

MJERENJE DINAMIČKIH TLAKOVA NA
FIZIKALNIM MODELIMA I OBJEKTIMA
U NARAVI

Velimir Pušić, dipl. inž.

GRAĐEVINSKI INSTITUT
Centar za hidraulička istraživanja
Zagreb

Sažetak

Modelska ispitivanja hidrauličkih problema, kao i mjerenja na izvedenim objektima, zahtijevaju mjerenja nestacionarnih veličina kao što su: brzine, nivoi, tlakovi, sile, ubrzanja.

Posebni zahtjevi na točnost mjerenja i brzinu obrade rezultata mjerenja postavljaju se kod hidrauličkih istraživanja na fizikalnim modelima. Ova istraživanja gotovo uvijek idu paralelno s izradom glavnog projekta pojedinih hidrotehničkih objekata te je potrebna vrlo uska koordinacija između projektanta i eksperimentatora.

Svi eventualni nedostaci projekta koji se otkrivaju modelskim ispitivanjem moraju se ispraviti, a u tom slučaju neobično važnu ulogu igra brzina i točnost rezultata mjerenja. U radu su prikazane mogućnosti dinamičkog mjerenja tlakova na modelima i objektima s aspekta iskustava Centra za hidraulička istraživanja u Zagrebu.

1. UVOD

Klasičan sistem mjerenja nestacionarnih hidrauličkih veličina, gdje se signal iz mjernog pretvornika preko pojačala zapisuje na UHF pisač (galvanometarski pisač), iziskuje dugotrajno i mukotržno analiziranje rezultata mjerenja uz moguće subjektivne greške eksperimentatora.

Znatno brže i točnije prikupljanje i predočavanje rezultata mjerenja je na magnetsku traku (mjerni magnetofon), tako da se preko analizatora dobiju rezultati mjerenja u odgovarajućem obliku.

Uključivanjem računala u mjerni sistem eliminira se sporo prikupljanje i obrada podataka mjerenja. Analogna veličina iz mjernog pretvornika digitalizira se, prikuplja i obradjuje uz odgovarajući program. Korištenje računala u sistemu mjerne opreme ima niz prednosti pred klasičnim sistemom:

- točnost rezultata mjerenja
- obrada i analiza u realnom vremenu
- mogućnost skladištenja podataka
- prikaz podataka na ekranu
- grafički prikaz rezultata
- ekonomičnost

Suvremeni laboratoriji raspolažu s terminalom na samom modelu. Terminali su povezani s računskim centrom gdje se izmjerena veličina obradjuje i analizira.

Ovo često nije izvedivo bilo da mjesto gdje je izgradjen model nema mogućnosti povezivanja s računskim centrom, bilo da se radi o "terenskim" mjerenjima na objektima. U takvim slučajevima vrlo dobre rezultate postizemo uključivanjem mikro-računala u lanac mjernog instrumentarija.

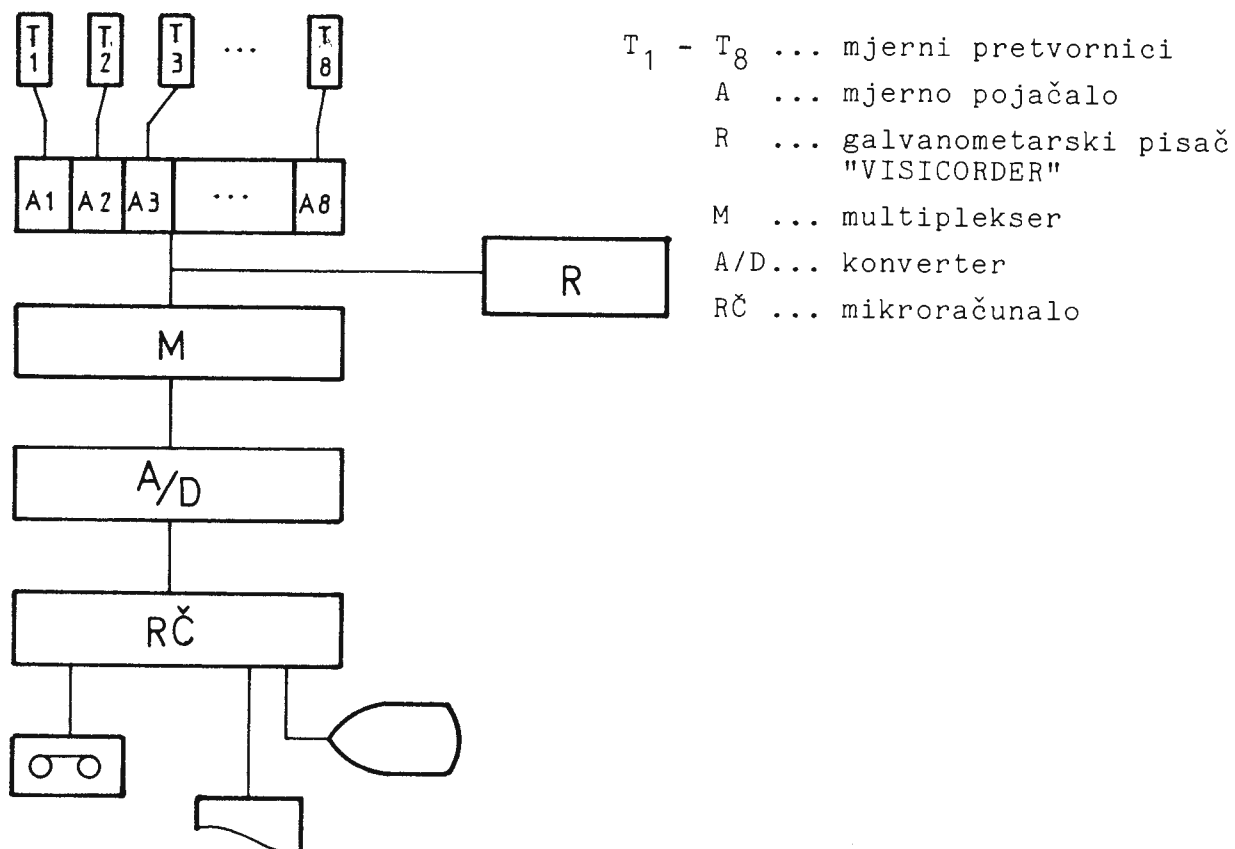
2. OPIS MJERNOG SISTEMA ZA DINAMIČKO MJERENJE TLAKOVA

Mjerni sistem prikazan na slici 1 omogućuje dinamičko mjerenje tlakova na fizikalnim hidrauličkim modelima i objektima u naravi.

Program na mikroračunalu omogućuje prikupljanje, obradu i grafičko predočjenje izmjerenih veličina, kao i učestalost promjene tlaka, u realnom vremenu.

Analogni signal iz mjernog pretvornika (dinamičkog tlakomjera) vodi se na ulaz A/D konvertera u sklopu kojeg je 8-kanalni multiplekser koji osigurava praćenje signala sa osam mjernih mjesta. Nakon digitalizacije u A/D konverteru signal se vodi u računalo gdje se sprema u određenu lokaciju memorije.

Uz grafički prikaz promjene tlaka, program omogućuje tabularni upis dinamičke veličine, te statističku obradu učestalosti promjene tlaka.



Sl. 1 Shema mjernog sistema za mjerenje dinamičkih tlakova

3. NEKI PRIMJERI MJERENJA NA OBJEKTIMA I MODELIMA

3.1. Mjerenje dinamičkih tlakova u odvodnim komorama turbina

Za vrijeme rada tri agregata u sprezi HE "Nikola Tesla" - Tribalj primjećeno je da se odvodni kanal potpuno ispuni vodom uzrokujući pad tlaka u odvodnim komorama turbina, što rezultira smanjenjem maksimalne snage, stupnja djelovanja i izaziva nemiran rad turbina. Da bi se razjasnio ovaj vrlo složen hidraulički problem izmjereni su tlakovi u odvodnim komorama turbina (sl. 2).

Korišten je mjerni sistem kao na slici 1, a kao mjerni pretvornik korišten je diferencijalni dinamički tlakomjer "KULITE XTM - 190".

Mjerenje je izvršeno kod slijedećih režima rada agregata:

- sprega rada tri agregata (bez ozračenja)
- samostalan rad jednog agregata (bez ozračenja)
- sprega rada tri agregata (s ozračenjem)

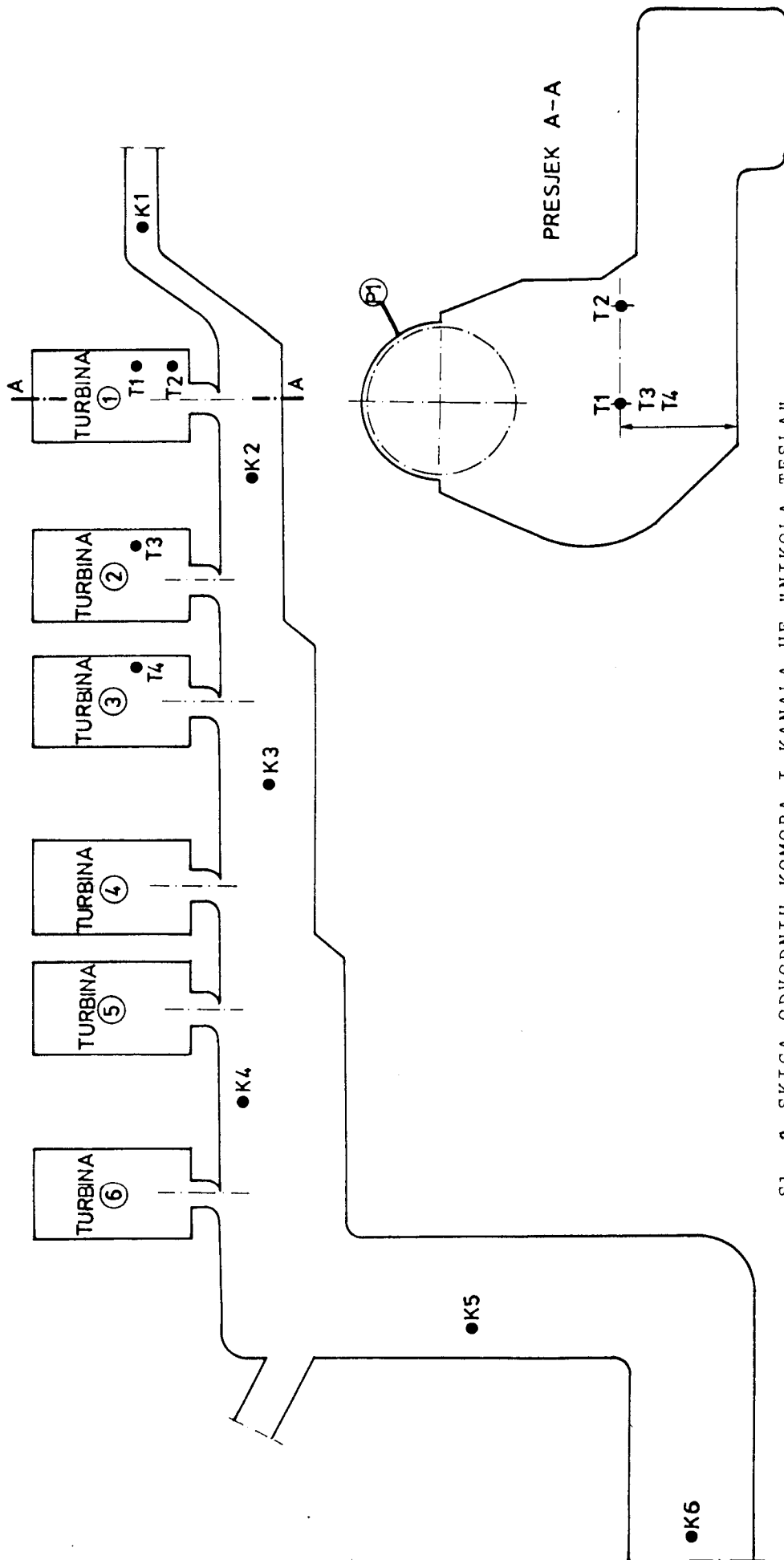
Rezultati mjerenja prikazani su na slici 3.

Rezultati mjerenja tlakova u kućištima i odvodnim komorama turbina pokazuju slijedeće:

- u režimu rada sprega tri agregata bez ozračenja turbinskog prostora tlakomjeri pokazuju potlak, dok u istom režimu s dovoljnim ozračenjem pokazuju pretlak
- kod samostalnog rada agregata I svi tlakomjeri pokazuju pretlak.

Prikazano mjerenje dinamičkih tlakova u izlaznim komorama turbina omogućilo je objektivno sagledavanje ponašanja turbina u svim uvjetima rada.

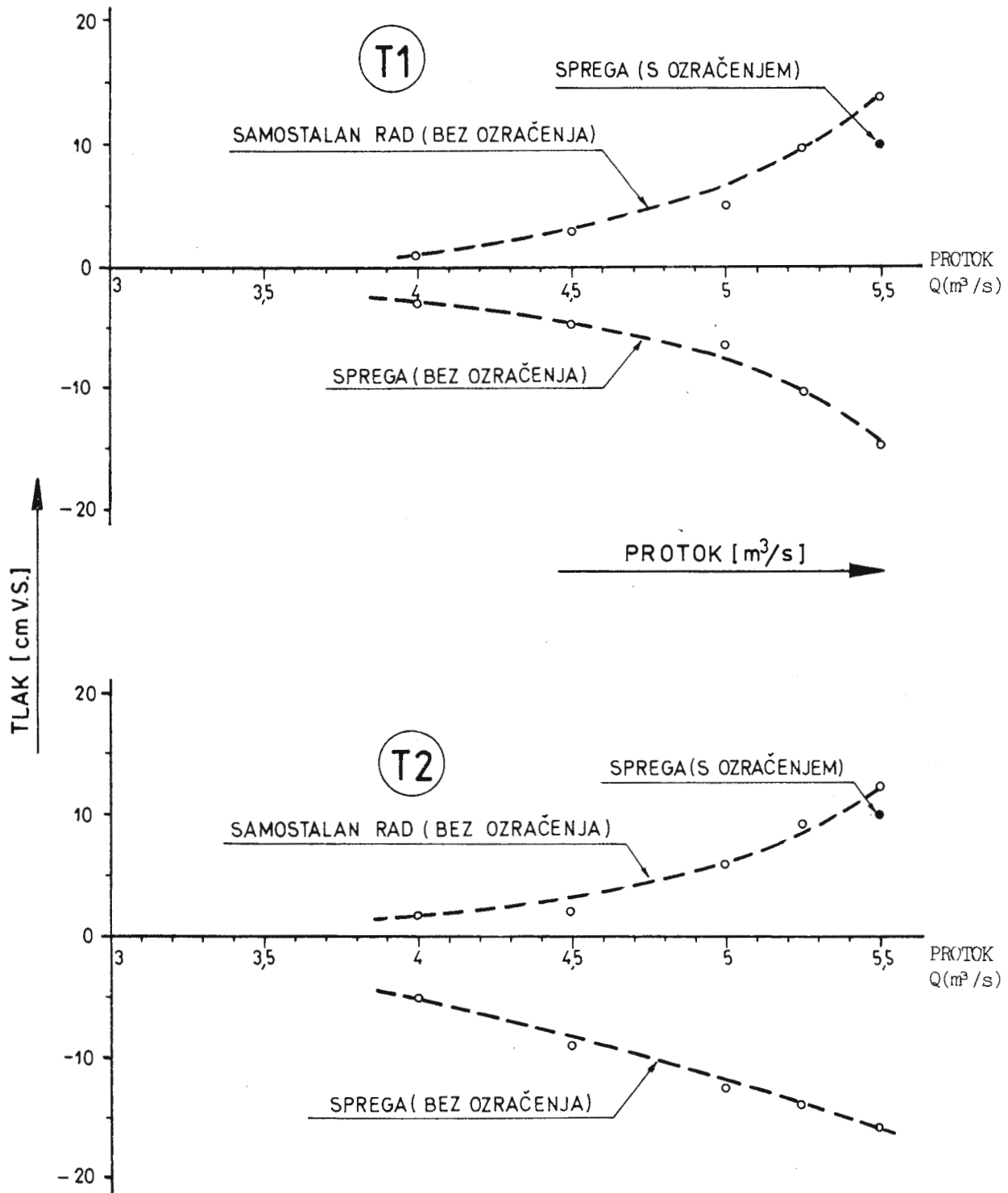
Utvrđeno je da ozračenje turbinskog prostora daje dobre rezultate, osigurava mirniji rad i povećanje snage.



Sl. 2 SKICA ODVODNIH KOMORA I KANALA HE "NIKOLA TESLA"

MJERNA MJESTA:

- T1-T4 tlakomjeri u odvodnim komorama
- K1-K6 mjerenje nivoa vode u odvodnom kanalu
- P1-P6 piezometri na kućištu turbina



Sl. 3 Rezultati mjerenja tlakova u komori turbine 1

3.2. Mjerenje dinamičkih tlakova na fizikalnom modelu preljeva brane

Za ispitivanje hidrauličkih karakteristika brane "SIDI YA-COUB" u Alžiru, izgradjen je fizikalni model u mjerilu 1:40. Jedan od zadataka modelskog ispitivanja bio je analiza protoka, brzina i tlakova u kružnom preljevu.

Projektant je predvidio kružni bunarski preljev tipa "Glory", bez zapornica s ozračanjem. Preljev je dimenzioniran za protok od 1420 m³/s, pri maksimalnom nivou 3,5 m iznad krune preljeva.

Uspravno okno završava suženim koljenom, koji se nastavlja tunelom. Na prijelazu iz koljena u tunel postavljena je cijev za ozračenje u skladu s projektom.

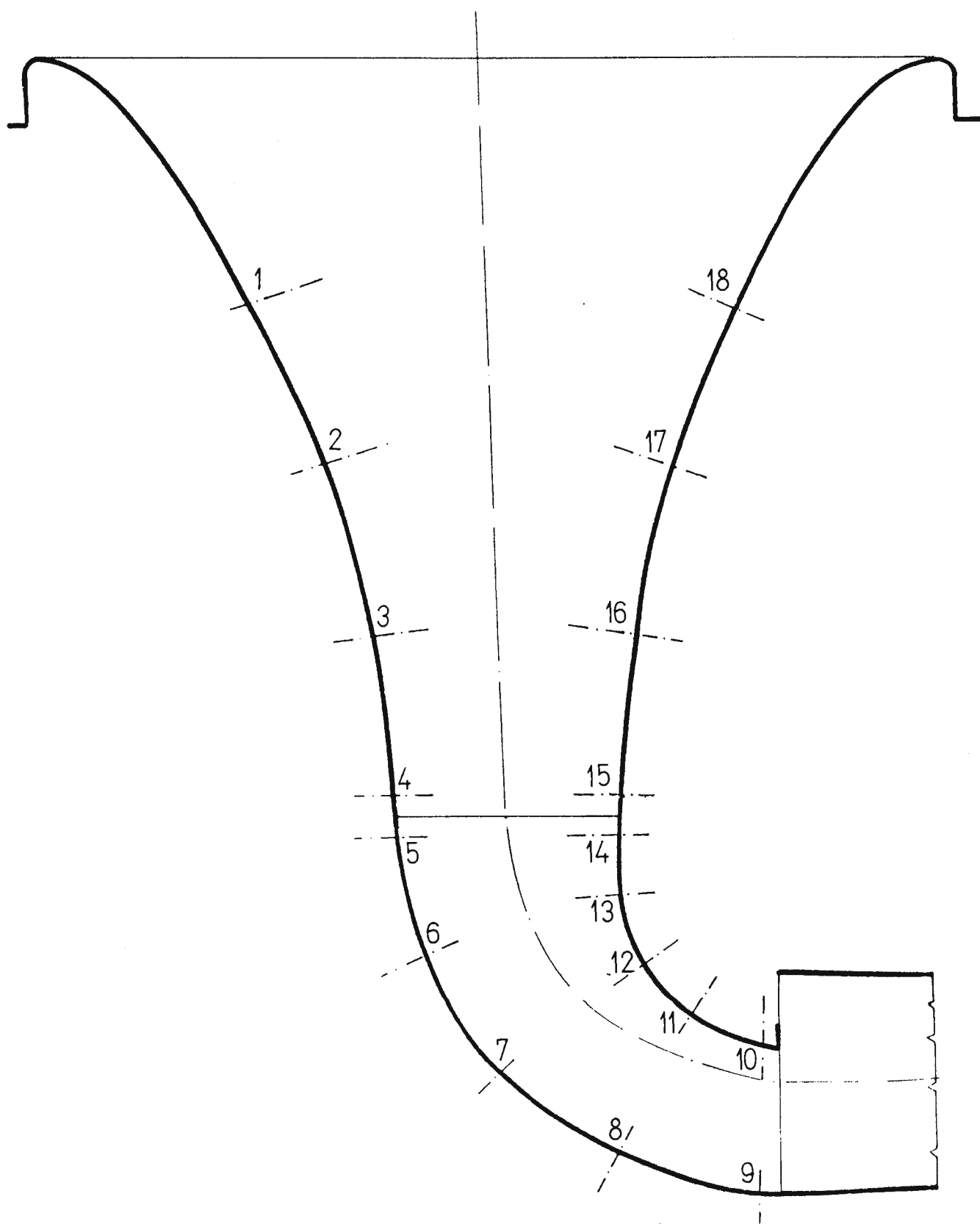
Na uspravnom oknu i koljenu postavljeno je 18 otvora za montažu dinamičkih tlakomjera.

Skica kružnog preljeva s rasporedom mjernih mjesta prikazana je na slici 4.

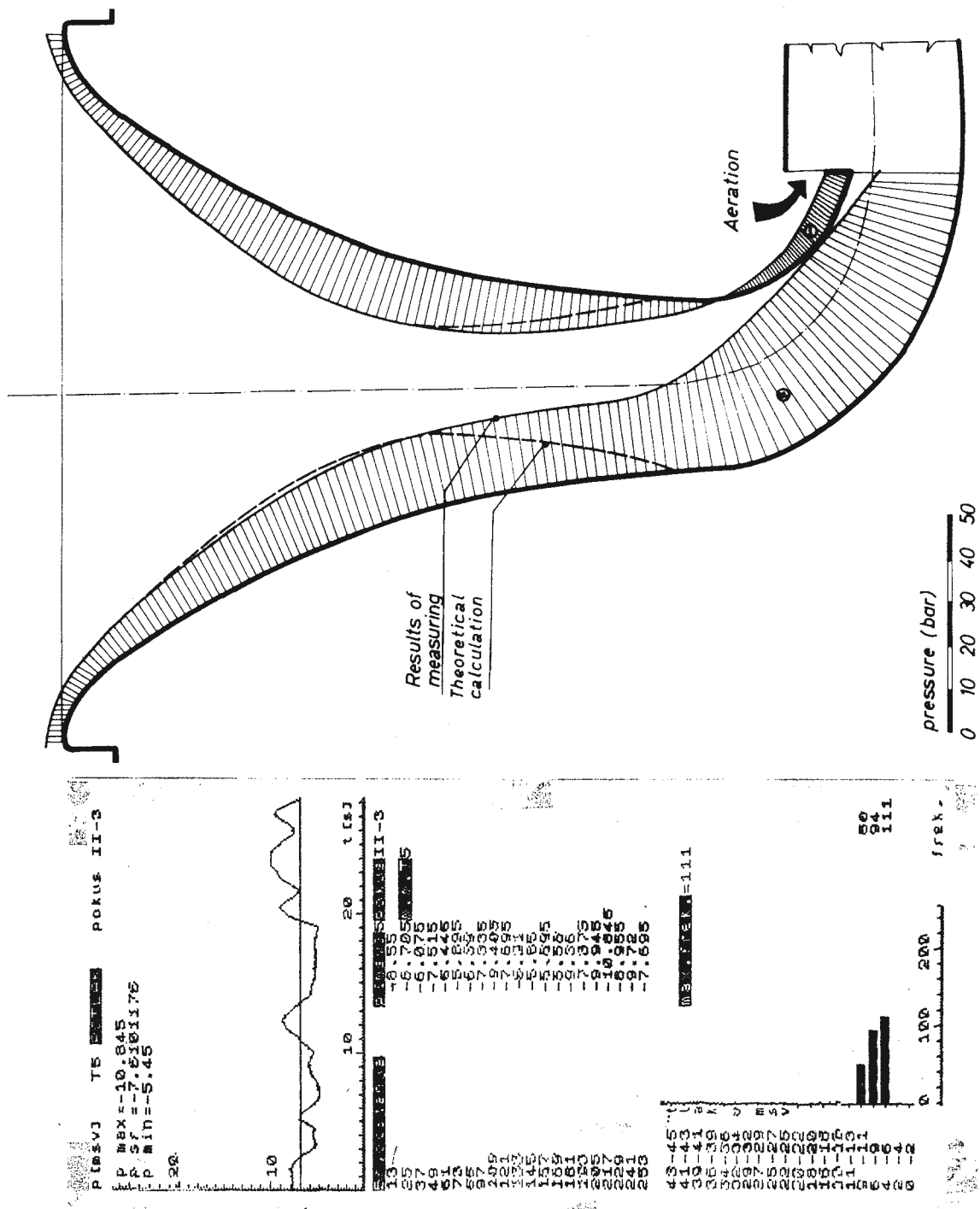
Za mjerenje i analizu rezultata korišten je već spomenuti mjerni instrumentarij (slika 1), s tim da je zbog ograničenosti broja kanala istovremeno korišteno po osam tlakomjera.

Rezultati mjerenja za jedan od tlakomjera i raspored tlakova u uspravnom oknu i koljenu prikazani su na slici 5.

Tlakovi u uspravnom oknu i donjem dijelu koljena su pozitivni, a u gornjem dijelu koljena negativni. Kod potpuno ispunjenog okna izmjerene su pulzacije tlaka, koje su uvjetovane uvlačenjem zraka kroz vrtlog.



Slika 4 Raspored mjernih mjesta u uspravnom oknu i koljenu



Sl. 5 Rezultati mjerenja tlakova u uspravnom oknu i koljenu

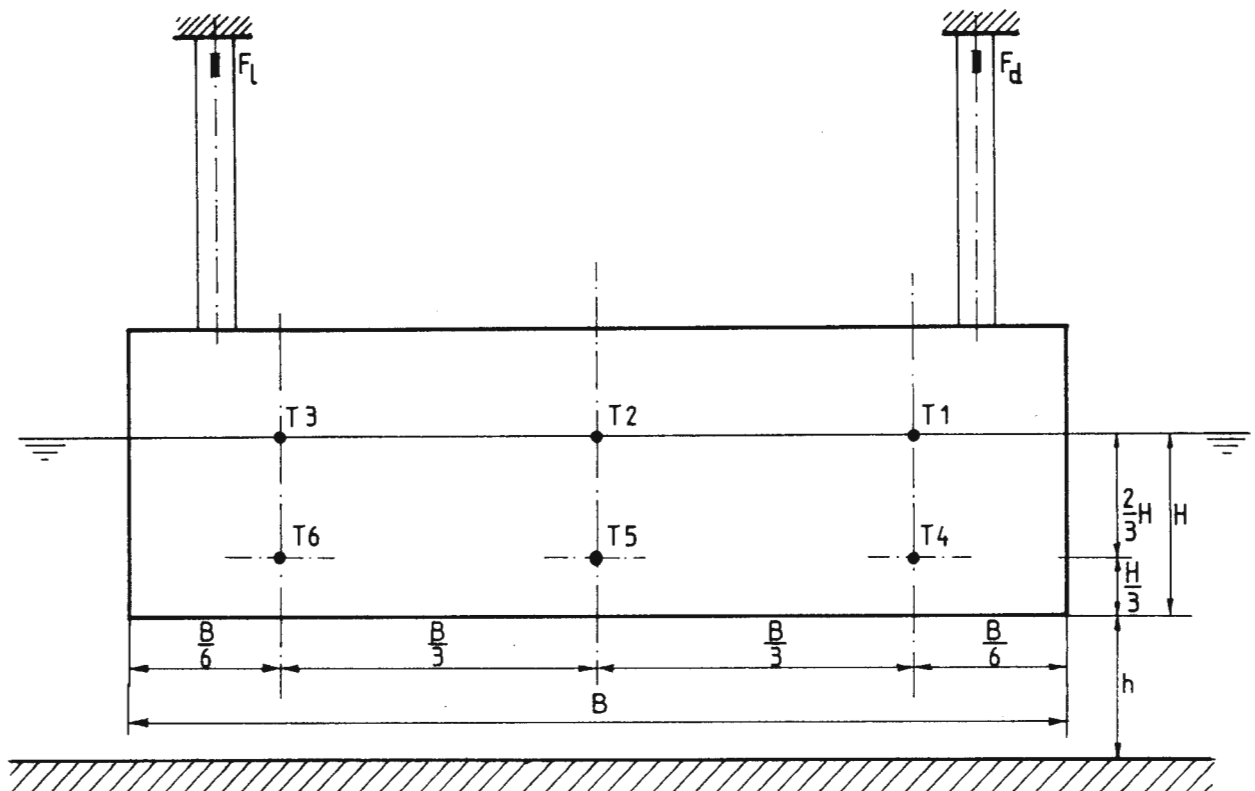
3.3. Mjerenje opterećenja na lukobran, uvjetovanog udarom vala

Cilj ispitivanja je određivanje valnog opterećenja na lukobran s poluuronjenim tankim ekranom. Pravilni sinusoidalni valovi generirani su pomoću elektro-mehaničkog generatora sa vertikalno oscilirajućim klinom. Model lukobrana je tako opremljen da se istovremeno mogu registrirati visine valova sa četiri kapacitivne sonde, šest tlakomjera smještenih na ekranu lukobrana, te dvije sile na nosačima lukobrana. Na registratoru se takodjer permanentno zapisuje vremenska baza. Shema sklopa mjernih instrumenata prikazana je na slici 1.

Sila na ekranu lukobrana izmjerena je na dva načina:

- integracijom izmjerenih tlakova na ekranu lukobrana (dinamički tlakomjeri)
- direktnim mjerenjem na nosačima lukobrana (elektrootpornski tenzometri).

Položaj dinamičkih tlakomjera na modelu poluuronjenog lukobrana prikazan je na slici 6.



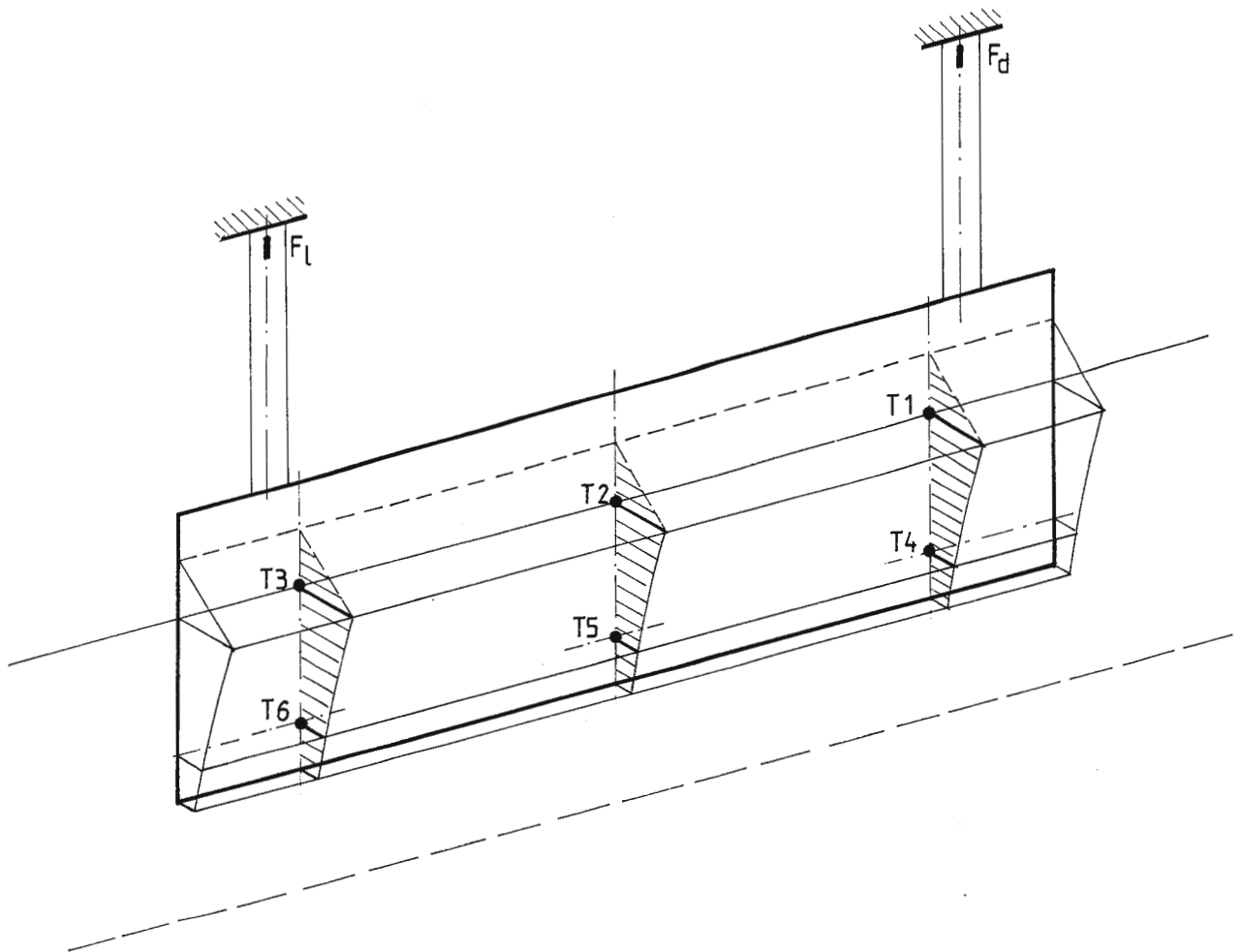
Sli. 6 Raspored mjernih mjesta

T_1 - T_6 ... dinamički tlakomjeri

F_1, F_d ... elektrooptički tenzometri

Ukupna sila na lukobranu dobivena je integracijom izmjerenih tlakova po površini izloženoj djelovanju vala prema slici 7.

Usporedba rezultata dobivene ukupne sile na lukobranu, integracijom tlakova na lukobran i mjerenjem sila u nosačima predočena je u tabeli I



Sl. 7 Raspored izmjerenih tlakova po površini lukobrana

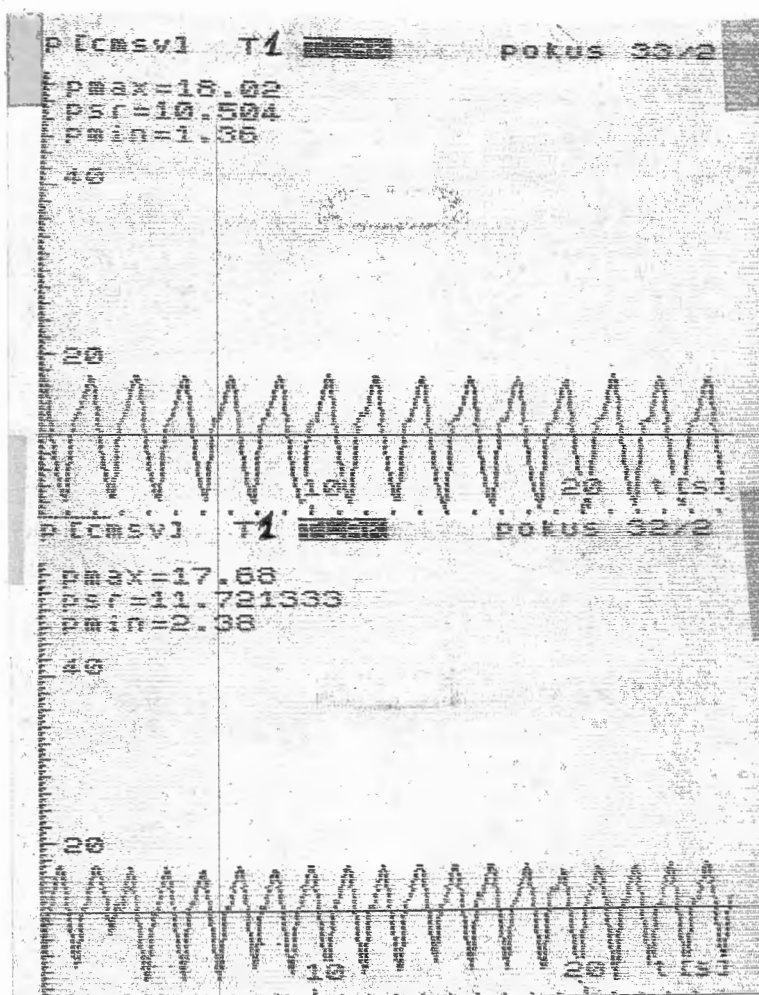
Tabela I Ukupna sila (N) na lukobran izmjerena dinamičkim tlakomjerima i elektrootporskim tenzometrima

| Pokus broj | Elektrootporski tenzometri | | | Dinamički tlakomjeri | | |
|------------|----------------------------|-----|-----|----------------------|-----|-----|
| | 30% | 60% | 90% | 30% | 60% | 90% |
| 1 - 1 | 114 | 187 | 381 | 127 | 208 | 366 |
| 1 - 2 | 127 | 249 | 389 | 135 | 275 | 388 |
| 1 - 3 | 147 | 276 | 472 | 150 | 300 | 488 |
| 2 - 1 | 186 | 193 | 276 | 196 | 200 | 275 |
| 2 - 2 | 170 | 242 | 428 | 163 | 254 | 440 |
| 2 - 3 | 196 | 225 | 433 | 171 | 288 | 419 |
| 3 - 1 | 192 | - | 370 | 180 | - | 358 |
| 3 - 2 | 222 | - | 448 | 227 | - | 470 |
| 3 - 3 | 246 | - | 564 | 233 | - | 560 |

Izmjerene sile dobivene integracijom tlakova po uronjenoj površini, približno su jednake sili izmjerenoj na tenzometrima na nosačima lukobrana.

Strmiji valovi izazivaju veće tlakove od dugih valova, jer je transmisija energije strmih valova ispod ekrana manja. Uočeno je takodjer da su izmjerene veličine na sredini veće od onih na rubu ekrana. To se fizikalno može protumačiti uspostavljanjem poprečnog strujanja na rubovima kratkog ekrana.

Na slici 8 prikazani su rezultati mjerenja tlakova na polu-uronjenom lukobranu na mjernom mjestu T_1 .



Sl. 8 Rezultati mjerenja tlaka na mjestu T1

4. ZAKLJUČAK

Iz iznesenih primjera može se zaključiti da je prikazani sistem za mjerenje dinamičkih tlakova veoma upotrebljiv kako na fizikalnim modelima u laboratorijskim uvjetima, tako i za mjerenja u naravi.

Prednosti ovog sistema mjerenja su:

- povoljan odnos cijene sistema/vrijeme potrebno za klasičnu obradu izmjerenih podataka
- mogućnost skladištenja podataka
- mogućnost prikaza podataka na ekranu, što omogućuje trenutčan uvid u rezultate mjerenja
- obrada i analiza podataka
- vrlo visoka točnost izmjerenih podataka.

Nedostaci su:

- sistem nije prikladan za mjerenje dinamičkih pojava visokih frekvencija
- ograničenje snage i kapaciteta ovisno o tipu računala

Unatoč spomenutim nedostacima prikazani sistem za mjerenje dinamičkih tlakova na modelima i objektima pokazuje svoju opravdanost u velikom području primjene te u potpunosti zadovoljava potrebe istraživanja hidrauličkih problema.

LITERATURA

1. Pušić, Krstulović, Tavas: Microcomputer in measuring of the hydraulic parameters on the physical model, Poljsko-Jugoslavenski Simpozij Gdansk 1984.
2. Novak, Čabelka : Models in Hydraulic Engineering
3. Henry H. Thomas: The Engineering of large Dams, London 1976.
4. Pušić, Debanić : Mjerenje dinamičkih tlakova u odvodnim komorama turbina, IX Savjetovanja JDHI, Split 1986.