

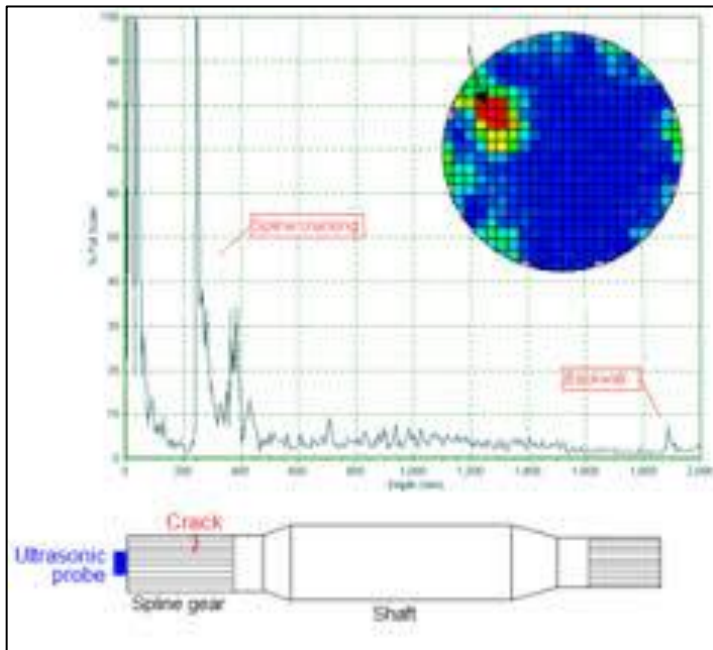


ULTRAZVUČNO ISPITIVANJE MATERIJALA

prof.dr Vesna Paunović

UVOD

- Jedna od najčešće korišćenih metoda za otkrivanje unutrašnjih defekata u materijalu je ultrazvučno ispitivanje.
- Osnova testiranja materijala ultrazvučnom metodom je svojstvo ultrazvučnog širenja talasa kroz homogene materijale i njihovo odbijanje (refleksija), na granicama materijala različitih frekvencija, tj. od defekta ili nehomogenosti u materijalu.
- Ispitivanje ultrazvukom se bazira na činjenici da su čvrsti materijali dobri provodnici zvučnih talasa.



Prednost ultrazvučnih talasa je što takvim ispitivanjima ne dolazi do oštećenja istraživanog sistema, već pripadaju oblasti ispitivanja bez razaranja.

Ultrazvučna kontrola na vratilu pokazuje pukotinu

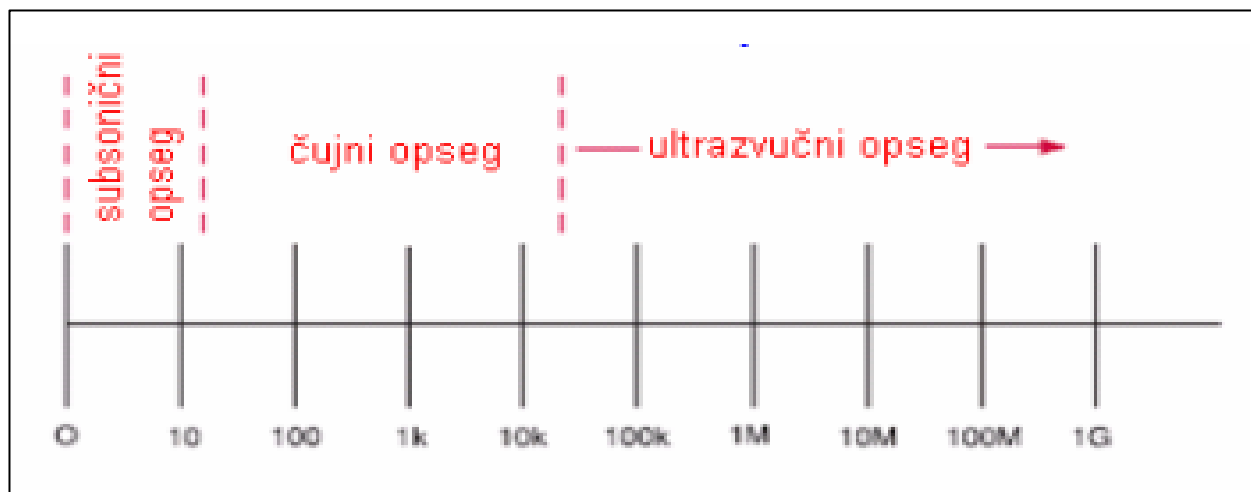
ISTORIJA

- Početak metode ultrazvučnog ispitivanja kreće još u 1930. godini.
- Sergej I. Sokolov je predstavio svoju teoriju, a nekoliko godina kasnije demonstrirao je tu tehniku otkrivanjem metalnih indikacija u materijalu.
- Kada je dobio tu ideju, potrebna tehnologija još nije bila razvijena ali je smatrao da su se njome mogle otkriti nepravilnosti u čvrstim materijalima kao što je metal.
- Tokom naredne decenije mnogi su nastavili njegov rad, uglavnom pojedinačno i u tajnosti.
- Tek 1940. godine je, od strane Flojda Fireštona predan i kasnije odobren prvi zahtev za patent za uređaj koji omogućava ultrazvučno otkrivanje nepravilnosti u materijalu.



OSNOVE ULTRAZVUČNOG SIGNALA

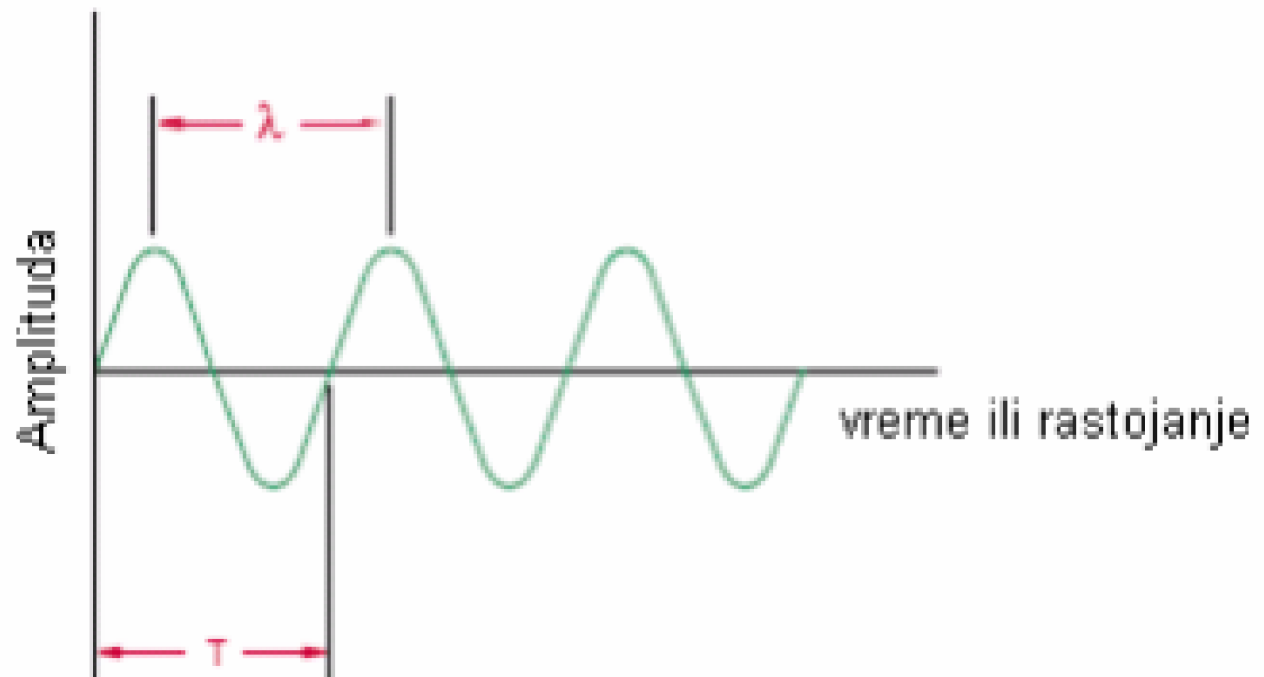
- Metoda ultrazvuka – emitovanje zvučnih talasa kroz materijal
- Ultrazvuk je generisan iznad dometa ljudskog sluha, obično preko 20kHz.
- Međutim, frekvencijski opseg koji se koristi u ultrazvučnom ispitivanju bez razaranja kao i pri merenju debljine materijala kreće se u opsegu od 100kHz do 50MHz.
- Ultrazvuk ima kratke talasne dužine, te se koristi za otkrivanje defekata unutar materijala, na malim površinama.



Frekvencijski opseg

FREKVENCIJA, PERIODA I TALASNA DUŽINA

- Ultrazvučni vibracije putuju u obliku talasa, na sličan način kao što svetlost putuje.
- Međutim, za razliku od svetlosnih talasa, koji mogu putovati u vakuumu (prazan prostor), ultrazvuk zahteva medijum: kruto telo ili tečnosti.
- Osnovni parametri kontinuiranog talasa:
 - talasna dužina (λ) i
 - period (T)



- Brzina ultrazvuka (s) u savršeno elastičnom materijalu, na datoj temperaturi i pritisku je konstantna.
- Broj ciklusa u jednoj sekundi se naziva frekvencija (f) i meri se u Hertz (Hz):
 - 1 ciklus / sekundi = 1 Hz
 - 1000 ciklusa / sekundi = 1 kHz
 - 1000000 ciklusa / sekundi = 1 MHz

Vreme potrebno za završetak potpunog ciklusa je period (T).

Odnos frekvencije i perioda pri kontinualnom talasu je:

$$1f=1/T$$

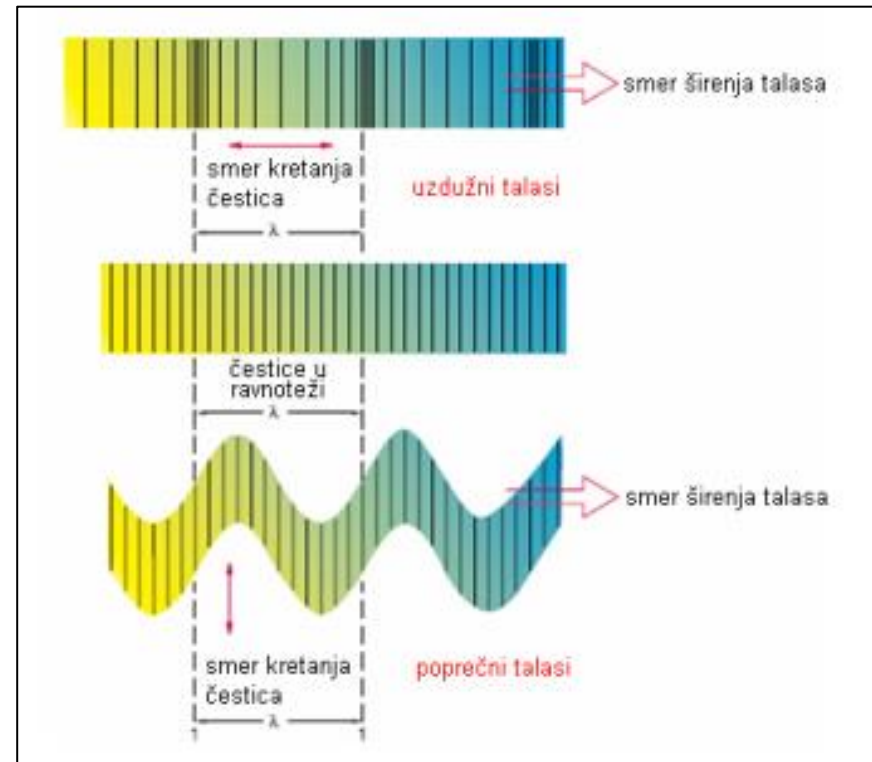


ŠIRENJE TALASA I KRETANJE ČESTICA

- Talasi se mogu kretati uzdužno i to je većinom slučaj kod tečnosti i gasova, i poprečno kod krutih tela.
- Znači, najčešće metode ultrazvučnog pregleda koriste uzdužne talase ili poprečne talase. Postoje i ostali oblici širenja zvuka, uključujući površinske talase i takozvane treperave talase.
 - - **uzdužni talas** je komprimovani, sabijeni talas gde je kretanje čestica u istom smeru kao i širenje talasa;
 - - **poprečni talas** je talas gde je kretanje čestica pod pravim uglom na smer širenja;

površinski (Rayleigh) talasi imaju eliptično kretanje čestica i eliptično putovanje kroz površinu nekog materijala; njihova je brzina otprilike 90% od poprečne brzine talasa kroz materijal i njihova dubina prodiranja je približno jednaka jednoj talasnoj dužini.

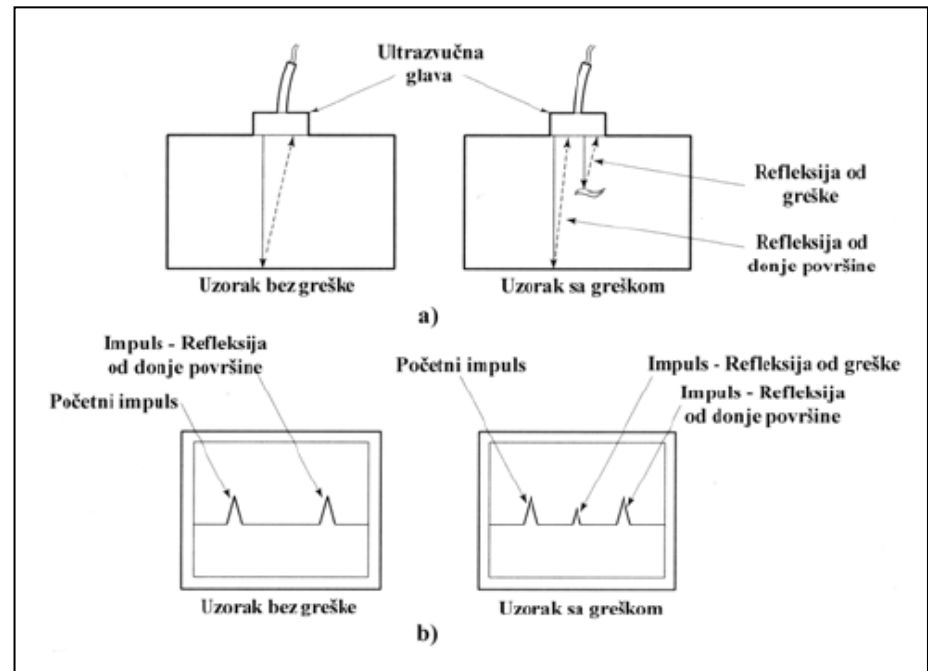
- **treperavi** (ili "tanjirasti") talasi su kompleks padajućih vibracija sa kružnim kretanjem čestica, gde se najmanja talasna dužina ultrazvuka koristi za merenje.



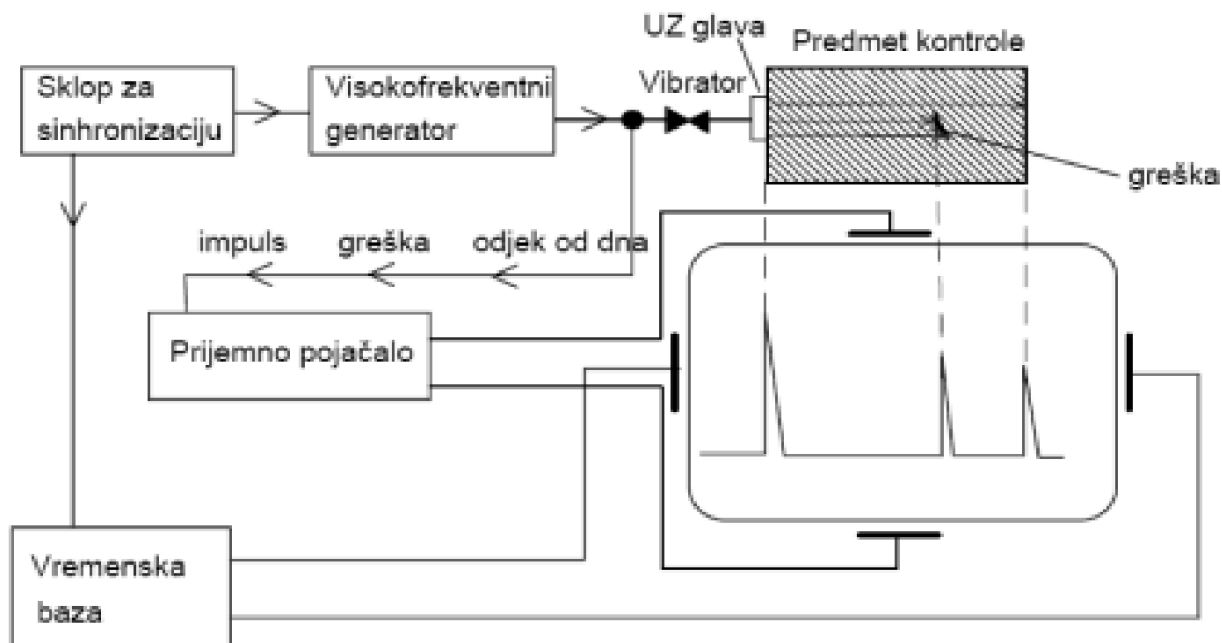
ULTRAZVUČNOG ISPITIVANJA BEZ RAZARANJA

- Metod ultrazvučnog ispitivanja bez razaranja materijala -zvuč visoke frekvencije se emituje u materijal sa ciljem otkrivanja površinskih i dubinskih grešaka.
- Zvučni talasi prodiru u materijal i odbijaju se od prelaznih površina.
- Zvučni signali se skoro potpuno reflektuju od prelaza metal/gas. Parcijalna refleksija se javlja na prelazima metal/tečnost ili metal/čvrsta tela.
- Stepem refleksije uglavnom zavisi od fizičkog stanja materijala na prelazu, a manje od osobina materijala.
- Iako postoje različite tehnike ultrazvučnog ispitivanja, obično se u praksi koristi metoda **impuls - odziv**, metoda **prozvučavanja (transmisije)** i metoda **rezonancije**, pri čemu se koriste ravne i/ili ugaone ultrazvučne glave.

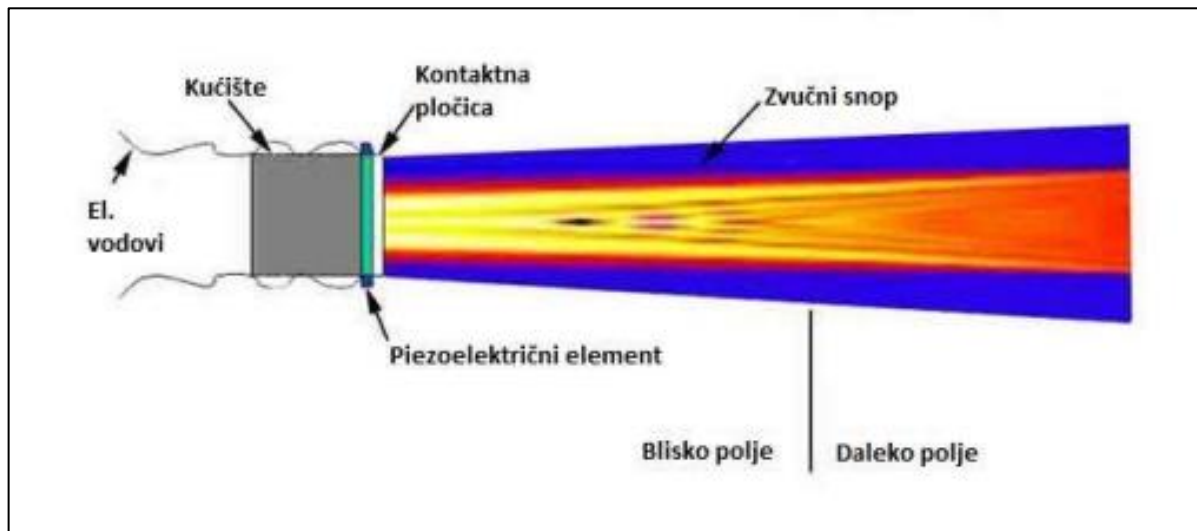
Tek nakon lociranja, evaluacije i dijagnoze, može biti određeno da li postoji defekt (greška) ili ne. Izraz "diskontinuitet" se uvek koristi sve dok nije sigurno da li je u pitanju defekt.



- Princip rada ultrazvučne metode je zapravo vrlo jednostavan.
- Svodi se na to da je potreban uređaj koji će s jedne strane generisati i emitovati ultrazvučni impuls, a s druge strane primati reflektovani impuls. Ukoliko je u materijalu prisutna ikakva indikacija ili pukotina, ultrazvučni talasi će se odbiti od nje i to će biti uočljivo na povratnom signalu.
- U ultrazvučnom aparatu se električna energija pretvara u mehaničku. Kada signal dođe do postojeće indikacije (pukotine ili granice materijala različitih frekvencija), deo tih talasa se reflektuje od površine te indikacije. Reflektovani ultrazvučni signal se pretvara nazad u električni signal i kao takav se šalje dalje na obradu signala i na uređaj za prikaz odziva.
- Za ultrazvučne aparate koriste se materijali koji imaju piezoelektrična svojstva, odnosno pretvaraju električnu energiju u mehaničku i obrnuto.



- Osnovni "alat" ultrazvučnog operatora je sonda. "Srce" sonde je zasnovano na piezoelektričnom efektu koji pretvara električnu energiju u mehaničke vibracije (generator signala), a te mehaničke vibracije nazad u električni impuls (odziv). Svaka sonda ima određeno usmerenje. Drugim rečima, ultrazvučni talasi pokrivaju samo određeni deo ispitivanog objekta



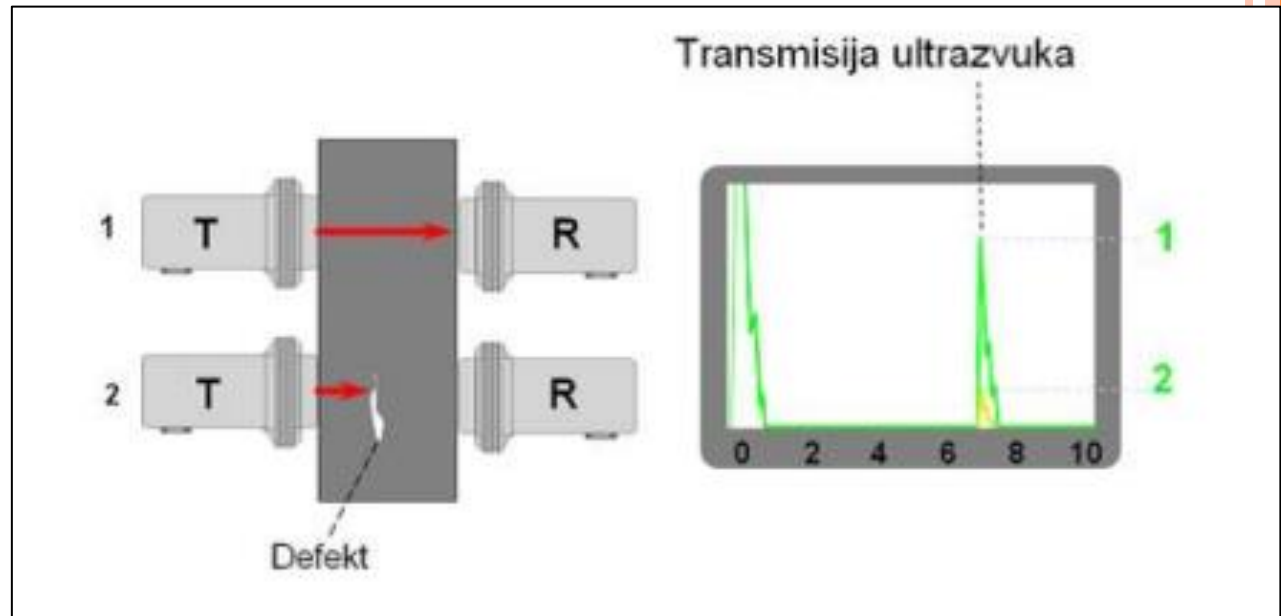
Ultrazvučna glava sonde mora biti u bliskom kontaktu sa površinom uzorka, inače će se pojaviti lažni eho. Kontakt se postiže postavljanjem uljnog filma između ultrazvučne glave i površine uzorka tako da između njih nema vazdušnog prostora.



METODE ULTRAZVUČNOG ISPITIVANJA

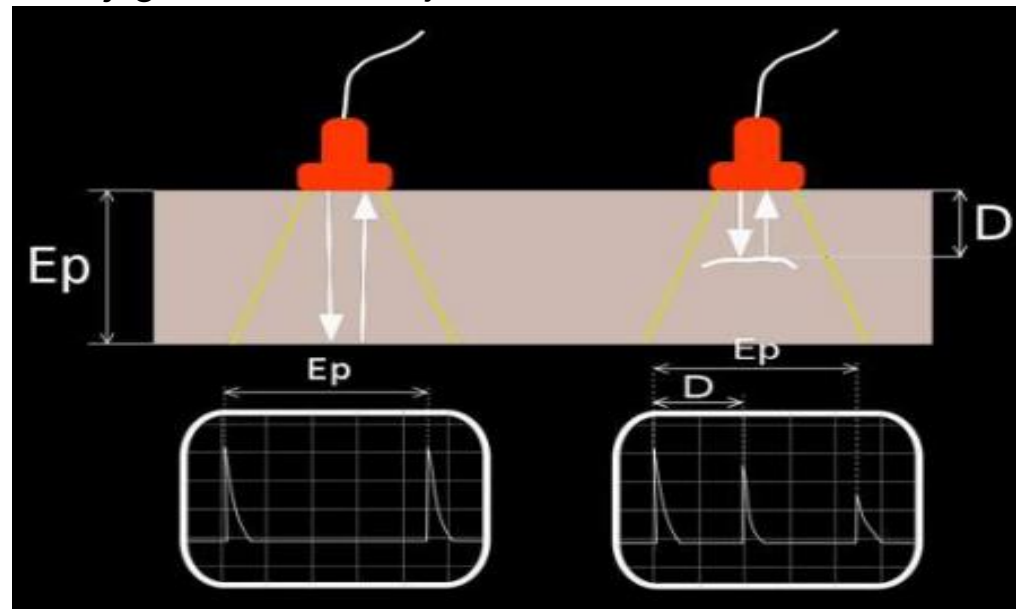
- **Metoda prozvučavanja (transmisije)**

- Metoda prozvučavanja zasnovana je na pojavi apsorpcije ultrazvuka u unutrašnjim greškama (nehomogenostima) u materijalu. Ona je slična radiografskoj kontroli. Pomoću jedne ultrazvučne glave, ultrazvučni talasi se usmeravaju u ispitivani uzorak, a na drugoj strani uzorka, drugom ultrazvučnom glavom se meri energija talasa. Ako je uzorak homogen (bez greške), signal na prijemu biće jednak ulaznom signalu. Ako se uzorak sastoji od dva različita materijala, onda će deo zvučne energije biti odbijen na granici ovih materijala.



Metoda impuls – odjek (eho)

- Metoda odjeka se zasniva na pojavi odbijanja ultrazvuka od različitih nehomogenosti u materijalu. Kod ove metode kao generator i prijemnik služi jedna ultrazvučna glava. Umesto propuštenog dela ultrazvučnog talasa, meri se odbijeni deo ultrazvučnog talasa. Prijemnik prima reflektovane ultrazvučne talase i pokazuje ih kao proporcionalni signal na ekranu ultrazvučnog uređaja. Ovom metodom mogu se otkriti greške položaja i veličine raznih nehomogenosti u materijalu, područje u materijalu koje nije dobro obrađeno, kontrola zavarenih spojeva isl.
- U poređenju s metodom prozvučavanja, ova je metoda puno osetljivija. Smatra se da se samo 5% zvučne energije odbije zbog nehomogenosti u materijalu.
- Nedostatak ove metode je tzv. “mrtva zona”. Na mestu ulaska ultrazvuka u materijal, emitovani impulsi ne mogu odmah da otkriju greške u blizini ultrazvučne glave. Prednost je da ova metoda može otkriti tačan položaj greške u materijalu



- **Metoda rezonancije**

- Rezonantni metod se zasniva na pojavi stojećih talasa.
- Ultrazvučni talasi se odbijaju od zadnjeg zida i vraćaju se u prijemnik, gde ovi talasi ometaju dolazeće talase.
- Ako je debljina materijala jednaka zbiru polovina talasnih dužina, generiše se uspravni talas, tj. postiže se rezonancija.
- Ovaj metod je pogodan za merenje debljine ispitivanog materijala.



OSNOVNA OPREMA ZA ISPITIVANJE

- Elektronski generator signala
- Sonda koja emituje snop ultrazvučnih talasa
- Kuplant (couplant) za transfer energije iz sonde
- Kuplant (couplant) za transfer energije u sondu
- Sonda za prihvatanje odbijenih ultrazvučnih talasa
- Pojačalo / demodulator
- Displej ili indikator
- Elektronski referentni sat



U današnje vreme se kao oprema za ultrazvučno ispitivanje materijala koriste piezoelektrične ultrazvučne sonde, sonde za ispitivanjem pravim snopom, sonde za ispitivanje pod vodom, uređaji za merenje debljine materijala...



VARIJABLE/PROMENLJIVE

- Osnovne varijable koje treba uzeti u obzir kod ultrazvučnih ispitivanja su karakteristike ultrazvučnih talasa i karakteristike delova koji se ispituju jer od tih varijabli zavisi izbor opreme.
 - Frekvencija ultrazvučnih talasa: treba naći kompromis između pozitivnih i negativnih efekata izabrane frekvencije. Npr. visoke frekvencije - veća osetljivost, veća rezolucija, manja penetracija kod nehomogenih metala (sa većim zrnom).
 - Akustična impedansa kombinacije dva materijala je karakteristika koja određuje stepen refleksije; ako imaju istu impedansu, nema refleksije. Jedinica: $\text{g/cm}^2\cdot\text{s}$.
 - Ugao nagiba - kad snop ultrazvučnih talasa pada pravo na grešku, ugao nagiba je 0° - refleksija ne menja pravac snopa; kad ugao nagiba nije 0° , dolazi do promene prirode kretanja talasa i do prelamanja.
 - Apsorpcija ultrazvučne energije se javlja uglavnom konverzijom mehaničke energije u toplotu.
 - Rasipanje ultrazvučnog talasa se javlja zato što većina materijala nije homogena.
 - Širenje snopa se javlja na većoj udaljenosti od sonde i ugao širenja zavisi od talasne dužine talasa i od prečnika ultrazvučne sonde.
 - Slabljenje ultrazvučnog snopa zavisi od početnog pritiska, dubine dela koji se ispituje i od koeficijenta slabljenja (dB/mm).



PREDNOSTI I MANE ULTRAZVUČNOG ISPITIVANJA

○ Prednosti:

- preciznost u određivanju lokacije i veličine greške
- preciznost u otkrivanju orijentacije i oblika greške
- detaljnost prikaza
- jednostavna obrada signala
- rezultati ispitivanja su odmah dostupni
- oprema je prenosiva

○ Nedostaci:

- osetljivost na nečistoće
- dosta visoki zahtevi za ispitivanu površinu što se tiče hrapavosti i pristupačnosti
- poteškoće sa ispitivanjem uzoraka nepravilnih oblika, malih dimenzija i tankih pločastih materijala
- potrebno je kontaktno sredstvo radi održavanja kontakta između sonde i ispitivanog uzorka
- potrebna stalna kalibracija testne opreme - potreba za probnim uzorcima i etalonima

