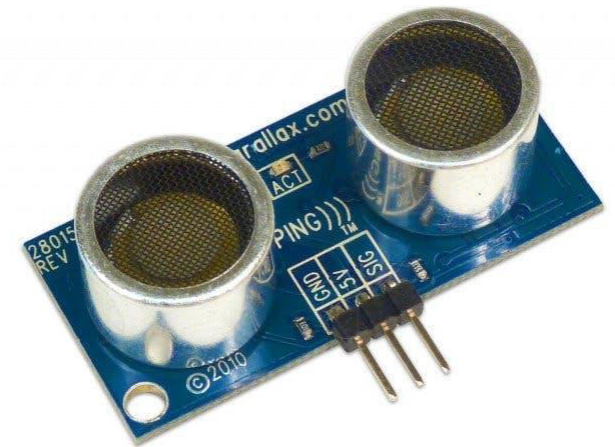


# Senzori rastojanja na bazi ultrazvuka

Senzori i pretvarači

29.04.2020

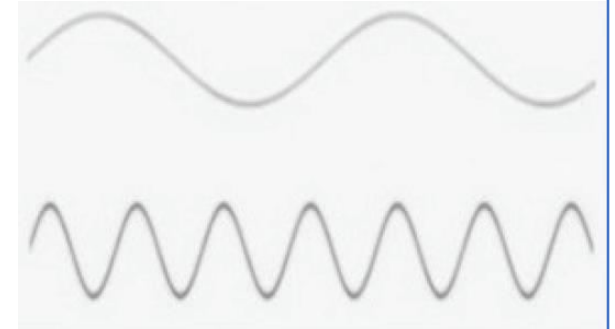
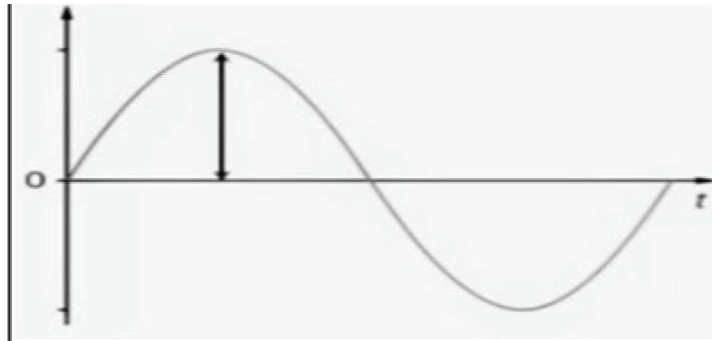
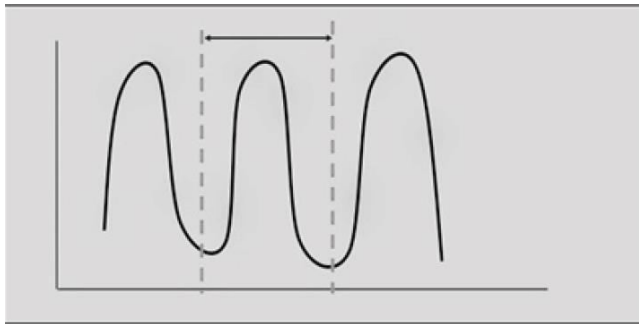


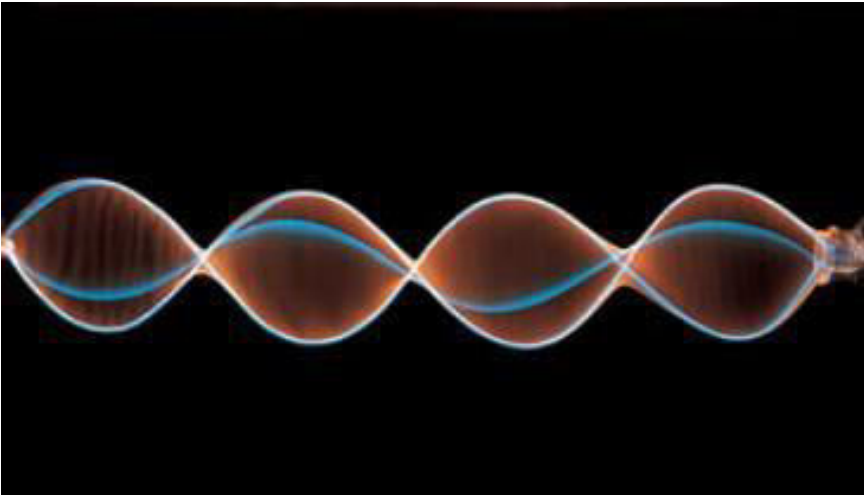
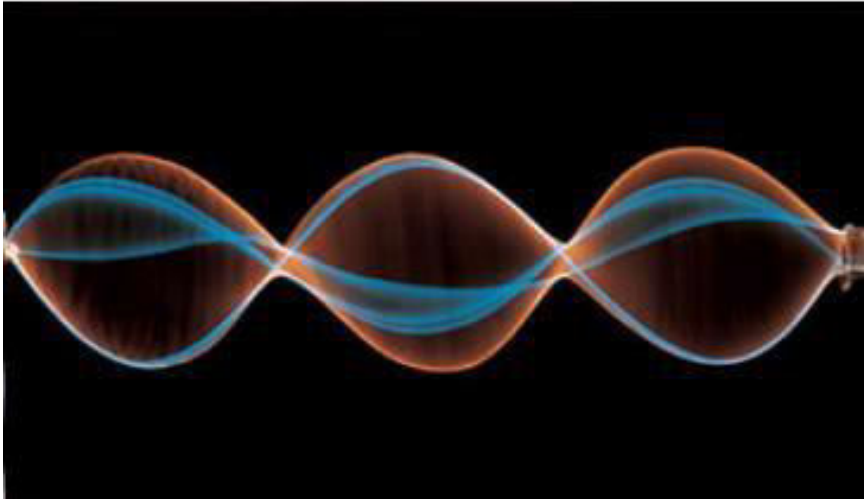
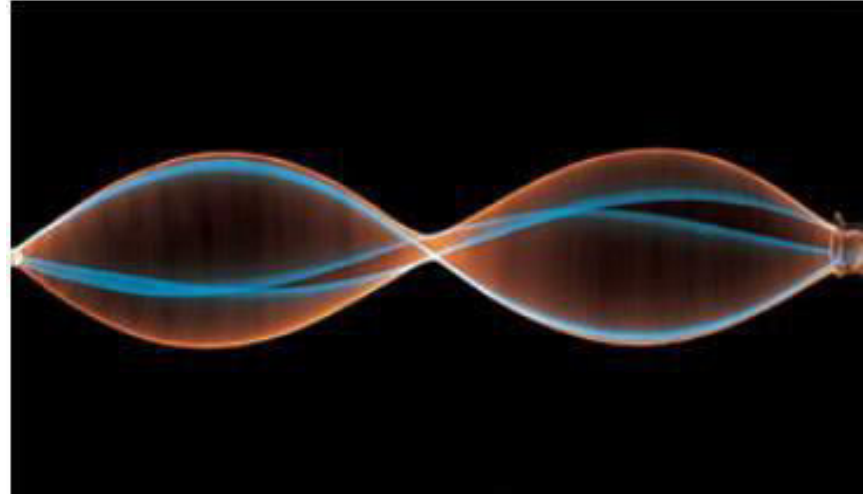
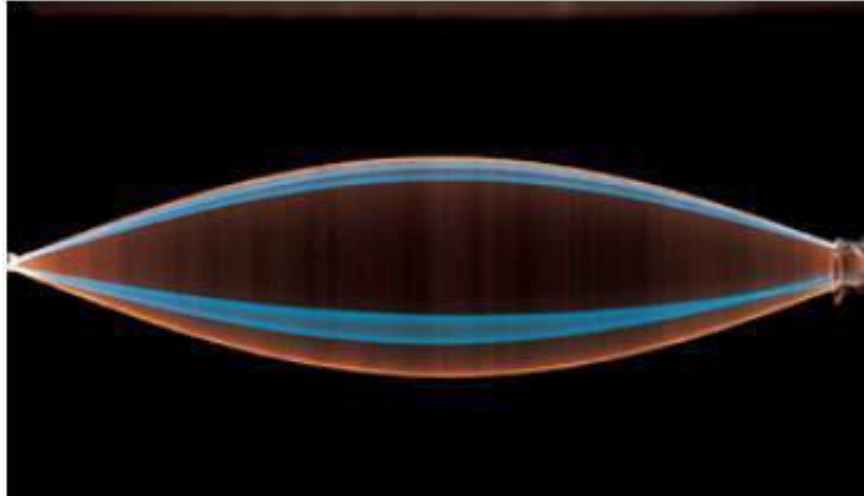
- ✓ Beskontaktni princip
- ✓ Velika preciznost
- ✓ Široki opseg merenja
- ✓ Široka oblast primene



# Ultrazvuk

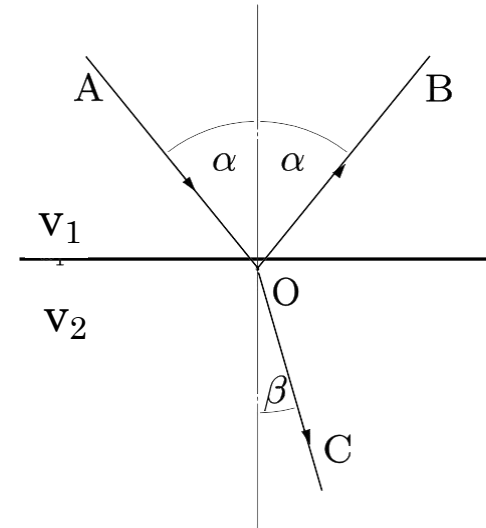
- ✓ Ultrazvuk (UZ) predstavlja mehaničke, longitudinalne, akustične talase čija je frekvenca preko 20.000 Hz
- ✓ Elementi talasne fizike
- ✓ apsorpcija, refleksija, refrakcija, disperzija i difrakcija



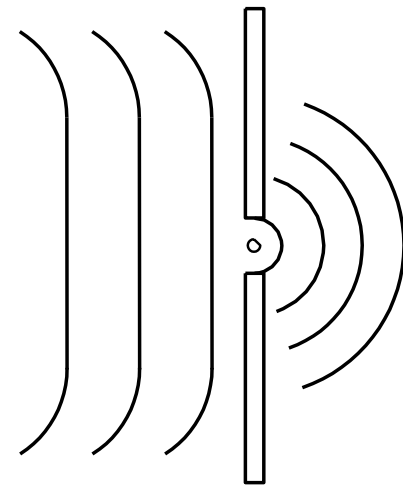


## Odbijanje i prelamanje talasa

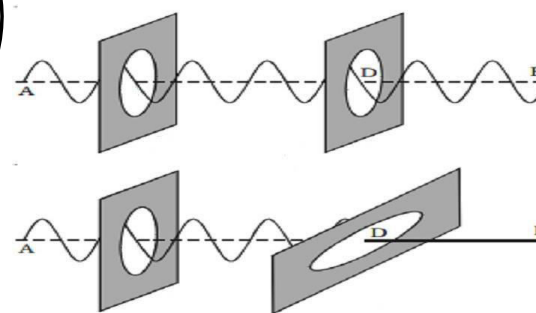
$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2}$$



## Difrakcija



## Polarizacija



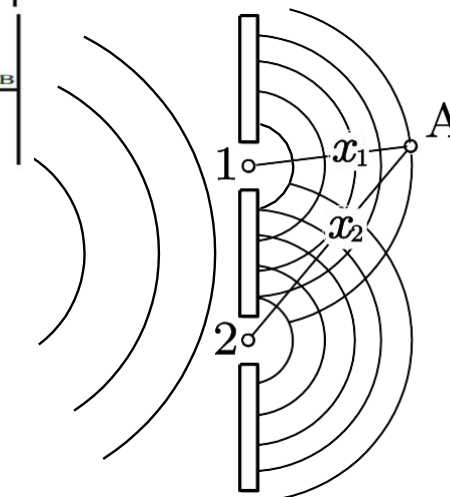
## Interferencija

maksimalno pojačanje

$$\delta = n \cdot \lambda ; n = 1, 2, 3..$$

maksimalno slabljenje

$$\delta = (2n + 1) \frac{\lambda}{2}$$



- ✓ Ultrazvuk je mehanički talas čija je frekvencija u intervalu od 20 kHz do  $10^9$  Hz.
- ✓ Za ljudsko uho ultrazvuk su nečujni talasi.
- ✓ Karakteristike:
  - ✓ velika energija koja raste sa porastom frekvencije,
  - ✓ mnogo su prodorniji od zvuka koji čujemo.
  - ✓ zbog velike prodornosti i interakcije sa materijalnom sredinom (tkivom) ultrazvuk se široko primenjuje u dijagnostičke svrhe u medicini, terapiji i hirurgiji.

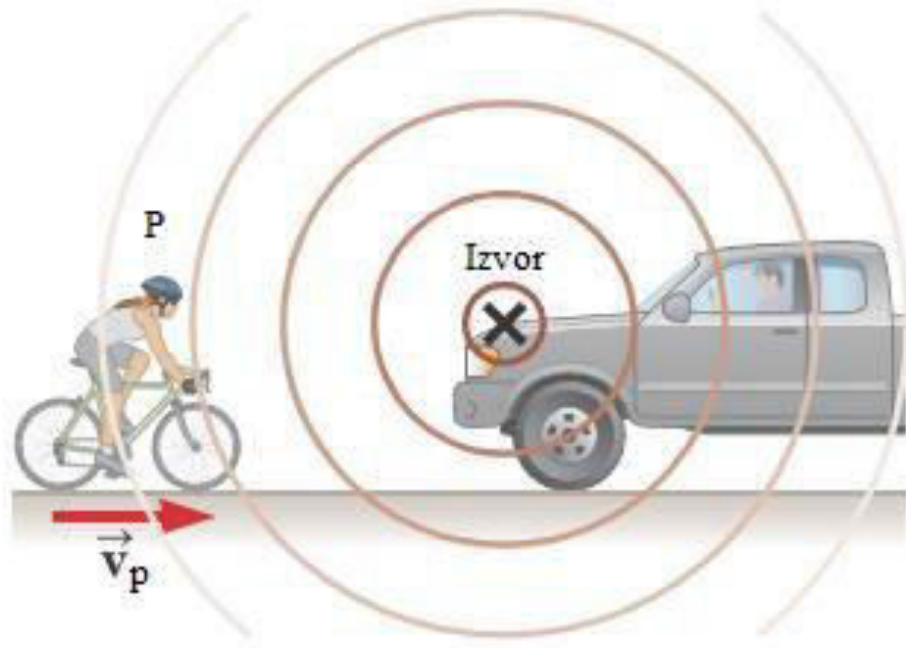
## PONAŠANJE ZVUKA NA GRANICI DVE SREDINE

- Kada zvuk naiđe na granicu dveju homogenih sredina različitih akustičkih impedanci, jedan deo će se vratiti u sredinu iz koje dolazi (refleksija), dok će drugi deo preći u drugu sredinu (transmisija).
- Odnos između energija reflektovanog i transmitovanog dela talasa zavisice od odnosa akustičkih impedansa. Pri većim razlikama akustičkih impedansi veći deo energije zvuka će se reflektovati, a manji transmitovati.
- R – koeficijent refleksije
- T – koeficijent transmisije:  $R+T=1$
- Odnos amplituda reflektovanog odnosno transmitovanog talasa i upadnog talasa za jednostavan slučaj kada talas pada normalno na graničnu površ između dveju sredina akustičkih impedansi  $Z_1$  i  $Z_2$  može se odrediti iz sledećih izraza

$$\frac{A_R}{A_0} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2}, \quad \frac{A_T}{A_0} = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2},$$

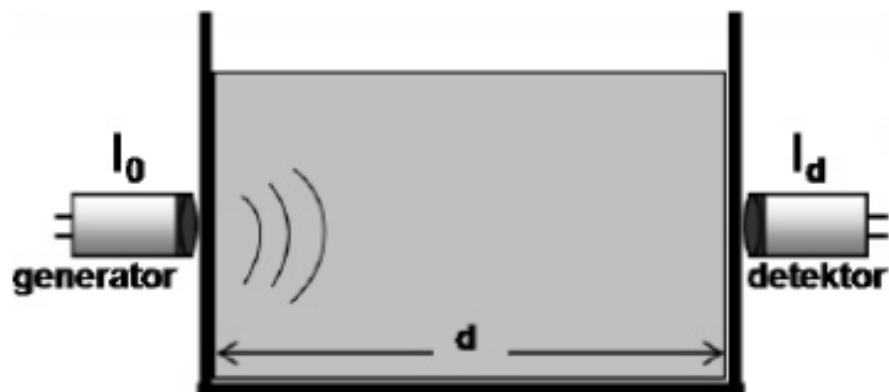
# Doplerov efekat

$$\nu = \frac{v_0 + v_s \pm v_p}{v_0 + v_s \pm v_i} \cdot \nu_0$$



- $\nu$  – frekvencija prijemnika
- $\nu_0$  – frekvencija izvora
- $v_0$  – brzina zvuka
- $v_s$  – brzina sredine
- $v_p$  – brzina prijemnika
- $v_i$  – brzina izvora





gdje je  
 $\alpha$  – koeficijent prigušenja  
 $2\alpha$ -koeficijent apsorpcije zvuka

$$I_d = I_0 e^{-2\alpha d}$$

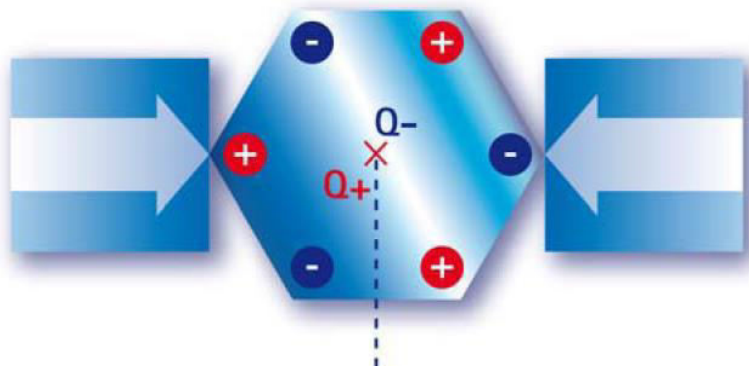
$$\alpha = \frac{1}{2d} \ln \frac{I_0}{I_d}$$

○ Prostiranje zvuka zavisi od akustične impedance

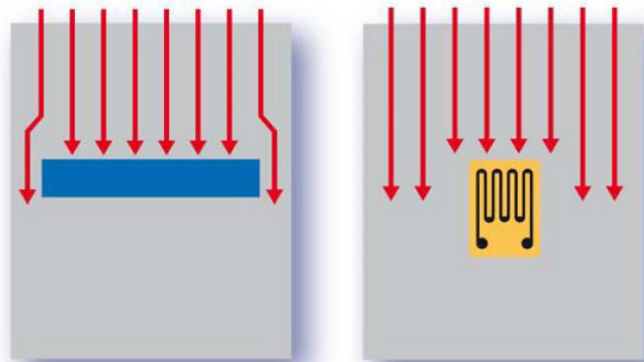
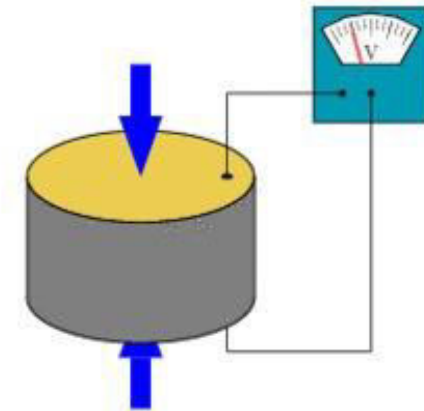
$$Z = \rho v$$

# Piezo efekat

- **Piezoelektrični efekt** je pojava stvaranja električnog naelektrisanja na površini nekih čvrstih materijala usled dejstva mehaničke sile.



$$Q = d_{ij} F$$



# Inverzni piezoelektrični efekat

- ✓ Inverzan piezoelektrični efekt se sastoji u mehaničkoj deformaciji pretvarača kada se on stavi u električno polje, odnosno naelektriše nekom količinom elektriciteta.
- ✓ Direktni i inverzni piezoelektrični efekt su u potpunosti recipročni, tj. reč je o jednoj istoj pojavi.
- ✓ Piezoelektrični elementi imaju tri osnovne namene:
  - ✓ Merenje sile, pritiska ili ubrzanja, kada se pod dejstvom mehaničke veličine generiše odgovarajući električni signal.
  - ✓ Proizvodnja ultrazvuka, kada se pod dejstvom naizmeničnog ili impulsnog napona u piezoelektričnoj pločici izazivaju jake vibracije koje u okolnoj sredini generišu ultrazvuk.
  - ✓ Stabilizacija frekvencije elektronskih oscilatora, konstrukcija električnih filtara, i dr. Ove važne primene neće biti razmatrane na ovom mestu.

# PONAŠANJE ZVUKA NA GRANICI DVEJU SREDINA

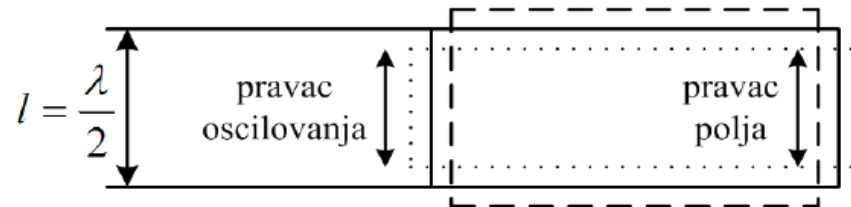
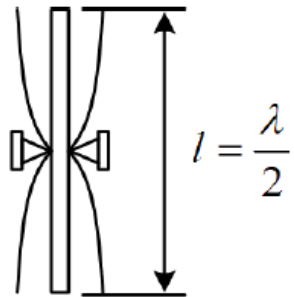
- Kada zvuk naiđe na granicu dveju homogenih sredina različitih akustičkih impedanci, jedan deo će se vratiti u sredinu iz koje dolazi (refleksija), dok će drugi deo preći u drugu sredinu (transmisija).
- Odnos između enerija reflektovanog i transmitovanog dela talasa zavisice od odnosa akustičkih impedancija. Pri većim razlikama akustičkih impedancija veći deo energije zvuka će se reflektovati, a manji transmitovati.
- R – koeficijent refleksije
- T – koeficijent transmisije:  $R+T=1$
- Odnos amplituda reflektovanog odnosno transmitovanog talasa i upadnog talasa za jednostavan slučaj kada talas pada normalno na graničnu površ između dveju sredina akustičkih impedancija  $Z_1$  i  $Z_2$  može se odrediti iz sledećih izraza

$$\frac{A_R}{A_0} = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2}, \quad \frac{A_T}{A_0} = \frac{2Z_1}{Z_1 + Z_2},$$

- ✓ ultrazvučni sistem za merenje rastojanja radi na principu slanja zvučnog signala i očekivanju da dobije eho.
- ✓ Zvučni talas se prenosi od predajnika i posle odbijanja od objekta vraća eho do prijemnika.
- ✓ rastojanje objekta se računa na bazi vremena koje protekne od trenutka emitovanja do prijema reflektovanog zvuka.
- ✓ ograničavajući faktori
- ✓ širina zvučnog snopa koji se šalje ka objektu, jer kod zvuka veoma brzo dolazi do divergencije talasa.

# PIEZOELEKTRIČNI PRETVARAČI KAO IZVORI ULTRAZVUKA

- Osnovni uslov da se pomoću nekog mehaničkog rezonatora dobije ultrazvuk velikog intenziteta i sa dobrim koeficijentom korisnog dejstva, je da se rezonator pobuđuje na svojoj rezonantnoj učestanosti – da nastane neki vid stojećeg talasa.

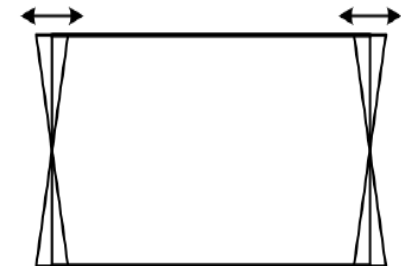
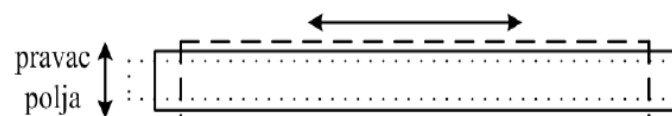


$$f_r = \frac{c}{\lambda} = \frac{c}{2l}$$

Rez. Frekv.

$$c = \sqrt{\frac{E_Y}{\rho}}$$

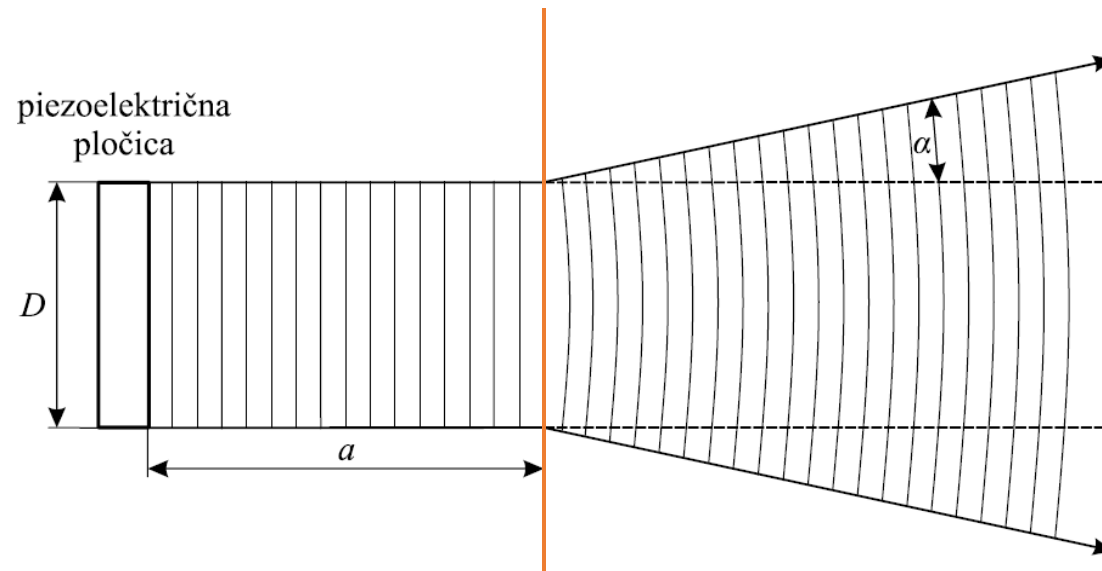
Brzina prostiranja talasa  
u sredini



- ✓ Ultrazvučni talasi se kreću pravolinijski, slično svetlosnim zracima.
- ✓ Analiza refleksije ili prolaska iz jedne u drugu sredinu postamtra se sa stanovišta zakona geometrijske optike.
- ✓ Geometrijski oblik ultrazvučnog polja određen je uglavnom odnosom dimenzija vibracione cevi i talasne dužine ultrazvuka u sredini.

Deo u kome je polje cilindričnog oblika dužine

$$a = \frac{D^2 - \lambda^2}{4\lambda} \approx \frac{D^2}{4\lambda}$$



Sferni talas približno konusnog oblika.

$$p \approx \text{Const} \frac{1}{x}, I \approx \text{Const} \frac{1}{x^2}$$

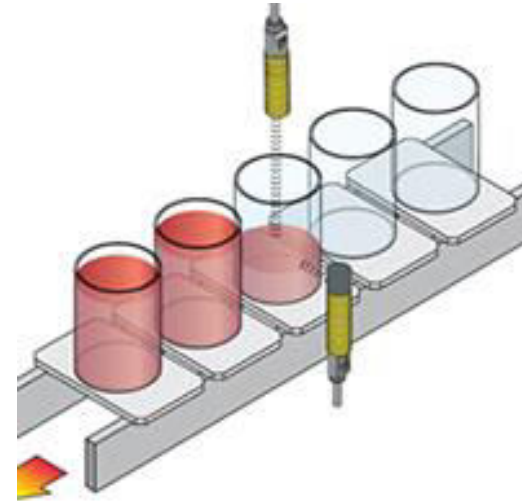
# Oblasti primene

- ✓ Merenje dubine reka i mora, snimanje profila dna, otkrivanje faune u moru, potonulih objekata i sl.
- ✓ Merenje rastojanja, i na bazi toga određivanje nivoa rasutih materijala (uglja, ruda i sl.).
- ✓ Merenje brzine zvuka u materijalima, na osnovu čega se određuju parametri kao na primer moduo elastičnosti, Puasonov koeficijent i dr.
- ✓ Određvanje unutrašnjih defekata u mašinskim delovima koji se ne mogu konstatovati vizuelnim pregledom (defektoskopija).
- ✓ Ispitivanje kvaliteta varova u kotlovima koji rade pod visokim pritiscima u termocentralama i nuklearnim elektranama.

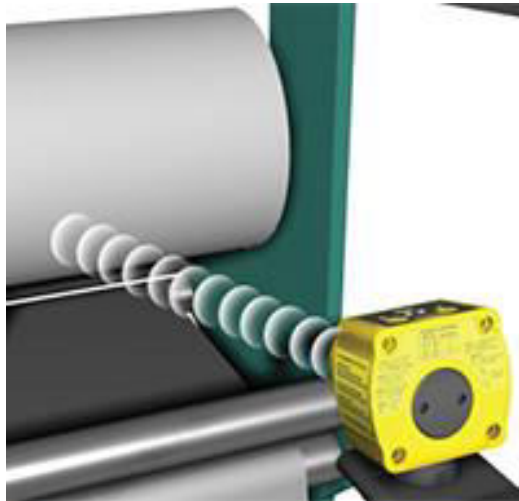




Kontrola materijala prilikom odmotavanja ili namotavanja na kotur.



Kontrola nivoa u otvorenim sudovima na pokretnim trakama.

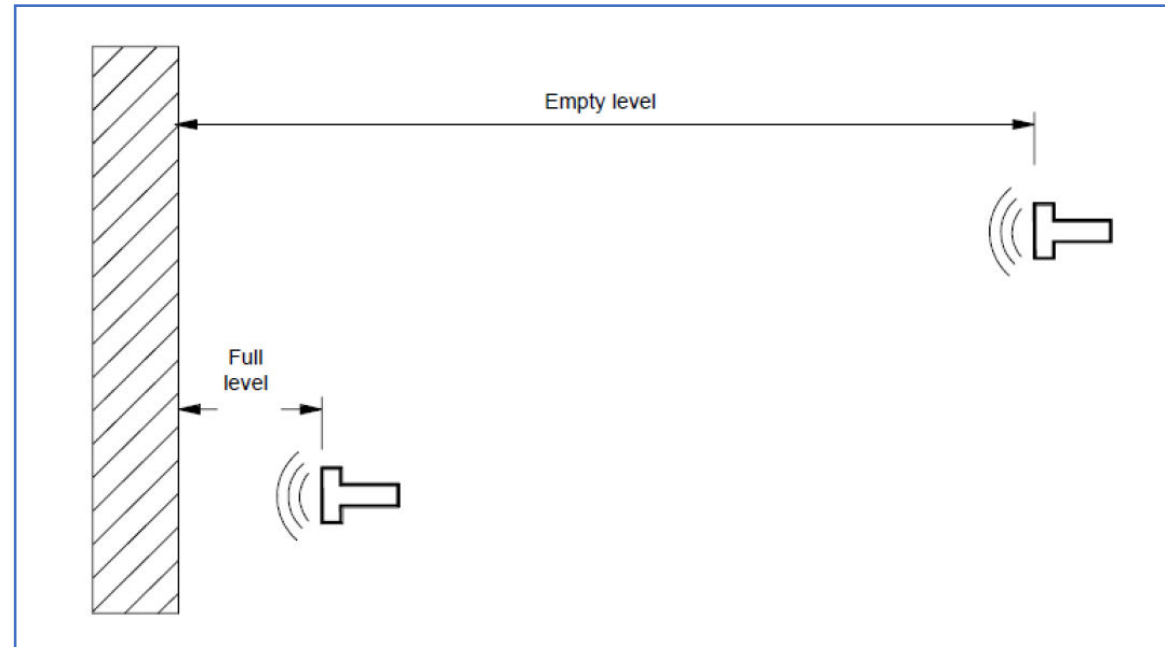
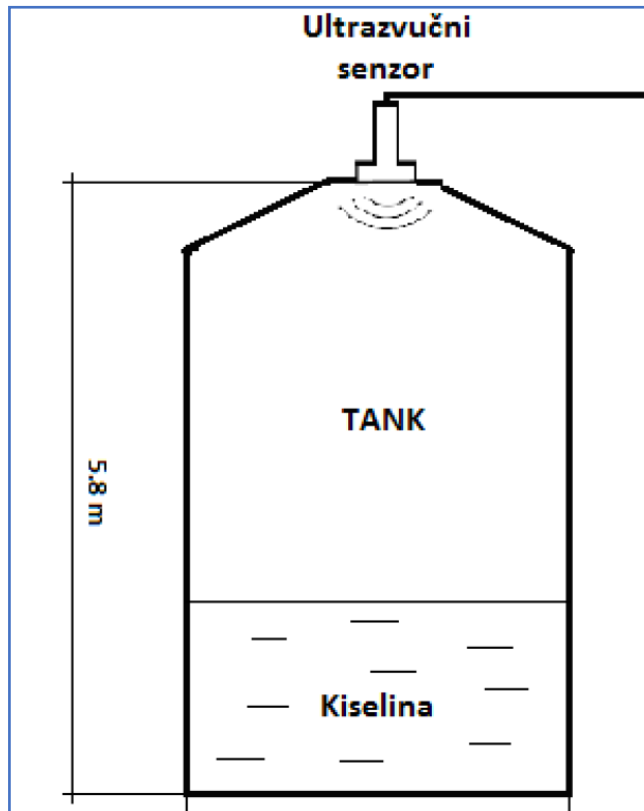


Kontrola namotavanja sa kotura tkanina, limova, papira, folije



Detekcija potpuno prozirnih objekata u najtežim uslovima rada

# Primer primene ultrazvučnog senzora za određivanje nivoa tečnosti



# Opis postupka

- ✓ Senzor objedinjuje funkciju transmitera i prijemnika ultrazvučnog signala.
- ✓ Princip: merenje vremena koje je potrebno ultrazvučnom signalu reflektovanom od prepreke da se vrati do prijemnika.
- ✓ refleksiona površina je tečnost u rezervoaru.
- ✓ visina tanka odgovara punom opsegu merenja senzora, (u drigim situacijama vrše se odgovarajuća podesavanja).
- ✓ senzor se usmerava ka površinama koje simuliraju gornji i donji nivo.
- ✓ A1 definiše najbliže mereno rastojanje od senzora (pun tank – *Full level*), a A2 definiše najdalje mereno rastojanje od senzora (prazan tank – *Empty Level*).

- Podešavanje širine ultrazvučnog talasa  
*Small beam, Medium beam, Large beam.*

