



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Topi Närhi

MATERIAALI- JA LAATULABORATORION INVESTOINTISUUNNITELMA

Konetekniikka

Tekniikka
2021

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Topi Närhi
Opinnäytetyön nimi	Materiaali- ja laatulaboratorion investointisuunnitelma
Vuosi	2021
Kieli	suomi
Sivumäärä	53 + 2 liitettä
Ohjaaja	Osku Hirvonen

Opinnäytetyössäni olen kehittänyt 5 vuoden investointisuunnitelman testauslaiteratkaisuista Technobothnian materiaali- ja laatulaboratoriolle. Työn tarkoituksena on keksiä ratkaisut vetokoneelle, kovuusmittauskoneelle, ultraäänimittauskoneelle, väsymistestauskoneelle ja laserskannauslaitteelle.

Olen sisällyttänyt työhön paljon teoretietoa näiden koneisiin liittyvistä ominaisuuksien aihealueista ja tehnyt omaa tutkimusta parhaista mahdollisista ratkaisuista koneille Technobothnian laboratorioissa.

Olen ollut paljon yhteydessä eri laitetoimittajien kanssa ja selvittänyt mitä koneita heillä on saatavilla ja tehnyt ratkaisut näiden toimittajien tarjonnan pohjalta.

Olen yrittänyt painottaa mahdollisissa laitehankinnoissa toimittajia, joilla on Suomessa toimivia maahantuojaia tai toimipisteitä helpompien logististen- ja huoltoratkaisujen vuoksi.

Avainsanat	vetokoe, kovuusmittaus, ultraäänimittaus, väsymistestaus ja laserskannaus
------------	---------------------------------------------------------------------------

ABSTRACT

Author	Topi Närhi
Title	Investment Plan for Material and Quality Laboratory
Year	2021
Language	Finnish
Pages	53 + 2 Appendices
Name of Supervisor	Osku Hirvonen

In this thesis a five-year investment plan about tester solutions was made for Technobotnia material and quality laboratory. The purpose of this thesis is to determine solutions for tensile testing machine, hardness testing machine, ultrasonic measurement device, fatigue testing machine and laser scanner device.

Theory about attributes of these machines themes has been included and research was made about the best possible solutions for these machines in the Technobothnia laboratories.

Different suppliers were contacted to find out what kind of testers they have and solutions were made on based of what suppliers can offer.

In conclusion, the suppliers that have an importer or office in Finland have been emphasised in possible equipment purchase situations because of easier logistic and maintenance solutions.

Keywords	Tensile testing, hardness testing, ultrasonic measurement, fatigue testing and laser scanning
----------	-----------------------------------------------------------------------------------------------

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	9
2	PROJEKTIN TAUSTA JA TAVOITTEET.....	10
3	MATERIAALIN TESTAUS	11
3.1	Murtuminen.....	11
3.2	Sitkeys.....	13
3.3	Kovuusmittaus	16
3.3.1	Vickers-kovuuskoe	16
3.3.2	Brinell-kovuuskoe.....	18
3.3.3	Rockwell-kovuuskoe	20
3.4	Säröttestaus	22
3.4.1	Ultraäänitarkastus.....	22
3.5	Ultraääniluotaimet	25
3.5.1	Tavallinen luotain.....	25
3.5.2	Viivästetty luotain	26
3.5.3	Transmitter-Receiver eli TR-luotain	27
3.5.4	Kulmaluotain/kulmapala.....	29
3.5.5	Vaiheistettu luotain.....	30
3.5.6	Ultraäänitarkastuksen edut ja haitat	32
3.6	Väsymistestaus	33
4	MITTAUS JA LAADUNVALVONTA	36
4.1	Koordinaattimittaus.....	36
4.2	Laserskannaus.....	38
5	LAITEHANKINNAT	40
5.1	Vetokone	40
5.1.1	Kvalitest Oy	41

5.1.2	Ratkaisu vetokoneelle	41
5.2	Kovuusmittauskone	41
5.2.1	Mitutoyo	41
5.2.2	Leco	42
5.2.3	Anton Paar	42
5.2.4	Buehler	43
5.2.5	Shimadzu	43
5.2.6	Semilab	43
5.2.7	Ratkaisu kovuusmittauskoneelle	44
5.3	Ultraäänimittauslaite	45
5.3.1	Sintrol Oy	45
5.3.2	Ratkaisu ultraäänimittauslaite	45
5.4	Väsymistestauskone	46
5.5	Laserskannauslaite	47
5.5.1	Hexagon	47
5.5.2	Mitutoyo	48
5.5.3	Ratkaisu laserskannerille	48
5.6	5 vuoden investointisuunnitelma	50
6	YHTEENVETO	51
	LÄHTEET	53
	LIITTEET	56

KUVALUETTELO

Kuva 1. Jännitys-venymäkäyrä	12
Kuva 2. Charpy-heiluri	14
Kuva 3. Charpy V ja Izod testit	15
Kuva 4. Charpy testauksen pykäliä	16
Kuva 5. Vickers kovuusarvot materiaaleille	17
Kuva 6. Vickers paininkärki	18
Kuva 7. Brinell kovuusarvot materiaaleille	19
Kuva 8. Rockwell kokeen esivoima ja lisävoima	20
Kuva 9. Rockwell esivoima, lisävoima ja koneesta kuva	21
Kuva 10. Ultraäänilaite, kaavio, luotain ja testauskappale	24
Kuva 11. Ultraäänimittauslaite ja luotaimella metalliputken tarkastaminen	25
Kuva 12. Normaali luotain	26
Kuva 13. Viivästetty luotain	27
Kuva 14. TR luotain	28
Kuva 15. TR luotaimen mittausalueet	29
Kuva 16. Kulmaluotain/kulmapala	30
Kuva 17. Vaiheistetun luotaimen ultraääniaaltojen linja	31
Kuva 18. Vaiheistetun ultraääniluotaimen kuperan muotoinen linja	31
Kuva 19. Vaiheistetun ultraääniluotaimen muuntajat	32
Kuva 20. Väsymislujuuskokeen prosessin käyrä	34
Kuva 21. Väsymislujuuskokeen stressisyklin aaltoliike	35
Kuva 22. Koordinaattimittauskone ja sen koordinaatisto	37
Kuva 23. Porschen virheiden tarkastelua laserskannerilla	38
Kuva 24. Vetokone ja siihen kuuluvat komponentit	40
Kuva 25. Mitutoyo HR-530 kovuusmittauskone	45

TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1. 5-vuotinen investointisuunnitelma.....	50
-----------------------------------------------------------	----

LIITELUETTELO

LIITE 1. Rockwell -HR-530 -kovuusmittauskone-esite

LIITE 2. Leco LR/LCR -sarjan kovuusmittauskone-esite

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on kartoittaa Vaasan kolmen korkeakoulun kampusalueella toimivalle laboratoriokeskittymä Technobothnialle materiaali- ja laatulaboratorioihin uusia testauslaitteita tai uusia ratkaisuja vanhoille laitteille ja tehdä 5 vuoden ajanjaksolle niistä investointisuunnitelma.

Opinnäytetyössäni olen käsitellyt runsaasti materiaalitestauksen teoriapuolta, mittaus- ja laadunvalvontaa ja lopuksi laboratorion laitehankintoja tai laiteratkaisuja.

Työssäni olen ollut yhteydessä moniin eri laitetoimittajiin, tiedustellut laitetoimittajilta tietoa erilaisista laitteista ja pohtinut parhaita mahdollisia ratkaisuja niistä Technobothnian materiaali- ja laatulaboratorioihin.

Teoriaan löysin paljon todella hyvää lähdemateriaalia, jota olen käyttänyt tässä työssä.

Laitteiden tarkkoja hintatietoja tai tarjouksia en julkaise tässä työssä.

2 PROJEKTIN TAUSTA JA TAVOITTEET

Tavoitteena on uudistaa Technobotnian materiaali- ja laatulaboratorion vanhimpia laitteita, myös hankkia jotain täysin uusia materiaalin testaukseen tai mittauslaadunvalvontaan soveltuvia testausvälineitä ja tehdä niistä 5-vuotinen investointisuunnitelma.

Tarve olisi ensimmäisenä vetokoneelle tehdä joku ratkaisu, vetokone ei anna vetokoikeessa mittaustuloksia.

Materiaalilaboratoriossa on tarvetta myös tehdä ratkaisuja muulle laitteistolle, kuten kovuusmittauskoneelle, ultraäänimittauskoneelle, väsymistestauskoneelle ja mahdollisesti myös jonkunlaisen laserskannerin hankinta laatulaboratorioon.

Olen tiedustellut jokaisesta näistä yllä mainitusta laitteesta hintatietoja, niiden tarvittavia ominaisuuksia ja pohtinut parhaat ratkaisut testauslaitteille, onko tarvetta ostaa kokonaan uusi laite vai onko jokin muu ratkaisu tarpeen, kuten jonkunlaiset huolto toimenpiteet tai ostetaanko pelkästään jokin erillinen lisävaruste vanhaan koneeseen.

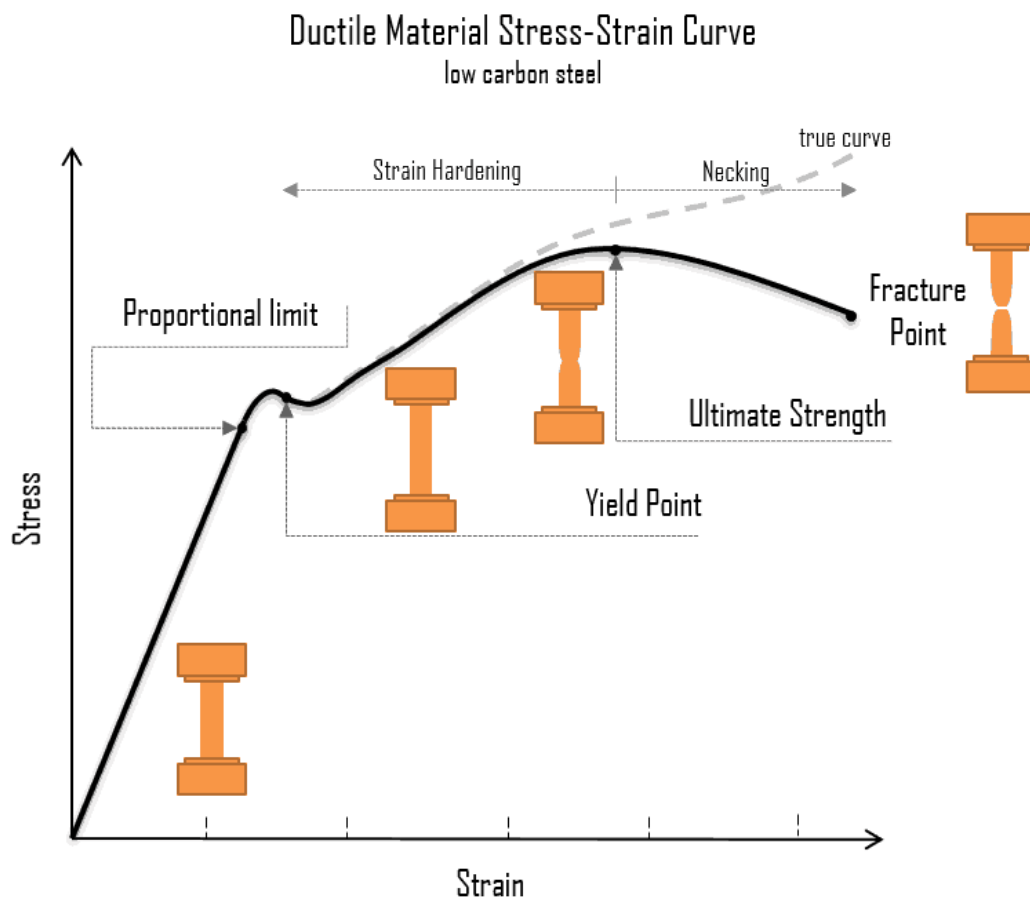
3 MATERIAALIN TESTAUS

3.1 Murtuminen

Myötölujuus (R_e) voidaan selittää, että vetokokeessa sauvaan kohdistuu jännitystä. Kun jännitys on tarpeeksi suuri, sauvassa tapahtuu palautumatonta muodonmuutosta. Kun myötölujuutta ei ylitetä, tällöin vetokoesauva palautuu normaaliin muotoonsa ja mittoihinsa. Myötö- ja murtolujuus saadan selville vetokokeen avulla.

Murtolujuus (R_m) voidaan selittää, että nimellisjännityksen korkein huippu saavutetaan jännitys-venymäkäyrällä. Murto- ja myötölujuuksia käytetään paljon eri teräksien luokittelussa, kuten vaikka S355-luokitus teräksessä tarkoittaa sen alempaa myötörajaa, joka on 355 N/mm^2 . /1/

Jännityksen kasvaessa metallissa tapahtuu palautumattoman muodonmuutoksen jälkeen murtumista. Murtumisprosessi alkaa useista eri mikrorepeämistä. Kun monet eri mikrorepeämät erkanevat vastapuolen aineesta tarpeeksi niin syntyy jatkuva repeytyminen. Repeytymisen kasvaessa metalli murtuu. /1/



Kuva 1. Jännitys-venymäkäyrä.

Kuvassa 1 näkyvällä jännitys-venymäkäyrällä Proportional limit -kohdassa, joka on suomeksi kimmoraja tarkoittaa maksimikuormitusta, jolla ei vielä tapahdu palautumatonta muodonmuutosta. Kun kimmorajasta mennään yli ja saavutetaan Yield Point -kohta, suomeksi myötöraja niin siinä kohdassa alkaa palautumaton muodonmuutos, jossa materiaali rupeaa antamaan periksi eikä se palaudu enää alkuperäiseen muotoonsa.

Ultimate Strength -kohdan jälkeen, suomeksi murtolujuus, materiaalissa alkaa hiljalleen materiaalin murtumisprosessi ja Fracture point -kohta, suomeksi murtoraja, jossa materiaalin murtoprosessi loppuu ja materiaali murtuu lopullisesti.

/2/

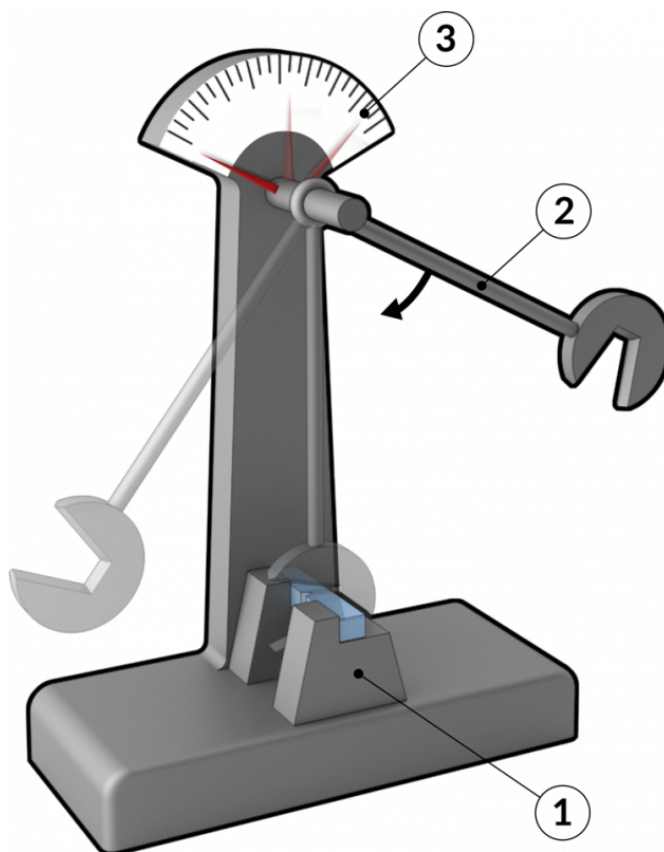
3.2 Sitkeys

Metallin sitkeys voidaan testata iskukokeella, jota kutsutaan Charpy -testiksi. Charpy on iskutesti, joka tehdään testattavalle materiaalille. Charpy U -koe suoritetaan hauraille metalleille ja taas Charpy V -koe suoritetaan sitkeille metalleille. Sitkeys saadaan selville transitiolämpötilan tai tietyssä lämpötilassa vaadittavan vähimmäismurtoenergian kautta.

Charpy V -testissä kappaleessa on V -muotoinen pykälä ja Charpy U -testissä on U-kirjaimen muotoinen pykälä.

Transitiolämpötilalla tarkoitetaan metallin tai materiaalin ominaista lämpötilaa, jonka alapuolella metalli murtuu hauraasti ja yläpuolella sitkeästi. Eri materiaalien iskunkestävyys voi siis vaihdella sen lämpötilan mukaan. /1/

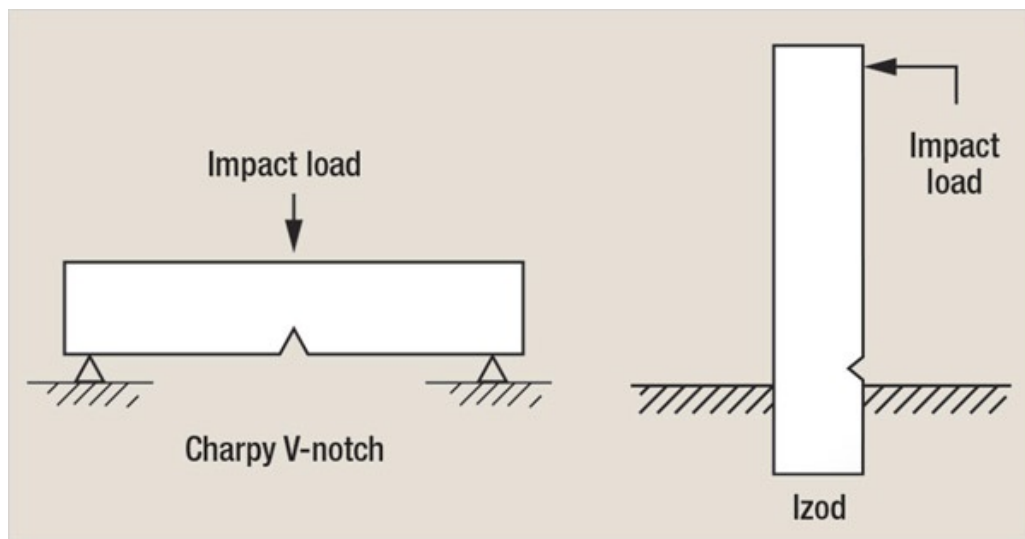
Charpy-testissä testattava kohde asetetaan koneen tuen päälle ja isku tehdään keinuvalla iskurilla, joka lyö testattavaa kappaletta juuri pykälän kohdalle, mutta testattavan kappaleen vastapuolelle. Mittaustulos kertoo kuinka paljon iskuenergiaa testattava kappale pystyy absorboimaan itseensä rikkoutessaan. /3/



 MANUFACTURINGGUIDE

Kuva 2. Charpy-heiluri.

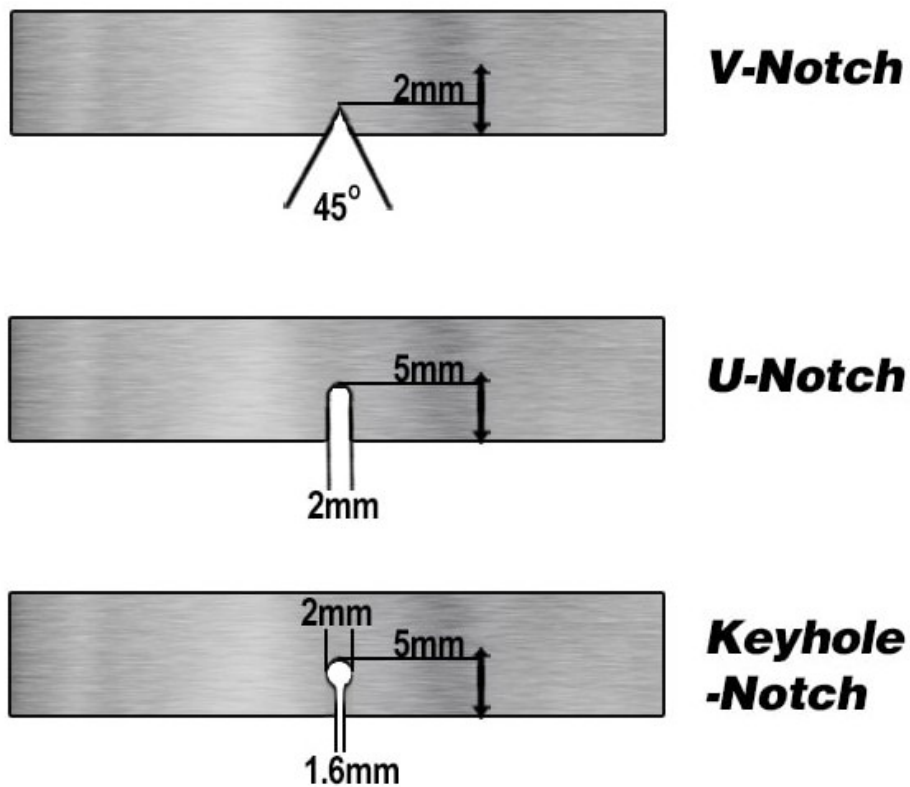
Kuvassa näkyvässä Charpy-heiluri testissä kohdassa 1 on tuki mihin testattava kappale asetetaan, kohta 2 on keinuva iskuri, joka antaa iskun kappaleen pykälän kohdalle vastakkaiselle puolelle ja kohdassa 3 oleva mittari näyttää toteutuneen iskuvoiman jouleissa. /4/



Kuva 3. Charpy V ja Izod-testit.

Kuvassa näkyy Impact Load -teksti, joka on suomeksi iskukuorma, se kohdistetaan pykälän vastakkaiselle puolelle Charpy-iskutestissä. Oikealla kuvassa näkyy Izod-iskutestin kappale, joka on hyvin samankaltainen iskutesti kuin Charpy, mutta iskukuormitus kohdistetaan eri kappaleen yläkohtaan ja kappale asetetaan iskutestissä pystysuoraan asentoon toisin kuin Charpy-iskutestissä, jossa kappale on asetettu vaakatasoon. /5/

Izod-iskutestissä käytetään pelkkää V-pykälää, kun Charpy-iskutestissä käytetään V- ja U-pykäliä. Charpy-iskutestiä käytetään pelkkään metalliin, Izod-iskutestiä käytetään metalliin ja muoviin. /6/



Kuva 4. Charpy-testauksen pykäliä.

Kuvassa näkyy V-pykälä, U-pykälä ja sitten erikoisempi avainreikä-pykälä.

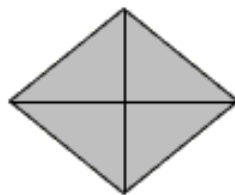
3.3 Kovuusmittaus

Kovuus tarkoittaa materiaalin kestävyyttä naarmuuntumista, kulumista, leikkaamista tai pistemäistä painetta vastaan. Kovuus voidaan määrittää kolmen eri kokeen avulla. /1/

3.3.1 Vickers-kovuuskoe

Tässä kokeessa tylpänmuotoista timanttikärkeä painetaan materiaalia vasten noin 10–15 sekuntia tietyllä kuormituksella. Tämän jälkeen materiaalissa olevaa jälkeä tutkitaan mikroskoopilla ja kovuusluku lasketaan käyttämällä kuormituksen ja painauman pinta-alan suhdelukua. Testejä voidaan tehdä useampi ja laskea niistä keskiarvo. /1/

Material	Vickers Hardness Number - HV
316L stainless steel	140HV30
347L stainless steel	180HV30
Carbon steel	55–120HV5
Iron	30–80HV5
Martensite	1000HV
Diamond	10000HV



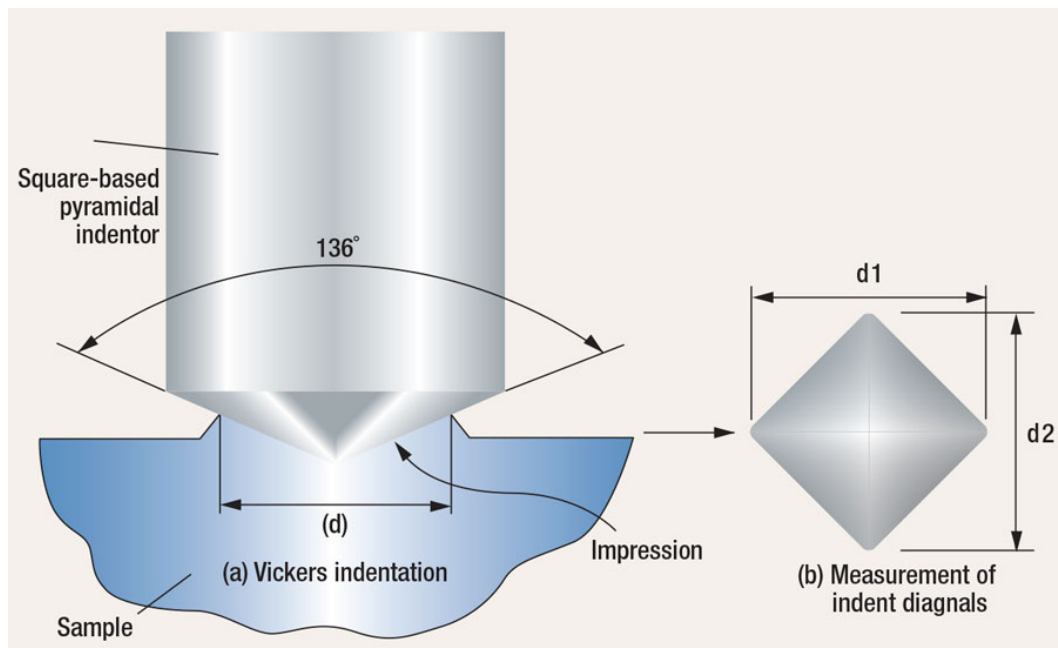
Kuva 5. Vickers-kovuusarvot materiaaleille.

Kuvassa näkyy Vickers-kovuusarvoja eri materiaaleille, siinä on ruostumaton teräs, hiiliteräs, rauta, martensiitti ja timantti. /7/

$$HV = \frac{2F \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2}$$

$$HV = 1.854 \frac{F}{d^2} \text{ likiarvo}$$

Yllä näkyy Vickers-kovuusarvojen laskentakaavat, d tarkoittaa painauman läpimittaa/halkaisijaa, F on voima. /8/



Kuva 6. Vickers-paininkärki.

Kuvassa näkyy 136 asteen tylpänmuotoinen Vickers-paininkärki, joka painautuu testattavaan kappaleeseen, Vickers-indentation tekstikohta tarkoittaa Vickers-kärjen painaumasta aiheutuvaa koloa tai kuoppaa ja (d) on sen läpimitä/halkaisija. Oikealla puolella näkyy kuva kärjestä alhaalta päin katsottuna, kärki muistuttaa muodoltaan timanttia. /9/

3.3.2 Brinell-kovuuskoe

Brinell-kovuuskokeessa painetaan teräs- tai kovametallipalloa materiaalia vasten. Kovuusarvo voidaan laskea kuormitusvoima Newtonina jaettuna painauman kalottipinta-alalla. /1/

$$HB = \frac{0,102 * 2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

Yllä kaavassa näkyy Brinell-kovuusarvon kaavan, jossa F on kuormitus (kgf eli kilopondi muodossa merkitään), D on paininkärjen pallon halkaisija ja d on painauman halkaisija. /1/

Material	Brinell Hardness Number - HB
Lead	5.0
Pure Aluminium	15
Copper	35
Soft brass	60
Hardened Aluminium	75
Mild steel	130
Annealed chissel steel	235
White cast iron	415
Nitrided surface	750
Glass	1550
Rhenium diboride	4600

Kuva 7. Brinell-kovuusarvot materiaaleille.

Kuvassa 7 näkyy Brinell-kovuusarvoja eri materiaaleille, jotka ovat lyijy, alumiini, kupari, pehmeä messinki, karkaistu alumiini, pehmeä teräs, hehkutettu talttateräs, valurauta, nitrattu pinta, lasi ja reniumdiboridi. Järjestys menee alhaisimmasta Brinell arvosta korkeimpaan. /10/

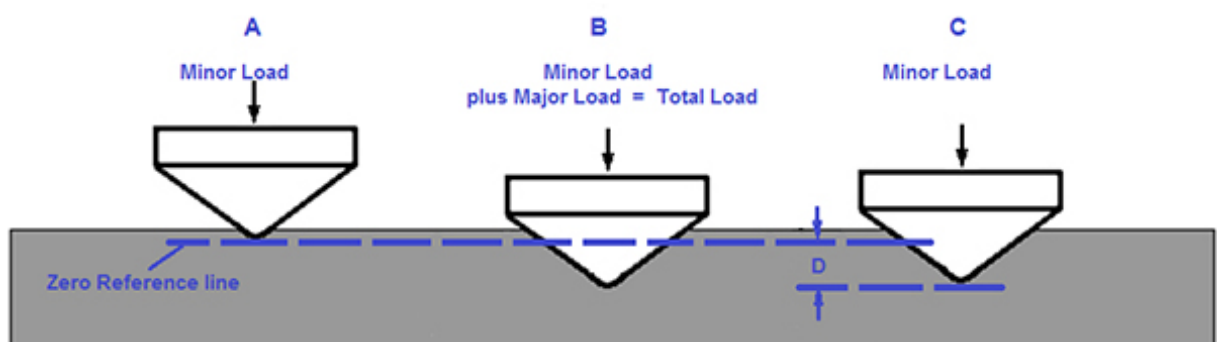
3.3.3 Rockwell-kovuuskoe

Rockwell-kovuuskokeessa painetaan joko teräskuulaa tai timanttikärkeä tutkittavaan materiaaliin. Teräskuulaa painettaessa testistä käytetään nimitystä Rockwell B ja timanttikärkeä painettaessa Rockwell C. Rockwell -kovuuskoe soveltuu parhaiten rutiininomaiseen materiaalin kovuuden mittaamiseen sen nopeuden ja tarkkuuden takia. Rockwell-kovuuskokeelle löytyy määritelmä standardista SFS-EN ISO 6508-1:2006.

Rockwell-kovuuskokeessa kovuusluku saadaan laittamalla ensin esivoima materiaaliin, joka toimii referenssipisteenä, sitten lisävoima ja nämä kuormitukset summaamalla yhteen saadaan kovuuslukema. /1/

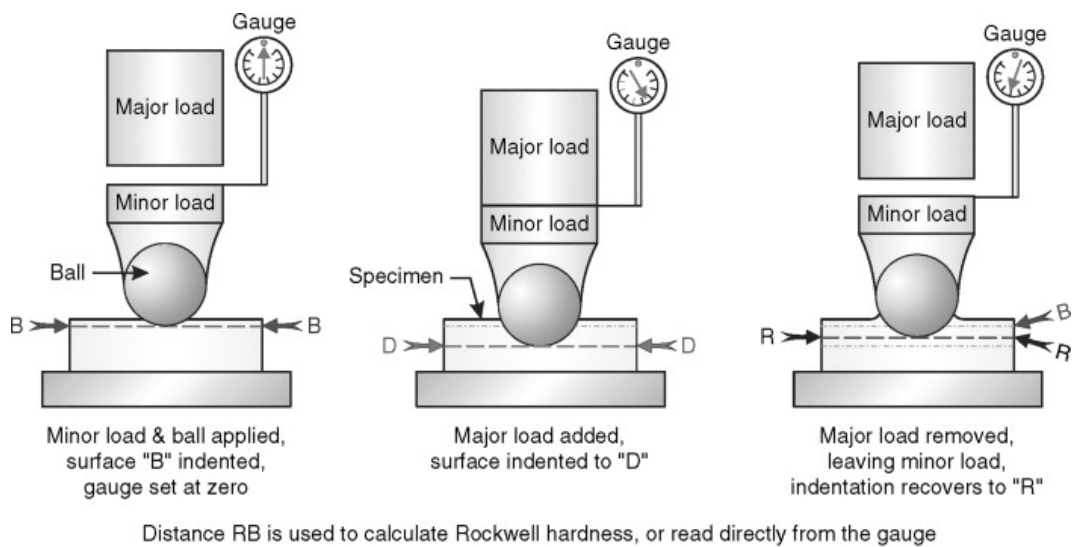
Rockwell B -kokeessa paininkärki on halkaisijaltaan 1.59 millimetrin teräskuula ja sen suuri kuormitus on 100 kg. Rockwell C -kokeessa paininkärki on 120 asteen timanttikärki ja sen suuri kuormitus on 150 kg.

Kovuuslukema yksikkö on HR, jos testataan Rockwell B:tä silloin sen yksikkö on HRB ja Rockwell C:ssä yksikkö on HRC. /11/



Kuva 8. Rockwell-kokeen esivoima ja lisävoima.

Kuvassa 8 näkyy Zero Reference Line -kohdassa esivoima, jota käytetään referenssi pisteenä, A kohdassa Minor Load eli suomeksi esivoima asetetaan materiaaliin, B-kohdassa esivoimaan lisätään Major Load eli lisävoima, C-kohdassa näkyy painauma, viivojen välissä oleva D-kirjain on materiaalin kokonaisvoima. /12/



Rockwell Hardness Apparatus

Kuva 9. Rockwell-esivoima, lisävoima ja koneesta kuva.

Kuvassa 9 näkyy samanlainen esivoiman ja lisävoiman käyttö mikä oli edellisessä kuvassa mittarilla varustettuna ja paininkärkenä on nyt pallon muotoinen kärki. Keskellä kuvaa lukee teksti, jossa etäisyys RB:tä käytetään Rockwell-kovuuden laskemiseen tai tulos luetaan suoraan mittarista.

Alempana kuvassa näkyy Rockwell-kovuusmittauskone, jossa vasemmalla alhaalla kuvassa näkyy nuolella osoitetaan tutkittavaa kappaletta, keskellä alhaalla näkyy Rockwell-paininkärki joka on pallonmuotoinen ja oikealla alhaalla viimeisenä näkyy vielä mittari, josta voi lukea Rockwell kovuusarvot. /13/

3.4 Särötestaus

Särötestauksen tarkoitus on löytää säröjä materiaalin pinnalta tai pinnan alapuolelta. Eri menetelmiä löytyy, kuten magneettijauhetarkastus, tunkeumanestetarkistus, radiograafinen tarkastus, ultraäänitarkastus ja visuaalinen tarkastus. Säröjä tutkitaan muun muassa valuista, hitsaussaumoista ja taottavasta materiaalista.

Säröjä tarkistetaan väsymysmurtumien, vuotokohtien ja huokosten varalta tutkittavassa materiaalissa. Särötutkimus on tärkeää metalliin tai materiaaliin kohdistuvasta kuormituksesta johtuvan väsymyksen ja siitä syntyvien virheiden havaitsemisen vuoksi.

Eri menetelmiä särötarkastukseen löytyy monia, radiograafista tarkastusta käytetään putkien seinämissä olevien sisäisten virheiden tarkastukseen. Tunkeumanestetarkastusta käytetään pinnalla olevien säröjen havaitsemiseen kaatamalla tunkeumaneste tutkittavan materiaalin pinnalle. Magneettijauhetarkastusta käytetään pinnalla olevien säröjen havaitsemiseen, erityisesti hitsaussaumojen pinnalla olevien virheiden tarkastukseen. Maalaamalla pinta valkoiseksi ja ripottelemalla rautaoksidijauhe voidaan havaita säröt. /15/

3.4.1 Ultraäänitarkastus

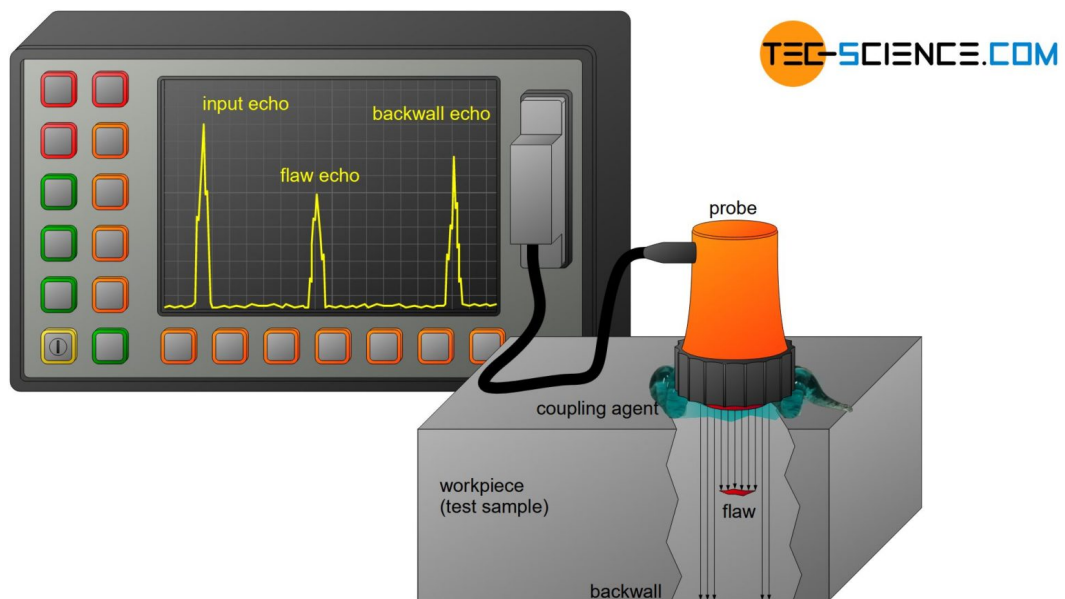
Ultraäänitarkastus on säröntutkimusmenetelmistä kaikkein tarkin, sillä voidaan havaita alle 1 millimetrin säröt. Ultraäänitarkastus soveltuu parhaiten putkien seinämien tarkastukseen, mutta pinnalla olevien säröjen tarkastamiseen se ei ole paras menetelmä.

Ultraäänitarkastus toimii syöttämällä tutkittavaan kohteeseen sähkövaraus ja tarkkailemalla elektromagneettista reaktiota. Tällä saadaan tarkistettua virheet materiaalista.

Ultraäänitutkimus perustuu pietsosähköiseen ilmiöön, jossa kuormitetaan ultraääniluotaimen pietsosähköistä kvartsikidettä, luotain luo näin sähköisen varauksen ja lähettää ultraääniaaltoja tutkittavaan materiaaliin.

Ilmiön voi myös kääntää asettamalla ulkoisen sähköjännitteen luotaimen pietsosähköiseen kvartsikiteeseen. Tämän käännetyn ilmiön avulla luotain vastaanottaa ultraääniaaltoja. /15/

Ultraäänitarkastuksessa luotaimen lähetin lähettää ääniaaltoja tutkittavaan materiaaliin ja sieltä tulee ääniaallon kaiku materiaalista takaisin luotaimen ääniaallon vastaanottimeen. Näytöllä olevan ultraäänikaavion viiva näyttää sitten millimetreinä kuinka syvällä virhe sijaitsee tutkittavan materiaalin pinnan alapuolella. /14/



Kuva 10. Ultraäänilaite, kaavio, luotain ja testauskappale

Kuvassa 10 näkyvässä ultraäänikaaviossa ensimmäinen piikkimuotoinen viiva on lähettimen pulssi, toinen piikkiviiva on särön kaiku ja kolmas piikkiviiva on takaseinämän kaiku. Oikealla näkyy luotain, kytkentäaine on coupling agent -kohdassa vihreä geelimäinen aine, flaw-kohdassa ultraääniluotaimen havaitsema virhe ja backwall on tutkittavan kappaleen takaseinämä. Workpiece-kohta on tutkittava kappale tai testauskappale.



Kuva 11. Ultraäänimittauslaite ja luotaimella metalliputken tarkastaminen.

Kuvassa 11 näkyy ultraäänimittauslaite vasemmalla ja luotainta käytetään metalliputken tarkastukseen oikealla. /16/

3.5 Ultraääniluotaimet

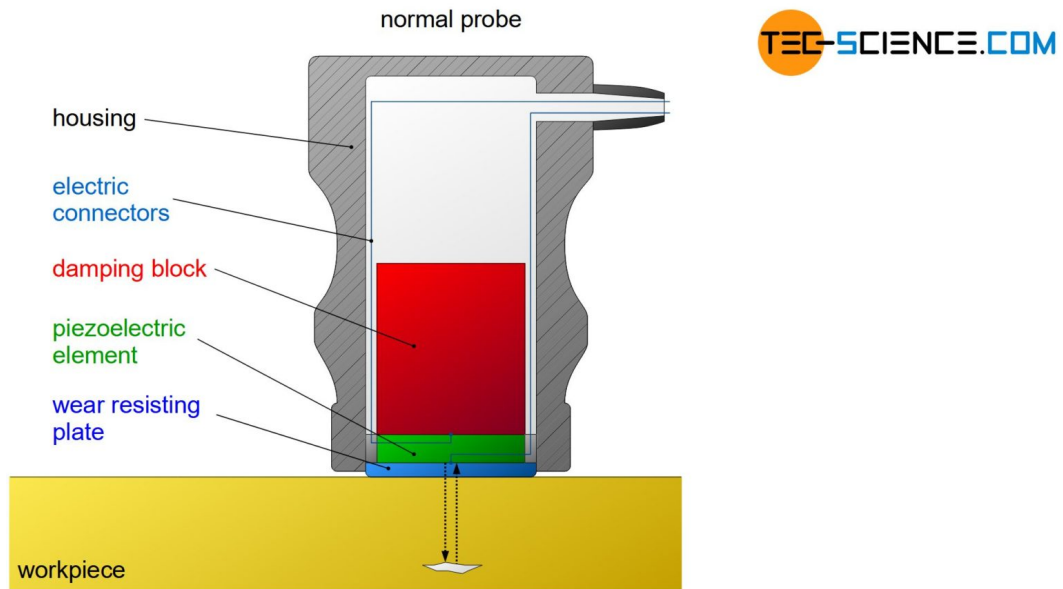
Ultraääniluotaimilla lähetetään ja vastaanotetaan ultraääniaaltoja. Luotaimia on olemassa monia ja niitä on tehty erilaisiin käyttötarkoituksiin.

Jotta luotaimella voidaan mitata, tutkittavan materiaaliin on ensin laitettava kytkentäaine, joka on geelinkaltainen aine. Tämä tehdään ettei ultraääniaallot heijastuisi materiaalista päin pois. /15/

3.5.1 Tavallinen luotain

Tavallisessa luotaimessa on vain yksi muuntaja, muuntajalla voidaan laittaa päälle luotaimen lähetin tai luotaimen vastaanotin. Näiden väliltä muuntajalla voi valita, että kumman haluaa laittaa päälle.

Kun ultraääntä on lähetetty mitattavaan kappaleeseen ja halutaan vaihtaa vastaanottimen puolelle siinä tulee seisonta-aika, koska vaihtaminen vastaanottimen puolelle ei tapahdu saumattomasti tavallisella luotaimella. /15/

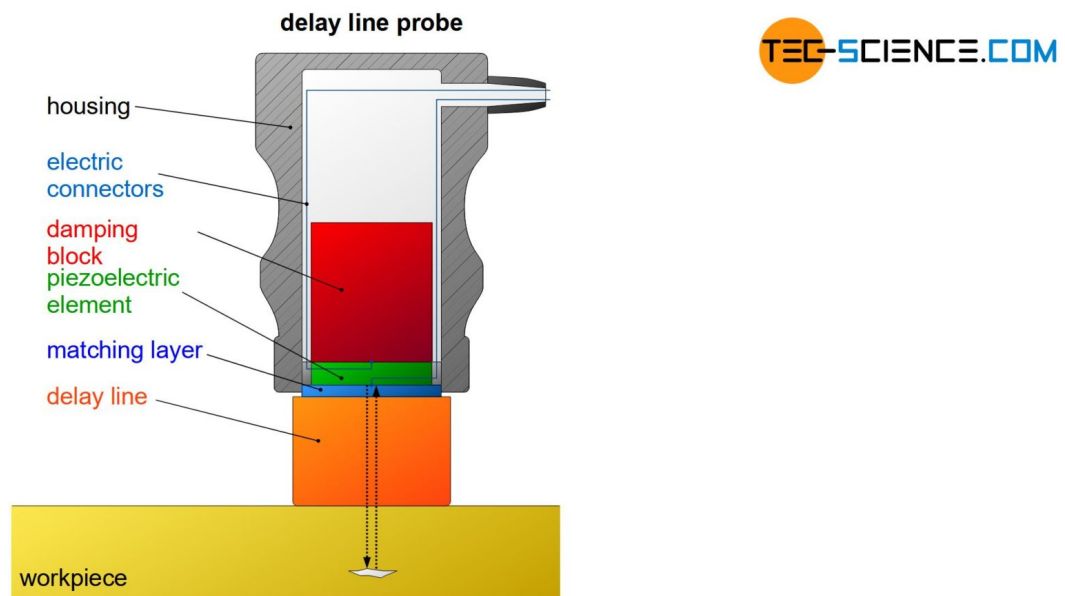


Kuva 12. Normaaliluotain.

Kuvassa 12 näkyy normaaliluotain, joka lähettää ja vastaanottaa ultraääniaaltoja tutkittavan kappaleen pinnan alapuolelta. Luotain sisältää kulumaa kestävän levyä, pietsosähköisen elementin, vaimennuskappaleen, sähköiset liittimet ja luotaimen kotelon. /15/

3.5.2 Viivästetty luotain

Tavallisella luotaimella ei voi kovin hyvin vastaanottaa ultraääniaaltoja läheltä materiaalin pinnan alapuolelta luotaimen jättämän katvealueen vuoksi. Siksi viivästetyllä luotaimella saadaan paremmin mitattua virheet lähempänä pintaa.



Kuva 13. Viivästetty luotain.

Kuvassa 13 näkyy viivästetty luotain. Viivästetyllä luotaimella käytetään materiaalin kanssa yhteensopivaa kerrosta tai paremmin sanottuna levyä matching layer -kohdassa ja ääntä johtavaa muovista välipalaa, jota kutsutaan viivästimeksi delay line -kohdassa. /15/

3.5.3 Transmitter-Receiver eli TR-luotain

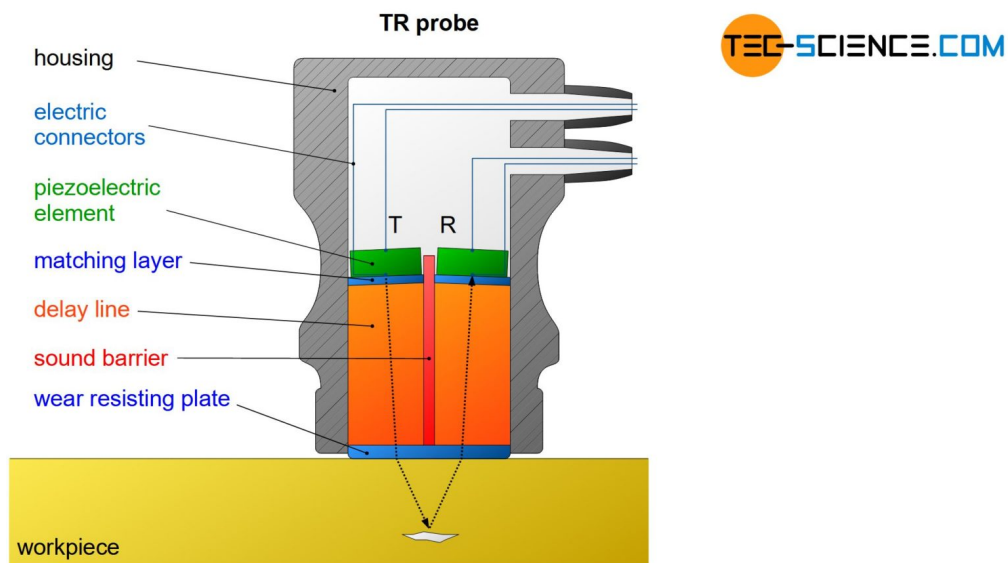
TR-luotain, joka olisi suomeksi sanottuna lähetin- ja vastaanotin luotain. Tämä luotain lähettää ja vastaanottaa ultraääntä samaan aikaan, eli tässä on lähetin ja vastaanotin samassa paketissa.

Lähetin ja vastaanotin on erotettu toisistaan pienellä melusteella, jotta lähetin ja vastaanotin eivät sotkeennu toisiinsa. Tässä myös lähetin ja vastaanotin molemmille on laitettu mitattavan materiaalin kanssa yhteensopiva levy ja muovinen viivästin.

Mitattavan kappaleen hieman pinnan alapuolelle muodostuu katvealue koska lähettimen ja vastaanottimen ultraääniaallot eivät vielä kohtaa toisiaan.

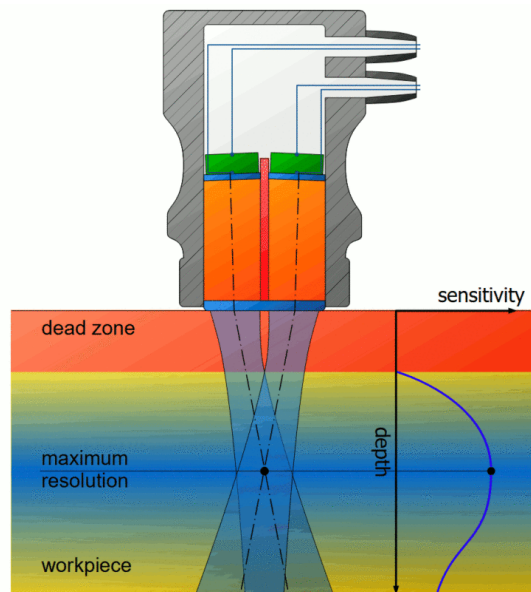
Kappaleen keskiosassa missä lähettimen ja vastaanottimen ultraääniaallot kohtaavat täydellisesti vastakkain niin siinä on maksimiresoluutiokohta, tarkin mahdollinen mittauskohta.

Syvemmillä kappaletta, kun mennään takaseinämää kohti lähettimen ja vastaanottimen ultraääniaallot taas erkanevat hieman toisistaan ja ultraääniluotaimen resoluution tarkkuus heikkenee. /15/



Kuva 14. TR-luotain.

Kuvassa 14 näkyy TR luotain lähettämässä ja vastaanottamassa ultraääntä. /15/



Kuva 15. TR-luotaimen mittausalueet.

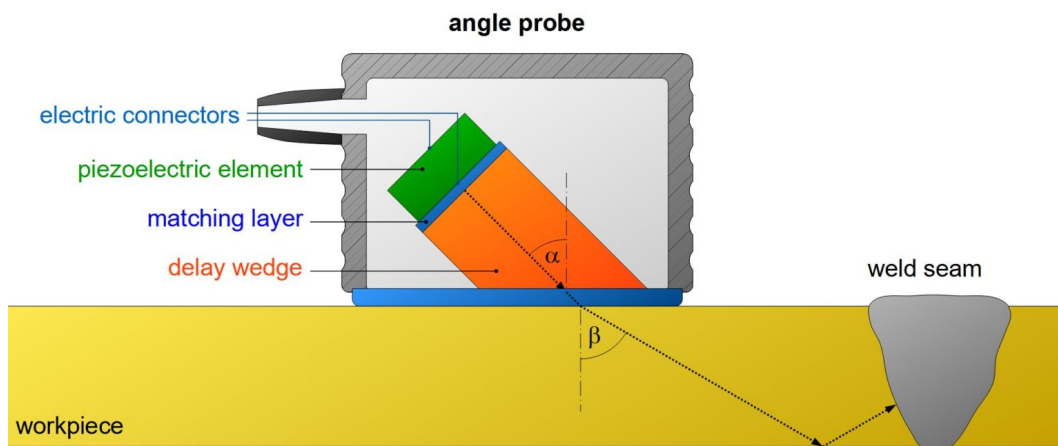
Kuvassa 15 näkyy TR-luotaimen katvealue dead zone -kohdassa, maximum resolution -kohdassa luotaimen resoluutio on parhaimmillaan keskellä ja siitä syvemmälle mentäessä resoluutio heikkenee. Resoluutio on korkeimmillaan testauskappaleen keskellä. /15/

3.5.4 Kulmaluotain/kulmapala

Kulmaluotaimella mitataan hitsaussaumojen virheitä materiaalin pinnan alapuolelta. Kulmaluotain lähettää ultraääniaaltoja kulmassa materiaaliin ja näin ultraääniaallot refraktioituu eli taittuu materiaalin takaseinämästä poikittaisessa kulmassa hitsaussaumaan materiaalin sisällä.

Hitsaussaumot saadaan paremmin tarkastettua kulmaluotaimella vinon kulman vuoksi, sillä päästään tarkastamaan hitsaussaumot materiaalin pinnan alta. Yleisimmin käytetyt kulmat kulmaluotaimessa ovat 45, 60 ja 70 astetta.

Kulmaluotaimessa on yleensä kulmassa oleva viivästyskiila, jolla saa tarkastettua hitsaussaumojen virheitä sitten myös lähempänä materiaalin pintaa katvealueen poistumisen takia. /15/



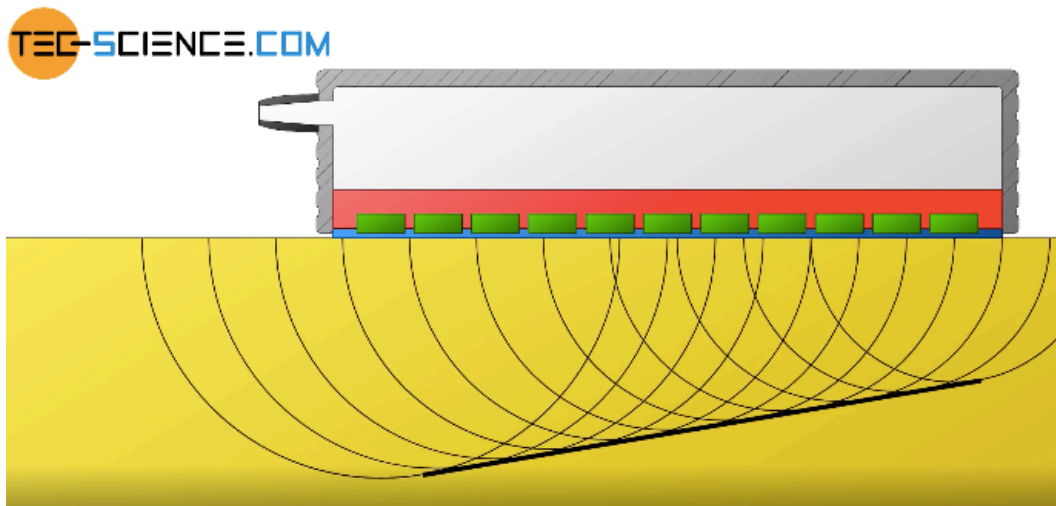
Kuva 16. Kulmaluotain/kulmapala.

Kuvassa 16 näkyy kulmaluotain mittaamassa hitsaussaamaa, ultraääniäallot ulottuvat hyvin pinnan alle ja aallot taittuvat takaseinämästä hitsaussauman kohdalle. /15/

3.5.5 Vaiheistettu luotain

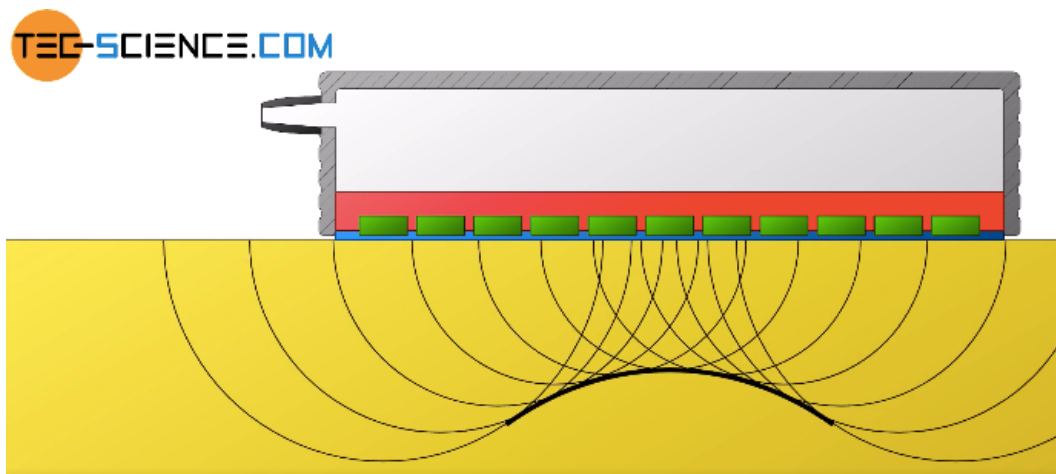
Vaiheistetussa luotaimessa on monta muuntajaa, voidaan kutsua muuntajaryhmäksi. Luotaimen muuntajat muuntajaryhmässä voidaan ajoittaa/ohjelmoida toimimaan eri aikaan, joten vaiheistetun luotaimen käyttökohteiden kirjo on erittäin laaja.

Ultraääniäallot voidaan myös keskittää tiettyyn syvyyteen ja virheitä voi tarkastella monista eri kulmista. Vaiheistetut luotaimet ovat myös rahalliselta arvoltaan kaikkein kalleimpia luotaimia niiden uudenaikaisen ja pitkälle kehittyneen teknologian vuoksi. /15/



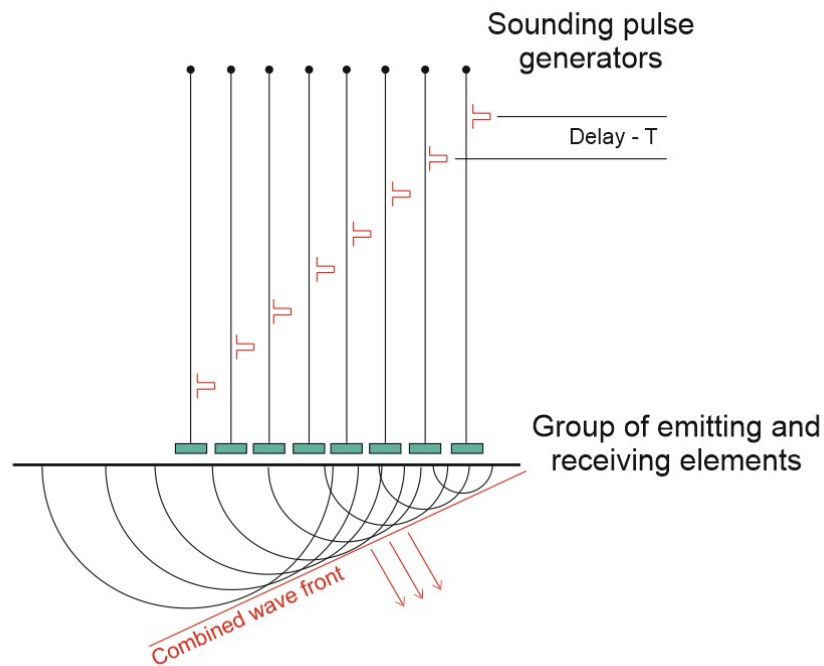
Kuva 17. Vaiheistetun luotaimen ultraääniaaltojen linja.

Kuvassa 17 näkyy kuinka muuntajat lähettävät ultraääniaaltoja niin, että niiden linja menee hieman kaltevassa kulmassa. /15/



Kuva 18. Vaiheistetun ultraääniluotaimen kuperan muotoinen linja.

Kuvassa 18 näkyy kuinka muuntajat lähettävät ultraääniaaltoja siten, että niiden linja on hieman kuperan muotoinen. /15/



Kuva 19. Vaiheistetun ultraääniluotaimen muuntajat.

Kuvassa 19 näkyy kuinka muuntajien ultraääniaallot kulkevat, vasemmalta oikealle mentäessä näkyy kuinka jokaisen muuntajan lähettämä ultraääniaalto viivästyy aina edellisestä ja näin aaltojen yhteisestä linjasta muodostuu kalteva pinta. /17/

3.5.6 Ultraäänitarkastuksen edut ja haitat

Paljon riippuu luotaimen taajuuden suuruudesta kuinka helposti voi virheet materiaalissa havaita. Pienempiin virheisiin tarvitaan luotain, jossa on iso taajuus, koska virheet pitää olla pienempi kuin aallonpituus, muuten sitä ei pystytä havaitsemaan.

Luotaimessa missä on iso taajuus on sitten haittapuolena se, että sillä ei voi havaita virheitä syvemältä, koska tutkittava materiaali voi huonon akustisten ominaisuuksien vuoksi absorboida isommat ultraääniaallot itseensä.

Virheet löytyvät ultraäänitarkastuksessa melko helposti, mutta niiden kokoa on vaikea havaita aluksi, vaiheistettu ultraääniluotain auttaa tähän jonkun verran, muttei täysin poista ongelmaa. /15/

3.6 Väsymistestaus

Väsymistestaus kuvastaa olosuhteita, joita testauskohde kohtaa elinkaarensa aikana testatuissa olosuhteissa. Väsymistestauksella havaitaan mahdolliset ongelmakohdat ennen niiden alkamista.

Halutuilla taajuuksilla pystytään suorittamaan elektrodynamiikalla ja servohydrauliikalla luotuja olosuhteita testauskohteelle. Esimerkkejä väsymistestauksesta on isku-, ponnahdus-, värinä-, aksiaalinen väsyminen, pyöritys-, 3-piste- ja 4-pisteväsyminen.

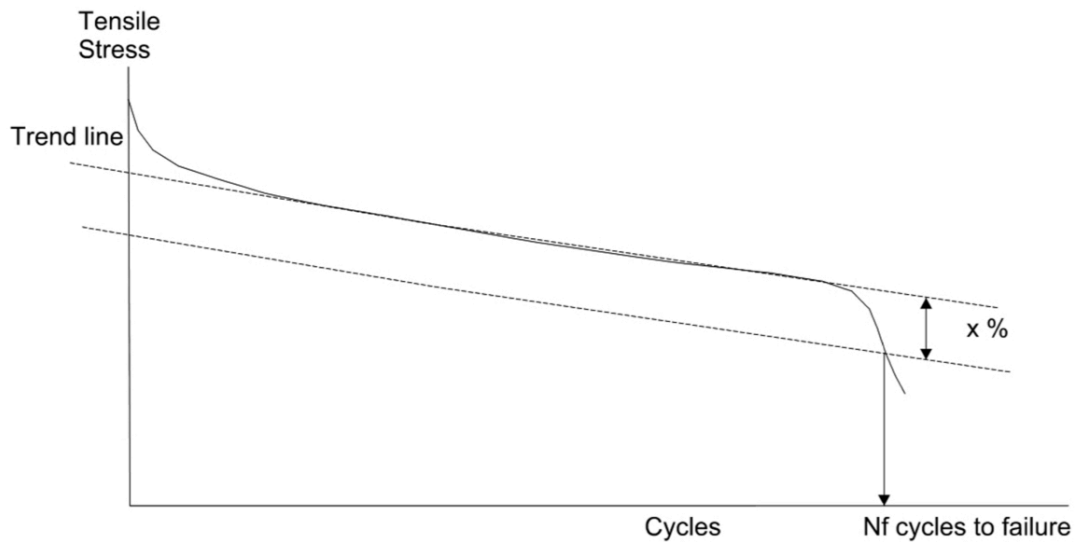
Väsymistestaaminen on melko laaja käsite ja sitä voidaan soveltaa taivutus-, vääntö, aksiaalisen suuntaisesti tehtävässä työntö- ja vetokokeissa.

Väsymistä kuvataan S-N tai Wöhlerin kaaviolla, käyrällä mistä nähdään toistuvia identtisiä aaltoliikkeessä tapahtuvia syklejä stressivoima käyrällä.

Jos erimerkiksi vaikka lyijykynää koittaa katkaista pikkuhiljaa käsin taivuttamalla, sekin on eräänlaista väsymistestaamista, siinähan silloin tapahtuu toistuvia stressisyklejä lyijykynälle.

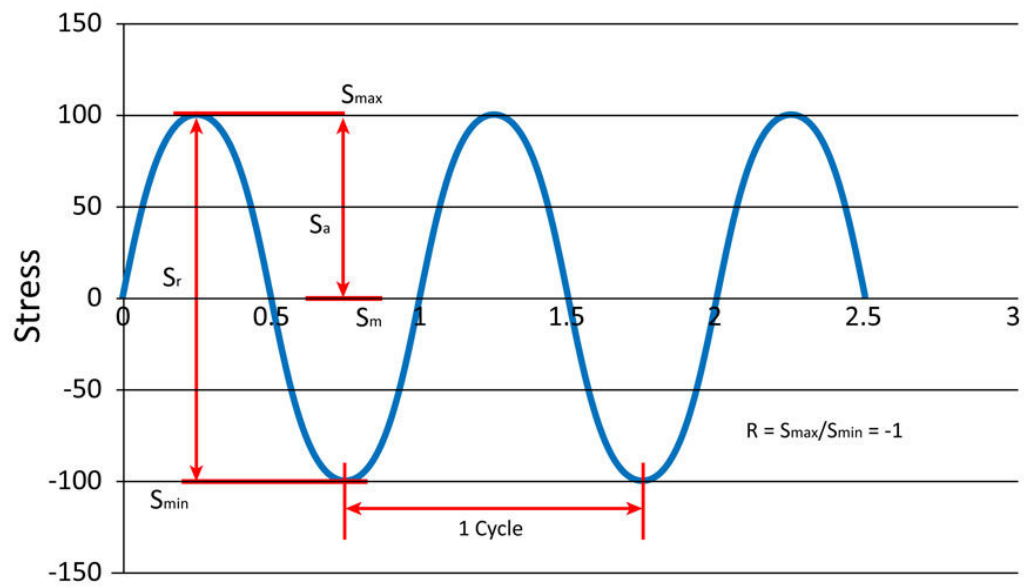
Matalasyklisessä väsymistestaamisessa luotettavien kestävyysraja tai väsymisluku tulosten saamiseksi väsymistestaamista voi joutua suorittamaan päiviä tai jopa viikkoja, korkeasyklisessä väsymistestaamisessa tulokset voidaan saada nopeammin.

Näin pitkäkestoisessa testaamisessa testaustaajuuksien kanssa kannattaa olla tarkkana, ettei testattava materiaali ylikuumene liian korkeiden taajuuksien vuoksi ja tulokset eivät ole enää luotettavia. Etenkin muovia testattaessa, metalleja voi testata jonkun verran korkeammilla taajuuksilla. /18/



Kuva 20. Väsymislujuuskokeen prosessin käyrä.

Kuvassa 20 näkyy kuinka materiaali vähitellen väsy trendiviivan mennessä alaspäin, kun syklit toistuu ja materiaali vähitellen pehmenee, jolloin materiaalin myötöraja tulee lopulta vastaan. Materiaalin väsymislujuus laskee syklien toistussa vähitellen, kunnes lopussa oikealla nähdään kuinka väsyminen on edennyt niin pitkälle, että lujuus romahtaa hetkessä, käyrä osoittaa voimakkaasti alaspäin ja materiaali antaa periksi. /19/



Kuva 21. Väsymislujuuskokeen stressisyklin aaltoliike.

Kuvassa 21 näkyy toistuvaa stressisykli aaltoliikettä, S_{max} - ja S_{min} -kohtien välissä aalto jatkaa liikettä. S_m on tasainen kuormitus. /18/

4 MITTAUS JA LAADUNVALVONTA

4.1 Koordinaattimittaus

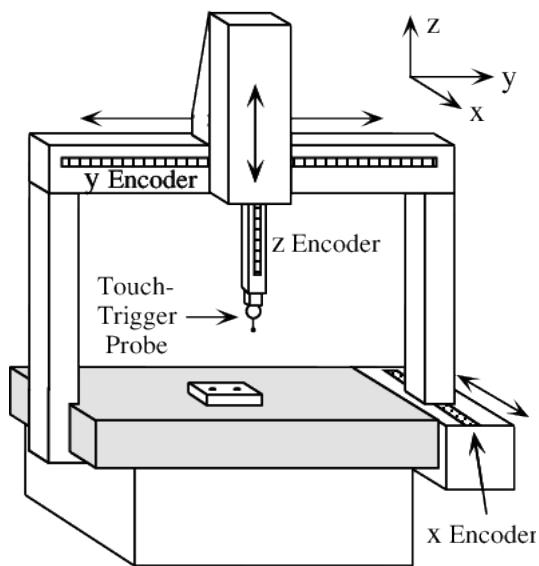
Perinteisessä koordinaattimittauksessa käytetään mittauskärkiä, joilla otetaan mittauspisteitä mitattavien kappaleiden pinnoilta X-, Y- ja Z-koordinaatiston suunnassa, otetuista mittauspisteistä koordinaattimittauskone laskee sitten halutut mittaustulokset. Koordinaattimittauksen tarkoitus on tarkistaa vastaako mitattava kappale niitä parametreja ja toleransseja mitä sille on suunniteltu.

Etuna koordinaattimittauksessa verrattuna käsimittalaitteisiin on sen automaattisuus, nopeus, tarkkuus ja ihmisen tekemän virheen vähentyminen.

Erityyppisiä koordinaattimittauslaitteita on kiinteämallinen pöytä, liikkuva pöytä, käsivarsimittaus ja optinen mittaus. Pöytämalliset koordinaattimittauskoneet on tarkimpia mittaustuloksiltaan, joten ne soveltuvat parhaiten kappaleisiin missä vaaditaan tarkkuutta tiukkojen toleranssien takia. Pöytämallisia koneita ei voi siirrellä, ne ovat paljon kalliimpia ja paljon hitaampia verrattuna etenkin optisiin laitteisiin.

Eli paljon riippuu mitattavasta kappaleesta, mikä kone soveltuu mittaukseen parhaiten.

Koordinaattimittauskoneet tarvitset myös kalibrointia tietyin väliajoin, jotta niillä voidaan ylläpitää mittaustarkkuutta. /20/



Kuva 22. Koordinaattimittauskone ja sen koordinaatisto.

Kuvassa 22 näkyy luonnos pöytämallisesta koordinaattimittauskoneesta, oikealla alhaalla näkyy koordinaatiston X-suunnassa kulkeva hihna, jonka suunnassa mittauspää kulkee eteen ja taakse, oikealla puolella näkyy myös nuoli ja suunnat. Ylhäällä keskellä näkyy nuoli, joka näyttää vasemmalle ja oikealle, siinä kohdassa kulkee koordinaatiston Y-suunta. Keskellä myös näkyy koordinaatiston Z-suunnassa menevä nuoli, joka osoittaa ylös ja alas, jonka suunnassa mittauskärki menee. Touch-Trigger Probe -kohdassa näkyy koordinaattimittauskoneen mittauspää ja pallon muotoinen mittauskärki. /22/

4.2 Laserskannaus



Kuva 23. Porschen virheiden tarkastelua laserskannerilla.

Kuvassa 23 näkyy kuinka Hexagonin AS1 -laserskanneria vasemmalla puolella käytetään käsin ja oikealla puolella laserskanneria käytetään nivelvarsimittauskoneen kanssa Porsche-merkkisen henkilöauton mahdollisten virheiden mittaamiseen. /23/

Laserskannauslaitteet kuuluvat optisiin koordinaattimittauslaitteisiin.

Laserskannauksen merkittävimänä etuna voidaan pitää sen nopeaa mittaamista verrattuna perinteisempiin pöytämallisiin koordinaattimittauskoneisiin, joilla mittaustuloksien hankkiminen voi viedä runsaasti aikaa varsinkin monimutkaisempien kappaleiden osalta joissa on paljon mitattavaa.

Laserskannausta voi tehdä käsikäyttöisesti ja skanneria on helppo liikuttaa.

Laserskannauslaite ottaa mittauksen aikana sadoista tuhansista reiluun miljoonaan kuvaa sekunnissa skannerista riippuen skannerimallista. Mitattavasta kappaleesta skannatut kuvat muodostaa tarkat mittaustulokset ja 3D-mallin kappaleesta lähes reaaliaikaisesti. /21/

Laserskannauksen merkittävän ajan säästön vuoksi myös kustannuksia saadaan alas, koska se vaatii vähemmän työtunteja ja työn tuottavuus kasvaa. Laserskannaus soveltuu erityisen hyvin isojen kappaleiden nopeaan mittaamiseen. /20/

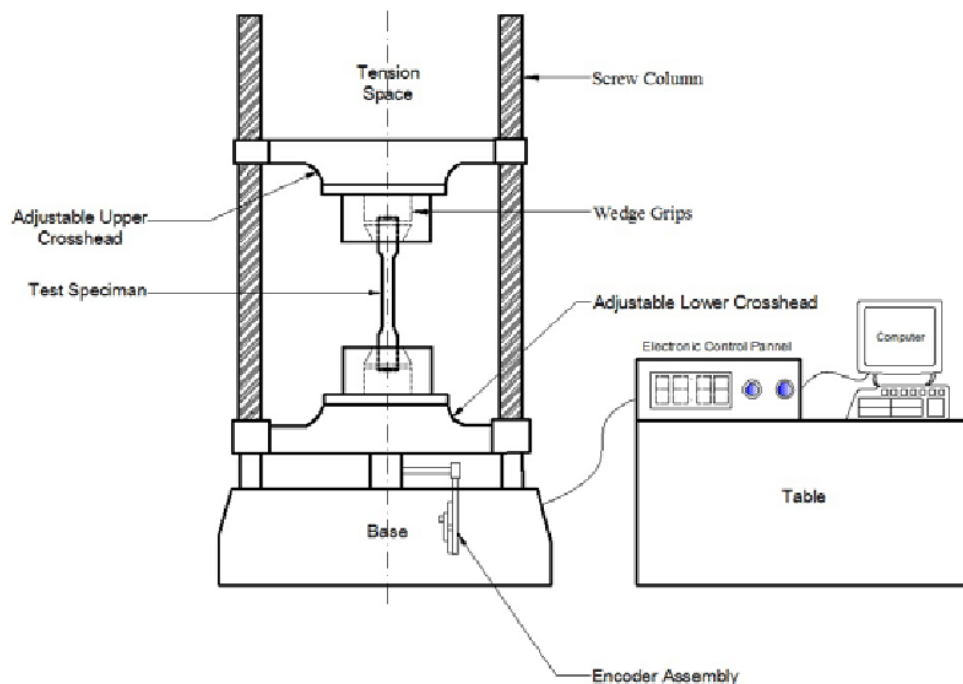
Myös perinteiseen koordinaattimittauskoneeseen saa kiinnitettyä laserskannaus- ta käyttäviä mittauskärkiä, joiden tarkkuus on yleensä parempi mitä käsikäyttöiset laserskannerit.

5 LAITEHANKINNAT

5.1 Vetokone

Vetokone voidaan selittää siten, että se on elektromeekaaninen tai elektrohydraulinen materiaalin vahvuuden testaamiseen ja sen muodonmuutoksen tarkastamiseen tarkoitettu kone.

Vetokone sisältää erilaisia pidikkeitä, koneistoa, mittareita, rungon ja ohjelmistoa.



Kuva 24. Vetokone ja siihen kuuluvat komponentit.

Kuvassa 24 näkyy runko, testattava kappale, vetokoneen pidikkeet, säädettävät tuet, vetokoneen enkooderikokoonpano, ohjauspaneeli, tietokone ja pöytä. /24/

Materiaalilaboratoriossa on jo ennestään Lloyd Instrumentsin vanha 10 kilonewtonin vetokone, mutta vanha ohjelmisto ei jostain syystä anna haluttuja veto-koetuloksia. Huolto tai ohjelmistopäivitys voisi hyvin riittää vetokoneelle tässä vaiheessa ja yhden hyvän laitetoimittajan onnistuin löytämään.

5.1.1 Kvalitest Oy

Lloyd Instrumentsin maahantuoja Kvalitest Oy tarjoaa uutta ohjelmistoa laboratorion vanhaan vetokoneeseen. Uuden vastaavan Lloyd -merkkisen vetokoneen voi myös ostaa Kvalitest-toimittajalta.

5.1.2 Ratkaisu vetokoneelle

Mielestäni vanhaan vetokoneeseen voisi tässä vaiheessa hommata uuden ohjelmiston ja kalibroinnin eikä uutta erillistä vetokonetta tarvitse ostaa.

Monikäyttöisellä väsymistestauskoneella minkä voi ostaa myöhemmin voi suorittaa myös vetokokeita, joten uusi vetokone tulisi sitten samassa koneessa missä väsymistestauskonekin tulee.

Erikseen vetokonetta ei tarvitse ostaa, mutta ohjelmiston voi vielä uusua vanhaan koneeseen, kalibroinnin tai muun huollon lisäksi, jotta vanhalla vetokoneella voi vielä tehdä vetokokeita.

5.2 Kovuusmittauskone

Kovuusmittaus koneella olisi tarkoitus tehdä Rockwell- ja joko Brinell- tai Vickers-kovuusmittauksia laboratoriossa, kumpikin käy. Mahdollisia toimittajia löytyi todella runsaasti, joten valinnan varaa löytyy kovuusmittauskoneissa.

5.2.1 Mitutoyo

Mitutoyo tarjoaa kovuusmittauslaitetta, jossa Brinell mittauskärki tulee mukaan. Kuvan koneella painetaan kärjellä testattavaan materiaaliin ja näytöstä näkyy kovuustulokset kilopondeina tai Newtonina.

HR-530 on mittauslaite mitä Mitutoyoon edustaja tarjosi, sillä voidaan suorittaa Rockwell-testejä. Lisähinnasta saa myös ostettua Brinell-kärjet ja kalibrointipalat.

Tarkoitus on, että kovuusmittaus koneella tehdään Rockwell- ja Brinell-kovuusmittauksia, Brinell-lisäkärjet kuuluisivat myös hankintalistalle. Kovuusmittauskoneen kalibrointipalat kuuluvat myös tarjoukseen.

5.2.2 Leco

Toinen potentiaalinen toimittaja kovuusmittauskoneelle on Leco, heillä toimii pohjoismaissa Leco Nordic AB maahantuojana, he tarjoavat LCR500-sarjan kovuusmittauskoneita, kalibrointipalat tulevat lisähinnasta mukaan. Ainakin Brinell ja mahdollisesti myös Vickers-paininkärjet on myös mahdollista ostaa samassa paketissa kovuusmittauskoneen mukana.

5.2.3 Anton Paar

Kolmas potentiaalinen toimittaja kovuusmittauskoneelle on Anton Paar, heiltä tarjottiin Micro Combi Tester 3 -niminen monikäyttöinen mittauskone. Kone on tribologiseen testaukseen tarkoitettu laite.

Rockwell- ja Vickers-kovuusmittaus toiminnon lisäksi koneella voi tehdä naarmutestejä, kulumistestejä, kitkatestejä, video mikroskoopilla tehtäviä pinnoitustestejä eri materiaaleille ja elastisuus-kimmoisuus testejä. Koneella voi tarkastaa monenlaisia materiaaleja, kuten orgaanisia ja epäorgaanisia aineita, kovia ja pehmeitä pinnoitteita ja bulkkimateriaaleja. Koneen mukana tulee muun muassa 29 tuumainen ultralaajanäyttö, ohjelmistoa, objektiiveja, kalibrointisetit, kameran ja graniittinen testausalusta jossa on X-, Y- ja Z-koordinaatiston suuntaisesti 3-akselinen moottoroitu ohjaus.

Tämän koneen elastisuus-kimmoisuustestillä voi mahdollisesti myös saada samat jännitys-venymäkäyrätulokset mitkä vetokoneellakin on saatavilla.

Anton Paar -yhtiöltä löytyy Suomesta myös sivuliike. Micro Combi Tester on näistä kolmesta kovuusmittauslaitteista selkeästi edistynein ja myös kallein vaihtoehto.

5.2.4 Buehler

Knorring Oy Ab niminen toimittaja tarjoaa Buehler Wilson Rockwell 574 -sarjan ja myös RH2150-mallin kovuusmittauskoneita. Mukaan voi ostaa ns. tavanomaisia varusteita, kuten kalibrointipalat ja eri timantti- ja pallokärkiä. Erityisempiä ominaisuuksia näillä kovuusmittauskoneilla on, että mittaustulokset voidaan siirtää suoraan USB-portin kautta Microsoft Excelliin tai muuhun vastaavaan ohjelmistoon.

Kovuusmittauskokeita voi RH2150- ja R574-kovuusmittauskoneilla suorittaa eri muotoisille kappaleille, muun muassa sylinterimäisille kappaleille, palloille, jousille ja akseleille erilaisilla lisäkärjillä, joita voi halutessaan ostaa mukaan. Materiaaleista puhuttaessa valuille, taotuille kappaleille, teräksille ja keraamisille kappaleille kovuusmittaus onnistuu myös. Kovuusmittauskoneisiin saa ostettua Brinell-kärkiä myös mukaan, kuten myös eri adaptoreita, lukituslaite, jalkakatkaisija, Turan muotoinen pöytä ja mittauskärjelle pidennys.

5.2.5 Shimadzu

Berner Pro -nimisellä laitetoimittajalla ei ollut suoraa Rockwell-testauslaitetta, mutta heillä oli Shimadzu HMV-G mallisarjan kovuusmittauskone, jolla saisi tehtyä Vickers-, Knoop- ja Brinell-kovuuksille mittauksia, jotka voisi laskennallisesti konvertoida myös Rockwell-kovuuksiin.

5.2.6 Semilab

Semilab-niminen laitetoimittaja, joka toimii myös Pohjois-Euroopan alueella tarjoaisi IND-1000 Tabletop Nanoindentation Tester -nimistä monikäyttöistä kovuusmittauskonetta. Koneessa on video mikroskooppi, X-, Y-, Z-koordinaatistossa

ohjaus, mahdollisuus materiaalin elastisuuden ja kimmoisuuden tarkasteluun, kovuusmittaus mahdollisuus, myötörajan tutkimiseen mahdollisuus, dynaamisen moduulin tutkimiseen mahdollisuus ja murtumissitkeyden tutkimiseen mahdollisuus. Koneella mahdollisuus myös orgaanisten aineiden tutkimiseen mikroskooppilla.

5.2.7 Ratkaisu kovuusmittauskoneelle

Mielestäni Mitutoyon kovuusmittauskone olisi ehkä järkevin hankinta ihan vain Mitutoyon merkin tunnettavuuden vuoksi, tavanomaiset kovuusmittauskoneet ovat suurin piirtein samanhintaisia toistensa kanssa suurimmalla osalla toimittajista, jotka kauppaavat kovuusmittauskoneita. Jos Mitutoyolta ostaa mittalaitteita, ne yleensä on aika hyviä. Kovuusmittauskoneissa ei mielestäni ole mitään merkityksellisiä eroja kuin ehkä vähän erilaiset mittausvoimaominaisuudet. Johonkin koneeseen saa mahdollisesti hommattua monipuolisemmin erilaisia paininkärkiä.

Toki Anton Paarin ja Semilabin tarjoamat koneet ovat todella edistyneitä, joilla voisi suorittaa vaikka minkälaisia testejä laboratoriossa, mutta hinta voi olla tähän hätään liian korkea ja luulisin, että mihinkään pinnoitetesteille, naarmutus-testeille, kitkatesteille, orgaanisten aineiden tutkimiselle edes niin kova tarve Technobotnian materiaalilaboratoriossa.



Kuva 25. Mitutoyo HR-530 -kovuusmittauskone.

Kuvassa 25 näkyy Mitutoyon HR-530 -kovuusmittauskone, paininkärki ja mittaris-tokuvapaneeli. /25/

5.3 Ultraäänimittauslaite

Hitsaussaumojen tarkistukselle olisi isoin tarve, kun puhutaan ultraäänimittaus-laitteesta. Yhtä kotimaista laitetoimittajaa/maahantuoja enempää ultraäänimit-tauslaitteille en löytänyt.

5.3.1 Sintrol Oy

Ultraäänilaitteiden Suomen maahantuoja Sintrol Oy tarjoaa tarjoaa uusia ultra-äänimittauslaitteita riippuen kuinka kehittyneen koneen haluaa ostaa. Myös luo-taimia voi ostaa erikseen.

5.3.2 Ratkaisu ultraäänimittauslaite

Omasta mielestäni, jos laboratorion käytössä oleva ultraäänimittauslaite toimii halutulla tavalla, niin sitä ei välttämättä vielä kannata vaihtaa. Laite on vasta noin

10 vuotta sitten ostettu, joka on paljon uudempi mitä monet muut laboratorion laitteet ovat, joten sen voisi mielestäni vielä pitää, jos siihen saadaan vain uusia luotaimia käyttöön ja kone vielä toimii. Tietysti uudemmat koneet voi olla edistyneempiä, jos noin 10 vuodessa kehitys on ehtinyt mennä eteenpäin ultraäänimittauskoneissa. Uuden ultraäänimittauskoneen saa kyllä ostettua samalta toimittajalta, jos koetaan, että se onkin tarpeen.

Hitsausseamojen tarkastukseen löytyvä kulmapala luotain ei kuitenkaan paljoa maksa, joten jos pelkällä uuden luotaimen ostolla selviäisi niin se ei todellakaan isoja lovea budjettiin tekisi.

Jos ei tarkasteta mitään todella vaativia virheitä niin esimerkiksi kalliille vaiheistetuille ultraäänimittauslaitteelle ei todennäköisesti ole tarvetta ainakaan vielä. Riippuu kyllä paljon ultraäänimittauksen käyttötarkoituksesta ja minkälaisia laboratoriotöitä halutaan tehdä, mutta ns. perusjuttuihin en näkisi sille tarvetta tässä vaiheessa.

5.4 Väsymistestauskone

Yhtenä kriteerinä väsymistestauskoneelle oli, että sillä voisi mitata värinää.

Zwick Roell -koneiden maahantuojana Tespro Oy tarjoaa Vibrophore 25 kN -nimistä väsymistestauskoneita lisävarusteineen ja ohjelmineen. Koneella voi mitata värinän ja väsymisen lisäksi myös vetoa ja puristusta.

Muita väsymistestauskoneita oli suomalaisilta maahantuojilta todella vaikea löytää, mutta Zwick Roell vaikuttaa hyvältä valmistajalta ja uskon, että heidän laitteensa ovat laadultaan todella hyviä.

Toimittajia löytyy ulkomailta jotka toimittaa väsymistestauskoneita, Ibertest- ja Instron -nimiset laitetoimittajat mitkä löysin, mutta mahdollinen huolto yms. voi olla hieman vaikea järjestää, jos Suomesta ei löydy jonkunnäköistä yleispätevää huoltoa näille koneille. Laitteet kyllä saisi myös näiltä toimittajilta, mutta huolto

voi olla hankala pitkien etäisyyksien, jos sellainen tulee joskus ellei lähempänä ole huoltoa väsymistestauskoneille.

Mutta nämä olisivat myös mielestäni mahdollisia toimittajia väsymistestauskoneelle, jos joku kotimainen huoltoratkaisu keksitään näille, lähtökohtaisesti kuitenkin suosisin Zwick Roell -maahantuojaan Vibrophore 25 kN (kilonewton) konetta, koska sillä varmasti saa mitattua värinää.

Vanhan Lloyd Instrumentsin vetokoneen voi mahdollisesti ainakin osittain korvata tällä uudemalla laitteella koska näillä voi tehdä vetokokeita myös, kone on monikäyttöinen.

5.5 Laserskannauslaite

Selvitin laserskannauslaitteiden toimittajilta heidän tarjontaa, löysin kaksi potentiaalista toimittajaa, joilta löytyy laserskannauslaitteita.

5.5.1 Hexagon

Teollisuuden mittauksiin keskittyvä yritys nimeltään Hexagon tarjoaa Absolute Arm 8530 -nivelsimittalaitteen, johon sisältyy AS1-laserskanneri, paketti tulisi sisältämään myös mm. tietokoneen, ohjelmiston, kolmijalan ja koulutukset.

Hexagonilla on toimipiste Suomessa ja sieltä saisi myös huoltopalvelut helposti.

Hexagonin tarjoama nivelsimittalaite on monikäyttöinen, koska siihen voi kiinnittää perinteisempiä kosketuksella mittaavia pallokärkiä, kuten myös moderneja laserskannereita.

AS1-laserskanneri mittaa 16 tuhannesosamillimetrin tarkkuudella eli vähän alle 2 millimetrin sadasosaa.

Kysyin vielä tarkempia laserskannereita Hexagonilta, tarkin skanneri mitä huomasin oli nimeltä HP-L-10.10 ja se ylisi 8 mikrometrin tarkkuuteen joka tarkoittaa 8 tuhannesosamillimetriä ja ottaa 600000 mittauspistettä sekunnissa.

Hexagonilta löytyy paljon erilaisia ilman kosketusta mittaavia optisia tai laserskannereita, jotka kiinnitetään koordinaattimittauskoneeseen, skanneri kuvaa kappaleen, laskee mitat ja luo tietokoneelle 3D-mallin kappaleesta nopeasti.

Heiltä löytyi myös skannauksella mittaavia kärkiä, joissa tarkkuus on laserskannereita huomattavasti parempi, mutta ovat myös nopeita mittaamaan.

5.5.2 Mitutoyo

Mitutoyon edustaja tarjosi koordinaattimittauskoneeseen kiinnitettävää laserskannaus kärkeä, jonka mittausepävarmuus olisi tuhannesosamillimetreissä ja lupasi, että Pirkkalassa Mitutoyon toimitiloissa voisi käydä tekemässä testimittauksia tai niitä voisi tehdä myös etänä.

Mielestäni olisi kyllä ehdottomasti hyvä tutustua paikan päällä Mitutoyon laserskannereihin, jotta hankintapäätöksen tekeminen olisi helpompaa.

Huomasin, että Mitutoyolta löytyy SurfaceMeasure 201FS -laserskannauslaite, jossa tarkkuus on 1.8 mikrometriä eli 1.8 tuhannesosamillimetriä, joka on laserskannerille huipputarkka. Skanneri kiinnitetään koordinaattimittauskoneeseen ja se toimii suurimmassa osassa Mitutoyon koordinaattimittauslaitteita. Skannerin mittausnopeus on 25000 mittauspistettä sekunnissa.

5.5.3 Ratkaisu laserskannerille

En vielä tiedä minkälaisia asioita laserskannauksessa painotetaan koulun puolesta ja mitkä ovat tarpeet, mikä on toivottu mittausepävarmuus, joten en vielä

osaa sanoa kummalta toimittajalta kannattaisi hankintoja vielä tehdä. Onko tavoitteena huippunopea lasermittaaminen vai huipputarkka lasermittaaminen?

Laserskannauslaitteiden mittausepävarmuus on vielä tällä hetkellä paljon suurempi kuin perinteisemmällä kosketuksella mittaavilla mittauskärjillä, laserskannereiden mittausepävarmuus on yleensä jopa kymmeniä mikrometriä, kun taas perinteiset kosketuksella mittaavat mittauskärjet mittaavat reilusti alle mikrometrin tarkkuudella. Laserskanneri kuitenkin voi itsessään riittää, jos tarkoitus ei ole mitata huipputarkkoja toleranssimittoja. Ja onhan laserskannerit nopeita mitaamaan.

Hexagonin AS1-laserskanneri paketti nivelvarsimittauskoneineen on mielestäni hyvä valinta myös sellaisenaan koska kärkiä voi vaihtaa nivelvarsimittauskoneeseen tarkempien kosketuksella mittaavien kärkien ja laserskannerin välillä.

Huomioisin Hexagonin HP-L-10.10 ja Mitutoyon SurfaceMeasure 201 FS - laserskannerit myös potentiaalisiksi vaihtoehdoksi, jos niiden tarkkuus riittää. Hexagonin skanneri oli nopeampi, Mitutoyon skanneri oli tarkempi.

Molemmilta toimittajilta löytyy myös koordinaattimittauskoneeseen kiinnitettäviä koskettavalla skannauksella mittaavia kärkiä, jotka ottavat mittauspisteitä nopeammin kuin pelkät yksinkertaiset koskettavat mittauskärjet ja ovat hyvin tarkkoja, reilusti alle mikrometrin.

Mitutoyon SurfaceMeasure 201 FS -laserskannausmittauslaite vaikutti mielestäni parhaimmalta vaihtoehdolta sen tarkkuuden takia, en ole kuitenkaan varma käykö se sellaisenaan laatulaboratorion koordinaattimittauskoneeseen vai tarvitsisiko se sitten toisen koneen. Jos laserskannereiden mittausepävarmuus ei ole riittävä niin sitten mielestäni koskettavalla skannauksella mittaava kärki olisi paras vaihtoehto.

Ei AS1-laserskanneri paketti nivelvarsimitauskoneen kanssakaan ole mielestäni huono valinta, tarkat toleroidut mitat, joita ei laserskannerilla voi mitata voidaan mitata vaan eri kärjellä, joka ottaa kosketuksella mittauspisteet.

5.6 5 vuoden investointisuunnitelma

Vetokoneen ratkaisu oli kiireellisin tapaus, joten se tulee heti ensimmäisenä. Lopuilla ratkaisut ovat prioriteettilistalla alempana, joten ne tulevat vetokoneen jälkeen. Investointisuunnitelmassa yritin arvioida ensisijaista tarvetta ja hankintahintaa, että kalleimmat hankinnat tulisivat mielellään viimeisenä. Kalleimmat hankinnat viimeiseksi siksi, että laitteita tai toimittajia voisi tarvittaessa vielä vaihtaa tai uudelleen harkita vielä ns. ”lennosta”, jos mieli muuttuu vielä.

Vuosi 1	Uusi ohjelmisto vetokoneeseen + kalibrointi
Vuosi 2	Uusi luotain ultraäänimittauskoneeseen
Vuosi 3	Uusi kovuusmittauskone Rockwell ja Brinell-mittakärjillä varustettuna
Vuosi 4	Laserskannauslaite tai koskettavalla skannauksella mittaava kärki
Vuosi 5	Vibrophone-laite / väsymistestauskone

Taulukko 1. 5-vuotinen investointisuunnitelma

6 YHTEENVETO

Laitehankinnoissa pidin tärkeänä, että hankittaville laitteille löytyisi Suomessa toimiva maahantuoja ja huoltopalvelu, koska se varmasti tekee laitteiden hankimisprosessista ja laitteiden huoltamisesta helpompaa.

Testauslaitteita valmistavia yrityksiä löytyi lopulta riittävä määrä, kun tarpeeksi kauan jaksoi etsiä.

Laboratoriotöitä näillä mahdollisilla uusilla laitteilla voisi keksiä vaikka hitsaus- saumojen tutkimista ultraäänikokeella, erilaisia väsymiskokeita, erilaisille materiaaleille kovuuskokeita ja laserskanneriin tutustumista plus joku pieni mittaustyö.

Työ onnistui kohtuullisen hyvin, mutta haasteita asetti se, että osasin laitetuottajille muotoilla tarkalleen minkälaiselle laitteelle on tarvetta koska en vielä tien- nyt esimerkiksi väsymistestauslaitteiden eri ominaisuuksista oikeastaan mitään. Oikeanlaisen väsymistestaus laitteen löytäminen oli laitehankinnoista vaikein osuus omasta mielestäni ja suomalaista maahantuojaa oli vaikea löytää. Muille laitteille löytyi toimittajat paljon helpommin.

Esimerkiksi käytin aikaa sääolosuhdekaappien etsimiseen, kun sanottiin, että etsi vanhennuslaitetta, joten käsitin tuon vanhennuslaite termin ymmärtäminen oli vähän vaikea itselleni, vaikka oikeasti taidettiin tarkoittaa näitä väsymisentes- taamiseen soveltuvia laitteita.

Kyselyäni testauslaitteita minulle tarjottiin myös aika pitkälle kehittyneitä laittei- ta, joilla pystyisi monia eri testejä tekemään, eli monikäyttöisiä materiaalintesta- us koneita, mutta hinnat voi olla liian korkeita.

Työn loppuvaiheessa tuli paljon vielä tarjouksia etenkin kovuusmittauskoneita kauppaavilta toimittajilta, johon lähetin yhteydenottopyynnöt kuukausia sitten azom.com verkkosivulla yhteydenotto kohdassa.

Yritin työssäni käyttää mahdollisimman selventäviä ja helposti ymmärrettäviä kuvia, kuten myös selkolukuista tekstiä, että kuka tahansa lukija pystyisi ymmärtämään tämän työn tarkoituksen ja sen tavoitteet.

LÄHTEET

/1/ Sorsa, J., Hanste, S., Uschanov, T., Mattson, A., Hyvärinen, H., Kimpimäki, K. 2015. Materiaalitekniikka Kone + Metall. 1. Painos. Sanoma Pro Oy. Viitattu 23.08.2021

/2/ Nuclear-Power verkkosivu. Fracture Strenght - Fracture Point. Viitattu 29.09.2021 <https://www.nuclear-power.com/nuclear-engineering/materials-science/material-properties/strength/stress-strain-curve-stress-strain-diagram/fracture-strength-fracture-point/>

/3/ Youtube verkkosivu. Charpy Impact Test. Viitattu 29.09.2021 https://www.youtube.com/watch?v=tpGhqQvftAo&ab_channel=MaterialsScience2000

/4/ Manufacturing Guide verkkosivu. Charpy Impact Test. Viitattu 23.08.2021 <https://www.manufacturingguide.com/en/charpy-impact-test>

/5/ Impact Solutions verkkosivu. Impact Testing. Viitattu 17.09.2021 <https://www.impact-solutions.co.uk/impact-testing/>

/6/ Element verkkosivu. Charpy vs Izod Impact. Viitattu 21.09.2021 <https://www.element.com/nucleus/2016/charpy-vs-izod-impact/>

/7/ Nuclear-Power verkkosivu. Vickers Hardness Test – Vickers Hardness Number. Viitattu 29.09.2021 <https://www.nuclear-power.com/nuclear-engineering/materials-science/material-properties/hardness/vickers-hardness-test-vickers-hardness-number/>

/8/ Gordon England verkkosivu. Vickers Hardness Test. Viitattu 17.09.2021 <https://www.gordonengland.co.uk/hardness/vickers.htm>

/9/ ePR News verkkosivu. What's Vickers Hardness Tester. Viitattu 29.09.2021 <https://www.eprnews.com/whats-vickers-hardness-tester-492801/>

/10/ Material-Properties verkkosivu. What is Brinell Hardness Test – Definition. Viitattu 29.09.2021 <https://www.material-properties.org/what-is-brinell-hardness-test-definition/>

/11/ Nuclear-Power verkkosivu. Rockwell Hardness Test. Viitattu 23.08.2021 <https://www.nuclear-power.com/nuclear-engineering/materials-science/material-properties/hardness/rockwell-hardness-test/>

/12/ Hardness testers verkkosivu. Rockwell Hardness Testing. Viitattu 29.09.2021 <https://www.hardnesstesters.com/test-types/rockwell-hardness-testing>

/13/ Science Direct verkkosivu. Rockwell Hardness. Viitattu 29.09.2021 <https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/rockwell-hardness>

/14/ Youtube verkkosivu. Ultrasonic Testing. Viitattu 27.09.2021. Lähde: https://www.youtube.com/watch?v=UM6XKvXWVFA&ab_channel=MaterialsScience2000

/15/ Tec-Science verkkosivu. Ultrasonic Testing (UT). Viitattu 23.08.2021 <https://www.tec-science.com/material-science/material-testing/ultrasonic-testing-ut/>

/16/ Science-Engineering verkkosivu. What is Phased Array Ultrasonic Testing? Viitattu 29.09.2021 <https://www.science-engineering.co.uk/what-is-phased-array-ultrasonic-testing-paut/>

/17/ Novotest verkkosivu. Phased Array Ultrasonic Flaw Detector. Viitattu 27.09.2021 <http://www.novotest.biz/phased-arrays-ultrasonic-flaw-detector/>

/18/ Quality Magazine verkkosivu. Stress-Life Fatigue Testing Basics. Viitattu 17.09.2021 <https://www.qualitymag.com/articles/94171-stress-life-fatigue-testing-basics/>

/19/ Zwick Roell verkkosivu. Low Cycle Fatigue (LCF) Tests to ISO 12106 / ASTM E606. Viitattu 17.09.2021 <https://www.zwickroell.com/industries/materials-testing/fatigue-test/low-cycle-fatigue-lcf-iso-12106-astm-e606/>

/20/ Creaform verkkosivu. What is CMM. Viitattu 23.08.2021 <https://www.creaform3d.com/blog/what-is-cmm-and-their-types/#>

/21/ Youtube verkkosivu. Introducing 3D Laser Scanning. Viitattu 23.08.2021 https://www.youtube.com/watch?v=Sd0KBj5UT5Q&ab_channel=NationalGridUK

/22/ ResearchGate verkkosivu. Sketch of a typical CMM uploaded by W.E. Singhose. Viitattu 27.09.2021 https://www.researchgate.net/figure/Sketch-of-a-Typical-CMM_fig1_2584285

/23/ Hexagon verkkosivu. Absolute Scanner: Modular. Viitattu 30.09.2021 <https://www.hexagonmi.com/fi-FI/products/3d-laser-scanners/absolute-scanner/absolute-scanner-modular>

/24/ ResearchGate verkkosivu. Schematic diagram of Tensile Testing Machine uploaded by Sabarinathan Chellamuthu. Viitattu 27.09.2021 https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-of-Tensile-Testing-Machine_fig5_289029747

/25/ Penn Tool Co., Inc verkkosivu. Mitutoyo Rockwell Hardness Testing Machine HR-530 – 810-233-23A. Viitattu 27.09.2021

<https://www.penntoolco.com/mitutoyo-rockwell-hardness-testing-machine-hr-530-810-233-23a/#mz-expanded-view-5602778>

LIITTEET

LIITE 1

Rockwell hardness testing machine HR-530 Series



The HR-530 series offers five different hardness testing methods: Rockwell, Rockwell Superficial, Brinell, Brinell Depth Measurement and Plastic Testing in a single unit. This makes it a versatile tool ready to tackle tasks in production, goods inwards inspection and quality control in general.

HR-530 (No. 810-236)

Maximum workpiece size:
Height 250 mm,
depth 150 mm



HR-530L (No. 810-336)

Maximum workpiece size:
Height 395 mm,
depth 150 mm



Applicable scales and standards

ISO 6508, JIS 7726	Diamond	1.5875 mm Ball	3.175 mm Ball	6.35 mm Ball	12.7 mm Ball
Rockwell Scales	HRA	HRF	HRH	HRL	HRR
	HRD	HRB	HRE	HRM	HRS
	HRC	HRG	HRK	HRP	HRV
Rockwell Superficial Scales	HR15N	HR15T	HR15W	HR15X	HR15Y
	HR30N	HR20T	HR30W	HR30X	HR30Y
	HR45N	HR45T	HR45W	HR45X	HR45Y

ISO 2039-2, ASTM D785, JIS K 7202	3.175 mm Ball	6.35 mm Ball	12.7 mm Ball
Rockwell Plastic Test Scales	HRE	HRL	HRR
	HRK	HRM	
Rockwell α Test			(HRR)

ISO 6506, JIS 7726	1.0 mm Ball	2.5 mm Ball	5.0 mm Ball	10.0 mm Ball
Brinell Scales indentation only	HBW 1/10	HBW 2.5/6.25	HBW 5/25	HBW 10/100
	HBW 1/30	HBW 2.5/15.625	HBW 5/62.5	
		HBW 2.5/31.25	HBW 5/125	
		HBW 2.5/62.5		
	HBW 2.5/187.5			

VDI/VDE 2616-1	2.5 mm Ball
Brinell depth measurement	HBD 2.5/62.5
	HBD 2.5/187.5

LIITE 2

Rockwell-Type Testing

LCR/LR-SERIES

LR Series Rockwell-Type Testing Systems are built to handle your high-volume workloads without sacrificing accuracy or repeatability. Choose from a variety of models, including analog, digital, and twin testers. Light-load Brinell and free loads available on the LCR500. Conforms to ASTM E18, ISO 6508-2, JIS B 7726, JIS K 7202, and JIS Z 2245.

LR110

- Available in Rockwell-type or Superficial models
- User-friendly digital display showing hardness result and converted value
- OK/NG indicators
- LED illumination of sample aids in indent placement
- Automatic start
- Enclosed dead weight system
- Standard RS232 output for data transfer comes standard
- Small footprint



LCR500

- Standard with Rockwell-type and Superficial scales
- Customizable Rockwell-type test using minor/major load combinations from 3 to 200 kgf
- Advanced touch-screen display
- OK/NG indicators
- LED illumination of sample aids in indent placement
- Standard RS232 output for data transfer comes standard
- Closed loop, self-compensating load cell technology
- Small footprint
- Light-load Brinell testing*

*Carbide ball indenter and measuring device required.



LR310

- Standard with Rockwell-type and Superficial scales
- User-friendly digital display showing hardness result and converted value
- OK/NG indicators
- LED illumination of sample aids in indent placement
- Automatic start
- Enclosed dead weight system
- Standard RS232 output for data transfer comes standard
- Small footprint



Refer to the LR Series Specification Sheet for complete product information and available configurations (form no. 209-094-003).

LIITEAINEISTOT

Liite 1

<https://knowledge.leco.com/component/edocman/lr-rockwell-type-hardness-tester-brochure/viewdocument?Itemid=86>

Liite 2

https://www.mitutoyo.fi/application/files/3915/5888/7970/PRE1476_HR-530_WEB.pdf