#### FMF, LJUBLJANA FP4, 2.SEMESTER 2021/22

# Uporaba ultrazvoka

Tadej Strah

29. maj 2022

#### 1 Uvod

Nedestruktivne metode opazovanja notranjosti človeškega telesa in drugih objektov slonijo na pojavih absorpcije, sipanja in odboja valovanja v notranjosti telesa. Uporabljamo lahko najrazličnejša valovanja, odvisno od zahtev preiskave. Važna je valovna dolžina, ki na določa ločljivost metode in pa zmerna absorpcija ali sipanje. Poleg tega potrebujemo priročne izvore in detektorje valovanja.

Ultrazvočne metode se že dolgo uporabljajo tako v medicini kot v industriji. Nizke jakosti ultrazvoka niso škodljive človeškemu telesu. Ultrazvok s frekvenco nekaj MHz ima v večini snovi valovno dolžino okoli mm, kar zadostuje za opazovanje človeškega telesa in mnogih izdelkov v industriji.

Merjenje jakosti odbojev ultrazvoka v različnih globinah merjenca je najbolj pogost način meritve. V tem primeru merimo čas, ki ga valovanje porabi od izvora do nehomogenosti, ki valovanje delno odbija, in nazaj do detektorja. Meritev časa nam omogoča sunkovni način delovanja ultrazvočnega izvora, ki je analogen delovanju radarja. Izvor (piezoelektrični kristal) odda kratek močan impulz valovanja, ki je dolg nekaj valovnih dolžin, nato pa merimo jakost odbitega signala v odvisnosti od časa. Detektor je običajno kar isti piezoelektrični kristal, ki služi tudi kot izvor ultrazvoka. Na ta način dobimo enodimenzionalen prerez skozi merjeno telo. Večje število izvorov in detektorjev omogoča opazovanje dvodimenzionalnih prerezov skozi telo.

Z natančnimi meritvami hitrosti ultrazvoka v snovi lahko določamo tudi mnoge druge lastnosti snovi, ki so povezane z njeno trdnostjo. V homogenih snoveh lahko npr. določimo modul elastičnosti E, strižni modul G in Poissonovo število  $\mu$ . V tanki palici (valovna dolžina je dosti večja od premera palice) se širi longitudinalno valovanje s hitrostjo

$$c_{long,tanka}^2 = \frac{E}{\rho},\tag{1}$$

kjer je  $\rho$ gostota palice. Hitrost longitudinalnega valovanja v razsežnem sredstvu je podana s formulo

$$c_{long}^2 = \frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}. (2)$$

Hitrost transverzalnega valovanja v razsežnem sredstvu lahko izrazimo s strižnim modulom ali pa s prožnostnim modulom in Poissonovim številom

$$c_{trans}^2 = \frac{G}{\rho} = \frac{E}{2\rho(1+\mu)}.$$
 (3)

Hitrost transverzalnega valovanja v taki palici je bolj zapletena funkcija geometrije in je poleg tega odvisna še od valovne dolžine.

#### 2 Potrebščine

- ultrazvočni defektoskop kot izvor in detektor valovanja
- digitalni osciloskop
- ultrazvočna sonda za longitudinalno valovanje MB4S-N z resonančno frekvenco 4MHz in za transverzalno valovanje V155 z resonančno frekvenco 5MHz
- posoda z vodo in sondo MB4S-N in z nastavljivo odmevno površino, atenuator (dušilec) signala
- standardni miniaturni in kalibracijski blok normalne velikosti nepravilnih oblik z režami in izvrtinami
- valji iz jekla, aluminija in drugih materialov
- kontaktne paste za zapolnitev reže med sondami in merjenci

### 3 Naloga

- 1. Opazujte odboj longitudinalnega ultrazvočnega valovanja na različnih ploskvah priloženega merjenca nepravilnih oblik z izvrtinami in zarezami. Kalibrirajte skalo na zaslonu osciloskopa v mm poti valovanja v jeklu.
- 2. Poiščite odboj na izvrtini premera 1mm in določi njen položaj glede na zunanje ploskve merjenca. Oceni globinsko ostrino meritve.
- 3. Določite hitrost longitudinalnega in transverzalnega ultrazvočnega valovanja v jeklu in aluminiju. Uporabi ultrazvočni interferometer. Izračunajte prožnostni modul E, strižni modul G in Poissonovo število  $\mu$ .

## 4 Izvedba meritev, obdelava podatkov in rezultati

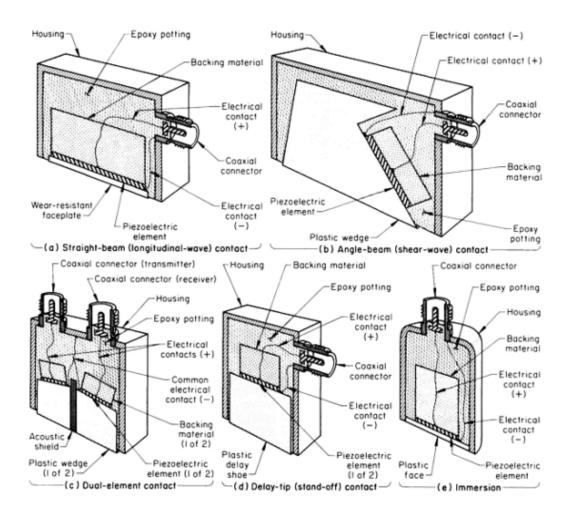
Ultrazvočni defektoskop vsebuje izvor, ki odda kratek napetostni sunek (približno 200V, 100ns), ki je povzročen s hitrim praznjenjem kondenzatorja. Sunek vodimo na ultrazvočno sondo, ki močno zaniha in odda sunek valovanja v material, ki se ga sonda dotika. Osrednji del sond je piezo-električni kristal; odvisno od orientacije v posamezni sondi zaniha v transverzalni ali pa longitudinalni smeri.

Isto sondo uporabimo tudi kot sprejemnik odbitega valovanja. Vzbujalni sunek uporabimo tudi za proženje osciloskopa.

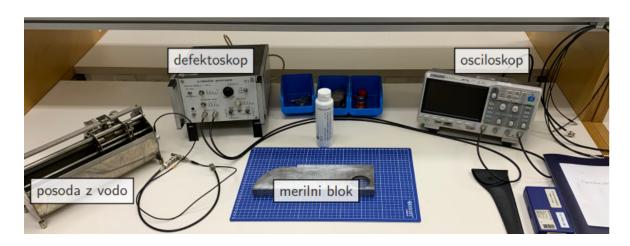
Za dober kontakt med sondo in merjencem uporabimo gosto pasto, s katero zmanjšamo odboj valovanja na meji sonda-merjenec.

Za začetek opazujemo odboje na merjencu znanih dimenzij (3). Tako iz znanih dimenzij in izmerjenega časa od izseva do odboja izračunamo hitrost valovanja v merjencu.

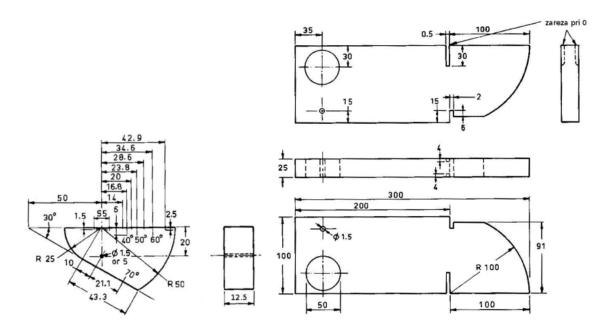
Hitrost v jeklu, iz katerega je merjenec je tako



Slika 1: Različne izvedenke ultrazvočnih sond



Slika 2: Postavitev eksperimenta



Slika 3: Standardni umeritveni merjeneci

$$c_{jeklo} = (5710 \pm 50) m/s,$$

vrednost je v pravilnem velikostnem razredu za to vrsto kovine.

Sedaj lahko z znano hitrostjo valovanja pomerimo katero od razdalj v merjencu. Bolj natančno pogledamo del, kjer se stikata dve vzporedni ravnini, vmes pa je še malo globlja zareza. Opisano vidimo na sliki 4, meritev pa na sliki 5. Prvi set vrhov je iz odboja na stiku sonda-merjenec, drugi set pa od odboja na treh različno oddaljenih površinah. Vidimo, da so vrhovi lepo ločeni; brez prekrivanja, tako da brez težav odčitamo njihovo lego in poračunamo razdalje.

Dobimo razdalje:

$$d_1 = (84.6 \pm 1.5) \,\mathrm{mm}$$

$$d_2 = (90.8 \pm 1.5) \,\mathrm{mm}$$

$$d_3 = (99.0 \pm 1.5) \,\mathrm{mm}$$

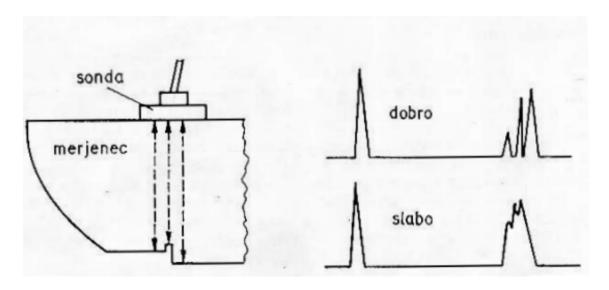
Merjenec (kalibracijski blok) pa ima za te razdalje (v istem vrstnem redu) navedene sledeče vrednosti: {85,91,100}mm, torej smo pri vseh meritvah znotraj merske napake.

V zadnjem delu naloge s pomočjo interferometra pomerimo še meritve hitrosti zvoka v drugih medijih s primerjavo s hitrostjo zvoka v vodi, ki jo podaja formula:

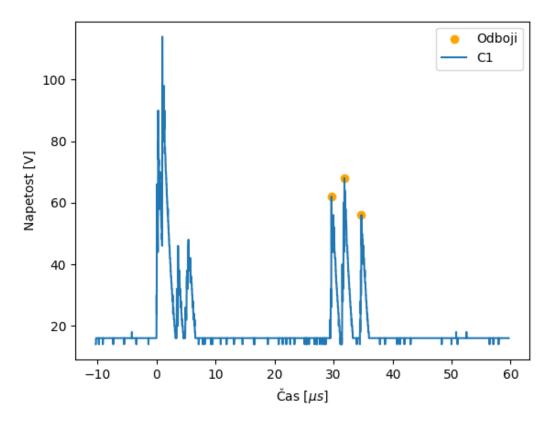
$$c = c_0 + k(T - T_0) = 1489.6 \,\mathrm{m/s},$$

kjer je  $T_0 = 20^{\circ}C$ ,  $c_0 = 1483.1$  m/s, k = 2.5 m/(sK) in izmerjena temperatura vode  $T = 22.6^{\circ}C$ .

Meritev poteka tako, da iz istega izvora napajamo dve sondi - ena pošlje signal skozi izbrani merjenec in meri odboje, druga pa pošlje signal skozi znano dolžino vode in potem meri odboje. Prepotovano razdaljo v vodi lahko spreminjamo, s tem lahko na osciloskopu poravnamo vrhova odbitega valovanja v vodi in v snovi. Takrat sta časa od izseva do odboja enaka, posledično pa je razmerje hitrosti enaki razmerju prepotovanih razdalj. Poznamo hitrost zvoka v vodi in obe razdalji - izračunamo lahko hitrost valovanja v merjencu.



Slika 4: Del merjenca z zarezo



Slika 5: Del merjenca z zarezo - meritev

	Longitue	dinalno	Transverzalno		
	$d_{jeklo}$ [mm]	$d_{alu}$ [mm]	$d_{jeklo}$ [mm]	$d_{alu}$ [mm]	
1	2	2	6.5	6	
2	8.5	8	18.5	17.5	
3	15	14	30	28.5	
4	21	20	41	39.5	
5		26			

Tabela 1: Meritve z interferometrom

Na enak način poravnamo še signal odboja iz interferometra z drugim, tretjim...odbojem, da lahko bolj natančno določimo hitrost.

Meritve razdalj interferometra, pri katerih se pokrijejo vrhovi prikazuje tabela 1. Izračunamo

$$c_L(jeklo) = (6.0 \pm 0.1) \cdot 10^3 \text{ m/s}$$
  
 $c_L(Al) = (6.3 \pm 0.1) \cdot 10^3 \text{ m/s}$   
 $c_T(jeklo) = (3.4 \pm 0.1) \cdot 10^3 \text{ m/s}$   
 $c_T(Al) = (3.2 \pm 0.1) \cdot 10^3 \text{ m/s}$ 

Vrednosti se znotraj napak ujemajo z referenčnimi vrednostmi iz interneta.

Obrnemo enačbi 2 in 3, da dobimo enačbe za Poissonovo število, Youngov prožnostni modul ter strižni modul.

$$\mu = \frac{c_L^2 - 2c_T^2}{2(c_L^2 - c_T^2)},\tag{4}$$

$$E = \frac{c_L^2 \rho (1 + \mu)(1 - 2\mu)}{1 - \mu},\tag{5}$$

$$G = \rho c_T^2. (6)$$

Izračunane rezultate prikazuje tabela 4. Številsko se vrednosti dobro ujemajo z referenčnimi vrednostmi z interneta.

	$c_L  [\mathrm{km/s}]$	$c_T  [\mathrm{km/s}]$	$\rho  [\mathrm{kg/dm^3}]$	$\mu$	E [GPa]	G [GPa]
jeklo	$(6.0 \pm 0.1)$	$(3.4 \pm 0.1)$	7.8	$(0.31 \pm 0.05)$	$(220 \pm 5)$	$(83 \pm 4)$
aluminij	$(6.3 \pm 0.1)$	$(3.2 \pm 0.1)$	2.7	$(0.34 \pm 0.05)$	$(70 \pm 4)$	$(26 \pm 3)$