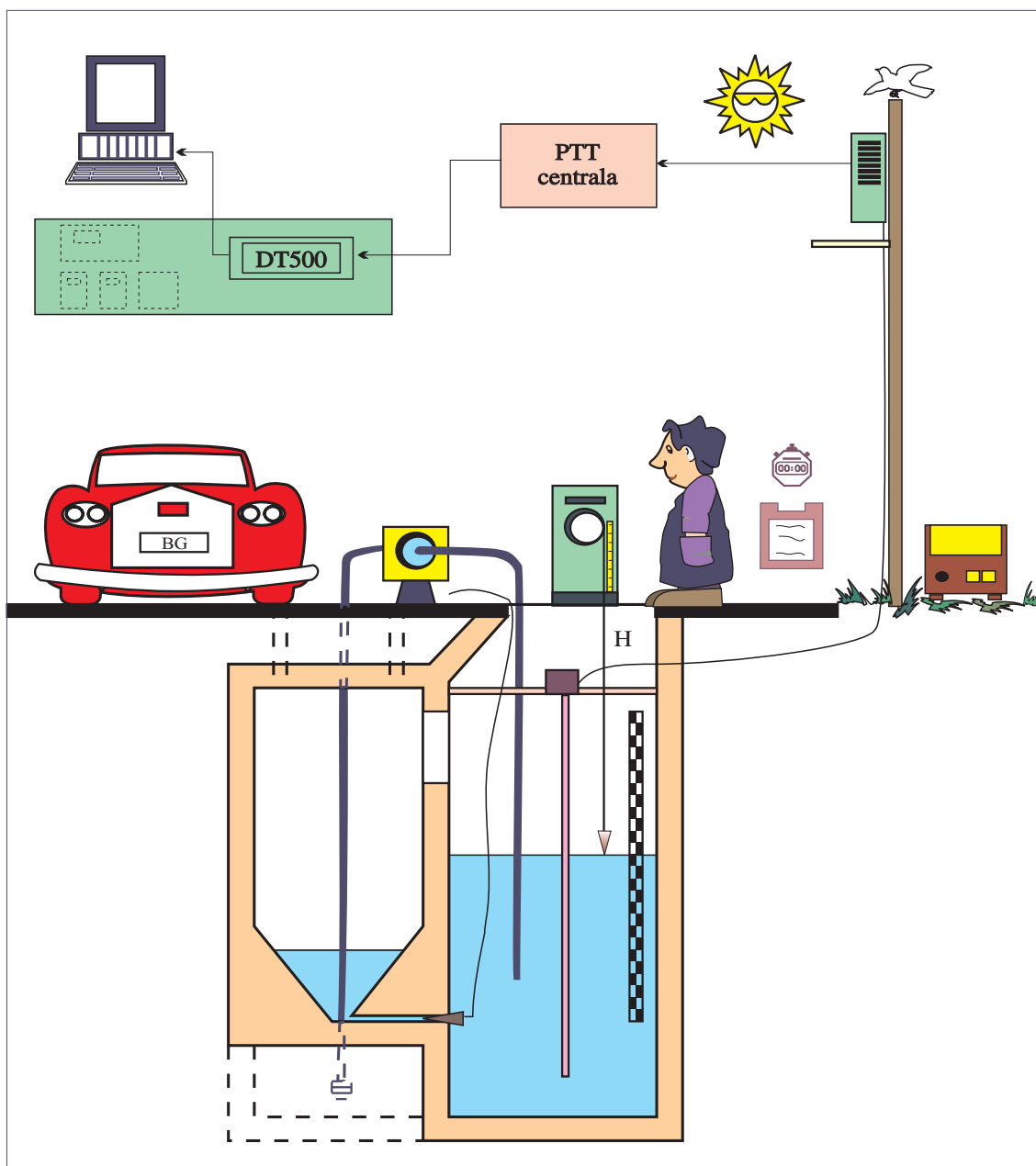


PRAKTIKUM IZ MERENJA U HIDROTEHNICI

Čedo Maksimović
Slobodan Djordjević

Dušan Prodanović
Ana Tomanović



Gradjevinski fakultet Univerziteta u Beogradu
1993.

Merenja u hidrotehnici – Praktikum

Gradjevinski fakultet -- Beograd

Godišnji elaborat
iz predmeta

MERENJA U HIDROTEHNICI

Student: _____
br. indeksa: _____
grupa: _____

Vežba broj	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Prisustvo															
Overa															

Završna odbrana elaborata

datum: _____

ocena: _____

Merenja u hidrotehnici – Praktikum

Sadržaj

Predgovor	3
Vežba 1 – Analiza grešaka u merenju	5
Vežba 2.1 – Kalibracija sonde za pritisak	11
Vežba 2.2 – Kalibracija sonde za diferencijalni pritisak	13
Vežba 3.1 – Određivanje protoka kroz cev merenjem dve piježometarske kote	17
Vežba 3.2 – Merenje protoka na Thompson-ovom prelivu	22
Vežba 4 – Raspored brzina u kružnoj cevi	27
Vežba 5 – Statičko i dinamičko merenje koncentracije trasera	31
Vežba 6 – Kalibrisanje merača protoka sa bočnim suženjem u otvorenom kanalu	35
Vežba 7.1 – Projektovanje merača protoka u otvorenom kanalu	39
Vežba 7.2 – Projektovanje merača protoka u otvorenom kanalu	40
Vežba 8 – Merenje rasporeda brzina u složenom strujnom polju	49
Vežba 9 – Statička i dinamička kalibracija kišomera sa klackalicom	51
Vežba 10 – Analiza dinamičkog odziva (transfer funkcije) piježometarske cevi	53
Vežba 11 – Hidraulički udar	55
Vežba 12 – Kalibracija merača protoka na eksperimentalnom slivu “Miljakovac”	57
A Kratak uvod u MS DOS	71
B Uvod u program QUATTRO	77

Predgovor

Predmet *Merenja u hidrotehnici* uveden je u nastavni program Gradjevinskog fakulteta u Beogradu 1987 kao izborni predmet na IX semestru. Školske 1992/93 godine, je prva generacija studenata odslušala taj predmet.

Za vežbe na predmetu *Merenja u hidrotehnici*, razvijeno je 12 vežbi, od kojih je jedna računarska, jedanaest laboratorijskih, eksperimentalnih, i jedna terenska vežba (izvodi se na eksperimentalnom poligonu "Miljakovac"). Za većinu ovih vežbi razvijene su nove instalacije u Laboratoriji za hidrauliku, modernizovana je oprema na eksperimentalnom poligonu "Miljakovac", a i pripremljen je ovaj Praktikum.

Pri sastavljanju programa vežbanja, vodilo se računa o nekoliko specifičnosti karakterističnih za vreme u kome se održavaju vežbanja sa prvom generacijom studenata:

- Oseća se velika potreba da se uvedu računari u oblasti merenja i prikupljanja podataka, za obradu i prikazivanje rezultata merenja,
- Pošto je mali broj studenata imao bilo kakvo iskustvo u radu sa računarom, u okviru vežbanja sprovedena je obuka u elementarnom radu sa personalnim računarima (kompjutersko opismenjavanje). Nakon toga, u svim vežbama je zahtevano da se aktivno koristi to znanje, uz korišćenje elementarnih programa za statističku obradu podataka, grafički prikaz itd. Takodje, uz neke vežbe su korišćeni specijalno napravljeni programi, prilagodjeni posebnim zahtevima (brzo uzorkovanje na više mernih mesta, uslovna akvizicija itd, hidraulička analiza prelaznih (tranzijentnih) pojava). Za očekivati je da će u narednim generacijama studenti dolaziti sa potrebnim znanjem i iskustvom u korišćenju računara, pa će se postepeno smanjivati potreba za ovom obukom. Samim tim, ostaće nešto više vremena za druge vežbe.
- Posebno poglavlje Praktikuma je posvećeno analizi grešaka u merenju i obradi podataka. To je oblast sa kojom su se studenti susretali u prethodnim semestrima, ali do sada nije uspostavljena čvršća relacija između teorije grešaka i realnih merenja.
- Jedna vežba posvećena je formiranju i korišćenju faktografske baze podataka. Kao primer korišćenja je međunarodna UDM baza formirana u Institutu za hidrotehniku.
- U radu na predmetu *Merenja u hidrotehnici*, podrazumeva se da su svi studenti prethodno položili ispite iz Mehanike fluida, Hidraulike 1 i 2 i Hidrologije (što je formalni uslov), ali i da su suvereno ovladali elementarnim zakonitostima tečenja vode (što je optimistička pretpostavka).

Namera autora ovog Praktikuma je da, sem ovladavanja osnovnim merenjima hidrotehničkih veličina u sistemima sa slobodnom površinom i u sistemima pod pritiskom, studenti još jednom utvrde neka osnovna elementarna saznanja koja su osnova hidrotehničke struke (prelivanje, isticanje, režimi tečenja, prelazne pojave itd.). Zbog karaktera i fonda časova predmeta nije moguće detaljnije obuhvatiti primenu merenja u pojedinim oblastima hidrotehnike, pa bi to trebalo da se sprovede kroz stručne predmete na odseku za Hidrotehniku, kako je to predviđeno tekućim nastavnim planom i kako je dogovoreno prilikom uvođenja predmeta *Merenja u hidrotehnici*. Nemoguće je takodje obuhvatiti veliki broj senzora koji se danas koriste u merenjima u hidrotehnici, pa preostaje da se oni kojima to bude potrebno, upute na druge izvore informacija (M. Simić: *Osnove elektronike*, Gradjevinski fakultet Beograd, M. Stanković: *Fizičko tehnička merenja*, Elektrotehnički fakultet Beograd).

Ovaj Praktikum služi kao dopuna uz udžbeničku i pomoćnu literaturu iz ovog predmeta:

- Č. Maksimović: *Merenja u hidrotehnici*, Gradjevinski fakultet Beograd, 1993.
- M. Radojković, D. Obradović, Č. Maksimović: *Računari u komunalnoj hidrotehnici*, Gradjevinska knjiga, 1989.
- Č. Maksimović, D. Prodanović: *Merenja u hidrotehnici (posebna poglavlja)*, u pripremi za štampu
- *Merenja u hidrotehnici*, Materijal sa prvog Jugoslovenskog skupa o Merenju u hidrotehnici i elektroprivredi, Stubičke Toplice, 1987.

Autori se takodje nadaju da će Praktikum kao i gore pomenuta udžbenička literatura korisno poslužiti i slušaocima predmeta Hidrometrija, koji se predaje na posle diplomskoj nastavi Odseka za Hidrotehniku, Gradjevinskog fakulteta u Beogradu, kao i inženjerima hidrotehnike i drugih struka koji se susreću sa merenjima i obradom podataka.

U Beogradu, Septembar, 1993. godina.

Čedo Maksimović
Slobodan Djordjević
Dušan Prodanović
Ana Tomanović

Merenja u hidrotehnici – Vežba br. 1

Analiza grešaka u merenju

Student:

Datum:

Zadatak 1 Pomoću digitalne štoperice izmeriti i zabeležiti vremenski interval $\Delta t = 5.0 \text{ sec}$. Merenje obaviti 50 puta na sledeći način:

- pratiti sekundaru na ručnom časovniku i kad se proceni da je proteklo 5 sec od uključenja štoperice istu zaustaviti;
- zabeleženo vreme na štoperici treba da očita drugi student iz grupe, prvi student ne treba da zna za rezultat;
- očitani podatak uneti u ranije otvorenu radnu tablicu QUATTRO programa - ime tablice je VEZBA1.WQ1.

Napomena 1: Za izvodjenje vežbe vremenski interval od 5 sec gledati na analognom satu sa sekundarom koja se pomera u koracima sitnijim od jedne sekunde – to su uglavnom svi analogni mehanički satovi. Ukoliko se vremenski interval prati na satu na kome se sekundara pomera u koracima od jedne sekunde (većina analognih kvarcnih satova), standardno odstupanje merenja vremena (oko 0.2 sec) je manja od koraka sekundare, pa ni rezultati merenja nisu korektni. Korišćenjem digitalne štoperice se eliminiše subjektivnost u očitavanju vremenskog intervala.

Napomena 2: Pre startovanja sa serijom od 50 merenja, neophodno je izvesno uhođavanje eksperimentatora. U tu svrhu obaviti dva puta po 10 do 20 merenja.

Zadatak 2 Izračunati osnovne statističke parametre obavljene serije merenja Δt_i , srednju vrednost, standardno odstupanje uzorka, maksimalnu i minimalnu izmerenu vrednost i standardno odstupanje srednje vrednosti.

Zadatak 3 Izmerene vrednosti prikazati na grafiku (XY - tip grafika), zajedno sa srednjom vrednosti i standardnim odstupanjem.

Zadatak 4 Naći i nacrtati empirijsku raspodelu izmerenih vrednosti Δt_i svrstavajući ih u 9 klasa.

Zadatak 5 Izračunati i nacrtati teorijsku krivu gustine raspodele.

Primer merenja vremenskog intervala

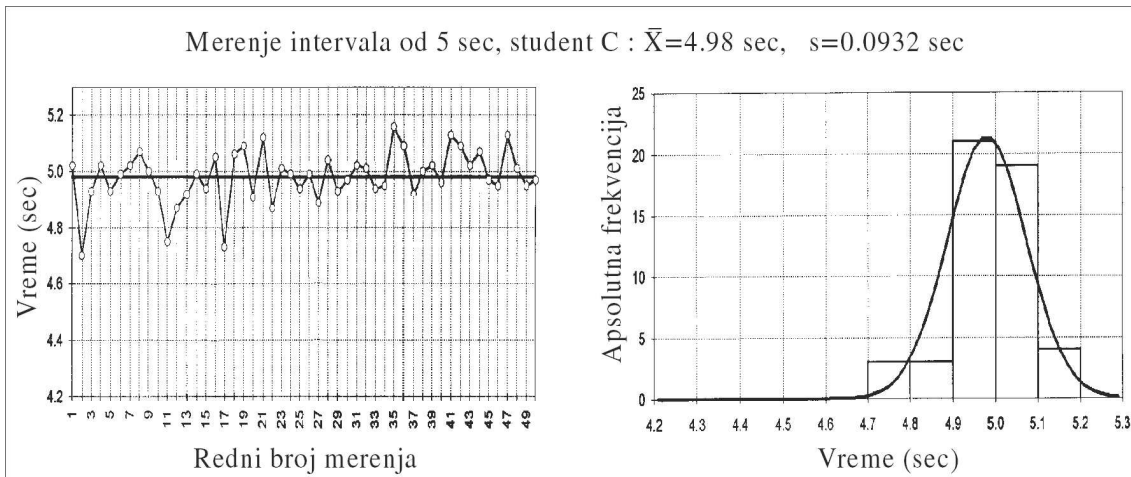
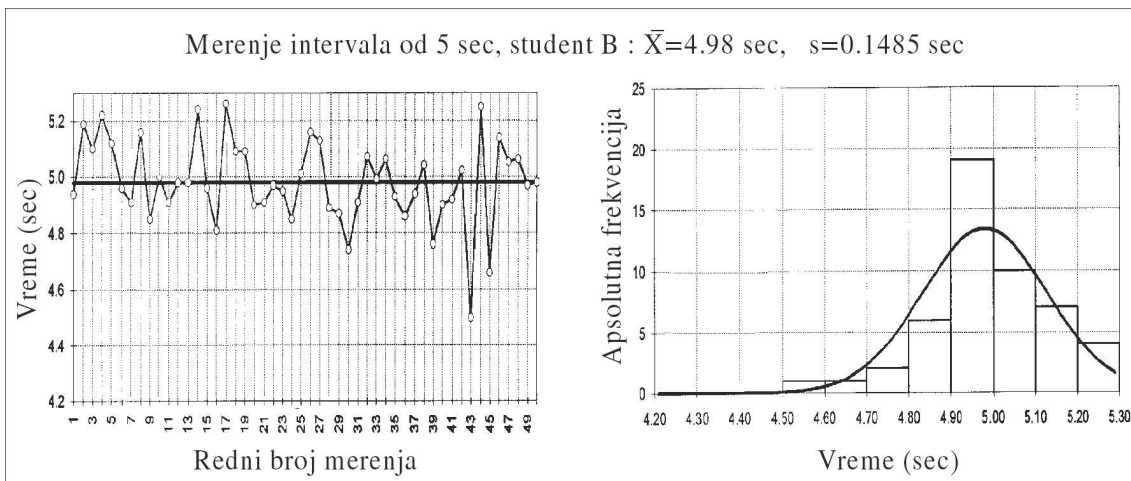
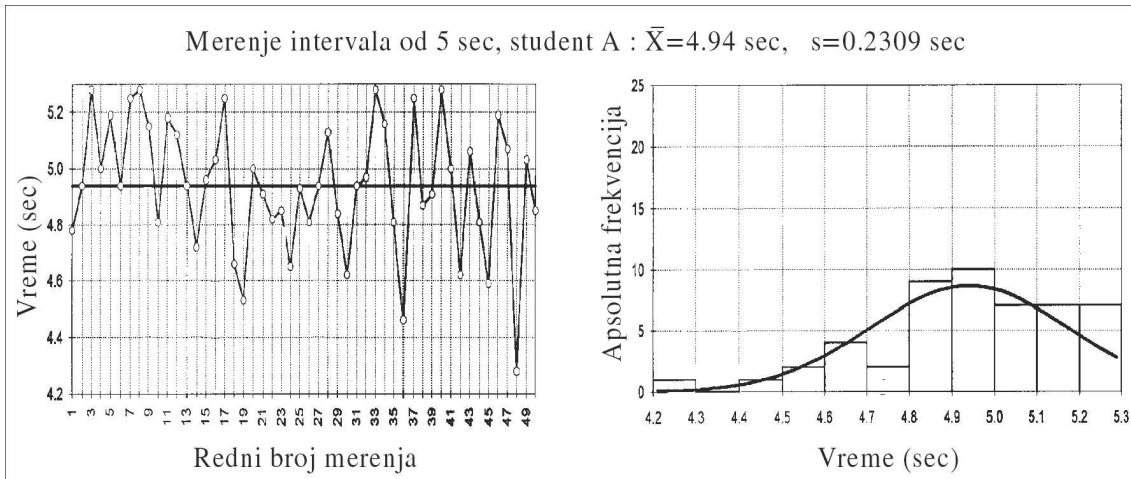
Na osnovu opisanog postupka, tri studenta su obavila merenja vremenskog intervala od 5 sec. Dobijeni su sledeći rezultati:

Student	Sred. vred.	Stand. odstup.	Min. vred.	Max. vred.
–	(sec)	(sec)	(sec)	(sec)
A	4.94	0.2309	4.28	5.28
B	4.98	0.1485	4.50	5.26
C	4.98	0.0932	4.70	5.16

Sva merenja su obavljena istom opremom, čime se eliminiše uticaj prekidača na štoperici i paralakse na referentnom satu na kome se posmatra sekundara. U seriji od 50 merenja, student **A** je najlošiji u merenju vremenskog intervala, jer pored loše tačnosti (srednja vrednost odstupa za 1.2 % od tačne vrednosti), ima značajno veće standardno odstupanje uzorka.

Student **B** i student **C** su postigli merenjima istu srednju vrednost, s time što student **B** ima nešto veće standardno odstupanje uzorka. Ako se pogledaju dijagrami na kojima je nacrtana empirijska raspodela izmerenih vrednosti vremenskog intervala, može se uočiti da studenti **A** i **B** pored većeg rasipanja pokazuju stanovitu pozitivnu asimetriju (veća je verovatnoća da će izmerena vrednost biti veća od tačne vrednosti), dok je kod studenta **C** postignuta i dobra simetrija i malo rasipanje.

Pod pretpostavkom da su eliminisani svi sistematski izvori grešaka, slučajna greška u velikoj seriji merenja (veća od 50 uzoraka), treba da sledi normalnu raspodelu. Na dijagramima empirijske raspodele za sve tri serije merenja, ucrtana je i teorijska raspodela, sa odgovarajućim parametrima (\bar{x} =srednja vrednost serije, σ_x =standardno odstupanje uzorka date serije). Može se lako zaključiti da je samo kod studenta **C** po sredi slučajna greška, dok su studenti **A** i **B** verovatno bili opterećeni saznanjem da su trenutna čitanja nešto manja od potrebnih 5 sec i stalno su naginjala ka produžavanju vremenskog intervala. Zbog toga je u objašnjenju za izvodjenje vežbe naglašeno da student koji meri interval sa štopericom, ne treba da zna postignut rezultat merenja.



Izmerene vrednosti vremenskog intervala od 5 sec (levi dijagrami) i empirijska raspodela (desni dijagrami) za tri studenta. Na dijagramu empirijske raspodele, ucrtana je i odgovarajuća teorijska (normalna) raspodela

Osnovne formule teorije grešaka

Definicije neodredjenosti

$$(\text{izmerena veličina } x) = x_{NP} \pm \delta x \quad (1)$$

gde su:

$$\begin{aligned} x_{NP} &= \text{najbolja procena } x \\ \delta x &= \text{apsolutna neodredjenost merenja} \\ \frac{\delta x}{|x_{NP}|} &= \text{relativna neodredjenost merenja} \end{aligned}$$

Pravila odredjivanja neodredjenosti računatih veličina

Neka su x, \dots, z, u, \dots, w veličine koje se mere sa apsolutnim neodredjenostima $\delta x, \dots, \delta z, \delta u, \dots, \delta w$, i neka se veličina φ računa kao funkcija ovih merenih veličina: $\varphi = f(x, \dots, z, u, \dots, w)$. Neodredjenost računate veličine φ je data sledećim izrazima:

- Ako je φ suma merenih veličina: $\varphi = x + \dots + z - (u + \dots + w)$, tada se apsolutna neodredjenost $\delta\varphi$ ocenjuje kao:

$$\delta\varphi \begin{cases} = \sqrt{(\delta x)^2 + \dots + (\delta z)^2 + (\delta u)^2 + \dots + (\delta w)^2} \\ \text{najverovatnija apsolutna neodredjenost} \\ \leq \delta x + \dots + \delta z + \delta u + \dots + \delta w \\ \text{maksimalna apsolutna neodredjenost} \end{cases} \quad (2)$$

- Ako je φ proizvod datih merenih veličina: $\varphi = \frac{x * \dots * z}{u * \dots * w}$, tada se relativna neodredjenost $\frac{\delta\varphi}{|\varphi_{NP}|}$ ocenjuje kao:

$$\frac{\delta\varphi}{|\varphi_{NP}|} \begin{cases} = \sqrt{\left(\frac{\delta x}{|x_{NP}|}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\delta z}{|z_{NP}|}\right)^2 + \left(\frac{\delta u}{|u_{NP}|}\right)^2 + \dots + \left(\frac{\delta w}{|w_{NP}|}\right)^2} \\ \text{najverovatnija relativna neodredjenost} \\ \leq \frac{\delta x}{|x_{NP}|} + \dots + \frac{\delta z}{|z_{NP}|} + \frac{\delta u}{|u_{NP}|} + \dots + \frac{\delta w}{|w_{NP}|} \\ \text{maksimalna relativna neodredjenost} \end{cases} \quad (3)$$

- Ako je φ proizvod merene veličine x i konstante B :

$$\delta\varphi = |B| \delta x \quad (4)$$

- Ako je φ proizvoljna funkcija merenih veličina $\varphi = f(x, \dots, z, u, \dots, w)$ tada:

$$\delta\varphi \begin{cases} = \sqrt{\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x}\delta x\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial\varphi}{\partial z}\delta z\right)^2 + \left(\frac{\partial\varphi}{\partial u}\delta u\right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial\varphi}{\partial w}\delta w\right)^2} \\ \text{najverovatnija apsolutna neodređenost} \\ \leq \frac{\partial\varphi}{\partial x}\delta x + \dots + \frac{\partial\varphi}{\partial z}\delta z + \frac{\partial\varphi}{\partial u}\delta u + \dots + \frac{\partial\varphi}{\partial w}\delta w \\ \text{maksimalna apsolutna neodređenost} \end{cases} \quad (5)$$

Statistički parametri merenih veličina

Ako su x_1, \dots, x_N N rezultata merenja veličine x tada definišemo:

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad \text{srednja vrednost } x \quad (6)$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{standardno odstupanje uzorka } x \quad (7)$$

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{N}} \quad \text{standardno odstupanje srednje vrednosti } \bar{x} \quad (8)$$

Normalna raspodela

Gustina normalne raspodele neke veličine x , čija je srednja vrednost ocenjena sa \bar{x} , i standardno odstupanje kao σ_x data je kao:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-(x-\bar{x})^2/2\sigma_x^2} \quad (9)$$

verovatnoća da će vrednost x biti u intervalu $[\bar{x} - t, \bar{x} + t]$ je:

$$P(t) = \int_{-\bar{x}-t}^{\bar{x}+t} f(x) dx \quad (10)$$

Napomena 1: Verovatnoća da se x nadje u intervalu $[\bar{x} - \sigma_x, \bar{x} + \sigma_x]$ je 68 %

Pravila zaokruživanja

Zaokruživanje ocenjene neodredjenosti

Apsolutnu neodredjenost δx , izračunatu na osnovu serije merenja veličine x treba zaokružiti na jednu značajnu cifru

Napomena 2: Izuzetak je slučaj kad je ta jedina značajna cifra $\delta x = 1$. Tada apsolutnu neodredjenost treba dati sa dve značajne cifre.

Zaokruživanje najbolje procene

Najbolju procenu x_{NP} merene veličine x treba zaokružiti tako da joj zadnja značajna cifra bude istog reda (isti broj decimala) kao i apsolutna neodredjenost δx

Napomena 3: Izuzetak je slučaj kad je apsolutna neodredjenost data sa jednom značajnom cifrom koja je jednaka **1**. Tada se preporučuje da najbolja procena x_{NP} ima jednu decimalu više od njene neodredjenosti δx .

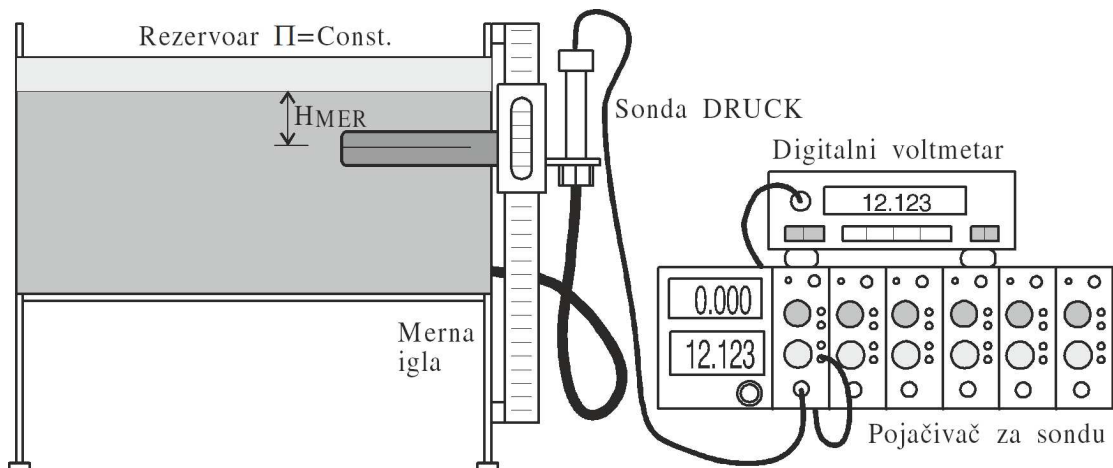
Napomena 4: Brojevi koje koristite u toku nekih proračuna treba da sadže jednu značajnu cifru više od finalnog rezultata.

Napomena 5: Ako su vrednosti brojeva sa kojima radite veoma mali ili veoma veliki brojevi treba ih pisati u eksponencijalnom zapisu.

Merenja u hidrotehnici – Vežba br. 2.1 Kalibracija sonde za pritisak

Student:

Datum:



Sonda broj:

Temperatura vode : $^{\circ}\text{C}$

Izlazni napon: mV za mVs

Za H_{MAX} = m i $U_{IZL,MAX}$ = V, potrebno pojačanje je G = puta.

Zadatak 1 Obaviti kalibraciju sonde za merenje pritiska vode na eksperimentalnoj instalaciji koja omogućava precizno zadavanje poznate visine vodenog stuba. U priloženu tabelu uneti zadatu visinu vodenog stuba (H (cm)) i očitani napon sa digitalnog voltmetra. Pre početka kalibracije, izračunati potrebno pojačanje elektronskog sistema, tako da maksimalni izlazni napon bude u unapred zahtevanim granicama.

Zadatak 2 Merenjima dobijenu zavisnost $H = f(U)$ aproksimovati pravom linijom metodom najmanjih kvadrata i izračunati na osnovu tako dobijene zavisnosti relativne greške visine u odnosu na trenutnu izmerenu vrednost (ε_{TREN}) kao i u odnosu na maksimalan merni opseg (ε_{MAX}). Nacrtati izmerene podatke kao i obe relativne greške.

Red. Broj	H (cm)	U (Volt)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

$$H(\text{cm}) = A \times U(\text{Volt}) + B$$

$$A = \dots\dots\dots B = \dots\dots\dots$$

za $T_{VODE} = \dots\dots\dots^{\circ}\text{C}$, gustina je $\rho = \dots\dots\dots \text{kg/m}^3$

$$p(\text{Pa}) = C \times U(\text{Volt}) + D$$

$$C = \dots\dots\dots D = \dots\dots\dots$$

Standardno odstupanje relativne greške je:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\varepsilon_{TREN}^2}{N}} = \dots\dots\dots$$

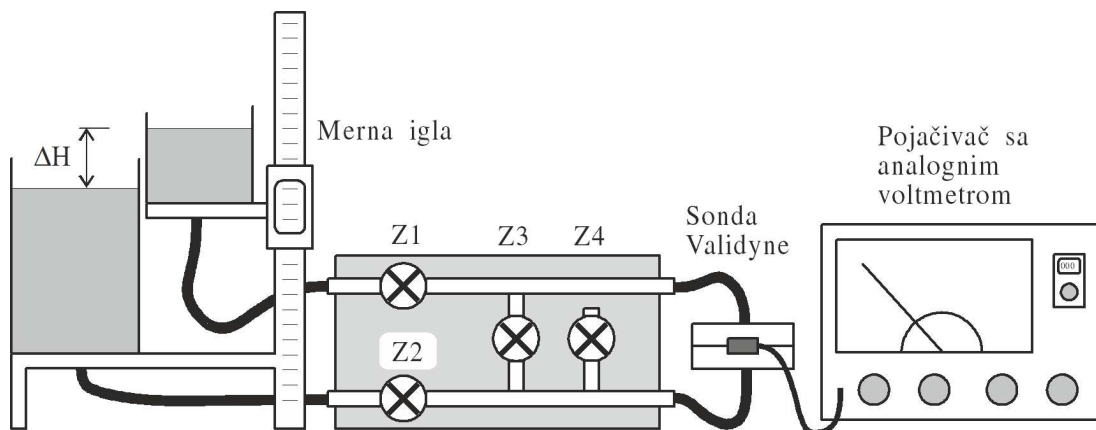
Napomena 1: Pre početka merenja, ostaviti opremu uključenu minimalno 10 min da se temperaturno stabilizuje.

Napomena 2: Vežbu izvodi grupa od dva studenta. Svaka grupa postavlja različito nulto čitanje na instrumentu (različiti položaj potenciometra Nula), odnosno, izlazni napon iz voltmetra treba da bude $U = 0 \text{ V}$ za različite visine vodenog stuba H .

Merenja u hidrotehnici – Vežba br. 2.2 Kalibracija sonde za diferencijalni pritisak

Student:

Datum:



Sonda broj:

Temperatura vode :^oC

Membrana broj:

Merni opseg na pojačivaču: mV/V (%)

Zadatak 1 Obaviti kalibraciju sonde za merenje razlike pritiska vode na eksperimentalnoj instalaciji koja omogućava precizno zadavanje poznate visinske razlike vodenog stuba. U priloženu tabelu uneti zadatu visinsku razliku (ΔH (cm)) i očitani napon sa analognog voltmetra. Pre početka kalibracije, proveriti pojačanje elektronskog sistema, tako da maksimalni izlazni napon bude u dozvoljenim granicama.

Zadatak 2 Merenjima dobijenu zavisnost $\Delta H = f(U)$ aproksimovati pravom linijom metodom najmanjih kvadrata i izračunati na osnovu tako dobijene zavisnosti relativne greške u odnosu na trenutnu izmerenu vrednost (ε_{TREN}) kao i u odnosu na maksimalan merni opseg (ε_{MAX}). Nacrtati izmerene podatke kao i obe relativne greške.

Napomena 1: Pre početka merenja, ostaviti opremu uključenu minimalno 10 min da se temperaturno stabilizuje. Korišćeni pojačivač zahteva pažljivo balansiranje mernog mosta pre početka merenja i svakih 10 minuta u toku rada.

Red. Broj	ΔH (cm)	U (Volt)
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

$$\Delta H(\text{cm}) = A \times U(\text{Volt}) + B$$

$$A = \dots\dots\dots B = \dots\dots\dots$$

za $T_{VODE} = \dots\dots\dots^{\circ}\text{C}$, gustina je $\rho = \dots\dots\dots \text{kg/m}^3$

$$\Delta p(\text{Pa}) = C \times U(\text{Volt}) + D$$

$$C = \dots\dots\dots D = \dots\dots\dots$$

Standardno odstupanje relativne greške je:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\varepsilon_{TREN}^2}{N}} = \dots\dots\dots$$

Napomena 2: Vežbu izvodi grupa od dva studenta. Svaka grupa postavlja različito nulto čitanje na instrumentu (različit položaj potencijometra **Nula**).

Napomena 3: Membrana u sondi za razliku pritiska je veoma osetljiva. Pre bilo kakvog manevra na sondi, otvoriti zatvarač **Z3** (by-pass zatvarač). Pomoću zatvarača **Z1**, **Z2** i **Z4** pre merenja ispustiti vazduh iz creva. Takođe, pomoću zavrtnejeva na samoj sondi, potrebno je odstraniti vazduh iz obe komore u sondi.

Uputstvo za pripremu radne tabele za QPRO

Nakon upoznavanja sa osnovnim komandama DOS operativnog sistema, kao i sa programom QPRO koji će biti korišćen kroz sve vežbe za obradu izmerenih podataka, studenti treba da se osposobe za samostalan rad na računarima. U okviru vežbe broj 2. potrebno je da svaki student (ili manja grupa studenata) samostalno kreira radnu tabelu, unese u nju izmerene podatke, pripremi tražene grafike i to odštampa. Pri tome, suština vežbe je u samim merenjima, dok se rad na računaru smatra samo kao alat koji omogućava lakše sagledavanje svih hidrauličkih fenomena. U nastavku se daje u kratkim crtama uputstvo za kreiranje radne tabele, po nekom logičnom redosledu.

1. Rad na tabeli se počinje otvaranjem prazne, nove tabele u direktorijumu `G:\STUDENTI\MERENJA\2`, ime tabele treba da bude `PREIME02.WQ1`.
2. Tabela treba da ima naslov: **Vežba broj 2.1** (ili **2.2**) i podnaslov **Kalibracija sonde za pritisak** (odnosno **Kalibracija sonde za diferencijalni pritisak**). Naslov i podnaslov upisati u prva dva reda, u koloni **C**. Promeniti font koji se koristi za naslov u veličinu od 18pt.
3. U trećem redu staviti ime i prezime studenta, kao i datum kreiranja tabele.
4. U narednih tri reda upisati sve potrebne podatke o korišćenoj mernoj opremi (tip davača, temperatura vode, pojačanje i ostala setovanja merne opreme itd.).
5. Zaglavlje tabele staviti u 10-ti red, kratak opis svake kolone i jedinice u kojima se radi.
6. Formirati kolone:
 - **A** – redni broj merenja (**A11 – A20**)
 - **B** – izmeren napon na voltmetru, U u Voltima (**B11 – B20**)
 - **C** – očitana visina vodenog stuba na nonijusu, H_{MER} u centimetrima (**C11 – C20**)
7. Fitovati pravom linijom visinu vodenog stuba (zavisno promenljiva) u funkciji napona (nezavisno promenljiva), $H(cm) = A \times U(volti) + B$. Rezultate fitovanja upisati od **B21** na dole.
8. Formirati kolone:

- **D** – Izračunata visina vodenog stuba preko sračunate linearne veze $H_{RAC}(cm) = A \times U(volti) + B$ (**D11** – **D20**)
- **E** – Procentualna greška H_{RAC} u odnosu na trenutnu vrednost H_{MER} , ε_{TREN} (**E11** – **E20**)
- **F** – Procentualna greška H_{RAC} u odnosu na maksimalnu vrednost $H_{MERMAXIMUM}$, ε_{MAX} (**F11** – **F20**)

9. Kreirati sledeće grafike:

- **GR1** – X osa napon U , Y_1 osa H_{MER} , Y_2 osa H_{RAC} . Grafik postaviti na polja **A26** – **C32**.
- **GR2** – X osa napon U , Y_1 osa H_{MER} , Y_2 osa H_{RAC} . Grafik postaviti na polja **D26** – **F32**.

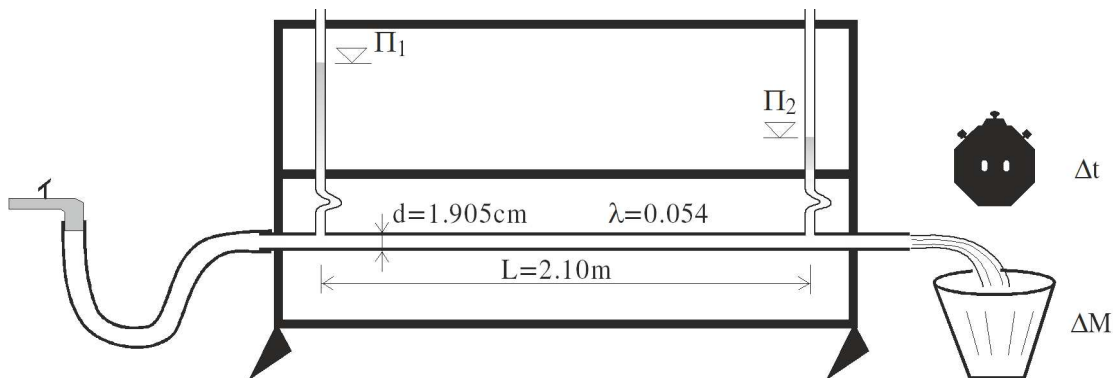
10. Po kreiranju tabele, sačuvati je pod istim imenom pod kojim je kreirana. Odštampati tabelu na grafičkom štampaču.

Merenja u hidrotehnici – Vežba br. 3.1 Odredjivanje protoka kroz cev merenjem dve pijezometarske kote

Student:

Datum:

Cilj ove vežbe je odredjivanje protoka kroz cev na osnovu dve izmerene pižeometarske (Π) kote, i uporedjenje ovako izmerene sa “tačnom” vrednošću dobijenom volumetrijski (pomoću kante i štoperice).



Zadatak 1 Izmeriti temperaturu vode (T).

Na osnovu izmerene temperature iz priložene tablice odrediti gustinu vode (ρ).
Napomena 1: Gustina vode je vrlo malo zavisna od temperature, za razliku od površinskog napona (σ) kod koga je ova zavisnost nešto izraženija, dok se kinematska viskoznost (ν) sa promenom temperature značajno menja.

T [$^{\circ}$ C]	ρ [kg/m 3]	ν [10 $^{-6}$ m 2 /s]	σ [10 $^{-3}$ N/m]
10	999.7	1.308	0.748
15	999.1	1.141	0.741
20	998.2	1.007	0.736
25	997.1	0.897	0.726
30	995.7	0.804	0.718

Zadatak 2 Obaviti 3 serije od po 5 merenja na eksperimentalnoj instalaciji. Svako merenje obaviti pri različitom proticaju (regulisati na česmi). U tabelu unositi izmerenu masu vode (ΔM), odgovarajuće vreme (Δt), pižeometarske kote u dva krajnja preseka cevi (Π_1 i Π_2).

Napomena 2: Vaga je izbaždarena tako da pokazuje nulu kada je na njoj prazna kanta.

Napomena 3: Proticaj kroz cev treba da bude takav da su nivoi vode na vertikalnim (pravim) delovima pižeometara.

Napomena 4: Raditi u grupama od po 4 studenta, tako što jedan zahvata vodu, drugi meri odgovarajuće vreme, a treći i četvrti za to vreme očitavaju srednju vrednost Π -kote (istovremenost merenja je neophodna pošto se instalacija snabdeva vodom iz vodovodne mreže u kojoj su moguće oscilacije pritiska). Za svaku seriju promeniti uloge. Za svu dalju obradu rezultata svaki student koristi jednu seriju podataka.

Napomena 5: Prilikom volumetrijskog merenja protoka, koristiti posude veće zapremine, kako bi vremenski interval bio dovoljno dugačak (u prvoj vežbi je pokazano da je standardno odstupanje u merenju vremena oko 0.2 sekunde; da bi se postigla tačnost od 1%, sa verovatnoćom od 68%, potrebno je meriti vremenske intervale duže od 20 sekundi; takodje, treba imati u vidu i grešku nastalu usled zahvatanja manje/veće količine vode u trenutku uključenja/isključenja štoperice).

R. br.	ΔM [kg]	Δt [s]	Π_1 [cm]	Π_2 [cm]
1				
2				
3				
4				
5				

Temperatura vode:

_____ [°C]

Zadatak 3 Sračunati “tačan” protok (Q_{TAC}) i izmeren protok (Q_{MER}):

$$Q_{TAC} = \frac{\Delta M}{\rho \Delta t} \quad Q_{MER} = Av = \frac{d^2 \pi}{4} \sqrt{\frac{2gd\Delta E}{\lambda L}}$$

gde je $\lambda = \lambda_{NP} = 0.054$ (vrednost ranije određena na osnovu većeg broja eksperimenata), prečnik cevi je $d = 1.905$ cm, a rastojanje između dva preseka je $L = 2.10$ m.

Zadatak 4 Izraziti grešku merenja na dva načina:

$$\epsilon_1 = \frac{Q_{MER} - Q_{TAC}}{Q_{TAC}} 100\% \quad \epsilon_2 = \frac{Q_{MER} - Q_{TAC}}{Q_{TAC}^{\max}} 100\%$$

i nacrtati zavisnosti $\epsilon_{1,2} = \epsilon_{1,2}(Q_{TAC})$.

Zadatak 5 Izračunati apsolutnu neodredjenost za svaki izmereni protok Q_{MER} , odnosno izračunati:

$$\delta Q_{MER} = \frac{\partial Q_{MER}}{\partial \lambda} \delta \lambda$$

ako je apsolutna neodredjenost $\delta \lambda = 0.1 \lambda_{NP}$, zanemarujući neodredjenost ostalih veličina u izrazu za Q_{MER} . Ucertati ovu zavisnost na dijagram.

Zadatak 6 Izračunati apsolutnu neodredjenost za svaki “tačni” protok $Q_{TAČ}$, odnosno izračunati:

$$\delta Q_{TAČ} = \sqrt{\left(\frac{\partial Q_{TAČ}}{\partial M}\right)^2 \delta_M^2 + \left(\frac{\partial Q_{TAČ}}{\partial t}\right)^2 \delta_t^2 + \left(\frac{\partial Q_{TAČ}}{\partial \rho}\right)^2 \delta_\rho^2}$$

Ucertati ovo na dijagramu. Neodredjenosti pojedinih veličina proceniti na sledeći način:

1. δ_M odrediti iz relativne neodredjenosti za masu $\delta M/M = 0.5\%$,
2. u prvoj vežbi je određeno σ_{t_1} pri merenju vremena $t_1 = 5s$; ako se uzme da je $\sigma_{t_1} = \delta t_1$, i ako su relativne neodredjenosti u oba slučaja iste ($\delta t_1/t_1 = \delta t/t$), onda iz ovih jednačina odrediti δt (gde je t vreme mereno u ovoj vežbi),
3. δ_ρ odrediti na osnovu neodredjenosti izmerene temperature koja iznosi $\delta_T = 1^\circ C$.

Zadatak 7 Odrediti hrapavost cevi (k), iz izraza:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \left(\frac{k}{3.7 D} + \frac{5.13}{Re^{0.89}} \right)$$

Odrediti kakav se režim tečenja ostvaruje u cevi.

Napomena 5: “Apsolutna hrapavost” k i koeficijent linijskih gubitaka λ ne predstavljaju lokalne koeficijente trenja, jer oni, osim gubitaka na trenje, obuhvataju i relativno male lokalne gubitke na zatvaraču i na mestima u cevi gde su priključeni drugi pijezometri. U tom smislu bi za ove veličine (k i λ) bilo korektnije koristiti termin “globalni koeficijent”, ili “koeficijent otpora” (kao što je to uobičajeno kod otvorenih tokova kada Manningov koeficijent n ne obuhvata samo gubitke na trenje već i lokalne gubitke).

Uputstvo za pripremu radne tabele za QPRO

1. Rad na tabeli početi otvaranjem prazne, nove tabele u direktorijumu `G:\STUDENTI\MERENJA\3`. Ime tabele treba da bude `PREIME03.WQ1`.
2. Tabela treba da ima naslov: **Vežba broj 3.1** i podnaslov **Određivanje protoka kroz cev merenjem dve Π -kote** Naslov i podnaslov upisati u prva dva reda, u koloni **C**. Promeniti font koji se koristi za naslov u veličinu od 18pt.
3. U trećem redu staviti ime i prezime studenta, kao i datum kreiranja tabele.
4. U peti red uneti podatke o temperaturi (kolona **B**) i odgovarajućoj gustini (kolona **D**), izračunatoj linearnom interpolacijom između vrednosti zadanih u tabeli u tekstu zadatka.
5. Naslov prve tabele (**REZULTATI MERENJA**) staviti u 7. red (u koloni **C**).
6. Zaglavlje prve tabele staviti u 8. red, kratak opis svake kolone i jedinice u kojima se radi.
7. Formirati kolone:
 - **A** – redni broj merenja (**A9 – A13**)
 - **B** – izmerena masa vode ΔM (u gramima) (**B9 – B13**)
 - **C** – odgovarajuće vreme Δt (u sekundama) (**C9 – C13**)
 - **D, E** – izmerene kote Π_1, Π_2 (u centimetrima) (**D9 – E13**)
8. Naslov druge tabele (**OBRADA REZULTATA MERENJA**) staviti u 15. red (u koloni **C**).
9. Zaglavlje druge tabele staviti u 16. red, kratak opis svake kolone i jedinice u kojima se radi.
10. Formirati kolone:
 - **A** – redni broj merenja (**A17 – A21**)
 - **B** – “tačan” proticaj $Q_{TAČ}$ (u litrima u sekundi) (**B17 – B21**)
 - **C** – mereni proticaj Q_{MER} (u litrima u sekundi) (**C17 – C21**)
 - **D** – grešku ϵ_1 (u procentima) (**D17 – D21**)
 - **E** – grešku ϵ_2 (u procentima) (**E17 – E21**)

- **F** – neodređenost δQ_{MER} (u litrima u sekundi) (**F17 – F21**)
- **G** – neodređenost $\delta Q_{RAČ}$ (u litrima u sekundi) (**G17 – G21**)
- **H** – Reynolds-ov broj $Re_{TAČ}$ (**H17 – H21**)
- **I** – globalnu hrapavost k (milimetrima) (**I17 – I21**)
- **J** – $k/3.7D$ (**J17 – J21**)
- **K** – $5.13/Re^{0.89}$ (**K17 – K21**)

11. Kreirati sledeće grafike:

- **GR1** – X osa Q , Y osa ϵ_1 . Grafik postaviti na polja **A26 – D32**.
- **GR2** – X osa Q , Y osa ϵ_2 . Za Y osu usvojiti istu razmeru za ϵ kao kod **GR2**. Grafik postaviti na polja **A34 – D40**.
- **GR3** – X osa Q osa δQ_{MER} . Grafik postaviti na polja **F26 – I32**.
- **GR4** – X osa Q , Y osa $\delta Q_{RAČ}$ Grafik postaviti na polja **F34 – I40**.

12. Po kreiranju tabele, sačuvati je pod istim imenom pod kojim je kreirana. Odštampati tabelu na grafičkom štampaču.

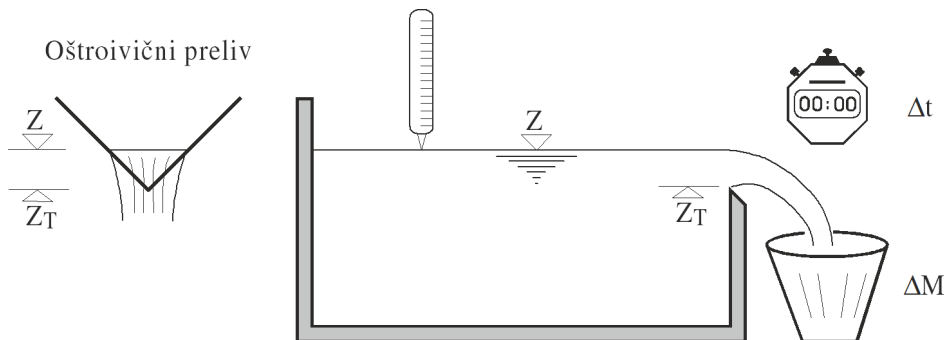
Merenja u hidrotehnici – Vežba br. 3.2

Merenje protoka na Thompson-ovom prelivu

Student:

Datum:

U okviru ove vežbe obavlja se merenje protoka na Thompson-ovom prelivu volumetrijski (pomoću kante i štoperice) i ovako dobijena vrednost upoređuje se sa standardnim formulama.



Zadatak 1 Izmeriti temperaturu vode (T).

Na osnovu izmerene temperature iz priložene tablice odrediti ρ , ν i σ . *Napomena 1:* Gustina vode je vrlo malo zavisna od temperature, za razliku od površinskog napona (σ) kod koga je ova zavisnost nešto izraženija, dok se kinematska viskoznost (ν) sa promenom temperature značajno menja.

T [°C]	ρ [kg/m ³]	ν [10 ⁻⁶ m ² /s]	σ [10 ⁻³ N/m]
10	999.7	1.308	0.748
15	999.1	1.141	0.741
20	998.2	1.007	0.736
25	997.1	0.897	0.726
30	995.7	0.804	0.718

Zadatak 2 Obaviti 3 serije od po 5 merenja na eksperimentalnoj instalaciji. Svako merenje obaviti pri različitom proticaju. U tabelu unositi izmerenu masu vode (ΔM), odgovarajuće vreme (Δt), i nivo vode u rezervoaru (Z).

Izmeriti kotu ivice preliva (Z_T).

Napomena 2: Vaga je izbaždarena tako da pokazuje nulu kada je na njoj prazna kanta.

Napomena 3: Voditi računa da se merenja protoka i nivoa vode u Thompson-ovom prelivu obavi u ustaljenom režimu (zbog malih protoka, potrebno je duže vreme da se ustali nivo u rezervoaru).

Napomena 4: Raditi u grupama od po 3 studenta, tako što jedan zahvata vodu, drugi meri odgovarajuće vreme, a treći za to vreme očitava nivo u rezervoaru. Za svaku seriju promeniti uloge. Za svu dalju obradu rezultata svaki student koristi jednu seriju podataka.

Napomena 5: Cilj ove vežbe je da se analizira tačnost različitih formula za određivanje protoka na Thompson-ovom prelivu, počev od najprostijih koje uzimaju u obzir samo uticaj gravitacionih sila, a zanemaruju uticaj kapilarnih i viskoznih sila, pa do složenih empirijskih relacija. Da bi se ispunio cilj vežbe, potrebno je merenja obaviti u domenu uticaja kapilarnih i viskoznih sila, a to znači za protoke do 0.5 L/s. Prilikom volumetrijskog merenja protoka, koristiti posude veće zapremine, kako bi vremenski interval bio dovoljno dugačak (u prvoj vežbi je pokazano da je standardno odstupanje u merenju vremena oko 0.2 sekunde; da bi se postigla tačnost od 1%, sa verovatnoćom od 68%, potrebno je meriti vremenske intervale duže od 20 sekundi; takodje, treba imati u vidu i grešku nastalu usled zahvatanja manje/veće količine vode u trenutku paljenja/gašenja štoperice).

R. br.	ΔM [kg]	Δt [s]	Z [cm]
1			
2			
3			
4			
5			

Temperatura vode:

$T = \underline{\hspace{2cm}}$ [°C]

Kota ivice preлива:

$Z_T = \underline{\hspace{2cm}}$ cm

Zadatak 3 Sračunati izmereni protok Q_{MER} , protok Q_T (po standardnoj formuli za Tompson-ov preliv), protok Q_T^* (po standardnoj formuli u kojoj se uticaj viskoznosti i površinskog napona daju preko “efektivne visine” prelivnog mlaza) i protok Q_T^{**} (po formuli koja uticaj viskoznosti i površinskog napona definiše preko Reynolds-ovog i Weber-ovog broja):

$$Q_{MER} = \frac{\Delta M}{\rho \Delta t}$$

$$Q_T = ah^b, \quad a = 0.581 \frac{8}{15} \sqrt{2g} \quad h = Z - Z_T, \quad b = 2.5$$

$$Q_T^* = a(h + k_V)^b, \quad k_V = 0.1 \text{ cm}$$

$$Q_T^{**} = a^{**} h^b, \quad a^{**} = 0.56 + \frac{0.7}{(\text{Re We})^{0.167}}, \quad (\text{Re} > 300, \text{We} > 300)$$

$$\text{Re} = \frac{h\sqrt{gh}}{\nu}, \quad \text{We} = \frac{\rho gh^2}{\sigma}$$

Nacrtati (na istom dijagramu) zavisnosti $Q_{MER} = Q_{MER}(h)$, $Q_T = Q_T(h)$, $Q_T^* = Q_T^*(h)$ i $Q_T^{**} = Q_T^{**}(h)$.

Zadatak 4 Izračunati greške merenja:

$$\epsilon_1 = \frac{Q_{MER} - Q_T}{Q_T} 100\% \quad \epsilon_2 = \frac{Q_{MER} - Q_T^*}{Q_T^*} 100\% \quad \epsilon_3 = \frac{Q_{MER} - Q_T^{**}}{Q_T^{**}} 100\%$$

i nacrtati zavisnosti $\epsilon_1 = \epsilon_1(Q_T)$, $\epsilon_2 = \epsilon_2(Q_T^*)$ i $\epsilon_3 = \epsilon_3(Q_T^{**})$. Analizirati tačnost formula koje uzimaju u obzir uticaj viskoznosti.

Zadatak 5 Izračunati apsolutnu neodređenost za svaki protok Q_T , odnosno izračunati:

$$\delta Q_T = \frac{\partial Q_T}{\partial h} \delta h$$

ako je apsolutna neodređenost $\delta h = 0.1 \text{ mm}$. Ucrtati ovu zavisnost na dijagramu.

Zadatak 6 Izračunati apsolutnu neodređenost za svaki mereni protok Q_{MER} , odnosno izračunati:

$$\delta Q_{MER} = \sqrt{\left(\frac{\partial Q_{MER}}{\partial M}\right)^2 \delta_M^2 + \left(\frac{\partial Q_{MER}}{\partial t}\right)^2 \delta_t^2 + \left(\frac{\partial Q_{MER}}{\partial \rho}\right)^2 \delta_\rho^2}$$

Ucrtati ovo na dijagramu. Neodređenosti pojedinih veličina proceniti na sledeći način:

1. δ_M odrediti iz relativne neodređenosti za masu $\delta M/M = 0.5\%$,
2. u prvoj vežbi je određeno σ_{t_1} pri merenju vremena $t_1 = 5\text{s}$; ako se uzme da je $\sigma_{t_1} = \delta t_1$, i ako su relativne neodređenosti u oba slučaja iste ($\delta t_1/t_1 = \delta t/t$), onda iz ovih jednačina odrediti δt (gde je t vreme mereno u ovoj vežbi),
3. δ_ρ odrediti na osnovu neodređenosti izmerene temperature koja iznosi $\delta_T = 1^\circ\text{C}$.

Uputstvo za pripremu radne tabele za QPRO

1. Rad na tabeli početi otvaranjem prazne, nove tabele u direktorijumu `G:\STUDENTI\MERENJA\3`. Ime tabele treba da bude `PREIME03.WQ1`.
2. Tabela treba da ima naslov: **Vežba broj 3.2** i podnaslov **Merenje protoka na Tompson-ovom prelivu**. Naslov i podnaslov upisati u prva dva reda, u koloni **C**. Promeniti font koji se koristi za naslov u veličinu od 18pt.
3. U trećem redu staviti ime i prezime studenta, kao i datum kreiranja tabele.
4. U peti red uneti podatke o temperaturi (kolona **B**) i odgovarajućoj gustini (kolona **D**), kinematskoj viskoznosti (kolona **E**) i površinskom naponu (kolona **F**) izračunatim linearnom interpolacijom između vrednosti zadanih u tabeli u tekstu zadatka.
5. Naslov prve tabele (**REZULTATI MERENJA**) staviti u 7. red (u koloni **C**).
6. Zaglavlje prve tabele staviti u 8. red, kratak opis svake kolone i jedinice u kojima se radi.
7. Formirati kolone:
 - **A** – redni broj merenja (**A9 – A13**)
 - **B** – izmerena masa vode ΔM (u gramima) (**B9 – B13**)
 - **C** – odgovarajuće vreme Δt (u sekundama) (**C9 – C13**)
 - **D** – izmeren kota Z (u centimetrima) (**D9 – D13**)
8. Izmerenu vrednost ivice preliva Z_T staviti u 10. red (kolona **F**).
9. Naslov druge tabele (**OBRADA REZULTATA MERENJA**) staviti u 15. red (u koloni **C**).
10. Zaglavlje druge tabele staviti u 16. red, kratak opis svake kolone i jedinice u kojima se radi.
11. Formirati kolone:
 - **A** – redni broj merenja (**A17 – A21**)
 - **B** – visina prelivnog mlaza (u santimetrima) (**B17 – B21**)
 - **C** – mereni proticaj Q_{MER} (u litrima u sekundi) (**C17 – C21**)

- **D** – proticaj Q_T (u litrima u sekundi) (**D17 – D21**)
- **E** – proticaj Q_T^* (u litrima u sekundi) (**E17 – E21**)
- **F** – Reynolds-ov broj Re_T (**F17 – F21**)
- **G** – Weber-ov broj We_T (**G17 – G21**)
- **H** – proticaj Q_T^{**} (u litrima u sekundi) (**H17 – H21**)
- **I, J, K** – greške $\epsilon_{1,2,3}$ (u procentima) (**I17 – K21**)
- **L, M** – neodređenosti δQ_{MER} i δQ_T (u litrima u sekundi) (**L17 – M21**)

12. Kreirati sledeće grafike:

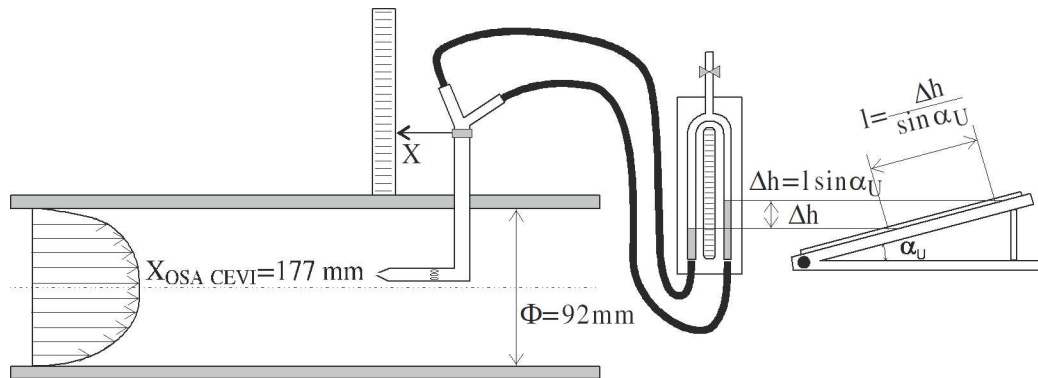
- **GR1** – X osa Q , Y osa ϵ_1 . Grafik postaviti na polja **A26 – D32**.
- **GR2** – X osa Q , Y osa ϵ_2 . Grafik postaviti na polja **A34 – D40**.
- **GR3** – X osa Q , Y osa ϵ_3 . Grafik postaviti na polja **A42 – D48**. Za Y osu usvojiti istu razmeru za sva tri grafika za ϵ .
- **GR4** – X osa Q , Y osa h , nacrtati 4 grafika (Q_{MER} , Q_T , Q_T^* i Q_T^{**}). Grafike postaviti na polja **F26 – F32**.
- **GR5** – X osa Q , Y osa δQ_{MER} . Grafik postaviti na polja **F34 – I40**.
- **GR6** – X osa Q , Y osa δQ_T . Grafik postaviti na polja **F42 – I48**.

13. Po kreiranju tabele, sačuvati je pod istim imenom pod kojim je kreirana. Odštampati tabelu na grafičkom štampaču.

Merenja u hidrotehnici – Vežba br. 4 Raspored brzina u kružnoj cevi

Student:

Datum:



Zadatak 1 Na instalaciji, kružnoj cevi prečnika $\phi = 92$ mm i pravoj uzvodnoj deonici $L_{UZV} = 2.5$ m ($L_{UZV}/D = 27$) i nizvodnoj $L_{NIZ} = 0.9$ m ($L_{NIZ}/D = 10$) izmeriti raspored brzina u jednom vertikalnom preseku koristeći Pitot-Prandl-ovu sondu. Za merenje razlike pritisaka ($\Delta h = H_{ZAU\text{ST}} - \Pi$) koristiti obrnutu U cev sa mogućnošću promene ugla nagiba. Za čitanje l na nagnutoj U cevi, razlika pritisaka je $\Delta h = l \times \sin \alpha_U$. Za male razlike pritisaka, smanjenjem ugla nagiba se povećanja tačnost merenja.

Napomena 1: S obzirom da su apsolutne vrednosti pritisaka u instalaciji male, potrebno je pažljivo odstraniti vazduh iz creva i obrnute U cevi. Potreban nadpritisak u U cevi postići ručnom pumpom za gume. Pre izvodjenja vežbe obezbediti dobro zaptivanje spoja staklenih cevi i nosača.

Zadatak 2 Nacrtati promenu brzina u funkciji odstojanja od centra cevi $u = u(X/D)$ odvojeno za gornju i za donju polovinu cevi, na istom dijagramu.

Zadatak 3 Izračunati protok u cevi uz pretpostavku da je strujanje osnosimetrično i da je reprezentativni raspored brzina:

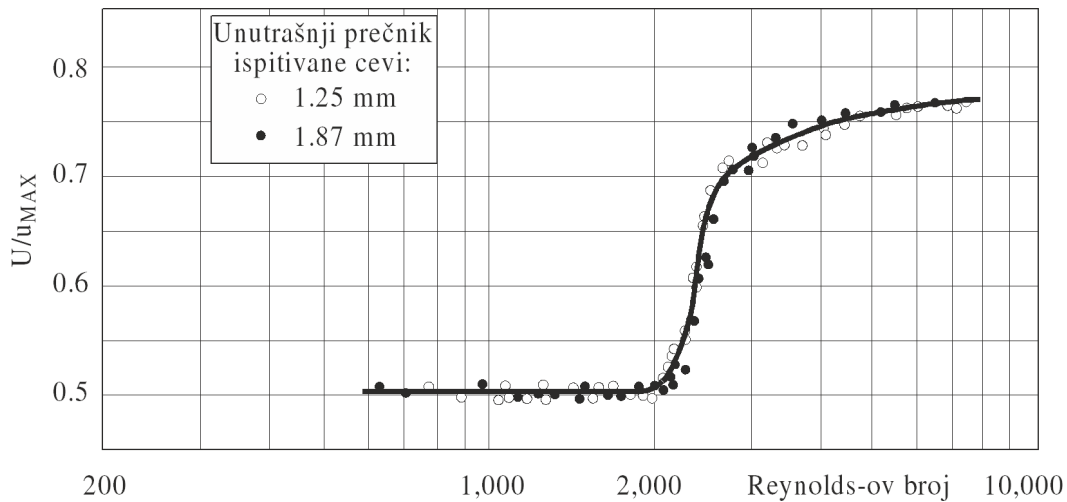
1. iz gornjeg dela cevi (G), Q_G
2. iz donjeg dela cevi (D), Q_D .

Pripadajuće proticajne površine – površine prstenova su date sa:

$$A_1 = 5^2\pi/4 \text{ mm}^2$$

$$A_i = 50\pi(i - 1) \text{ za } i = 2, 3 \dots 10$$

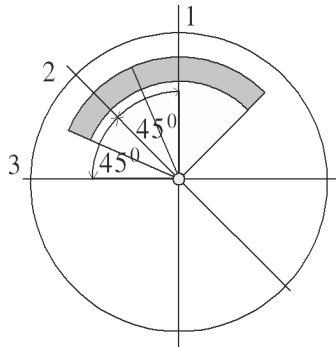
$$A_{10} = 92^2\pi/4 - 90^2\pi/4 \text{ mm}^2$$



Zavisnost brzine fluida u kružnoj cevi od Reynolds-ovog broja (prema V. E. Senecal and R. R. Rothfus, Chem. Eng. Progr., 49:533, 1953)

Zadatak 4 Koristeći srednju vrednost protoka iz merenja rasporeda brzina u jednom vertikalnom preseku, $\bar{Q} = 0.5 \times (Q_G + Q_D)$ izračunati Reynolds-ov broj. Iz datog dijagrama zavisnosti profila brzina u kružnoj cevi od Re naći odnos u_{MAX}/V i uporediti ga sa izmerenim odnosom (brzina V je srednja proticajna brzina $V = Q/A$ a brzina u_{MAX} je brzina u tački 1.G odnosno 1.D).

Zadatak 5 Koristeći rezultate merenja i proračune brzina ostale dve grupe (merenje brzine u istom poprečnom profilu ali u drugim presecima) izračunati protok na osnovu svih 21×3 tačaka. Proračun sprovesti množenjem brzine u tački sa pripadajućom proticajnom površinom (obratiti pažnju na središnju tačku 1.G, odnosno 1.D, koja je zajednička za sva tri preseka; za proračun uzeti srednju vrednost).



Kota osovine cevi: $x=177.00$ mm

Merni presek broj:

Ugao prema vertikali:

Merna tačka	x (mm)	l (mm)	α_U
10.G			
9.G			
8.G			
7.G			
6.G			
5.G			
4.G			
3.G			
2.G			
1.G			
1.D			
2.D			
3.D			
4.D			
5.D			
6.D			
7.D			
8.D			
9.D			
10.D			

$Q_G = \dots\dots\dots$ L/s $Q_D = \dots\dots\dots$ L/s

$\bar{Q} = \dots\dots\dots$ L/s $V = \dots\dots\dots$ m/s

$Re = \dots\dots\dots$ $\frac{u_{MAX}}{V} = \dots\dots\dots$

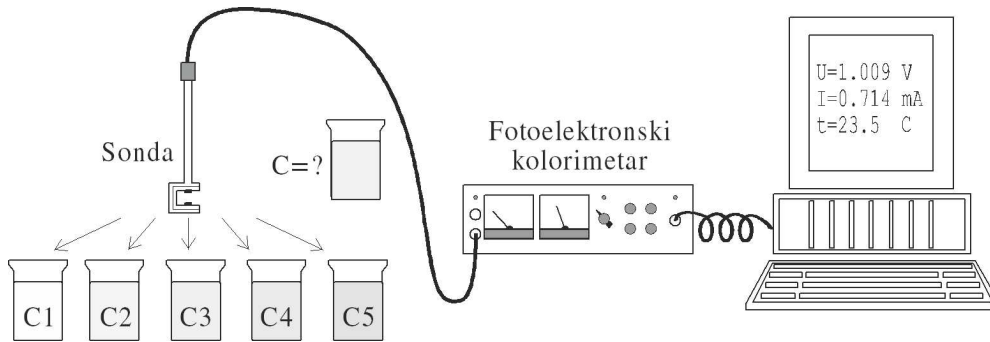
Raspored brzina u kružnoj cevi Kratko objašnjenje za formiranje radne tabele

1. Redovi od 1 do 9: podaci o studentu, naslov vezbe, presek broj ... itd.
2. Red 10: Naslovi tabele sa jedinicama,
3. A11–A29: Merna tačka
4. B11–B29: x (mm)
5. C11–C29: $|x/D|$
6. D11–D29: Δh mm
7. E11–E29: α_U
8. F11–F29: $u = \sqrt{2g\Delta h}$ m/s,
9. G11–G29: površina pripadajućeg prstena, mm^2
10. H11–H29: u iz drugog merenja m/s,
11. I11–I29: u iz trećeg merenja m/s,
12. J11–J29: pripadajuća površina za srednji presek mm^2 ,
13. K11–K29: pripadajuća površina za krajnje preseke mm^2 .
14. Nacrtati grafik GR1 na A30–F45, u_G i u_D u funkciji od x/D .
15. U kolonama G i H, u redovima od 32 do 39 upisati sledeće:
 - (a) protok na osnovu brzina u gornjem polupresecu Q_G L/s;
 - (b) protok na osnovu brzina u donjem polupresecu Q_D L/s;
 - (c) srednja vrednost na osnovu Q_G i Q_D , \bar{Q} L/s;
 - (d) srednja vrednost brzine V m/s;
 - (e) Raynolds-ov broj;
 - (f) odnos maksimalne i srednje brzine u_{MAX}/V ;
 - (g) protok na osnovu merenja brzina u sva tri preseka Q_{TACNO} L/s;
 - (h) odnos $\frac{\bar{Q}-Q_{TACNO}}{Q_{TACNO}} \times 100$

Merenja u hidrotehnici – Vežba br. 5 Statičko i dinamičko merenje koncentracije trasera

Student:

Datum:



Zadatak 1 U statičkim uslovima odrediti kalibracionu funkciju fotoelektronskog kolorimetra, tj. odrediti vezu $C = C(T)$, odnosno $C = C(U)$ gde je C – koncentracija trasera, T – transparenција, U – napon. Kalibraciju obaviti za jednu od sledeće tri grupe podataka:

Grupa	C_1 ($T = 100\%$)	C_2	C_3	C_4	C_5 ($T = 0\%$)	(sve u [mg/l])
I	0	0.25	0.5	0.75	1	
II	0	0.75	1.5	2	3	
III	0	1	2	3	5	

Vrednosti napona očitane na računaru (koji služi kao voltmetar) i odgovarajuće koncentracije unositi u tabelu:

C_i [mg/l]					
u_i [V]					

Napomena 1: Na početku podesiti nulto skretanje pokaznog instrumenta postavljanjem sonde u maksimalnu koncentraciju $C_{\max} = C_5$ (maksimalna apsorpcija, odnosno $T = 0\%$) pomoću potenciometara R_{03} i R_{04} za grubo i fino podešavanje, a zatim podesiti maksimalno skretanje postavljanjem sonde u čistu vodu $C_1 = 0$ (minimalna apsorpcija, odnosno $T = 100\%$) pomoću potenciometara R_{01} i R_{02} . Ovo ponoviti naizmenično onoliko puta koliko je potrebno da se skretanja instrumenta ustale.

Napomena 2: Pri svakom premeštanju sonde iz jednog u drugi sud obavezno je isprati (u kanti sa “čistom” vodom) i obrisati krpom.

Zadatak 2 Nacrtati dijagram $C = C(U)$.

Zadatak 3 Odrediti koncentraciju uzorka (sud označen sa “?”) linearnom interpolacijom između vrednosti sa kalibracione krive:

$$C(U) = C_i + \frac{U - U_i}{U_{i+1} - U_i}(C_{i+1} - C_i), \quad U_i < U < U_{i+1}$$

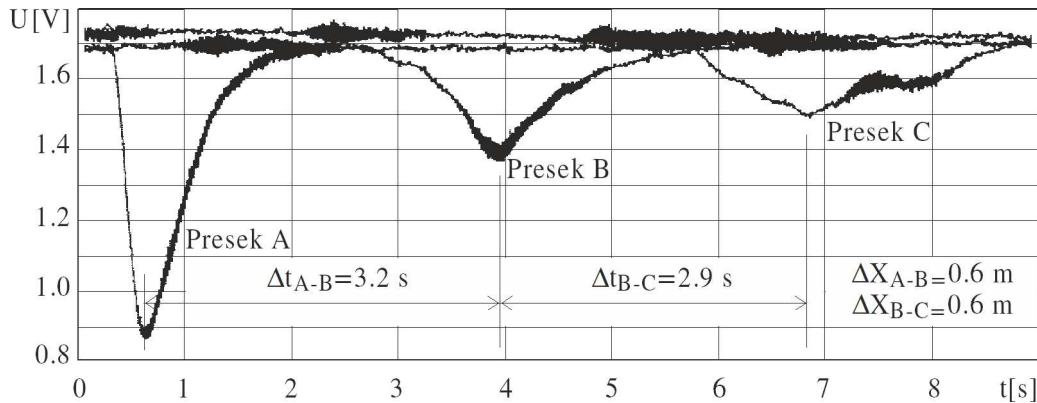
Napomena 3: Transparentcija i koncentracija su u logaritamskoj zavisnosti, pa se pri linearno kalibrisanoj skali pokaznog instrumenta za promenu transparentcije od 0% do 100% dobija nelinearno izražena koncentracija. U principu bi ova zavisnost mogla analitički da se odredi “fitovanjem” kroz izmerene tačke, ali se to, u cilju jednostavnosti, neće raditi u okviru ove vežbe.

Napomena 4: Fotoelektronski kolorimetar može se koristiti za statičko i dinamičko merenje. Pod statičkim merenjem se podrazumeva postupak kod koga se iz toka vadi uzorak vode koji se naknadno analizira. Očigledno, ovako se može meriti samo ako je koncentracija u nekoj tački konstantna ili se veoma malo menja kroz vreme. Dinamičko merenje je ono kod koga se sonda kolorimetra postavlja direktno u tok, čime se registruju trenutne vrednosti koncentracije. Na ovaj način mogu se meriti brze promene, pa čak i fluktuacije koncentracije, što omućava proučavanje turbulentnih karakteristika toka.

Zadatak 4 Manevrisanjem ustave i promenom nagiba kanala obezbediti da je dubina vode duž kanala konstantna. Injektirati traser trenutno (iz šprica) na uzvodnom kraju kanala. Izmeriti dinamički raspored koncentracija $C = C(t)$ u po jednoj tački u tri preseka u kanalu na međusobnom (podužnom) rastojanju od po 60cm. (Neophodno je tri puta injektirati istu količinu iste koncentracije, odnosno pri tome sondu kolorimetra postavljati u tri različita položaja.) Odrediti proticaj kroz kanal preko srednje brzine vode procenjene na osnovu brzine kretanja “špica” oblaka trasera (pomnožene sa površinom preseka), i uporediti ga sa proticajem na Tompsonovom prelivu.

$$h_T = \underline{\hspace{2cm}} \text{ cm} \quad h_{\text{vode}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ cm}$$

Napomena 5: Na slici su prikazani rezultati jednog ranijeg sličnog merenja. Vidi se da je “oblak” najbrže prošao kroz najuzvodniji presek, u kome je izmerena i najveća vrednost koncentracije, a da su u druga dva preseka, usled mešanja, raspoređeni razblaženi. Takodje, vidi se da, usled nepreciznosti pri injektiranju, vremena putovanja “špica” oblaka od prvog do drugog preseka i od drugog do trećeg nisu jednaka, pa treba usvojiti srednju vrednost, odnosno:



$$\overline{\Delta t} = \frac{\Delta t_{A-B} + \Delta t_{B-C}}{2} = 3.0 \text{ s} \quad u = \frac{\Delta X}{\overline{\Delta t}} = 0.20 \text{ m/s}$$

Rezultat dinamičkog merenja - primer

Napomena 6: Ovakvo merenje protoka ne može biti precizno iz dva razloga. Pre svega, raspored brzina vode po poprečnom preseku nije ravnomeran, odnosno brzina u srednjem delu je nešto veća od srednje brzine. Osim toga, pretpostavka da se “špic” oblaka kreće brzinom jednakom brzini tečenja vode nije sasvim tačna (usled asimetrične disperzije, odnosno mešanja), što bi doduše došlo do izražaja tek na većim rastojanjima.

Napomena 7: Treba uočiti da kolorimetar ne meri vrednost koncentracije u tački, već srednju vrednost duž putanje zraka od svetlosnog izvora do optičkog filtra (koja u ovom slučaju iznosi 32mm). U tom smislu kratkotrajne oscilacije (na slici) ne predstavljaju turbulentne fluktuacije koncentracije u tački, već su pre svega posledica neravnomerne raspodele trasera po dubini, odnosno njegove nedovoljne izmešanosti.

Osnovni pojmovi teorije optičke provodnosti kod tečnosti i princip rada fotoelektronskog kolorimetra

Prilikom prolaza kroz neku sredinu svetlosno zračenje se apsorbira u iznosu koji zavisi od talasne dužine svetlosti, od debljine svetlosnog sloja i od prirode sredine. Ako je dI promena svetlosnog intenziteta paralelnog snopa monohromatske svetlosti, koji prolazi kroz sloj apsorbirajuće sredine debljine dx , važe zakoni:

$$\frac{dI}{dx} = -aI, \quad \text{odnosno} \quad I = I_0 e^{-ax}, \quad \text{odnosno} \quad I = I_0 10^{-bx} \quad (11)$$

gde je: a – koeficijent apsorpcije, $b = 0.434a$, I_0 – početni svetlosni intenzitet i I – intenzitet svetlosti na rastojanju x . Izrazi predstavljaju Bouger-Lambert-ov zakon. Promena u koncentraciji rastvora ima isti efekat kao promena u debljini apsorbirajućeg sloja, pa se može staviti da je koeficijent b srazmeran koncentraciji C materije koja je rastvorena i koja apsorbira svetlost, odnosno $b = kC$, što daje

$$I = I_0 10^{-kCx} \quad \text{Lambert-Beer-ov zakon}$$

gde je k – koeficijent ekstinkcije. Mogu se odredjivati i sledeće veličine:

- ekstinkcija $E = kCx$
- transparentija $T = I/I_0 = 10^{-kCx}$
- opacitet $O = 1/T$
- optička gustina (logaritam opaciteta).

Fotoelektronski kolorimetar se sastoji iz sonde i elektronskog dela, koji je spojen sa računarnom koji služi za akviziciju podataka a (u statičkim uslovima) i kao voltmetar. Sonda se sastoji od svetlosnog izvora, aktivne sredine, optičkog filtra i fotoelementa. Metod merenja zasniva se na fotoelektronskoj detekciji promene intenziteta svetlosnog zraka na rastojanju između svetlosnog izvora i fotoelementa. Za eksperimente se koristi Rodamin B (traser crvene boje), pa je filter komplementarne zelene boje.

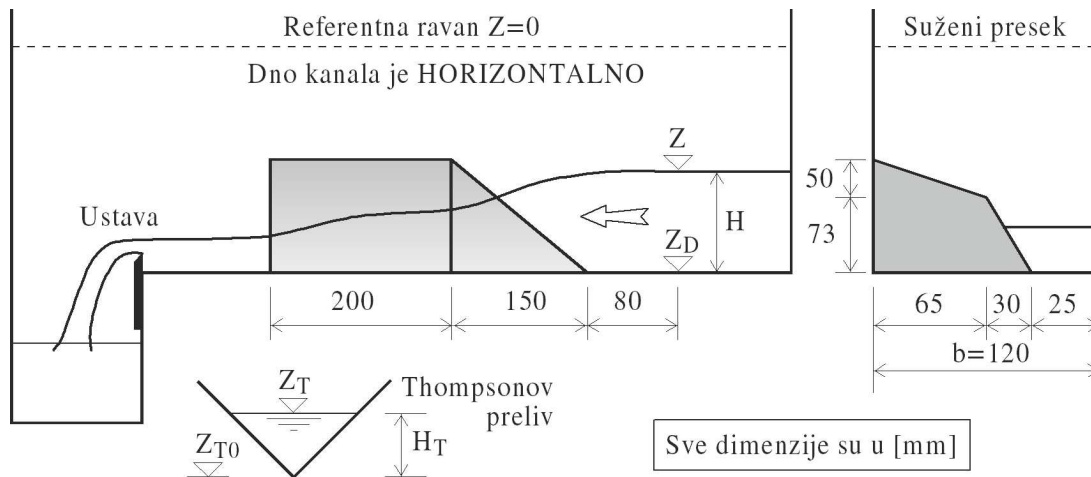
Merenja u hidrotehnici – Vežba br. 6 Kalibrisanje merača protoka sa bočnim suženjem u otvorenom kanalu

Student:

Datum:

Ukoliko se projektuje merač protoka sa standardnim oblikom suženja, u literaturi se mogu naći potrebni koeficijenti protoka. Kada se radi merač protoka u nestandardnim uslovima, potrebno je napraviti model suženja i ispitati ga u laboratorijskim uslovima. Merenjem tačnog protoka na instalaciji i dubine ispred suženja, može se odrediti koeficijent protoka. Ukoliko se zadrži geometrijska sličnost između modela i objekta, koeficijent protoka na modelu se može primeniti i na objektu.

U ovoj vežbi se radi kalibracija merača protoka sa bočnim suženjem (ova vrsta merača je postala standard, tako da se u literaturi može naći postupak za određivanje $Q - H$ krive).



Zadatak 1 Napravljen je model merača protoka, na bazi formiranja kritične dubine u suženom preseku. Dimenzije modela su date na skici. Da bi model mogao da se pouzdano upotrebljava kao merni uređaj, potrebno je obaviti kalibraciju, odnosno, odrediti koeficijent protoka C_Q . Kalibraciju obaviti na sledeći način:

1. Izmeriti osam nivoa vode Z na mestu mernog preseka koji se nalazi 8 cm uzvodno od merača i njima odgovarajuće nivoe Thompson-ovog preliva Z_T :

R. br.	Z [cm]	Z_T [cm]
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		

Nula Thompson-ovog preliva je: $Z_{T_0} = \underline{\hspace{2cm}}$ [cm]

Kota dna mernog preseka je: $Z_d = \underline{\hspace{2cm}}$ [cm]

2. Koristeći formulu za prelivanje preko Thompson-ovog preliva:

$$Q_{mer} = \frac{5}{16} \sqrt{2gH_T^5} \quad H_T = Z_T - Z_{T_0}$$

izračunati protoke u kanalu, kao i dubine vode u uzvodnom, mernom preseku:
 $H = Z_d - Z$

3. Za tri različita koeficijenta protoka

$$C_Q^1 = 0.90, \quad C_Q^2 = 0.95 \quad C_Q^3 = 1.0 \quad (\text{idealni fluid})$$

i za svaki izmereni protok računati kritičnu dubinu u suženju h_{kr} kao i kritičnu brzinu V_{kr} iz uslova:

$$Fr = \frac{Q_{id}^2 B_{kr}}{A_{kr}^3 g} = 1 \quad Q_{id} = \frac{Q_{mer}}{C_Q}$$

gde je A_{kr} površina preseka u suženju i B_{kr} širina vodenog ogledala:

$$h_{kr} \leq 7cm \begin{cases} A_{kr} [cm] & = (2.5 + \frac{3}{14}h_{kr})h_{kr} \\ B_{kr} [cm] & = \frac{3}{7}h_{kr} + 2.5 \end{cases}$$

$$7\text{cm} \leq h_{kr} \leq 12\text{cm} \begin{cases} A_{kr}[\text{cm}^2] & = 28 + [5.5 + 0.65(h_{kr} - 7)](h_{kr} - 7) \\ B_{kr}[\text{cm}] & = 1.3(h_{kr} - 7) + 5.5 \end{cases}$$

Kritična dubina se nalazi probanjem (opcija "Solve for" iz QUATTRO programa).

4. Za ovako dobijene kritične dubine računati uzvodnu dubinu u mernom preseku H_{rac} . Iz energetske jednačine i jednačine kontinuiteta se dobija jednačina:

$$H_{rac} + \frac{Q^2}{2gb^2H_{rac}^2} = h_{kr} + \frac{v_{kr}^2}{2g}$$

koja se rešava probanjem (opcija "Solve for" iz QUATTRO programa).

5. Naći relativne greške računatih dubina u odnosu na merene, u procentima:

$$\epsilon = \frac{H_{rac} - H}{H} \times 100$$

6. Nacrtati sledeće grafike:

- Grafik zavisnosti relativnih grešaka: $\epsilon = \frac{H_{rac} - H}{H} \times 100$ [%] u od merenog protoka Q_{mer} , za svaki od C_Q^i , tako da sve tri krive budu na jednom grafiku;
- Grafik H , H_{rac}^1 , H_{rac}^2 , H_{rac}^3 u funkciji od merenog protoka Q_{mer} (tako da se H predstavlja sa simbolima a ostale dubine sa tri različite vrste linija).
- Iz grafika zaključiti koje C_Q najbolje odgovara datom meraču.

Napomena 1: Potrebno je obezbediti što tačnije merenje protoka u kanalu. Najčešća greška je da se kota vode na Thompson-ovom prelivu očita iako nije postignuto ustaljeno tečenje. Pri malim protocima, ako se na instalaciji smanjuje protok, potrebno je znatno duže vreme da se ustali nivo u rezervoaru nego ako se u instalaciji povećava protok. Dakle, preporuka je da se počne sa merenjima sa malim protokom, i da se postepeno povećava protok.

Napomena 2: Da bi se primenio program **MERAC1** iz vežbe 7, potrebno je uneti podatke o simetričnom mernom profilu, širine 240 cm, čija je desna strana suženja ogledalna slika leve strane. Sračunati protoci će biti dva puta veći od merenih, dok dubine treba da odgovaraju izmerenim dubinama. Pri tome treba imati u vidu da se zanemaruje trenje između vode i staklenog zida (na mestu ose simetrije).

Kratko objašnjenje za formiranje radne tabele

1. Redovi od 1 do 9: naslov vežbe, podaci o studentu;
2. Red 10: Naslovi tabela sa jedinicama;
3. A11 - A18: Redni broj merne tače;
4. B11 - B18: Z (cm);
5. C11 - C18: Z_T (cm);
6. D11 - D18: $H = Z_d - Z$ (cm);
7. E11 - E18: Q_{mer} (L/s);
8. Za svako C_Q^i formirati posebnu tabelu:
 - U B20 uneti $C_Q^1 = 0.90$;
 - Red 21 zaglavlje tabele;
 - A22 - A29: Redni broj tačke;
 - B22 - B29: Q_{id} (L/s);
 - C22 - C29: postaviti početne vrednosti za promenljivu h_{kr} (isuniti ovaj blok jedinicama);
 - D22 - D29: uneti formule $Fr(h_{kr}) - 1$, a zatim startovanjem opcije SOLVE FOR varirati svako h_{kr} dok u polju D22 - D29 ne budu nule (kreirati MAKRO);
 - E22 - E29: V_{kr} (cm/s);
 - F22 - F29: postaviti početne vrednosti za promenljivu H_{rac} (isuniti ovaj blok sa 15 (cm));
 - G22 - G29: uneti formule za računanje H_{rac} , a zatim startovanjem opcije SOLVE FOR varirati svako H_{kr} dok u polju E22 - E29 ne budu nule (koristiti kreirani MAKRO);
 - H22 - H29: Relativne greške (%);
9. Iskopirati gornju tablicu dva puta, jednu ispod druge i promenom C_Q ponovo izračunati sve tražene veličine;
10. Nacrtati grafike.

Merenja u hidrotehnici – Vežba br. 7.1 Projektovanje merača protoka u otvorenom kanalu

Student:

Datum:

U kanal koji spaja dva jezera (dimenzije kanala su date na slici), postaviti suženje za merenje protoka na 1000 m uzvodno od njegovog uliva u jezero **2**. Merač treba da meri protoke u opsegu od $Q_{min} = \text{---} m^3/s$ do $Q_{max} = \text{---} m^3/s$, pri čemu kota vode u jezeru **2** varira od $K_{2min} = \text{---} m$ do $K_{2max} = \text{---} m$. Tečenje u celom kanalu mora biti mirno. Kota vode u gornjem jezeru **1** mora biti niža od $K_{1max} = \text{---} m$. Ako je potrebno menjati položaj dna kanala (podizati ga ili spuštati) poželjno je to činiti na kratkoj deonici neposredno uzvodno i/ili nizvodno od merača.

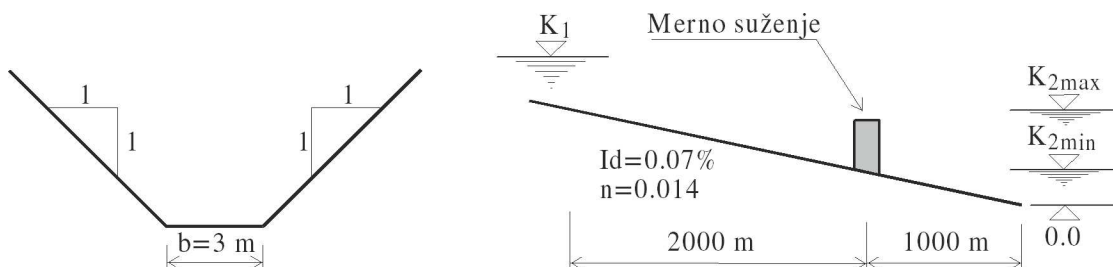
Potrebno je uraditi sledeće:

Zadatak 1 Dimenzionisati merač protoka: odrediti dimenzije i oblik suženja, odrediti dimenzije ulazne i izlazne deonice kao i visinu izdizanja dna merača, Δ , odnosno ukopavanja bučnice, δ , (**ukoliko je to potrebno**);

Zadatak 2 Nacrtati merač protoka: osnovu, podužni presek i dva poprečna preseka objekta (uzvodni - koji je isti kao poprečni presek kanala, i u suženju).

Zadatak 3 Nacrtati sračunatu liniju zavisnosti uzvodne dubine H i protoka Q (koristiti program QUATRO).

Zadatak 4 Sračunati kotu nivoa za Q_{max} i Q_{min} koje će se javiti u jezeru **1** posle ugradnje merača i skicirati linije nivo za ova dva protoka na podužnom profilu kanala.



Merenja u hidrotehnici – Vežba br. 7.2 Projektovanje merača protoka u otvorenom kanalu

Student:

Datum:

U kanal koji spaja dva jezera (dimenzije kanala su date na slici), postaviti suženje za merenje protoka neposredno ispred kaskade koja se nalazi na 800 m uzvodno od njegovog uliva u jezero **2**. Merač treba da meri protoke u opsegu od $Q_{min} = \underline{\hspace{2cm}}$ m^3/s do $Q_{max} = \underline{\hspace{2cm}}$ m^3/s , pri čemu je najniža kota vode u jezeru **2** $K_{2min} = \underline{\hspace{2cm}}$ m a maksimalna $K_{2max} = \underline{\hspace{2cm}}$ m. Kota vode u gornjem jezeru **1** mora biti niža od $K_{1max} = \underline{\hspace{2cm}}$ m. Tečenje u celom kanalu mora biti mirno.

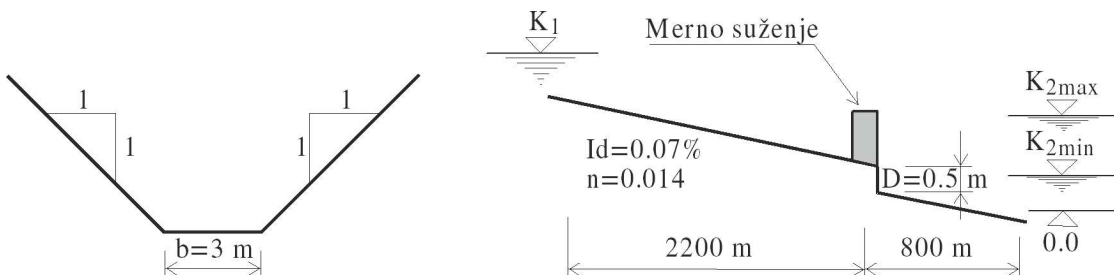
Potrebno je uraditi sledeće:

Zadatak 1 Dimenzionisati merač protoka: odrediti dimenzije i oblik suženja, odrediti dimenzije ulazne i izlazne deonice, kao i dubinu ukopavanja bučnice, δ ukoliko je njena izgradnja potrebna;

Zadatak 2 Nacrtati merač protoka: osnovu, podužni presek i dva poprečna preseka objekta (uzvodni - koji je isti kao poprečni presek kanala, i u suženju).

Zadatak 3 Nacrtati sračunatu liniju zavisnosti uzvodne dubine H i protoka Q (koristiti program QUATRO).

Zadatak 4 Sračunati kotu nivoa za Q_{max} i Q_{min} koje će se javiti u jezeru **1** posle ugradnje merača i skicirati linije nivo za ova dva protoka na podužnom profilu kanala.

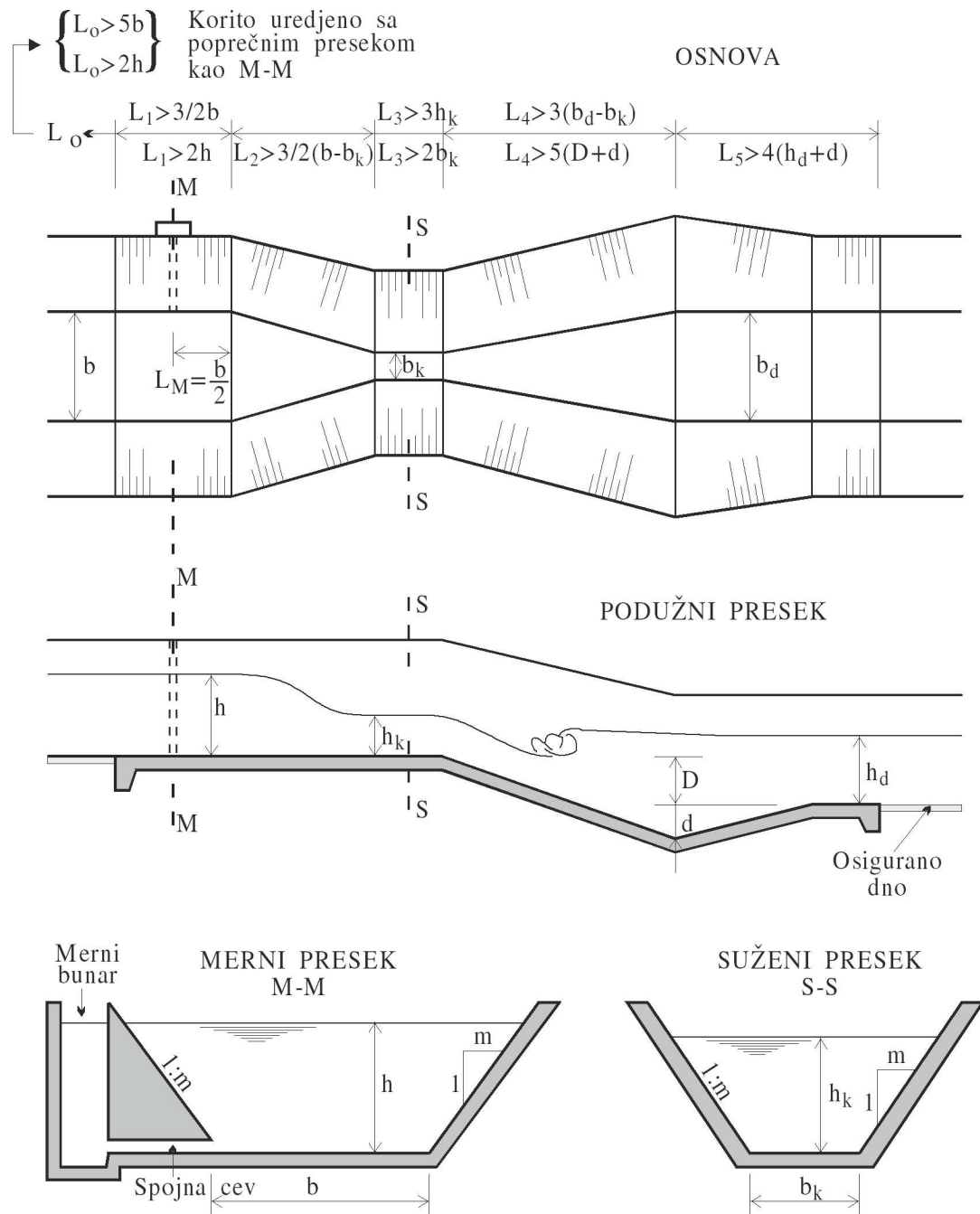


Uputstvo za projektovanje merača protoka sa bočnim suženjem u otvorenom kanalu

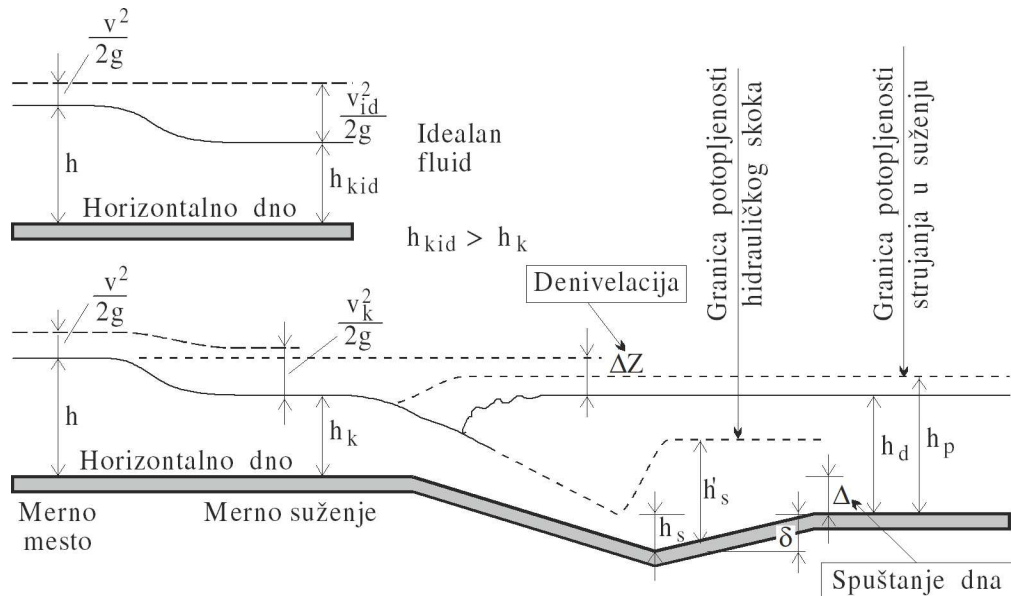
Merenje protoka u otvorenim kanalima je sa hidrauličke strane veoma složen problem, jer ne postoji jednoznačna veza između protoka i srednje brzine. Dok je kod tečenja u cevi dovoljno izmeriti brzinu fluida, kod otvorenih tokova je neophodno poznavati dve veličine, brzinu i dubinu fluida. Podatak o dubini može relativno jednostavno da se dobije, dok je merenje brzine vezano sa nepoznavanjem tačnog rasporeda brzina po dubini i širini toka, pri čemu je taj raspored brzina funkcija dubine.

Jedno od mogućih rešenja pouzdanog merenja protoka u otvorenim kanalima je korišćenje činjenice da se u mirnom toku poremećaji prenose uzvodno, i da je kritična dubina minimalna dubina koja se može javiti u mirnom toku. Dakle, ako se u mirnom toku kanala nekim lokalnim poremećajem izazove kritična dubina, i ako nizvodni tok ne potapa tu kritičnu dubinu pri svim protocima koji se mogu javiti u kanalu, dubina uzvodno od lokalnog poremećaja je energetsom jednačinom i jednačinom kontinuiteta u direktnoj vezi sa kritičnom dubinom. Dakle, potrebno je meriti samo dubinu uzvodno od kritične dubine, i jednostavnim računom se određuje protok. Da bi se obezbedila što veća tačnost merenja protoka, potrebno je i odrediti lokalne gubitke energije između preseka u kome se meri dubina i preseka u kome se formira kritična dubina, odnosno, potrebno je odrediti koeficijent protoka, kao odnos stvarnog protoka i idealnog (protoka koji se dobija ako se pretpostavi da je gubitak energije nula).

Postoji više načina da se izazove kritična dubina u kanalu sa mirnim tokom. To je moguće uraditi postavljanjem širokog praga, naglim spuštanjem dna kanala ili bočnim sužavanjem kanala uz zadržavanje horizontalnog dna. U ovoj vežbi se projektuje merač protoka sa bočnim suženjem. Na prethodnoj slici su date preporuke za određivanje nekih dimenzija merača protoka. Oznake koje se koriste predstavljaju sledeće veličine: L_0 - dužina deonice kanala do mernog objekta koja mora biti uredjena i pravolinijska; L_1 - dužina ulazne deonice; L_M - položaj sonde za merenje nivo (koja se nalazi u mernom bunaru); L_2 dužina uzvodne prelazne deonice ka suženju; L_3 - dužina sužene deonice; L_4 - dužina nizvodne prelazne deonice; L_5 - izlazna deonica; m nagib kosina stranica kanala; b - širina prilaznog kanala pri dnu; b_k - širina kanala pri dnu u suženju; b_d - širina dna izlaznog kanala; h - uzvodna dubina koja se meri, h_k - kritična dubina u suženju; h_d - dubina vode nizvodno od merača; Δ - denivelacija dna uzvodno i nizvodno od merača; δ - spuštanje dna izlazne deonice radi obezbedjenja mirnog toka nizvodno od merača.



Prikaz mernog objekta



Podužni presek merača

Merač protoka u mirnom toku

Pri projektovanju merača treba voditi računa o sledećim uslovima koji treba da budu ispunjeni:

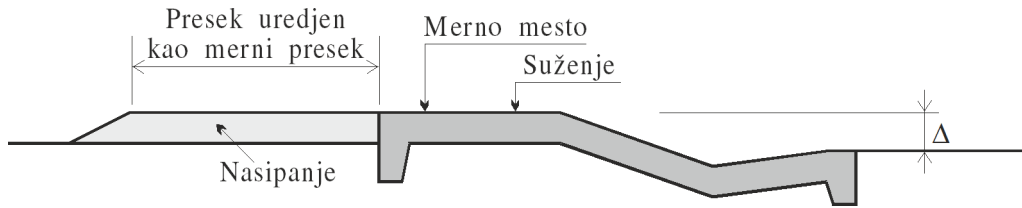
1. Dno merača (od ulazne deonice do kraja suženja) mora biti **HORIZON-TALNO**.
2. Suženje merača **ne sme da bude potopljeno**. Ako to teren i nizvodni granični uslovi ne omogućavaju mora se predvideti izvodjenje denivelacije Δ (na sledećoj slici je prikazano značenje pojedinih oznaka):

$$\Delta \geq h_d - 0.5(h + h_k) \quad \text{za} \quad \frac{A_k}{A} \geq 0.3 \quad (12)$$

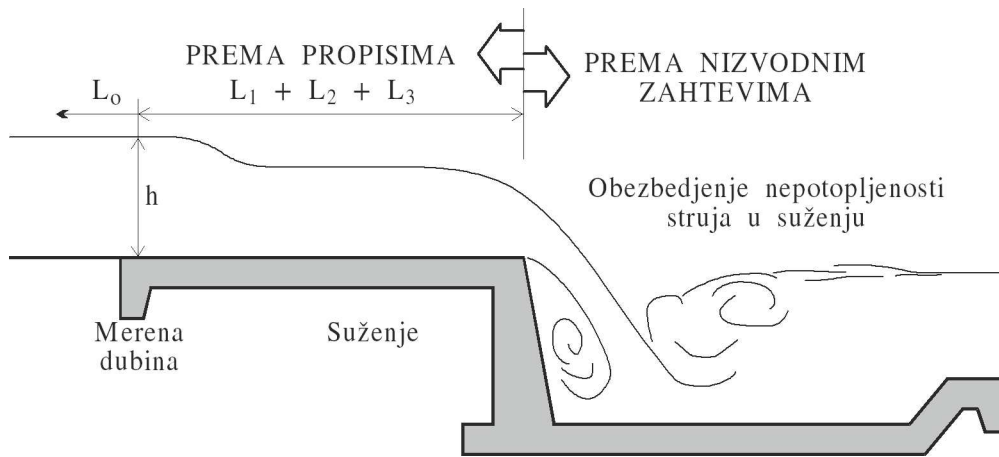
(što se dobija iz uslova: $\Delta Z \geq 0.5(h + h_k)$)

Denivelacija dna se izvodi, u zavisnosti od graničnih uslova na jedan od dva načina:

- spuštanjem dna nizvodno od merača za Δ (vidi sliku prikaza mernog objekta);
- podizanjem dna merača zajedno sa prilaznom deonicom (deonice na dužini L_0 , L_1 , L_2 i L_3) za Δ (vidi sledeću sliku).



Postizanje nepotopljenosti podizanjem dna merača - za merni uređaj koji se naknadno postavlja u kanal



Skraćeni merni objekat

Proveru potopljenosti merača treba izvršiti za kombinacije najmanjih protoka i najviših donjih graničnih nivoa.

Uslov nepotopjenosti je sigurno ispunjen ako se merač postavlja ispred **kaskade** visine Δ :

$$\Delta \geq h_d - h_k$$

U ovom slučaju treba projektovati **skraćeni merni objekat** (prikazan na gornjoj slici), i ako se to zahteva obezbediti umirenje toka nizvodno od merača.

3. **Umirenje** struje nizvodno od merača se postiže formiranjem hidrauličkog skoka neposredno iza objekta, spuštanjem dna nizvodne deonice merača za vrednost δ . Koristi se uobičajeni postupak za određivanje δ (na slici podužnog preseka su data značenja pojedinih oznaka):

- Za pretpostavljeno δ se izračunava h_s iz energetske (Bernulijeve) jedna-

čine:

$$h_s + \frac{v_s^2}{2g} = h_k + \frac{v_k^2}{2g} + \Delta + \delta \quad (13)$$

- Iz dinamičke jednačine (jednačine hidrauličkog skoka) se za dubinu h_s nalazi njoj konjugovana dubina h'_s : $\Phi(h_s) = \Phi(h'_s)$, gde je $\Phi(h)$ funkcija skoka trapeznog kanal sa nagibom strana m :

$$\Phi(h) = \frac{h^2(3b + 2mh)}{6} + \frac{Q^2}{g(b + mh)h} \quad (14)$$

- Proverava se usvojeno δ iz uslova potapanja skoka:

$$h_d + \delta \geq 1.1h'_s \implies \delta \approx 1.1h'_s - h_d \quad (15)$$

4. Provera **uzvodnih graničnih uslova**, odnosno da li će posle postavljanja merača nivoi uzvodno od njega porasti tako da ugrozi zadate maksimalne kote. Provera se sprovodi računanjem linije nivoa uzvodno od merača za maksimalni protok u kanalu.

Merač u burnom toku

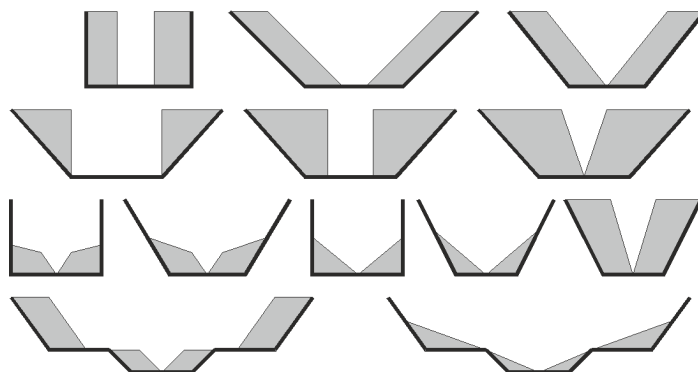
Postavljenje merača u burni tok treba izbegavati. Ukoliko se on mora graditi u burnom režimu tečenja onda je postupak sledeći:

- Voda uzvodno od merača se mora umiriti, odnosno pomoću hidrauličkog skoka prevesti u mirni režim tečenja. To se izvodi pomoću bučnice i postavljanjem prepreka u toku.
- Projektovati skraćeni merni objekat.

Primer ovakvog merača je merni uređaj izgrađen na slivu "Miljakovac" za merenje oticaja kišne kanalizacije. Da bi se sigurno obezbedilo umirivanje burnog režima ispred merača protoka, u svim režimima tečenja, napravljen je hidraulički model u laboratoriji, gde je ispitana potrebna dimenzija bučnice. Uopšte, u ovakvim slučajevima se preporučuje provera projektovanih dimenzija na fizičkom modelu.

Oblici suženja

Na sledećoj slici su dati primeri mogućeg oblika poprečnih preseka u suženju merača protoka u otvorenim kanalima. Treba obratiti pažnju da oblik zavisi od odnosa Q_{max} i Q_{min} koji se mere na datom objektu. Ako je ovaj odnos veliki preporučuju se kombinovani preseki: trougao strmih stranica u donjoj zoni i trapez blagih nagiba strana u gornjoj zoni.



Mogući oblici profila u suženju

Programi za računanje linije nivoa i $Q - h$ linije merača

Pri izradi vežbe koristiti sledeće programe:

1. **H11**: za računanje linije nivoa. Interaktivno se preko terminala zadaju dimenzije kanala i granični uslovi, a izlaz-izračunata linija nivoa se nalazi u datoteci **FORT3**.
2. **MERAC1**: za računanje $Q - h$ zavisnosti merača. U datoteci **FORT2** se zadaju dimenzije ulaznog profila i profila u suženju. Na sledećoj slici je dat sadržaj datoteke FORT2 za merač "MIRAša ulaznim profilom i suženjem prikazanim na istoj slici.

Pojedini elementi u datoteci FORT2 imaju sledeće značenje:

Ime merača

n_1 (broj tački ulaznog profila), n_2 (broj tački suženog profila)

Z_1, Z_2, \dots, Z_{n_1} ($n_1 \times Z$ kordinata ulaznog profila)

X_1, X_2, \dots, X_{n_1} ($n_1 \times X$ kordinata ulaznog profila)

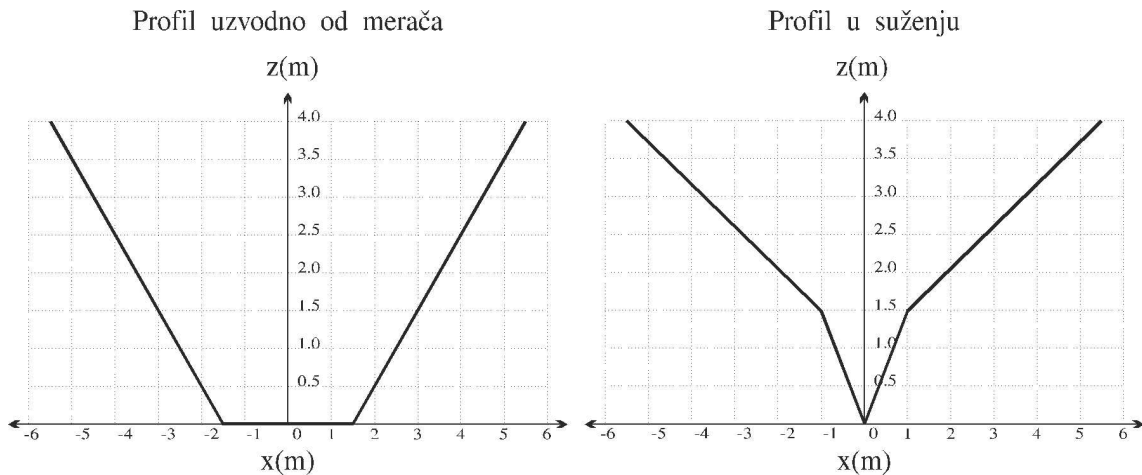
Z_1, Z_2, \dots, Z_{n_2} ($n_2 \times Z$ kordinata suženog profila)

X_1, X_2, \dots, X_{n_2} ($n_2 \times X$ kordinata suženog profila)

h_{poc} (minimalni mereni nivo), Δh (korak za računanje dubina), $C_Q = 0.95$, N (broj priraštaja), i (umanjeni korak Δh , i puta)

Izlazna datoteka je **MERAC.DAT**. U datoteci **FORT4** se nalazi $Q - h$ kriva računata sa usitnjenim korakom ($\Delta h/i$) koja služi za bolji grafički prikaz iste.

3. U radnoj tabeli MERAC.WQ1 se nalazi program za nalaženje dubine u suženju h_s i konjugovane dubine h'_s . Tabela je na direktoriju G:\STUDENTI\MERENJA\7. Ulaskom u ovu tabelu i korišćenjem opcije:



MIRA

4, 5

4, 0, 0, 4

-5.5, -1.5, 1.5, 5.5

4, 1.5, 0, 1.5, 4

-5.5, -1, 0, 1, 5.5

0.05, 0.05, 0.95, 50, 1

ime studenta

br. tački uzvodnog profila, br. tački profila u suženju

z-koordinate tački uzvodnog profila

x-koordinate tački uzvodnog profila

z-koordinate tački profila u suženju

x-koordinate tački profila u suženju

početna dubina, priraštaj dubine, C_Q , br. priraštaja, $i=1$

Profili merača i za njega formirana datoteka FORT2



Tools

Advanced Math

Solve for

izračunavaju se pomenute dubine za unete vrednosti protoka u označenu ćeliju.

Postupak izrade zadatka

1. Za zadati merni opseg (Q_{min}/Q_{max}) pretpostaviti dimenzije i oblik profila u suženju. Ako je merni opseg veliki obavezno projektovati složeni suženi presek.
2. Na osnovu zadatog uzvodnog profila (profil kanala) i pretpostavljenog suženog preseka formirati ulaznu datoteku FORT2 za program MERAC1. Startovati program **MERAC1** i odštampati njegov izlazni fajl MERAC.DAT. Voditi računa da je $Q - h$ kriva dovoljno "duga", odnosno da pokriva zadati merni opseg.
3. Obezbediti nepotopljenost meračai umiranje toka iza suženja:
 - Za minimalni protok Q_{min} (odgovarajuće dubine: ispred suženja h_1 i kritična u suženju h_{k-1} su u fajlu MERAC.DAT) i maksimalnu kotu

nivoa nizvodnog jezera K_{2max} proveriti uslov nepotopjenosti merača u suženju. Za izračunavanje dubine neposredno iza merača (h_{d-1}) koristiti program za računanje linije nivoa **H11** (za protok Q_{min} i donji granični uslov K_{2max}).

- Za maksimalni protok Q_{max} (odgovarajuće dubine: ispred suženja h_2 i kritična u suženju h_{k-2} su u fajlu MERAC.DAT) i minimalnu kotu nivoa nizvodnog jezera K_{2min} proveriti da li dolazi do formiranja burnog toka nizvodno od merača. Za izračunavanje dubine, neposredno iza merača (h_{d-2}), koju diktira nizvodni uslov, koristiti program za računanje linije nivoa **H11** (za protok Q_{max} i donji granični uslov K_{2min}).

Za ocenu gore navedenih uslova, kao i za izračunavanje, ukoliko je to potrebno, izdizanja dna merača Δ (obezbedjenje nepotopljenosti) i dubine bučnice δ (umirenje toka iza merač) koristiti program u radnoj tabli **MERAC.WQ1**. Voditi računa da pre njegovog startovanja budu izračunate dubine iza merača h_{d-1} i h_{d-2} (iz izlazne datoteke FORT3 programa H11 - dva puta startovan). Ako su Δ ili δ nerealno velike visine, menjanjem oblika suženja se one mogu donekle smanjiti.

Obavezno skicirati podužni profil kanala u oblasti merača zajedno sa svim pomenutim dubinama.

4. Pomoću programa **H11** izračunati linije nivoa za Q_{max} pri K_{2min} i za Q_{min} pri K_{2max} , pri čemu voditi računa o promeni kote dna merača, ukoliko je do nje došlo.
5. Ukoliko je zadat i gornji granični uslov K_{1max} , voditi računa da i on bude ispunjen. U suprotnom se menjanjem oblika suženja mora smanjiti visina dizanja dna Δ koja je dovela do ovog prekoračenja.
6. Nacrtati krivu $Q - h$ merača u QUATTRO programu:
 - Kreirati radnu tabelu: PREIME07.WQ1 u direktoriju G:\STUDENTI\MERENJA\7;
 - Uneti dataoteku FORT4 u kreiranu radnu tabelu:

/	Tools	import	Comma and Delimited File
---	-------	--------	--------------------------

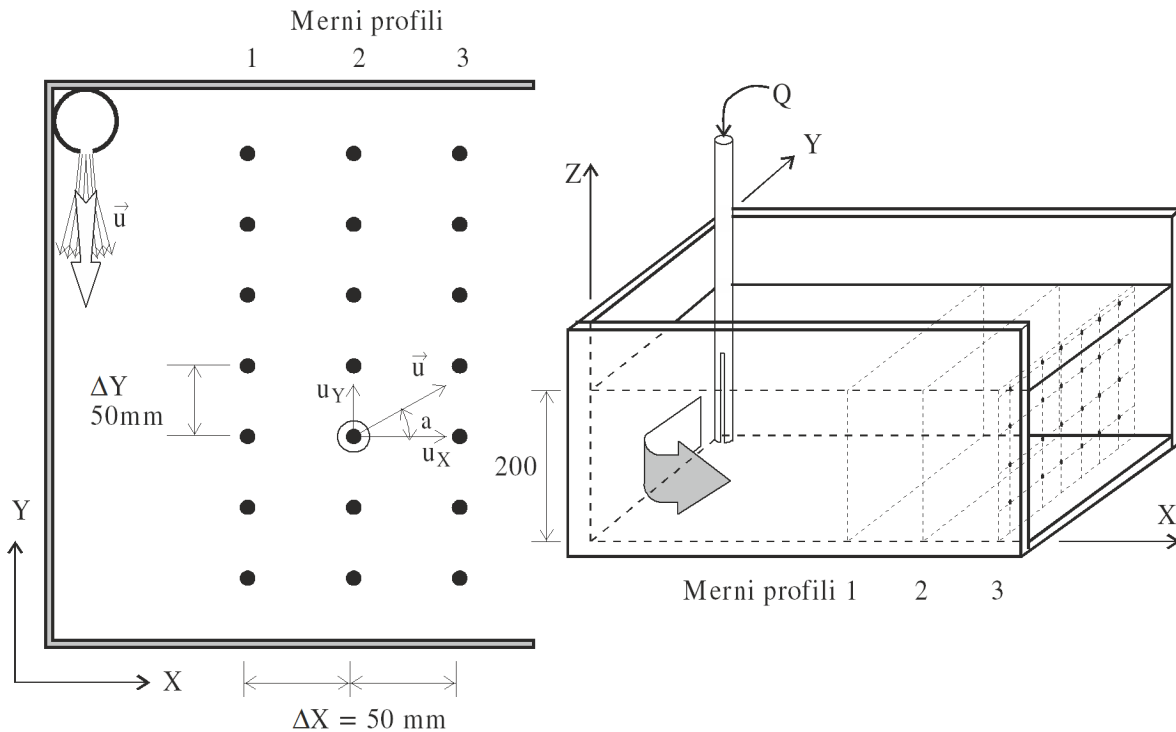
 i kucanjem imena fajla C:\prog\FORT4. (. je obavezna) biće unete vrednosti iz datoteke FORT4 počev od mesta gde se nalazi pozicioniran kursor;
 - Nacrtati grafik $Q - h$.
7. Nacrtati osnovu, podužni i poprečne preseke merača.

Merenja u hidrotehnici – Vežba br. 8

Merenje rasporeda brzina u složenom strujnom polju

Student:

Datum:



Na eksperimentalnoj instalaciji, izmeriti pomoću elektromagnetne sonde raspored brzina u jednom profilu (profil je definisan sa $X = \text{Const}$, odnosno profil je vertikalni presek) u četiri horizontalne ravni ($Z = \text{Const}$, $Z = 5, 10, 15, 19$ cm) i u 10 tačaka u svakoj ravni (ukupno 40 mernih tačaka). Za merne tačke na zidu ($Z = 0, Y = 0$ i $Y = Y_{MAX}$) se predpostavlja da je brzina $V = 0$. Ukupan broj tačaka sa poznatom brzinom iznosi $5 \times 12 = 60$ (40 izmerenih tačaka i 20 ekstrapolovanih).

Za merenje brzine koristiti elektromagnetnu sondu, koja istovremeno meri brzine u X i Y pravcu. Kalibraciona prava (veza izmedju izlaznog napona i brzine) za usvojeni koordinatni sistem (vidi sliku) je:

$$V_X = 0.6908 \times U_X - 0.0026 \quad V_Y = 0.7101 \times U_Y + 0.0055$$

Merenja obaviti pomoću sistema za akviziciju i programa **MUHA8**. Nakon obavljenog merenja, nacrtati na ploteru vektore brzina i trodimenzionalni prikaz V_X

komponente (dominantna komponenta) zajedno sa izotahama (direktno iz programa **MUHAS**).

Sve podatke merenja, koje će program automatski sačuvati u fajlu **PROFILX.DAT** (gde je $X=1, 2$ ili 3), preneti u program **QPRO**. Na jednom dijagramu nacrtati V_X komponentu za sve četiri izmerene ravni, a na drugom dijagramu V_Y komponentu. Izračunati protok kroz merni profil, kao:

$$Q = \int_A U \times ndA = \int_A U_X dA = \Delta Y \times \left(\frac{q_1 + 2 \sum_2^{11} q_i + q_{12}}{2} \right)$$

gde je q_i definisan kao:

$$q_i = \Delta Z \times \left(\frac{U_{1X}^i + 2U_{2X}^i + 2U_{3X}^i + 2U_{4X}^i + U_{5X}^i}{2} \right)$$

Napomena 1: Apsolutne vrednosti brzina u mernim tačkama su izuzetno male, do 0.1 m/s. Voditi računa da se prilikom pomeranja sonde iz jedne merne tačke u drugu ne poremeti strujno polje. Posle svakog pomeranja sonde, sačekati izvesno vreme da se ustali čitanje trenutnog vektora brzine.

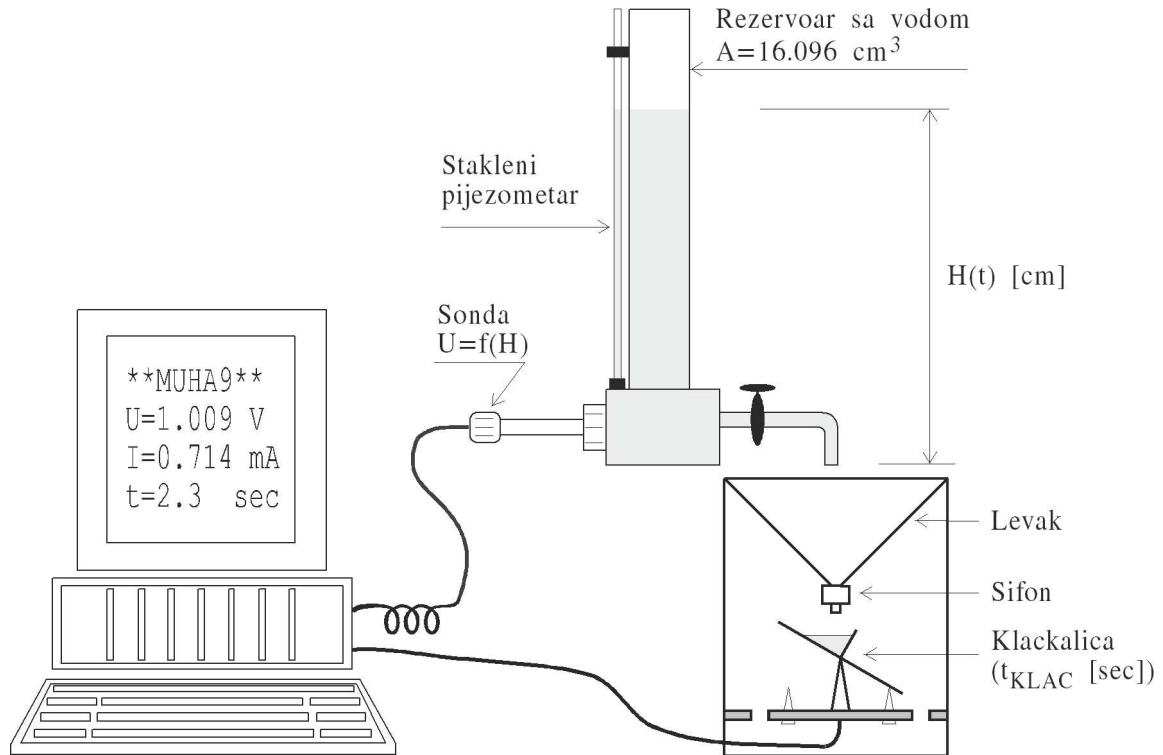
Napomena 2: Program **MUHAS** za crtanje profila koristi ploter, preko serijskog porta **COM1**: sa sledećim parametrima: **MODE COM1: 9600,N,8,1,P**. Prilikom startovanja podprograma za crtanje, ploter mora biti uključen.

Napomena 3: Na slici je prikazano kako elektromagnetna sonda treba da bude postavljena u nosač. Crvena tačka na sondi treba da bude u negativnom Y pravcu (ako je pozitivan X pravac duž instalacije).

Merenja u hidrotehnici – Vežba br. 9 Statička i dinamička kalibracija kišomera sa klackalicom

Student:

Datum:



Zadatak 1 Odrediti statičku zapreminu klackalice kišomera pomoću birete. Merenja obaviti sa skinutim sifonom, direktnim sipanjem vode u klackalicu, sa doziranjem kap po kap, serijom od 10 merenja za levu i za desnu stranu. Izračunati srednju vrednost zapremine \bar{V}_L i \bar{V}_D kao i ukupnu srednju vrednost $\frac{\bar{V}_L + \bar{V}_D}{2}$.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	\bar{V}	$\frac{\bar{V}_L + \bar{V}_D}{2}$
Leva												
Desna												

Napomena 1: Ako se u toku statičke kalibracije pokaže znatno odstupanje u zapreminama između leve i desne klackalice (veće od 1%) potrebno je izjednačiti te dve zapremine korekcionim zavrtnjima.

Napomena 2: Voditi računa da kišomer stoji u strogo horizontalnom položaju.

Zadatak 2 Odrediti zapreminu klackalice dinamičkom kalibracijom kišomera (sistema ulazni levak – sifon – klackalica) pomoću instalacije prikazane na skici – voda ističe u kišomer iz kružnog rezervoara malog poprečnog preseka i velike visine, kroz staklenu cevčicu sa zatvaračem. Zahvaljujući velikoj promeni visine vodenog stuba u toku merenja, ostvaruje se promena protoka kroz vreme, simulirajući kišu poznatog i promenljivog intenziteta. Pomoću sonde za merenje pritiska, meri se visina vodenog stuba u rezervoaru kroz vreme, uz istovremeno snimanje i trenutka pada – pražnjenja klackalice. Program **MUHA9** obezbeđuje akviziciju podataka na PC-ju, obradu podataka i grafički prikaz. Na ploteru nacrtati dijagram zapremine merne klackalice u funkciji protoka. Sa dijagrama očitati srednju vrednost zapremine klackalice, uz pretpostavku da je zapremina konstantna za merni dijapazon protoka. Tako očitana zapremina se zove dinamička zapremina. Uneti vrednost dinamičke zapremine u program i nacrtati relativnu grešku dinamičke zapremine u funkciji od protoka.

Napomena 3: Obezbediti da za vreme izvodjenja vežbe kišomer stoji stabilno i horizontalno.

Napomena 4: S obzirom da tačnost merenja zapremine vode koja ističe iz plastičnog rezervoara zavisi od tačnosti merenja pritiska pomoću sonde, u programu **MUHA9** je predviđena kalibracija sonde pre svakog izvodjenja eksperimenta. Za kalibraciju sonde, koristiti ugradjeni stakleni pijezometar sa milimetarskom podelom.

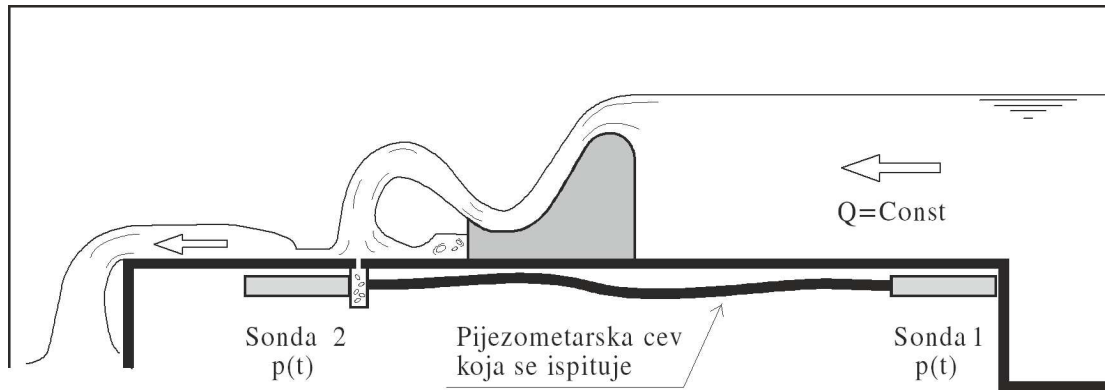
Napomena 5: Da bi se pokrio što veći opseg intenziteta kiša, obaviti dva eksperimenta, sa različitim otvorenostima slavine. Voditi računa da na početku eksperimenta, kada je intenzitet najveći, ne dodje do potapanja sifona na kišomeru. Takodje, moguće je u toku isticanja postepeno zatvarati slavinu.

Napomena 6: Intenzitet isticanja se meri kao promena nivoa u rezervoaru između dva pada klackalice. Rasipanje merenih rezultata je dosta veliko, pa se u programu **MUHA9** obavlja osrednjavanje izmerenih intenziteta. Na nacrtanom dijagramu zapremine klackalice u funkciji protoka se jasno vidi uticaj osrednjavanja na početak i kraj dijagrama.

Merenja u hidrotehnici – Vežba br. 10 Analiza dinamičkog odziva (transfer funkcije) pijezometarske cevi

Student:

Datum:



Na eksperimentalnoj instalaciji prikazanoj na skici, mere se fluktuacije pritiska na dno nizvodno od ski skoka. Merenja se sprovode radi utvrđivanja ukupne sile na dno slapišta, pri čemu dominantnu ulogu igraju upravo fluktuacije. Merenje fluktuacija pritiska se obavlja sondom koja pritisak pretvara u napon, a zatim se taj napon snima pomoću računara velikom brzinom (200 do 1000 puta u sekundi). S obzirom da je često nemoguće sondu za pritisak postaviti direktno na instalaciju, koristi se pijezometarska cev za spoj sonde i mesta na kome se mere fluktuacije.

Obrada snimljenih fluktuacija pritisaka obuhvata analizu statističkih pokazatelja u vremenskom domenu (srednja vrednost, standardno odstupanje, maksimalan i minimalan pritisak itd.) kao i u frekventnom (Fourier-ovom transformacijom se vremenski zapis zamenjuje sumom prosto-periodičnih funkcija). Frekventni sadržaj fluktuacija pritisaka se može povezati sa globalnim dimenzijama vrtloga, gde svaki član sume prostoperiodičnih funkcija predstavlja doprinos jedne frekvencije (dimenzije vrtloga) u originalnoj vremenskoj seriji.

Medjutim, unošenjem pijezometarske cevi kao posrednika u merni sistem, postavlja se pitanje za koliko snimljeni podaci o pritisku odstupaju od stvarnih. Da bi se to analiziralo, na eksperimentalnoj instalaciji je postavljena još jedna sonda, koja meri fluktuacije pritisaka na ulazu u pijezometrasku cev. Analizom razlika ta dva signala, dobija se uticaj pijezometarke cevi, u formi transfer funkcije:

$$H(f) = \frac{G_1(f)}{G_2(f)}$$

gde je f frekvencija, G_1 spektar snage sonde na kraju piježometarske cevi i G_2 spektar snage sonde na početku creva (originalne fluktuacije pritiska).

Zadatak 1 Merenjem na eksperimentalnoj instalaciji pritiska na sondama **1** – sonda na kraju piježometarskog creva, i **2** – sonda na mestu priključka piježometarskog creva u slapištu, i analizom u frekventnom domenu, pomoću računara i programa za akviziciju i obradu **ADA**⁺, nacrtati spektar snage za obe sonde na istom dijagramu. Ručnom obradom sa nacrtanog dijagrama, nacrtati transfer funkciju $H(f)$ korišćene piježometarske cevi u funkciji frekvencije.

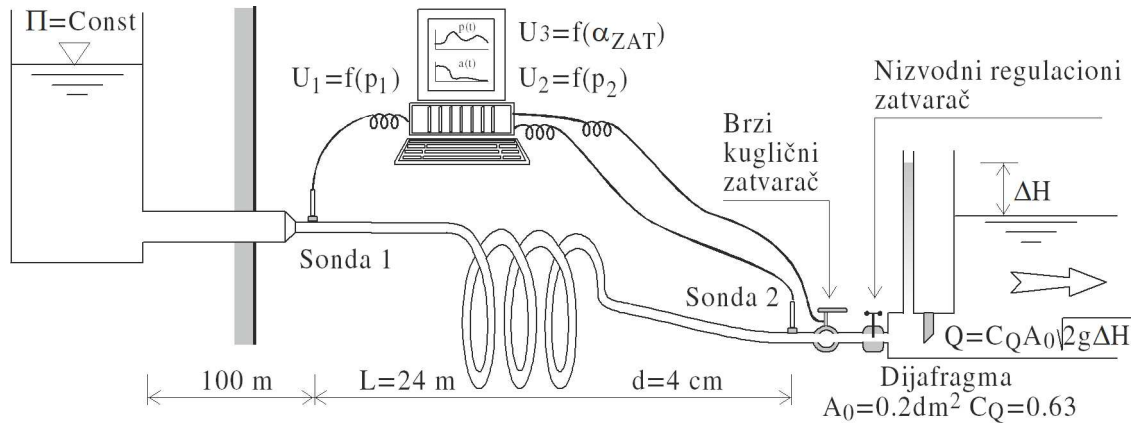
Napomena 1: Fluktuacije pritiska (odnosno P_i -kote) u slapištu su oko 1 cm vodenog stuba. Koristiti najosetljivije sonde za merenje pritiska, sa velikim pojačanjem na instrumentima, i sa potisnutom srednjom vrednosti pritiska pomoću potencijometra **Nu1a**. Zbog velikih pojačanja, sistem za akviziciju ostaviti uključen minimum pola sata pre obavljanja kalibracije sonde za pritisak. Kalibraciju sonde obaviti u statičkim uslovima, dizanjem i spuštanjem nivoa vode u kanalu pomoću nizvodne ustave.

Napomena 2: Program **ADA**⁺ za crtanje spektra snage koristi ploter, preko serijskog porta **COM1**: sa sledećim parametrima: **MODE COM1: 9600,N,8,1,P**. Prilikom startovanja podprograma za crtanje, odnosno aktiviranja prozora koji je izlaz na ploter, ploter mora biti uključen.

Merenja u hidrotehnici – Vežba br. 11 Hidraulički udar

Student:

Datum:



Cev dužine $L = 24\text{ m}$ i prečnika $d = 4\text{ cm}$ priključena je na hidrant. Voda iz cevi (pod pritiskom) ulazi u instalaciju (laboratorijski kanal) na čijem početku se nalazi dijafragma pomoću koje se može odrediti proticaj pri ustaljenom tečenju (pod pretpostavkom da se pritisak vode na mestu priključenja hidrantske cevi na vodovodnu mrežu kroz vreme ne menja). Na krajevima cevi su postavljene sonde za merenje pritiska, a na nizvodnom kraju cevi (iza sonde) nalazi se kuglasti zatvarač. Sonde i zatvarač su povezani sa računaru, tako da se u svakom trenutku mogu registrovati vrednosti koje oni pokazuju (pritisci na sondama, odnosno ugao α — stepen otvorenosti zatvarača).

Nakon brzih manevara na zatvaraču, u cevi dolazi do **hidrauličkog udara**.

Zadatak 1 Obaviti merenja (akvizicijom na računaru) za “brzo” zatvaranje, za različite početne proticaje. Odrediti brzinu propagacije talasa $c = L/\Delta t$, gde je Δt — vreme između pojava odgovarajućih nadpritisaka na sondama (koristiti prvu uzlaznu granu sa dijagrama koji će biti nacrtan na ploteru). Usvojiti c kao srednju vrednost za sve eksperimente. Na osnovu početnog proticaja sračunati promenu brzine u cevi Δv , pa na osnovu toga odrediti maksimalni nadpritisak, odnosno promenu pijezometarske kote na zatvaraču, $\Delta\Pi_2^{\text{rac}} = (c\Delta v)/g$, i uporediti je sa izmerenom vrednošću $\Delta\Pi_2^{\text{mer}}$ (koju treba očitati sa dijagrama nacrtanog na ploteru).

Napomena 1: Merenja obaviti pri naglom otvaranju i zatvaranju kugličnog zatvarača. Početni protok regulisati nizvodnim zatvaračem, na ulazu u laboratorijski kanal.

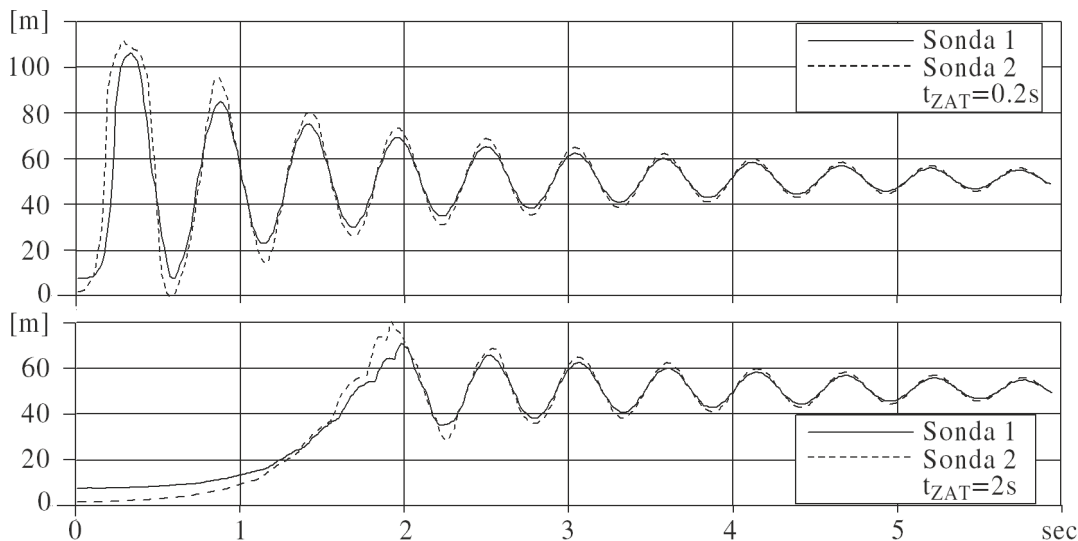
Napomena 2: Da bi se obavila merenja pritiska, pretpostavlja se da je poznata kalibraciona kriva za korišćene sonde, kao i za potencijometrijski pozicioner otvaranja zatvarača, odnosno da su poznate veze izmerenih napona (U u [V]) i pijeziometrijskih kota $\Pi_1 = A_1 \times U_1 + B_1$, $\Pi_2 = A_2 \times U_2 + B_2$ (u [m]) i veza izmerenog napona i ugla otvorenosti zatvarača $\alpha = A_3 \times U_3 + B_3$ (u stepenima). Za korišćene sonde može se smatrati da je kalibraciona kriva linearna.

Eksp. no.	c [m/s]	\bar{c} [m/s]	Q [L/s]	Δv [m/s]	$\Delta \Pi_2^{\text{rac}}$ [m]	$\Delta \Pi_2^{\text{mer}}$ [m]
VE1101						
VE1102						
VE1103						
VE1104						
VE1105						

Zadatak 2 Obaviti merenja pri “sporom zatvaranju” ($T_{\text{zat}} = 2\text{--}3\text{sec}$), za različite početne proticaje. Analizirati rezultate proračuna date na slici poredjenjem sa rezultatima merenja.

Napomena 3: Na slici su prikazani rezultati proračuna (vrednosti pijeziometrijskih kota u preseccima gde su postavljene sonde) za “brzo” ($T_{\text{zat}} = 0.2\text{sec}$) i “sporo” zatvaranje ($T_{\text{zat}} = 2\text{sec}$). Pri proračunu je pretpostavljena brzina propagacije talasa $c = 450\text{m/s}$, koja je približno određena nekim ranijim eksperimentima.

Napomena 4: Treba uporediti merene i računane vrednosti maksimalnih nadpritiska i periode oscilovanja, pošto su prikazani rezultati proračuna dobijeni primenom matematičkog modela koji ne obuhvata sve relevantne fenomene (npr. u modelu se ne simulira uticaj nekontrolisanog pomeranja cevi), tako da ne treba očekivati da će se dobiti odlično slaganje dijagrama u celini. Takođe, u proračunu je uzeta linearna promena otvorenosti zatvarača, čemu u eksperimentu treba težiti.



Merenja u hidrotehnici – Vežba br. 12 Kalibracija merača protoka na eksperimentalnom slivu “Miljakovac”

Student:

Datum:

Na eksperimentalnom slivu “Miljakovac” su postavljena dva merača protoka vode u sistemu kišne klanalizacije, prvi na izlazu iz podsliva, a drugi na izlazu is sliva. Primenjeni su merači protoka sa bočnim suženjem i kritičnim tečenjem u suženju (vidi vežbu 4 i vežbu 7). Za merenje dubine vode ispred suženja, napravljen je merni bunar (za umirenje nivoa vode) i postavljena je sonda kapacitivnog tipa. Izlaz sa sonde je strujni signal proporcionalan sa trenutnom dubinom. Sistemom telefonskih kablova, strujni signal se šalje do akvizitera podataka (data logger-a).

Kalibracija merača protoka podrazumeva uspostavljanje relacije između strujnog signala sa sonde i stvarne dubine vode. S obzirom na kvalitet postavljene opreme, neophodno je kalibraciju raditi barem dva puta godišnje.

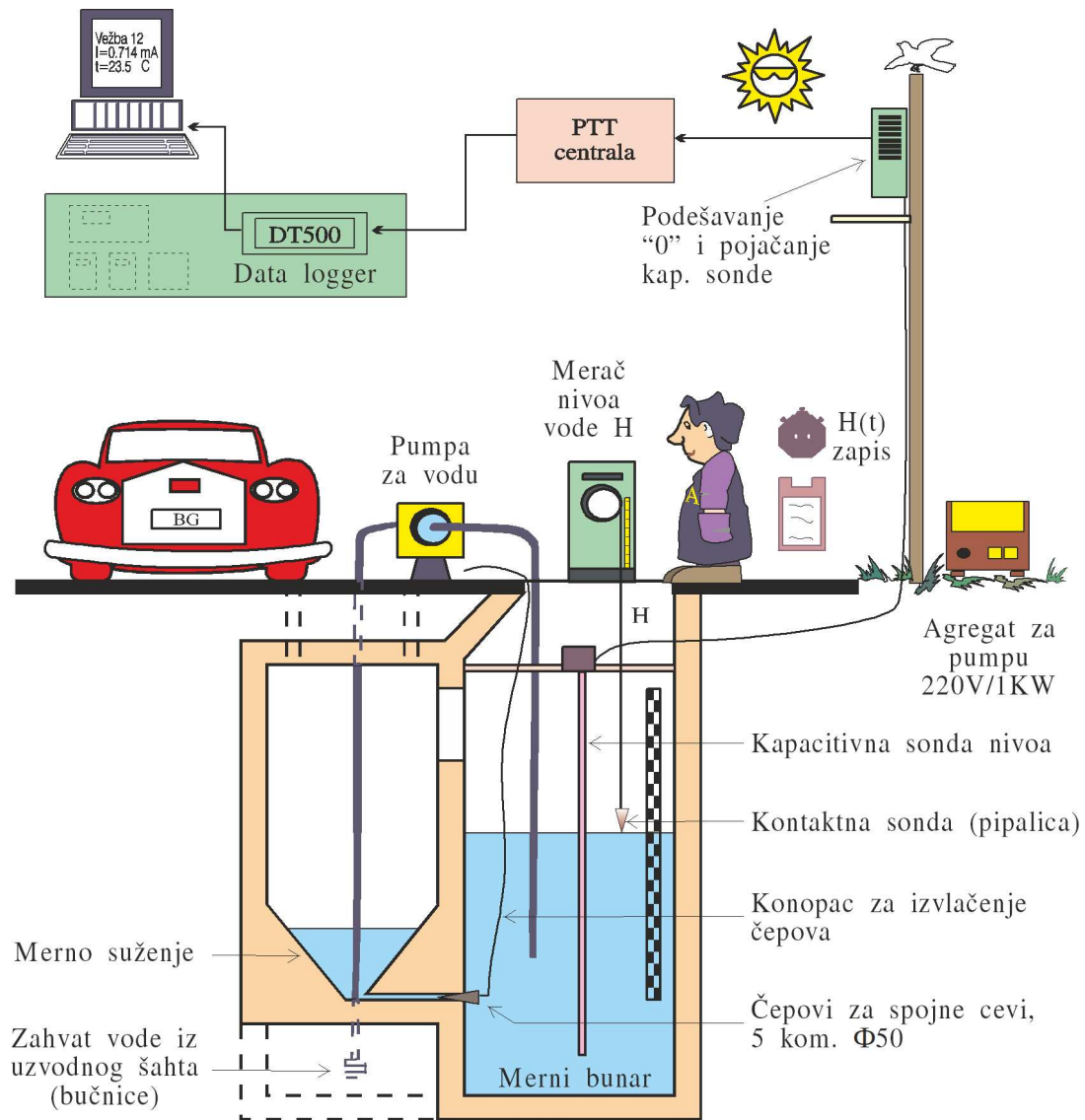
Zadatak 1 Pripremiti opremu za izvođenje terenske vežbe kalibracije merača protoka na “Miljakovcu”. Za izvođenje vežbe je potrebno:

1. pumpa kojom će se prazniti i puniti merni bunar,
2. agregat za struju, za napajanje pumpe,
3. creva, usisna korpa, žice za vezivanje pumpe, kanta i levak za nalivanje pumpe,
4. čepovi kojima će se zatvoriti cevi (5 komada) koje spajaju merni bunar i kanal,
5. toki-voki,
6. sonda za kontaktno merenje nivoa vode, sa zujalicom,
7. baterijska lampa, krpe, alat, metla, ribarske čizme, radno odelo.

Pre polaska na teren, proveriti da li je agregat za struju ispravan, doliti ulje, očistiti svećicu i filter za vazduh. Proveriti takodje usisnu korpu na pumpi, kao i stanje baterija u sondi za kontaktno merenje nivoa vode.

Zadatak 2 Pomoću prenosnog PC-ja i komunikacionog programa **DECIPHER**, promeniti parametre rada data logger-a na “Miljakovcu”, tako da sa uslovne akvizicije (akvizicija počinje kada padne kiša) predje u režim kontinualne akvizicije sa

vremenskim intervalom od 5 sec. Prethodno sačuvati eventualne podatke o kišnim događajima. Proveriti tačno vreme na data logger-u.



Zadatak 3 Očistiti merno suženje i uzvodni šaht za umirenje struje od nanosa. U merno suženje se ulazi sa nizvodne strane. Obavezno obući radno odelo i ribarske čizme.

Zadatak 4 Pomoću pumpe isprazniti merni bunar do kote -0.2 m (kota 0.0 m je na dnu kanala). U toku pražnjenja bunara, kada se ukažu vrhovi spojnih cevi, postaviti čepove kojima će se sprečiti dotok vode iz kanala u bunar i ubrzati pražnjenje. Čepove vezati odvojenim kanapima za poklopac šahta.

Kada se isprazni merni bunar, očistiti mernu letvu na zidu bunara. Premestiti pumpu iz mernog bunara u šaht uzvodno od merača protoka i početi sa punjenjem mernog bunara. Voditi računa da pumpa nepovuče mulj sa dna šahta.

Zadatak 5 Napuniti merni bunar do kote 0 m. Zaustaviti punjenje mernog bunara. Sondom za kontaktno merenje nivoa vode, izmeriti dubinu od površine terena. Zapisati u tabelu tačno vreme merenja (od ovog trenutka, sva merenja se obavljaju u realnom vremenu, pri čemu se pretpostavlja da je sat sinhronizovan sa satom u data logger-u). Uključiti pumpu (zapisati u koliko sati). Pomoću kontaktne sonde pratiti promenu dubine vode u bunaru. Pri tome, moguća su dva načina rada: sa konstantnim vremenom i sa konstantnim priraštajem dubine (u prvom načinu se na svakih 15 sec ili 30 sec beleži dubina vode, u drugom načinu se beleži vreme za koje se nivo vode podigne za 10 cm).

Po završenom punjenju bunara, isključiti pumpu i izvaditi čepove. Sačekati da se ustalio nivo vode u bunaru i izmeriti dubinu. Tako izmerenu dubinu koristiti za proveru da li postoji histerezis u silaznoj grani kalibracione krive.

Rezultat punjenja mernog bunara na slivu/podslivu

Red. br.	Dubina (cm)	Vreme (sati:minuti:sekundi)
Početak		
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
Kraj		

Zadatak 6 Snimiti podatke iz data logger-a o promeni struje kapacitivne sonde u realnom vremenu. Na osnovu tih podataka, i na osnovu podataka o promeni dubine vode u mernom bunaru, odrediti metodom najmanjih kvadrata linearnu zavisnost

$$H = A \times I + B$$

gde su H dubina vode [m], I struja sa sonde [mA], A i B koeficijenti koje treba odrediti. Za obradu podataka, koristiti **QUATTRO** sa opcijom import-ovanja ASCII fajlova.

Rezultat kalibracije kapacitivne sonde na slivu/podslivu je:

$$H[\text{m}] = A \times I[\text{mA}] + B$$

$A = \dots\dots\dots$ $B = \dots\dots\dots$

Napomena 1: Ova vežba se izvodi na terenu, na eksperimentanom slivu “Miljakovac”. Vežba je obimna, zahteva dobru pripremu i podelu posla. Za izvodjenje vežbe, predviđena su dva termina, u ukupnom trajanju od 4 časa.

Napomena 2: Programiranje data logger-a za akviziciju u toku kalibracije, kao i prenos podataka na PC će obaviti asistenti.

Napomena 3: Ako je grupa studenata velika, moguće je grupu podeliti na dva dela. Prvi deo grupe će raditi kalibraciju merača protoka, a drugi deo grupe kalibraciju kišomera, po sličnoj metodologiji kao u vežbi 9.

Eksperimentalni sliv “Miljakovac”

Opis sliva

Početak osamdesetih u stambenom naselju “Miljakovac II” je formiran eksperimentalni sliv za merenje padavina i njihovog oticaja (sledeća slika). Sliv čini deo urbanizovanog naselja u čiji sastav pored stambenih zgrada ulaze i park, dečije igralište i obdanište. Deo slivne površine prekriva šuma, dok su zgrade okružene parkiralištima i povezane stazama i asfaltiranim ulicama.

Površina eksperimentalnog sliva je 25.5 ha od čega su 10.5% krovovi, 25% ulice, trotoari i nepropusne površine igrališta i parkirališta. Najveći deo sliva oko 62.5% čine nepropusne površine, većinom zatravljene ili pokrivene drvećem. Zemljište je uglavnom glinovito.

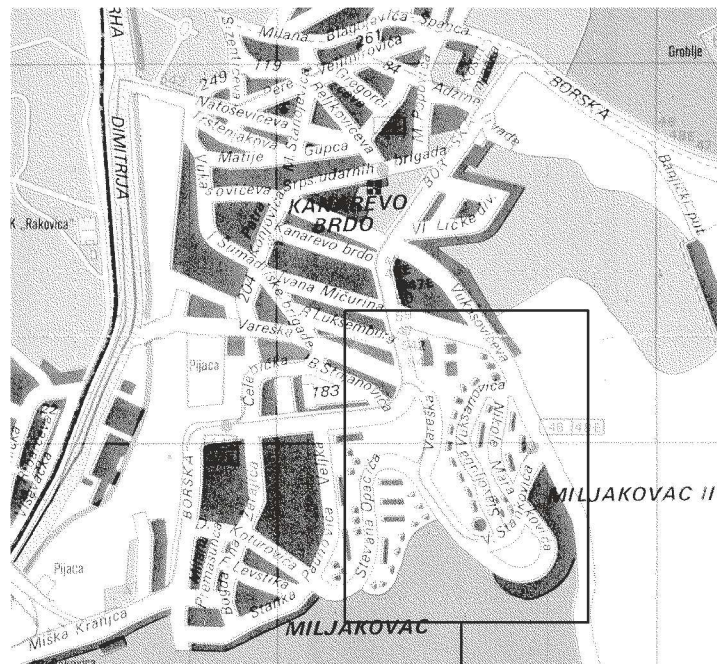
Brojna osmatranja oticaja kišnih voda sa gore opisanih površina dovela su do zaključka da značajan deo vode koji padne na nepropusne površine ponovo dospeva na propusno zemljište gde se dalje infiltrira u zemlju. To znači da se ove nepropusne površine ponašaju kao “neefektivne” sa stanovišta njihovog doprinosa oticaju. Kako u okviru eksperimentalnog sliva postoji nekoliko sportskih igrališta čije su površine nepropusne i koji su okruženi travnatim terenom, kao i veći broj asfaltiranih staza u okviru parka, to “neefektivne” nepropusne površine čine 52% od ukupne nepropusne površine sliva, odnosno 18% od totalne površine sliva.

Zapadni deo eksperimentalnog sliva je izdvojen kao celina, odnosno formiran je zaseban podsliv, pošto je topografija terena to dozvoljavala.

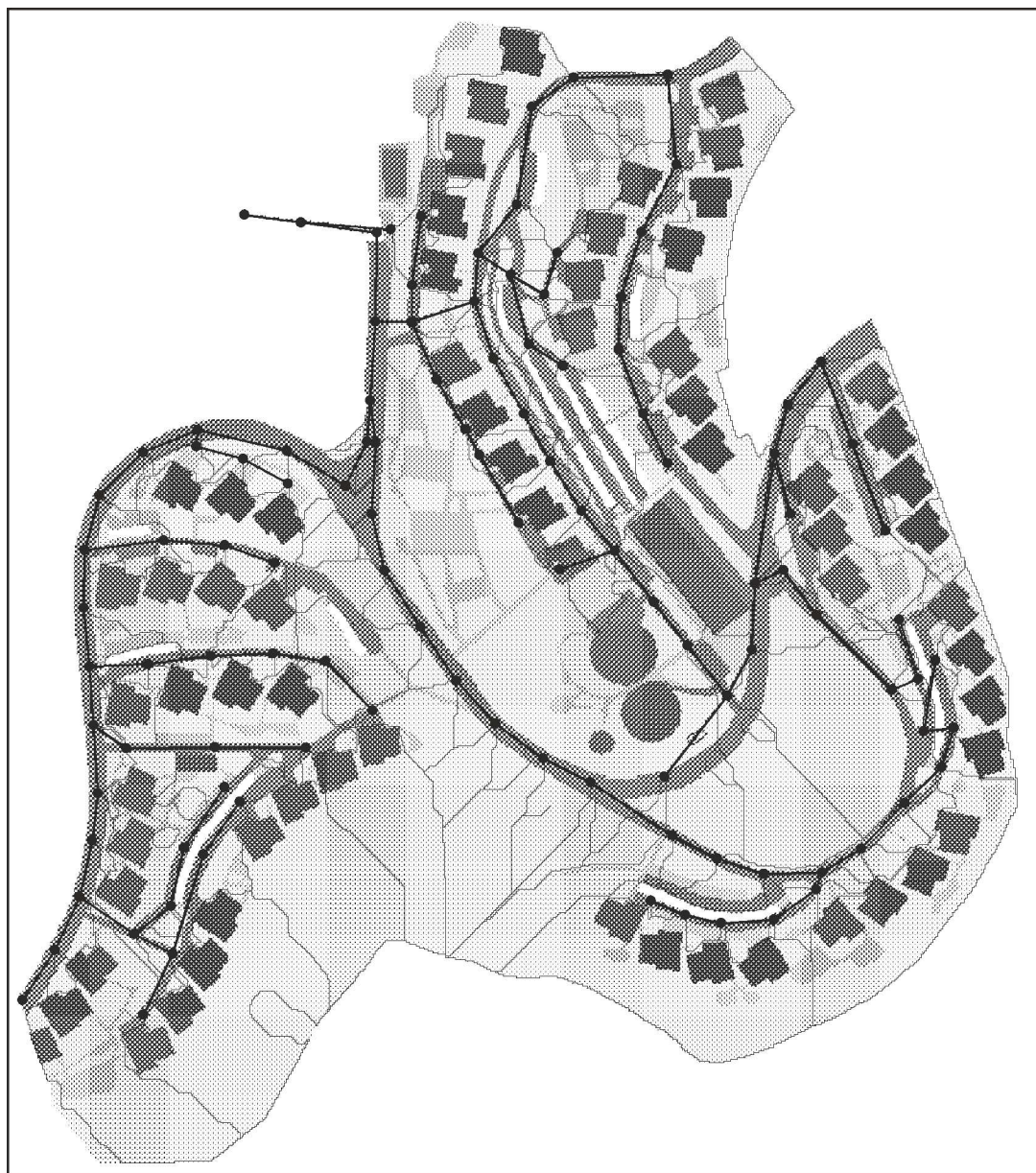
Separaciona kanalizaciona mreža se sastoji od cevi prečnika 300–600 mm, zatim 113 revizionih okana, 98 slivničkih rešetki, 2 velike slivničke rešetke, kao i dva kombinovana slivnika (bočni slivnik zajedno sa običnom slivničkom rešetkom. Mreža cevi zajedno sa ostalim objektima je prikazana na šemi kišne kanalizacije.

Dve velike slivničke rešetke, postavljene preko celog poprečnog preseka ulice, se nalaze na krajevima sliva i podsliva čime se onemogućava da pala voda na posmatranu površinu otekne (površinskim tokom) izvan posmatrane kanalske mreže. Laboratorijskim ispitivanjima je dokazano da njihova prijemna moć prelazi 150 L/s za podužni pad ulice od 0.5%. Tokom 1987. godine registrovan je oticaj od 120 L/s, čime je na terenu dokazana njihova propusna moć.

Da bi se dati sliv i podsliv mogli koristiti kao poligon za pouzdana merenja oticaja oni su morali a zadovolje izvesne uslove. Brojnim pregledanjem sliva je ustanovljeno da su sledeći uslovi ispunjeni:



Mapa eksperimentalnog sliva "Miljakovac"



Šema kišne separacione kanalizacione mreže sliva “Miljakovac”

1. Granice sliva (podsliva) su dobro definisane;
2. Ceo sistem kišne kanalizacije na slivu je u funkciji (nema zagušenja u sistemu);
3. Sliv obuhvata početak separacione kanalizacione mreže, tako da sa uzvodnih površina nema doticaja;

Ocenjeno je da konstantni bazni oticaj u kanalima kišne kanalizacije do 3 L/s, što se pripisuje podzemnim izvorima vode (u okviru sliva se nalazi i jedan izvor pitke vode).

Merna oprema i merenja

Trenutno se na Miljakovcu prate sledeće veličine:

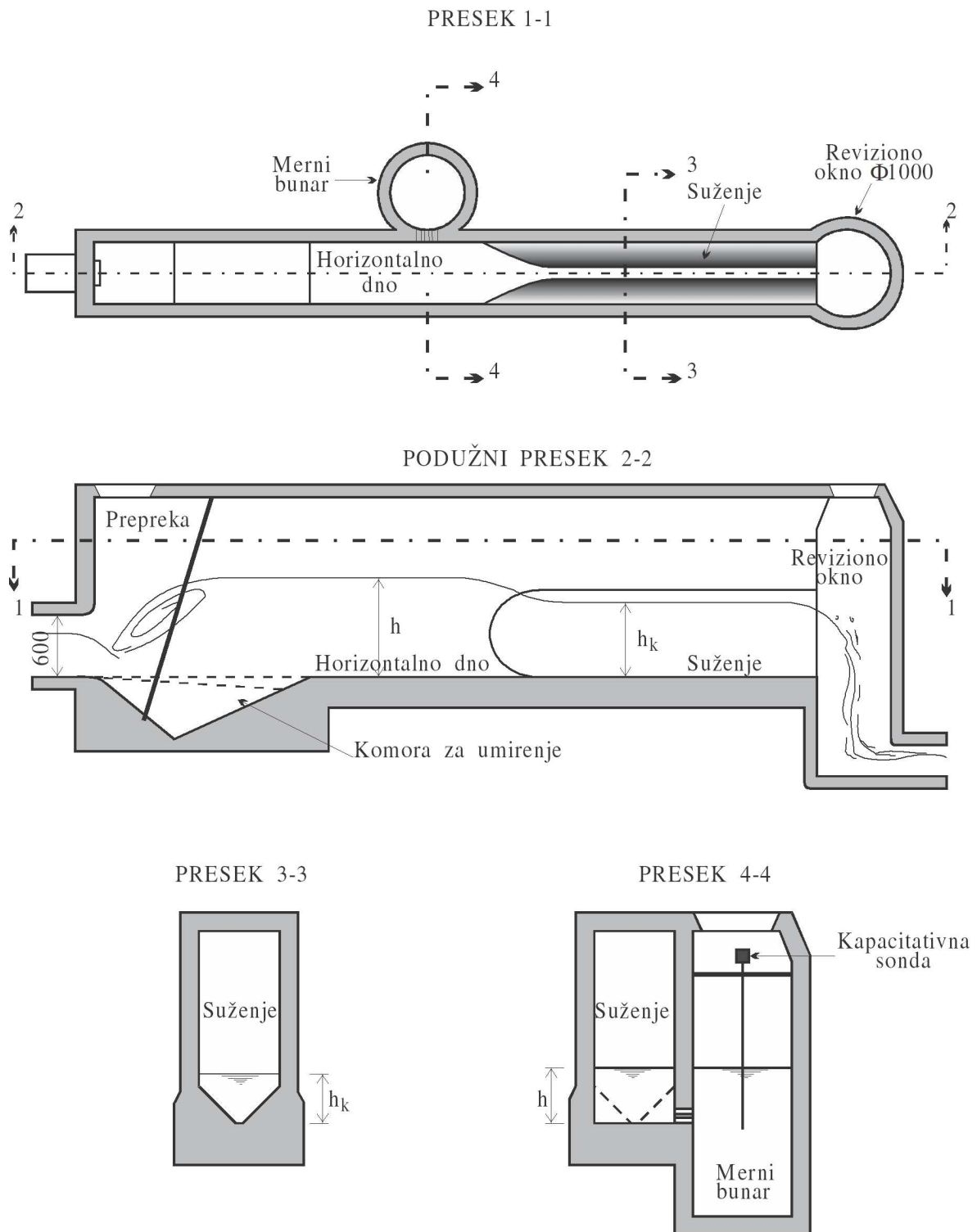
- padavine,
- oticaji,
- kvalitet površinskog oticaja sa urbanih površina.

Merenje padavina

Visina vodenog taloga se prati pomoću tri instrumenta:

1. Kišomerom - totalizatorom se meri visina vodenog taloga koja se nakupi u toku 24 sata.
2. Hellmann-ovim pluviografom sa papirnom trakom za merenje intenziteta kiše.
3. Pluviografom sa klackalicom koji je direktno povezan sa automatskim registratorom (data logger-om).

Sva tri instrumenta su smeštena na istom mestu (u dvorištu obdaništa), čime se omogućava njihova medjusobna provera. Najznačajniji je pluviograf sa klackalicom koji radi po sledećem principu: svaki put kad padne 0.2mm kišnog taloga uređaj registruje jedan otkucaj. Ako se beleže vremena javljanja pojedinih otkucaja mogu se računati intenzitet kiše kroz vreme kao i ukupna visina padavina.



Merač protoka u kanalu kišne kanalizacije smešten u reviziono okno br. 113

Merenje oticaja

Dva merača oticaja su smeštena u naknadno rekunstruisanim revizionim oknima sa oznakama 36 i 113. Na prethodnoj slici je prikazan merač protoka smešten u reviziono okno br. 113. Deo cevi je zamenjen pravougaonim kanalom sa suženjem za formiranje kritične dubine. Suženje je u obliku trapeza sa veoma malom donjom stranom (ista slika, poprečni presek 2-2). Merač je tastiran u laboratoriji, posle čega je u uzvodnom delu merača ugradjen čelični I profil, kao prepreka koja pomaže formiranju hidrauličkog skoka odnosno mirnog toka uzvodno od suženja. To je neophodno jer samo u uslovima mirnog tečenja će merena uzvodna dubina H odgovarati kalibrisanim proticajima Q . Dubina H se meri u umirujućem bazenu pomoću kapacitativne sonde, a zatim se pomoću laboratorijski dobijene krive $Q-H$ dolazi do veličien protoka. Jednom do dva puta godišnje mereni objekti se čiste, što obezbedjuje pouzdanost merenja.

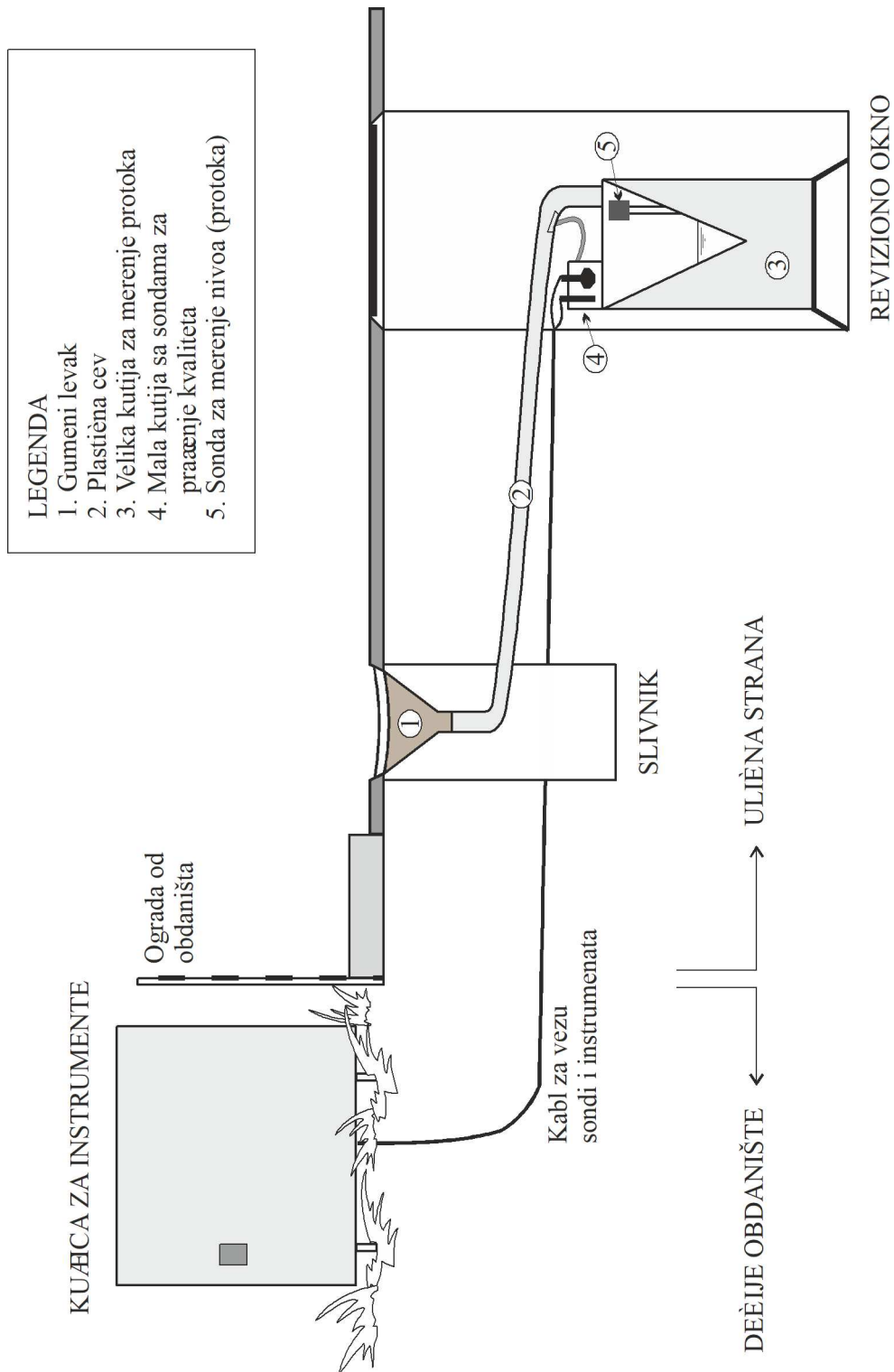
Dubina vode se registruje svakih 30 sec tokom padanja kiše i u toku 1 sata nakon njenog prestanka.

Praćenje kvaliteta površinskog oticaja sa urbanih površina

Merenje parametara kvaliteta površinskog oticaja na eksperimentalnom slivu "Mljakovac" je otpočelo 1992. godine. Izdvojena je površina asfaltirane ulice veličine $480 m^2$ sa koje se voda sliva u jedan slivnik kišne kanalizacije. Pomoću gumenog levka voda kišnog oticaja se skuplja u slivnik i dalje odvodi do najbližeg revizionog okna u kome je smeštena instalacija za kontinualno merenje parametara kvaliteta (prethodna slika). Oticaj sa ovog malog sliva se meri u kutiji (3) veličine $35 \times 30 \times 80$ cm sa kalibrisanim trougaonim otvorom. Ultrazvučnom sondom se meri dubina vode u kutiji i dalje se pomoću u laboratoriji dobijene kalibracione krive računa protok Q . U maloj kutiji (5) se nalaze sonde za kontinuirano praćenje sledećih parametara kaliteta:

- mutnoća: prati se pomoću opto-električnog senzora,
- elektrolitička provodljivost: meri se senzorom i analognim meračem provodljivosti koji odmah koriguje vrednosti u odnosu na temperaturu vode,
- pH faktor: meri se pomoću pH-metra,
- temperatura: meri se pomoću termo-ćelije koja se nalazi u glavi senzora merača mutnoće.

Svi gore navedeni parametri kvaliteta zajedno sa dubinom vode u kutiji (3) se mere svakih 10 sec tokom padanja kiše i narednih 30 min nakon njenog prestanka. Svi



Šema instalacije za merenje kvaliteta površinskog oticaja kiša sa asfaltne površine od 480 m²

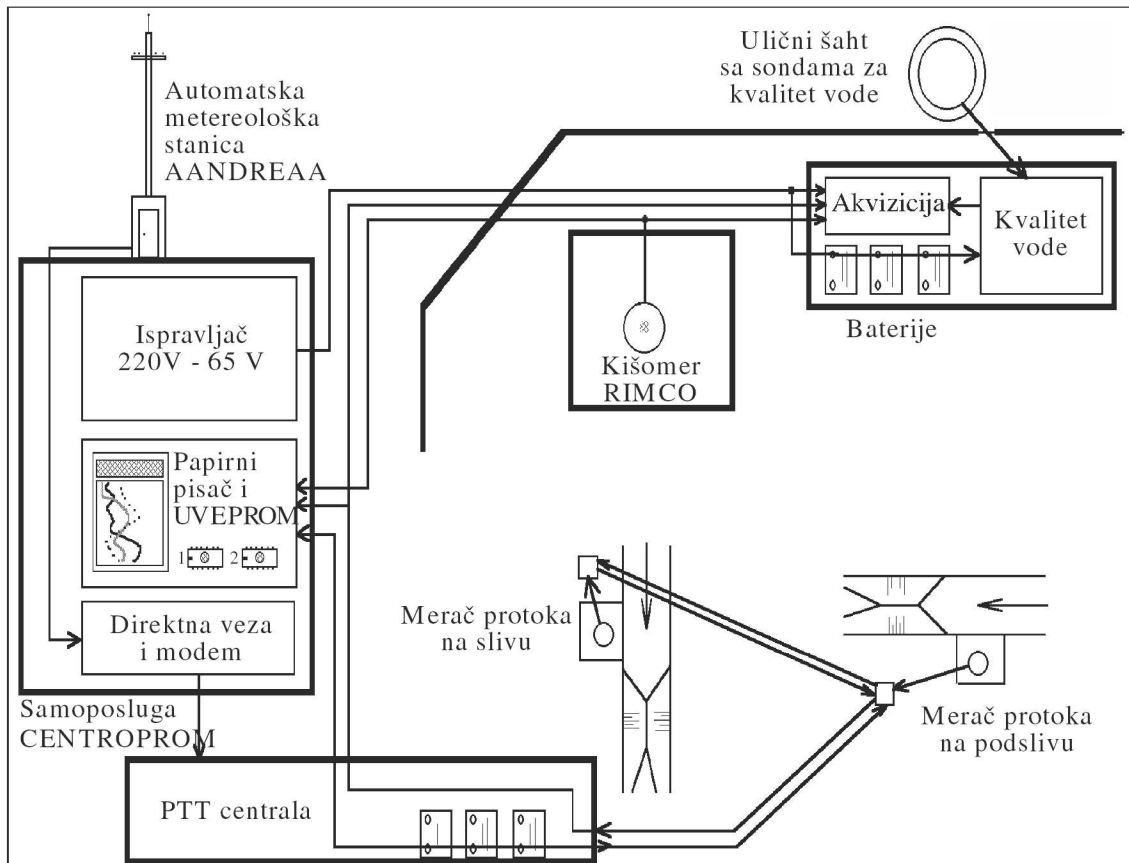
instrumenti na koje su vezane sonde se nalaze u obližnjoj kutiji (6), gde je smešten i automatski registrator mernih podataka (data logger).

Postoji takodje program praćenja količine akumulisane prašine na asvaltnoj površini ovog malog sliva. Predviđeno je da se bar jednom sedmično usisava sa sedne određene površina i da se merenjem količine usisane prašine prati njena akumulacija.

Registrowanje podataka

Na sledećoj slici je data šema prikupljanja podataka na eksperimentalnom slivu. Signali iz merača nivoa u mernim objektima podsliva i sliva se preko telefonskih kablova i telefonske centrale šalju do zgrade samousluge "Centroprom" gde se nalazi trokanalni pisač sa papirnom trakom. Do ovog uređaja dolaze i signali o visini kiše i sve zajedno se beleži na papirnu traku. Ovo je bio stari način zapisa podataka koji je i dalje zadržan radi sigurnosti merenja. Od 1991. godine uveden je novi sistem gde se svi signali skupljaju u automatskom registratoru podataka (data logger) koji se nalazi u kutiji instrumenata za kvalitet. Data logger skuplja sve merene podatke (o visini padavina, oticaju i kvalitetu), i dovoljno je jednom u nekoliko nedelja ove podatke preuzeti pomoću pokretnog PC računara.

Pored ovde opisanih uređaja predviđa se i postavljanje automatske meteorološke stanice **AANDERAA 3064** koja se trenutno nalazi u laboratoriji Instituta za hidrotehniku. Ovim uređajem bi se automatski pratili brzina i pravac vetra, temperatura vazduha, relativna vlažnost vazduha, neto sunčeva radijacija, trajanje sunčeve svetlosti, intenzitet kiše i providljivost kišnice. Stanica treba da bude postavljena na krovu zgrade u kojoj se nalazi pomenuta samoposluga.



Šema sistema za prikupljanje izmerenih podataka

Dodatak A

Kratak uvod u MS DOS

MS DOS predstavlja operativni sistem personalnog računara odnosno skup programa bez koga bi njegova upotreba bila gotovo nemoguća. Ovde su date samo osnovne naredbe MS DOS-a koje treba da pomognu da prilikom obrade izmerenih rezultata tokom vežbanja iz predmeta **Merenja u hidrotehnici**. Za ozbiljnije upoznavanje sa DOS-om može poslužiti bilo koja knjiga koja se bavi ovom tematikom.

Fajl, direktorij i disk

Fajl (datoteka) je mesto gde se smešta skup informacija određene vrste i značenja. Svaki fajl ima svoje ime i ekstenziju, koji su razdvojeni tačkom. Ime fajla je reč od najviše 8 simbola (slova, brojeva i nekih znakova), dok ekstenzija ima najviše 3 simbola. Ekstenzija govori o tipu datoteke. Primer:

RADA.DOC

DUNAV01.DAT

PERA.WQ1

Direktorij (katalog) je organizovan skup fajlova koji su tako odvojeni od ostalih fajlova (obično korisnik pravi direktorije tako da u njih smešta fajlove koji su vezani za jedan posao ili fajlove slične vrste). Ime direktorija se sastoji od najviše 8 simbola.

GRAFICI

MERENJA

MARK02

Disk je najveća organizaciona jedinica na kojoj se nalaze direktoriji rasporedjeni po hjerarhijskom principu (vidi sliku). Obeležavaju se sa po jednim slovom. Obično se koriste sledeća slova:

A

B

C

D

E

F

G

Slova A i B su rezervisana za flopi diskove koji su u stvari diskete veličine $5\frac{1}{4}$ i $3\frac{1}{2}$ inča. Ostala slova se odnose na sekcije hard diska.

Moguće je imati fajlove istog imena a različitog sadržaja smeštene u dva različita direktorija, ili na dva različita diska. Isto važi i za imena direktorija.

Promena direktorija i kretanje unutar strukture

Kada se računar uključi na ekranu se pojavljuje: `c:\`, odnosno ROOT (koren) C diska. Ako su računari na kojima se radi povezani u mrežu, treba otkucati:

```
c: \ MREZA
```

i zatim password: BILOKOJAREC

(ovo se preskače kod PC koji nisu umreženi).

Kada se dobije odgovor:

```
g:\
```

dalje se dolazi do željenog direktorija na jedan od sledećih načina:

- Pomoću Norton Change Commander-a, kucanjem:

```
g:\ NCD
```

pojaviće se slika 1. Pomeranjem kursora po ekranu pomoću strelica na tastaturi osvetli se traženi direktorij (naprimer direktorij **MERENJA**), pritisne , i na ekranu će se pojaviti:

```
g:\ studenti \ merenja \
```

- Isti odgovor se dobija i pomoću naredbe Change Directory, odnosno kucanjem naredbi:

```
g:\CD STUDENTI
```

```
      (na ekranu g:\ studenti \)
```

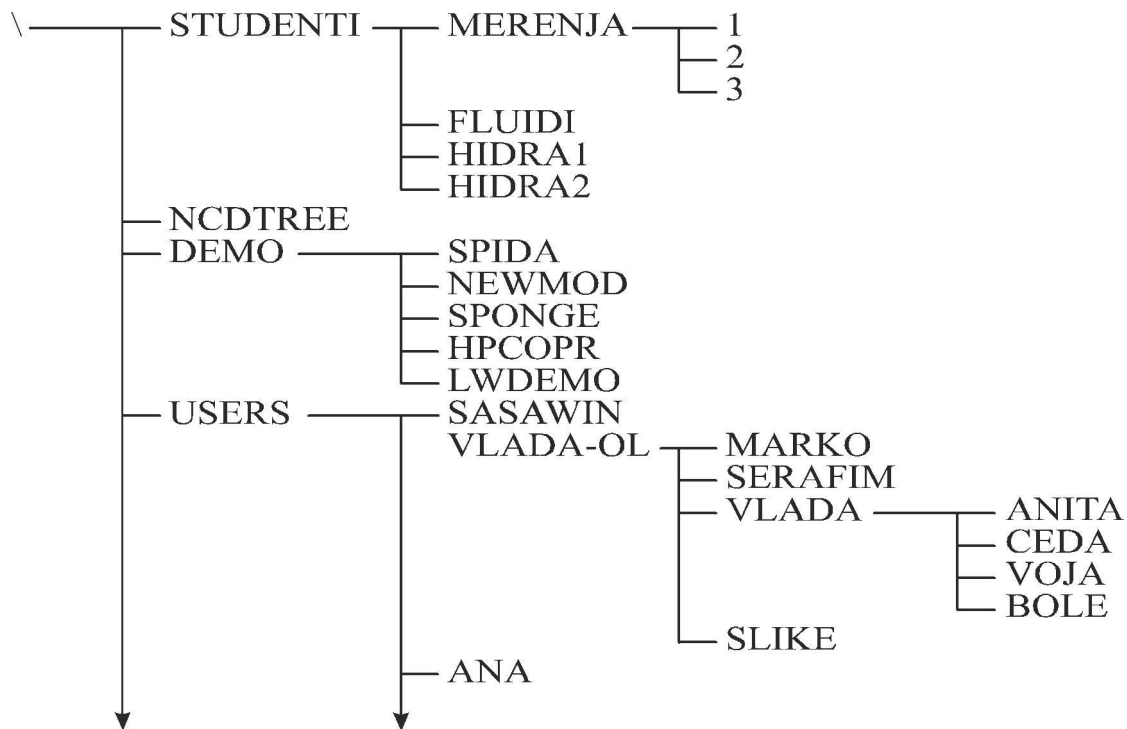
```
g:\ studenti \ CD MERENJA
```

```
      (na ekranu g:\ studenti \ merenja \)
```

Sa nešto izmenjenom CD naredbom vraća se na jedan nivo niže. Naime, sa direktorija **MERENJA** vraća se na direktorij **STUDENTI** kucanjem:

```
g:\ studenti \ merenja \ CD..
```

```
      (na ekranu g:\ studenti \)
```



Organizacija direktorija na G: disku

Kucanjem ponovo iste naredbe vraća se na root (`g:\`). Umesto dva uzastopna kucanje iste naredbe: `CD..` identičan odgovor se dobija naredbom:

```
g:\ studenti \ merenja \ CD\
```

Ova naredba vraća na root sa bilo kog direktorija.

Kreiranje direktorija i fajlova

1. Kreiranje direktorija:

Ako sa direktorija `MERENJA`, treba da se kreira novi direktorij koji se zove `1` (vidi sliku) to se čini na jedan od sledećih načina (posle svake ispisane naredbe treba pritisnuti `enter` pa se u daljem tekstu to više neće ponavljati):

- Naredbom Make Directory:

```
g:\ studenti \ merenja \ MD 1
```

(kreiranje direktorija `PERA` bilo bi: `MD PERA`), dalje se treba postaviti na taj direktorij naredbom: `CD 1`.

- Pomoću Norton Change Commander-a:
pritiskom na taster **F6** pojaviće se osvetljeno mesto u koje treba da se upiše ime novog direktorija.

2. Kreiranje fajlova:

Podaci se unose u fajl, ili preko editora, ili to čine sami programi tako što rezultate šalju u fajl čije ime treba zadati.

NORTON editor je jedan od najrasprostranjenijih i najlakših za korišćenje. Ovaj editor se startuje naredbom:

a: E *ime fajla*

gde je *ime fajla* puno ime datoteke uključujući i ekstenziju, na primer RADA.DOC.

Listanje fajlova

Da bi se videlo koji su sve fajlovi smešteni u jedan direktorij, treba otkucati naredbu:

g:\ studenti \ merenja \ DIR

i na ekranu će se pojaviti lista imena svih fajlova koji se nalaze u direktoriju MERENJA.

Ako je ta lista dugačka bolje je koristiti naredbu za listanje po stranama:

g:\ studenti \ merenja \ DIR/P

(ova naredba je kraće definisana kao **D**)

Za pregled sadržaja jednog fajla koristi se naredba:

a:\ LIST DUNAV.DAT

(Kraći oblik ove naredbe je: L DUNAV.DAT) Na ekranu će se prikazati sadržaj datoteke DUNAV.DAT bez mogućnosti da se nešto od njenog sadržaja menja (za izmenu sadržaja fajla koriste se editori).

Kopiranje fajlova - naredba COPY

Ova naredba služi za kopiranje jednog fajla u drugi, bez razlike da li drugi fajl već postoji ili ne. Navode se samo neki oblici naredbe COPY:

- Kopiranje fajla u drugi fajl novog imena koji se nalazi na **istom** direktoriju:
g:\ studenti \ merenja \ COPY RADA.DOC PERA.DOC

Ovim je fajl PERA.DOC postao identičan sa fajlom RADA.DOC. Ako PERA.DOC ranije nije postojao ovim će biti kreiran, a ukoliko je u njemu već bio neki zapis on će biti izbrisan i zamenjen sa zapisom iz RADA.DOC.

- Kopiranje fajla u drugi fajl istog imena koji se nalazi na nekom **drugom** direktoriju:

```
g:\ studenti \ merenja \ COPY RADA.DOC A:
```

Ovim je fajl RADA.DOC sa direktorija MERENJA kopiran na disketu A i to pod istim imenom.

```
g:\ studenti \ merenja \ COPY RADA.DOC G:\ STUDENTI
```

Ovim je fajl RADA.DOC kopiran u fajl istog imena (RADA.DOC) ali koji se nalazi na direktoriju STUDENTI.

- Kopiranje fajla u datoteku drugog imena koja se nalazi na nekom drugom direktorijumu:

```
g:\ studenti \ merenja \ COPY RADA.DOC G:\ STUDENTI \ PERA.DOC
```

Ovom naredbom se slično kao u prvoj tački kopirao fajl RADA.DOC sa direktorija MERENJA u fajl PERA.DOC koji se smešta u direktorij STUDENTI.

Napominje se da je iste rezultate moguće dobiti i korišćenjem naredbe COPY na drugi način.

Brisanje fajlova - naredba DEL

Navode se neki od oblika ove naredbe:

- Brisanje jedinog fajla:

```
g:\ studenti \ DEL PERA.DOC
```

Ovim je fajl PERA.DOC potpuno izbrisan iz direktorija STUDENTI (ako se otkuca DIR njegovo ime neće biti na listi fajlova).

- Brisanje grupe fajlova jednog direktorija: moguće je obrisati sve fajlove koji imaju slična imena, odnosno čija se imena razlikuju samo u nekoliko simbola, tako što se u gore navedenoj naredbi ti simboli zamene sa znakom *:

```
g:\ studenti \ DEL PERA.*
```

Onom naredbom se brišu svi fajlovi koji imaju ime PERA bez razlike na njihovu ekstenziju (to znači da će fajlovi PERA.DAT, PERA.DAT, PERA.WQ1, ... biti obrisani, naravno ukoliko su postojali na direktoriju STUDENTI).

```
g:\ studenti \ DEL DUNAV*.DAT
```

Ovim se brišu fajlovi čija imena počinju sa: DUNAV, a ekstenzija im je svima DAT, odnosno bili bi izbrisani DUNAV01.DAT, DUNAV2.DAT, DUNAVAC.DAT, ... naravno samo ako postoje.

- Brisanje celokupnog sadržaja jednog direktorija:

```
g:\ studenti \ DEL *.*;
```

a zatim se na pitanje: **Are you sure?** odgovori sa: Y

i time je sadržaj celog direktorija STUDENTI uništen.

Treba biti oprezan sa ovom naredbom!

Napomena 1: Jedan broj naredbi opisanih u ovom tekstu su tzv. “komandni” fajlovi, koji predstavljaju uobičajeni skraćeni način izvršavanja jedne ili više drugih osnovnih naredbi ili programa. Ovakve naredbe funkcionišu na identičan način na svim računarima koji će se koristiti u okviru vežbanja iz predmeta **Merenja u hidrotehnici**.

Dodatak B

Uvod u program QUATTRO

Program QUATTRO čini kombinaciju programa za obradu radnih tabela, baza podataka i grafika. U predmetu **Merenja u hidrotehnici** on će se koristiti za unos i čuvanje izmerenih rezultata, za njihovu obradu i grafičko prikazivanje.




U ovom kratkom priručniku su navedene samo osnovne najpotrebnije funkcije programa. Ostale mogućnosti mogu se savladati tokom rada uz pomoć programskog HELP-a.

Startovanje i izlazak iz programa

- Startovanje programa: preći na pod-direktorijum QPRO, otkucati komandu Q (i + pojavljuje se mali prozor u kome program pita da li treba da izgubi izmene koje su učinjene. Ako se odgovori sa **No** (postavi se kursor na ovu opciju i pritisne , ili otkuca), i dalje se ostaje u programu. Ako se odgovori sa **Yes** program se napušta, i svi zapisi koji su tom prilikom uneti bivaju nepovratno izgubljeni. Ako se odgovori sa **Save and Exit** program će dalje pitati:
 - Cancel - vraćanje u program;
 - Replace - program pamti nov zapis na mestu starog i napušta QUATTRO. (ovu opcija se najčešće koristi da bi sačuvali unete izmene);

- Backup - ovim se formira novi fajl tako da su i stari i izmenjeni zapis zabeleženi.

Osnovni elementi programa

- **Radna tabela (spreadsheet):** Kada se program startuje na ekranu će se pojaviti tabela sa kolonama označenim slovima **A, B, C, ...**, i vrstama označenim brojevima **1, 2, 3, ...**. Svaka tabela ima 256 kolona i 8192 vrsta.
- **Ćelija radne tabele** je pravougaonik koji se nalazi u preseku jedne kolone i jedne vrste, prema kojima se i označavaju: **B5** je ćelija koja se nalazi u 5-toj vrsti kolone B. Svaka ćelija sadrži po jedan podatak (broj, formulu ili deo grafika) čiju vrednost vidimo na ekranu.
- **Linija opisa:** Kada se osvetli jedna ćelija (pravougaonik), u gornjem desnom uglu (druga linija od vrha ekrana) pojavice se pravi sadržaj te ćelije. Naime ako je u ćeliju upisana formula, ona će ovde i biti prikazana, dok je u osvetljenom pravougaoniku data izračunata vrednost te formule.
- **Glavni Meni** se nalazi na samom vrhu ekrana. Pritiskom na taster  ulazi se u ovaj meni i dalje se po njemu kreće pomoću strelica na tastaturi. Opcija iz menija se bira ili pozicioniranjem kursora strelicama na datu opciju i pritiskom na , ili kucanjem slova iz naziva opcije koje je označeno drugim bojom. Iz linije menija se izlazi pritiskom na taster .
- **Statusna linija** se nalazi na dnu ekrana i u njoj su prikazani: ime radne tabele, CAP (unos velikih slova), NUM (stanje rada numeričke tastature), READY (spremnost programa da prihvati novi podatak).

Kreiranje radnih tabela

Kretanje po radnoj tabeli

Kretanje po radnoj tabeli se ostvaruje kursorskim strelicama i komandnim tasterima (nalaze se u sklopu kursorskih strelica). U tablici su data objašnjenja za pojedine funkcije:

Strelice	ćelija u pravcu strelice
Page Up	strana gore
Page Down	strana dole
Shift - Tab	ekran u levo
Tab	ekran u desno
End - strelica	ako polazna ćelija sadrži podatak kursor će se pomeriti na sledeću popunjenu ćeliju iznad koje se nalazi prazna, a ukoliko je polazna ćelija prazna kursor se pomera do prve popunjene i to sve u smeru u kojem ste pritisnuli strelicu
Home	vraća vas na ćeliju A1
End	donji desni ugao tabele
F5	zahteva unos adrese ćelije

Unošenje podataka u ćelije tabele, njihova izmena i brisanje

1. Upis podatka:

- Kursor se pozicionira na ćeliju u koju se želi da unese podatak;
- Ukuca se podatak na tastaturi;
- Pritisne se taster enter i u ćeliji će se pojaviti rezultat onog što je otkucano.

Podaci se mogu podeliti u četiri grupe:

- *Konstantne brojne vrednosti*: ne zavise od sadržaja drugih ćelija. Kursor se pozicionira na ćeliju, otkuca se broj i pritisne enter.
 - *Nazivi ili tekst* se unose na isti način kao i brojne konstante, ali im sam program ispred unete reči dodaje ' (ovaj podatak se zove LABEL).
 - *Formule* odnosno matematičke operacije između podataka iz tabele: objašnjenje se daje primerom:
 - U ćeliji A1 je broj 1
 - U ćeliji A2 je broj 2
 - Ako se želi da u ćeliji A3 bude $A3 = A1 + A2$ pozicionira se kursor na ćeliju A3, otkuca +A1+A2 i pritisne enter.
- + ili - ispred prvog sabirka je neophodan da program ne bi formulu shvatio kao label.

2. Menjanje sadržaja ranije upisanog u ćeliju:

- Pozicionirati kursor na ćeliju čiji sadržaj treba promeniti;
- Pritisnuti taster **[F2]** i kursor će se naći u liniji opisa ćelije (druga linija od vrha). Posle izvršene izmene pritisnuti **[enter]**.

3. Brisanje podataka iz ćelije:

- Pozicionirati kursor na ćeliju čiji sadržaj treba izbrisati i pritisnuti **[Del]**

Unos i sredjivanje grupe podataka (blokova) korišćenjem opcije EDIT

Ući u glavni meni pritiskom **[/]**, pa zatim **[Edit]**. Na ekranu će se pojaviti novi meni sa svim mogućnostima lakšeg unosa podataka. Ovde se navode samo neke od opcija EDIT menija, dok se značenje ostalih lako dobija pomoću HELP-a (pritiskom na **[F1]**).

Označavanje blokova: svaka od opcija koja je opisana u ovoj tački zahteva označavanje bloka, ili blokova sa kojima se radi:

- Postaviti kursor na ćeliju koja predstavlja gornji levi ugao bloka, i na liniji stanja (na kojoj je ispisano pitanje o kom bloku se radi) treba da se pojavi adresa te ćelije (npr. **B7**). Ukoliko se pojavi nešto drugo (adresa neodgovarajućeg bloka), treba pritisnuti **[Esc]** i ponovo se postaviti na isto mesto;
- Pritisnuti taster tačke **[.]**
- Strelicama namestiti kursor u donji desni ugao bloka (npr. **F17**) i ceo blok (**B7 ... F17**) će biti označen drugim bojom na ekranu;
- Pritisnutu **[enter]** i na liniji stanja će se pojaviti adresa bloka (u datom primeru **B7 ... F17**).

Napomena 1: Označavanje blokova se radi nakon aktiviranja neke od opcija navedenih u nastavku.

Osnovne mogućnosti EDIT opcije glavnog menija:

1. Kopiranje blokova se obavlja sledećim operacijama:

- **[/]** **[Edit]** **[Copy]**
(ili zajedničkim pritiskom tastera: **[Ctrl] + [C]**)
- Obeležiti blok koji se kopira;
- Postaviti kursor ili upisati adresu gornje leve ćelije gde kopirani blok treba postaviti, odnosno označiti tačnu veličinu novog bloka;

- Pritisnuti
2. **Pomeranje bloka** sa jednog mesta radne tablice na drugo se obavlja na sličan način kao i kopiranje:
- - (ili zajedničkim pritiskom tastera: +)
 - Obeležiti blok koji se pomera;
 - Postaviti kursor ili upisati adresu gornje leve ćelije gde blok treba da se premesti;
 - Pritisnuti
3. **Brisanje blokova** se obavlja na sličan način:
- - (ili zajedničkim pritiskom tastera: +)
 - Obeležiti blok koji se briše;
 - Pritisnuti
4. **Unos aritmetičkog niza** kao grupe podataka. Primer: kolona A11 ... A60 treba da sadrži redne brojeve merenja: 1, 2, 3, ...,50):
- - Označiti blok u koji se vrši unos: A11 do A60;
 - Na pitanje: *Starting value*: odgovoriti sa: **1**
 - Na pitanje: *Step value*: odgovoriti sa: **1**
 - Na pitanje: *Stop value*: odgovoriti sa: jer ako je dobro označen blok on će ovim biti popunjen do kraja.
5. **Davanje imena blokovima** olakšava rad sa blokovima, tako što se umesto adrese bloka uvek može koristiti dato ime:
- - Upisati novo ime ili ime postojećeg bloka koji treba da se modifikuje;
 - Označiti blok;
 - Pritiskom označeni blok će dobiti upisano ime.
- Opcija NAME pruža još neke mogućnosti, kao što su brisanje imena blokova, prikaz postojeće liste imena blokova.

U okviru EDIT opcije postoji još mogućnosti (npr. umetanje i brisanje kolona i vrsta), čije kratko objašnjenje je prikazano na poslednjoj liniji ekrana, kada se kursor pozicionira na datu opciju. Šira objašnjenja su data u HELP-u (koji se aktivira pritiskom na **F1**).

Uredjenje radne tabele - opcija STYLE

1. Širina kolona

Širina kolone se može menjati na sledeći način:

- Osvetliti bilo koju ćeliju kolone čiju širinu treba menjati, i otkucati:

- **/** **Style** **Column width**

(ili pritisnuti istovremeno tastere: **Ctrl** + **W**)

- U liniji za editovanje upisati umesto stare cifre, novu koja predstavlja širinu data kolone (broj simbola u ćeliji).

Napomena 2: Ako je sadržaj ćelije broj koji ima više cifara od definisane širine ćelije, tada će se na ekranu pojaviti zvezdice. Ako je sadržaj ćelije label tada će ceo tekst biti ispisan na ekranu samo ukoliko su levo od te ćelije prazna polja.

2. Format numeričkih podataka

- **/** **Style** **Numeric Format**

(ili zajedničkim pritiskom tastera: **Ctrl** + **F**)

- U prozoru na ekranu će biti poredjane sve mogućnosti prikaza numeričkih podataka. Ovde će biti objašnjene samo dve od njih:

- **Fixed:** brojevi se prikazuju sa fiksiranim brojem decimala, čiji broj treba upisati u gornjem uglu novootvorenog prozora.
- **Scientific:** brojevi se prikazuju u eksponencijalnom zapisu, gde takodje broj decimala treba zadati.

- Označiti blok u kome treba da podaci budu prikazani u zadanom formatu.

- Pritisnuti **enter**

U okviru STYLE opcije postoji još mogućnosti uredjenja radne tablice, izmedju ostalog i crtanje okvira oko grupe podataka (Line Drawing), menjanje fonta u okviru bloka (Font), obeležavanje preloma strane (Insert Break).

Matematičke mogućnosti programa

1. Formule i funkcije

Formule se upisuju na standardan način tako što se kao promenljive koriste adrese ćelija. Obavezno počinju sa jednim od znakova + ili - (inače program shvata formulu kao label). Ovde se navodi jedna od najvažnijih mogućnosti programa koja se često koristi:

Kopiranje formule: neka je u koloni **B** upisana serija izmerenih vrednosti X , počev od vrste 11 pa sve do vrste 60 (blok B11 ... B60). Treba izračunati odstupanje svakog merenog podatka od srednje vrednosti $\bar{X} = 10$ i te rezultate smestiti u kolonu **C** (od C11 do C60):

- U ćeliju C11 upisati: +B11 - 10

- Iskorirati ovu ćeliju (blok koji se kopira ima adresu C11 ... C11) na blok C11 ... C60 (naredba COPY).

Ako se kursorom kreće po koloni C vidi se je u svakoj ćeliji C_i upisana formula $+B_i - 10$, dok se na ekranu pojavljuje izračunata vrednost za dato B_i .

Slično pomeranje bi se dobilo pri kopiranju po redovima. Treba voditi računa da se pomeranje pri kopiranju formula vrši translatorno, odnosno ako je izvorna kolona funkcija kolone koja se nalazi dva mesta ispred tada će i kopirana kolona biti funkcija kolone koja se nalazi dva mesta ispred položaja kopiranog bloka.

Komanda "\$": Kada se želi da u formuli kojim se definiše vrednost neke ćelije figuriše konkretna vrednost iz neke druge ćelije, a ne da se ona po nekoj formuli računa, koristi se komanda "\$". Na primer: ako je u koloni B u prvoj vrsti upisan broj 10, u drugoj vrsti formula $+B1+10$, "kopiranje" ove formule u sledeće ćelije kolone davaće odgovarajuće izraze $+B2+10$, $+B3+10$, ..., čije će vrednosti biti 30, 40, ... (kao što je već objašnjeno u prethodnom pasusu); ali, ako je u drugoj vrsti formula $+\$B\$1+10$, pa se ona kopira u sledeće ćelije, dobijaju se iste formule $+\$ B\$1+10$, $+\$B\$1+10$, ..., čije su vrednosti 20, 20,

Funkcije koje koristi ovaj program obavezno počinju znakom @ ("at"), dok im se argument piše u zagradama iza oznake. Lista funkcija kojim program raspolaže će se pojaviti poredjane po azbučnom redu u prozoru koji se otvara zajedničkim pritiskom na tastere Alt i F3. Značenje svake od njih se može naći u HELP-u. QUATTRO nudi veliki izbor funkcija svrstanih u nekoliko kategorija. Ovde će se uglavnom koristiti *matematičke* i *statističke* funkcije.

- Matematičke funkcije se obeležavaju standardnim oznakama, uz dodavanje znaka @ na početku: @ABS(x), @INT(x), @SIN(x), @TAN(x), @LOG(x), @EXP(x), ..., gde je x broj ili adresa ćelije.

- Statističke funkcije se daju u priloženoj tabeli, gde (lista) predstavlja grupu podataka koji se obradjuju, datu kao adresa bloka (npr. B11, ... , B60), ili kao ime bloka.

@AVG (lista)	srednja vrednost podataka iz liste
@MAX (lista)	maksimalna vrednost podataka iz liste
@MIN (lista)	minimalna vrednost podataka iz liste
@SUM (lista)	suma svih vrednosti podataka iz liste
@STD (lista)	standardno odstupanje populacije date u listi
@STDS (lista)	standardno odstupanje uzorka datog u listi
@VAR (lista)	varijansa populacije date u listi
@VARs (lista)	varijansa uzorka datog u listi

2. Računanje frekvencija

Ovom opcijom se dolazi do empirijske raspodele nekog slučajnog uzorka. U-potreba ove opcije biće objašnjena na primeru određivanja učestalosti merene veličine X , čijih pedeset vrednosti je zapisano u koloni B (B1 ... B50). Pretpostavimo da: $0 < X < 70$ i da treba odrediti frekvenciju javljanja X sa širinom intervala klase 5 (odnosno zadaju se klase: 0-5, 5-10, 10-15, ... 65-70).

- Najpre treba formirati **BIN** blok, odnosno kolonu u kojoj su upisane granice klasa frekvencija poredjane u rastućem nizu¹. U datom primeru BIN kolona je niz 0, 5, 10, 15, ..., 65, 70, koji je najlakše kreirati opcijom FILL iz EDIT menija. Potrebno je voditi računa da desna kolona od BIN kolone bude prazna jer se u nju smešta rezultat. Neka u ovom primeru BIN blok bude D1 ... D15.

- 

- Na pitanje: *Specify Values block*: označiti blok podataka čija frekvencija se traži, u datom slučaju blok B1 ... B50;

- Na pitanje: *Specify Bin block*: označite prethodno formiran BIN blok: D1 ... D15.

U prvoj levoj koloni od BIN bloka (tj. u koloni E1 ... E15), pojaviće se niz vrednosti E_i koje predstavljaju broj podataka X iz bloka B1 ... B50 koje su imale vrednosti između $D_i - 1$ i D_i (npr. ako je u E2 upisano 16 to znači da je bilo 16 izmerenih vrednosti X između 0 i 5).

Napomena 3: Preporučuje se da uvek prva ćelija BIN bloka bude vrednost nešto manja od minimalnog X , a zadnja nešto veća od maksimalnog X .


¹Za određivanje maksimuma i minimuma veličine X koriste se funkcije @MAX i @MIN

3. Regresije

Ako treba naći linearnu regresionu vezu između dve grupe podataka X i Y , odnosno odrediti koeficijente a i b iz izraza: $Y = a \times X + b$, koristi se sledeća opcija:

-    

- Na ekranu će se pojaviti prozor sa menijem koga treba ispuniti:

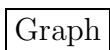
- Pozicionirati kursor na **Independent**, pritisnuti  i na pitanje iz linije sadržaja: *Column(s) with independent variables*: označiti blok u kome se nalazi nezavisna promenljiva X ;
- Slično popuniti **Dependent** sa adresom bloka zavisne veličine Y ;
- Označiti **Output**, kao bilo koji prazan blok u koji će biti smešten rezultat regresije;
- Ako se zahteva da bude $b = 0$, namestiti opciju **Y intercept** na **Zero**;

- Regresiona analiza se startuje sa **Go** iz prikazanog menija;


U Output bloku će se pojaviti rezultat regresije, gde Constant = b , XCoefficient = a , a ostale vrednosti su greške učinjene pri njihovom određivanju.

Crtnje grafika - opcija GRAPH

Da bi se nacrtao željeni grafik potrebno je najpre ući u opciju GRAPH iz glavnog menija:

-  

- Pojaviće se prozor sa menijem koji treba dalje slediti:

- **Graph Type**: program nudi razne načine prikaza podataka: u vidu linije kojom su podaci spojeni: LINE, kao histogram: BAR, kao tačke (x,y): XY, kao kružni (torta) dijagram PIE, ... Najčešće se koriste:
 - **Bar**: ulaskom u meni opcije Graph Type treba odabrati opciju **Bar** i pritisnuti . U meniju Graph opcije biće zapisano: *Graph Type: Bar*. Bar opcija služi za crtnje histograma.
 - **XY**: slično predhodnom treba odabrati ovu opciju ako treba da se unesu tačke na grafik (tačke jedne grupe podataka mogu ali i ne moraju da budu povezane linijom).

- **Series** je opcija kojom se zadaje koji podaci treba da budu naneti na X i Y ose. Ulaskom u meni ove opcije na ekranu se pojavljuje novi prozor u koji treba uneti adrese blokova sa podacima:

- **1st Series**: uneti adresu ili ime bloka u kome su smešteni podaci koji se nanose na **Y** koordinatu, a vezani su za jednu grupu podataka.
- **2nd Series**: slično predhodnom uneti adresu bloka koji sadrži drugu grupu podataka, koji će biti predstavljeni drugačijim oznakama takodje na Y osi.

⋮

Postoji mogućnost prikaza šest različitih serija na jednom grafiku;

⋮

- **X - Axis Series** zahteva unos bloka sa podacima za X osu koji moraju biti isti za sve serije;

Iz ovog menija se izlazi sa **Quit** ili sa Esc, pri čemu se pamte promene unete u Graph meni.

- **Text** daje mogućnost upisivanja teksta na grafik:
 - **1st Line** i **2nd Line**: naslov grafika;
 - **X-title** i **Y-title**: nazivi osa, koji će biti smešteni pored njihovih linija;
 - **Legends**: ako postoji više serija ovo je način da se na grafiku ispiše šta koja od njih predstavlja;
- **Customize Series** je opcija koja pruža mogućnost za menjanje: boje, vrste ispune, oznake tačke i vrste linije prikazanih podataka svake serije pojedinačno. Važne su opcije:
 - **Markers & Lines** odnosno njena podopcija **Format** kojom se podešava da li će serija podataka biti prikazana samo pomoću tački (x,y) – **Symbols**, linijom koja spaja ove tačke – **Line**, ili i sa simbolima i sa linijom istovremeno – **Both**.
 - **Reset** opcijom se uklanjaju pojedine serije podataka sa grafika, kao i podaci na X-osi.
- **X-Axis**: Ulaskom u ovu opciju se podešava skala X ose, zadajući početak i kraj ose, kao i priraštaj skale ose. Takodje se zadaje format brojeva ispisanih pored ose. U okviru ove opcije moguće je podesiti da osa X bude prikazana u logaritamskom obliku.

- **Y-Axis** ima iste mogućnosti kao i prethodna opcija samo za podešavanje elemenata Y ose.
- **Overall** opcijom se menja crtanje mreže GRID na grafiku, vrsta okvira oko teksta i grafika, i još nekih propratnih detalja.
- **Insert** opcijom se grafik unosi u radnu tabelu. Ova opcija je veoma zgodna za numerički i grafički prikaz podataka na istom papiru. Najpre se upiše ime grafika koji se unosi a zatim se označi blok u radnoj tabeli u koji se grafik unosi.
- **Hide** opcijom se grafik uklanja iz radne tabele.
- **Name** služi za davanje imena tekućem grafiku, kao i za brisanje i kopiranje postojećih. Ovom opcijom se i menja tekući grafik, odnosno proglašava se neki drugi za tekući.
- **View** opcijom se u svakom trenutku može videti tekući grafik (grafik se prikazuje na celom ekranu). Umesto ove opcije pogodnije je koristiti **F10**, pošto se tako može videti grafik bez obzira da odakle se startuje.
- **Fast Graph** služi za brzo crtanje grafika. Kada je Graph Type: XY ova opcija nije moguća.
- **Annotate**: služi za naknadno doterivanje crteža. Ulaskom u ovu opciju na ekranu će se prikazati grafik koji se lako pomoću "miša" može doterivati (dodavanje novog teksta, crtanje strelica, pravougaonika, menjanje boje, ...).

Štampanje - opcija PRINT

Štampanje pojedinih delova radnih tabela i grafika se obavlja opcijom PRINT glavnog menija, u koju se ulazi na već poznati način:

-  

- Na ekranu se otvara novi meni koga treba popuniti:

- **Block**: Označiti blok koji treba štampati na bilo koji od načina: upisivanjem imena bloka, upisivanjem adrese bloka ili označavanjem bloka na ekranu pomoću strelica;
- Ako treba naslov ili neki drugi tekst odštampati na istom papiru, onda pod opcijom **Headings** označiti blok gde se ovaj tekst nalazi.

Prilog C

Formiranje i korišćenje baze podataka

Prikupljanjem podataka o merenjima nekog određenog fenomena na više različitih laboratorijskih ili terenskih instalacija, može se formirati tzv. faktografska baza podataka o toj pojavi. Ako se ovakvi podaci sistematizuju i obrade na odgovarajući način (kao knjiga ili, još bolje, u vidu kompjuterskog programa), oni mogu biti od znatne koristi za dalje proučavanje razmatranog fenomena. U ovom prilogu prikazana je jedna ovakva baza podataka.

Medjunarodna baza podataka o modeliranju urbanog odvodnjavanja (UDM)

UDM¹ baza podataka sadrži podatke o padavinama i oticaju sa većeg broja eksperimentalnih urbanih (gradskih) i laboratorijskih slivova.

Opšte (svrha, istorijat, sadržaj)

Zaštita gradskih površina od plavljenja kišnim vodama podrazumeva veći broj poslova kao što su planiranje, projektovanje, izvodjenje, održavanje, rekonstrukcija, upravljanje itd. Za vodjenje pojedinih poslova razvijeni su i koriste se mnogi računski programi. Posebnu grupu čine programi za analizu veze između padavina i oticanja koji su osnova za druge analize: projektovanje, proveru kapaciteta postojećih mreža, upravljanje radom sistema itd. Bez obzira na složenost i sveobuhvatnost modela,

¹UDM — Urban Drainage Modelling (modeliranje urbanog odvodnjavanja).

svi oni imaju zajedničku potrebu za adekvatnim pouzdanim podacima za sledeće namene:

- verifikaciju hipoteza ugradjenih u pojedine komponente ili module programa,
- kalibraciju modelskih parametara,
- vrednovanje prediktivnih sposobnosti modela,
- obuku korisnika.

U najznačajniju grupu podataka neophodnih za pomenute namene spadaju podaci o padavinama i oticanju sa sliva kompletirani detaljnim informacijama o karakteristikama slivne površine kao i mreži i objektima na njoj.

Relativno je jednostavan zadatak razviti model koji će se primenjivati samo za onaj sliv sa koga su korišćeni podaci za kalibraciju parametara modela. S druge strane, razvoj modela koji će imati opštu primenu na slivovima različitih karakteristika, a da se pri tome prilagodjavaju samo parametri modela, zadatak je koji se ne može sprovesti korektno bez odgovarajuće baze podataka.

Uočivši ovaj problem, Institut za hidrotehniku Gradjevinskog fakulteta u Beogradu početkom osamdesetih godina pristupio je formiranju medjunarodne baza podataka o padavinama i oticaju sa urbanih površina sa slivova iz raznih delova sveta. U saradnji sa zajedničkim komitetom za urbano odvodnjavanje Medjunarodne Asocijacije za hidraulička istraživanja (IAHR — International Association for Hydraulic Research) i Medjunarodne asocijacije za izučavanje i kontrolu zagađenja voda (IAWPRC — International Association for Water Pollution Research and Control), kontaktirane su institucije koje su bile uključene u istraživanje procesa oticanja sa laboratorijskih i urbanih slivova i pozvane da stave na raspolaganje podatke i dokumentaciju o slivovima.

Krajem šezdesetih godina, naročito u razvijenim zemljama, uočen je značaj problema zaštite gradskih površina od plavljenja, obavljena su intenzivna istraživanja, razvijen je niz modela kada je shvaćena potreba i značaj pouzdanih podataka za kalibraciju modela. Takođe, razvijen je veliki broj instrumenata za merenje i prikupljanje podataka sa eksperimentalnih slivova. Izvršena su i značajna poboljšanja u načinu zapisivanja, daljinskom prenosu i arhiviranju podataka. Počevši sa klasičnim zapisivanjem podataka na papirnu traku sa instrumenata bez medjusobne vremenske sinhronizacije, postepeno se prelazilo na savremene uređjaje sa centralizovanim prikupljanjem vremenski sinhronizovanih podataka sa zapisivanjem na medije kompatibilne sa računarima.

Poziv za slanje podataka o padavinama i oticaju sa laboratorijskih i gradskih slivova nije sadržavao zahtev da se podaci dostavljaju u nekim unapred definisanim formatima. Smatralo se da će eventualni dopunski rad koji bi se morao uložiti u obradu

mogao uticati na to da se podaci i ne pošalju, pa su prihvatani podaci čak i u njihovom izvornom obliku (papirne trake, kasete, izveštaji itd.).

Odziv na zahtev za slanje podataka sa gradskih slivova bio je vrlo dobar. Osnovni podaci o padavinama i oticaju dobijeni su za 139 slivova iz 15 zemalja (vidi sledeću tabelu). Na žalost, za veliki broj slivova nije se raspolagalo zadovoljavajućim opisom geometrijskih karakteristika mreže i opisom karakteristika sliva. Za izvestan broj slivova kompletni podaci dobijeni su nakon naknadne korespondencije i konačno je izabrano dvadeset gradskih slivova za dalja testiranja i proveru².

Kontinent	Zemlja	Broj slivova čiji su podaci stavljeni na raspolaganje	Broj slivova izabranih za analizu	Broj laborat. slivova
Amerika	Kanada	3	2	1
	SAD	87	5	2
	Meksiko	4	0	
Azija	Japan	14	0	
Australija	Australija	1	1	
Evropa	Danska	4	2	
	Francuska	2	1	
	Nemačka	8	0	
	Vel. Britanija	4	2	
	Madjarska	1	1	
	Italija	1	1	
	Norveška	1	1	
	Švedska	4	2	
	Švajcarska	4	1	
Jugoslavija	1	1	1	

Pregled zemalja zastupljenih u UDM bazi podataka sa brojem slivova (stanje iz 1986. godine)

²Sredjeni rezultati sa ovih slivova prikazani su u knjizi "Urban Drainage Catchments" (autori: Č. Maksimović i M. Radojković). Ova knjiga, koju je objavila ugledna izdavačka kuća Pergamon Press 1986. godine, prikazana je na konferenciji UDM '86 održanoj u Dubrovniku. Baza podataka je kasnije korišćena od strane više istraživača odnosno knjiga je citirana u velikom broju radova, što je opravdalo veliki uloženi trud (i sredstva). Pored toga, jedan broj podataka je sredjen u vidu softvera koji, osim samih rezultata merenja, sadrži i model za simulaciju oticanja, post-procesor za grafički prikaz i još neke informacije, i koji je sa zapaženim uspehom prikazan na IV međunarodnoj konferenciji o odvodnjavanju kišnih voda koja je održana 1987. u Lozani (u Švajcarskoj).

Inače, za slanje laboratorijskih podataka odziv je bio manji pošto takvih slivova inače ima mnogo manje. Dobijeni su podaci za 4 laboratorijska sliva (laboratorijske instalacije).

Prvi meni u kompjuterskoj verziji baze, koji se pojavljuje na ekranu nakon startovanja programa, upravo je spisak slivova za koje su sredjeni podaci prikazan na sledećoj slici (dat je samo prvi ekran koji sadrži deo spiska):



Glavni meni sa spisakom slivova (redni broj, kod sliva, naziv sliva, grad, država)

Podaci o slivovima, podslivovima i o kanalizacionoj mreži dobijeni su u formi tabela. Gde god je to bilo moguće zadržani su osnovni kodovi čvorova i cevi.

Preliminarna inspekcija i prilagodjavanje podataka sastojali su se u konverziji u metričke jedinice (gde je to bilo potrebno), proveri vremenske sinhronizacije padavina i oticanja i proveri konzistentnosti podataka analizom rezultata simulacije.

Podaci sa urbanih slivova (struktura baze)

Podaci koji se koriste u modelima za proračun oticanja su:

- podaci o padavinama i oticanju,
- podaci o geometrijskim karakteristikama sliva i podslivova,
- podaci o mreži.

Podaci o padavinama i oticaju

Tekstualni deo UDM baze, gde god je to bilo moguće dobiti, sadrži informaciju o tehnici merenja, načinu kalibracije instrumenata, karakteristikama mernog uređaja, mogućim izvorima grešaka itd. Ovo je uradjeno da bi se korisnicima informacija i podataka ukazalo na interval pouzdanosti merenja kako se rezultati proračuna ne bi nekritički prihvatili.

Da bi se omogućilo računanje oticaja sa vremenskim intervalima manjim od pet minuta (što je za urbane slivove neophodno za dalju obradu) korišćeni su samo oni događaji i slivovi gde je tehnika merenja i registrovanja podataka omogućavala očitavanje sa intervalima ne većim od pet minuta.

Podaci o podslivovima

Podaci o podslivovima predstavljaju deo baze podataka koji se najteže određuje iz više razloga kao što su:

- nedostatak dovoljno detaljnih podataka o nameni površina,
- nedostatak detaljnih podataka o visinskim karakteristikama terena,
- nepoznavanje tehnike odvodnjavanja u svim delovima podsliva.

U većini savremenih modela kompleksna površina terena šematizuje se mnogo jednostavnijim geometrijskim karakteristikama podsliva. Podela sliva na podslivove i specifikacija namene površina svakog podsliva podložne su subjektivnoj proceni. Najčešće se to radi analizom urbanističkih planova, aerofotosnimaka ili direktnim osmatranjem terena³. Sa druge strane, diskretizacija sliva je, u izvesnom stepenu, zavisna od modela koji će se koristiti.

Zbog svega iznetog nije jednostavno izabrati jedinstvenu informaciju o geometriji podsliva tako da je, od više alternativa, izabrana sledeća grupa podataka:

- površina podsliva,
- nagib u pravcu tečenja,
- procenat zastupljenosti krovova (sa kojih voda otiče direktno u mrežu),
- procenat ostalih nepropusnih površina.

³U poslednje vreme se za podelu sliva na podslivove i za definisanje namene površina koristi tehnologija geografskih informacionih sistema (GIS).

Treba napomenuti da postoji bitna razlika između onih nepropusnih površina sa kojih voda otiče direktno u kanalizacione (podzemne) kolektore, i onih nepropusnih površina sa kojih voda, pre ulivanja u kolektore, teče preko propusnih površina. Ovo je značajna informacija koju je teško proceniti bez detaljnih podataka. U nedostatku takvih podataka, odgovarajuća informacija može se dobiti pri kalibraciji modela ako se odnos ove dve vrste nepropusnih površina definiše kao parametar modela.

Za većinu slivova, podaci definisani na prethodni način bili su raspoloživi za podslivove dok je za izvestan broj slivova informacija dobijena za sliv kao prosečna vrednost raspodele po podslivovima.

Podaci o mreži

Podaci o geometriji mreže (dužina, nagib, oblik i veličina poprečnih preseka cevi), relativno su dobro dokumentovani za sve izabrane slivove. Nasuprot tome, podaci o apsolutnim kotama cevi bili su raspoloživi samo za manji broj slivova. Za simuliranje tečenja pod pritiskom rešavanjem kompletnih Saint Venant-ovih jednačina, bilo bi neophodno da se raspolaže i ovim podacima.

Konačna provera podataka

Originalni podaci transformisani su u jednoznačne formate za sve slivove. Ovako grupisani podaci iskorišćeni su za izradu sledećih priloga:

- plan mreže u razmeri sa granicama sliva i položajem merača padavina i oticaja,
- tabela sa podacima o mreži,
- tabela sa podacima o podslivovima,
- tabela sa opštim podacima o padavinama i oticanju za sve kišne događaje,
- tabela o padavinama i oticanju za izabrane događaje,
- bezdimenzionalni grafikoni padavina i oticaja za izabrane pljuskove (samo za jedan kišomer i merač protoka ako su dati podaci za više od jednog).

Selekcija pljuskova je uradjena na osnovu sledećih kriterijuma:

- događaji sa najvećim intenzitetom padavina,
- događaji u kontinuitetu (za primenu kontinualnih modela),
- događaji sa najvećim nivoom tačnosti (sa stanovišta tačnosti merenja).

Laboratorijski podaci

Laboratorijski slivovi korišćeni su za izvodjenje eksperimenata pod kontrolisanim uslovima, pa se pretpostavlja da su podaci detaljno provereni od strane autora pre nego što su objavljeni. Zbog toga nije sprovedjena posebna kontrola sem kontrole eventualnih grešaka pri prekucavanju.

U UDM bazi nalaze se podaci o preko sto pljuskova. U knjizi "Urban Drainage Catchments" prikazan je samo deo podataka zbog njenog ograničenog obima. Izbor je sačinjen tako da se obuhvate različiti uslovi pod kojima su eksperimenti izvedeni.

Laboratorijski podaci, bez obzira na svoju masivnost, ne mogu doprineti poboljšanju proračuna oticanja sa gradskih slivova zbog sasvim različitih geometrijskih uslova. Sa druge strane ovi podaci imaju neprocenjivu vrednost za razumevanje fizičkih procesa pri oticanju i predstavljaju osnovu za verifikaciju modela za proračun oticanja sa podsliva koji je sastavni deo modela za oticanje sa urbanih slivova. Posebno su značajni laboratorijski podaci Izzard-a (1942-43) koji su poslužili za kalibraciju velikog broja modela.

Simulacija podataka iz baze

Način na koji su podaci prikazani u bazi kompatibilan je sa načinom pripreme ulaznih podataka za program BEMUS (Beogradski model urbanih slivova), pa je u pomenuti softverski paket (koji sadrži izbor izmerenih podataka) uključen i ovaj program za simulaciju (zajedno sa kratkim ilustrovanim objašnjenjima osnovnih jednačina i parametara modela). Smisao ovoga je da korisnik baze može da uporedi rezultate merenja sa rezultatima simulacije, kao i da kalibriše parametre simulacionog modela sa rezultatima merenja.

Dalji razvoj UDM baze podataka

Budući razvoj baze sastojaće se iz prikupljanja novih podataka (uključujući i nove slivove) uz rigorozniju kontrolu kvaliteta pre njihovog konačnog smeštanja u bazu.

Na bazi primene kompleksnijih modela koji imaju fizičku podlogu i hidrauličku interpretaciju moguće je da se nedostatak niza dugotrajnih osmatranja na manjem broju tačaka (mali broj kišomera, merača protoka itd.) delimično nadoknadi vremenski kraćim osmatranjem (na primer, jedna sezona) ali sa većim brojem mernih veličina na većem broju tačaka na slivu. Na primer, na slivu se obavljaju merenja sa većim brojem kišomera, većim brojem merenja infiltracije, nekoliko merača protoka, itd. Raspoložujući ovakvim podacima moguće je značajno podići kvalitet kalibracije i verifikacije i time obezbediti pouzdaniju primenu za projektovanje i upravljanje.

Primer korišćenja baze podataka

Za ilustraciju sadržaja UDM baze izabran je sliv Malvern (u Burlingtonu u Kanadi), za koji je prikazano sledeće:

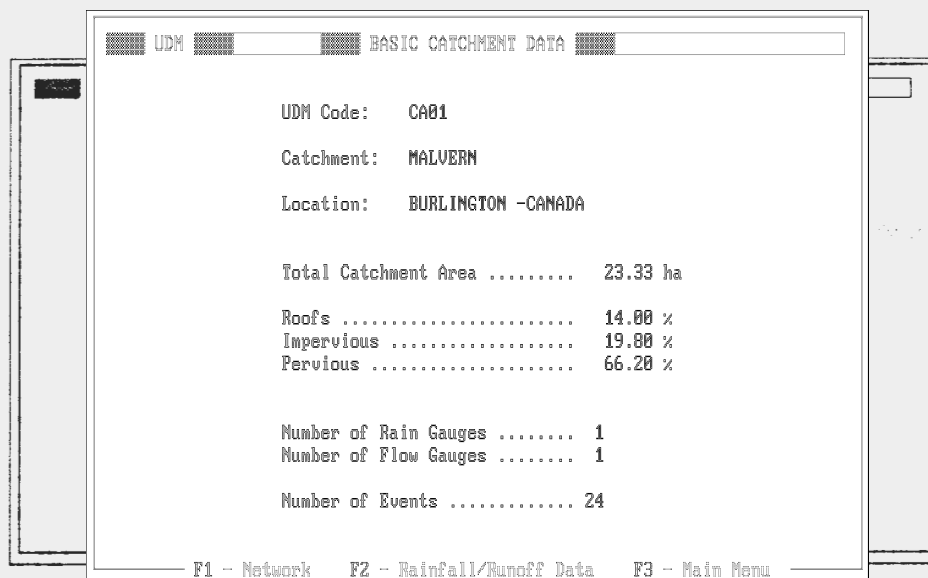
- kratak opis sliva, način merenja i prikupljanja podataka,
- tabela sa osnovnim podacima o slivu,
- grafički prikaz granica sliva i mreže kolektora,
- tabela o padavinama i oticaju,
- grafikoni padavina i oticanja (hijetogrami i hidrogrami),
- rezultati simulacije (računski hidrogrami).

Eksperimentalni sliv Malvern predstavlja modernu stambenu četvrt. Sliv ima blagi nagib (prosečno 1%) od severnog dela sliva prema izlivu na jugozapadnom delu. Lokalni nagib zavisi od vrste površine. Površine dvorišta izmedju kuće i ulice imaju nagib izmedju 2% i 10% prema ulici, dok deo dvorišta iza kuće ima nagib prema slivniku oko 3%. Prosečan nagib ulica je oko 1%. Cela površina sliva se sastoji od zasebnih stambenih zgrada sa dvorištima. Nema posebnih površina parkova itd.

Ukupna površina je 23.3 ha od čega je 15.4 ha propusno, a 7.9 ha su nepropusne površine koje uključuju 3.3 ha krovova. Svi oluci sa krovova su spojeni direktno na mrežu. Svi pristupni putevi i asfaltirane površine odvodnjavaju se direktno na ulicu. Mreža je granata, i kanalizacioni sistem je separacioni. Svi cevovodi su sačinjeni od standardnih betonskih cevi.

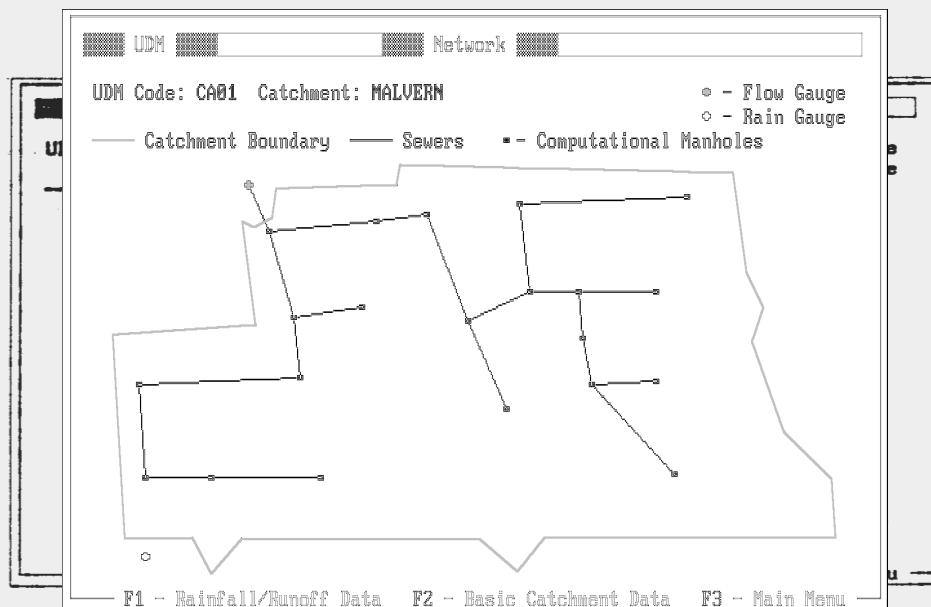
Merenja na slivu se obavljaju u kontinuitetu od 1973. godine, sa prekidima tokom zimskih meseci (od decembra do aprila). Padavine se mere impulsnim kišomerom (kišomer sa klackalicom). Prema podacima proizvođača, visina padavina koja odgovara jednom impulsu je 0.254mm. Protok u izlaznoj cevi meren je kontinualno pomoću kalibrisanog pravougaonog preliva. Za protoke veće od $0.085\text{m}^3/\text{s}$ tačnost je veća od 5%. Merni preliv u prirodnoj veličini (visina 0.305m, širina 1.077m) kalibrisan je u laboratoriji za opseg protoka izmedju $0.011\text{--}0.448\text{m}^3/\text{s}$. Za veće protoke kriva protoka je dobijena ispitivanjem na modelu umanjenom u razmeri 1 : 3.33. Dubina vode u mernom preseku meri se pomoću mernog bunara. Zapisivanje linije nivoa obavljeno je na pisaču istog proizvođača kao za kišomer (Leupold & Stevens). Standardni pisač koji se koristi za beleženje podataka o padavinama i protoku modifikovan je tako da aktivira i dva automatska hvatača uzoraka. Ovim je obezbedjena dobra vremenska sinhronizovanost svih registrovanih podataka.

U glavnom meniju (prethodna slika) Malvern je sliv pod brojem 2. Nakon izbora sliva, na ekranu se pojavljuju osnovni podaci:



Osnovni podaci o eksperimentalnom slivu Malvern

Dalje se može izabrati prikaz granice sliva, mreže kolektora i računskih tačaka i položaja kišomera i merača protoka (opcija F1) ili tabela sa spiskom osnovnih podataka o registrovanim kišnim događajima (opcija F2):



Granica sliva (Catchment Boundary), kolektori (Sewers), računске tačake-šahtovi (Computational Manholes) i kišomer (Rain Gauge) i merač protoka (Flow Gauge)

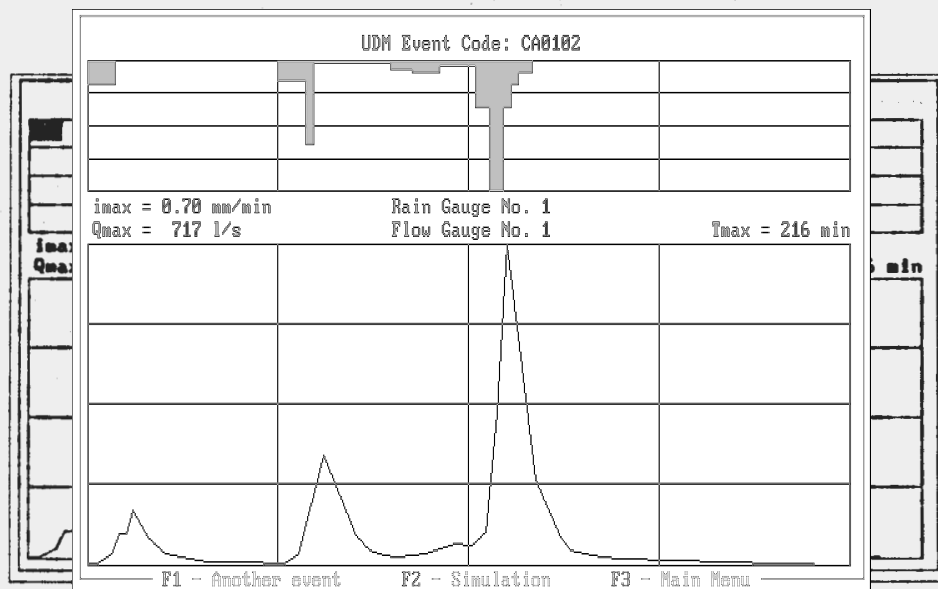
UDM		Rainfall/Runoff Data						
UDM Code: CA01		Catchment: MALVERN						
No.	UDM Event Code	Date	Rain Gauge No.	Flow Gauge No.	Rainfall Duration (min)	Maximum Intensity (mm/min)	Maximum Discharge (l/s)	Runoff Coeff. (-)
1	CA0101	22-SEP-73	1	1	136.	0.83	918	0.36
2	CA0102	23-SEP-73	1	1	126.	0.70	717	0.35
3	CA0103	13-OCT-73	1	1	154.	0.25	229	0.31
4	CA0104	20-OCT-73	1	1	650.	0.13	242	0.33
5	CA0105	29-OCT-73	1	1	700.	0.20	308	0.37
6	CA0106	14-NOV-73	1	1	580.	0.23	297	0.25
7	CA0107	20-NOV-73	1	1	420.	0.76	271	0.22
8	CA0108	05-MAY-74	1	1	164.	0.13	135	0.29
9	CA0109	08-MAY-74	1	1	1090.	0.15	166	0.28
10	CA0110	15-MAY-74	1	1	92.	0.25	139	0.26
11	CA0111	16-MAY-74	1	1	742.	0.89	719	0.35
12	CA0112	31-MAY-74	1	1	40.	1.27	901	0.37
13	CA0113	19-JUN-74	1	1	614.	0.25	175	0.30

PgDn - Next Page

Enter No. ?? or M - Main Menu M - Network B - Basic Data

Osnovni podaci o izmerenim događajima (redni broj, kod događaja, redni brojevi kišomera i merača protoka, trajanje kiše, maksimalni intenzitet kiše, maksimalni proticaj, koeficijent oticaja)

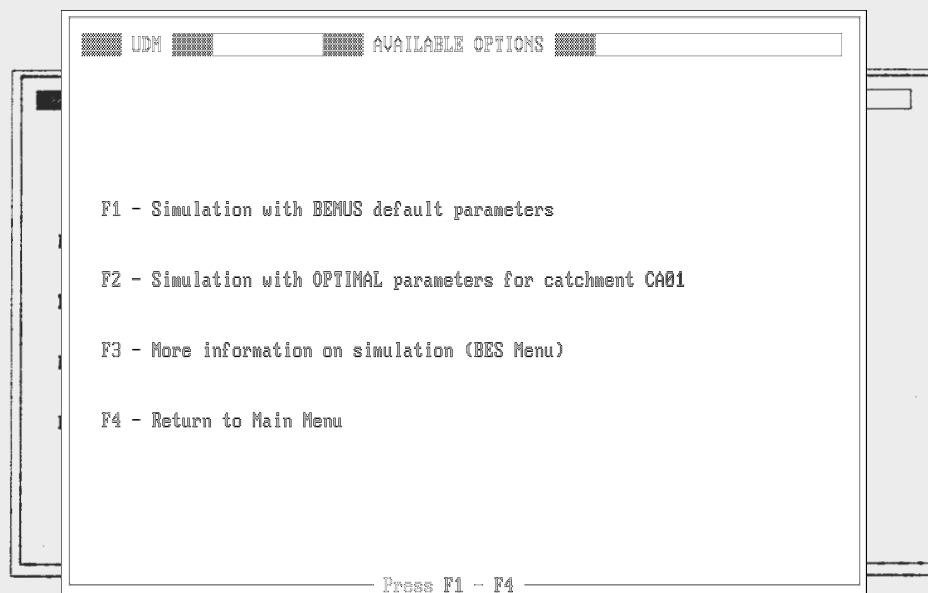
Na sledećem ekranu dat je grafički prikaz izabranog događaja (prikazan je događaj obeležen kodom⁴ CA0102). Na gornjem dijagramu je prikazan hijetogram, a na donjem hidrogram. Oba dijagrama su data u bezdimenzionalnoj formi, s tim da su maksimalne vrednosti intenziteta padavina, proticaja i vremena ispisane na ekranu.



Izmereni hijetogram i hidrogram

⁴Uobičajen način kodiranja u UDM bazi je da prva dva znaka (slova) označavaju zemlju, druga dva broj sliva (u toj zemlji), a treća dva znaka redni broj kiše (događaja).

Posle pregleda kišnih događaja, dolazi se do simulacionog modela. U sledećem meniju može se izabrati simulacija sa osnovnim BEMUS parametrima (opcija F1), simulacija sa parametrima "optimalnim" za pojedini sliv (opcija F2), zatim pregled informacija o parametrima simulacionog modela (opcija F3), ili povratak u glavni meni (opcija F4):



Meni vezan za simulaciju

Osnovni BEMUS parametri su one vrednosti za koje se preporučuje da se mogu uzeti u prvoj iteraciji analiziranja rezultata merenja za neki sliv. Optimalni parametri su oni za koje se pokazalo da najpribližnije simuliraju više događaja. Do ovih parametara dolazi se analizom tzv. pokazatelja kvaliteta simulacije. To su brojevi kojima se kvantifikuju sličnosti odnosno razlike između izmerenih i računatih hidrograma, npr. vreme nailaska maksimalne vrednosti hidrograma, ukupna zapremina otekle vode itd. Određivanje optimalnih parametara je u stvari kalibracija modela⁵. Nakon kalibracije, obično se pristupa tzv. verifikaciji, odnosno kalibrisani parametri se verifikuju ako se oni uspešno mogu primeniti i za simulaciju događaja koji nisu korišćeni u kalibraciji. Sa ovako odredjenim parametrima mogu se pouzdano obavljati razne vrste analiza kao što su:

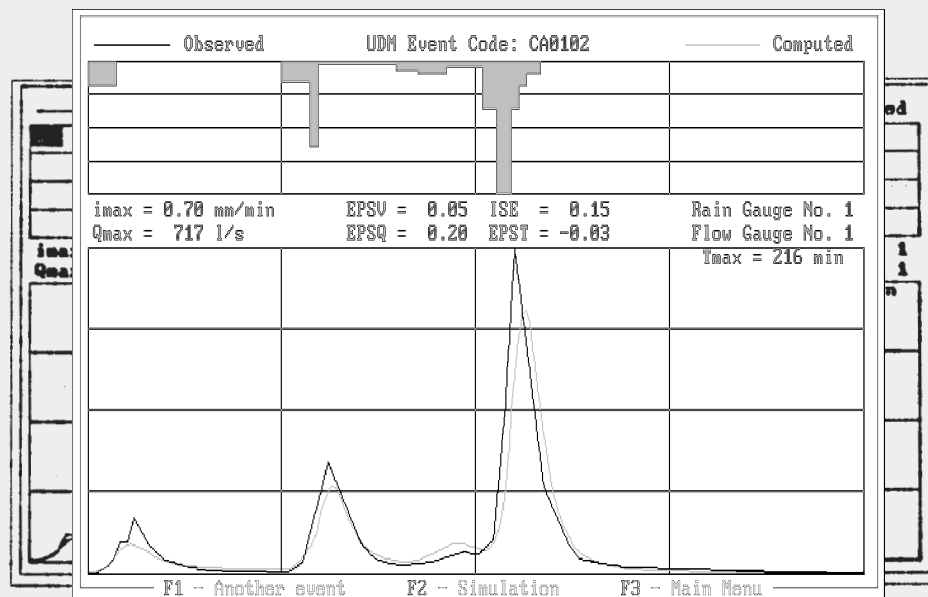
- analiza oticanja u slučaju povećanja sliva ili povećanja procenta nepropusnih površina (usled dopunske izgradnje, asfaltiranja itd.),

⁵Osnovna ideja pri razvoju ovog simulacionog modela je da on bude fizički zasnovan. Za razliku od konceptualnih modela, kod fizičkih modela se sve faze oticanja rešavaju jednačinama hidraulike pa je realno očekivati da se parametri modela, odredjeni na osnovu jednog broja merenja, sa uspehom mogu primeniti i za modeliranje drugih kišnih epizoda.

- analiza efekata izmena u mreži kolektora (usled izgradnje novih ili ispadanja iz funkcije postojećih),
- analiza posledica poplava usled padavina jačih i od onih na koje je sistem projektovan i od najjačih izmerenih (tj. kada deo sistema dolazi pod pritisak i kada dolazi do izlivanja iz sistema na ulice),
- analiza (proračun) kvaliteta otekle vode kao posledica spiranja nečistoća sa ulica ili mešanja kišnice sa otpadnim vodama,
- poredjenje vrednosti parametara za “slične” slivove, itd.

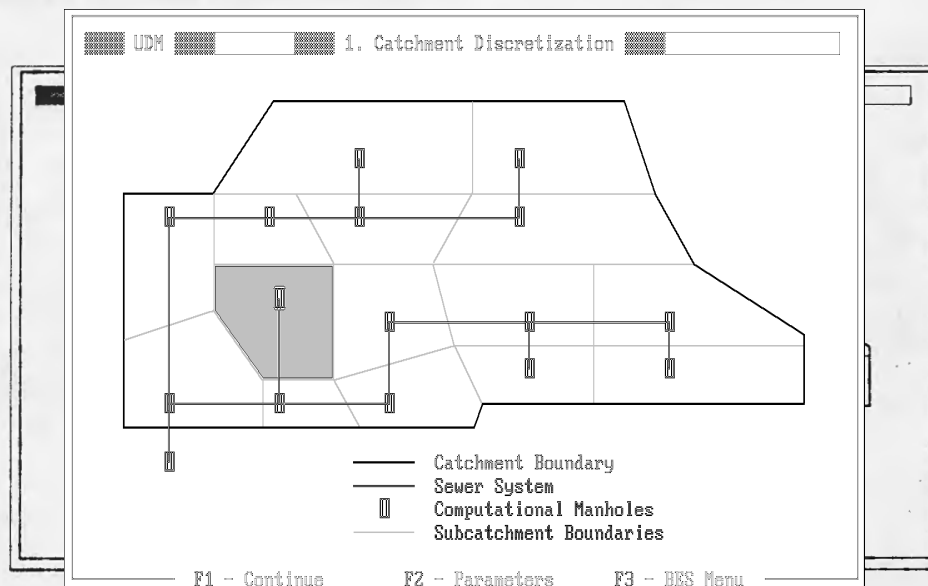
Jasno, podaci iz baze mogu se koristiti i za kalibraciju drugih modela.

Na sledećoj slici prikazano je poredjenje rezultata simulacije sa merenjima (naznačeni su i neki od pokazatelja kvaliteta simulacije):

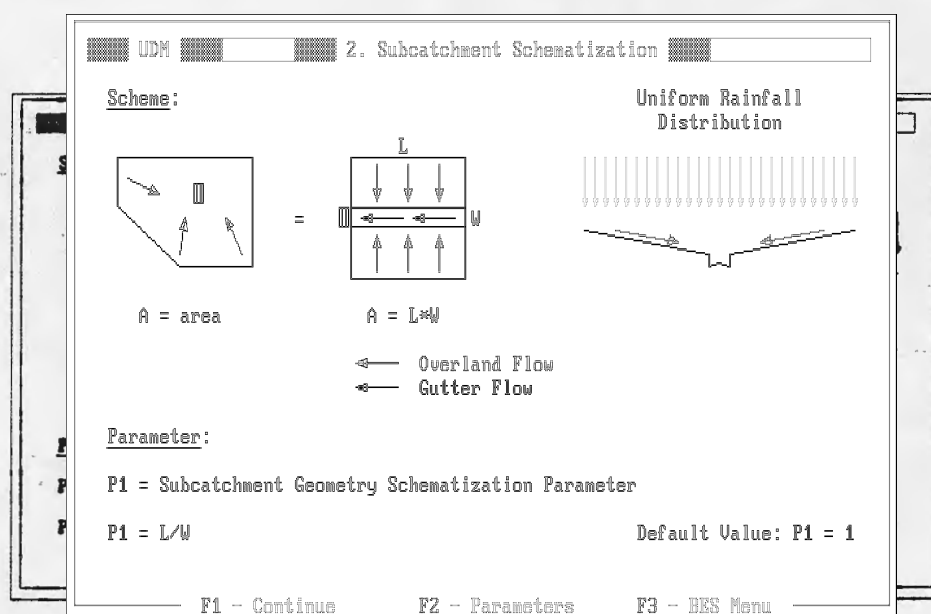


Poredjenje računskih i merenih hidrograma

Detaljna objašnjenja o postupcima koji se primenjuju u modelu i o njegovim parametrima mogu se naći u odgovarajućoj literaturi (npr. Program BEMUS, verzija 1.11, uputstvo za korišćenje). Značenje nekih od parametara (npr. Manningov koeficijent za cevi) je standardno i ne zahteva dopunska objašnjenja. Međutim, neki od parametara se na specifičan način primenjuju u BEMUS-u, pa je za njihovo razumevanje neiskusnim korisnicima neophodno dopunsko objašnjenje. Zbog toga, u okviru UDM baze mogu se dobiti i osnovne informacije o jednačinama i parametrima modela. O njima se ovde neće detaljno govoriti, već su samo na sledećim slikama prikazane neke od ovih informacija.



Šematizacija sliva



Objašnjenje parametra oblika slivne površine

Na kraju se napominje i sledeće:

- u UDM bazi se ne koristi nijedan od komercijalnih softvera za baze podataka, već je program u celini razvijen na Gradjevinskom fakultetu u Beogradu,
- jedan od inicijatora formiranja UDM baze i tvorca prikazanog softvera bio je pokojni profesor Miodrag Radojković,

- baza se stalno proširuje podacima ne samo sa beogradskog eksperimentalnog sliva "Miljakovac" i drugih slivova koji su već u bazi, već i podacima sa novih slivova,
- pored opšte baze koja je ovde prikazana, postoji i regionalna baza u kojoj su sredjeni detaljni podaci sa šest italijanskih eksperimentalnih slivova (koja se koristi u Italiji), a u planu je i pravljenje drugih sličnih regionalnih baza podataka.