

## DINAMIČKE KARAKTERISTIKE SISTEMA ZA MERENJE PRITISKA

Dušan Prodanović, Anita Špoljarić,  
Marko Ivetić, Čedo Maksimović  
Građevinski fakultet, Beograd

### REZIME

U ovom radu su prikazani rezultati ispitivanja dinamičkih karakteristika sistema za merenje pritiska. Posmatra se sistem sa izvorom definisanih fluktuacija pritiska plastičnim spojnim crevima i sondama za merenje pritiska. Analizira se uticaj dužine, prečnika i modula elastičnosti spojnog creva na dinamički odziv sistema. Rezultati prvih eksperimenata su prenosne karakteristike ispitivanih creva kao i neke sugestije vezane za izbor opreme prilikom planiranja eksperimenata.

### DYNAMIC CHARACTERISTIC OF A PRESSURE MEASURING SYSTEM

Some results of an experimental study on dynamic characteristic of a system measuring liquid pressure fluctuations have been presented. The system consists of pressure tapping, connecting pipe and pressure transducer. The effect of the length and diameter of the connecting tube on the dynamic response of the system has been studied. The results of the first experiments have been presented in form of transfer function. Conclusions concerning the application of the results obtained are drawn.

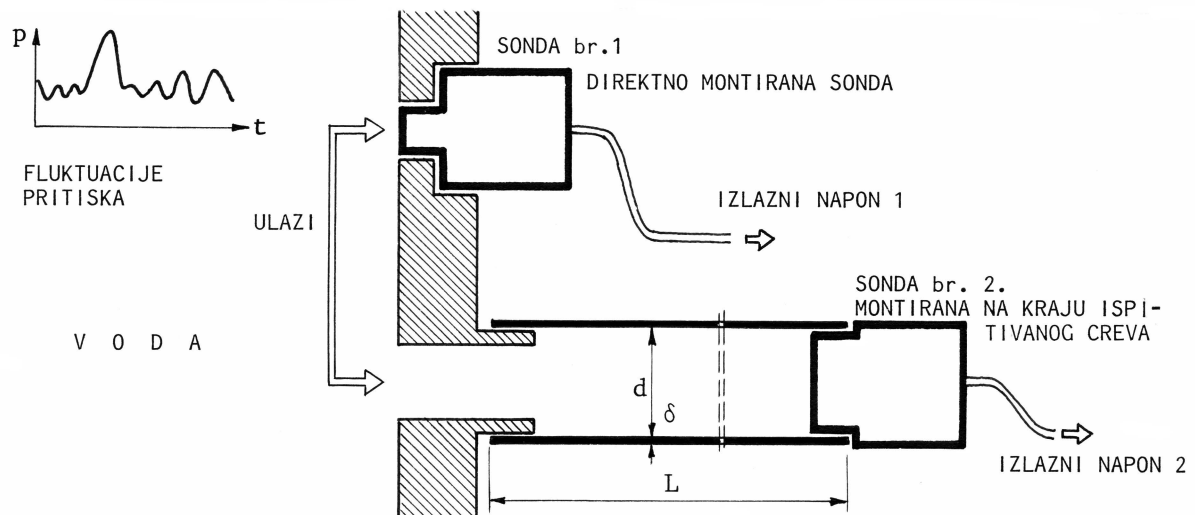
Ključne reči: merenje fluktuacija pritiska, prenosna karakteristika plastičnih creva.

### 1. UVOD

U inženjerskoj praksi su česti problemi određivanja statičkih i dinamičkih opterećenja konstrukcije od vode. Uobičajene hidrotehničke konstrukcije kod kojih se sreću ti problemi su slapišta, prelive, isticanje ispod ustave, tečenje u tunelima, itd. Mada se sile mogu meriti direktno, mnogo je praktičnije meriti pritisak na nekoliko odabranih tačaka i jednostavnom numeričkom obradom dobiti sile (Špoljarić, Maksimović, Hajdin, 1982).

Najkvalitetniji rezultati se dobijaju direktnim priključkom sonde za merenje pritiska na konstrukciju koja se ispituje. Međutim, ovaj metod mada dajenajbolje rezultate, retko se koristi jer je uglavnom nemoguće prići sondama do potrebnih tačaka na konstrukciji. Rešenje je u korišćenju spojnih fleksibilnih (plastičnih) creva relativno malih prečni-

ka pretpostavljajući da na taj način nisu unete veće greške u merenje. Međutim, pri analizi fluktuacija pritiska, neophodno je uzeti u obzir i uticaj spojnog creva na dinamički odziv celog sistema jer ćemo u protivnom dobiti neupotrebljive rezultate merenja.



Slika 1. Dva načina montiranja sonde

U ovom radu su dati rezultati istraživanja koja su vršena u Institutu za hidrotehniku Građevinskog fakulteta u Beogradu. Analizirana su plastična spojna creva različitih karakteristika, upoređujući fluktuacije pritiska na ulazu u cev sa dobijenim fluktuacijama na njenom izlazu (slika 1). Ulazne, referentne fluktuacije pritiska se dobijaju direktno montiranim sondom (Br. 1) sa sopstvenom rezonantnom frekvencijom znatno iznad rezonantne frekvencije merne instalacije.

Odnos između ulaznog pritiska  $p(t)$  i izlaznog napona iz merne instalacije  $v(t)$  je dat integralom konvolucije [5].

$$v(t) = \int_0^{\infty} h(\tau) p(t-\tau) d\tau \quad (1)$$

ili preko funkcije frekventnog odziva:

$$H(f) = \int_0^{\infty} h(\tau) e^{-j2\pi f\tau} d\tau \quad \text{gde je } j = \sqrt{-1} \quad (2)$$

Ako je  $P(f)$  Furijeova transformacija ulaznog pritiska  $p(t)$  i  $V(f)$  Furijeova transformacija izlaznog napona iz merne instalacije  $v(t)$ , onda važi:

$$V(f) = H(f) * P(f) \quad (3)$$

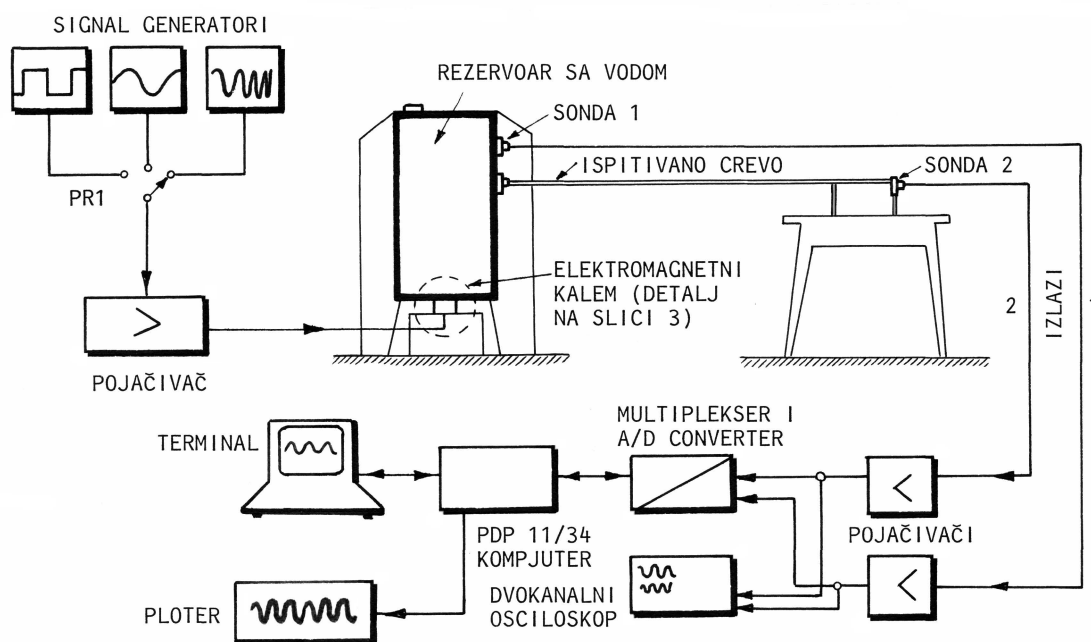
U kompleksnoj polarnoj notaciji može se napisati:

$$H(f) = |H(f)| e^{-j\Phi(f)} \quad (4)$$

gde je  $|H(f)|$  faktor pojačanja sistema.

## 2. EKSPERIMENTALNA INSTALACIJA

Na slici 2. je dat šematski prikaz korišćene eksperimentalne instalacije.



Slika 2. Eksperimentalna instalacija

Mogu se izdvojiti tri funkcionalne celine, i to:

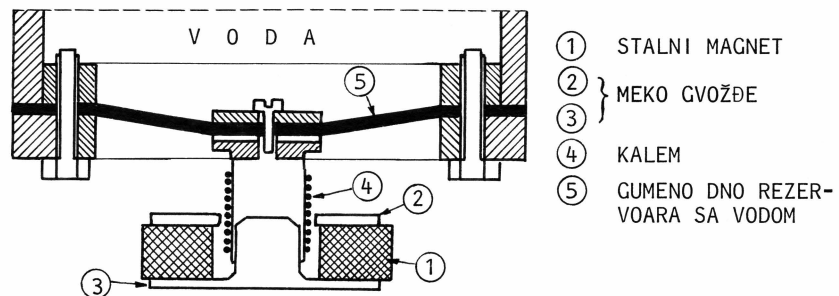
- uređaji za generisanje poznatih fluktuacija pritiska,
- rezervoar sa vodom i sondama za pritisak,
- uređaji za prikupljanje i obradu podataka.

Korišćena su tri izvora signala za generisanje fluktuacija pritiska. Preklopnikom Pr.1. se može birati jedan od tri izvora signala, i to:

- prvi izvor je generator četvrtke niske frekvencije (oko 0,1 do 0,5 Hz) pomoću kojeg se ispituje odgovor creva na nagle promene pritiska;
- drugi izvor signala je generator sinusoide promenljive frekvencije, pomoću koga se može vršiti analiza frekventnog odziva priključnih creva menjajući u diskretnim koracima zadavanu frekvenciju fluktuacije pritiska;

- treći izvor signala je "sweep" generator sinusoide kome možemo menjati početnu i krajnju frekvenciju kao i vreme trajanja jednog ciklusa.

Izabranom signalu se superponira jednosmerna komponenta kojom menjamo srednju vrednost pritiska vode u rezervoaru. Nakon pojačanja u DC pojačivaču, signal se vodi na elektromagnetni kalem koji je u direktnoj sprezi sa gumenim dnom rezervoara i koji verno prenosi izabrane fluktuacije pritiska (slika 3).



Slika 3- Detalj elektromagnetnog kalema

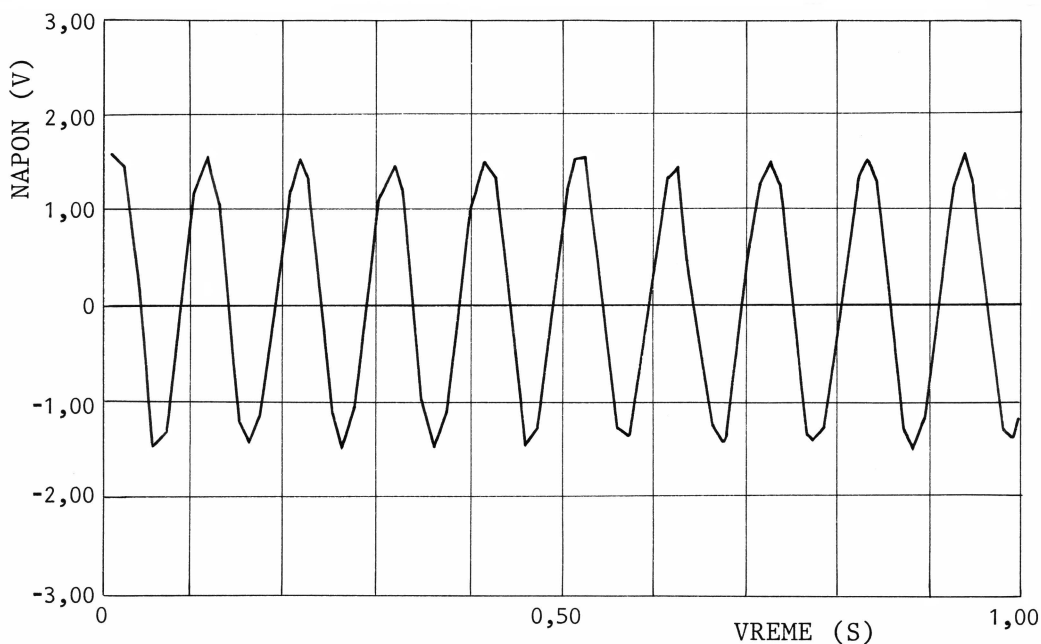
Rezervoar sa vodom je napravljen od plastične cevi spoljnog prečnika  $FI = 148$  mm i debljine zidova  $d=8$  mm. Dno rezervoara je od gume i vezano je za elektromagnetni kalem preko aluminijskih podloški. Posebnim sistemom nosača stalnog (nepokretnog) magneta postignuto je fino centriranje tako da su eliminisane smetnje koje mogu nastati usled trenja između pokretnog kalema i nepokretnog magneta. Takođe, podtignut je i veliki stepen prigušenja štetnih vibracija koje prouzrokuje nepokretni magnet a koje se prenose preko kućišta rezervoara do tela sonde. Kompletan rezervoar je dodatno ukrućen masivnim pločama od iverice i trajno-elastičnim silikonskim gitom. Na rezervoaru su izbušene dve rupe, jedna za priključak spojnog creva koje se ispituje, a druga za priključak referentne sonde, koja meri ulazne fluktuacije.

Sva merenja karakteristika creva su rađena na računaru PDP 11/34 sa 12 bitnim A/D konverterom. Prethodno su signali kondicionirani u preciznim diferencijalnim pojačivačima i normalizatorima. Za sve vreme eksperimenta bio je priključen i osciloskop koji je davao uvid u trenutno stanje i ulaznih i izlaznih parametara. Svi mereni rezultati su mogli da se pregledaju na terminalu računara ili da se po potrebi nacrtaju na ploteru.

### 3. DINAMIČKE KARAKTERISTIKE KORIŠĆENE INSTALACIJE

Pre nego što su započeta merenja karakteristika spojnih creva, izvršena je analiza dinamičkih karakteristika napravljene instalacije. Kao što je i bilo očekivano, pomoću napravljene instalacije moguće je zadati kontrolisane i ponovljive fluktuacije pritiska. Na slici 4. je dat

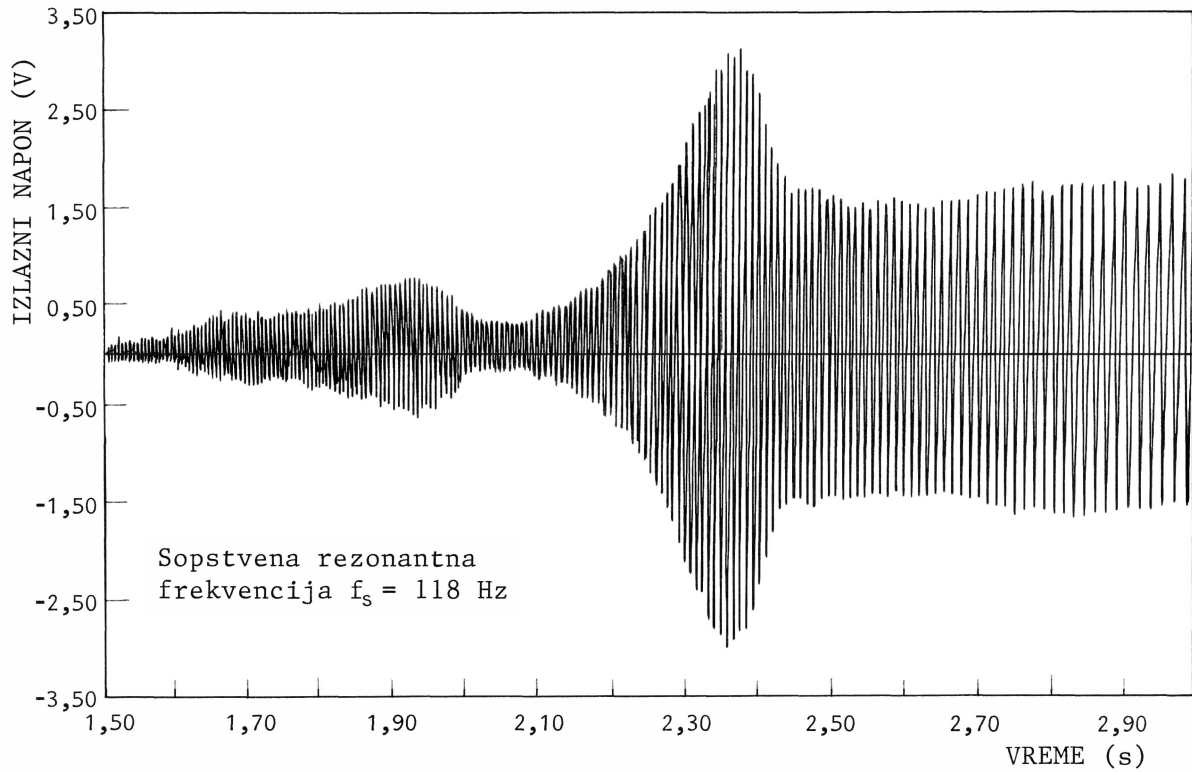
snimak sinusnih oscilacija pritiska koje su dobijene na sondi 1 (direktno priključenoj na rezervoar). Očigledan je i uticaj greške kvantifikacije (greške uzorkovanja), koja se lepo vidi na "pikovima" sinusoide.



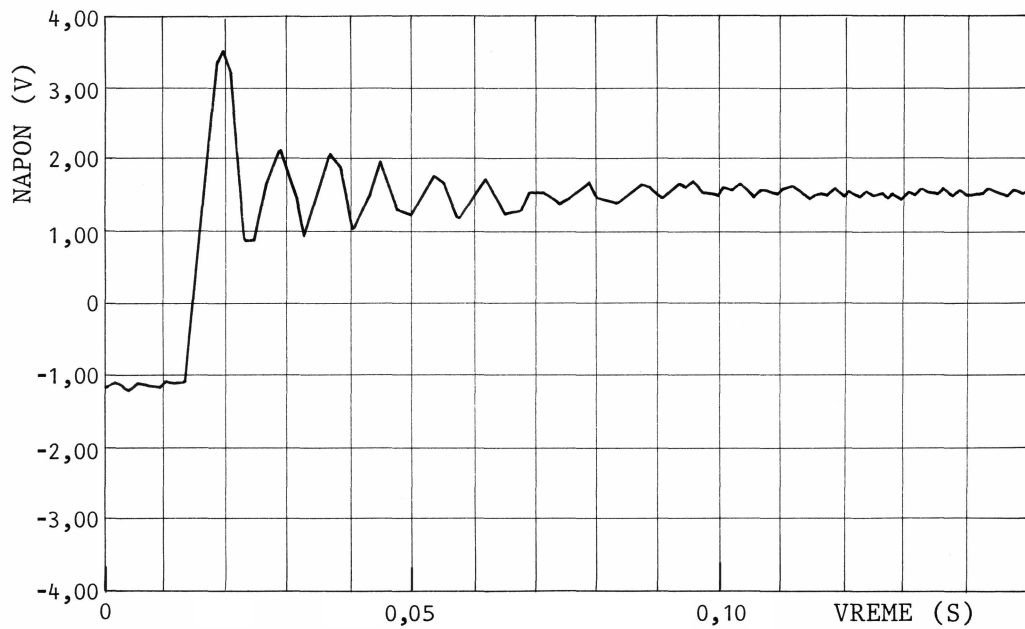
Slika 4. Sinusna fluktuacije pritiska

Na slici 5. je prikazano kako je određena sopstvena prenosna karakteristika rezervoara. Analiziran je odziv rezervoara u dijapazonu promene sinusnog signala od 50 do 300 Hz. Takođe, analiziran je odziv rezervoara na nagle promene pritiska, slika 6. Sopstvena rezonantna frekvencija celog sistema je 118 Hz. S obzirom da su očekivane sopstvene frekvencije ispitivanih creva reda veličine 10 do 30 Hz, može se smatrati da je uticaj rezervoara pri ispitivanju karakteristike spojnih creva zanemarljiv.

U toku ispitivanja karakteristika creva, veliku smetnju je predstavljao vazduh koji je zahvaljujući svojim elastičnim svojstvima prilično ublažavao fluktuacije pritiska na niskim frekvencijama. U narednim ispitivanjima potrebno je više pažnje posvetiti tom problemu, bilo uvođenjem automatske povratne sprege koja će podizati pobudu elektromagneta na nižim frekvencijama, bilo kvalitetnijim načinom zatvaranja rezervoara i izbacivanja vazdušnih mehurova.



Slika 5. Prenosna karakteristika rezervoara

Slika 6. Odziv rezervoara pri nagloj  
promeni pritiska

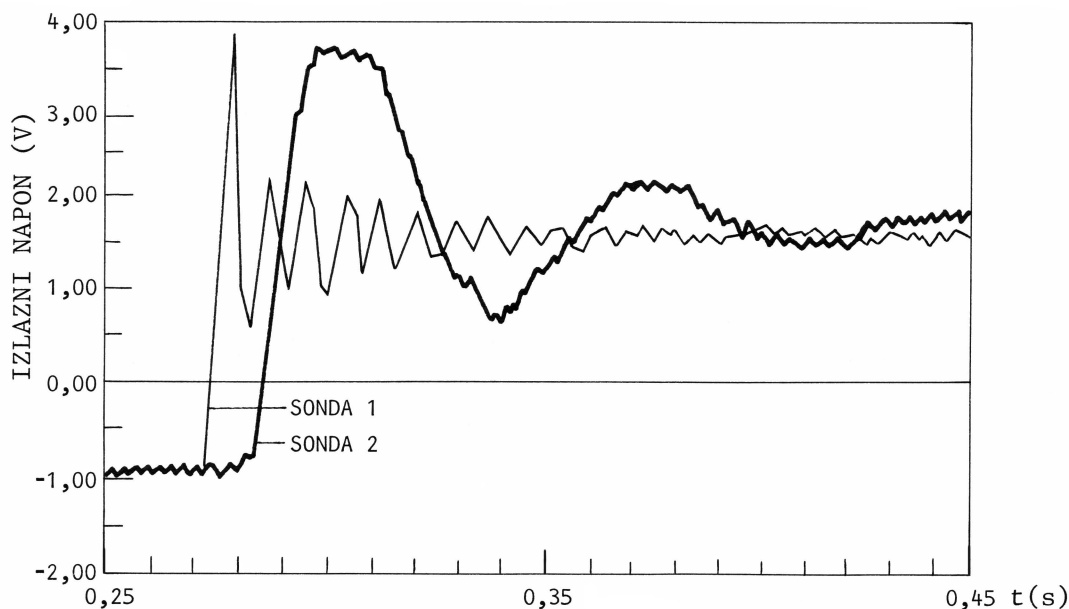
## 4. MERENJA I OBRADA PODATAKA

Na prikazanoj instalaciji su izvršena ispitivanja plastičnih spojnih creva, prema tabeli br. 1.

Tabela 1.

Šifra eksperimenta	Dužina cevi (m)	Prečnik (mm)	Debljina zida (mm)	Rezonantna frekvencija (Hz)
EXP01	0,85	9,6	1,60	10,6
EXP02A	1,80	7,0	1,00	14
EXP02B	0,90	7,0	1,00	33
EXP02C	0,45	7,0	1,00	66
EXP03A	0,90	4,5	0,75	32
EXP03B	0,45	4,5	0,75	64
EXP04A	0,96	7,5	1,60	14
EXP04B	0,85	7,5	1,60	20
EXP04C	0,48	7,5	1,60	28

Korišćena su sva tri oblika zadanih fluktuacija pritiska. Sinusni signal sa preciznim određivanjem zadavane frekvencije daje najpouzdanije rezultate. Međutim, potrebno je analizirati tačku po tačku na prenosnoj funkciji, tako da sam eksperiment dugo traje.



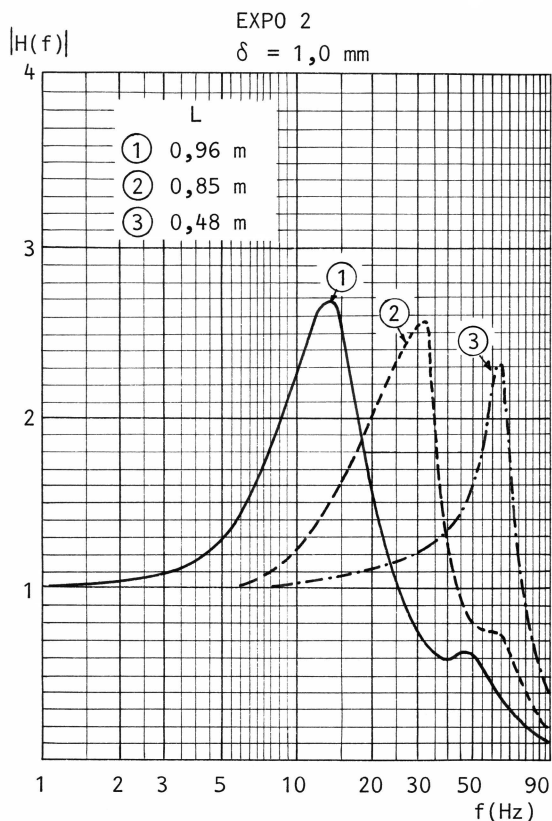
Slika 7. Fluktuacije pritiska dobijene primenom odskočne funkcije

Najpraktičniji je sinusni "sweep" signal, koji u samo jednom eksperimentu trajanja par sekundi daje kompletan uvid u karakteristike spojnog creva. Koristeći brzu Furijeovu transformaciju (FFT) na rezultate dobijene sinusnim "sweep" signalom, dobijamo kao krajnji rezultat prenosnu funkciju ispitivanog creva.

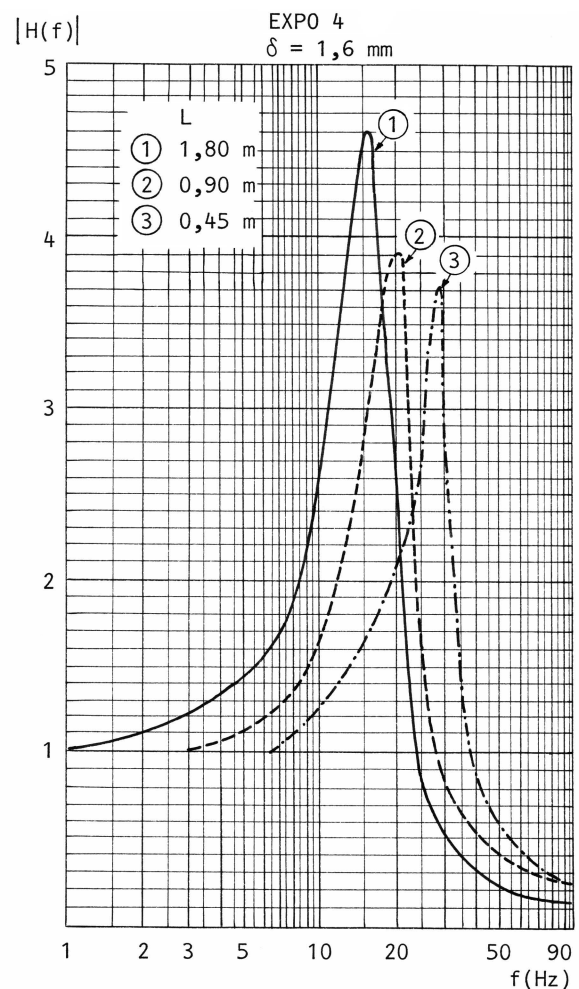
Analiza rezultata dobijenih naglom promenom pritiska je uglavnom služila kao potvrda za već sračunate parametre spojnih creva. Na slici 7. je prikazan primer izlaza iz sonde br.1. (direktno priključene na rezervoar) i sonde br. 2. (priključene na kraju ispitivanog creva).

## 5. REZULTATI PRVIH ISPITIVANJA

Na slikama br. 8. i 9. su prikazani rezultati eksperimenata EXPO2 i EXPO4 (oznake prema tabeli 1). Sa slika se može jasno uočiti efekat promene sopstvene frekvencije i faktora pojačanja na rezonantnoj frekvenciji u zavisnosti od dužine creva. Takođe, uočljivo je da, ukoliko fenomen koji ispitujemo, ima sopstvene frekvencije u okolini rezonantne frekvencije korišćenog spojnog creva, mogu nastati značajne greške kojih obično nismo ni svesni.



Slika 8. Prenosna karakteristika za EXPO 2 (prečnik cevi  $d=7,0 \text{ mm}$ )



Slika 9. Prenosna karakteristika za EXPO 4 (prečnik cevi  $d=7,5 \text{ mm}$ )



## 6. ZAKLJUČAK

Izloženi rad predstavlja tek početak jednog novog, kritičkog pogleda na sve do sada korišćene metode i opremu za dinamička merenja.

Očigledno, direktno preslikavanje klasičnih mernih metoda kombinovano sa savremenom opremom za dinamička merenja može uneti znatne greške, kojih obično nismo ni svesni. Dobijeni, pogrešni rezultati, izmereni skupocenom, teško nabavljenom opremom obično predstavljaju polazni podatak u koji niko ne sumnja. Na osnovu takvih podataka se dalje izvode složene numeričke analize i projektuju kompletni objekti. Srećom do katastrofe, uglavnom, ne dolazi usled loših rezultata merenja jer su svi proračuni na strani sigurnosti.

## 7. BIBLIOGRAFIJA

1. George, W.K., Beuther, P.D., Arndt, R.E.A. (1984). Pressure spectra in turbulent free shear flows. *Journal of Fluid Mechanics*, 148, 145.
2. Willmarth, W.W. (1975). Pressure Fluctuations Beneath Turbulent Boundary Layers. *Annual Review of Fluid Mechanics* 7, paper 8065 13.38.
3. Emmerling, R. (1973). The Instantaneous Structure of Wall Pressure Under a Turbulent Boundary Layer Flow. *Max-Planck-Institut für Stromungsforschung*, Rep. No. 9.
4. Špoljarić, A., Maksimović, Č., Hajdin, G. (1982). Unsteady Dynamic Force Due to Pressure Fluctuations on the Bottom of an Energy Dissipator - An Example. *Proc. Int. Conf. on the Hydraulic Modelling of Civil Engineering Structures*, Coventry, 97-107.
5. Bendat, J., Piersol, A. (1971). *Random data Measurement and Analysis Procedure*, Book, J. Willey.
6. Prodanović, D. (1985). Eksperimentalna istraživanja o pouzdanosti merenja fluktuacija pritiska. *Diplomski rad*.