

Hidraulička analiza funkcioniranja vodospremnika s preljevom i ispustom za vremenski promjenjiv dotok

Galić, Mila

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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:123:303022>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-09-19**



Repository / Repozitorij:

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



UNIVERSITY OF SPLIT



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I
GEODEZIJE

ZAVRŠNI RAD

Mila Galić

Split, srpanj 2021.

SVEUČILIŠTE U SPLITU
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

**Hidraulička analiza funkcioniranja vodospremnika
s preljevom i ispustom za vremenski promjenjiv dotok**

Završni rad

SVEUČILIŠTE U SPLITU

FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Split, Matice hrvatske 15

STUDIJ: **PREDDIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ
GRAĐEVINARSTVA**

KANDIDAT: **Mila Galić**

BROJ INDEKSA: **4564**

KATEDRA: **Katedra za hidromehaniku i hidrauliku**

PREDMET: **Hidromehanika**

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Tema: Hidraulička analiza funkcioniranja vodospremnika s preljevom i ispustom za vremenski promjenjiv dotok

Opis zadatka: Potrebno je izvesti proračun razine vodostaja ovisno o vremenu, te ga riješiti preko numeričke integracije mješovitim postupkom.

Zadatak treba riješiti za 3 različite širine preljeva, te istražiti utjecaj veličine vremenskog koraka na kvalitetu rješenja.

Rezultate prikazati grafički i tablično (proračun provesti u EXCELL-u)

U Splitu, 15. lipnja 2021.

Voditelj Završnog rada:

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

IZJAVA

Završni rad sam izradila samostalno, u suradnji s mentorom poštivala sam sve građevinske propise iz područja građevinarstva. Fakultet građevinarstva arhitekture i geodezije polaže sva prava intelektualnog vlasništva na ovaj rad.

Mila Galić

U Splitu, _____ 2021.

Zahvaljujem se svim djelnicima Fakulteta Građevinarstva, arhitekture i geodezije u Splitu, te se posebno zahvaljujem mentoru doc.dr.sc. Davoru Bojaniću na korisnim savjetima, ukazanoj podršci i velikom razumijevanju .

Veliko hvala svim mojim prijateljima, kolegama, planinarima bez kojih sve ove godine nebi bile iste.

Na kraju, želim se zahvaliti trima najvažnijim osobama majci, ocu i sestri bez čije podrške i ljubavi ne bih bila ovdje danas. Naučili su me kako da budem jaka, odlučna, neovisna, čvrstog stava i karaktera, te ono najvažnije da ulagati u sebe znači ulagati u svoje obrazovanje.

Hidraulička analiza funkcioniranja vodospremnika s preljevom i ispustom za vremenski promjenjiv dotok

Sažetak:

U ovom radu je, za zadani otvoreni vodospremnik s preljevom i ispustom, izvršen proračun razine vode u vodospremniku u funkciji vremena, numeričkom integracijom mješovitim postupkom.

Zadatak je riješen za 3 različite širine preljeva te je istražen utjecaj veličine vremenskog koraka na kvalitetu rješenja.

Ključne riječi:

Vremenski promjenjiv dotok, numerička integracija, mješoviti postupak, otvoreni spremnik, preljev...

The hydraulic analysis of reservoir functioning with overflow and discharge for a time-varying inflow

Abstract:

In this paper, for a given open reservoir with overflow and discharge, the water level is calculated depending on the time by numerical integration by a mixed procedure.

The problem was solved for 3 different overflow widths and the influence of the time step size on the solution quality was investigated.

Key words: time-varying inflow, numerical integration, mixed process, open tank, overflow...

SADRŽAJ

1. Zadatak za završni rad:	8
2. Tehnički opis:.....	10
2.1. Uvod:.....	10
2.2. Značajne geometrijske i hidrauličke karakteristike.....	10
3. Proračun vodospremnika:	11
3.1. Postupak proračuna vodospremnika:	11
3.2. Rezultati proračuna vodostaja u vodospremi	14
3.2.1. Rezultati za zadane širine preljevnih pragova.....	14
3.3. Grafički prikaz rezultata.....	24
4. Utjecaj vremenskog koraka.....	27
5. Zaključak :	29
6. Literatura :.....	29

Popis slika :

Slika 1 Zadani vodospremnik s ispusnom cijevi i preljevom	10
Slika 2 Realizacija Newtonove metode	12
Slika 3 Prikaz vodostaja za B_1, B_2, B_3	24
Slika 4 Prikaz dotoka, protoka kroz kratku cijev i preljevnog protoka za širinu preljevnog praga $B=2m$ ovisno o vremenu.....	24
Slika 5 Prikaz dotoka, protoka kroz kratku cijev i preljevnog protoka za širinu preljevnog praga $B=3m$ ovisno o vremenu.....	25
Slika 6 Prikaz dotoka , protoka kroz kratku cijev i preljevnog protoka za širinu preljevnog praga $B=4m$ ovisno o vremenu.....	25
Slika 7 Prikaz dotoka za sve širine preljevnog praga ovisno o vremenu	26
Slika 8 Prikaz protoka kroz kratku cijev za sve širine preljevnog praga ovisno o vremenu.....	26
Slika 9 Prikaz preljevnog protoka za sve širine preljevnog praga ovisno o vremenu.....	27
Slika 10 Prikaz vodostaja za $B=2m$ za različite vremenske korake.....	27
Slika 11 Prikaz protoka kroz kratku cijev $B=2m$ za različite vremenske korake	28
Slika 12 Prikaz preljevnog protoka $B=2m$ za različite vremenske korake	28

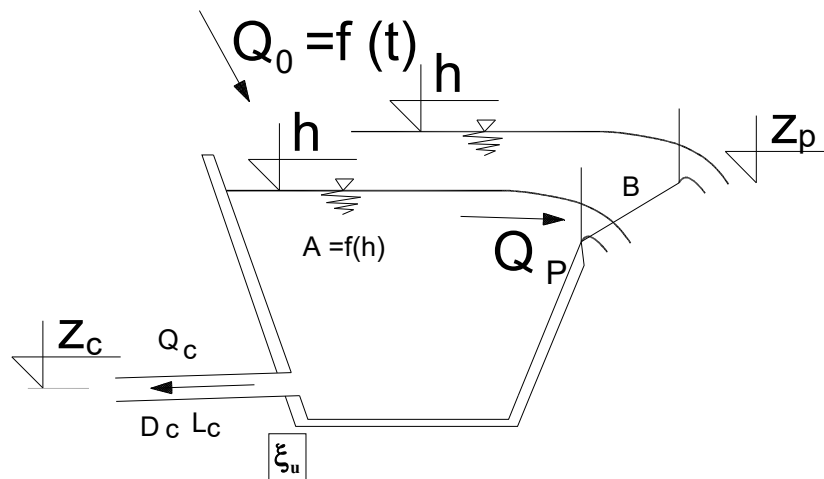
1. Zadatak za završni rad:

Zadan je otvoreni spremnik čija je površina promjenjiva ovisno o vodostaju u njemu. U spremnik se ulijeva protok vode koji je funkcija vremena. Iz spremnika voda istječe slobodno u atmosferu kroz kratku cijev. Na spremniku, na koti z_p postoji preljev širine B_p . Preko preljeva se prelijeva višak vode iz spremnika.

Studentica će postaviti sve potrebne jednadžbe koje opisuju zadani problem. Zadatak će riješiti numeričkom integracijom mješovitim postupkom.

Zadatak treba riješiti za 3 varijante širine preljeva. Potrebno je analizirati utjecaj veličine vremenskog koraka na kvalitetu rješenja.

Za rješavanje koristiti tablični kalkulator (EXCELL). Rezultate prikazati grafički i tablično.



Slika 1. Vodospremnik s preljevom i ispustom

Zadano je:

Površina vodospremnika u funkciji nadmorske visine:

h (m n.m.)	A (m ²)
90	300
100	450
105	800
110	1200

Dotok u vodospremnik:

t (s)	Q ₀ (m ³ /s)
0,00	1,50
200,00	2,30
300,00	8,00
500,00	10,00
900,00	3,00
1200,00	1,50
10000,00	1,50

$D_c=0.6$ (m)

$L_c=50.0$ (m)

$\varepsilon = 0.001$ (m)

$\nu = 0.00000131$ (m²/s)

$\xi_u = 0.5$

$B_1=2.0$ (m); $B_2=3.0$ (m); $B_3=4.0$ (m)

$z_p = 100.00$ (m n. m.)

$\Theta=0.5$

$L=1.1$

Početna razina vode u prvom spremniku je 99.50 (m n.m.).

Split, 15. lipnja 2021.

Doc. dr. sc. Davor Bojanić

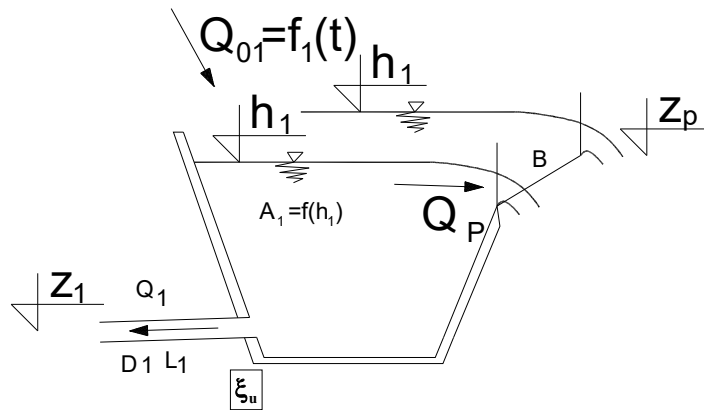
2. Tehnički opis:

2.1. Uvod:

Zadatkom je zadan otvoreni spremnik čija je površina definirana u funkciji nadmorske visine. Iz otvorenog spremnika voda istječe slobodno u atmosferu kroz kratku cijev, a ostatak vode se počinje prelijevati kada razina vode u vodospremniku prijeđe visinu krune preljevnog praga. Na temelju zadanih podataka istražen je utjecaj veličine vremenskog koraka na kvalitetu rješenja za tri varijante dužine preljevnog praga.

Zadano je:

- Površina vodospremnika u funkciji nadmorske visine
- Dotok u funkciji vremena
- Početna razina vode u vodospremniku
- Kota krune preljevnog praga



Slika 1 Zadani vodospremnik s ispusnom cijevi i preljevom

2.2. Značajne geometrijske i hidrauličke karakteristike

Zadani sustav sastoji se od otvorenog spremnika s dotokom promjenjivim u vremenu, a pri dnu spremnika nalazi se kratka cijev kroz koju voda slobodno istječe u atmosferu. Površina vodospremnika se mijenja ovisno o nadmorskoj visini. Na nadmorskoj visini $h=90.0$ (m n.m.) površina vodospremnika iznosi $A=300$ (m^2), za $h=100.0$ (m n.m.) površina iznosi $A=450$ (m^2), za $h=105.0$ (m n.m.) površina iznosi $A=800$ (m^2) i za $h=110.0$ (m n.m.) površina vodospremnika iznosi $A=1200$ (m^2). Kruna preljevnog praga nalazi se na

koti $Z_p=100$ (m n.m.). Cijev kroz koju istječe voda nalazi se na koti $Z_1=90$ (m n.m.). Duljina cijevi iznosi $L_1=50$ (m), a dijametar cijevi iznosi $D_c=0.6$ (m).

Za koeficijent lokalnog gubitka energije na ulazu uzeta je vrijednost $\xi_u=0.5$. Zadatom je zadana apsolutna pogonska hidraulička hrapavost u iznosu od $\varepsilon=0.001$ (m), pomoću koje se izračunavaju linijski gubici energije. Također je zadana vrijednost i kinematičkog koeficijenta viskoznosti tekućine $\nu = 0.00000131$ (m^2/s).

3. Proračun vodospremnika:

3.1. Postupak proračuna vodospremnika:

Početna razina vode u vodospremniku je 99.50 (m n.m.).

1. Jednadžba kontinuiteta za vodospremnik je:

$$A \cdot \frac{dh}{dt} = Q_0 - Q_1 - Q_p \quad (1)$$

Nakon separacije varijabli dobije se:

$$dh = \frac{Q_0 - Q_1 - Q_p}{A} \cdot dt \quad (2)$$

Numerička integracija mješovitim postupkom daje:

$$h^{k+1} = h^k + \frac{Q_0^k - Q_1^k - Q_p^k}{A^k} \cdot (1 - \vartheta) \cdot \Delta t + \frac{Q_0^{k+1} - Q_1^{k+1} - Q_p^{k+1}}{A^{k+1}} \cdot \vartheta \cdot \Delta t \quad (3)$$

Pri čemu je A površina spremnika, Q_0 je dotok, Q_1 je protok kroz odvodnu cijev, dok je Q_p protok preko preljevnog praga.

h je vodostaj u vodospremniku.

Oznake h^k , Q_0^k , Q_1^k , Q_p^k i A^k odnose se na vrijednosti na početku vremenskog intervala. Oznake h^{k+1} , Q_0^{k+1} , Q_1^{k+1} , Q_p^{k+1} i A^{k+1} odnose se na vrijednosti na kraju vremenskog intervala. Vodostaj na kraju intervala odredit će se iz izraza (3).

2. Preljevni protok računa se prema sljedećem:

$$\text{ako je } h > z_p, Q_p = m \cdot B \cdot \sqrt{2g} \cdot (h - z_p)^{3/2} \quad (4)$$

$$\text{ako je } h = z_p, Q_p = 0.00 \quad (5)$$

$$\text{ako je } h < z_p, Q_p = 0.00 \quad (6)$$

Ukoliko je vodostaj u spremniku jednak ili manji od kote preljevnog praga, onda je preljevni protok jednak nuli (5, 6), a ukoliko je vodostaj u spremniku veći od kote krune preljevnog praga, onda se preljevni protok računa po datoj izrazu (4).

3. Protok kroz cijev:

$$Q_1 = \frac{1}{\sqrt{\xi_u + \lambda \frac{L_1}{D_1} + \alpha}} \sqrt{2g \cdot (h - z_1)} \cdot D_1^2 \cdot \frac{\pi}{4} \quad (7)$$

ako je $h = z_1$

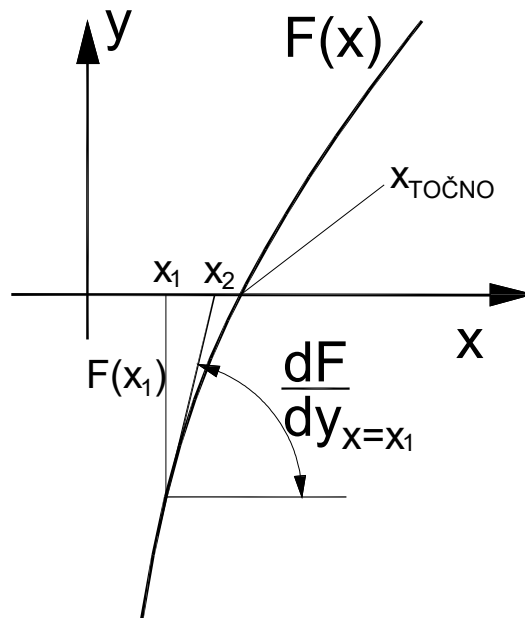
$$Q_1 = 0.0 \quad (8)$$

ako je $h < z_1$

$$Q_1 = 0.0 \frac{\pi}{4} \quad (9)$$

Jednadžba (3) je nelinearna jednadžba s jednom nepoznicom. Traži se h^{k+1} , tj. vodostaj na kraju vremenskog koraka.

Primjenjuje se Newtonova metoda za rješavanje nelinearnih jednadžbi.



Slika 2 Realizacija 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:

$$(x_2 - x_1) \cdot \frac{dF}{dy}_{x=x_1} = -F(x_1) \quad (10)$$

Oдавde slijedi:

$$x_2 = x_1 - \frac{F(x_1)}{\frac{dF}{dy}_{x=x_1}} \quad (11)$$

Time je određen postupak postupnog približavanja točnom rješenju.

Formira se funkcija F . Ovdje je nezavisna varijabla vodostaj h^{k+1} .

$$F = h^{k+1} - h^k - \frac{Q_0^k - Q_1^k - Q_p^k}{A^k} \cdot (1 - \vartheta) \cdot \Delta t - \frac{Q_0^{k+1} - Q_1^{k+1} - Q_p^{k+1}}{A^{k+1}} \cdot \vartheta \cdot \Delta t = 0 \quad (12)$$

$$Q_1^k = \frac{1}{\sqrt{\xi_u + \lambda^k \cdot \frac{L_1}{D_1} + \alpha}} \cdot \sqrt{2g \cdot (h^k - z_1)} \cdot D_1^2 \cdot \frac{\pi}{4} \quad (13)$$

$$Q_1^{k+1} = \frac{1}{\sqrt{\xi_u + \lambda^{k+1} \cdot \frac{L_1}{D_1} + \alpha}} \cdot \sqrt{2g \cdot (h^{k+1} - z_1)} \cdot D_1^2 \cdot \frac{\pi}{4} \quad (14)$$

$$\text{ako je } h^k > z_p, Q_p^k = m \cdot B \cdot \sqrt{2g} \cdot (h^k - z_p)^{3/2} \quad (15)$$

$$\text{ako je } h^k = z_p, Q_p^k = 0.00 \quad (16)$$

$$\text{ako je } h^k < z_p, Q_p^k = 0.00 \quad (17)$$

$$\text{ako je } h^{k+1} > z_p, Q_p^{k+1} = m \cdot B \cdot \sqrt{2g} \cdot (h^{k+1} - z_p)^{3/2} \quad (18)$$

$$\text{ako je } h^{k+1} = z_p, Q_p^{k+1} = 0.00 \quad (19)$$

$$\text{ako je } h^{k+1} < z_p, Q_p^{k+1} = 0.00 \quad (20)$$

Derivacija funkcije F po h^{k+1} je:

$$\frac{dF}{dh^{k+1}} = 1.0 + \frac{\vartheta \cdot \Delta t}{A^{k+1}} \cdot \left(\frac{dQ_1^{k+1}}{dh^{k+1}} + \frac{dQ_p^{k+1}}{dh^{k+1}} \right) \quad (21)$$

$$\frac{dQ_1^{k+1}}{dh^{k+1}} = \frac{1}{\sqrt{\xi_u + \lambda^{k+1} \cdot \frac{L_1}{D_1} + \alpha}} \cdot \sqrt{2g} \cdot D_1^2 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \frac{1}{2 \cdot \sqrt{(h^{k+1} - z_1)}} \quad (22)$$

$$\text{ako je } h^{k+1} > z_p, \frac{dQ_p^{k+1}}{dh^{k+1}} = m \cdot B \cdot \sqrt{2g} \cdot \frac{3}{2} \cdot (h^{k+1} - z_p)^{1/2} \quad (23)$$

$$\text{ako je } h^{k+1} = z_p, \frac{dQ_p^{k+1}}{dh^{k+1}} = 0.00 \quad (24)$$

$$\text{ako je } h^{k+1} < z_p, \frac{dQ_p^{k+1}}{dh^{k+1}} = 0.00 \quad (25)$$

$$h^{k+1,n} = h^{k+1} + \Delta h^{k+1} \quad (26)$$

$$h^{k+1,n} = h^{k+1} - \frac{F}{\frac{dF}{dh^{k+1}}} \quad (27)$$

Postupak se ponavlja sve dok prirast $\left(\frac{-F}{\frac{dF}{dh^{k+1}}} \right)$ 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 jednadžbe opisane u točki 3.1. Rješenje je provedeno u programu “Microsoft Excell” na sljedeći način:

Numeričkom integracijom mješovitim postupkom dobiveni su sljedeći podaci o razini vode u vodospremniku, protoku kroz kratku cijev, te preljevnom protoku, ovisno o vremenu, za zadane različite širine preljevnog praga ($B_1 = 2m, B_2 = 3m, B_3 = 4m$).

3.2.1. Rezultati za zadane širine preljevnih pragova

U tablici 1. prikazani su rezultati proračuna za dužinu preljevnog praga od 2 (m), i vremenski korak od 5 (s).

U tablici 2. prikazani su rezultati proračuna za dužinu preljevnog praga od 3 (m), i vremenski korak od 5 (s).

U tablici 3. prikazani su rezultati proračuna za dužinu preljevnog praga od 4 (m), i vremenski korak od 5 (s).

Tablica 1 Rezultati proračuna za dužinu preljevno praga $B_1 = 2 \text{ m}$

t(s)	h(m.n.m.)	Qo (m ³ /s)	Qp (m ³ /s)	Q1 (m ³ /s)
0	99,5000	1,5000	0,0000	2,0739
5	99,4936	1,5200	0,0000	2,0732
10	99,4875	1,5400	0,0000	2,0725
15	99,4816	1,5600	0,0000	2,0719
20	99,4759	1,5800	0,0000	2,0713
25	99,4705	1,6000	0,0000	2,0707
30	99,4653	1,6200	0,0000	2,0701
35	99,4603	1,6400	0,0000	2,0695
40	99,4556	1,6600	0,0000	2,0690
45	99,4510	1,6800	0,0000	2,0685
50	99,4468	1,7000	0,0000	2,0681
55	99,4427	1,7200	0,0000	2,0676
60	99,4389	1,7400	0,0000	2,0672
65	99,4353	1,7600	0,0000	2,0668
70	99,4319	1,7800	0,0000	2,0664
75	99,4288	1,8000	0,0000	2,0661
80	99,4259	1,8200	0,0000	2,0658
85	99,4232	1,8400	0,0000	2,0655
90	99,4208	1,8600	0,0000	2,0652
95	99,4186	1,8800	0,0000	2,0650
100	99,4166	1,9000	0,0000	2,0648
105	99,4149	1,9200	0,0000	2,0646
110	99,4133	1,9400	0,0000	2,0644
115	99,4120	1,9600	0,0000	2,0643
120	99,4110	1,9800	0,0000	2,0641
125	99,4101	2,0000	0,0000	2,0640
130	99,4095	2,0200	0,0000	2,0640
135	99,4091	2,0400	0,0000	2,0639
140	99,4090	2,0600	0,0000	2,0639
145	99,4090	2,0800	0,0000	2,0639
150	99,4093	2,1000	0,0000	2,0640
155	99,4099	2,1200	0,0000	2,0640
160	99,4106	2,1400	0,0000	2,0641
165	99,4116	2,1600	0,0000	2,0642
170	99,4128	2,1800	0,0000	2,0643
175	99,4142	2,2000	0,0000	2,0645
180	99,4159	2,2200	0,0000	2,0647
185	99,4177	2,2400	0,0000	2,0649
190	99,4198	2,2600	0,0000	2,0651
195	99,4221	2,2800	0,0000	2,0654
200	99,4247	2,3000	0,0000	2,0656
205	99,4289	2,5850	0,0000	2,0661
210	99,4364	2,8700	0,0000	2,0669
215	99,4471	3,1550	0,0000	2,0681
220	99,4610	3,4400	0,0000	2,0696
225	99,4781	3,7250	0,0000	2,0715
230	99,4984	4,0100	0,0000	2,0737
235	99,5219	4,2950	0,0000	2,0763
240	99,5485	4,5800	0,0000	2,0792
245	99,5783	4,8650	0,0000	2,0824
250	99,6112	5,1500	0,0000	2,0860

t(s)	h(m.n.m.)	Qo (m ³ /s)	Qp (m ³ /s)	Q1 (m ³ /s)
255	99,6473	5,4350	0,0000	2,0899
260	99,6864	5,7200	0,0000	2,0942
265	99,7287	6,0050	0,0000	2,0987
270	99,7740	6,2900	0,0000	2,1036
275	99,8224	6,5750	0,0000	2,1088
280	99,8739	6,8600	0,0000	2,1143
285	99,9283	7,1450	0,0000	2,1202
290	99,9858	7,4300	0,0000	2,1263
295	100,0459	7,7150	0,0348	2,1327
300	100,1078	8,0000	0,1254	2,1392
305	100,1698	8,0500	0,2478	2,1458
310	100,2302	8,1000	0,3913	2,1522
315	100,2889	8,1500	0,5503	2,1583
320	100,3459	8,2000	0,7208	2,1643
325	100,4010	8,2500	0,8997	2,1701
330	100,4542	8,3000	1,0847	2,1756
335	100,5056	8,3500	1,2738	2,1810
340	100,5551	8,4000	1,4654	2,1861
345	100,6027	8,4500	1,6581	2,1910
350	100,6486	8,5000	1,8508	2,1958
355	100,6926	8,5500	2,0427	2,2003
360	100,7350	8,6000	2,2329	2,2047
365	100,7757	8,6500	2,4208	2,2088
370	100,8147	8,7000	2,6060	2,2128
375	100,8522	8,7500	2,7880	2,2167
380	100,8883	8,8000	2,9665	2,2204
385	100,9228	8,8500	3,1414	2,2239
390	100,9560	8,9000	3,3123	2,2273
395	100,9879	8,9500	3,4792	2,2305
400	101,0184	9,0000	3,6421	2,2336
405	101,0478	9,0500	3,8008	2,2366
410	101,0760	9,1000	3,9553	2,2394
415	101,1032	9,1500	4,1058	2,2422
420	101,1292	9,2000	4,2521	2,2448
425	101,1543	9,2500	4,3944	2,2473
430	101,1784	9,3000	4,5328	2,2498
435	101,2016	9,3500	4,6673	2,2521
440	101,2239	9,4000	4,7980	2,2544
445	101,2454	9,4500	4,9251	2,2565
450	101,2662	9,5000	5,0486	2,2586
455	101,2861	9,5500	5,1686	2,2606
460	101,3054	9,6000	5,2854	2,2625
465	101,3241	9,6500	5,3989	2,2644
470	101,3421	9,7000	5,5094	2,2662
475	101,3595	9,7500	5,6168	2,2679
480	101,3763	9,8000	5,7215	2,2696
485	101,3926	9,8500	5,8234	2,2712
490	101,4084	9,9000	5,9227	2,2728
495	101,4237	9,9500	6,0194	2,2743
500	101,4385	10,0000	6,1138	2,2758
505	101,4523	9,9125	6,2020	2,2772

t(s)	h(m.n.m.)	Qo (m ³ /s)	Qp (m ³ /s)	Q1 (m ³ /s)
510	101,4645	9,8250	6,2805	2,2784
515	101,4753	9,7375	6,3497	2,2795
520	101,4846	9,6500	6,4101	2,2804
525	101,4926	9,5625	6,4621	2,2812
530	101,4994	9,4750	6,5063	2,2819
535	101,5051	9,3875	6,5429	2,2824
540	101,5096	9,3000	6,5725	2,2829
545	101,5131	9,2125	6,5954	2,2832
550	101,5156	9,1250	6,6119	2,2835
555	101,5172	9,0375	6,6225	2,2836
560	101,5180	8,9500	6,6276	2,2837
565	101,5180	8,8625	6,6273	2,2837
570	101,5172	8,7750	6,6220	2,2836
575	101,5156	8,6875	6,6120	2,2835
580	101,5134	8,6000	6,5976	2,2833
585	101,5106	8,5125	6,5791	2,2830
590	101,5072	8,4250	6,5567	2,2826
595	101,5032	8,3375	6,5306	2,2822
600	101,4986	8,2500	6,5010	2,2818
605	101,4936	8,1625	6,4682	2,2813
610	101,4881	8,0750	6,4323	2,2807
615	101,4821	7,9875	6,3936	2,2801
620	101,4757	7,9000	6,3522	2,2795
625	101,4689	7,8125	6,3083	2,2788
630	101,4617	7,7250	6,2620	2,2781
635	101,4541	7,6375	6,2135	2,2774
640	101,4462	7,5500	6,1630	2,2766
645	101,4380	7,4625	6,1104	2,2758
650	101,4294	7,3750	6,0561	2,2749
655	101,4206	7,2875	6,0000	2,2740
660	101,4115	7,2000	5,9424	2,2731
665	101,4021	7,1125	5,8832	2,2722
670	101,3925	7,0250	5,8227	2,2712
675	101,3826	6,9375	5,7608	2,2702
680	101,3725	6,8500	5,6977	2,2692
685	101,3621	6,7625	5,6335	2,2682
690	101,3516	6,6750	5,5682	2,2671
695	101,3408	6,5875	5,5019	2,2661
700	101,3299	6,5000	5,4346	2,2650
705	101,3188	6,4125	5,3665	2,2639
710	101,3074	6,3250	5,2976	2,2627
715	101,2960	6,2375	5,2279	2,2616
720	101,2843	6,1500	5,1575	2,2604
725	101,2725	6,0625	5,0864	2,2592
730	101,2605	5,9750	5,0148	2,2580
735	101,2484	5,8875	4,9426	2,2568
740	101,2361	5,8000	4,8698	2,2556
745	101,2237	5,7125	4,7966	2,2543
750	101,2111	5,6250	4,7229	2,2531
755	101,1984	5,5375	4,6488	2,2518
760	101,1856	5,4500	4,5744	2,2505

Tablica 2 – nastavak 2 Rezultati proračuna za dužinu preljevnog praga $B_2 = 3\text{ m}$

t(s)	h(m.n.m.)	Qo (m ³ /s)	Qp (m ³ /s)	Q1 (m ³ /s)
2100	98,8980	1,5000	0,0000	2,0070
2105	98,8921	1,5000	0,0000	2,0064
2110	98,8863	1,5000	0,0000	2,0057
2115	98,8805	1,5000	0,0000	2,0051
2120	98,8746	1,5000	0,0000	2,0044
2125	98,8688	1,5000	0,0000	2,0038
2130	98,8630	1,5000	0,0000	2,0031
2135	98,8572	1,5000	0,0000	2,0024
2140	98,8514	1,5000	0,0000	2,0018
2145	98,8456	1,5000	0,0000	2,0011
2150	98,8398	1,5000	0,0000	2,0005
2155	98,8340	1,5000	0,0000	1,9998
2160	98,8283	1,5000	0,0000	1,9992
2165	98,8225	1,5000	0,0000	1,9985
2170	98,8167	1,5000	0,0000	1,9979
2175	98,8110	1,5000	0,0000	1,9972
2180	98,8052	1,5000	0,0000	1,9965
2185	98,7995	1,5000	0,0000	1,9959
2190	98,7937	1,5000	0,0000	1,9952
2195	98,7880	1,5000	0,0000	1,9946
2200	98,7823	1,5000	0,0000	1,9939
2205	98,7766	1,5000	0,0000	1,9933
2210	98,7709	1,5000	0,0000	1,9926
2215	98,7652	1,5000	0,0000	1,9920
2220	98,7595	1,5000	0,0000	1,9914
2225	98,7538	1,5000	0,0000	1,9907
2230	98,7481	1,5000	0,0000	1,9901
2235	98,7424	1,5000	0,0000	1,9894
2240	98,7367	1,5000	0,0000	1,9888
2245	98,7311	1,5000	0,0000	1,9881
2250	98,7254	1,5000	0,0000	1,9875
2255	98,7198	1,5000	0,0000	1,9868
2260	98,7141	1,5000	0,0000	1,9862
2265	98,7085	1,5000	0,0000	1,9855
2270	98,7028	1,5000	0,0000	1,9849
2275	98,6972	1,5000	0,0000	1,9843
2280	98,6916	1,5000	0,0000	1,9836
2285	98,6860	1,5000	0,0000	1,9830
2290	98,6804	1,5000	0,0000	1,9823
2295	98,6748	1,5000	0,0000	1,9817
2300	98,6692	1,5000	0,0000	1,9811
2305	98,6636	1,5000	0,0000	1,9804
2310	98,6580	1,5000	0,0000	1,9798
2315	98,6524	1,5000	0,0000	1,9791
2320	98,6468	1,5000	0,0000	1,9785
2325	98,6413	1,5000	0,0000	1,9779
2330	98,6357	1,5000	0,0000	1,9772
2335	98,6302	1,5000	0,0000	1,9766
2340	98,6246	1,5000	0,0000	1,9760
2345	98,6191	1,5000	0,0000	1,9753
2350	98,6135	1,5000	0,0000	1,9747
2355	98,6080	1,5000	0,0000	1,9740
2360	98,6025	1,5000	0,0000	1,9734
2365	98,5970	1,5000	0,0000	1,9728
2370	98,5915	1,5000	0,0000	1,9721
2375	98,5860	1,5000	0,0000	1,9715
2380	98,5805	1,5000	0,0000	1,9709
2385	98,5750	1,5000	0,0000	1,9703
2390	98,5695	1,5000	0,0000	1,9696
2395	98,5640	1,5000	0,0000	1,9690
2400	98,5586	1,5000	0,0000	1,9684
2405	98,5531	1,5000	0,0000	1,9677
2410	98,5476	1,5000	0,0000	1,9671
2415	98,5422	1,5000	0,0000	1,9665
2420	98,5367	1,5000	0,0000	1,9659
2425	98,5313	1,5000	0,0000	1,9652
2430	98,5259	1,5000	0,0000	1,9646
2435	98,5204	1,5000	0,0000	1,9640
2440	98,5150	1,5000	0,0000	1,9633
2445	98,5096	1,5000	0,0000	1,9627

t(s)	h(m.n.m.)	Qo (m ³ /s)	Qp (m ³ /s)	Q1 (m ³ /s)
2450	98,5042	1,5000	0,0000	1,9621
2455	98,4988	1,5000	0,0000	1,9615
2460	98,4934	1,5000	0,0000	1,9609
2465	98,4880	1,5000	0,0000	1,9602
2470	98,4826	1,5000	0,0000	1,9596
2475	98,4773	1,5000	0,0000	1,9590
2480	98,4719	1,5000	0,0000	1,9584
2485	98,4665	1,5000	0,0000	1,9577
2490	98,4612	1,5000	0,0000	1,9571
2495	98,4558	1,5000	0,0000	1,9565
2500	98,4505	1,5000	0,0000	1,9559
2505	98,4451	1,5000	0,0000	1,9553
2510	98,4398	1,5000	0,0000	1,9546
2515	98,4345	1,5000	0,0000	1,9540
2520	98,4292	1,5000	0,0000	1,9534
2525	98,4239	1,5000	0,0000	1,9528
2530	98,4185	1,5000	0,0000	1,9522
2535	98,4132	1,5000	0,0000	1,9516
2540	98,4080	1,5000	0,0000	1,9510
2545	98,4027	1,5000	0,0000	1,9503
2550	98,3974	1,5000	0,0000	1,9497
2555	98,3921	1,5000	0,0000	1,9491
2560	98,3868	1,5000	0,0000	1,9485
2565	98,3816	1,5000	0,0000	1,9479
2570	98,3763	1,5000	0,0000	1,9473
2575	98,3711	1,5000	0,0000	1,9467
2580	98,3658	1,5000	0,0000	1,9461
2585	98,3606	1,5000	0,0000	1,9454
2590	98,3553	1,5000	0,0000	1,9448
2595	98,3501	1,5000	0,0000	1,9442
2600	98,3449	1,5000	0,0000	1,9436
2605	98,3397	1,5000	0,0000	1,9430
2610	98,3345	1,5000	0,0000	1,9424
2615	98,3293	1,5000	0,0000	1,9418
2620	98,3241	1,5000	0,0000	1,9412
2625	98,3189	1,5000	0,0000	1,9406
2630	98,3137	1,5000	0,0000	1,9400
2635	98,3085	1,5000	0,0000	1,9394
2640	98,3034	1,5000	0,0000	1,9388
2645	98,2982	1,5000	0,0000	1,9382
2650	98,2930	1,5000	0,0000	1,9376
2655	98,2879	1,5000	0,0000	1,9370
2660	98,2827	1,5000	0,0000	1,9364
2665	98,2776	1,5000	0,0000	1,9358
2670	98,2725	1,5000	0,0000	1,9352
2675	98,2673	1,5000	0,0000	1,9346
2680	98,2622	1,5000	0,0000	1,9340
2685	98,2571	1,5000	0,0000	1,9334
2690	98,2520	1,5000	0,0000	1,9328
2695	98,2469	1,5000	0,0000	1,9322
2700	98,2418	1,5000	0,0000	1,9316
2705	98,2367	1,5000	0,0000	1,9310
2710	98,2316	1,5000	0,0000	1,9304
2715	98,2265	1,5000	0,0000	1,9298
2720	98,2215	1,5000	0,0000	1,9292
2725	98,2164	1,5000	0,0000	1,9286
2730	98,2113	1,5000	0,0000	1,9280
2735	98,2063	1,5000	0,0000	1,9274
2740	98,2012	1,5000	0,0000	1,9268
2745	98,1962	1,5000	0,0000	1,9262
2750	98,1912	1,5000	0,0000	1,9256
2755	98,1861	1,5000	0,0000	1,9250
2760	98,1811	1,5000	0,0000	1,9244
2765	98,1761	1,5000	0,0000	1,9238
2770	98,1711	1,5000	0,0000	1,9233
2775	98,1661	1,5000	0,0000	1,9227
2780	98,1611	1,5000	0,0000	1,9221
2785	98,1561	1,5000	0,0000	1,9215
2790	98,1511	1,5000	0,0000	1,9209
2795	98,1461	1,5000	0,0000	1,9203

t(s)	h(m.n.m.)	Qo (m ³ /s)	Qp (m ³ /s)	Q1 (m ³ /s)
2800	98,1411	1,5000	0,0000	1,9197
2805	98,1362	1,5000	0,0000	1,9191
2810	98,1312	1,5000	0,0000	1,9186
2815	98,1263	1,5000	0,0000	1,9180
2820	98,1213	1,5000	0,0000	1,9174
2825	98,1164	1,5000	0,0000	1,9168
2830	98,1114	1,5000	0,0000	1,9162
2835	98,1065	1,5000	0,0000	1,9156
2840	98,1016	1,5000	0,0000	1,9150
2845	98,0966	1,5000	0,0000	1,9145
2850	98,0917	1,5000	0,0000	1,9139
2855	98,0868	1,5000	0,0000	1,9133
2860	98,0819	1,5000	0,0000	1,9127
2865	98,0770	1,5000	0,0000	1,9121
2870	98,0721	1,5000	0,0000	1,9116
2875	98,0673	1,5000	0,0000	1,9110

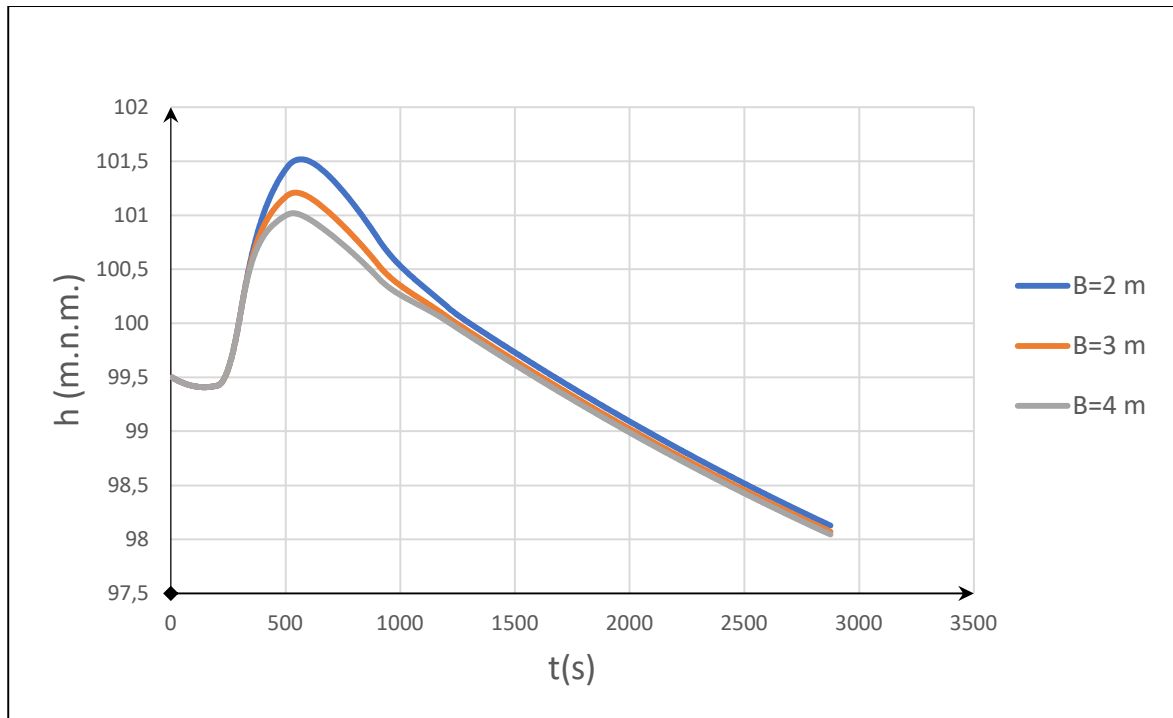
Tablica 3 – nastavak 2 Rezultati proračuna za dužinu preljevnog praga $B_3 = 4 \text{ m}$

t(s)	h(m.n.m.)	Qo (m ³ /s)	Qp (m ³ /s)	Q1 (m ³ /s)
2100	98,8657	1,5000	0,0000	2,0034
2105	98,8599	1,5000	0,0000	2,0027
2110	98,8541	1,5000	0,0000	2,0021
2115	98,8483	1,5000	0,0000	2,0014
2120	98,8425	1,5000	0,0000	2,0008
2125	98,8367	1,5000	0,0000	2,0001
2130	98,8309	1,5000	0,0000	1,9995
2135	98,8252	1,5000	0,0000	1,9988
2140	98,8194	1,5000	0,0000	1,9982
2145	98,8137	1,5000	0,0000	1,9975
2150	98,8079	1,5000	0,0000	1,9969
2155	98,8022	1,5000	0,0000	1,9962
2160	98,7964	1,5000	0,0000	1,9955
2165	98,7907	1,5000	0,0000	1,9949
2170	98,7850	1,5000	0,0000	1,9942
2175	98,7792	1,5000	0,0000	1,9936
2180	98,7735	1,5000	0,0000	1,9929
2185	98,7678	1,5000	0,0000	1,9923
2190	98,7621	1,5000	0,0000	1,9917
2195	98,7564	1,5000	0,0000	1,9910
2200	98,7507	1,5000	0,0000	1,9904
2205	98,7450	1,5000	0,0000	1,9897
2210	98,7394	1,5000	0,0000	1,9891
2215	98,7337	1,5000	0,0000	1,9884
2220	98,7280	1,5000	0,0000	1,9878
2225	98,7224	1,5000	0,0000	1,9871
2230	98,7167	1,5000	0,0000	1,9865
2235	98,7111	1,5000	0,0000	1,9858
2240	98,7055	1,5000	0,0000	1,9852
2245	98,6998	1,5000	0,0000	1,9846
2250	98,6942	1,5000	0,0000	1,9839
2255	98,6886	1,5000	0,0000	1,9833
2260	98,6830	1,5000	0,0000	1,9826
2265	98,6774	1,5000	0,0000	1,9820
2270	98,6718	1,5000	0,0000	1,9813
2275	98,6662	1,5000	0,0000	1,9807
2280	98,6606	1,5000	0,0000	1,9801
2285	98,6550	1,5000	0,0000	1,9794
2290	98,6494	1,5000	0,0000	1,9788
2295	98,6439	1,5000	0,0000	1,9782
2300	98,6383	1,5000	0,0000	1,9775
2305	98,6327	1,5000	0,0000	1,9769
2310	98,6272	1,5000	0,0000	1,9762
2315	98,6217	1,5000	0,0000	1,9756
2320	98,6161	1,5000	0,0000	1,9750
2325	98,6106	1,5000	0,0000	1,9743
2330	98,6051	1,5000	0,0000	1,9737
2335	98,5995	1,5000	0,0000	1,9731
2340	98,5940	1,5000	0,0000	1,9724
2345	98,5885	1,5000	0,0000	1,9718
2350	98,5830	1,5000	0,0000	1,9712
2355	98,5775	1,5000	0,0000	1,9705
2360	98,5721	1,5000	0,0000	1,9699
2365	98,5666	1,5000	0,0000	1,9693
2370	98,5611	1,5000	0,0000	1,9687
2375	98,5556	1,5000	0,0000	1,9680
2380	98,5502	1,5000	0,0000	1,9674
2385	98,5447	1,5000	0,0000	1,9668
2390	98,5393	1,5000	0,0000	1,9661
2395	98,5338	1,5000	0,0000	1,9655
2400	98,5284	1,5000	0,0000	1,9649
2405	98,5230	1,5000	0,0000	1,9643
2410	98,5176	1,5000	0,0000	1,9636
2415	98,5121	1,5000	0,0000	1,9630
2420	98,5067	1,5000	0,0000	1,9624
2425	98,5013	1,5000	0,0000	1,9618
2430	98,4959	1,5000	0,0000	1,9611
2435	98,4905	1,5000	0,0000	1,9605
2440	98,4851	1,5000	0,0000	1,9599
2445	98,4798	1,5000	0,0000	1,9593
2450	98,4744	1,5000	0,0000	1,9587
2455	98,4690	1,5000	0,0000	1,9580
2460	98,4637	1,5000	0,0000	1,9574
2465	98,4583	1,5000	0,0000	1,9568
2470	98,4530	1,5000	0,0000	1,9562
2475	98,4476	1,5000	0,0000	1,9556
2480	98,4423	1,5000	0,0000	1,9549
2485	98,4370	1,5000	0,0000	1,9543
2490	98,4316	1,5000	0,0000	1,9537
2495	98,4263	1,5000	0,0000	1,9531
2500	98,4210	1,5000	0,0000	1,9525
2505	98,4157	1,5000	0,0000	1,9519
2510	98,4104	1,5000	0,0000	1,9512
2515	98,4051	1,5000	0,0000	1,9506
2520	98,3998	1,5000	0,0000	1,9500
2525	98,3946	1,5000	0,0000	1,9494
2530	98,3893	1,5000	0,0000	1,9488
2535	98,3840	1,5000	0,0000	1,9482
2540	98,3788	1,5000	0,0000	1,9476
2545	98,3735	1,5000	0,0000	1,9470
2550	98,3683	1,5000	0,0000	1,9463
2555	98,3630	1,5000	0,0000	1,9457
2560	98,3578	1,5000	0,0000	1,9451
2565	98,3526	1,5000	0,0000	1,9445
2570	98,3473	1,5000	0,0000	1,9439
2575	98,3421	1,5000	0,0000	1,9433
2580	98,3369	1,5000	0,0000	1,9427
2585	98,3317	1,5000	0,0000	1,9421
2590	98,3265	1,5000	0,0000	1,9415
2595	98,3213	1,5000	0,0000	1,9409
2600	98,3161	1,5000	0,0000	1,9403
2605	98,3109	1,5000	0,0000	1,9397
2610	98,3058	1,5000	0,0000	1,9391
2615	98,3006	1,5000	0,0000	1,9384
2620	98,2954	1,5000	0,0000	1,9378
2625	98,2903	1,5000	0,0000	1,9372
2630	98,2851	1,5000	0,0000	1,9366
2635	98,2800	1,5000	0,0000	1,9360
2640	98,2749	1,5000	0,0000	1,9354
2645	98,2697	1,5000	0,0000	1,9348
2650	98,2646	1,5000	0,0000	1,9342
2655	98,2595	1,5000	0,0000	1,9336
2660	98,2544	1,5000	0,0000	1,9330
2665	98,2493	1,5000	0,0000	1,9324
2670	98,2442	1,5000	0,0000	1,9318
2675	98,2391	1,5000	0,0000	1,9312
2680	98,2340	1,5000	0,0000	1,9306
2685	98,2289	1,5000	0,0000	1,9301
2690	98,2238	1,5000	0,0000	1,9295
2695	98,2188	1,5000	0,0000	1,9289
2700	98,2137	1,5000	0,0000	1,9283
2705	98,2086	1,5000	0,0000	1,9277
2710	98,2036	1,5000	0,0000	1,9271
2715	98,1986	1,5000	0,0000	1,9265
2720	98,1935	1,5000	0,0000	1,9259
2725	98,1885	1,5000	0,0000	1,9253
2730	98,1835	1,5000	0,0000	1,9247
2735	98,1784	1,5000	0,0000	1,9241
2740	98,1734	1,5000	0,0000	1,9235
2745	98,1684	1,5000	0,0000	1,9229
2750	98,1634	1,5000	0,0000	1,9223
2755	98,1584	1,5000	0,0000	1,9218
2760	98,1534	1,5000	0,0000	1,9212
2765	98,1484	1,5000	0,0000	1,9206
2770	98,1435	1,5000	0,0000	1,9200
2775	98,1385	1,5000	0,0000	1,9194
2780	98,1335	1,5000	0,0000	1,9188
2785	98,1286	1,5000	0,0000	1,9182
2790	98,1236	1,5000	0,0000	1,9177
2795	98,1187	1,5000	0,0000	1,9171

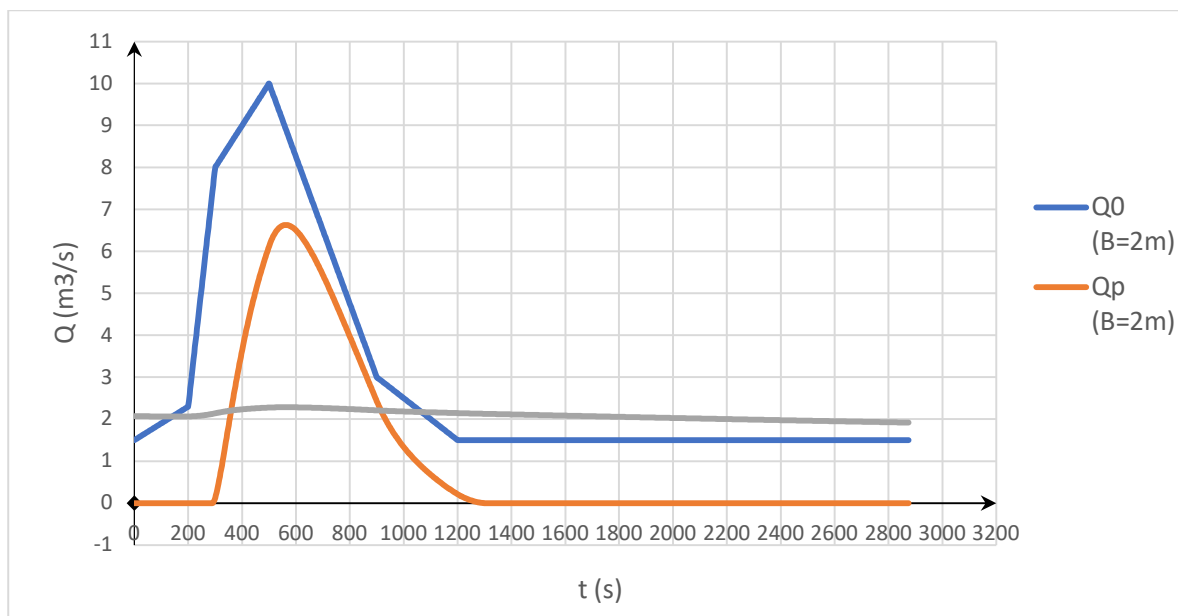
t(s)	h(m.n.m.)	Qo (m ³ /s)	Qp (m ³ /s)	Q1 (m ³ /s)
2800	98,1137	1,5000	0,0000	1,9165
2805	98,1088	1,5000	0,0000	1,9159
2810	98,1039	1,5000	0,0000	1,9153
2815	98,0989	1,5000	0,0000	1,9147
2820	98,0940	1,5000	0,0000	1,9142
2825	98,0891	1,5000	0,0000	1,9136
2830	98,0842	1,5000	0,0000	1,9130
2835	98,0793	1,5000	0,0000	1,9124
2840	98,0744	1,5000	0,0000	1,9118
2845	98,0695	1,5000	0,0000	1,9113
2850	98,0646	1,5000	0,0000	1,9107
2855	98,0598	1,5000	0,0000	1,9101
2860	98,0549	1,5000	0,0000	1,9095
2865	98,0500	1,5000	0,0000	1,9089
2870	98,0452	1,5000	0,0000	1,9084
2875	98,0403	1,5000	0,0000	1,9078

3.3. Grafički prikaz rezultata

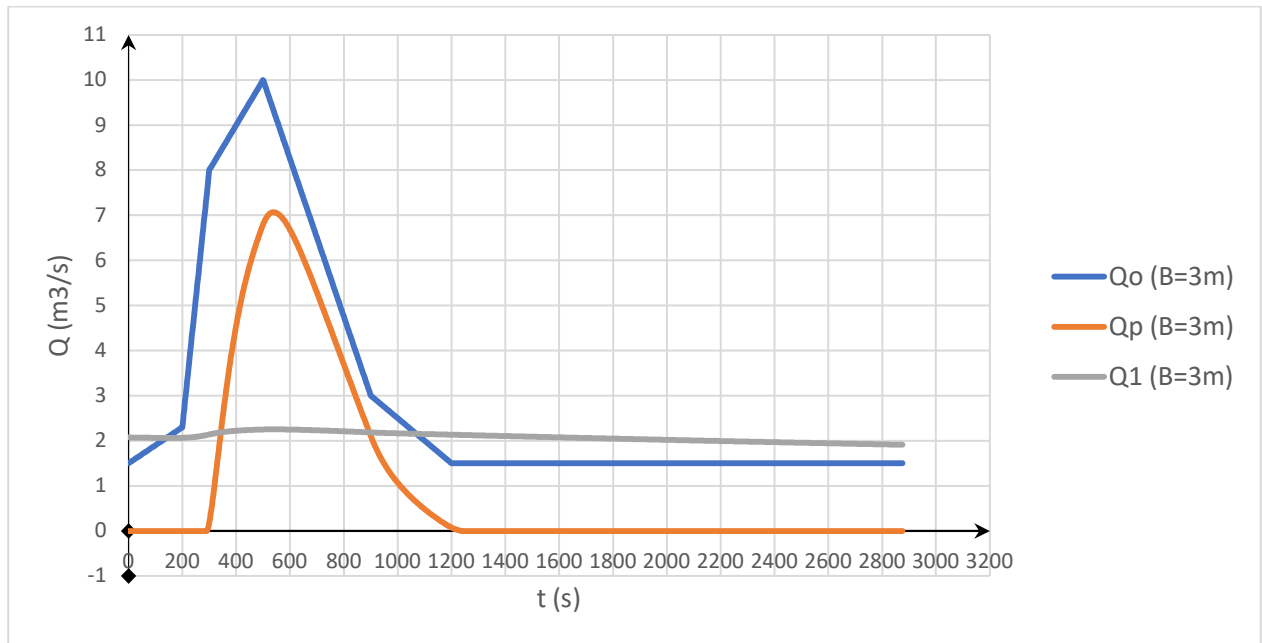
Slika 3 Prikaz vodostaja za B_1, B_2, B_3



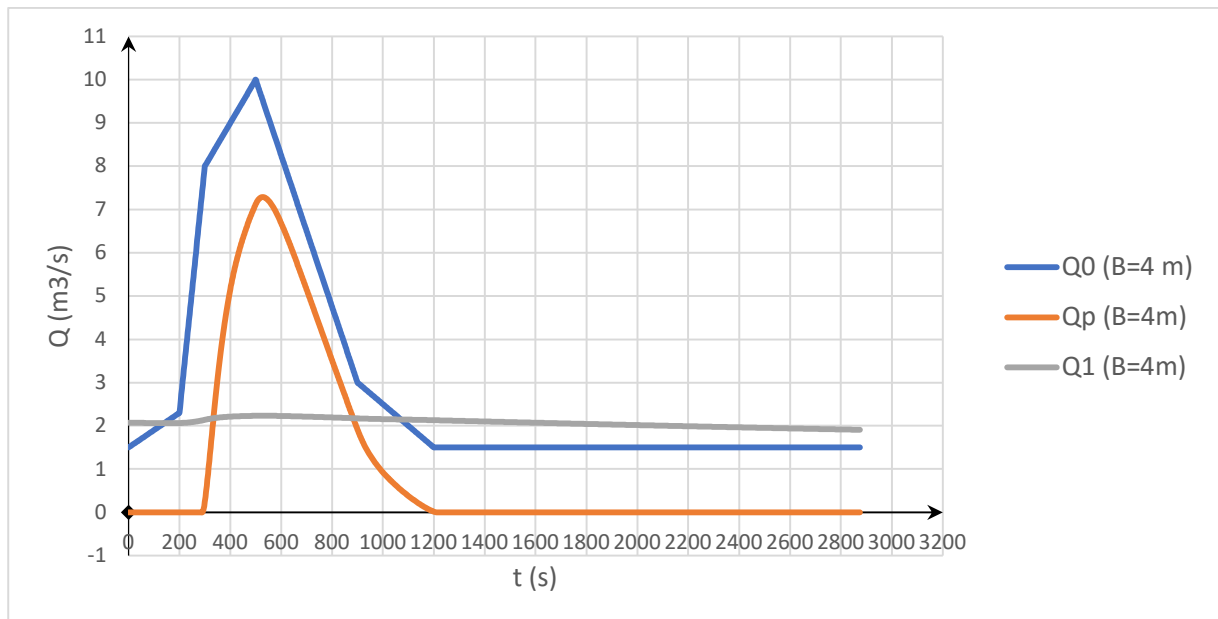
Slika 4 Prikaz dotoka, protoka kroz kratku cijev i preljevnog protoka za širinu preljevnog praga $B=2$ m ovisno o vremenu



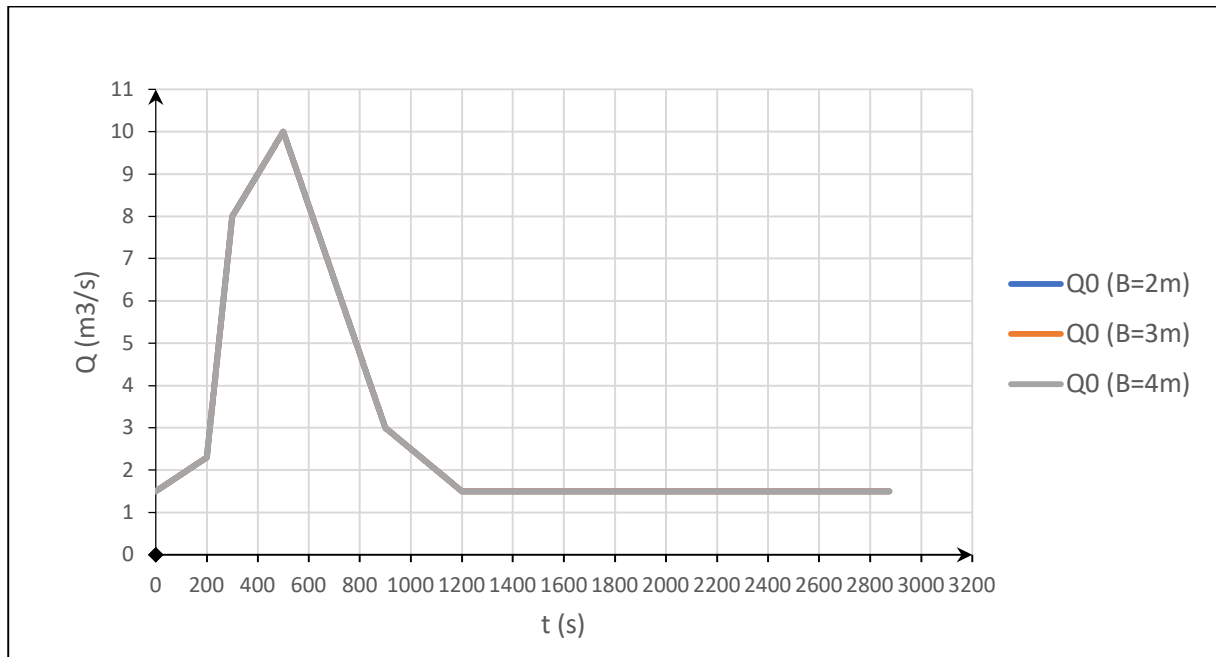
Slika 5 Prikaz dotoka, protoka kroz kratku cijev i preljevnog protoka za širinu preljevnog praga $B=3m$ ovisno o vremenu



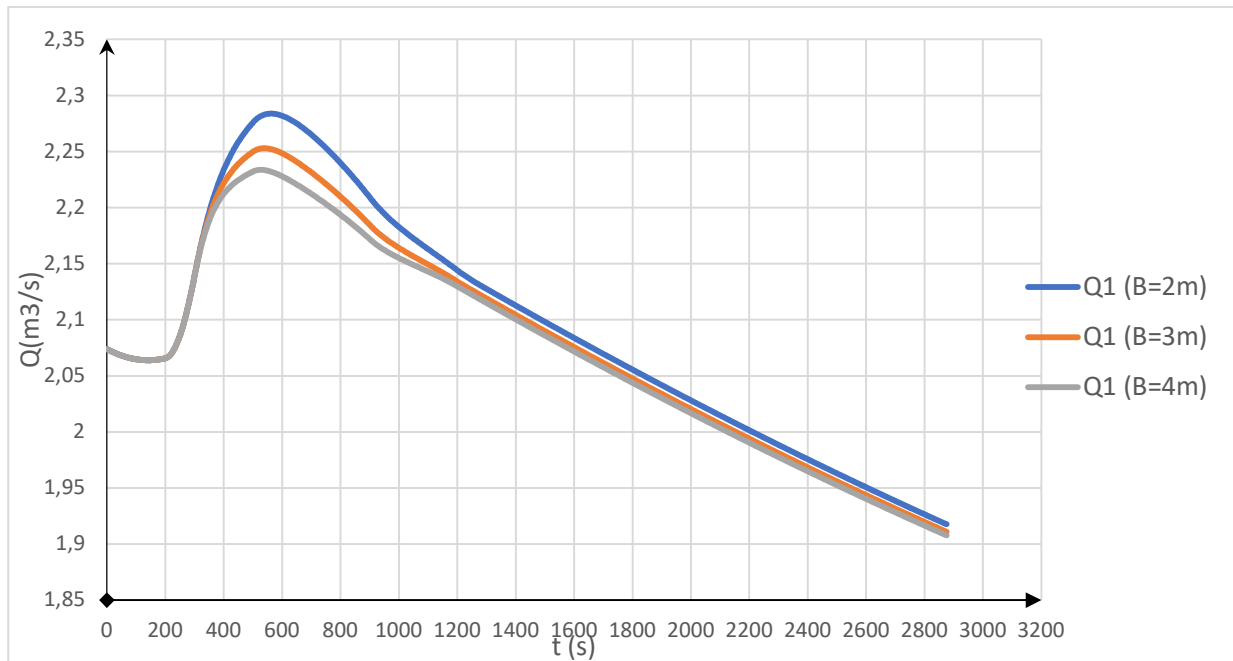
Slika 6 Prikaz dotoka , protoka kroz kratku cijev i preljevnog protoka za širinu preljevnog praga $B=4m$ ovisno o vremenu



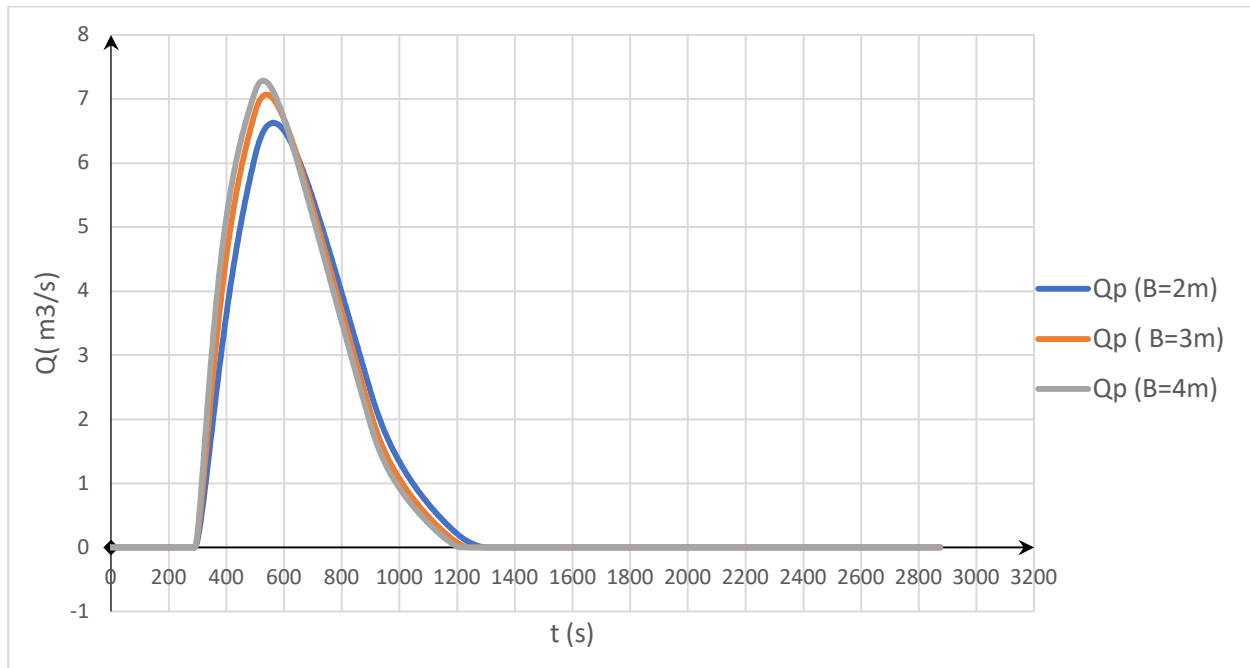
Slika 7 Prikaz dotoka za sve širine preljevnog praga ovisno o vremenu



Slika 8 Prikaz protoka kroz kratku cijev za sve širine preljevnog praga ovisno o vremenu

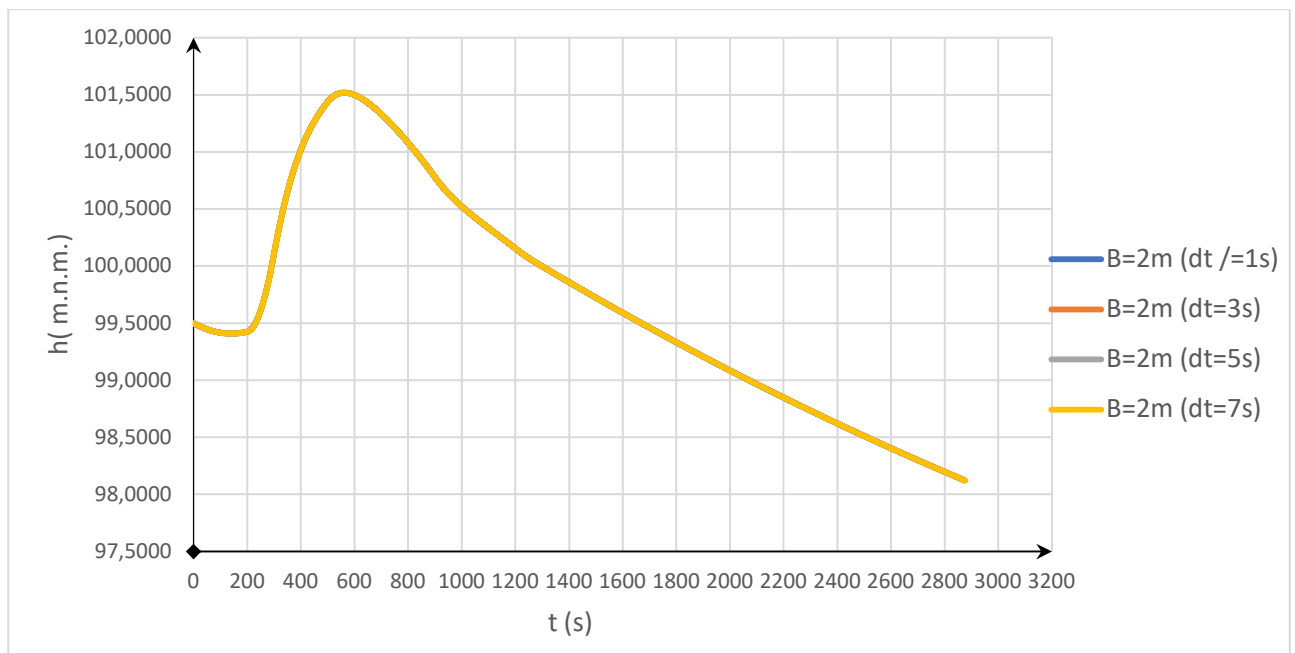


Slika 9 Prikaz preljevnog protoka za sve širine preljevnog praga ovisno o vremenu

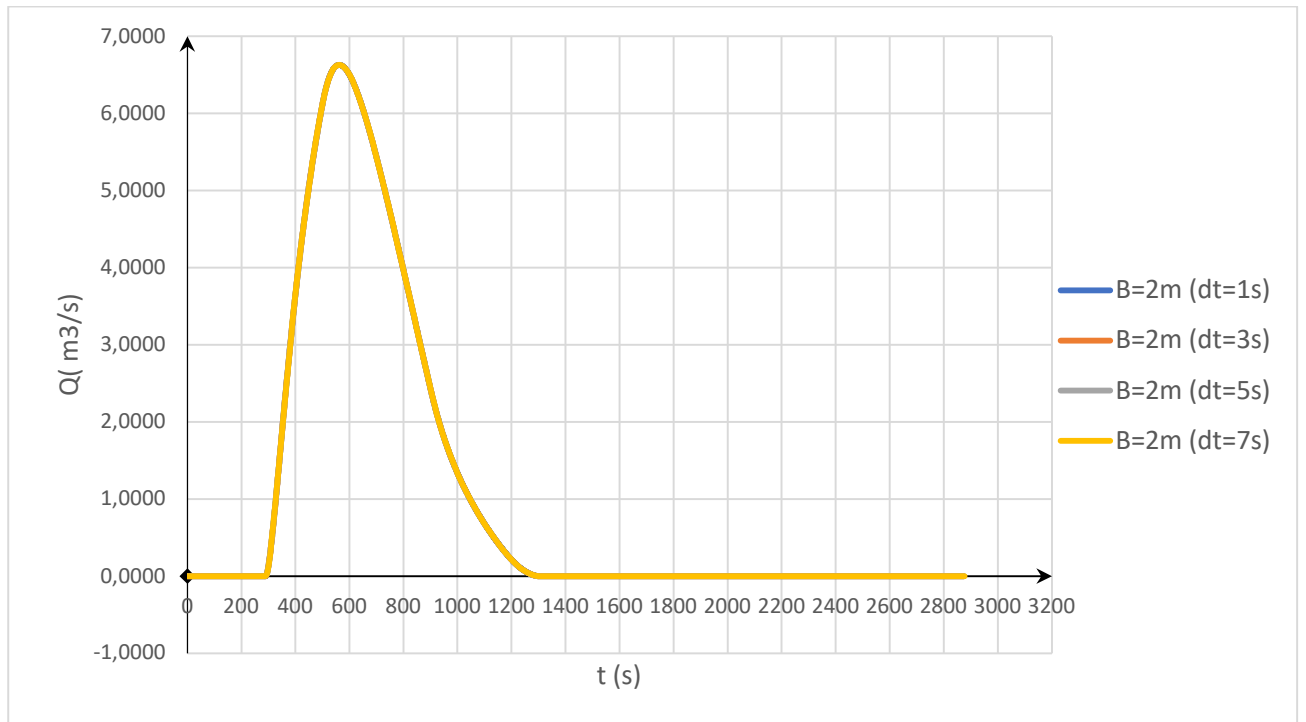


4. Utjecaj vremenskog koraka

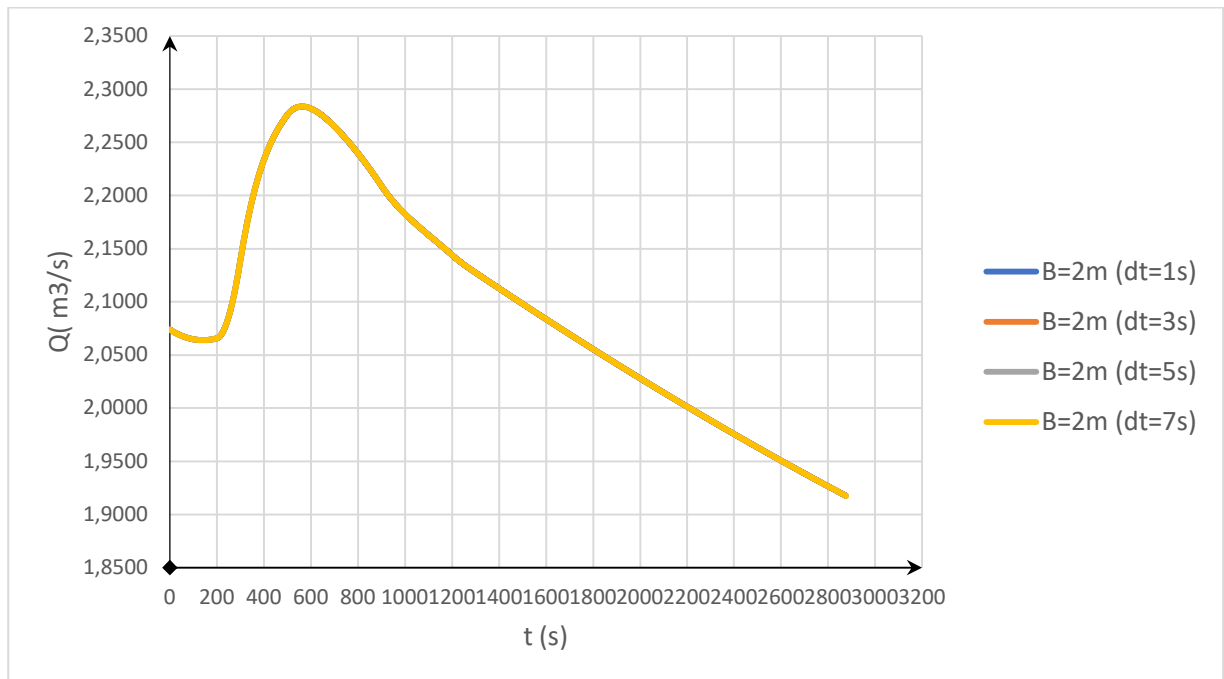
Slika 10 Prikaz vodostaja za $B=2m$ za različite vremenske korake



Slika 11 Prikaz protoka kroz kratku cijev $B=2m$ za različite vremenske korake



Slika 12 Prikaz preljevnog protoka $B=2m$ za različite vremenske korake



Prilikom izrade proračuna za analizu utjecaja vremenskog koraka širine preljevnog praga 2 m u programu Excell bilo je uočljivo da će se dijagrami krivulja u grafičkom dijelu poklopiti, što je i dokazano u priloženim grafovima.

Razlika vodostaja, protoka kroz kratku cijev i preljevnog protoka je minimalna.

5. Zaključak :

Problematika ovog rada odnosila se na otvoreni spremnik s preljevom i ispusnom cijevi površine ovisne o vodostaju. Bilo je potrebno problem riješiti pomoću numeričke integracije mješovitim postupkom koristeći tablični kalkulator Excell. Dobivena su rješenja za 3 varijante dužine preljevnog praga te je istražen utjecaj vremenskog koraka na kvalitetu rješenja.

Na temelju grafičkih prikaza možemo zaključiti sljedeće:

- iz slike 3 vidljivo je da najveće razlike vodostaja za različite širine preljevnog praga nastaju nakon 500-te sekunde te se postupno približavaju jedna drugoj,
- iz slika 4, 5 i 6 na kojima su prikazani rezultati proračuna za sve zadane širine preljevnog praga, uočava se da su razlike u rezultatima očekivane, jer duži preljevni prag omogućava veći preljevni protok, i manje vodostaje u vodospremniku,
- iz slika 10, 11, 12 - također se zaključuje da su razlike minimalne odnosno neprimjetne za različite vremenske korake. To je posljedica primjene mješovitog postupka numeričke integracije koja daje dobre rezultate i kod većih vremenskih intervala.

6. Literatura :

- doc.dr.sc. D. Bojanić, Hidromehanika, Predavanja
- dr.sc. V. Jović, Osnove Hidromehanike, Element, 2006
- dr.sc. S.I. Bradanović, Primjenjena matematika, predavanja