

NERAZORNA ISPITIVANJA

Ultrazvuk
Metode udara i odjeka:
Impuls response
Impact-echo

4. AUDITORNE VJEŽBE

1

**IMPULSE RESPONSE –
ODGOVOR NA UDAR**

2

IMPULSE RESPONSE – ODGOVOR NA UDAR

- Mehanička impedancija sustava (Z) koji vibrira predstavlja omjer sile (F) koja se sinusoidalno mijenja i brzine točke (v) u kojoj sila djeluje.

$$Z = \frac{F}{v}$$

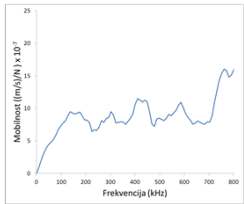
- Mehanička mobilnost (M) je recipročna vrijednost mehaničke impedancije.

$$M = \frac{v}{F}$$

3

IMPULSE RESPONSE – ODGOVOR NA UDAR

- Promjena sile u vremenu proizvedena čekićem i brzina mjerena geofonom pretvoreni su u frekventijsku domenu
- Raspon brzina u frekventijskoj domeni podijeljen s rasponom sila u frekventijskoj domeni daje dijagram mobilnosti.

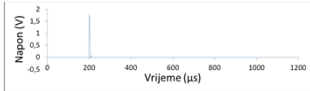


The graph shows Mobility (mm/N) x 10⁶ on the y-axis (0 to 25) and Frequency (kHz) on the x-axis (0 to 800). The curve shows a general upward trend with several peaks, reaching approximately 15 at 800 kHz.

4

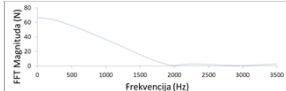
Pobuda impulsa

- Pobuda impulsom je vrlo kratka u vremenskom zapisu
 - Obično do 5% intervala



The graph shows Voltage (V) on the y-axis (-0.5 to 2) and Time (μs) on the x-axis (0 to 1200). A sharp positive pulse is visible around 200 μs.

- U impulsu je sadržaj širok raspon frekvencija i proporcionalan je trajanju impulsa.

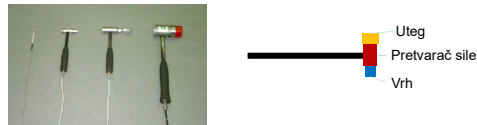


The graph shows FFT Magnitude (V) on the y-axis (0 to 80) and Frequency (Hz) on the x-axis (0 to 3500). The magnitude decreases as frequency increases, showing a broad spectrum.

5

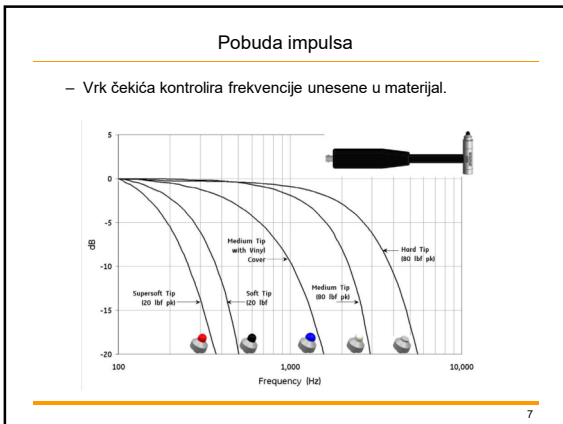
Pobuda impulsa

- Impuls (udarac) se proizvede instrumentiranim čekićem.
- Instrumentirani čekić sadrži:
 - pretvarač sile,
 - Uteg (mogu se postavljati utezi različite mase)
 - Vrh kojim se udara u podlogu (također se može mijenjati)

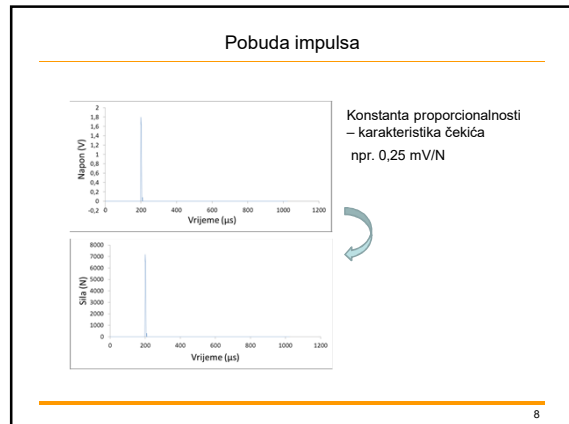


The image shows three instrumented hammers. To the right, a schematic diagram labels the components: Uteg (weight), Pretvarač sile (force transducer), and Vrh (tip).

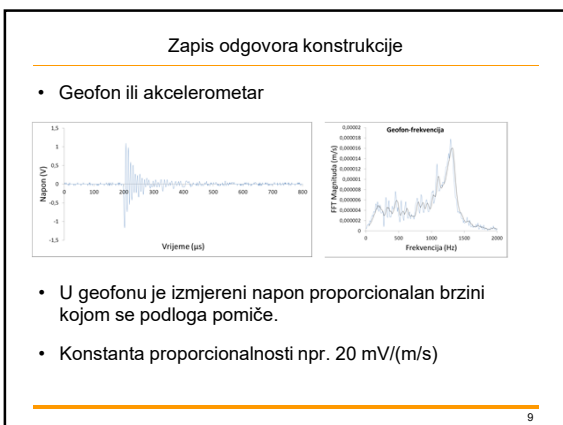
6



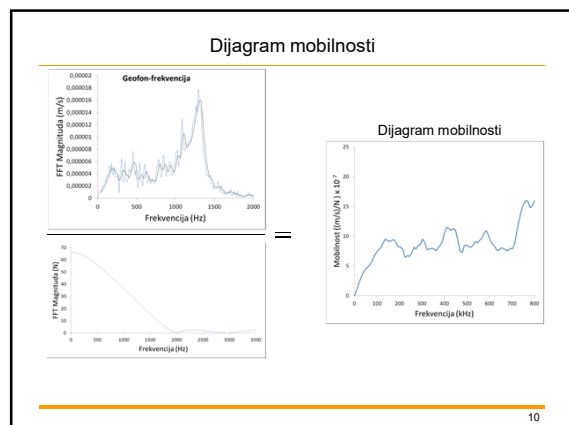
7



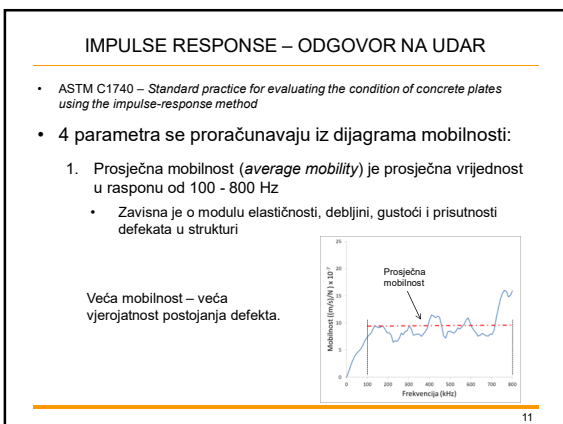
8



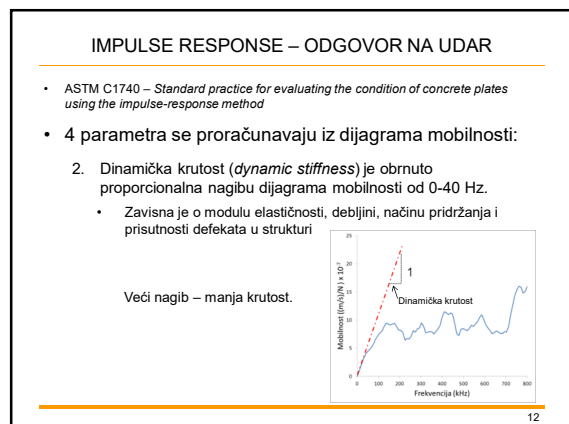
9



10



11



12

IMPULSE RESPONSE – ODGOVOR NA UDAR

- ASTM C1740 – *Standard practice for evaluating the condition of concrete plates using the impulse-response method*
- 4 parametra se proračunavaju iz dijagrama mobilnosti:
 3. Nagib mobilnosti (*mobility slope*) je nagib pravca dobiven regresijom krivulje mobilnosti između 100 i 800 Hz.
 - Uglavnom se koristi za detekciju područja loše zbijenog betona

Veliki nagib upućuje na postojanje šupjina.

13

13

IMPULSE RESPONSE – ODGOVOR NA UDAR

- ASTM C1740 – *Standard practice for evaluating the condition of concrete plates using the impulse-response method*
- 4 parametra se proračunavaju iz dijagrama mobilnosti:
 4. Omjer najveće mobilnosti u intervalu 0-100 Hz i prosječne mobilnosti (*peak-mean mobility ratio, voids index*).
 - Velike vrijednosti upućuju na gubitak prionjivosti ili odvajanje od podloge u industrijskim podovima

Veća vrijednost indeksa upućuje na postojanje oštećenja.

14

14

Primjer ispitivanja 1: Lociranje raspucavanja u ploči nadvožnjaka uslijed alkalno-silikatne reakcije

Program ispitivanja:

- Nerazorno ispitivanje metodom impuls response podgleda ploče nadvožnjaka (površina ispitivanja je otprilike 160 m²)
- Ispitivanja se provode na rasteru 1 m x 1 m iz pokretne platforme
- Cilj ispitivanja je lociranje i kvantificiranje oštećenja uslijed raspucavanja
- Rezultati ispitivanja se verificiraju vadenjem valjaka, ali na način da se ne oštete kabeli za prednapinjanje
- Sve navedeno je potrebno učiniti tijekom samo jedne noći

15

15

Primjer ispitivanja 1: Lociranje raspucavanja u ploči nadvožnjaka uslijed alkalno-silikatne reakcije

Analiza rezultata:

- Dobiveni rezultati (dijagram prosječne mobilnosti) ukazivali su na prisustvo raspucavanja u zoni širine 2-3 m lociranoj uz krajeve nadvožnjaka
- Određene su 3 lokacije za vadenje valjaka za verifikaciju rezultata, i to na način da su 2 lokacije vadenja valjaka na mjestima gdje se sumnja na oštećenja, a 1 lokacija je na mjestu gdje ne bi trebalo biti oštećenja

16

16

Primjer ispitivanja 1: Lociranje raspucavanja u ploči nadvožnjaka uslijed alkalno-silikatne reakcije

Tipični signali:

- Dijagram mobilnosti (desno gore) na mjestu vadenja valjka 3, gdje nisu uočena oštećenja, pokazuje vršnu mobilnost oko 10, a prosječnu mobilnost oko 5 (m/s/N-10⁻⁷)
- Dijagram mobilnosti (desno dolje) na mjestu vadenja valjka 2, gdje su uočena oštećenja, pokazuje vršnu mobilnost oko 70, a prosječnu mobilnost oko 28 (m/s/N-10⁻⁷)

17

17

Primjer ispitivanja 1: Lociranje raspucavanja u ploči nadvožnjaka uslijed alkalno-silikatne reakcije

Zaključak:

- Nerazorna ispitivanja metodom impuls response potvrdila su postojanje većih površina u ploči nadvožnjaka koje su oštećene raspucavanjem zbog alkalno-silikatne reakcije.
- Zaključeno je da je finansijski povoljnije sagraditi novi nadvožnjak nego sanirati postojeći.
- Nadvožnjak je srušen i na istom mjestu je sagraden novi nadvožnjak.

18

18

Primjer 2: Nerazorno ispitivanje ploče mosta

- Ispitivanje provedeno zbog uočenih pukotina u podgledu ploče mosta
- Raster ispitivanja 1,5 x 0,5 m
- Na 3 mjesta izbušeni valjci za potvrđivanje podataka dobivenih impulse response metodom

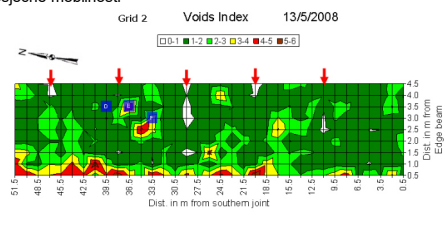


19

19

Primjer 2: Nerazorno ispitivanje ploče mosta

- Voids indeks - omjer najveće mobilnosti u intervalu 0-100 Hz i prosječne mobilnosti



Grid 2 Voids Index 13/5/2008

1:0-1 2:1-2 3:2-3 4:4-5 5:5-6

Dist. in m from southern joint

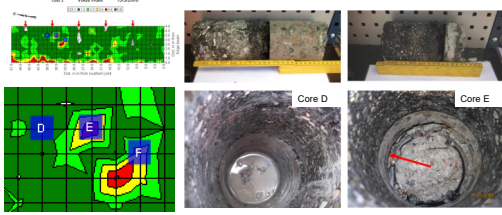
Dist. in m from Edge beam

20

20

Primjer 2: Nerazorno ispitivanje ploče mosta

- Valjak D nema oštećenja
- Valjak E ima raspucali beton ispod asfalta

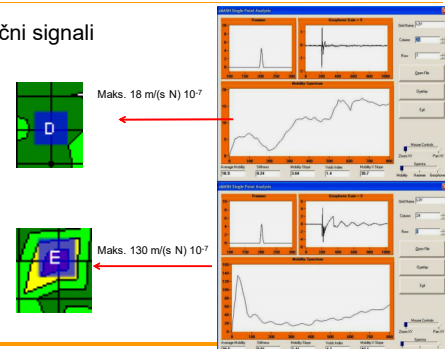


21

21

Primjer 2: Nerazorno ispitivanje ploče mosta

- Tipični signali



Maks. 18 m/(s N) 10⁻⁷

Maks. 130 m/(s N) 10⁻⁷

22

22

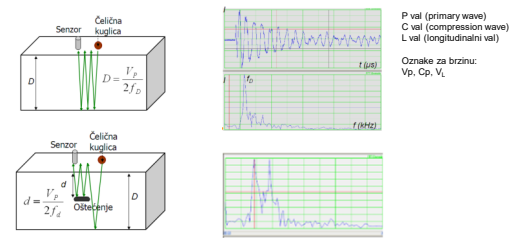
IMPACT-ECHO METODA UDARA I ODJEKA

23

23

Impact-echo

- Princip
 - Uzastopne refleksije tranzijentnih elastičnih P-valova na oštećenjima u materijalu ili na rubnim plohama



Senzor Čelična kuglica

$d = \frac{V_p}{2f_d}$

$d = \frac{V_p}{2f_e}$

Oštećenje

P val (primary wave)
C val (compression wave)
L val (longitudinal val)

Oznake za brzinu:
Vp, Cp, Vl

24

24

ULTRAZVUK

31

31

Metoda transmisije u betonu

- određivanje brzine ultrazvuka:
 - ocjena prisutnosti defekata

Defekti uzrokuju promjene putanje ultrazvuka što utječe na brzinu, ali ne može se okarakterizirati defekt (dubina, dimenzije)!

32

32

Metoda transmisije u betonu

- određivanje brzine ultrazvuka
 - ocjena čvrstoće betona

Parametar	Utjecaj na brzinu ultrazvuka	Utjecaj na čvrstoću
v/c omjer	↑	↓
starost	↑	↓
vlažnost	↑	↓
tip i količina agregata	↑	↓
blizina armature	↑	N.P.
prisutnost defekata	↓	↓

Uglavnom se može primijeniti za procjenu relativne tlačne čvrstoće!!!

33

33

Metoda transmisije u betonu

- Određivanje dubine pukotina
 - Metode: Tc-To (L-L), T, Delta, SDDW, BS, S-S, R-S, L ...

34

34

Metoda transmisije u betonu

- Kontrola injektiranosti pukotina

- Usporedba rezultata na dijelu bez pukotina i preko pukotina
- Prije i poslije injektiranja
- T-test za provjeru hipoteze o jednakosti srednjih vrijednosti iz dva skupa

35

35

Primjer 1: Ocjena sanacije kamenih blokova


- Amfiteatar u Puli – sanacija sjeverozapadne kule
- Ultrazvučnim ispitivanjima ocijenjen je uspjeh sanacije 3 tipa popravaka:
 - sanacija pukotina vidljivih na površini blokova injektiranjem pukotina
 - sanacija (konsolidacija) kamenih blokova vakuum tehnologijom
 - sanacija kamenih blokova spajanjem dijelova različitih blokova.

36

36

Primjer 1: Ocjena sanacije kamenih blokova

- Specifičnosti ispitivanja
- Velika nehomogenost kamena



37

37

Primjer 1: Ocjena sanacije kamenih blokova

- Specifičnosti ispitivanja
 - Neravna površina

Brušenje površine – dodatna sanacija



Glina – kontaktno sredstvo




38

38

Primjer 1: Ocjena sanacije kamenih blokova

- Ocjena sanacije pukotina vidljivih na površini blokova provedena je ispitivanjem vremena prolaza ultrazvuka prije i nakon provedene sanacije.
- Mjereno je vrijeme prolaza kada se sonde nalaze s različitih strana pukotine i kada se nalaze s iste strane pukotine.
- Mjerenja prije i nakon sanacije provedena su na istim mjestima na kamenom bloku.
- Na svakom mjernom mjestu mjerenje je ponavljano dok nisu dobivena 3 rezultata sličnih vremena prolaza ultrazvuka.
- Ukoliko je bilo moguće ispitivanje je provedeno na više pozicija uzduž pukotine.



39

39

Primjer 1: Ocjena sanacije kamenih blokova

- Zaključivanje o uspjehu sanacije – t-test:
 - Za provedbu t-testa potrebno poznavati standardnu devijaciju rezultata ispitivanja.
 - Analiza na 9 blokova.
 - Mjerenja su provedena na nesanimiranim dijelovima blokova, te su analizirana vremena prolaza ultrazvuka u horizontalnom i vertikalnom smjeru.
 - Analizom je određeno da je prosječna standardna devijacija unutar bloka 6,4 μ s odnosno zaključeno je da se na razini pouzdanosti od 95% može reći da će standardna devijacija unutar bloka biti manja od 8,7 μ s.
 - Navedene vrijednosti korištene su prilikom usporedbe rezultata na saniranom i nesanimiranom dijelu bloka.

40

40

Primjer 1: Ocjena sanacije kamenih blokova

- rezultati ispitivanja svrstani su u 3 skupa
 - skup mjerenja na dijelu bez pukotine,
 - skup mjerenja preko pukotine prije sanacije i
 - skup mjerenja preko pukotine nakon sanacije;
- izračunate su srednje vrijednosti i standardne devijacije vremena prolaza ultrazvuka za 3 skupa rezultata;
- proveden je t-test s ciljem utvrđivanja može li se odbaciti hipoteza da su
- srednje vrijednosti vremena prolaza ultrazvuka preko pukotine prije i nakon sanacije jednake, odnosno može li se zaključiti da je vrijeme prolaza ultrazvuka preko pukotine skraćeno nakon sanacije.
- Testiranje hipoteza provedeno je na razini pouzdanosti od 95 %.
- Ukoliko se testiranjem hipoteza pokaže da je vrijeme prolaza ultrazvuka na dijelu preko pukotine skraćeno zaključuje se da su injektiranjem poboljšana svojstva bloka.

41

41

Primjer 1: Ocjena sanacije kamenih blokova



42

42

Primjer 1: Ocjena sanacije kamenih blokova

- Ocjena sanacije

Tablica 1: Rezultati analize injektiranja pukotina

Poz.	t_1 [μ s]	t_2 [μ s]	T-test: može li se zaključiti da je $t_1 > t_2$	t_p [μ s]	Usporedna vremena prolaza t_1 i t_2
6	101.8	89.6	NE		
8	111.3	121.5	NE		
10	85.8	79.5	NE		
12	113.7	108.4	NE		
13	100.5	94.9	NE		
14	80.1	79.9	NE		
15	79.0	69.1	DA	91.8	$t_1 < t_2$
16	85.0	79.9	NE		
17	139.2	123.1	DA	139.8	$t_1 = t_2$
19	282.3	122.8	DA		$t_1 > t_2$
20	105.2	78.5	DA	123.8	$t_1 > t_2$
21	103.5	86.0	DA	105.5	$t_1 > t_2$
22	79.8	100.8	NE		
23	106.1	78.0	DA	103.6	$t_1 > t_2$
24	104.8	94.9	NE		
25	105.4	97.2	NE		

43

Alternativni pristup određivanju brzine

AKUSTO-ULTRAZVUČNA (A-U) ISPITIVANJA

- simulacija akustične emisije ultrazvučnim izvorima;
- umjesto opterećenja u materijal se unosi ultrazvučni elastični val piezoelektričnim pretvaračima.

AKUSTIČNA EMISIJA

AKUSTO-ULTRAZVUČNO ISPITIVANJE

44

Alternativni pristup određivanju brzine

AKUSTO-ULTRAZVUČNA ISPITIVANJA

- ideja A-U je održavati konstantnim i poznatim položaj i intenzitet izvora ultrazvuka.
- cilj analize nije otkrivanje lokacije izvora već karakterizacija materijala između izvora i prijemnika.

Hipoteza na kojoj se temelji koncept akusto-ultrazvuka:

- “**provođenje veće energije titranja znači bolju transmisiju titranja, povoljniju distribuciju opterećenja, veću čvrstoću te otpornost na nastajanje i širenje pukotina**”. [A. Vary, 1979.]

45

Alternativni pristup određivanju brzine

AKUSTO-ULTRAZVUČNA ISPITIVANJA

- Sposobnost provođenja energije titranja ocjenjuje se na osnovu faktora mehaničkog vala, tj. **SW faktora (stress wave factor)**.
- SW faktor može se definirati na više načina, a uglavnom se koriste parametri proizašli iz ispitivanja akustične emisije.

46

Alternativni pristup određivanju brzine

AKUSTO-ULTRAZVUČNA ISPITIVANJA

- broj prelazaka praga (*counts*)
- amplituda signala,
- energija,
- trajanje (*duration*),
- vrijeme porasta signala (*risetime*),
- itd.

47

Alternativni pristup određivanju brzine

- Analiza valnog zapisa
 - Korelacija s pull-out testom

48