

Snežana Jovanović,  
dipl. inž.  
Duško Pijevčević,  
poručnik, dipl. inž.  
Tehnički opitni centar,  
Beograd

## POREĐENJE ODZIVA PIEZOELEKTRIČNIH I INDUKTIVNIH DAVAČA UBRZANJA NA MEHANIČKE UDARE I POSTPROCESNO DOBIJANJE POMERANJA

UDC: 531.113 : 531.353

### Rezime:

*U ovom radu razmatrano je merenje ubrzanja nastalih usled mehaničkih udara i postprocesno izračunavanje pomaka. Rezultati i zapažanja iz realnih opita eksperimentalno su provereni na etalonskim mašinama za vibracije i potrese. Na osnovu upoređenja zaključeno je da je za merenje ubrzanja (na konstrukciji borbenog vozila) usled mehaničkih udara bolje koristiti induktivne davače i da izračunavanje pomaka iz izrazito aperiodičnih signala ubrzanja nije relevantno.*

*Ključne reči: merenja, mehanički udari, ubrzanje, pomeranje.*

---

### THE COMPARISON OF THE RESPONSE OF PIEZOELECTRIC AND INDUCTIVE ACCELERATION GAUGES ON MECHANICAL IMPACTS AND THE POSTPROCESUAL OBTAINING OF DISPLACEMENT

#### Summary:

*This paper presents measuring the acceleration of mechanical impacts and the postprocesual calculating of displacement. The results and observations of the tests have been evaluated on machines for vibrations and quakes. The following conclusions were drawn out of comparisons: it is better to use inductive transducers for the acceleration measurement of combat vehicles chassis because of mechanical impacts; the displacement calculation from high aperiodical acceleration signals is not relevant.*

*Key words: measurements, mechanical impacts, acceleration, displacement.*

---

### Uvod

Pri merenju mehaničkih veličina uobičajeno je da se vibracije do 1000 Hz (oscilacije) mere induktivnim davačima ubrzanja u kojima pomeranje inercijalne mase tega menja magnetnu permeabilnost. Osim merenja pojava niskih učestanosti, njihova prednost, ili mana, jeste što mere ubrzanja i pri zakretanju mernog objekta. Uopšte, za merenje vibracija u širem opsegu učestanosti piezoelektrični davači su neophodni.

Deo konstruktorskih ispitivanja prototipa jednog sredstva naoružanja odno-

sio se na proveru odgovarajućih proračuna elastičnih karakteristika konstrukcije nadgrađenog vozila. Istovremeno, vršena su merenja preko dvadeset mehaničkih veličina modularnim „inteligentnim“ mernim sistemom MGCplus (HBM) podržanim namenskim mernim softverom – CATMAN. Budući da su za konstrukcijske proračune veoma važna pomeranja teleskopskih krakova noseće konstrukcije pri ispaljenju projektila, veliki deo merenih veličina bila su ubrzanja iz kojih je postprocesno, dvostrukom integracijom, trebalo dobiti odgovarajuća pomeranja. Namenski induktivni davači pomeranja

nisu, zbog svojih dimenzija i oblika, mogli da se upotrebe, a snimanje brzim TV sistemom obuhvatalo je samo platformu. Pošto je u pitanju „skup eksperiment“ (ispaljivanje projektila) – mehanički udar velike amplitude i kratkog trajanja, radi uspešnosti merenja i upoređenja izmerenih vrednosti maksimalnih amplituda, na nekoliko istih mernih mesta ubrzanje se merilo istovremeno induktivnim (HBM B12/500, B12/200) i piezoelektričnim (B&K 4731) davačima.

Zahtevana brzina merenja, granična frekvencija, kao i način pričvršćenja za metalnu konstrukciju bili su identični za sve davače.

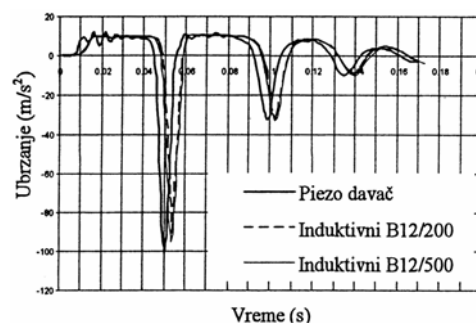
### Istovremeno merenje ubrzanja induktivnim i piezoelektričnim davačima

U toku realnih opita, pod istovetnim uslovima merenja u realnom vremenu i sa pravilno urađenom kalibracijom, maksimalne amplitude ubrzanja mehaničkih udara izmerene piezoelektričnim davačima bile su veće od istih izmerenih induktivnim davačima.

Razlika maksimalnih amplituda aperioidičnih signala snimljenih induktivnim i piezoelektričnim davačima, zahtevala je (pre odluke o validnom rezultatu) da se merenja ubrzanja sa istom kombinacijom davača iz realnih opita urade u laboratorijskim uslovima.

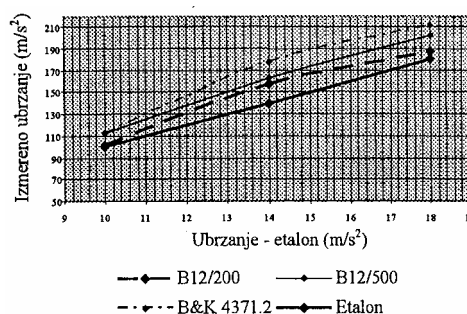
Ubrzanja su, istovremeno, merena sa induktivnim HBM B12/200 (čija je radna frekvencija do 100 Hz, a maksimalno ubrzanje do 200 m/s<sup>2</sup>) i B12/500 (čija je r. f. do 200 Hz, a maks. ubrzanje do 1000 m/s<sup>2</sup>) davačima i piezoelektrič-

nim davačem B&K 4371 (čija je r. f. do 60 kHz, a maks. ubrzanje do 1000 m/s<sup>2</sup>). Prvi deo laboratorijskih merenja odnosio se na merenje ubrzanja mehaničkih udara generisanih na mašini za mehaničke udare i potrese. Uporedni odzivi na „veštački“ mehanički udar amplitude od 100 m/s<sup>2</sup> prikazani su na slici 1.



Sl. 1 – Odzivi davača ubrzanja na etalonski mehanički udar od 100 m/s<sup>2</sup>

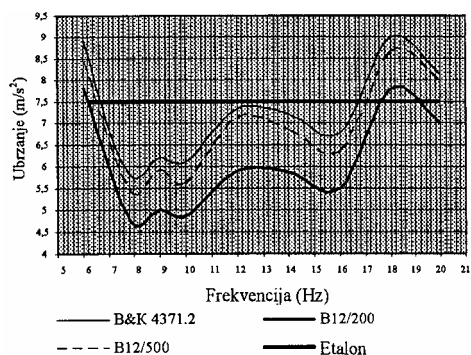
Razlika izmerenih maksimalnih vrednosti ubrzanja za zadate amplitude mehaničkih udara od 100, 140 i 180 m/s<sup>2</sup> prikazana je na slici 2.



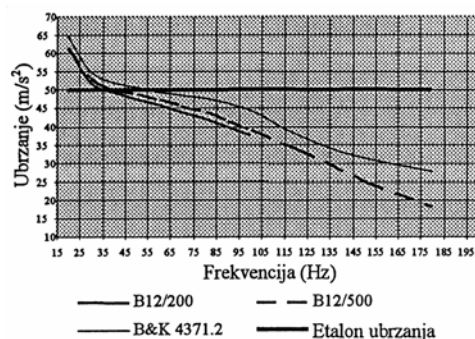
Sl. 2 – Razlika izmerenih maksimalnih amplituda za zadate mehaničke udare

Za mehaničke udare zadatih vrednosti piezo-električni davači registruju velike pikove i prvi reaguju, ali najpribližniju vrednost zadatoj amplitudi daje najinertniji davač B12/200.

Drugi deo laboratorijskih merenja odnosio se na merenje konstantnih vertikalnih ubrzanja, npr.  $7,5 \text{ m/s}^2$  za (5 do 20) Hz i  $50 \text{ m/s}^2$  za (20 do 100 do 180) Hz generisanih vibracionim uređajem. Uporedne karakteristike davača prikazane su na slikama 3 i 4.



Sl. 3 – Uporedne karakteristike davača za konstantno vertikalno ubrzanje od  $7,5 \text{ m/s}^2$



Sl. 4 – Uporedne karakteristike davača za konstantno vertikalno ubrzanje od  $50 \text{ m/s}^2$

Sa slika 3 i 4 vidi se da piezoelektrični davač najbolje prati zadato konstantno ubrzanje, a posle njega B12/500, iako se radi o minimumu mernog opsega za razliku od davača B12/200 kome je to normalni radni opseg.

Ovo zapažanje je kontradiktorno onom iz prvog merenja, što upućuje na to

da za merenje konstantnih ubrzanja više odgovaraju piezoelektrični, a za merenje ubrzanja mehaničkih udara induktivni davači.

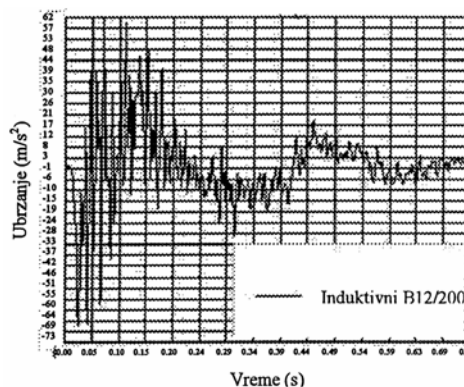
### Postprocesno izračunavanje pomaka iz izmerenih ubrzanja

Nakon snimljenih aperiodičnih signala ubrzanja konstrukcijskih delova (teleskopskih krakova i platforme), kao na slici 5, u postprocesnoj analizi CATMAN-a, prvim integraljenjem signala ubrzanja dobijena je vremenski pomena brzina, koja približno zadržava oblik ubrzanja.

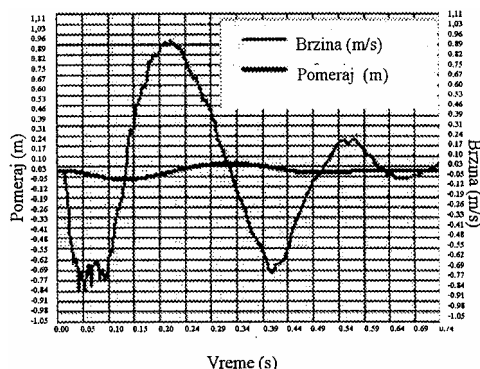
Integraljenjem signala brzine dobijen je signal pomeranja (slika 6), koji je vremenski pomen u odnosu na signal ubrzanja.

Kod većine snimljenih aperiodičnih signala ubrzanja, pri realnim opitima, matematički dobijen signal pomeranja nema očekivani oblik i ne završava se u nuli nakon prestanka pojave.

Signal ubrzanja sa slike 5, u odnosu na druge snimljene signale ubrzanja iz realnih opita, ima duže trajanje i manju amplitudu, zbog čega matematički dobijeno pomeranje ima očekivane vrednosti.



Sl. 5 – Signal ubrzanja dobijen pri realnom opitu



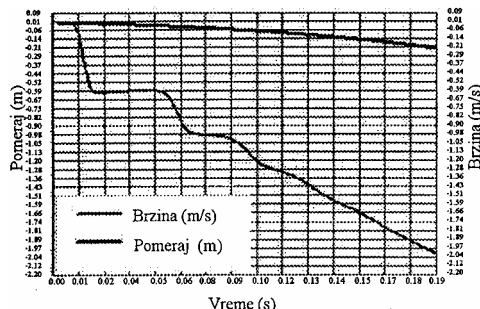
Sl. 6 – Brzina i pomeraj matematički dobijeni iz ubrzanja pri realnom opitu

Radi provere rezultata pomeranja, dobijenih iz realnih opita, urađeno je pomeranje iz ubrzanja „veštačkih“ mehaničkih udara zadatih amplituda ( $100 \text{ m/s}^2$ ,  $140 \text{ m/s}^2$  i  $180 \text{ m/s}^2$ ).

Na slici 7 prikazani su brzina i pomeranje, dobijeni postprocesnim integraljenjem signala sa slike 1.

Dobijen je diskutabilan pomak, kao i za većinu realnih opita, iako je uvek prethodno na svim signalima ubrzanja isfiltrirana jednosmerna komponenta (koja utiče na nagib krive brzine i pomaka).

Analizom snimljenih signala ubrzanja i postprocesnom obradom dobijenih signala brzine i pomeranja može se zaključiti da se za izrazito aperiodične signale ubrzanja malog trajanja i velike am-



Sl. 7 – Brzina i pomeraj iz ubrzanja „veštačkog“ mehaničkog udara amplitude  $100 \text{ m/s}^2$  (sa slike 1)

plitude ne može uvek dobiti realan pomak. Postoji granična vrednost odnosa amplituda – trajanje kod koje dobijeni rezultati pomeranja u vremenu imaju smisla. Za mehaničke udare amplituda većih od  $100 \text{ m/s}^2$ , a trajanja manjih od  $500 \text{ ms}$ , nepouzđano je postprocesno matematičko određivanje krive pomeranja.

Tako, na primer, za „veštački“ udar od  $100 \text{ m/s}^2$ , trajanja  $170 \text{ ms}$  (slika 1), izračunate vrednosti brzine i pomeranja nemaju smisla (slika 7), dok se pri udaru, čije ubrzanje dostiže maksimalnu amplitudu  $70 \text{ m/s}^2$  i trajanje do  $700 \text{ ms}$  (slika 5), dobijaju očekivani rezultati pomeranja dela konstrukcije vozila (slika 6).

## Zaključak

Rezultati merenja maksimalne amplitude ubrzanja mehaničkih udara pri ispaljenju projektila, dobijeni merenjem induktivnim davačima na delovima konstrukcije, više odgovaraju realnim očekivanjima izdržljivosti same konstrukcije.

Dijagrami pomeranja, dobijeni matematički, postprocesnom obradom izrazito aperiodičnih signala ubrzanja mehaničkih udara pri opaljenju ne odgovaraju realnim vrednostima i obliku.

Induktivni davači su inertniji od piezoelektričnih, ne prate veoma brze pojave velikih amplituda, registruju bočna ubrzanja, tj. nisu strogo zahtevni za merenje u pravcu pojave, a izvršiocu daju veću sigurnost u tačnost rezultata merenja, jer se gravitaciona kalibracija od  $0 \text{ m/s}^2$  do  $20 \text{ m/s}^2$  unosi neposredno pre početka merenja.

Piezoelektrični davači registruju veoma brze pojave, ali samo ako je davač pravilno postavljen u pravcu pojave, či-

me je njihova upotreba ograničena, naročito kod višesnih vibracija koje nastaju kod vozila pri kretanju. Za ovakva merenja potrebno je koristiti troosne piezoelektrične davače ubrzanja.

*Literatura:*

- [1] Harris, C. M.: Shock and vibration handbook, McGraw Hill, New York 1976.
- [2] Brüel & Kjaer: Mechanical vibration and shock measurements, october 1980.
- [3] HBM, Operating manual – B12.
- [4] Popović, M.: Senzori i merenja, VETŠ Beograd, 1994.