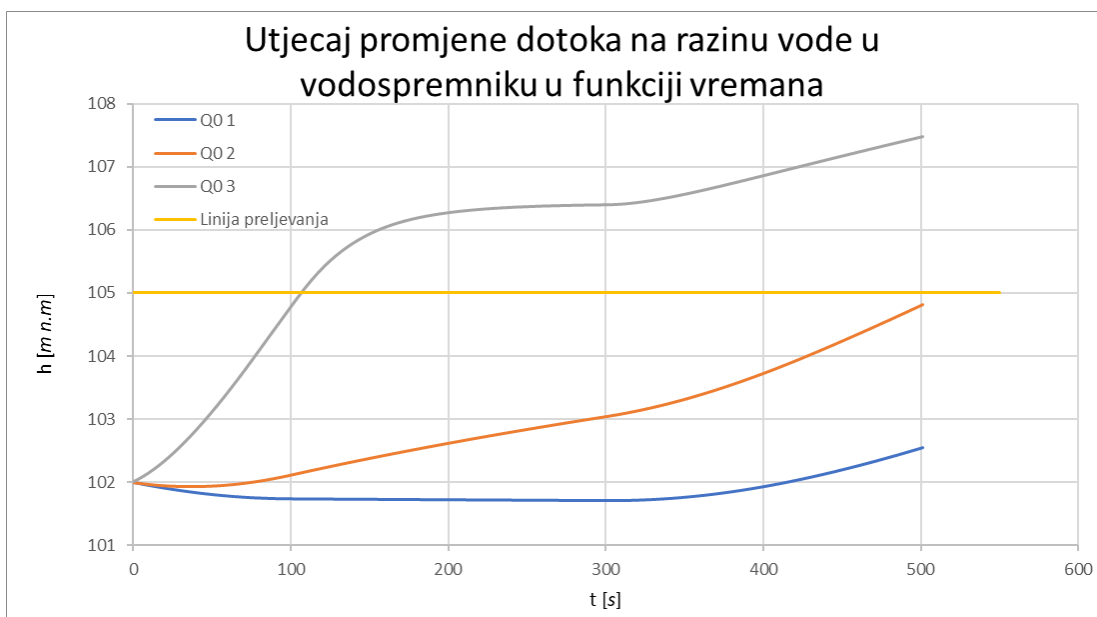
Slika 23. Utjecaj promjene širine preljevnog praga 2 (m), 4(m), 8(m) na razinu vode u vodospremniku za protok  $Q_{0,3}$

### 3.3.4. Skupni rezultat svih varijacija

Za kraj izdvojen je graf vidljiv na slici 24. na kojem se vide razlike između pojedinih razina vode u vodospremniku u funkciji vremena za različite dotoke. Uočljivo je da za dotok  $Q_{0,3}$  imamo konstantan rast razine vode u vodospremniku i najviše razine vode u vodospremniku u vremenu.

Također vidljiva je sličnost krivulja za dotoke  $Q_{0,1}$  i  $Q_{0,2}$ . Njihova sličnost je posljedica istog fizikalnog modela, gdje nema prelijevanja vode iz vodospremnika. Odnosno obje krivulje su u cijelom intervalu simulacije ispod linije prelijevanja.

Vidljiva je krivulja prelijevanja koju presijeca krivulja  $Q_{0,3}$  što znači da dolazi do prelijevanja u točki sjecišta. To je trenutak  $t=110$  (s).



Slika 24. Utjecaj promjene dotoka  $Q_{0,1}$ ,  $Q_{0,2}$ ,  $Q_{0,3}$  na razinu vode u vodospremniku u funkciji vremena

## 4. Zaključak

Promatrani vodospremnik karakteriziraju četiri glavna elementa: geometrija cijevi, geometrija spremnika, geometrija prelijevanog praga, samog dotoka te nekoliko konfiguracijskih parametara numeričke metode (npr. vremenski korak). Korištena je metoda numeričke integracije mješovitim postupkom koja je objašnjena u prethodnom poglavlju, s kojom je simuliran sustav.

Sama geometrija vodospremnika i vremenski korak metode je konstantan dok su se mijenjali utjecajni parametri kao što su promjer i duljina cijevi, dotok u funkciji vremena i širina prelijevanog praga.

Na slikama 10, 11 i 12 prikazana je simulacija razine vode u spremniku za različite promjere cijevi, redom  $D=0.3$ ,  $D=0.5$ ,  $D=0.7$ . Na slici 13. prikazane su sve varijante zajedno gdje su vidljive razlike između krivulja. Nakon 300-te sekunde zbog tako definirane funkcije dotoka, praćeni dotok se naglo povećava. To rezultira punjenjem vodospremnika za sva tri različita promjera ispusne cijevi nakon tog trenutka. Do tog trenutka vidljiva je razlika za svaki promjer pa tako za najveći promjer uočljivo je pražnjenje vodospremnika, za početni promjer linearno punjenje, dok za najmanji promjer funkcija je približno linearna sa većim koeficijentom nagiba. Zaključak je da je do tog trenutka protok kroz cijev za najveći promjer veći od zadanog dotoka.

Analizom sustava za zadanu funkciju dotoka sa slike 19 uočljivo je da nema prelijevanja, tj. protok prelijevanja je jednak 0 u svim trenucima. Kao što je bilo za očekivati kada se protoci u funkciji dotoka smanje, prelijevanja nema kao što je prikazano na slici 7. Tek za protoke povećane šest puta u odnosu na zadane (dotok  $Q_{0,3}$ ) dolazi do prelijevanja (slika 22.).

Upravo zbog dijagrama koji je prethodno objašnjen pri analizi utjecaja promjene širine prelijevanog praga za protoke  $Q_{0,1}$  i  $Q_{0,2}$  krivulje se preklapaju u svim točkama. Preklapanja se mogu vidjeti na slikama 6 i 18. Obzirom na prethodne zaključke očekivan je utjecaj širine prelijevanog praga na razinu vode u vodospremniku u funkciji vremena za protok  $Q_{0,3}$ . Vidljivo je da u trenutku  $t=110$  (s) dolazi do presijecanja krivulja s linijom prelijevanja što znači da dolazi do prelijevanja u tom trenutku, a što je vidljivo na slici 23. Što su širi pragovi to je prelijevanje veće, a razina vode u vodospremniku konstantnija u funkciji vremena.

## **5. Literatura**

- [1] V. Jović; Osnove hidromehanike
- [2] D. Bojanić; Materijali sa predavanja