Univerzitet u Beogradu
Gradjevinski fakultet

Dušan M. Prodanović

Eksperimentalno izučavanje uticaja dva tipa regulacionih zatvarača na fluidnu struju

– magistarski rad –

Beograd, februar 1991.

Mentor:

Prof. Dr. Čedo Maksimović

Članovi komisije:

Prof. Dr. Boško Batinić
Doc. Dr. Anita Špoljarić

Datum odbrane:

...

Eksperimentalno izučavanje uticaja dva tipa regulacionih zatvarača na fluidnu struju

Apstrakt

U ovom radu su izučavane osobine dva zatvarača: leptirasti kao najčešće korišćeni zatvarač koga projektanti rado upotrebljavaju i u regulacione svrhe, i rupičasti čisto regulacioni zatvarač novije konstrukcije, koji se u našoj zemlji još uvek ne proizvodi. Napravljena je eksperimentalna instalacija na kojoj je moguće meriti protok, pritiske i brzine uzvodno i nizvodno od zatvarača. Posebnim konstrukcijskim rešenjima (merna deonica koja se može rotirati oko svoje ose kao i ulazni priključci sa kugličnim zatvaračima), omogućeno je snimanje polja brzina u svim tačkama cevi, nizvodno od zatvarača, bez potrebe da se u toku merenja zaustavlja protok. Sprovedenim merenjima su precizno izmerene i analizirane prvo karakteristike same instalacije, a zatim i oba zatvarača. Opsežnim merenjima osrednjenih i turbulentnih karakteristika toka uzvodno i nizvodno od zatvarača dobijena je slika strujnog polja nizvodno od poremećaja koga unosi zatvarač. Analizom niza veličina, kvantifikuje se mera unetog poremećaja, kao i brzina njegovog smirivanja.

U drugom delu rada prikazan je razvijeni program za personalni računar, koji omogućava merenje srednjih vrednosti i fluktuacija više veličina istovremeno, obradu i grafičku prezentaciju u vremenskom i frekventnom domenu. Program se zove ADA^+ (skraćenica od Acquisition and Data Analysis) i tako je koncipiran da omogućava interaktivan unos i izmenu svih parametara potrebnih za rad. S obzirom da je program predvidjen i za korisnike koji nemaju veliko iskustvo sa sistemima za akviziciju podataka, korišćen je sistem menija u više nivoa i sa prozorima u kojima se daju upustva za svaku operaciju. Program vodi računa o unetim parametrima, proverava ih i snima na disk, formira bazu kalibracionih podataka za korišćene senzore, proverava ispravnost sistema za akviziciju i stara se da se rezultati akvizicije sačuvaju bez obzira na eventualni pad sistema.

Ključne reči:

Regulacioni zatvarač, karakteristike zatvarača, polje brzina, program za akviziciju podataka

Experimental investigation on the influence of two types of regulating valves on fluid flow field

Abstract

The thesis deals with the results of an experimental study on characteristics of two valves: butterfly valve, which is quite often used in regulating circles, and multiple orifice (similar to "Monovar" from Neyrtec, France), rather new regulating valve. The experimental rig has been made, that allows monitoring of instantaneous flow, pressures and velocities upstream and downstream from tested valve. Specially designed sealing rings permit the rotation of test section of experimental rig, thus enabling easy measurements of velocity profiles in all points of fluid field, without need for stopping the flow during measuring process. Detailed measurements were carried out in order to obtain hydraulics characteristic of experimental rig itself, and regulating characteristics of the two valves. By measuring the mean and fluctuating part of stream wise velocity component, sufficient information have been obtained to quantify the downstream flow disturbance as well as it's decay rate.

The second part consists instructions for the use of data acquisition and analysis software (ADA^+), developed during the work on the thesis and suitable for PC application. The software enables measurements of mean values and fluctuations of eight (up to 64) quantities at the same time, as well as on line processing and graphical presentation in time and in frequency domain. The software is user–friendly, and allows interactive data entry and data exchange. An unexperienced user can use pop–up menus, windows and function keys in several levels, thus eliminating the need of knowing what is going on inside of software. The software itself takes care about user's acquisition parameters, builds parameter data base that will be linked with measured data, builds data base for used sensors with calibration data, checks the functionality of the acquisition system, and, with highest priority, takes care about saving measured data on hard disk.

Key words:

Regulating valve, valve characteristics, flow field, data acquisition software

Sadržaj

Spisak korišćenih oznaka **10**

1 Uvod **12**

2 Opis instalacije i merne opreme **14**

2.1 Prikaz instalacije 14

2.2 Ispitivani zatvarači 18

2.3 Korišćena merna oprema i programska podrška 21

2.3.1 Merenje protoka 21

2.3.2 Merenje pritiska i razlike pritisaka 23

2.3.3 Merenje brzine vode 25

2.3.4 Sistem za akviziciju podataka 29

2.3.5 Program za akviziciju i obradu podataka 30

3 Rezultati ispitivanja instalacije **32**

3.1 Analiza razvoja strujnog polja 32

3.2 Linijski i lokalni gubici energije 36

3.3 Raspored pijezometarskih kota duž merne deonice 39

4 Rezultati analiza karakteristika zatvarača **44**

4.1 Koeficijent lokalnog gubitka energije i koeficijent propusnosti zatvarača 44

4.2 Metodologija odredjivanja koeficijenata lokalnog gubitka i propusnosti zatvarača 46

4.3 Rezultati dobijeni merenjima na leptirastom i rupičastom zatvaraču . 48

4.3.1 Merenja pri promenljivoj razlici pritisaka na zatvaraču – "realni" radni uslovi 48

4.3.2 Merenja pri konstantnoj razlici pritisaka na zatvaraču – proizvodjački uslovi ispitivanja 55

4.3.3 Analiza uticaja Reynolds–ovog broja na regulacionu karakteristiku zatvarača . . . 60
4.4 O regulisanju i merenju protoka regulacionim zatvaračem . . . 62

5 Dinamičke karakteristike fluidne struje 66
5.1 Merenje trenutnih vrednosti brzina i pritisaka . . . 66
5.2 Osrednjene vrednosti brzina i pritisaka nizvodno od zatvarača . . . 71
5.3 Fluktuacije brzina i pritisaka nizvodno od zatvarača . . . 73
5.4 Statistička analiza fluktuacija brzina i pritisaka . . . 75
5.4.1 Funkcija gustine raspodele verovatnoće, koeficijenti asimetrije i spljoštenosti . . . 75
5.4.2 Funkcija autokorelacije . . . 77
5.4.3 Funkcija spektralne gustine . . . 80
5.5 Komentar dobijenih rezultata dinamičkih karakteristika toka nizvodno od leptirastog i rupičastog zatvarača . . . 89

6 Završne napomene o merenjima i analizi 91

7 Upoznavanje sa programom *ADA*$^+$ 95
7.1 Šta je *ADA*$^+$ . . . 95
7.2 Šta *ADA*$^+$ može, a šta ne . . . 95
7.3 Šta *ADA*$^+$ zahteva za svoj rad . . . 97
7.4 Šta je ASYST . . . 99

8 Instalacija programa *ADA*$^+$ 100
8.1 Potrebni fajlovi za rad . . . 100
8.2 Instalacija programa . . . 101
8.3 Startovanje programa . . . 102
8.4 Mogući problemi u toku instalacije . . . 104

9 Akvizicioni meni u programu *ADA*$^+$ 106
9.1 Opšte napomene . . . 106
9.2 Parametri akvizicije . . . 108
9.2.1 **F2** - Parametri akvizicije . . . 109
9.2.2 **F3** - Parametri prozora za crtanje . . . 114
9.2.3 **F4** - Kalibracija senzora . . . 116
9.2.4 **F5** - Snimanje trenutnih parametara na disk . . . 117
9.2.5 **F6** - Učitavanje parametara sa diska . . . 118

9.2.6 **F10** - Povratak u akvizicioni meni 118
9.3 Akvizicija 121
9.4 Voltmetar 124
9.5 Osciloskop 126
9.6 Spektralni analizator 127
9.7 Grafički prikaz rezultata akvizicije 129

10 Meni analize rezultata akvizicije u programu *ADA*$^+$ 131
10.1 Opšte napomene 131
10.2 Učitavanje rezultata akvizicije sa diska 132
10.3 Snimanje rezultata akvizicije u ASCII fajl 135
10.4 Pregled osnovnih parametara akvizicije 137
10.5 Definisanje parametara prozora za crtanje 138
10.6 Prikaz rezultata akvizicije u vremenskom domenu 138
10.7 Prikaz rezultata akvizicije u frekventnom domenu 140
10.8 Prikaz raspodele rezultata akvizicije – histogram 142
10.9 Prikaz autokorelacije i kroskorelacije rezultata akvizicije 145
10.10 Dogradnja dela programa za analizu 145

11 Promena hardverskih parametara sistema *ADA*$^+$ 147
11.1 Opšte napomene 147
11.2 Prikaz aktivnih hardverskih parametara 148
11.3 Promena hardverskih parametara 149

12 DOS interfejs u programu *ADA*$^+$ 150

13 Upozorenja i greške u radu sa programom *ADA*$^+$ 152
13.1 Opšte napomene 152
13.2 Upozorenja i greške 152

Slike

2.1 Instalacija za merenje osnovnih regulacionih karakteristika zatvarača - uprošćena skica 15
2.2 Merna instalacija - detalj prilazne i merne deonice 16
2.3 Detalj rotacione veze zatvarač – cev i prvi merni profil 17
2.4 Ispitivani leptirasti zatvarač – osnovne dimenzije i fotografija zatvarača 19
2.5 Ispitivani rupičasti zatvarač – osnovne dimenzije i fotografija zatvarača 20
2.6 Kalibraciona funkcija za merač protoka *IEMP* $\phi 200mm$ 22
2.7 Dijagram tačnosti merača protoka *IEMP* $\phi 200mm$, sa prikazom raspodele greške za protok $Q = 40l/s$ 23
2.8 Priključivanje davača za razliku pritisaka (Δp) na instalaciju 24
2.9 Impulsni anemometar *TSI 1630* - izgled sonde sa detaljem mernog dela 26
2.10 Impulsni anemometar *TSI 1630* - princip rada 27
2.11 Kalibrator za *TSI 1630* davač, sa izmerenim rasporedom brzina (srednje vrednosti, U_x) i srednjim kvadratnim odstupanjem fluktuacija (σ_x) 28
2.12 Kalibraciona funkcija za *TSI 1630* davač 29

3.1 Raspored brzina u horizontalnoj ravni (preseci 1 i 9) i u gornjoj polovini vertikalne ravni (presek 5) sa nagibom Π linije duž eksperimentalne instalacije 33
3.2 Raspored brzina u poprečnom preseku kružne cevi: a) Teorijska raspodela data sa $u^+ = 2.78 \ln y^+ + 3.8$, b) Rezultati merenja u profilu 8 na eksperimentalnoj instalaciji bez ugradjenog regulacionog zatvarača 34
3.3 Koeficijent linijskih gubitaka u zavisnosti od Reynolds–ovog broja (U gornjem desnom uglu je uveličani deo dijagrama za Reynolds–ove brojeve u rasponu od 40×10^3 do 400×10^3, sa izmerenim vrednostima na eksperimentalnoj instalaciji, kao i sa ucrtanim analitičkim izrazom i granicom $\pm 1\sigma$) 37
3.4 Koeficijenti lokalnih gubitaka na zatvaračima, pri punoj otvorenosti (otvorenost 100%) u zavisnosti od Reynolds–ovog broja 38

3.5 Primer rasporeda hidrostatičkih pritisaka duž merne deonice, za jednu otvorenost zatvarača. Linija 1 – Π linija usled linijskih gubitaka duž merne deonice; Linija 2 – Izmerena Π linija; Linija 3 – Π linija koja bi se ostvarile kada nebi bilo linijskih gubitaka; Linija 4 – Izmerena Π linija sa oduzetim linijskim gubitkom i ulaznom Π kotom, podeljeno sa brzinskom visinom 40

3.6 Π linija duž merne deonice, pri različitim stepenima otvorenosti leptirastog zatvarača (τ), u bezdimenzionalnom obliku, sa eliminisanim uticajem trenja 41

3.7 Π linija duž merne deonice, pri različitim stepenima otvorenosti rupičastog zatvarača (τ), u bezdimenzionalnom obliku, sa eliminisanim uticajem trenja 42

3.8 Normalizovana razlika Π kota merenih duž izvodnice na levom boku (presek – 1) i na desnom boku (presek – 9), u odnosu na gornju izvodnicu (presek – 5). Snimljeno za leptirasti zatvarač, pri otvorenosti $\tau = 22.22\%$ i pri protoku $Q = 11.7l/s$ 43

4.1 Deo merne instalacije za utvrdjivanje karakteristike zatvarača 45

4.2 Tipični koeficijenat propusnosti zatvarača u zavisnosti od stepena otvorenosti, prema proizvodjačkim specifikacijama; 1 – Konični zatvarač, 2 – Dijafragma, 3 – Leptirasti zatvarač, 4 – Tablasti zatvarač, 5 – Kuglasti zatvarač 48

4.3 Pijezometarske linije u mernom sistemu za dve otvorenosti regulacionog zatvarača, bez promene položaja nizvodnog zatvarača; 1 – Slučaj kada je zatvarač potpuno otvoren, 2 – Zatvarač delimično otvoren. 49

4.4 Relativna promena protoka u sistemu u funkciji otvorenosti regulacionog zatvarača, pri različitim maksimalnim protocima (pri različitim nizvodnim uslovima) – leptirasti zatvarač 50

4.5 Relativna promena protoka u sistemu u funkciji otvorenosti regulacionog zatvarača, pri različitim maksimalnim protocima (pri različitim nizvodnim uslovima) – rupičasti zatvarač. S obzirom na relativno niske pritiske u instalaciji, zbog pojave vakuma nije moguće meriti protoke niže od $0.25Q/Q_{max}$ 51

4.6 Koeficijent lokalnog gubitka na leptirastom zatvaraču, u zavisnosti od stepena otvorenosti zatvarača. Mereno sa promenljivom razlikom pritisaka na zatvaraču. Puna linija – Osrednjena vrednost, Isprekidana linija – Granica od $\pm 1\sigma$ 52

4.7 Koeficijent lokalnog gubitka na rupičastom zatvaraču, u zavisnosti od stepena otvorenosti zatvarača. Mereno sa promenljivom razlikom pritisaka na zatvaraču. Puna linija – Osrednjena vrednost, Isprekidana linija – Granica od $\pm 1\sigma$ 53
4.8 Srednje vrednosti koeficijenata lokalnog gubitka na leptirastom i rupičastom zatvaraču, u zavisnosti od stepena otvorenosti zatvarača. Mereno sa promenljivom razlikom pritisaka na zatvaraču 54
4.9 Relativni koeficijent propusnosti leptirastog zatvarača, u zavisnosti od stepena otvorenosti zatvarača. Mereno sa promenljivom razlikom pritisaka na zatvaraču. Puna linija – Osrednjena vrednost, Isprekidana linija – Granica od $\pm 1\sigma$ 55
4.10 Relativni koeficijent propusnosti rupičastog zatvarača, u zavisnosti od stepena otvorenosti zatvarača. Mereno sa promenljivom razlikom pritisaka na zatvaraču. Puna linija – Osrednjena vrednost, Isprekidana linija – Granica od $\pm 1\sigma$ 56
4.11 Srednje vrednosti relativnih koeficijenata propusnosti leptirastog i rupičastog zatvarača, u zavisnosti od stepena otvorenosti zatvarača. Mereno sa promenljivom razlikom pritisaka na zatvaraču 57
4.12 Uporedjenje koeficijenata lokalnih gubitaka energije (srednje vrednosti) za leptirasti zatvarač merenih pri: 1 – promenljivoj razlici pritisaka na zatvaraču (standardni radni uslovi), 2 – konstantnoj razlici pritisaka na zatvaraču (standardne proizvodjačke specifikacije) 58
4.13 Uporedjenje relativnih koeficijenata propusnosti zatvarača (srednje vrednosti) za leptirasti zatvarač merenih pri: 1 – promenljivoj razlici pritisaka na zatvaraču (standardni radni uslovi), 2 – konstantnoj razlici pritisaka na zatvaraču (standardne proizvodjačke specifikacije) 59
4.14 Koeficijenti lokalnih gubitaka na zatvaračima u funkciji Reynolds–ovog broja, za različite stepene otvorenosti zatvarača ($\tau\%$): $\otimes$ – Leptirasti zatvarač, $*$ – Rupičasti zatvarač 61
4.15 Histogram koeficijenata lokalnog gubitka energije leptirastog i rupičastog zatvarača za tri otvorenosti (gornji crtež) i prikaz izmerenih podataka fitovanih Gausovom raspodelom uz linearnu interpolaciju po otvorenosti ($\tau\%$) (donji crtež) 63

5.1 Merni preseci (1 – 9) na jednom od osam nizvodnih profila (pogled sa nizvodne strane) 67
5.2 Šema povezivanja mernih uredjaja pri merenjima trenutnih vrednosti brzina i pritisaka u strujnom polju 68
5.3 Polje brzina i pijezometarske kote uzvodno i nizvodno od leptirastog zatvarača – srednje vrednosti i intenziteti turbulencije 69

5.4 Polje brzina i pijezometarske kote uzvodno i nizvodno od rupičastog zatvarača – srednje vrednosti i intenziteti turbulencije 70
5.5 Profil brzine u kružnoj cevi: a) Teorijska raspodela data sa $u^+ = 2.78 \ln y^+ + 3.8$, b) Rezultati merenja u profilu 8 na eksperimentalnoj instalaciji: + – nizvodno od leptirastog zatvarača, $\star$ – nizvodno od rupičastog zatvarača 72
5.6 Intenzitet turbulencije brzine duž ispitivane deonice (profili 6, 7 i 8) bez prisustva regulacionog zatvarača 74
5.7 Intenzitet turbulencije brzine duž ispitivane deonice (profili 6, 7 i 8), nizvodno od leptirastog zatvarača pri otvorenosti $\tau = 22.22\%$ 75
5.8 Intenzitet turbulencije brzine duž ispitivane deonice (profili 6, 7 i 8), nizvodno od rupičastog zatvarača pri otvorenosti $\tau = 67\%$ 76
5.9 Histogram fluktuacija brzine u profilu 8, u osi cevi, bez postavljenog regulacionog zatvarača 77
5.10 Histogram fluktuacija brzine u profilima 6, 7 i 8, u osi cevi, nizvodno od leptirastog zatvarača 78
5.11 Histogram fluktuacija brzine u profilima 6, 7 i 8, u osi cevi, nizvodno od rupičastog zatvarača 79
5.12 Funkcija spektralne gustine brzina u profilima 6, 7 i 8, za slučaj bez postavljenog zatvarača. Brzine u presecima 1, 5 i 9 su merene na odstojanju $y/R = 0.904$ od ose cevi 82
5.13 Funkcija spektralne gustine brzina nizvodno od leptirastog zatvarača, profili 6, 7 i 8. Brzine u presecima 1, 5 i 9 su merene na odstojanju $y/R = 0.904$ od ose cevi 83
5.14 Funkcija spektralne gustine brzina nizvodno od rupičastog zatvarača, profili 6, 7 i 8. Brzine u presecima 1, 5 i 9 su merene na odstojanju $y/R = 0.904$ od ose cevi 84
5.15 Funkcija spektralne gustine brzina u profilu 8, u osi cevi: 1 – bez regulacionog zatvarača, 2 – sa leptirastim zatvaračem, 3 – sa rupičastim zatvaračem 85
5.16 Funkcija spektralne gustine pritiska na zid cevi, u presecima 1, 5 i 9, uzvodno i nizvodno od leptirastog zatvarača 87
5.17 Funkcija spektralne gustine pritiska na zid cevi, u presecima 1, 5 i 9, uzvodno i nizvodno od rupičastog zatvarača 88

8.1 Standardna podela memorije pod ASYST-om 102
8.2 Podela memorije pod ASYST-om koju zahteva program ADA^+ . . . 102
8.3 Uvodni ekran programa ADA^+ 103

9.1 Meni akvizicije 106
9.2 Meni parametara akvizicije 108
9.3 Prozor sa zajedničkim akvizicionim parametrima 109
9.4 Prozor sa akvizicionim parametrima specifičnim za prvi kanal 109
9.5 Prozor sa parametrima za crtanje grafika 115
9.6 Prozor kalibracije senzora 116
9.7 Akvizicioni prozor 122
9.8 Ekran pri radu voltmetra 125
9.9 Ekran pri radu osciloskopa 126
9.10 Ekran pri radu spektralnog analizatora 128
9.11 Učitavanje rezultata akvizicije sa diska 130

10.1 Meni analize rezultata akvizicije 131
10.2 Aktivni parametri za prikaz nizova u vremenskom domenu 139
10.3 Aktivni parametri za prikaz nizova u frekventnom domenu 140
10.4 Funkcija $U(t)$ za `SET.DEG.OF.TAPERING` 0.0, 0.5 i 1.0 142
10.5 Niz dužine 200 elemenata, $128 \leq 200 \leq 256$ 143
10.6 Originalni niz od 200 elemenata, dopunjen do dužine od 256 elemenata144
10.7 Aktivni parametri za prikaz raspodele rezultata akvizicije 144
10.8 Primer obrade raspodele rezultata akvizicije 145

11.1 Meni hardverskih parametara 147
11.2 Prikaz hardverskih parametara 148

12.1 Meni DOS interfejsa 150

Tabele

2.1 Merni profili – osnovni podaci. X – Udaljenje profila od mesta zatvarača; X/D – Relativno udaljenje profila od mesta zatvarača; L – Dužina pojedinih sekcija od kojih je sastavljena instalacija; ϕ – Prečnici pojedinih sekcija; $\overline{\phi}$ – Srednja vrednost unutrašnjeg prečnika (osrednjeno u odnosu na linijske gubitke) 17

4.1 Potrebne dužine uzvodnih i nizvodnih deonica za merenje pritisaka uzvodno i nizvodno od zatvarača – minimalne vrednosti 46

7.1 Odnos broja mernih kanala i broja uzoraka po kanalu 97

7.2 Maksimalni ulazni napon u zavisnosti od pojačanja PGA 98

Spisak korišćenih oznaka

A	–	Površina poprečnog preseka cevi (proticajni presek)
A_Z	–	Površina poprečnog preseka zatvarača za različitu otvorenost (proticajni presek)
A_{Z0}	–	Površina poprečnog preseka zatvarača za punu otvorenost (proticajni presek)
α_S	–	Koeficijent spljoštenosti fluktuirajuće veličine
C_S	–	Koeficijent simetrije fluktuirajuće veličine
C_Z	–	Koeficijent propusnosti zatvarača
D	–	Prečnik cevi
ΔE	–	Gubitak energije fluida, po jedinici težine
$\mathcal{F}(f)$	–	Funkcija modifikovanog kosinusa, pomoćna funkcija za osrednjavanje funkcije spektralne gustine konvolucijom
f	–	Frekvencija
$G(f)$	–	Funkcija spektralne gustine
g	–	Gravitaciono ubrzanje
Δh	–	Razlika Pijezometarskih kota
k	–	Apsolutna hrapavost cevi
λ	–	Koeficijent linijskih gubitaka energije, globalni
λ_L	–	Koeficijent linijskih gubitaka energije, lokalni
ν	–	Kinematički koeficijent viskoznosti
Π	–	Pijezometarska kota
p	–	Pritisak fluida na zid cevi
Q	–	Protok fluida u cevi
R	–	Poluprečnik cevi

Re	–	Reynolds–ov broj (karakteristična dužina je prečnik cevi)
$R_y(\mathcal{T})$	–	Funkcija autokorelacije brzine u jednoj tački
σ	–	Srednje kvadratno odstupanje fluktuacionog dela veličine $Y(t)$
$\mathcal{T}$	–	Vreme, vremenski pomak u funkciji autokorelacije
T_E	–	Makro skala vrtloga, vremenska
τ	–	Procenat otvorenosti zatvarača
τ_E	–	Mikro skala vrtloga, vremenska
τ_Z	–	Tangencijalni napon na zidu cevi
$\overline{U_0}$	–	Osrednjena brzina fluida u jednoj tački, u smeru ose cevi
u	–	Brzina fluida u bilo kojoj tački, u pravcu ose cevi
u^+	–	Bezdimenzionalna brzina u bilo kojoj tački, u pravcu ose cevi
u^*	–	Brzina trenja
V	–	Srednja brzina fluida u cevi
ξ_Z	–	Koeficijent lokalnog gubitka energije na zatvaraču, u funkciji otvorenosti zatvarača
ξ_Z^L	–	Koeficijent lokalnog gubitka energije pri punoj otvorenosti leptirastog zatvarača
ξ_Z^R	–	Koeficijent lokalnog gubitka energije pri punoj otvorenosti rupičastog zatvarača
$Y(t)$	–	Veličina koja zavisi od vremena
$\overline{Y}$	–	Osrednjena vrednost veličine $Y(t)$
$Y'(t) = y(t)$	–	Fluktuacioni deo veličine $Y(t)$
y	–	Odstojanje od ose cevi, u pravcu upravno na osu cevi
y^+	–	Reynolds–ov broj u zidnim koordinatama

Glava 1

Uvod

Regulisanje protoka fluida se javlja kao problem paralelno sa nastankom prvih vodovodnih sistema. Dovodjenje vode do potrošača sa vodozahvata koji su na višim nadmorskim visinama je pored razvoja sistema izgradnje cevovoda, zahtevao i razvoj armature, posebno zatvarača. U zavisnosti od toga da li je vode bilo u velikim količinama ili ne, pred zatvarače su se i postavljali zadaci prostog uključivanja i isključivanja dovoda, ili finijeg regulisanja protoka.

Zatvarači se i u današnje vreme dele na dve osnovne grupe: servisni zatvarači, kojima je jedina funkcija da obezbede po potrebi potpuno zatvaranje cevovoda, i regulacioni, koji omogućavaju upravljanje radom vodovodnih sistema, preraspodelu količina vode medju korisnicima i uništavanje viška energije (ukoliko je ima). Razvijeno je desetine tipova i vrsta zatvarača specijalizovanih za pojedine potrebe. Pojam "najboli regulacioni zatvarač" je zamenjen pojmom "najbolje izabran regulacioni zatvarač" shodno postavljenim zahtevima u konkretnoj situaciji.

Pri projektovanju vodovodnog sistema, problemu izbora regulacionih zatvarača treba prići sa stanovišta upravljanja sistemom, jer je upravo regulacioni zatvarač tâj izvršni organ koji odredjuje režim rada sistema. Projektant treba da razmotri niz zahteva koji se postavljaju pred zatvarač:

1. Prečnik zatvarača – prvi parametar koji treba analizirati. Česta greška u projektovanju je da se prečnik odredjuje na osnovu prečnika cevovoda. Pri projektovanju sistema kojima treba upravljati, prečnik zatvarača je u direktnoj sprezi sa ostalim parametrima.

2. Uslovi za rad zatvarača – da li se predvidja upravljanje radom zatvarača, mehanički (održavanje konstantnog pritiska) ili elektronski (održavanje konstantnog uzvodnog, nizvodnog pritiska, pada pritiska, protoka, promena protoka prema utvrdjenim kriterijuma itd.).

3. Kavitacione osobine zatvarača – u sistemima gde treba uništiti veliku energiju toka, ovo je često presudan faktor [47].

4. Regulacione osobine zatvarača – direktno utiču na opservabilnost i upravljivost sistema. Za svaki vodovodni sistem je neophodna sinteza potrebnih karakteristika regulacionog zatvarača. Na osnovu dobijenih karakteristika, bira se prečnik i vrsta zatvarača. U standardnoj praksi je medjutim odomaćen obrnut postupak.

5. Veličina i težina zatvarača – direktno utiču na cenu zatvarača, a i objekta, zatvaračnice.

6. Cena zatvarača – često presudan faktor, pogotovu kod sistema sa prečnicima preko $500mm$.

7. Posebni zahtevi – ako postoje za konkretnu primenu.

Jedan isti zatvarač ne može biti najbolji po svim kriterijumima. U zavisnosti od primene zatvarača, projektant treba da dâ veću specifičnu težinu pojedinim kriterijumima.

U ovom radu su izučavane osobine dva zatvarača: leptirasti (slika 2.4), kao najčešće korišćeni zatvarač koga projektanti rado upotrebljavaju i u regulacione svrhe, i rupičasti (slika 2.5), čisto regulacioni zatvarač novije konstrukcije, koji se u našoj zemlji još uvek ne proizvodi. Napravljena je eksperimentalna instalacija (slika 2.2), na kojoj je moguće meriti protok, pritiske i brzine uzvodno i nizvodno od zatvarača (poglavlje 2). Posebnim konstrukcijskim rešenjima (merna deonica koja se može rotirati oko svoje ose kao i ulazni priključci sa kugličnim zatvaračima), omogućeno je snimanje polja brzina u svim tačkama cevi, nizvodno od zatvarača, bez potrebe da se u toku merenja zaustavlja protok. Sprovedenim merenjima su precizno izmerene i analizirane prvo karakteristike same instalacije (poglavlje 3), a zatim i oba zatvarača (poglavlje 4). Opsežnim merenjima turbulentnih karakteristika toka uzvodno i nizvodno od zatvarača (poglavlje 5) dobijena je slika strujnog polja nizvodno od poremećaja koga unosi zatvarač. Analizom niza veličina, kvantifikuje se mera unetog poremećaja, kao i brzina njegovog smirivanja.

U drugom delu ovog rada (od poglavlja 7 do poglavlja 13), prikazan je razvijeni program za personalni računar, koji omogućava merenje srednjih vrednosti i fluktuacija više veličina istovremeno, obradu i grafičku prezentaciju u vremenskom i frekventnom domenu. Program se zove ADA^+ (skraćenica od Acquisition and Data Analysis) i tako je koncipiran da omogućava interaktivan unos i izmenu svih parametara potrebnih za rad. S obzirom da je program predvidjen i za korisnike koji nemaju veliko iskustvo sa sistemima za akviziciju podataka, korišćen je sistem menija u više nivoa i sa prozorima u kojima se daju upustva za svaku operaciju. Program vodi računa o unetim parametrima, proverava ih i snima na disk, formira bazu kalibracionih podataka za korišćene senzore, proverava ispravnost sistema za akviziciju i stara se da se rezultati akvizicije sačuvaju bez obzira na eventualni pad sistema.

Glava 2

Opis instalacije i merne opreme

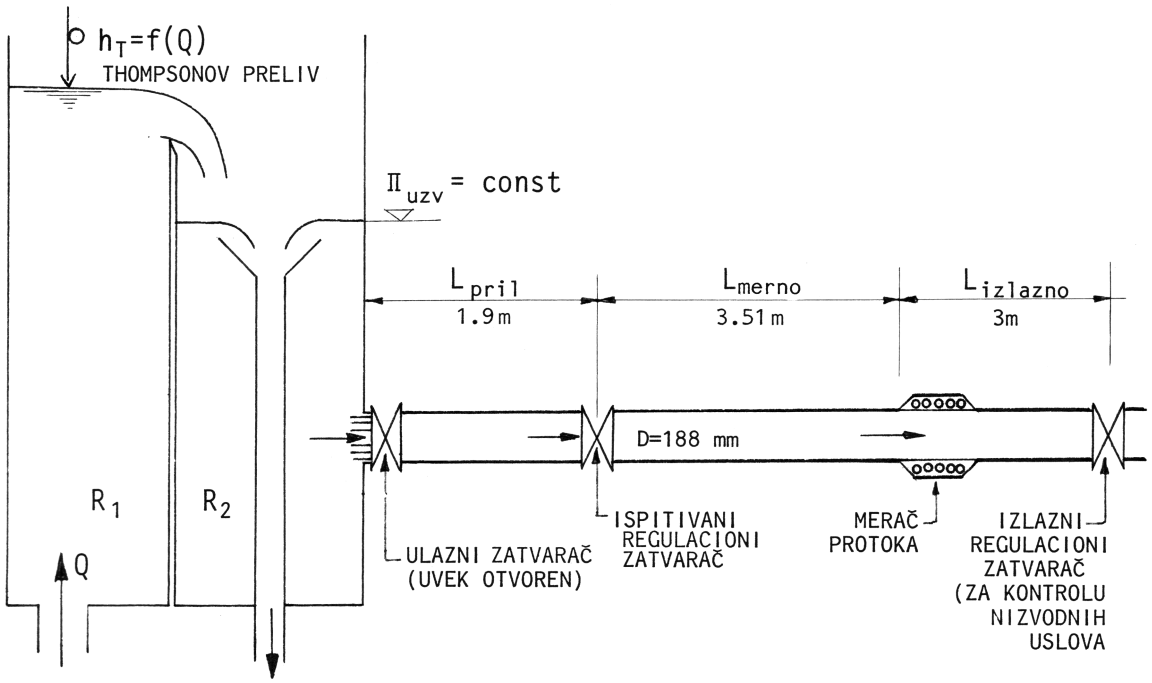
2.1 Prikaz instalacije

Prilikom projektovanja eksperimentalne instalacije za ispitivanja regulacionih zatvarača, vodilo se računa o sledećim uslovima:

1. Maksimalno uklapanje u postojeće instalacije u laboratoriji Instituta (na raspolaganju su bila izuzetno mala materijalna sredstva, tako da je ovaj uslov praktično i odredio osnovne dimenzije sistema);
2. Mogućnost pouzdanog merenja protoka u svakom trenutku;
3. Mogućnost promene uzvodnih i nizvodnih uslova;
4. Mogućnost analize srednjih vrednosti i fluktuacija brzina u svim tačkama strujnog polja, nizvodno od zatvarača koji se ispituje;
5. Izmenljivost regulacionog zatvarača koji se ispituje;
6. Merna deonica dužine do $L_{mer}/D = 20$, gde je D – unutrašnji prečnik cevi.

Prvi uslov je nametnuo instalaciju nominalnog prečnika $\phi 200mm$, koja se snabdeva vodom iz postojećeg rezervoara R_2, ukupne dužine $L_{uk} = 9m$, sa uzvodnim zatvaračem koji je uvek potpuno otvoren (ξ_{ul}), nizvodnim (ξ_{izl}) regulacionim zatvaračem i mernom deonicom $L_{mer} = 3.51m$ (slika 2.1 i 2.2). Dotok vode u rezervoar R_2 je preko oštroivičnog Thompsonovog preliva ($\alpha_T = 90^o$), iz rezervoara R_1, sa maksimalnim protokom od $Q^{dot}_{max} = 100l/s$. Ugradjeni levkasti preliv u R_2 evakuiše višak vode i održava konstantan nivo (Π kotu).

Na ulazu u sistem, ispred ulaznog zatvarača, postavljen je usmerivač, koji umiruje ulaznu struju i potpomaže uspostavljanju osnosimetričnog rasporeda brzina u zoni regulacionog zatvarača, uprkos relativno kratkoj prilaznoj deonici ($L_{pril} = 1.9m$,

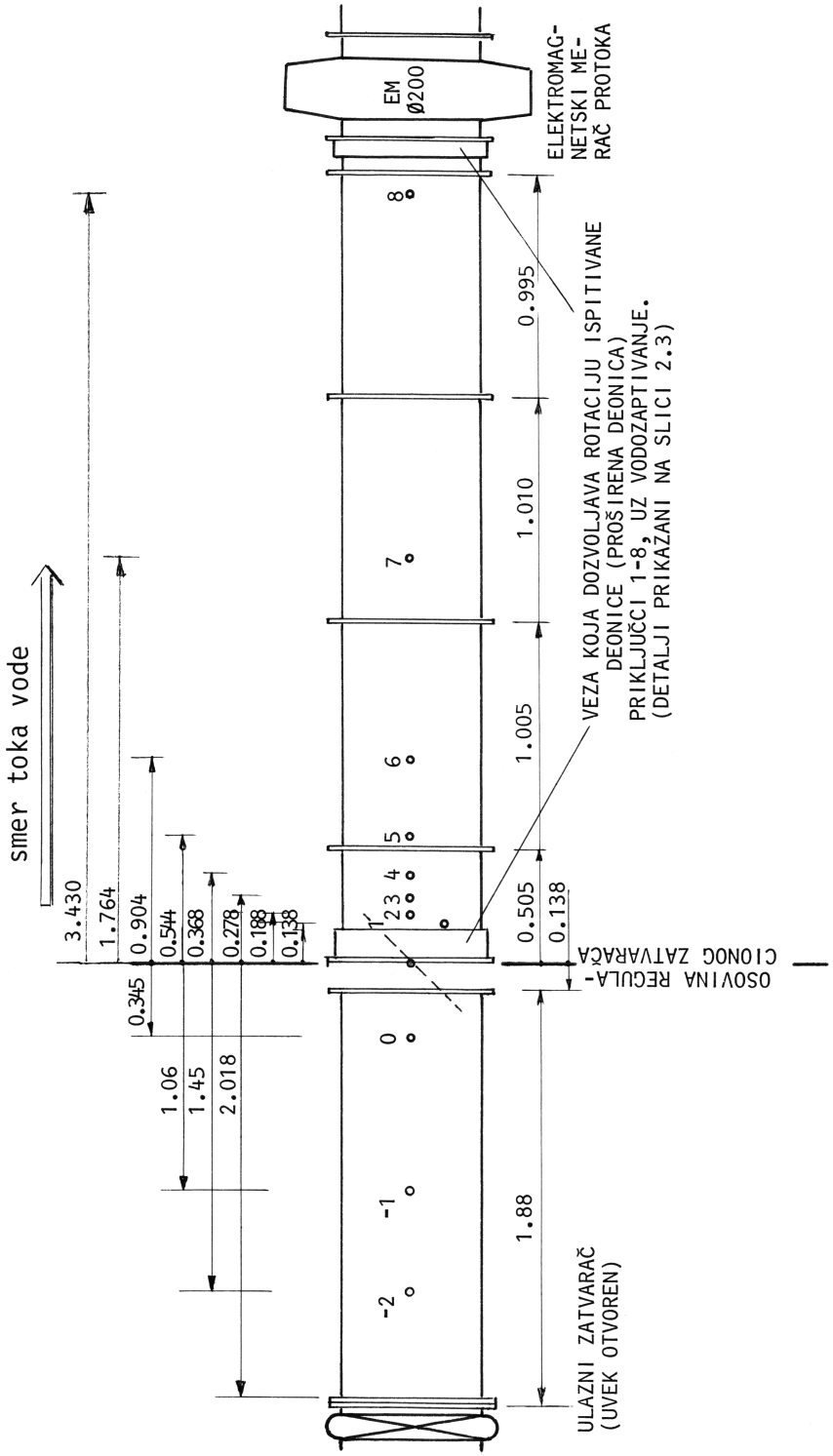


Slika 2.1: Instalacija za merenje osnovnih regulacionih karakteristika zatvarača - uprošćena skica

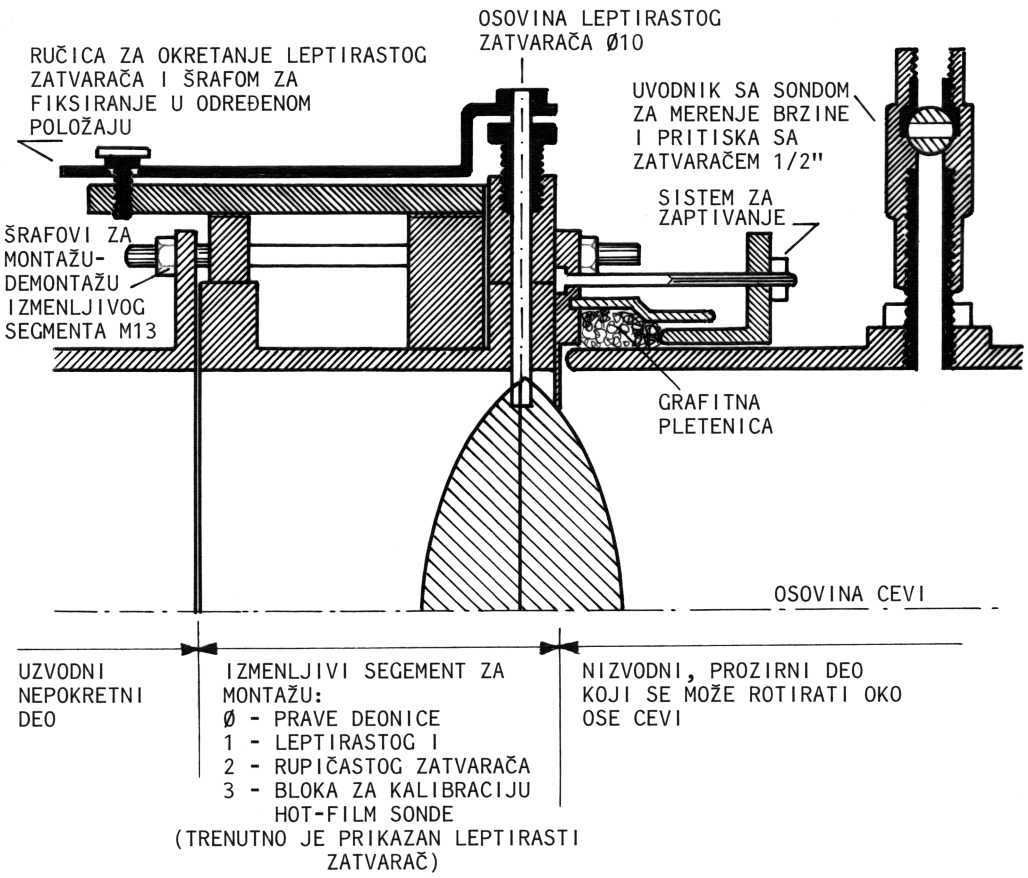
odnosno, $L_{pril}/D = 10$). Svi lokalni gubici energije u zoni ulaznog zatvarača (gubici na usmerivaču, na ulazu, na kolenu i gubici na ulaznom zatvaraču) se "pripisuju" ulaznim gubicima ξ_{ul}.

Merna deonica je dužine $L_{mer} = 3.51m$, odnosno, $L_{mer}/D = 18.7$. Zahvaljujući projektovanim spojevima na krajevima cevi (slika 2.3), koji omogućuju nesmetanu rotaciju uz istovremenu vodonepropusnost, obezbedjeno je merenje brzina u izabranim profilima po celom strujnom preseku (na slici 5.1 je dat prikaz jednog mernog profila, sa označenim tačkama u kojima se obavljaju merenja brzina). Na slici 2.3 je takodje prikazan i prvi merni profil, sa korišćenim sistemom za uvodjenje mernih sondi u cev pod pritiskom. Duž merne deonice, nizvodno od zatvarača, postavljeno je osam takvih mernih profila, a sa uzvodne strane tri (profili sa uzvodne strane ne dozvoljavaju rotaciju). Osnovni podaci o mernim profilima su dati u tabeli 2.1.

Protok u instalaciji je meren elektromagnetnim meračem sa homogenim poljem, visoke tačnosti i ponovljivosti. Uslovi za rad elektromagnetnog merača su izuzetno povoljni, zbog dugačke uzvodne i nizvodne deonice istog preseka kao i merni presek. Zahtev za visokom tačnošću rada merača u širokom rasponu merenih protoka, nametnuo je i potrebu za kvalitetnim uzemljenjem sistema. Zbog korišćenih plastičnih cevi i mogućnosti stvaranja potencijalnih naboja u cevi, ugradjeni su metalni prstenovi koji su vezani na zajedničku masu, izvedenu kao uzemljenje nezavisno od uzemljenja



Slika 2.2: Merna instalacija - detalj prilazne i merne deonice



Slika 2.3: Detalj rotacione veze zatvarač – cev i prvi merni profil

No	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
X (m)	-1.45	-1.06	-0.35	0.138	0.188	0.278	0.368	0.544	0.904	1.764	3.430
X/D	-7.7	-5.6	-1.86	0.73	1.0	1.48	1.96	2.89	4.81	9.38	18.2
L (m)		1.880			0.505			1.005		1.010	0.995
$\phi(m)$		0.189			0.181			0.189		0.190	0.185
$\overline{\phi}$ (m)		0.189			0.188						

Tabela 2.1: Merni profili – osnovni podaci. X – Udaljenje profila od mesta zatvarača; X/D – Relativno udaljenje profila od mesta zatvarača; L – Dužina pojedinih sekcija od kojih je sastavljena instalacija; ϕ – Prečnici pojedinih sekcija; $\overline{\phi}$ – Srednja vrednost unutrašnjeg prečnika (osrednjeno u odnosu na linijske gubitke)

zgrade Instituta.

Izlazna deonica instalacije se završava tablastim zatvaračem, prečnika $\phi 200mm$, sa slobodnim, nepotopljenim isticanjem. Izlaznim zatvaračem se zadaje nizvodni granični uslov, odnosno, koristi se za regulisanje protoka[1]. Mali skretač mlaza na izlazu doprinosi disipaciji kinetičke energije vode.

2.2 Ispitivani zatvarači

Na eksperimentalnoj instalaciji su detaljno ispitana dva regulaciona zatvarača, leptirasti i rupičasti. Zbog nemogućnosti da se nabave komercijalne verzije zatvarača zahtevanih prečnika, zatvarači su projektovani i izvedeni u Institutu. Mada su korišćeni plastika i mesing, dodatnim ukrućivanjima i pojačanjima na mestima gde je materijal najizloženiji dinamičkim opterećenjima, dobijeni su zatvarači zadovoljavajuće krutosti. S druge strane, nije se vodilo mnogo računa o "procurivanju" zatvarača pri potpunoj zatvorenosti, jer se radi o regulacionim a ne o servisnim zatvaračima.

Na slici 2.4 su date osnovne dimenzije leptirastog zatvarača. Mehanizam za pomeranje je izveden sa kočnicom, koja obezbedjuje sigurno pozicioniranje zatvarača u rasponu od 0° do 90°, sa korakom od 5°. Merenja vibracija zatvarača[2] do kojih je dolazilo pri otvorenostima od $\tau = 11 \ldots 26.7\%$ i veím protocima, pokazala su da je sopstvena frekvencija $f_{rez} = 890Hz$, daleko iznad područja dominantnih frekvencija fluktuacija brzina i pritisaka.

Rupičasti zatvarač (slika 2.5) spada u regulacione zatvarače novijeg datuma, tako da se za sada ne može naći u proizvodnim programima domaćih firmi. Princip rada se najbolje može razumeti iz preseka A — A. Uzvodna, pomerljiva ploča i nizvodna, fiksirana ploča su probušene nizom rupa. Pomeranjem uzvodne ploče, otvaraju se i zatvaraju rupe, menjajući proticajni presek. Za razliku od leptirastog zatvarača, koji je silom prilika proglašen regulacionim[3], rupičasti zatvarač je pravi regulacioni sa mogućnošću uništavanja velike kinetičke energije bez nepovoljnih efekata, kvalitetnim i pouzdanim pozicioniranjem uz minimalni broj pokretnih delova i jednostavnu konstrukciju. Odnos težine leptirastog i rupičastog zatvarača je 1:1, s time što su sile na vratilu, za pokretanje rupičastog zatvarača znatno manje nego kod leptirastog.

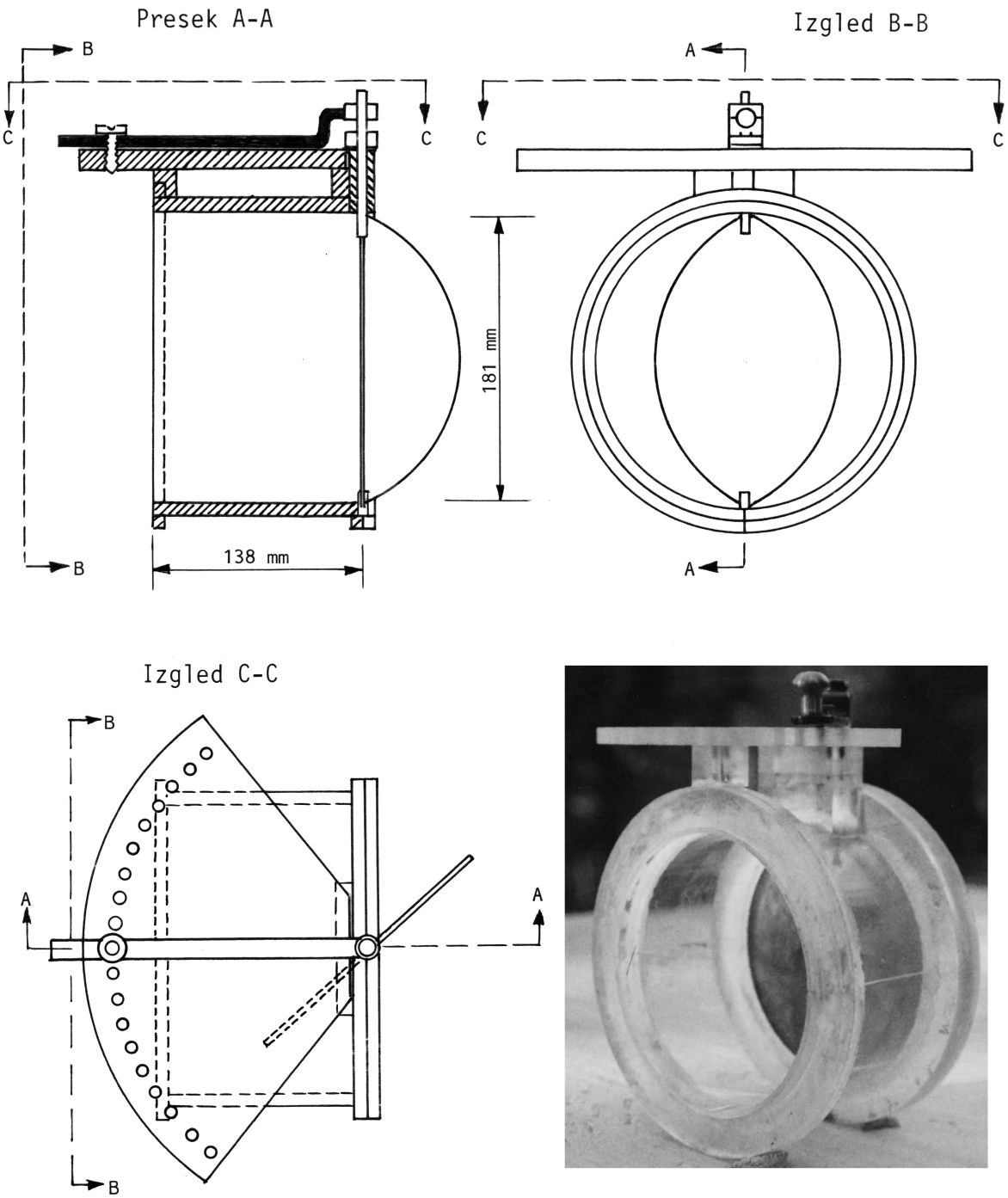
Posebna pogodnost rupičastog zatvarača je mogućnost pravljenja zatvarača sa različitim karakteristikama[4], a prema zahtevima sistema za regulaciju protoka. Na ovaj način je moguće dobiti linearnu regulacionu konturu u skoro svim uslovima

[1]Sa stanovišta regulacije protoka, povoljnije bi bilo koristiti zatvarač manjeg prečnika.

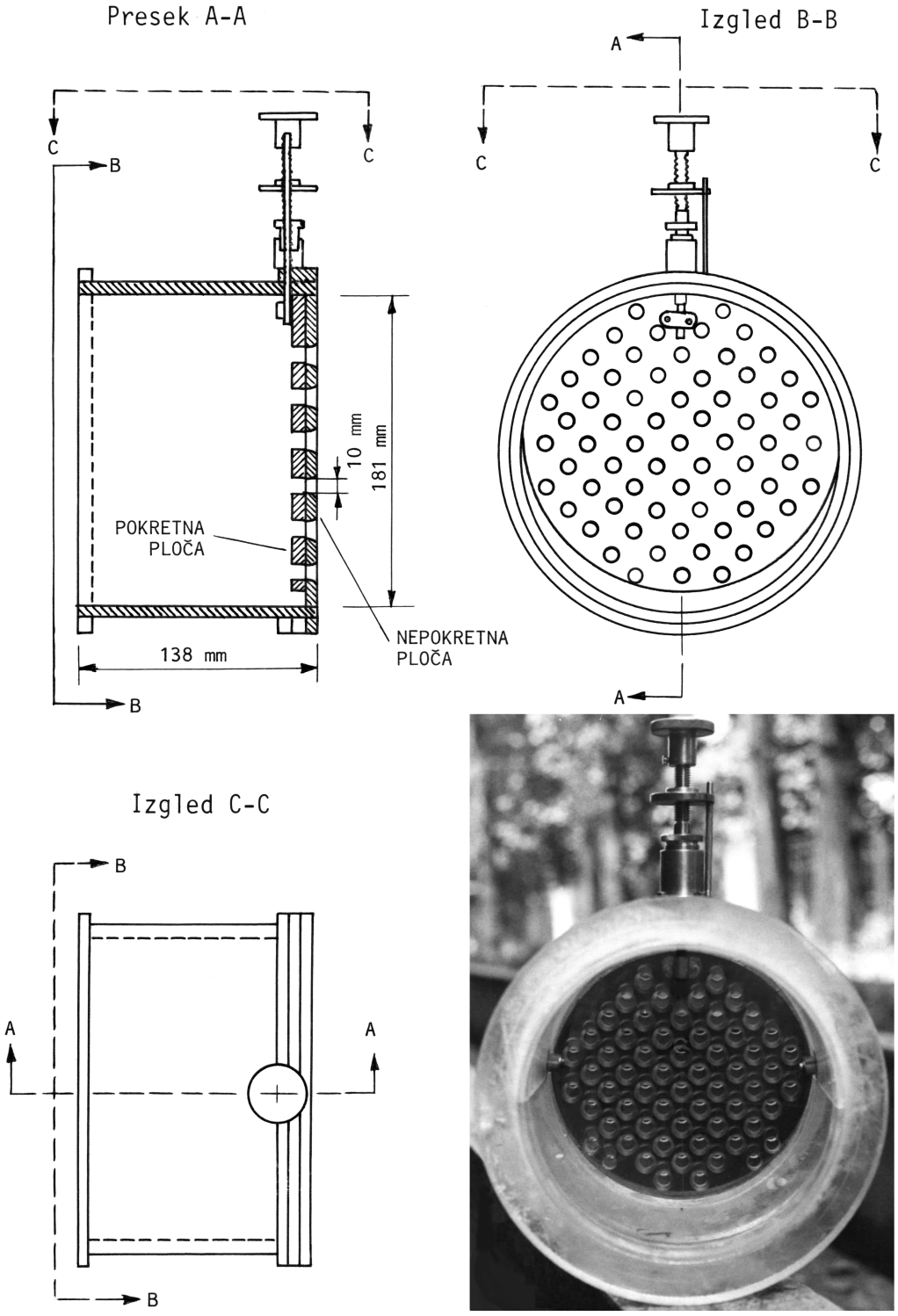
[2]Merenja obavljena korišćenjem Precision Sound Level Meter type 2203, Brüel & Kjær [32].

[3]Leptirasti zatvarač ima izuzetno povoljan odnos prečnik/težina i lako se nabavlja na domaćem tržištu.

[4]Karakteristika zatvarača je zavisnost koeficijenta lokalnog gubitka energije od otvorenosti zatvarača.



Slika 2.4: Ispitivani leptirasti zatvarač – osnovne dimenzije i fotografija zatvarača



Slika 2.5: Ispitivani rupičasti zatvarač – osnovne dimenzije i fotografija zatvarača

koji se javljaju u vodovodu. Pri tome, cena izradjenog zatvarača po narudžbi ne bi trebala biti znatno veća od standardne izvedbe, jer se radi samo o promeni rasporeda i dimenzija rupa koje se buše na kliznoj i fiksnoj površini. Inače, izvedeni prototip ima 61 rupu prečnika $10mm$, a ukupan odnos površine rupa (odnosno proticajne površine bez kontrakcije) i poprečnog preseka zatvarača je $A_o/A_\phi = 0.173$. U fabričkoj izradi, kada se radi na preciznijim mašinama i u kvalitetnijem materijalu (prototip je radjen u plastici), ovaj odnos teži ka $A_o/A_\phi = 0.290$.

2.3 Korišćena merna oprema i programska podrška

2.3.1 Merenje protoka

Merenje protoka na instalaciji je moguće rešiti na dva načina:

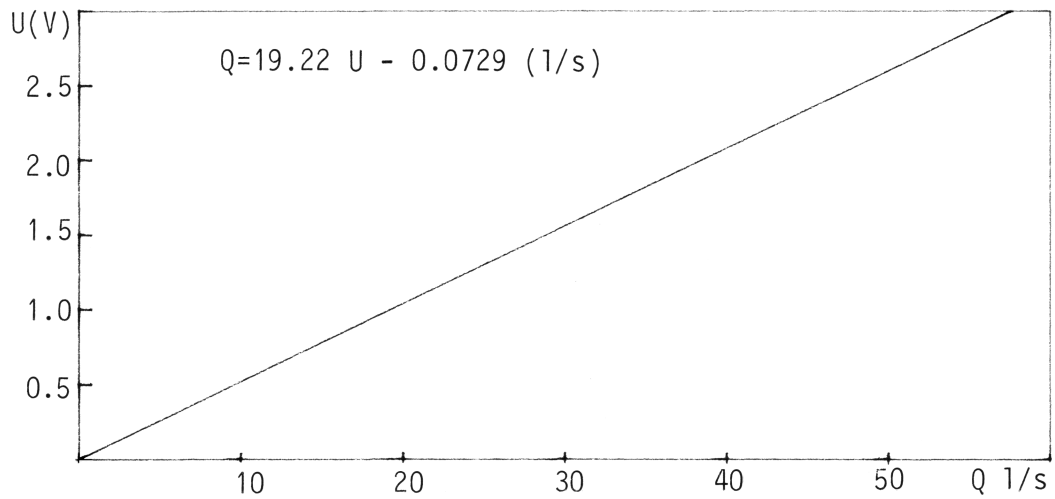
1. korišćenjem uzvodnog oštroivičnog Thompsonovog preliva,
2. ugradnjom dodatnog merača nizvodno od merne deonice.

Prvo rešenje je odbačeno jer ne dozvoljava merenje trenutnog protoka. Sistem sa dva rezervoara na ulazu je toliko neelastičan i inertan, da jedno merenje protoka može potrajati i po 20 minuta. Doduše, moglo bi se doći do elastičnijeg sistema ukoliko bi se dodatnim uredjajem merila promena zapremine u rezervoaru R_2 kroz vreme, pa se računala korekcija, ali je to još uvek izuzetno komplikovan sistem.

Drugo rešenje nameće problem izbora tipa mernog uredjaja. Zbog zahteva za visokom tačnošću merenja protoka u opsegu od 1:20, iz razmatranja su izuzeti svi uredjaji koji rade na principu merenja razlike pritisaka usled lokalnih poremećaja (venturimetri, dijafragme), kao i uredjaji koji mere lokalno samo jednu veličinu i na osnovu nje osrednjavaju ceo presek (anubar, UZV sa jednim parom glava, elektromagnetne LOG sonde ili sonde sa turbinom). Od preostalih uredjaja (UZV sa više pari glava, elektromagnetni, Vortex), izabran je elektromagnetni merač protoka, pre svega zbog mogućnosti nabavke na domaćem tržištu.

Protok je meren elektromagnetnim meračem, tip *IEMP*[5], nazivnog prečnika $\phi 200mm$ [19]. U literaturi [37, 30] se može naći detaljan opis korišćenog principa merenja protoka provodnih fluida elektromagnetnim davačem, sa preporukama o načinu montaže i uzemljenja. Takodje, u radu [36] su dati i rezultati ispitivanja procentualnog porasta greške mernog uredjaja zbog pogrešne ugradnje. Ovde je važno napomenuti da se koristi merač iz najnovije serije impulsnih merača sa homogenim poljem, gde je problem nestabilnosti merne nule kao i problem visokofrekventnih i niskofrekventnih smetnji eliminisan. Takodje, potrošnja struje ovog uredjaja je svedena na minimum.

[5]Proizvodjač "Institut Mihajlo Pupin".



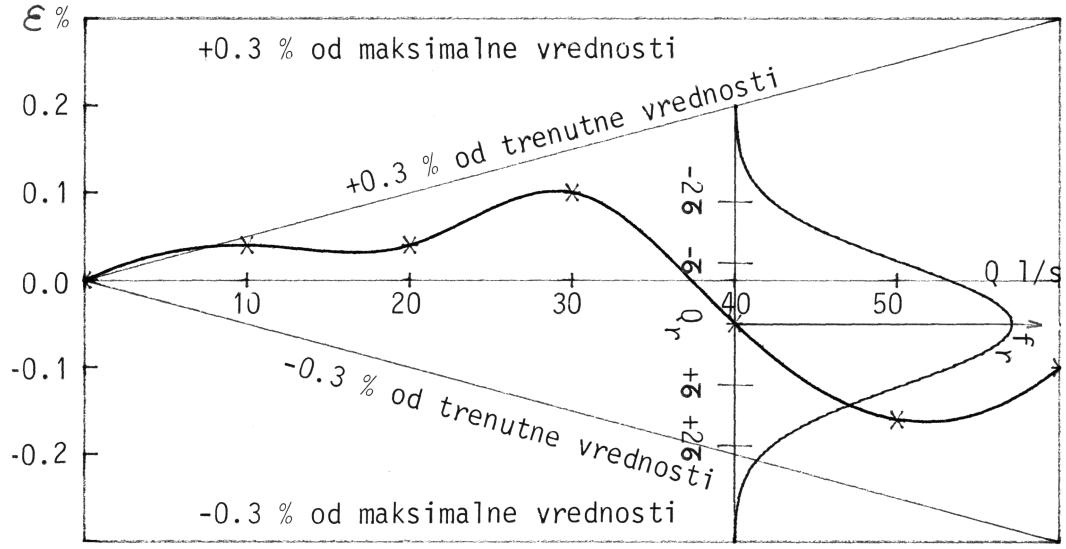
Slika 2.6: Kalibraciona funkcija za merač protoka *IEMP* $\phi 200mm$

S obzirom da je ugradjeni impulsni elektromagnetni merač protoka (u daljem tekstu *IEMP*) referentni uredjaj za sva obavljena merenja, posebna pažnja je posvećena njegovoj kalibraciji, kao i analizi ponovljivosti. Sva merenja su obavljena na instalaciji bez prisustva regulacionog zatvarača. Na slici 2.6 je dat dijagram $Q = f(U)$, gde je Q protok u l/s a U izmereni napon u V, dobijen fitovanjem merenih rezultata pravom linijom, metodom najmanjih kvadrata[6].

Pored rezultata fitovanja merenih podataka polinomom prvog stepena, na slici 2.7 je prikazan i dijagram tačnosti korišćenog merača protoka, sa raspodelom merenih rezultata za konstantan protok. Relativna greška ϵ je sračunata kao razlika izmedju merenog (dobijenog preko Thompsonovog preliva) i sračunatog (dobijenog iz kalibracione funkcije) protoka, podeljena sa maksimalnim protokom (u procentima). Granične linije od $\epsilon = \pm 0.3\%$ (horizontalne linije), predstavljaju granicu greške od maksimalne vrednosti (na engleskom se takva greška zove *Upper Range Value Error*). Takav način prezentiranja tačnosti mernog uredjaja je uobičajen od strane proizvodjača, jer uvek daje znatno povoljnije karakteristike nego prikaz greške u odnosu na trenutnu vrednost (druge dve kose linije na dijagramu 2.7). Na osnovu analize tačnosti korišćenog merača protoka, može se zaključiti da u svim režimima rada greška merenja protoka neće biti veća od 0.3 % od trenutne vrednosti.

Analiza raspodele merenih podataka pri jednom, konstantnom protoku je obavljena merenjem niza protoka Q_{tacno}, pri čemu je izmedju svaka dva merenja menjan

[6]Prema nekim autorima, bolji rezulati se postižu ukoliko se mereni podaci aproksimiraju polinomom trećeg stepena. Medjutim, analizom merenih podataka za *IEMP*, dobija se ukupna greška istog reda veličine sa polinomom prvog kao i sa polinomom trećeg stepena. Razlog tome verovatno treba tražiti u impulsnom režimu rada korišćenog davača, za razliku od starijih tipova sa prostoperiodičnim mrežnim napajanjem.



Slika 2.7: Dijagram tačnosti merača protoka *IEMP* $\phi 200mm$, sa prikazom raspodele greške za protok $Q = 40l/s$

protok uz ponovno vraćanje na Q_{tacno}. Na dijagramu nije ucrtan histogram dobijenih rezultata, već samo normalna raspodela dobijena na osnovu obavljenih merenja (raspodela mernih podataka za broj analiziranih tačaka veći od 30 se približava normalnoj Gausovoj raspodeli [37, strana 4–7]). Dobijeni rezultati ispitivanja pokazuju da je ponovljivost *IEMP*-a dovoljno visoka da se može iskoristiti kao referentni merač protoka na eksperimentalnoj instalaciji. Mada je kompletna kalibracija uradjena na eksperimentalnoj instalaciji sa demontiranim regulacionim zatvaračem, na osnovu ranijih iskustava [36], kao i na osnovu merenja rasporeda pritisaka i brzina u mernoj deonici (poglavlje 3.3 i 5.2) sa postavljenim zatvaračem, može se sa sigurnošću tvrditi da dobijeni kalibracioni rezultati važe u svim fazama rada eksperimentalne instalacije.

2.3.2 Merenje pritiska i razlike pritisaka

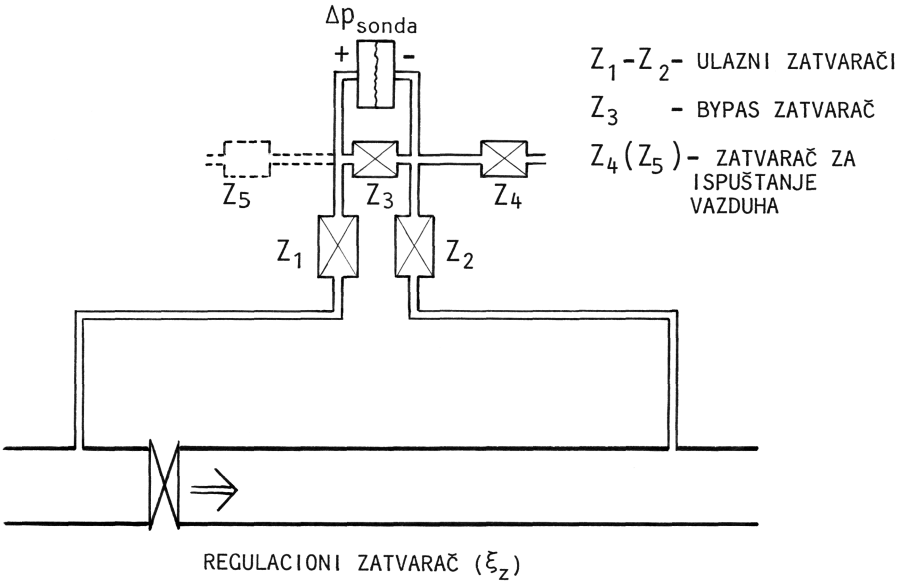
Merenje rasporeda pritiska, kao i fluktuacija pritisaka duž zida merne deonice, obavlja se davačem *Druck*[7]. Osnovne karakteristike (prema proizvodjačkim specifikacijama) su [2]:

- merni opseg $\pm 75mbar$,
- dozvoljeno prekoračenje mernog opsega do 400% bez promene kalibracije,

[7]Proizvodjač: Druck Limited, Leicester LE6 0FH, England

- princip rada je merenje ugiba membrane od titanijuma sa kvarcom, preko integrisane silicijumske merne trake,
- izlazni napon je $20mV$ za pobudni napon od $10V$,
- rezolucija je beskonačna (linearan pretvarač),
- greške usled nelinearnosti i histerezisa $\pm 0.1\%$ od punog opsega,
- temperaturni opseg 0 do 100^oC, sa temperaturnim promenama u kalibraciji od $0.02\%/^oC$,
- rezonantna frekvencija tipično $5000Hz$.

Prilikom merenja fluktuacija pritisaka, vodilo se računa o načinu priključivanja davača na instalaciju [42]. Da bi se smanjio efekat prigušenja visokih frekvencija fluktuacija pritiska, davač je spajan direktno na merni profil, preko zatvarača, a bez pijezometarskih cevi. Nisu obavljene detaljnije analize o gornjoj graničnoj frekvenciji sistema zid cevi – zatvarač – davač, ali se može očekivati da je iznad $1000Hz$.



Slika 2.8: Priključivanje davača za razliku pritisaka (Δp) na instalaciju

Merenje razlike pritisaka izmedju dva profila, kao i razlike pritisaka na zatvaraču se obavlja diferencijalnim davačima (davačima razlike pritiska Δp) *Validyne DP15* i *DP45*[8]. Osnovne karakteristike (prema proizvodjačkim specifikacijama) su [8]:

[8]Proizvodjač: Validyne Engineering Corp, California, USA

- merni opseg $\pm 2.25 mH_2O$ (sonda *DP15* sa membranom No. 34) i $\pm 0.225 mH_2O$ (sonda *DP45* sa membranom No. 24),
- dozvoljeno prekoraćenje mernog opsega do 200% bez promene kalibracije,
- princip rada je merenje ugiba čelične membrane metodom promene magnetne reluktanse,
- rezolucija je beskonačna (linearan pretvarač),
- greške usled nelinearnosti i histerezisa $\pm 0.25\%$ od punog opsega,
- temperaturni opseg -17 do 75^oC, sa temperaturnim promenama u kalibraciji od $0.03\%/^oC$,
- rezonantna frekvencija tipično $20Hz$ za *DP15* i $600Hz$ za *DP45*.

Spoj diferencijalnih davača i instalacije, sa stanovišta transfer funkcije nije kritičan, jer se mere samo osrednjene vrednosti. Zbog toga se za spajanje davača koristi sistem dat na slici 2.8, sa 4 zatvarača, koji omogućava siguran rad i kada se mere veoma male razlike pritisaka, pri visokim apsolutnim pritiscima [4]. Na slici 2.8 je ispekidanom linijom ucrtan i peti zatvarač, koji bi trebalo ugraditi na postojećoj instalaciji, radi sigurnijeg i lakšeg evakuisanja vazduha iz sistema (uspostavljanjem protoka kroz V_1, V_3 i V_4, kada se radi sa osetljivom Δp sondom, veoma se lako na zatvaraču V_3 formira razlika pritiska i do desetak puta veći od opsega sonde).

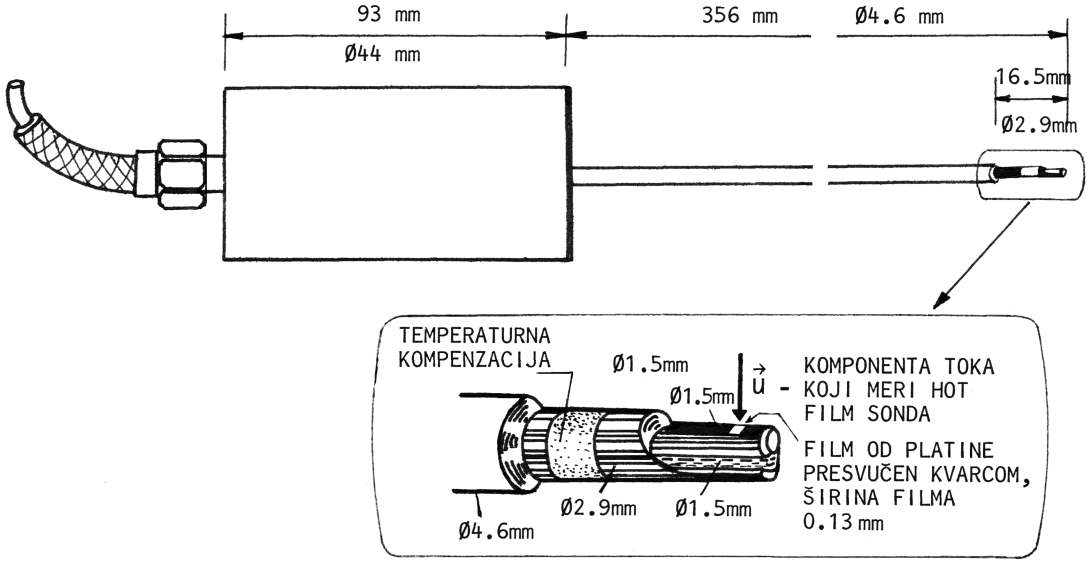
U toku kalibracije davača za pritisak i davača za razliku pritiska, dobijeni su rezultati koji se u potpunosti slažu sa specificiranim karakteristikama. Za pojačanje veoma malih signala davača za pritisak, koristi se instrumentacioni diferencijalni pojačavač Instituta "Mihajlo Pupin", a za pobudu, faznu detekciju i normalizaciju signala iz davača diferencijalnog pritiska, originalni merni most *CD12*. Rezultati kalibracije, kao i rekalibracije u toku merenja, pokazali su da su odstupanja u dužem vremenskom periodu kompletnog mernog sistema manja od $\pm 0.3\%$.

2.3.3 Merenje brzine vode

Merenje brzine vode u tački, srednje vrednosti i fluktuacija, obavlja se anemometarskim davačem sa toplim filmom *TSI 1630*[9]. Osnovne karakteristike (prema proizvodjačkim specifikacijama) su [6]:

- merni opseg 0 do $3m/s$,
- dozvoljeno prekoračenje mernog opsega do 150% uz ekstrapolaciju kalibracione funkcije,

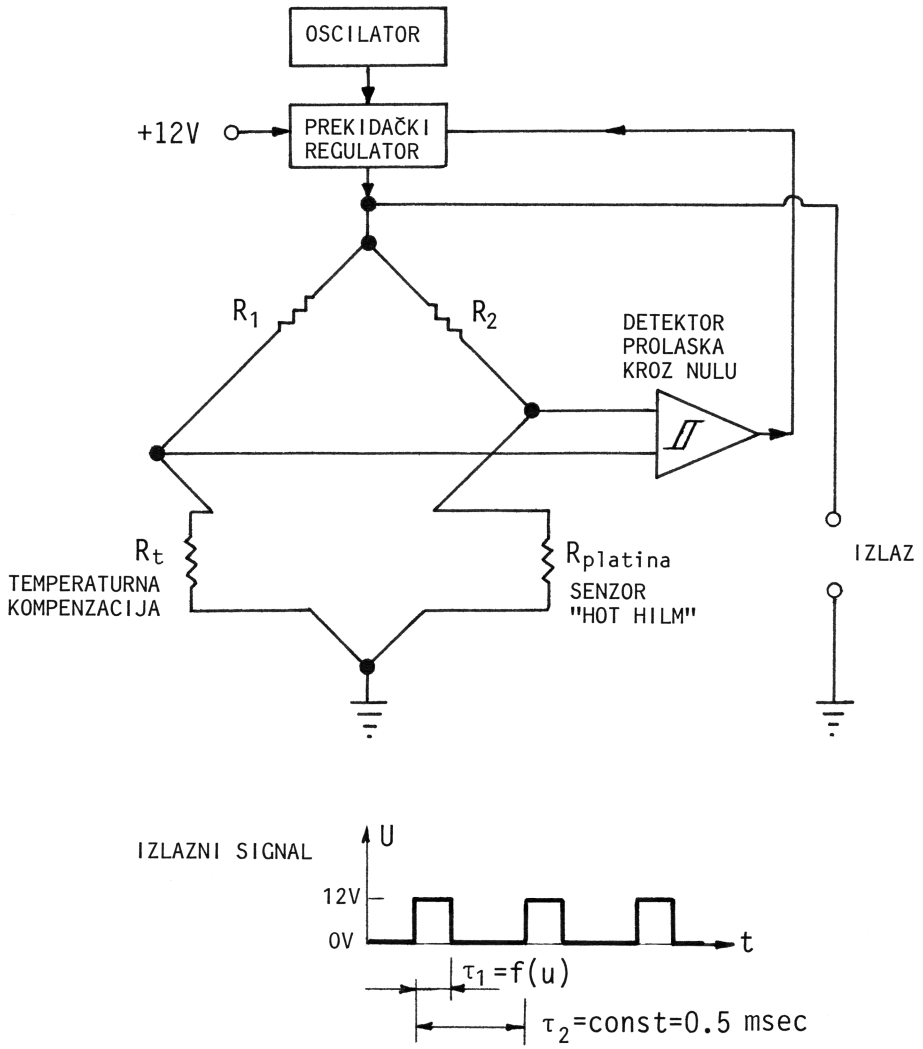
[9]Proizvodjač: Thermo System International, USA



Slika 2.9: Impulsni anemometar *TSI 1630* - izgled sonde sa detaljem mernog dela

- princip rada je merenje električne snage koja je potrebna da se senzor (tanki film od platine sa kvarcnom zaštitom), koji je izložen vodenoj stuji, zagreva na konstantnu temperaturu,
- rezolucija je beskonačna (linearan pretvarač),
- greške usled nelinearnosti i histerezisa $\pm 0.2\%$ od punog opsega,
- dozvoljeni radni temperaturni opseg 5 do 50^oC, sa temperaturnim promenama u kalibraciji od $0.15\%/^oC$,
- maksimalna frekvencija fluktuacija brzina zavisi od kvaliteta opreme za obradu signala, i može biti $2KHz$ uz digitalnu obradu, ili $200Hz$ uz analognu obradu,
- sonda meri samo jednu komponentu fluidne struje, komponentu upravnu na senzor. Takodje, nije u stanju da dâ smer te jedne komponente, pa se ne može koristiti u strujanjima sa povratnim tokom.

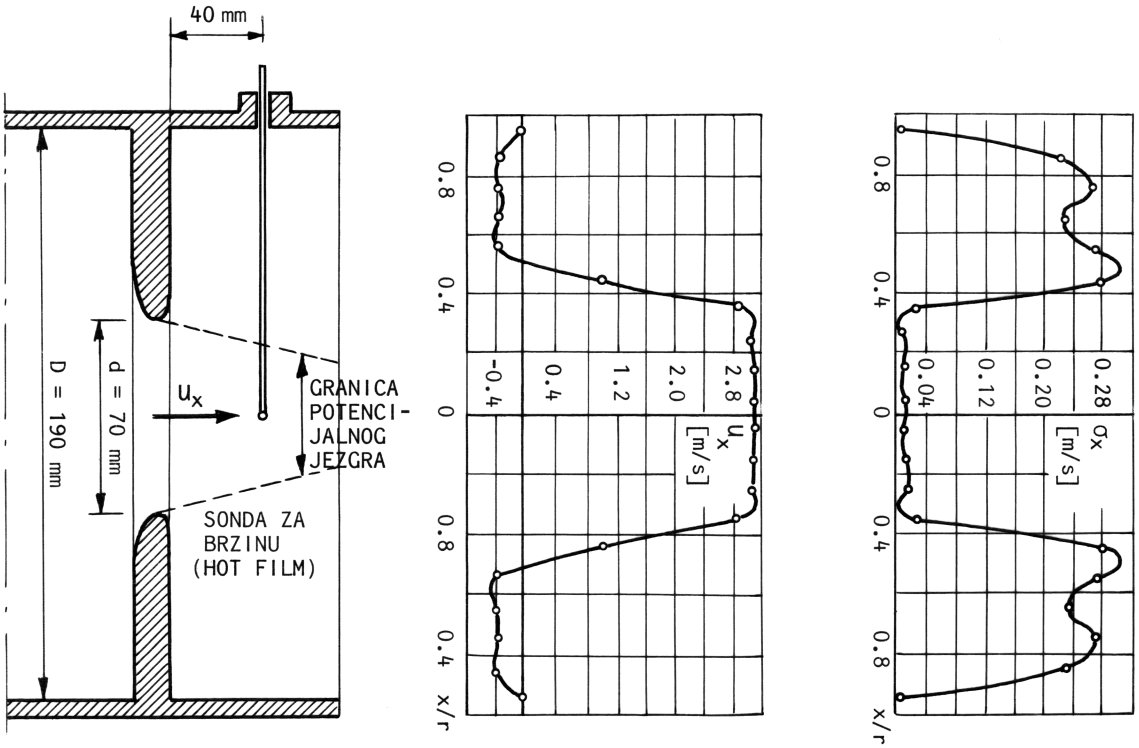
Opšti principi rada anemometara sa toplim filmom i toplom žicom su detaljno obradjeni u literaturi [33, 31, 1]. Davač *TSI 1630* spada u grupu anemometara sa konstantnom temperaturom, sa ugradjenom temperaturnom kompenzacijom. Korišćeni PDM (Pulse Duration Modulation) sistem obezbedjuje linearni izlazni napon u funkciji od električne snage koja se dovodi na senzor. Takodje, PDM sistem obezbedjuje i sigurnu zaštitu senzora od pregrevanja ukoliko senzor nije u kontaktu sa vodom.



Slika 2.10: Impulsni anemometar *TSI 1630* - princip rada

Na slici 2.10 je dat princip rada PDM sistema. Izlazni napon je impulsni, konstantne amplitude i frekvencije $2000Hz$, širinski modulisan podatkom o trenutnoj brzini vode upravno na topli film. Ukoliko se izlaz iz *TSI 1630* propusti kroz niskopropusni filter, i odstrani osnovna frekvencija od $2000Hz$, dobija se napon koji verno prati fluktuacije brzina do granične frekvencije upotrebljenog filtera. Granična frekvencija filtera, dakle mora biti ili ispod $50Hz$, da bi se u dovoljnoj meri prigušila osnovna frekvencija, ili treba koristiti kompleksne višestepene filtere, pri čemu je praktična gornja granica sistema $500Hz$[10]

[10]Za merenja fluktuacija brzina, na eksperimentalnoj instalaciji se koristi niskopropusni filter sa slabljenjem od $12dB/oct$ i sa graničnom frekvencijom $100Hz$. Proizvodjač filtera je Institut "Mihajlo Pupin", Beograd.



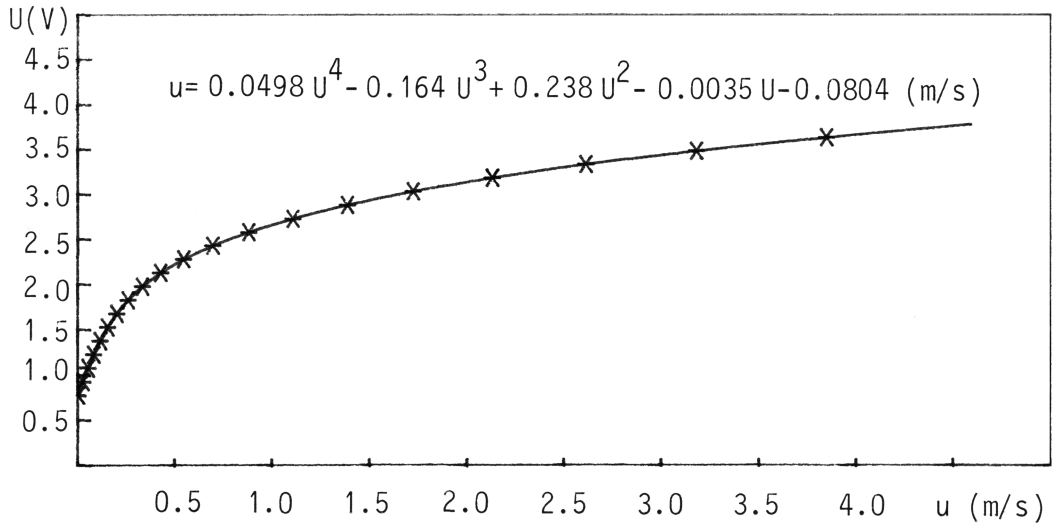
Slika 2.11: Kalibrator za *TSI 1630* davač, sa izmerenim rasporedom brzina (srednje vrednosti, U_x) i srednjim kvadratnim odstupanjem fluktuacija (σ_x)

Drugi način obrade izlaznog signala (slika 2.10) je merenje odnosa impuls – pauza u realnom vremenu. Na taj način bi se dobila maksimalna frekvencija izmerenih fluktuacija brzina od $2000Hz$. Naravno, to je moguće postići samo uz korišćenje posebno projektovanih digitalnih kola. Medjutim, ne treba izgubiti iz vida i ograničenje u pogledu dimenzija vrtloga koji se mogu snimiti korišćenom sondom. Zbog relativno velike površine toplog filma, nije moguće pratiti vrtloge sitnije od $0.5mm$. Uspostavljajući aproksimativnu vezu izmedju dimenzije vrtloga d, brzine u i korisne frekvencije f_k:

$$d = \frac{2u}{2\pi f_k} \tag{2.1}$$

vidi se da je za $u = u_{max} = 3m/s$ i $d = d_{min}$ maksimalna korisna frekvencija upravo jednaka frekvenciji na kojoj radi anemometarski sistem. Za niže brzine, maksimalna frekvencija koja nosi informacije o vrtlozima je takodje niža.

Kalibracija davača *TSI 1630* je izvedena na postojećoj instalaciji, pod normalnim radnim uslovima. Na mestu predvidjenom za montažu regulacionih zatvarača, postavljen je kalibrator sa dijafragmom otvora $d = 70mm$ ($d/D = 0.38$) i nosačem



Slika 2.12: Kalibraciona funkcija za *TSI 1630* davač

sonde udaljenim $X = 4cm$ ($X/d = 0.57$) od dijafragme (slika 2.11) [20, 17, 33]. Koristeći u prvoj iteraciji tipsku kalibracionu funkciju koju je dao proizvodjač, izmeren je raspored srednjih brzina i fluktuacija u preseku, kako bi se precizno odredio položaj potencijalnog jezgra. Nakon toga, sračunata je kalibraciona funkcija davača, znajući da je brzina u potencijalnom jezgru jednaka brzini u otvoru dijafragme, odnosno $V_{pot} = 4 \times Q/(d^2 \times \pi)$. Na slici 2.12 su dati rezultati kalibracije davača, uz aproksimaciju merenih rezultata polinomom četvrtog reda metodom najmanjih kvadrata. Na istoj slici su prikazana i odstupanja merenih podataka od računskih vrednosti, dobijena pri ponovljenim merenjima, kao i pri promeni temperature vode od 17^oC do 19^oC.

2.3.4 Sistem za akviziciju podataka

Merenje trenutnih vrednosti pritisaka i brzina zahteva upotrebu sistema za brzu akviziciju (prikupljanje) podataka. U radu je korišćen personalni računar (PC) sa sistemom za akviziciju *ED1000* [11]. Osnovne karakteristike sistema su [3]:

- sistem za akviziciju je modularnog, eksternog tipa. Sa računarom je povezan preko odgovarajućeg kontrolera, višežilnim kablom,
- kutija za module je standardna, 19", sa ugradjenim sopstvenim napajanjem,
- sistem može da radi sa 256 analognih ulaznih kanala, 256 analognih izlaznih i 512 digitalnih ulazno izlanih kanala. U sistem je trenutno ugradjeno:

[11] Proizvodjač: Electronic Design, Beograd, Yugoslavia

  - 8 analognih ulaza, sa ulaznim opsegom od $\pm 5mV$ do $\pm 5V$, brzinom konverzije $10\mu s$ i 12 bitnom tačnošću,
  - 1 programibilni oscilator, maksimalne frekvencije $8MHz$,
  - 4 programibilna delitelja frekvencije.

- sistem je programski kompatibilan sa Burr Brown *PCI20000* akvizicionim sistemom, na nivou registara,
- koristeći *PCI20046* i *PCI20047* programske drajvere, moguće je lako programiranje akvizicionog sistema iz viših programskih jezika (BASIC, PASCAL, C, ASYST[12]).

2.3.5 Program za akviziciju i obradu podataka

Jedan od postavljenih ciljeva u ovom radu je i razvoj kompleksnog akvizicionog programa. Razvijeni program je nazvan ADA^+ , skraćenica od Acquisition and Data Analysis (Akvizicija i obrada podataka). ADA^+ je radno okruženje pod ASYST–om, koje korisnika vodi kroz sistem akvizicije, kontroliše parametre akvizicije i radnog sistema i daje kvalitetan grafički prikaz na ekranu, ploteru ili printeru. ADA^+ je tako koncipirana da omogućava komforan rad početnicima u ovoj oblasti, kao i profesionalcima, kojima je pod ADA^+ –om uvek na raspolaganju ASYST. Osnovne funkcije koje ADA^+ dodaje ASYST-u su:

- Interaktivno definisanje parametara akvizicije;
- Interaktivno definisanje prozora za crtanje, bilo na ekranu ili na ploteru;
- Programski vodjena kalibracija korišćenih senzora, sa mogućnošću formiranja baze podataka;
- Akvizicija i snimanje podataka na disk, uz proveru zapisa radi potpune sigurnosti podataka;
- Višekanalni analogni i digitalni voltmetar u realnom vremenu;
- Višekanalni osciloskop u realnom vremenu;
- Višekanalni spektralni analizator u realnom vremenu;
- Analiza izmerenih podataka;

[12]ASYST je programski jezik firme Macmillan Software Co. koji kombinuje sve najbolje strane kompajlerskih jezika (velika brzina rada), interpreterskih (interaktivan rad sa podacima) kao i FORTH jezika (rad sa stekovima, RPN aritmetika . . .).

- Visokokvalitetni grafički prikaz.

U drugom delu rada, daje se detaljno uputstvo za korišćene programa ADA^+ U uputstvu se nalaze kompletna objašnjenja o korišćenim varijablama i rečima za sve važnije funkcije. Na taj način je omogućeno kasnijim korisnicima da lakše modifikiju program i da ga prilagode svojim potrebama.

Glava 3

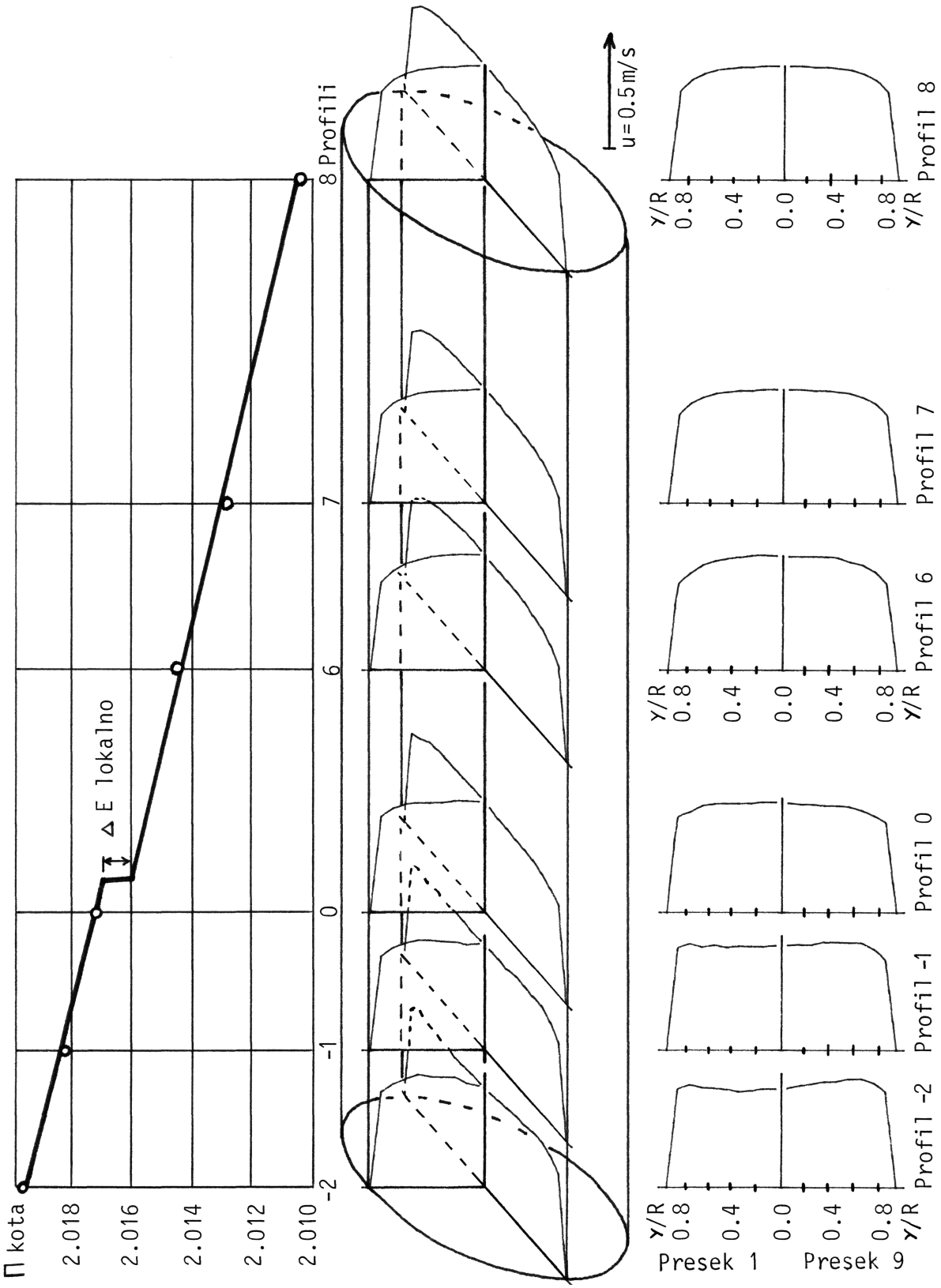
Rezultati ispitivanja instalacije

3.1 Analiza razvoja strujnog polja

Uprošćena hidraulička šema izvedene eksperimentalne instalacije je prikazana na slici 2.1. S obzirom da su prilazna i merna deonica sa gledišta razvoja turbulentnog toka relativno kratke [31], prva merenja na instalaciji su obavljena sa ciljem da se utvrdi stepen razvijenosti toka u mernoj sekciji, bez prisutnog lokalnog poremećaja (ispitivanog zatvarača). Ovakvim merenjima se dobija referentno stanje strujne slike, odnosno strujna slika u instalaciji u neporemećenom stanju, za uporedjenje sa strujnom slikom kada bude postavljen regulacioni zatvarač, leptirasti ili rupičasti.

Merenjem rasporeda brzina u profilu neposredno nizvodno od ulaza u eksperimentalnu instalaciju (profil broj -2), kao i u profilima -1, $0 \ldots 8$, dobijena je slika razvoja toka, prikazana na 3.1. U srednjem delu slike, u aksonometrijskom prikazu su date izmerene brzine, za preseke 1 (duž levog boka cevi), 5 (duž gornje ivice cevi) i 9 (duž desnog boka cevi) (slika 5.1). Sva merenja su obavljena pri protoku $Q = 11.5l/s$, odnosno pri srednjoj brzini $V = 0.414m/s$. Kako se u aksonometrijskom prikazu ne mogu jasno videti odnosi brzina u presecima 1 i 9, u donjem delu slike je dat presek kroz mernu deonicu u horizontalnoj ravni.

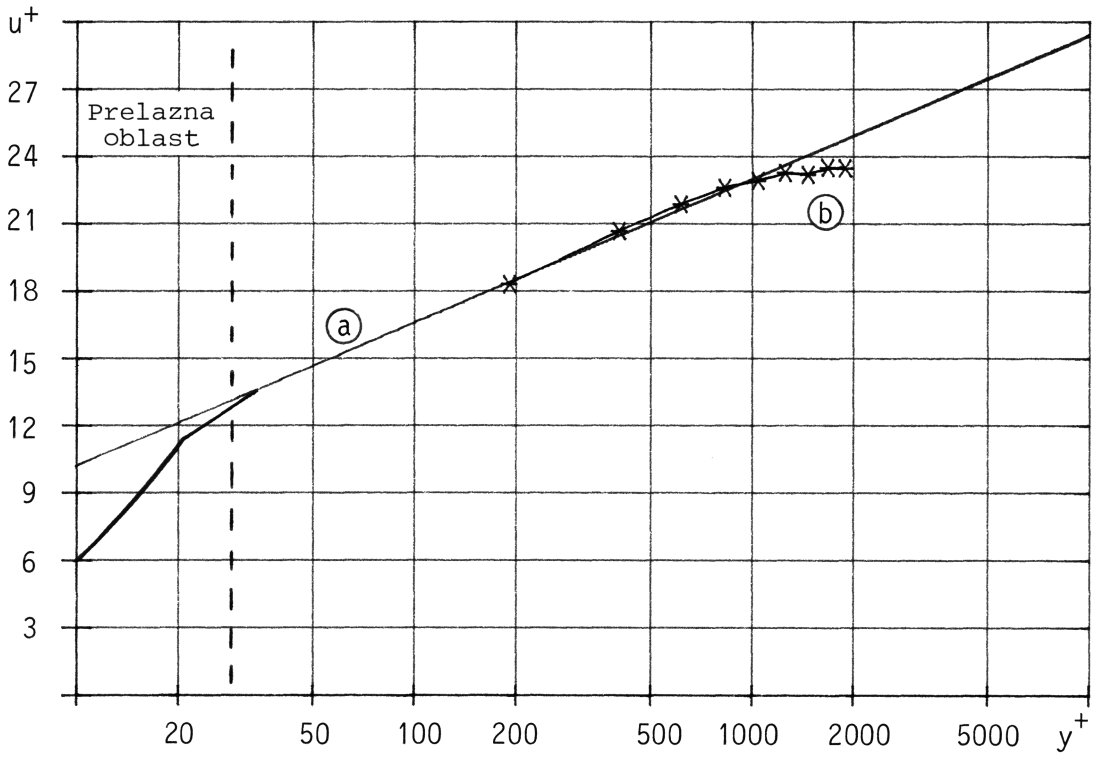
Posmatrajući brzine u profilu -2 (nizvodno od krivine u horizontalnoj ravni, na odstojanju $x/D = 3.0$), vidi se da je već došlo do izvesnog smirivanja fluidne struje, i da su nešto veće brzine u presecima 5 i 9 (u preseku 5 je došlo do povećanja brzina na udaljenju od zida $y/R \approx 0.5$, što ukazuje na postojanje vrtložne komponente brzine). Kako se fluidna struja više udaljava od krivine, dolazi do sve većeg smirivanja toka, i do postepenog razvoja turbulentnog jezgra. U svim profilima nisu primećene povratne struje. Integrisanje izmerenih polja brzina, uz linearnu interpolaciju izmedju preseka 1 i 5, kao i 5 i 9, i uz predpostavku da je strujanje simetrično oko horizontalne ravni, daje protok koji se ne razlikuje za više od 2 % od izmerenog protoka. Ovako sračunati protok je uvek nešto niži od stvarnog, jer je korišćena linearna interpolacija izmedju merenog preseka najbližeg zidu ($y/R = 0.904$) i zida



Slika 3.1: Raspored brzina u horizontalnoj ravni (preseci 1 i 9) i u gornjoj polovini vertikalne ravni (presek 5) sa nagibom Π linije duž eksperimentalne instalacije

cevi.

Kao pokazatelj razvijenosti toka u zoni nizvodno od mesta gde će se postavljati regulacioni zatvarači, uporedjuje se odnos maksimalne brzine u profilu prema srednjoj (proticajnoj) brzini, u/V, gde je $V = Q/A$. Ovaj odnos je funkcija Reynolds–ovog[1] broja, i prema literaturi [31, slika 7.3 strana 149] za potpuno razvijeno strujno polje i za $\mathrm{Re} = 78 \times 10^3$ u glatkoj cevi, iznosi $u/V = 1.205$. U profilima 6, 7 i 8, odnos maksimalne brzine prema srednjoj iznosi 1.200, 1.2005 i 1.202.



Slika 3.2: Raspored brzina u poprečnom preseku kružne cevi: a) Teorijska raspodela data sa $u^+ = 2.78 \ln y^+ + 3.8$, b) Rezultati merenja u profilu 8 na eksperimentalnoj instalaciji bez ugradjenog regulacionog zatvarača

Drugi pokazatelj je uporedjenje profila brzine sa logaritamskim rasporedom brzine u turbulentnom jezgru [31, slika 7.11]. Na slici 3.2 je linijom (**a**) dat teorijski raspored brzina u turbulentnom jezgru, definisan jednačinom:

$$u^+ = 2.78 \ln y^+ + 3.8 \tag{3.1}$$

koju je potvrdio Deissler [31, strana 160] merenjima u vazdušnom tunelu u glatkoj kružnoj cevi. Na dijagramu su predstavljene bezdimenzionalne brzine u^+ u funkciji

[1]Karakteristična dužina za Reynolds–ov broj je unutrašnji srednji prečnik cevi, $D = 0.188m$

od y^+, Reynolds–ovog broja koji za karakterističnu dužinu uzima odstojanje od zida y:

$$u^+ = \frac{u}{u^*} \qquad\qquad y^+ = \frac{yu^*}{\nu} \tag{3.2}$$

Veličina u^* ima dimenziju brzine, i zove se "brzina trenja". Definiše se pomoću tangencijalnog napona na zidu (τ_z) i gustine fluida (ρ):

$$u^* = \sqrt{\frac{\tau_z}{\rho}} = \sqrt{\frac{\lambda_L V^2}{8}} \tag{3.3}$$

gde je V srednja brzina fluida, data sa $V = Q/A$. Sredjivanjem jednačine 3.2, imajući u vidu izraz za u^* (jednačina 3.3) i da je Reynolds–ov broj za prečnik cevi $\mathrm{Re} = (VD)/\nu$, dobija se:

$$u^+ = \frac{u/V}{\sqrt{\frac{\lambda_L}{8}}} \qquad\qquad y^+ = \frac{y}{R}\frac{\mathrm{Re}}{2}\sqrt{\frac{\lambda_L}{8}} \tag{3.4}$$

Važno je napomenuti da prilikom crtanja merenih rezultata, linije (**b**), kao koeficijenat linijskih gubitaka λ_L se uzima lokalni koeficijenat, a ne globalni, koji se dobija na osnovu jednačine 3.6, date u poglavlju 3.2. Razlog za to je što globalni koeficijenat linijskih gubitaka u sebi uključuje pored stvarnih linijskih gubitaka energije nastalih od trenja i sve lokalne gubitke energije na spojevima cevi, kao i neravnomernosti u proticajnom profilu. Takav prilaz koeficijentu linijskih gubitaka je ispravan za sva izračunavanja gubitaka energije. Medjutim, kod jednačine 3.3 mora se koristiti lokalno λ_L koje je oslobodjeno svih drugih poremećaja. S obzirom da je na izvedenoj eksperimentalnoj instalaciji nemoguće merenjem doći do tačne vrednosti λ_L, jer se radi o izuzetno malim razlikama Π kota ukoliko se meri u okviru jedne cevi (da bi se izbegao uticaj sastavaka), vrednost koeficijenta je očitana sa dijagrama $\lambda_L = f(\mathrm{Re})$, za $\mathrm{Re} = 78 \times 10^3$ i za predpostavljenu relativnu hrapavost $k/D = 200 \times 10^{-6}$ (za glatku cev od PVC–a [31, slika 7-21 strana 176]. Tako očitana vrednost koeficijenta je $\lambda_L = 0.0211$.

Na osnovu analize profila brzina, može se smatrati da je u ispitivanoj cevi strujni tok razvijen. Kao mera poremećaja koji će uneti regulacioni zatavarač u tok, odnosno kao mera smirivanja toka nizvodno od regulacionog zatavarača, koristiće se uporedjenja sa stanjem toka u istom profilu u slučaju bez ugradjenog regulacionog zatvarača. Da bi se izbegao uticaj Reynolds–ovog broja, sva merenja profila brzina iza regulacionih zatavarača će se obaviti pri istom Reynolds–ovom broju, odnosno pri istom protoku.

Pored rasporeda brzina, meren je i nagib Π linije od rezervoara R_2 do profila 8, sondom za diferencijalni pritisak. Na istoj slici na kojoj su dati rasporedi brzina (slika 3.1), u gornjoj trećini slike se daje i izmerena Π linija. Zbog usvojene razmere

nije bilo moguće prikazati i Π kotu u uzvodnom rezervoaru, koja je iznosila $\Pi_{R2} = 2.045m$. Razlika izmedju Π kote rezervoara R_2 i Π kote u mernom profilu -2 jednaka je lokalnim gubicima energije na ulaznom usmerivaču, krivini i otvorenom zatvaraču.

Nagib pijezometarske linije se postepeno smanjuje duž toka, kako se tok razvija, da bi na kraju imala približno konstantnu vrednost. Na slici se može uočiti prilično veliko rasturanje merenih rezultata. Razlog za takvo rasturanje su izuzetno male razlike pritisaka koje treba meriti, kao i priličan uticaj lokalnih poremećaja duž eksperimentalne instalacije (cev je napravljena od većeg broja ručno pravljenih prozirnih sekcija, koje nisu idealnog kružnog oblika). Nagli pad Π linije iza profila 0 je prouzrokovan lokalnim gubicima na delu instalacije koji omogućava izmenu regulacionih zatavarača kao i rotiranje nizvodnog dela instalacije. Sa dijagrama se može očitati da je ta razlika $\Delta E = 0.001m$.

3.2 Linijski i lokalni gubici energije

Uz analizu razvoja strujnog toka u eksperimentalnoj instalaciji, odredjeni su i osnovni hidraulički parametri merne deonice, koeficijenat linijskih gubitaka i maksimalni protok, u zavisnosti od tipa ispitivanog zatvarača.

Merenjem razlike pritisaka duž merne deonice (merni profili 1 ... 8) za različite protoke, i bez prisustva ispitivanih zatvarača, dobijena je funkcionalna zavisnost koeficijenta linijskih gubitaka λ od Reynolds–ovog broja, $\lambda = \mathrm{f(Re)}$. Na slici 3.3 je prikazana ta zavisnost, i to prvo na opštem dijagramu sa jasno izdvojenim karakterističnim oblastima tečenja [46, strana 169], kao i na izdvojenom dijagramu sa merenim i aproksimiranim rezultatima[2]. Za aproksimaciju zavisnosti $\lambda = \mathrm{f(Re)}$, koristi se eksponencijalni[3] izraz:

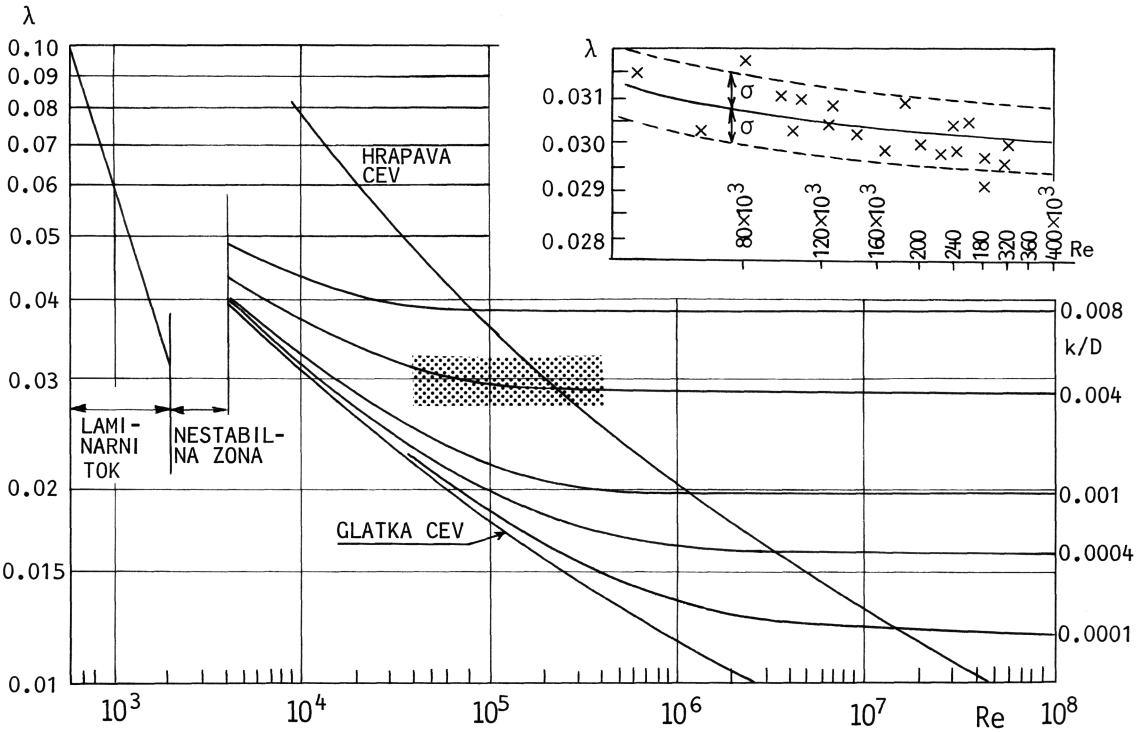
$$\lambda = a \times \left(\frac{k}{D} + \frac{b}{\mathrm{Re}} \right)^{1/3} \tag{3.5}$$

gde je k apsolutna hrapavost cevi u mernoj deonici L_{mern}. Usvojen je eksponencijalni zakon rasporeda brzine po preseku, šestog reda[4], jer je odnos $\frac{k}{D} > 10^{-4}$ [23]. S

[2]S obzirom da se raspolaže sa dovoljnim brojem pouzdanih podataka o zavisnosti razlike pritisaka od Reynolds–ovog broja, prišlo se modifikaciji konstanti u izrazima za koeficijent linijskih gubitaka. Na taj način se sve specifičnosti razvoja strujnog toka u mernoj deonici direktno odražavaju na izraz 3.6.

[3]Da li se za raspored brzina usvaja logaritamska zakonitost, kao na slici 3.2, ili eksponencijalna, ovde usvojena, u ovom trenutku nije odlučujuće. Jednostavno se traži analitički izraz koji dovoljno dobro aproksimira vrednosti koeficijenta linijskih gubitaka (dobijenih preko izmerenih razlika pritisaka na početku i na kraju merne deonice) u zavisnosti od Reynold–sovog broja.

[4]Pri analizi koeficijenta linijskih gubitaka λ, analiziran je i eksponencijalni zakon rasporeda brzine po preseku osmog reda. Dobijeni rezultati fitovanja (koeficijenti a, b i k – jednačina 3.5) su pokazali veća odstupanja od uobičajenih vrednosti, nego što se dobija usvojenim rasporedom šestog reda.



Slika 3.3: Koeficijent linijskih gubitaka u zavisnosti od Reynolds–ovog broja (U gornjem desnom uglu je uveličani deo dijagrama za Reynolds–ove brojeve u rasponu od 40×10^3 do 400×10^3, sa izmerenim vrednostima na eksperimentalnoj instalaciji, kao i sa ucrtanim analitičkim izrazom i granicom $\pm 1\sigma$)

obzirom da je merna deonica izvedena spajanjem više kraćih providnih plastičnih cevi, apsolutna hrapavost k više ne predstavlja samo visinu izbočina duž zida cevi, već u sebi sadrži i uticaj dela lokalnih gubitaka nastalih na pojedinim spojevima cevi. Na osnovu jednačine 3.5 i izmerenih podataka, koristeći Gaus – Newton-ovu metodu fitovanja [11], odredjeni su koeficijenti a i b, kao i apsolutna hrapavost k:

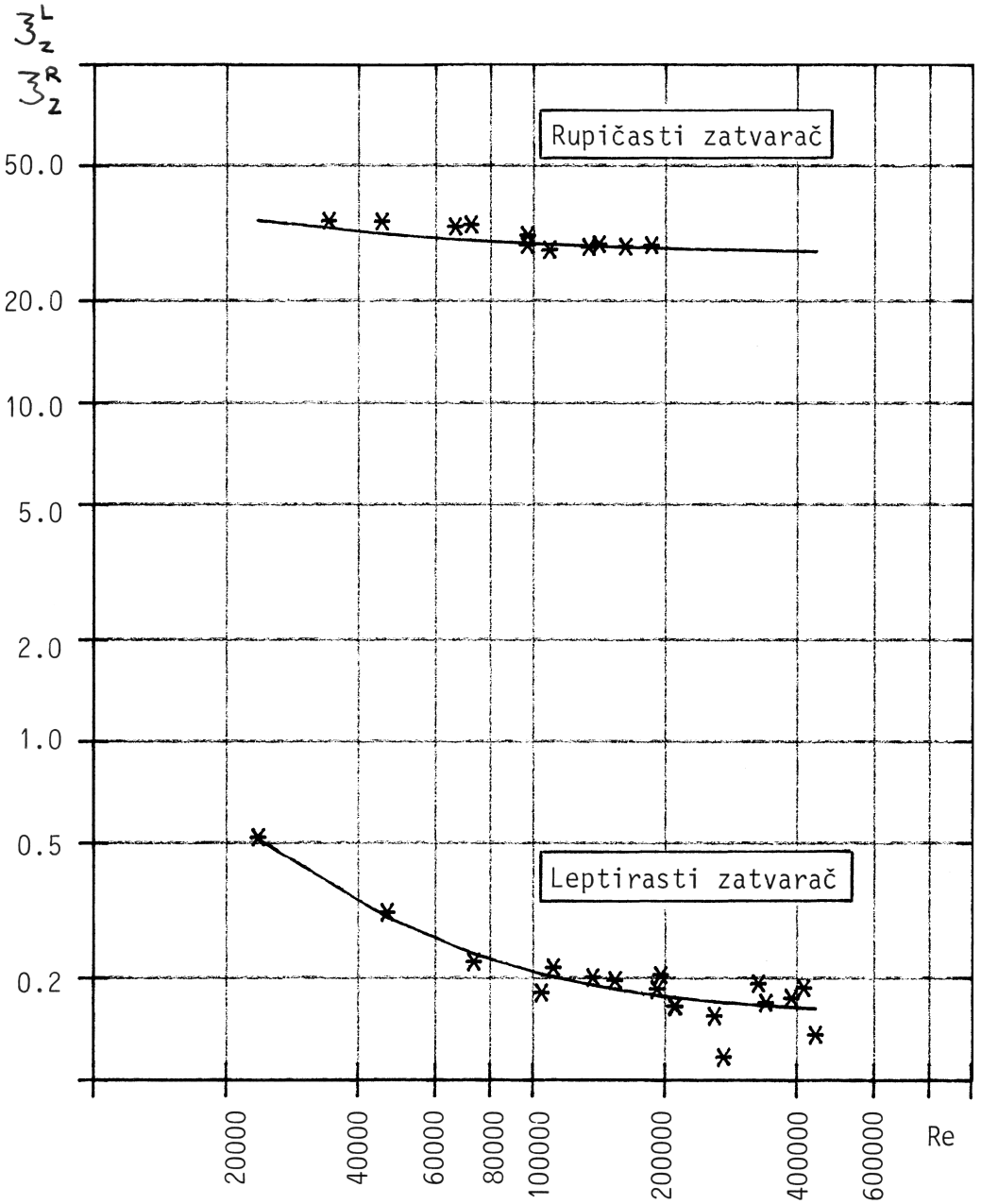
$$\lambda = 0.185 \times \left(\frac{0.0008}{0.188} + \frac{23}{\mathrm{Re}} \right)^{1/3} \tag{3.6}$$

odnosno:

$$k = 0.0008 = 0.8 \times 10^{-3} m \tag{3.7}$$

$$\frac{k}{D} = 0.0043 = 4.3 \times 10^{-3} \tag{3.8}$$

Pored linijskih gubitaka, izmereni su i lokalni gubici na oba ispitivana zatvarača, pri različitim protocima i pri punoj otvorenosti zatvarača. Na slici 3.4 su dati dobijeni rezultati, koeficijenti lokalnih gubitaka ξ_Z u zavisnosti od Reynolds–ovog broja.



Slika 3.4: Koeficijenti lokalnih gubitaka na zatvaračima, pri punoj otvorenosti (otvorenost 100%) u zavisnosti od Reynolds–ovog broja

Za aproksimaciju merenih rezultata, Gaus – Newton-ovim metodom su odredjeni koeficijenti u jednačini oblika:

$$\xi_Z = \frac{a}{\mathrm{Re}^b} + c \tag{3.9}$$

Za leptirasti zatvarač su dobijeni koeficijenti:

$$\xi_Z^L = \frac{220000}{\mathrm{Re}^{1.323}} + 0.155 \tag{3.10}$$

a za rupičasti zatvarač:

$$\xi_Z^R = \frac{70000}{\mathrm{Re}^{0.8932}} + 27.4 \tag{3.11}$$

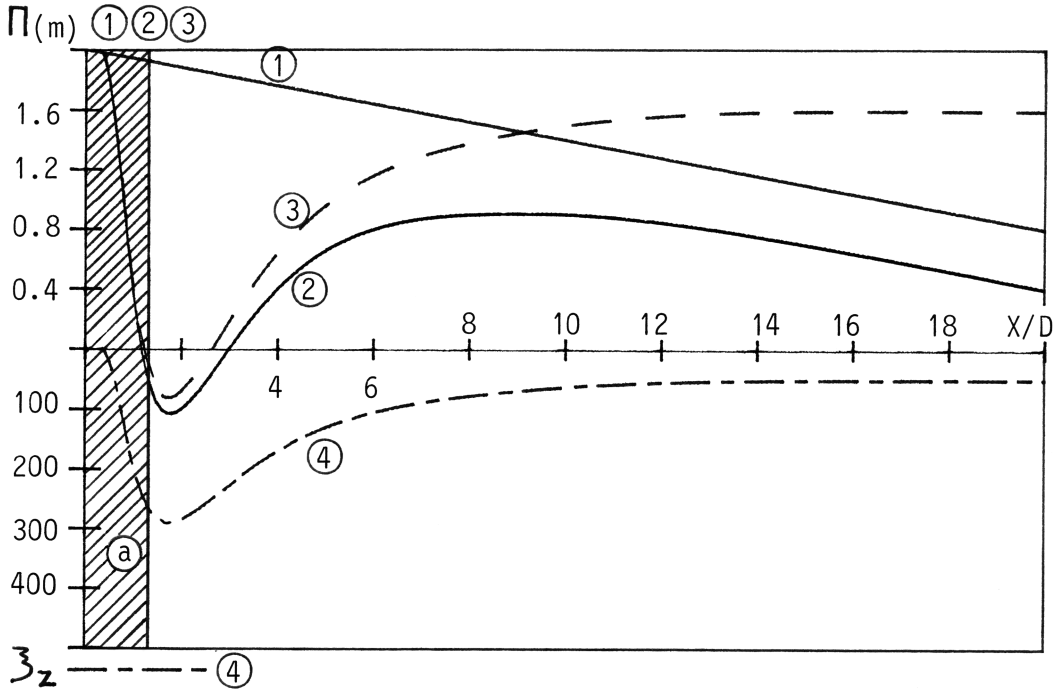
3.3 Raspored pijezometarskih kota duž merne deonice

Nakon odredjivanja apsolutne hrapavosti merne deonice na eksperimentalnoj instalaciji, odnosno odredjivanja koeficijenta linijskih gubitaka, analiziran je i raspored hidrostatičkih pritisaka duž instalacije u funkciji otvorenosti regulacionih zatvarača[5]. Na slici 3.5 je data skica očekivanih rezultata, sa mogućim načinima prikaza dobijenih rezultata. Linija 1 predstavlja linijske gubitke, obračunate preko koeficijenta linijskog gubitka datog jednačinom 3.6, a linija 2 izmerenu Π liniju duž merne deonice. Razlika izmedju linije 1 i 2, linija 3, predstavlja Π liniju koja bi se ostvarila u slučaju kada bi koeficijenat trenja λ bio jednak nuli ($\lambda = 0$). Podaci na liniji 3 su još uvek u dimenzionalnoj formi. Ukoliko se od linije 3 oduzme Π kota iz profila 0 (uzvodna Π kota), i rezultat se podeli sa brzinskom visinom, dobija se bezdimenzionalni prikaz (linija 4) rasporeda Π kota duž merne deonice. Pri tome, treba uočiti da linija 4 asimptotski teži konstanti, koja je ujedno i koeficijenat lokalnog gubitka zatvarača. Osenčena zona, označena malim slovom (**a**), predstavlja mesto regulacionog zatvarača. U toj zoni Π kote nisu definisane.

Na slici 3.6 i 3.7 su dati rezultati merenja Π linije na oba ispitivana zatvarača, nacrtani u bezdimenzionalnom obliku, bez uticaja trenja (kao linija 4 na slici 3.5). Ukupna razlika energije izmedju profila 0 i 8, po jedinici težine, podeljena sa brzinskom visinom predstavlja koeficijent lokalnog gubitka na samom zatvaraču.

Posmatrajući rezultate sa slika 3.6 i 3.7, da se zaključiti da se pri svim stepenima otvorenosti regulacionih zatvarača, u okviru merne deonice obavi najveći deo relaksacije fluidne struje. Izuzetak predstavlja leptirasti zatvarač, za otvorenosti $\tau \leq 20\%$ gde se u okviru eksperimentalne instalacije ne uspostavlja neporemećen

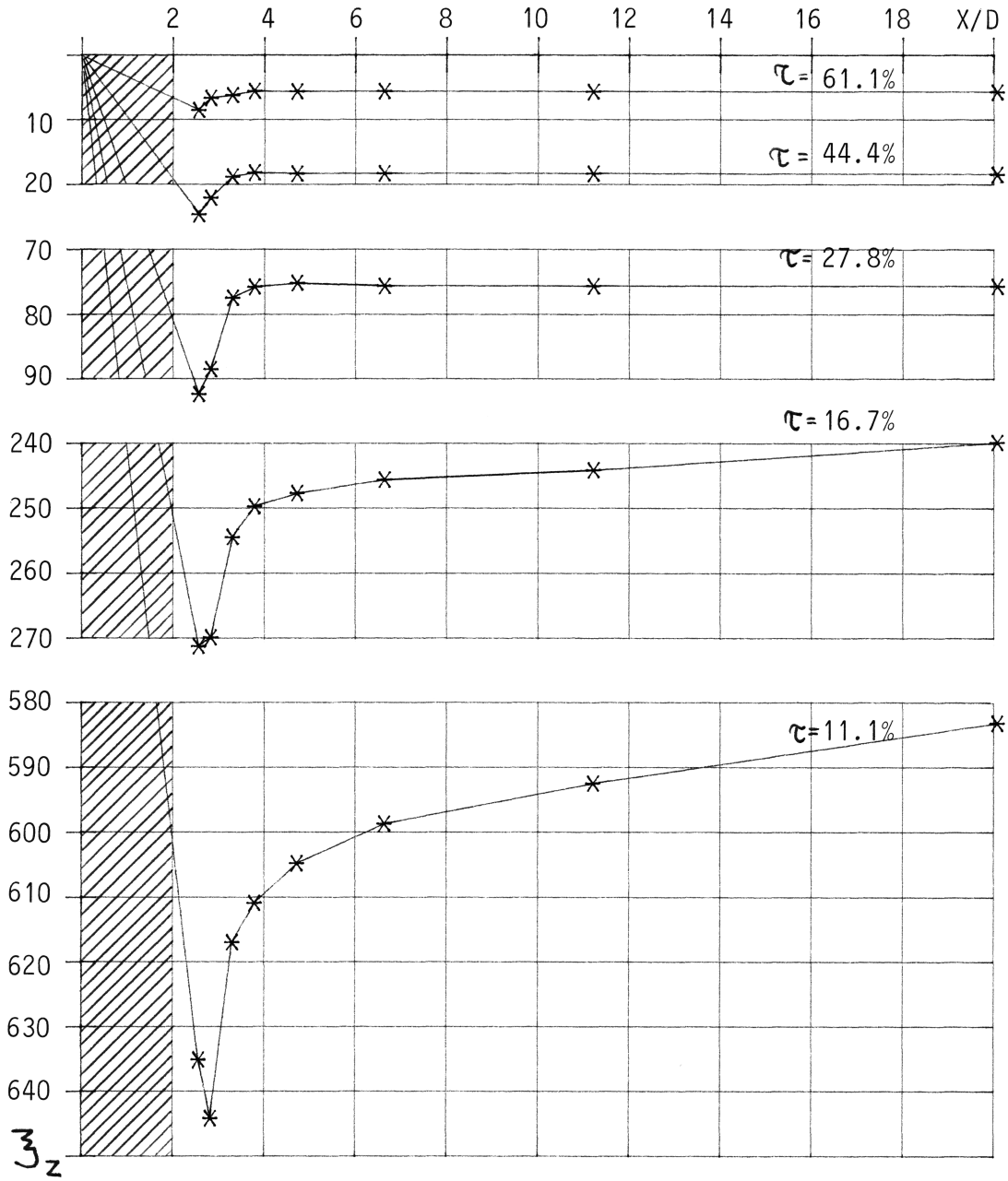
[5]Otvorenost zatvarača se definiše preko veličine τ, koje predstavlja procentualnu otvorenost zatvarača u odnosu na mehanizam koji pokreće taj zatvarač.



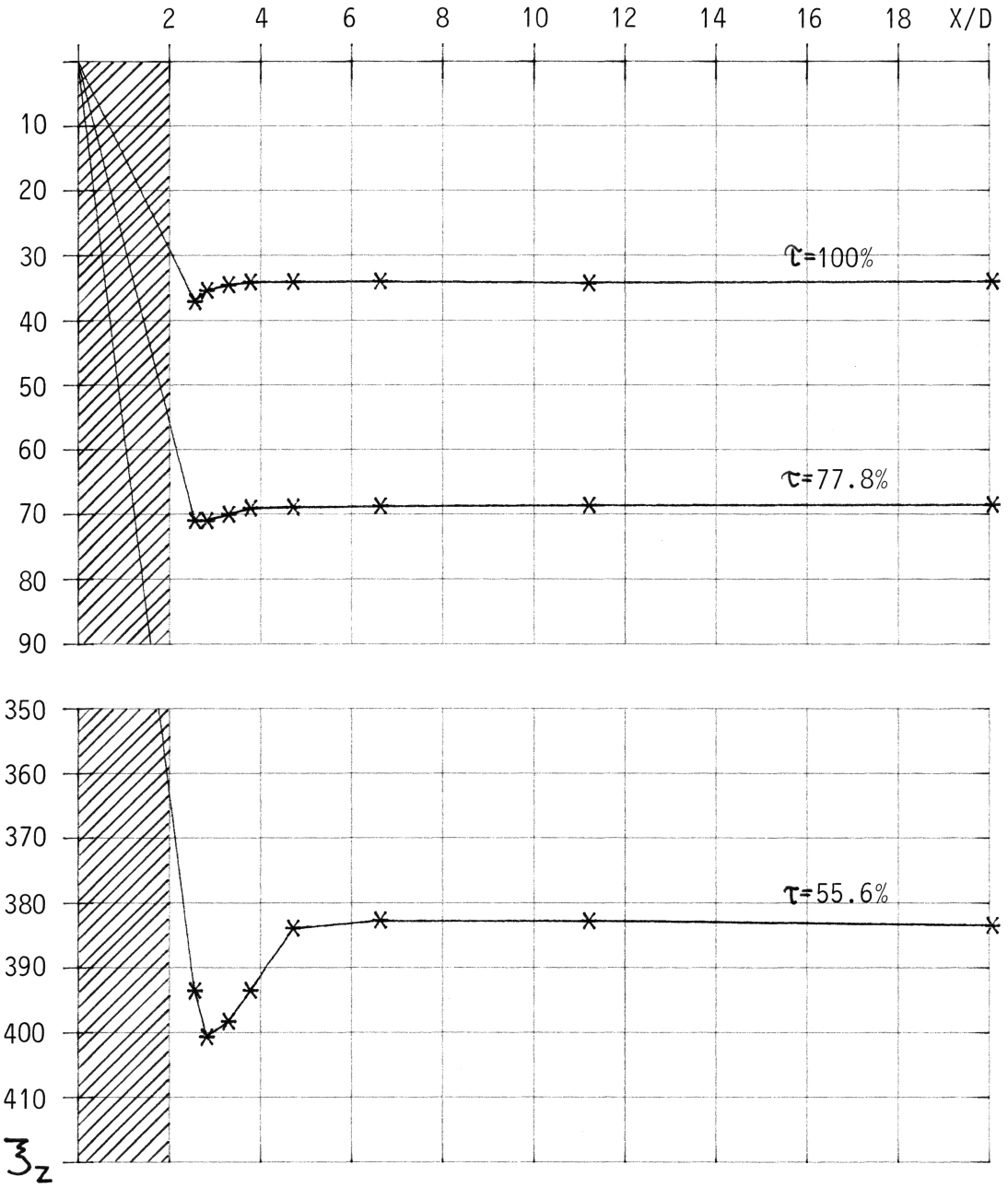
Slika 3.5: Primer rasporeda hidrostatičkih pritisaka duž merne deonice, za jednu otvorenost zatvarača. Linija 1 – Π linija usled linijskih gubitaka duž merne deonice; Linija 2 – Izmerena Π linija; Linija 3 – Π linija koja bi se ostvarile kada nebi bilo linijskih gubitaka; Linija 4 – Izmerena Π linija sa oduzetim linijskim gubitkom i ulaznom Π kotom, podeljeno sa brzinskom visinom

tok. U analizi koeficijenta lokalnog gubitka (poglavlje 4.2) dobijeni rezultati za leptirasti zatvarač su zbog ovog problema precenjeni u području $\tau = 5 \ldots 20\%$. Do istog zaključka se dolazi i merenjem profila srednje brzine i fluktuacija brzine u profilima uzvodno od prepreke i u najnizvodnijem profilu (poglavlje 5.3, slika 5.3 i 5.4).

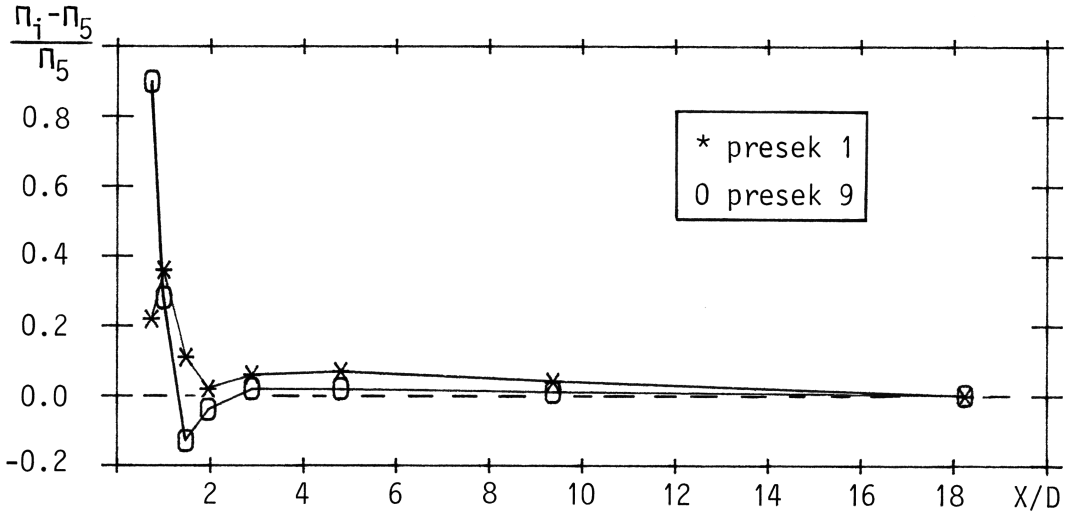
Interesantno je napomenuti, da su sva merenja pritiska sprovedena duž gornje izvodnice cevi (na slici 5.1 je taj presek označen brojem 5.). U slučaju rupičastog zatvarača, može se sa sigurnošću tvrditi da je izabrana izvodnica reprezentativna za ceo merni profil. Medjutim, kod leptirastog zatvarača, zbog izrazite nesimetrije strujnog polja, može se postaviti pitanje da li je za kriterijum dužine merne deonice korektnije uzeti izvodnicu duž boka instalacije (presek 1 ili 9, slika 5.1). Na slici 3.8, pri otvorenosti leptirastog zatvarača od 22.22% (otvorenost pri kojoj se u poglavlju 5 analiziraju dinamičke karakteristike toka nizvodno od zatvarača), uneti su rezultati merenja Π kota duž bokova merne deonice. Izmerene Π kote su bezdimenzionalno predstavljene u odnosu na Π kotu dobijenu na gornjoj izvodnici (presek 5). Iz prikazanih rezultata se vidi da se razlike u Π kotama, za različite merne preseke,



Slika 3.6: Π linija duž merne deonice, pri različitim stepenima otvorenosti leptirastog zatvarača (τ), u bezdimenzionalnom obliku, sa eliminisanim uticajem trenja



Slika 3.7: Π linija duž merne deonice, pri različitim stepenima otvorenosti rupičastog zatvarača (τ), u bezdimenzionalnom obliku, sa eliminisanim uticajem trenja



Slika 3.8: Normalizovana razlika Π kota merenih duž izvodnice na levom boku (presek – 1) i na desnom boku (presek – 9), u odnosu na gornju izvodnicu (presek – 5). Snimljeno za leptirasti zatvarač, pri otvorenosti $\tau = 22.22\%$ i pri protoku $Q = 11.7 l/s$

duž merne deonice brzo smanjuju, tako da je u mernom profilu broj 8 podatak o pritisku u preseku 5 reprezentativan za ceo profil.

Kao konačan rezultat svih navedenih ispititvanja eksperimentalne instalacije, može se zaključiti da mereći razliku pritisaka izmedju profila broj 0 (tabela 2.1 i slika 2.2) i profila broj 8, uz korekciju usled razlike pritisaka zbog trenja, dobija se razlika pritiska za koju je "odgovoran" sam regulacioni zatvarač:

$$\Delta p_Z = p_0 - p_8 - \lambda(\mathrm{Re}) \times \frac{\rho V^2}{2} \tag{3.12}$$

Pri ovome se mora voditi računa da je λ funkcija od Reynolds–ovog broja, odnosno od trenutnog protoka - jednačina 3.5.

Glava 4

Rezultati analiza karakteristika zatvarača

4.1 Koeficijent lokalnog gubitka energije i koeficijent propusnosti zatvarača

Regulacioni zatvarač predstavlja lokalni poremećaj za fluidnu struju, pri čemu je gubitak energije za jednu otvorenost, po jedinici težine za nestišljiv fluid dat sa:

$$\Delta E_Z = \xi_Z \times \frac{V^2}{2g} \qquad [\ m\ ] \tag{4.1}$$

gde je ξ_Z koeficijent lokalnog gubitka zatvarača (koji zavisi od tipa zatvarača, otvorenosti kao i radnih uslova) i $V = Q/A$ srednja (proticajna) brzina fluida u cevi uzvodno i nizvodno od zatvarača [m/s]. U svim daljnjim analizama, pretpostavlja se da je prečnik cevi (A) isti kao i prečnik zatvarača (A_{Z0})[1], odnosno da ne postoji lokalna promena prečnika cevi u zoni zatvarača.

Kako se odredjeni gubitak energije javlja samo pri oderedjenom proticaju, za istu otvorenost zatvarača, jednačinu 4.1 je moguće prikazati i na drugi način:

$$Q = C_Z \times \sqrt{2g\Delta h_Z} \qquad [\ m^3/s\ ] \tag{4.2}$$

gde je C_Z "koeficijent" propusnosti zatvarača[2] [m^2], $\Delta h_Z = \Delta E_Z$ razlika energetskih odnosno pijezometarskih kota uzvodno i nizvodno od zatvarača, računajući u odnosu na neporemećeno linijsko strujanje.

[1] Indeks "$_{Z0}$" znači da se radi o nominalnom prečniku zatvarača, pri punoj otvorenosti (τ = 100%).

[2] U hidrotehničkoj praksi je uobičajeno da se koristi koeficijent lokalnog gubitka ξ_Z, koji direktno pokazuje koliko se brzinskih visina "potroši" na lokalnoj prepreci. Koeficijenat propusnosti zatvarača, C_Z je uobičajen kod mašinske struke i direktno daje maksimalan protok koji "propušta" zatvarač pri odredjenoj razlici pritisaka na njemu. U radu se ravnopravno tretiraju oba koeficijenta.

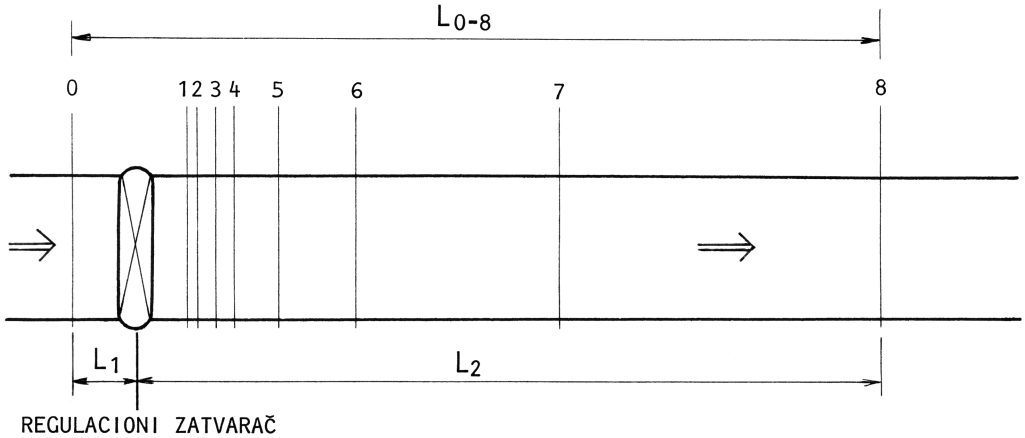
U jednačinama 4.1 i 4.2, pojavljuju se koeficijenti ξ_Z i C_Z (dimenzionalni koeficijent), koji su medjusobno povezani relacijom $C_Z = A/\sqrt{\xi_Z}$ pri čemu je A površina cevi na koju je postavljen zatvarač. Navedeni koeficijenti zavise od stepena otvorenosti zatvarača i u sebi uključuju promenu efektivnog proticajnog preseka A_Z/A_{Z0} kao i lokalne gubitke nastale usled nagle promene brzine i smera fluidne struje (s obzirom da je funkcija A_Z/A_{Z0} često veoma komplikovana, uvodi se koeficijent τ kojim se prikazuje procentualna otvorenost zatvarača u odnosu na mehanizam koji pokreće taj zatvarač, na primer $\tau = (\alpha/90)\times 100(\%)$ ili $\tau = (h/h_{max})\times 100(\%)$). Zadatak utvrdjivanja karakteristike zatvarača se svodi na utvrdjivanje veze:

$$\xi_Z = \xi_Z(\tau) \tag{4.3}$$

odnosno:

$$C_Z = C_Z(\tau) \qquad [\ m^2\ ] \tag{4.4}$$

čime je za datu razliku pritisaka na zatvaraču i poznatu otvorenost zatvarača jednoznačno odredjen trenutni protok.



Slika 4.1: Deo merne instalacije za utvrdjivanje karakteristike zatvarača

Ma koliko izrazi 4.1 i 4.2 izgledaju jednostavno, strujanje u zoni regulacionog zatvarača je veoma složeno i odredjivanje veze $\xi_Z = \xi_Z(\tau)$, odnosno $C_Z = C_Z(\tau)$ $[m^2]$ se radi isključivo laboratorijskim ispitivanjima. Na eksperimentalnoj instalaciji je potrebno obezbediti hidraulički povoljne uslove za merenje razlike pritisaka na regulacionom zatvaraču kao i protoka. Pod hidraulički povoljnim uslovima, misli se na obezbedjenje ustaljenog strujanja i dugačkih pravolinijskih deonica sa strujnicama paralelnim i upravnim na merni profil u kojima će se ostvariti hidrostatski raspored pritiska. Na slici 4.1 je data skica dela instalacije, sa označenim mernim profilima za merenje protoka i uzvodnog i nizvodnog pritiska, odnosno razlike pritisaka. Potrebne dužine L_1 i L_2 zavise od vrste zatvarača koji se ispituje, a orijentacione vrednosti su date u tabeli 4.1.

Tip zatvarača	Uzvodna deonica L_1 (L/D)	Nizvodna deonica L_2 (L/D)
Dijafragma	1	18
Leptir	1.5	20
Konični	1	12
Rešetkasti	1	15

Tabela 4.1: Potrebne dužine uzvodnih i nizvodnih deonica za merenje pritisaka uzvodno i nizvodno od zatvarača – minimalne vrednosti

Za korektno odredjivanje koeficijenta lokalnog gubitka na zatvaraču, posebno je značajna nizvodna deonica (L_2). Razlog za to je što se gubitak energije ne dešava samo u strogoj blizini zatvarača, već je potrebna odredjena dužina na kojoj će se obaviti disipacija energije koju nose veliki vrtlozi. U tabeli 4.1 su date preporučene dužine nizvodnih deonica, u kojima se obavi minimum 95% relaksacije fluidne struje [7]. Naravno, dužina nizvodne deonice je funkcija i Reynolds–ovog broja, tako da date podatke treba uvek uzimati sa odredjenom rezervom.

Preciznije odredjivanje potrebne dužine nizvodne deonice se može obaviti samo merenjem rasporeda pritisaka duž cevi pri različitim Reynolds–ovim brojevima, kao i različitim stepenima otvorenosti zatvarača (slika 3.6). Kao alternativna metoda, može poslužiti i merenje profila brzina (slika 5.3 i 5.4). U mernom profilu turbulentne karakteristike strujne slike treba da bude istovetne sa turbulentnim karakteristikama u neporemećenom strujnom polju, u instalaciji bez postavljenog regulacionog zatvarača [29].

4.2 Metodologija odredjivanja koeficijenata lokalnog gubitka i propusnosti zatvarača

Za odredjivanje koeficijenta lokalnog gubitka na zatvaraču (i koeficijenta propusnosti), potrebno je meriti trenutni protok u sistemu (Q), razliku pritisaka odnosno razliku pijezometarskih kota uzvodno i nizvodno od zatvarača (Δh_Z) i stepen otvorenosti zatvarača (τ). Merenje protoka u sistemu sa ustaljenim strujanjem ne predstavlja veći problem, i u zavistnosti od korišćene merne opreme, moguće je postići visoku tačnost i ponovljivost (poglavlje 2.3.1). Takodje, merenje stepena otvorenosti τ se može obaviti bez problema sa zahtevanom, odnosno projektovanom tačnošću. Medjutim, merenje razlike Π kota na zatvaraču nije moguće direktno obaviti na samom zatvaraču, merenjem pritisaka uzvodno i nizvodno (poglavlje 3.2). Neophodno je izmeriti zbirni nagib Π linije usled lokalnih gubitaka na zatvaraču kao i usled linijskih gubitaka duž nizvodne deonice L_2, odnosno na eksperimentalnom modelu

izmedju profila 0 i 8, L_{0-8}. Od tako izmerene vrednosti, oduzimanjem dela koji je posledica trenja, dobija se čista razlika Π kota na zatvaraču. Nepoznavanje koeficijenta linijskih gubitaka λ, direktno utiče na smanjenje pouzdanosti informacije o Δh_Z.

U poglavlju 3.2 su dati rezultati ispitivanja koeficijenta linijskih gubitaka izmedju mernih profila 0 i 8. Merenjem razlike pijezometarskih kota Δh_{0-8} bez ugradjenog zatvarača, i protoka, sračunat je λ kao:

$$\lambda = \frac{\Delta h_{0-8}}{\frac{L_{0-8}}{D} \times \frac{V^2}{2g}} \tag{4.5}$$

za ceo raspon Reynolds–ovih brojeva (slika 3.3). U jednačini 3.6 je data dobijena zavisnost $\lambda = \mathrm{f(Re)}$. Medjutim, ovako izmeren koeficijent λ odgovara neporemećenoj strujnoj slici, bez ugradjenog regulacionog zatvarača. U slučaju kada se postavi regulacioni zatvarač, i kada se napravi znatniji poremećaj strujne slike, sigurno je da ovako sračunat koeficijenat linijskih gubitaka (jednačina 3.6) u odredjenoj meri odstupa od stvarnih vrednosti. S obzirom da je praktično nemoguće izvršiti korekciju koeficijenta linijskih gubitaka, prihvaćeno je stanovište da je koeficijenat lokalnih gubitaka ustvari zbir svih uticaja koje taj lokalni poremećaj unosi u fluidnu struju.

Uzimajući u obzir jednačinu 4.5, mereći na instalaciji sa slike 4.1 trenutni protok Q, položaj regulacionog zatvarača τ i razliku pritisaka izmedju profila 0 i 8, može se sračunati koeficijent lokalnih gubitaka ξ_Z:

$$\xi_Z = \frac{2g \times \Delta h_Z}{V^2} \tag{4.6}$$

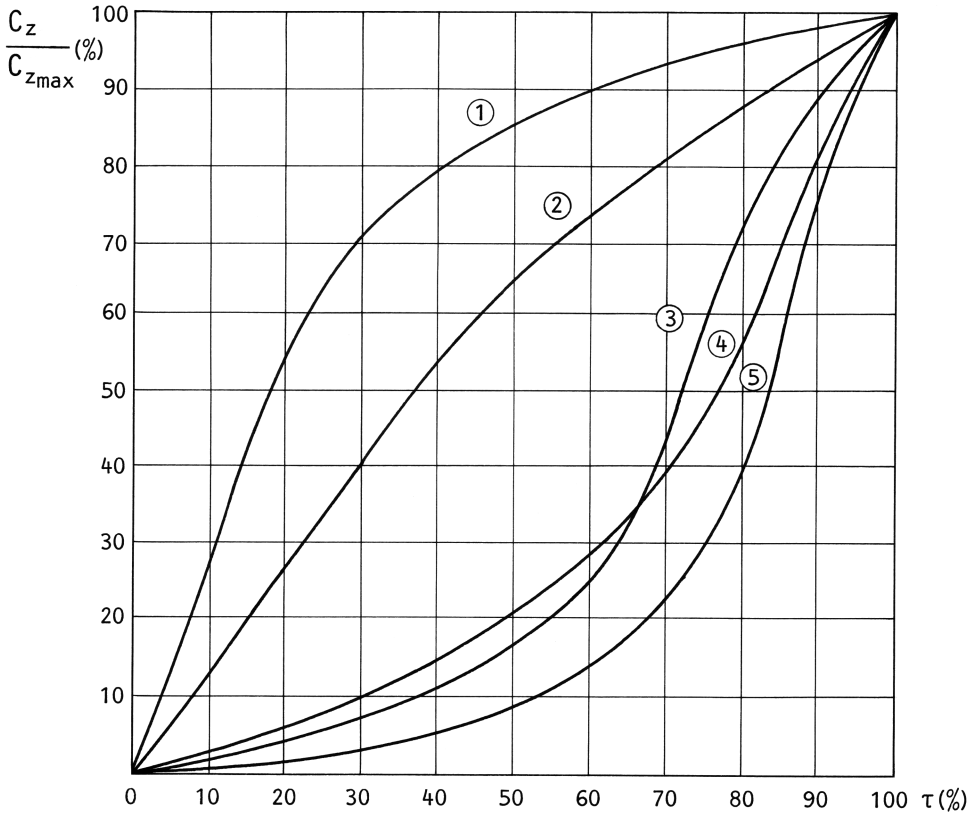
i koeficijent propusnosti zatvarača C_Z [m^2]:

$$C_Z = \frac{Q}{\sqrt{2g \times \Delta h_Z}} \tag{4.7}$$

gde je razlika Π kota na zatvaraču, odnosno Δh_Z data kao:

$$\Delta h_Z = \frac{p_0 - p_8}{\rho g} - \lambda \frac{L_{0-8}}{D} \times \frac{V^2}{2g} \tag{4.8}$$

Proizvodjači regulacionih zatvarača standardno prilažu podatke o koeficijentu propusnosti (ili o koeficijentu lokalnih gubitaka) u zavisnosti od procenta otvorenosti zatvarača. Na slici 4.2 su dati tipski podaci za različite vrste regulacionih zatvarača, u bezdimenzionalnoj formi kao C_Z/C_{Zmax} [7]. U posebnim tabelama proizvodjač daje i podatak o C_{Zmax}, za punu otvorenost zatvarača ($\tau = 100\%$). Na osnovu datih podataka, projektant se odlučuje za odredjeni tip zatvarača (u skladu sa karakteristikama sistema kojim treba upravljati) kao i nominalni prečnik. Medjutim, u proizvodjačkim specifikacijama se po pravilu ne navodi preciznije korišćena metodologija pri odredjivanju koeficijenata. Takodje, ne daju se ni podaci o stepenu rasipanja merenih veličina, odnosno o meri pouzdanosti datih koeficijenata.



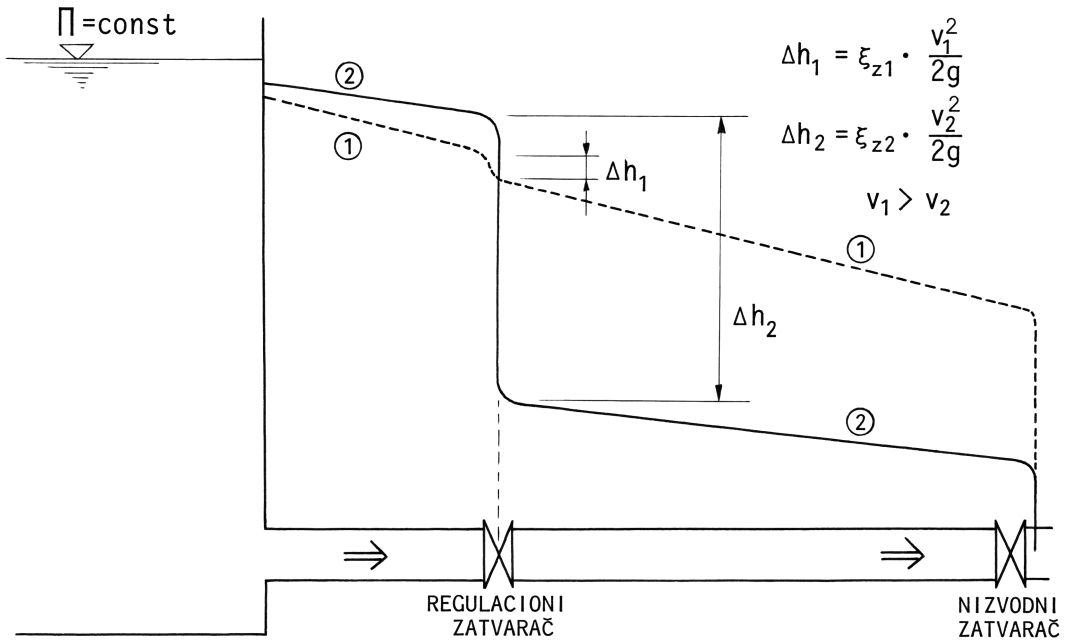
Slika 4.2: Tipični koeficijenat propusnosti zatvarača u zavisnosti od stepena otvorenosti, prema proizvodjačkim specifikacijama; 1 – Konični zatvarač, 2 – Dijafragma, 3 – Leptirasti zatvarač, 4 – Tablasti zatvarač, 5 – Kuglasti zatvarač

4.3 Rezultati dobijeni merenjima na leptirastom i rupičastom zatvaraču

Koristeći projektovanu i izvedenu eksperimentalnu instalaciju (slika 2.2), obavljena su detaljna snimanja regulacionih karakteristika leptirastog i rupičastog zatvarača. Sva merenja su višestruko ponavljana, da bi se stekao uvid u ponovljivost dobijenih rezultata. Takodje, ispitivan je i uticaj viskoznih sila, odnosno Reynolds–ovog broja na koeficijente lokalnih gubitaka energije na zatvaračima.

4.3.1 Merenja pri promenljivoj razlici pritisaka na zatvaraču – "realni" radni uslovi

Prva grupa merenja obuhvata rad regulacionog zatvarača u simuliranim "realnim" uslovima, gde je ispitivani zatvarač jedini lokalni poremećaj koji utiče na trenutni protok u sistemu. Na slici 4.3 je prikazana uprošćena hidraulička šema,



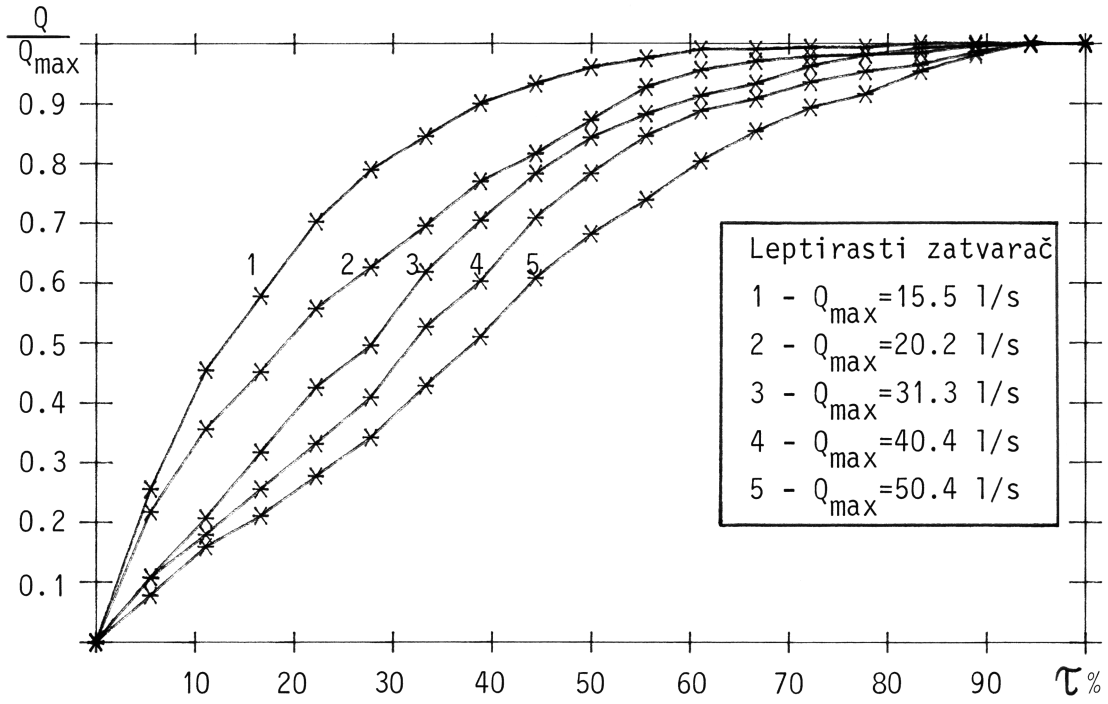
Slika 4.3: Pijezometarske linije u mernom sistemu za dve otvorenosti regulacionog zatvarača, bez promene položaja nizvodnog zatvarača; 1 – Slučaj kada je zatvarač potpuno otvoren, 2 – Zatvarač delimično otvoren.

sa ucrtanim Π linijama pri punoj (linija 1) i delimičnoj otvorenosti zatvarača (linija 2). Uzvodna Π kota u rezervoaru je konstantna kao i nizvodni koeficijent lokalnog gubitka na izlaznom zatvaraču. Promenom protoka u sistemu, menja se gubitak energije na samom regulacionom zatvaraču ($\Delta E_{\text{regulacioni zatvarač}}$), kao i odnos izmedju gubitka energije na zatvaraču i gubitka energije u ostalim delovima sistema (gubitak na ulazu, trenje i gubitak na izlaznom zatvaraču).

$$\frac{\Delta E_{\text{ulazni gubitak + trenje + gubitak na izlaznom zatvaraču}}}{\Delta E_{\text{regulacioni zatvarač}}} \tag{4.9}$$

Ukoliko se nacrta dijagram zavisnosti promene protoka u sistemu od otvorenosti regulacionog zatvarača, dobija se familija krivih u funkciji maksimalnog protoka, odnosno u funkciji odnosa gubitaka energije na zatvaraču i gubitaka energije na trenje i na izlaznom zatvaraču.

Merenjem protoka u sistemu, za različite stepene otvorenosti izlaznog zatvarača (za različite nizvodne uticaje, odnosno za različite maksimalne proticaje u sistemu), pri promeni otvorenosti regulacionog zatvarača od $\tau = 5\%$ do 100%, dobijene su familije krivih, prikazane na slici 4.4 za leptirasti zatvarač, i slici 4.5 za rupičasti zatvarač. Važno je uočiti da su dobijeni dijagrami dobijeni pri promenljivoj razlici pritisaka na regulacionom zatvaraču (realna situacija). Sa stanovišta regulisanja protoka u vodovodnim sistemima, najpovoljniji oblik imaju krive označene brojem

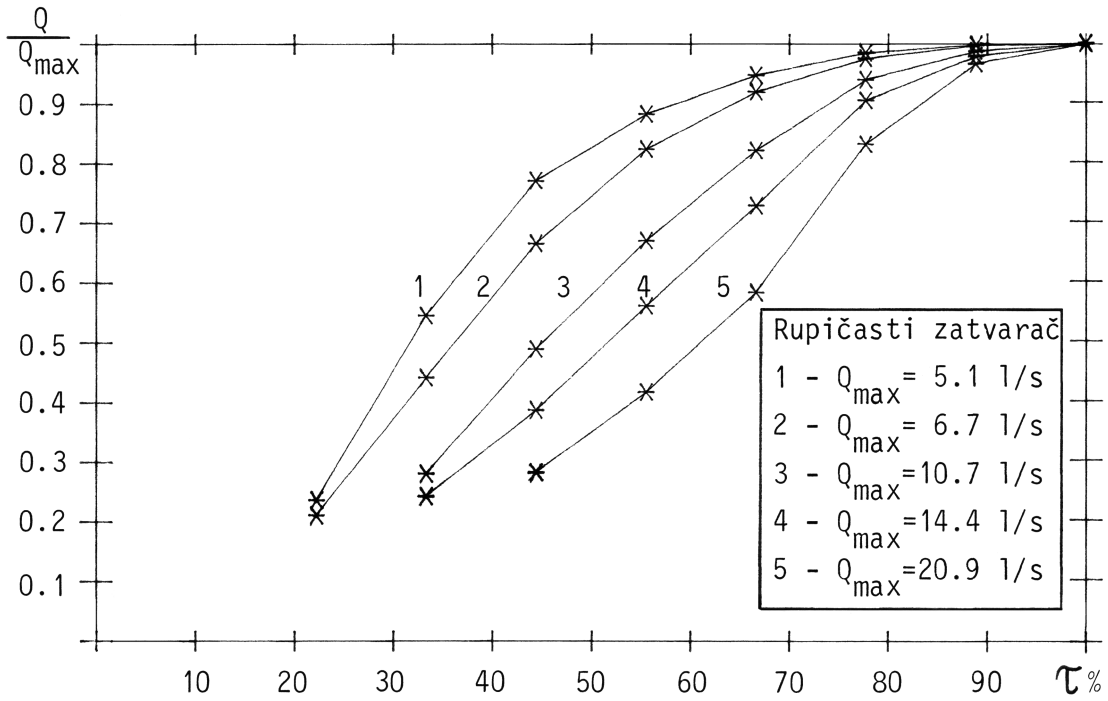


Slika 4.4: Relativna promena protoka u sistemu u funkciji otvorenosti regulacionog zatvarača, pri različitim maksimalnim protocima (pri različitim nizvodnim uslovima) – leptirasti zatvarač

(**5**), gde je praktično linearna zavisnost protoka od otvorenosti zatvarača. S obzirom da je linija (**5**) merena pri potpuno otvorenom izlaznom zatvaraču, gubici energije na regulacionom zatvaraču pri punoj otvorenosti su istog reda kao i gubici energije u ostalom delu sistema. Što je taj odnos gubitaka nepovoljniji za regulacioni zatvarač, odnosno što je izraz dat u jednačini 4.9 veći od jedinice, to dolazi do smanjenja osetljivosti protoka pri otvorenostima zatvarača $\tau > 50\%$.

Prilikom merenja trenutnog protoka kroz sistem, u zavisnosti od otvorenosti zatvarača, merena je i razlika pritisaka izmedju profila neposredno uzvodno od zatvarača (profil 0) i nizvodnog profila na udaljenosti $18.2D$ (profil 8). Eliminisanjem uticaja linijskih gubitaka iz merenih rezultata (jednacina 4.8), moguće je sračunati koeficijent lokalnih gubitaka ξ_Z (jednačina 4.6) i koeficijent propusnosti zatvarača C_Z(jednačina 4.7). Tako sračunati koeficijenti su oslobodjeni uticaja nizvodnih i uzvodnih uslova, odnosno odnosa gubitka energije na zatvaraču i gubitka energije u ostalim delovima sistema.

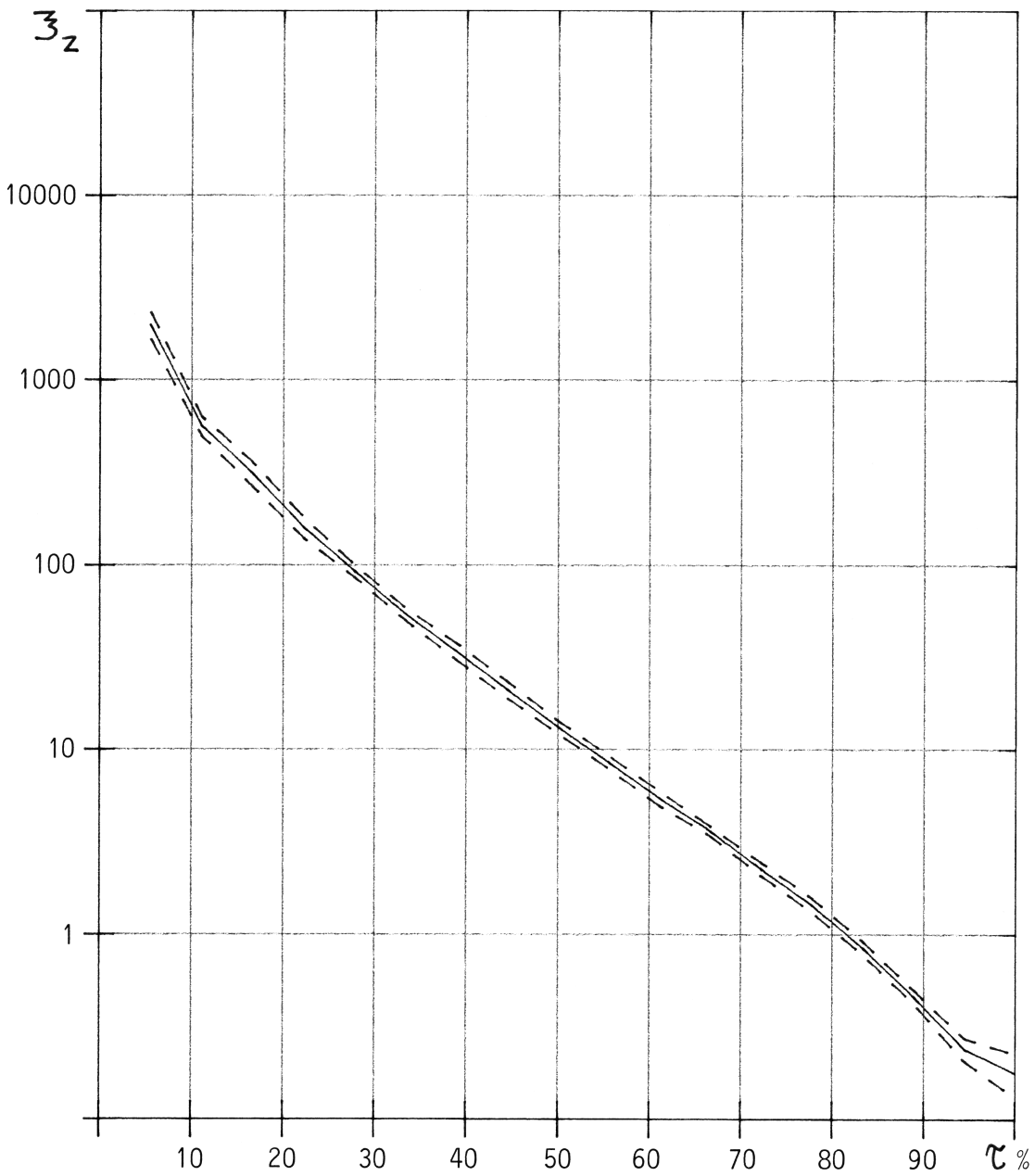
Na slikama 4.6, 4.7 su dati koeficijenti lokalnih gubitaka, a na slikama 4.9 i 4.10 odnos koeficijenta propusnosti zatvarača i osrednjenog maksimalnog koeficijenta propusnosti. S obzirom da su sva merenja više puta ponavljana, na dijagramima je punom linijom predstavljena srednja vrednost, a isprekidanom linijom zona od $\pm 1\sigma$. Podatak o širini zone od $\pm 1\sigma$ je veoma interesantan, i predstavlja praktično meru kvaliteta regulacionog zatvarača u odnosu na tačnost njegovog pozicioniranja



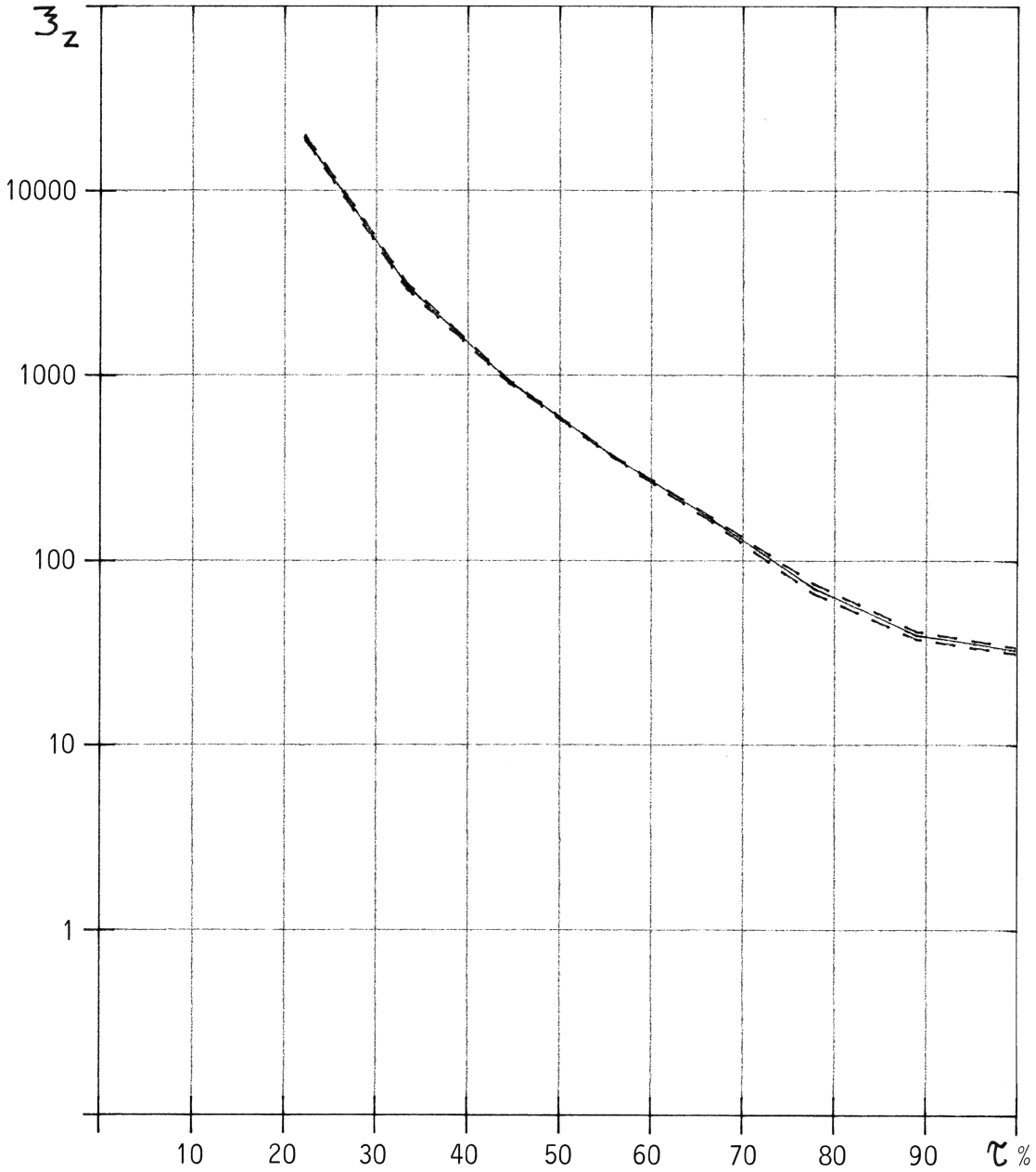
Slika 4.5: Relativna promena protoka u sistemu u funkciji otvorenosti regulacionog zatvarača, pri različitim maksimalnim protocima (pri različitim nizvodnim uslovima) – rupičasti zatvarač. S obzirom na relativno niske pritiske u instalaciji, zbog pojave vakuma nije moguće meriti protoke niže od $0.25Q/Q_{max}$

u upravljačkom sistemu. Na osnovu prikazanih rezultata, može se zaključiti da je leptirasti zatvarač u ovom pogledu daleko inferiorniji od rupičastog zatvarača. Širina intervala u kome će se naći potrebni koeficijenat lokalnog gubitka kod leptirastog zatvarača, sa verovatnoćom od 65 %, je daleko veća nego kod rupičastog zatvarača.

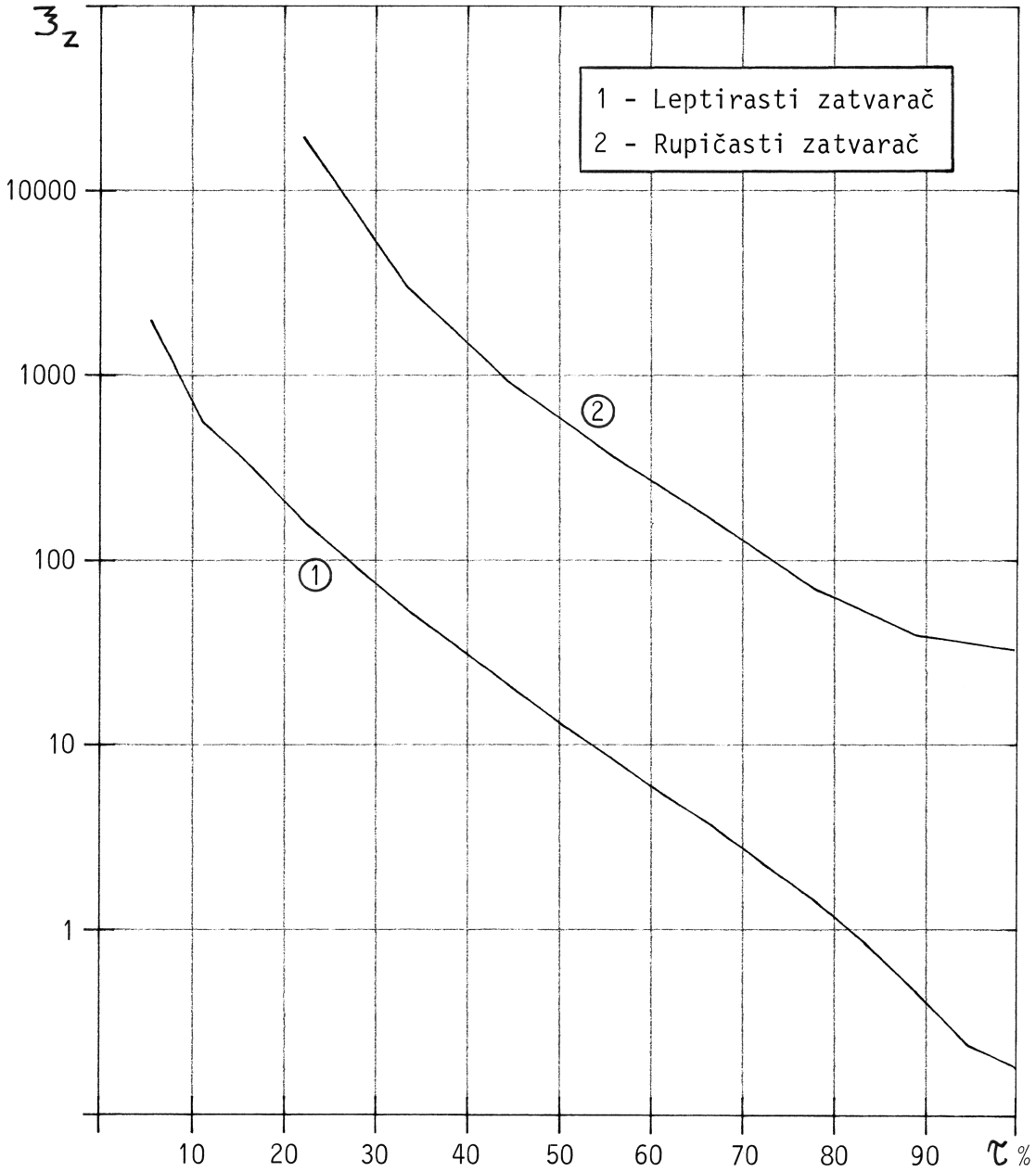
Uporedjenjem slika 4.6 i 4.7, odnosno na slici 4.8, može se uočiti osnovna razlika izmedju ispitivanih zatvarača. Leptirasti zatvarač ima znatno manje koeficijente lokalnih gubitaka od rupičastog zatvarača, pogotovu pri otvorenostima bliskim $\tau = 100\%$. Tako nizak koeficijenat lokalnog gubitka je uglavnom i razlog zbog česte primene leptirastog zatvarača u svim aplikacijama gde se ne traži upravljanje radom vodovodnih sistema, već samo uključivanje i isključivanje pojedinih deonica. Medjutim, ukoliko se zahteva od postavljenog zatvarača da reguliše protok (odnosno pritisak) u sistemu, na osnovu rezultata datih na slikama 4.9 i 4.10 (odnosno na slici 4.11) i jednačine 4.9, može se zaključiti da leptirasti zatvarač ima veoma nepovoljne regulacione karakteristike, sa izraženom nelinearnošću koju je veoma teško kompenzovati upravljačkim kolima. Sa druge strane, rupičasti zatvarač ima značajan gubitak energije pri punoj otvorenosti (mada kod komercijalnih zatvarača ξ_Z se može spustiti i do $\xi_Z = 15$), ali i znatno povoljniju regulacionu karakteristiku. Uopšte uzevši, ako se želi pouzdano upravljati vodovodnim sistemom, neophodno je napraviti izvestan početni, lokalni gubitak energije, koji treba da bude sličnog reda veličine kao i li-



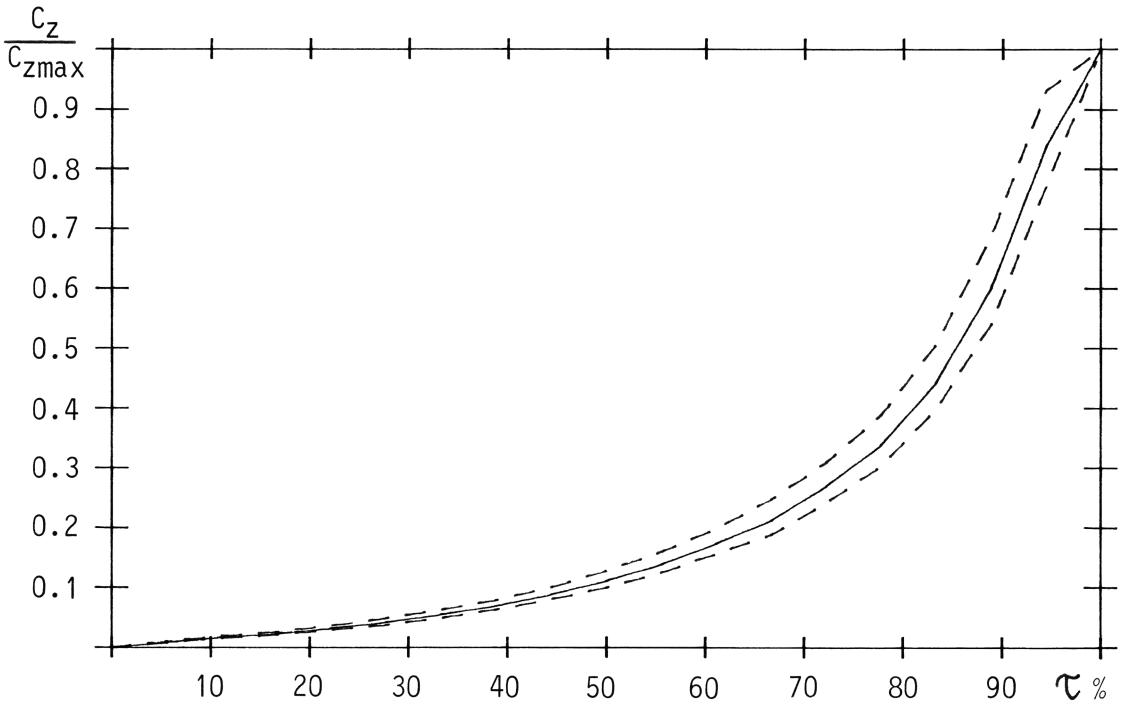
Slika 4.6: Koeficijent lokalnog gubitka na leptirastom zatvaraču, u zavisnosti od stepena otvorenosti zatvarača. Mereno sa promenljivom razlikom pritisaka na zatvaraču. Puna linija – Osrednjena vrednost, Isprekidana linija – Granica od $\pm 1\sigma$



Slika 4.7: Koeficijent lokalnog gubitka na rupičastom zatvaraču, u zavisnosti od stepena otvorenosti zatvarača. Mereno sa promenljivom razlikom pritisaka na zatvaraču. Puna linija – Osrednjena vrednost, Isprekidana linija – Granica od $\pm 1\sigma$



Slika 4.8: Srednje vrednosti koeficijenata lokalnog gubitka na leptirastom i rupičastom zatvaraču, u zavisnosti od stepena otvorenosti zatvarača. Mereno sa promenljivom razlikom pritisaka na zatvaraču



Slika 4.9: Relativni koeficijent propusnosti leptirastog zatvarača, u zavisnosti od stepena otvorenosti zatvarača. Mereno sa promenljivom razlikom pritisaka na zatvaraču. Puna linija – Osrednjena vrednost, Isprekidana linija – Granica od $\pm 1\sigma$

nijski gubitak. Stvar je optimizacije sistema, da li je bolje imati upravljiv sistem sa povećanim gubicima energije koje treba nadoknaditi većom snagom pumpi, ili se opredeliti za minimalne gubitke energije uz promenu upravljačkih kriterijuma.

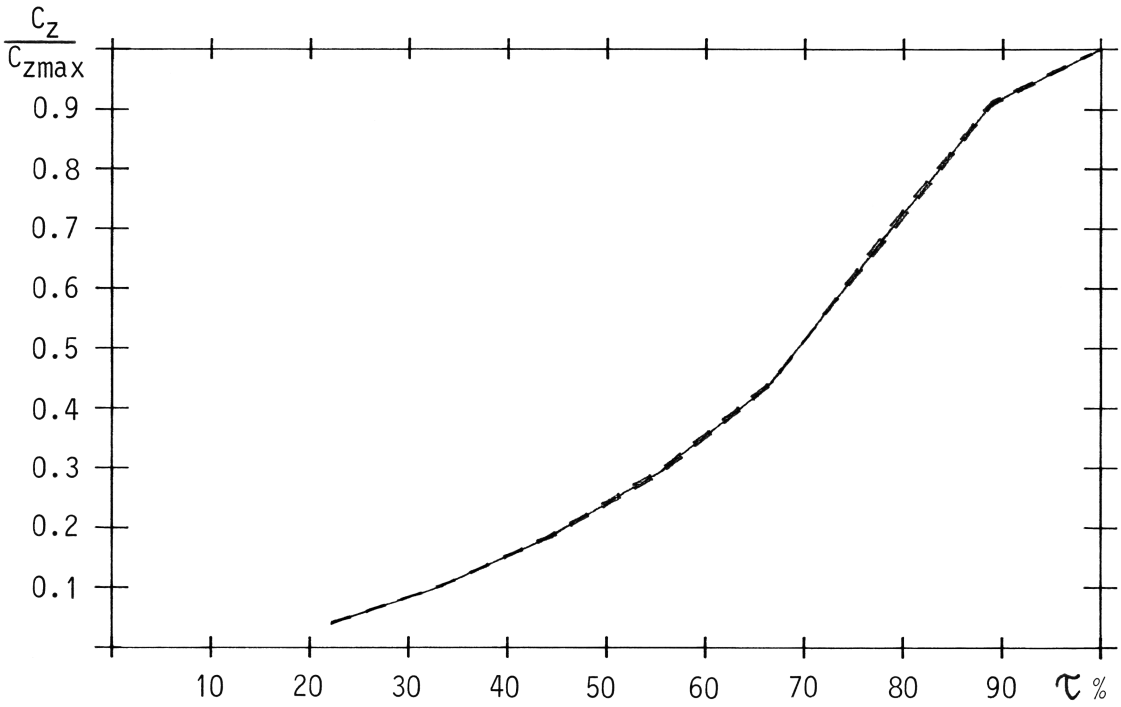
4.3.2 Merenja pri konstantnoj razlici pritisaka na zatvaraču – proizvodjački uslovi ispitivanja

Druga grupa merenja obuhvata ispitivanje zatvarača u uslovima koji odgovaraju načinu prezentacije rezultata od strane proizvodjača. Naime, ukoliko se razlika pritisaka na zatvaraču održava konstantnom bez obzira na otvorenost zatvarača, jednačine 4.6 i 4.7 se mogu napisati kao:

$$\xi_Z = \mathrm{Const}_1 \times Q^{-2} \tag{4.10}$$

$$C_Z = \mathrm{Const}_2 \times Q \tag{4.11}$$

Na taj način je moguće na ordinatama dijagrama 4.6 i 4.7 pisati Q^{-2}, a na dijagramima 4.9 i 4.10 Q/Q_{max} (najčešći način prikazivanja karakteristika zatvarača). Dakle, ako se obezbedi da je Δh_Z na samom zatvaraču konstantan u svim rasponima otvorenosti zatvarača, merenjem trenutnog protoka dobijaju se direktno karakteristike zatvarača. Merenja dobijena ovakvim postupkom treba da pokažu dobra



Slika 4.10: Relativni koeficijent propusnosti rupičastog zatvarača, u zavisnosti od stepena otvorenosti zatvarača. Mereno sa promenljivom razlikom pritisaka na zatvaraču. Puna linija – Osrednjena vrednost, Isprekidana linija – Granica od $\pm 1\sigma$

slaganja sa merenjima iz prve grupe, s time što se značajnije razlike očekuju u onim oblastima gde su uticaji Reynolds–ovog broja nisu zanemarljivi.

Jednačina 4.8, napisana kao:

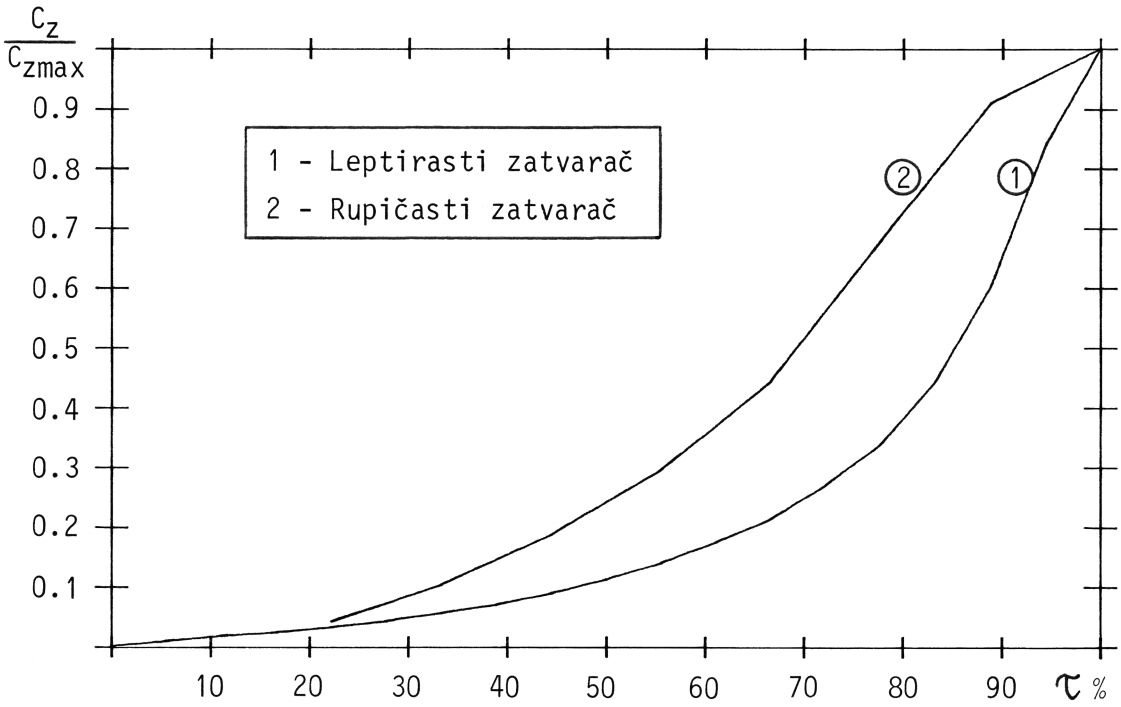
$$\Delta h_Z = \Delta h_{0-8} - \lambda \frac{L_{0-8}}{D} \times \frac{V^2}{2g} \tag{4.12}$$

gde je Δh_{0-8} razlika Π kota izmedju profila 0 i 8, koja se meri diferencijalnim manometrom, daje vezu izmedju trenutnog protoka i zahtevane razlike Π kota na samom zatvaraču. S obzirom da je $\Delta h_Z = \text{Const}$, jednačina 4.12 se može napisati u obliku:

$$\Delta h_{0-8} = \text{Const} + \lambda \frac{L_{0-8}}{D} \times \frac{V^2}{2g} \tag{4.13}$$

pri čemu je i λ funkcija od trenutnog protoka. Iz 4.13 sledi da ukoliko se želi izmeriti karakteristika zatvarača, treba pri odredjenoj otvorenosti zatvarača (τ, u %) podesiti odgovarajuću razliku pritisaka izmedju profila 0 i 8. To je moguće postići samo iterativnim postupkom, koji se izvodi po sledećoj proceduri:

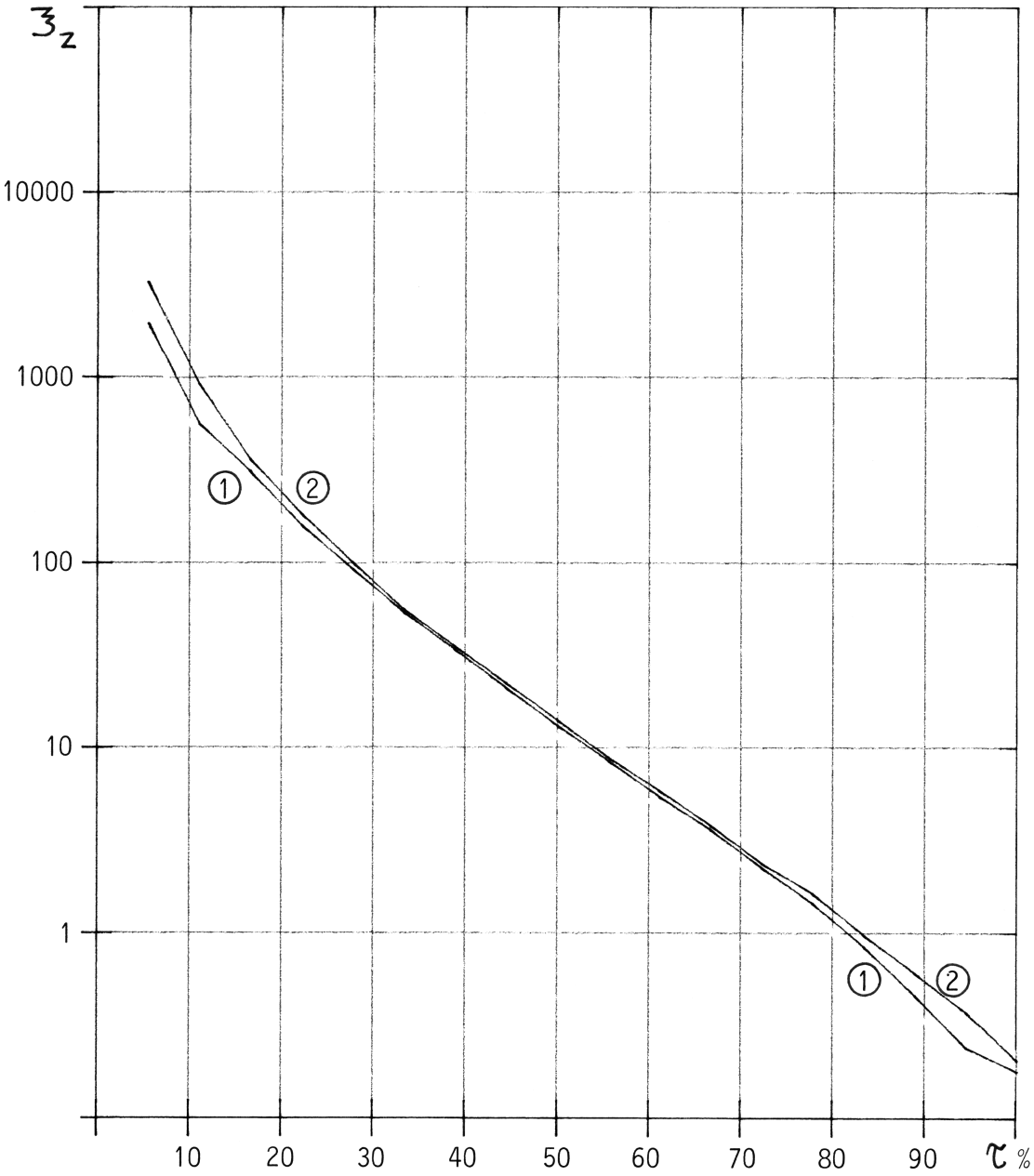
1. Postaviti zatvarač na odgovarajuću otvorenost, u % ;



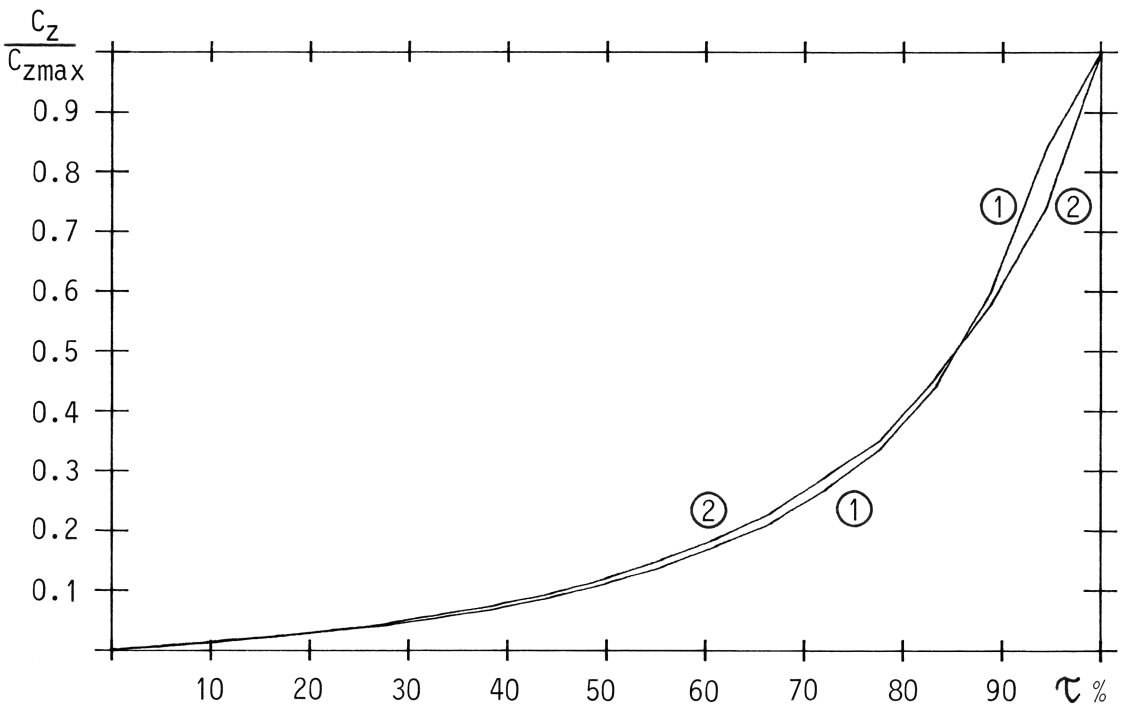
Slika 4.11: Srednje vrednosti relativnih koeficijenata propusnosti leptirastog i rupičastog zatvarača, u zavisnosti od stepena otvorenosti zatvarača. Mereno sa promenljivom razlikom pritisaka na zatvaraču

2. Nizvodnim zatvaračem regulisati protok tako da je čitanje na instrumentu za diferencijalni pritisak jednako Δh_{0-8} = Const (u prvoj iteraciji se pretpostavlja da su linijski gubici zanemarljivi);
3. Izmeriti protok Q_i;
4. Na osnovu jednačine 4.13, sračunati potrebnu vrednost čitanja na manometru (iteracijama se koriguje uticaj trenja);
5. Nizvodnim zatvaračem regulisati protok tako da se postigne potrebno čitanje na diferencijalnom manometru;
6. Izmeriti protok Q_{i+1};
7. Ako je $(Q_i - Q_{i+1})/Q_{i+1} \times 100 > 1\%$ ponoviti tačke 4, 5, 6 i 7;
8. Zapisati trenutni protok Q.

Na slikama 4.12 i 4.13 su dati rezultati obavljenih merenja na leptirastom zatvaraču, za tri različite razlike pritisaka ($\Delta h_Z = 0.1m$, $0.2m$ i $0.3m$). Radi lakšeg uporedjenja, na slikama su istovremeno prikazani i rezultati koji su dobijeni prilikom ispitivanja zatvarača sa promenljivom razlikom pritisaka.



Slika 4.12: Uporedjenje koeficijenata lokalnih gubitaka energije (srednje vrednosti) za leptirasti zatvarač merenih pri: 1 – promenljivoj razlici pritisaka na zatvaraču (standardni radni uslovi), 2 – konstantnoj razlici pritisaka na zatvaraču (standardne proizvodjačke specifikacije)



Slika 4.13: Uporedjenje relativnih koeficijenata propusnosti zatvarača (srednje vrednosti) za leptirasti zatvarač merenih pri: 1 – promenljivoj razlici pritisaka na zatvaraču (standardni radni uslovi), 2 – konstantnoj razlici pritisaka na zatvaraču (standardne proizvodjačke specifikacije)

Analizirajući sliku 4.12, kao i sliku 4.6, interesantno je uočiti da koeficijenat lokalnog gubitka, dobijen na osnovu merenja sa konstantnom razlikom pritisaka izlazi iz zone $\pm 1\sigma$. Tako veliko odstupanje ukazuje da nije potpuno svejedno na koji način se obavlja eksperimentalno utvrdjivanje koeficijenta lokalnog gubitka. Ukoliko se projektuje upravljački sistem, nepoznavanje tačnih regulacionih karakteristika zatvarača može dovesti u pitanje rad celog sistema. Očigledno je da, proizvodjač zatvarača pored osnovnog dijagrama $\xi_Z = f(\tau)$, mora da priloži i podatke o kompletnoj metodologiji sprovedenih ispitivanja, kao i o načinu analize izmerenih veličina (u ovom radu se striktno vodilo računa o eliminisanju uticaja trenja na izmerene rezultate, kao i o uticaju Reynolds–ovog broja na trenje). Takodje, za stručnjake koji projektuju sisteme za automatizaciju, bitni su i podaci o rasipanju izmerenih vrednosti oko neke srednje vrednosti, odnosno granica $\pm 1\sigma$ u celom rasponu rada zatvarača (generalno govoreći, rasipanje podataka ne mora biti konstantno u celom radnom opsegu zatvarača).

Rupičasti zatvarač je, nasuprot leptirastom pokazao znatno manju osetljivost na način ispitivanja (uz korektan obračun gubitka energije), tako da se rezultati ovde i ne prikazuju. Mala osetljivost rupičastog zatvarača ukazuje na to da se

radi o kvalitetnom regulacionom zatvaraču, sa dobro definisanim karakteristikama. Medjutim, i ovde stoji napomena da proizvodjač zatvarača mora da priloži način ispitivanja kao i način obrade izmerenih podataka.

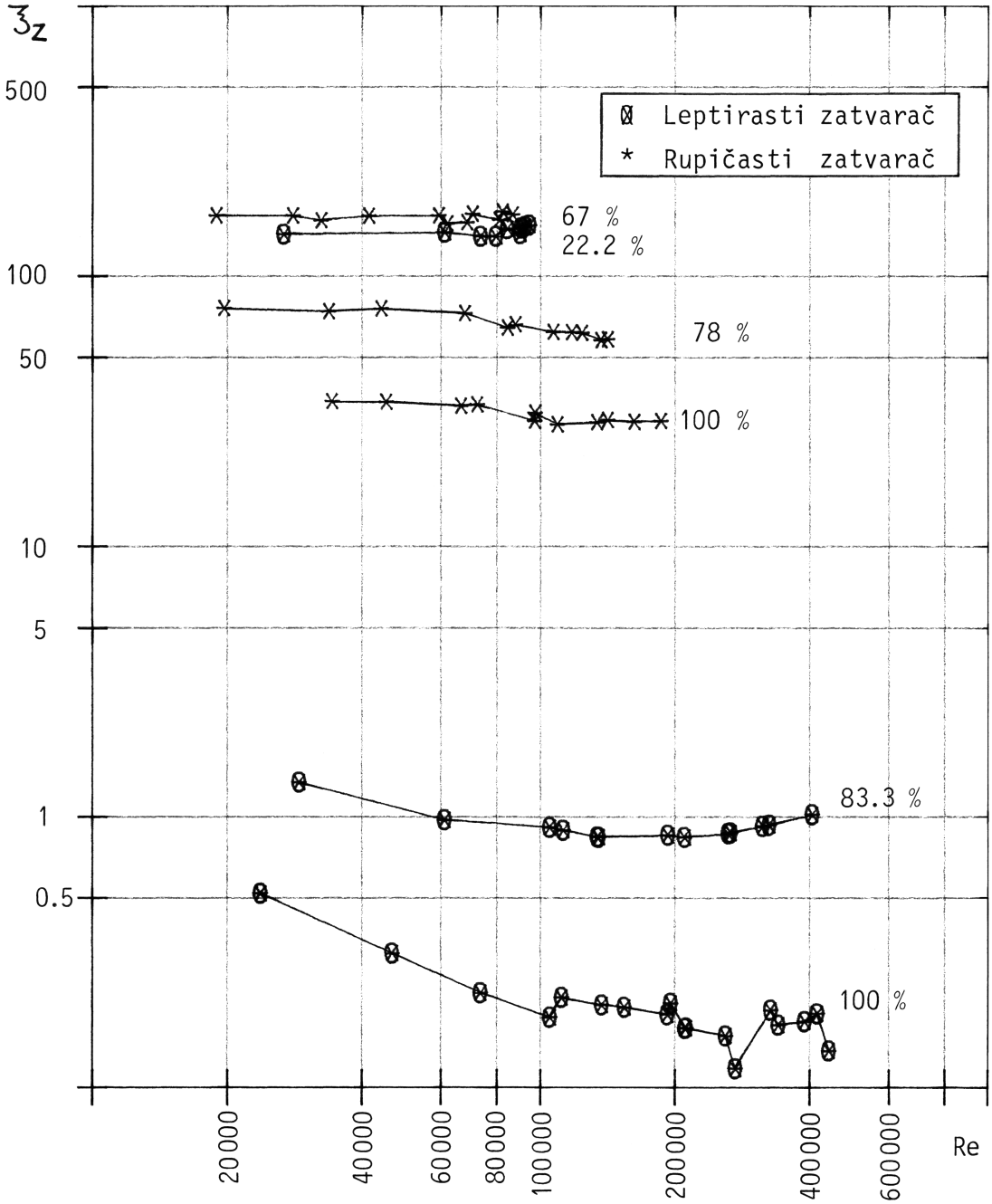
4.3.3 Analiza uticaja Reynolds–ovog broja na regulacionu karakteristiku zatvarača

Treća grupa merenja obuhvata proveru uticaja Reynolds–ovog broja na koeficijente lokalnih gubitaka. U poglavlju 3.2 su dati rezultati ispitivanja zavisnosti lokalnih gubitaka od Reynolds–ovog broja, pri punoj otvorenosti regulacionog zatvarača (slika 3.4). Dobijeni rezultati pokazuju da se uticaj Reynolds–ovog broja oseća do vrednosti $\mathrm{Re} = 200 \times 10^3$ za leptirasti, i do $\mathrm{Re} = 80 \times 10^3$ za rupičasti zatvarač. Za veće vrednosti Reynolds–ovih brojeva, može se smatrati da koeficijent lokalnog gubitka na zatvaraču ima konstantnu vrednost. Prema literaturi [26, strana 137], ovakvi rezultati se u potpunosti slažu sa ispitivanjima drugih autora [22, strana 56].

Na slici 4.14 su dati koeficijenti lokalnih gubitaka na ispitivanim zatvaračima, pri različitim otvorenostima zatvarača, u zavisnosti od Reynolds–ovog broja. Sa slike se jasno može uočiti trend promene uticaja Reynolds–ovog broja na koeficijente lokalnih gubitaka, pri promeni otvorenosti zatvarača. Leptirasti zatvarač pokazuje najveću osetljivost na promenu Reynolds–ovog broja pri punoj otvorenosti. Razlog za to je izuzetno nizak koeficijenat lokalnog gubitka, odnosno mali lokalni poremećaj koji zatvarač unosi u tok. Na taj način se dozvoljava viskoznim uticajima da dominiraju, i da odredjuju karakter ξ_Z krive. Pri otvorenosti $\tau = 83.33\%$, dolazi do smanjenja tih uticaja, jer lokalni poremećaj počinje da dominira fluidnom strujom, dok pri $\tau = 22.22\%$, zatvarač više ne oseća viskozne uticaje.

Rupičasti zatvarač, sa druge strane, zbog svoje konstrukcije, predstavlja značajan lokalni poremećaj i pri punoj otvorenosti. Na taj način je izbegnut uticaj režima tečenja u cevi na regulacione karakteristike. Ako se rezultati ispitivanja ponašanja zatvarača u različitim uslovima (prethodne dve grupe merenja, poglavlja 4.3.1 i 4.3.2) posmatraju kroz osetljivost na promenu Reynolds–ovog broja, jasno je zašto je leptirasti zatvarač pokazao tako loše karakteristike.

Sva izvedena merenja ukazuju na to da leptirasti zatvarač, i pored nesumljivo značajnih prednosti, nikako ne sme da se upotrebi kao regulacioni zatvarač u značajnijim regulacionim sistemima. Takodje, ispitivanja su pokazala, da pravi regulacioni zatvarač mora unositi značajan lokalni poremećaj pri punoj otvorenosti, kako bi mogao da se "nosi" sa linijskim gubicima (jednačina 4.9), i da u pravom smislu reči upravlja sistemom u rasponu otvorenosti $\tau = 10\%$ do $\tau = 100\%$. Rupičasti zatvarač je pokazao sve prednosti specijalno projektovanih regulacionih zatvarača – izuzetno miran i pouzdan rad sa precizno definisanim karakteristikama. U ovom radu na žalost nisu ispitivane razne varijante odnosa hoda zatvaraca i prečnika i ob-



Slika 4.14: Koeficijenti lokalnih gubitaka na zatvaračima u funkciji Reynolds–ovog broja, za različite stepene otvorenosti zatvarača (τ%): $\otimes$ – Leptirasti zatvarač, $*$ – Rupičasti zatvarač

lika rupa. Sigurno je da izborom ovih parametara, projektant sistema za upravljanje može utičati na karakteristike zatvarača, i tako ga prilagodjavati svom sistemu.

4.4 O regulisanju i merenju protoka regulacionim zatvaračem

Hidrauličke karakteristike regulacionih zatvarača, statičke karakteristike, su osnovni podatak projektantima vodovodnih sistema za odredjivanje upravljačkog algoritma. Standardna procedura pri projektovanju upravljačkih sistema je detaljna analiza karakteristika sistema, radi odredjivanja odgovora sistema na promenu upravljačke veličine. Nakon toga, sintezom se dolazi do potrebne regulacione karakteristike zatvarača, iz uslova da odziv celog sistema bude linearan, da protok u sistemu bude $Q = \text{Const} \times \tau(\%)$ (uslov o linearnosti sistema se postavlja zbog optimalnog podešavanja regulatora u celom opsegu rada sistema, odnosno zbog potrebe da se obezbedi konstantno pojačanje regulacione konture).

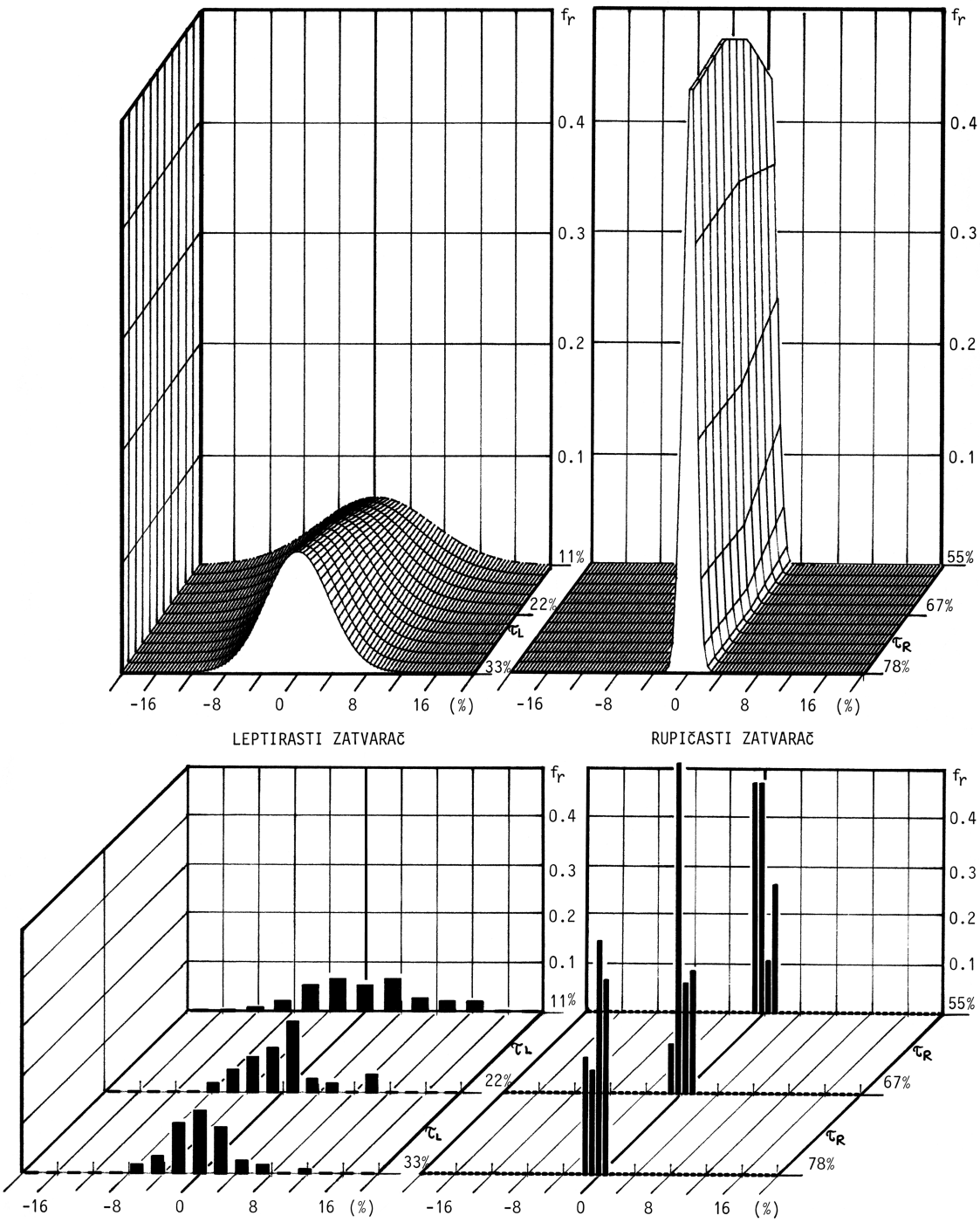
S obzirom da je uobičajeno da se analiza sistema obavlja veoma uprošćenim proračunima, po pravilu izbegavajući dinamičku analizu rada sistema, projektanti ne ulaze ni u kvalitetniju sintezu regulacionih karakteristika zatvarača. Razlog tome treba tražiti i u veoma slaboj ponudi regulacionih zatvarača na domaćem tržištu, kod kojih je moguće "naručiti" odgovarajuću karakteristiku. Kasnije, pri puštanju sistema u rad, na licu mesta se podešavaju karakteristike PI regulatora[3] [4] tako da se postigne stabilan rad u različitim režimima rada [35, 34].

Razvojem numeričkih metoda, kao i razvojem računarskih uredjaja koji su dovoljno moćni da obavljaju numeričke simulacije u realnom vremenu, omogućeno je veoma kvalitetno sagledavanje kompletne dinamike sistema kojim se želi upravljati. Problem analize sistema, kao i sinteze regulacione karakteristike zatvarača sa uslovom o linearizaciji sistema, na taj način se uprošćava. Takodje, moguće je na matematičkom modelu odrediti i potrebno pojačanje i vremensku konstantu u PI regulatoru. Medjutim, kvalitetnija analiza zahteva i pouzdanije ulazne podatke. Tu se pre svega misli na podatke o regulacionim karakteristikama zatvarača, gde više nije dovoljno dati samo zavisnost koeficijenta lokalnog gubitka energije na zatvaraču u funkciji stepena otvorenosti, već i osetljivost tog koeficijenta na promenu Reynolds–ovog broja, ponovljivost regulacionih karakteristika kao i preciziranje uslova pod kojima su izmereni izloženi rezultati.

Mogućnost kvalitetne matematičke simulacije, medjutim, ne bi trebala da se

[3]PI regulator – Proporcionalno Integrativni regulator, je regulator koji na svom izlazu daje signal definisan sa $Y = K(\epsilon + \frac{1}{T_1}\int \epsilon dt)$, gde je $K\epsilon$ proporcionalni deo, a $\frac{K}{T_1}\int \epsilon dt$ integralni deo razlike izmedju zahtevane i trenutne regulacione veličine ϵ

[4]PID regulatori – Proporcionalno Integrativno Derivacioni regulator se po pravilu ne primenjuje u hidrotehničkim objektima koje odlikuje visoki procenat šuma.



Slika 4.15: Histogram koeficijenata lokalnog gubitka energije leptirastog i rupičastog zatvarača za tri otvorenosti (gornji crtež) i prikaz izmerenih podataka fitovanih Gausovom raspodelom uz linearnu interpolaciju po otvorenosti ($\tau\%$) (donji crtež)

završi samo na pomoći u sintezi regulacione karakteristike zatvarača. Uvodjenjem potpunog matematičkog modela u upravljački sistem, sa analizama stanja sistema u realnom vremenu i predvidjanjima budućih stanja u napred (upravljanje sa predvidjanjem, ili "Feed Forward" upravljanje [45]), čini se veliki kvalitativni skok u procesu upravljanja vodovodnim sistema. Takvi sistemi obično u sebi sadrže i bazu znanja, koja ubrzava rad u standardnim radnim uslovima. U uslovima gde baza znanja ne daje odgovor, korišćenjem matematičkog modela analizira se situacija, donosi nova odluka, i istovremeno unapredjuje postojeća baza znanja.

Za rad opisanog sistema, od presudnog značaja su pozdane informacije o elementima sistema (dužine i prečnici cevi, način povezivanja mreže, hidrauličke karakteristike sistema), kao i informacije o trenutnim stanjima u pojedinim tačkama sistema (nivoi u rezervoarima, pritisci i protoci, stanje pumpi kao i otvorenost regulacionih zatvarača). Pri tome se ne sme zanemariti mogućnost odredjivanja trenutnog protoka kroz regulacioni zatvarač na osnovu podataka o razlici pritisaka na zatvaraču i njegove otvorenosti. Takav podatak je veoma dragocen, jer omogućava kontrolu podataka o protocima dobijenih drugim uredjajima uz istovremenu kontrolu rada samog matematičkog modela. Ali, sam podatak o protoku je onoliko pouzdan, koliko pouzdano znamo i regulacione karakteristike zatvarača.

Uvažavajući ovaj aspekt problema upravljanja vodovodnim sistemima, u radu je ispitivana ponovljivost regulacionih karakteristika zatvarača. Obavljena je veća serija merenja razlike pritisaka na zatvaraču pri ponovljenim manevrima, uz zadržavanje konstantnih uzvodnih i nizvodnih uslova. Na slici 4.15 je dat histogram merenih rezultata, kao i trodimenzionalni dijagram normalne raspodele (bez većih analiza da li slučajna promenljiva ξ_Z sledi normalnu raspodelu). Na horizontalnoj, podužnoj osi, prikazano je procentualno odstupanje koeficijenta lokalnog gubitka u odnosu na srednju vrednost, dobijenu serijom od 50 merenja, dok je na vertikalnoj, visinskoj osi prikazana relativna frekvencija. Treća osa, po dubini crteža, predstavlja promenu otvorenosti zatvarača.

Analiziranjem slike 4.15, mogu se uočiti nesumljive prednosti rupičastog zatvarača u odnosu na leptirasti, zbog znatno manjeg rasipanja podataka (praktično su sve izmerene vrednosti u granicama $\pm 2\%$), kao i zbog male promene karakteristika pri različitim otvorenostima. Leptirasti zatvarač, s druge strane ima znatno veće rasipanje podataka, koje nije ni konstantno za različite otvorenosti, već se rasipanje povećava kako se otvorenost smanjuje. Ovakva karakteristika leptirastog zatvarača praktično isključuje mogućnost njegove upotrebe u sistemima gde je potrebno odredjivati i protok na osnovu razlike pritisaka na zatvaraču kao i primenu u sistemima za upravljanje sa predvidjanjem.

U literaturi o regulacionim zatvaračima se, na žalost ne mogu pronaći rezultati ispitivanja ponovljivosti koeficijenta lokalnog gubitka energije. Sigurno je da mehanička konstrukcija zatvarača, njegova robusnost, u velikoj meri utiče na kvalitet ponovljivosti rezultata. U sprovedenim merenjima, radilo se sa prototipovima zat-

varača, tako da dobijeni rezultati predstavljaju samo najgrublju aproksimaciju rezultata koje bi trebalo dobiti pri analizi fabričkih. Medjutim, sama metodologija merenja, kao i način prezentacije i tumačenja rezultata, direktno se može primeniti i u merenjima koja sprovode proizvodjači zatvarača.

Glava 5

Dinamičke karakteristike fluidne struje

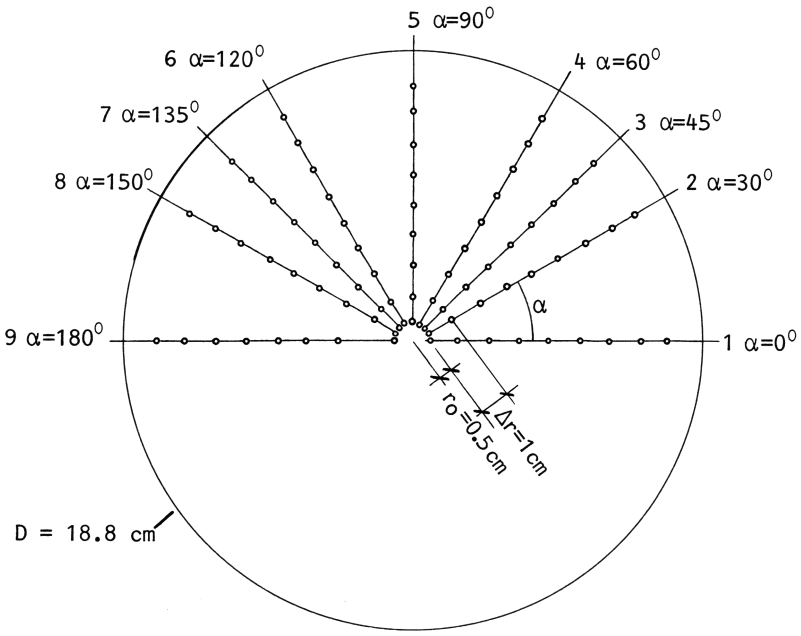
5.1 Merenje trenutnih vrednosti brzina i pritisaka

Na eksperimentalnoj instalaciji za ispitivanje karakteristika zatvarača, prikazanoj na slikama 2.1 i 2.2, na mernoj deonici je izvedeno 9 otvora koji omogućavaju uvodjenje u tok i precizno pozicioniranje sonde za merenje trenutne brzine fluida u tački (poglavlje 2.3.3) i trenutne vrednosti pritiska na konturu (poglavlje 2.3.2).

U tabeli 2.1 su dati podaci o svih 11 mernih profila: prečnici cevi i udaljenja od ispitivanog zatvarača. Merenje rasporeda brzina u celom strujnom polju (odnosno u gornjoj polovini strujnog polja, uz predpostavku da je strujanje simetrično oko horizontalne ravni) postignuto je rotiranjem celokupne merne deonice (merni profili $1 \ldots 8$), sistemom koji je prikazan na slici 2.3.

Na slici 5.2 je prikazan način povezivanja merne opreme. Signal proporcionalan trenutnoj vrednosti veličine koja se meri, vodi se kroz predpojačavač i normalizator u analogni filter, propusnik niskih učestanosti, sa graničnom frekvencijom $100Hz$ za topli film sondu, $500Hz$ sa davač pritiska i $0.5Hz$ za merač protoka. Iz filtera, signal se vodi u sistem za akviziciju *LAB 1000* sa ugradjenim multiplekserom (MUX), višestepenim programibilnim pojačavačem (PGA) i analogno digitalnim konverterom (A/D konverter). Ceo sistem kontroliše personalni računar (PC), sa programom ADA^+ (program za akviziciju i analizu podataka).

Analogni filteri u sistemu za akviziciju imaju dvojnu ulogu. Sa jedne strane, osnovna funkcija im je uklanjanje impulsnih smetnji koje prouzrokuju sami predpojačavači, a sa druge strane, neophodni su i zbog smanjenja greške alijasinga [14, 15, 38]. Naime, sistemi za digitalnu akviziciju i obradu podataka su strogo frekventno ograničeni na opseg od $1/T$ do $1/(2 \times \Delta T)$. Ukoliko se u spektru snage razmatranog signala nalazi komponenta iznad maksimalne granice akvizicionog sis-



Slika 5.1: Merni preseci (1 – 9) na jednom od osam nizvodnih profila (pogled sa nizvodne strane)

tema, usled efekta alijasinga, spektar iznad $1/(2\times\Delta T)$ će biti preslikan u razmatrani opseg od $1/T$ do $1/(2\times\Delta T)$, s time što je nemoguće razlučiti šta je korisni signal, a šta greška usled preslikavanja. Korišćeni filteri obezbedjuju da se spektar korisnog signala (i signala šuma) koji je iznad maksimalne granice u dovoljnoj meri oslabi, kako bi se eliminisao njegov uticaj na rezultat merenja[1].

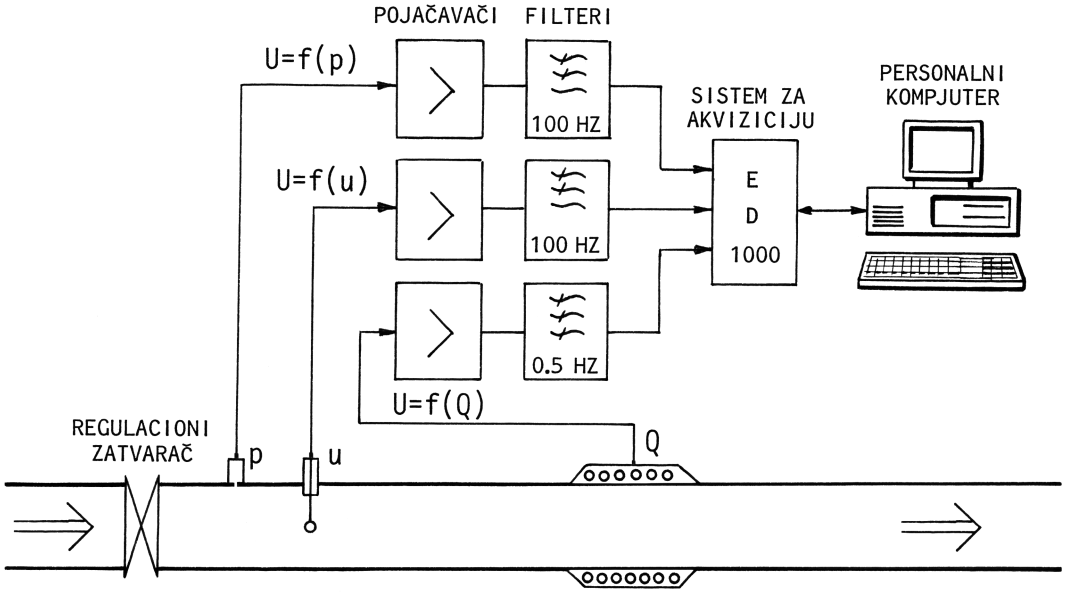
Problem izbora potrebne dužine vremenske serije za kvalitetnu statističku analizu je detaljno prikazan u literaturi [14, strana 191], [28]. Ovde se samo navodi da je vodjeno računa o tome da normalizovana srednja kvadratna greška, data sa:

$$\epsilon_r = \sqrt{\frac{1}{\Delta f_e \times T}} \tag{5.1}$$

gde je T dužina vremenskog zapisa, a Δf_e efektivna širina opsega frekvencija, dobijena glačanjem spektralnih komponenti, bude:

$$\epsilon_r < 0.2 \tag{5.2}$$

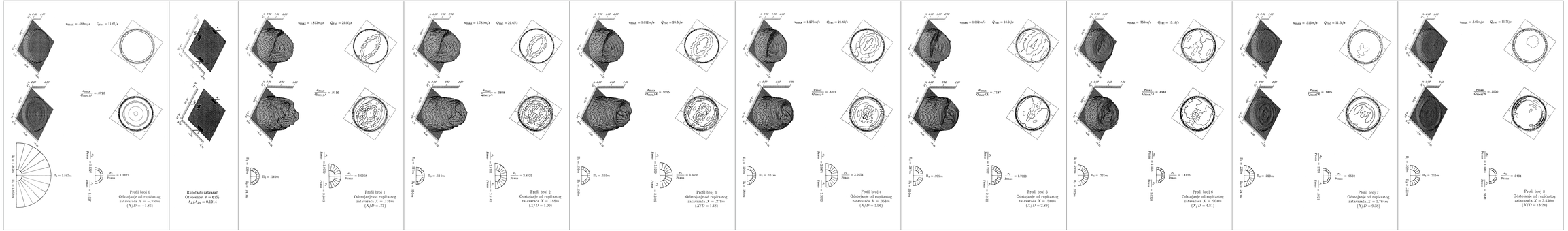
[1]Analiza da li je greška usled alijasinga značajna ili ne, može se obaviti serijom akvizicija ustaljenog procesa uz skraćivanje vremena ΔT, odnosno uz povećanje maksimalne ganice akvizicionog sistema. Ukoliko se postigne da je spektar snage merene veličine istovetan pri skraćenju ΔT, znači da ne postoji ni jedna komponenta signala izvan razmatranog opsega, te da je greška usled alijasinga izbegnuta.



Slika 5.2: Šema povezivanja mernih uredjaja pri merenjima trenutnih vrednosti brzina i pritisaka u strujnom polju

Trajanje svih vremenskih serija u ovim eksperimentima je $T = 10.24sec$, odnosno broj uzoraka je $n = 2048$. Prilikom analize spektra, da bi se zadovoljio uslov 5.2, efektivni priraštaj frekvencija je $\Delta f_e = 2.5Hz$.

S obzirom na obimnost potrebnih eksperimentalnih istraživanja, kao i na značajnu količinu informacija koju prikuplja akvizicioni sistem, sva merenja su obavljena pri jednom protoku ($Q = 11.7l/s$) i pri jednoj otvorenosti regulacionog zatvarača ($\tau = 22.22\%$ za leptirasti zatvarač i $\tau = 67\%$ za rupičasti zatvarač). Pri tome, sondom za merenje pritiska su premerene fluktuacije duž zida u svih devet profila, u presecima 1, 5 i 9 (slika 5.1), a sondom za merenje trenutne vrednosti brzine, u svih devet profila i u svim presecima (od 1 do 9) sa korakom $\Delta X = 10mm$, slika 5.1 (721 vremenskih serija, po 2048 uzoraka dužine 4 byta, čini 5906432 byta, odnosno 5.63 Mb podataka o brzinama za jednu otvorenost zatvarača). Sva merenja su obavljena u gornjoj polovini fluidne struje, s obzirom da se može smatrati da je strujno polje simetrično u odnosu na horizontalnu ravan.

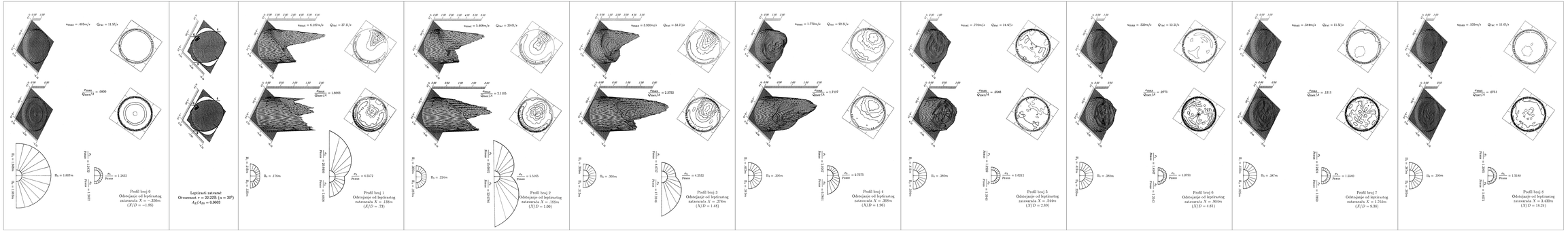


Svedoje vrednosti brzina uzvodno i nizvodno od rupičastog zatavarača (3D prikaz i 2D - iso linije) upisani računski protok je dobijen na osnovu integrisanja intervenih polja svedojih brzina u 81 tački gornje polovine cevi

Intenzitet turbulencije brzina uzvodno i nizvodno od rupičastog zatavarača (3D prikaz i 2D - iso linije) bezdimenzionalni prikaz - normalizovano sa srednjom brzinom ($za\ Q = 11.6l/s$)

Svedoje vrednosti pijezometarskih kota i intenzitet fluktuacija pritisaka na zid cevi (na gornjoj polovini cevi) nezvno u presecima 1 (dal levog boka cevi), 5 (dal gornje ivice) i 9 (dal desnog boka cevi) uzvodno i nizvodno od rupičastog zatvarača

Slika 5.4: Polje brzina i pijezometarske kote uzvodno i nizvodno od rupičastog zatvarača - svedoje vrednosti i intenzitet turbulencije



Srednje vrednosti brzina nizvodno i nizvodno od leptirastog zatvarača (3D prikaz i 2D – iso linije) upisani računski presek je dobijen na osnovu integracija izmerenih polja srednjih brzina u 81 tački granje poluotvoreno cevi

Intenzitet turbulencije brzina nizvodno i nizvodno od leptirastog zatvarača (3D prikaz i 2D – iso linije) bezdimenzionalni prikaz – normalizovano sa srednjom brzinom (za $Q = 11.6l/s$)

Srednje vrednosti pijezometarskih kota i intenzitet fluktuacija pritiska na zid cevi (na gornju poloviti cevi), merено u presecima 1 (dal levog boka cevi), 5 (dal granje ivice) i 9 (dal desnog boka cevi) nizvodno i nizvodno od leptirastog zatvarača

Slika 5.3: Polje brzina i pijezometarske kote nizvodno i nizvodno od leptirastog zatvarača – srednje vrednosti i intenzitet turbulencije

5.2 Osrednjene vrednosti brzina i pritisaka nizvodno od zatvarača

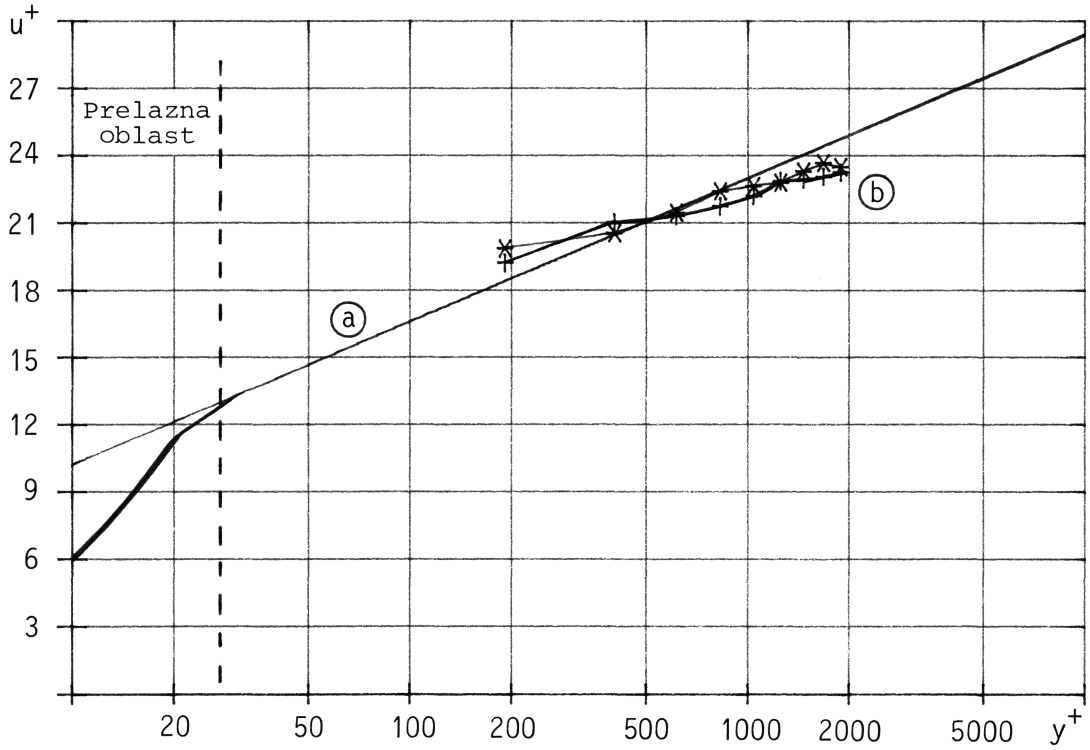
Na slikama 5.3 i 5.4 su dati rezultati merenja polja brzine (gornji red slika), osrednjene vrednosti i pijezometarskih kota (donji red, sa leve strane), uzvodno i nizvodno od regulacionog zatvarača. Kod prikaza srednjih brzina u cevi, korišćen je trodimenzionalni prikaz (aksonometrijski), zajedno sa prikazom izotaha. Pored svakog profila, dat je i podatak o maksimalnoj brzini kao i o protoku sračunatom integrisanjem izmerenog polja brzina. Da bi se stekao pravilan utisak o izgledu polja brzina, izmedju profila 0 i 1 je dat i izgled (šematski) regulacionog zatvarača. Podaci su izmereni pri stepenu otvorenosti leptirastog zatvarača $\tau = 22\%$, odnosno rupičastog zatvarača $\tau = 67\%$ i pri protoku $Q = 11.7l/s$, pri čemu je mereno u gornjoj polovini cevi (kao na slici 5.1), a donja polovina je nacrtana simetrično u odnosu na horizontalnu ravan.

U poglavlju 2, tačka 2.3.3, prilikom prikaza korišćene sonde za merenje brzine vode u tački, rečeno je da se sonda ne može koristiti u tokovima sa povratnom strujom[2]. Prilikom merenja polja brzina u blizini regulacionih zatvarača, sve do profila broj 6, uočen je veliki procenat povratne struje, tako da su u tim profilima rezultati dobijeni korišćenom sondom neupotrebljivi. Provera da li u nekom profilu ima značajnijih povratnih tokova je obavljena na dva načina, vizuelizacijom (pomoću malog končića koji je kroz postojeće otvore spuštan u strujno polje i praćenjem smera kretanja končića — pokušaj koji nije dao baš najupotrebljivije rezultate) i numeričkim putem (integracijom izmerenih podataka o polju brzine po poprečnom preseku i uporedjenjem dobijenog rezultata sa trenutno izmerenim protokom, pri čemu je kao kriterijum nepostojanja povratnog toka uzeto slaganje dobijenih protoka od 95%).

Postavljene kriterijume, dakle, ne ispunjavaju izmerene brzine u profilima 1 ... 5 za leptirasti zatvarač, i 1 ... 6 za rupičasti zatvarač. Medjutim, iako ti profili ne daju tačne vrednosti brzina, dozvoljavaju kvalitativnu analizu brzina i bolji uvid u poremećaje koji pojedini zatvarači unose u fluidnu struju. Kod leptirastog zatvarača, u preseku 1 se jasno može uočiti povećanje lokalne brzine na $6.19m/s$ (računska vrednost za $\tau = 22.22\%$ je $6.86m/s$), dok u zoni preseka 7, 8 i 9, uza zid postoji izrazito vrtložno strujanje (koje korišćena sonda "vidi" kao povećanje srednje brzine). Kako se struja udaljuje od prepreke, polako dolazi do osrednjavanja profila, uz istovremeno blago premeštanje maksimalne vrednosti iz levog dela cevi u desni deo. Kod rupičastog zatvarača, u preseku 1 izrazito povećanje lokalne brzine u preseku 5 (po gornjoj izvodnici) uz sam zid cevi je izazvano efektom isisavanja koji

[2]Merenje trenutne brzine sa povratnim tokom se efikasno obavlja laserskim uredjajima (LDV). Primena toplog filma u takvim situacijama je uvek komplikovana i zahteva specijalno konstruisane višekanalne sonde, sa kombinacijama toplog i hladnog filma, izuzetno komplikovanim algoritmom obrade podataka itd.

prouzrokuje velika brzina mlaza vode. Ako se pogleda slika korišćenog rupičastog zatvarača (slika 2.5), može se uočiti da se tačno na mestu gde se nalazi maksimalna brzina, nalazi sistem za podizanje pokretne ploče. Kako u tom delu nema otvora (rupica), formira se snažno vrtložno kretanje, koje sonda za brzine ne može da korektno snimi. U centru cevi, u delu gde su ravnomerno rasporedjeni otvori, polje brzina ima vrednost oko $0.5m/s$, blizu brzina koje su u neporemećenoj struji.



Slika 5.5: Profil brzine u kružnoj cevi: a) Teorijska raspodela data sa $u^+ = 2.78 \ln y^+ + 3.8$, b) Rezultati merenja u profilu 8 na eksperimentalnoj instalaciji: $+$ – nizvodno od leptirastog zatvarača, $\star$ – nizvodno od rupičastog zatvarača

Interesantno je uočiti da se u polju brzina nizvodno od rupičastog zatvarača ne može videti uticaj pojedinih rupica na brzinu. S obzirom da je prečnik rupica $10mm$, a da je odstojanje prvog mernog profila $X = 138mm$, odnosno da je bezdimenzionalno odstojanje u odnosu na prečnik rupica $X/d = 13.8$, očigledno da je došlo do spajanja mlazeva i do osrednjavanja brzina (lepo se vidi na dijagramu sa izotahama).

Sem trodimenzionalnog, prostornog prikaza polja brzina, gde se vizuelno može oceniti da li je došlo do smirivanja fluidne struje, moguće je analizirati i profil brzina po preseku i uporediti ga sa teorijskim vrednostima, kao na slici 3.2 u poglavlju 3.1. Na slici 5.5 je dat prikaz profila brzine nizvodno od leptirastog i rupičastog zatvarača, u mernom profilu 8, uz uporedjenje sa teorijskom raspodelom $u^+ = 2.78 \ln y^+ + 3.8$

(jednačina 3.1, poglavlje 3.1). Na osnovu dobijenih rezultata, može se smatrati da je dužina od $X/D = 18.2$ dovoljna da se polje brzina nizvodno od oba regulaciona zatvarača vrati u neporemećeno stanje.

Podaci o srednjim vrednostima pijezometarskih kota merenih po konturi su prikazani na slikama 5.3 i 5.4 (treći red slika, sa leve strane), superponirani na gornju polovinu cevi. Pored svakog mernog preseka su upisane vrednosti pijezometarskih kota, u $[m]$. Lako se može pratiti uticaj zatvarača na pijezometrasku kotu u nizvodnim profilima, pogotovu na neravnomernost duž levog i desnog boka. (Sličan podatak se može naći i na slici 3.8 u poglavlju 3.3).

5.3 Fluktuacije brzina i pritisaka nizvodno od zatvarača

Fluktuacioni deo neke veličine Y se može napisati kao razlika izmedju trenutne vrednosti i osrednjene vrednosti te veličine, odnosno:

$$Y'(t) = Y(t) - \overline{Y} \tag{5.3}$$

Srednje kvadratno odstupanje fluktuacionog dela, ili standardna devijacija, je definisana sa:

$$\sigma = \sqrt{\overline{Y'^2}} \tag{5.4}$$

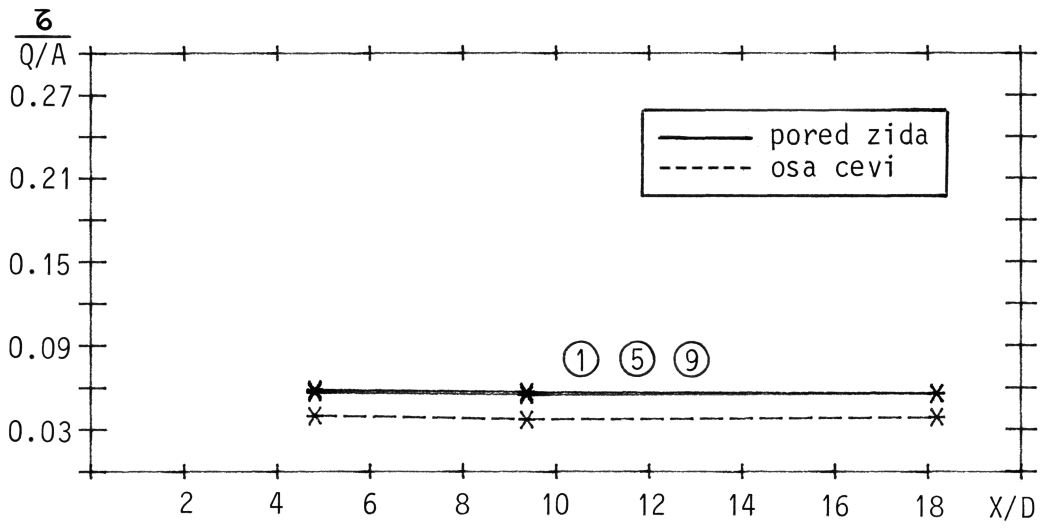
i daje kvantitativnu meru učešća fluktuacionog dela u veličini Y. Ako je veličina Y trenutna brzina u tački, u_i, tada srednje kvadratno odstupanje brzine $\sqrt{\overline{u_i'^2}}$ kao pokazatelj kolebanja izražava razvijenost ili jačinu turbulencije.

Da bi se eliminisao uticaj dimenzija, zgodnije je posmatrati količnik srednje kvadratnog odstupanja i osrednjene brzine, tako da se dobija:

$$\frac{\sqrt{\overline{u_i'^2}}}{\overline{U_0}} \qquad \text{odnosno} \qquad \frac{\sigma}{V} \tag{5.5}$$

gde je osrednjena brzina $\overline{U_0}$ zamenjena sa proticajnom brzinom $V = Q/A$. Ovako definisana bezdimenzionalna veličina se često naziva i intenzitet turbulencije.

Na osnovu obavljenih merenja trenutnih brzina i pritisaka uzvodno od regulacionog zatvarača i u niz preseka nizvodno, na slikama 5.3 i 5.4 su u trodimenzionalnom prikazu dati intenziteti turbulencija brzina, sa dijagramom izo linija (linija istog intenziteta turbulencije) i vektorski dijagram intenziteta turbulencije pritisaka na gornju polovinu cevi. Važno je napomenuti da korišćena sonda za brzine nije u stanju da tačno meri fluktuacije kada je intenzitet veći od 0.4 (odnosno od 40 %). Znajući za to ograničenje, nije teško protumačiti zašto je integral polja brzine

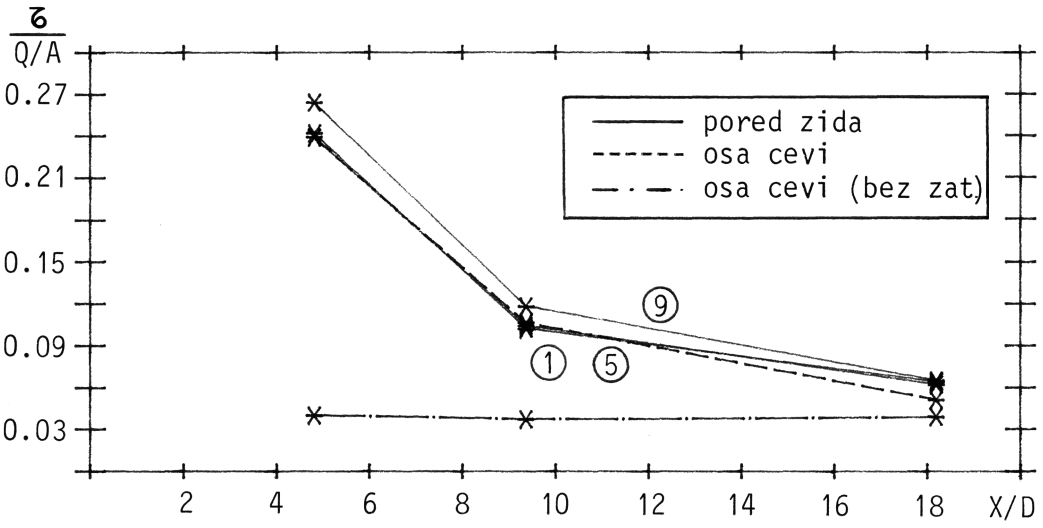


Slika 5.6: Intenzitet turbulencije brzine duž ispitivane deonice (profili 6, 7 i 8) bez prisustva regulacionog zatvarača

u profilu br. 6 kod rupičastog zatvarača znatno veći od stvarnog protoka, iako ne postoje značajniji povratni tokovi.

Analizirajući dijagrame intenziteta turbulencija brzina i pritisaka, može se pratiti kako poremećaj koji zatvarač unosi u fluidnu struju direktno utiče na povećanje fluktuacija i kako se nizvodno veštački generisani vrtlozi postepeno smanjuju, težeći starom, neporemećenom stanju. Aksonometrijski prikaz na slikama 5.3 i 5.4 ne daje najjasniji uvid u tačnu meru smirivanja fluktuacija brzina, tako da su ti isti podaci, samo za profile 6, 7 i 8 dati u linijskom dijagramu, kao promena intenziteta fluktuacija brzina duž cevi, odvojeno za osu cevi i odvojeno duž bokova. Da bi se imao bolji uvid u neporemećeno stanje fluktuacija brzina, obavljena su i dodatna merenja fluktuacija po preseku za slučaj bez prisustva regulacionog zatvarača. Na slici 5.6 su dati rezultati merenja intenziteta turbulencije brzina u profilima 6, 7 i 8 bez prisutnog regulacionog zatvarača, a na slikama 5.7 i 5.8 sa postavljenim leptirastim odnosno rupičastim zatvaračem.

Na slikama 5.7 i 5.8 se može pratiti proces smirivanja, odnosno izumiranja vrtloga generisanih lokalnim poremećajem, uz težnju da se dostigne ravnotežno stanje dato na slici 5.6. U profilu 8, u oba slučaja zidna turbulencija preuzima ulogu generatora vrtloga i počinje da utiče na fluidnu struju. Kod rupičastog zatvarača je primetna nešto veća turbulencija u profilu 6, ali takodje je i smirivanje brže, tako da su stanja u profilu 8 nizvodno od oba zatvarača praktično identična.



Slika 5.7: Intenzitet turbulencije brzine duž ispitivane deonice (profili 6, 7 i 8), nizvodno od leptirastog zatvarača pri otvorenosti $\tau = 22.22\%$

5.4 Statistička analiza fluktuacija brzina i pritisaka

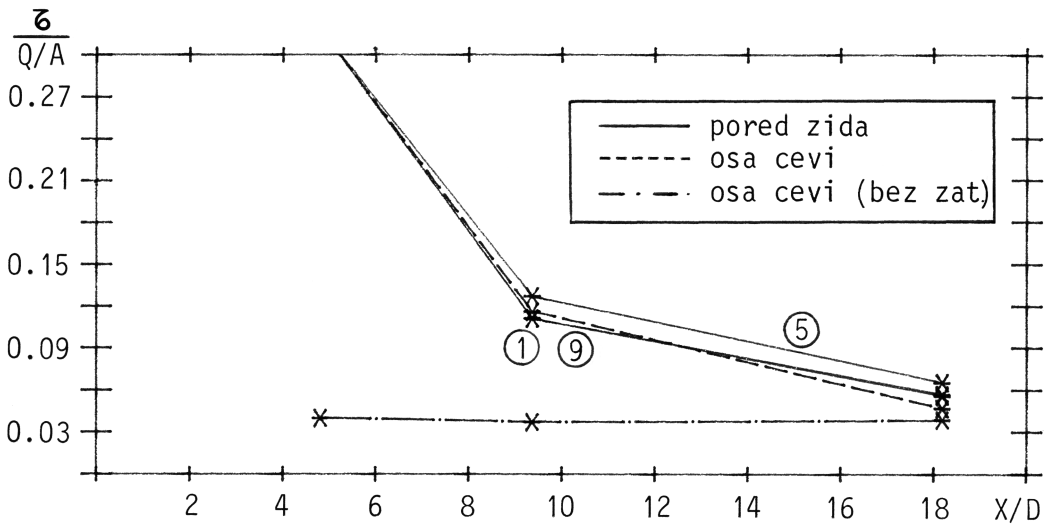
Analiza srednjih vrednosti i fluktuacija brzina i pritisaka na konturu, data u poglavlju 5, tačke 5.2 i 5.3, daju dobar uvid u stanje strujne slike nizvodno od regulacionog zatvarača. Praćenjem promene intenziteta turbulencije duž cevi, može se videti kako napreduje proces relaksacije fluidne struje. Takodje, jasno se može uočiti proces širenja uticaja zidne turbulencije, koja teži da u nizvodnim presecima postane dominantna za ceo proticajni profil.

Medjutim, iz takvih analiza se ne može ništa zaključiti o učešću pojedinih veličina vrtloga u fluidnoj struji, o dominantnim frekvencijama vrtloga kao ni o verovatnoći pojave odredjene brzine ili pritiska u nekoj tački. Da bi se stekao utisak o tim veličinama, potrebno je obaviti detaljnije statističke analize, koje se daju u nastavku.

5.4.1 Funkcija gustine raspodele verovatnoće, koeficijenti asimetrije i spljoštenosti

Za neku veličinu Y, koja fluktuira u vremenu, a čija je srednja vrednost $\overline{Y}$ ustaljena, funkcija gustine raspodele verovatnoće $B(y_i)$ predstavlja verovatnoću da će se veličina y_i, u nekom trenutku t, naći u intervalu:

$$\left(y_i - \frac{W}{2}\ ;\ y_i + \frac{W}{2}\right) \tag{5.6}$$



Slika 5.8: Intenzitet turbulencije brzine duž ispitivane deonice (profili 6, 7 i 8), nizvodno od rupičastog zatvarača pri otvorenosti $\tau = 67\%$

gde je sa W označena širina klasnog intervala. Ocena funkcije gustine raspodele[3] $\widehat{B}(y_i)$ se dobija preko izraza:

$$\widehat{B}(y_i) = \frac{N_i}{N \times W} \tag{5.7}$$

gde je N broj podataka u vremenskoj seriji, a N_i broj podataka koji je pao u interval dat jednačinom 5.6.

Funkcija ocene raspodele verovatnoće ($\widehat{F}_i$) se dobija iz funkcije ocene gustine verovatnoće ($\widehat{B}_i$) preko:

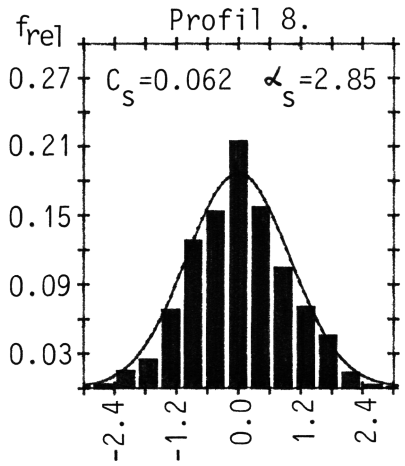
$$\widehat{F}_i = \widehat{F}\left[-\infty < y(t) < y_i\right] = W \sum_{i=0}^{i} \widehat{B}(y_i) \tag{5.8}$$

Pored vizuelne ocene raspodele verovatnoće, koja se dobija iz 5.7, potrebno je sračunati i treći i četvrti statistički momenat. Na taj način se dobijaju numerički pokazatelji simetrije i spljoštenosti fluktuirajuće komponente posmatrane veličine Y:

$$\overline{y^3} = \int_{-\infty}^{+\infty} y^3 B(y)\, dy \tag{5.9}$$

$$\overline{y^4} = \int_{-\infty}^{+\infty} y^4 B(y)\, dy \tag{5.10}$$

[3]Umesto gustine raspodele definisane sa $B = \frac{d(T/T_0)}{dY}$, gde je Y kontinualna promenljiva a T/T_0 ukupno vreme za koje je Y bila u granicama datim jednačinom 5.6 [14, strana 177], ovde se ide na ocenu gustine raspodele $\widehat{B}$ jer se radi sa diskretno promenljivim veličinama.



Slika 5.9: Histogram fluktuacija brzine u profilu 8, u osi cevi, bez postavljenog regulacionog zatvarača

odnosno, bezdimenzionalni oblik koji se dobija deljenjem sa odgovarajućim stepenom srednjeg kvadratnog odstupanja (jednačina 5.5):

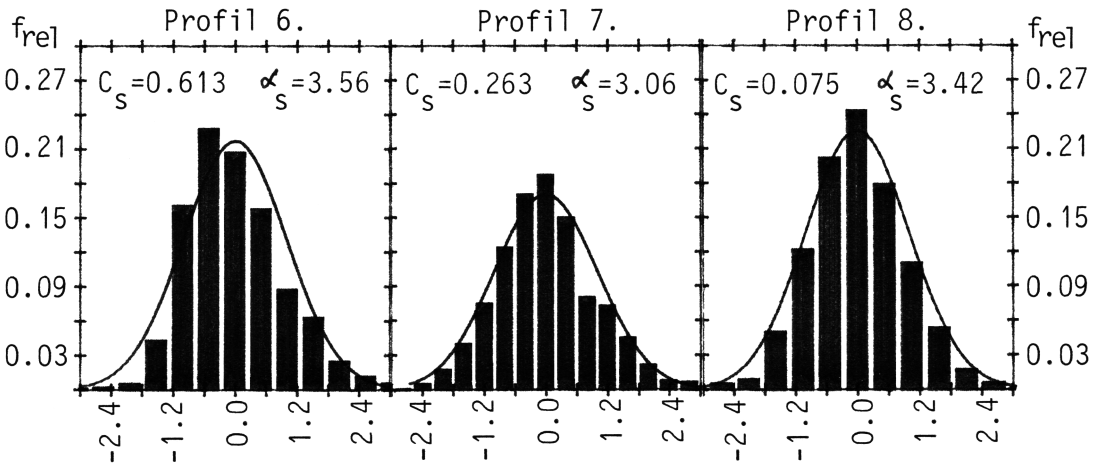
$$C_S = \frac{\overline{y^3}}{\sigma^3} \tag{5.11}$$

$$\alpha_S = \frac{\overline{y^4}}{\sigma^4} \tag{5.12}$$

Na slikama 5.9 do 5.11 su dati histogrami fluktuacija brzina, i to prvo za slučaj bez regulacionog zatvarača (kao referentni) i za slučajeve sa postavljenim regulacionim zatvaračima. Referentna slika potvrdjuje teorijske predpostavke da je raspodela fluktuacija brzina za razvijenu turbulenciju normalna, Gausova [31, strana 115]. To potvrdjuje i koeficijenat simetrije, koji je veoma blizak nuli. Na slikama 5.10 i 5.11 se može pratiti kako se duž fluidne struje smanjuje koeficijenat simetrije (u zoni gde su fluktuacije generisane lokalnim poremećajem, koeficijenat simetrije je pozitivan), odnosno kako izumiru veštački uneti vrtlozi, a prirodna zidna turbulencija uzima maha. Interesantno je da su koeficijenti simetrije nešto niži kod rupičastog zatvarača, verovatno zbog toga što se turbulencija generisana rupičastim zatvaračem približava izotropnoj turbulenciji.

5.4.2 Funkcija autokorelacije

Funkcija autokorelacije opisuje uopštenu zavisnost vrednosti veličine u jednom vremenskom trenutku u odnosu na vrednost u drugom trenutku. Za vremensku seriju Y, autokorelacija je proizvod $y(t)$ u trenutku t i u trenutku $t + \mathcal{T}$, osrednjen po celom vremenu uzorkovanja. Ukoliko je interval osrednjavanja T konačan, radi



Slika 5.10: Histogram fluktuacija brzine u profilima 6, 7 i 8, u osi cevi, nizvodno od leptirastog zatvarača

se o oceni funkcije autokorelacije, a inače kada T teži beskonačnosti, dobija se tačna vrednost.

$$R_y(\mathcal{T}) = \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \int_0^T y(t)\, y(t+\mathcal{T})\, dt \tag{5.13}$$

Definisana funkcija autokorelacije je parna funkcija, koja može biti i pozitivna i negativna, sa maksimalnom vrednošću za $\mathcal{T} = 0$, odnosno:

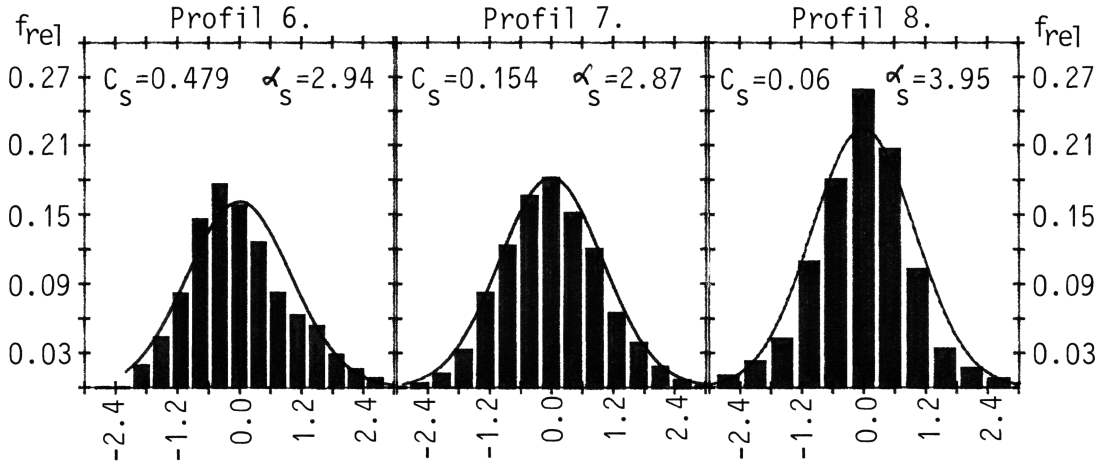
$$R_y(-\mathcal{T}) = R_y(\mathcal{T}) \tag{5.14}$$

$$R_y(0) \geq |R_y(\mathcal{T})| \qquad \text{za svako } \mathcal{T} \tag{5.15}$$

Funkcija autokorelacije pruža kvalitativni uvid u vremensku dimenziju najsitnijih vrtloga u posmatranoj tački, preko karakteristične vremenske mikro razmere. Kvadrat recipročne vrednosti drugog izvoda funkcije $R(\mathcal{T})$, za $\mathcal{T} = 0$, odnosno:

$$\mathcal{T}_E = \sqrt{\frac{-1}{\left(\frac{\partial^2 R}{\partial T^2}\right)_{\mathcal{T}=0}}} \tag{5.16}$$

daje periodu rotacije najsitnijeg vrtloga. Veza izmedju vremenske razmere vrtloga ($\mathcal{T}_E$) i dužinske (l) se može uspostaviti, ukoliko se smatra da se sve što se dešava istovremeno duž struje, dešava i kroz vreme u istoj tački, jer struja (osrednjena brzina) nosi te iste vrtloge (Taylor–ova hipoteza) [44, strana 90], [21]. Uz uslov da je turbulencija homogena i izotropna, kao i da je intenzitet turbulencije znatno



Slika 5.11: Histogram fluktuacija brzine u profilima 6, 7 i 8, u osi cevi, nizvodno od rupičastog zatvarača

manji od osrednjene brzine[4] može se napisati da je:

$$\frac{\partial}{\partial t} = -\overline{u_1}\,\frac{\partial}{\partial x_1} \tag{5.17}$$

odnosno uspostaviti tražena veza.

Pored mikrorazmere, iz funkcije autokorelacije se može dobiti podatak, orijentacioni i o makro ili integralnoj vremenskoj razmeri. Definiše se kao:

$$T_E = \int_0^\infty R(\mathcal{T})d\mathcal{T} \tag{5.18}$$

i predstavlja podatak o potrebnom vremenu osrednjavanja. Koristeći jednačinu 5.17, dobija se odgovarajuća veličina u dužinskoj razmeri, L – integralna ili makro razmera, koja daje uvida u dimenzije najvećih vrtloga u strujnom polju.

Sam proračun funkcije autokorelacije je moguć direktno jednačinom 5.13, ili inverznom Fourier–ovom transformacijom funkcije spektralne gustine. Naime, postoji direktna veza izmedju vremenske korelacije (autokorelacije) i funkcije spektralne gustine, preko [44, strana 85]:

$$R(\mathcal{T}) = \int_0^\infty G(f)\,e^{i2\pi f\mathcal{T}}df = \int_0^\infty G(f)\,\cos 2\pi f\mathcal{T}\,df \tag{5.19}$$

$$G(f) = \frac{2}{\pi}\int_0^\infty R(\mathcal{T})\,e^{-i2\pi f\mathcal{T}}d\mathcal{T} = \frac{2}{\pi}\int_0^\infty R(\mathcal{T})\,\cos 2\pi f\mathcal{T}\,d\mathcal{T} \tag{5.20}$$

[4]Eksperimentalna istraživanja su pokazala da Taylor–ova hipoteza važi i kod skoro homogenih turbulencija, kao i kod mnogih nehomogenih. Hipoteza je potvrdjena kod odnosa $\sigma/V < 0.1$ u spoljnih 90 do 95 % graničnog sloja. Može se smatrati da važi u većini slobodnih turbulentnih tokova kao i u jezgru toka u kanalima (ali ne i blizu zida) [44].

S obzirom da autokorelacija daje podatke o vremenskim serijama koji se mogu dobiti i iz Fourier–ove transformacije, u nastavku rada se obradjuju samo informacije u frekventnom domenu, dok će se povremeno uspostavljati veza sa vremenskim domenom[5].

5.4.3 Funkcija spektralne gustine

U analizi vremenskih serija, bilo periodičnih ili neperiodičnih, koristi se harmonijska, Fourier–ova analiza funkcija koje su odabrane da predstavljaju tu seriju. Fourier–ova transformacija je u suštini interpolacija sume trigonometrijskih periodičnih funkcija kroz sve tačke vremenske serije. Na taj način se složeni talasni oblik originalne vremenske serije menja sumom prostoperiodičnih funkcija. Zahvaljujući osobini superpozicije trigonometrijskih funkcija, moguće je pronaći odziv za svaku od ovih komponenti posebno, pri vremensko – nezavisnim linearnim transformacijama (filtriranje, konvolucija i dekonvolucija itd.) [40].

Funkcija spektralne gustine predstavlja osrednjen kvadrat sume prostoperiodičnih funkcija (ili periodograma, prema [16]):

$$G(f) = 2 \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \mathrm{E}\left[|X(f,T)|^2\right] \tag{5.21}$$

gde je $X(f,T)$ Fourier–ova transformacija vremenske serije, odnosno suma trigonometrijskih funkcija koje zamenjuju originalnu vremensku seriju. Funkcija spektralne gustine, ovako definisana, predstavlja srednje kvadratno odstupanje one frekventne komponente u originalnoj vremenskoj seriji, čija je frekvencija u intervalu f, $f+\Delta f$, podeljeno sa širinom intervala Δf:

$$G(f) = \lim_{\Delta f\to 0} \frac{1}{\Delta f} \left[\lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \int_0^T y(t,\, f,\, \Delta f)\, dt\right] \tag{5.22}$$

Može se uspostaviti veza izmedju srednjeg kvadratnog odstupanja originalne vremenske serije (jednačina 5.4) i funkcije spektralne gustine:

$$\sigma^2 = \int_0^\infty G(f)\, df \tag{5.23}$$

Spektralna gustina veličine $y(t)$ se može meriti direktno na modelu, ili naknadnim numeričkim postupcima sračunati ako je poznata vremenska serija. Merenje funkcije spektralne gustine podrazumeva upotrebu analognih filtera propusnika opsega, koji

[5]Analiza autokorelacije je u ranijim periodima imala veći značaj, jer se auto ili kros korelacija može relativno jednostavno dobiti analognim instrumentima. Uvodjenjem digitalne tehnike i mogućnošću jednostavne manipulacije dugačkim vremenskim serijama, Fourier–ova transformacija i analiza u frekventnom domenu polako potiskuje analizu u vremenskom domenu.

će propuštati samo signale frekvencija f — $f + \Delta f$, i kojima će se odrediti srednje kvadratno odstupanje (direktna primena jednačine 5.22). Numerički postupak, sa druge strane zahteva poznavanje celokupne vremenske serije $y(t)$ izmerene u intervalu t, $t + T$. Primenom konačne (brze) Fourier–ove transformacije, koja ima ulogu analognog filtera, dobijaju se amplitude pojedinih harmonika. Korišćenjem veze 5.21, prelazi se na spektralnu gustinu, odnosno na srednje kvadratno odstupanje pojedinih komponenti, sa korakom $\Delta f = (1/T) \times l$, gde je l širina intervala za osrednjavanje. Maksimalna frekvencija koja se može analizirati zavisi od brzine uzorkovanja originalne vremenske serije f_u, i iznosi $1/2f_u$ [13, 40].

U ovom radu je korišćen numerički postupak, primenom algoritma za brzu Fourier–ovu transformaciju koju su razvili Cooley i Tukey [18], sa decimacijom po vremenu [40]. Kao funkcija osrednjavanja (jednačina 5.21), korišćen je postupak konvolucije Fourier–ove transformacije sa funkcijom modifikovanog kosinusa [11], definisanog sa:

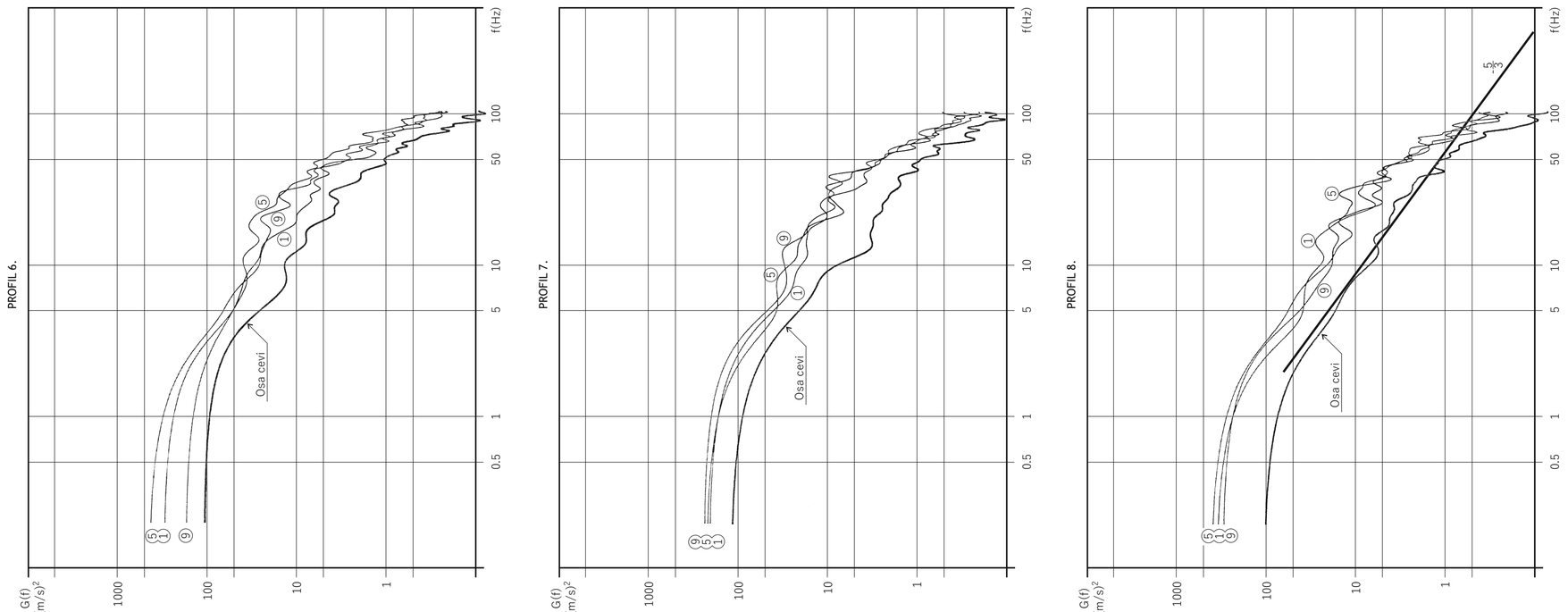
$$\mathcal{F}(f) = \left[\begin{array}{ll} 0.42 + 0.5 \times \cos\frac{\pi f}{f_c} + 0.08 \times \cos\frac{2\pi f}{f_c} & \text{za } f < f_c \\ 0.00 & \text{za } f \geq f_c \end{array} \right. \tag{5.24}$$

Primena spektralne analize na hidrotehničke veličine (fluktuacije brzina u tački, fluktuacije pritiska na konturi), pretpostavlja da je tok sastavljen od vrtloga raznih veličina. Dimenzije vrtloga variraju od prostorne razmere koju definiše prečnik cevi, do najsitnijih, koje odredjuju viskozni uticaji. Spektralna analiza omogućava da se kvantifikuje učešće pojedinih frekventnih komponenti u ukupnoj energiji toka[6]. Analizom energije u svakom od frekventnih intervala duž toka, moguće je proučavati pojavu generisanja vrtloga lokalnim poremećajem, "život" i postepeno "izumiranje" pojedinih vrtloga, uz postepeno javljanje drugih sitnijih [27].

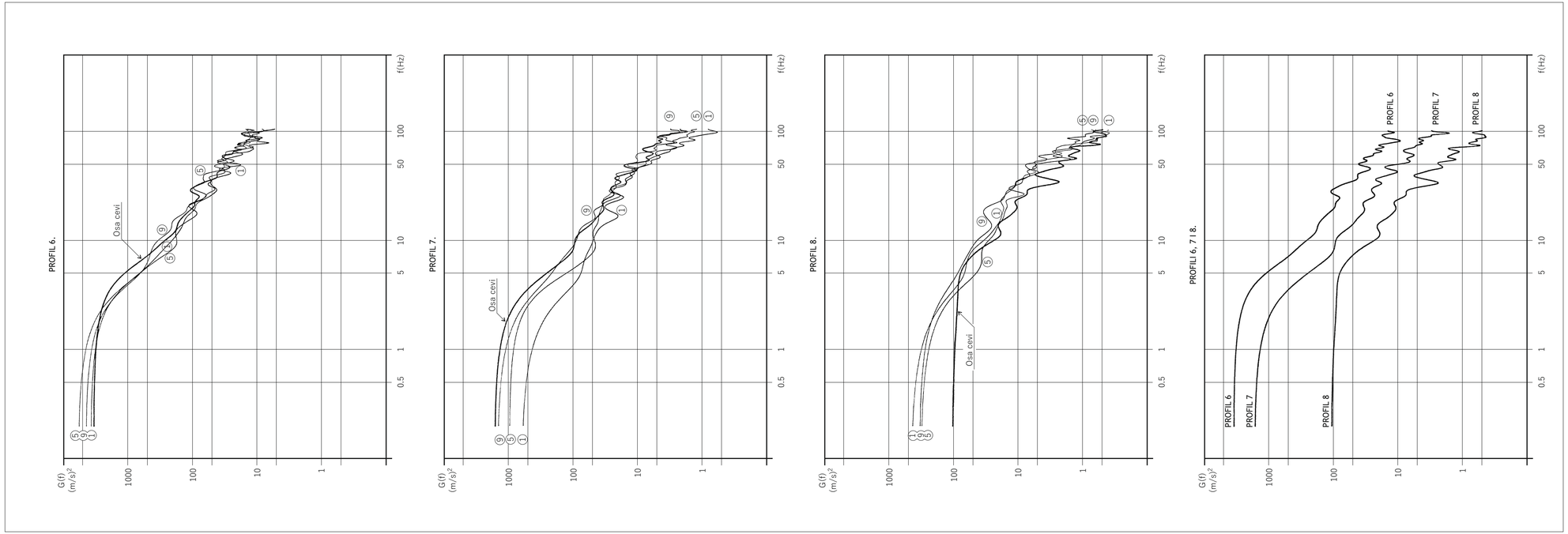
Kao što se može videti na slikama 5.7 i 5.8, intenzitet turbulencije brzine u osi cevi kao i duž zidova, postepeno opada niz struju, zato što je nastala disproporcija izmedju disipacije i produkcije. Tu disproporciju je izazvao uzvodni lokalni poremećaj (regulacioni zatvarač). Na slikama 5.13 i 5.14 su date funkcije spektralne gustine brzina nizvodno od leptirastog i rupičastog zatvarača, takodje u osi cevi i duž zidova cevi. Radi uporedjenja sa prirodnim, neporemećenim stanjem, na slici 5.12 se daje spektar brzina i u istim profilima i presecima za slučaj bez zatvarača.

Analizirajući dijagrame na slici 5.12, može se zaključiti da u neporemećenom stanju ne postoje dominatnti vrtlozi, koji bi ukazivali na izrazitu periodičnost. Razvoj zidne turbulencije je jasno izražen. Od profila broj 6 do profila broj 8, zidna turbulencija se postepeno razvija, ujednačuje po celom preseku i preuzima glavnu ulogu u formiranju toka. Interesantno je uočiti nešto izraženiji spektar u domenu frekvencija 15 – 20 Hz, ukazujući da se u tom rasponu formiraju vrtlozi uza zid

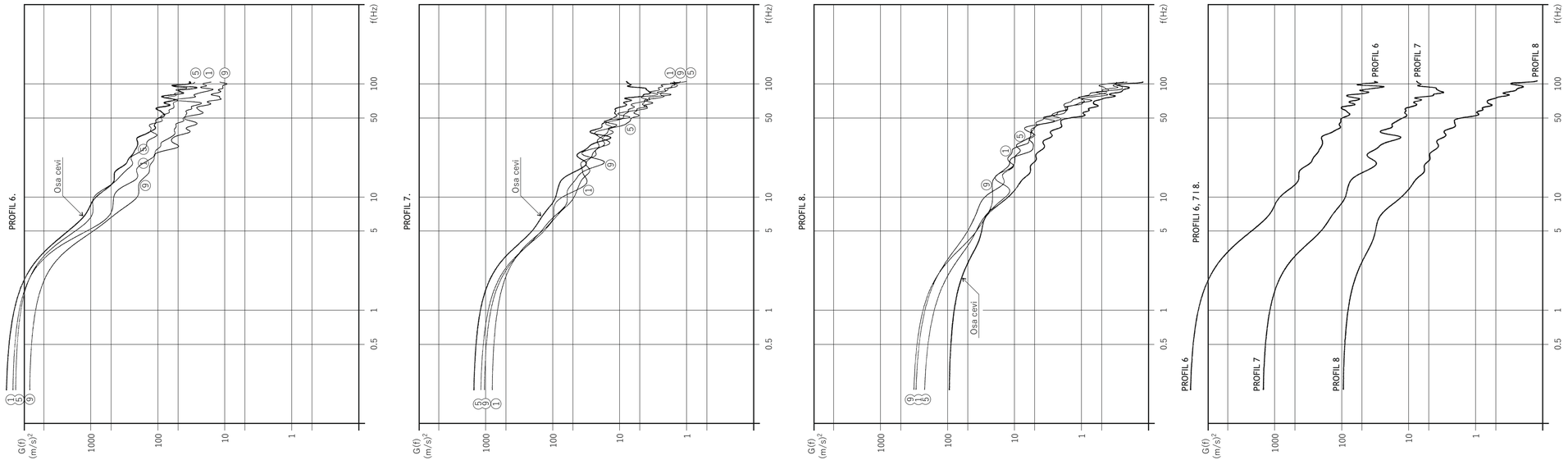
[6]Usavršavanjem matematskih modela koji prate vrtloge u fluidnoj struji, savremena mehanika fluida pokušava da uspostavi analitičku vezu izmedju frekventnih intervala i dimenzija vrtloga koji daju svoj doprinos u tim frekventnim intervalima.



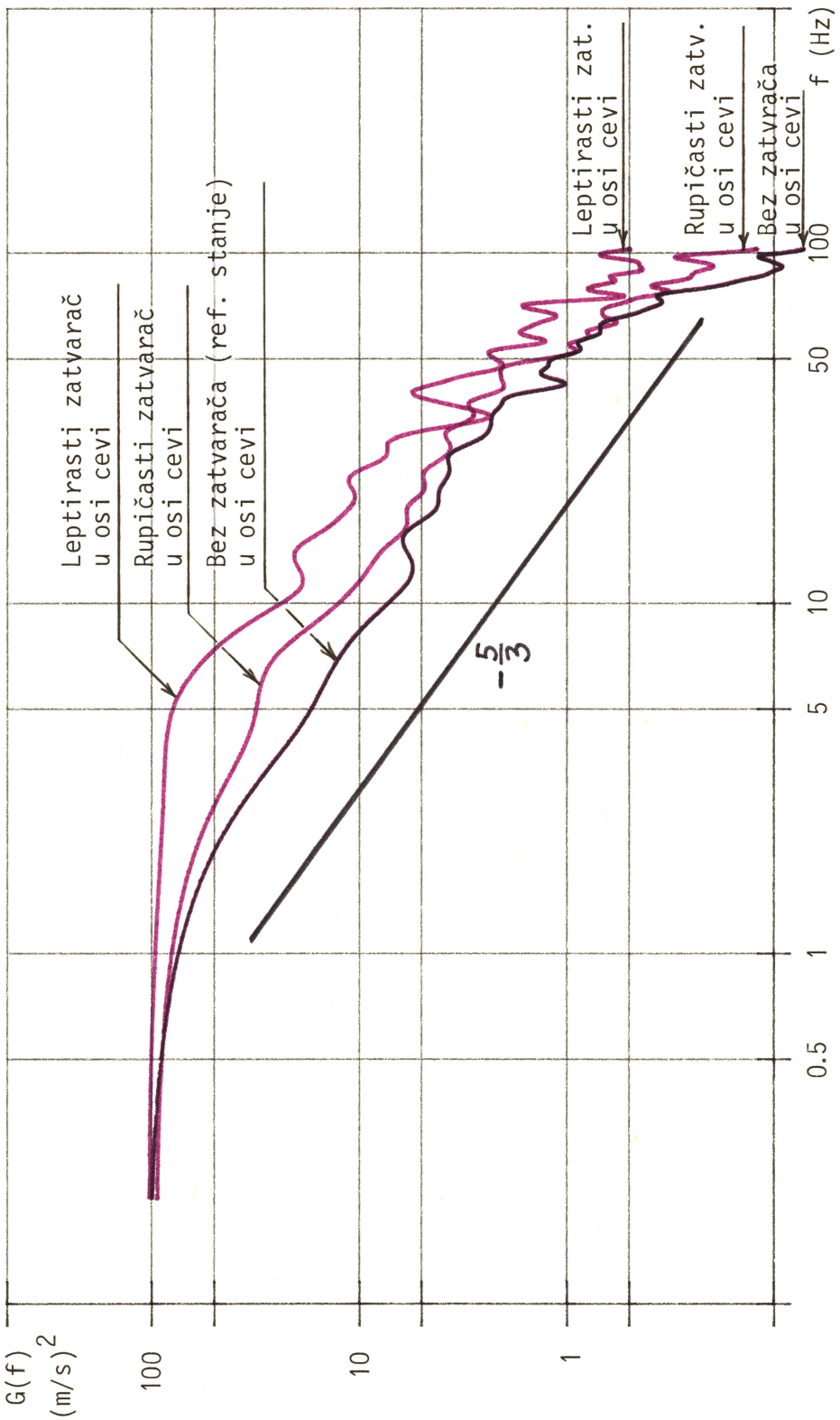
Slika 5.12: Funkcija spektralne gustine brzina u profilima 6, 7 i 8, za slučaj bez postavljenog zatvarača. Brzine u presecima 1, 5 i 9 su merene na odstojanju $y/R = 0.904$ od ose cevi



Slika 5.13: Funkcija spektralne gustine brzina nizvodno od leptirastog zatvarača, profili 6, 7 i 8. Brzine u presecima 1, 5 i 9 su merene na odstojanju $y/R = 0.904$ od ose cevi



Slika 5.14: Funkcija spektralne gustine brzina nizvodno od rupičastog zatvarača, profili 6, 7 i 8. Brzine u presecima 1, 5 i 9 su merene na odstojanju $y/R = 0.904$ od ose cevi



Slika 5.15: Funkcija spektralne gustine brzina u profilu 8, u osi cevi: 1 – bez regulacionog zatvarača, 2 – sa leptirastim zatvaračem, 3 – sa rupičastim zatvaračem

i prenose ka centru cevi. Uporedjenje frekventnog sadržaja i vremenske razmere, odnosno dimenzija vrtloga koji daju svoj doprinos, daje da su vrtlozi uza zid:

$$d = \frac{2u}{2\pi f} = \frac{0.5}{20\pi} = 7.9mm \tag{5.25}$$

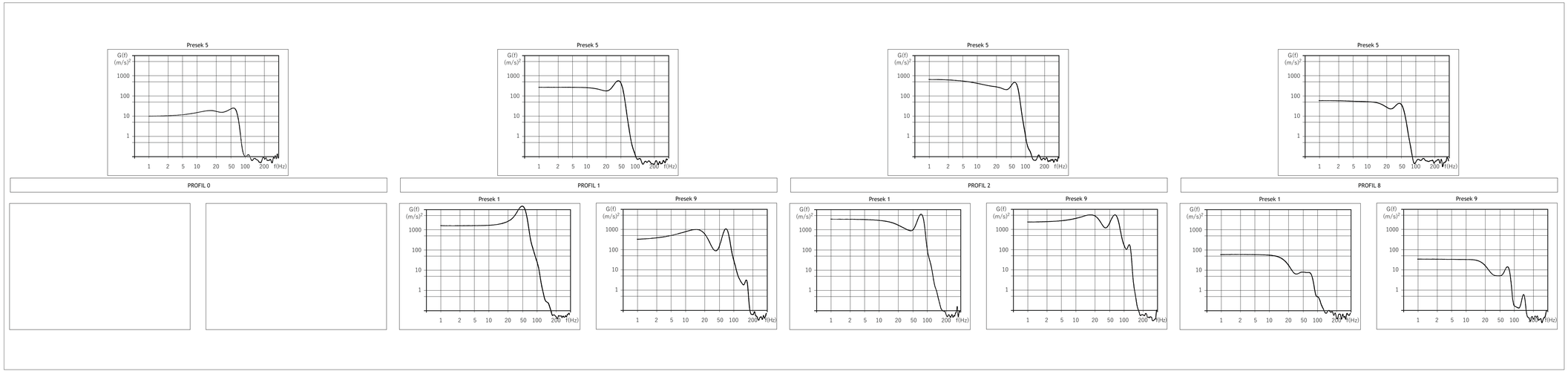
(ovo je prilično gruba procena, daje samo red veličina). Na istom dijagramu, u profilu 8, ucrtan je i teorijski nagib opadanja spektra, koji iznosi -5/3 [25, strana 67]. Teorijska kriva važi za homogenu, izotropnu i trodimenzionalnu turbulenciju. Mada strujno polje u cevi ne odgovara postavljenim uslovima, dobija se dobro slaganje nagiba izmerenih spektralnih dijagrama sa teorijskim rešenjem. Takodje, prema podacima iz literature [25, strana 67 Favre at all.], u višim domenima frekvencija, nagib spektralnog dijagrama raste i preko -25/3.

Spektralni dijagrami brzina nizvodno od regulacionih zatvarača (slike 5.13 i 5.14) pokazuju znatno više intenzitete turbulencija, koje postepeno opadaju niz struju. Proces odumiranja unetih vrtloga i jačanje zidne turbulencije postepeno napreduje, kod leptirastog zatvarača nešto sporije nego kod rupičastog. Očigledno je da su kod rupičastog zatvarača uneti vrtlozi po dimenzijama bliži prirodnom stanju, omogućavajući brži prelaz ka neporemećenom stanju. Interesantno je da se u spektralnim dijagramima ne može videti izrazitiji uticaj početnih vrtloga (vrtloga generisanih zatvaračima). Razlog za to je što vrtlozi veoma brzo gube svoj identitet – već posle dva perioda (dva okretaja) vrtlog se usporava i razvlači vlastiti spektar ka nižim frekvencijama. Kada bi vremenske serije brzina izmerene u profilu 1 i 2 (neposredno nizvodno od zatvarača) bile verodostojne (zbog povratnih tokova i visoke turbulencije korišćena sonda ne daje tačne vrednosti brzina), verovatno bi se Fourijer–ovom analizom pronašli delovi spektra koji bi odgovarali dimenziji otvora na zatvaraču.

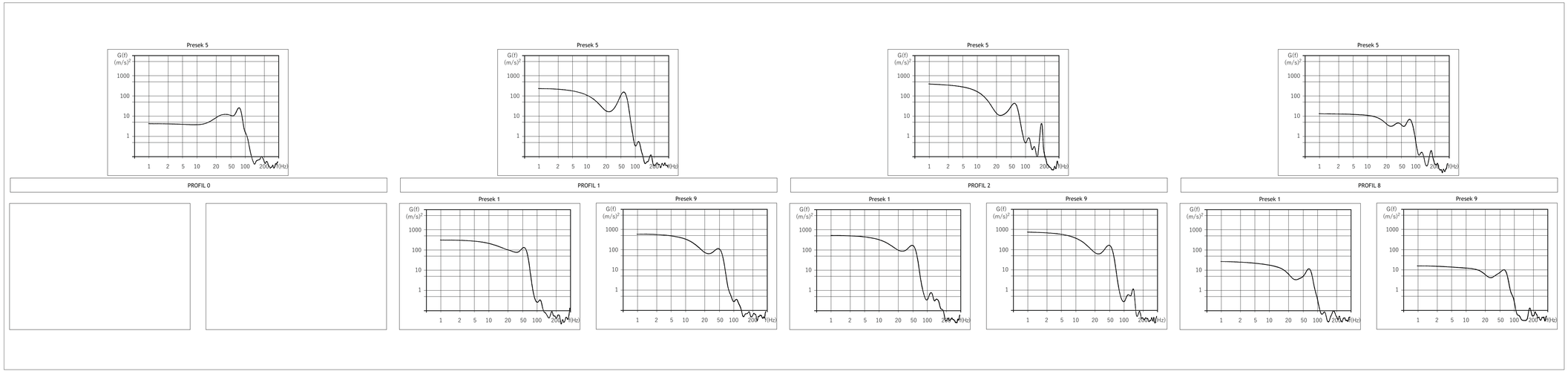
Na slici 5.15 su ponovo dati spektri brzina izmereni u osi cevi, u profilu 8, za slučajeve bez zatvarača, sa leptirastim i sa rupičastim zatvaračem. Uporedjenjem dijagrama, može se zaključiti da, što se tiče energije vrtloga pojedinih dimenzija, strujno polje nizvodno od leptirastog zatvarača nije u potpunosti oslobodjeno uticaja lokalnog poremećaja. Relaksacija strujnog polja nizvodno od rupičastog zatvarača, sa druge strane, je skoro u potpunosti završena.

S obzirom da merna tehnika koja je na raspolaganju ne omogućava analizu strujnog toka neposredno nizvodno od poremećaja, obavljena je i spektralna analiza pritisaka na zid cevi. Na slikama 5.16 i 5.17 su dati rezultati analiza za profil neposredno uzvodno od regulacionih zatvarača (profil 0), za nizvodne profile 1 i 2, kao i za najnizvodniji profil 8. (Analize su obavljene i za profile 3, ... 7, ali rezultati ne donose nikakvu novu informaciju, pa su ti prilozi izostavljeni.) Dijagrami u okviru jednog profila su složeni onako kako su postavljeni merni preseci na cevi.

Analizirajući dijagrame na sličan način kao i spektre brzina, mogu se uspostaviti veze izmedju frekvencija pojedinih karakterističnih pikova i geometrije poremećaja



Slika 5.16: Funkcija spektralne gustine pritiska na zid cevi, u presecima 1, 5 i 9, uzvodno i nizvodno od leptirastog zatvarača



Slika 5.17: Funkcija spektralne gustine pritiska na zid cevi, u presecima 1, 5 i 9, uzvodno i nizvodno od rupičastog zatvarača

koji ih je izazvao. Kod leptirastog zatvarača, na slici 5.16 u profilu 1, presek 1, najizraženiji pik ($47Hz$) se direktno koreliše sa dimenzijom otvora izmedju leptira i zida ($5.6cm$), uz korišćenje brzine od $6.6m/s$ kao brzine koja nosi vrtloge (jednačina 5.25). U preseku 9, istog profila (sa suprotne strane) dolazi do intenzivnog mešanja povratnog toka, i do generisanja sitnijih vrtloga. Medjutim, pojavljuje se i vrtlog sa dimenzijom koja korespondira prečniku cevovoda ($16Hz$). I kod rupičastog zatvarača se može uočiti pik na frekvenciji $208Hz$ (u profilu 2), koji sa lokalnom brzinom od $6.5m/s$ odgovara otvorima na rešetci ($0.9mm$). Takodje, drugi izraženi pikovi potiču od sistema za vodjenje i pridržavanje pokretne ploče sa rupicama.

Veliki problem u analizi spektralnih dijagrama pritiska predstavlja to što nizvodni uslovi direktno utiču na uzvodne spektre. To se jasno može uočiti analizom spektra pritiska u profilu 0, uzvodno od rupičastog zatvarača, gde se mogu naći svi poremećaji koji se produkuju nizvodno. Takodje, zbog elastičnog udara, produkovani poremećaji se prostiru i nizvodno znatno dalje nego kod brzina. Iz tog razloga su dati i spektri u profilu 8, gde se još uvek oseća uticaj vrtloga koji su uzvodno već izumrli.

5.5 Komentar dobijenih rezultata dinamičkih karakteristika toka nizvodno od leptirastog i rupičastog zatvarača

Sve sprovedene analize toka nizvodno od regulacionih zatvarača pokazuju kvalitativno i kvantitativno stepen unesenog poremećaja u tok, kao i brzinu smirivanja tog poremećaja. Zbog obimnosti potrebnih merenja, u radu je analiziran tok pri samo jednoj otvorenosti leptirastog i rupičastog zatvarača. Pri tome je vodjeno računa da uslovi merenja budu što sličniji, tako da je stepen otvorenosti zatvarača odredjen iz uslova da je zadovoljeno $\xi_{\text{leptirasti}} = \xi_{\text{rupičasti}}$. Takodje, pri ispitivanju razvoja strujnog polja u slučaju bez postavljenog regulacionog zatvarača, poglavlje 3.1 (referentno stanje strujnog polja), promenom nizvodnih uslova uspostavljen je protok od $Q = 11.5l/s$, odnosno tok sa istim Reynolds–ovim brojem kao pri analizi strujnog polja sa postavljenim zatvaračima.

Još jednom se napominje da, veoma efektne slike polja srednjih brzina i intenziteta fluktuacija brzina (slike 5.3 i 5.4), ne prikazuju pravo stanje u mernim profilima 1 ... 5 (neposredno nizvodno od zatvarača). Korišćena sonda za merenje brzina nije u stanju da meri povratne struje (povratni tok), tako da u zonama snažnih recirkulacija daje veće vrednosti brzina. Medjutim, ako se ima ovaj podatak u vidu, prikazani rezultati ipak mogu dati neku opštu sliku o stanju fluidne struje u mernim profilima.

Interesantno je uočiti da su u profilima 6 i 7, znatno intenzivnije fluktuacije brzina nizvodno od rupičastog zatvarača nego nizvodno od leptirastog. Takodje, tu su fluktuacije praktično homogene i izotropne, što i ukazuje na poreklo vrtloga – vidi se da su generisani rešetkastom preprekom[7]. Medjutim, u profilu 8, intenzitet fluktuacija je čak i nešto niži nizvodno od rupičastog zatvarača nego nizvodno od leptirastog, tok se brže oporavlja jer su dimenzije unetih vrtloga istog reda veličine kao i dimezije vrtloga u neporemećenom stanju.

Slika 5.15 daje uporedni prikaz intenziteta fluktuacija pojedinih frekventnih komponenti u najnizvodnijem profilu, nizvodno od leptirastog i rupičastog zatvarača, u odnosu na referentno stanje bez postavljenog zatvarača. Sa te slike se jasno može uočiti da je struktura vrtloga u profilu 8, nizvodno od rupičastog zatvarača znatno bliža neporemećenom stanju nego nizvodno od leptirastog zatvarača. Medjutim, još jednom se napominje da treba biti krajnje obazriv prema eventualnoj ekstrapolaciji dobijenih rezulata na druge otvorenosti zatvarača.

[7]Verovatno bi se pri većoj zatvorenosti rupičastog zatvarača unekoliko pokvarila homogenost fluktuacija, što je neophodno istražiti dodatnim merenjima.

Glava 6

Završne napomene o obavljenim merenjima i analizi

Nakon niza obavljenih merenja na eksperimentalnoj instalaciji, bez postavljenog zatvarača, kao i sa postavljenim leptirastim i rupičastim zatvaračima, i detaljne analize dobijenih rezultata, može se zaključiti sledeće:

- Napravljena eksperimentalna instalacija omogućava kvalitetno i pouzdano snimanje karakteristika zatvarača, koeficijenta lokalnog gubitka u funkciji otvorenosti, kao i pritisaka na konturu i vektora brzine u pravcu ose cevi po gornjoj polovini profila.

- Prilazna deonica dužine $L/D = 10$, od ulaznog rezervoara do regulacionog zatvarača nije dovoljna da se u potpunosti razvije tok. Medjutim, u zoni samog regulacionog zatvarača, izmereni profili brzina nisu merodavni za bilo kakve analize, tako da se može prihvatiti postojeće stanje kao zadovoljavajuće.

- U mernim profilima 6, 7 i 8, gde su obavljene analize polja brzina, merenja bez postavljenog zatvarača pokazuju da je došlo do kompletnog razvoja toka, i da se ti profili mogu smatrati referentnim profilima.

- Detaljna kalibracija korišćene merne opreme je pokazala da su podaci koje navode proizvodjači opreme tačni, i uglavnom na strani sigurnosti po parametrima linearnosti i ponovljivosti.

- Projektovani i izvedeni regulacioni zatvarači su se ponašali uglavnom u granicama očekivanja. Leptirasti zatvarač je pokazivao nemirniji rad pri maloj otvorenosti, kao i veću lokalnu razliku pritiska neposredno nizvodno, nego rupičasti zatvarač.

- Koeficijenat lokalnog gubitka energije pri punoj otvorenosti kod leptirastog zatvarača je izuzetno mali, zbog prilično tanke konstrukcije. S druge strane,

rupičasti zatvarač ima nešto veći koeficijenat lokalnog gubitka energije pri punoj otvorenosti nego komercijalni zatvarači, zbog manjeg prečnika rupa (izrada kliznih ploča je od plastike).

- Zavisnost dobijenih koeficijenata lokalnog gubitka energije od otvorenosti se slaže sa tipskim fabričkim podacima. Leptirasti zatvarač pokazuje veću osetljivost na uslove ispitivanja, prevashodno zbog relativno niskih koeficijenata lokalnog gubitka.

- Ispitivanje ponovljivosti dobijenih koeficijenata lokalnog gubitka energije pokazuje veće rasipanje rezultata kod leptirastog zatvarača nego kod rupičastog, iako je problem histerezisa u pozicioniranju leptirastog praktično isključen.

- Uporedjivanjem dobijenih rezultata, može se zaključiti da je rupičasti zatvarač superiorniji od leptirastog u pogledu regulacije proticaja i uništavanja viška energije toka. Leptirasti zatvarač se sme koristiti u regulacione svrhe samo u krajnjoj nuždi, i to samo ako se postavlja prečnik zatvarača koji je manji od nazivnog prečnika cevovoda. Rupičasti zatvarač zahteva manju silu na pogonskom vratilu, ima povoljnije kavitacione uslove, i ako je to potrebno dozvoljava merenje protoka na sistemu merenjem pritisaka uzvodno i nizvodno od zatvarača (ovo je veoma značajno, jer omogućava gradnju integralnog elementa – regulatora i merača protoka, koji uz dodatak potrebne upravljačke logike postaje "inteligentni" deo vodovodnog sistema).

- Ako se planira primena regulacionog zatvarača kao mernog organa, neophodno je zahtevati od proizvodjača kvalitetnije podatke. Tu se pre svega misli na preciznije definisanje uslova merenja, korektnu obradu izmerenih podataka, kao i analizu ponovljivosti (odnosno tačnost) dobijenih podataka. Pri tome, kod analize ponovljivosti, neophodno je da se ispituje kompletan sklop regulacioni zatvarač – pogonski servo motor.

- Analiza strujnog polja nizvodno od regulacionih zatvarača, za jednu otvorenost, pokazuje kolika je potrebna dužina cevovoda za smirivanje unetog poremećaja, za relaksaciju toka. Uopšteno, kod leptirastog zatvarača ta dužina direktno zavisi od njegove otvorenosti i kreće se od $5L/D$ za otvorenost $\tau = 60\%$ do $40L/D$ za $\tau = 10\%$ (ekstrapolovana vrednost). Rupičasti zatvarač pokazuje niži porast potrebne dužine cevovoda za smirivanje struje (od $5L/D$ do $10L/D$ pri istom koeficijentu lokalnog gubitka energije).

- Analiza učešća pojedinih frekventnih komponenti u ukupnom intenzitetu fluktuacija, pri jednoj otvorenosti zatavarča, pokazuje nešto intenzivnije fluktuacije nizvodno od rupičastog zatvarača nego nizvodno od leptirastog. Medjutim, i brzina relaksacije toka nizvodno od rupičastog zatvarača je veća, tako

da u najnizvodnijem preseku fluidni tok nizvodno od rupičastog zatvarača ima karakteristike koje su bliže referentnom.

- Za pouzdano merenje pritisaka nizvodno od leptirastog zatvarača, da bi se izbegao uticaj lokalnog poremećaja, neophodno je manometar postaviti na udaljenosti od $40L/D$, na bilo koji bok cevovoda (uticaj nesimetričnosti toka se na ovoj udaljenosti gubi). Kod rupičastog zatvarača je ta udaljenost manja i iznosi $15L/D$. Ukoliko se nizvodno od regulacionog zatvarača postavlja elektromagnetna log sonda za merenje protoka (odnosno sonda za merenje brzine u jednoj tački), udaljenje za leptirasti zatvarač je $30L/D$ a za rupičasti $20L/D$ (svi ovi podaci predstavljaju grubu ekstrapolaciju, sa velikom dozom subjektivne procene, jer su merenja polja brzina obavljena pri samo jednoj otvorenosti zatvarača).

U toku rada na eksperimentalnoj instalaciji, kao i na kasnijoj obradi izmerenih rezultata, uočeno je niz problema, koje bi u eventualnim narednim fazama trebalo otkloniti, odnosno unaprediti. Ti problemi su:

- Duža prilazna deonica, sa postavljenim usmerivačem nizvodno od ulaznog zatvarača. Sa dužinom od $20L/D$, postiglo bi se sigurno odvajanje uzvodnih uticaja od mernih profila.

- Kvalitetnije izveden spoj koji dozvoljava rotaciju merne sekcije. Na postojećoj instalaciji je korišćen spoj napravljen od plastičnih cevi. Prelaskom na metal, postigle bi se niže tolerancije i precizniji rad. Sa dodatkom servomotora na uzvodnoj i nizvodnoj strani merne sekcije, omogućilo bi se postepeno automatizovanje merenja polja brzina.

- Ukoliko se planira veći broj ispitivanja, neophodno bi bilo napraviti programsku podršku automatizovanom radu, uz istovremenu obradu podataka. Na taj način bi se izbeglo čuvanje sirovih podataka i povećala efikasnost rada.

- S obzirom da postojeća tehnika u Institutu ne dozvoljava merenja brzina u zoni neposredno nizvodno od zatvarača, potrebno je uraditi kvalitetnije eksperimente sa vizuelizacijom toka, uz trodimenzionalno fotografisanje. Na taj način bi se preciznije odredile zone povratnih tokova i intenzivnih recilkulacija.

- U profilima gde ne postoje povratne struje, moguće je prepraviti instalaciju za korišćenje kvalitetnijih sondi (split film, X sondi itd.), kako bi se omogućilo praćenje još jedne komponente brzine, u radijalnom pravcu. Informacija o trenutnim brzinama u dva pravca dozvoljava kvalitetniju analizu vrtloga, uz obračun tangencijalnih turbulentnih napona. Uključivanje treće komponente je već daleko složenije, i treba ga planirati u daljoj budućnosti.

- Uz usavršavanje mehanizma za uvlačenje sonde, i uz korišćenje finijih sondi, došla bi i detaljnija analiza brzina u zoni zida, u profilima gde ne postoje povratni tokovi.

Glava 7

Upoznavanje sa programom ADA^+

7.1 Šta je ADA^+

ADA^+ je skraćenica od Acquisition and Data Analysis (akvizicija i obrada podataka). ADA^+ je program pisan za IBM PC kompatibilne računare, na jeziku ASYST. Spretnom kombinacijom pogodnosti koje pruža programski jezik ASYST, kao i novih reči koje dodaje program ADA^+ , dobija se radno okruženje koje korisnika vodi kroz sistem akvizicije, kontroliše parametre sistema i daje grafički izlaz na ekran, printer ili ploter.

ADA^+ je, takodje, i program koji je potpuno otvoren za iskusnog korisnika. Moguća su predefinisanja postojećih funkcija, pisanje novih reči korišćenjem postojećih kao i pristup svim varijablama u toku rada programa.

ADA^+ je program koji briše granicu izmedju komercijalnih programa za akviziciju podataka (Labtech Notebook) koji ne dozvoljavaju obradu prikupljenih podataka, programa za grafički prikaz podataka (Surfer, Grapher), programa za statističku analizu (Matlab, Statgraph) kao i klasičnih programskih jezika - kompajlera (Fortran, C, Paskal).

7.2 Šta ADA^+ može, a šta ne

ADA^+ u osnovnoj verziji može da:

- po svom startovanju i prelasku na deo za akviziciju, automatski učita parametre za akviziciju koje je korisnik odredio i inicijalizuje akvizicionu opremu,
- detektuje neispravnost opreme za akviziciju,
- interaktivno menja sve parametre akvizicije, definiše prozore za crtanje merenih rezultata, obavlja kalibraciju senzora i proverava sve zadate parametre,

- zameni višekanalni voltmetar u fazi pripreme eksperimenta, istovremeno prikazujući rezultat grafički i numerički, računajući srednju vrednost, srednje kvadratno odstupanje (RMS–Root Mean Square), razliku izmedju minimuma i maksimuma (Peak to Peak) kao i standardnu devijaciju σ (Sigma), i to sa korišćenjem ili bez korišćenja zadatog kalibracionog polinoma,
- zameni višekanalni osciloskop u fazi pripreme eksperimenta, omogućavajući istovremeno i izlaz na printer za dokumentovanje pojedinih merenih rezultata,
- zameni višekanalni spektralni analizator u "realnom"[1] vremenu, uredjaj koji zbog svoje visoke cene nije dostupan većini istraživačkih laboratorija,
- vodi računa o merenim rezultatima, ne dozvoljavajući slučajno brisanje fajlova unošenjem imena fajla koji već postoji na disku,
- vodi računa o tome da podaci sa parametrima akvizicije budu uvek sačuvani na disku, sa najsvežijim promenama, kako bi se mogla uspostaviti veza izmedju merenih rezultata i uslova pod kojima su ti rezultati dobijeni,
- snimi merene rezultate u binarnom obliku, radi uštede u prostoru i vremenu, a na poseban zahtev korisnika rezultate prebacuje u ASCII datoteke, zbog eventualne obrade nekim drugim programom,
- pre početka akvizicije, proverava slobodan prostor na disku i priprema ga za sigurno i brzo snimanje merenih rezultata,
- grafiči prikaže merene rezultate u toku akvizicije,
- analizira ranije merene rezultate, crta na ekranu, printeru i ploteru izabrane delove vremenskih serija, obavlja spektralnu analizu, kros analizu ili testira raspodelu,
- učita nove potprograme koji će ga prilagoditi specifičnim zahtevima pojedinih eksperimenata.

Ograničenja programa *ADA*$^+$ su:

- broj mernih kanala: 8 (može se proširiti do 64),
- pun opseg ulaznih napona: od $\pm$ 0.005 V do $\pm$ 5.000 V
- maksimalna brzina uzorkovanja: 30 kHz po kanalu
- najveća dužina jednog niza: 16000 uzoraka,

[1] Brzina rada spektralnog analizatora zavisi od broja kanala, broja uzoraka kao i od brzine rada računara.

- maksimalan broj kanala puta njihova dužina: 25000 uzoraka sa kombinacijama datim u tabeli 7.1
- kalibracioni polinom četvrtog stepena, do 20 parova tačaka za proračun kalibracije senzora,
- osam istovremenih prozora za crtanje, četiri na ekranu i četiri na ploteru.

Broj kanala	×	Broj uzoraka
1 kanal	×	16000 uzoraka
2 kanala	×	12000 uzoraka
3 kanala	×	8000 uzoraka
...	×	...
...	×	...
8 kanala	×	3000 uzoraka

Tabela 7.1: Odnos broja mernih kanala i broja uzoraka po kanalu

Pored pobrojanih ograničenja, program ADA^+ ne može:

- osmisliti eksperiment,
- odrediti sam optimalne parametre akvizicije, kao ni
- tumačiti dobijene rezultate.

Apsolutnim početnicima na polju merenja pomoću računara, program ADA^+ ne može biti od velike pomoći ukoliko barem jedanput ne pročitaju ovo uputstvo. Takodje, preporučuje se literatura [24], [39], [40], [41], [43], [14].

7.3 Šta ADA^+ zahteva za svoj rad

Za svoj rad, program ADA^+ zahteva:

1. IBM PC kompatibilni računar, XT ili AT sa ugradjenim matematičkim koprocesorom 80x87;
2. IBM PC disk operativni sistem (DOS), verzija 3.0 ili viša;
3. 640 kB memorije;
4. Hard disk;

5. IBM CGA, EGA ili Herkules grafički adapter i odgovarajući monitor;
6. ASYST program, verzija 2.5 ili viša, moduli I i II;
7. Printer 9 pinski, 24 pinski ili HP Laser Jet II;
8. Ploter HP7475, HP7470 ili HP7440.

Za akviziciju, potrebno je i:

1. PCI 20000 sistem[2] , sa karticama:
   - PCI 20001 ili PCI 20041
   - PCI 20002
   - PCI 20007

   ili laboratorijski akvizicioni sistem ED 1000[3] sa:
   - ED 1000 – LAB
   - ED 1100 – A/D
   - ED 1300 – CT

   ili akvizicioni sistem ED 2000;
2. PCI 20046–S4 i PCI 20047S programi za komunikaciju ASYST-a sa mernom opremom;
3. Pretvarači merenih neelektričnih veličina u napon potreban za rad sistema za akviziciju. Maksimalni ulazni naponi zavise od izabranog stepena pojačanja na pojedinim kanalima i dati su u tabeli 7.2.

Maksimalni ulazni napon (V)	Pojačanje (puta)
± 5.000	1
± 0.500	10
± 0.050	100
± 0.005	1000

Tabela 7.2: Maksimalni ulazni napon u zavisnosti od pojačanja PGA

[2]PCI 20000 sistem proizvodi Burr – Brown Corp, Tucson, AZ 85705, USA
[3]ED 1000 i ED 2000 sistem proizvodi Elektronika Dizajn, 11000 Beograd, YU

7.4 Šta je ASYST

ASYST je programski jezik firme Macmillan Software Co. koji kombinuje sve najbolje strane kompajlera (brzina rada), interpretera (interaktivan rad sa podacima) i FORTH programskog jezika (rad sa stekovima, RPN aritmetika – Reverse Polish Notation, lako dodavanje novih funkcija). Uz standardni paket ASYST-a, dobijaju se grafičke rutine koje dozvoljavaju lako generisanje crteža sa mešanjem tekstualnih prozora, otvaranje više nezavisnih grafičkih prozora, matematičke rutine za rad sa nizovima i matricama, statističku analizu, Fourier–ovu transformaciju jedno i dvodimenzionalnih nizova, konvoluciju, integraciju, diferencijaciju itd. Takodje, ASYST omogućava direktan pristup komunikacionim portovima, ulazno – izlaznim portovima, DMA kanalima kao i tajmerima.

Programiranje u ASYST-u se svodi na pisanje novih reči (u "žargonu" ASYST-a, reči su funkcije), koje postaju ravnopravne sa postojećim, a podatke razmenjuju izmedju sebe preko globalnih varijabli ili preko numeričkog steka. Zbog toga što je ASYST istovremeno i kompajler i interpreter, sve varijable koje se koriste u toku pisanja novih reči moraju prethodno biti definisane. Takodje, ne postoji mogućnost automatske optimizacije programskog koda (standardno kod kompajlera), tako da programer mora sam da vodi računa o efikasnosti napisanih reči.

Prednost ASYST-a u odnosu na druge jezike je upravo u tome što je moguće napisati klasičan program koji uvek ostaje otvoren za pojedine intervencije korisnika nad podacima. U toku rada sa merenim rezultatima lako je pojedine delove niza izbaciti, filtrirati, pomnožiti sa Hann-ovim ili nekim drugim prozorom (tapering) i slično, i kada to nije predvidjeno osnovnim programom. Ukoliko se ovakve aplikacije pišu u FORTRANU-u ili C-u, bilo bi potrebno ili predvideti sve moguće situacije u koje korisnik može doći pa napraviti glomazan i nepregledan program, ili svaki put iznova kompajlirati program nakon svake i najmanje promene. Naravno, ovakva fleksibilnost programa ASYST je postignuta na račun nešto niže brzine rada, koja se posebno oseća kod dugačkih `DO` petlji (zahvaljujući sposobnosti ASYST-a da sa nizovima radi kao sa običnim varijablama, često `DO` petlje nisu ni potrebne).

Glava 8

Instalacija programa ADA^+

8.1 Potrebni fajlovi za rad

Program ADA^+ se sastoji od 14 fajlova. To su:

ADA.PRG Glavni program, koji redom učitava sve ostale podprograme i priprema sistem za rad.

PCIHEAD.SUB Fajl potreban PCI20046/20047 programskom drajveru opreme za akviziciju. Originalni fajl koji se dobija uz PCI20046S–4 drajver se zove PCIHEAD.INT i nije ispravan. Potrebno je ispraviti definiciju reči `SET.VECT`, kao i promeniti način izlaska iz te reči.

INTHEAD.SUB Fajl potreban INTPCI programskom drajveru za akviziciju u pozadini, pod vremenskim interaptima.

ADAVAR1.SUB Definisanje varijabli koje se koriste u programu, prvi deo.

PCIUTIL.SUB Pomoćne reči za rad PCI20046/20047 programskog drajvera opreme za akviziciju. Originalni fajl koji se dobija uz PCI20046S–4 drajver se zove PCIUTIL.INT i potrebno ga je preimenovati u PCIUTIL.SUB .

ADAUTIL. SUB Pomoćne reči koje se često koriste u programu ADA^+ .

DOSUTIL.SUB Pomoćne reči koje obezbedjuju rad sa DOS komandama.

PRINTUTI.SUB Pomoćne reči koje instaliraju drajvere za odgovarajući printer, u zavisnosti od trenutno aktivnog grafičkog adaptera.

ADA1.PRG Prvi deo programa ADA^+ .

ADA2.PRG Drugi deo programa ADA^+ .

ADAVAR2.SUB Definisanje varijabli koje se koriste u programu, drugi deo. Po startovanju programa, a nakon inicijalizacije grafičkog adaptera, učitava se fajl ADAVAR2.SUB, koji definiše prozore za rad sa tekstom i grafikom i setuje početne vrednosti većine varijabli.

ADA.INI Inicijalizacioni ASCII fajl, u kome su zapisani tip grafičkog adaptera, tip printera (na LPT: portu) i tip plotera (na COM1: portu). Za pokretanje programa ADA^+ neophodno je prisustvo fajla ADA.INI. Ukoliko program ADA^+ ne pronadje ovaj fajl, zaustaviće se sa porukom: `File ADA.INI is not in current directory - system halted`. Fajl ADA.INI se može kreirati ili editovati ASCII editorom. Struktura fajla je:

Red u fajlu	Tip uredjaja	Moguće vrednosti
I	Grafički adapter	`CGA` ili `EGA` ili `HRC`
II	Printer (LPT:)	`9pin` ili `24pin` ili `HPlj` ili `EP80`
III	Ploter (COM1:)	`7440` ili `7470` ili `7475`

ADA.SCR ASCII fajl sa 18 redova koji se ispisuju na sredini ekrana po startovanju programa.

ADA.PAR Binarni fajl sa parametrima akvizicije, koji se automatski učitavaju po startovanju dela programa koji se odnosi na akviziciju.

Programski jezik ASYST zahteva prisustvo četri fajla, ASYST.COM, ASYST.OVL, ASYST.MSG i ASYST.HLP. Pri tome, prva dva fajla mogu imati bilo koje ime, dok treći i četvrti moraju ostati nepromenjeni.

8.2 Instalacija programa

Programski jezik ASYST deli računarsku memoriju na unapred odredjene i fiksirane particije (zbog mogućnosti da radi kao interpreter). Pre instalacije programa ADA^+ potrebno je proveriti tu raspodelu memorije. Na slici 8.1 je data standardna raspodela memorije, a na slici 8.2 raspodela potrebna za rad programa ADA^+ (dobija se pomoću reči `?MEMORY`). Preraspodela memorije se obavlja interaktivno pomoću reči `RECONFIGURE`, nakon čega ASYST zapisuje novu verziju sistema pod istim, ili pod nekim drugim, zadatim imenom (tada kreira dva fajla, IME.COM i IME.OVL).

Nakon provere preraspodele memorijskog prostora, potrebno je učitati, kompajlirati program ADA^+ :

```
OK ECHO.OFF
OK LOAD ADA.PRG
.................................
```

OK ?MEMORY

Memory Area	Location	Size(Max)	Size(Used)	%(Used)
Base Dictionary	157024	65536	46762	72%
Code Segment	222560	81920	60848	74%
System Dictionary	304480	131072	119088	91%
Symbol Table	435552	28672	21663	76%
String Segment	464224	6144	3461	56%
GPIB Queue Segment	470368	2048		
User Dictionary	472416	16384	8	0%
Unnamed Array Heap	488800	32768		
Array Storage Area	521568	133792	17120	13%

Slika 8.1: Standardna podela memorije pod ASYST-om

OK ?MEMORY

Memory Area	Location	Size(Max)	Size(Used)	%(Used)
Base Dictionary	157024	65536	46762	72%
Code Segment	222560	81920	60848	74%
System Dictionary	304480	131072	119088	91%
Symbol Table	435552	46080	21663	47%
String Segment	481632	12288	3461	28%
GPIB Queue Segment	493920	0		
User Dictionary	493920	65536	8	0%
Unnamed Array Heap	559456	70656		
Array Storage Area	630112	25248	17120	68%

Slika 8.2: Podela memorije pod ASYST-om koju zahteva program *ADA*+

gde niz tačkica pokazuje da je proces kompajliranja u toku (kompajliranje i linkovanje se obavlja istovremeno, u jednom prolazu), i sačuvati ga za kasniji rad sa:

```
OK SAVE ADA
Save file successfully created - C:ADA.
```

Nakon toga, ASYST napuštamo komandom:

```
OK BYE
Goodbye

C:\ADA>_
```

U radnom direktorijumu, ASYST je kreirao fajlove ADA.COM i ADA.OVL. Za dalji rad više nisu potrebni fajlovi ASYST.COM i ASYST.OVL, dok su fajlovi ASYST.MSG i ASYST.HLP i dalje neophodni za ispravan rad programa ADA.

8.3 Startovanje programa

Nakon obavljene instalacije programa, *ADA*+ se startuje kucanjem:

```
C:\ADA>ADA <Enter>
```

Ukoliko se želi koristiti deo za akviziciju, potrebno je prethodno startovati programske drajvere za korišćenu opremu. U slučaju PCI sistema za akviziciju, to je program PCI46S–4, koji redom učita drajvere za sve delove sistema, inicijalizuje sistem i na kraju učita novu kopiju COMMAND.COM fajla. Takodje, ukoliko se želi akvizicija u pozadini, pod vremenskim interaptom, potrebno je startovati i program INTPCI, koji promeni funkciju interapta INT8, tako da on rukovodi i akvizicijom [5].

```
ADA plus   ---- Main ADA Menu ----    Filename: U1E31020.ASY

     ====================================================================
     ====================================================================


            AAAA  DDDDDDDD    AAAA        ==============================
           AA AA   DD    DD   AA AA
          AA  AA   DD     DD  AA  AA
         AA   AA   DD     DD  AA   AA        PPPPP  L      U   U  SSSSS
        AAAAAAAA   DD     DD  AAAAAAAA       P   P  L      U   U  S
       AA      AA  DD     DD  AA     AA      PPPPP  L      U   U  SSSSS
      AA       AA  DD    DD   AA      AA     P      L      U   U      S
     AA        AA  DDDDDDDD   AA       AA    P      LLLLL  UUUUU  SSSSS


     ====================================================================
     ====================================================================


OK
OK
OK
OK _
F1 HELP  F2 Acquis  F3 Analys  F4 Hwpar  F5     F6    F7   F8   F9 Dos F10 QUIT
```

Slika 8.3: Uvodni ekran programa ADA^+

Za lakši rad, treba pripremiti komandnu datoteku GOADA.BAT, koja će učitati sve ove drajvere i startovati program ADA^+ .

```
ECHO OFF
PCI46S_4 /G /N /X"INTPCI ADA"
```

Startovanjem programa ADA^+ , očitava se datoteka ADA.INI, setuju hardverski parametri i učitava fajl ADAVAR2.SUB . Po uspešnom startovanju, pod uslovom da je prisutan i fajl ADA.SCR, dobija se uvodni ekran kao na slici 8.3. Na ekranu je potrebno uočiti prozor u kome su opisane funkcije pojedinih funkcijskih tastera, prozor sa ispisanim imenom trenutno otvorenog fajla sa podacima, kao i datumom i vremenom kreiranja tog fajla, prozor sa porukom šta ADA^+ trenutno radi, kao i

prozor za direktnu komunikaciju korisnika sa programom ADA^+ , odnosno sa interpreterom ASYST-a.

Iz glavnog menija, u kome se korisnik nalazi, moguće je funkcijskim tasterima preći direktno u meni za akviziciju (**F2**), meni za analizu ranije izmerenih rezultata (**F3**) ili u meni za promenu hardverskih parametara (**F4**). Takodje, u svakom trenutku je moguće preći i u DOS interfejs meni (**F9**). Izlazak iz programa, odnosno prelazak iz nižeg menija u viši, uvek se obavlja funkcijskim tasterom **F10**.

Primedbe za napredne korisnike:

1. Ukoliko se koristi ploter uz program ADA^+ , potrebno je proveriti komunikacione parametre plotera, priključiti ga na COM1: port PC-ja i u AUTOEXEC.BAT fajlu dodati red `MODE COM1:baud rate [, parity [, databits [, stopbits [, P ]]]]` (najčešće je to `MODE COM1:9600, N, 8, 1, P`). Program ADA^+ pretpostavlja da je inicijalizacija COM1: porta izvršena pod DOS-om i da je ploter spreman za rad. U protivnom, doći će do blokiranja računara u trenutku kada ADA^+ pokuša da se obrati ploteru.

2. Na slici 8.3 su označeni prozori čija su imena:

   (a) {`ADA`}

   (b) {`INFO.U`}

   (c) {`FI.NAME`}

   (d) {`COMMAND`}

   (e) {`FUNCTION`}

   Definicije ovih prozora su u ADAVAR1.SUB fajlu. Pored ovih prozora, postoji definisano još niz drugih, kroz koje se vrši unos zahtevanih podataka, štampaju upozorenja ili crtaju zahtevani delovi merenih rezultata.

8.4 Mogući problemi u toku instalacije

1. *Problem nedostatka radne memorije.* Za rad ADA^+ zahteva kompletnih 640 kB slobodne RAM memorije PC-ja. Potrebno je ukloniti sve TSR (Terminate and Stay Ready) programe, drajvere i slično.

2. *Nepravilna raspodela memorije pod ASYST-om.* ADA^+ zahteva drukčiju raspodelu memorije ASYST-a od one koja je standardna. Potrebna memorija se vidi na slici 8.2. Za preraspodelu memorije pogledati uputstvo za ASYST, objašnjenje reči `RECONFIGURE`.

3. *Nedostatak nekog od .SUB fajlova ili pogrešan redosled učitavanja.* ASYST je kompajler sa jednim prolazom. Zbog toga, nije dozvoljeno pozivanje na reči ili varijable koje nisu prethodno definisane.

4. *Nedostatak slobodnog prostora na disku.* Prilikom kreiranja ADA.COM i ADA.OVL fajla, potrebno je oko 337 kB slobodnog prostora.

5. *Fajl ADA.INI nije prisutan u radnom direktorijumu.* Po startovanju programa *ADA*$^+$, ukoliko se ne pronadje fajl ADA.INI, ispisuje se poruka: `File ADA.INI is not in current directory -- system halted -- Press ENTER to cont`. Pritiskom na `<Enter>`, završava se rad programa *ADA*$^+$.

6. *Fajl ADAVAR2.SUB nije prisutan u radnom direktorijumu.* Po startovanju programa *ADA*$^+$ i nakon inicijalizacije grafičkog adaptera učitava se fajl ADAVAR2.SUB. Ukoliko se ne pronadje fajl, ispisuje se sledeća poruka: `File ADAVAR2.SUB is not in current directory -- system halted -- Press ENTER to cont`. Pritiskom na `<Enter>`, završava se rad programa *ADA*$^+$.

Glava 9

Akvizicioni meni u programu ADA^+

9.1 Opšte napomene

```
ADA plus   -- Acquisition Menu --     Filename: U1E31020.ASY

     ====================================================================
     ====================================================================


            AAAA  DDDDDDDD    AAAA        ==============================
           AA AA   DD    DD   AA AA
          AA  AA   DD     DD  AA  AA
         AA   AA   DD     DD  AA   AA        PPPPP  L      U   U  SSSSS
        AAAAAAAA   DD     DD  AAAAAAAA       P   P  L      U   U  S
      AA      AA   DD     DD  AA      AA     PPPPP  L      U   U  SSSSS
     AA       AA   DD    DD   AA       AA    P      L      U   U      S
    AA        AA  DDDDDDDD    AA        AA   P      LLLLL  UUUUU  SSSSS


     ====================================================================
     ====================================================================


OK
OK
OK
OK _
F1 HELP F2 AcqPar F3 GO.ACQ F4 VOLT F5 OSCIL F6 FFT F7  F8 PLOT F9 Dos F10 Quit
```

Slika 9.1: Meni akvizicije

Startovanjem programa ADA^+ i pritiskom na **F2** u glavnom meniju, prelazi se u akvizicioni meni. Na raspolaganju su sledeće funkcije:

F2 — **AcqPar** - Prelazak u meni parametara akvizicije

F3 — **GO.ACQ** - Početak akvizicije

F4 — **VOLT** - Voltmetar

F5 — **OSCIL** - Osciloskop

F6 — **FFT** - Spektralni analizator

F8 — **PLOT** - Prikaz rezultata akvizicije

F9 — **Dos** - DOS interfejs

F10 — **Quit** - Povratak u glavni meni

Ukoliko se u radnom direktorijumu nalazi fajl ADA.PAR sa snimljenim parametrima akvizicije, prilikom ulaska u akvizicioni meni, automatski se učitava taj fajl (na ekranu se dobija poruka o tome, sa datumom i vremenom kreiranja te datoteke) i obavi se inicijalizacija merne opreme. Ukoliko fajl ADA.PAR nije prisutan, ne obavlja se inicijalizacija merne opreme pa je u ovoj fazi nemoguće početi sa akvizicijom ili bilo kojom drugom mernom funkcijom (voltmetar, osciloskop, spektralni analizator). Takodje, ukoliko se pri učitavanju podataka iz fajla ADA.PAR detektuju greške, bilo u samim parametrima ili u mernoj opremi, ispisuju se greške na ekranu i blokira rad mernih funkcija.

Rad sa akvizicionim delom programa *ADA*$^+$ je koncipiran tako da se po prelasku na akvizicioni meni, učita fajl ADA.PAR u kome se nalaze parametri zgodni za rad voltmetra ili osciloskopa. Odmah po prelasku na akvizicioni meni, pritiskom na **F4** dobijamo voltmetar koji je veoma koristan u fazi pripreme eksperimenta. Nakon pripreme merne instalacije i mernih senzora, kao i provere maksimalnih ulaznih napona, predvidjeno je da se sa **F2** predje u meni za promenu parametara akvizicije. U tom meniju je moguće učitati fajl sa specifičnim parametrima akvizicije, editovati ga po potrebi i sačuvati za kasniju upotrebu. Vraćanjem sa **F10** u prethodni meni (akvizicioni meni), *ADA*$^+$ dva puta inicijalizuje sistem i proverava ispravnost merne opreme i parametara akvizicije. Nakon toga, pritiskom na **F3** počinjemo akviziciju.

U tekstu koji sledi, daće se detaljna objašnjenja svih funkcijskih tastera kao i mogućih opcija. Termini koji će se koristiti, biće na engleskom jeziku, sa prevodom na srpskohrvatski (tamo gde je to moguće), jer su svi komentari u programu na engleskom jeziku. Takodje, pretpostavlja se da je korisnik donekle upoznat sa kompjuterskim sistemima za akviziciju podataka, kao i terminima iz te oblast. U svakom slučaju, preporučuje se literatura [12], [14], [39].

```
ADA plus   - Acqu. Paramet. Menu -    Filename: U1E31020.ASY

     ==================================================================
     ==================================================================


            AAAA  DDDDDDDD    AAAA        ==============================
           AA AA   DD    DD   AA AA
          AA  AA   DD     DD  AA  AA
         AA   AA   DD     DD  AA   AA        PPPPP  L      U   U  SSSSS
        AAAAAAAA   DD     DD  AAAAAAAA       P   P  L      U   U  S
       AA      AA  DD     DD  AA     AA      PPPPP  L      U   U  SSSSS
      AA       AA  DD    DD   AA      AA     P      L      U   U      S
     AA        AA  DDDDDDDD   AA       AA    P      LLLLL  UUUUU  SSSSS


     ==================================================================
     ==================================================================


OK
OK
OK
OK _
F1 HELP F2 ACQPAR F3 VUPAR F4 CALIB F5 SAVE F6 LOAD F7   F8    F9 Dos  F10 Quit
```

Slika 9.2: Meni parametara akvizicije

9.2 Parametri akvizicije

Pritiskom na **F2** u akvizicionom meniju, prelazi se u meni parametara akvizicije. Na raspolaganju su sledeće funkcije:

F2 — **ACQPAR** - Pregled i promena parametara akvizicije

F3 — **VUPAR** - Pregled i promena parametara prozora za crtanje. Koristi se američki izraz *VUPORT* umesto engleske reči *VIEWPORT*

F4 — **CALIB** - Kalibracija senzora

F5 — **SAVE** - Snimanje trenutnih parametara akvizicije, prozora i kalibracionog polinoma na disk, *bez njihove provere*

F6 — **LOAD** - Učitavanje parametara akvizicije, prozora i kalibracionog polinoma sa diska, *bez njihove provere*

F9 — **Dos** - DOS interfejs

F10 — **Quit** - Povratak u akvizicioni meni

9.2.1 F2 - Parametri akvizicije

Pritiskom na taster **F2** u meniju parametara akvizicije, otvara se prozor broj **0** (slika 9.3), sa ispisanim opštim parametrima akvizicije i sa mogućnošću promene tih parametara. Pritiskom na strelicu na dole ↓, dobija se prozor broj **1** (slika 9.4) sa parametrima akvizicije specifičnim za kanal broj 1. Izlazak iz ove funkcije je pritiskom na taster **End** ili strelicama ↓ ↑ u trenutku kada je aktivan prozor **0** odnosno prozor poslednjeg kanala.

```
Page  0  of  3                    User's name : Dusan Prodanovic

                        Experiment title:
    Fluktuacije brzina i pritisaka nizvodno od reg. zatvaraca

                    Comment about experiment:
      Nizvodno od regulacionog zatvaraca (1) leptirastog i
     (2) rupicastog, mere se fluktuacije brzina i pritisaka
                      kao i srednji protok.

   current Acquisition mode:  1  (HS -POOL- MODE)
   Number of meas. quantit.:  3     with  512    samples/channel
   Sampling rate (msec): .10        Trigger: 0  (no trigger)

   ↓ --- press - U - E - C - A - N - S - T - for changes --- ↑_
```

Slika 9.3: Prozor sa zajedničkim akvizicionim parametrima

```
Page  1  of  3                    User's name : Dusan Prodanovic

                        Experiment title:
    Fluktuacije brzina i pritisaka nizvodno od reg. zatvaraca

                    Comment about meas. quant.:
          Protok na instalaciji osrednjen sa t = 5 sec.

   measuring Quantity no. 1  - Protok [l/s]
   sensor Type : EMS Pupin FI 200                on al ch.  1
   analog input Gain for PGA :  1
   Save complete acquired data array to disk ? - No
   Vuport used for plotting :  1      with color :  1

   ↓ ---- press -C - Q - T - I - G - S - V- for changes ---- ↑_
```

Slika 9.4: Prozor sa akvizicionim parametrima specifičnim za prvi kanal

Promena pojedinih parametara se odvija tako, što se prvo izabere parametar koji se menja pritiskom na odgovarajuće slovo (na primer, za promenu moda akvizicije u prozoru **0**, pritiskom na slovo **A**) i potom unese potrebna vrednost. Većina unetih podataka se odmah proverava i ako je izvan dozvoljenih granica, ne prihvata se. Konačna provera svih parametara se obavlja prilikom izlaska iz menija parametara akvizicije.

Objašnjenje parametara za prozor **0**:

U — **User's name** (ime korisnika). Potrebno je uneti ime i prezime korisnika – vlasnika trenutno aktivnih parametara akvizicije.
Ograničenje: Prihvata se samo prvih 20 znakova
Korišćena varijabla: `20 STRING YOUR.NAME`

E — **Experiment title** (naziv eksperimenta). Potrebno je uneti opšti naziv eksperimenta.
Ograničenje: Prihvata se samo prvih 60 znakova
Korišćena varijabla: `60 STRING EXP.NAME`

C — **Comment about experiment** (komentar o eksperimentu). U tri reda, uneti kratak komentar o eksperimentu. Unošenjem praznog reda, prekida se ova funkcija.
Ograničenje: Tri reda sa po 60 znakova
Koričćena varijabla: `DIM[ 3 , 60 ] STRING.ARRAY ACQ.COMMENT`

A — **current Acquisition mode** (trenutni akvizicioni mod). Moguća su tri moda akvizicije:

1. **HS–POOL–MODE** High Speed Pool Mode akvizicija. Za ovaj način akvizicije, potrebno je imati PCI20007 Counter/Timer dodatak, kojim se generiše vremenska baza. Nakon ispravne inicijalizacije sistema, pokreće se akvizicija i računar je blokiran za druge poslove dok se ne obavi traženi broj A/D konverzija (Pool mode). Ovaj mod zahteva i dodatni deo memorije za svoj rad, koji je jednak: Broj Kanala × Broj Uzoraka × 2 (bajta). Niz koji se formira, zove se `HS.BUFFER` ili `HS.BUFF`
2. **NORMAL–POOL–MODE** Normal Pool Mode akvizicija. Akvizicioni mod kod koga se vremenska baza generiše programski, iz ASYST-a. Ovaj mod je primetno sporiji od HS moda i maksimalna moguća brzina uzorkovanja samo zavisi od brzine rada PC-ja. Nije potreban dodatni niz, pa je moguće uzeti više podataka nego kod HS moda. U toku akvizicije, računar je blokiran za druge poslove.
3. **INTERRUPT–MODE** Interrupt Mode akvizicija. Akvizicioni mod koji omogućava rad u pozadini. Vremensku bazu generiše PC preko interapt sistema (koristi se modifikovani INT8). Nakon inicijalizacije sistema, računaru se predaju informacije o kanalima koje treba skanirati kao i vremenski interval izmedju dva uzorkovanja na istom kanalu. Nakon toga, računar je slobodan za druge poslove (mogu se crtati podaci koje istog trenutka meri), a o akviziciji se brine drajver INTPCI. Kao i kod HS moda, i ovde se zahteva pomoćni niz, istog imena i dužine.

Ograničenje: Uneti broj 1, 2 ili 3
Korišćena varijabla: `INTEGER SCALAR ACQ.TYPE`

N — Number of meas(uring) quantit(ies) (broj mernih veličina). Potrebno je uneti broj mernih veličina, odnosno broj kanala koje treba skanirati.
Ograničenje: Uneti broj od 1 do 8
Korišćena varijabla: `INTEGER SCALAR NO.CHNS`

␣ — **with X samples/channel** (sa X uzoraka po kanalu). Nakon unošenja broja kanala, kursor se automatski postavlja na polje sa brojem uzoraka po kanalu. Potrebno je uneti broj uzoraka, vodeći računa o memorijskim ograničenjima.
Ograničenje: Raspoloživi memorijski prostor
Korišćena varijabla: `INTEGER SCALAR NO.SAMPS`

S — Sampling rate (msec) (vremenski razmak izmedju dva uzorka u milisekundama). Uneta brzina uzorkovanja predstavlja vreme izmedju dva uzastopna očitavanja na jednom istom kanalu. Brzina uzorkovanja zavisi od brzine rada računara, merne opreme, kao i od aktivnog moda akvizicije.
Ograničenje: Od 0.005 msec do 1000 sec
Korišćena varijabla: `REAL SCALAR DELTA.T`

T — Trigger (Način trigerovanja – započinjanja akvizicije). Potrebno je uneti način na koji će se startovati akvizicija. Moguće je uneti:

0 — no trigger Bez trigera, akvizicija startuje odmah.

1 — delayed start Start akvizicije sa kašnjenjem za tačno odredjeno vreme.

2 — watch AI's Start zavisi od stanja napona na odredjenom ulaznom kanalu (ili kombinacije napona na više kanala).

Ograničenje: Uneti broj 0, 1 ili 2
Korišćena varijabla: `INTEGER SCALAR TR.TYPE`

Primedbe za napredne korisnike:

1. Maksimalna brzina akvizicije za akvizicioni mod 1 se ne proverava. Unošenjem vremena kraćeg od fizički mogućeg za odgovarajuću opremu, obaviće se akvizicija ali ne sa zahtevanom, već mnogo manjom brzinom. Kod akvizicionog moda 2 i 3, prilikom izlaska iz menija parametara akvizicije, obavlja se probno uzorkovanje radi provere unetog vremena.
2. Kod akvizicionog moda 1 i 3, moguće su neznatne promene unetog vremena, radi zaokružavanja na celobrojne vremenske intervale. Varijabla `DELTA.T` nakon inicijalizacije sistema, sadrži tačnu vrednost uzorkovanja. Koriste se reči `DELTA.T.TO.COUNTS` i `DELTA.T.TO.DELTAT` iz fajla ADAUTIL.SUB .
3. Tačnost brzine uzorkovanja zavisi od akvizicionog moda. Za mod 1, tačnost zavisi od vremenske baze koju generiše Counter/Timer PCI20017 (tipično ±0.008%) a za mod 2 i 3 tačnost zavisi od vremenske baze koju generiše PC.
4. Unošenjem tipa trigera koji je različit od 0, nakon prozora **0** pritiskom na strelicu ↓ , otvoriće se prozor u kome se definiše preciznije triger.
5. Funkcije trigerovanja u prvoj verziji programa nisu implementirane. Važi samo tip 0.

Objašnjenje parametara za prozor **i** (i=1 ... `NO.CHNS`):

C — Comment about meas(uring) quant(ity) (komentar o mernoj veličini). Potrebno je uneti komentar o veličini koja se meri na i-tom kanalu.
Ograničenje: Prihvata se samo prvih 60 znakova
Korišćena varijabla: `DIM[ 12 , 60 ] STRING.ARRAY CHNS.COMMENT`

Q — measuring Quantity (merna veličina). Potrebno je uneti ime merne veličine na i-tom kanalu.
Ograničenje: Prihvata se samo prvih 20 znakova
Korišćena varijabla: `DIM[ 12 , 60 ] STRING.ARRAY QUANTITIES`

T — sensor Type (tip senzora). Potrebno je uneti tip senzora koji se koristi na i-tom kanalu, sa serijskim brojem. Ovo je potrebno i zbog razlikovanja kalibracionih funkcija.
Ograničenje: Prihvata se samo prvih 30 znakova
Korišćena varijabla: `DIM[ 12 , 30 ] STRING.ARRAY SENS.TYPES`

I — ... on aI ch(annel) (... na analognom kanalu broj). Potrebno je uneti broj analognog ulaznog kanala na opremi za akviziciju, na koji je vezan senzor kojim se meri i-ta veličina. Treba uočiti, da brojevi mernih veličina uvek idu od 1 do `NO.CHNS` (do broja mernih kanala definisanih u prozoru **0**), i za svaku mernu veličinu se strelicama otvara po jedan prozor, dok je broj analognog ulaznog kanala adresa priključka na uredjaju za akviziciju na kome se nalazi

i-ti senzor.
Ograničenje: Uneti broj od 0 do 7
Korišćena varijabla: `INTEGER DIM[ 13 ] ARRAY AI.CHNS`

G — analog input Gain for PGA (pojačanje na analognom ulaznom programabilnom pojačavaču). Faktor pojačanja ulaznog napona definiše maksimalni ulazni napon na odredjenom analognom kanalu. U tabeli 7.2 su dati maksimalni ulazni naponi u zavisnosti od izabranog stepena pojačanja PGA.
Ograničenje: Uneti 1, 10, 100 ili 1000
Korišćena varijabla: `INTEGER DIM[ 12 ] ARRAY AI.GAINS`

S — Save complete data array to disk (snimiti ceo niz na disk). U svakom bloku akvizicije, uzorkuje se `NO.CHNS` kanala i formiraju nizovi `ARR.I` (i=1 ... `NO.CHNS`). Svi nizovi su dužine `NO.SAMPS`. Istovremeno se formira i niz sa osnovnim statističkim veličinama na uzorkovanim kanalima, `PRIM.STAT`. Ova opcija dozvoljava korisniku da se odluči da li želi snimanje kompletnog i-tog niza, ili je dovoljno snimanje osnovnih statističkih veličina (srednja vrednost, RMS, Peak – Peak i σ). Uvodjenjem ove opcije, moguće su znatne uštede u prostoru na disku.
Ograničenje: Unose se samo slova Y (Yes) i N (No)
Korišćena varijabla: `INTEGER DIM[ 12 ] ARRAY AI.SAVE`

V — Vuport used for plotting (prozor upotrebljen za crtanje). Potrebno je uneti redni broj prozora koji će se koristiti za crtanje i-tog kanala u toku akvizicije, kao i u funkcijama osciloskopa i spektralnog analizatora. Svi podaci o samom prozoru (dimenzije i položaj, dužina niza za crtanje itd) će se zadati preko funkcijskog tastera **F3**. Unošenjem broja 0 za prozor, zabranjuje se crtanje i-tog kanala. Prozori od 1 do 4 su prozori na ekranu, a od 5 do 8 na ploteru.
Ograničenja: Uneti broj od 0 do 8
Korišćena varijabla: `INTEGER DIM[ 12 ] ARRAY AI.VUPORTS`

␣ — with color (sa bojom). Nakon unošenja broja prozora u kome se crta i-ti kanal, kursor se automatski postavlja na broj boje koja će se koristiti u crtanju. Ovaj podatak zavisi od grafičkog adaptera koji se koristi.
Ograničenja: Uneti broj od 0 do 16
Korišćena varijabla: `INTEGER DIM[ 12 ] ARRAY AI.COLORS`

Primedbe za napredne korisnike:

1. Ograničenje vezano za redni broj analognog ulaznog kanala (od 0 do 7), vezano je samo za trenutno korišćenu mernu opremu. Moguće je skroz ukinuti to ograničenje, ili promeniti, u reči `CH.ACQ.PAR`.
2. Rezultati A/D konverzije se nalaze u nizovima `ARR.1` do `ARR.8`. Nizovi su `REAL` tipa, dužine `NO.CHNS`. Svaki niz se na stek može pozvati kucanjem `ARR.1` , `ARRAY.1` ili `1 ARR.N` .
3. Nakon A/D konverzije, rezultat je zapisan u nizovima u 12-to bitnom obliku, pri čemu je 0 = minimalni a $(2^{12} - 1)$ = maksimalni ulazni napon. Da bi se dobio podatak o stvarnom ulaznom naponu, potrebno je znati pojačanje PGA u trenutku konverzije. Pozivanjem reči `CODE.TO.VOLT` u nizovima će se naći naponi u voltima. Reč `VOLT.TO.SI` će preračunati napone u SI sistem, shodno unetim kalibracionim polinomima.
4. Zastavica 4 (`FLAG.4`) pokazuje da li su u nizovima `ARR.N` trenutno naponi (zastavica spuštena pomoću reči `CODE.TO.VOLT`) ili SI jedinice (zastavica podignuta pomoću reči `VOLT.TO.SI`)
5. Maksimalna brzina uzorkovanja zavisi, izmedju ostalog i od stepena pojačanja na ulaznim analognim kanalima. Pri tome, što je veće pojačanje, niža je maksimalna brzina uzorkovanja. Akvizicioni mod 1 ne proverava greške nastale usled prekratkog vremena uzorkovanja na dva ista kanala, `DELTA.T`.
6. Unošenjem broja prozora za crtanje većeg od 4, a ukoliko ploter nije priključen na COM1: port, ili ukoliko nije pravilno inicijalizovan, doći će do blokiranja računara u toku inicijalizacije akvizicije.

Objašnjenje parametara za triger prozor:

(Funkcije trigerovanja u prvoj verziji programa *ADA*+ nisu ugradjene. Važi samo triger tip 0)

9.2.2 F3 - Parametri prozora za crtanje

Pritiskom na taster **F3** u meniju parametara akvizicije, otvara se prozor sa ispisanim definicijama svih osam prozora za crtanje rezultata merenja. Te definicije se koriste kod funkcija akvizicije, osciloskopa i spektralnog analizatora.

Treba uočiti da je kroz ceo program *ADA*+ zadržan princip da korisnik sam zadaje vrednosti na X i Y osama, mada je u ASYST-u ugradjena i funkcija za automatsko skaliranje crteža. Razlog za usvojeni princip je nešto veća brzina crtanja kao i uniformnost crteža (česte promene na Y osi mogu lako dovesti do pogrešnih zaključaka).

Editovanje parametara pojedinih prozora je jednostavno. Potrebno je uneti redni broj prozora, i zatim redom zahtevane parametre. Pri tome, računar nudi kao odgovor trenutnu vrednost tog parametra. Ukoliko se želi zadržati ista vrednost, dovoljno je otkucati `<Enter>`. Za promenu te vrednosti, treba uneti novu vrednost

```
    ----- Definition of plotting vuports -----
No  Xorig Yorig  Xsize Ysize  Nst  Npl   Y-minimum  Y-maximum  Bg Ax AiChns
S 1  .000  .150   .500  .400    1  100   -1.000E0    1.000E0   15  2 1
S 2  .500  .150   .500  .400    1  200    1.000E-4   1.000E-1   0  1 2
S 3  .000  .550  1.000  .400    1  500    1.000E-4   2.000E-1   1  2 3
S 4  .000  .000   .000  .000    0    0    0.000E-1   0.000E-1   0  0
P 5  .000  .000   .000  .000    0    0    0.000E-1   0.000E-1   0  0
P 6  .000  .000   .000  .000    0    0    0.000E-1   0.000E-1   0  0
P 7  .000  .000   .000  .000    0    0    0.000E-1   0.000E-1   0  0
P 8  .000  .000   .000  .000    0    0    0.000E-1   0.000E-1   0  0
Enter Vuport number that you want to edit (0 to quit) _
```

Slika 9.5: Prozor sa parametrima za crtanje grafika

i `<Enter>`.

Ako umesto broja prozora koji se edituje korisnik otkuca samo `<Enter>` ili unese broj 0, zatvara se prozor sa parametrima prozora za crtanje.

Objašnjenje parametara prozora za crtanje:[1]

No (redni broj prozora). Redni broj prozora koji se edituje. Prozori od 1 do 4 su ekranski (**S**(creen)), a od 5 do 8 ploterski (**P**(lotter)).

Xorig(in), Yorig(in) (X početak, Y početak). Koordinate početka prozora. Koordinate se unose u rasponu od 0.0 do 1.0, gde je (0.0 , 0.0) donji levi ugao površine za crtanje (ekrana ili papira), a (1.0 , 1.0) gornji desni ugao.
Ograničenje: Uneti vrednost izmedju 0.0 i 1.0
Korišćena varijabla: `REAL DIM[ 8 , 4 ] ARRAY VU.COORDS`

Xsize, Ysize (X veličina, Y veličina). Veličina prozora za crtanje , po X i Y osi. Unosi se u rasponu od 0.0 do 1.0.
Ograničenje: **Xorig** + **Xsize** $\leq$ 1.0, **Yorig** + **Ysize** $\leq$ 1.0
Korišćena varijabla: `REAL DIM[ 8 , 4 ] ARRAY VU.COORDS`

Nst(art), Npl(ot) (N početka, N za crtanje). Kod crtanja vremenskih serija (u vremenskom domenu), unosi se redni broj prvog uzorka za crtanje i broj uzoraka za crtanje. Kod crtanja u frekventnom domenu, **Nst** i **Npl** definišu prvu frekvenciju za prikaz i dužinu frekventnog intervala za crtanje. Pri tome je jedan uzorak jednak 1*1000/(`NO.SAMPS`*`DELTA.T`) [Hz], gde je `DELTA.T` u milisekundama.
Ograničenje: **Nst** $\geq$ 1, **Nst** $\leq$ `NO.SAMPS`
Korišćena varijabla: `REAL DIM[ 8 , 4 ] ARRAY VU.MIN/MAX`

[1]Parametri se daju istim redom kao na slici 9.5

Y-minimum, Y-maximum (Y minimum, Y maksimum). Minimalna i maksimalna vrednost na Y osi. Ove vrednosti zavise od toga da li se crta u naponima ili u SI sistemu, kao i da li se crta u vremenskom ili frekventnom domenu.
Ograničenje: **Y-minimum** $<$ **Y-maximum**
Korišćena varijabla: `REAL DIM[ 8 , 4 ] ARRAY VU.MIN/MAX`

B(ack)g(round), Ax(is) (Pozadina, ose). Potrebno je uneti boju pozadine prozora i boju za crtanje osa i oznaka na osama.
Ograničenje: Uneti broj od 0 do 16, **Bg** $\neq$ **Ax**
Korišćena varijabla: `INTEGER DIM[ 8 , 2 ] ARRAY VU.COLORS`

Primedbe za napredne korisnike:

1. ASYST ima ugradjenu kao standardnu opciju fitovanje X i Y osa, tako da se dobiju "lepe", celobrojne podele. Zbog toga se često dešava da se nacrtaju ose ili znatno duže od zahtevanih ili nešto kraće. Ova opcija se može isključiti ako se u reči `VUPORT.INIT.1` iza `AXIS.DEFAULTS` stavi:
   `HORIZONTAL AXIS.FIT.OFF`
   `VERTICAL AXIS.FIT.OFF`
2. Pored fitovanja X i Y osa, moguće je promeniti i crtanje podela, pisanje labela i slično. Sve promene treba raditi u reči `VUPORT.INIT.1`

9.2.3 F4 - Kalibracija senzora

Pritiskom na taster **F4** u meniju parametara akvizicije, otvara se prozor koji se odnozi na kalibraciju korišćenih senzora. U zavisnosti od broja definisanih kanala, strelicama ↓ ↑ se bira senzor koji se želi kalibrisati. Promena, odnosno izbor ponudjenih opcija se obavlja pritiskom na odgovarajuće slovo.

```
Page  1  of  3     Sensor calibrating facility

   Measuring quantity no: 1  - Protok [l/s]
   Sensor type : EMS Pupin FI 200                on AI ch.  1
   Analog input gain for PGA :  1   [input range +/-  5.0000  V]
   Calibration polyn. [A1*X^(n)+A2*X^(n-1)+A3*X^(n-2)+..] is:
 19.2200  -.0729

   Choose the option:
   Enter known calib. (P)olynom     (S)ave calibration poly.
   Enter known calib. (D)ata        (R)ead calibration poly.
   Obtain calib. (M)easurements


   ↓ --- press ----- P - D - M - S - R ----- for changes --- ↑_
```

Slika 9.6: Prozor kalibracije senzora

Kao standardna kalibraciona funkcija, usvojen je polinom četvrtog reda, $Y = A_1X^4 + A_2X^3 + A_3X^2 + A_4X + A_5$, kojim se mogu aproksimovati krive skoro svih

senzora. Koeficijenti polinoma se mogu uneti direktno (ako su poznati), sračunati (ako su poznati kalibracioni podaci), izmeriti (merenjem odziva senzora na poznati ulaz) ili učitati sa diska.

Objašnjenje pojedinih opcija u prozoru kalibracije senzora:

P — **Enter known calib. (P)olynom** (unesi poznati kalibracioni polinom). Ukoliko se na osnovu ranijih merenja i proračuna poznaje polinom koji najbolje aproksimira ponašanje senzora u opsegu vrednosti od interesa, moguće je uneti direktno koeficijente. Potrebno je prvo uneti stepen kalibracionog polinoma, pa koeficijente.
Ograničenje: $1 \leq$ Stepen polinoma ≤ 4
Korišćena varijabla: `REAL DIM[ 12 , 6 ] ARRAY CALL.POLY`

D — **Enter known calib. (D)ata** (unesi poznate kalibracione podatke). Funkcija nije još ugradjena.
Ograničenje:
Korišćena varijabla: `REAL DIM[ 2 , 20 ] ARRAY CALL.DATA`

M — **Obtain calib. (M)easurements** (obavi kalibraciono merenje). Funkcija nije još ugradjena.
Ograničenje:
Korišćena varijabla: `REAL DIM[ 2 , 20 ] ARRAY CALL.DATA`

S — **(S)ave calibration poly.** (snimi kalibracioni polinom). Snimanjem na disk kalibracionog polinoma, u binarni fajl sa ekstenzijom .CAL, omogućeno je pravljenje zbirke fajlova sa polinomima za razne senzore. Na disk se snimaju podaci o imenu senzora, nazivu merne veličine, imenu eksperimentatora, datumu i vremenu kalibracije i kalibracionom polinomu.
Ograničenje:
Korišćena varijabla:

R — **(R)ead calibration poly.** (učitaj kalibracioni polinom). Učitava sa diska kalibracioni polinom iz binarnog fajla sa ekstenzijom .CAL . Ukoliko u radnom direktorijumu ne postoji takav fajl, prijavljuje se greška i daje spisak svih .CAL fajlova. Prilikom učitavanja kalibracionog polinoma, učitava se i ime senzora i naziv merne veličine.
Ograničenje: Fajl .CAL mora biti snimljen istom verzijom programa *ADA*$^+$
Korišćena varijabla:

9.2.4 F5 - Snimanje trenutnih parametara na disk

Pritiskom na taster **F5** u meniju parametara akvizicije, snimaju se trenutno važeći parametri akvizicije, prozora za crtanje i kalibracionog polinoma, na disk u

binarni fajl sa ekstenzijom .PAR . Pre početka snimanja, proverava se da li na disku već postoji fajl sa istim imenom. *Prilikom snimanja se ne proveravaju vrednosti parametara.*

9.2.5 F6 - Učitavanje parametara sa diska

Pritiskom na taster **F6** u meniju parametara akvizicije, učitavaju se parametri akvizicije, prozora za crtanje i kalibracionog polinoma sa diska, iz binarnog fajla sa ekstenzijom .PAR . Ukoliko zahtevani fajl ne postoji na disku, u radnom direktorijumu, prijavljuje se greška i daje spisak svih .PAR fajlova. *Prilikom učitavanja se ne proveravaju vrednosti parametara.*

9.2.6 F10 - Povratak u akvizicioni meni

Funkcijski taster **F10** u meniju parametara akvizicije ima dvojaku ulogu. Osnovnoj funkciji vraćanja na jedan viši nivo menija i predefinisanja rada svih funkcijskih tastera, dodata je i funkcija testiranja unetih parametara akvizicije, inicijalizacija merne opreme i formiranje potrebnih nizova.

Pored inicijalizacije, vodi se računa i da li je bilo nekakvih promena parametara akvizicije. Ukoliko je bilo promena, nove parametre treba snimiti na disk pod novim imenom ili preko starih parametara. Na ekranu se daje poruka: `Acquisition parameters were changed. Do you want to save them? (Y/N)`, i ukoliko se odgovori sa `Y`, *ADA*$^+$ će tražiti ime fajla za parametre (ekstenzija je uvek .PAR). Ukoliko se odgovori sa `N`, parametri neće biti snimljeni na disk, obaviće se kompletna inicijalizacija sistema i *ADA*$^+$ će se vratiti na akvizicioni meni. Medjutim, neće biti dozvoljena funkcija akvizicije, jer bi *ADA*$^+$ unela pogrešnu vezu izmedju akvizicionih parametara i izmerenih podataka.

U fazi testiranja parametara akvizicije, ako se uoči bilo kakva nepravilnost ili nelogičnost, ispisuje se poruka na ekranu koja će ostati sve dok se greška ne ispravi. Neke od najčešćih grešaka su:

1. Greške u fazi testiranja analognih ulaznih kanala:
   - `Error! Non existing AI channel number.` – Broj ulaznog kanala dodeljen nekom od mernih kanala je izvan opsega (za osnovnu verziju *ADA*$^+$ –e je to opseg od 0 do 7).
   - `Multiple AI channel definition. Arrays will not be created!` – Dva ili više mernih kanala se poziva na isti broj ulaznog kanala.
2. Greške u fazi testiranja kalibracionog polinoma:

- `Error! First coefficient of calibration polynomial for channel N is zero.` – Koeficijenat uz X^n, gde je X nezavisno promenljiva a n najveći izabrani eksponent ($1 \leq n \leq 4$), mora biti različit od nule (u suprotnom, treba izbrati niži stepen polinoma).
- `Error! Calibration polynomial must have at least 2 coefficients.`
  – Najniži stepen kalibracionog polinoma je prvi stepen (linerna funkcija), sa dva koeficijenta.

3. Greške u fazi testiranja parametara prozora za crtanje:

   - `X origin of vuport N is out of range` – X koordinata donjeg levog ugla prozora za crtanje je van opsega (izvan opsega 0.0 – 1.0).
   - `Y origin of vuport N is out of range` – Y koordinata donjeg levog ugla prozora za crtanje je van opsega (izvan opsega 0.0 – 1.0).
   - `X size of vuport N is out of range` – Dužina prozora duž X koordinate je izvan opsega.
   - `Y size of vuport N is out of range` – Dužina prozora duž Y koordinate je izvan opsega.
   - `First sample to be plotted in vuport N is out of range` – Prvi uzorak za crtanje je van dozvoljenog opsega.
   - `Y minimum value of Y axis in vuport N is greater then Y maximum` – Specificirani minimum prozora za crtanje je veći od specificiranog maksimuma za isti prozor.
   - `Axis color in vuport N is same as Background color` – Boja pozadine i osa su iste, tako da se neće videti ose.
   - `Check VUPORT-s parameters` – Greška koja se može javiti u toku iscrtavanja rezultata akvizicije u zadatom prozoru. Obično je izaziva pogrešno odredjene minimalne i maksimalne granice. U zavisnosti od funkcije u kojoj se javi ova greška, moguć je nastavak rada (funkcija akvizicije) ili prekid (grafičke funkcije). Ova greška se najčešće javlja prilikom startovanja funkcije spekttralnog analizatora, sa logaritamskim prikazom, a granice prozora zahvataju i negativne vrednosti.

4. Greške u toku inicijalizacije softverskih drajvera za akviziciju:

   - `PCI driver is not installed. You can proceed, but you will not be able to use ED1000 hardware` – *ADA*$^+$ nije pronašla PCI drajver za akviziciju. Ova greška ne prekida rad programa, već funkciju uzorkovanja spoljnih analognih kanala zamenjuje funkcijom generisanja slučajnih podataka. Na taj način je omogućeno testiranje rada programa

i bez prisustva akvizicione opreme (kada se pokrene funkcija akvizicije, program *ADA*$^+$ daje poruku: `PCI is not present. Data will be generated by ADA - Press ENTER to cont`).

- `INT driver is not installed. You can proceede, but you will not be able to use interrupt mode acquisition. It will be automatically substituted with pool mode!` – *ADA*$^+$ nije pronašla dopunski drajver potreban za akviziciju u pozadini. Izabrani mod akvizicije u pozadini (Acquisition mode=3) se menja u Normal Pool Mode (Acquisition mode=2).
- `Synchronization error. DELTA.T is too short! Correct this error` – U Normal Pool Mode akvizciji, u toku inicijalizacije se vrši provera da li je specificirano vreme izmedju dva uzastopna uzorkovanja na istom kanalu (Sampling Rate) prekratko za dati broj kanala i u odnosu na brzinu korišćenog računara.

Primedbe za napredne korisnike:

1. Kao indikatori pojedinih funkcija, koriste se zastavice (Flags). Objašnjenje pojedinih zastavica:

`FLAG.1`	- zastavica podignuta:	podaci u fajlu .PAR su isti kao i u memoriji
	- zastavica spuštena:	postoje neke razlike u podacima, potrebno je snimiti nove podatke.
`FLAG.2`	- zastavica podignuta:	akvizicioni parametri su u redu.
	- zastavica spuštena:	postoji greška u akvizicionim parametrima.
`FLAG.8`	- zastavica podignuta:	ispravna instalacija i inicijalizacija drajvera INTPVI.
	- zastavica spuštena:	drajver nije instalisan.
`FLAG.9`	- zastavica podignuta:	ispravna instalacija i inicijalizacija drajvera PCI46S–4
	- zastavica spuštena:	drajver nije instalisan.

2. Stanje svih zastavica se može dobiti kucanjem reči `?FLAGS`
3. Zastavice su rešene preko `INTEGER SCALAR FLAG.1 ...FLAG.10` koje mogu imati vrednosti +1 (zastavica podignuta) ili –1 (zastavica spuštena)
4. Reči vezane za rad sa zastavicama su:
   - `?F.SET` - vraća logički `TRUE` ili `FALSE` na simbol stek, u zavisnosti od stanja zastavice,
   - `F.SET` - diže zastavicu,
   - `F.RST` - spušta zastavicu,
   - `F.CHN` - menja stanje zastavice.
5. Varijabla `11 STRING PAR.FILE` sadrži ime fajla sa parametrima akvizicije. Prilikom snimanja merenih rezultata u fajl IME.ASY, u drugom redu komentara je zapisano ovo ime, kao veza izmedju merenih rezultata i uslova pod kojim su obavljena merenja. Kontrolom zastavice 1 `FLAG.1`, proverava se da li varijabla `PAR.FILE` sadrži najnoviju verziju aktivnih parametara.

9.3 Akvizicija

Pritiskom na **F3** u akvizicionom meniju, startuje se proces akvizicije, grafički prikaz rezultata akvizicije i snimanje na disk. Na ekranu se otvara prozor sa ispisanim najosnovnijim podacima (broj uzoraka i broj kanala, vreme izmedju dva uzorkovanja) i zahteva se unos broja mernih blokova (slika 9.7).

Sistem za akviziciju je tako izveden, da se jednim pozivom funkcije **F3** formira jedan fajl, u kome može biti do 20 blokova merenih rezultata. Svaki blok sadrži

```
Primary acquisition parameters are stored in ada-1.PAR They are:
Number of samples/channel NO.SAMPS= 256 Number of channels NO.CHNS= 3
Time between two samples  DELTA.T = .0997  msec
Enter number of blocks to be acquired (less then 20, 0 to quit) ? 4_
```

Slika 9.7: Akvizicioni prozor

jedan kompletan prolaz kroz definisanu listu mernih kanala, sa traženim brojem uzoraka po kanalu. Na taj način je omogućeno da se u istom fajlu nadju, ako to treba, rezultati ponovljenih merenja ili merenja sa istim uslovima.

Ukoliko korisnik želi prekinuti započeti proces akvizicije, to je moguće u ovom trenutku unošenjem broja `0` ili jednostavnim kucanjem `<Enter>`. Unošenjem traženog broja blokova, više nije moguće "legalno" prekinuti proces akvizicije (uvek je to moguće "nasilno", kucanjem `Ctrl Break`).

Sledeći podatak koji treba uneti je način prelaska sa bloka na blok (`Enter block advance mode (1-Manual, 2-Delayed, 3-Triggered) ?`), odnosno, na koji način se započinje akvizicija novog bloka po završetku prethodnog. Opcija:

1 - znači da će računar čekati korisnika da eksplicitno naredi početak uzorkovanja novog bloka,

2 - znači da će po završetku prethodnog bloka, računar sačekati odredjeno vreme i automatski započeti novi blok,

3 - znači da će računar ispitivati stanje odredjenog kanala, i po ispunjenju zahtevanih uslova započeti akviziciju (opcija u prvoj verziji programa nije ugradjena)

S obzirom da je funkcija akvizicije višeg prioriteta od funkcije grafičkog prikaza, u opciji **2** nije moguć prikaz rezultata merenja. Zbog toga je predvidjena funkcija **F8** `PLOT` u akvizicionom meniju, za brzi pregled svih blokova, nakon akvizicije.

Uz svaki fajl sa rezultatima merenja, upisuje se i komentar o merenjima (do tri reda). Mada je u fajlu sa parametrima akvizicije zapisan komentar o akviziciji, s obzirom da se isti fajl može koristiti kod više eksperimenata, potrebno je dodati i komentar u vezi sa specifičnim uslovima trenutne akvizicije. Unošenjem praznog reda, prekida se unos komentara i počinje proces kreiranja izlaznog fajla. Da bi se obezbedila maksimalna sigurnost rezultata merenja, izlazni fajl se odmah formira u svojoj punoj dužini. Na taj način se na disku rezerviše potreban prostor i istovremeno proveri pouzdanost zapisa. Takodje, ako se u toku akvizicije na bilo koji način nasilno prekine rad, svi do tada izmereni podaci će biti sačuvani na disku, u formiranom fajlu. Izlazni fajl ima standardnu ekstenziju .ASY i binarnog je tipa.

Nakon kreiranja izlaznog fajla, pojavljuje se poruka: `Shall I start the acquisition? - Press ENTER to cont` (da li da počne akvizicija?). Pritiskom na

`<Enter>` počinje akvizicija prvog bloka podataka. Vreme trajanja akvizicije je `NO.SAMPS*DELTA.T` u milisekundama, nakon čega se proverava da li su u toku akvizicije ulazni naponi bili u okviru dozvoljenog ulaznog opsega, prebacuju se izmereni kodovi u napon, a iz napona u SI sistem prema unetim kalibracionim polinomima i proračunavaju se osnovni statistički pokazatelji. U zavisnosti od izabrane opcije – načina prelaska sa bloka na blok, u izabranim prozorima će biti prikazani traženi kanali sa mogućnošću pregleda osnovnih statističkih veličina kao i opcijom ponovnog uzorkovanja istog bloka (opcija **1**), ili će računar početi sa odmeravanjem specificiranog vremena da bi u zahtevano vreme počeo akviziciju sledećeg bloka (opcija **2**) ili će početi sa ispitivanjem stanja specificiranih kanala radi ispunjenja traženih uslova za start akvizicije novog bloka (opcija **3**).

Proces akvizicije se završava nakon uzorkovanja zadnjeg bloka podataka. Svi podaci su pouzdano zapisani u faj sa ekstenzijom .ASY[2], u binarnom obliku. Ukoliko korisnik želi, može naknadno, kroz meni za analizu, da te podatke prebaci u ASCII oblik, fajl sa ekstenzijom .DAT . Pri tome treba voditi računa da će novoformirani fajl biti znatno duži od binarnog.

[2]U istom fajlu su i komentari o akviziciji, ime fajla sa parametrima akvizicije, datum i vreme starta svakog bloka kao i statistički pokazatelji svakog bloka.

Primedbe za napredne korisnike:

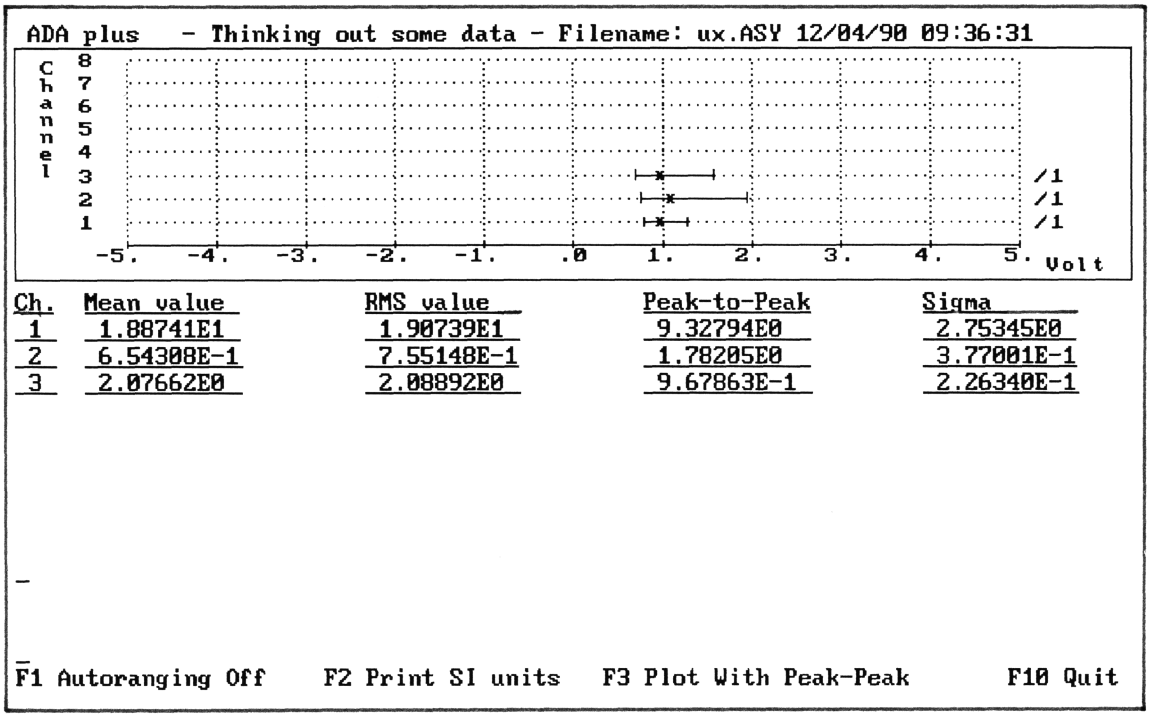
1. Ako je izabrana akvizicija u pozadini, pod interaptima, u meniju parametara akvizicije, kao i ručni prelaz sa bloka na blok (opcija **1**), prikaz rezultata akvizicije će biti u realnom vremenu.
2. Primarni statistički pokazatelji se nalaze u nizu `REAL DIM[ 8 , 5 ] ARRAY PRIM.STAT`, a izračunavaju se pozivom reči `STAT.0`. U zavisnosti od toga da li je zastavica 4 (`FLAG.4`) podignuta ili spuštena, i statistički pokazatelji su u SI jedinicama ili u voltima.
3. Akvizicija se startuje, u zavisnosti od tipa, preko reči `GO.HS.ACQ`, `GO.POOL.ACQ` ili `GO.INTR.ACQ` . Pre poziva ovih reči, potrebno je izvršiti inicijalizaciju sistema i pripremu nizova. Po izlasku iz ovih reči, u nizovima `ARR.1 ...ARR.8` su kodovi obavljenih konverzija, a zastavica `FLAG.2` pokazuje da li je akvizicija obavljena bez problema (zastavica podignuta). Reč `CHK.DATA` proverava sve kodove u nizovima da li su jednaki 0 ili 4095 ($2^{12} - 1$). Ako to otkrije, stavlja u zadnji elemenat niza `PRIM.STAT` broj 1 kao indikaciju prekoračenja opsega. Reč `CHK.DAT` radi korektno samo ako su u nizovima kodovi. Reč `CODE.TO.VOLT` prebacuje u nizovima kodove u napone, uvažavajući trenutno aktivna pojačanja na pojedinim kanalima (niz `AI.GAINS`), a reč `VOLT.TO.SI` prebacuje napone u SI jedinice.
4. Primarni statistički pokazatelji se nalaze u nizu `REAL DIM[ 8 , 5 ] ARRAY PRIM.STAT`, a izračunavaju se pozivom reči `STAT.0`. U zavisnosti od toga da li je zastavica 4 (`FLAG.4`) podignuta ili spuštena, i statistički pokazatelji su u SI jedinicama ili u voltima.
5. Po završenoj akviziciji, u nizovima su ostali rezultati iz zadnjeg bloka. Varijabla `INTEGER SCALAR CURR.BLOCK` pokazuje koji je to broj bloka.
6. Ime fajla sa snimljenim izmerenim podacima se nalazi u varijabli `11 STRING DATA.FILE`

9.4 Voltmetar

Pritiskom na **F4** u akvizicionom meniju, startuje se voltmetar. Na slici 9.8 je dat izgled ekrana u toku rada voltmetra.

Ekran je podeljen na dva prozora. Gornji, sa grafičkim prikazom izmerenih podataka isključivo u naponima, sa mogućnošću crtanja i fluktuacija i donji sa ispisom primarnih statističkih pokazatelja, u naponima ili u Si jedinicama. Voltmetar za svoj rad koristi parametre odredjene menijem parametara akvizicije. To znači da korisnik može uticati na broj kanala voltmetra, brzinu uzorkovanja kao i ukupno vreme uzorkovanja (integracije). Komandovanje voltmetrom je izvedeno preko funcijskih tastera, pri čemu su njihove funkcije:

F1 — **Autoranging on/off** (automatska promena opsega uključena/isključena). Ovom funkcijom se može uticati na zadati parametar pojačanja ulaznog PGA kola u A/D konverteru. Svrha automatskog rada je biranje najpogodnijeg



Slika 9.8: Ekran pri radu voltmetra

stepena pojačanja, kako bi ulazni signal bio u optimalnim granicama rada A/D konvertera. U gornjem, grafičkom prozoru, sa desne strane je pored svakog kanala ispisan i stepen pojačanja PGA.

F2 — **Print volts/SI units** (izlaz u voltima/SI jedinicama). Promena načina proračuna i ispisa primarnih statističkih pokazatelja u donjem prozoru. Gornji, grafički prozor uvek pokazuje napone.

F3 — **Plot with Peak – Peak/without Peak – Peak** (crtanje sa/bez prikaza ekstremnih vrednosti). Menja se način crtanja u grafičkom delu voltmetra. Bez crtanja Peak – Peak vrednosti, daje se samo srednja vrednost (Mean), a sa crtanjem Peak – Peak, pored srednje vrednosti se daju i minimalna i maksimalna izmerena vrednost. Srednja vrednost ne mora, pri tome, biti $1/2(MIN + MAX)$.

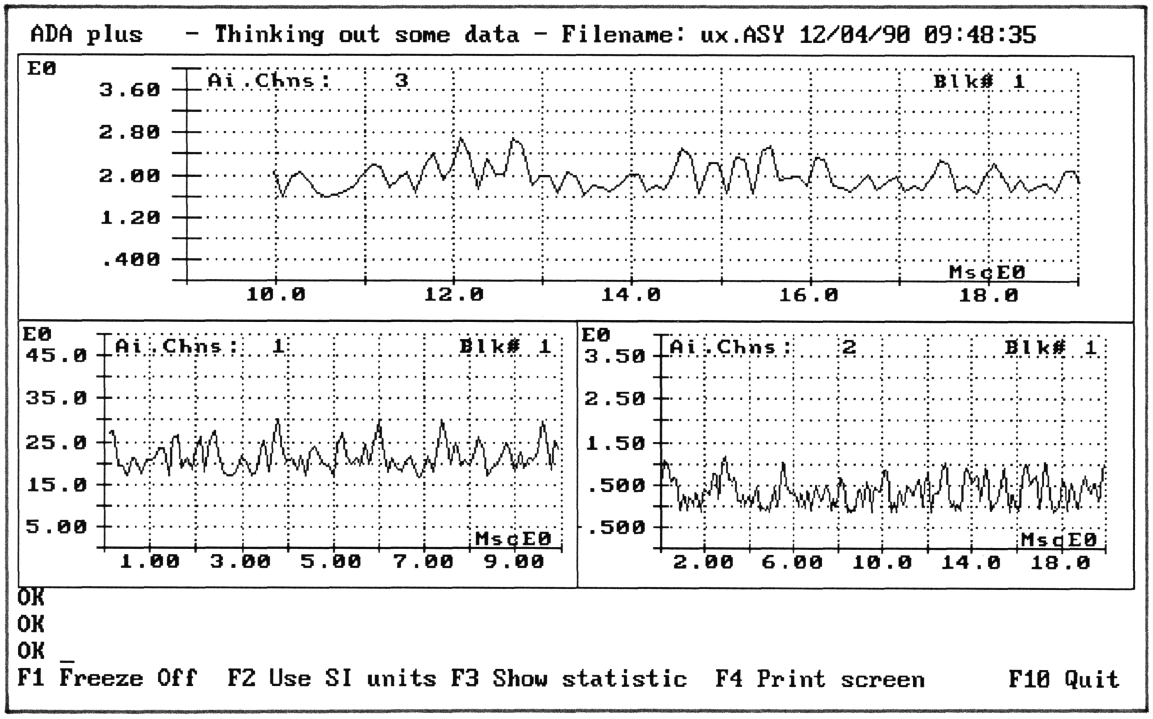
F10 — **Quit** (prekid). Izlazak iz voltmetra i povratak u akvizicioni meni. Na ekranu i u nizovima ostaju rezultati poslednje akvizicije. Zastavica `FLAG.4` pokazuje da li su ti rezultati u voltima ili SI jedinicama. Ukoliko je došlo do promene pojačanja na nekom od kanala, zastavica `FLAG.1` će biti spuštena, pokazujući da postoje neslaganja izmedju trenutno aktivnih parametara i onih snimljenih u faj pod imenom `PAR.FILE` .

Primedbe za napredne korisnike:

1. Ukoliko se želi promeniti način rada voltmetra po njegovom startovanju, potrebno je promeniti u reči `GO.VOLTMETER` inicijelno setovanje pomoćnih zastavica 3, 5 i 7.
2. U reči `AUTORANGING` se proveravaju izmereni *naponi* da li su u opsegu ± 0.4 do ± 4.98 V. Dati opseg se može promeniti editovanjem reči `AUTORANGING`.

9.5 Osciloskop

Pritiskom na **F5** u akvizicionom meniju, startuje se osciloskop. Osciloskop u potpunosti koristi parametre odredjene menijem parametara akvizicije i praktično predstavlja beskrajnu petlju akvizicije i grafičke rutine.



Slika 9.9: Ekran pri radu osciloskopa

Na slici 9.9 je dat tipičan ekran u toku rada osciloskopa. Komandovanje radom je izvedeno preko funkcijskih tastera, pri čemu su njihove funkcije:

F1 — **Freeze Off/On** (zamrzni sliku da/ne). Trenutno zaustavlja/nastavlja beskrajnu petlju na grafičkoj rutini kako bi korisnik mogao bolje da pogleda rezultate, pregleda primarnu statistiku ili odštampa ekran.

F2 — **Use Volts/SI units** (upotrebljavaj napon/SI jedinice). Menja način prikaza na ekranu kao i način obračuna primarne statistike.

F3 — **Show statistic** (prikaži statistiku). Za trenutno obavljenu akviziciju, obračunava statistiku i prikazuje je. Statistika se inače ne računa ukoliko se ne pritisne **F3**, da se ne bi gubilo u vremenu.

F4 — **Print screen** (odštampaj ekran). Ako je priključen printer, moguće je odštampati trenutni ekran radi trajnog čuvanja merenih rezultata.

F10 — **Quit** (prekid). Izlazak iz osciloskopa i povratak na akvizicioni meni. Na ekranu i u nizovima ostaje zadnja obavljena akvizicija. Zastavica 4 (`FLAG.4`) pokazuje da li su rezultati u naponima ili u SI jedinicama.

Primedbe za napredne korisnike:

1. Da bi se što više ubrzao proces akvizicije, voditi računa da za kvalitetan prikaz nije potrebno više od 512 tačaka. Manja dužina niza koji se crta znači veću brzinu crtanja i rada osciloskopa.
2. Ukoliko se želi promeniti način rada osciloskopa po njegovom startovanju, potrebno je promeniti u reči `GO.OSC` inicijelno setovanje pomoćne zastavice 7 (`FLAG.7`).

9.6 Spektralni analizator

Pritiskom na **F6** u akvizicionom meniju, startuje se spektralni analizator. Spektralni analizator u potpunosti koristi parametre odredjene menijem parametara akvizicije i praktično predstavlja beskrajnu petlju akvizicije, brze Fourier–ove transformacije (FFT) i grafičke rutine.

Na slici 9.10 je dat tipičan ekran u toku rada spektralnog analizatora. Komandovanje radom je izvedeno preko funkcijskih tastera, pri čemu su njihove funkcije:

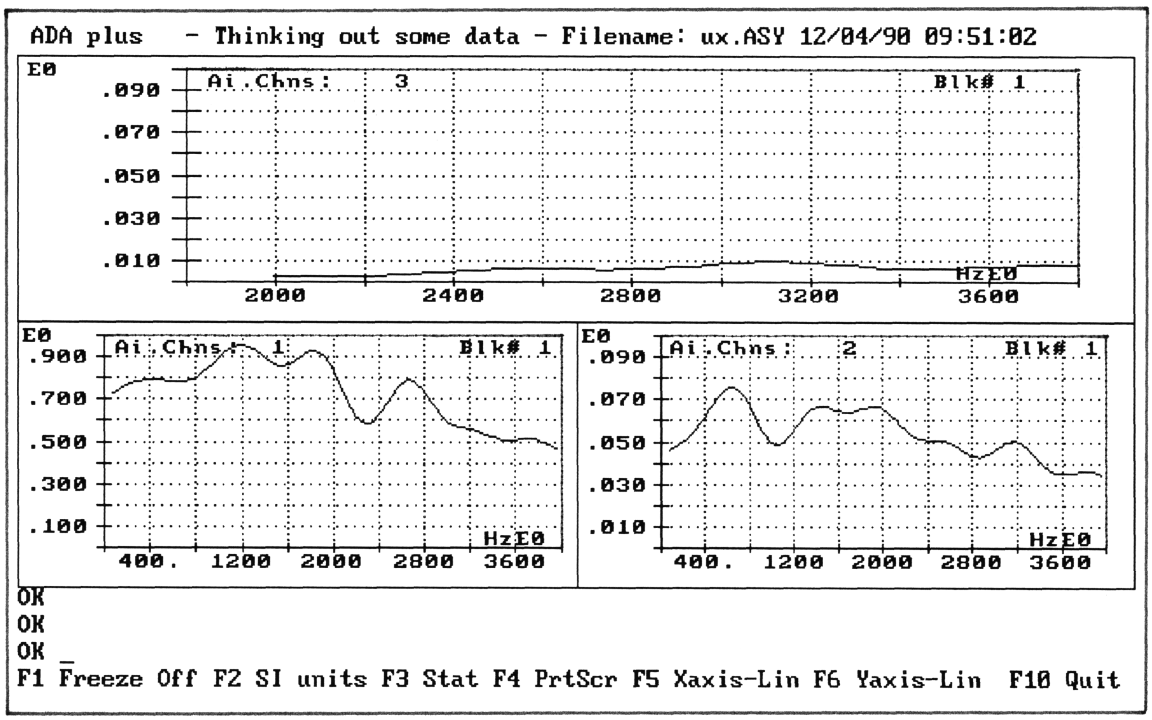
F1 — **Freeze Off/On** (zamrzni sliku da/ne). Trenutno zaustavlja/nastavlja beskrajnu petlju na grafičkoj rutini kako bi korisnik mogao bolje da pogleda rezultate, pregleda primarnu statistiku snimljenih podataka u vremenskom domenu ili odštampa ekran.

F2 — **Volts/SI units** (upotrebljavaj napon/SI jedinice). Menja način prikaza na ekranu kao i način obračuna primarne statistike.

F3 — **Stat(istic)** (prikaži statistiku). Za trenutno obavljenu akviziciju, obračunava statistiku u vremenskom domenu i prikazuje je. Statistika se inače ne računa ukoliko se ne pritisne **F3**, da se ne bi gubilo u vremenu.

F4 — **Pr(in)t scr(een)** (odštampaj ekran). Ako je priključen printer moguće je odštampati trenutni ekran radi trajnog čuvanja merenih rezultata.

Xaxis – **Lin/Log** (X osa linearna/logaritamska). Promena podele X ose sa linearnog na logaritamski prikaz i obrnuto. Ova promena se odnosi na sve trenutno aktivne prozore.



Slika 9.10: Ekran pri radu spektralnog analizatora

Yaxis – Lin/Log (Y osa linearna/logaritamska). Promena podele Y ose sa linearnog na logaritamski prikaz i obrnuto. Ova promena se odnosi na sve trenutno aktivne prozore.

F10 — Quit (prekid). Izlazak iz spektralnog analizatora i povratak na akvizicioni meni. Na ekranu i u nizovima ostaje zadnja obavljena akvizicija (u vremenskom domenu). Zastavica 4 (`FLAG.4`) pokazuje da li su rezultati u naponima ili u SI jedinicama.

Primedbe za napredne korisnike:

1. Promena podele duž Y ose može izazvati poruku `Error no: 153 Check VUPORT-s parameters`. To se dešava ukoliko je u meniju parametara akvizicije, pri definisanju parametara prozora za crtanje, zadato **Ymin** ≤ 0.0

2. Rezultati akvizicije u nizovima su u naponima ili SI jedinicama, ali uvek u vremenskom domenu.

3. `FFT` reč radi isključivo sa nizovima dužine 2^n. Niz dužine k , $2^{n-1} \leq k \leq 2^n$ se skraćuje na prvih 2^{n-1} članova. Kako bi se sačuvao ceo niz dužine k, definisana je reč `FOURIER.1`, koja niz dopuni sa nulama sa leve i desne strane, do dužine 2^n, i poziva reč `FFT`.

4. Ukoliko je odabrano vreme izmedju dve konverzije `DELTA.T` milisekundi, tada je maksimalna frekvencija koja se može prikazati $f_{max} = 1/2 \times 1000./$`DELTA.T` [Hz], odnosno izraženo preko broja uzoraka $f_{max} = 1/2 \times$ `NO.SAMPS`. Takodje, maksimalna rezolucija je $\Delta f = 1000./($`NO.SAMPS` $\times$ `DELTA.T`$)$ [Hz], odnosno, izraženo preko broja uzoraka $\Delta f = 1$.

   S obzirom na obimnost proračuna, korisnik treba primenom datih izraza da pronadje kompromis izmedju potrebne rezolucije, maksimalne frekvencije i vremena izmedju dva prikaza.

5. Spektralni analizator koristi funkciju taperinga (odsecanja krajeva serije) kosinusnim zvonom (Hann-ov prozor) sa 10% . Ukoliko se želi, moguće je povećati učinak taperinga promenom vrednosti varijable `SET.DEG.OF.TAPERING` editovanjem reči `GO.SPECTRUM.ANALYSER` .

6. Inicijelno setovanje X i Y ose sa linearnog na logaritamski prikaz moguće je izvesti promenom vrednosti varijabli `X.AXIS.TYPE` i `Y.AXIS.TYPE` sa `0` na `1`, u reči `GO.SPECTRUM.ANALYSER`. Takodje, promenom stanja zastavice 7 (`FLAG.7`) može se postići primena napona odmah po startovanju sistema, a promenom varijable `CURR.CUTOFF.FREQ` sa `0` na `0.03 ...0.5` može se postići filtriranje (osrednjavanje) prikaza u frekventnom domenu.

9.7 Grafički prikaz rezultata akvizicije

Poslednja funkcija u akvizicionom meniju **F8** je predvidjena za grafički prikaz podataka koji su prethodno bili snimljeni na disk. Pri tome je prikaz ograničen samo na one podatke čiji su parametri akvizicije istovetni sa trenutno aktivnim parametrima. Takodje, prikaz je moguć samo u trenutno aktivnim prozorima, na način kako je to definisano u meniju parametara akvizicije. Za prikaz bilo kog fajla, potrebno je preći u meni analize i koristiti mnogo kvalitetnije funkcije za crtanje.

Osnovni razlog uvodjenja ove funkcije je omogućavanje brzog pregleda rezultata dobijenih akvizicijom sa drugim načinom prelaska sa bloka na blok (Delayed block advance mode), jer u tom modu nije moguć prikaz podataka u toku akvizicije. Pri tome se aktivni parametri akvizicije ne menjaju, tako da je moguće prelaziti sa funkcije akvizicije **F3** na funkciju grafičkog prikaza **F8** i nazad bez problema.

Pritiskom na taster **F8**, otvara se prozor sa zahtevom da unesemo ime fajla (sa ekstenzijom .ASY) čije podatke treba nacrtati. Nakon provere da li se slažu parametri akvizicije snimljenog fajla i trenutno aktivni (proverava se ime fajla iz varijable `PAR.FILE`), učitava se podatak o broju snimljenih blokova i zahteva unos broja bloka koji treba učitati (slika 9.11, ili `0` za prekid rada.

```
Name of experiment in file ada-test.ASY is:
Fluktuacije brzina i pritisaka nizvodno od reg. zatvaraca
Number of acquired data block(s) is ............. 4
Enter data block number to load (0 to terminate): 1_
```

Slika 9.11: Učitavanje rezultata akvizicije sa diska

Po završenom iscrtavanju traženog bloka, moguć je pregled podataka primarne statistike. Nastavak rada korisnika vraća na prozor sa slike 9.11, sa zahtevom da se unese broj novog bloka.

Primedbe za napredne korisnike:

1. Završetkom funkcije grafičkog prikaza u nizovima čiji je `AI.SAVE = 1` ostaju rezultati zadnjeg učitanog bloka. Varijabla `CURR.BLOCK` je jednaka broju tog bloka, varijabla `PRIM.STAT` ostaje sa podacima o primarnoj statistici istog bloka, a varijabla `DATA.FILE` ima ime zadnjeg učitanog fajla.
2. U prozoru {`FI.NAME`} (gornji desni prozor) je uvek upisano ime trenutno aktivnog fajla sa datumom i vremenom njegovog kreiranja.
3. Reč koja obavlja kompletnu funkciju grafičkog prikaza je `PLOT.3`

Glava 10

Meni analize rezultata akvizicije u programu ADA^+

10.1 Opšte napomene

```
ADA plus                                Filename: ada-test.ASY 12/04/90 10:08:21

      ==================================================================
      ==================================================================


              AAAA  DDDDDDDD    AAAA        ==============================
             AA AA   DD    DD   AA AA
            AA  AA   DD     DD  AA  AA
           AA   AA   DD     DD  AA   AA        PPPPP  L      U   U  SSSSS
          AAAAAAAA   DD     DD  AAAAAAAA       P   P  L      U   U  S
         AA     AA   DD     DD  AA     AA      PPPPP  L      U   U  SSSSS
        AA      AA   DD    DD   AA      AA     P      L      U   U      S
       AA       AA  DDDDDDDD    AA       AA    P      LLLLL  UUUUU  SSSSS


      ==================================================================
      ==================================================================


OK
OK
OK
OK _
F1 HELP F2 Show F3 VUPAR F4 PLOT F5 FFT F6 HIST F7 LOAD F8 SAVE F9 Dos F10 Quit
```

Slika 10.1: Meni analize rezultata akvizicije

Startovanjem programa ADA^+ i pritiskom na **F3** u glavnom meniju, prelazi se u deo programa za analizu podataka dobijenih akvizicijom i smeštenih na disk u

binarni fajl sa ekstenzijom .ASY . Na raspolaganju su sledeće funkcije:

F2 — **Show** - Pregled osnovnih parametara akvizicije

F3 — **VUPAR** - Definisanje parametara prozora za crtanje

F4 — **PLOT** - Prikaz rezultata akvizicije u vremenskom domenu

F5 — **FFT** - Prikaz rezultata akvizicije u frekventnom domenu

F6 — **HIST** - Prikaz raspodele rezultata akvizicije – histogram

F7 — **LOAD** - Učitavanje rezultata akvizicije sa diska

F8 — **SAVE** - Snimanje rezultata akvizicije u ASCII fajl

F9 — **Dos** - DOS interfejs

F10 — **Quit** - Povratak u glavni meni

Za korišćenje svih definisanih funkcija, kao i dogradnju novih, nisu potrebni dodatni softverski drajveri (PCI46S-4, INTPCI) kao ni merna oprema. Potrebno je jedino, ukoliko se koristi ploter, pre startovanja programa *ADA*$^+$ definisati komunikacione parametre naredbom `MODE` .

Dok deo programa *ADA*$^+$ za akviziciju skoro u potpunosti eliminiše potrebu za intervencijama korisnika na nivou ASYST-a, dotle deo za analizu i ne pokušava da pokrije sve moguće potrebe korisnika, već mu samo stavlja na raspolaganje par dodatnih funkcija koje se najčešće koriste (kvalitetnije grafičke funkcije, Fourier–ova analiza, crtanje histograma, korelacija). Pokušaj da se programom *ADA*$^+$ pokriju svi mogući zahtevi korisnika za analizom merenih rezultata, (ako je to uopšte moguće), doveo bi do stvaranja novog programskog jezika. Zbog toga je usvojena koncepcija da korisnik svoje specifične zahteve rešava na nivou ASYST-a, koristeći kompletno radno okruženje programa *ADA*$^+$ ili da snimljene podatke prebaci u ASCII fajl i obradi ih na nekom drugom programskom jeziku.

10.2 Učitavanje rezultata akvizicije sa diska

Startovanjem programa *ADA*$^+$ i prelaskom na meni analize, ne obavlja se inicijalizacija sistema. U tom trenutku su svi parametri akvizicije setovani na svoje početne vrednosti kako je to odredjeno podprogramom ADAVAR2.SUB i nisu kreirani nizovi `ARR.N` . Izborom funkcije **F7**, učitavanje rezultata akvizicije sa diska, kao i unošenjem imena željenog fajla sa rezultatima merenja, učitava se ime fajla sa parametrima akvizicije iz tog fajla, a zatim se učitavaju i sami parametri akvizicije i inicijalizuje

sistem. Nakon uspešne inicijalizacije, zahteva se unos odredjenog bloka podataka ili `0` za prekid (slika 9.11).

Za ispravan rad programa *ADA*$^+$, neophodno je da se u radnom direktorijumu nalaze pored fajlova sa rezultatima akvizicije (.ASY) i fajlovi sa parametrima akvizicije (.PAR) . Ukoliko *ADA*$^+$ ne pronadje potreban .PAR fajl, javiće poruku: `There is no file IME.PAR on current disk`, a nakon toga upozorenje: `WARNING! Data are not loaded into program`.

Primedbe za napredne korisnike:

1. Voditi računa da se u toku akvizicije snimaju samo kanali (nizovi) čiji je `AI.SAVE = 1`, a statistički podaci za sve kanale. Shodno tome, i prilikom učitavanja odredjenog bloka podataka, mada se kreiraju svi nizovi, nizovi čiji je `AI.SAVE = 0` će biti `0`, a učitani su samo oni čiji je `AI.SAVE = 1` .

2. Za razliku od funkcije **F7** u akvizicionom meniju, ovde je moguće učitati bilo koje podatke, bez obzira na uslove pod kojima je izvršena akvizicija (sve dok postoji odgovarajući .PAR fajl na disku). Ukoliko se u toku rada programa zahteva reinicijalizacija parametara akvizicije i formiranje novih nizova `ARR.N` , poziva se funkcija `FORGET ARRAY.1` koja briše stare nizove, ali isto i sve definicije varijabli i novih reči nastale posle poslednje inicijalizacije. Da bi se prevazišao ovaj problem, potrebno je da korisnik sve svoje nove funkcije učita odmah posle pokretanja programa *ADA*$^+$, u glavnom meniju, ili da ih učita nakon svake nove inicijalizacije.

3. U fajlu ADAVAR1.SUB su definisane izvršne varijable (u "žargonu" ASYST-a Execution Variables) `ARR.1 ...ARR.8`. Takodje, definisana je i reč `CREATE.ARRAYS`, koja u toku inicijalizacije parametara akvizicije, formira potrebne nizove `ARRAY.1 ARRAY.2 ARRAY.3` (ako je, na primer, broj kanala 3), i "instalira" (ugradi) ih u izvršne varijable `ARR.1 ARR.2 ARR.3`. Zaboravljanjem nizova, prilikom reinicijalizacije, koristi se reč `FORGET.ARRAYS` koja briše varijable `ARRAY.1 ARRAY.2 ARRAY.3` , a u izvršne varijable instalira funkciju `NOP` (No OPeration).

4. Učitavanje rezultata akvizicije sa diska je rešeno na prilično komplikovan način. Funkcija **F7** poziva reč `READ.ASY.DATA.4` koja prvo pozove `READ.ASY.DATA.1` radi unosa imena fajla, provere akvizicionih parametara i ako je potrebno učitavanje novih parametara sa diska i reinicijalizacije sistema, kao i provere iz kog se menija poziva (ako se poziva iz menija 2 - Akvizicioni meni, ne dozvoljava se promena parametara akvizicije). Reč `READ.ASY.DATA.1` na simbol steku ostavlja `True` ili `False` u zavisnosti od toga da li se može nastaviti sa procedurom učitavanja podataka ili ne. Sledeći je poziv reči `READ.ASY.DATA.3` , koja zahteva unos broja bloka koji treba učitati. Konačno čitanje rezultata sa diska se obavlja u reči `READ.ASY.DATA.2` , koja zahteva na numeričkom steku ispravan broj bloka, a na simbol steku ime fajla. Reč `READ.ASY.DATA.2` ne proverava ni jedan od podataka sa stekova i smatra da je sistem ispravno inicijalizovan.

5. Reč `READ.ASY.DATA.1` , prilikom učitavanja parametara akvizicije, neće učitati i definicije prozora za crtanje, iako te definicije postoje u fajlu .PAR . Definicije prozora za crtanje se učitavaju samo u meniju parametara akvizicije.

10.3 Snimanje rezultata akvizicije u ASCII fajl

Pozivom funkcije snimanja rezultata akvizicije u ASCII obliku, **F8**, podaci se iz bilo kog binarnog .ASY fajla mogu učiniti dostupnim drugim programima za dodatnu obradu. Prilikom kreiranja ASCII fajlova, kreiraju se:

IME1.APA Fajl sa akvizicionim parametrima, bez podataka o prozorima za crtanje

IME2.STA Fajl sa primarnim statističkim podacima za sve blokove i sve kanale

IME2.DAT Fajl sa kompletnim rezultatima merenja za sve blokove i sve snimljene kanale. Fajl se ne kreira automatski, već se zahteva dopunska potvrda korisnika. Pored rezultata akvizicije, moguće je u prvu kolonu dodati i niz koji pokazuje vreme uzorkovanja (Time Stamp)

Kao primer izlaznog formata, u nastavku su dati listinzi sva tri fajla. Podaci o korišćenim senzorima i kalibraciji su izmišljeni, a rezultati uzorkovanja su generisani od strane samog programa *ADA*$^+$. Prvo se daje fajl sa akvizicionim parametrima IME1.APA:

```
11/24/90  23:48:18
EXPERIMENTATOR:   Dusan Prodanovic
EXPERIMENT TITLE: Primer rada programa ADA
COMMENT ABOUT THE EXPERIMENT (3 LINES):
Podaci su generisani od strane programa ADA, kao zbir  od
nekoliko sinusoida slucajne frekvencije i amplitude. Samo
kao primer rada programa ADA
USER COMMENT ABOUT  CH. 1 Prva merna velicina
MEASURING QUANT. ON CH. 1 Test-1
SENSOR TYPE USED ON CH. 1 Test1
USER COMMENT ABOUT  CH. 2 Druga merna velicina
MEASURING QUANT. ON CH. 2 Test-2
SENSOR TYPE USED ON CH. 2 Test2
USER COMMENT ABOUT  CH. 3 Treca merna velicina
MEASURING QUANT. ON CH. 3 Test-3
SENSOR TYPE USED ON CH. 3 Test3
USER COMMENT ABOUT  CH. 4 Cetvrta merna velicina
MEASURING QUANT. ON CH. 4 Test-4
SENSOR TYPE USED ON CH. 4 Test4
- ACQ.TYPE, NO.CHNS, NO.SAMPS, TR.TYPE DELTA.T(MILISEC)
 1  4  10  0  .1000
 3   2   0   6    - AI.CHNS
 1   1   1   1    - AI.GAINS
 1   1   1   1    - AI.SAVE
- CAL.POLY FOR CH. 1
 1.0000  2.00000E0   0.00000E-1  0.00000E-1  0.00000E-1  0.00000E-1
- CAL.POLY FOR CH. 2
 1.0000  1.50000E0  -1.00000E0   2.38300E-1 -3.57600E-3 -8.04000E-2
```

```
- CAL.POLY FOR CH. 3
 2.0000  1.00000E-1  2.00000E0  -3.00000E-1  0.00000E-1  0.00000E-1
- CAL.POLY FOR CH. 4
 4.0000  1.00000E-2 -4.00000E-1  1.10000E0   4.00000E-1  1.98000E-1
```

Fajl sa osnovnim statističkim pokazateljima akvizicije izvedene pri uslovima definisanim u fajlu IME1.APA, sadrži ime fajla sa akvizicionim parametrima, broj snimljenih blokova podataka, kao i broj mernih kanala. Za svaki blok podataka se daje njegov redni broj, kao i vreme početka akvizicije. Kolona jedan predstavlja redni broj kanala, kolona dva srednju vrednost u SI jedinicama, kolona tri koren srednje kvadratne vrednosti, kolona četiri odstojanje od minimalne do maksimalne vrednosti, kolona pet standardnu devijaciju a kolona šest indikaciju da li je u toku akvizicije došlo do prekoračenja maksimalnog opsega korišćenog hardvera.

```
C:ime1.APA   - ASCII file with acquisition parameters
 2   - Number of acquired data blocks
 4   - Number of scaned data channels
 1  23:45:59 11/24/90
 1  1.58071E0   1.69636E0   1.73606E0   6.15635E-1  .0
 2  1.54977E-1  2.54764E-1  5.91224E-1  2.02205E-1  .0
 3  2.40307E0   2.59904E0   2.76854E0   9.90070E-1  .0
 4  1.69929E0   1.73264E0   1.00787E0   3.38328E-1  .0
 2  23:46:23 11/24/90
 1  1.94305E0   2.03128E0   1.71478E0   5.92182E-1  .0
 2  2.80253E-1  6.82003E-1  1.78749E0   6.21761E-1  .0
 3  1.83111E0   1.97348E0   2.17172E0   7.35996E-1  .0
 4  1.62073E0   1.65434E0   1.03939E0   3.31779E-1  .0
```

Fajl sa kompletnim rezultatima akvizicije, zajedno sa vremenima obavljene konverzije IME2.DAT sadrži ime fajla sa akvizicionim parametrima, broj snimljenih blokova podataka kao i broj mernih kanala. U sledećem redu se daje indikacija koji od kanala je snimljen kao kompletan vremenski niz (ako je broj 0 – snimljeni su samo osnovni statistički pokazatelji, 1 – snimljen je kompletan vremenski niz). Takodje, daje se i indikacija da li je u prvoj koloni zapisano vreme uzorkovanja ili ne. Početak svakog bloka podataka daje redni broj bloka kao i vreme početka uzorkovanja tog bloka. Svi podaci su u SI jedinicama, složeni u kolonama, u eksponencijalnom formatu:

```
C:ime1.APA
 2   - Number of acquired data blocks
 4   - Number of scanned data channels
 1   1   1   1   - List of saved channels
 1   - First column is time stamp in milliseconds
 1  23:45:59 11/24/90
 .10  2.70377E0  2.98474E-1  4.28876E0  2.29781E0
 .20  2.59317E0  3.83833E-1  4.08162E0  2.28045E0
 .30  1.44912E0 -1.15075E-1  1.69087E0  1.40523E0
 .40  1.06693E0  1.63699E-1  2.90226E0  1.64052E0
 .50  1.38830E0  4.09673E-1  2.62884E0  1.28994E0
 .60  1.32967E0  4.87065E-2  1.81740E0  1.60341E0
 .70  9.6770E-1 -3.44920E-3  1.52022E0  1.38325E0
```

```
 .80  9.8938E-1  3.74348E-1  1.61047E0  1.67840E0
 .90  1.22101E0  1.71115E-1  1.79650E0  1.90888E0
1.00  2.0980E0 -1.81550E-1  1.69380E0  1.50499E0
2  23:46:23 11/24/90
 .10  2.98910E0  1.06717E0   2.73881E0  2.19395E0
 .20  2.74491E0  1.54105E0   2.18971E0  2.25361E0
 .30  1.33264E0  9.90400E-1  1.13460E0  1.43409E0
 .40  2.17056E0  7.80634E-2  1.03967E0  1.56981E0
 .50  1.29979E0 -1.52813E-1  2.41403E0  1.54726E0
 .60  2.19613E0 -1.26285E-1  3.21139E0  1.21422E0
 .70  2.02008E0 -2.46433E-1  1.89506E0  1.62282E0
 .80  1.27432E0 -1.90145E-1  1.21530E0  1.24958E0
 .90  1.31576E0 -4.88371E-2  1.14437E0  1.46434E0
1.00  2.0871E0 -1.09642E-1  1.32813E0  1.65764E0
```

Primedbe za napredne korisnike:

1. Potrebno vreme za kreiranje fajla IME2.DAT je znatno duže od vremena potrebnog za sličan fajl u binarnom formatu (.ASY).
2. Fajl IME2.DAT zahteva više prostora na disku od odgovarajućeg binarnog fajla (.ASY). Funkcija **F8** će pokušati da proceni potreban prostor, i ako na disku nema dovoljno mesta javiće poruku: `There isn't enough space on your disk. File is not created.`.

   Procena dužine .DAT fajla se može korigovati editovanjem linije iza `?DISK.FREE` komande u reči `SAVE.AS.ASCII`. Rezultat proračuna dužine fajla treba da ostane na vrhu steka.
3. Zastavica 10 (`FLAG.10`) kontroliše da li je .APA fajl već snimljen na disk ili ne (kao i `FLAG.1` za .PAR fajl). Na taj način, uzastopnim prebacivanjem više .ASY fajlova koji koriste isti .PAR fajl, *ADA*$^+$ će samo jedanput kreirati .APA fajl.
4. Po izlasku iz funkcije **F8**, varijabla `CURR.BLOCK` ima vrednost `NO.BLOCKS` a niz `PRIM.STAT` i `ARR.N` rezultate zadnjeg bloka. Sistem je, takodje, inicijalizovan prema podacima iz zadnjeg učitanog .PAR fajla, ali bez promene parametara prozora za crtanje.
5. Promena formata izlaznih datoteka se postiže editovanjem reči `SAVE.AS.ASII` (only for ASYST wizards)

10.4 Pregled osnovnih parametara akvizicije

S obzirom da je u meniju analize moguće učitati bilo koji fajl dobijen akvizicijom, predvidjena je i funkcija pregleda osnovnih parametara koji su važili u trenutku kada je kreiran fajl sa rezultatima akvizicije koji se analiziraju. Takodje, moguć je i pregled osnovnih statističkih veličina (srednja vrednost, RMS, Peak – Peak i σ).

Pritiskom na **F2** u meniju analize, prelazi se u meni prikaza parametara akvizicije u kome su aktivne samo funkcije:

F2 — ACQ.PAR - Pregled parametara akvizicije. Koristi se isti prozor i format

ispisa kao i u meniju parametara akvizicije, samo što nije moguće menjati podatke.

F3 — **STAT** - Pregled osnovnih statističkih veličina, sračunatih u fazi akvizicije i sačuvanih u .ASY fajlu.

F9 — **Dos** - DOS interfejs

F10 — **Quit** - Povratak u meni analize

10.5 Definisanje parametara prozora za crtanje

U meniju analize, omogućeno je učitavanje bilo kog fajla dobijenog akvizicijom. Istovremeno, sa učitavanjem rezultata akvizicije, učitavaju se i parametri akvizicije, iz fajla .PAR , s time što se ne učitavaju i parametri prozora za crtanje. Na taj način, korisniku je omogućeno da u fazi analize, kreira nove parametre prozora za crtanje, koji se neće menjati prilikom svakog novog učitavanja .PAR fajla.

Pritiskom na **F3** aktivira se funkcija promene parametara prozora za crtanje. Sve komande i objašnjenja koja su data za funkciju **F3** u meniju parametara akvizicije, važe i ovde (objašnjenje dato u tački 9.2.2). Pri tome, treba se podsetiti da su prva četri prozora rezervisana za ekran (prozori 1 – 4), a druga četri za ploter (prozori 5 – 8). Prilikom inicijalizacije prozora, ukoliko je tražen izlaz na ploter, neophodno je da ploter bude priljučen, upaljen i korektno setovan za serijsku komunikaciju (vidi primedbe u tački 8.3). U suprotnom, program *ADA*$^+$ će se zaglaviti i jedino rešenje je pritisak na `Ctrl Break`.

10.6 Prikaz rezultata akvizicije u vremenskom domenu

Pritiskom na taster **F4** u meniju analize, otvara se prozor sa trenutno aktivnim parametrima za crtanje nizova učitanih funkcijom **F7** (slika 10.2).

Promena pojedinih parametara se odvija tako, što se prvo izabere parametar koji se menja pritiskom na odgovarajuće slovo (na primer, za promenu niza koji se crta, pritiskom na slovo **A**), i potom unese potrebna vrednost. Većina unetih podataka se odmah proverava, i ako je izvan dozvoljenih granica ne prihvata se.

Objašnjenje parametara u prozoru:

A — **data Array for plotting** (niz za crtanje). Potrebno je uneti redni broj niza, odnosno mernog kanala, koji se želi crtati. Pri tome, nije moguće uneti niz koji nije snimljen (čiji je `AI.SAVE = 0`).

```
Plotting parameters for data block nr. 1

data Array for plotting (1-3) - 2  [ Brzina u tacki [m/s] ]
          using Vuport (0-8)  - 2
            with Color (0-16) - 4

plot Over existing drawing (1-Yes, 0-No) - 0
Smooth output plot (0-No, 0.03-0.5 Set cutoff frequency) - .0000

Y axis label: [                        ] positioned at : .0000 , .0000

Press   A - V - C - O - S -  Y   to change, G to Go, Q to Quit plot_
```

Slika 10.2: Aktivni parametri za prikaz nizova u vremenskom domenu

Ograničenje: Samo nizovi koji su snimljeni
Korišćena varijabla: `INTEGER SCALAR CURR.ARRAY`

V — using Vuport (koristeći prozor). Unosi se broj prozora u kome se crta izabrani niz. Podatak je vezan uz izabrani niz koji se crta. Unošenjem prozora broj `0`, izabrani niz se ne crta.
Ograničenje: Uneti broj od 0 do 8
Korišćena varijabla: `INTEGER DIM[ 12 ] ARRAY AI.VUPORTS`

C — with Color (sa bojom). Uneti redni broj boje kojom se crta izabrani niz. Podatak je vezan uz izabrani niz koji se crta.
Ograničenje: Uneti broj od 0 do 16
Korišćena varijabla: `INTEGER DIM[ 12 ] ARRAY AI.COLORS`

O — plot Over existing drawing (crtati preko postojećeg crteža). Podatak ukazuje na to da li je potrebno inicijalizovati uredjaj za crtanje, nacrtati ose i labele, ili samo nacrtati niz. Ukoliko se prvi put crta, obavezan je odgovor `0 - No`.
Ograničenje: Uneti 0 ili 1
Korišćena varijabla: `INTEGER SCALAR OVER.PLOT.O`

S — Smooth output plot (filtrirati izlazni crtež). Za filtriranje niza se koristi konvolutivni filter (filter u vremenskom domenu), ugradjen u ASYST jezik [11]. Filtriranje se obavlja na steku, tako da podaci u nizovima ostaju ne promenjeni. Izborom opcije `0`, deaktivira se filter, dok izborom frekvencije filtriranja (**S**=`0.03 -- 0.5`) aktivira se niskopropusni filter. **S** je dato sa **S**= $f_{cutoff} \times$ `DELTA.T`/1000., gde je f_{cutoff} granična frekvencija u [Hz] a `DELTA.T` vreme izmedju dva uzorka, u milisekundama.
Ograničenje: Uneti 0, ili do 0.03 do 0.5
Korišćena varijabla: `REAL SCALAR CURR.CUTOFF.FREQ.O`

Y — Y axis label (oznaka na Y osi). Moguće je uneti tekst duž Y ose, kao i koordinate gde će se taj tekst ispisati. Koordinate su normalizovane na opseg 0.0 – 1.0, od dimenzije prozora za crtanje.
Ograničenje: Tekst do 20 slova, koordinate od 0.0 do 1.0
Korišćena varijabla: tekst `20 STRING Y.AXIS.LABEL` koordinate `REAL DIM[ 2 , 2 ] ARRAY LABEL.POSITION`

Primedbe za napredne korisnike:

1. Sve grafičke funkcije koriste iste reči za svoj rad. To su `VUPORT.INIT` za inicijalizaciju prozora, `PLOT.0` za crtanje koordinatnog sistema, i `PLOT.1` za crtanje nizova. Varijabla `X.AXIS.CNTRL` pokazuje da li se radi o crtanju u vremenskom domenu `= 0` , u frekventnom domenu `= 1` , histograma `= 2` ili korelacije `= 3` . Za kontrolu crtanja, koriste se varijable `X.AXIS.TYPE`, `Y.AXIS.TYPE`, `OVER.PLOT` i `CURR.CUTOFF.FREQ`, u koje je pre početka crtanja potrebno postaviti odgovarajuće vrednosti.
2. Kao i reči za crtanje, tako i reč za editovanje parametara crtanja, `CH.PLOT.PAR` koristi varijablu `X.AXIS.CNTRL` .
3. Za naknadna ukrašavanja crteža, predvidjena je reč `LABEL.PLOT` u kojoj takodje treba predvideti korišćenje varijable `X.AXIS.CNTRL`.
4. Pritiskom na **F4** u meniju analize, aktivira se reč `PLOT.4` , koja setuje `0 X.AXIS.CNTRL :=`, X i Y ose stavi da su linearne i pozove `VUPORT.INIT, PLOT.0, PLOT.1` i `LABEL.PLOT`.

10.7 Prikaz rezultata akvizicije u frekventnom domenu

Pritiskom na taster **F5** u meniju analize, otvara se prozor sa trenutno aktivnim parametrima za analizu i prikaz podataka u frekventnom domenu, nizova učitanih funkcijom **F7** (slika 10.3).

```
Parameters for spectral analysis of data block nr. 1

data Array for analysis (1-3) - 2  [ Brzina u tacki [m/s] ]
          using Vuport (0-8)  - 2
            with Color (0-16) - 4
First sample - 1        Number of samples - 2048
plot Over existing drawing (1-Yes, 0-No) - 0
Smooth output plot (0-No, 0.03-0.5 Set cutoff frequency) - .0000
X axis type (0-Lin, 1-Log)       - 0
Y axis type (0-Lin, 1-Log, 2-PWR)- 0
Tapering with Hann's window  (0-1) - .5000
Press A - V - C - F - O - S - X - Y - T to change, G to Go, Q to Quit plot_
```

Slika 10.3: Aktivni parametri za prikaz nizova u frekventnom domenu

Objašnjenje parametara u prozoru:

A — data Array for analysis (niz za analizu). Potrebno je uneti niz za koji se edituju parametri analize. Pri tome, nije moguće uneti niz koji nije snimljen,

čiji je `AI.SAVE = 0` .
Ograničenje: Samo nizovi koji su snimljeni
Korišćena varijabla: `INTEGER SCALAR CURR.ARRAY`

V — using Vuport (koristeći prozor). Kao u 10.6.

C — with Color (sa bojom). Kao u 10.6.

F — First sample (prvi uzorak). Potrebno je uneti redni broj prvog uzorka sa kojim se ulazi u Fourier-ovu transformaciju. Nakon toga, unosi se i broj uzoraka za obavljanje transformacije.
Ograničenja: $1 \leq$ **First sample** $\leq$ `NO.SAMPS` – 8 , $8 \leq$ **No. samples** $\leq$ `NO.SAMPS` – **First sample**
Korišćena varijabla: `INTEGER SCALAR CURR.FIRST.SAMP CURR.NO.SAMPS`

O — plot Over existing drawing (crtati preko postojećeg crteža). Kao u 10.6.

S — Smooth output plot (filtrirati izlazni crtež). Kao u 10.6 (filtriranje je nakon Fourier-ove transformacije).

X — X axis type (tip X ose). Potrebno je uneti vrstu podele na X osi, linearnu ili logaritamsku, uz uvažavanje minimuma i maksimuma definisanih za dati prozor.
Ograničenje: Uneti broj 0 ili 1
Korišćena varijabla: `INTEGER SCALAR X.AXIS.TYPE.1`

Y — Y axis type (tip Y ose). Potrebno je uneti vrstu podele na Y osi, linearnu, logaritamsku ili logaritamsku sa dizanjem niza na kvadrat (prikaz spektra snage), uz uvažavanje minimuma i maksimuma definisanih za dati prozor.
Ograničenje: Uneti broj 0, 1 ili 2
Korišćena varijabla: `INTEGER SCALAR Y.AXIS.TYPE.1`

T — Tapering with Hann's window (odsecanje krajeva – tapering – sa Hanovim prozorom). Potrebno je uneti stepen odsecanja krajeva niza pre Fourier–ove analize. Koristi se Hannov prozor, modifikovano kosinusno zvono.
Ograničenje: Uneti od 0.0 do 1.0
Korišćena varijabla: `REAL SCALAR SET.DEG.OF.TAPERING`

Primedbe za napredne korisnike:

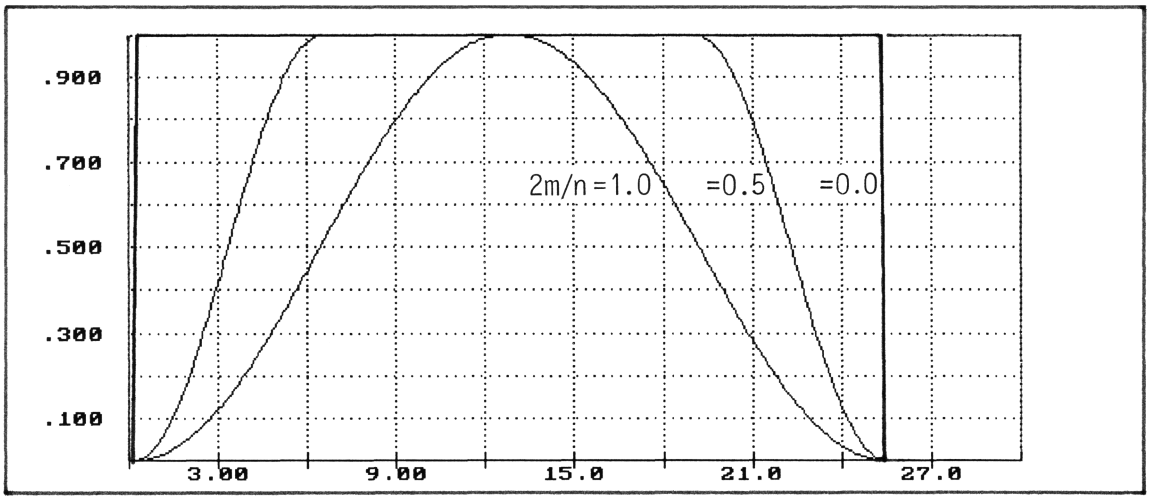
1. Ukoliko se odabere `Y.AXIS.TYPE` 1 ili 2 , neophodno je obezbediti u definiciji prozora da je **Y minimum** ≥ 0 . U protivnom, javiće se greška: `Error no: 155 Check VUPORT-s parameters.`

2. U fajlu ADAUTIL.SUB je definisana reč `HANNING` koja obavlja tapering (odsecanje krajeva serije) nad nizom koji se nalazi na steku. Tapering se obavlja množenjem niza $X(t)$ sa nizom $U(t)$. Niz $U(t)$ je definisan Hann-ovim kosinusnim zvonom:

$$U(t) = \begin{cases} 0.5 \times [1 - \cos(\frac{\pi(t-0.5)}{m}] & t = 0 \ldots m-1 \\ 1.0 & t = m \ldots n-m-1 \\ 0.5 \times [1 - \cos(\frac{\pi(n-t+0.5)}{m}] & t = n-m \ldots n-1 \end{cases} \quad (10.1)$$

   gde je n dužina vremenske serije a stepen taperinga je $2m/n$ i nalazi se u varijabli `SET.DEG.OF.TAPERING` . Na slici 10.4 je dat izgled niza $U(t)$ za različite vrednosti varijable `SET.DEG.OF.TAPERING` .

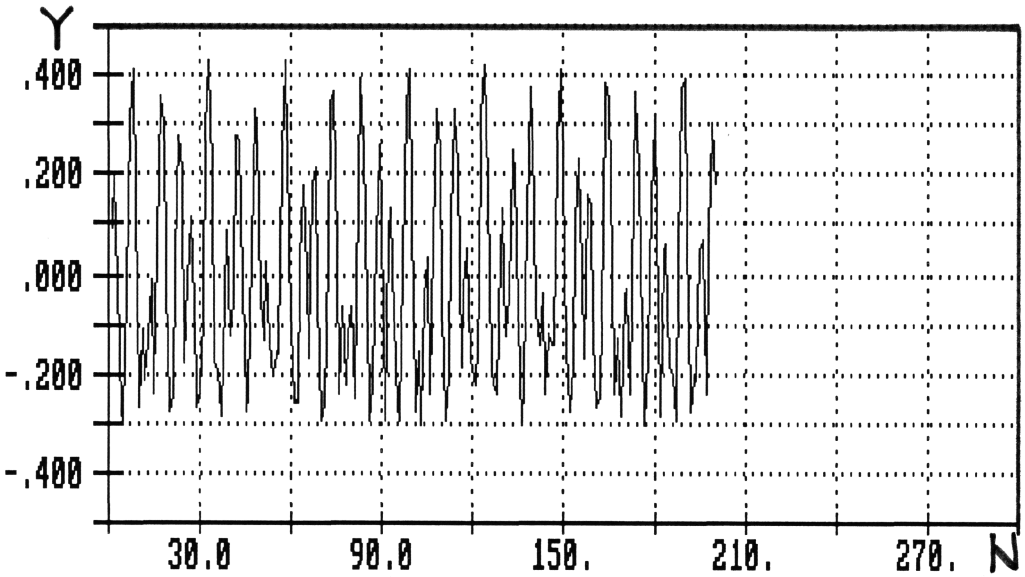
3. Na slikama 10.5 i 10.6 je prikazano šta se dogadja ukoliko se zahteva analiza niza koji je dužine k , $2^{n-1} \leq k \leq 2^n$. Originalni niz se dopunjava sa $2^n - k$ nula, i to $0.5 \times (2^n - k)$ sa leve strane niza, a $(2^n - k) - 0.5 \times (2^n - k)$ sa desne strane. *Da bi se smanjio uticaj produžavanja niza, funkcija taperinga se poziva pre produžavanja niza nulama.*



Slika 10.4: Funkcija $U(t)$ za `SET.DEG.OF.TAPERING` 0.0, 0.5 i 1.0

10.8 Prikaz raspodele rezultata akvizicije – histogram

Pritiskom na taster **F6** u meniju analize, otvara se prozor sa trenutno aktivnim parametrima za analizu i prikaz raspodele podataka, nizova učitanih funkcijom **F7** (slika 10.7).



Slika 10.5: Niz dužine 200 elemenata, $128 \leq 200 \leq 256$

Objašnjenje parametara u prozoru:

A — data Array for analysis (niz za analizu). Kao u 10.7.

V — using Vuport (koristeći prozor). Kao u 10.6.

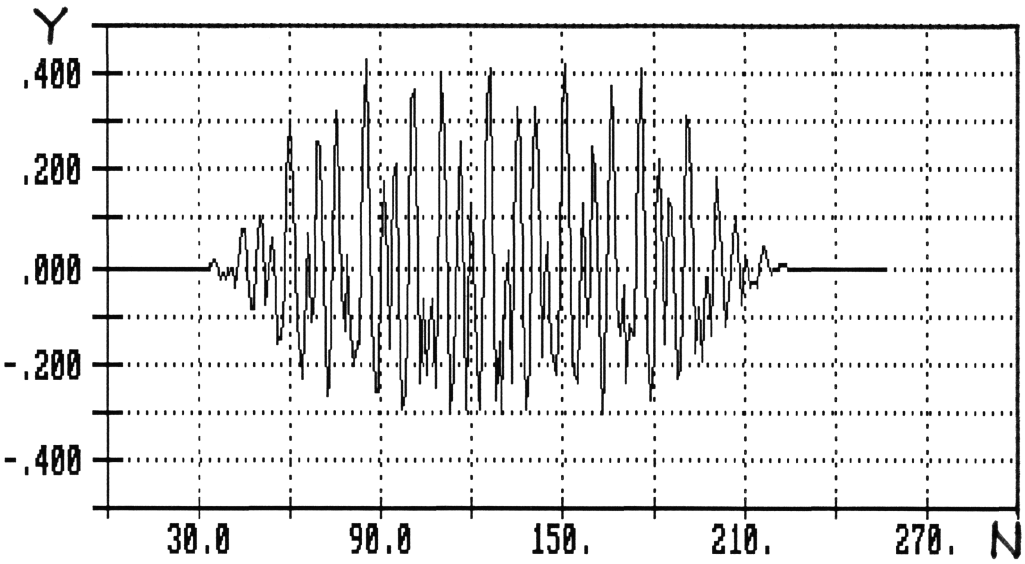
C — with Color (sa bojom). Kao u 10.6.

N — Number of histogram bars on x axis (broj klasnih intervala). Potrebno je uneti broj klasnih intervala u kojima se traži frekvencija pojavljivanja članova datog niza.
Ograničenje: Izmedju 3 i 1/5 `NO.SAMPS`
Korišćena varijabla: `INTEGER SCALAR #HISTO.POINTS`

O — plot Over existing drawing (crtati preko postojećeg crteža). Kao u 10.6.

P — Plot normal distribution over existing data with color (nacrtati normalnu
raspodelu preko postojećih podataka sa bojom). Potrebno je uneti redni broj boje kojom će se nacrtati teorijska kriva normalne raspodele, sa istom srednjom vrednošću i standardnom devijacijom kao i dati niz.
Ograničenje: Uneti od 0 do 16
Korišćena varijabla: `INTEGER SCALAR HISTO.COLOR`

X — X axis to be normalized (normalizovana X osa). Izborom normalizovane X ose, podela na X osi ide od srednje vrednosti ($\bar{X}$) pa $\pm n \times \sigma$. Ukoliko X



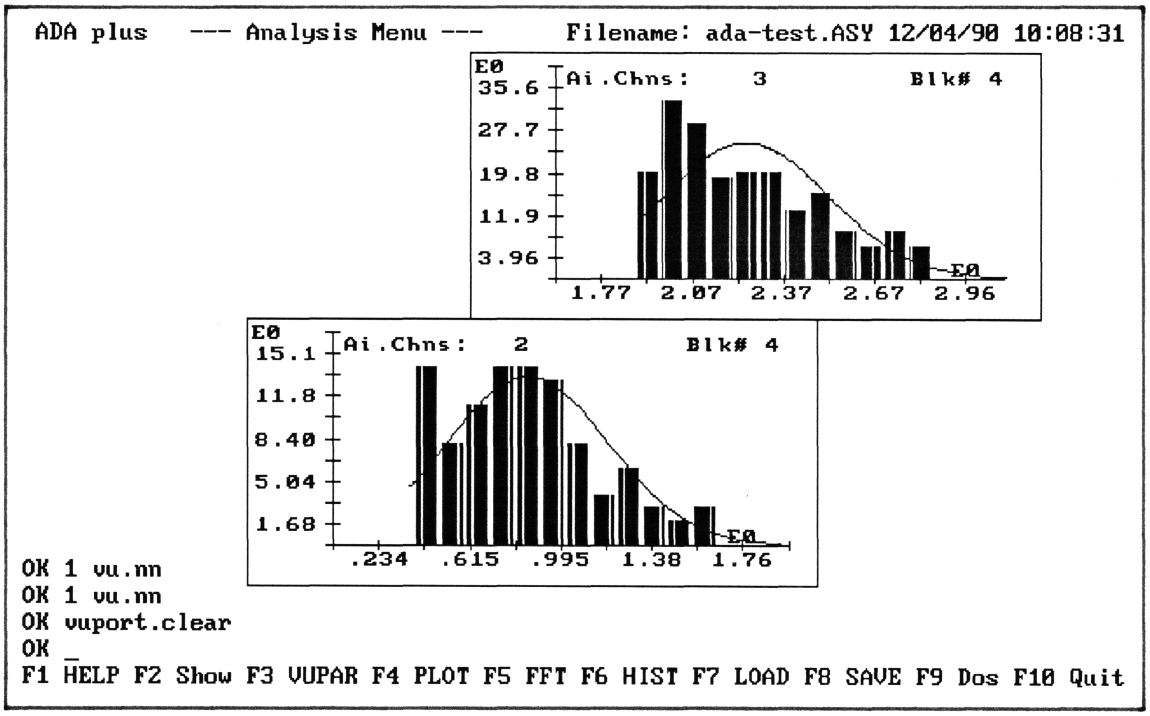
Slika 10.6: Originalni niz od 200 elemenata, dopunjen do dužine od 256 elemenata

```
Parameters for distribution analysis  of data block nr. 1

data Array for analysis (1-3)  - 2  [ Brzina u tacki [m/s] ]
          using Vuport (0-8)  - 2
            with Color (0-16) - 4
Number of histogram bars on x axis - 15
plot Over existing drawing (1-Yes, 0-No) - 0
Plot normal distribution over existing data with color (0-16) - 0
X axis to be normalized (0-No, 1-Yes) - 0
Y axis to be normalized (0-No, 1-Yes) - 0

Press A - V - C - N - O - P - X - Y to change, G to Go, Q to Quit plot_
```

Slika 10.7: Aktivni parametri za prikaz raspodele rezultata akvizicije

osa nije normalizovana, na njoj je podela prema pravim vrednostima iz datog niza.
Ograničenje: Uneti 0 ili 1
Korišćena varijabla: `INTEGER SCALAR X.AXIS.NORMAL`

Y — Y axis to be normalized (normalizovana Y osa). Izborom normalizovane Y ose, podela na Y osi ide od 0 do f_{rel} tako da je površina ispod teorijske krive jednaka jedinici. Ukoliko Y osa nije normalizovana, podela ide od 0 do stvarne frekvencije pojavljivanja u pojedinim klasnim intervalima.
Ograničenje: Uneti 0 ili 1
Korišćena varijabla: `INTEGER SCALAR Y.AXIS.NORMAL`



Slika 10.8: Primer obrade raspodele rezultata akvizicije

Primedbe za napredne korisnike:

1. Svaki klasni interval je na crtežu predstavljen pravougaonim štapićem (slika 10.8. Početak i kraj svakog klasnog intervala se bira tako da srednji štapić predstavlja srednju vrednost uzorka (ako ima neparan broj klasnih intervala, odnosno sredina izmedju dva srednja štapića ako ih ima paran broj). Širina svakog štapića je odredjena varijablom `REL.BAR.WIDTH`, koja je inicijelno setovana na 0.6 (0.6 od širine klasnog intervala).

2. Preporučuje se crtanje u jednom prozoru samo jednog niza! U protivnom, moguće je da automatska funkcija skaliranja X i Y ose ne odredi korektno parametre prozora.

10.9 Prikaz autokorelacije i kroskorelacije rezultata akvizicije

Nije ugradjeno u prvoj verziji programa *ADA*+ .

10.10 Dogradnja dela programa za analizu

Osnovna ideja pri razvoju programa *ADA*+ je bila da se pokuša stvoriti radno okruženje u kojem će korisnik početnik lako obaviti posao akvizicije podataka u

laboratoriji i osnovni grafički prikaz, dok će korisnik programer u istom okruženju moći lako da prilagodjava program svojim specifičnim zahtevima. Tokom rada u programu *ADA*$^+$, sve vreme je aktivan kursor ASYST-a, `OK` u {`COMMAND`} prozoru. Na taj način se mogu menjati sve (ili skoro sve) korišćene varijable, dopisivati nove reči i direktno programirati u ASYST-u.

Ukoliko korisnik namerava da značajnije menja osnovni deo programa *ADA*$^+$, potrebno je da nakon svake promene prodje kroz proceduru instalacije programa, uz uslov da se novi program više ne zove *ADA*$^+$, kao i da promeni fajl ADA.SCR . Takodje, preporučuje se praksa obimnog dokumentovanja i komentarisanja programa u samom listingu, sa naznakama šta je promenjeno u odnosu na osnovnu verziju programa *ADA*$^+$.

Ukoliko korisnik želi samo da dopiše nove rutine, moguće je iz programa *ADA*$^+$, a odmah nakon njegovog startovanja, učitati fajl sa novim rečima naredbom:

```
OK LOAD NEWFILE.PRG
.......................
```

Važno je uočiti da je ovo potrebno uraditi pre prvog učitavanja fajla .PAR . Razlog za to je što će se inicijalizacijom parametara akvizicije doći do formiranja privremenih nizova `ARRAY.1 ...ARRAY.8` kao i `HS.BUFFER` . Ukoliko se nakon toga učitaju definicije novih reči i kreiraju nove varijable, nove definicije će se nalaziti iznad definicije nizova. Prva sledeća reinicijalizacija nizova, obrisaće stare nizove, ali i sve iznad njih (jer ASYST ne može da zna da li neka novodefinisana reč koristi reč koju briše).

Definicije svih varijabli, sa veoma kratkim objašnjenjima, korisnik može naći u fajlu ADAVAR1.SUB . U podprogramu ADAUTIL.SUB su definisane reči koje obavljaju niz korisnih poslova, izvodeći operacije, gde god je to moguće samo sa stekom. Fajl ADAVAR2.SUB definiše pozicije nekih prozora i vrši inicijalizaciju varijabli. Ukoliko se u fajlu ADAVAR1.SUB menjaju pozicije tekstualnih prozora {`WINDOW.1`} ...{`WINDOW.6`} onda je neophodno i u ADAVAR2.SUB promeniti definicije početka i veličine grafičkih vuport-ova `VUP.1 ...VUP.6` . Takodje, editovanjem inicijelnih vrednosti varijabli, korisnik može podesiti sistem prema svojim potrebama. Ovaj fajl se poziva nakon startovanja programa *ADA*$^+$ iz reči `HW.PAR` a nakon inicijalizacije grafičkog adaptera.

Glava 11

Promena hardverskih parametara sistema u programu ADA^+

11.1 Opšte napomene

```
ADA plus   - Hardware parameter Menu -Filename: ada-test.ASY 12/04/90 10:08:17

     ==================================================================
     ==================================================================


            AAAA  DDDDDDDD    AAAA        ==============================
           AA AA   DD    DD   AA AA
          AA  AA   DD     DD  AA  AA
         AA   AA   DD     DD  AA   AA        PPPPP  L      U   U  SSSSS
        AAAAAAAA   DD     DD  AAAAAAAA       P   P  L      U   U  S
       AA     AA   DD     DD  AA     AA      PPPPP  L      U   U  SSSSS
      AA      AA   DD    DD   AA      AA     P      L      U   U      S
     AA       AA  DDDDDDDD    AA       AA    P      LLLLL  UUUUU  SSSSS


     ==================================================================
     ==================================================================


OK
OK
OK
OK _
F1 HELP  F2 SHOW  F3 CHANGE  F4     F5     F6     F7     F8     F9 Dos F10 Quit
```

Slika 11.1: Meni hardverskih parametara

Startovanjem programa ADA^+ i pritiskom na **F4** u glavnom meniju, prelazi se u meni hardverskih parametara. U prvoj verziji programa ADA^+ , na raspolaganju su sledeće funkcije:

F2 — **SHOW** - Prikaz aktivnih hardverskih parametara

F3 — **CHANGE** - Promena hardverskih parametara

F9 — **Dos** - DOS interfejs

F10 — **Quit** - Povratak u glavni meni

Prva verzija programa ADA^+ predvidja samo promene tipa grafičkog adaptera, tipa printera i tipa plotera sa kojima se radi. U narednim verzijama programa, predvidja se proširenje menija, sa mogućnošću promene tipa sistema za akviziciju, kao i specificiranjima broja i vrsta modula koje sadrži akvizicioni sistem. Na taj način bi se ADA^+ prilagodila i drugim mernim konfiguracijama, sa višim nivoom provere akvizicionih parametara.

Napominje se da je u fajlu ADA.INI neophodno imati ispravan podatak o tipu grafičkog adaptera. To se može postići editovanjem fajla ADA.INI , tako da u prvom redu treba da stoji:

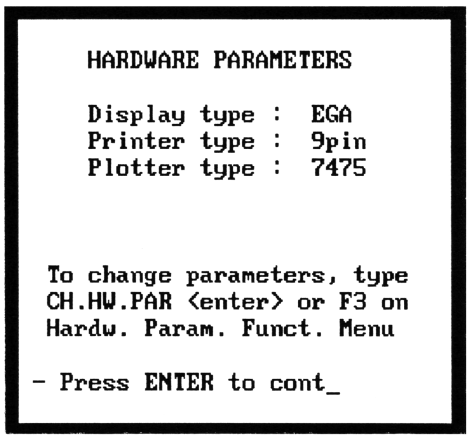
CGA - za Color Graphics Adapter, ili za Enhanced Graphics Adapter

EGA - za Enhanced Graphics Adapter

HRC - za Hercules Mono Graphics Adapter

11.2 Prikaz aktivnih hardverskih parametara

Pritiskom na **F2** u meniju hardverskih parametara, otvara se prozor kao na slici 11.2 sa ispisanim trenutno aktivnim hardverskim parametrima.



Slika 11.2: Prikaz hardverskih parametara

11.3 Promena hardverskih parametara

Pritiskom na **F3** u meniju hardverskih parametara, otvara se prozor u kome se zahteva da se korisnik odluči o tipu grafičkog adaptera (1–CGA, 2–EGA, 3–HRC), printera priključenog na LPT: port (1–9pin, 2–24pin, 3–HPlj, 4–EP80) i plotera priključenog na COM1: port (1–HP7475, 2–HP7440, 3–HP7470). Unešeni podaci se direktno zapisuju u fajl ADA.INI (stari fajl ADA.INI se briše) i ispisuje poruka: `System will terminate now. --- Press ENTER to cont`, nakon čega program *ADA*$^+$ automatski prekida rad i vraća komanu DOS-u. Na ovaj način, korisnik je primoran da ponovo startuje program *ADA*$^+$, koji će ovog puta učitati novoformirani fajl ADA.INI .

Primedbe za napredne korisnike:

1. Ukoliko se u fajlu ADA.INI nadju podaci nerazumljivi programu *ADA*$^+$, usvajaju se osnovne (Default) vrednosti: grafički adapter - CGA, printer - 9pin, ploter - HP7475.
2. Varijable koje se koriste su:
   `6 STRING DISP.TYPE`
   `6 STRING PRINT.TYPE`
   `6 STRING PLOT.TYPE`
3. Reči za definisanje rada printera se nalaze u fajlu PRINTUTIL.SUB . Na rad printera utiče i izbor tipa grafičkog adaptera.
4. Objašnjenje za tipove printera:

   9pin - Epson kompatibilni 9 pinski štampači

   24pin - Epson kompatibilni 24 pinski štampači

   HPlj - Hewlett Packard laser jet (series II)

   EP80 - Epson portable P–80 termalni printer
5. Nakon ispisivanja poruke da će program *ADA*$^+$ prekinuti sa radom, pritiskom na `Ctrl Break` umensto na traženo `<Enter>`, korisnik se vraća u program, po cenu ne inicijalizovanja unetih promena.

Glava 12

DOS interfejs u programu ADA^+

U toku rada sa bilo kojim menijem u programu ADA^+ , pritiskom na **F9** aktivira se DOS interfejs meni (slika 12.1)

```
ADA plus   - Dos Interface Menu -     Filename: ada-test.ASY 12/04/90 10:08:17

      ==================================================================
      ==================================================================


            AAAA  DDDDDDDD    AAAA        ==============================
           AA AA   DD    DD   AA AA
          AA  AA   DD     DD  AA  AA
         AA   AA   DD     DD  AA   AA        PPPPP  L      U   U  SSSSS
        AAAAAAAA   DD     DD  AAAAAAAA       P   P  L      U   U  S
       AA      AA  DD     DD  AA     AA      PPPPP  L      U   U  SSSSS
      AA       AA  DD    DD   AA      AA     P      L      U   U      S
     AA        AA  DDDDDDDD   AA       AA    P      LLLLL  UUUUU  SSSSS


      ==================================================================
      ==================================================================


OK
OK
OK
OK _
F1 HELP F2 DIR F3 TYPE F4 PRINT F5 COPY F6 RENAME F7 DEL F8 SCRPRT F9  F10 Quit
```

Slika 12.1: Meni DOS interfejsa

Kroz ovaj meni je moguće, pritiskom na odgovarajući funkcijski taster:

F2 — **DIR** - dobiti spisak fajlova na radnom direktorijumu. Dozvoljene su sve opcije prilikom zadavanja imena fajla, koje priznaje DOS

F3 — **TYPE** - dobiti listing ASCII fajla iz radnog direktorijuma. Listing će "teći" po ekranu. Da bi se trenutno zaustavio, potrebno je pritisnuti `<Enter>` jedanput. Listanje se nastavlja nakon ponovnog pritiska na `<Enter>`, a trajno prekida sa dva brza uzastopna pritiska na `<Enter>` .

F4 — **PRINT** - odštampati ASCII fajl iz radnog direktorijuma na printeru

F5 — **COPY** - kopirati fajl u radnom direktoriju

F6 — **RENAME** - preimenovati fajl u radnom direktorijumu

F7 — **DEL** - obrisati fajl u radnom direktorijumu

F8 — **SCRPRT** - kopirati kompletan sadržaj grafičkog ekrana na printer

F10 — **Quit** - vratiti se u meni, iz koga je pozvan DOS interfejs.

Primedbe za napredne korisnike:

1. Sve reči koje koristi DOS interfejs, definisane su u fajlu DOSUTIL.SUB .
2. Da bi se prekinulo listanje po ekranu potrebno je dva puta uzastopno pritisnuti `<Enter>`. Varijabla `KEY.DELAY` definiše vreme izmedju dva uzastopna pritiska tastera `<Enter>` . Za PC XT računar, preporučuje se `4096 KEY.DELAY <Enter>`, a za PC AT `15000 KEY.DELAY <Enter>` .

Glava 13

Upozorenja i greške u radu sa programom ADA^+

13.1 Opšte napomene

U toku izvršavanja programa ADA^+ , moguće je nestručnom upotrebom odredjenih reči ili parametara izazvati greške na koje reaguje ASYST. U programu ADA^+ je pokušano da se veći deo tih greški detektuje internim mehanizmom `ON.ERR` koji obezbedjuje ASYST, i da se sam program snadje na najbolji mogući način. S obzirom da je ovo tek prva verzija programa, očekuje se da će se vremenom pokazati slaba mesta koja treba doraditi, tako da se broj nepredvidjenih, opasnih greški koje program ADA^+ ostavljaju u nedefinisanom stanju, smanji na najmanju moguću meru.

Iskusniji korisnici, koji žele sami da poboljšaju ili promene delovanja odredjenih reči pri detekciji greške, upućuju se na literaturu [9], [10].

13.2 Upozorenja i greške

Fatalne greške:

1. ADA.INI nije u radnom direktorijumu
2. ADAVAR2.SUB nije u radnom direktorijumu
3. out of memory – ASYST ne može da startuje zbog nedostatka slobodne RAM memorije
4. nema numeričkog koprocesora – ASYST ne može startovati

Greške i reči koje ih prijavljuju:

1. Dva kanala se pozivaju na isti analogni ulazni kanal (`AI.TEST`)
2. Kanal se poziva na prozor koji nije definisan (`PLOT.0`)
3. Prvi koeficijenat u kalibracionom polinomu je nula (`CALIB.TEST`)
4. Polinom mora imati barem dva koeficijenta (`CALIB.TEST`)
5. X početak prozora izvan granica (`VUPORT.TEST`)
6. Y početak prozora izvan granica (`VUPORT.TEST`)
7. X veličina prozora izvan granica (`VUPORT.TEST`)
8. Y veličina prozora izvan granica (`VUPORT.TEST`)
9. Prvi uzorak za crtanje je izvan granica (`VUPORT.TEST`)
10. Ymin $\geq$ Ymax za dati prozor (`VUPORT.TEST`)
11. Boja ose i labela je ista kao i pozadina (`VUPORT.TEST`)
12. Greška u pisanju fajla ...
13. Greška u čitanju fajla sa parametrima (`READ.ACQ.PAR.1`)
14. Promeniti parametre vuporta (Ymin) (`VUPORT.INIT.1`)
15. PCI46S-4 drajver nije instalisan (`TEST.&.INIT`)
16. INTPCI drajver nije instalisan (`TEST.&.INIT`)
17. `DELTA.T` je prekratko! (`TEST.&.INIT`)
18. PCI akvizicioni sistem ne radi! (`TEST.&.INIT`)
19. Greška u toku inicijalizacije (`SYSTEM.INIT`)
20. Greška u `CNF.AI` pozivu (`HS.CNF , RG.CNF , AI.CNF`)
21. Greška broj 155. Proveri parametre vuporta (`PLOT.1`)
22. Overrun greška (`PLOT.2`)
23. Greška u `HS.RUN` pozivu (`GO.HS.ACQ`)
24. Greška u `READ.CH` pozivu (`GO.POOL.ACQ`)
25. Nedovoljno memorije da se kreiraju zahtevani nizovi (`CREATE.ARRAYS`)

26. Nedovoljno memorije da se kreira `HS.BUFFER` (`CREATE.HS.BUFFER`)
27. Data fajl nije kompatibilan sa parametrima (`READ.ASY.DATA.1`)
28. Podaci se mogu učitati sa diska samo u menijima 2 i 3 (`READ.ASY.DATA.1`)
29. Nema dovoljno mesta na disku. Fajl .DAT se neće kreirati (`SAVE.AS.ASCII`)
30. Sinhronizaciona greška, povećati `DELTA.T` (`GO.POOL.ACQ`)
31. Ne mogu Vas pratiti u Vašim šetnjama kroz menije (`STORE.MENU.#`)

Upozorenja sa rečima koje ih prijavljuju:

1. Fajl ... ne postoji na disku (`READ.ACQ.PAR , READ.CAL.POLY , READ.ASY.DATA.1`)
2. Fajl ... već postoji na disku. Da li da ga brišem ... (`TEST.IF.EXIST`)
3. Sistem će sada da prekine rad (`CH.HW.PAR`)
4. Akvizicioni parametri su promenjeni. Da li da ih snimim? (`?SAVE.ACQ.PAR`)
5. Upozorenje. Podaci nisu učitani u program (`RAED.ASY.DATA.4`)
6. Upozorenje. Podaci nisu učitani, snimanje se prekida (`SAVE.AS.ASCII`)
7. Akvizicioni podaci nisu sačuvani (`GO.ACQ`)
8. Akvizicioni parametri nisu korektno pripremljeni (`GO.ACQ`)

Bibliografija

[1] *Basic Perfomance Parameters of Anemometers.* Thermo – Systems Inc., 2500 North Cleveland Avenue, Saint Paul, Minnesota 55113, USA, technical bulletin, šesto izdanje.

[2] *DRUCK PDCR 60, Precision pressure transducer.* Druck Limited, Fir Tree Lane, Groby, Leicester LE6 0FH, England.

[3] *ED1000, Sistem za akviziciju podataka i upravljanje.* Electronic Design, Maršala Tolbuhina bb, 11000 Beograd, Yugoslavia.

[4] *General Operating Instructions for Validyne variable reluctance pressure transducers.* Validyne Engineering Corporation, 8626 Wilbur Avenue, Northridge, California 91324, USA.

[5] *The Handbook of Personal Computer Instrumentation for Data Acquisition, Test, Measurement and Control.* Burr – Brown Corporation, Tucson, AZ 85705, treće izdanje, 1988.

[6] *Model 1630 Velocity Transducer, Instruction Manual.* Thermo – Systems Inc., 2500 North Cleveland Avenue, Saint Paul, Minnesota 55113, USA.

[7] *Technical Information on "ASAHI AV Valves".* Asahi Yukizai Kogyo Co. Ltd., No. 2-5955, Nakanose-Cho, Nobeoka-City, Miyazaki-Pref., Japan.

[8] *Validyne DP 45, Very low range differential pressure transducer, variable reluctance.* Validyne Engineering Corporation, 8626 Wilbur Avenue, Northridge, California 91324, USA. Paper VESCDP45–4/87/R.

[9] Jeffery Astheimer. *ASYST Base System – Glossaries.* Adaptable Laboratory Software, drugo izdanje, Februar 1987. Version 2.5.

[10] Jeffery Astheimer. *ASYST Base System – Tutorial.* Adaptable Laboratory Software, drugo izdanje, Februar 1987. Version 2.5.

[11] Jeffery Astheimer. *Data Analysis in ASYST.* Adaptable Laboratory Software, drugo izdanje, Februar 1987. Version 2.5.

[12] David Auslander i Paul Sagues. *Microprocessors for Measurement and Control.* McGraw Hill, 1981.

[13] Julius Bendat i Allan Piersol. *Engineering Applications of Correlation and Spectral Analysis.* John Wiley, 1980.

[14] Julius Bendat i Allan Piersol. *Random Data: Analysis and Measurement Procedures.* John Wiley, 1971.

[15] R. Blackman i John Tukey. *The measurement of Power Spectra, from the point of view of communications engineering.* Dover Publications, New York, 1959.

[16] Peter Bloomfiels. *Fourier Analysis of Time Series: An Introduction.* John Wiley, 1976.

[17] K. Bremhorst i J. Listijono. Static pressure effects on calibration of velocity transducers at nozzle exit. *Experiments in Fluids*, 5:344 – 348, 1987.

[18] James Cooley i John Tukey. *An Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series.* Tehnički izveštaj, Princeton University, under the sponsorship of the Army Research, August 1964.

[19] Mile Cvitkovec. *Impulsni elektromagnetni protokomer IEMP.* Tehnički izveštaj, Institut "Mihajlo Pupin", 1988.

[20] Dragan Felbab. *Hidrodinamičke karakteristike horizontalnog mlaza koji se upušta u mirnu vodu.* Diplomski rad, Gradjevinski fakultet Beograd, Septembar 1986.

[21] Walter Frost i Trevor Moulden, urednici. *Handbook of Turbulence.* Volume 1, Plenum Press, New York, 1977.

[22] Herbert Grein. *Experimentelle Untersuchungen der Krafte und Momente auf das System Drosselklappe – Rohrleitung in Wasserkraftanlagen.* Doktorska disertacija, Technischen Hochschule Darmstadt, 1977.

[23] Georgije Hajdin. Mehanika fluida 2. Materijal korišćen na kursu iz Mehanike Fluida na trećem stepenu u periodu 1986 – 1987.

[24] Thomas Harrison, urednik. *Minicomputers in Industrial Control – An Introduction.* Instrument Society of America, 1978.

[25] J. Hinze. *Turbulence.* McGraw Hill, 1975.

[26] I. Idelcik. *Memento des pertes de charge.* Eyrolles, Paris, 1979. Naslov u originalu: *Spravotchnik po guidravlitcheskim soprotivleniam.*

[27] Marko Ivetić. *Numerical Simulation of Turbulent Flow in Shallow Flow Domains by SubGrid Scale (SGS) Modelling.* Doktorska disertacija, Kyoto University, Jul 1989.

[28] Marko Ivetić. *Pritisci i njihove fluktuacije na dno bazena u koji pada voda.* Magistarski rad, Gradjevinski fakultet Beograd, Oktobar 1979.

[29] Srboljub Jović. Mehanizam turbulentnog prenosa toplote u zoni gubljenja uticaja odvajanja toka na pragu. Septembar 1990. Predavanje održano na Gradjevinskom fakultetu.

[30] Branislav Jovičić. Perfomanse elektromagmetnih merača protoka sa homogenim poljem. Simpozijum *JUREMA*, Institut "Mihajlo Pupin", 1969.

[31] James Knudsen i Donald Katz. *Fluid Dynamics and Heat Transfer.* McGraw Hill, 1985.

[32] Henning Møller. *Electro Acoustic Measurements.* Tehnički izveštaj, Bruel & Kjær, 1975.

[33] Charles Lomas. *Fundamentals of hot wire anemometry.* Cambridge University press, prvo izdanje, 1986.

[34] Božidar Matić. *Protok kao regulirajuća i regulirana veličina u regulacionom kolu.* IRCA – Energoinvest, 1981.

[35] Božidar Matić. Regulacioni ventil kao elemenat regulacione konture. Simpozijum *Regulacioni ventili*, 1981.

[36] Ljubiša Miljković. *Laboratorijsko ispitivanje tačnosti merenja protoka elektromagnetnim meračem sa nehomogenim poljem u nestandardnim uslovima.* Diplomski rad, Gradjevinski fakultet Beograd, Februar 1985.

[37] Richard Miller. *Flow Measurement Engineering Handbook.* McGraw Hill, 1983.

[38] Abraham Peled i Bede Liu. *Digital Signal Processing, Theory, design and Implementation.* John Wiley, 1976.

[39] Dušan Prodanović. *Merenje hidrodinamičkih veličina pomoću mikroračunara.* 1988. Naučno - istraživački projekat sa RZN SR Srbije.

[40] Dušan Prodanović. *Uvod u harmonijsku analizu vremenskih serija.* 1989. Naučno - istraživački projekat sa RZN SR Srbije.

[41] Dušan Prodanović, Čedo Maksimović, i Mile Cvitkovac. Spectrum - osnova mikroračunarskog sistema za akviziciju podataka. Simpozijum *Skup o merenju u hidrotehnici*, 1987.

[42] Dušan Prodanović, Čedo Maksimović, Marko Ivetić, i Anita Špoljarić. Dynamics characteristics of a preasure measuring system. Simpozijum *International Symposium on Measuring Techniques in Hydraulic Research*, 1985.

[43] Dušan Prodanović, Čedo Maksimović, i Gordana Miladinović. Some experiences in application of microprocessors for laboratory measurements of acceleration and data processing. Simpozijum *Messcomp, 3. Kongreßmesse für industrialle meßtechnik*, 1989.

[44] A Reynolds. *Turbulent Flows in Engineering.* John Wiley, 1974.

[45] Greg Shinskey. *Process Control Systems, Applications, Decisign and Tuning.* McGraw Hill, treće izdanje, 1988.

[46] David Stephenson. *Stormwater Hydrology and Drainage.* Elsevier, 1981.

[47] Paul Tullis, urednik. *Control of Flow in Closed Conduits*, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA, August 1970.