

Negraujošā kontrole

Dzelzceļa transportā

Dr.sc.ing. G.Strautmanis

Kas ir negraujošā kontrole?

- **Negraujošā kontrole (NK)**, svešvalodās -Неразрушающий контроль, Nondestructive testing (NDT):
 - Zinātne un tehnikas nozare, kas pēta/izstrādā fizikālās izpētes metodes, tehnoloģiju un iekārtas, lai kontrolētu iekārtu tehnisko stāvokli, neveicot detaļu sagraušanu un nemazinot to ekspluatācijas resursu (nepasliktinot tās).
- **Negraujošās kontroles metodes** – dažādas metodes, kuras lieto detaļu negraujošai kontrolei un sekojošu defektu noteikšanai:
 - Atkāpes no materiāla veseluma/viendabības (plaisas, poras, utt.);
 - Ķīmiskā sastāva neatbilstība;
- **Galvenā būtība** – iegūt priekšstatu par detaļas stāvokli, it īpaši ķermeņa dziļumā, neveicot tās sabojāšanu.

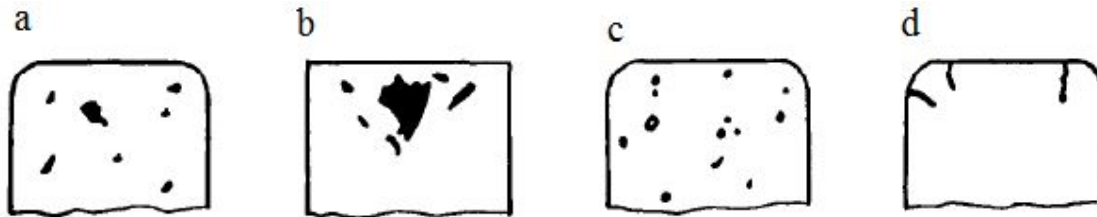
Kas ir defekts?

- **Defekts** – neatbilstība noteiktajām prasībām (standartiem, tehniskajiem noteikumiem, instrukcijai, utt.):
 - Atkāpes no materiāla veseluma;
 - Materiāla neviendabīgums:
 - Ieslēgumi;
 - Ķīmiskā sastāva izmaiņas;
 - No materiāla pamatstruktūras atšķirīgi apgabali;
 - Jebkuras atkāpes no noteiktajiem parametriem:
 - Izmēri;
 - Virsmas raupjums;
 - Izolācijas, hermētiskuma īpašības, utt.

Defektu veidi

1. Metāla kausēšanas un liešanas defekti:

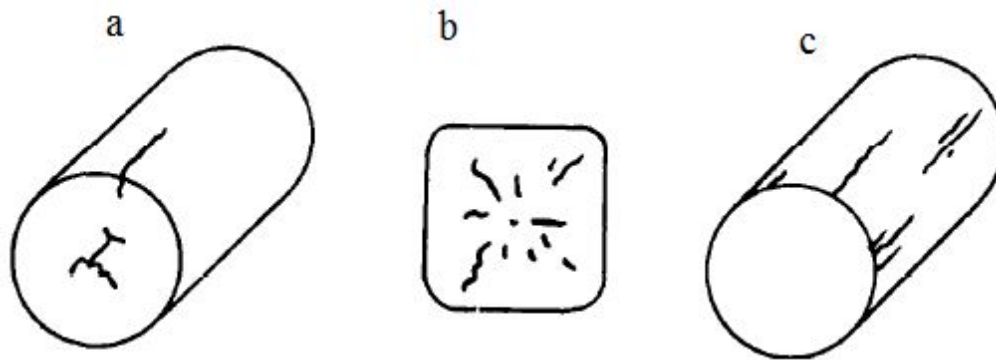
- neatbilstība uzdotam ķīmiskam sastāvam. Notiek, kad nepareizi tiek aprēķināts šihtas sastāvs;
- atsevišķu komponentu izdegšana kausēšanas procesā.
- parādās nepareizas kausēšanas tehnoloģijas dēļ;
- lejuma pārtraukumi;
- nosēdes tukšumi;
- gāzu porainība;
- likvācija;
- karstas plaisas;
- aukstas plaisas



a – ieslēgumi; b – nosēdes tukšumi; c – gāzu porainība; d - plaisas

2. Spiedapstrādes defekti:

- ārējas un iekšējas plaisas, nepilnības – veidojās spiedapstrādes un daudzkārtīgas karsēšanas rezultātā;
- noslāņošanās – plaisas, kuras orientētas šķēdru virzienā, veidojās spiedapstrādes dēļ sagataves ar nosēdes tukšumiem un nepilnībām;
- sārņu ieslēgumi;
- floķeni – parādās oglekļu tēraudos un vidējilēģētos tēraudos, ja ir palielināts ūdeņraža saturs;



a) Plaisas un nepilnības; b) floķeni; c) virsmu plaisas

3. Termiskās apstrādes defekti:

- pārkarsējums un pārdedzinājums - **pārkarsējums** – strauja austenīta graudu augšana un plastiskuma samazināšana pie karsēšanas virs kalšanas temperatūras. Izlabo – ar atkvēlināšanu; **pārdedzinājums** – rodas pie temperatūras, kas ir tuva kušanas temperatūrai. Raksturo graudu malu oksidēšana. Izlabot nav iespējams;
- termiskās plaisas – rezultāts ātra metāla karsēšanas un atzīšanas procesa;
- oglekļa satura samazināšana – veidojās, ja karsēšanas process notiek vidē ar palielinātu ūdens tvaika, ūdeņraža gāzes saturu;
- oglekļa satura palielināšana – karsēšana vidē ar oglekļa monoksīda palielinātu saturu;

4. Mehāniskās apstrādes defekti:

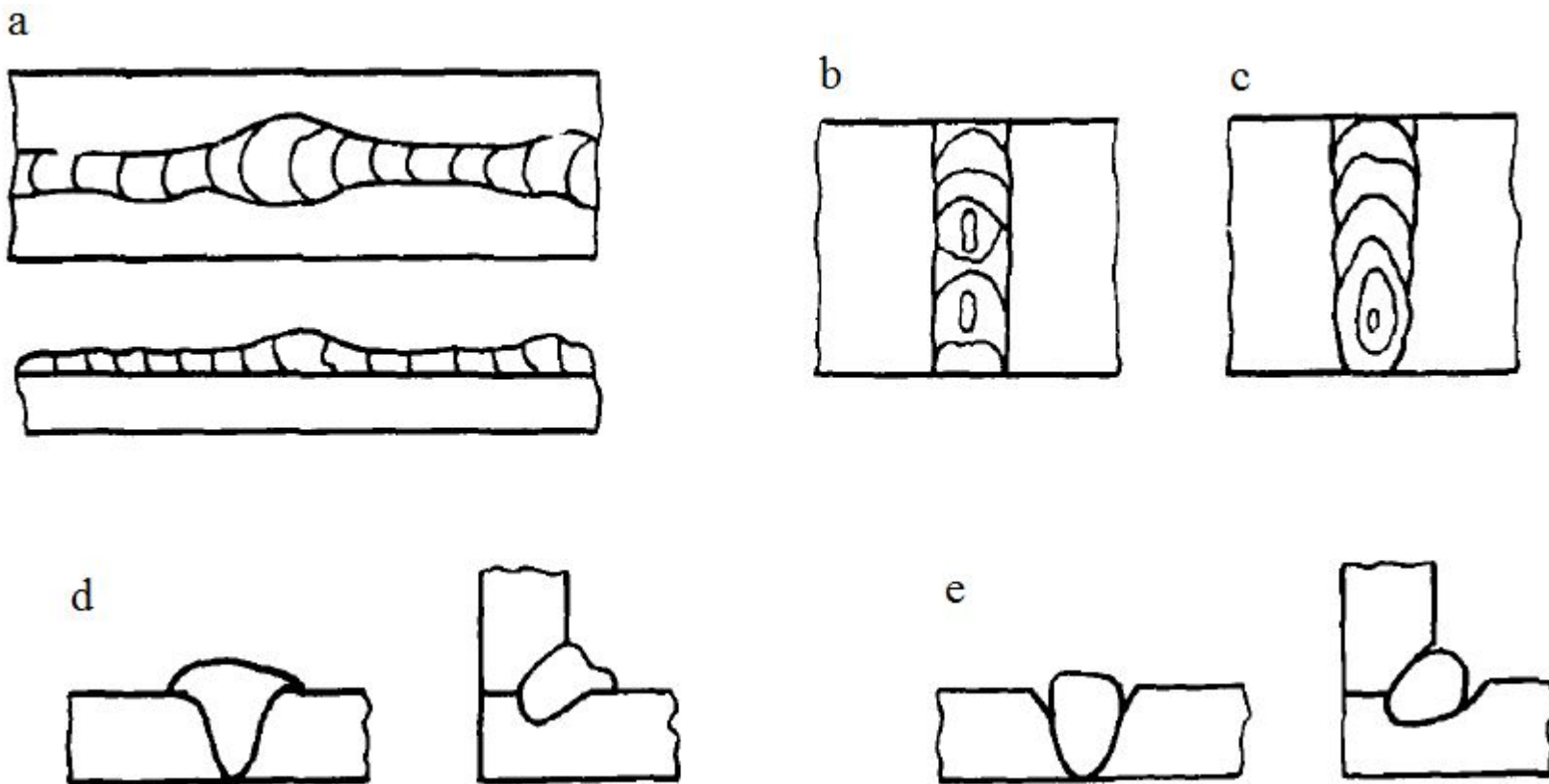
- apdares plaisas – mikroplaisu vedošana uzskaldītāja slānī pie apdares operācijas;
- piedegumi, slīpēšanas plaisas;

5. Metinātu šuvu defekti:

- raksturojās ar sakausētu metāla un lejumu defektiem;
- termiskās apstrādes defektiem – termiskās ietekmes zonas augstas temperatūras veido pārkarsējumu, rūdīšanu, atlaidi, karstas un aukstas plaisas;

Metinātu šuvu defekti nosacīti sadalās uz virsmu (ārējiem) un iekšējiem defektiem.

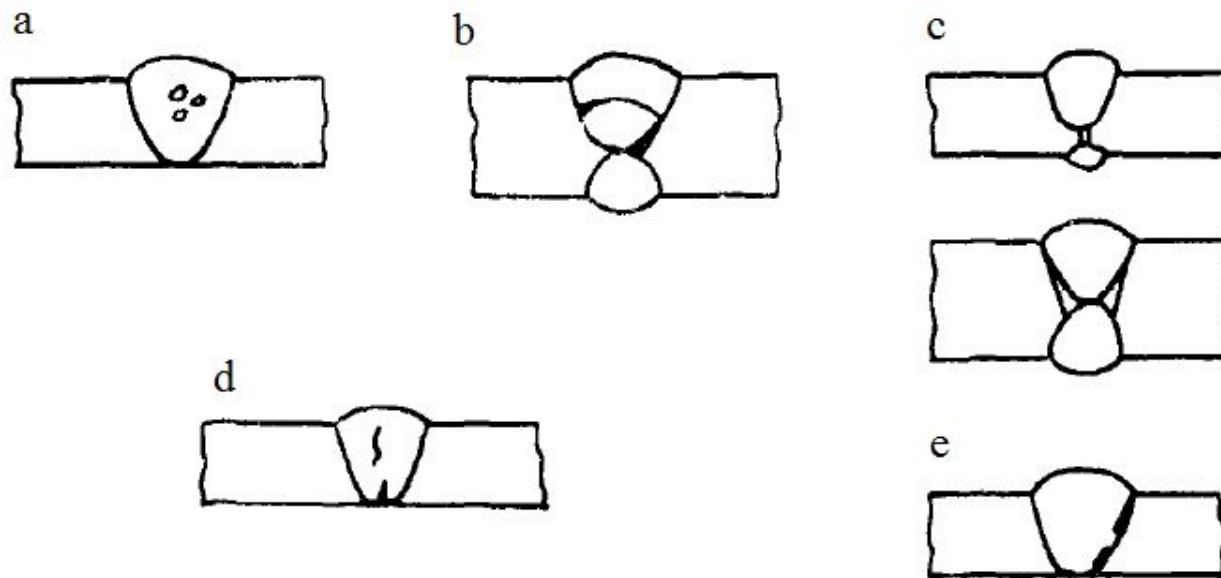
– virsmu (ārējie) defekti:



a) nevienmērīgs šuvu plaeums; b) metinātu šuvu apdēgumi; c) metināmie krāteri; d) šuves metāla pieplūdums e) pārdedzināšana;

Virsmu (ārējiem) defektu noteikšana parasti notiek vizuāli.

– iekšējie defekti:



a) gāzes porainība; b) sārņu ieslēgumi; c) iekšējie tukšumi šuves saknēs; d) plaisas; e) šuves nemetošana ar pamatmetālu

Gāzes porainības izmēri svārstās no 0,1 līdz 2...3 mm diametrā un dažreiz vairāk. **Sārņu ieslēgumu** izmēri ir nelieli, daži milimetri. **Šuves tukšumi** veidojās starp pamatmetālam un šuves metālam. Veidošanas iemesli: slikta metāla sagatavošana metināšanai; mazs atstāpums starp sagatavem; nestabīla metināšana. **Plaisas** var parādīties karstā vai aukstā stāvoklī. Visbiežāk plaisas veidojās stingri iestiprinātajās konstrukcijās. Plaisas ir visbīstamākais un nepieļaujams defekts .

I группа. Отслоение и выкрашивание металла на поверхности катания головки рельса

10.1-2 	11.1-2 	14.1-2 	17.1-2 	18.1-2 
Отслоение и выкрашивание из-за волосяных закатов плен и др.	Выкрашивание на рабочей выкружке головки из-за недостаточной контактно-усталостной прочн. металла	Выбоковины и поперечные трещины вследствие бокования и движения колес взом	Выкрашивание закаленного слоя	Выкрашивание наплавленного слоя

II группа. Поперечные трещины в головке рельса и изломы из-за них:

20.1-2 	21.1-2 	24.1-2 	25.1-2 	26.3-8 	27.1-2 
Из-за внутренних надрывов (флоконов, газовых пузырей и др.)	Из-за недостаточной контактно-усталостной прочн. металла	Поперечные трещины, вызванные проходом колес с ползунами	Вызванные ударами по рельсу или другими повреждениями	В сварном стыке	Закалочные трещины в закаленном слое металла

IV группа. Смятие и неравномерный износ головки

40.1-2 	41.1-2 	43.1-2 	44.2 	46.3-8 
Волнообразная деформация головки (длинные волны)	Смятие из-за недостаточной прочности металла	Смятие головки внутреннего рельса в кривой из-за его перегруза	Боковой износ сверх допусковых норм	Смятие в виде "седловины" в месте сварного стыка

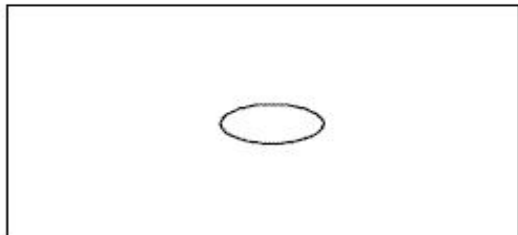
IV группа (продолжение)

III группа. Продольные трещины в головке

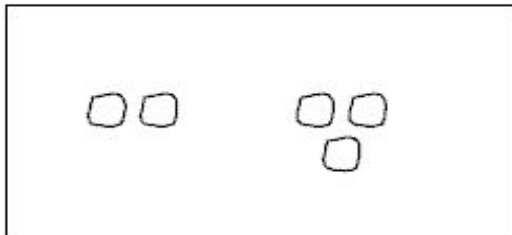
47.1 	49.1-2 	30В.1-2 	30Г.1-2 	38.1 
Смятие в виде "седловины" за закаленным концом	Волнообразная деформация головки (короткие волны)	Вертикальное расслоение головки	Горизонтальное расслоение головки	Вызванное приваркой стыкового соединителя

Defektu lokalizācija/novietojums

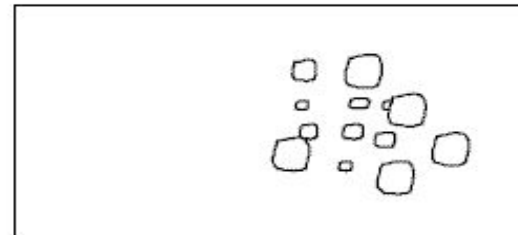
1. Kvantitatīvā klasifikācija



Atsevišķs defekts

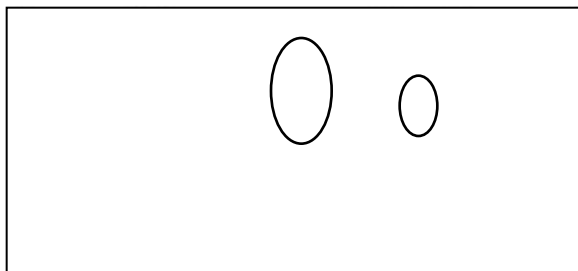


Grupveida defekti

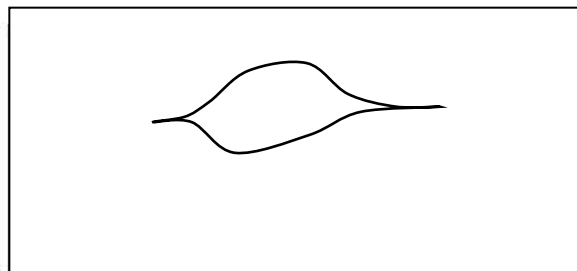


Vienlaidu defekti

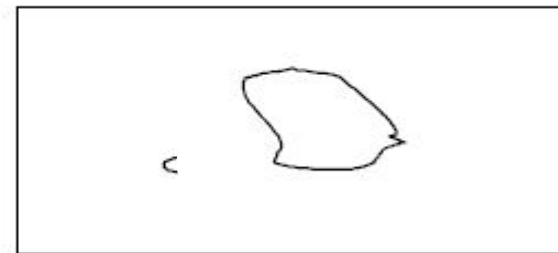
2. Defektu klasifikācija pēc formas



Pareizā forma

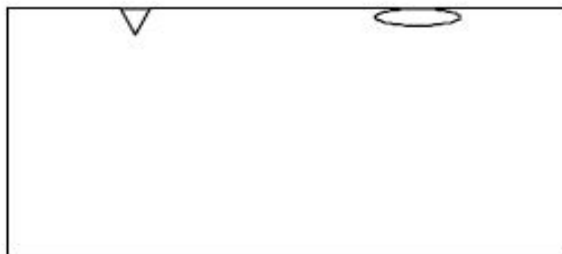


Lēcveidīgs forma ar asām malām

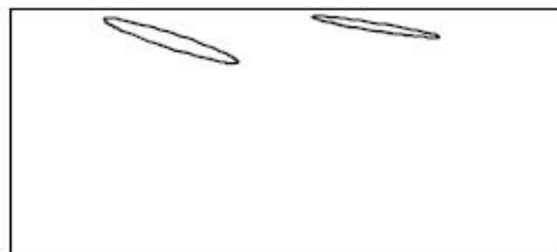


patvaļīga forma

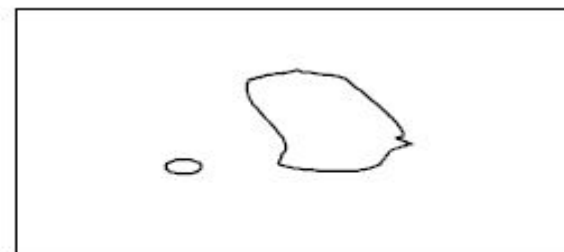
3. Defektu klasifikācija pēc izvietojuma



Virsmas defekti



Zemvirsmas defekti



Tilpuma defekti

Ko ietekmē defekts?

No vispārīgās tehniskās uzturēšanas teorijas – **iekārtai jābūt nesabojātai un darbderīgai;**

- **Defekts padara** mezglu vai iekārtu **par bojātu;**
- **Ja defekta** rezultātā iekārta zaudē pilnu vai būtisku darbspēju – tā ir darbam nederīga (bojāts dīzeļdzinējs, vilces dzinējs);
- **Ja defekta** rezultātā detaļa/iekārta nezaudē vai nebūtiski zaudē darbspēju – tā ir **bojāta**, bet darbderīga (piemērām: nedarbojas lokomotīves svilpe).

Brāķis

- Detaļa/iekārta, kurai ir defekts, kuras rezultātā vēl nav zaudēts darbderīgums – **bojāta detaļa/iekārta.**
- Detaļa/iekārta, kurai ir defekts, kuras rezultātā zaudēts darbderīgums – **brāķēta detaļa/iekārta.**
- **Bojāta** vai **brāķēta** detaļa/iekārta (brāķis) var būt:
 - labojama;
 - nelabojama.

Negraujošās kontroles pamatprasības

- Iespēja veikt detaļu/iekārtu kontroli visā tās darba ciklā (izgatavošana – ekspluatācija – remonts)
- Detaļu kvalitātes kontrole pēc daudziem parametriem;
- Maza kontroles darbietilpība;
- Augsta rezultātu ticamība;
- Iespēja mehanizēt un automatizēt;
- Iespēja kontrolēt dažādos apstākļos un vietā (tajā skaitā uz lokomotīves, utt.)
- Pārbaudes metodes vienkāršība, pieejamība ražošanas apstākļos.

Kontrolējamie objekti

- Katlu saimniecība (apkures katli, rezervuāri, utt.);
- Cauruļvadu sistēmas;
- Celšanas iekārtas;
- Dažādas rūpniecības iekārtas;
- Ēkas, būves;
- Enerģētikas objekti;
- **Dzelzceļa transporta objekti;**

NK pamatveidi

Kontroles veids	NK metožu klasifikācija		
	Mijdarbības raksturojums fizikālu laukumu ar kontrolējamu objektu	Pirmkārtīgs informatīvais parametrs	Pirmkārtīgs informatīvais iegūšanas veids
Magnētiskās metodes	Magnētiskās	Magnētspēja, palikošā indukcija, magnētiskā caurlaidība, Barkgauzena efekts	Magnētiskais pulveris, indukcijas, Holla efekts, magnētografiskais, magnētorezistoru
Elektriskās metodes	Elektriskā, triboelektriskā, termoelektriskā	Elektropotenciālu, elektriskā kapacitāte	Pulveru elektrostatiskā, elektroparametriskā, elektriskās liesmas, potenciālu starpība, trokšņas

Kontroles veids	NK metožu klasifikācija		
	Mijdarbības raksturojums fizikālu laukumu ar kontrolējamu objektu	Pirmkārtīgs informatīvais parametrs	Pirmkārtīgs informatīvais iegūšanas veids
Virpuļstrāvas	Atstārotā stārojuma, caurejošā stārojuma	Amplitūdas, fāžu, frekvences, spektrālais, daudz frekvences	Transformātoru, parametriskais
Radioviļņu	Caurizgajoša stārojuma, atstārotā stārojuma, rezonances	Amplitūdes, fāžu, frekvences, polarizētais, ģeometriskais	Detektoru (diodu), interferences, gologrāfiskais, šķidrokrystaliskais
Siltummetodes			

NK pamatveidi

Optiskās metodes;

Kapilārās iespiešanās metodes;

Siltummetodes;

Magnētiskās metodes;

Elektriskās metodes;

Izmantojot virpuļstrāvas;

Akustiskās (t.sk. vibrodiagnostiskās,
ultraskaņas);

Radiācijas;

Radioviļņu.

NK metožu efektivitāte

- Katrai metodei ir savi plusi un mīnusi, kā arī jomas, kurās tās var pielietot, nav universālo līdzekļu;
- No kaitīguma pret personālu viedokļa izdalāmas ir radiācijas un kapilārās metodes;
- Visvieglāk automatizēt – virpuļstrāvas, magnētiskās, radiācijas, siltuma NK metodes;
- Visdārgākā – radiografiskā metode;
- Dažādu metožu efektivitāti var salīdzināt tikai tad, ja vienu un to pašu objektu var pārbaudīt ar vairākām metodēm.

- **Ferromagnētisku materiālu** pārbaudei der:
 - Radiācijas, akustiskās, virpuļstrāvu, magnētiskās, kapilārās, optiskās metodes.
- Nav pielietojuma:
 - Siltuma, radioviļņu.

NK metožu efektivitāte

- **Neferromagnētisku materiālu** pārbaudei der:
 - radiācijas, akustiskās, virpuļstrāvu, optiskās metodes.
- Ierobežoti lieto:
 - kapilārās, siltuma metodes.
- Nav pielietojuma:
 - magnētiskās metodes, radioviļņu.

- **Dielektrisku materiālu** pārbaudei der:
 - radiācijas, akustiskās, optiskās metodes, radioviļņu.
- Ierobežoti lieto:
 - kapilārās, siltuma metodes.
- Nav pielietojuma:
 - virpuļstrāvu, magnētiskās.

Negraujošās kontroles priekšrocības

- Pārbaudi iespējams veikt uz detaļām, kuras tūlīt tiks izmantotas (nevis sabojātas pārbaudes rezultātā);
- Pārbaudīt var visu detaļu vai bīstamākās tās zonas;
- Var tikt veiktas pārbaudes ar vairākām NK metodēm, kas katra jūtīga pret noteiktiem defektiem.
- Bieži vien pārbaudi var veikt darba procesā, nepārtraucot ekspluatāciju.
- Pārbaudi kalpošanas mūža laikā var atkārtot.
- Nepieciešama neliela vai nekāda sagatavošana pirms pārbaudes;
- Darbietilpība zemāka, nekā lielākajai daļai sagraujošo testēšanas metožu.

Negraujošās kontroles trūkumi

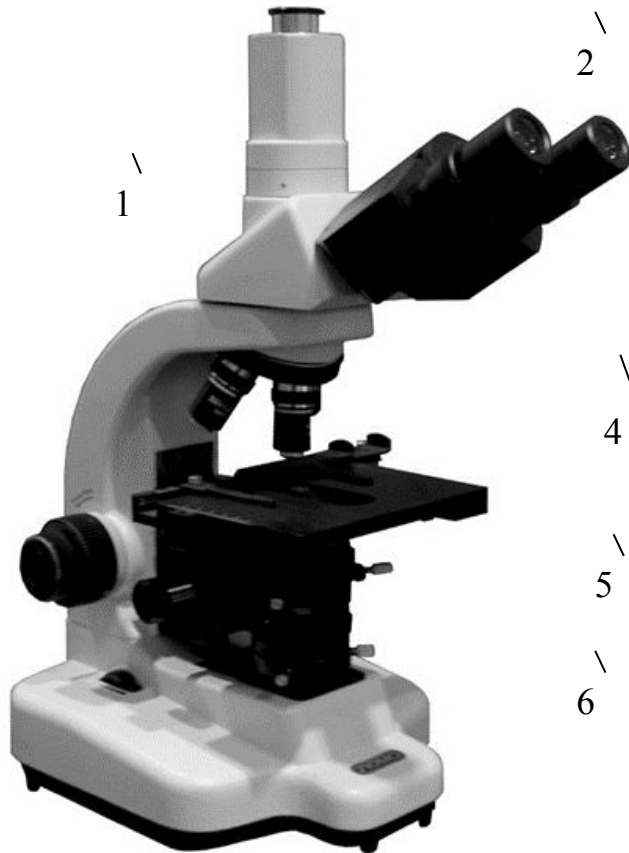
- NK parasti nosaka detaļu īpašības, kurām nav tiešas saistības ar detaļas ekspluatāciju (piemēram, vilciena ass galvenais uzdevums nav nodrošināt labu magnētisko caurlaidību).
- Parasti nepieciešama kalibrēšana/iestatīšanās uz speciāliem defektu paraugiem/etaloniem, un nepieciešama rezultātu interpretācija (piemēram, pārbaude, vai atstarotais ultraskaņas impulss ir no defekta vai kādas detaļas virsmas).

Optiskie NK veidi

- Pamatojas uz vizuālu detaļu apsekošanu vai parametru reģistrāciju, pielietojot (vai retāk – nepielietojot) palīgiekārtas.
- Metodes (atkarībā no mijiedarbības ar kontroles objektu):
 - Caurplūstošā starojuma;
 - Atstarotā starojuma;
 - Izklīdētā starojuma;
 - Inducētā starojuma (luminiscences).
- Pēc informācijas ieguves veida:
 - Organoleptiskā vizuālā kontrole;
 - Vizuāli optiskā kontrole.



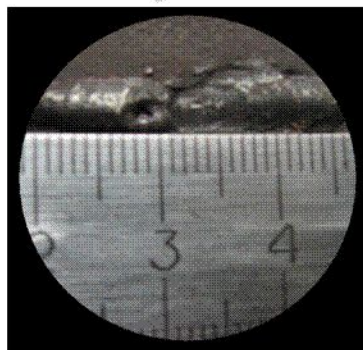
Optiskie NK veidi



1 – mikroskops; 2 – palielināmais; 3 – radiusa mērītāis; 4 – bīdmēris; 5 – leņķis; 6 – lineāls; 7 – zonde; 8 – spec. lineāle; 9 – spec. flomasters.



Optiskie NK veidi

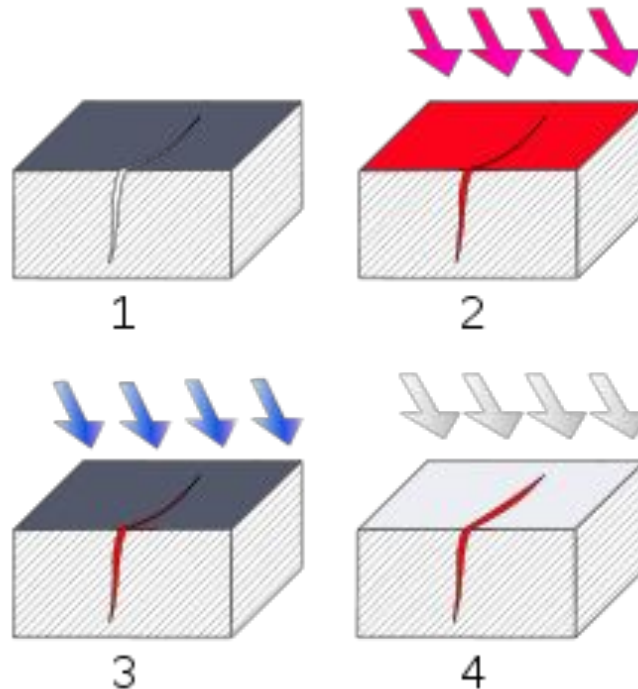


Endoskops ar zonu GE Inspection Technologies

Kapilārās iespiešanas NK metodes

- Darbība pamatojas uz īpašu šķidrumu spēju iekļūst kontrolējamā objekta defektā (kapilāri iespiesties), **nosakot virsmas defektus**;
- Pie šīs saimes pieder arī plaisu meklēšana, izmantojot indikatoršķidruma spēju kapilāri izspiesties cauri objektam pa **caurejošu defektu**.

- 1 – virsmu tīrīšana;
- 2 – penetranta uzklāšana;
- 3 – starpposma tīrīšana;
- 4 – attīstītāja uzklāšana un pārbaude.



Kapilārās iespiešanas NK metodes

Izšķir:

Ahromatisko;
Krāsu;
Luminiscences.



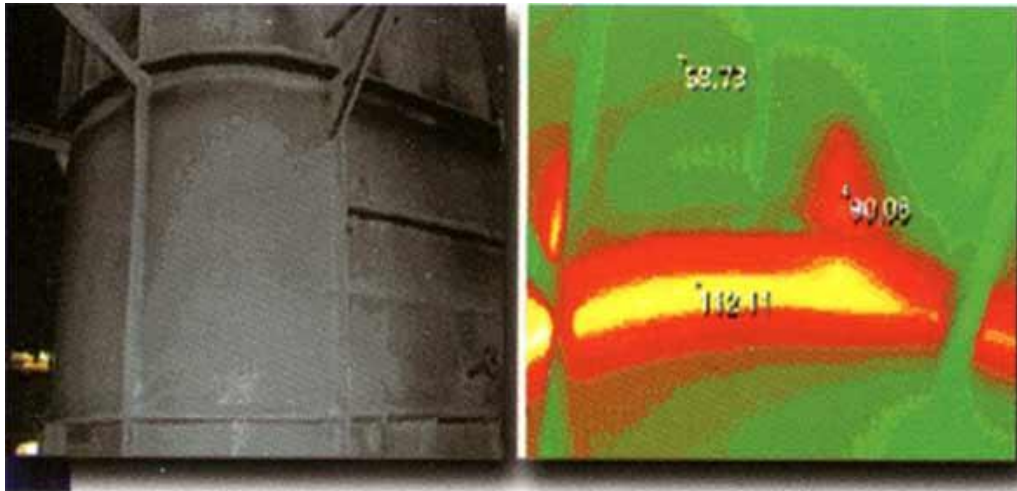
SKC-S – tīrītājs (iepriekšēja virsmas tīrīšana un penetranta noņemšana);
SKL-SP2 – sarkanais penetrants;
SKD-S2 – attīstītājs (baltais sorbents).

Siltummetodes

- Izšķir:
 - Pasīvās jeb pašstarojuma – uz objektu neiedarbojas ar ārēju starojumu;
 - Aktīvās – objektu uzsilda vai atdziest ar kontakta vai bezkontakta metodēm, ar stacionāru vai impulsveida plūsmu, reģistrējot temperatūru vai siltuma plūsmu no tās pašas, vai pretējās detaļas pusēs.



Portatīvais pirometrs

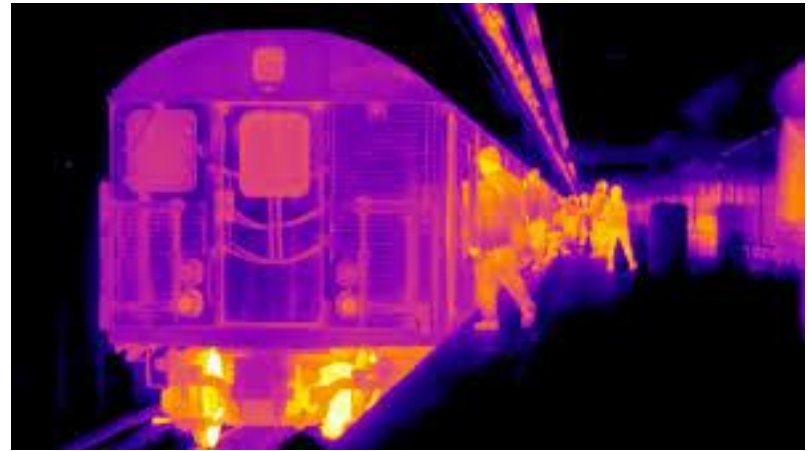


Redzamais krāsns attēls

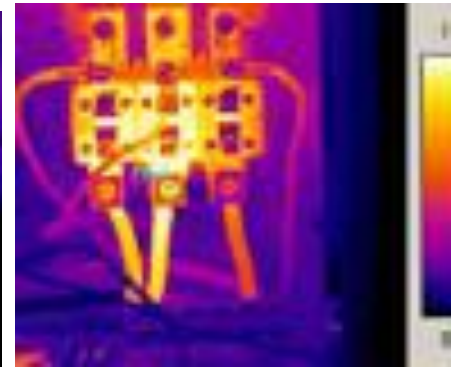
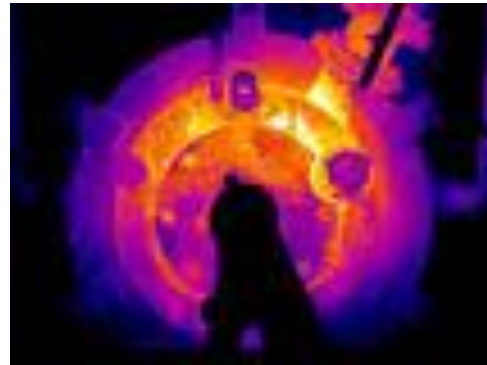
Siltuma krāsns attēls

Siltummetodes

- Darbība pamatojas uz temperatūras vai temperatūras lauku reģistrāciju;
- Piemēram, bukšu pārkarsēšanas kontroles sistēma, kas reģistrē bukses temperatūras paaugstināšanos virs apkārtējā gaisa temperatūras.

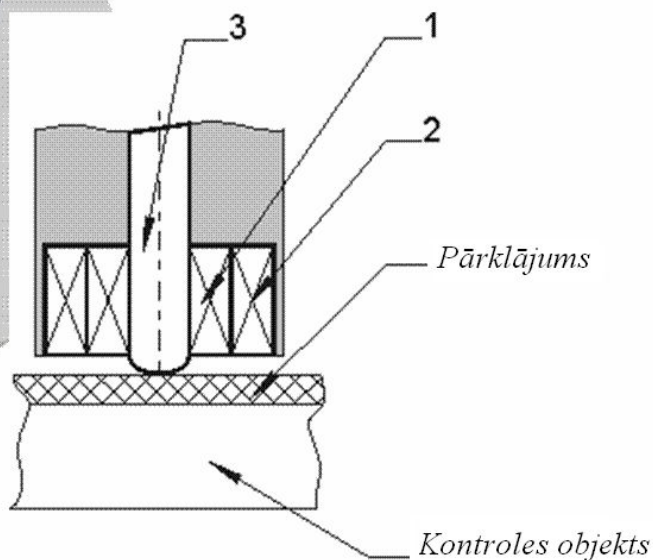
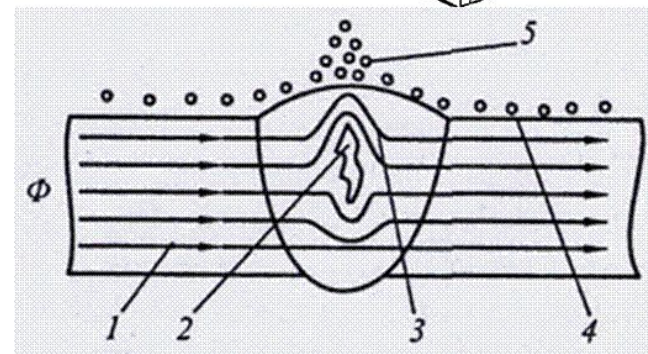
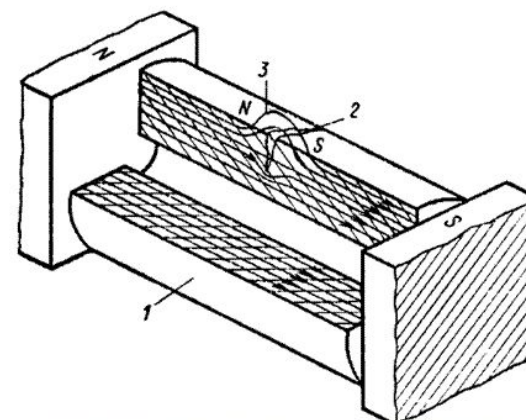


Termogrāfiskā kamera
Flir Systems



Magnētiskās NK metodes

- Pamatojas uz magnētiskā lauka izkliedes noteikšanu ap defektu;
- Pamatojas uz objekta magnētisko īpašību noteikšanu.



Magnētiskās NK metodes

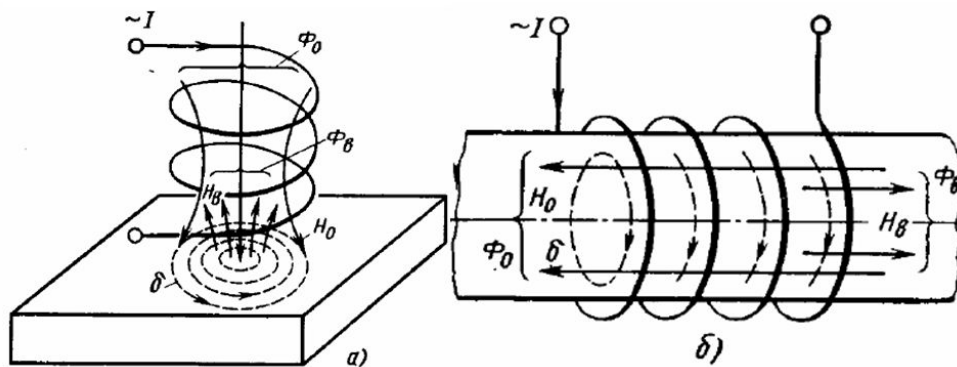
- Var izmantot tikai objektiem, kurus iespējams magnetizēt vai piemīt pietiekama magnētiskā caurlaidība;
- Var noteikt virsmas un zemvirsmas defektus, nenosaka tilpuma defektus.
- Magnētiskā lauka inducēšanai var lietot gan pastāvīgos, gan elektromagnētus ar pastāvīgu vai mainīgu lauku.
- Visbiežāk pēc kontroles nepieciešama detaļu atmagnetizēšana.

Elektriskās NK metodes

- Pamatojas uz elektriskā lauka parametru reģistrāciju, kas mijiedarbībojas ar objektu (elektriskā metode), vai arī kas rodas objektā, ja uz to ārēji iedarbojas (termoelektriskā un triboelektriskā metode).

Virpuļstrāvu NK metodes

- Analīzē objektā ārējas iedarbības rezultātā inducētās virpuļstrāvas, kas mijiedarbojas ar defektoskopa devēju.
- Var kontrolēt tikai elektrovadošus materiālus (kuros var inducēt virpuļstrāvas).



a) uzlikamais devējs;

b) caurejošais devējs.

Φ_0 – spoles magnētiskā lauka plūsma;

Φ_b – virpuļstrāvas magnētiskā lauka plūsma (reģistrē devējs);

H_0 – spoles magnētiskā lauka intensitāte;

H_b – virpuļstrāvas magnētiskā lauka intensitāte;

δ – virpuļstrāvas blīvums.

Akustiskās NK metodes

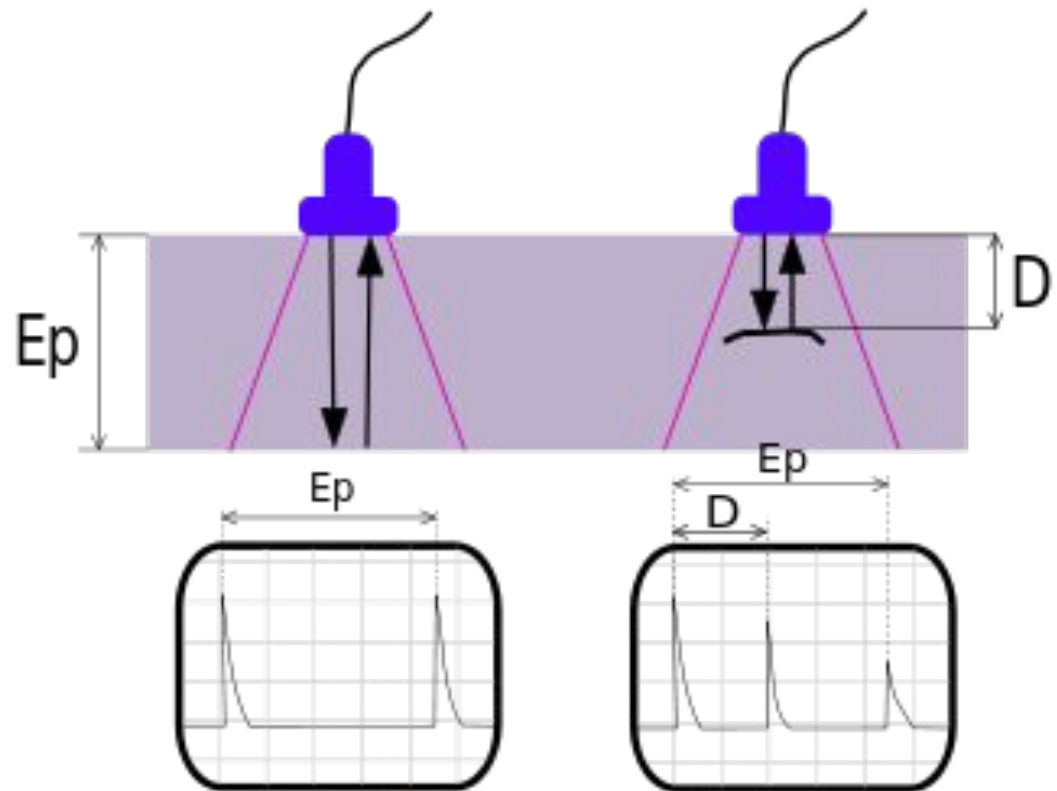
- Pamatojas uz objektā radušos vai ierosināto elastīgo viļņu reģistrāciju.
- Pēc darba frekvences izšķir:
 - ultraskaņas (ar frekvenci virs 20 kHz);
 - dzirdamības diapazona (20 Hz – 20 kHz).
- Pēc mijiedarbības ar kontroles objektu izšķir:
 - pasīvās – reģistrē elastīgos viļņus, kas rodas pašā objektā (akustiskā emisija, piemēram, attīstoties plaisām).
- Pēc mijiedarbības ar kontroles objektu izšķir:
 - vibrāciju (vibrodiagnostiskās) – vērtē darbderīgumu pēc mezglu vibrāciju pakāpes, vai arī reakciju uz ārēju ierosinātāju;
 - aktīvās – reģistrē ārēji ierosinātu elastīgo viļņu izplatīšanos/atstarošanos kontroles objektā.



Ultraskaņas defektoskops
Krautkramer USM 32

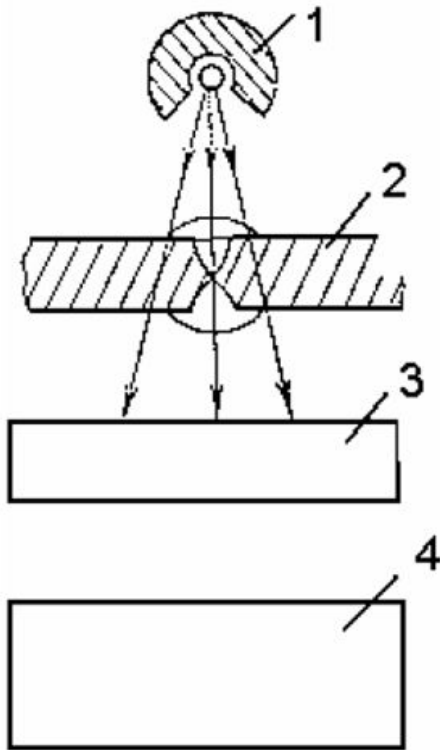
Ultraskaņas NK

- Izmanto pjezoelektriskos pārveidotājus, kas gan ierosina un ievada objektā ultraskaņas svārstības, gan arī uztver un pārveido elektriskā signālā no objekta saņemtās ultraskaņas svārstības (atstarotās no defekta, gala virsmas, utt.);
- Lai nodotu svārstības objektam, izmanto kontaktšķidrumus.
- Plašas izmantošanas iespējas.



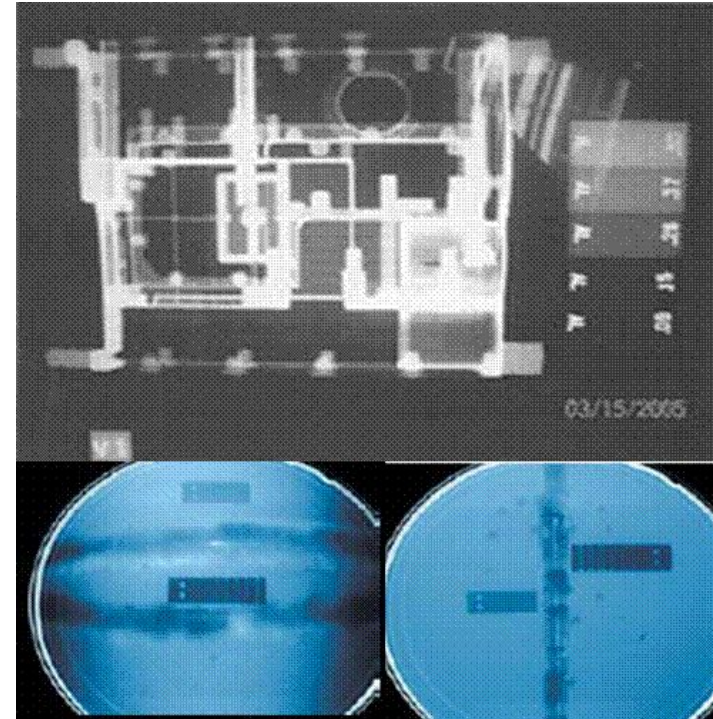
Radiācijas NK metodes

- Pamatojas uz caurlūstoša jonizējošā starojuma reģistrāciju, kad tas izgājis cauri kontrolējamajam objektam.



- Radiācijas metodes:
 - Caurstarošanas;
 - Atstarošanas.
- Pēc pielietotā starojuma:
 - Rentgena;
 - Gamma starojuma;
 - Beta (elektronu plūsmas);
 - Neitronu, u.c.

1 – starojuma avots; 2 – kontrolējama detaļa; 3 – starojuma detektors; 4 – rezultātu dešifrators



Radioviļņu NK metodes

- Reģistrē elektromagnētisko viļņu (ar viļņu garumu 1-100 mm) parametru izmaiņas, pēc mijiedarbības ar kontrolējamo objektu.
- Pēc mijiedarbības izšķir:
 - Caurstarošanas;
 - Atstarošanas;
 - Izklīdētā starojuma;
 - Rezonances metodes.

Dzelzceļā sastopamās NK metodes

Ļoti intensīvi izmanto (padomājam kur un kā!):

- Vizuālās;
- Akustiskās;
- Siltummetodes.

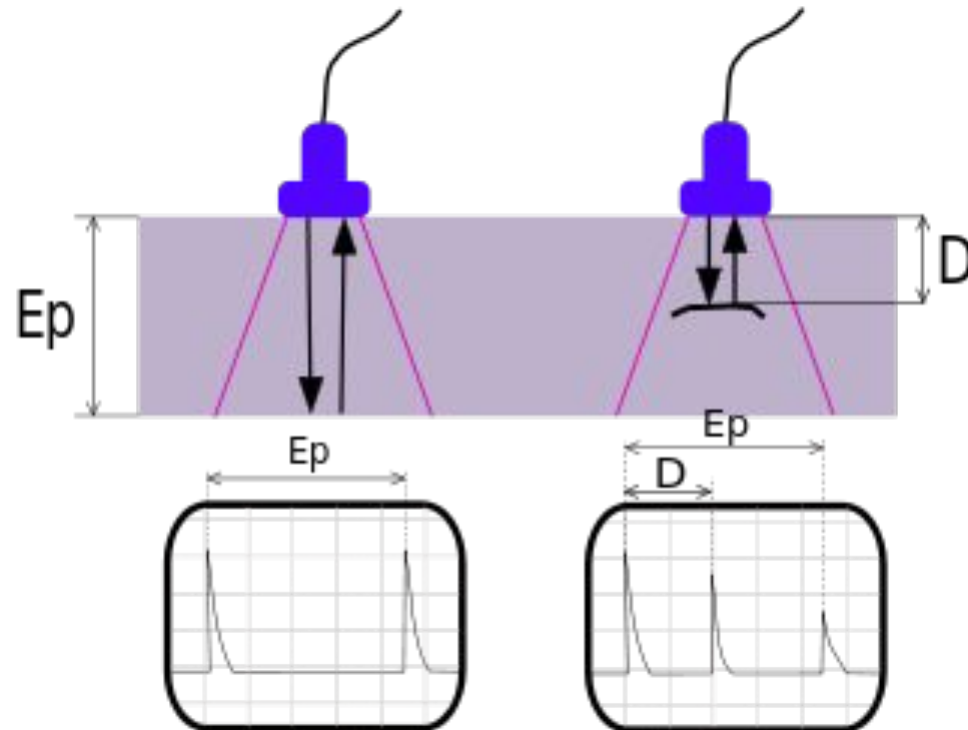
Un tikai salīdzinoši retāk:

- Magnētiskās;
- Ultraskaņas;
- Kapilārās;
- u.c.

Ultrasound defectoscopy

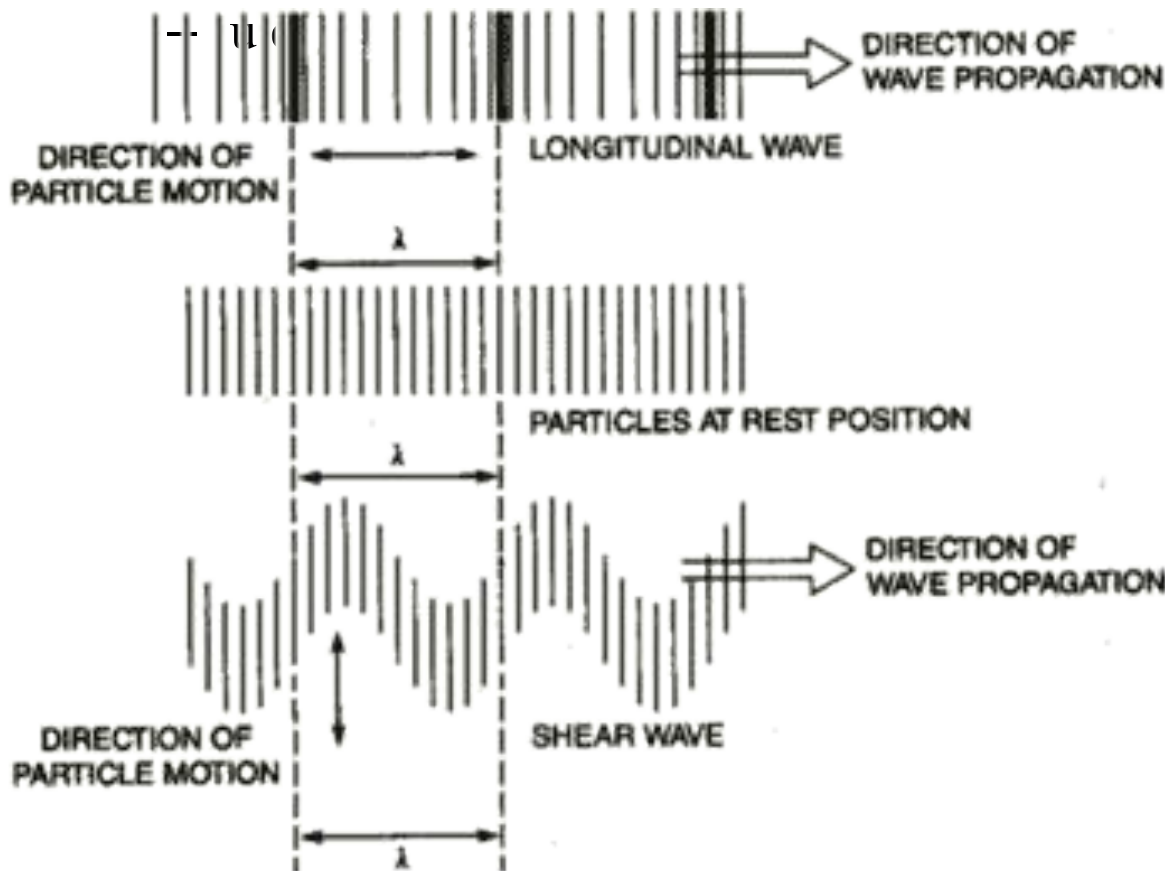
Ultraskaņas defektoskopija

- Plaši izplatīta, universāla, tajā skaitā portatīva defektoskopijas metode;
- Piemērota daudzu materiālu un defektu noteikšanai;
- Izmanto elastīgos viļņus ar frekvenci diapazonā virs 20 kHz (atkarībā no pārbaudāmā materiāla).
- Pjezoeletriskais pārveidotājs (PEP) inducē svārstības objektā, un uztver atstarotās svārstības, kuras defektoskops uzrāda uz ekrāna.
- Operatoram jāinterpretē rezultāts.



Elastīgie viļņi

- Atkarībā no svārstību veida, izšķir vairākus viļņu veidus:
 - **Garenvilņi;**
 - **Šķērsvilņi;**
 - **Virsmas viļņi** (Raileja viļņi);
 - **Lemba viļņi;**

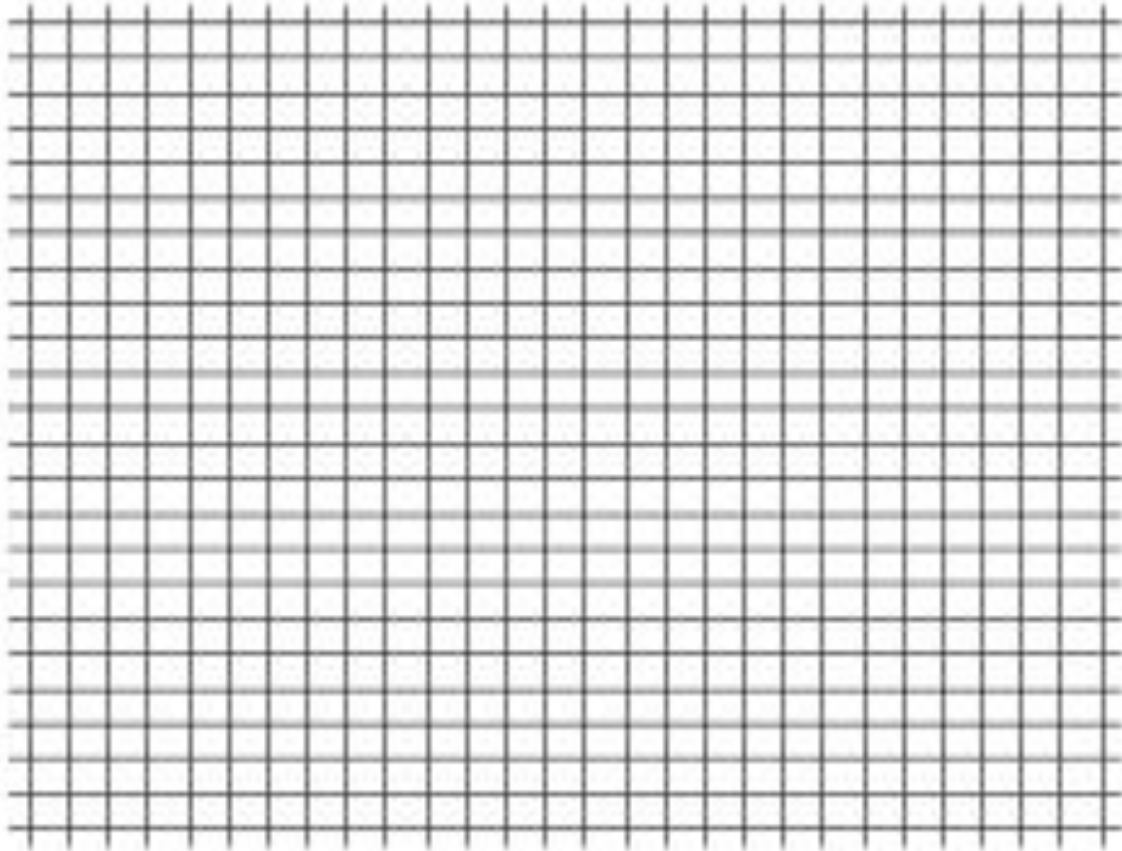


Garenvilņi – daļiņas svārstās viļņa izplatīšanās virzienā

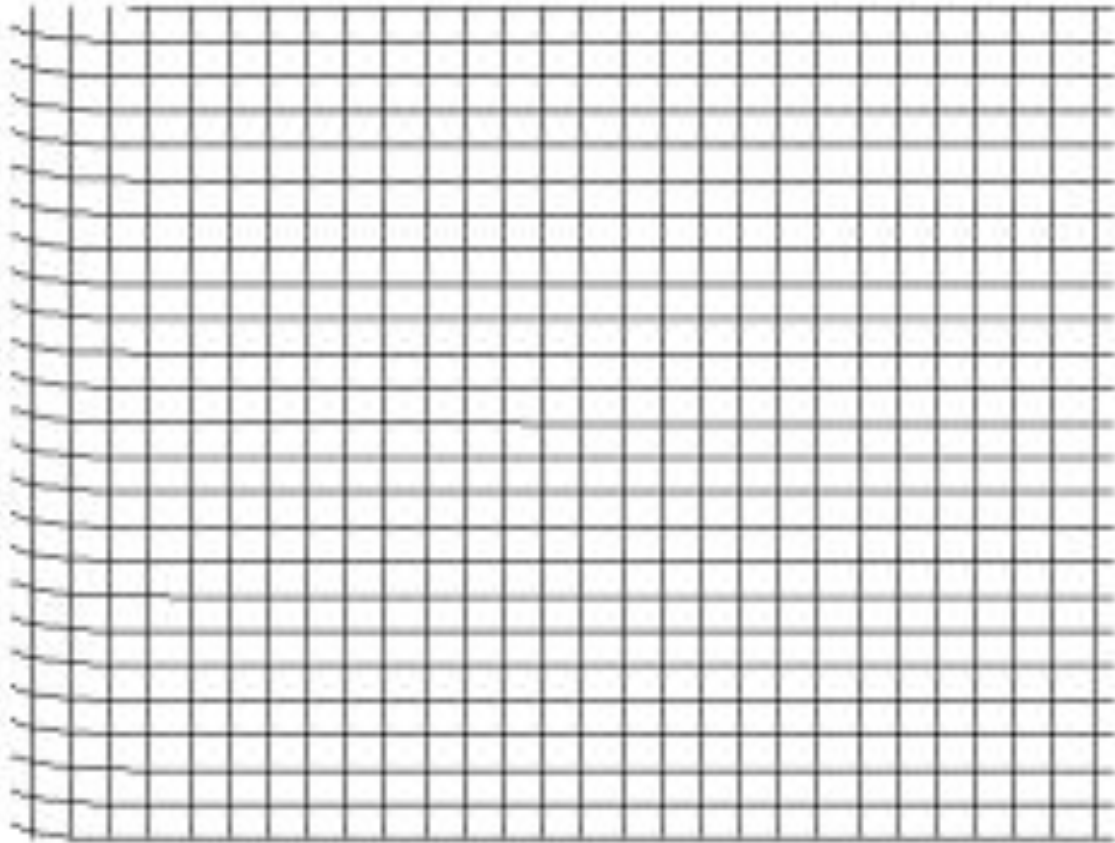
Daļiņas miera stāvoklī

Šķērsvilņi – daļiņas svārstās perpendikulāri viļņa izplatīšanās virzienam

Garenvilnis

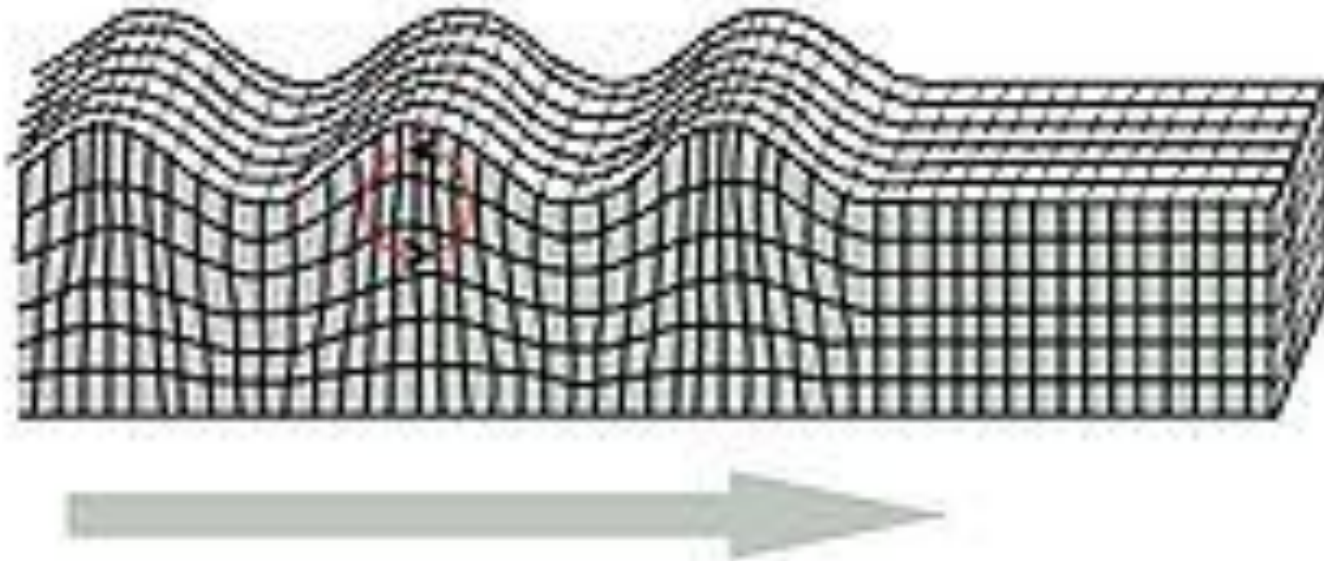


Šķērsvilnis



Virsmas vilnis (Raileja vilnis)

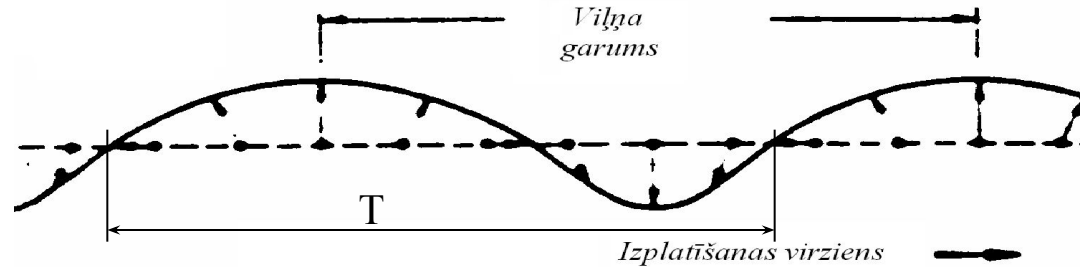
Rayleigh Wave



Daļiņas svārstās pa elipsi, kas apvieno reizē gan garenvilni, gan šķērsvilni.

Viļņu parametri

- Viļņa garums λ
- Viļņa kustības ātrums c
- Viļņa frekvence f
- Viļņa periods T

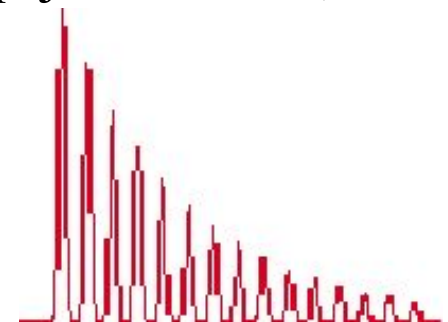


$$\lambda = \frac{c}{f} = cT$$

Viļņa ātrumu nosaka materiāla īpašības, savukārt viļņa frekvenci – defektoskopists, tā attiecīgi izmainot viļņu garumu.

Viļņu garuma nozīmīgums

- Iespējams atrast defektus, kuru izmēri ir vismaz puse no viļņa garuma:
 - lai atrastu sīkus defektus, viļņa garumam ir jābūt pēc iespējas mazākam;
 - Īsāks viļņa garums – augstāka frekvence;
 - Jo augstāka frekvence – jo lielāki zudumi (īpaši rupjgraudainos materiālos – čuguns, betons)
 - Jo lielāki zudumi – jo seklāk var pārbaudīt.
- Kompromiss starp iespēju noteikt mazus defektus un iespēju atrast dziļus defektus.



Viļņu izplatīšanās frekvences

- Dažādos materiālos dažādi viļņi izplatās ar dažādiem ātrumiem, daži piemēri:

Viļņa veids	Tērauds	Čuguns	Alumīnijs
Garenvilnis	5890 m/s	4800 m/s	6320 m/s
Šķērsvilnis	3240 m/s	2400 m/s	3130 m/s

Piemērs

- Meklējam defektus tēraudā.
- Ātrums garenvilnim – 5890 m/s, šķērsvilnim 3240 m/s.
- Frekvenci iespējams izvēlēties 1 MHz, 2,5 Mhz, 5 MHz.

Kāds būs viļņa garums?

Atrodamais defekta lielums?

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

Akustiskā pretestība

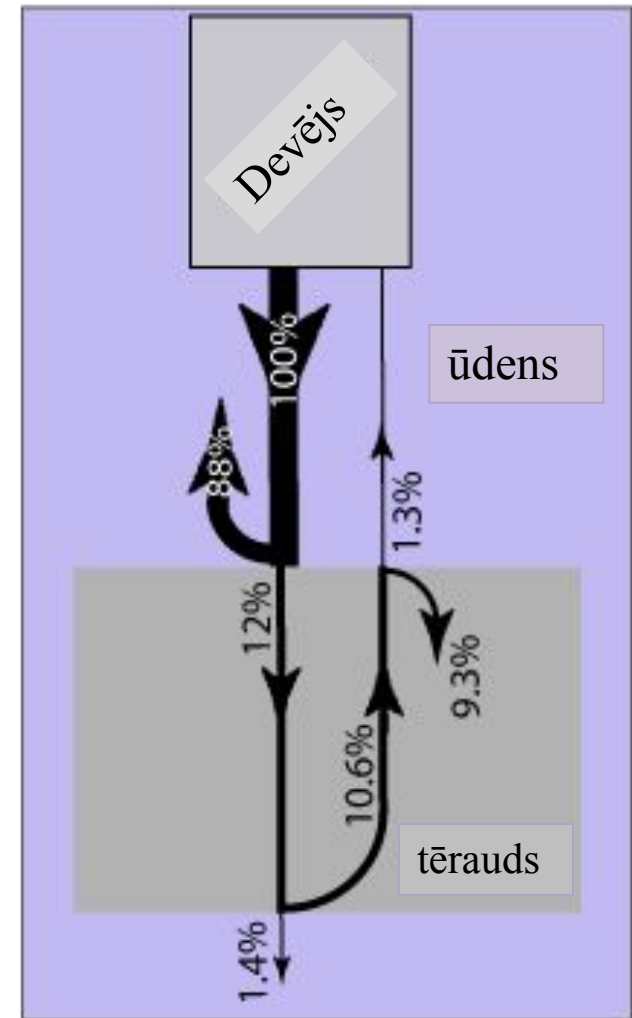
- Akustisko pretestību nosaka pēc formulas: $Z = \rho \cdot v$
 - materiāla blīvums;
 - skaņas ātrums materiālā.

Akustiskā pretestība nosaka:

- Viļņu laušanas/atstarošanas attiecību uz vides robežas;
- Viļņu slāpēšanos materiālā;
 - tēraudam $Z = 46,1 \cdot 10^6 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{s})$,
 - alumīnijam $Z = 17,1 \cdot 10^6 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{s})$,
 - ūdenim $Z = 1,48 \cdot 10^6 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{s})$,
 - gaisam $Z = 413 \text{ kg}/(\text{m}^2\text{s})$.

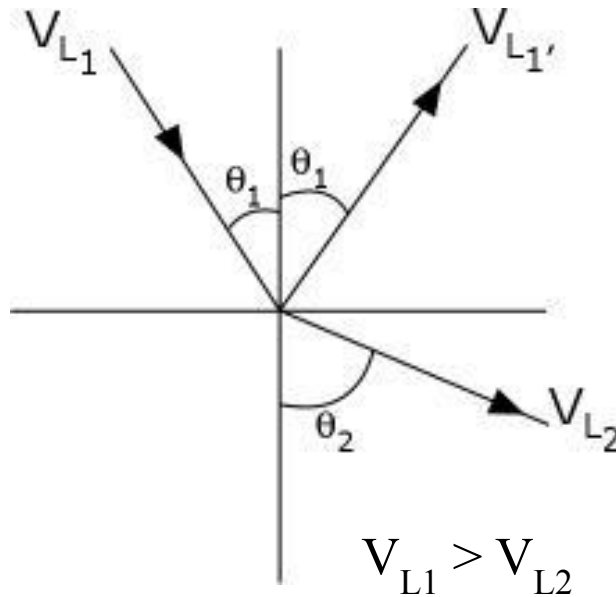
Atstarošanās no virsmām

- Ja viļņim jāšķērso robeža starp vidēm, kuras akustiskās pretestības nav vienādas, tad jo lielāka ir starpība starp tām, jo lielāka daļa enerģijas tiks nevis caurlaista, bet gan atstarota.
- No PEPA izstarotās jaudas tikai 12% iekļūst objektā, savukārt atpakaļ devējā nonāk 1,3% (neņemot vērā zudumus) – **tāpēc defektoskopijā signāli ir ļoti vāji!**



Viļņu laušana

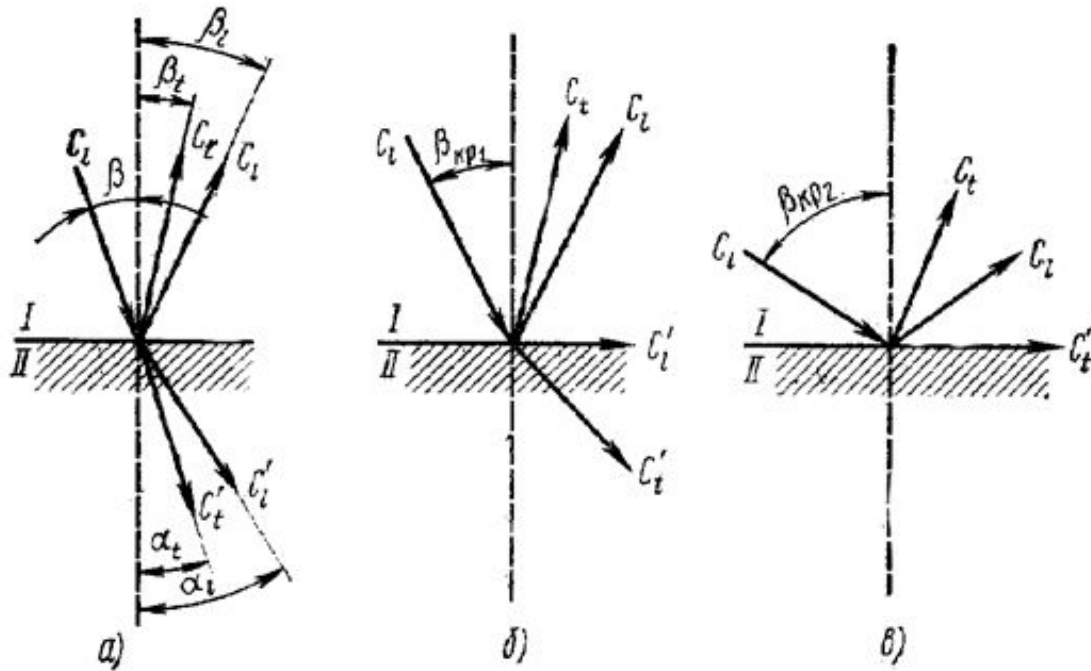
- Vilnim šķērsojot robežšķirtni starp divām vidēm, notiek gan viļņa laušana, gan atstarošana (Snēliusa likums).



$$\frac{\sin\theta_1}{V_{L1}} = \frac{\sin\theta_2}{V_{L2}}$$

Ja viļņa ātrums 2. vidē ir lielāks par pirmo, laušanas leņķis 2. vidē ir lielāks par krišanas leņķi 1. vidē.

Viļņu laušana



Gan šķērsojot robežšķirtni, gan atstarojoties no virsmas, notiek arī viļņu pārveidošana (no garenviļņa šķērsviļņī un otrādāk).

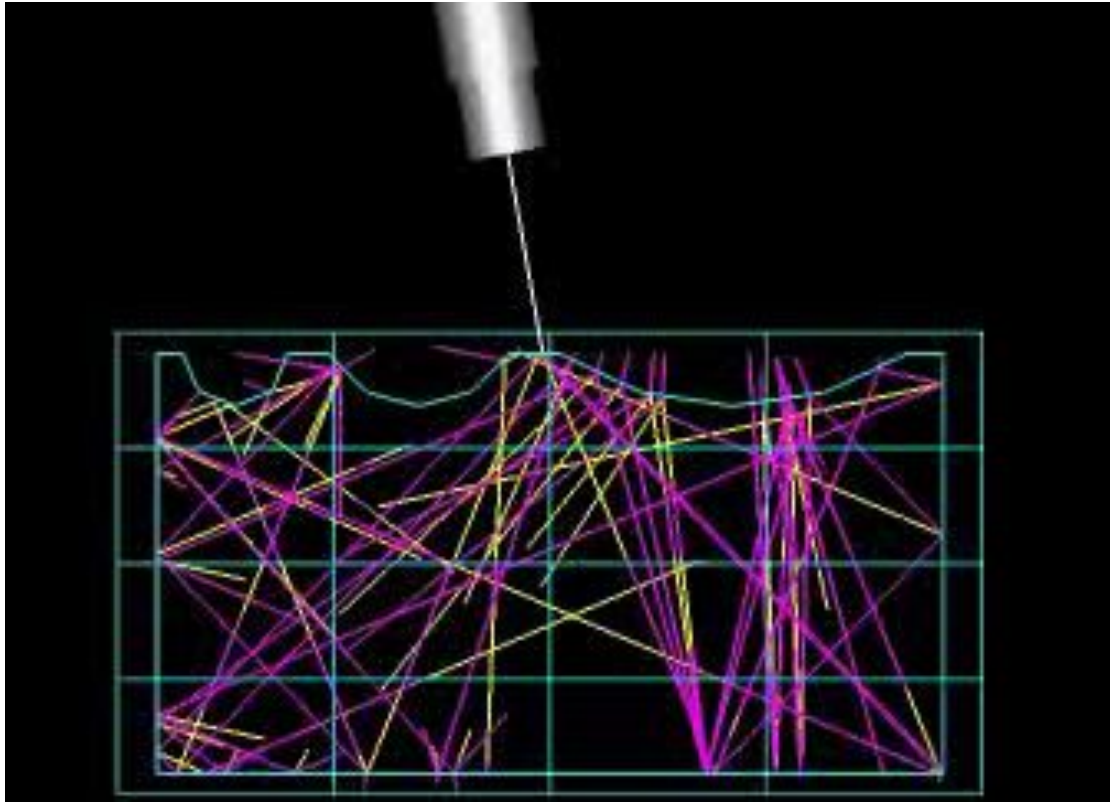
Atstarotos un laušanas leņķus nosaka pēc Snēliusa likuma, izmanotojot zināmo ātrumu konkrētajā materiālā.

C_l, C_t — garenviļņu un šķērsviļņu izplatīšanas ātrums pirmajā vidē; C_l', C_t' — garenviļņu un šķērsviļņu izplatīšanas ātrums otrajā vidē; β_l, β_t — garenviļņu un šķērsviļņu atstarošanas leņķi; α_l, α_t — garenviļņu un šķērsviļņu laušanas leņķi

$$\frac{\sin \beta}{C_l} = \frac{\sin \beta_l}{C_l} = \frac{\sin \beta_t}{C_t} = \frac{\sin \alpha_l}{C_l'} = \frac{\sin \alpha_t}{C_t'}$$

Viļņu laušana

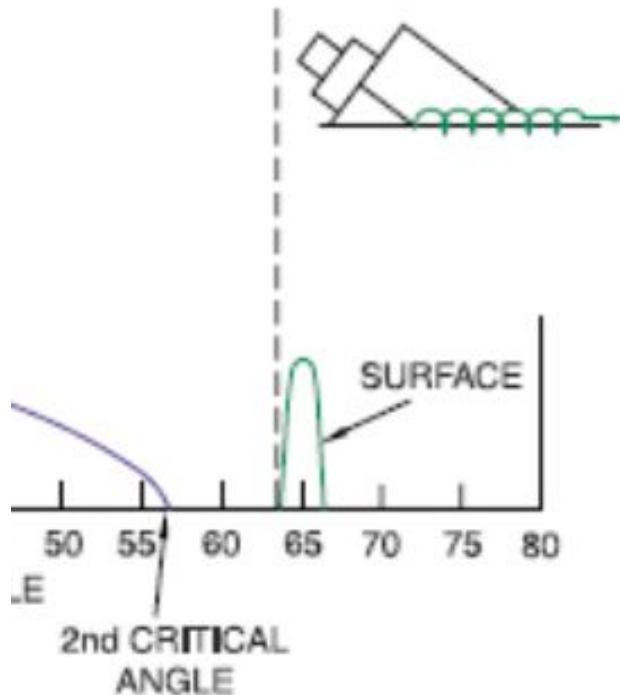
- Vienlaikus notiek gan atstarošānās, gan laušana no katras robežšķirtnes – objektā var būt plašs dažādu viļņu kūlis, kas katrs var atdurties pret kādu defektu!



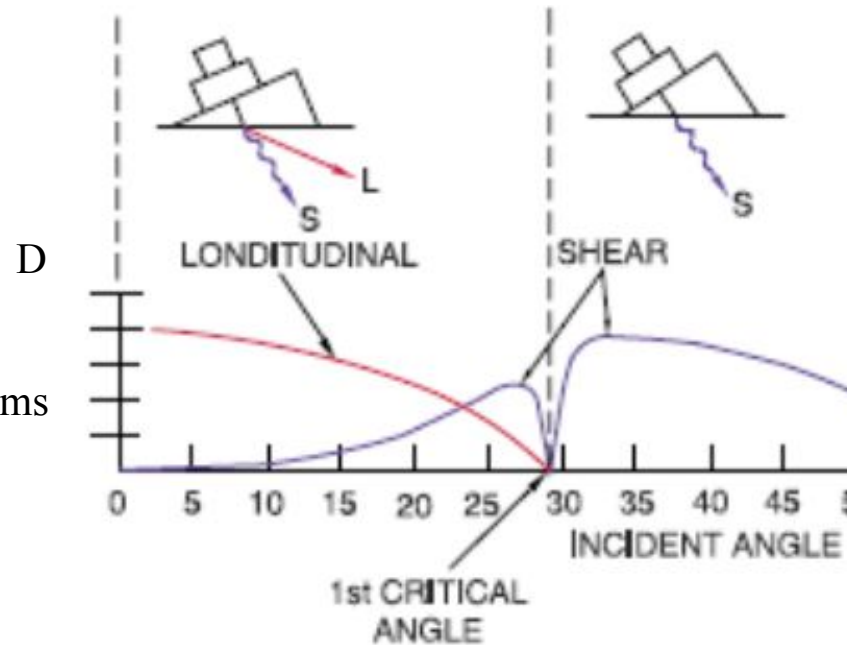
<http://www.ndt-ed.org/EducationResources/CommunityCollege/Ultrasonics/Physics/modeconversion.htm>

Kritiskie leņķi

- 1. kritiskais leņķis ($\beta_{kr1} = 27,5^\circ$ tēraudam) – laužtais garenvilnis slīd pa virsmu, detaļā ir tikai šķērsvilnis;
- Ja vilnis uz detaļu krīt robežās starp 1. un 2. kritisko vilni, tad detaļas tilpumā ir tikai šķērsviļņi!



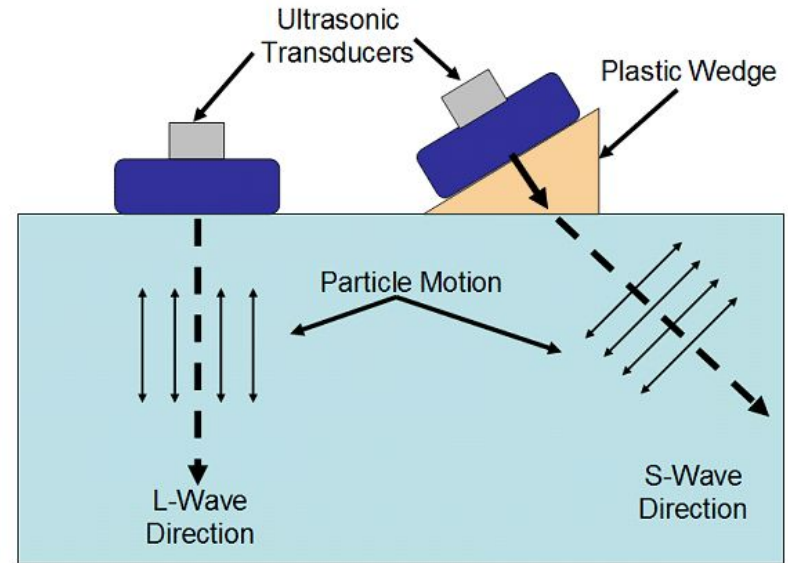
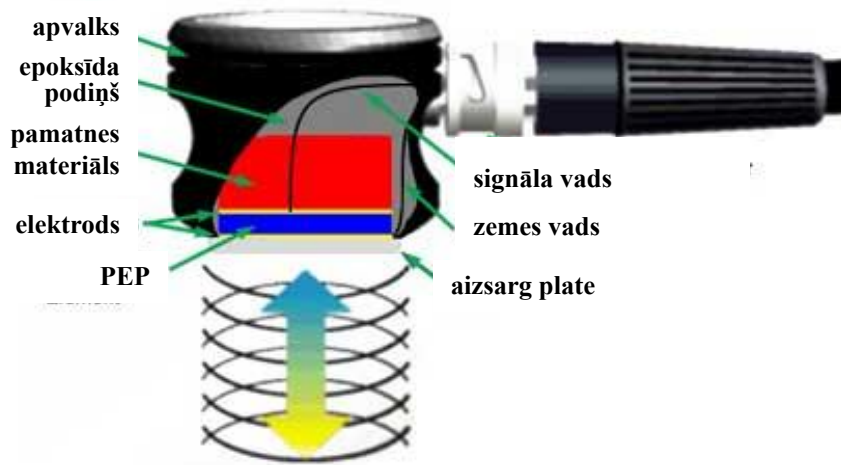
D – vides caurspīdīgums



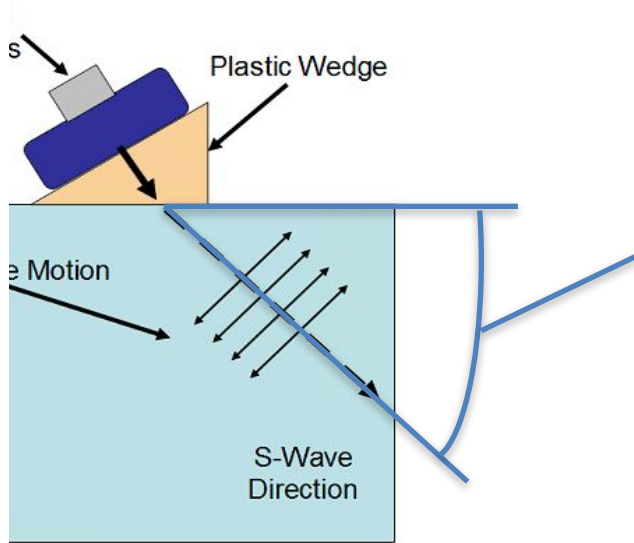
- 2. kritiskais leņķis ($\beta_{kr2} = 57^\circ$ tēraudam) – detaļas dziļumā netiek ievadīts nekāds vilnis, pa detaļas virsmu tiek ierosināts virsmas vilnis.

Pjezoelektriskie pārveidotāji (PEP)

- Ierosina ultraskaņas svārstības, kā arī pārveido uztvertās svārstības par elektrisku signālu, izmantojot pjezoelektrisko efektu.
- Plāksnīte strādā rezonansē, tāpēc katrs PEPs paredzēts tikai vienai noteiktai darba frekvencei.



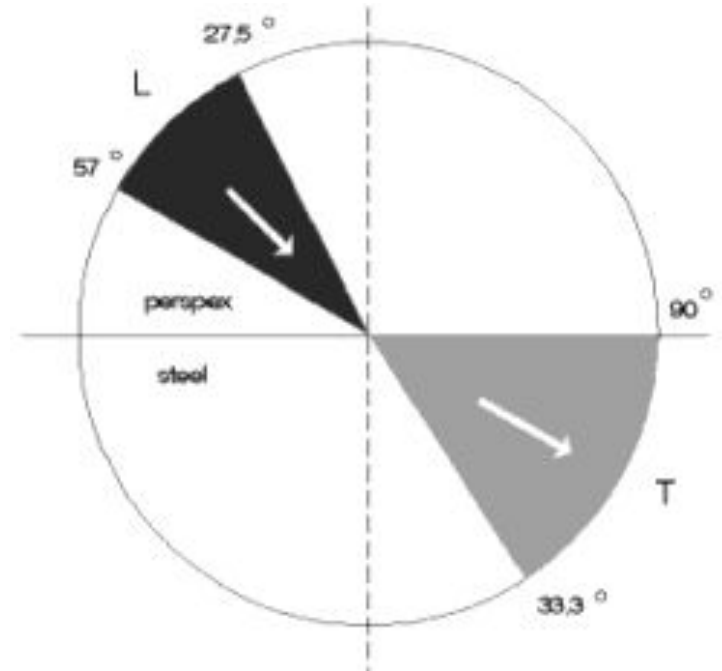
Leņķa PEPI



Uz PEPIem norādītais leņķis nav stara krišanas leņķis, bet gan leņķis, ar kādu stars tiek ievadīts detaļā!

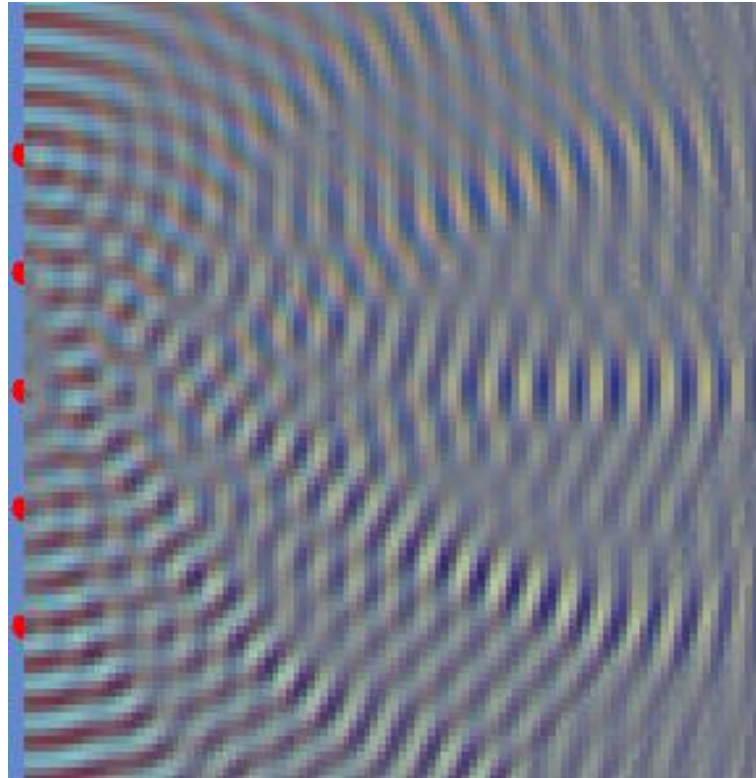
Krišanas leņķim $27,5^\circ$ atbilst $33,3^\circ$ ievades leņķis detaļā.

Leņķim 57° atbilst 90° ievades leņķis detaļā.



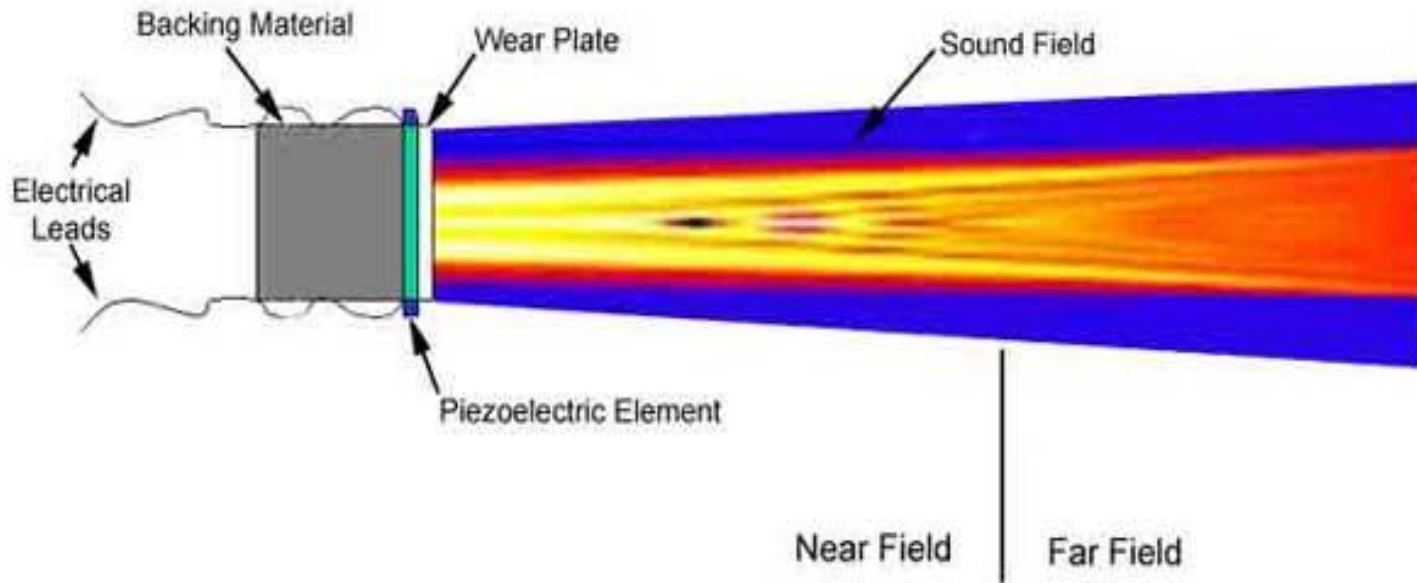
Interference

- Vairāki svārstību avoti (vai vairāki atstarošanās punkti) viens ar otru interferē.



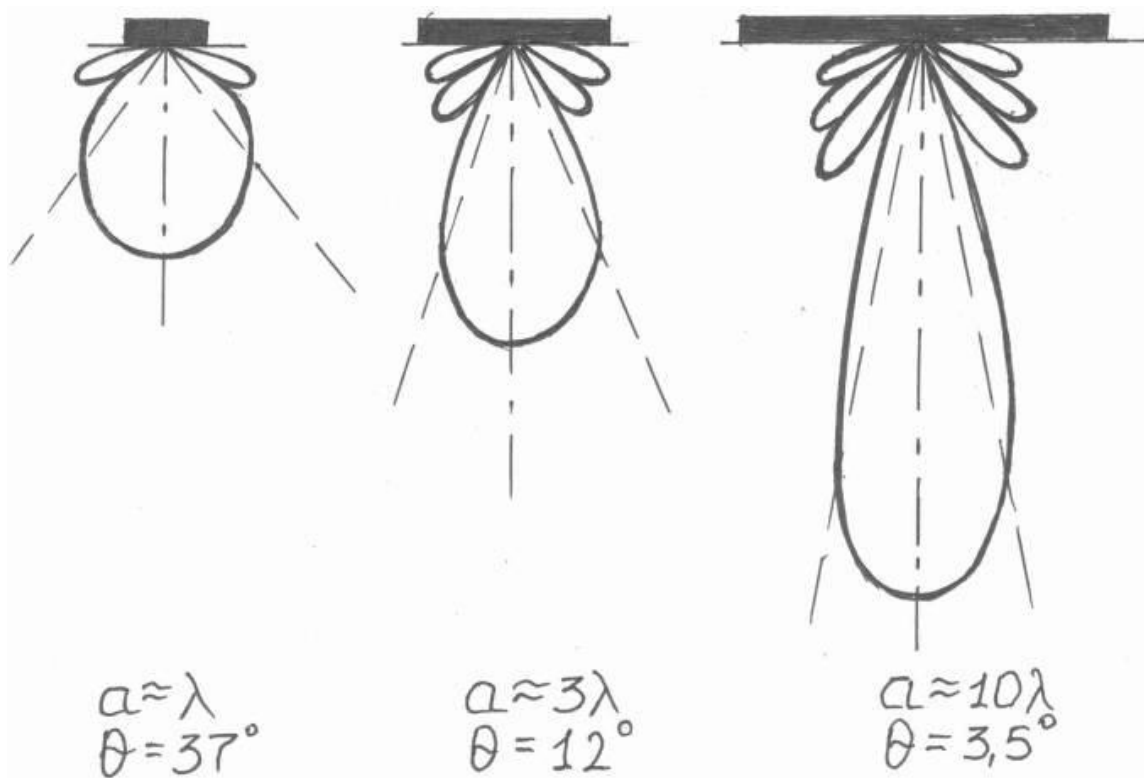
Tuvā un tālā zona

- Tuvu pie PEPa notiek intensīva viļņu interference, tāpēc tuvajā zonā nav iespējams kvalitatīvi noteikt defektus.



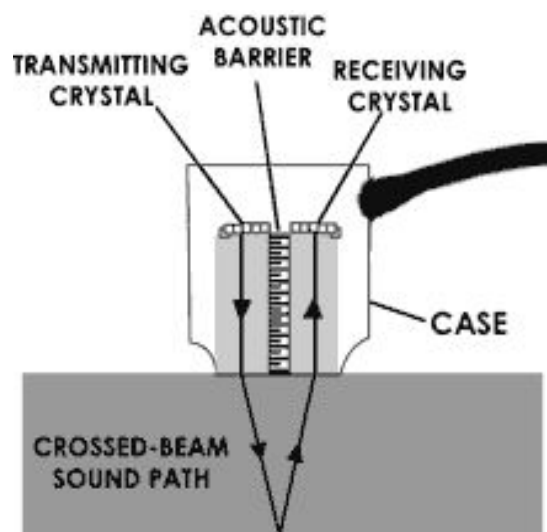
PEPa virziendiagramma

- Jo lielāks pjezoelements, jo šaurāks, koncentrētāks kūlis, precīzāks rezultāts.



PEPu veidi

- Pēc ievades leņķa:
 - Taisnie;
 - Leņķa.
- Pēc darbības principa:
 - Apvienotie;
 - Dalīti-apvienotie;
 - Dalītie.

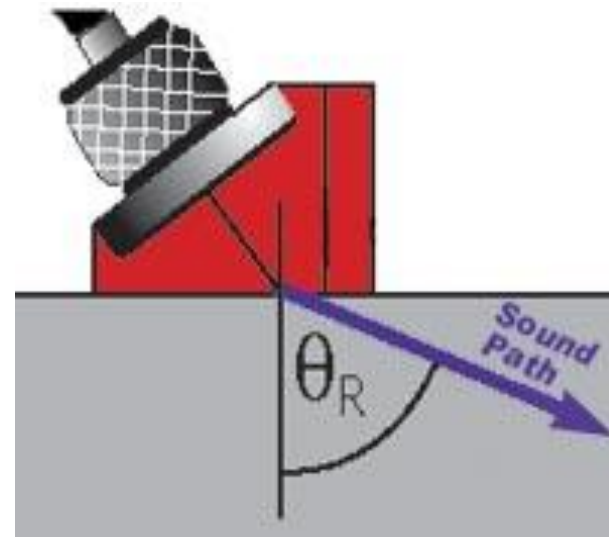
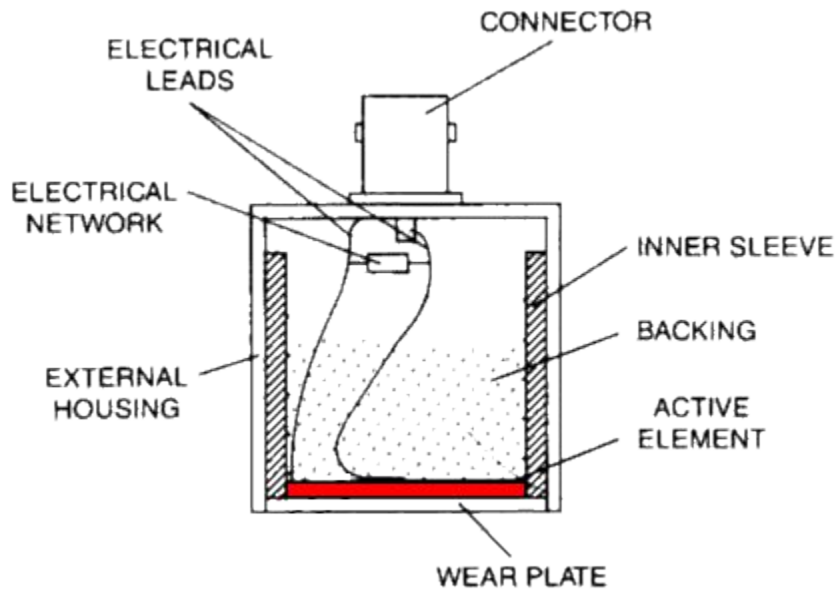


Dalīti-apvienots PEPs, kurā apvienoti divi atsevišķi PEPi – ierosinošais un uztverošais

Taisnie PEP optimāli apvieno jūtību un precizitāti; Ar **leņķa** PEP kontrolē tievus objektus;
Apvienotie PEP. Pozitīva puse – vienkārša konstrukcija. Negatīva – signāla esamība tukšgaita režīmā.
Dalīti-apvienotie – minimizē neredzamu kontroles zonu;

Laika aizkave PEPā

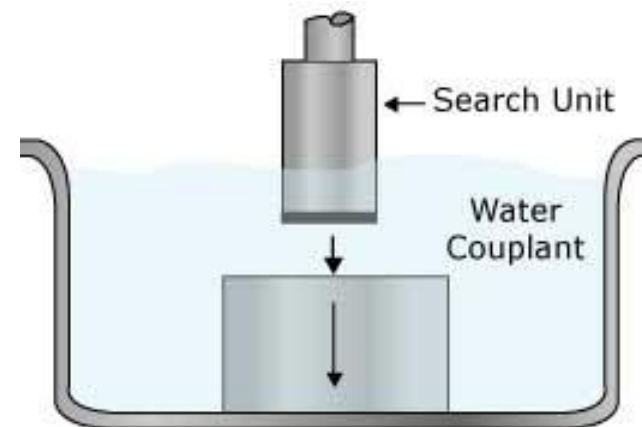
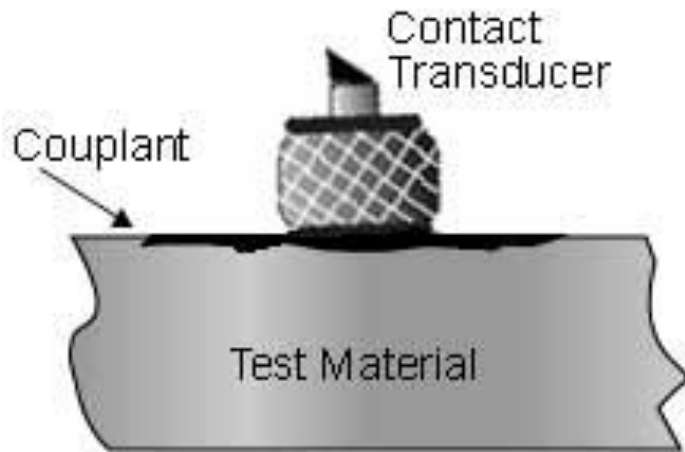
- Starp pjezoelektrisko plāksnīti, kas ierosina svārstības, un PEPa virsmu ir organiskā stikla plāksne, kuru šķērsojot rodas laika aizkave, tā katram devējam ir individuāla.



Leņķa PEPiem organiskā stikla plāksne ir īpaši bieza – laika aizkave liela.

Kontakts ar darba objektu

- Pat neliela gaisa sprauga starp PEPu un darba objektu rada robežšķirtni ar lielu akustisko pretestību atšķirību, tāpēc lieto kontaktšķidrumus – ūdeni, eļļu, utt.



Defektoskops

**Signāla
ģenerators-uztvērējs**

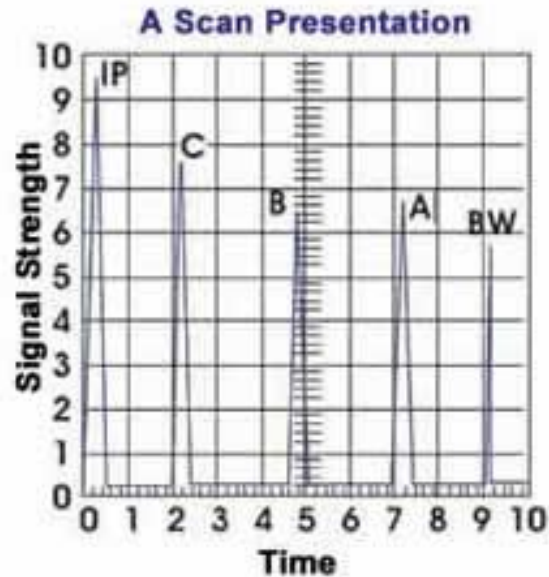
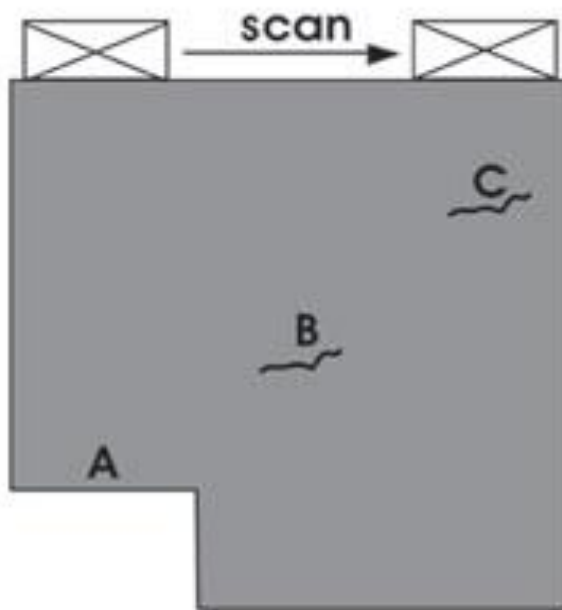
PEP

Displejs

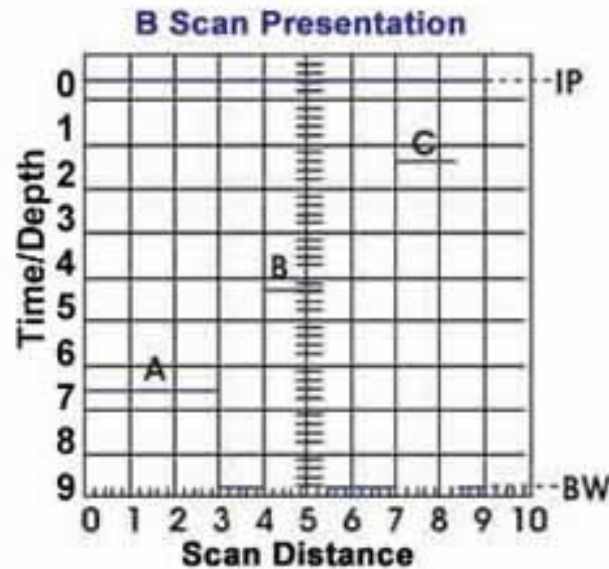
Defektoskopists



Attēlošanas veidi



A – veida diagramma – visbiežāk izmantotā, taču nepieciešams interpretēt.



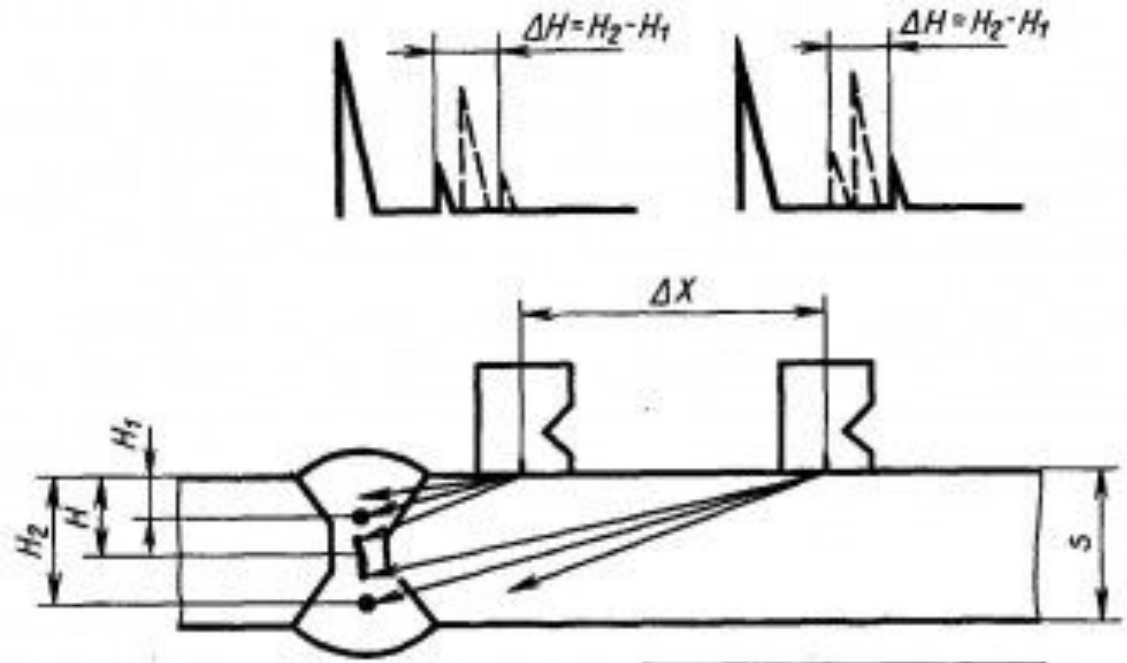
B – veida diagramma – uzskatāmi attēlo defektu izvietojumu, taču grūtāk iegūstama.

Nosacītie defekta izmēri

- Svarīgi ne tikai atrast defektu, bet arī saprast, kādi ir tā izmēri?
- Varbūt defekts ir tik mazs, ka nav bīstams?
- Tāpēc:
 - Kalibrējam defektoskopu pēc etalondefekta, ja signāls ir vienāds vai stiprāks par etalondefektu – tad brāķējam detaļu;
 - Nosakām detaļu nosacītos izmērus.

Tiek meklētas “defekta malas” – PEPA stāvoklis, pie kura signāla amplitūda par defektu atbilst 70% no maksimālās amplitūdas (atrodoties ar PEPu tieši pa vidu defektam)

Nosacītais izmērs ir attālums ΔX , ΔH , kas atbilst PEPA stāvokļiem uz “defekta malām”



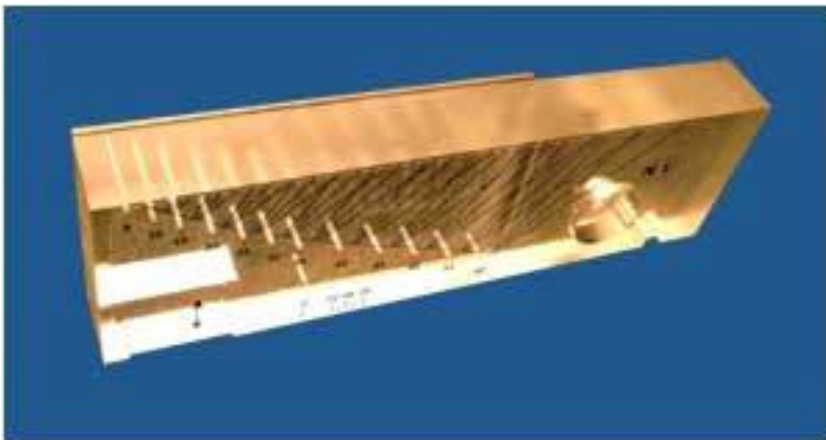
**Sagatavošanās praktiskam darbam ar ultraskaņas
defektoskopu**

Darbs ar taisnu PEPu

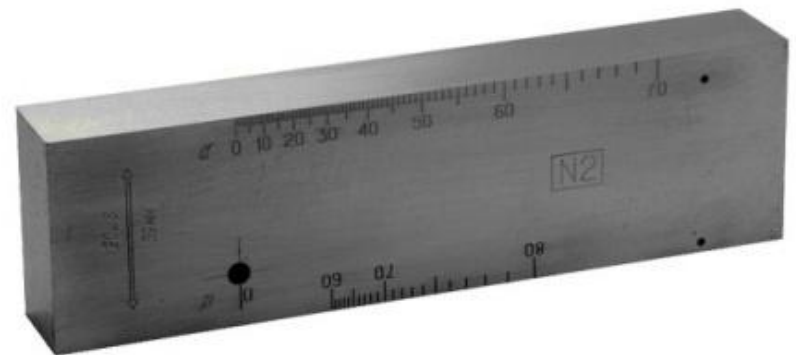
- Defektoskopā jāievada PEPa dati:
 - Ievades leņķis (0°);
 - PEPa darba frekvence;
 - Garenviļņu izplatīšanās ātrums tēraudā (5890 m/s).
- Lai varētu strādāt, nepieciešams:
 - Nokalibrēt laika aizkavi PEPā (lai atbilstu dziļuma skalas rādījumi);
 - Nokalibrēt jūtību pret etalondefektu (lai zinātu, vai defekts ir bīstams).

Kalibrācija

- Lai kalibrētu defektoskopu ar konkrēto PEPu, izmantojam standarta paraugus (CO vai COP).



CO-1 – organiskais stikls



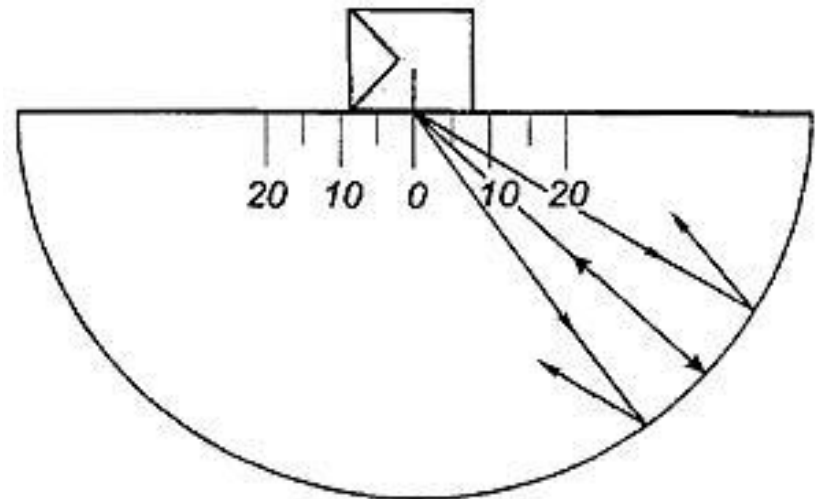
CO-2 – tērauds

Darbs ar leņķa PEPu

- Papildus visam iepriekšminētajam:
 - Atkarībā no ievades leņķa, jāizvēlās viļņu ātrums detaļā (zinot, ka pie $> 34^\circ$ tērauda detaļā būs tikai šķērsviļņi ar ātrumu 3240 m/s).
- Kalibrējam:
 - Precīzu stara ievades punktu;
 - Laika aizkavi PEPā;
 - Pārbaudām ievades leņķi, vai atbilst nominālajam;
 - Uzstādām nepieciešamo jūtību.

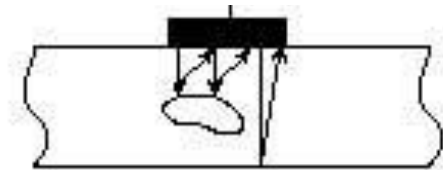
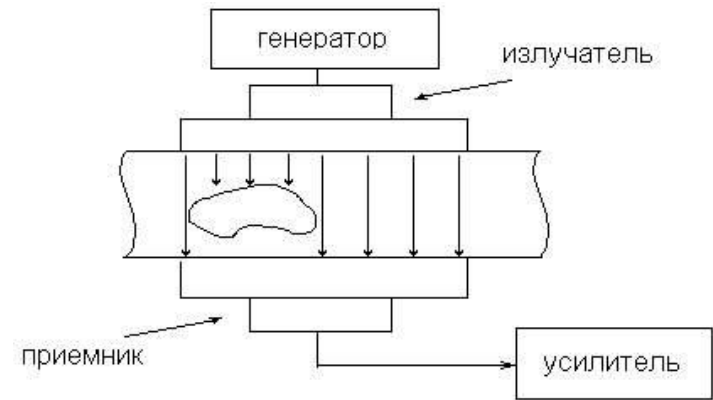
Leņķa PEPu kalibrācija

- Etalons CO-3 ļauj noteikt stara ievades punktu, jo tikai rādiusa centrā stars atstarosies atpakaļ uz devēju;
- Šo pašu etalonu var izmantot arī laika aizkaves kalibrācijai.
- Pārējās kalibrācijas – ar CO-2.

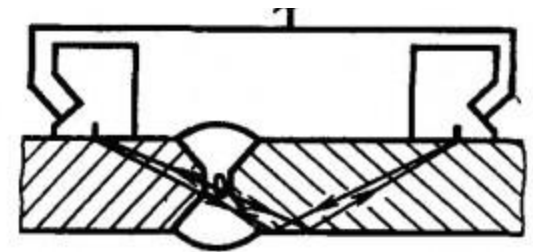


Defektoskopijas metodes

- Ultraskaņas defektoskopijā lieto:
 - Eho-metodi – uztverot atstaroto impulsu no defekta;
 - Ēnas metodi – reģistrējot pamatnes signāla pazušānu brīdī, kad to aizsedz defekts;
 - Eho-ēnas metodi – reģistrējot un analizējot gan atstarotos signālus, gan analizējot pamatnes signāla pazušānu.
 - u.c. metodes.

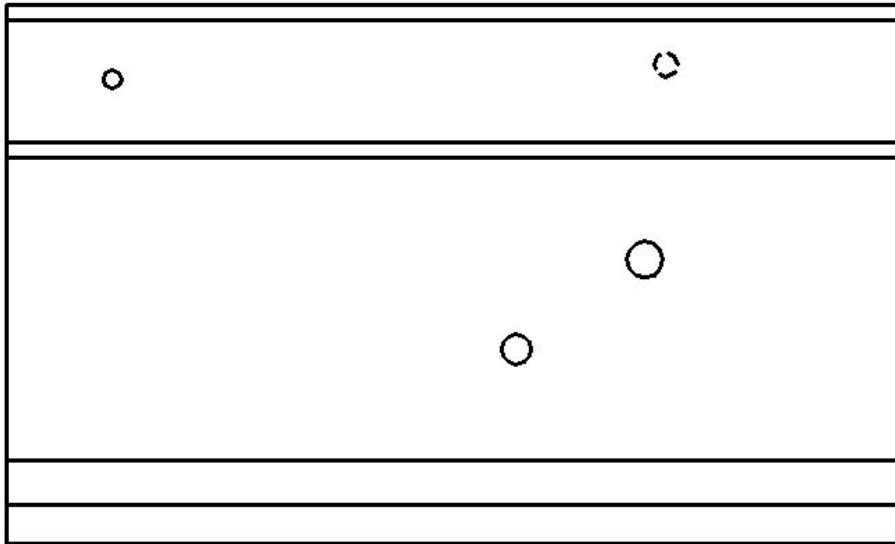


ЭХО-МЕТОД




Praktiskie darbi

- Katra studenta individuāls uzdevums:
 - uzzīmēt mērogā pārbaudes detaļu;
 - atrast ar ultraskaņas defektoskopu visus defektus, kas noslēpti pārbaudes detaļā (kubs vai sliede);
 - atlikt visus atklātos defektus atbilstoši nosacītajiem izmēriem.



1. Pieslēgt barotāju (akumulātoru vai ārēja tīkla bloku)

2. Pieslēgt PEP ar attiecīgo kābeli. Ja pārveidotais ir dalīts, tad emisiju avotu jāpieslēdz pie labas ligzdas (melns gredzens), uztvērētais pie kreisās ligzdas (sarkanais gredzens).

3. Ieslēgt USM 35X (uzspiest pogu ). Uz ekrāna parādīsies programmas versija un notiks iekātras pašpārbaude



- A Gaisma diodi
- R ACD
- D Atcirtes ieslēgšana
- Režīma r/c ieslēgšana

Īpašās funkciju taustiņi

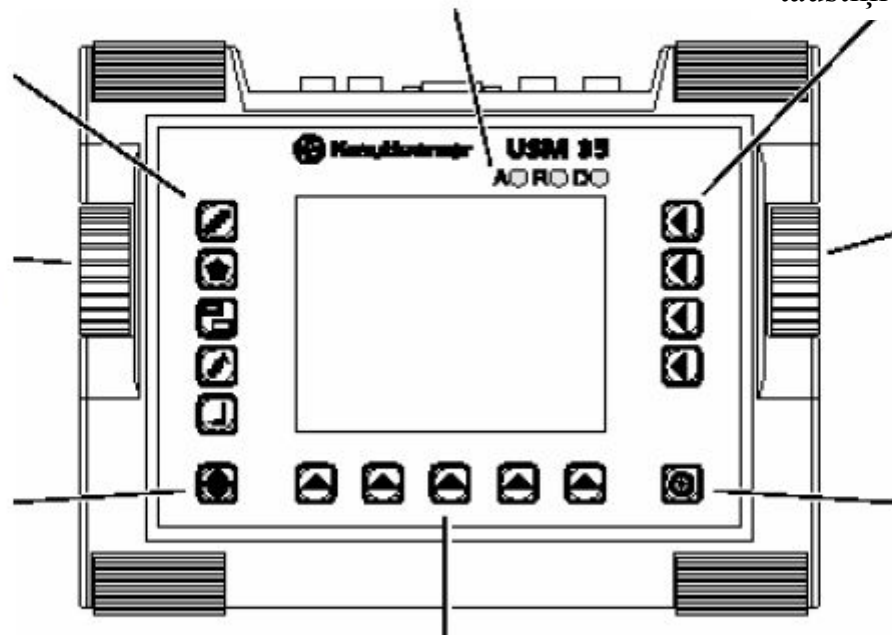
funkciju izvēles taustiņi

pastipriņāšanas regulēšanas rokturis

Funkciju vērtības noteikšanas rokturis

vadības līmeņa maiņas taustiņa

funkcionālo grupu izvēles taustiņi



Pirmā līmeņa funkcionālas grupas

ОСН – šeit atrodas funkcijas, attēlu pamatparametru uzstādīšanas uz ekrāna;

ГЕН – šeit ir apvienotas funkcijas, ar kurām uzstāda impulsu ģenerators parametrus;

УСИЛ – šeit ir apvienotas funkcijas, ar kurām uzstāda pastiprinātāja trakta parametrus;

аАСД – kanāla A parametru uzstādīšanas funkcijas;

бАСД – kanāla B parametru uzstādīšanas funkcijas.

Pirmais vadības līmenis

ОСН	1	ГЕН	УСИЛ	аАСД	бАСД
------------	----------	------------	-------------	-------------	-------------

Otrais vadības līmenis

КАЛ	2	АРД	НАКЛ	ПАМ	ОБР
------------	----------	------------	-------------	------------	------------

Trešais vadības līmenis

ИЗМ	3	РЕЗ	ЖКИ	ОБЩ1	ОБЩ2
------------	----------	------------	------------	-------------	-------------

Функциональные группы

Первый уровень управления

ДИАП. 25Ø мм	ДЕМПФ. НИЗК	дБ пл. Ø	а-РЕЖ пол+	б-РЕЖ пол+
С * 592Ø м/с	МОЩН. НИЗК	ОТСЕЧКА 0%	а-НАЧ. 35.ØØ мм	б-НАЧ. 85. ØØ мм
НУЛЬ * Ø.ØØ мм	Р/С ВЫКЛ	ЧАСТОТА 2 – 2Ø	а-ШИР.> 4Ø.ØØ мм	б-ШИР.> 4Ø.ØØ мм
ЗАДЕРЖ. Ø.ØØØ мкс	ЧАСТ.СЛ 4	ДЕТЕКТ 2-х пол	а-УРОВ. 4Ø%	б-УРОВ. 3Ø%
ОСН	ГЕН	УСИЛ	аАСД	бАСД

Otra līmeņa funkcionālas grupas

КАЛ – šeit atrodas funkcijas, iekārtas pusautomātiskās kalibrēšanas pēc attāluma;

АРД – šeit ir apvienotas funkcijas, ar kurām noteic atbalsta signālu pēc ARD-diagrammas;

НАКЛ – šeit ir apvienotas funkcijas, ar kurām noteic defekta atrašanās dziļumu;

ПАМ – datu ierakstīšana un dzēšana;

ОБР – informāciju sastādīšana un dokumentēšana.

Второй уровень управления

S ОП.1 *5Ø.ØØ	ОПСИГН ВКЛ	УГОЛ Ø . Ø	БЛОК № * 1	ЗАКЛЮЧ ВЫКЛ
S ОП.1 *5Ø.ØØ	ОП,ИЗМ. ВЫКЛ	СТРЕЛА > Ø.Ø мм	СЧИТАТЬ ВЫКЛ	ПРОСМ ВЫКЛ
а-НАЧ. *35.00 мм	а-НАЧ 35. Ø Ø	ТОЛЩ.ИЗ 25.Ø мм	СОХРАН ВЫКЛ	КАТАЛОГ ВЫКЛ
КАЛИБР Ø		ДИАМЕТР бескон	УДАЛИТЬ ВЫКЛ	ПАРАМЕТ ВЫКЛ

КАЛ

REF *

НАКЛ

ПАМ

ОБР

Trešā līmeņa funkcionālas grupas

ИЗМ – izvēlējās atskaites punkts, ja mērīšana notiek palielināta mērogā, kā arī rezultāti salīdzinājās ar iepriekšējiem rezultātiem;

РЕЗ – mērīšanas rezultātu konfigurācija, var izvēlēties katrai no četrām pozīcijām indikācijas lielumu;

ЖКИ – regulējās kontrasts un indikatora spīdīgums;

ОБЩ1 – mērvienība, dialogs, printera uzstādījumi;

ОБЩ2 – laiks, datums, skaņas signāls.

Третий уровень управления

ОТСЧЕТ	ИЗМ-П1	ЗАПОЛН	ЕД.ИЗМ	ВРЕМЯ
пик	СМЕЩ	Выкл	мм	08 57 37
РЕЗУЛЬТ Sb-a	ИЗМ-П2 Sa	ПОДСВЕТ вкл	ДИАЛОГ русский	ДАТА 12 03 02
ЛУПА выкл	ИЗМ-П3 Aa	КОНТР 50	ПРИНТЕР DRU-41x	ЗВУК выкл
ИЗОБР нормал	ИЗМ-П4 ДИАП	РАЗМЕРН	ПЕЧАТЬ Проток	РЕЖ.А > АРК
ИЗМ	РЕЗ	ЖКИ	ОБЩ1	ОБЩ2

Attēla uzstādīšana USM 35X

Pirms darba ar USM 35X ir nepieciešams to noregulēt, t.i. uzdot tādus **skaņas ātrumu un kontroles diapazonu**, kuri atbilst materiālam un kontrolējama izstrādājuma izmēram, kā arī kompensēt **akustisko kavējumu PEPā**.

Atskaites punkta izvēle – ir iespēja mērīt pēc **frontāla signāla** vai **signāla maksimuma**.
Rekomendēts ir otrs.

USM 35 regulēšana darbam ar taisno un slīpo PEP.

«A» variants. Ir zināms skaņas ātrums materiālā.

- iestatīt noteiktu skaņas ātrumu «C» (OCH funkcionāla grupa);
- novietot PEP uz etalona paraugu;
- noregulēt vajadzīgo attēla diapazonu ДИАП (OCH funkcionāla grupa). Uz displeja parādās atbalss signāls;
- novietot strobe impulsu uz vienu no atbalss signālu lai izmērīto lieluma vērtība parādās uz displeja;
- iestatīt tādu kavējuma funkcijas vērtību, lai izmērs uz displeja būtu vienāds reālam izmēram.

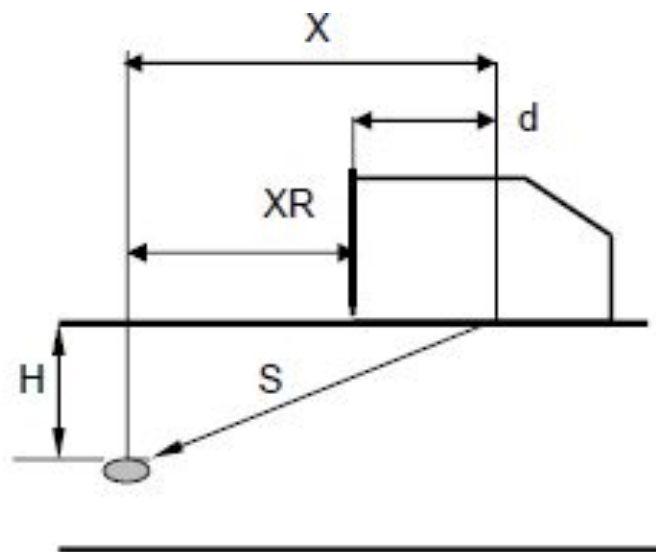
Defekta vietas noteikšana (aprēķins). Funkcionāla grupa НАКЛ.

Funkcionālā grupā НАКЛI tiek atradās funkcijas, ar kurām var aprēķināt defekta vietu, strādājot ar slīpo PEP. Lai to realizēt, ir nepieciešams izpildīt sekojošus soļus:

1. Ieiet otrajā vadības līmenī;
2. Izvēlēt funkcionālo grupu НАКЛ.

УГОЛ
0.0
СТРЕЛА >
0.0 _{mm}
ТОЛЩ. ИЗ
25.0 _{mm}
ДИАМЕТР
бескон.

ЦВЕТ >
ВЫКЛ

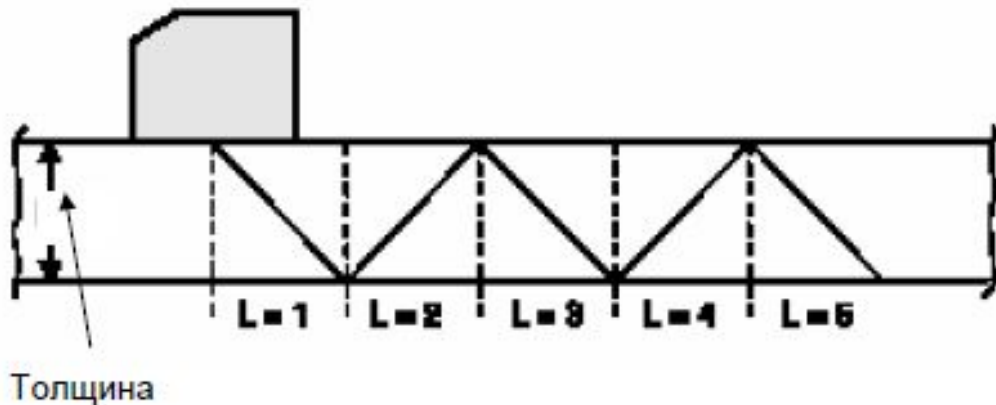


Funkcionālā grupā НАКЛI atļauj kopā ar attāluma S stāta virzienā automātiski aprēķināt un izvest uz displeja ciparu veidā mērījumu rindā attāluma lielumu no ieejas punkta vai no PEP gala virsmas līdz defekta projekcijas uz izstrādājuma virsmu un faktisko defekta izvietojuma dziļumu.

X – attālums no PEP ieejas punkta līdz defekta projekcijas uz izstrādājuma virsmu;

XR – saīsinātais attālums no PEP gala virsmas līdz defekta projekcijas uz izstrādājuma virsmu;

H – attālums no defekta līdz izstrādājuma virsmai.



Ja notiek kontrole ar slīpo PEP, tad defektoskopam ir arī iespēja aprēķināt L garumu stara garenvirzienā pēc katras atspoguļošanas

УГОЛ (PEP ievadīšanas leņķis). Funkcijai УГОЛ ir jāuzdod ievadīšanas leņķi kontrolējamā materiāla (norādīts uz PEP). Tas ir vajadzīgs automātiskai defekta vietas noteikšanai.

СТРЕЛА (PEP bulta). Funkcijai СТРЕЛА ir jāuzdod attālumu no gala virsmas līdz skaņas ievadīšanas punktam (izmērs d). Tas ir vajadzīgs automātiskai XR noteikšanai.

ТОЛЩ.ИЗ (izstrādājuma biezums). Funkcijai ir jāuzdod izstrādājuma biezumu. Tas ir vajadzīgs automātiskai defektu vietas noteikšanai pēc dziļuma.

Defektoskop «Пеленг УД2 102»



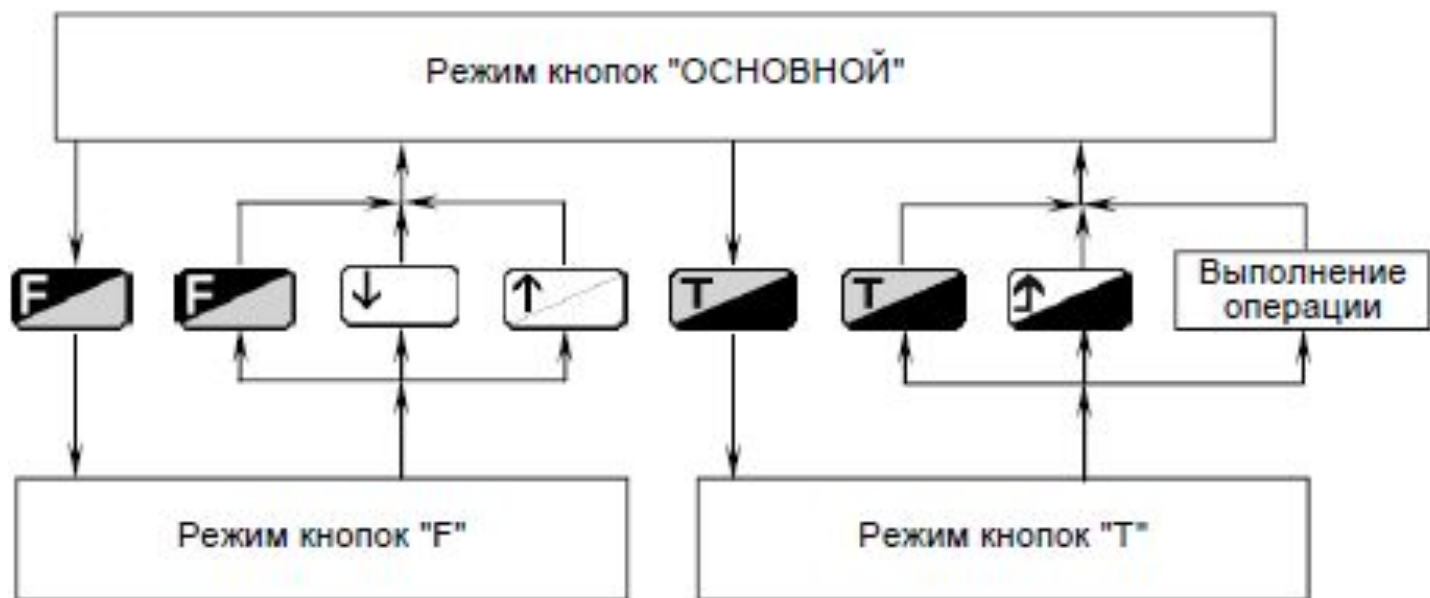
displejs

rezīmu tabula

vadību pogas

Defektoskopā tiek paredzēti trīs pogu darbības režīmi:

- pamata režīms;
- F;
- T.



Pamatrežīmā izmanto simboliskus pogu apzīmējumus:

F žīmā izmanto ciparu pogu apzīmējumus:

Uz displeja tiek parādās simbols F.

T žīmā izmanto teksta pogu apzīmējumus: