



HRVATSKA KOMORA INŽENJERA GRAĐEVINARSTVA

Dani Hrvatske komore inženjera građevinarstva

Opatija, 2019.

PRIMJENA METODE IMPACT-ECHO U NEDESTRUKTIVNOJ DIJAGNOSTICI BETONSKIH KONSTRUKCIJA

Matija Orešković

Doc.dr.sc. Matija Orešković, dipl.ing.građ.

Sveučilište Sjever, Odjel za graditeljstvo

Osnovno o IMPACT-ECHO metodi

IMPACT-ECHO je metoda za nerazorna ispitivanja betonskih i zidanih konstrukcija.

Temelji se na korištenju udarnih valova koji se šire kroz medij, a reflektiraju se na unutarnjim pukotinama i vanjskim površinama.

Upotrebljava se za određivanje položaja i opsega pukotina, delaminacije, šupljina, struktura poput saća i odvajanja u ravnim, ojačanim i naknadnim betonskim konstrukcijama.



- Upotrebljava se za ploče, betonske podloge za asfalt, stupove i grede, šuplje cilindre.
- Osigurava mjerenje debljine betonskih ploča s pogreškom manjom od 3 %, a može locirati šupljine u podlozi izravno od ploče i kolnika.



IMPACT-ECHO metoda najuspješnije se koristi za :



Identificiranje i kvantificiranje sumnjivih problema unutar strukture, kontrolu kvalitete, kao što su mjerenje debljine novih kolnika autocesta, te u programima preventivnog održavanja, kao što su rutinske procjene paluba mostova za otkrivanje delaminacija.



Potreban pribor za IMPACT-ECHO ispitivanje

Ispitivanje IMPACT-ECHA oslanja se na tri osnovne komponente:

1. Mehanički udarni element koji može proizvesti kratkotrajne udarce, čije se trajanje može mijenjati
2. Prijemnik/pojačalo za mjerenje površinskog odziva
3. Sustav za analizu signala za prikupljanje podataka za snimanje, obradu i pohranjivanje valnih signala





čelične kuglice montirane na opružne čelične šipke pogodne su za terenska ispitivanja

Prednosti IMPACT-ECHA

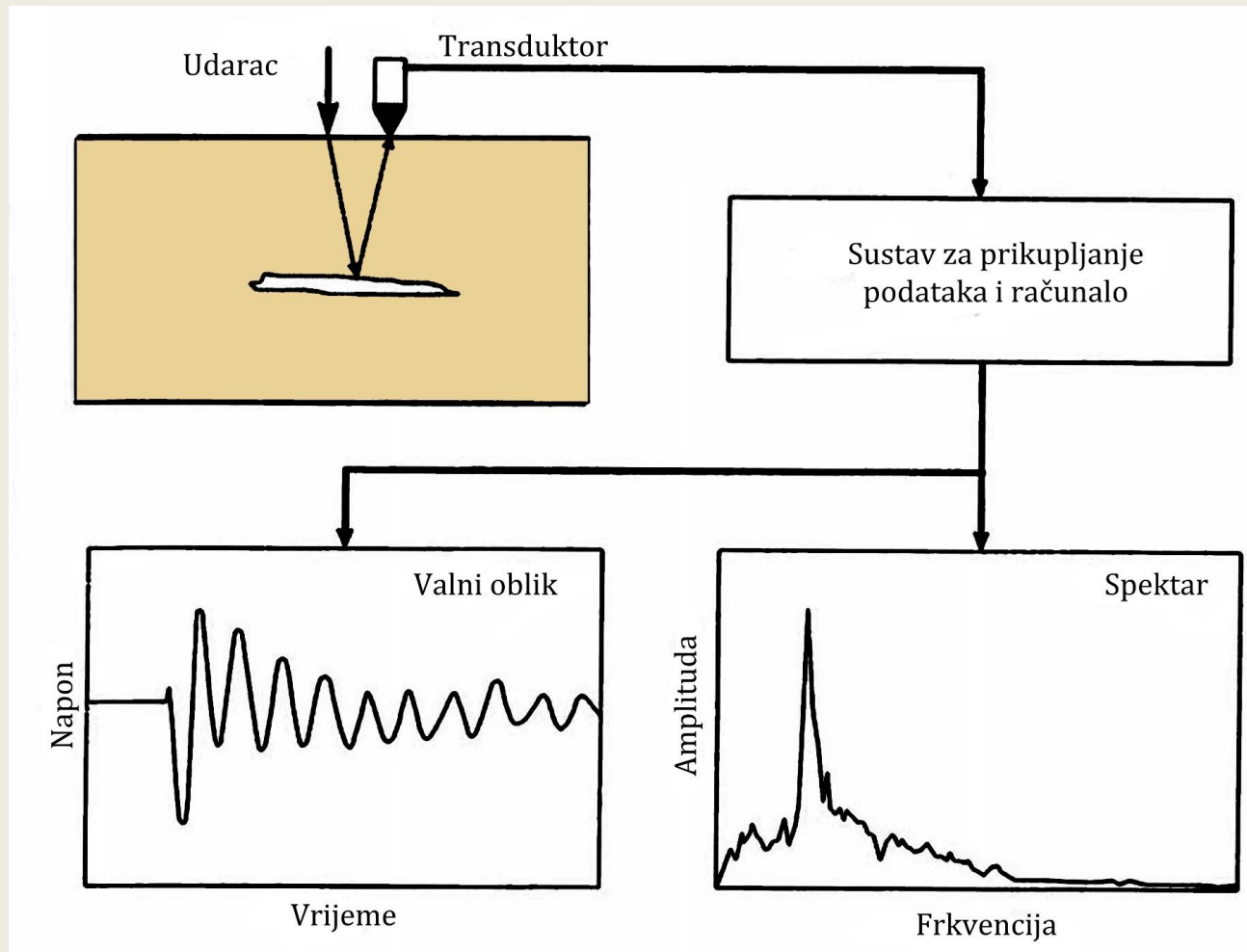
Sustav pruža korisniku sljedeće pogodnosti:

- Samo jedna površina mora biti dostupna za testiranje.
- Brzo otkrivamo debljinu nepoznatog člana, bez izbočenja.
- Otkriva nedostatke poput šupljina betona, betonskih saća, pukotina i raslojavanja.
- Mjesto dubine defekata i točan položaj



Kako funkcionira IMPACT-ECHO

IMPACT-ECHO temelji se na korištenju prijelaznih udarnih valova generiranih elastičnim djelovanjem.



- Kratkotrajni mehanički utjecaj, proizveden lupkanjem male čelične kugle na betonsku ili zidanu površinu, koristi se za stvaranje niskih udarnih frekvencija koje se šire u strukturu i reflektiraju se u defektima i/ili vanjskim površinama.
- Površinske pomake uzrokovane refleksijama tih valova bilježi sonda, smještena u blizini udara.
- Dobiveni signali pomaka prema vremenu pretvaraju se u frekvencijsku domenu i dobivaju se dijagrami amplitude prema frekvenciji (spektri).
- Višestruke refleksije udarnih valova između udarne površine, pukotina i/ili vanjskih površina dovode do prolaznih rezonancija, koje se mogu identificirati u spektru, te se koriste za procjenu integriteta strukture ili za određivanje mjesta defekta.



Destruktivno i nedestruktivno ispitivanje (Razorne i nerazorne metode)

- Najčešće korištene metode ispitivanja betona i zidova su destruktivne metode.
- To su bušenje, ili na drugi način uklanjanje dijela konstrukcije kako bi se omogućio vizualni pregled unutrašnjosti.
- Iako su ove metode vrlo pouzdane, one su također dugotrajne i skupe, a nedostaci koje ostavljaju često postaju žarišne točke za pogoršanje.



- Akustične metode su najstariji i najrašireniji oblik ispitivanja bez razaranja. One se temelje na širenju, a u nekim slučajevima i refleksiji, udarnih valova u krutim tvarima.
- Dobro poznati primjer je udaranje čekićem u objekt i slušanje varijacija u "zvonjavom" kako bi se otkrila prisutnost unutarnjih šupljina, pukotina ili drugih oštećenja.



U IMPACT- ECHO metodi u ispitni medij se uvodi val na površini, pomoću sonde ili mehaničkim udarcem.

- Ako se koristi odašiljač, metoda se naziva puls-echo; ako se koristi mehanički utjecaj, metoda se naziva IMPACT-ECHO.
- U pulsним echo tehnikama puls se širi kroz medij i reflektira se materijalnim defektima ili međusobnim razmakom između područja različitih gustoća i/ili elastičnih modula.



Udarni valovi u IMPACT-ECHO metodi (Elastični udarni valovi)

- U klasičnoj dinamici krutog tijela pretpostavlja se da kada se primijeni sila u jednoj točki na izoliranom tijelu, cijelo tijelo reagira u tom trenu, sila prolazi linearno sa kutnim ubrzanjem.
- U stvarnosti, primijenjena sila također proizvodi deformacije unutar čvrstog tijela.
- Ako je deformacija unutar elastičnog raspona i ako se sila primjenjuje na kratke periode ili se brzo mijenja s vremenom - kao u slučaju elastičnog udara - učinci se mogu razmatrati u smislu širenja elastičnih udarnih valova unutar tijela.



- Dvije vrste elastičnih valova mogu se širiti u krutom stanju: dilatacijski valovi (koji se nazivaju valovi kompresije, primarni valovi, ili **P-valovi** i valovi izobličenja (koji se nazivaju smični valovi, sekundarni valovi ili **S-valovi**).
- Treća vrsta elastičnog vala, poznata kao Rayleighovi valovi (**R-valovi**), mogu se širiti duž površine krutine.

U ispitivanju IMPACT-ECHA, udarni valovi generiraju se mehanički i to udaranjem malom čeličnom kuglom (tipično promjera 3 mm do 15 mm) na površinu konstrukcije.



PROSTORNI POTRESNI VALOVI (P-valovi i S-valovi)

Šire se radijalno od žarišta (hipocentra) u svim smjerovima.

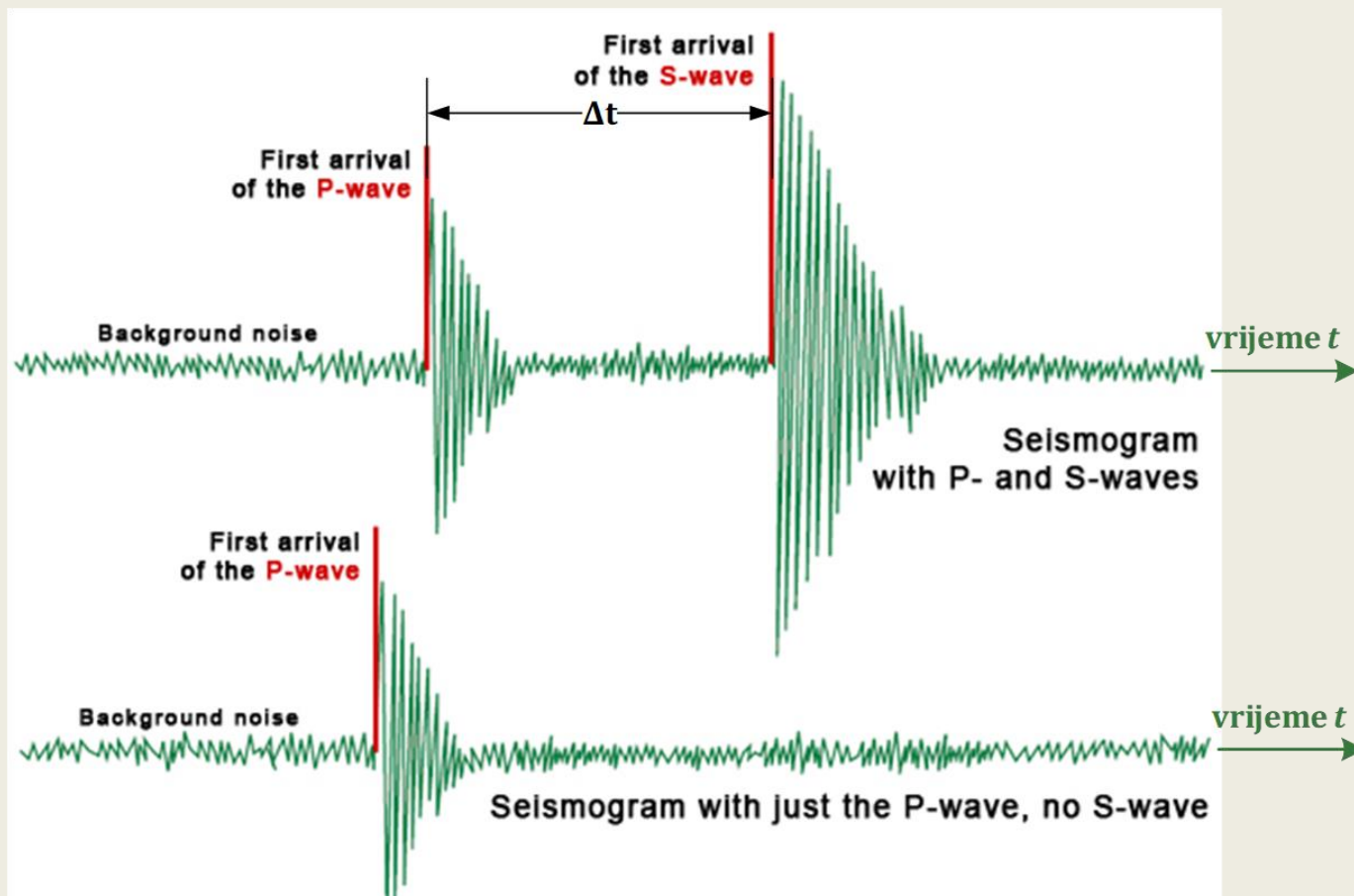
P-valovi nose oznaku ***P*** zato jer su to ***primarni valovi*** (valovi koji se rasprostiru najvećom brzinom). Ti se valovi još nazivaju i ***uzdužni*** ili ***longitudinalni seizmički valovi***.

S-valovi nose oznaku ***S*** zato jer su ***sekundarni*** tj. oni pristižu na mjesto opažanja tek nakon P-valova. S-valovi nazivaju se još i ***poprečni ili transverzalni seizmički valovi***.



SEIZMOGRAMSKI PRIKAZ

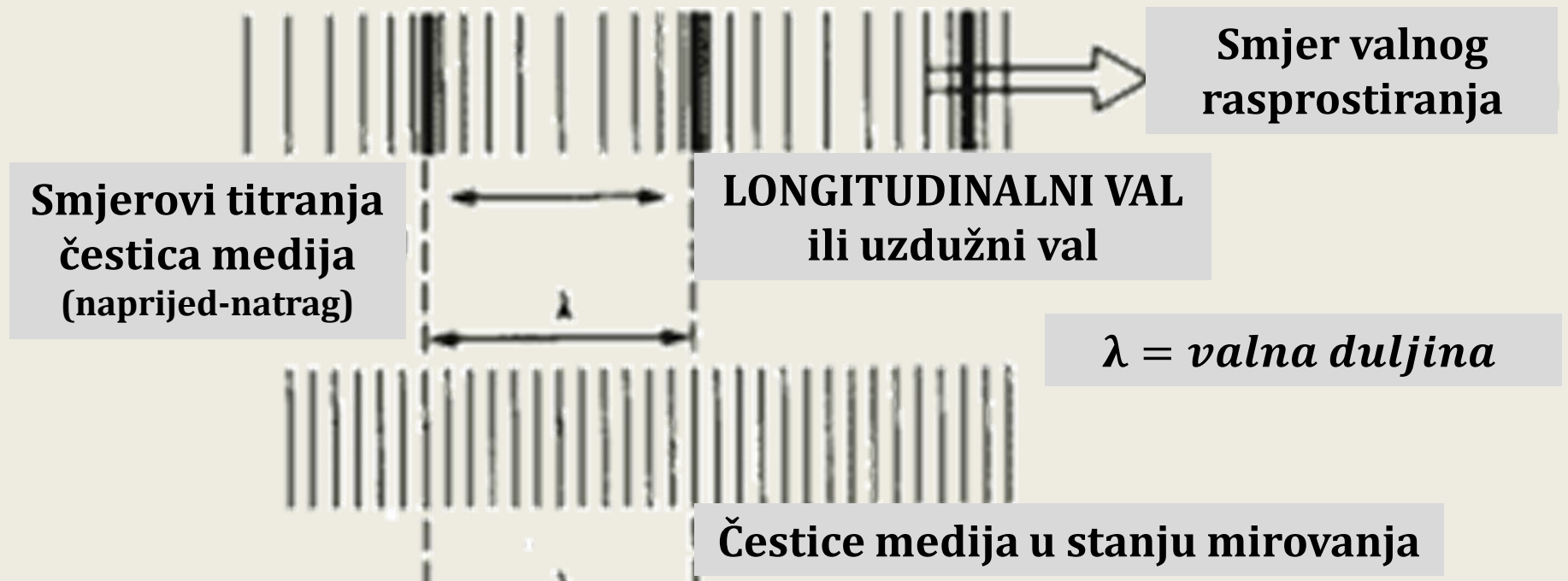
nailaska P-vala a potom i S-vala do neke seizmološke postaje



Napomena: Važno je uočiti da seizmograf prvo registrira nailazak P-valova, a nakon nekog vremena (ΔT) registrira i nailazak S-valova

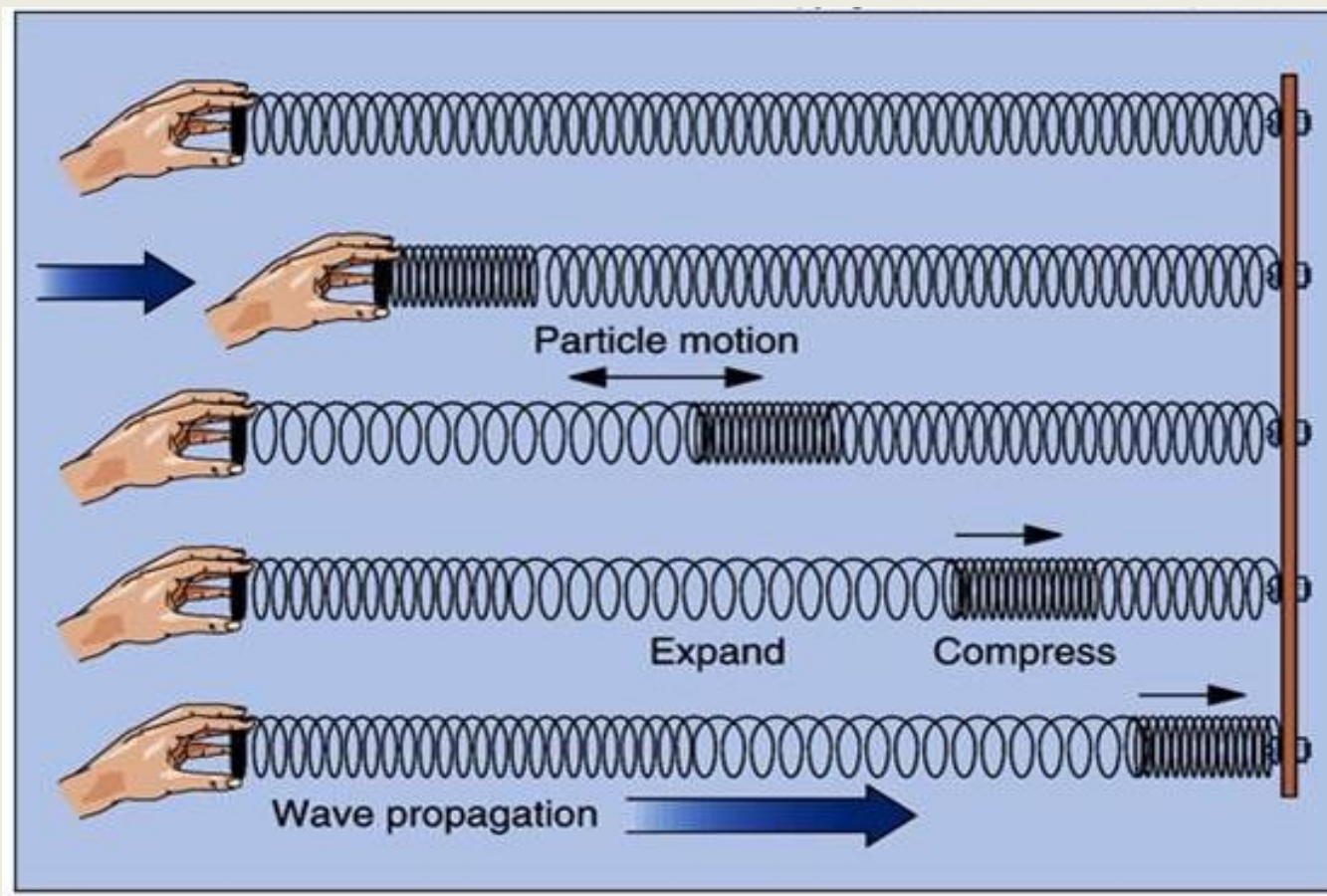
P-valovi ili uzdužni valovi

Naziv tih valova (uzdužni ili longitudinalni) proizlazi iz činjenice što čestice oscilirajuće sredine (medija) titraju duž linije rasprostiranja tih valova



OPRUGA

kao model rasprostiranja uzdužnog vala



Napomena: Navoji opruge tj. „čestice” gibaju se (titraju) duž pravca rasprostiranja P-vala

S-valovi ili poprečni valovi

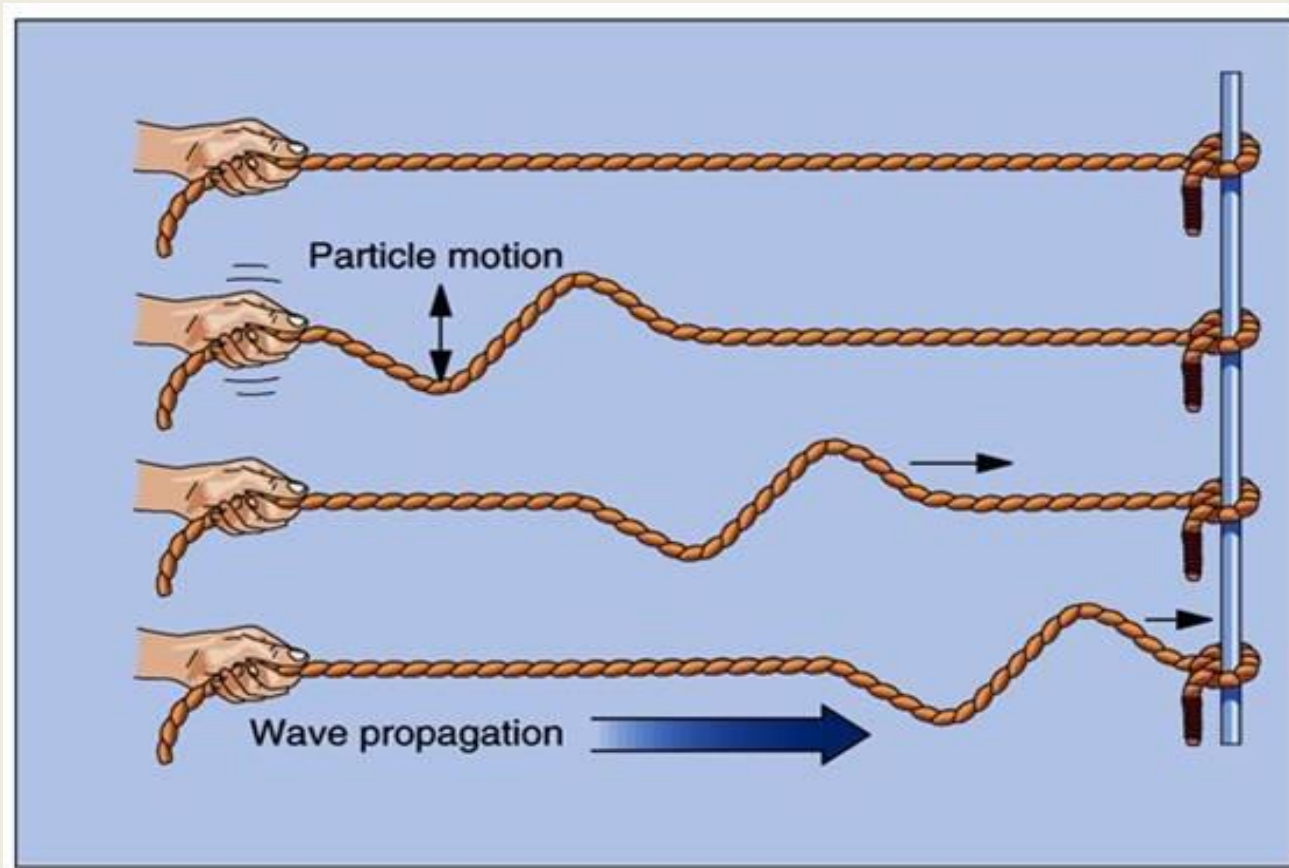
Naziv poprečni ili transverzalni val koji se još koristi za S-valove proizlazi iz činjenice da pri tom valnom gibanju čestice (molekule) osciliraju poprečno tj. transverzalno na pravac (liniju) valnog gibanja.

Brzina rasprostiranja S-valova manja je od brzine P-valova i otprilike iznosi $v_s = 60\% v_p$



S-valovi

Model rasprostiranja poprečnog tj. S-vala



Napomena: Čestice užeta gibaju se (titraju) popreko na smjer rasprostiranja S-vala

POVRŠINSKI POTRESNI VALOVI ***(R-valovi i L-valovi)***

Dok se P i S valovi rasprostiru kroz 3 dimenzije (prostorni valovi), R i L valovi gibaju se u dvije dimenzije tj. po površini kugle zemaljske. Oba valna gibanja nastaju kao posljedica složene transformacije P i S valova pri njihovom nailasku na površinu kugle zemaljske.

Brzina širenja R valova u tipičnom homogenom elastičnom mediju iznosi oko 90% v_S , a slično je s brzinom širenja L valova, premda su nešto sporiji od R valova, dakle:

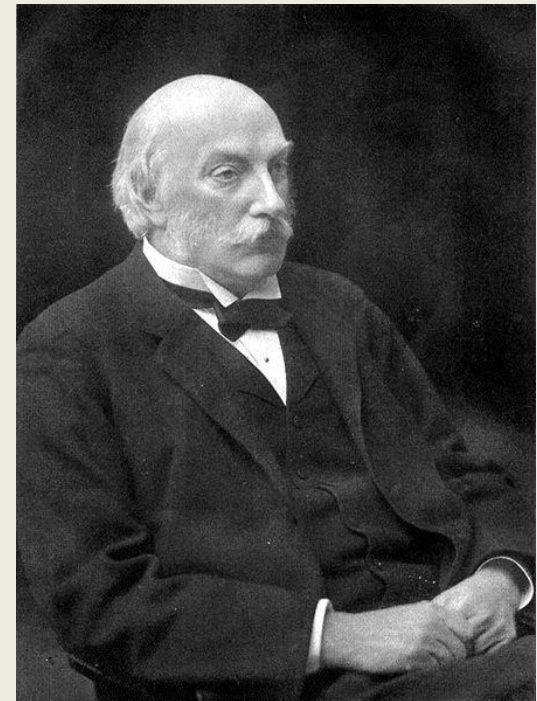
$$v_R \cong 90\%v_S, \text{ točnije (oko } 92\% v_S)$$

$$v_L \cong v_R \text{ (oko } 90\% v_S)$$



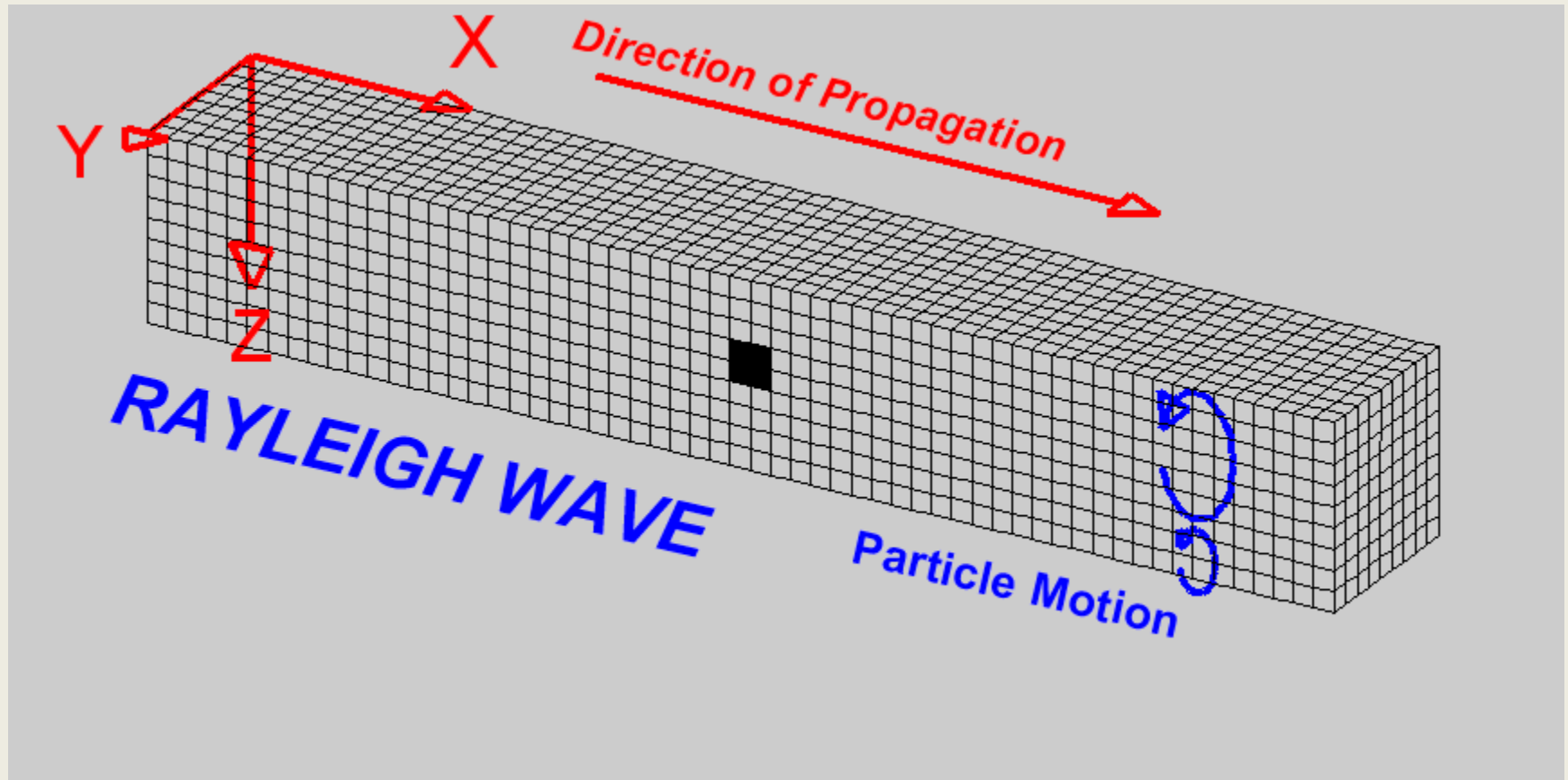
R-valovi (Rayleighovi valovi)

Ime su dobili (1885.) po lordu Rayleighu, a po formi slične na valovanje vode (premda je fizikalna pozadina bitno različita).



**Lord John William Strutt, 3. barun Rayleigh
(12.XI.1842. – 30.VI.1919.)**

Rayleighovi valovi

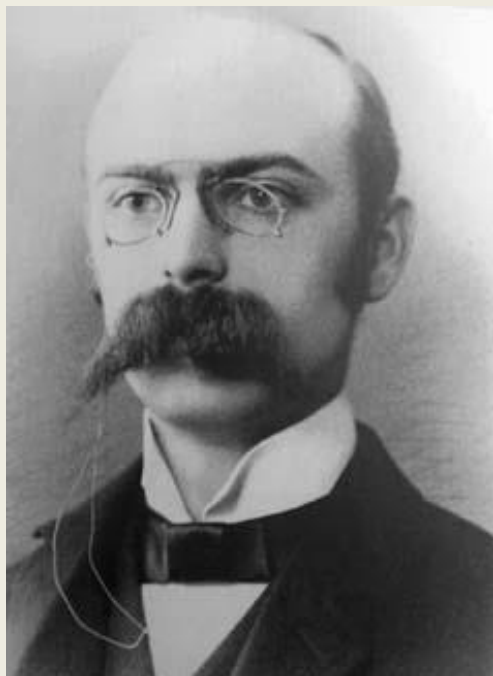


Napomena: Treba uočiti da se pri R-valovima čestice gibaju po eliptičnim krivuljama pri odnosu vertikalne i longitudinalne osi cca 1,5:1, s time da se amplitude titranja brzo smanjuju s udaljenošću od površine terena

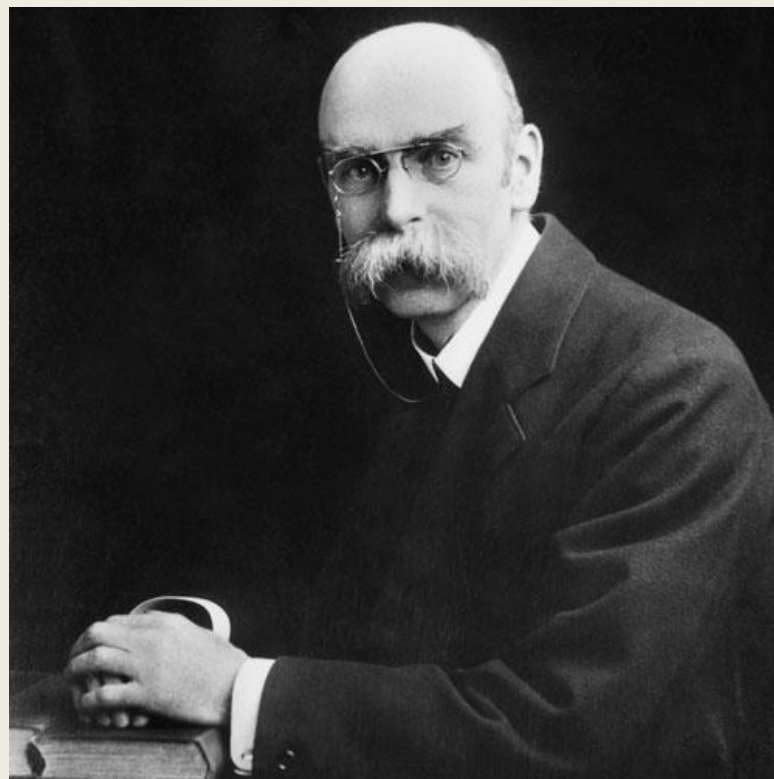
Površinski valovi

L-valovi (Loveovi valovi)

Ime su dobili (1911.) po britanskom matematičaru E.A.H. Loveu, a po formi slične ***zmijskom gibanju (puzanju)***.

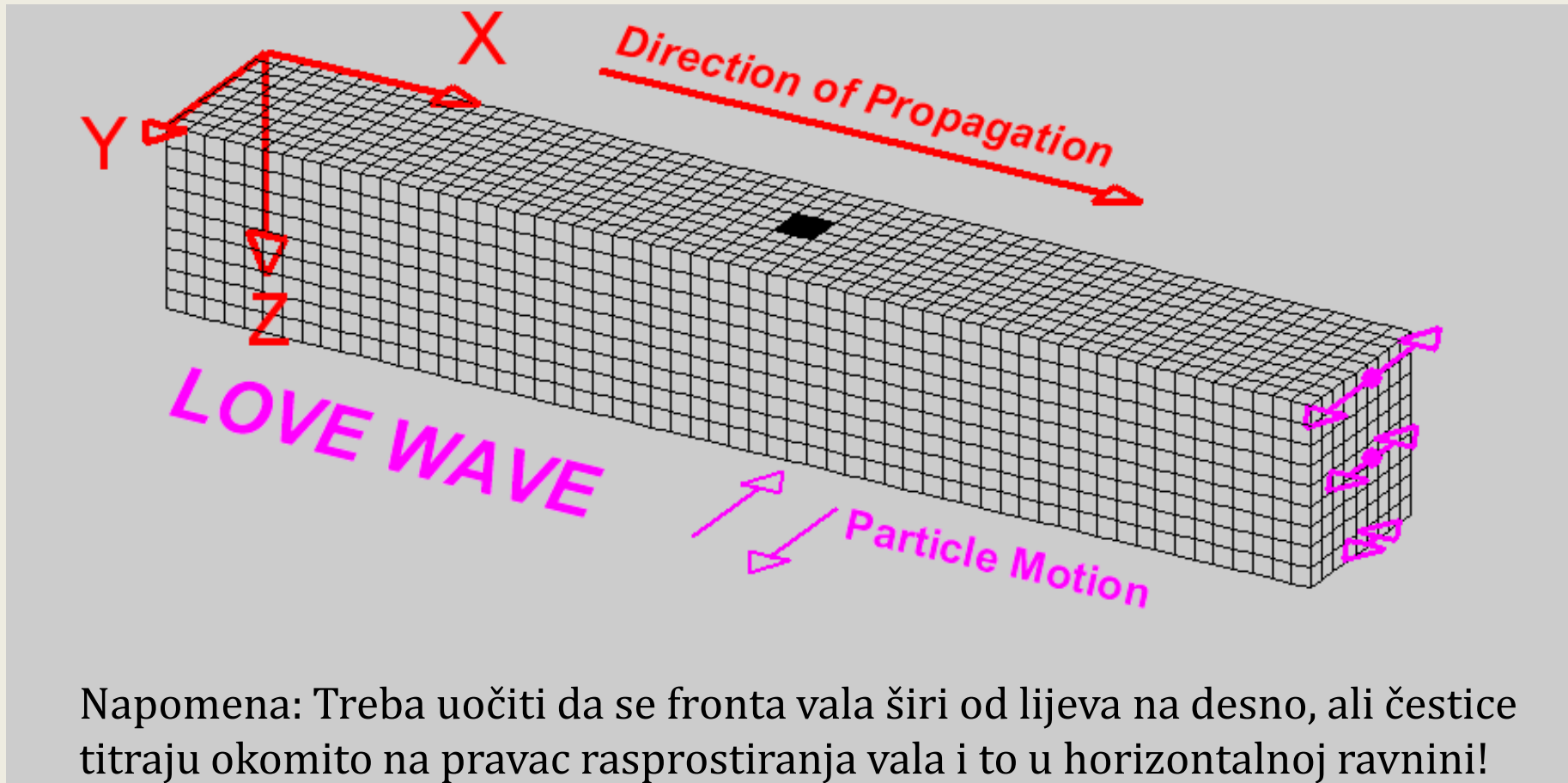


Augustus Edward Hough Love
17.IV.1863. – 5.VI.1940.



Površinski valovi

L-valovi



Napomena: Treba uočiti da se fronta vala širi od lijeva na desno, ali čestice titraju okomito na pravac rasprostiranja vala i to u horizontalnoj ravnini!

Kažemo da su Loveovi valovi horizontalno polarizirani površinski valovi



TABLICA BRZINA P i S valova kroz neke stijene i druge materijale,
dopunjena podacima o gustoći (ρ i ρ_c)

Type of formation	P wave velocity (m/s)	S wave velocity (m/s)	Density (ρ) (g/cm ³)	Density of constituent crystal (ρ_c) (g/cm ³)
Scree, vegetal soil	300-700	100-300	1.7-2.4	-
Dry sands	400-1200	100-500	1.5-1.7	2.65 quartz
Wet sands	1500-2000	400-600	1.9-2.1	2.65 quartz
Saturated shales and clays	1100-2500	200-800	2.0-2.4	-
Marls	2000-3000	750-1500	2.1-2.6	-
Saturated shale and sand sections	1500-2200	500-750	2.1-2.4	-
Porous and saturated sandstones	2000-3500	800-1800	2.1-2.4	2.65 quartz
Limestones	3500-6000	2000-3300	2.4-2.7	2.71 calcite
Chalk	2300-2600	1100-1300	1.8-3.1	2.71 calcite
Salt	4500-5500	2500-3100	2.1-2.3	2.1 halite
Anhydrite	4000-5500	2200-3100	2.9-3.0	-
Dolomite	3500-6500	1900-3600	2.5-2.9	(Ca, Mg) CO ₃ 2.8-2.9
Granite	4500-6000	2500-3300	2.5-2.7	-
Basalt	5000-6000	2800-3400	2.7-3.1	-
Gneiss	4400-5200	2700-3200	2.5-2.7	-
Coal	2200-2700	1000-1400	1.3-1.8	-
Water	1450-1500	-	1.0	-
Ice	3400-3800	1700-1900	0.9	-
Oil	1200-1250	-	0.6-0.9	-



UVJETI RASPROSTIRANJA P i S valova

Osobito je važno istaknuti činjenicu da se P-valovi šire kroz svaki medij (čvrsti, tekući, plinoviti) dok se S-valovi mogu širiti *samo* kroz čvrsti medij, ili točnije rečeno, *kroz dovoljno čvrsti medij*. Istina, u tim su materijalima brzine v_P i v_S ipak manje nego li bi to bilo da su ti isti materijali čvrsti i kruti.



Među važnim parametrima koji karakteriziraju impact su trajanje ili vrijeme kontakta udarca, t_c , pomicanje kugle, D i kinetička energija sfere pri udaru.

Karakteristike udarnih valova koje generira elastični utjecaj kugle na čvrstu tvar, određuje njihovu sposobnost da pridonese otkrivanju nedostatka u materijalu.



Tijekom udara dio kinetičke energije u sferi pretvara se u elastičnu valnu energiju u betonu.

Maksimalna sila je proporcionalna kinetičkoj energiji pokretne kugle pri udaru, a pomaci čestica rezultirajućih udarnih valova proporcionalni su toj sili.

Za čeličnu sferu koja je pala na betonsku ploču normalne čvrstoće s visine ***h***, vrijeme kontakta [s] može možemo izraziti pomoću jednadžbe :

$$t_c = \frac{0.0043 D}{h^{0.1}}$$

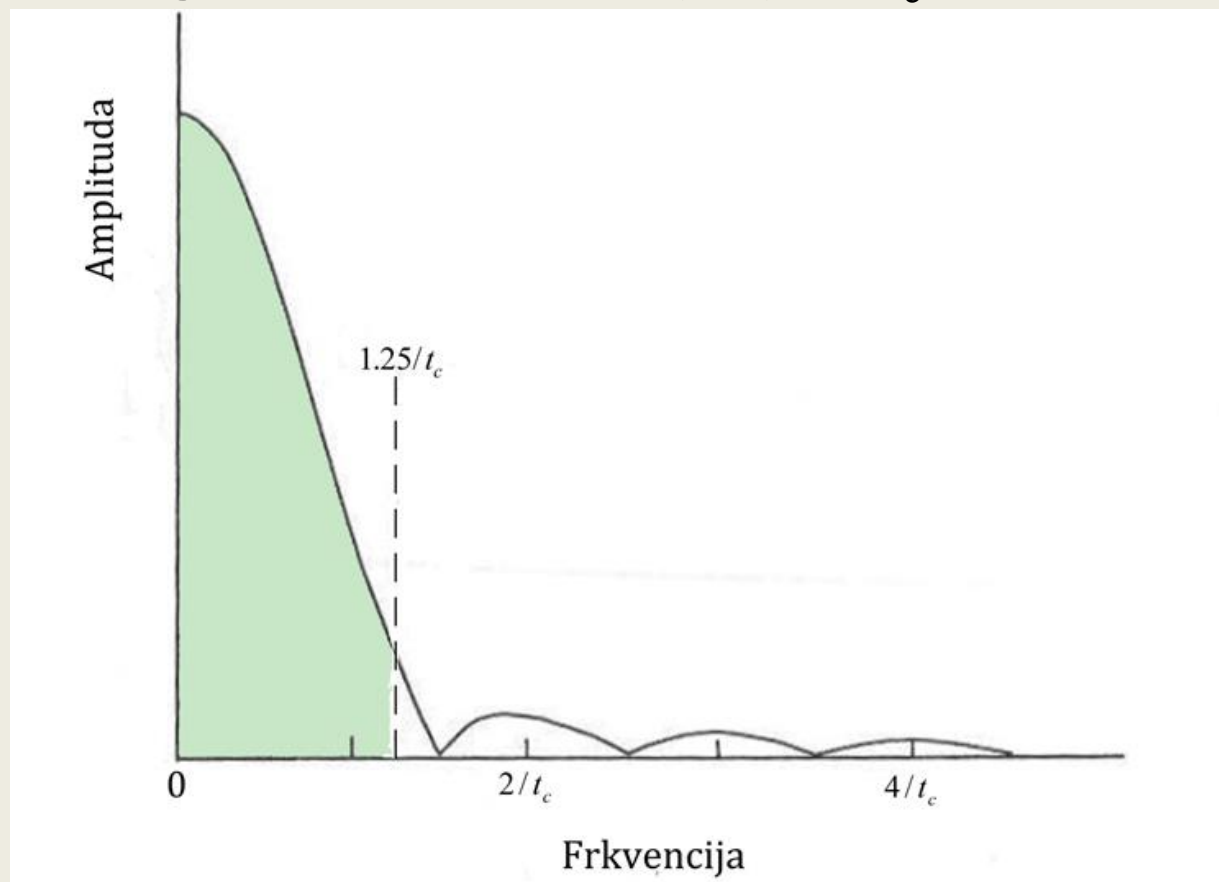
$$h = 0,2-4m$$

$$t_c = 0.0043 D$$

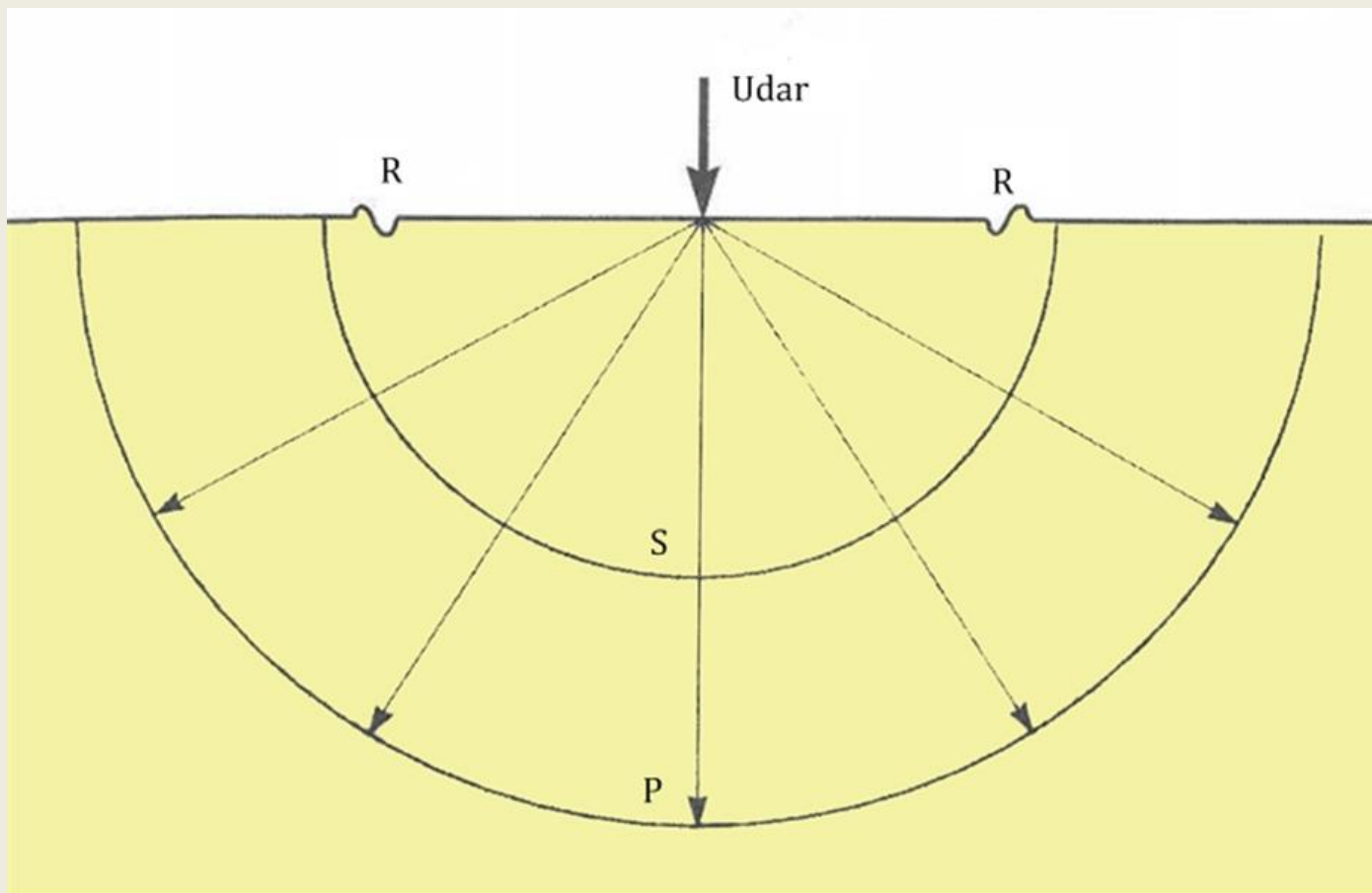


IMPACT udarni valovi sastoje se od široke raspodjele frekvencija, a ta raspodjela je određena funkcijom sila-vrijeme.

Raspodjela amplituda i frekvencija u udarnim valovima nastalih djelovanjem kugle na krutinu s trajanjem t_c prikazana je na slici



Maksimalna amplituda kretanja čestica u udarnim valovima izazvanim udarcima je proporcionalna maksimalnoj snazi udara.



Shematski prikaz širenja valova uzrokovanih udarom (impact)

Brzina vala, frekvencija i valna duljina

Brzine valova u homogenom, polu-beskonačnom, elastičnom krutom stanju uzroci su Youngovog modula elastičnosti E , gustoće mase ρ , i Poissonovog koeficijenta ν .

Brzine P i S valova koje se šire u beskonačnim krutinama daju se sljedećim izrazima:

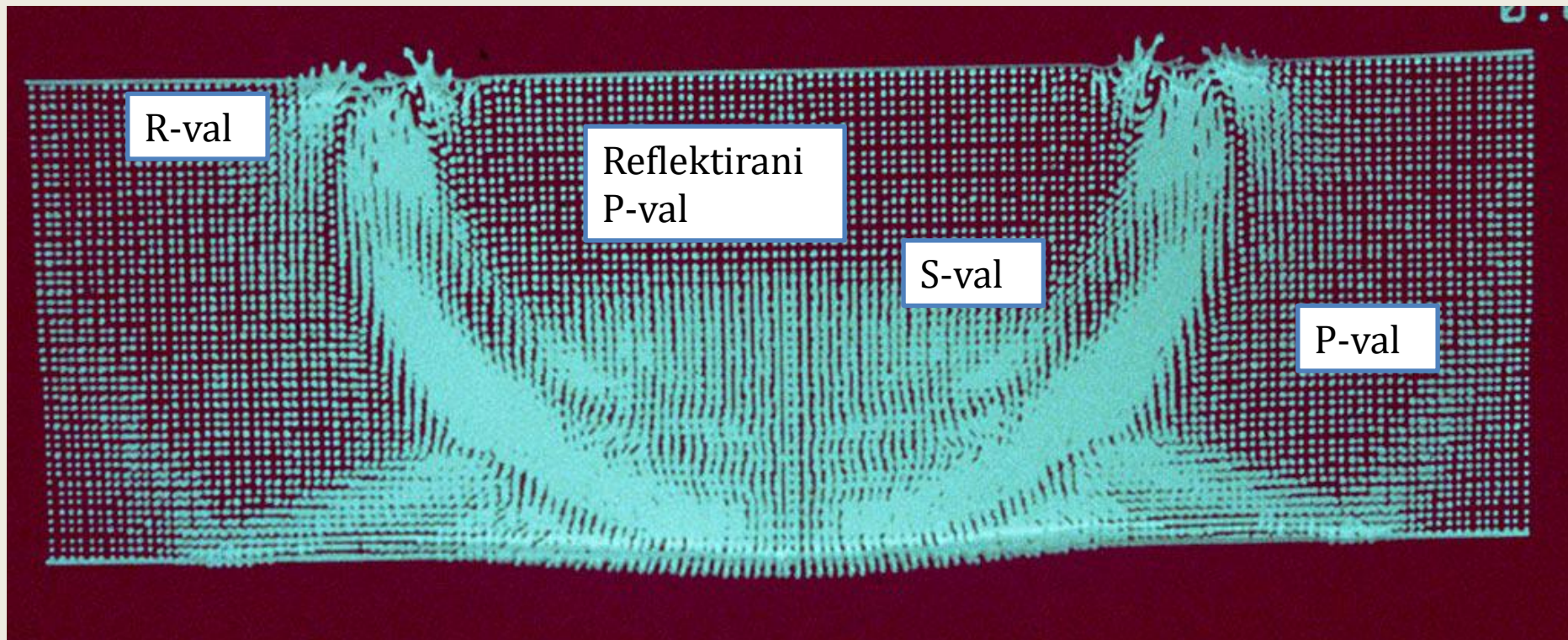
C_P je brzina P vala

$$C_P = \sqrt{\frac{E(1-\nu)}{\rho(1+\nu)(1-2\nu)}}$$

C_S je brzina S vala

$$C_S = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\nu)}}$$





Brzina P-vala može se odrediti korištenjem udarnih valova na dva različita načina:

1. mjerenje vremena putovanja P ili R valova između dva pretvornika na međusobnoj fiksnoj udaljenosti na betonskoj površini;
2. izvođenje ispitivanja IMPACT-ECHA na čvrstu strukturu poznatih dimenzija (poželjno ploča) i izračunavanje brzine vala

Brzine valova u betonu obično variraju od 3500 do 5000 m/s. Kada je nepoznata brzina udara, 4000 m/s je dobra početna procjena. Stoga je točnost rezultata djelomično određena poznatim C_p



Udarni valovi, kao i drugi fizički valovi, vode se temeljnom
jednadžbom širenja valova:

$$C = f\lambda$$

$$[m/s] = [kHz] [m]$$

Interakcija udarnih valova s unutarnjim diskontinuitetima u velikoj mjeri ovisi o odnosu valne duljine, dimenzije i dubine diskontinuiteta.

Općenito, valovi valne duljine λ , odrazit će se diskontinuitetima koji imaju dimenzije približno jednake ili veće nego λ , no oni manji se neće vidjeti.



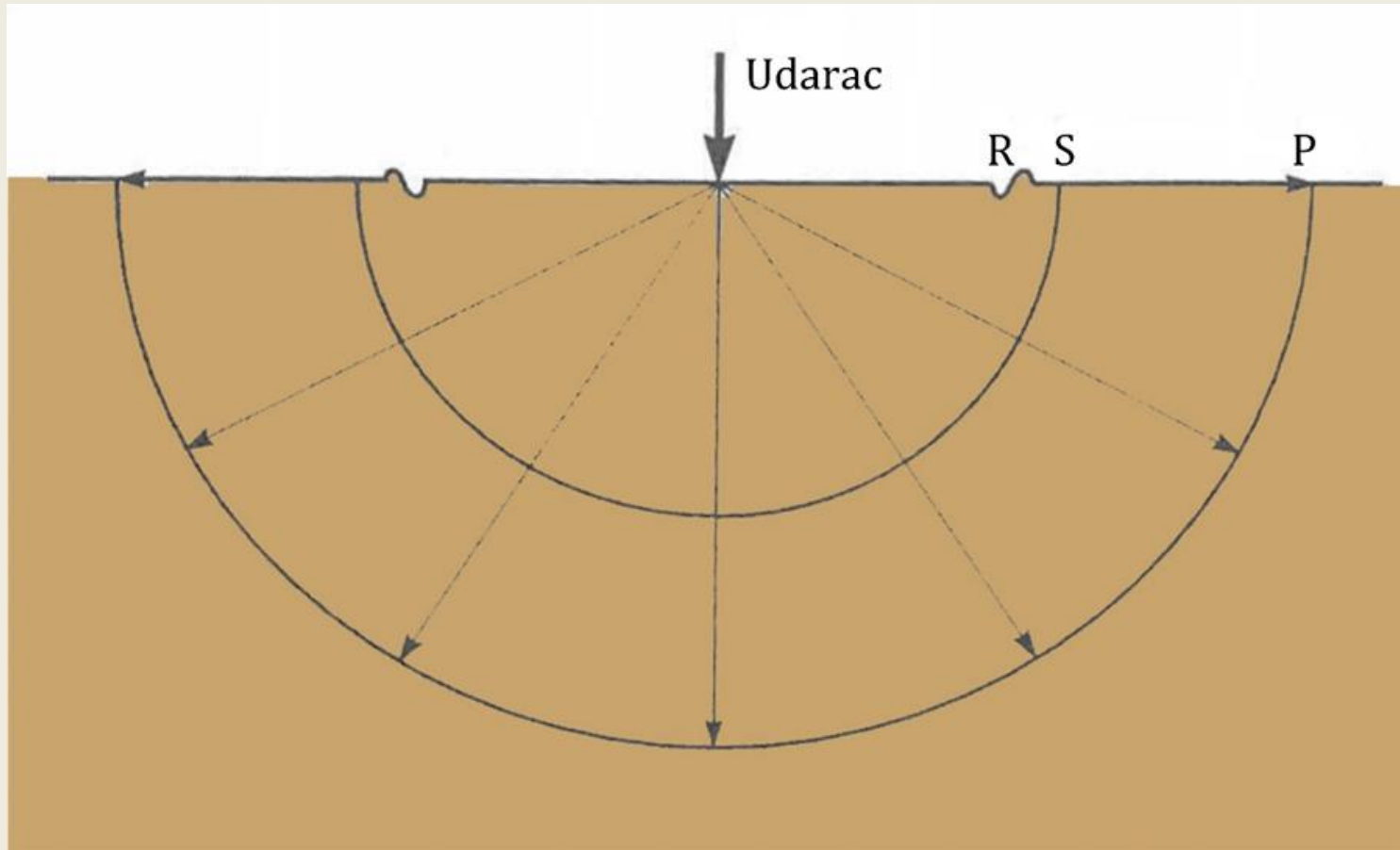
Broj uzoraka i duljina zapisa

U ispitivanju IMPACT-ECHA, broj uzoraka, **n**, zabilježenih u svakom testu, obično se bira kao potencijal od 2 (512, 1024, 2048, itd.)

Produkt broja uzoraka, **n**, i interval uzorkovanja, **Δt** , je duljina zapisa, odnosno ukupna duljina vremena tijekom kojega se zapisuje valni oblik.



Postavljanje za izravno mjerjenje brzine valova pomoću dva pretvornika

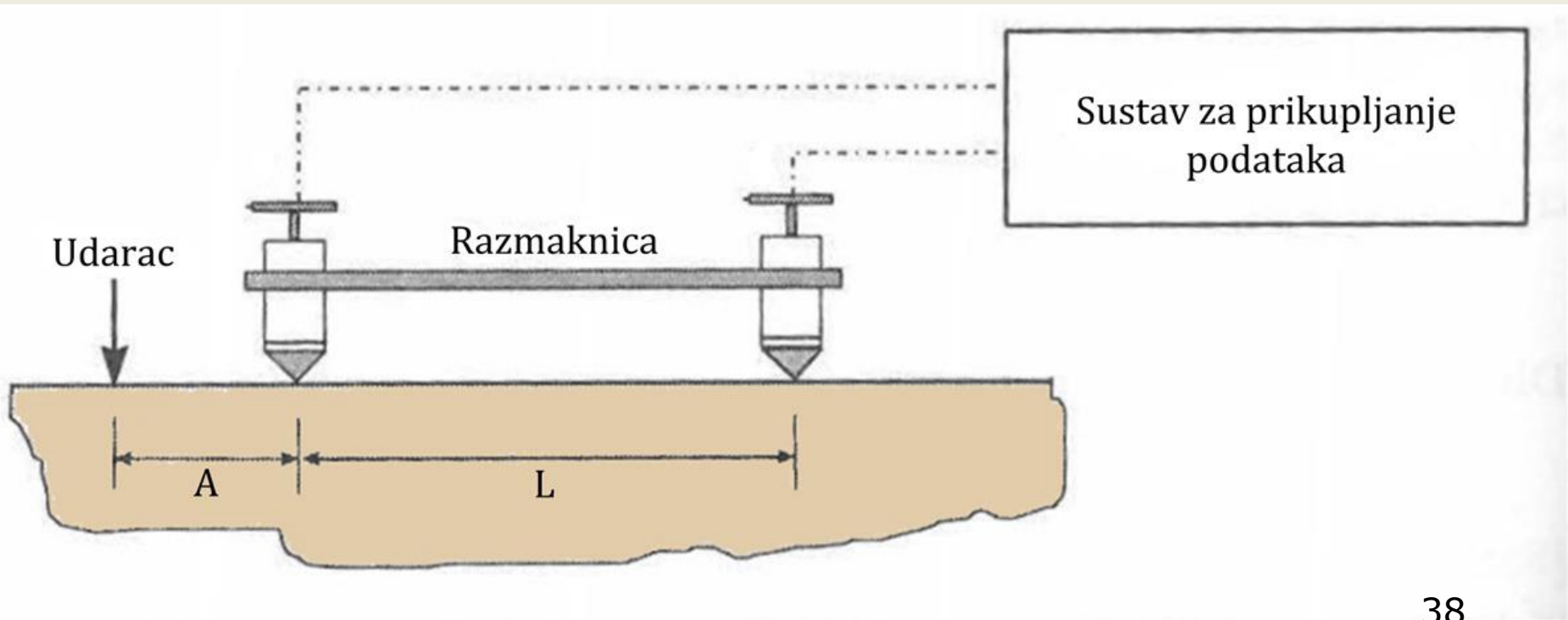


Shematski dijagram valova generiranih od IMPACT-ECHA

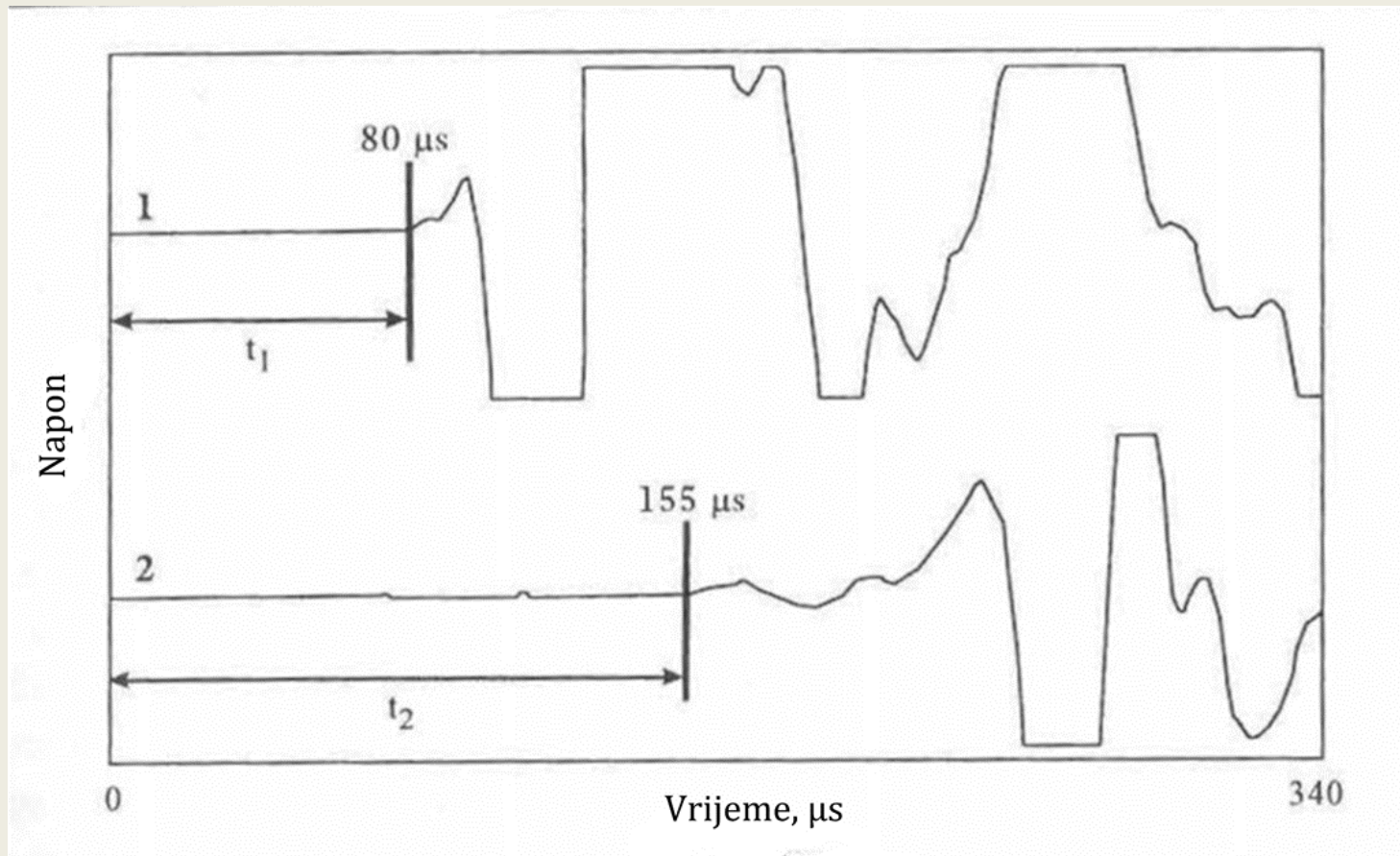
Mjerne jedinice pretvarača čvrsto su stegnute na razdjelnoj šipki koja ih drži na fiksnoj udaljenosti, L , odvojeno (obično 300 mm), a cilj je izmjeriti što točnije vrijeme dolaska sfernog P - vala na dva pretvornika.

Ukoliko imamo vrijeme t_1 i t_2 tada je brzina P vala C_p dana jednadžbom:

$$C_p = \frac{L}{t_2 - t_1}$$



- Točnost mjerenja brzine P-vala ovisi o razmaku između pretvornika, vremenskoj razlici (ili brzini valova) i brzini digitalnog uzorkovanja.
- Na primjer, interval uzorkovanja od $2 \mu\text{s}$ na svakom od dva odvojena kanala, dovodi do nesigurnosti od $2 \mu\text{s}$ u vremenskom intervalu između dolazaka P-vala na dva pretvornika.



Brzina P-vala nakon testa IMPACT-ECHA na ploči poznate debljine

Osnovna jednađžba IMPACT-ECHA

$$f = \frac{C_P}{2T} \qquad f = \frac{\beta C_P}{2A}$$

$$f = \frac{0,96 C_P}{2T}$$

β – faktor oblika (ovisi o geometriji ploče, nepravilnostima)

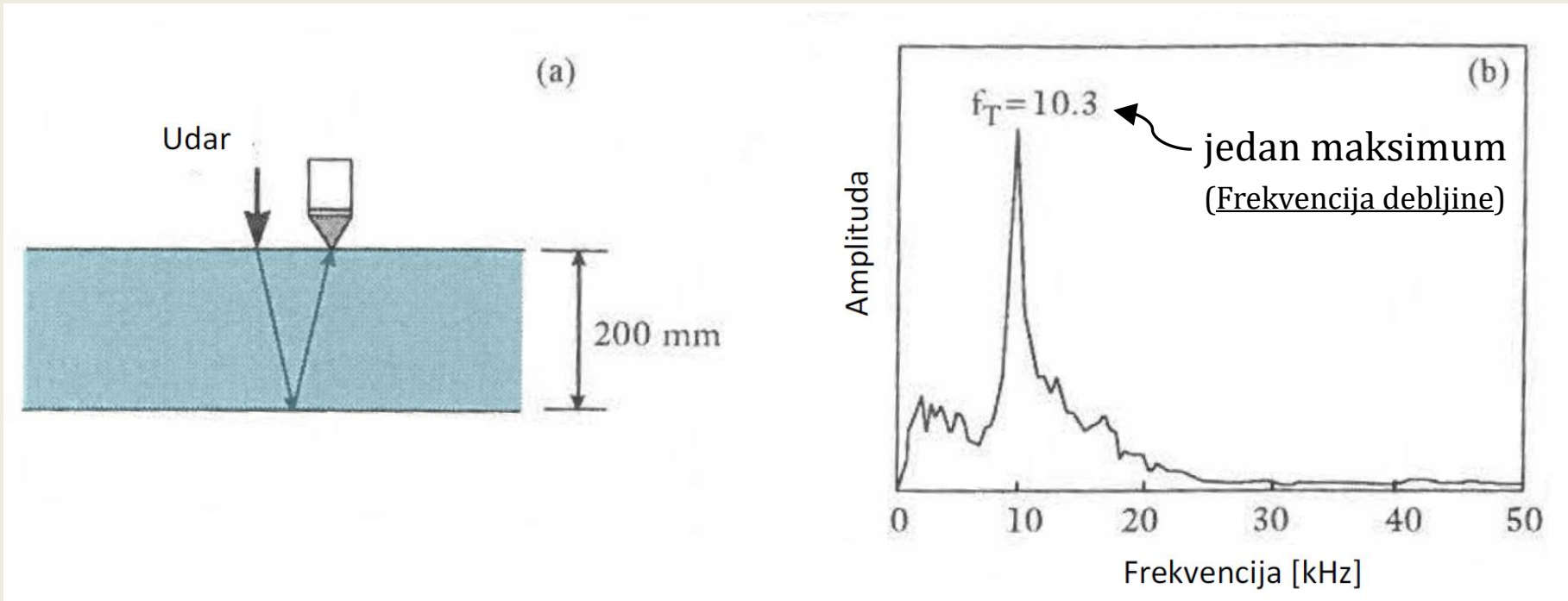
$\beta \cong 0,96$

T – debljina ploče



Brzina P-vala nakon testa IMPACT-ECHA na ploči poznate debljine

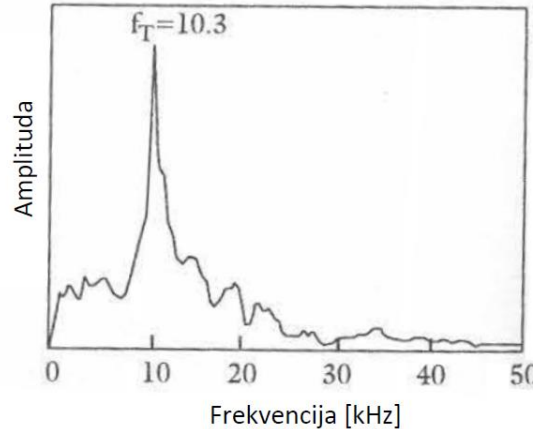
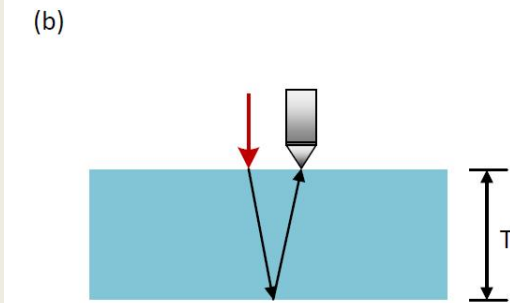
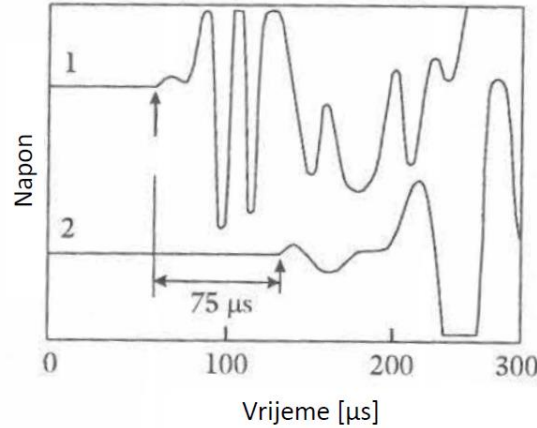
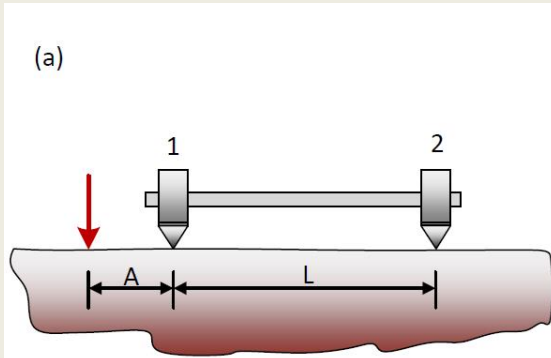
Impact-echo test na ploči debljine 200 mm



$$f = \frac{0,96 C_P}{2T} \rightarrow C_P = \frac{2Tf}{0,96}$$

Determinacija debljine ploče

Kombinacija mjerenja brzine vala i impact-echo testa



- Determinirana brzina P-vala
- dobivena frekvencija f mjerena na istom mjestu gdje i brzina vala:

$$f = \frac{0,96 C_P}{2T} \rightarrow T = \frac{0,96 C_P}{2f}$$

- U primjeru, $L = 300 \text{ mm}$:

$$t_2 - t_1 = 75 \mu\text{s}$$

$$C_p = \frac{L}{t_2 - t_1} = \frac{0,3}{0,000075} = 4000 \text{ m/s}$$

$$f_{T(\text{očitano})} = 10,3 \text{ kHz}$$

$$T = \frac{0,96 C_P}{2f} = 186 \text{ mm}$$

Ispitivanje pukotina koje se nalaze na površini IMPACT-ECHOM

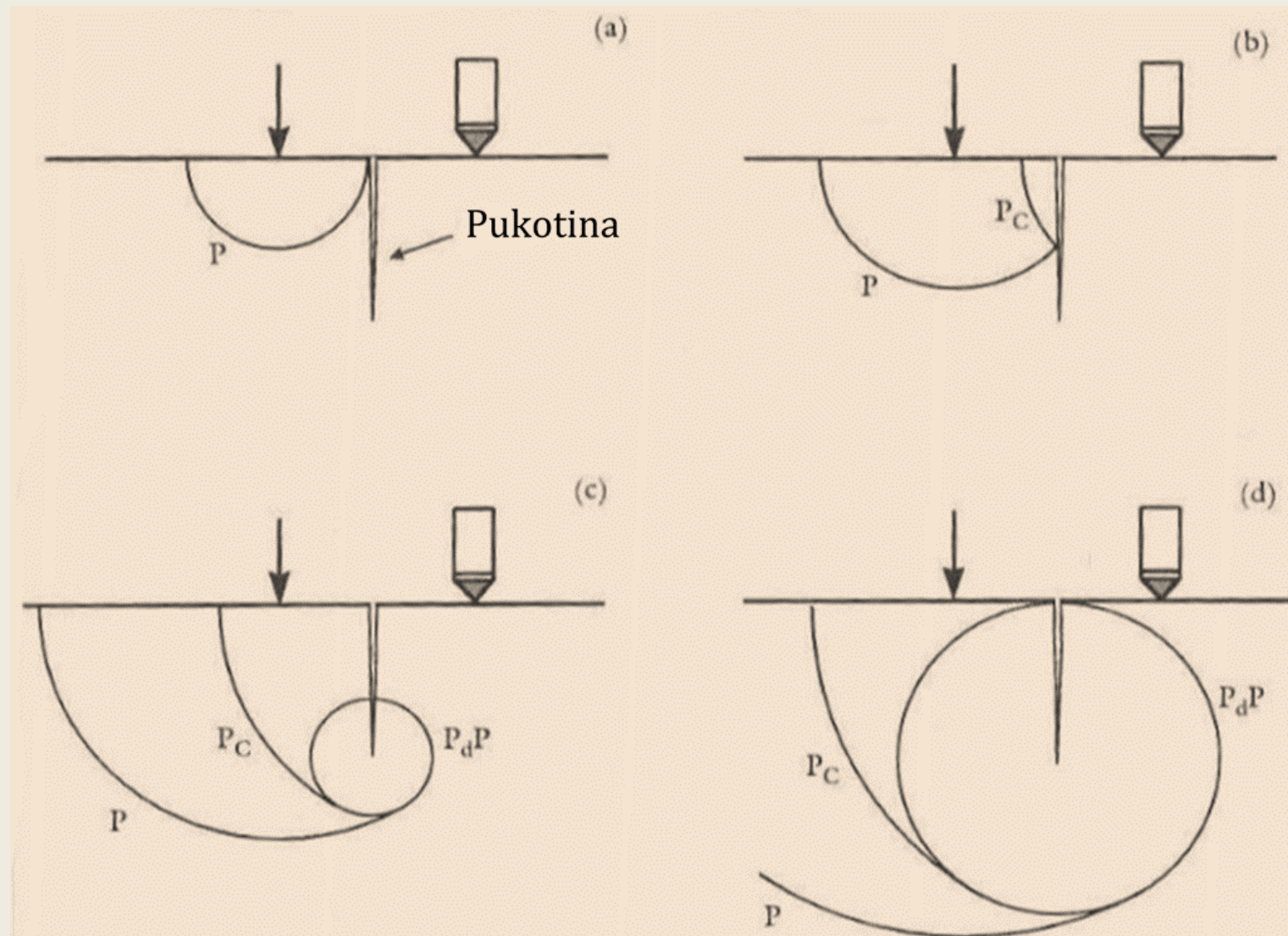
Pukotina koja je otvorena na površini je bilo koja pukotina koja je vidljiva na površini.

Kada se udarni valovi generiraju IMPACT-ECHOM na površinu betona u blizini površinske pukotine, kao što je prikazano na slici (a), uzorak širenja valova značajno se razlikuje od uzorka u čvrstom betonu.

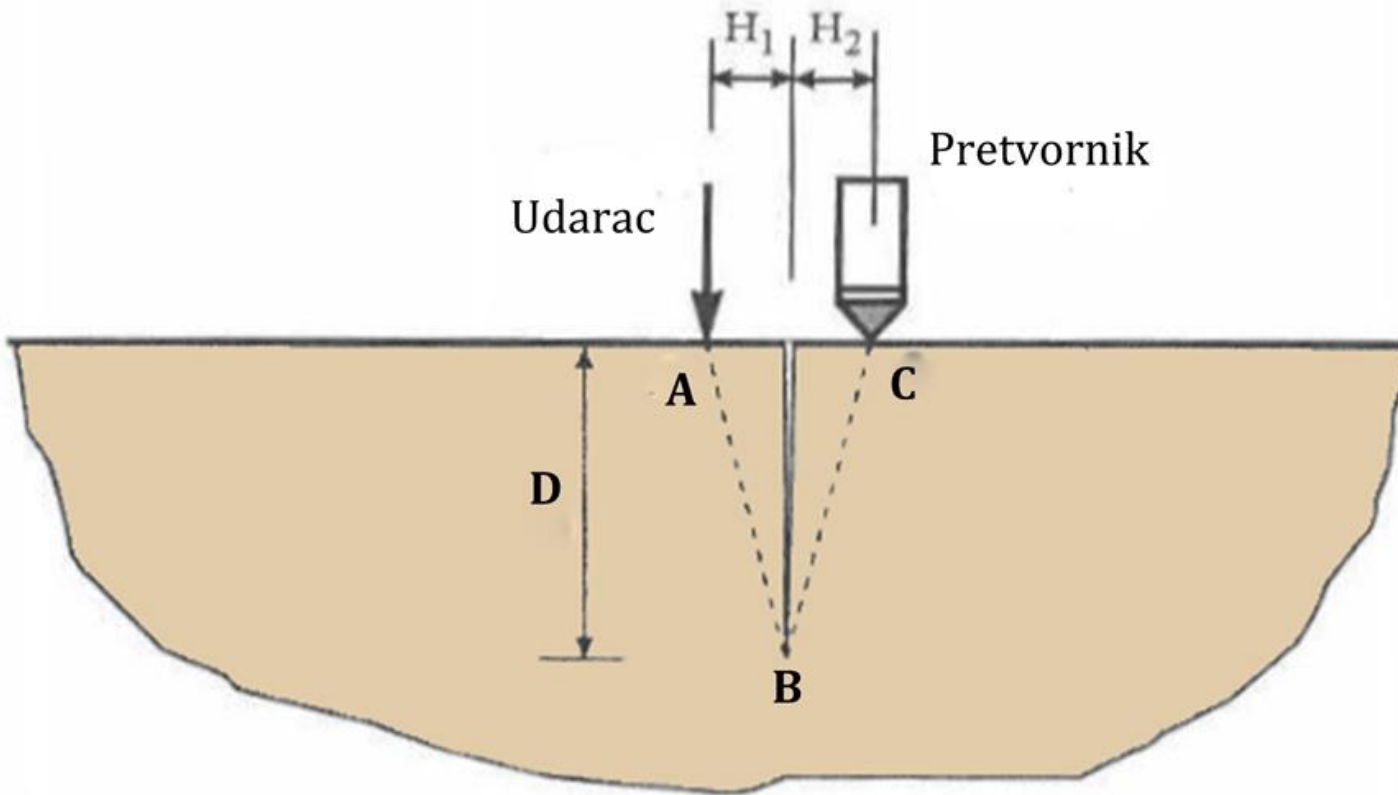
Budući da je pukotina konkretizator ili, u nekim slučajevima, beton/voda, ona odražava naprezanje koji se širi prema van od mjesta udara, kao što je prikazano na slici (b).



Kad P val dosegne donji rub pukotine, on stvara difrakcijski P-val, obilježen na slici (c,d) kao P_dP koji putuje prema van duž cilindričnog fronta, centriran na donjem rubu pukotine. Ovo je prvi udarni val koji dopire do sonde.



Pri određivanju dubine pukotine, koriste se dva pretvarača, kao što je prikazano na slici . Pretvarač na istoj strani pukotine kao udar koristi se za određivanje vremena udara, a drugi pretvarač mjeri vrijeme potrebno da udarni val od točke A (točke udara) dođe do točke B (vrha pukotine), te do C (pretvornika).



Dva pretvarača i točka udara smješteni su na ravnoj liniji okomitoj na crtu pukotine na površini.

Ako se zna brzina vala i udaljenosti H_1 , H_2 , H_3 , i vrijeme dolaska valova naprezanja na dva pretvarača, može se izračunati dubina pukotine.

Ako je:

$$H_1 = H_2$$

tada je:

$$AB = BC$$

$$D = \sqrt{\frac{(C_P \cdot \Delta t)^2}{4} - H^2}$$

Ova metoda nazvana je tehnikom prolaska kroz vrijeme.

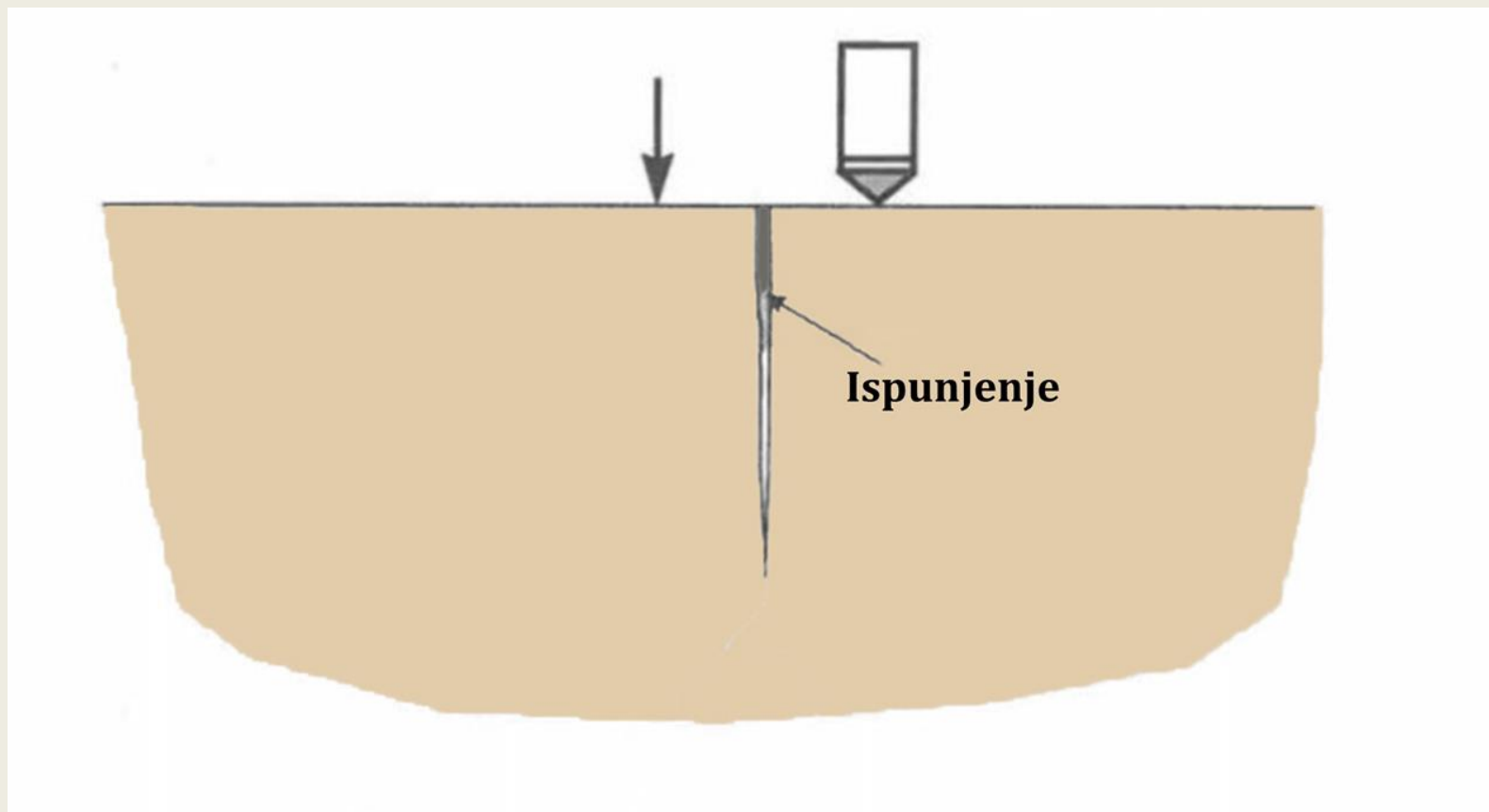
Ona se može koristiti za dobivanje dobrih aproksimacija dubina, mjerenih okomito na površinu, ili pukotina koje su okomite na površinu, nagnute ili zakrivljene.



Djelomice ispunjene pukotine

Ako je prostor blizu i na ušću pukotine ispunjen, kao što je prikazano na slici, ukoliko se i dopusti prolaz P, S i R valova generiranih udarcem, ne mogu se dobiti informacije o opsegu ispunjenja u ostatku pukotine.

Teško je identificirati pomake uzrokovane P-valom koji se odvaja od sučelja beton/zrak na granici injektiranja i/ili s prednje strane pukotine



Podne ploče na kontaktu sa tlom

- Zbog velike debljine sloja tla uzima se u obzir refleksija P-vala sa granice slojeva beton-tlo

$$A_{reflektirano} = A_i \frac{(Z_2 - Z_1)}{(Z_2 + Z_1)}$$

$$A_{refraktirano} = A_i \frac{(2Z_2)}{(Z_2 + Z_1)}$$

Z_1 - akustična impedancija sloja u kojem se val približava granici slojeva

Z_2 - akustična impedancija sloja iza granice

A_i - amplituda kretanja čestica u iniciranom valu

Omjer $A_{reflektirano}/A_i$ predstavlja
koeficijent refleksije R :

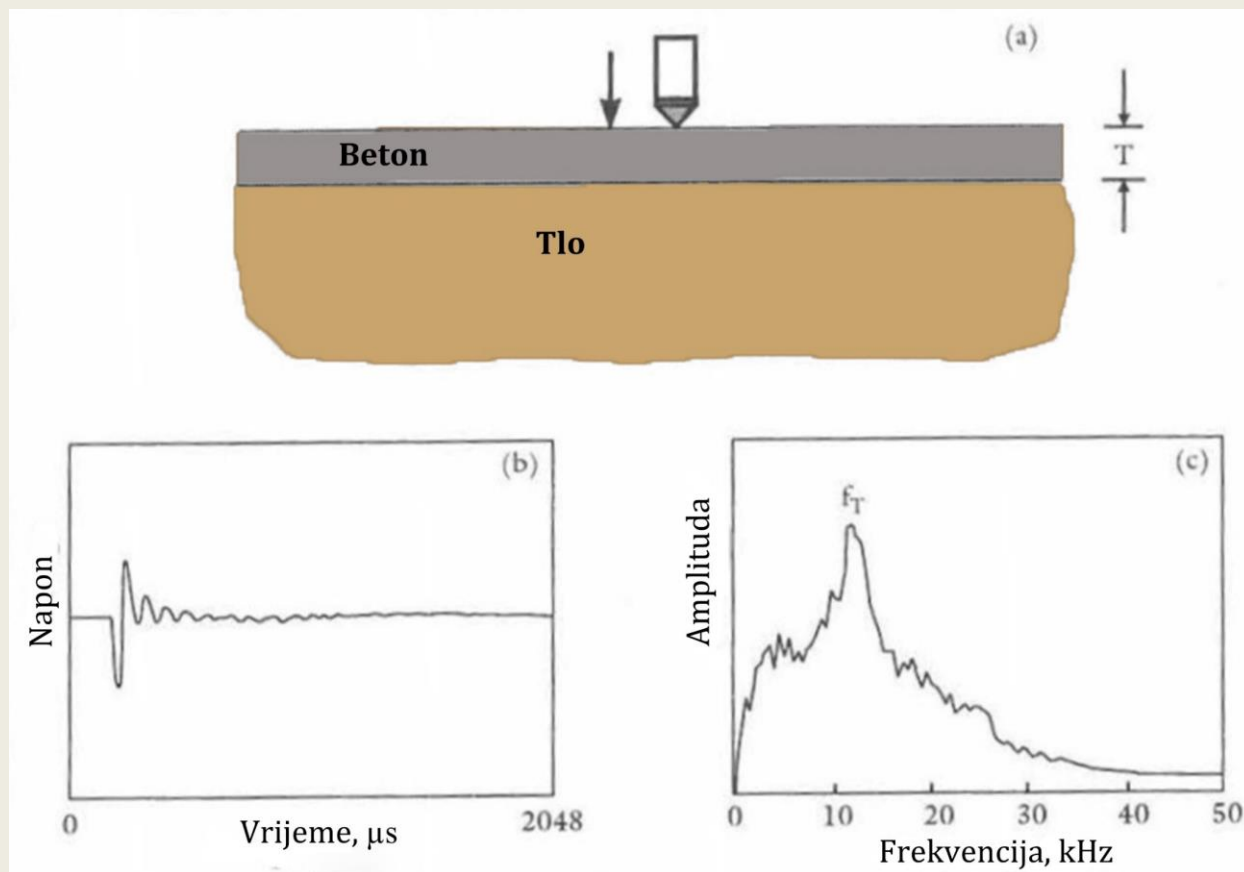
$$R = \frac{A_{reflektirano}}{A_i} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

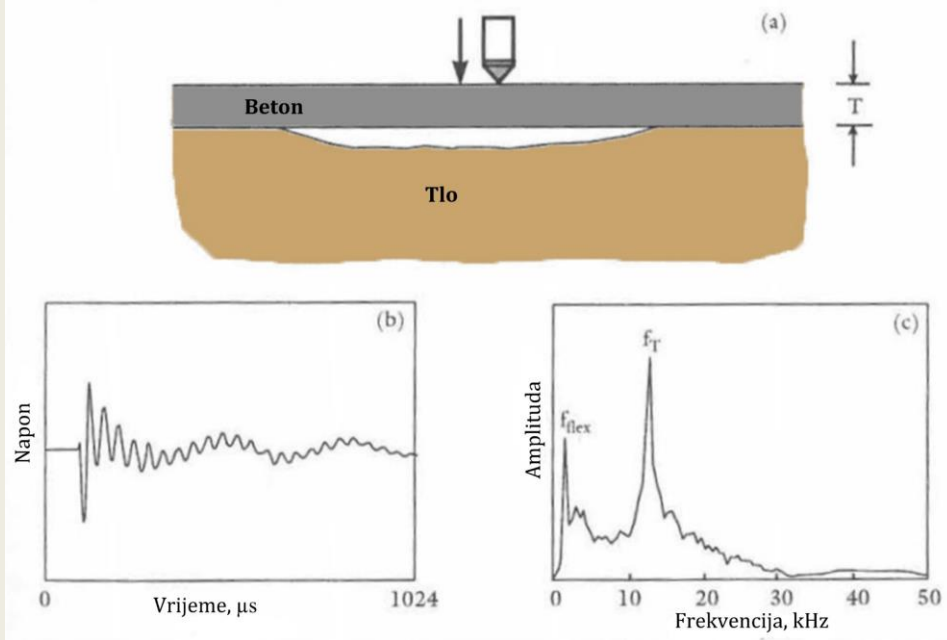
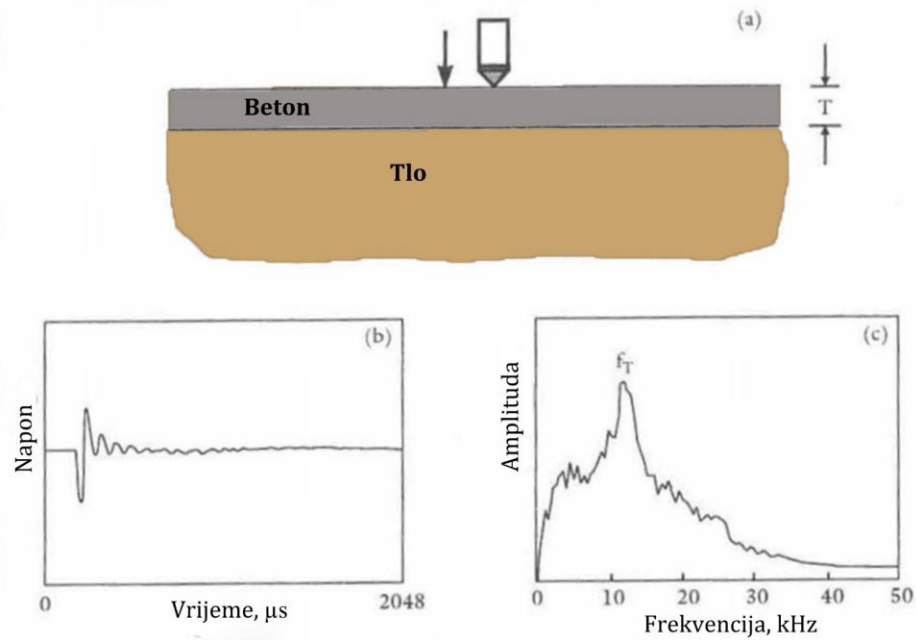
$$Z_2 \ll Z_1 \quad \rightarrow \quad A_{reflektirano} \cong -A_i \quad \rightarrow \quad A_{refraktirano} \cong 0$$

- Amplituda reflektiranog vala približava se onoj iniciranog vala.
- promjena predznaka nam pokazuje da je val promijenio fazu zbog refleksije!
- To se događa na granici beton/zrak te nam pokazuje na pojavu pukotine!

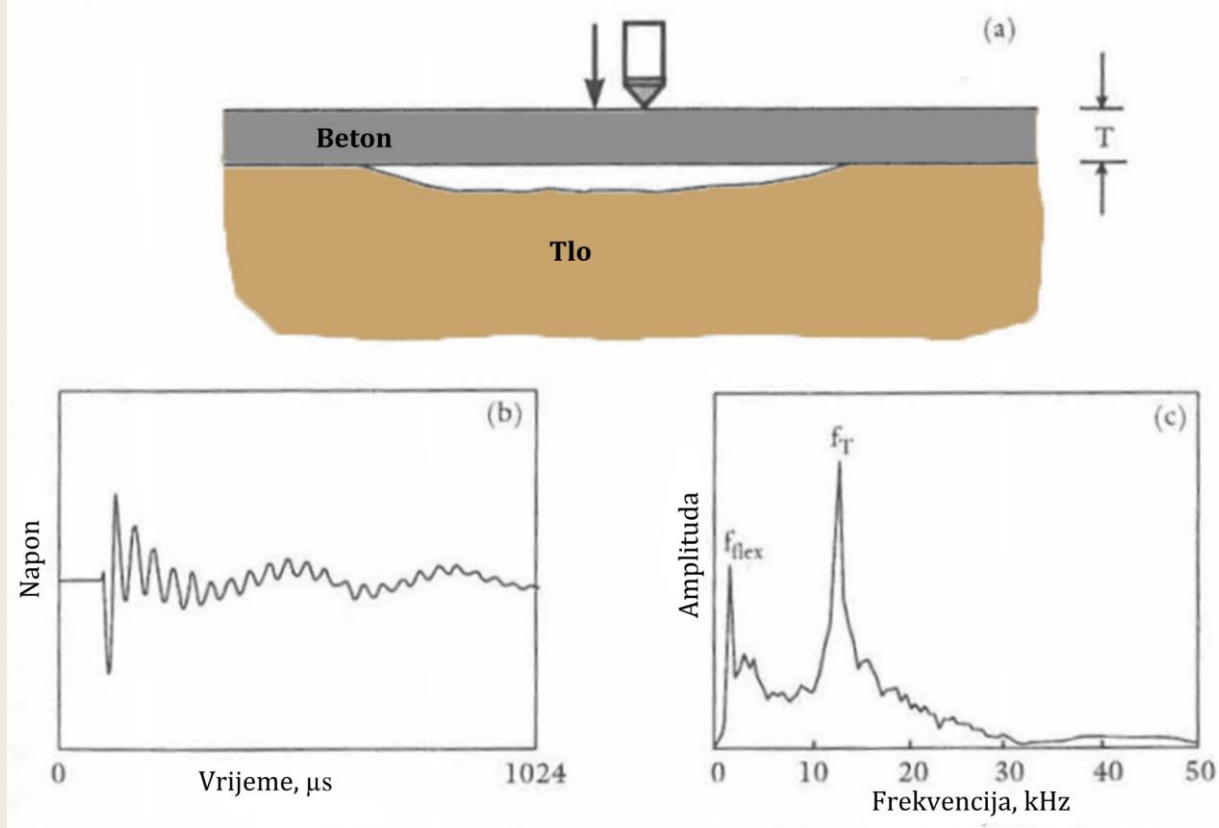


- Valni oblik pokazuje povremena pomicanja uzrokovana refleksijom P-vala unutar betonske ploče, ali zbog toga što se energija gubi u tlu svaki put kad P-val udari na granicu betona sa tlom, amplituda pomaka (napon signala) brzo propada.
- Odgovarajući spektar pokazuje jedan vrh (f_T) koji odgovara frekvenciji refleksije P-vala od granice slojeva beton/tlo.
- vrh je donekle zaobljen i širi od onih dobivenih iz ploča u dodiru s zrakom.
- Na slici je zabilježeno samo nekoliko refleksija valova prije nego što je signal pao na nezamjetljivu razinu.





- Za usporedbu, na sljedećoj je slici prikazan tipičan rezultat dobiven ispitivanjem IMPACT-ECHA na istoj ploči na mjestu gdje postoji praznina u tlu točno ispod ploče.
- U tom slučaju refleksije P-vala nastaju iz sučelja beton/zrak na dnu ploče.
- Budući da se gotovo sva energija valova reflektira na sučelje beton/zrak, površinska pomicanja uzrokovana dolaskom reflektiranih P valova sporije padaju u usporedbi s onima koji se reflektiraju na sučelju beton/tlo.



- Odgovor je u suštini isti kao i onaj dobiven iz jednostavne betonske ploče u dodiru s zrakom.
- Spektar pokazuje vrlo oštar vrh visoke amplitude koji odgovara frekvenciji debljine P vala.
- Ako je betonska ploča relativno tanka (oko 150 mm ili manje) tada je niža frekvencija i niži amplitudni vrh, kao što je i naznačeno.
- Na slici pod (c) je rezultat savijanja vibracija nepodržanog dijela ploče iznad praznine.
- Do pojave fleksibilnih vibracija dolazi zbog toga što je nepodržani dio iznad šupljine sputan na njegovim rubovima gdje dodiruje tlo.

Važni zaključci iz studija IMPACT-ECHA *zidanih konstrukcija* su sljedeći:

1. Akustična svojstva komponenti zida (opeke, bloka, žbuke i morta) dovoljno su slična da u većini slučajeva građevinski elementi zida reagiraju na IMPACT ECHO kao na kontinuiranu jedinicu. Na primjer, jedan zid od opeke sastavljen od opeke i žbuke može se tretirati kao ploča u svrhu ispitivanja IMPACT-ECHA.
2. Pukotine koje se pojavljuju u zglobovima nemaju nikakvog utjecaja na efekt odziva od cigle. Pukotine koje se pojavljuju u zglobovima ležaja mogu poremetiti reakciju; ali učinci ovog odziva su visoko lokalizirani i nalik na ploču.
3. Mogu se otkriti praznine u fugama zidova koji su ispunjeni mortom.
4. Mogu se otkriti šupljine u injektiranim stanicama blokovske stijenke s opekom i mortom.
5. Mogu se otkriti šupljine u spojnica ovratnika višestrukih zidova
6. Odabirom dužeg vremena utjecaja (više od 30 μ s), zidovi s jezgrom (gdje je područje jezgre manje od 25 % površine opeke) može se uspješno ispitati metodom IMPACT-ECHA. Jezgre uzrokuju mjerljivi pomak u odgovoru debljine opeke, ali ne sprječavaju otkrivanje šupljina u višestrukim stijenka.
7. Cjelokupna debljina stijenki višestruke stijenke može se procijeniti samo kada su spojene jedna s drugom i između njih nema praznina.



Izvođenje probnog IMPACT-ECHO testa



Pronađemo čvrstu betonsku ploču, kao što je pod, zid ili pločnik, bez unutarnjih kanala, kabela ili drugih sličnih značajki. Ako je debljina poznata, može se unijeti u sustav. Ukoliko debljina nije poznata unašamo procjenjenu debljinu. Sustav će automatski koristiti debljinu i brzinu P-vala od posljednjeg zapisa u otvorenoj datoteci. Držimo jedinicu pretvornika okomito na površinu, i lagano gurnemo ručicu dok ne dođe do zaustavljanja.

Begin Testing

File: c:\ImpactHE\TestFile.dat Str. Name: tunnel Type: Plate Date/Time: 9/8/1997 4:29:05 PM

Thickness, mm: 400
 Wave Speed, m/s: 3896
 Thickness Frequency, kHz: 5.0

50 100 50 μ s

2.5 v 1 Clip Level 2.5 2 μ s

Contact Time Change Curs Cut R-Wave Cut Waveform 2 V Scale 0.82 3 H Scale 1024

6.3

Resolution: .49
 Depth: 315 mm, 12.4 in, 79 μ

0 100 70 50 40 30 20 15 10 50 60 kHz 400

4 V Scale 1 5 H Scale 60

Cursor

Last Record Saved

Number: 45 Plate thickness:
 Name: A11

Records in File: 45 Z Show Record List

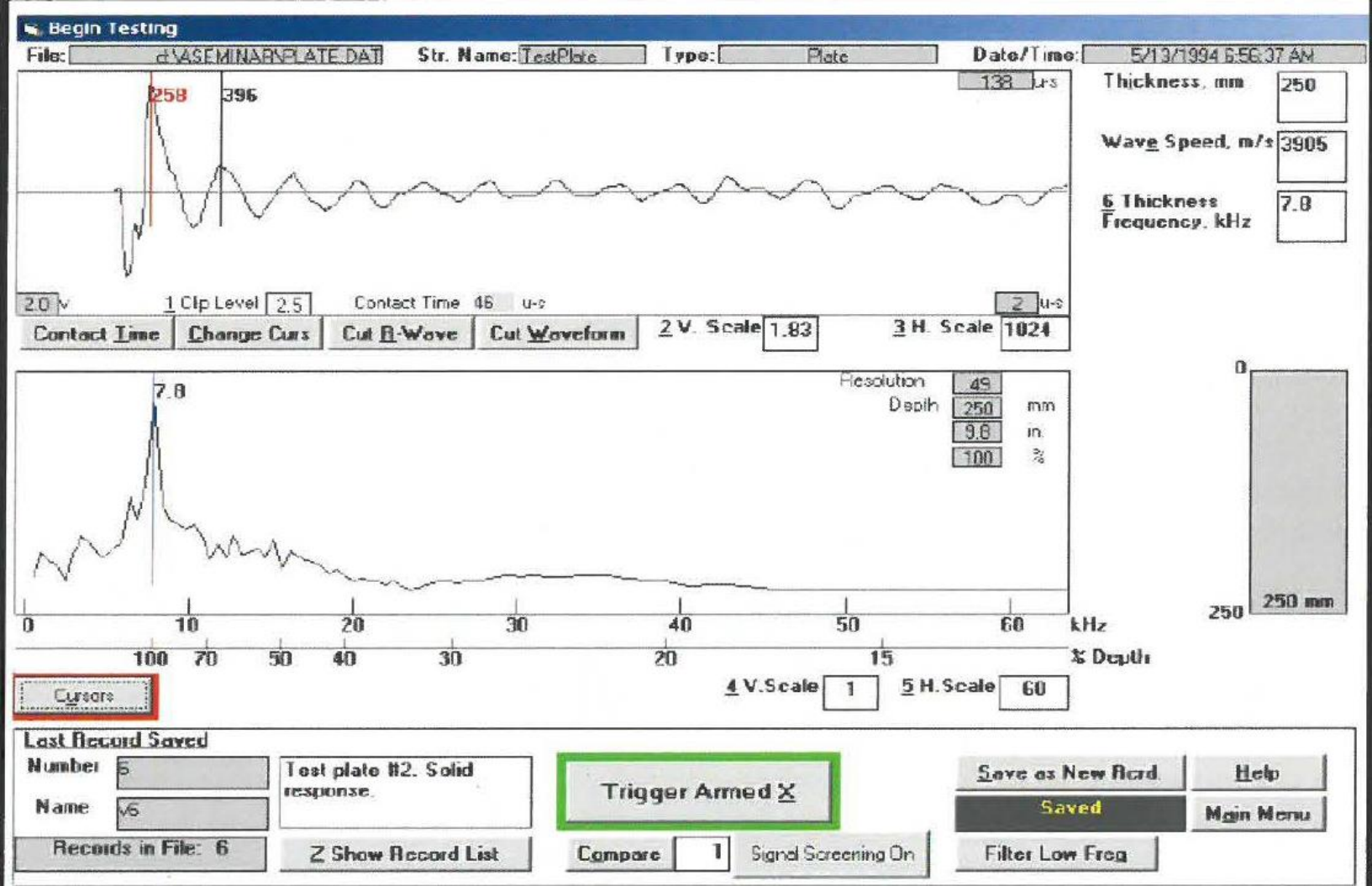
Trigger Armed X

Compare 1 Signal Screening On Filter Low Freq

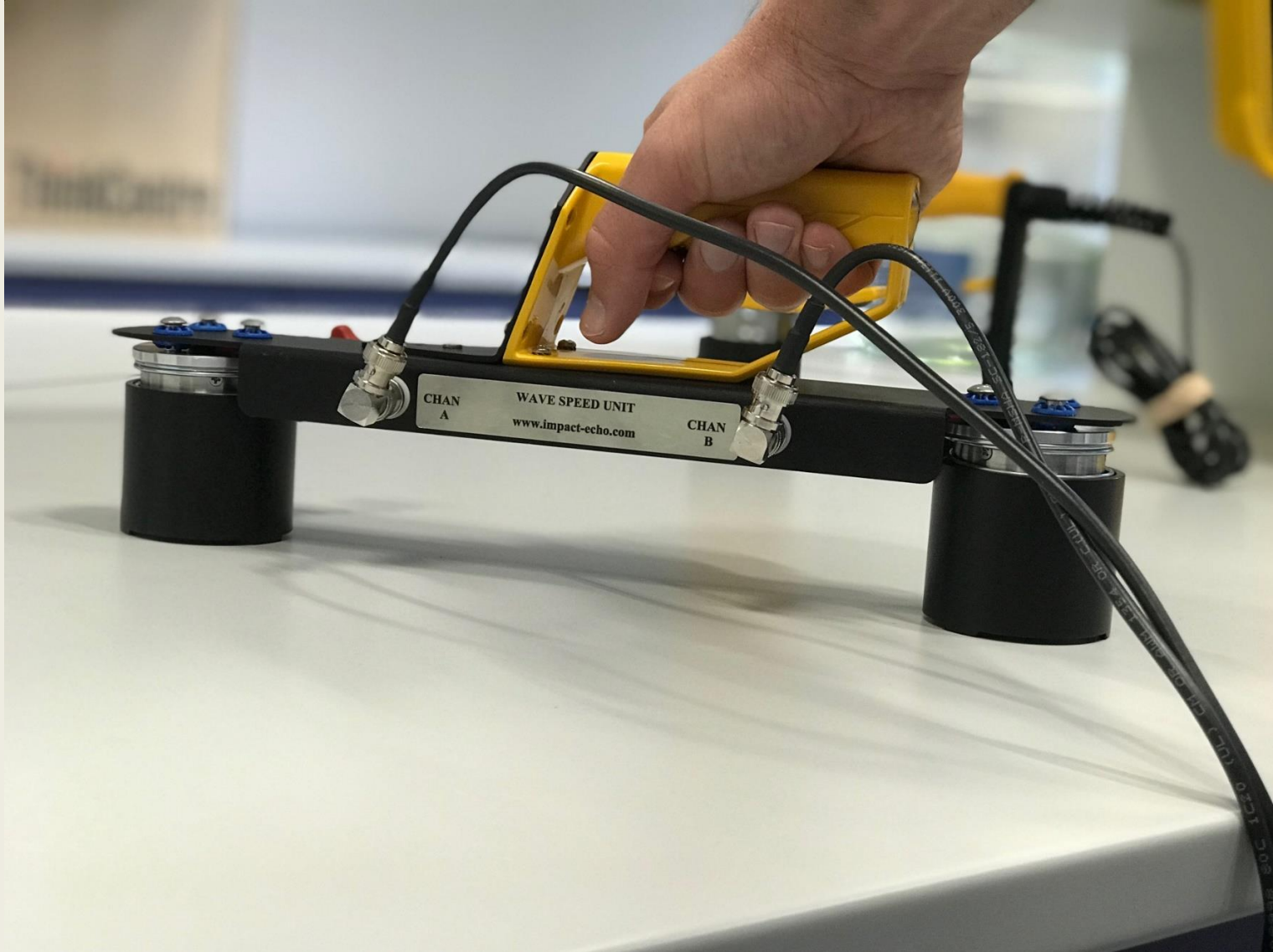
Save as New Recd. Help
 Saved Main Menu



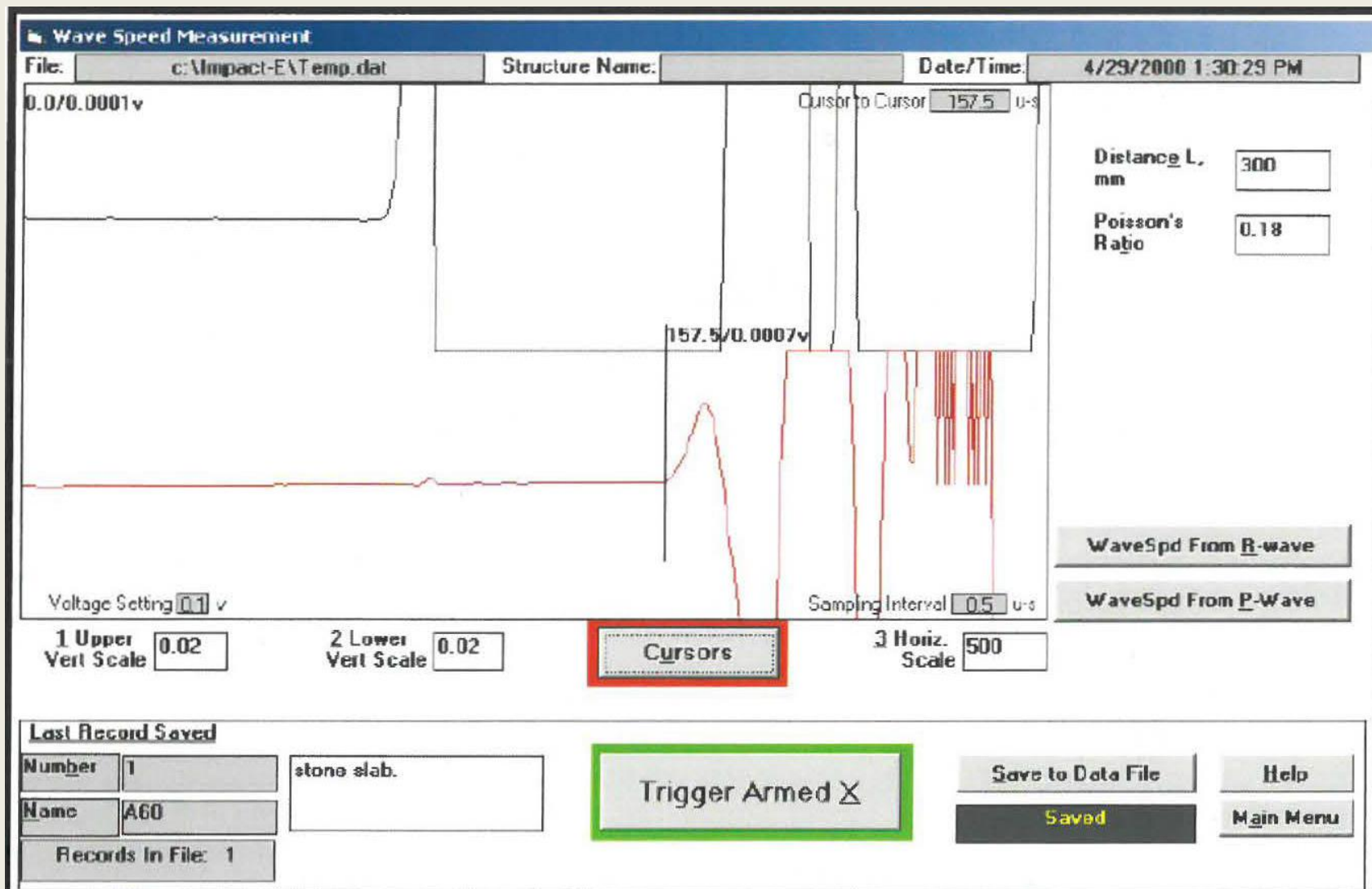
Sila udara trebala bi biti jednaka sili koja se dobiva ispuštanjem udarne sfere s visine od jednog do tri metra.



Spojimo sondu dvostruke glave na sustav za prikupljanje podataka. Udaljenost između vrhova dva elementa sonde iznosi oko 300 mm.



Postavimo uređaj za mjerenje brzine valova, uključujemo sustav za prikupljanje podataka i započnemo test. Brzina valova pojavit će se na zaslonu u obliku grafa.



Rezultati testa za mjerenje brzine P-vala.

**Zahvaljujem se
na pažnji!**

