

# Hidraulička analiza i model Vranskog jezera u postojećem stanju

---

Vrsalović, Adrijana

Master's thesis / Diplomski rad

2019

*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:123:188939>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-04-01**



*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**

# **DIPLOMSKI RAD**

**Adrijana Vrsalović**

**Split, 2019.**

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

**HIDRAULIČKA ANALIZA I MODEL  
VRANSKOG JEZERA U POSTOJEĆEM  
STANJU**

**Adrijana Vrsalović**

**Split, 2019.**

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

Split, Matice hrvatske 15

**STUDIJ: DIPLOMSKI SVEUČILIŠNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA**

**KANDIDAT: Adrijana Vrsalović**

**BROJ INDEKSA: 684**

**KATEDRA: Katedra za hidromehaniku i hidrauliku**

**PREDMET: Hidraulika**

**ZADATAK ZA DIPLOMSKI RAD**

Tema: Hidraulička analiza i model Vranskog jezera u postojećem stanju

Opis: Potrebno je analizirati hidrauličko funkcioniranje Vranskog jezera u postojećem stanju. Vransko jezero se puni dotokom od oborina iz vlastitog sliva i padalinama na samu njegovu površinu, a prazni otjecanjem kroz kanal Prosika, isparavanjem sa slobodne vodne površine, procjeđivanjem po bokovima jezera prema moru, te navodnjavanjem i vodoopskrbom. Studentica će dobiti na raspolaganje sve dnevne podatke o padalinama, razinama jezera i mora za 2010., 2011. i 2012. godinu. Podaci o protocima za vodoopskrbu i navodnjavanje su dostupni kao mjesečni podaci. Isparavanje sa slobodne vodne površine treba računati po modificiranoj formuli Ivanova, za što su dostupni potrebni podaci o srednjim mjesečnim temperaturama i relativnim vlažnostima u navedenom periodu. Gubitke vode prema moru kroz podzemlje treba kalibrirati, kao i koeficijent otjecanja sa sliva. Kako bi se što točnije računalo tečenje u kanalu Prosika nužno je izračunati krivulje protoka kroz kanal za različite razine mora i to od razine mora -0.60 (m n.m.) do +0.80 (m n.m.), s prirastom od po 10 (cm). Studentica će izraditi dinamički hidraulički model u programskom jeziku Fortran kojim će se simulirati funkcioniranje Vranskog jezera. Model treba kalibrirati na podacima za 2010. i 2011. godinu, te ga nakon toga testirati na podacima za 2012. godinu.

U Splitu, 07.03.2019.

Voditelj diplomskog rada:

Doc.dr.sc. Davor Bojanić

Predsjednik Povjerenstva  
za završne i diplomske ispite:  
Doc.dr.sc. Ivo Andrić

# **Hidraulička analiza i model Vranskog jezera u postojećem stanju**

## *Sažetak:*

U ovom diplomskom radu prikazan je hidraulički model funkcioniranja Vranskog jezera koji opisuje promjenu vodostaja u jezeru, uzimajući u obzir dotoke od oborina, podzemne gubitke prema moru, otjecanje kanalom Prosika, potrošnju vode za navodnjavanje i vodoopskrbu, te isparavanje vode s jezerske površine. Model je izrađen u programskom jeziku FORTRAN 95. Napravljen je na temelju mjerenja vodostaja jezera i mora za 2010. i 2011. godinu, te testiran na podacima iz 2012. godine. Rezultati proračuna su razine u jezeru te odgovarajući protoci. Analizom rezultata proračuna utvrđeno je da model dobro opisuje postojeće stanje jezera.

## *Ključne riječi:*

Hidraulički model, Vransko jezero, kanal Prosika

# **Hydraulic analysis and model of lake Vrana in its present state**

## *Abstract:*

In this graduate thesis hydraulic model has been developed describing the change of water level in Lake Vrana, having regard to the inflow of the precipitate, the sea underground losses, runoff through channel Prosika, water consumption for irrigation and water supply, and water evaporation from the lake surface. The model was developed in the FORTRAN 95 programming language. It was made based on gathered data of lake and sea level from 2010 and 2011 and tested on 2012 data. The results of the calculation are the variations of lake level and the corresponding water flows. Through the analysis of results of the numerical calculation, it has been determined that the model describes well the existing lake condition.

## *Keywords:*

Hydraulic model, Lake Vrana, Channel of Prosika

# Sadržaj

1. UVOD .....	1
2. PRIKAZ PROBLEMATIKE .....	3
3. ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA .....	4
3.1. Proračun kritične dubine na pragu .....	5
3.2. Proračun dubine na stacionaži 0+163.00 .....	8
3.3. Proračun razine u jezeru .....	9
3.4. Rezultati proračuna postojećeg stanja .....	12
4. HIDRAULIČKI MODEL VRANSKOG JEZERA .....	14
4.1. Opis modela .....	14
4.2. Komponente vodne bilance .....	15
4.3. Postavljanje potrebnih jednadžbi i njihovo rješavanje .....	19
4.3.1. Eksplicitno – implicitna metoda .....	20
4.4. Newton-Raphsonova metoda rješavanja sustava nelinearnih jednadžbi .....	22
4.5. Slaganje sustava jednadžbi prema Newton-Raphsonovoj metodi .....	23
4.6. Programsko rješenje .....	25
4.6.1. Ulazne datoteke.....	25
4.6.1.1. Formiranje ulaznih datoteka.....	26
4.6.1.2. Ulazni podaci.....	27
4.6.2. Objašnjenje programskog rješenja .....	31
4.6.3. Izlazna datoteka.....	32
4.7. Rezultati proračuna.....	33
4.8. Ispitivanje točnosti modela .....	39
5. PROGRAMSKO RJEŠENJE U FORTRANU 95.....	43
6. ZAKLJUČAK .....	52
7. LITERATURA.....	53
8. PRILOZI .....	54

## 1. UVOD

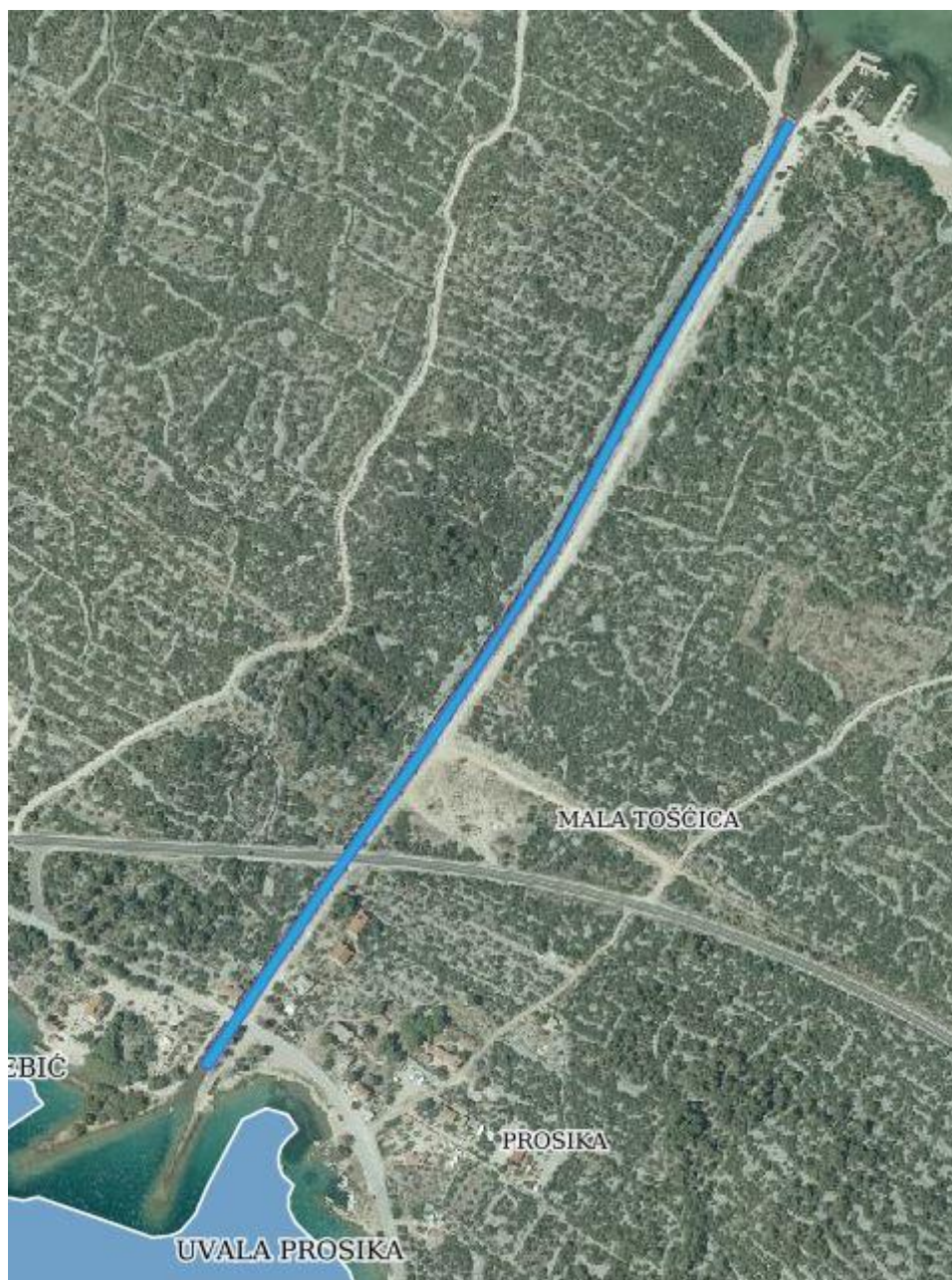
Vransko jezero kod Biograda smješteno je u središnjem priobalnom dijelu istočne obale Jadrana te je površinom od oko 31 (km<sup>2</sup>) najveće slatkovodno jezero u Hrvatskoj. Zbog svojih prirodnih značajki imenovano je zaštićenim područjem po više osnova. Vransko jezero i dio Vranskog polja 1999. godine je dobilo status Parka prirode, kao i status posebnog ornitološkog rezervata, dok je Ramsarskom konvencijom 2013. godine uvršteno i na popis svjetski važnih močvara.



Slika 1. Orto-foto snimak Vranskog jezera

Jezero je kriptodepresija sa kotom dna od 3.5 (m) ispod razine mora. Odvojeno je od mora grebenom duljine oko 10 (km) koji je na pojedinim mjestima širok manje od 1 (km). Sliv Vranskoga jezera raspoređeno se na oko 485 (km<sup>2</sup>) (HGI, 2012), što s površinom jezera čini ukupnu površinu od oko 515 (km<sup>2</sup>). Prihranjivanje jezera se vrši iz više izvorišta kao i površinskim vodama. Kako je jezero plitko, tako volumen karakteriziraju velike varijacije. Varijacije proizlaze i iz složenog hidrološkog sustava s nekontroliranim dotocima i istjecanjem karakterističnim za krške vodonosnike.

Kako bi se smanjio intenzitet i trajanje visokih vodostaja koje uzrokuje zamočvarenje jezera i povećala obradiva površina 1770. godine izgrađen je kanal Prosika kojim se jezero izravno povezalalo s morem. Na taj način voda iz jezera teče u more, u slučaju višeg vodostaja jezera od mora ili more dotječe u jezero, u slučaju nižih vodostaja i suša. Time je izražen problem povećanja slanosti jezera na kojeg osim navedenog utječe i trend smanjivanja dotoka, porast razine mora uslijed klimatskih promjena, potreba za vodoopskrbom, te navodnjavanjem.



Slika 2. Orto-foto snimak kanala Prosike



## 2. PRIKAZ PROBLEMATIKE

Vransko jezero ima složen sustav prihranjivanja putem površinskih vodotoka i izvora. Osim navedenog, važnu ulogu u prihranjivanju ima i krški vodonosnik koji je u kontaktu s morem. Krš karakterizira mnoštvo pukotina i raspucanost što omogućuje prodor vode, odnosno mora iz dubljih dijelova podzemlja i kroz krški greben. Prodor mora moguć je i izravnim putem kanalom Prosika u sušnim razdobljima i za vrijeme trajanja plime.

Kanal je izgrađen u duljini od oko 931.18 (m) sa dnom širine 4 (m) koji je kasnije proširen na 8 (m). Poprečni profil kanala je trapeznog oblika s gotovo vertikalnim pokosima. Otjecanje u kanalu se odvija u dva smjera. Kada je razina u jezeru viša od razine mora i kote dna kanala, jezerska voda teče prema moru, a kada je razina u jezeru niža od razine mora i kote dna kanala, more utječe u jezero. U hladnijem dijelu godine nadvišenje jezera nad morem je najizraženije, dok ljeti ta razlika opada čime se zaslanjenje jezera povećava uslijed direktnog prodora mora u jezero. Osim direktnog prodora odvija se i prodor mora kroz pukotine u grebenu. Razina vode u jezeru oscilira od 0.03 do 2.25 (m n.m.), dok je srednja razina jezera dobivena na temelju podataka iz razdoblja 1948. - 2010. jednaka 0.83 (m n.m.).

Kota dna kanala do nedavno je bila skoro horizontalna na cijeloj svojoj duljini sa maksimalnom kotom dna na +0.35 (m n.m.). Da bi se usporilo otjecanje vode iz jezera, produžilo njeno zadržavanje u ljetnim mjesecima i time smanjilo zaslanjenje 2009. godine izveden je prag s nadvišenjem od 0.41 (m). Prag je izveden u duljini od 8.4 (m), s kotom 0.41 (m n.m.) u središnjem dijelu na širini od 1 (m) i kotom od 0.50 (m n.m.) na krajnjem lijevom i desnom dijelu praga. Izgradnjom praga djelomično je riješen problem. Smanjen je direktan prodor mora, međutim ne značajno zbog nedovoljno visokog nadvišenja koje je potrebno da spriječi nepovoljne utjecaje dugotrajnih sušnih razdoblja. Osim toga niveleta prokopa kanala izvedena je u jako okršenoj stijenskoj masi koje omogućava prodor mora. Izgradnjom praga tako ipak nije u potpunosti riješen problem zbog prodora mora kroz dno kanala i bokove.

U ovom radu analizira se postojeće stanje sustava. Svrha ovog rada je izrada modela koji dobro opisuje postojeće stanje kako bi se na osnovi istog kasnije izradili modeli novih varijantnih rješenja. Numeričkim modelom postojećeg stanja dobivene su varijacije razina u jezeru za različite razine mora.

### 3. ANALIZA POSTOJEĆEG STANJA

Intervencijom u kanalu planira se poboljšati postojeće stanje. Međutim da bi se odabralo adekvatno rješenje potrebno je proanalizirati promjenu razina i protoke u jezeru pri različitim razinama mora za postojeće stanje jezera. Pritom su uzete varijacije razina mora u rasponu od -0.6 (m n.m.) do +0.8 (m n.m.). Analizom postojećeg stanja dobit će se krivulje protoka za različite razine mora koje pokazuju odnos protoka kroz kanal u funkciji razine vode u jezeru.

Krivulje protoke za postojeće stanje definirane su tako da su uzeti u obzir gubici vode kroz dno i bokove kanala kao i njegova geometrija, i to za 15 različitih razina mora. Veličina gubitaka vode u kanalu Prosika temelji se na mjerenju od 02. srpnja 2009. godine koje je proveo Građevinski fakultet Rijeka. Mjerenjem je utvrđen protok na početku kanala od 0.502 (m<sup>3</sup>/s), te protok od 0.055 (m<sup>3</sup>/s) na kraju kanala. Gubitak vode na poniranje duž kanala je iznosio 0.447 m<sup>3</sup>/s. Razlika razine vode u jezeru i razine mora iznosila je 0.80 (m).

Pretpostavlja se da vrijedi sljedeći izraz za protok poniranja :

$$Q_{pon.} = c \cdot \sqrt{h_j - h_m} \quad (1)$$

Na temelju raspoloživih podataka određen je koeficijent  $c$ .

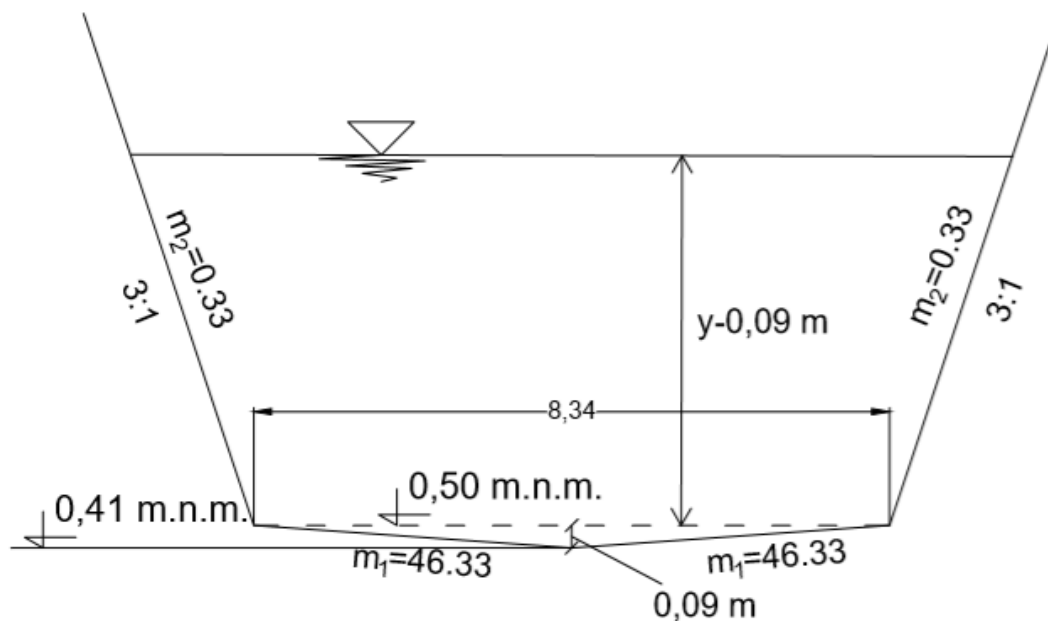
$$c = \frac{Q_{pon}}{\sqrt{h_j - h_m}} = \frac{0.447}{\sqrt{0.80}} = 0.49976 \quad (2)$$

Definiran je konačan izraz za protok poniranja koji vrijedi u slučaju više razine jezera u odnosu na more.

$$Q_{pon.} = 0,49976 \cdot \sqrt{h_j - h_m} \quad (3)$$

Ukoliko je more više od jezera, tada se u izrazu pod korijenom nalazi razlika razina mora i jezera umjesto jezera i mora. Osim protoka poniranja u obzir je uzet i preljevni protok  $Q_p$  preko postojećeg praga na stacionaži 0+161,81. Prag predstavlja rubni uvjet za proračun vodnog lica.

### 3.1. Proračun kritične dubine na pragu



Slika 3. Skica poprečnog presjeka praga

Na slici 3. prikazan je poprečni presjek praga. Na temelju poprečnog presjeka praga definiraju se sve geometrijske karakteristike potrebne za proračun kritične dubine na pragu. Pri proračunu potrebna je površina poprečnog presjeka te širina vodnog lica. Pritom se razlikuju dva slučaja koja proizlaze iz geometrije poprečnog presjeka.

$$m_1 = 46.33, m_2 = 0.33$$

a)  $y < 0.09$  (m)

$$A = m_1 \cdot y^2$$

$$B = 2 \cdot m_1 \cdot y$$

$$\frac{\partial B}{\partial y} = 2 \cdot m_1, \quad \frac{\partial A}{\partial y} = 2 \cdot m_1 \cdot y = B \quad (4)$$

b)  $y > 0.09$  (m)

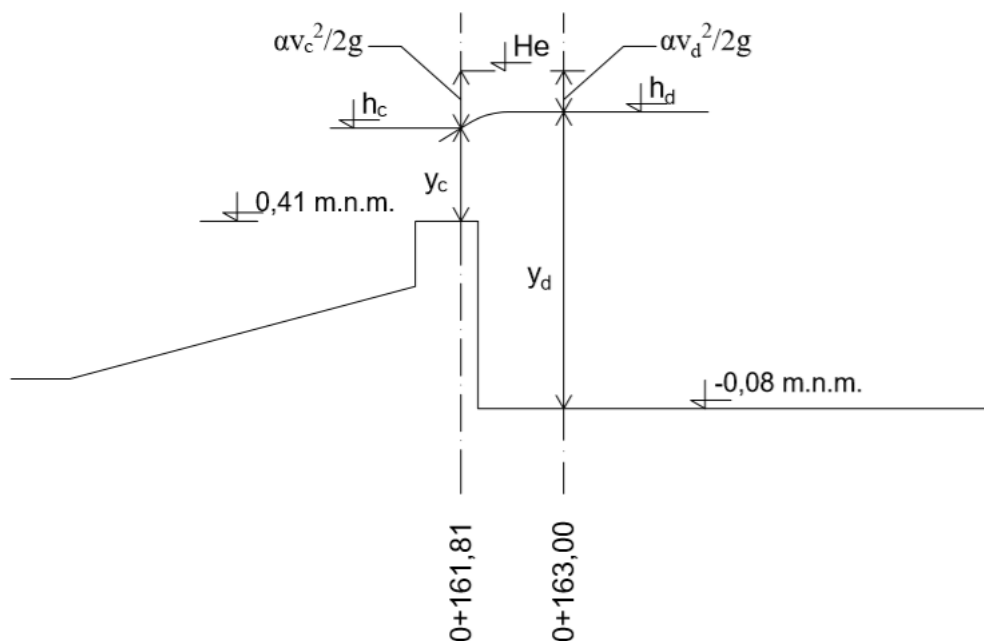
$$A_0 = \frac{0.09 \cdot 8.34}{2} = 0.3753$$

$$A = A_0 + [8.34 \cdot (y - 0.09) + (y - 0.09) \cdot m_2 \cdot (y - 0.09)]$$

$$B = 8.34 + 2 \cdot m_2 \cdot (y - 0.09)$$

$$\frac{\partial B}{\partial y} = 2 \cdot m_2, \quad \frac{\partial A}{\partial y} = 8.34 + 2 \cdot m_2 \cdot (y - 0.09) = B \quad (5)$$

Na samome pragu strujanje je kritično i dubina pri tom strujanju je kritična dubina, dubina pri kojoj je specifična energija minimalna za zadani protočni presjek i protok. Kritična dubina ovisi samo o geometrijskim karakteristikama kanala i protoku, a ne ovisi o padu dna kanala i hrapavosti. Froude-ov broj za kritično strujanje jednak je 1. Na slici 4. prikazana je hidraulička skica uzdužnog presjeka kanala na poziciji praga.



Slika 4. Hidraulička skica uzdužnog presjeka kanala na poziciji praga

Iz slike se uočava sljedeće:

$$H_e = 0,41 + y_c + \frac{\alpha \cdot v_c^2}{2g} = -0,08 + y_d + \frac{\alpha \cdot v_d^2}{2g} \quad (6)$$

Nepoznanice su  $H_e$ ,  $y_c$  i  $y_d$ . Kritična dubina  $y_c$  dobije se za odabrani preljevni protok iz uvjeta kritičnog strujanja za koje je Froude-ov broj jednak 1.

$$Fr = \frac{\alpha \cdot Q^2 \cdot B}{g \cdot A^3} = 1 \quad (7)$$

gdje su:

$\alpha$  - Coriolisov koeficijent

$Q$  – protok ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$A$  - površina poprečnog presjeka ( $\text{m}^2$ )

$B$  - širina vodnog lica (m)

$Fr$  - Froude-ov broj.

Da bi se odredila kritična dubina na preljevu primijenit će se Newtonova metoda opisana u poglavlju 4.4.. U tu svrhu potrebno je formirati funkciju  $F$  i odrediti njezinu nul točku. Nagib tangente na krivulju funkcije  $F$  je derivacija funkcije  $F$  po nepoznatoj dubini  $y$ .

$$F = \frac{\alpha \cdot Q^2 \cdot B}{g \cdot A^3} - 1 \quad (8)$$

$$\frac{\partial F}{\partial y} = \frac{\alpha \cdot Q^2}{g} \cdot \frac{\frac{\partial B}{\partial y} \cdot A^3 - B \cdot 3 \cdot A^2 \cdot \frac{\partial A}{\partial y}}{A^6} \quad (9)$$

Proračun je iterativan. Za odabrani preljevni protok i pretpostavljenu kritičnu dubinu izračunaju se geometrijske karakteristike, kota linije energije  $H_e$ , vrijednost funkcije kao i pripadne derivacije. Nova vrijednost kritične dubine računa se koristeći izraz:

$$y_c^{i+1} = y_c^i - \frac{F(y_c^i)}{\frac{\partial F}{\partial y}(y_c^i)} \quad (10)$$

gdje su:

$y_c^{i+1}$  - vrijednost kritične dubine u  $i+1$  koraku

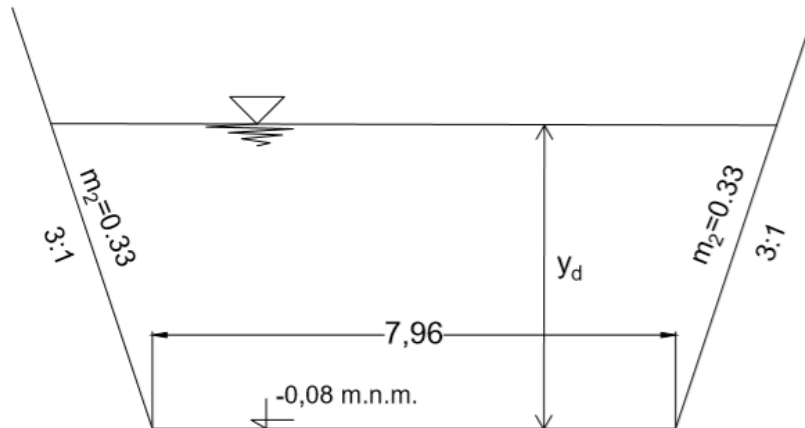
$y_c^i$  - vrijednost kritične dubine u  $i$ -tom koraku

$F(y_c^i)$  - vrijednost funkcije  $F$  za  $y_c^i$

$\frac{\partial F}{\partial y}(y_c^i)$  - vrijednost derivacije funkcije  $F$  za  $y_c^i$ .

Proračun se ponavlja do dovoljne točnosti.

### 3.2. Proračun dubine na stacionaži 0+163.00



Slika 5. Skica poprečnog presjeka na stacionaži 0+163.00

Nakon što je određena kritična dubina na preljevu, a time i kota linije energije na preljevu, može se odrediti iz izraza (6) i nepoznanica  $y_d$ , primjenom Newtonove metode proračuna za nelinearne jednadžbe. Iz izraza (6) formira se nova funkcija  $F$  i njena parcijalna derivacija.

$$F = H_e - 0.08 - y_d - \frac{\alpha \cdot v_d^2}{2g} \quad (11)$$

$$\frac{\partial F}{\partial y_d} = -1 - \frac{\alpha \cdot Q^2}{2 \cdot g \cdot A_D^3} \cdot \frac{\partial A_d}{\partial y_d} \quad (12)$$

Prije iterativnog postupka definiraju se geometrijske karakteristike poprečnog presjeka na stacionaži 0+163.00 na temelju normalnog poprečnog presjeka, kao i potrebne derivacije.

$$A_d = \left(7.96 + \frac{1}{3} \cdot y_d\right) \cdot y_d \quad (13)$$

$$B_d = 7.96 + \frac{2}{3} \cdot y_d \quad (14)$$

$$\frac{\partial A_d}{\partial y_d} = 7.96 + \frac{2}{3} \cdot y_d = B_d \quad (15)$$

Proračun je iterativan. Za odabrani preljevni protok i pretpostavljenu dubinu  $y_d$  izračunaju se geometrijske karakteristike, vrijednost funkcije kao i pripadne derivacije. Nova vrijednost dubine  $y_d$  računa se koristeći izraz:

$$y_d^{i+1} = y_d^i - \frac{F(y_d^i)}{\frac{\partial F}{\partial y}(y_d^i)} \quad (16)$$

gdje su:

$y_d^{i+1}$  - vrijednost dubine na stacionaži 0+163.00 u i+1 koraku

$y_d^i$  - vrijednost dubine na stacionaži 0+163.00 u i-tom koraku

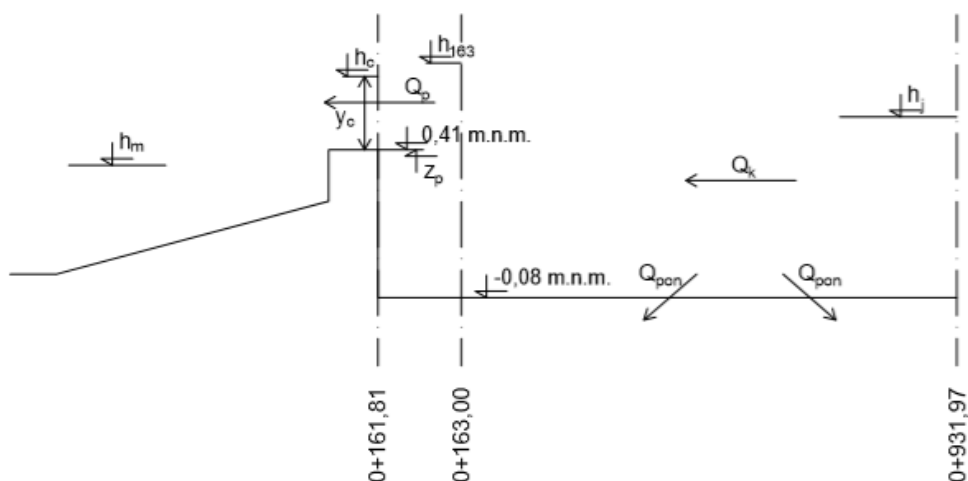
$F(y_d^i)$  - vrijednost funkcije F za  $y_d^i$

$\frac{\partial F}{\partial y}(y_d^i)$  - vrijednost derivacije funkcije F za  $y_d^i$

Proračun se ponavlja do dovoljne točnosti.

### 3.3. Proračun razine u jezeru

Razina u jezeru dobije se uzvodnim proračunom vodnog lica počevši od vodostaja na stacionaži 0+163.00. U proračunu za veličinu hidruličke hrapavosti uzeta je vrijednost od 4 (cm). Kao što se vidi na slici 6. uzima se da je protok na stacionaži 0+163.00 jednak preljevnom protoku preko praga, a ukupni volumen koji prođe jezerom u jedinici vremena jednak je preljevnom protoku uvećanom za protok poniranja  $Q_{pon}$ .



Slika 6. Skica kanala s pragom na koti 0+161,81 u slučaju  $h_j > h_m$

Vodostaj na stacionaži 0+163.00 ( $h_d$ ) jednak je zbroju vrijednosti dubine na navedenoj stacionaži i geodetske kote.

$$h_d = y_d + z_p = y_d - 0.08 \quad (17)$$

Navedeno vrijedi u slučaju postojanja preljevnog protoka. Ukoliko nema prelijevanja preko praga poniranje je jedini element koji formira protok u kanalu. Kod nižih razina mora (nižih od kote praga 0.41 (m n.m.)) cijeli kanal ne sudjeluje u formiranju protoka. U tom slučaju protok poniranja smanjen je proporcionalno omjeru dužine kanala pod vodom i cijele dužine kanala od jezera do praga na stac. 0+161.81. Protok poniranja iz izraza (3) množi se s navedenim omjerom  $L_{akt.}/L_{uk.}$  i tako računa za odabranu razinu u jezeru.

$$Q_{pon.} = 0.49976 \sqrt{h_j - h_m} \cdot \frac{L_{akt.}}{L_{uk.}} \quad (18)$$

gdje su:

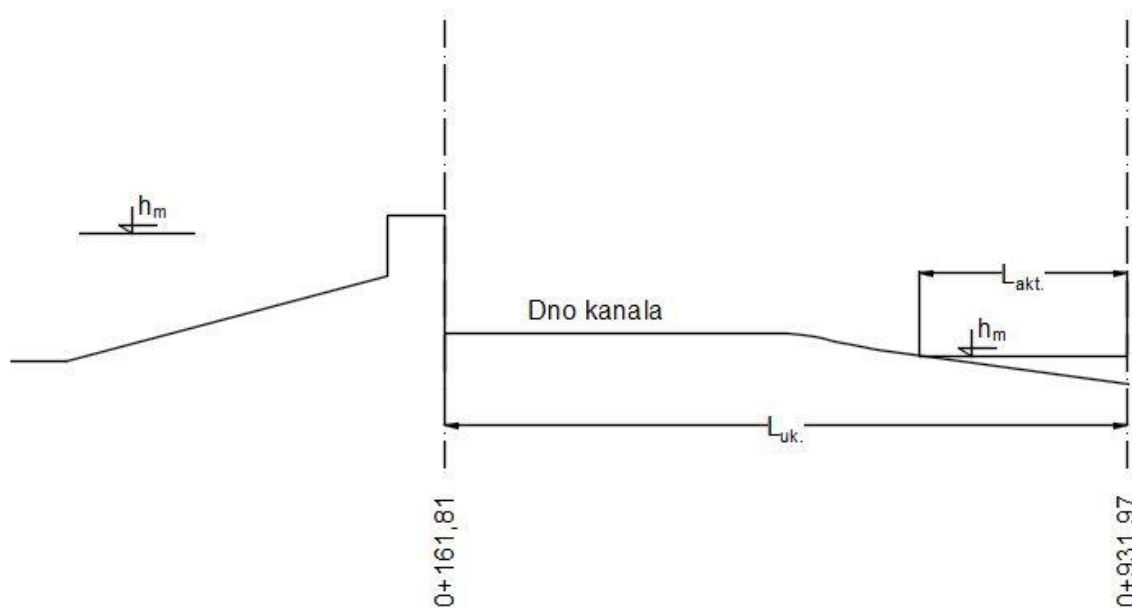
$Q_{pon.}$  – protok poniranja ( $m^3/s$ )

$h_j$  – razina u jezeru (m n.m.)

$h_m$  – razina u moru (m n.m.)

$L_{akt.}$  – dio kanala koji sudjeluje u formiranju protoka (m)

$L_{uk.}$  – ukupna duljina kanala (m)



Slika 7. Skica kanala s označenim duljinama  $L_{akt.}$  i  $L_{uk.}$



U slučaju nižih razina mora, jezero je više od mora i dosad sve navedeno opisivalo je taj slučaj. Međutim s obzirom da krivulja protoka ima raspon razina mora od -0.6 (m n.m.) do +0.8 (m n.m.) potrebno je analizirati i slučaj u kojem je razina mora viša od jezera. U slučaju razine mora više od jezera i više od dna praga na stac. 0+161.81, postupak započinje uzvodnim proračunom vodnog lica od praga na stac. 0+161.81 prema moru (do stac. 0+000.00). Za odabranu razinu mora potrebno je pretpostaviti preljevni protok mora u kanal na stac. 0+161.81, te za taj protok izračunati vodno lice u uzvodnom smjeru do mora. Točan je onaj preljevni protok kod kojeg izračunata razina mora na stac. 0+000.00 odgovara odabranoj razini mora. Ovo sve vrijedi ako je prelijevanje na pragu nepotopljeno.

U slučaju potopljenog prelijevanja na pragu na stac. 0+161.81 postupak proračuna se mijenja.

Odabere se preljevni protok potopljenog prelijevanja (manji od protoka nepotopljenog prelijevanja). Za taj protok se iteracijom odredi vodostaj na stac. 0+161.81 koji je potreban da bi u uzvodnom proračunu na stac. 0+000.00 izračunata razina bila jednaka odabranoj razini mora. Iz tako određenog vodostaja na stac. 0+161.81 odredi se kota linije energije na istoj poziciji. Usvaja se da će kota linije energije na stac. 0+163.00 biti manja od kote linije energije na stac. 0+161.81 za gubitak energije koji je jednak brzinskoj visini na preljevu.

$$He_{163} = He_{161.81} - \Delta He \quad (19)$$

$$\Delta He = \frac{\alpha \cdot v^2}{2 \cdot g} \quad (20)$$

Za poznatu kotu linije energije na stac. 0+163.00 ( $He_{163}$ ) odredi se vodostaj na istoj stacionaži postupkom kao u poglavlju 3.2.. Formira se funkcija  $F$  i njena derivacija, te se za pretpostavljenu vrijednost dubine  $y_d$  i odabrani preljevni protok  $Q_p$  izračuna površina poprečnog presjeka, vrijednost funkcije i njene derivacije. Koristeći izraze (16) i (17) dobije se izračunata vrijednost tražene dubine  $y_d$  kao i vodostaj na stacionaži 0+163.00.

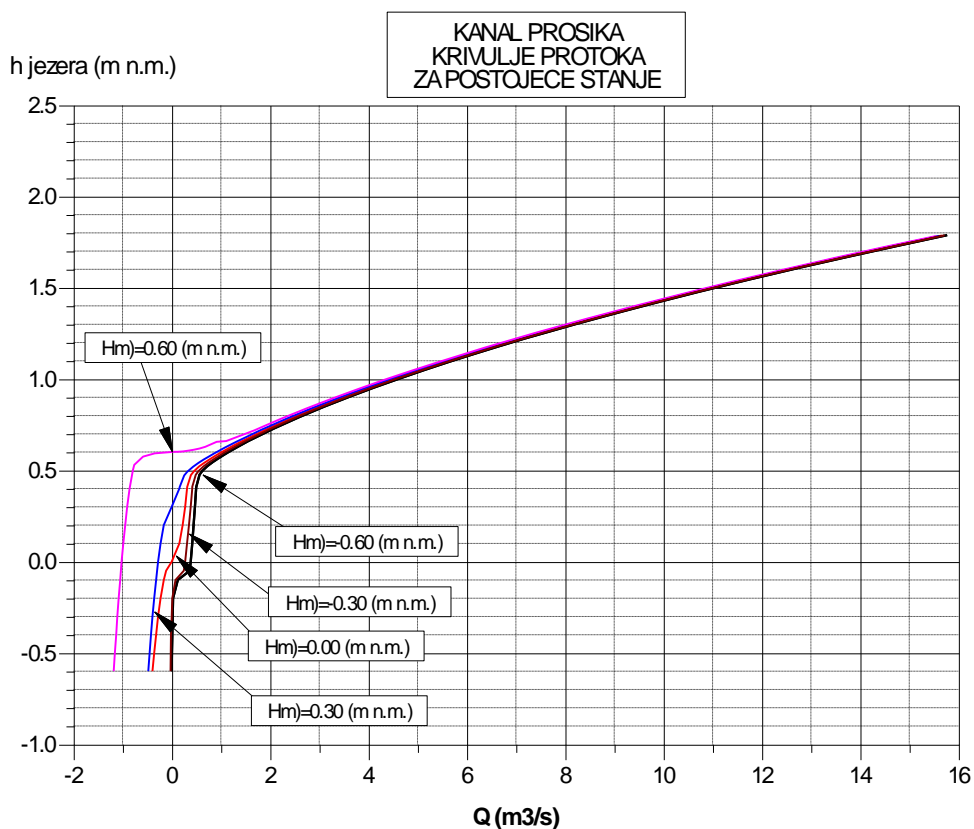
Za tako određeni preljevni protok i vodostaj na stac.0+163.00, nizom proračuna vodnog lica u uzvodnom smjeru od jezera do stac. 0+163.00, odredi se razina vode u jezeru koja je potrebna kao rubni uvjet, da bi izračunati vodostaj na stac. 0+163.00 (uzimajući u obzir da je protok na uljevu kanala u jezero jednak preljevnom protoku uvećanom za protok poniranja), bio jednak vodostaju koji je izračunat prethodno opisanim postupkom.

### 3.4. Rezultati proračuna postojećeg stanja

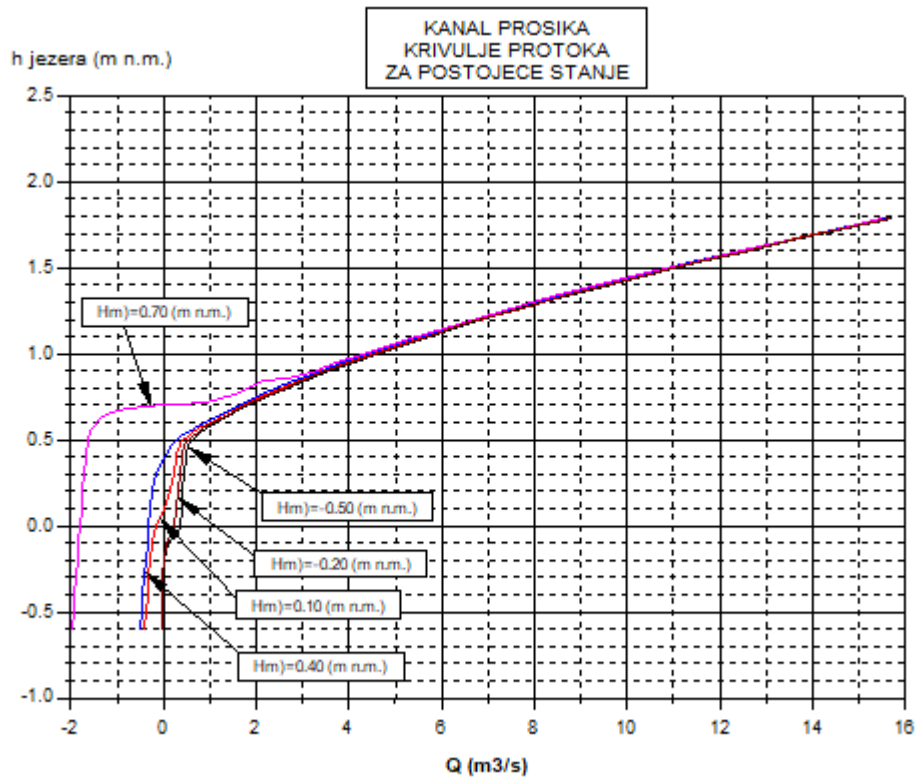
Analizom postojećeg stanja dobiveno je 15 krivulja protoka za razine mora u rasponu od -0.6 (m n.m.) do +0.8 (m n.m.). Uvidom u dobivene krivulje zaključuje se da razina mora nema značajan utjecaj na veće protoke koji rezultiraju višim vodostajem u jezeru. Kod nižih vodostaja u jezeru različite razine mora rezultiraju većim oscilacijama u protocima.

Izražen je skok u krivuljama protoka kod nižih razina mora zbog protoka poniranja kod kojeg  $L_{akt}$  definiran u izrazu (18) raste. Porastom razine mora dolazi do pojave protoka negativnog predznaka koji predstavlja smjer tečenja, u ovom slučaju mora k jezeru. Što je razina mora viša, to je protok negativnog predznaka veći zbog superponiranja protoka poniranja u punom iznosu i protoka prelijevanja preko praga na koti 0.41 (m n.m.). Na grafovima 1, 2. i 3. prikazane su dobivene krivulje protoka.

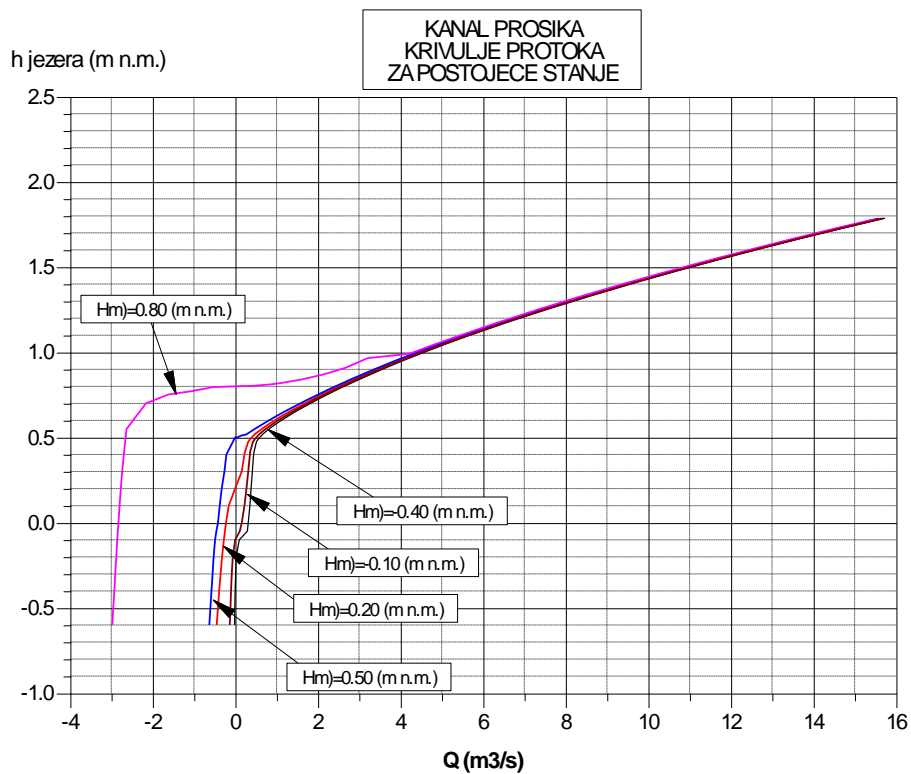
Graf 1. Krivulja protoka za  $h_m = -0.6$  m.n.m.,  $h_m = -0.3$  m.n.m.,  $h_m = 0.0$  m.n.m.,  $h_m = 0.3$  m.n.m.,  $h_m = 0.6$  m.n.m.



Graf 2. Krivulja protoka za  $hm=-0.5$  m.n.m.,  $hm=-0.2$  m.n.m.,  $hm=0.1$  m.n.m.,  $hm=0.4$  m.n.m.,  $hm=0.7$  m.n.m.



Graf 3. Krivulja protoka za  $hm=-0.4$  m.n.m.,  $hm=-0.1$  m.n.m.,  $hm=0.2$  m.n.m.,  $hm=0.5$  m.n.m.,  $hm=0.8$  m.n.m.



## 4. HIDRAULIČKI MODEL VRANSKOG JEZERA

Vransko jezero je izrazito složen hidrološki sustav kojem nedostaje cjelovito praćenje vodne bilance. Neke od komponenata vodne bilance prate se na mjernim postajama. Na pet hidroloških postaja na prostoru Vranskoga polja registrira se samo dio dotoka koji u jezero ulazi putem površinskih vodotoka i izvora. Nedostajuće komponente podzemnog dotoka, otjecanja kroz bokove i dno, isparavanje sa jezera te istjecanja i dotoci kanalom Prosika potrebno je procijeniti na temelju meteoroloških podataka i regionalnih značajki zbog nemogućnosti mjerenja istih.

Razina u jezeru ovisi o nizu uvjeta:

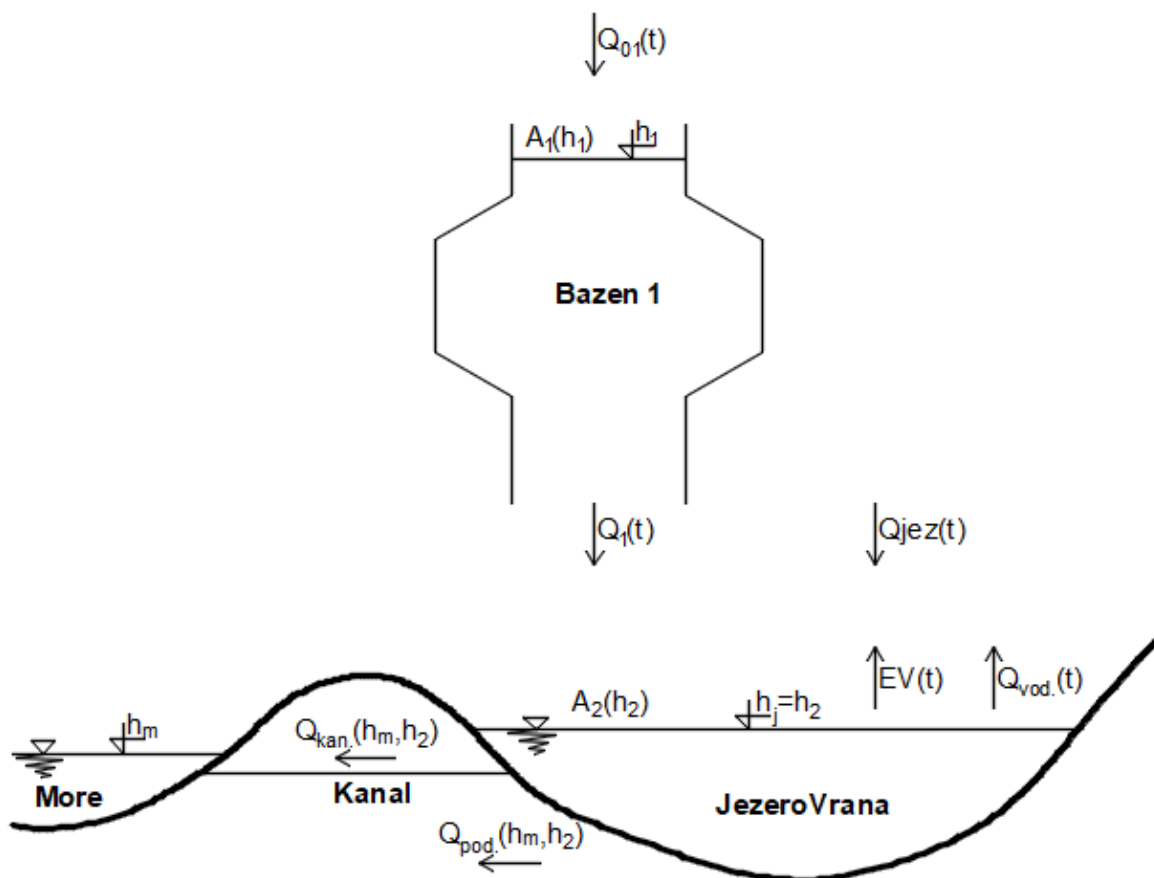
- dotjecanju u jezero, koje se ostvaruje površinskim i podzemnim putem
- gubicima vode uslijed isparavanja s površine jezera
- površinskom otjecanju iz jezera, koje se odvija kanalom Prosika
- promjenama u geometriji kanala Prosike (uslijed različite obraslosti i intervencija u koritu kanala radi usporavanja otjecanja –izgradnja praga, uklanjanja prepreka u kanalu te produbljivanja kanala)
- podzemnom otjecanju iz jezera prema moru, ali i podzemnom dotoku mora u jezero ovisno o odnosu razina mora i jezera

### 4.1. Opis modela

Svrha izrade modela je dobiti uvid u varijacije razina u jezeru za različite razine mora uzimajući u obzir sve komponente vodne bilance. U vodnoj bilanci razmatraju se dotoci kao i gubici vode iz jezera. Dotoci predstavljaju količinu vode koja padne na sliv, količinu vode koja padne direktno na površinu jezera, te dotok iz mora u slučaju više razine mora od jezera. Gubici se odvijaju kroz podzemlje, isparavanjem, korištenjem za potrebe navodnjavanja i vodoopskrbe te kanalom u slučaju više razine mora od jezera. Raspolaže se s dnevnim podacima o količini padalina, izračunatoj evaporaciji, protocima za vodoopskrbu i navodnjavanje, te mjerenim razinama jezera i mora. Sve ostale podatke uključivo i koeficijent otjecanja, potrebno je kalibrirati da bi model što bolje opisivao stvarno stanje u jezeru. Na temelju mjerenih podataka za 2010. i 2011. godinu kalibriran je model, te testiran na mjerene podatke za 2012. godinu. Model je izrađen koristeći programski jezik Fortran.

## 4.2. Komponente vodne bilance

Vodnom bilancom se kvantitativno opisuje hidrološki ciklus i njegove komponente, a zasniva se na zakonu održanja mase, odnosno na jednadžbi kontinuiteta. S obzirom na sve prethodno navedeno razmatrane komponente vodne bilance prikazane su na slici 8.



Slika 8. Model Vranskog jezera

Dotok u jezeru od oborina računa se kao dotok sa sliva  $Q_1(t)$  i kao dotok od oborina koje padnu direktno na površinu jezera  $Q_{jez}(t)$ . Dotok sa sliva  $Q_1(t)$  je količina vode koja izlazi iz fiktivnog bazena (na slici 8. Bazen 1) (koji u stvarnosti predstavlja pukotinski sustav na slivnom području), a rezultat je dotoka od oborine pale na sliv  $Q_0(t)$ . Fiktivni bazen ekvivalent je podzemnom bazenu ispod sliva čija površina u funkciji vodostaja nije poznata, ali se može približno odrediti kalibracijom. Za potrebe modela uzeta je veličina od 1‰ do 1% slivne površine.  $Q_0(t)$  računat je na temelju podataka o količini oborina, veličini sliva te veličini koeficijenta otjecanja (kalibrirana veličina) u zavisnosti o vodostaju u podzemnom bazenu 1.

$$Q_0 = A_{sliva} \cdot CD \cdot P(t) \quad (21)$$

gdje su:

$$A_{sliva} = 485000000 \text{ m}^2$$

CD – koeficijent otjecanja sa sliva

P (t) – dnevne padaline u mm

$$Q_1 = CB \cdot \sqrt{h_1 - h_j} \quad (22)$$

gdje su:

CB – koeficijent provodljivosti iz bazena 1

$h_1$  – razina vode u bazenu 1

$h_j$  – razina vode u jezeru.

Koeficijent provodljivosti bazena 1 nije poznata veličina nego ju je potrebno kalibrirati. Kalibracijom utvrđene vrijednosti koeficijenta provodljivosti prikazane su u tablici 1 gdje prvi stupac prikazuje razinu vode u podzemnom bazenu 1, a drugi stupac daje vrijednosti koeficijenta provodljivosti.

Tablica 1. Vrijednosti koeficijenta provodljivosti iz bazena 1

$h_1$ (m n.m.)	CB
100,00	9
10,00	9
5,00	6
1,00	3
0,00	3
-1,00	2

Dotok vode od oborina palih na samo jezero iznosi:

$$Q_{jez} = A_j \cdot P(t) \quad (23)$$

gdje su:

$A_j$  – površina jezera (ovisna o razini vode u jezeru)

P(t) - dnevne padaline u mm.

Površina jezera nema fiksnu vrijednost, te njena veličina varira ovisno o razini u jezeru. Pri proračunu u modelu za svaku izračunatu razinu u jezeru dobivena je površina jezera linearnom interpolacijom iz poznatih podataka, navedenih u tablici 2.

Tablica 2. Površine jezera

$h_j$ (m n.m.)	$A_j$ (m <sup>2</sup> )
-0,501	29340000
0,469	31120000
1,899	37240000

Protoci kroz kanal određuju se iz krivulja protoka za postojeće stanje i definirani su veličinom  $Q_{kan}(h_j, h_m)$ . Ovisno o odnosu razina jezera i mora,  $Q_{kan}$  predstavlja dotok mora u jezero ili gubitak vode iz jezera prema moru. S obzirom da su krivulje dobivene za razine mora od -0.6 (m n.m.) do +0.8 (m n.m.), za razine mora za koje nisu dobivene krivulje, potrebno je veličinu protoka  $Q_{kan}$  dobiti linearnom interpolacijom.

Osim dotoka, u obzir je potrebno uzeti i gubitke vode iz jezera kroz dno jezera, prema moru.

$$Q_{pod} = XK \cdot \sqrt{|h_j - h_m|} \quad (24)$$

gdje su:

$XK$  – koeficijent provodljivosti između jezera i mora

$h_j$  – razina u jezeru

$h_m$  – razina mora.

$Q_{pod}$  prikazuje gubitak vode kroz podzemlje. Ovisno o odnosu razine jezera i mora vrijednost protoka može biti i negativnog predznaka. Koeficijent provodljivosti dobiven je linearnom interpolacijom na temelju ulaznih kalibriranih podataka, jer stvarna vrijednost koeficijenta provodljivosti nije poznata. Ulazni kalibrirani podaci prikazani su tablicom 3.

Tablica 3. Ulazni kalibrirani podaci

$h_j - h_m$ (m)	$XK$
0,00	1,00
0,60	2,50
1,00	2,80
2,00	2,00
3,00	3,00

Iz raspoloživih podataka za 2010. i 2011. godinu izračunate su i dnevne količine isparavanja na temelju kojih su dobivene vrijednosti evaporacije.

$$EV = A_j \cdot E(t) \quad (25)$$

gdje su:

$A_j$  – površina jezera

$E(t)$  – dnevno isparavanje (mm/dan/m<sup>2</sup>).

Podaci o dnevnom isparavanju dobiveni su korištenjem modificiranog oblika formule Ivanova. Vrijednosti su dobivene iz mjerenih podataka za razdoblje od 1961. do 2015. za mjernu postaju Biograd.

$$E = 0,000805 \cdot (25 + T)^{2,29} \cdot (100 - U) \quad (26)$$

gdje su:

$E$  – mjesečna suma isparavanja sa slobodne površine (mm)

$T$  – srednja mjesečna temperatura zraka (C°)

$U$  – srednja mjesečna vlažnost zraka (%)

Tablica 4. Vrijednosti evaporacije po Ivanovu

1961. - 2015.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
srednja temp. zraka [°C]	6.38	6.92	9.51	13.08	17.69	21.58	24.30	23.80	19.76	15.63	11.19	7.54
srednja vl. zraka [%]	72.40	70.00	71.20	72.70	73.80	71.20	67.20	69.30	73.40	73.80	73.50	72.80
EVAPORACIJA po Ivanovu - modif. [mm]	59.43	67.18	77.11	91.56	114.20	153.22	198.72	181.76	129.16	101.92	79.10	63.65
EVAPORACIJA s površine jezera [m <sup>3</sup> ]	1788748	2022030	2320999	2755964	3437292	4612038	5981622	5470868	3887778	3067691	2380955	1915876
EVAPORACIJA s površine jezera [m <sup>3</sup> /s]	0.67	0.75	0.87	1.03	1.28	1.72	2.23	2.04	1.45	1.15	0.89	0.72

Kao i kod izraza (23) površina jezera  $A_j$  dobivena je linearnom interpolacijom iz poznatih podataka (Tablica 2.).

Gubici nastali vodoopskrbom i navodnjavanjem su poznate veličine za promatrano razdoblje.



### 4.3. Postavljanje potrebnih jednačbi i njihovo rješavanje

Ponašanje sustava definirano je sljedećim jednačbama:

a) Jednačba kontinuiteta za podzemni bazen 1

$$A_1 \cdot \frac{dh_1}{dt} = Q_0 - Q_1 \quad (27)$$

b) Jednačba kojom se definira dotok iz bazena 1 u jezero

$$Q_1 = CB \cdot \sqrt{h_1 - h_j} \quad (28)$$

c) Jednačba kontinuiteta za jezero

$$A_j \cdot \frac{dh_j}{dt} = Q_1 + Q_{jez.} - EV - Q_{vod.} - Q_{kan.} - Q_{pod.} \quad (29)$$

Sustav jednačbi se integrira u nekom konačnom vremenskom intervalu  $[t^k, t^{k+1}]$  gdje je  $t = t^k$  poznato stanje sustava na početku intervala, a  $t = t^{k+1}$  kraj intervala za kojeg se proračunava novo stanje sustava. Oznake  $k$  i  $k+1$ , gdje  $k = 1, 2, 3, \dots, n$  označavaju stanje sustava u pojedinom trenutku.

$$\int_{t^k}^{t^{k+1}} dh_1 = \int_{t^k}^{t^{k+1}} \frac{Q_0 - Q_1}{A_1} dt \quad (30)$$

$$\int_{t^k}^{t^{k+1}} dh_j = \int_{t^k}^{t^{k+1}} \frac{Q_1 + Q_{jez.} - EV - Q_{vod.} - Q_{kan.} - Q_{pod.}}{A_j} dt \quad (31)$$

Oblik jednačbi nakon integracije je:

$$h_1^{k+1} = h_1^k + \int_{t^k}^{t^{k+1}} \frac{Q_0 - Q_1}{A_1} dt \quad (32)$$

$$h_j^{k+1} = h_j^k + \int_{t^k}^{t^{k+1}} \frac{Q_1 + Q_{jez.} - EV - Q_{vod.} - Q_{kan.} - Q_{pod.}}{A_j} dt \quad (33)$$

Integral desne strane u direktnom obliku nije moguć pa će se primijeniti numerička integracija. Za kraće vremenske inkremente  $\Delta t = t^{k+1} - t^k$ , vrijednosti integrala na desnoj strani navedenih izraza moguće je numerički odrediti na tri osnovna načina: eksplicitno, implicitno i eksplicitno-implicitno, tj. mješovito. Kod ovog sustava bit će primijenjen mješoviti postupak numeričke integracije.

#### 4.3.1. Eksplicitno – implicitna metoda

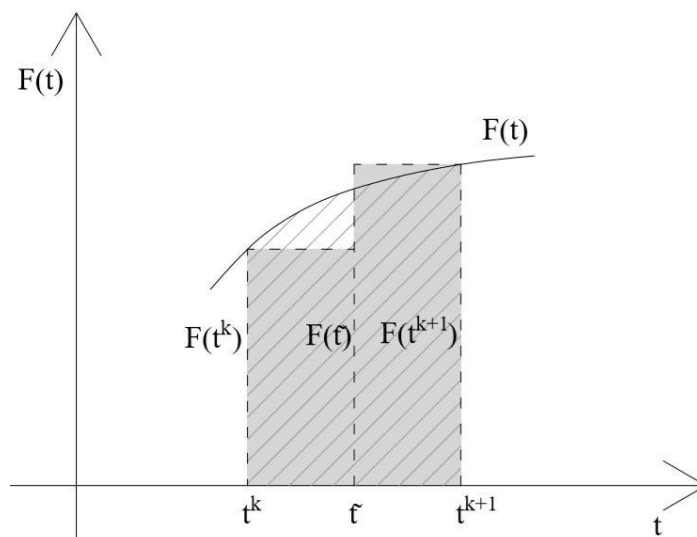
Eksplicitna metoda, u odnosu na točno rješenje, daje veće vrijednosti, dok se implicitnom metodom dobivaju manje. Zbog toga se kombinacijom tih dviju metoda dobiva najbolje rješenje. Korištenje metode objasniti će se na sljedećem primjeru:

$$\frac{dy}{dt} = F(t) \quad (34)$$

Nakon separacije varijabli i integracije u vremenskom intervalu  $[t^k, t^{k+1}]$  dobije se jednačba:

$$y^{k+1} = y^k + \int_k^{k+1} F(t) dt \quad (35)$$

Integral funkcije  $F(t)$  predstavlja površinu ispod krivulje u intervalu  $[t^k, t^{k+1}]$  koja se može aproksimirati pravokutnim površinama. (Slika 9.)



Slika 9. Grafički prikaz podintegralne funkcije

Srednji vremenski interval  $\tilde{t}$  uzima vrijednost  $t^k < \tilde{t} < t^{k+1}$ .

Na slici 9. prikazana je grafička interpretacija teorema srednje vrijednosti prema kojemu vrijedi:

$$\frac{y^{k+1} - y^k}{t^{k+1} - t^k} = F(\tilde{t}) \quad (36)$$

Iz izraza (35) funkcijska vrijednost  $F(\tilde{t})$  je nepoznata, ali se može aproksimirati s površinama dvaju pravokutnika, pa je konačna aproksimacija integrala:

$$y^{k+1} - y^k = (1 - \theta) \cdot F(t^k) \cdot (t^{k+1} - t^k) + \theta \cdot F(t^{k+1}) \cdot (t^{k+1} - t^k) \quad (37)$$

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

Parametar parcijalne integracije  $\theta$  zapravo ima funkciju raspodjele eksplicitne i implicitne vrijednosti.  $\theta$  uzima vrijednost  $0 \leq \theta \leq 1$ , i eksperimentalno se pokazalo da se najbolji rezultati dobiju s vrijednosti  $\theta=0,55$ . U ovom modelu usvojena vrijednost parametra integracije iznosi 0,5.

Nakon primjene eksplicitno – implicitne metode na sustav jednadžbi dobije se konačan oblik jednadžbi.

a) Jednadžba kontinuiteta za bazen

$$h_1^{k+1} = h_1^k + (1 - \theta) \cdot \Delta t \cdot \frac{Q_0^k - Q_1^k}{A_1^k} + \theta \cdot \Delta t \cdot \frac{Q_0^{k+1} - Q_1^{k+1}}{A_1^{k+1}} \quad (38)$$

b) Jednadžba kontinuiteta za jezero

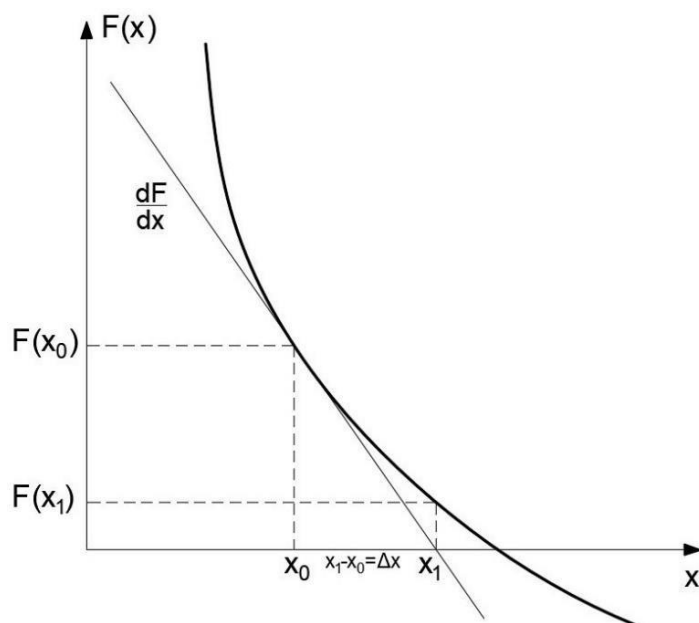
$$h_j^{k+1} = h_j^k + (1 - \theta) \cdot \Delta t \cdot \frac{Q_1^k - Q_{jez.}^k - EV^k - Q_{vod.}^k - Q_{kan.}^k - Q_{pod.}^k}{A_j^k} + \theta \cdot \Delta t \cdot \frac{Q_1^{k+1} - Q_{jez.}^{k+1} - EV^{k+1} - Q_{vod.}^{k+1} - Q_{kan.}^{k+1} - Q_{pod.}^{k+1}}{A_j^{k+1}} \quad (39)$$

Osim jednadžbi kontinuiteta za bazen i jezero, u obzir se uzima i jednadžba kojom se definira dotok vode iz bazena 1 u jezero. Jednadžbe čine nelinearni sustav od tri jednadžbe s tri nepoznanice:  $h_1^{k+1}$ ,  $Q_1^{k+1}$  i  $h_j^{k+1}$ . Sustav je rješiv primjenom Newtonove metode.

#### 4.4. Newton-Raphsonova 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. U nastavku se prikazuje Newton-Raphsonova metoda na primjeru rješavanja jedne nelinearne jednadžbe s jednom nepoznanicom.

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 odredit će se druga pretpostavka  $x_1$  koja je bliža rješenju  $r$ , i tako iterativno dok razlika pretpostavljene i izračunate veličine ne postane približno jednaka:  $x_n - r \approx 0$ .



Slika 10. 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 veličina  $x_1$  koja je pretpostavka za sljedeću iteraciju. Postupak se nastavlja dok se ne nađe točka u kojoj graf funkcije  $F(x)$  siječe os  $x$ , te samim time je određeno i rješenje funkcije  $F(x) = 0$ . Nagib tangente je zapravo derivacija funkcije u točki za koju je tangenta provučena.

$$\frac{dF}{dx} = \frac{F(x_0)}{x_1 - x_0} \quad (40)$$

$$x_1 = x_0 - \frac{F(x_0)}{\frac{dF(x)}{dx}} \quad (41)$$

Općenito vrijedi:

$$x_{n+1} = x_n - \frac{F(x_n)}{\frac{dF(x)}{dx}} \quad (42)$$

$$\frac{dF}{dx} \cdot \Delta x = -F(x) \quad (43)$$

Gdje je  $\Delta x = x_{n+1} - x_n$

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

#### 4.5. Slaganje sustava jednadžbi prema Newton-Raphsonovoj metodi

Prethodno navedeni sustav od tri nelinearne jednadžbe s tri nepoznanice 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 sve tri nepoznate varijable ( $h_1^{k+1}$ ,  $Q_1^{k+1}$  i  $h_j^{k+1}$ ).

$$F_1 = h_1^{k+1} - h_1^k + (1 - \theta) \cdot \Delta t \cdot \frac{Q_0^k - Q_1^k}{A_1^k} + \theta \cdot \Delta t \cdot \frac{Q_0^{k+1} - Q_1^{k+1}}{A_1^{k+1}} \quad (44)$$

$$F_2 = Q_1^{k+1} - CB(h_1^{k+1}) \cdot \sqrt{h_1^{k+1} - h_j^{k+1}} \quad (45)$$

$$F_3 = h_j^{k+1} - h_j^k + (1 - \theta) \cdot \Delta t \cdot \frac{Q_1^k - Q_{jez.}^k - EV^k - Q_{vod.}^k - Q_{kan.}^k - Q_{pod.}^k}{A_j^k} + \theta \cdot \Delta t \cdot \frac{Q_1^{k+1} - Q_{jez.}^{k+1} - EV^{k+1} - Q_{vod.}^{k+1} - Q_{kan.}^{k+1} - Q_{pod.}^{k+1}}{A_j^{k+1}} \quad (46)$$

Derivacija funkcije  $F_1$  po nepoznatim varijablama:

$$\frac{\partial F_1}{\partial h_1^{k+1}} = 1.0, \quad \frac{\partial F_1}{\partial Q_1^{k+1}} = \frac{\theta \cdot \Delta t}{A_1^{k+1}}, \quad \frac{\partial F_1}{\partial h_j^{k+1}} = 0.0 \quad (47)$$

Za derivacije funkcije  $F_2$  po nepoznatim varijablama  $h_1^{k+1}$  i  $h_j^{k+1}$  razlikuju se dva slučaja:

a)  $h_1^{k+1} > h_j^{k+1}$

$$\frac{\partial F_2}{\partial h_1^{k+1}} = -CB(h_1^{k+1}) \cdot \frac{1}{2 \cdot \sqrt{h_1^{k+1} - h_j^{k+1}}} \cdot 1 \quad (48)$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial h_j^{k+1}} = -CB(h_1^{k+1}) \cdot \frac{1}{2 \cdot \sqrt{h_1^{k+1} - h_j^{k+1}}} \cdot (-1) \quad (49)$$

b)  $h_1^{k+1} < h_j^{k+1}$

$$\frac{\partial F_2}{\partial h_1^{k+1}} = -CB(h_1^{k+1}) \cdot \frac{1}{2 \cdot \sqrt{h_j^{k+1} - h_1^{k+1}}} \cdot (-1) \quad (50)$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial h_j^{k+1}} = -CB(h_1^{k+1}) \cdot \frac{1}{2 \cdot \sqrt{h_j^{k+1} - h_1^{k+1}}} \cdot 1 \quad (51)$$

$$\frac{\partial F_2}{\partial Q_1^{k+1}} = 1.0 \quad (52)$$

Derivacija funkcije  $F_3$  po nepoznatim varijablama:

$$\frac{\partial F_3}{\partial h_1^{k+1}} = 0.0, \quad \frac{\partial F_3}{\partial Q_1^{k+1}} = -\frac{\theta \cdot \Delta t}{A_1^{k+1}}, \quad \frac{\partial F_3}{\partial h_j^{k+1}} = 1.0 \quad (53)$$

Formira se matrični zapis Newtonove metode:

$$[J] \cdot [\Delta] = [-F] \quad (54)$$

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial h_1^{k+1}} & \frac{\partial F_1}{\partial Q_1^{k+1}} & \frac{\partial F_1}{\partial h_j^{k+1}} \\ \frac{\partial F_2}{\partial h_1^{k+1}} & \frac{\partial F_2}{\partial Q_1^{k+1}} & \frac{\partial F_2}{\partial h_j^{k+1}} \\ \frac{\partial F_3}{\partial h_1^{k+1}} & \frac{\partial F_3}{\partial Q_1^{k+1}} & \frac{\partial F_3}{\partial h_j^{k+1}} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta h_1^{k+1} \\ \Delta Q_1^{k+1} \\ \Delta h_j^{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -F_1 \\ -F_2 \\ -F_3 \end{bmatrix} \quad (55)$$

Rješenje sustava je vektor prirasta  $[\Delta]$ :

$$[\Delta] = [J]^{-1} \cdot [-F] \quad (56)$$

Za poznati vektor prirasta dobiju se vrijednosti nepoznanica  $h_1^{k+1}$ ,  $Q_1^{k+1}$  i  $h_j^{k+1}$ .

$$h_1^{k+1} = h_1^k + \Delta h_1^{k+1} \quad (57)$$

$$Q_1^{k+1} = Q_1^k + \Delta Q_1^{k+1} \quad (58)$$

$$h_j^{k+1} = h_j^k + \Delta h_j^{k+1} \quad (59)$$

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

#### 4.6. Programsko rješenje

Cilj izrade programskog rješenja je određivanje kretanja vodostaja u jezeru za različite vremenske intervale uzimajući u obzir sve ključne parametre koje utječu na promjenu razine u jezeru. U nastavku je objašnjen algoritam rada programa.

##### 4.6.1. Ulazne datoteke

Model je napravljen na temelju podataka, odnosno mjerenja za 2010. i 2011. godinu. Svi raspoloživi podaci grupirani su u sljedeće ulazne datoteke: PK1, PK2, PK3, PK4, PK5, PK6, PK7, PK8, PK9, PK10, PK11, PK12, PK13, PK14, PK15, IUL0, IUL1 i IUL2.

PK1, PK2, ..., PK15 su imena datoteka u kojima se nalaze podaci o krivuljama protoka (razinama u jezeru i odgovarajućim protocima) za razine mora od -0.6 (m n.m.) do +0.8 (m n.m.)

IUL0 je datoteka u kojoj su navedene sva imena datoteka potrebna za proračun.

IUL1 je datoteka sa ulaznim podacima o vremenima, količini padalina, količini evaporacije, protocima za vodoopskrbu i navodnjavanje, mjerenim razinama jezera i mora i koeficijentima otjecanja za i-ti dan.

IUL2 je datoteka koja sadrži podatke o površini bazena 1 za odgovarajuće razine te o koeficijentima provodljivosti podzemlja.

#### 4.6.1.1. Formiranje ulaznih datoteka

Ulazne datoteke PK1, PK2, ..., PK15 formiraju se na sljedeći način:

Datoteka PK1:

1. N1
2. PK1H(I), PK1Q(I)

Datoteka PK2:

1. N2
2. PK2H(I), PK2Q(I)

...

Datoteka PK15:

1. N15
2. PK15H(I), PK15Q(I)

Gdje su:

N1, N2, ..., N15 – broj redaka s parovima podataka PK1H, PK1Q; PK2H, PK2Q; ... ;PK15H, PK15Q

PK1H(I), PK2H(I), ..., PK15H(I) – razina u jezeru (m.n.m.)

PK1Q(I), PK2Q(I), ..., PK15Q(I) – protok (m<sup>3</sup>/s)

Ulazna datoteka IUL0 formira se na sljedeći način:

1. IUL1.DAT
2. IUL2.DAT
3. IUL3.DAT

Ulazna datoteka IUL1 formira se na sljedeći način:

1. ID(I), IM(I), IG(I), ITD(I), P(I), E(I), QVOD(I), HJ(I), HM(I), CD(I)

Gdje su:

ID(I) – oznaka datuma

IM(I) – oznaka mjeseca

IG(I) – oznaka godine

ITD(I) – broj dana

P(I) – količina padalina (mm/dan)

E(I) – evaporacija (mm/dan/m<sup>2</sup>)

QVOD(I) – protok za vodoopskrbu i navodnjavanje (m<sup>3</sup>/s)

HJ(I) – mjerena razina jezera (m. n.m.)

HM(I) – mjerena razina mora (m n.m.)



CD(I) – koeficijent otjecanja

Ulazna datoteka IUL2 formira se na sljedeći način:

1. NB1
2. HB1(I), AB1(I)
3. NPODZ
4. HPODZ(I), XKPODZ(I)
5. NCB1
6. HCB1(I), CB1(I)
7. H1, HJ1, THETA, DT, NDT, NPIS

Gdje su:

NB1 – broj redaka s parovima podataka HB1(I) i AB1(I)

HB1(I) – razine vode u bazenu 1 (m n.m.)

AB(I) – površina bazena 1 za razinu HB1(I) (m<sup>2</sup>)

NPODZ – broj redaka s parovima podataka HPODZ(I) i XKPODZ(I)

HPODZ(I) – razina vode u podzemlju (m n.m.)

XKPODZ(I) – koeficijent provodljivosti podzemlja

NCB1 – broj redaka s parovima podataka HCB1(I) i CB1(I)

HCB1(I) – razina vode u bazenu 1 (m n.m.)

CB1(I) – koeficijent provodljivosti iz bazena 1

H1 – razina u bazenu 1 (m n.m.)

HJ1 – razina u jezeru na početku intervala (m n.m.)

THETA – parametar integracije

DT – vremenski korak (s)

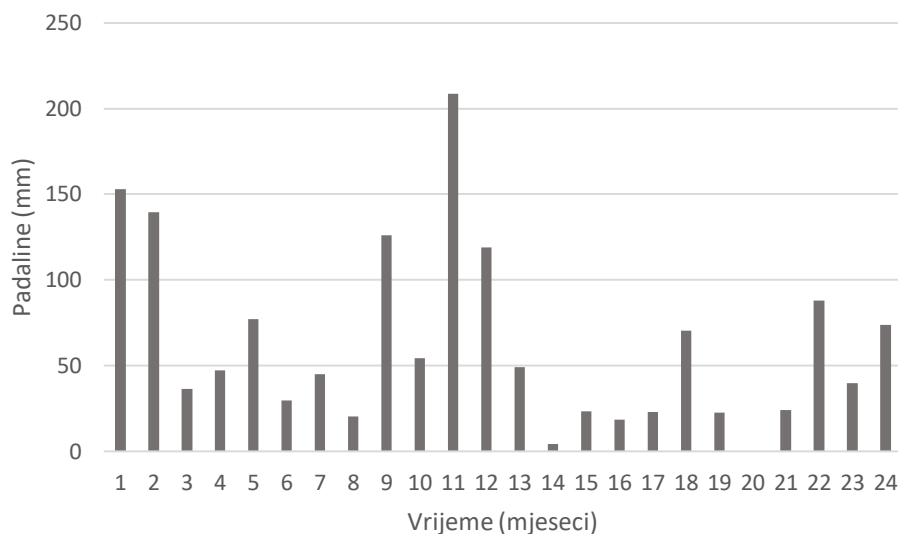
NDT – broj vremenskih koraka

NPIS – korak zapisivanja podataka

#### **4.6.1.2. Ulazni podaci**

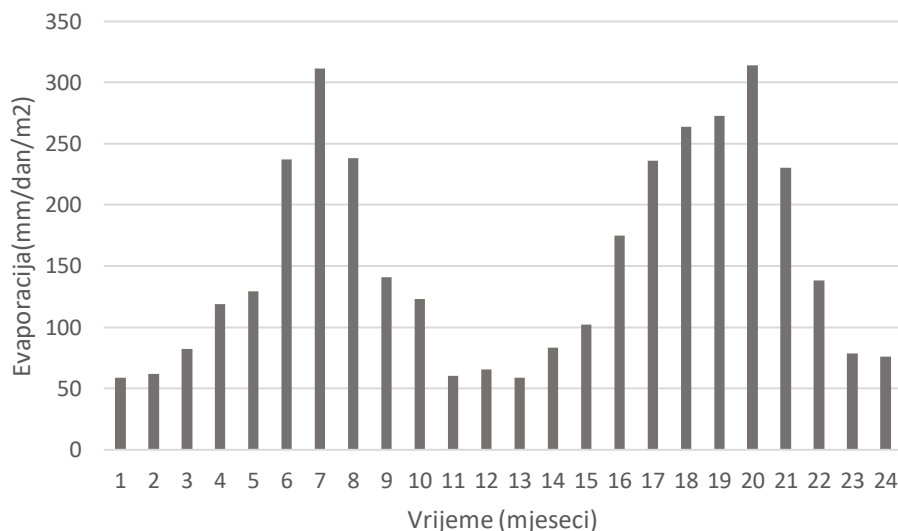
Podaci u datotekama PK1, PK2,..., PK15 su podaci dobiveni analizom postojećeg stanja u poglavlju 3. Svi podaci iz datoteke IUL1 su podaci dobiveni mjerenjem za razdoblje 2010. i 2011. godine, odnosno za 730 dana. Podaci o padalinama dani su na dnevnoj razini, međutim zbog preglednosti na grafu 4. su prikazane mjesečne vrijednosti.

Graf 4. Mjesečne padaline za 2010. i 2011. godinu



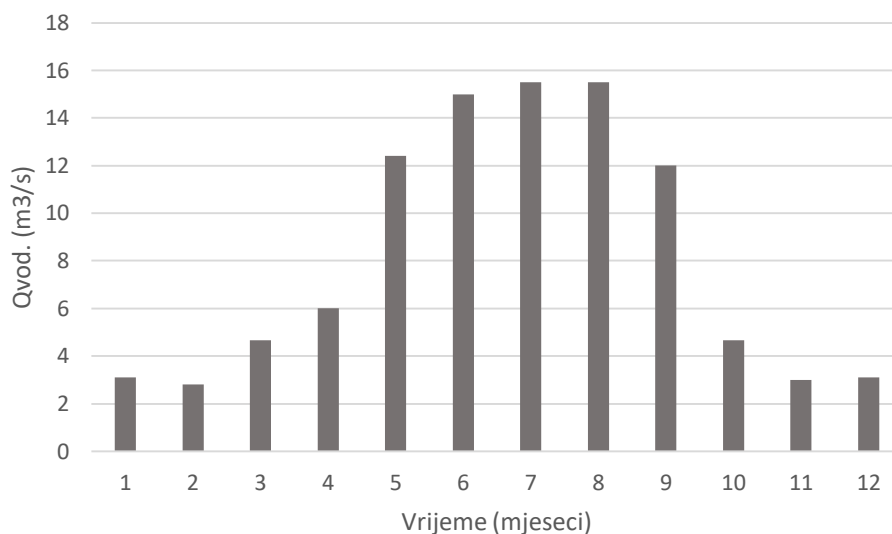
Podaci o evaporaciji izraženi su u mm/dan/m<sup>2</sup>. Na grafu 5. prikazane su mjesečne vrijednosti izračunate evaporacije za 2010. i 2011. godinu.

Graf 5. Mjesečne vrijednosti izračunate evaporacije za 2010. i 2011. godinu



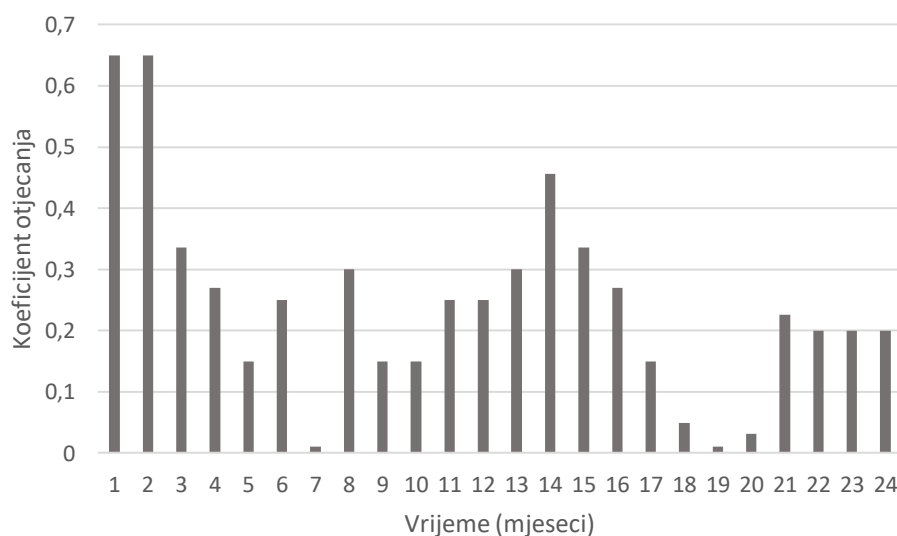
Protoci za vodoopskrbu i navodnjavanje dani su kao mjesečne vrijednosti, ali su zbog proračuna svedeni na dnevne vrijednosti. Za sve promatrane godine uzet je isti raspored vrijednosti potrošnje za vodoopskrbu i navodnjavanje unutar godine. Na grafu 6. prikazane su mjesečne vrijednosti.

Graf 6. Mjesečne vrijednosti protoka za vodoopskrbu i navodnjavanje



Podaci o koeficijentima otjecanja jezera dani su na mjesečnoj razini kao i protoci za vodoopskrbu i navodnjavanje. Tokom jednog mjeseca uzeta je svaki dan ista vrijednost koeficijenta otjecanja. Vrijednosti kalibriranih koeficijenata otjecanja prikazani su na grafu 7.

Graf 7. Vrijednosti kalibriranih koeficijenata otjecanja za jezero za 2010. i 2011. godinu



Većina podataka u datoteci IUL2 su kalibrirani podaci, oni koji najbolje odgovaraju modelu, odnosno opisuju stvarno stanje u jezeru. Kalibrirani podaci iz datoteke IUL2 o površini bazena 1 dani su u tablici 5., dok su podaci o koeficijentu provodljivosti podzemlja (između jezera i mora) i koeficijentu provodljivosti iz bazena 1 dani u tablicama 1. i 3. u poglavlju 4.2.

Tablica 5. Ulazni podaci o površinama bazena 1

$h_1$ (m n.m.)	$A_1$ (m <sup>2</sup> )
-0,50	17000000,00
0,50	17000000,00
1,00	10000000,00
2,00	10000000,00
3,00	10000000,00
3,50	1200000,00
6,00	5000000,00
50,00	600000,00

Za sedmi redak datoteke IUL2 također je potrebno definirati ulazne podatke. Ulazni podaci za analizu 2010. i 2011. godine dani su u tablici 6.

Tablica 6. Ulazni podaci datoteke IUL2

H1	HJ1	THETA	DT	NDT	NPIS
3,00	0,82	0,50	1800,00	35040,00	12,00

Razina u jezeru na početku intervala (HJ1) jednaka je mjerenom vodostaju 01.01.2010. što predstavlja početak proračuna. Odabrani vremenski korak je 1800 sekundi, odnosno 30 minuta. Za 2010. i 2011. godinu raspolaže se sa 730 podataka što odgovara broju dana u navedenom razdoblju. S obzirom da je vremenski korak dan u sekundama potrebno je broj podataka korigirati u sekunde. Tada je broj podataka jednak 63072000. Broj vremenskih koraka dan je izrazom (60).

$$NDT = \frac{63072000}{1800} = 35040 \quad (60)$$

Za korak zapisivanja podataka uzeta je vrijednost 12 što znači da se zapisuje svaki dvanaesti podatak, odnosno zapisuju se izračunate veličine svakih šest sati, a proračun se izvodi s vremenskim intervalom od 30 minuta.

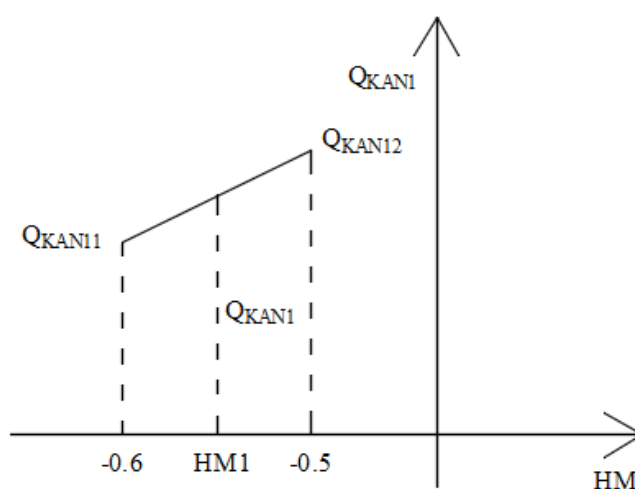
#### 4.6.2. Objašnjenje programskog rješenja

Program VRANA sastoji se od glavnog programa i dva potprograma OPEN i SOLVER. OPEN služi za otvaranje ulaznih i izlaznih datoteka i njihovo imenovanje. Potprogramom SOLVER rješavaju se nelinearne jednačbe, u ovom slučaju tri jednačbe s tri nepoznanice. Osim potprograma korištena je i funkcija BH kojom se vrši linearna interpolacija varijabli.

U glavnom programu prvo se vrši učitavanje ulaznih podataka iz ulaznih datoteka opisanih u prethodnom poglavlju. Proračun se ponavlja ovisno o broju vremenskih koraka. Za svaki vremenski korak vrši se proračun vodostaja u bazenu 1 i u jezeru, te protok između bazena 1 i jezera. Paralelno se računaju i protoci kroz kanal i gubici kroz podzemno otjecanje.

Kao što je navedeno u poglavlju 4.2. ne postoji univerzalan izraz za izračun protoka u kanalu  $Q_{KAN}$ . Njegova vrijednost varira ovisno o razini mora, a obzirom da su krivulje protoka dobivene samo za odabrane razine mora od -0.6 (m n.m.) do +0.8 (m n.m.) (svakih 0.1. (m)) potrebno je linearnom interpolacijom, za razine mora različite od navedenih, dobiti vrijednost  $Q_{KAN}$ . Svi protoci definirani su na početku i na kraju intervala, tako i  $Q_{KAN}$ . Za primjer  $Q_{KAN1}$  – protok u kanalu na početku intervala, objašnjen je način određivanja protoka u kanalu kada je razina mora različita od raspoloživih. Isto vrijedi i za  $Q_{KAN2}$  – protok u kanalu na kraju intervala.

Vrijednosti protoka  $Q_{KAN}$  čitaju se iz datoteka PK1, PK2,..., PK15. Neka je  $Q_{KAN11}$  protok za razinu mora -0.6 (m n.m.) učitani iz datoteke PK1, a  $Q_{KAN12}$  protok za razinu mora -0.5 (m n.m.) učitani iz datoteke PK2, tada vrijedi prikazano na slici 11.



Slika 11. Grafički prikaz određivanja protoka u kanalu

Protok u kanalu odredit će se linearnom interpolacijom, prema sljedećem izrazu:

$$Q_{KAN1} = Q_{KAN11} + \frac{Q_{KAN12} - Q_{KAN11}}{0.1} \cdot (HM1 + 0.6) \quad (61)$$

Nakon izračunatih svih potrebnih protoka pristupa se formiranju triju jednažbi s tri nepoznanice, kao i derivacija po nepoznatim varijablama. Sustav se rješava primjenom potprograma SOLVER.

#### 4.6.3. Izlazna datoteka

Rezultat cijelog proračuna su nepoznate varijable  $h_1^{k+1}$ ,  $Q_1^{k+1}$  i  $h_j^{k+1}$ , odnosno u programskom rješenju zapisane kao H12, Q12 i HJ2. Rješenja su zapisana u izlaznoj datoteci IZL.

Ispis se vrši na način ako je redni broj vremenskog koraka jednak jedan (IVR=1), program ispisuje sljedeće podatke:

1. T1, T1D, H11, Q11, HJ1, HJM1, QJEZ1, EV1, QVOD1, QPOD1, QKAN1, HM1

Gdje su:

T1 – vrijeme na početku intervala (s)

T1D – vrijeme na početku intervala (dan)

H11 – razina u bazenu 1 na početku intervala (m.n.m.)

Q11 – dotok iz bazena 1 na jezero na početku intervala (m<sup>3</sup>/s)

HJ1 – razina u jezeru na početku intervala (m.n.m.)

HJM1 – mjerena razina u jezeru na početku intervala (m.n.m.)

QJEZ1 – dotok vode od padalina direktno na jezero na početku intervala (m<sup>3</sup>/s)

EV1 – evaporacija na početku intervala (mm/dan/m<sup>2</sup>)

QVOD1 – protok za vodoopskrbu i navodnjavanje na početku intervala (m<sup>3</sup>/s)

QPOD1 – protok podzemnog procjeđivanja na početku intervala (m<sup>3</sup>/s)

QKAN1 – protok u kanalu na početku intervala (m<sup>3</sup>/s)

HM1 – razina mora na početku intervala (m.n.m.).

Za svaki redni broj vremenskog koraka različitog od jedan (koji je usto i višekratnik broja NPIS), u izlaznoj datoteci ispisuju se podaci na sljedeći način:

1. T2, T2D, H12, Q12, HJ2, HJM2, QJEZ2, EV2, QVOD2, QPOD2, QKAN2, HM2

Gdje su:

T2 – vrijeme na kraju intervala (s)

T2D – vrijeme na kraju intervala (dan)

H12 – razina u bazenu 1 na kraju intervala (m n.m.)

Q12 – dotok iz bazena 1 na jezero na kraju intervala ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

HJ2 – razina u jezeru na kraju intervala (m n.m.)

HJM2 – mjerena razina u jezeru na kraju intervala (m n.m.)

QJEZ2 – dotok vode od padalina direktno na jezero na kraju intervala ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

EV2 – evaporacija na kraju intervala ( $\text{mm}/\text{dan}/\text{m}^2$ )

QVOD2 – protok za vodoopskrbu i navodnjavanje na kraju intervala ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

QPOD2 – protok podzemnog procjeđivanja na kraju intervala ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

QKAN2 – protok u kanalu na kraju intervala ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

HM2 – razina mora na kraju intervala (m n.m.)

#### 4.7. Rezultati proračuna

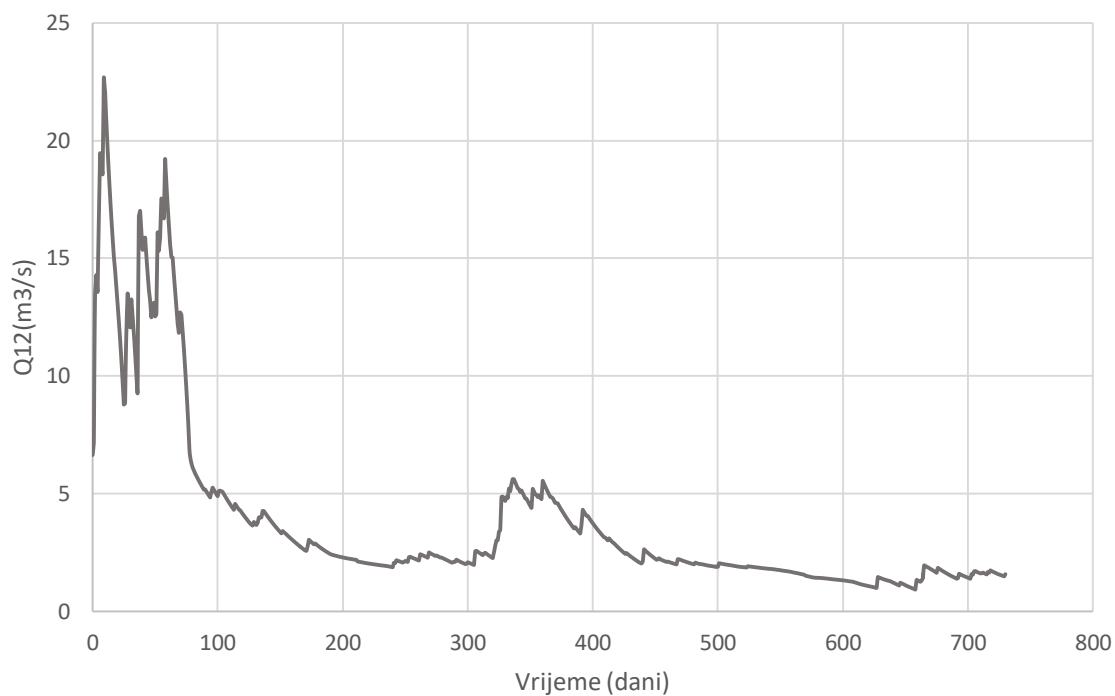
Rješenja dobivena modelom ispisuju se u izlaznoj datoteci. Na sljedećim grafovima biti će prikazana sva navedena rješenja u ovisnosti o vremenu.

Graf 8. Razina u podzemnom bazenu 1 u funkciji vremena



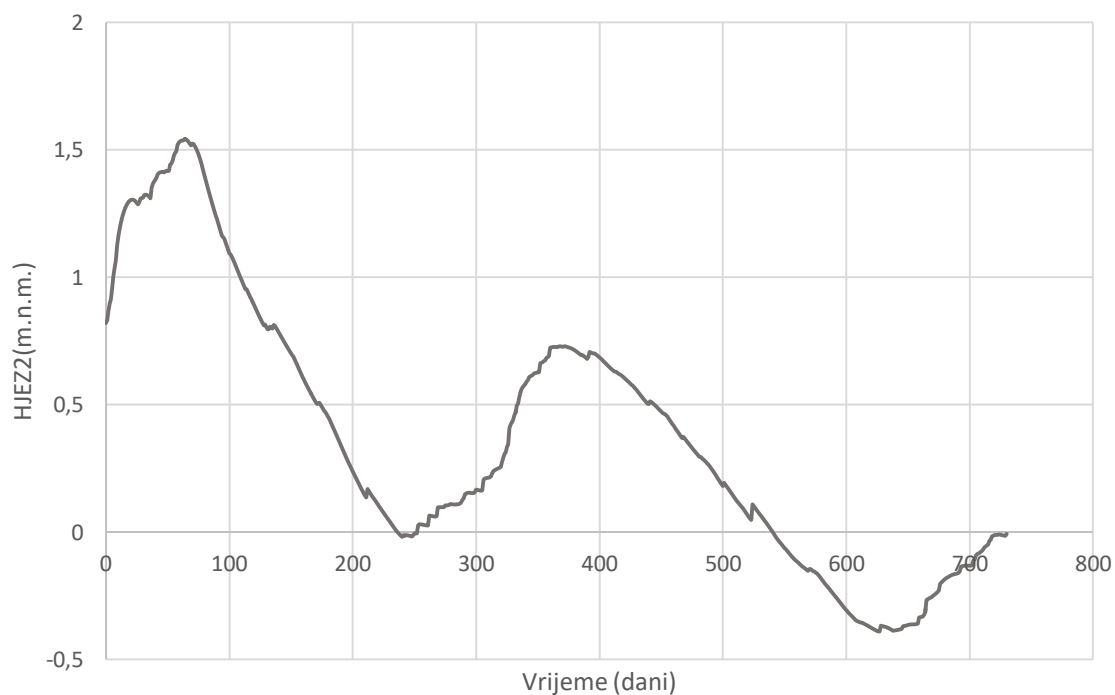
\*H1 – razina u podzemnom bazenu 1

Graf 9. Dotoci iz bazena 1 u jezero u funkciji vremena



\* $Q_{12}$  – dotok iz jezera na kraju intervala

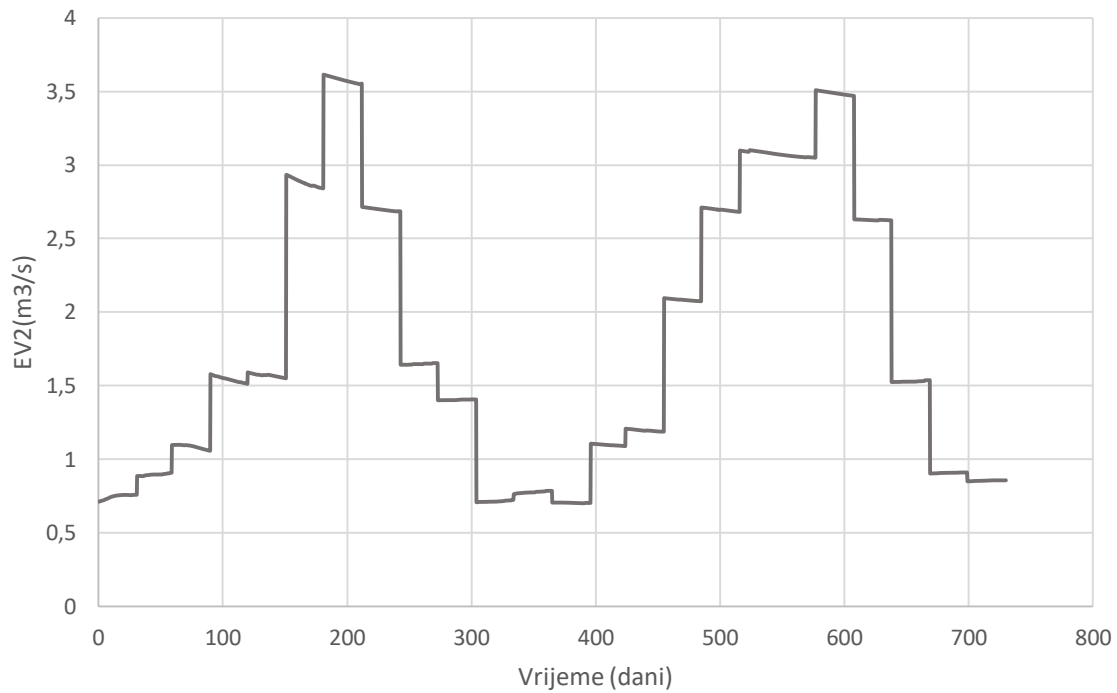
Graf 10. Izračunate razine vode u jezeru u funkciji vremena



\* $H_{JEZ2}$  – razina u jezeru na kraju intervala

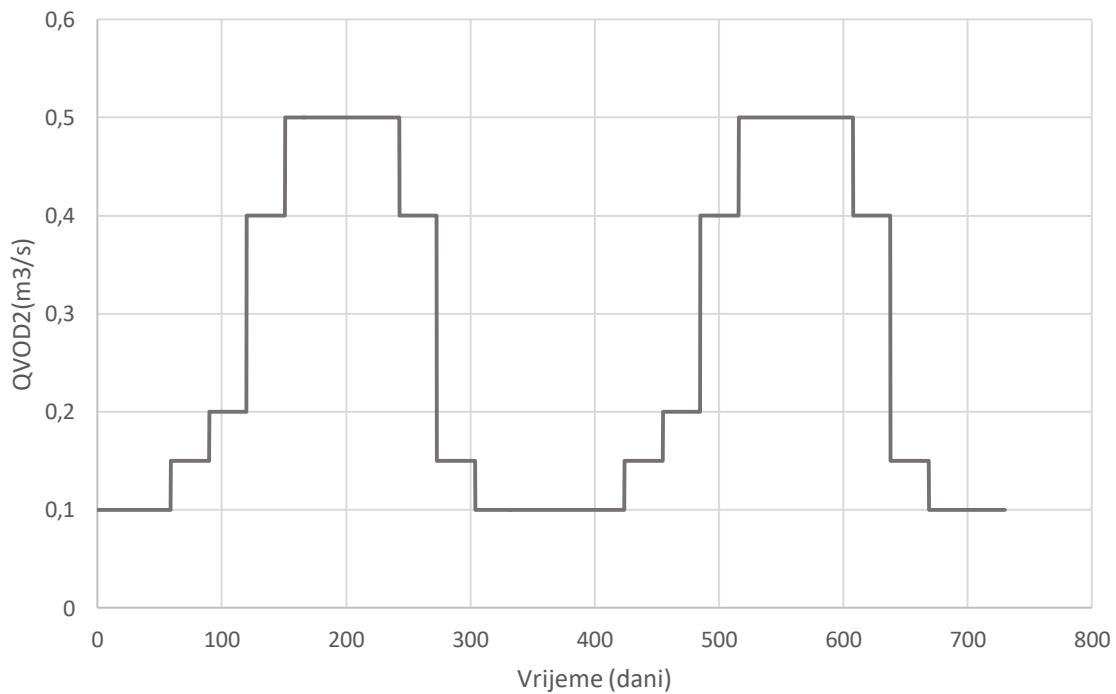


Graf 11. Protok isparavanja u funkciji vremena



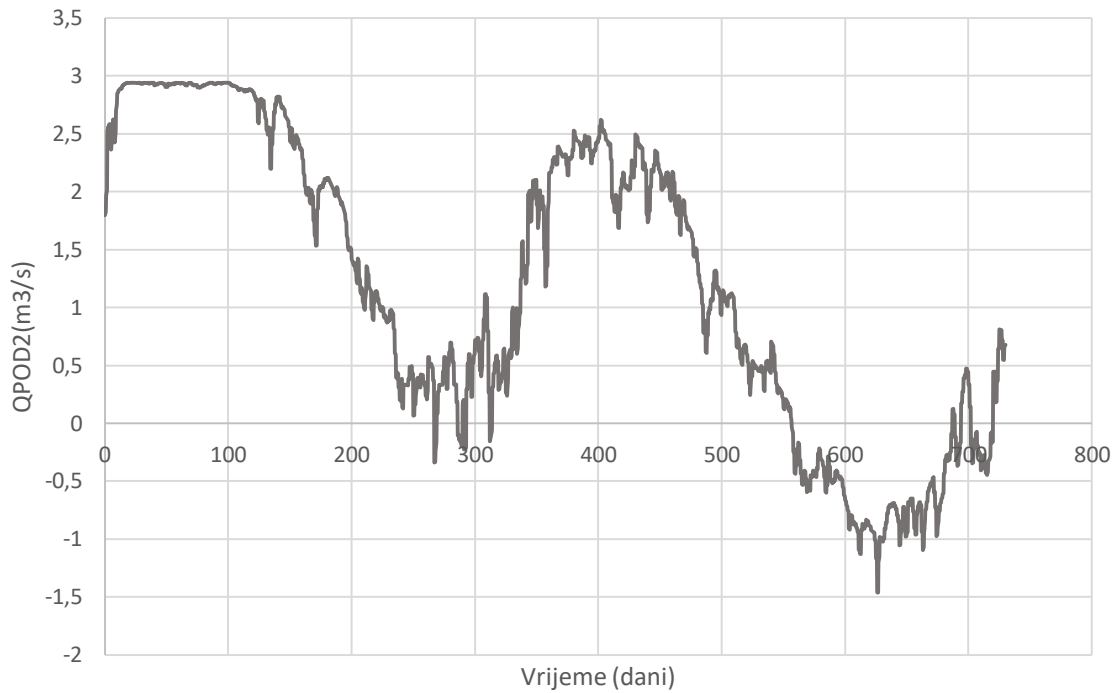
\*EV2 – evaporacija na kraju intervala

Graf 12. Protoci navodnjavanja i vodoopskrbe u funkciji vremena



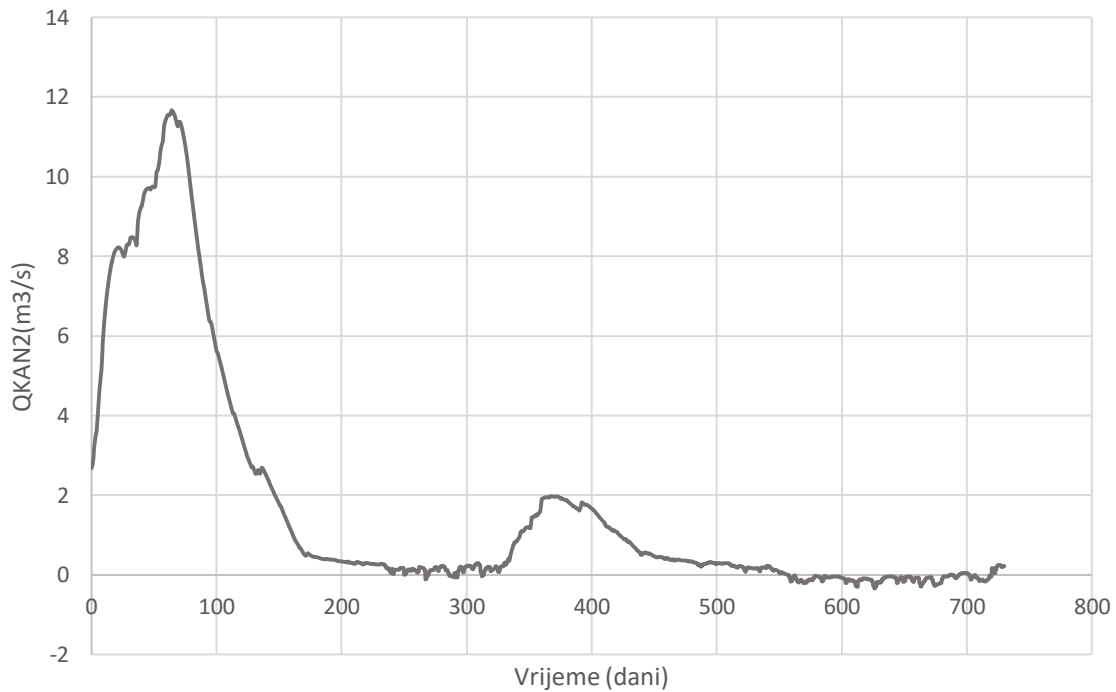
\*QVOD2 – protok za vodoopskrbu i navodnjavanje na kraju intervala

Graf 13. Protoci podzemnog procjeđivanja između jezera i mora u funkciji vremena



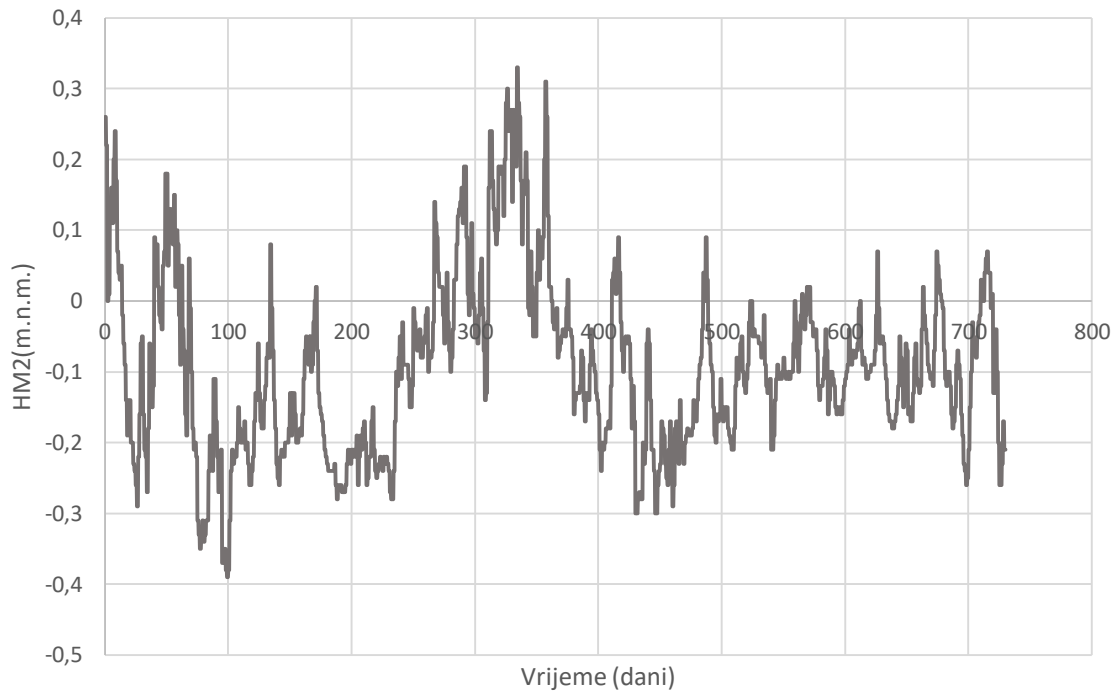
\* $Q_{POD2}$  – protok podzemnog procjeđivanja na kraju intervala

Graf 14. Protoci u kanalu Prosika u funkciji vremena



\* $Q_{KAN2}$  – protok kroz kanal na kraju intervala

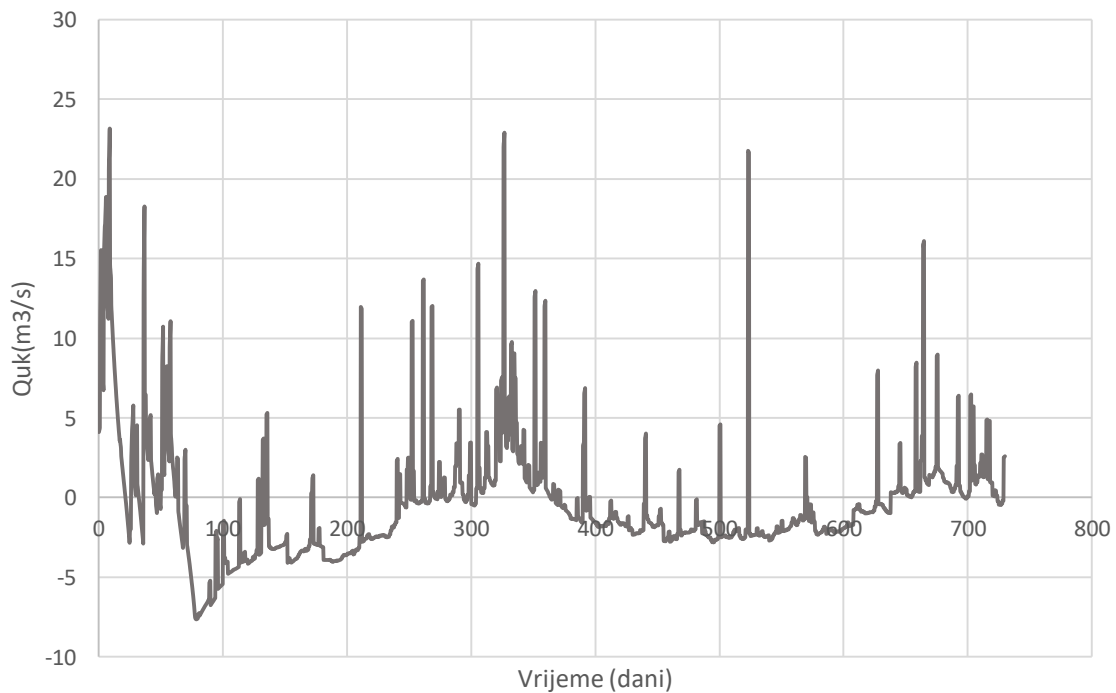
Graf 15. Mjerene razine mora u ovisnosti o vremenu



\*HM2 – razina mora na kraju intervala

Koristeći se vodom bilancom može se zapisati:

$$Q_{uk} = Q_{12} + Q_{JEZ2} - EV2 - Q_{VOD2} - Q_{POD2} - Q_{KAN2} \quad (62)$$

Graf 16. Promjena  $Q_{uk}$  u vremenu

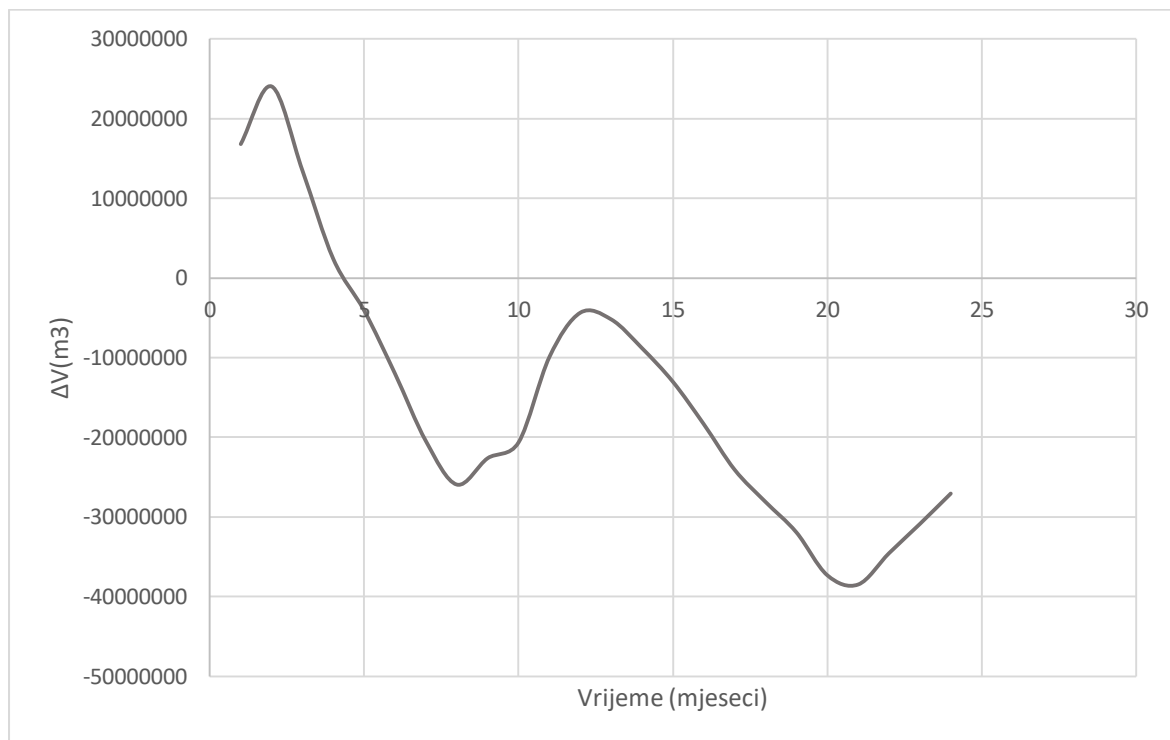
S obzirom na sve komponente vodne bilance, ulazne podatke i parametre koji utječu na promjenu razine u samome jezeru, može se prikazati i promjena volumena u ovisnosti o vremenu. Volumen predstavlja površinu ispod hidrograma, odnosno vrijedi:

$$V = \int_{t_0}^{t_1} Q dt \quad (63)$$

Proračunom su dobivene vrijednosti protoka na kraju intervala za svakih 6 sati. Da bi dobili promjenu volumena, sumirani su protoci na razini jednog mjeseca i nađena je njihova srednja vrijednost. Umnožak srednje mjesečne vrijednosti protoka i vremenskog inkrementa od mjesec dana jednak je promjeni volumena za taj mjesec.

Dobiveni graf ne predstavlja ukupni volumen jezera nego relativnu promjenu volumena s obzirom na dotoke i gubitke u jezeru.

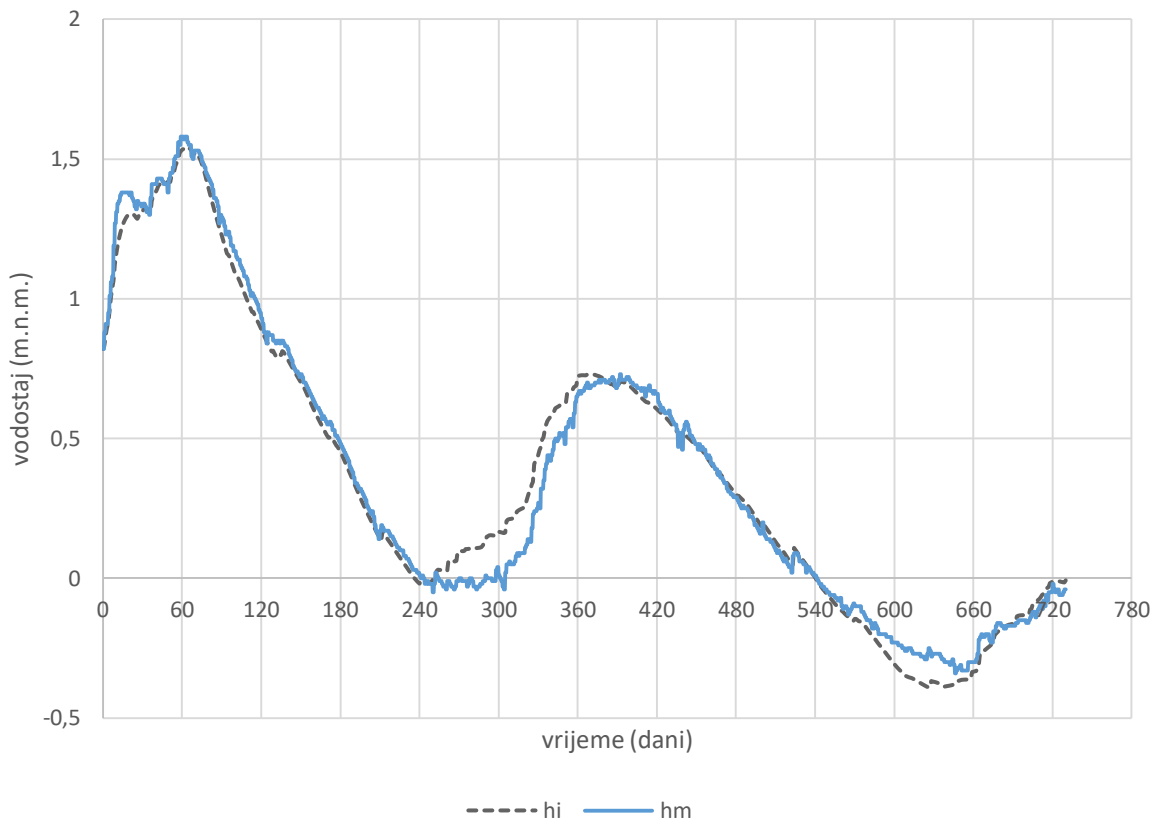
Graf 17. Relativna promjena volumena jezera u ovisnosti o vremenu



#### 4.8. Ispitivanje točnosti modela

Model je kalibriran na podatke za 2010. i 2011. godinu. Kalibracijom su utvrđeni parametri modela navedeni u tablicama 1., 3. i 4.. Na grafu 18. prikazana je usporedba izračunatih razina u jezeru (hi) dobivenih programskim rješenjem i mjerenih razina (hm).

Graf 18. Usporedba izračunatih i mjerenih vodostaja za 2010. i 2011. godinu



Točnost modela očituje se u veličini greške. Greška je u programskom rješenju definirana kao srednja vrijednost apsolutne razlike izračunatih i mjerenih vrijednosti razina u jezeru. Razlika izračunatih i mjerenih vrijednosti vidljiva je i na grafu 4. Veličina greške jednaka je 5.028 (cm) što je zadovoljavajuće i može se reći da model dobro opisuje stvarno stanje u jezeru. Međutim da bi bili sigurni u njegovu točnost kalibrirani model dobiven na temelju podataka za 2010. i 2011. godinu testiran je i na mjerenjima iz 2012. godine.

Za 2012. godinu raspolaže se sa 366 podataka. Razina u bazenu 1 na početku proračuna jednaka je razini u bazenu 1 na kraju proračuna kalibracije (H21) i odgovara 730. danu prethodnog proračuna. Ta razina predstavlja početnu razinu u bazenu 1 za proračun u 2012. godini. Početna razina vode u jezeru usvaja se da je jednaka izmjerenoj razini za 01. siječnja 2012. godine. Ulazni podaci u IUL1 datoteci dani su na grafovima 19., 20. i 21.

Kalibrirani podaci o površini bazena 1, koeficijenti provodljivosti između jezera i mora, te koeficijenti provodljivosti između bazena 1 i jezera (u datoteci IUL2) moraju ostati jednaki da bi se ustvrdila vjerodostojnost modela dobivenog na temelju podataka za 2010. i 2011. godinu. Vremenski korak je jednak kao i u kalibriranome modelu za 2010. i 2011. godinu. S obzirom da je vremenski korak dan u sekundama potrebno je broj podataka korigirati u sekunde. Tada je broj podataka jednak 31622400. Broj vremenskih koraka dan je izrazom (62).

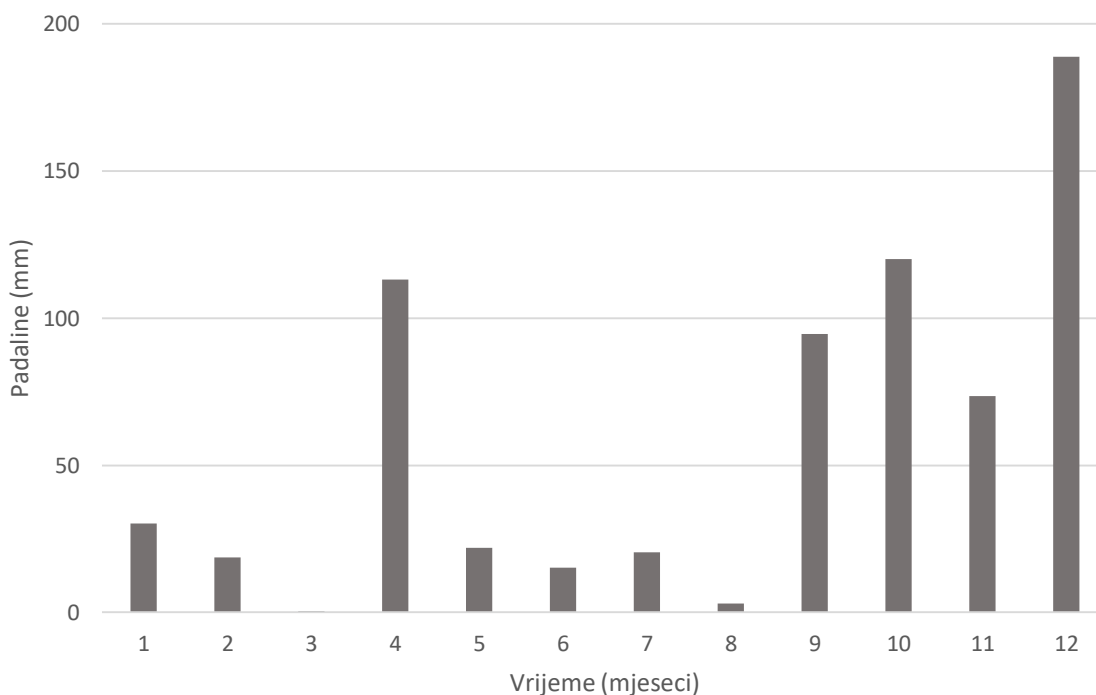
$$NDT = \frac{31622400}{1800} = 17568 \quad (64)$$

Za korak zapisivanja podataka uzeta je vrijednost 12 što znači da se zapisuje svaki dvanaesti podatak, odnosno zapisuje se svakih šest sati. Ulazni podaci datoteke IUL2 dani su u tablici 6.

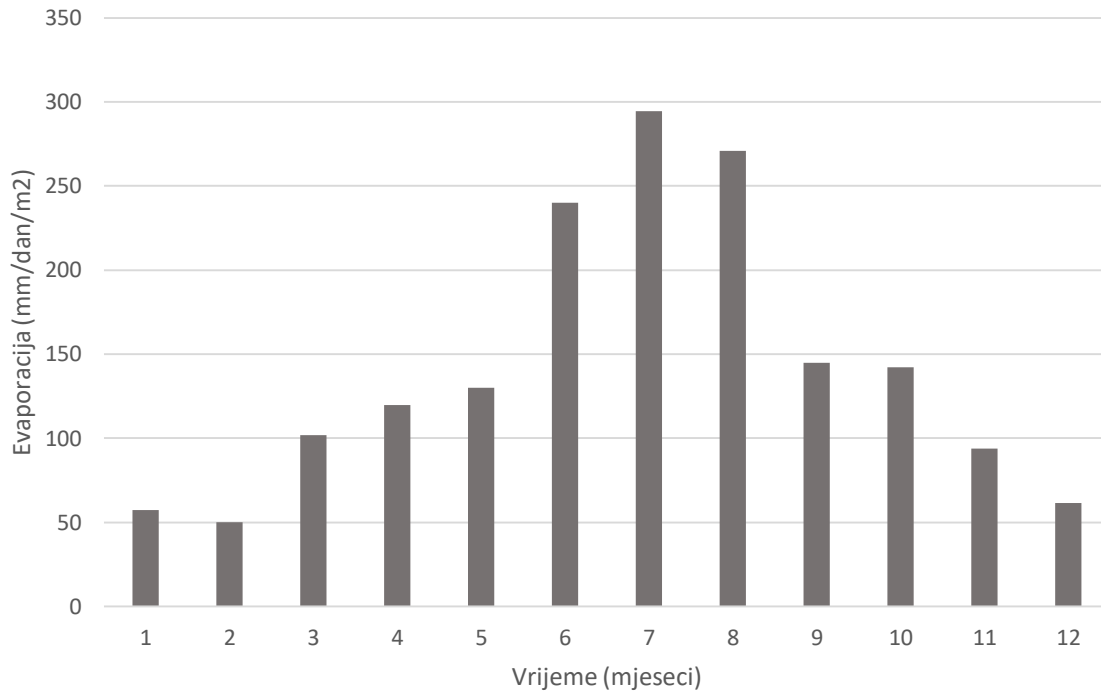
Tablica 7. Ulazni podaci datoteke IUL2 za 2012. godinu

H1	HJ1	THETA	DT	NDT	NPIS
3,00	0,82	0,50	1800,00	35040,00	12,00

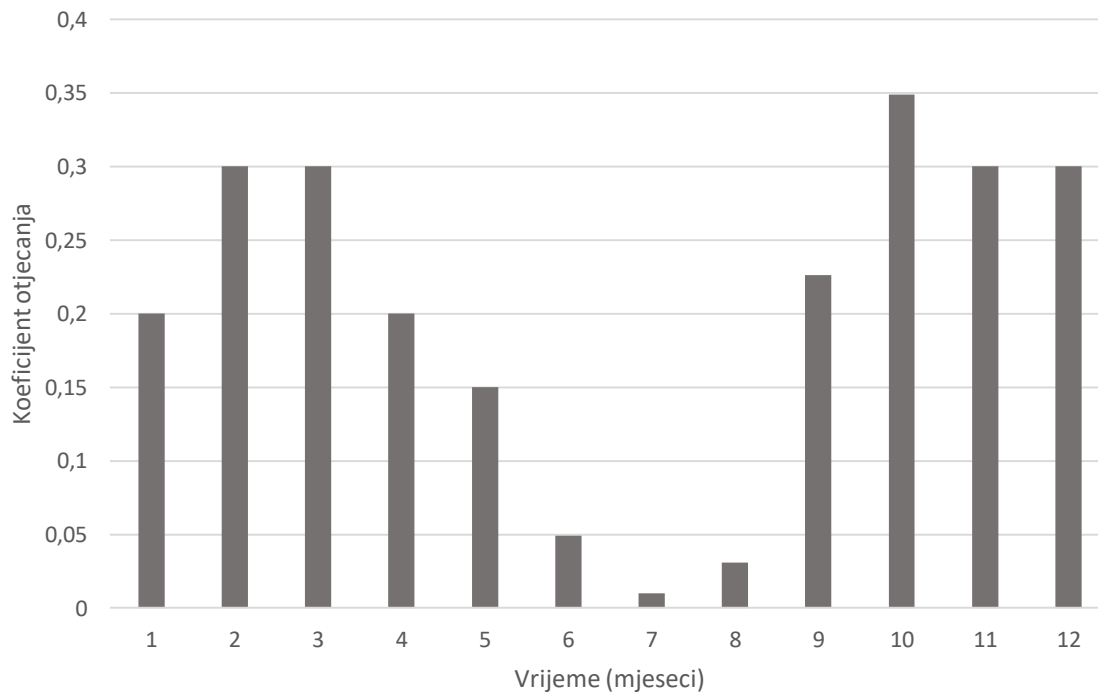
Graf 19. Mjesečne vrijednosti padalina za 2012. godinu



Graf 20. Mjesečne vrijednosti evaporacije za 2012. godinu

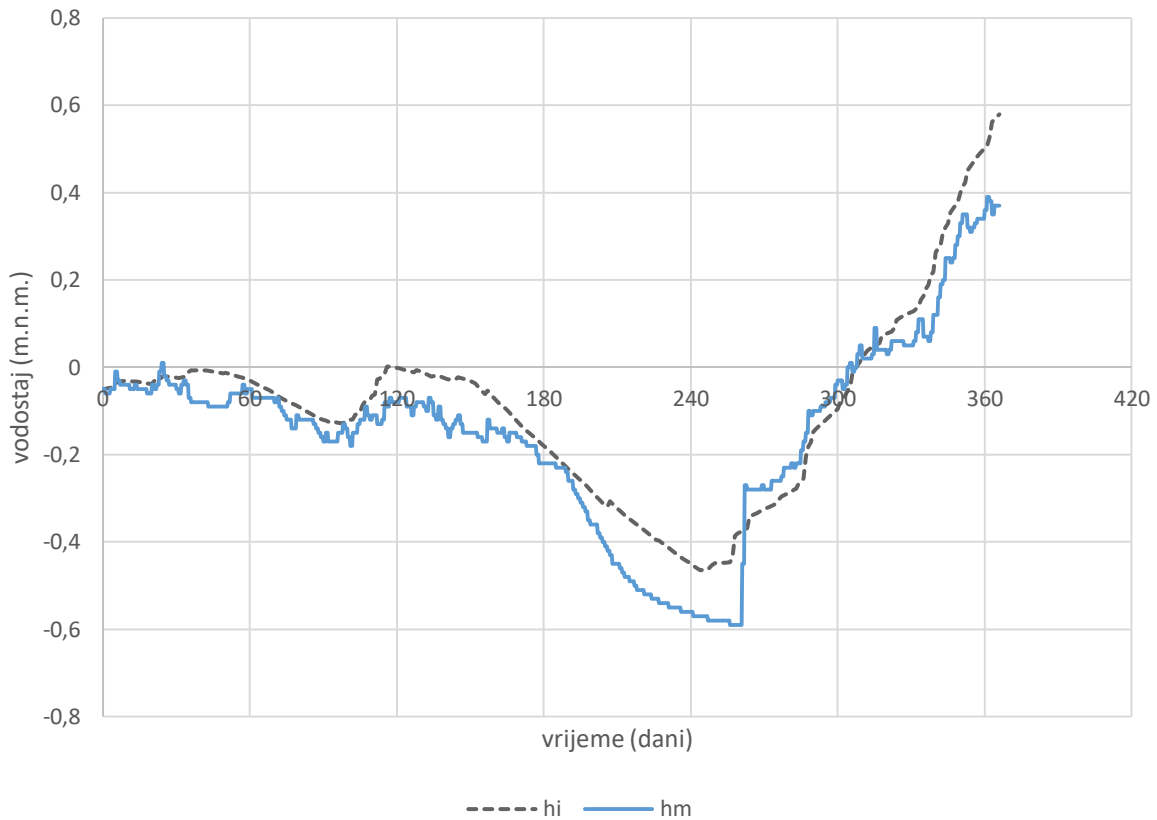


Graf 21. Vrijednosti koeficijenta otjecanja za 2012. godinu



Na grafu 22. prikazana je usporedba izračunatih razina u jezeru (hi) dobivenih programskim rješenjem i mjerenih razina (hm).

Graf 22. Usporedba izračunatih i mjerenih vodostaja za 2012. godinu



Veličina greške za 2012. godinu je nešto veća nego za 2010. i 2011. godinu i iznosi 6.74 (cm) što je također zadovoljavajuće i model dobro opisuje stvarno stanje u jezeru. U tablici 7. prikazane su greške za oba slučaja.

Tablica 8. Točnost rezultata modela

	Veličina greške (cm)
Kalibrirani model za 2010. i 2011. godinu	5.03
2012. godina	6.74



## 5. PROGRAMSKO RJEŠENJE U FORTRANU 95

PROGRAM VRANA

```
DIMENSION E(2000),HMT(2000),HM(2000),HJ(2000),P(2000)
DIMENSION HAJ(3),AJ(3),CD(2000),QVOD(2000)
DIMENSION HPODZ(20),XKPODZ(20),HB1(20),AB1(20)
DIMENSION PK1H(50),PK1Q(50),PK2H(50),PK2Q(50)
DIMENSION PK3H(50),PK3Q(50),PK4H(50),PK4Q(50)
DIMENSION PK5H(50),PK5Q(50),PK6H(50),PK6Q(50)
DIMENSION PK7H(50),PK7Q(50),PK8H(50),PK8Q(50)
DIMENSION PK9H(50),PK9Q(50),PK10H(50),PK10Q(50)
DIMENSION PK11H(50),PK11Q(50),PK12H(50),PK12Q(50)
DIMENSION PK13H(50),PK13Q(50),PK14H(50),PK14Q(50)
DIMENSION PK15H(50),PK15Q(50)
DIMENSION ID(2000),IM(2000),IG(2000),ITD(2000)
DIMENSION FF(3,3),F(3),HCB1(20),CB1(20)
```

```
FAKT=1.0
IPK1=5
IPK2=6
IPK3=7
IPK4=8
IPK5=9
IPK6=10
IPK7=11
IPK8=12
IPK9=13
IPK10=14
IPK11=15
IPK12=16
IPK13=17
IPK14=18
IPK15=19
IUL0=25
IUL1=20
IUL2=21
IZL=22
```

```
CALL OPEN(IPK1,IPK2,IPK3,IPK4,IPK5,IPK6,IPK7,IPK8,IPK9,IPK10
&,IPK11,IPK12,IPK13,IPK14,IPK15,IUL0,IUL1,IUL2,IZL)
```

```
HAI(1)=-0.501
AI(1)=29340000.0
HAJ(2)=0.469
AJ(2)=31120000.0
HAJ(3)=1.899
AJ(3)=37240000.0
```

```
ASLIVA=485000000.0
NPOD=366
```

```
DO I=1, NPOD
  READ (IUL1,*) ID(I),IM(I),IG(I),ITD(I),P(I),E(I),QVOD(I),HJ(I),
&HM(I),CD(I)
  END DO
```

```
READ(IPK1,*) N1
DO I=1,N1
  READ(IPK1,*) PK1H(I),PK1Q(I)
  END DO
```

```
READ(IPK2,*) N2
DO I=1,N2
READ(IPK2,*) PK2H(I), PK2Q(I)
END DO

READ(IPK3,*) N3
DO I=1,N3
READ(IPK3,*) PK3H(I), PK3Q(I)
END DO

READ(IPK4,*) N4
DO I=1,N4
READ(IPK4,*) PK4H(I), PK4Q(I)
END DO

READ(IPK5,*) N5
DO I=1,N5
READ(IPK5,*) PK5H(I), PK5Q(I)
END DO

READ(IPK6,*) N6
DO I=1,N6
READ(IPK6,*) PK6H(I), PK6Q(I)
END DO

READ(IPK7,*) N7
DO I=1,N7
READ(IPK7,*) PK7H(I), PK7Q(I)
END DO

READ(IPK8,*) N8
DO I=1,N8
READ(IPK8,*) PK8H(I), PK8Q(I)
END DO

READ(IPK9,*) N9
DO I=1,N9
READ(IPK9,*) PK9H(I), PK9Q(I)
END DO

READ(IPK10,*) N10
DO I=1,N10
READ(IPK10,*) PK10H(I), PK10Q(I)
END DO

READ(IPK11,*) N11
DO I=1,N11
READ(IPK11,*) PK11H(I), PK11Q(I)
END DO

READ(IPK12,*) N12
DO I=1,N12
READ(IPK12,*) PK12H(I), PK12Q(I)
END DO

READ(IPK13,*) N13
DO I=1,N13
READ(IPK13,*) PK13H(I), PK13Q(I)
END DO

READ(IPK14,*) N14
DO I=1,N14
```

```

READ(IPK14,*) PK14H(I), PK14Q(I)
END DO

READ(IPK15,*) N15
DO I=1,N15
READ(IPK15,*) PK15H(I), PK15Q(I)
END DO

READ (IUL2,*) NB1
DO I=1, NB1
READ(IUL2,*) HB1(I), AB1(I)
END DO

READ (IUL2,*) NPODZ
DO I=1, NPODZ
READ(IUL2,*) HPODZ(I), XKPODZ(I)
END DO

READ (IUL2,*) NCB1
DO I=1, NCB1
READ(IUL2,*) HCB1(I), CB1(I)
END DO

READ(IUL2,*) H1, HJ1, THETA, DT, NDT, NPIS

70  CONTINUE

TOC=0.00002
T1=0.0
T1D=T1/86400.0
GRESKA=0.0
H11=H1

DO 500 IVR=1,NDT
ITER=0
WRITE(*,801) IVR
801  FORMAT(' VREMENSKI KORAK JE ',I7)
T2=T1+DT
T2D=T2/86400.0
IT1D=IFIX(T1D)+1

Q01=ASLIVA*CD(IT1D)*P(IT1D)/(1000.*86400.)

IT2D=IFIX(T2D)+1
IF(IVR.EQ.NDT) IT2D=IFIX(T2D)
Q02=ASLIVA*CD(IT2D)*P(IT2D)/(1000.*86400.)

! PRORAČUN PODATAKA ZA BAZEN 1

HJ2P=HJ1
H12P=H11
200  CONTINUE
ITER=ITER+1

A11=BH(NB1,HB1,AB1,H11)
A12=BH(NB1,HB1,AB1,H12P)
CB11=BH(NCB1,HCB1,CB1,H11)
CB12=BH(NCB1,HCB1,CB1,H12P)
IF(H11.GT.HJ1) Q11=CB11*SQRT(H11-HJ1)
IF(H11.LE.HJ1) Q11=CB11*SQRT(HJ1-H11)
IF(H12P.GT.HJ2P) Q12=CB12*SQRT(H12P-HJ2P)
IF(H12P.LE.HJ2P) Q12=CB12*SQRT(HJ2P-H12P)

```

```

! PRORAČUN PODATAKA ZA JEZERO
AJ1=BH(3,HAJ,AJ,HJ1)
QJEZ1=AJ1*P(IT1D)/(1000.*86400.)
AJ2=BH(3,HAJ,AJ,HJ2P)
QJEZ2=AJ2*P(IT2D)/(1000.*86400.)
EV1=AJ1*E(IT1D)/(1000.*86400.)
EV2=AJ2*E(IT2D)/(1000.*86400.)
QVOD1=QVOD(IT1D)
QVOD2=QVOD(IT2D)

HM1=HM(IT1D)
DH1=ABS(HJ1-HM1)
XK1=BH(NPODZ,HPODZ,XKPODZ,DH1)
  IF(HJ1.GE.HM1) ZNAK1=1.0
  IF(HJ1.LT.HM1) ZNAK1=-1.0
QPOD1=XK1*SQRT(DH1)*ZNAK1
HM2=HM(IT2D)
DH2=ABS(HJ2P-HM2)
  IF(HJ2.GE.HM2) ZNAK2=1.0
  IF(HJ2.LT.HM2) ZNAK2=-1.0
XK2=BH(NPODZ,HPODZ,XKPODZ,DH2)
QPOD2=XK2*SQRT(DH2)*ZNAK2

IF(HM1.LE.-0.50) GO TO 10
IF(HM1.GT.-0.50.AND.HM1.LE.-0.40) GO TO 11
IF(HM1.GT.-0.40.AND.HM1.LE.-0.30) GO TO 12
IF(HM1.GT.-0.30.AND.HM1.LE.-0.20) GO TO 13
IF(HM1.GT.-0.20.AND.HM1.LE.-0.10) GO TO 14
IF(HM1.GT.-0.10.AND.HM1.LE.0.00) GO TO 15
IF(HM1.GT.0.00.AND.HM1.LE.0.10) GO TO 16
IF(HM1.GT.0.10.AND.HM1.LE.0.20) GO TO 17
IF(HM1.GT.0.20.AND.HM1.LE.0.30) GO TO 18
IF(HM1.GT.0.30.AND.HM1.LE.0.40) GO TO 19
IF(HM1.GT.0.40.AND.HM1.LE.0.50) GO TO 20
IF(HM1.GT.0.50.AND.HM1.LE.0.60) GO TO 21
IF(HM1.GT.0.60.AND.HM1.LE.0.70) GO TO 22
IF(HM1.GT.0.70) GO TO 23

10 QKAN11=BH(N1,PK1H,PK1Q,HJ1)
   QKAN12=BH(N2,PK2H,PK2Q,HJ1)
   QKAN1=QKAN11+(QKAN12-QKAN11)/0.1*(HM1+0.6)
   GO TO 30

11 QKAN11=BH(N2,PK2H,PK2Q,HJ1)
   QKAN12=BH(N3,PK3H,PK3Q,HJ1)
   QKAN1=QKAN11+(QKAN12-QKAN11)/0.1*(HM1+0.5)
   GO TO 30

12 QKAN11=BH(N3,PK3H,PK3Q,HJ1)
   QKAN12=BH(N4,PK4H,PK4Q,HJ1)
   QKAN1=QKAN11+(QKAN12-QKAN11)/0.1*(HM1+0.4)
   GO TO 30

13 QKAN11=BH(N4,PK4H,PK4Q,HJ1)
   QKAN12=BH(N5,PK5H,PK5Q,HJ1)
   QKAN1=QKAN11+(QKAN12-QKAN11)/0.1*(HM1+0.3)
   GO TO 30

14 QKAN11=BH(N5,PK5H,PK5Q,HJ1)
   QKAN12=BH(N6,PK6H,PK6Q,HJ1)
   QKAN1=QKAN11+(QKAN12-QKAN11)/0.1*(HM1+0.2)
   GO TO 30

```

15 QKAN11=BH(N6,PK6H,PK6Q,HJ1)  
 QKAN12=BH(N7,PK7H,PK7Q,HJ1)  
 QKAN1=QKAN11+(QKAN12-QKAN11)/0.1\*(HM1+0.1)  
 GO TO 30

16 QKAN11=BH(N7,PK7H,PK7Q,HJ1)  
 QKAN12=BH(N8,PK8H,PK8Q,HJ1)  
 QKAN1=QKAN11+(QKAN12-QKAN11)/0.1\*HM1  
 GO TO 30

17 QKAN11=BH(N8,PK8H,PK8Q,HJ1)  
 QKAN12=BH(N9,PK9H,PK9Q,HJ1)  
 QKAN1=QKAN11+(QKAN12-QKAN11)/0.1\*(HM1-0.1)  
 GO TO 30

18 QKAN11=BH(N9,PK9H,PK9Q,HJ1)  
 QKAN12=BH(N10,PK10H,PK10Q,HJ1)  
 QKAN1=QKAN11+(QKAN12-QKAN11)/0.1\*(HM1-0.2)  
 GO TO 30

19 QKAN11=BH(N10,PK10H,PK10Q,HJ1)  
 QKAN12=BH(N11,PK11H,PK11Q,HJ1)  
 QKAN1=QKAN11+(QKAN12-QKAN11)/0.1\*(HM1-0.3)  
 GO TO 30

20 QKAN11=BH(N11,PK11H,PK11Q,HJ1)  
 QKAN12=BH(N12,PK12H,PK12Q,HJ1)  
 QKAN1=QKAN11+(QKAN12-QKAN11)/0.1\*(HM1-0.4)  
 GO TO 30

21 QKAN11=BH(N12,PK12H,PK12Q,HJ1)  
 QKAN12=BH(N13,PK13H,PK13Q,HJ1)  
 QKAN1=QKAN11+(QKAN12-QKAN11)/0.1\*(HM1-0.5)  
 GO TO 30

22 QKAN11=BH(N13,PK13H,PK13Q,HJ1)  
 QKAN12=BH(N14,PK14H,PK14Q,HJ1)  
 QKAN1=QKAN11+(QKAN12-QKAN11)/0.1\*(HM1-0.6)  
 GO TO 30

23 QKAN11=BH(N814,PK14H,PK14Q,HJ1)  
 QKAN12=BH(N15,PK15H,PK15Q,HJ1)  
 QKAN1=QKAN11+(QKAN12-QKAN11)/0.1\*(HM1-0.7)  
 GO TO 30

30 CONTINUE

IF(HM2.LE.-0.50) GO TO 40  
 IF(HM2.GT.-0.50.AND.HM2.LE.-0.40) GO TO 41  
 IF(HM2.GT.-0.40.AND.HM2.LE.-0.30) GO TO 42  
 IF(HM2.GT.-0.30.AND.HM2.LE.-0.20) GO TO 43  
 IF(HM2.GT.-0.20.AND.HM2.LE.-0.10) GO TO 44  
 IF(HM2.GT.-0.10.AND.HM2.LE.0.00) GO TO 45  
 IF(HM2.GT.0.00.AND.HM2.LE.0.10) GO TO 46  
 IF(HM2.GT.0.10.AND.HM2.LE.0.20) GO TO 47  
 IF(HM2.GT.0.20.AND.HM2.LE.0.30) GO TO 48  
 IF(HM2.GT.0.30.AND.HM2.LE.0.40) GO TO 49  
 IF(HM2.GT.0.40.AND.HM2.LE.0.50) GO TO 50  
 IF(HM2.GT.0.50.AND.HM2.LE.0.60) GO TO 51  
 IF(HM2.GT.0.60.AND.HM2.LE.0.70) GO TO 52  
 IF(HM2.GT.0.70) GO TO 53

- 40 QKAN21=BH(N1, PK1H, PK1Q, HJ2P)  
 QKAN22=BH(N2, PK2H, PK2Q, HJ2P)  
 $QKAN2=QKAN21+(QKAN22-QKAN21)/0.1*(HM2+0.6)$   
 GO TO 60
- 41 QKAN21=BH(N2, PK2H, PK2Q, HJ2P)  
 QKAN22=BH(N3, PK3H, PK3Q, HJ2P)  
 $QKAN2=QKAN21+(QKAN22-QKAN21)/0.1*(HM2+0.5)$   
 GO TO 60
- 42 QKAN21=BH(N3, PK3H, PK3Q, HJ1)  
 QKAN22=BH(N4, PK4H, PK4Q, HJ1)  
 $QKAN2=QKAN21+(QKAN22-QKAN21)/0.1*(HM2+0.4)$   
 GO TO 60
- 43 QKAN21=BH(N4, PK4H, PK4Q, HJ1)  
 QKAN22=BH(N5, PK5H, PK5Q, HJ1)  
 $QKAN2=QKAN21+(QKAN22-QKAN21)/0.1*(HM2+0.3)$   
 GO TO 60
- 44 QKAN21=BH(N5, PK5H, PK5Q, HJ1)  
 QKAN22=BH(N6, PK6H, PK6Q, HJ1)  
 $QKAN2=QKAN21+(QKAN22-QKAN21)/0.1*(HM2+0.2)$   
 GO TO 60
- 45 QKAN21=BH(N6, PK6H, PK6Q, HJ1)  
 QKAN22=BH(N7, PK7H, PK7Q, HJ1)  
 $QKAN2=QKAN21+(QKAN22-QKAN21)/0.1*(HM2+0.1)$   
 GO TO 60
- 46 QKAN21=BH(N7, PK7H, PK7Q, HJ1)  
 QKAN22=BH(N8, PK8H, PK8Q, HJ1)  
 $QKAN2=QKAN21+(QKAN22-QKAN21)/0.1*HM2$   
 GO TO 60
- 47 QKAN21=BH(N8, PK8H, PK8Q, HJ1)  
 QKAN22=BH(N9, PK9H, PK9Q, HJ1)  
 $QKAN2=QKAN21+(QKAN22-QKAN21)/0.1*(HM2-0.1)$   
 GO TO 60
- 48 QKAN21=BH(N9, PK9H, PK9Q, HJ1)  
 QKAN22=BH(N10, PK10H, PK10Q, HJ1)  
 $QKAN2=QKAN21+(QKAN22-QKAN21)/0.1*(HM2-0.2)$   
 GO TO 60
- 49 QKAN21=BH(N10, PK10H, PK10Q, HJ1)  
 QKAN22=BH(N11, PK11H, PK11Q, HJ1)  
 $QKAN2=QKAN21+(QKAN22-QKAN21)/0.1*(HM2-0.3)$   
 GO TO 60
- 50 QKAN21=BH(N11, PK11H, PK11Q, HJ1)  
 QKAN22=BH(N12, PK12H, PK12Q, HJ1)  
 $QKAN2=QKAN21+(QKAN22-QKAN21)/0.1*(HM2-0.4)$   
 GO TO 60
- 51 QKAN21=BH(N12, PK12H, PK12Q, HJ1)  
 QKAN22=BH(N13, PK13H, PK13Q, HJ1)  
 $QKAN2=QKAN21+(QKAN22-QKAN21)/0.1*(HM2-0.5)$   
 GO TO 60
- 52 QKAN21=BH(N13, PK13H, PK13Q, HJ1)

```

QKAN22=BH(N14, PK14H, PK14Q, HJ1)
QKAN2=QKAN21+(QKAN22-QKAN21)/0.1*(HM2-0.6)
GO TO 60

53  QKAN21=BH(N814, PK14H, PK14Q, HJ1)
     QKAN22=BH(N15, PK15H, PK15Q, HJ1)
     QKAN2=QKAN21+(QKAN22-QKAN21)/0.1*(HM2-0.7)
     GO TO 60

60  CONTINUE

F(1)=H12P-H11-(Q01-Q11)/A11*(1-THETA)*DT-(Q02-Q12)/A12*THETA*DT
FF(1,1)=1.0
FF(1,2)=THETA*DT/A12
FF(1,3)=0.0

IF(H12P.GE.HJ2P) THEN
F(2)=Q12-CB12*SQRT(H12P-HJ2P)
FF(2,1)=-CB12/(2.*SQRT(H12P-HJ2P))
FF(2,2)=1.0
FF(2,3)=CB12/(2.*SQRT(H12P-HJ2P))
END IF
IF(H12P.LT.HJ2P) THEN
F(2)=Q12-CB12*SQRT(HJ2P-H12P)
FF(2,1)=CB12/(2.*SQRT(HJ2P-H12P))
FF(2,2)=1.0
FF(2,3)=-CB12/(2.*SQRT(HJ2P-H12P))
END IF

F(3)=HJ2P-HJ1-(Q11+QJEZ1-EV1-QVOD1-QPOD1-QKAN1)/AJ1*(1-THETA)*DT-
&(Q12+QJEZ2-EV2-QVOD2-QPOD2-QKAN2)/AJ2*THETA*DT
FF(3,1)=0.0
FF(3,2)=-THETA*DT/AJ2
FF(3,3)=1.0

F(1)=-F(1)
F(2)=-F(2)
F(3)=-F(3)

CALL SOLVER(FF,F,3)

H12I=H12P+FAKT*F(1)
Q12=Q12+FAKT*F(2)
HJ2I=HJ2P+FAKT*F(3)

H12P=H12I
HJ2P=HJ2I

DO I=1,3
IF(ABS(F(I)).GT.TOC) GO TO 200
END DO

H12=H12I
H11=H12
HJ2=HJ2I
GRESKA=GRESKA+ABS(HJ2-HJ(IT2D))

HJM1=HJ(IT1D)
HJM2=HJ(IT2D)

```

```

      IF (IVR.EQ.1) THEN
      WRITE (IZL,300) T1,T1D,H11,Q11,HJ1,HJM1,QJEZ1, EV1,QVOD1,QPOD1,
&QKAN1, HM1
      END IF
      IX=IVR/NPIS
      X=FLOAT(IVR)/FLOAT(NPIS)
      RIX=FLOAT(IX)
      IF (X.EQ.RIX) THEN
      WRITE (IZL,300) T2,T2D,H12,Q12,HJ2,HJM2,QJEZ2, EV2,QVOD2,QPOD2,
&QKAN2, HM2
      END IF
300  FORMAT (F15.2,F12.6,10F12.4)

      T1=T2
      HJ1=HJ2
      T1D=T2D

500  CONTINUE

      GRESKA=GRESKA/FLOAT(NDT)
      WRITE(*,501) GRESKA
501  FORMAT( 'Prosjecna greska iznosi',F10.5)
      WRITE(IZL,501) GRESKA

      STOP
      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 OPEN(IPK1,IPK2,IPK3,IPK4,IPK5,IPK6,IPK7,IPK8,IPK9,IPK10
&,IPK11,IPK12,IPK13,IPK14,IPK15,IUL0,IUL1,IUL2,IZL)
      CHARACTER*40 IME

      WRITE(*,5)
5     FORMAT(' UPISI IME DATOTEKE S IMENIMA DATOTEKA:')
      READ(*,'(A)') IME
      OPEN(UNIT=IUL0,FILE=IME,STATUS='OLD')

      READ(IUL0,'(A)') IME
      OPEN(UNIT=IUL1,FILE=IME,STATUS='OLD')
      WRITE(*,6) IME
6     FORMAT(' IME DATOTEKE S PODACIMA O RAZINI MORA I JEZERA JE:',A40)

      READ(IUL0,'(A)') IME
      OPEN(UNIT=IUL2,FILE=IME,STATUS='OLD')
      WRITE(*,7) IME
7     FORMAT(' IME DATOTEKE S PODACIMA S POVRŠINAMA BAZENA 1 I FUN.
&PROVODLJIVOSTI PODZEMNOG OTJECANJA:',A40)

```



```

      READ(IUL0, '(A)') IME
      OPEN(UNIT=IZL, FILE=IME, STATUS='REPLACE')
      WRITE(*,8) IME
8     FORMAT(' IME IZLAZNE DATOTEKE:',A40)

      OPEN(UNIT=IPK1, FILE='PK1.DAT', STATUS='OLD')
      OPEN(UNIT=IPK2, FILE='PK2.DAT', STATUS='OLD')
      OPEN(UNIT=IPK3, FILE='PK3.DAT', STATUS='OLD')
      OPEN(UNIT=IPK4, FILE='PK4.DAT', STATUS='OLD')
      OPEN(UNIT=IPK5, FILE='PK5.DAT', STATUS='OLD')
      OPEN(UNIT=IPK6, FILE='PK6.DAT', STATUS='OLD')
      OPEN(UNIT=IPK7, FILE='PK7.DAT', STATUS='OLD')
      OPEN(UNIT=IPK8, FILE='PK8.DAT', STATUS='OLD')
      OPEN(UNIT=IPK9, FILE='PK9.DAT', STATUS='OLD')
      OPEN(UNIT=IPK10, FILE='PK10.DAT', STATUS='OLD')
      OPEN(UNIT=IPK11, FILE='PK11.DAT', STATUS='OLD')
      OPEN(UNIT=IPK12, FILE='PK12.DAT', STATUS='OLD')
      OPEN(UNIT=IPK13, FILE='PK13.DAT', STATUS='OLD')
      OPEN(UNIT=IPK14, FILE='PK14.DAT', STATUS='OLD')
      OPEN(UNIT=IPK15, FILE='PK15.DAT', STATUS='OLD')

      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

```

## 6. ZAKLJUČAK

U ovom diplomskom radu provedena je analiza postojećeg stanja jezera te je izrađeno programsko rješenje za analizu istog. Analizom postojećeg stanja dobiveno je petnaest krivulja protoka koje opisuju kretanje protoka u kanalu Prosika u ovisnosti o vodostajima jezera i mora. Analiza je napravljena za razine mora od -0.6 (m n.m.) do +0.8 (m n.m.) (svakih 0.1 (m)).

Model je izrađen primjenom jednadžbi kontinuiteta te jednadžbe kojom se definira dotok iz podzemnog bazena u jezero. Kalibriran je na podacima za 2010. i 2011. godinu, te je kasnije testiran na podacima za 2012. godinu. Podaci koji su kalibrirani su površina podzemnog bazena, koeficijent provodljivosti iz podzemnog bazena prema jezeru, te koeficijent provodljivosti podzemlja (odnosno koeficijent provodljivosti između jezera i mora). Usporedbom mjerenih i izračunatih vrijednosti ispitana je točnost modela. Odstupanje mjerenih i izračunatih vrijednosti kalibriranog modela iznosi 5.03 (cm), a za 2012. godinu (verifikacija modela) iznosi 6.74 (cm). U oba slučaja može se reći da model dobro opisuje stvarno stanje u jezeru.

Osim izračunatih razina u jezeru čijom usporedbom sa mjerenim vrijednostima se ustvrdila vjerodostojnost modela, proračunom su dobivene i vrijednosti komponenata vodne bilance.

Uvidom u grafičke prikaze kretanja protoka utvrđeno je da na promjenu protoka najveću ulogu ima koeficijent otjecanja sa sliva. Na dotok iz fiktivnog bazena (podzemni bazen 1) u jezero najviše utječe geometrija bazena kao i koeficijent provodljivosti između bazena i jezera. Evaporacija je najizraženija u ljetnim mjesecima kada su visoke temperature pa je i isparavanje izražajnije. Mjesečni protoci za vodoopskrbu i navodnjavanje su uzeti jednaki za sve godine razmatranja. Na promjenu protoka pri podzemnom procjeđivanju ključnu ulogu ima razlika razina mora i jezera kao i koeficijent provodljivosti podzemlja (provodljivost između jezera i mora). Protok u kanalu mijenja se sukladno razlici razina mora i jezera.

Uzimajući u obzir sve komponente vodne bilance dobiven je i graf promjene volumena jezera u ovisnosti o vremenu iz kojeg je vidljivo smanjenje volumena jezera zbog visoke evaporacije i protoka u kanalu. Time su potvrđeni i dokazani izneseni problemi jezera Vrana u vidu direktnog prodiranja mora kroz kanal te niskih razina jezera koji pridonose izrazitom povećanju slanosti jezera.

Novim varijantnim rješenjem trebalo bi biti omogućeno kontrolirano upravljanje nivoom vode u jezeru, usporavanje opadanja nivoa vode, sprječavanje prodora mora te nesmetana migracija riba kroz kanal Prosiku.

## 7. LITERATURA

- [1] V. Jović, Osnove hidromehanike, Element, 2006.
- [2] V. Jović, Hidraulika - interna skripta, Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije u Splitu.
- [3] J. Rubinić, Vodni režim Vranskog jezera u Dalmaciji i klimatski utjecaji, 2014.
- [4] The Newton-Raphson Method,  
<http://www.math.ubc.ca/~ansteec/math104/newtonmethod.pdf>.
- [5] The Newton-Raphson Method,  
<http://www.mathos.unios.hr/~scitowsk/MP/Snj.pdf>
- [6] A. Harapin, Kratke osnove rada s programskim jezikom FORTRAN, Split: Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije, 2009.
- [7] P. Sarajčev, Primjena Fortrana F90/95 u inženjerskim proračunima, Split: FESB, Zavod za elektroenergetiku, 2004.

## 8. PRILOZI

1. Situacija
2. Uzdužni presjek
  - 3.1. Poprečni presjeci P1, P2 i P3
  - 3.2. Poprečni presjeci P4, P5 i P6
  - 3.3. Poprečni presjeci P7, P8 i P9
  - 3.4. Poprečni presjeci P10, P11 i P12
  - 3.5. Poprečni presjeci P13, P14 i P15
  - 3.6. Poprečni presjeci P16, P17 i P18
  - 3.7. Poprečni presjeci P19, P20 i P21
  - 3.8. Poprečni presjeci P22, P23 i P24
  - 3.9. Poprečni presjeci P25, P26 i P27
  - 3.10. Poprečni presjeci P28, P29 i P30
  - 3.11. Poprečni presjeci P31, P32 i P33
  - 3.12. Poprečni presjeci P34, P35 i P36
  - 3.13. Poprečni presjeci P37, P38 i P39



SITUACIJA  
MJ. 1:2000



SVEUČILIŠTE U SPLITU,  
FAKULTET GRAĐEVINARSTVA,  
ARHITEKTURE I GEODEZIJE

Diplomski rad

TEMA HIDRAULIČKA ANALIZA I MODEL VRANSKOG  
JEZERA U POSTOJEĆEM STANJU

STUDENT Adrijana Vrsalović

SADRŽAJ SITUACIJA

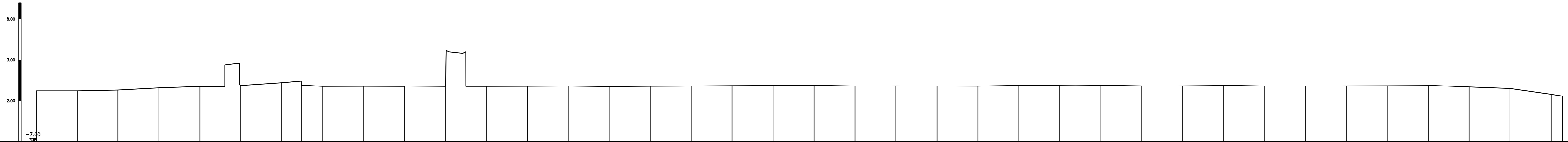
MJERILO 1:2000

DATUM srpanj, 2019.

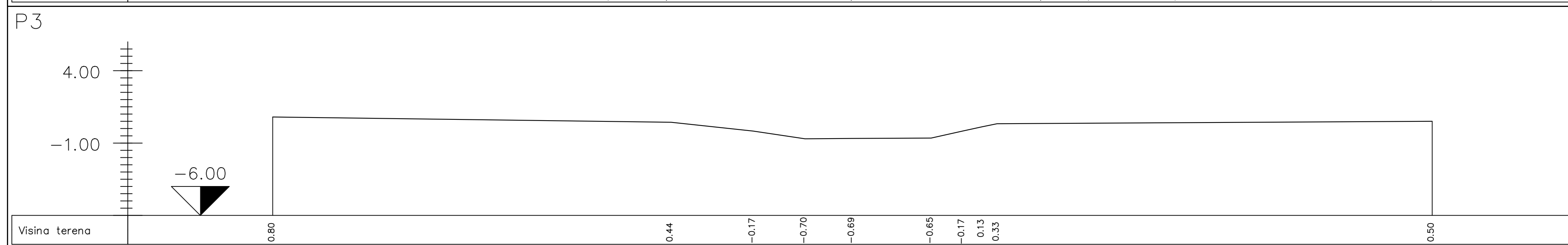
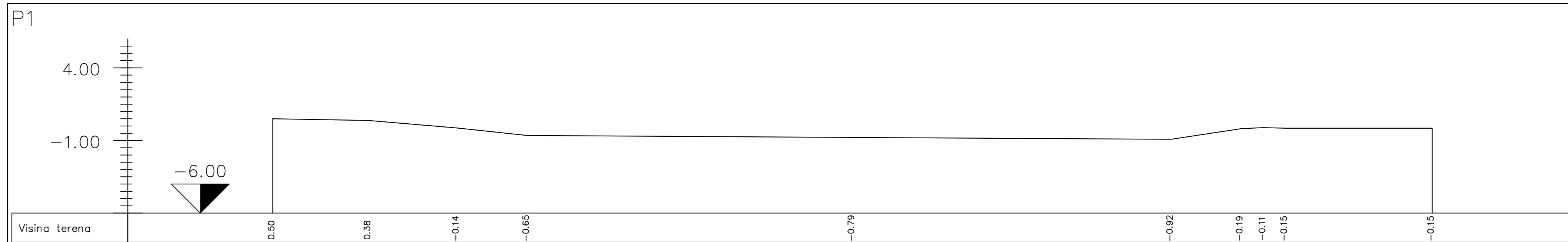
BROJ PRILOGA

1

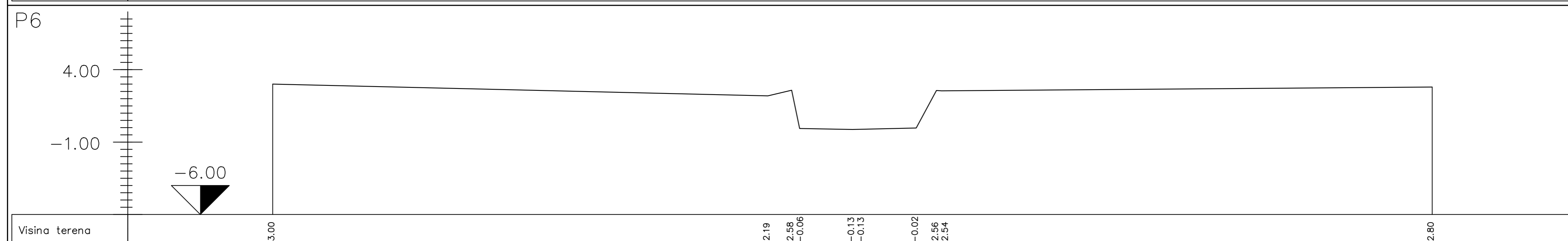
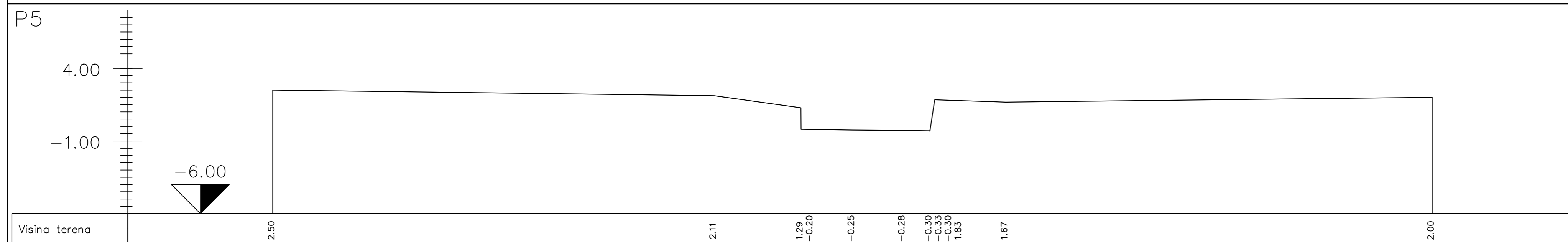
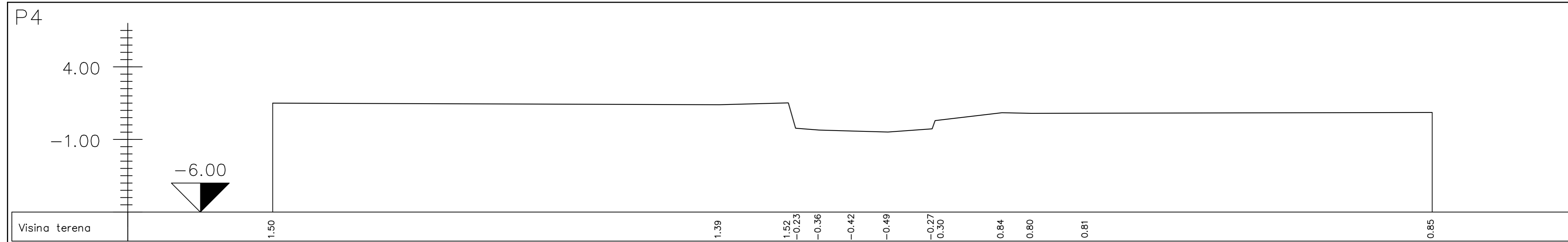
N91  
M: 1:500/100



Naziv	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	C130	C131	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P30	P31	P32	P33	P34	P35	P36	P37	P38	P39									
Visina terena [m.n.m.]	-7.79	-7.79	-7.69	-7.62	-7.55	-7.13	0.21	0.41	-0.08	-0.24	-0.22	-0.19	-0.23	-0.23	-0.22	-0.19	-0.25	-0.22	-0.19	-0.18	-0.15	-0.11	-0.19	-0.18	-0.19	-0.20	-0.11	-0.08	-0.10	-0.10	-0.10	-0.10	-0.20	-0.19	-0.18	-0.17	-0.16	-0.21	-0.20	-1.20	-1.45									
Visina nivelete [m.n.m.]																																																		
Dubina nivelete [m]																																																		
Visina dna rova [m.n.m.]																																																		
Dubina dna rova [m]																																																		
Duljina dionice [m]		25.00	24.77	24.90	25.00		11.83	0.44	13.13			25.00										24.99			25.00																									
Pad [%]																																																		
Materijal cijevi																																																		
Nazivni promjer cijevi [mm]																																																		
Stacionaže čvorova																																																		
Duljina/Pad																																																		

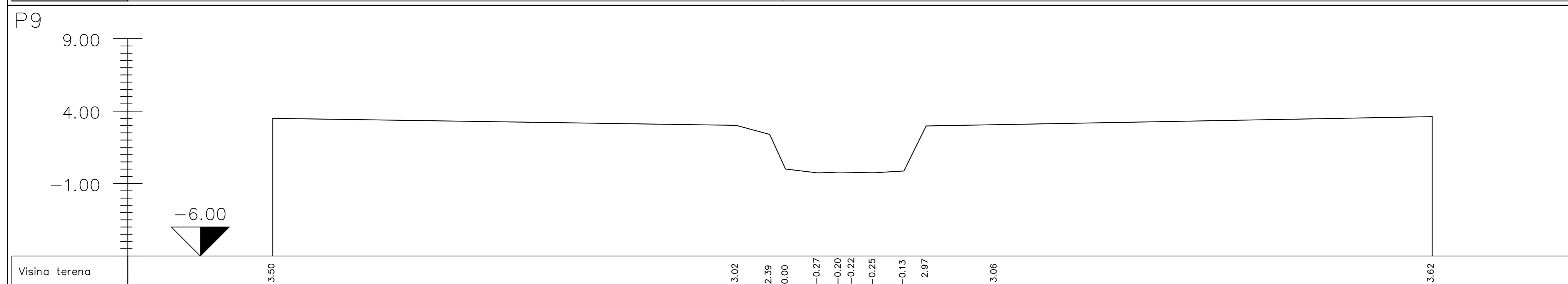
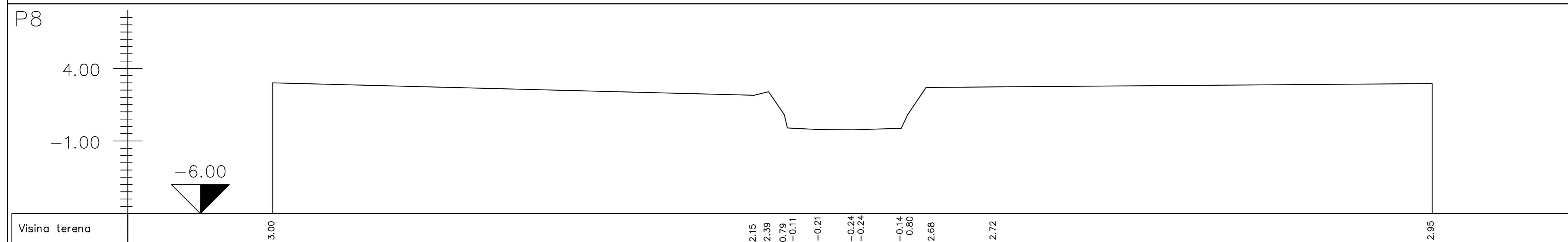
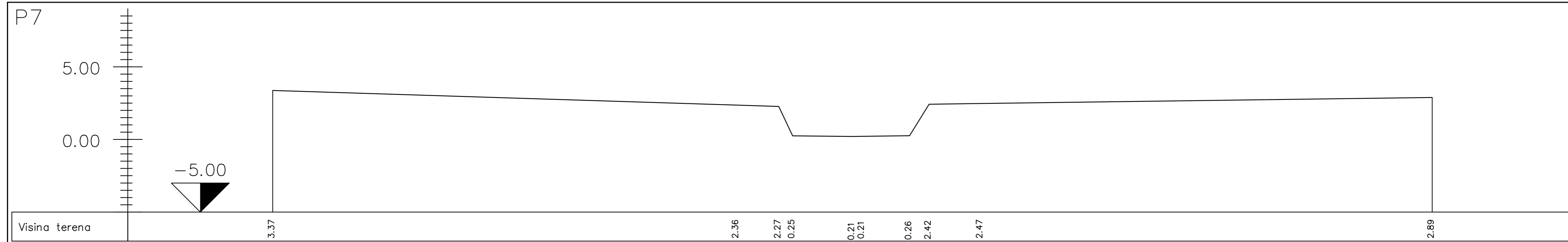


		SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
<b>Diplomski rad</b>		
TEMA	HIDRAULIČKA ANALIZA I MODEL VRANSKOG JEZERA U POSTOJEĆEM STANJU	
STUDENT	Adrijana Vrsalović	
SADRŽAJ	POPREČNI PRESJECI P1, P2 I P3	MJERILO 1:200
DATUM	srpanj, 2019.	BROJ PRILOGA 3.1

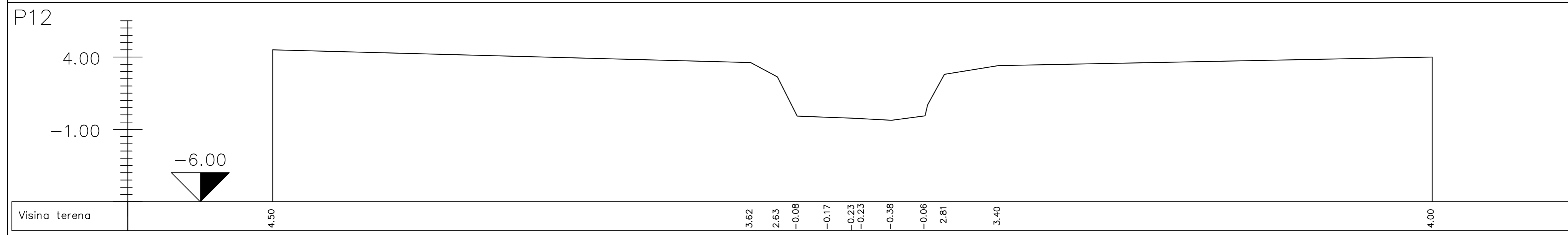
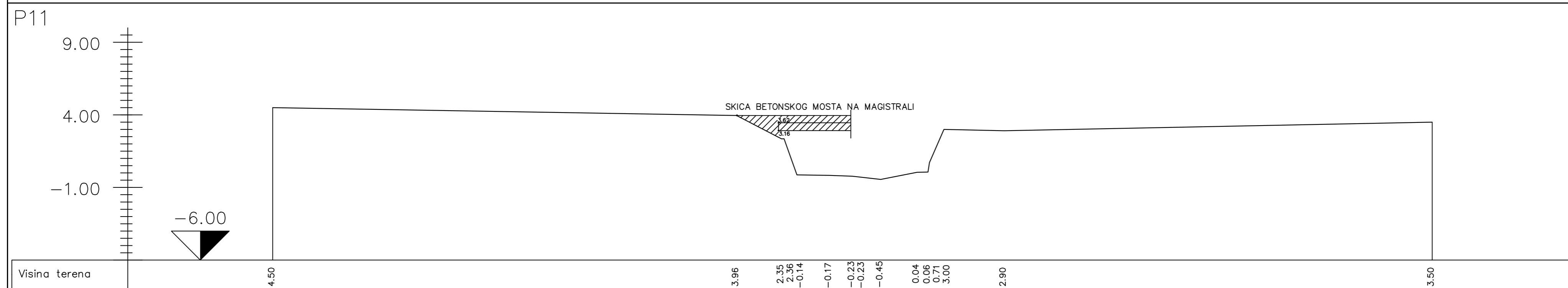
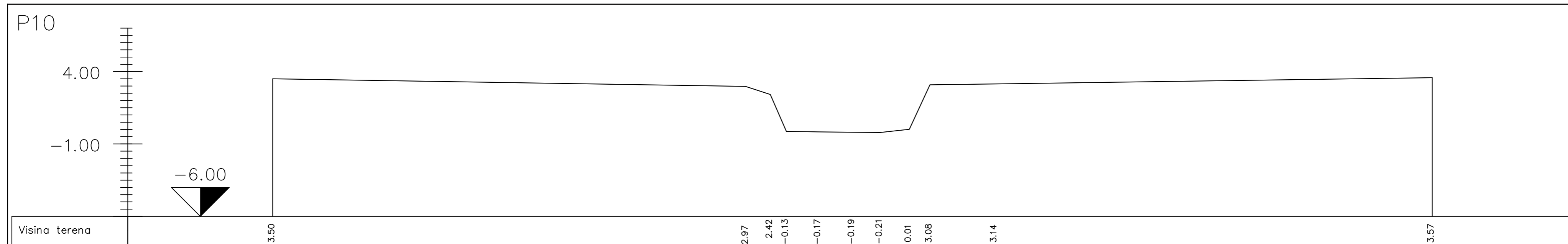


		SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE	
<b>Diplomski rad</b>			
TEMA	HIDRAULIČKA ANALIZA I MODEL VRANSKOG JEZERA U POSTOJEĆEM STANJU		
STUDENT	Adrijana Vrsalović		
SADRŽAJ	POPREČNI PRESJECI P4, P5 I P6	MJERILO	1:200
DATUM	srpanj, 2019.	BROJ PRILOGA	3.2

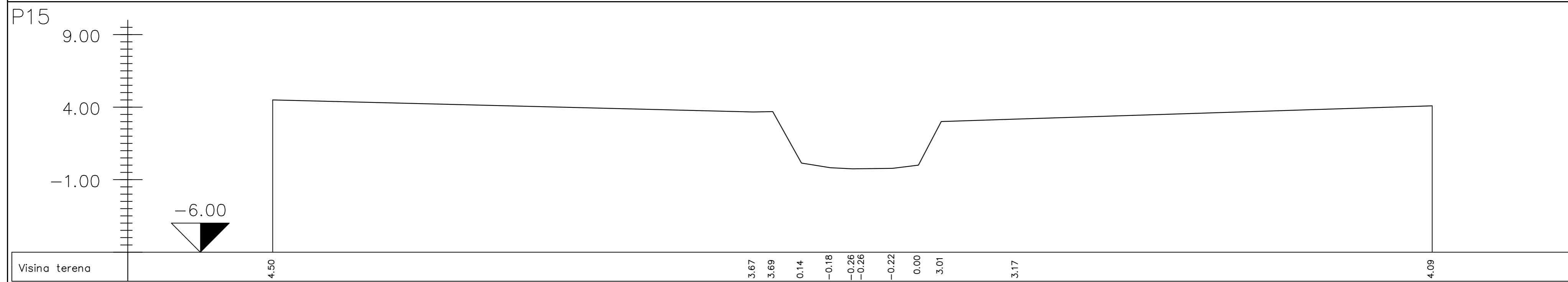
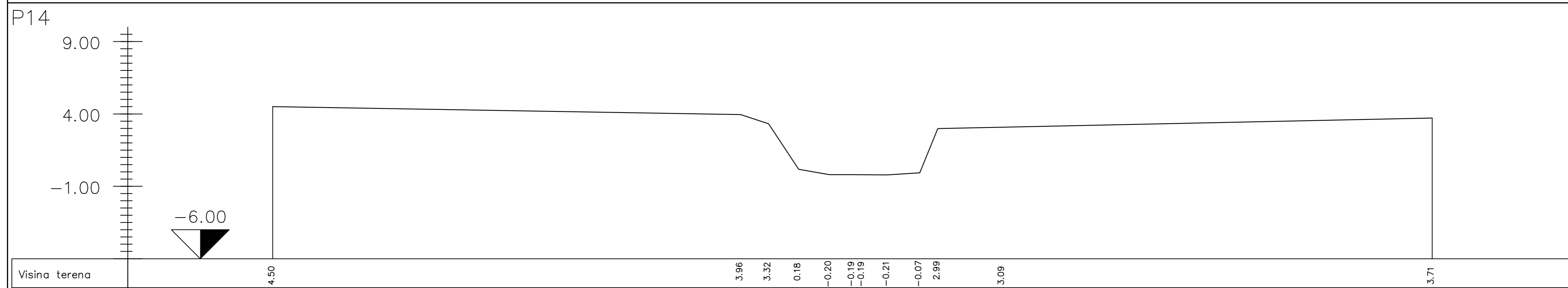
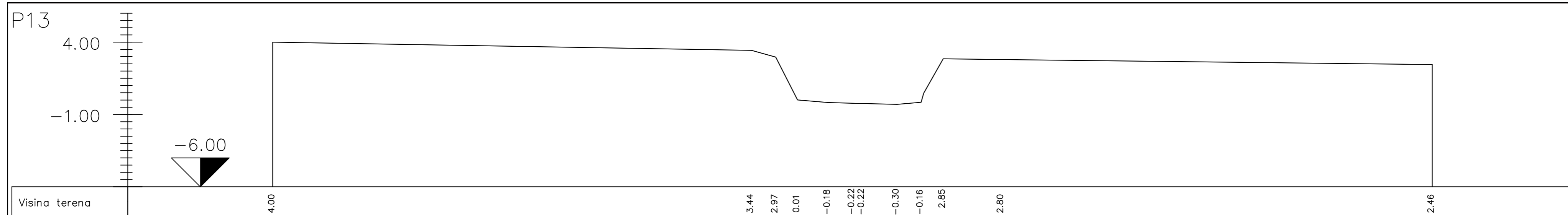




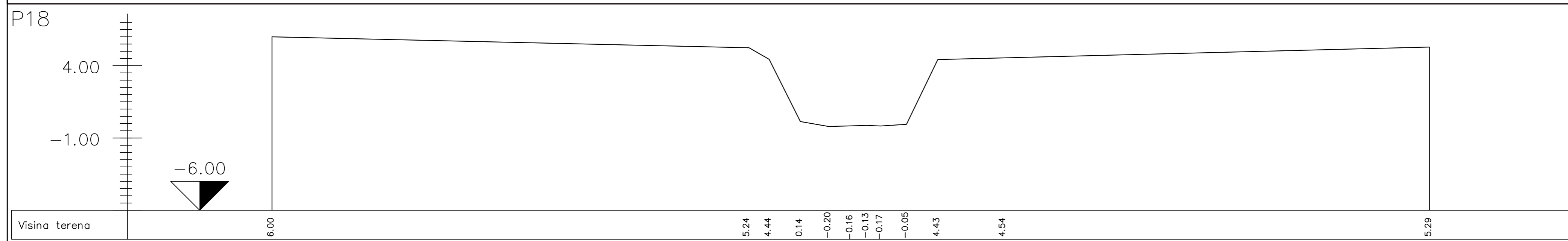
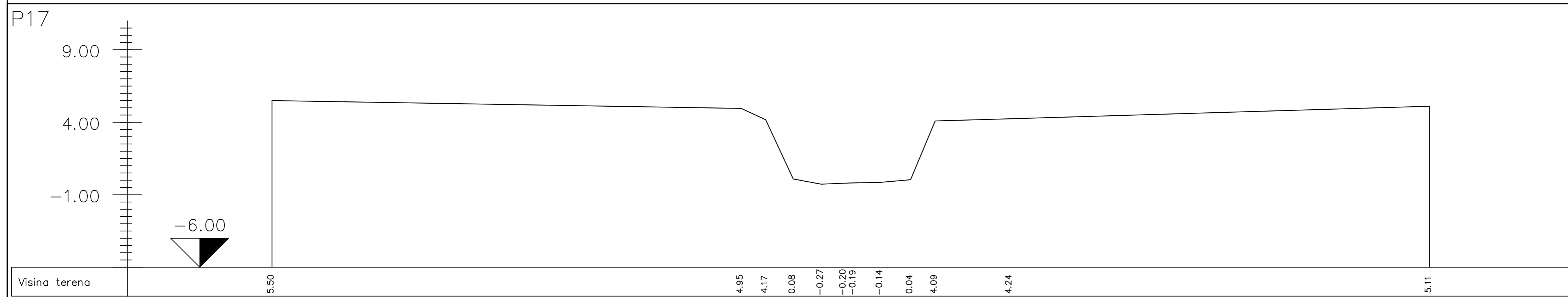
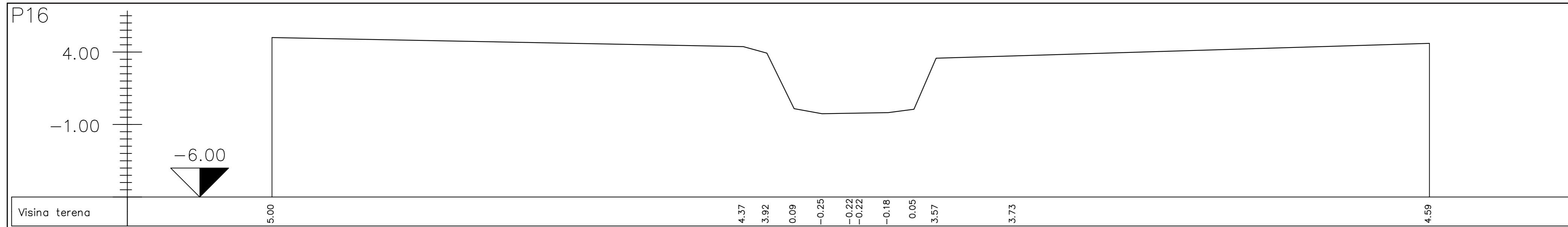
		SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE	
<b>Diplomski rad</b>			
TEMA	HIDRAULIČKA ANALIZA I MODEL VRANSKOG JEZERA U POSTOJEĆEM STANJU		
STUDENT	Adrijana Vrsalović		
SADRŽAJ	POPREČNI PRESJECI P7, P8 I P9	MJERILO	1:200
DATUM	srpanj, 2019.	BROJ PRILOGA	3.3



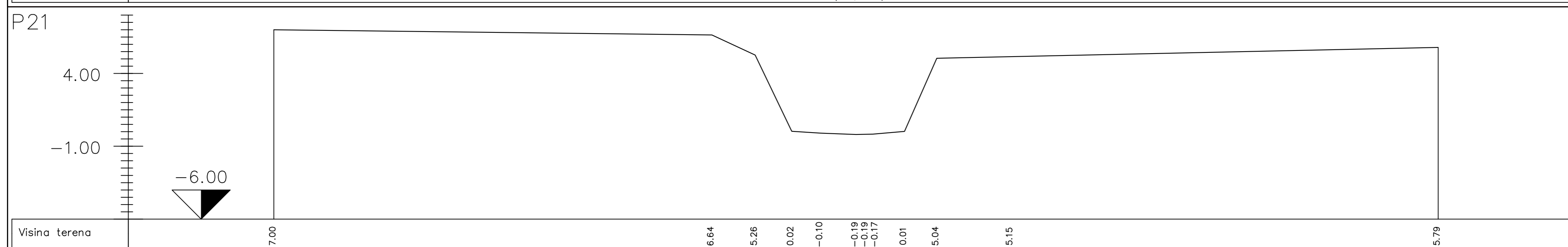
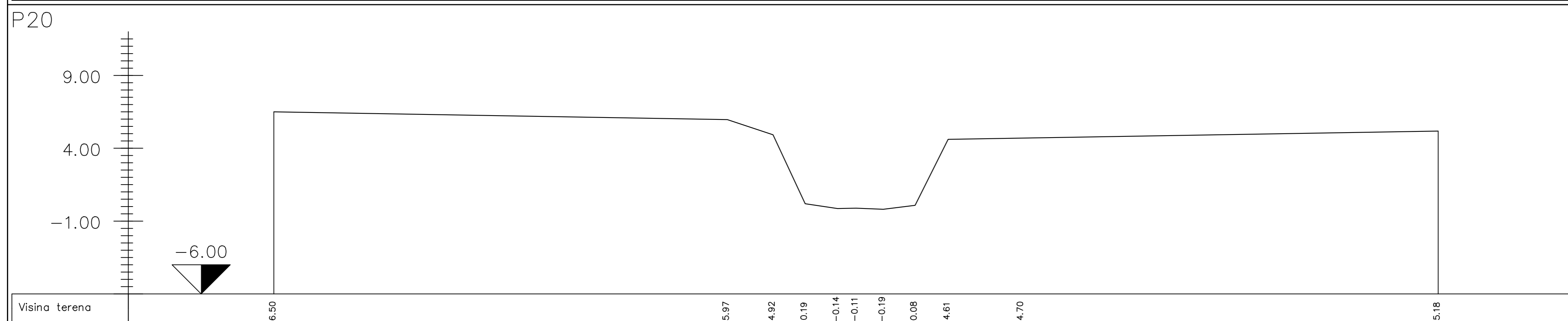
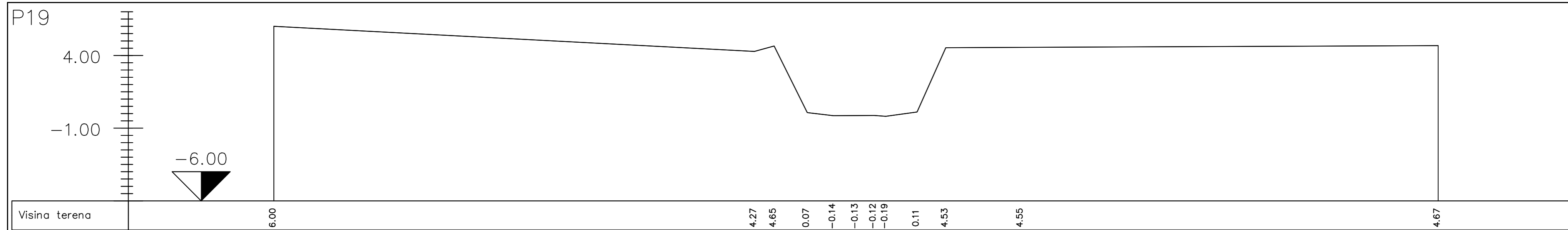
		SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE	
<b>Diplomski rad</b>			
TEMA	HIDRAULIČKA ANALIZA I MODEL VRANSKOG JEZERA U POSTOJEĆEM STANJU		
STUDENT	Adrijana Vrsalović		
SADRŽAJ	POPREČNI PRESJECI P10, P11 I P12	MJERILO	1:200
DATUM	srpanj, 2019.	BROJ PRILOGA	3.4



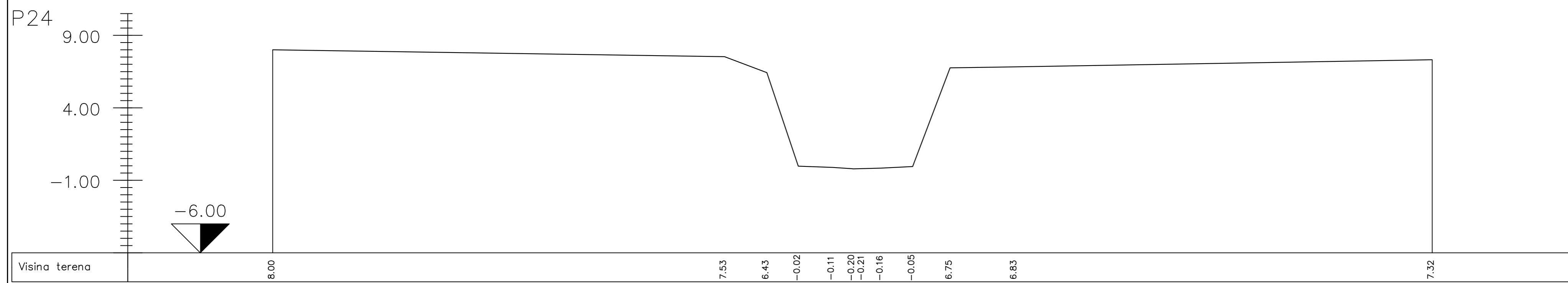
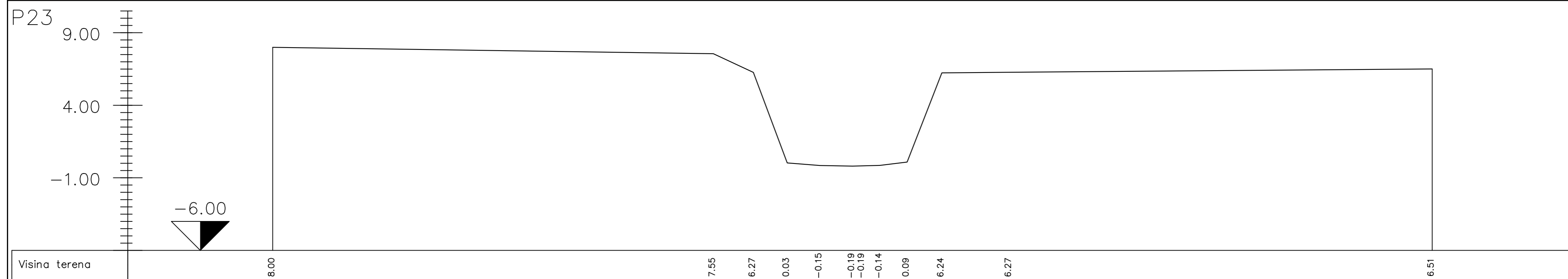
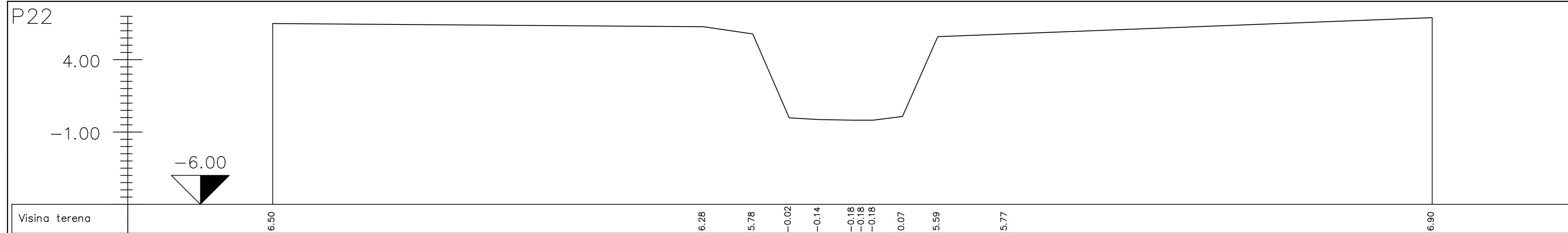
		SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE	
<b>Diplomski rad</b>			
TEMA	HIDRAULIČKA ANALIZA I MODEL VRANSKOG JEZERA U POSTOJEĆEM STANJU		
STUDENT	Adrijana Vrsalović		
SADRŽAJ	POPREČNI PRESJECI P13, P14 I P15	MJERILO	1:200
DATUM	srpanj, 2019.	BROJ PRILOGA	3.5



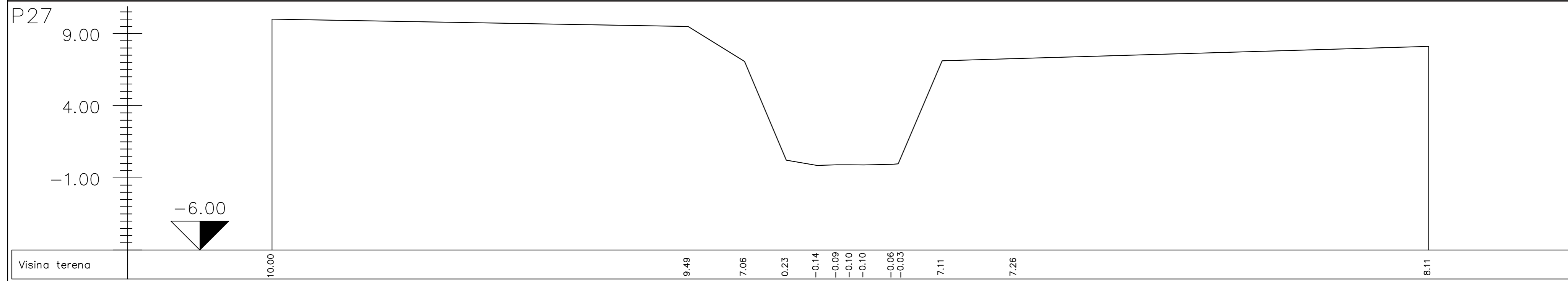
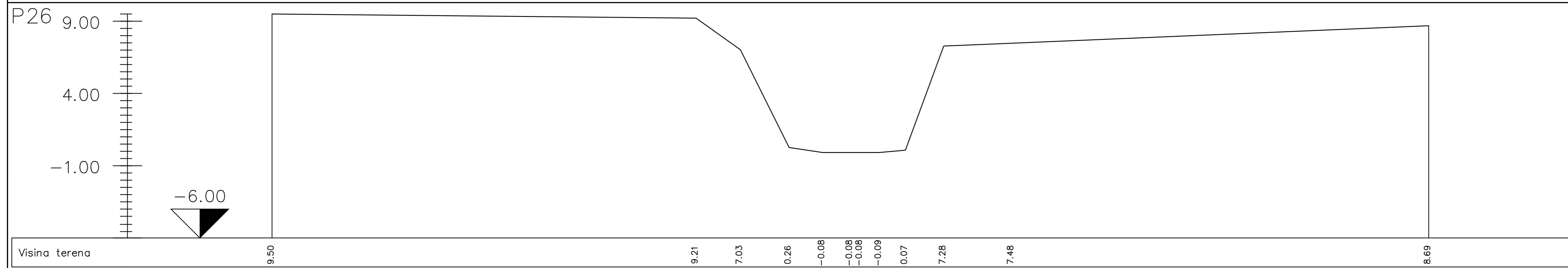
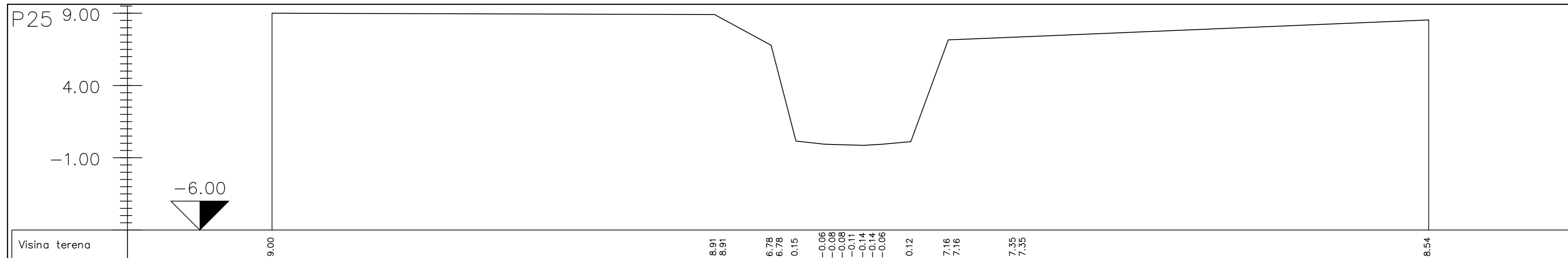
		SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE
Diplomski rad		
TEMA	HIDRAULIČKA ANALIZA I MODEL VRANSKOG JEZERA U POSTOJEĆEM STANJU	
STUDENT	Adrijana Vrsalović	
SADRŽAJ	POPREČNI PRESJECI P16, P17 I P18	MJERILO BROJ PRILOGA
DATUM	srpanj, 2019.	1:200 3.6



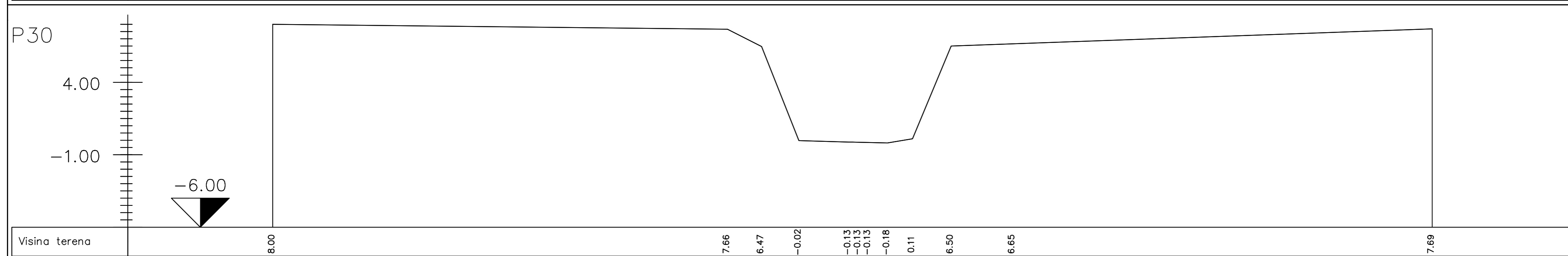
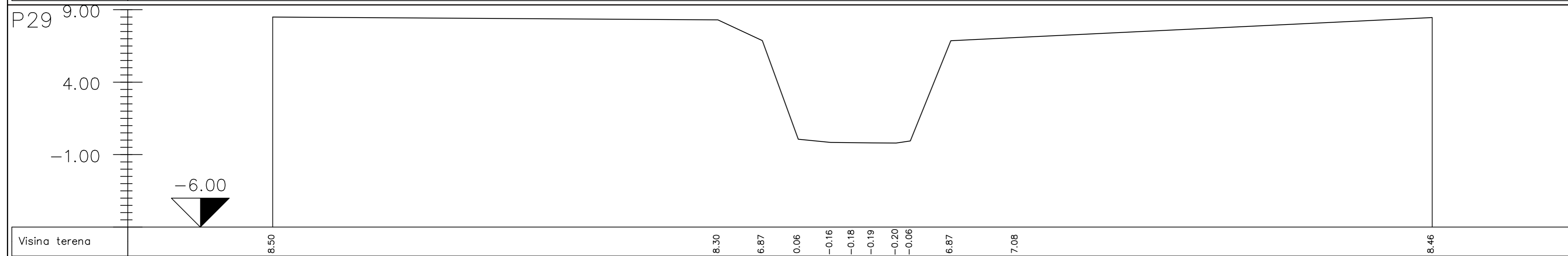
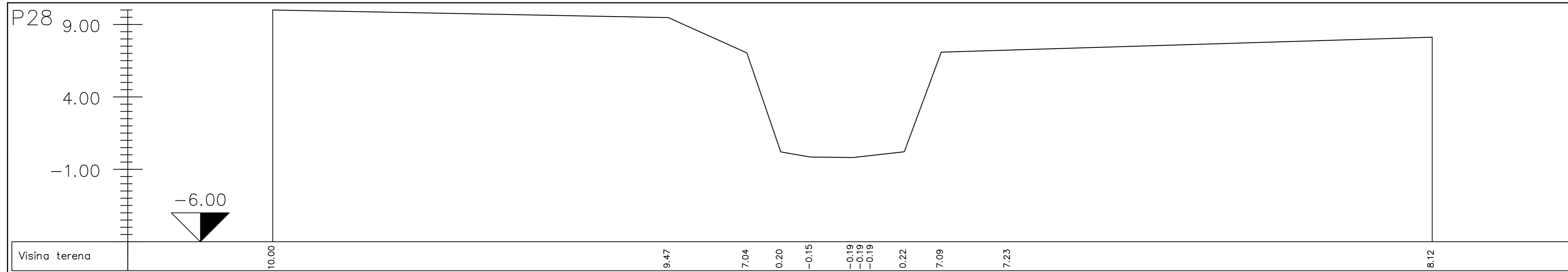
		SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE	
<b>Diplomski rad</b>			
TEMA	HIDRAULIČKA ANALIZA I MODEL VRANSKOG JEZERA U POSTOJEĆEM STANJU		
STUDENT	Adrijana Vrsalović		
SADRŽAJ	POPREČNI PRESJECI P19, P20 I P21	MJERILO	1:200
DATUM	srpanj, 2019.	BROJ PRILOGA	3.7



	
<p align="center"><b>Diplomski rad</b></p>	
TEMA	HIDRAULIČKA ANALIZA I MODEL VRANSKOG JEZERA U POSTOJEĆEM STANJU
STUDENT	Adrijana Vrsalović
SADRŽAJ	POPREČNI PRESJECI P22, P23 I P24
DATUM	srpanj, 2019.
MJERILO	1:200
BROJ PRILOGA	3.8

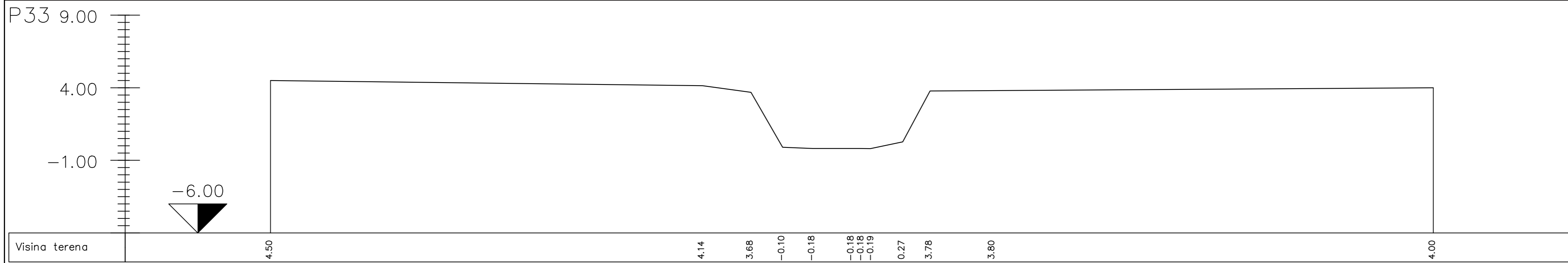
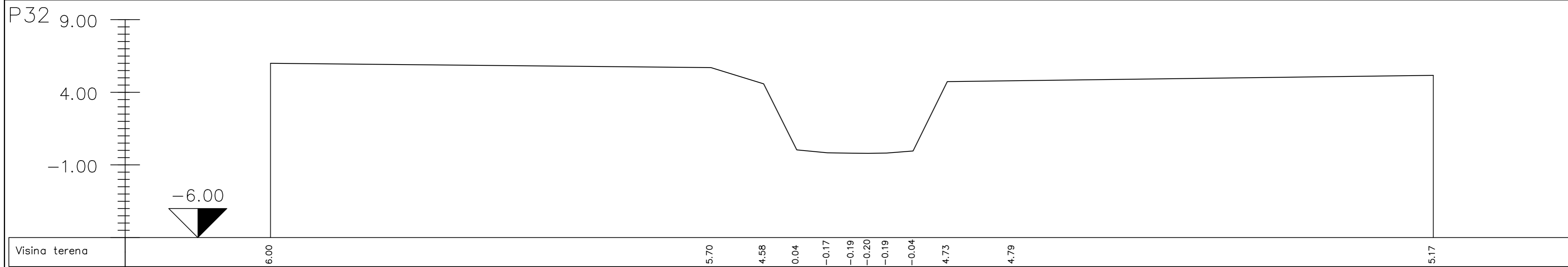
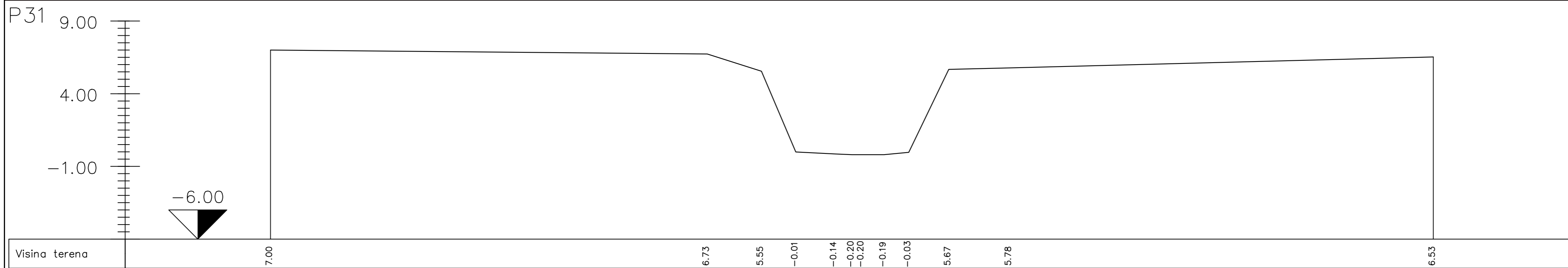


	
Diplomski rad	
TEMA	HIDRAULIČKA ANALIZA I MODEL VRANSKOG JEZERA U POSTOJEĆEM STANJU
STUDENT	Adrijana Vrsalović
SADRŽAJ	POPREČNI PRESJECI P25, P26 I P27
DATUM	srpanj, 2019.
MJERILO	1:200
BROJ PRILOGA	3.9

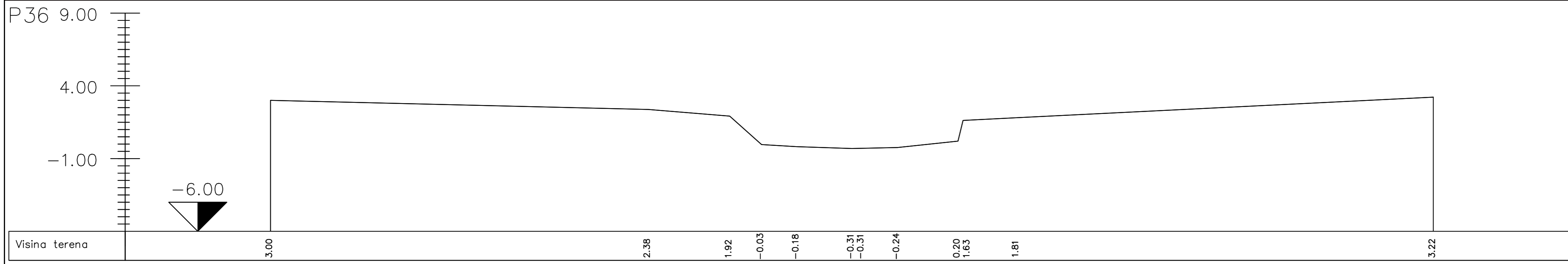
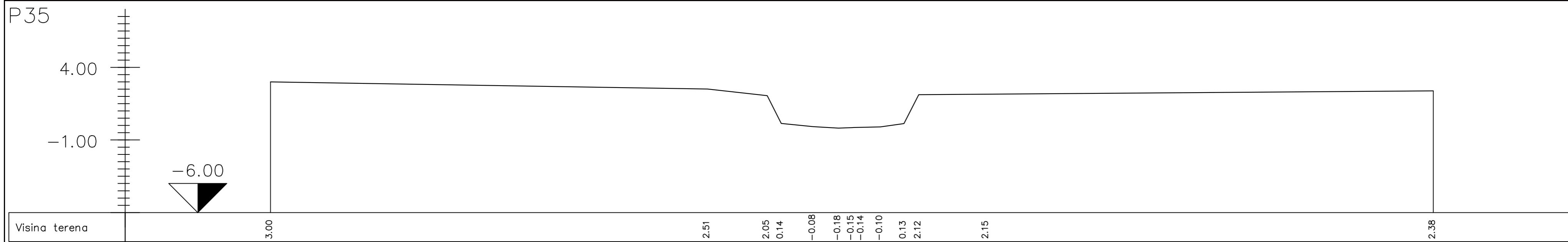
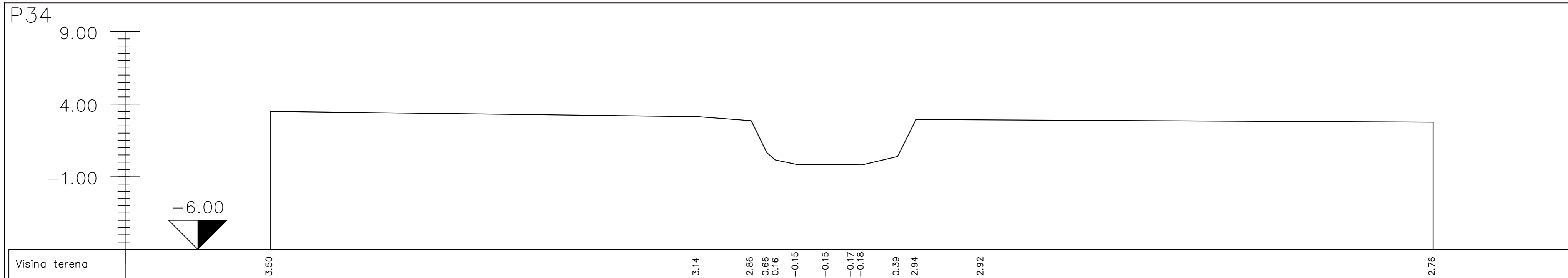


	
<b>Diplomski rad</b>	
TEMA <b>HIDRAULIČKA ANALIZA I MODEL VRANSKOG JEZERA U POSTOJEĆEM STANJU</b>	
STUDENT <b>Adrijana Vrsalović</b>	
SADRŽAJ <b>POPREČNI PRESJECI P28, P29 I P30</b>	MUERILO <b>1:200</b>
DATUM <b>srpanj, 2019.</b>	BROJ PRILOGA <b>3.10</b>



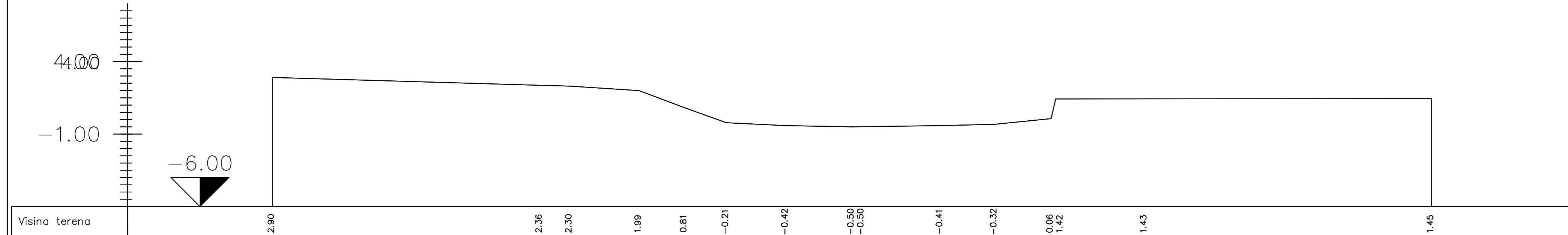


SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE	
Diplomski rad	
TEMA	HIDRAULIČKA ANALIZA I MODEL VRANSKOG JEZERA U POSTOJEĆEM STANJU
STUDENT	Adrijana Vrsalović
SADRŽAJ	POPREČNI PRESJECI P31, P32 I P33
MJERILO	1:200
DATUM	srpanj, 2019.
BROJ PRILOGA	3.11

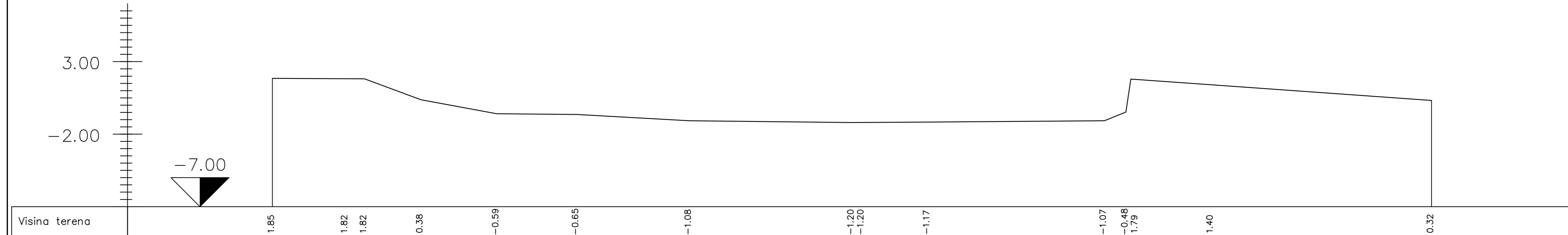


		SVEUČILIŠTE U SPLITU, FAKULTET GRAĐEVINARSTVA, ARHITEKTURE I GEODEZIJE	
<b>Diplomski rad</b>			
TEMA	HIDRAULIČKA ANALIZA I MODEL VRANSKOG JEZERA U POSTOJEĆEM STANJU		
STUDENT	Adrijana Vrsalović		
SADRŽAJ	POPREČNI PRESJECI P34, P35 I P36	MJERILO	1:200
DATUM	srpanj, 2019.	BROJ PRILOGA	3.12

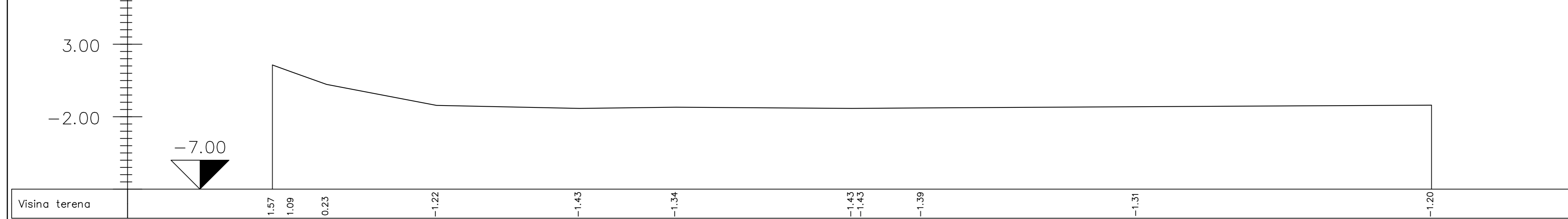
P37



P38



P39



Diplomski rad

TEMA HIDRAULIČKA ANALIZA I MODEL VRANSKOG JEZERA U POSTOJEĆEM STANJU

STUDENT Adrijana Vrsalović

SADRŽAJ POPREČNI PRESJECI P37, P38 I P39 MJERILO 1:200

DATUM srpanj, 2019. BROJ PRILOGA 3.13