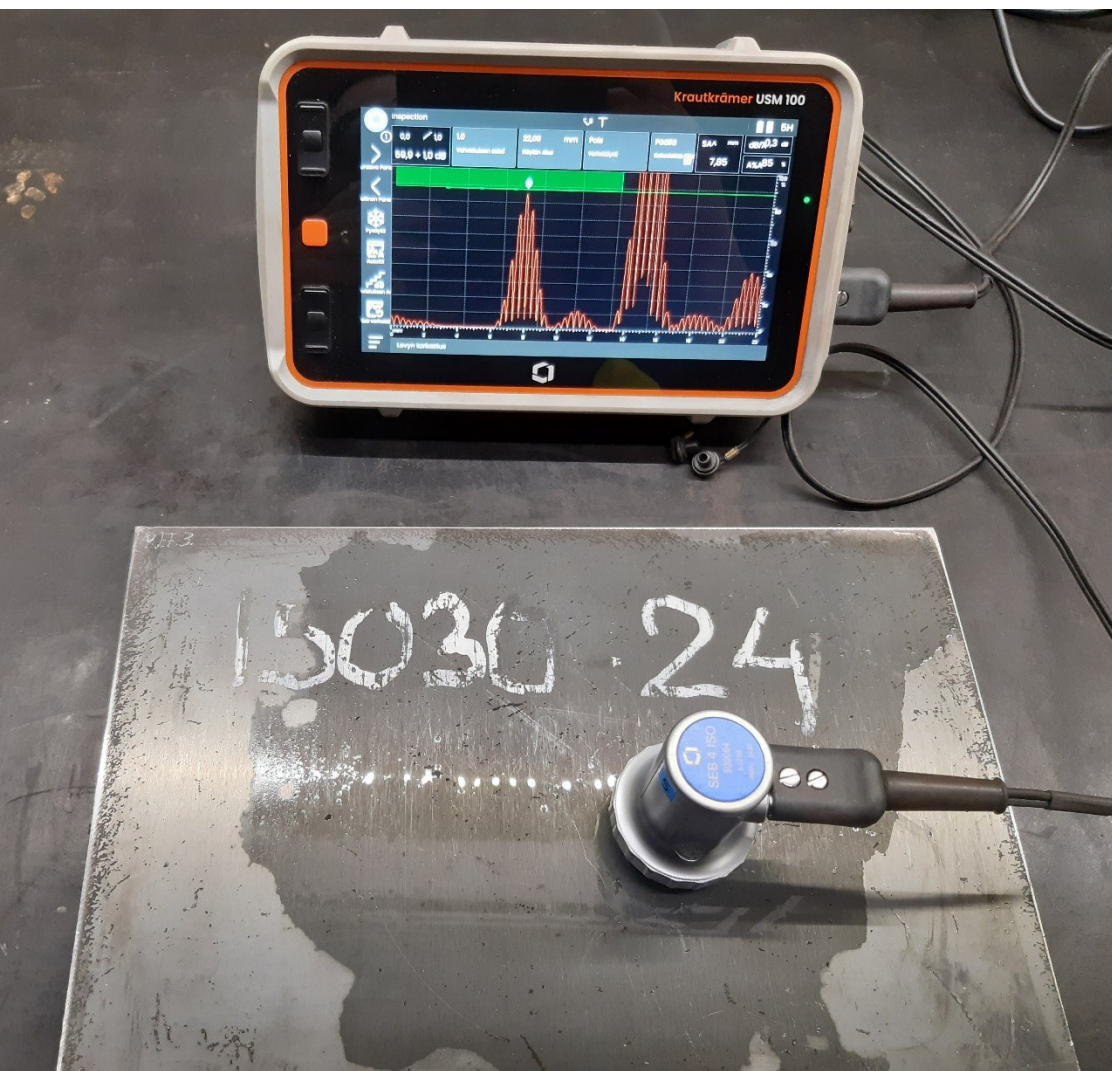


Antti Heikkilä

Ultraäänitarkastuksen luotettavuusanalyysi



Insinööri (AMK)

Konetekniikka

Syksy 2023



KAMK • University
of Applied Sciences

Tiivistelmä

Tekijä: Antti Heikkilä

Työn nimi: Ultraäänitarkastuksen luotettavuusanalyysi

Tutkintonimike: Insinööri (AMK), konetekniikka

Asiasanat: Ultraäänitarkastus, luotettavuus, havaitsemisen todennäköisyys, SSAB, NDT

Tämän opinnäytetyön toimeksiantajana oli SSAB Europe OY Raahen tehtaan laboratorion rikkomaton aineenkoestus (NDT). Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää kuumavalssattujen kvarttolevyjen ultraäänitarkastuksen luotettavuuteen vaikuttavia tekijöitä ja tehdä ultraäänitarkastuksen luotettavuusanalyysi. Ultraäänitarkastuksessa tutkitaan kuumavalssattujen levyjen sisäisiä vikoja.

Tutkimuksessa selvitettiin ultraäänitarkastajien tarkastustoimintaa koekappaleisiin koneistettuja keinotekoisia vikoja etsimällä. Työn aloitin etsimällä aihetta käsitteleviä julkaisuja, tutkimuksia ja standardeja. Ultraäänitarkastuksesta ja sen luotettavuudesta kertovaan materiaaliin tutustumalla selvisi, miten tutkimuksia on tehty ja miten standardit niitä ohjeistavat. Tutkimuksessa käytettiin samoja tarkastuslaitteistoa, standardeja ja työhjeita kuin normaalisti ultraäänitarkastuksia tehdessä.

Tuloksena saatiin tietoa ultraäänitarkastuksen luotettavuuteen vaikuttavista tekijöistä. Tutkimuksessa saatiin selville, miten vian koko vaikuttaa sen havaitsemiseen. Vikakoon kasvaessa havaittavuus paranee, kuten oletettiin. Pinnanlaadun ja vian syvyyden vaihtelut eivät näytä vaikuttavan testin tuloksiin. Raportoitujen vikojen sijainnit poikkesivat keskimäärin 3 mm todellisilta sijainneiltaan ja syvyydet poikkesivat alle 2 mm todellisista syvyyksistä. Raportoitujen vikojen koot oli mitoitettu keskimäärin 200 mm² liian suureksi.

Löytyneiden vikojen sijaintien ja syvyyksien määrittelyt onnistuivat hyvin, mutta pinta-alojen määrittelyssä oli reilusti ylimitoituksia, mikä kertoo ultraääniluotaimen sopimattomuudesta pienten vikojen koon määrittelyyn. Ultraäänitarkastuksen koodikohtaisissa ohjeissa vian pinta-alan määrittelyssä ohjeistetaan käyttämään alle 60 mm:n paksuisissa levyissä pienempää Ø 10 mm:n kokoista kaksikideluotainta, joka soveltuu paremmin vian pinta-alan määrittelyyn.

Abstract

Author(s): Antti Heikkilä

Title of the Publication: Evaluation of the reliability of the ultrasound examination

Degree Title: Bachelor of Engineering, Mechanical Engineering

Keywords: Ultrasound, reliability, probability of detection, SSAB, NDT

This thesis was commissioned by the non-destructive material testing (NDT) of the Raahе factory laboratory of SSAB Europe OY. The purpose of the thesis was to find out the factors affecting the reliability of the ultrasonic inspection of hot-rolled plates and to make a reliability analysis of the ultrasonic inspection. Ultrasonic inspection examines internal defects of hot-rolled plates.

The study investigated the inspection activities of ultrasonic inspectors by looking for artificial defects machined into the test pieces. I started the work by searching for publications, studies and standards dealing with the topic. Examining the material on ultrasound examination and its reliability, it became clear how the examinations were carried out and how the standards guide them. The study used the same inspection equipment, standards and work instructions as in normal ultrasound inspections.

As a result, information was obtained about the factors affecting the reliability of ultrasound examinations. The study investigated how the size of the defect affects its detection. As the defect size increases, the detectability improves, as expected. Variations in surface quality and depth of defects do not seem to affect the test results. The locations of the reported defects differed by an average of 3 mm from the actual locations and the depths by less than 2 mm from the actual depths. The sizes of reported defects were measured to be 200 mm² too large on average.

The determinations of the locations and depths of the defects found had been successful, but the determination of the surface areas was significantly over-dimensioned, indicating the inadequacy of the ultrasonic probe for determining the size of small defects. In the ultrasonic inspection code-specific instructions for determining the defect area, a smaller \varnothing 10 mm double crystal sensor is recommended for plates less than 60 mm thick, which is more suitable for determining the defect area.

Sisällys

1	Johdanto	1
2	SSAB	2
2.1	SSAB yhtiönä.....	2
2.2	Raahen tehdas.....	3
2.3	Kohti fossiilivapaata tuotantoa	4
2.4	Laboratoriot ja laaduntarkastus	5
3	NDT	6
3.1	Ultraäänitarkastuksen fysiikka	6
3.2	Luotaimet	7
3.3	Levyn ultraäänitarkastus	10
3.3.1	Tarkastukseen vaikuttavat standardit ja vaatimukset	12
3.3.2	Henkilöstö	12
3.3.3	Tarkastukseen tarvittavat tiedot.....	13
3.3.4	Ultraäänilaitteiston vaatimukset.....	13
3.3.5	Luotaimen valinta.....	14
3.3.6	Kytkeäaine ja vertailukappaleet	14
3.3.7	Laitteiston säätäminen ja toiminnan tarkastaminen	15
3.3.8	Tarkastusta edeltävät toimenpiteet ja tarkastuslaajuus.....	18
3.3.9	Luotaussuunnitelma ja tarkastusohje	19
3.3.10	Tarkastuspöytäkirja	20
3.3.11	Työturvallisuus	20
4	Tarkastuksen luotettavuus	21
4.1	Luotettavuuteen vaikuttavat tekijät	21
4.2	Tarkastaja	22
4.3	Laitteet ja ympäristö	22
4.4	Menetelmät ja kohde	23
5	Koekappaleiden ultraäänitarkastus.....	24
5.1	Koekappaleet.....	24
5.2	Tarkastuslaitteisto	24
5.3	Tarkastustulokset	25

5.4	Tulosten arviointi.....	28
6	Johtopäätökset ja jatkotoimenpiteet	29
6.1	Johtopäätökset.....	29
6.2	Jatkotoimenpiteet	29
	Lähteet	30
	Liitteet	

Termit ja lyhenteet

Keinotekoinen vika	Erikseen valmistettu poraus tai koneistettu muoto, joka eroaa fysikaalisesti todellisesta viasta.
Levy	Kuumavalssattu teräslevy.
Pätevöinti	Toimenpiteet ja arviointi, joilla varmistetaan järjestelmälle asetettujen vaatimusten täytyminen.
Pätevöintielin	Riippumaton asiantuntijaorganisaatio, joka järjestää pätevöintikokeen, myöntää pätevöintitodistuksen ja ylläpitää pätevöinti järjestelmää.
Suotauma	Havaittu vikanäyttämä, joka on määritetty suotaumaksi.
Tarkastusjärjestelmä	Tarkastusohje, -laitteisto ja -henkilöstö.
Vika	Epäjatkuvuus tarkastuskohteessa, jota ei ole vielä määritetty.
ASME	The American Society of Mechanical Engineers.
NDT	Nondestructive Testing, Rikkomattomat aineenkoetusmenetelmät; Ultraääni, Tunkeumaneste, Magneettijauhe, Pyörrevirta, Radiografia
POD	Probability of detection. Vikojen havaitsemisen todennäköisyys.
URS	Ultrasonic reporting system, Ultraäänitarkastuspöytäkirjojen raportointijärjestelmä.

1 Johdanto

Työskentelen SSAB:n Raahen tehtaalla laaduntarkastajana valmistuksen ja toimitusten hallinnassa. Tein työharjoittelun samalla osastolla, työharjoittelun tarkoituksena oli laajentaa työnkuvaa laadunvalvonnan ja -hallinnan osilla, jotka eivät kuulu laaduntarkastajan normaaliin työnkuvaan. Työharjoittelun aikana minulle tarjottiin opinnäytetyöksi ultraäänitarkastuksen luotettavuusanalyysiä, joka on hyvä jatkumo ultraäänitekniikan ja siihen liittyvien toimintojen syventämiseen.

Työn tavoitteena oli selvittää ultraäänitarkastuksen luotettavuuteen vaikuttavia asioita ja tehdä luotettavuusanalyysi. Tässä työssä keskityttiin levyjen perusaineen ultraäänitarkastuksiin, muut ultraäänitarkastukset rajattiin tehtävän ulkopuolelle. Perusperiaatteena oli selvittää, kuinka hyvin tuotannossa työskentelevät ultraäänitarkastajat löytävät levykappaleisiin koneistetut keinotekoiset viat.

NDT-tarkastus on pääosin kvalitatiivista testausta, joten numeeristen mittausepävarmuuksien määrittäminen on vaikeaa. Tässä opinnäytetyössä on selvitetty tekijöitä, jotka vaikuttavat mittausepävarmuuteen sekä arvioitu niiden vaikuttavuutta. Opinnäytetyössä on myös määritelty menettelyitä, joilla voidaan minimoida eri tekijöiden vaikutus mittausepävarmuuden kasvamiseen.

2 SSAB

2.1 SSAB yhtiönä

SSAB on maailmanlaajuisesti toimiva teräsyhtiö ja johtava erikoislujien terästen ja niihin liittyvien palveluiden toimittaja. SSAB:n tavoitteena on tuoda fossiilivapaa teräs markkinoille maailman ensimmäisenä teräsyhtiönä vuonna 2026 ja päästä suurelta osin eroon oman toimintamme hiilidioksidipäästöistä noin vuonna 2030. SSAB on jaettu viiteen liiketoimintasegmenttiin. Kolmeen teräsdivisioonaan: SSAB Special Steels, SSAB Europe ja SSAB Americas sekä kahteen kokonaan omistettuun tytäryhtiöön: Tibnor ja Ruukki Construction. Työntekijöitä on noin 14500 yli 50 maassa. Liikevaihto vuonna 2022 oli 126 miljardia kruunua. Vuosittainen terästuotantokapasiteetti on 8,8 miljoonaa tonnia. [1.] SSAB käyttää 12 tuotebrändiä (Kuva 1).

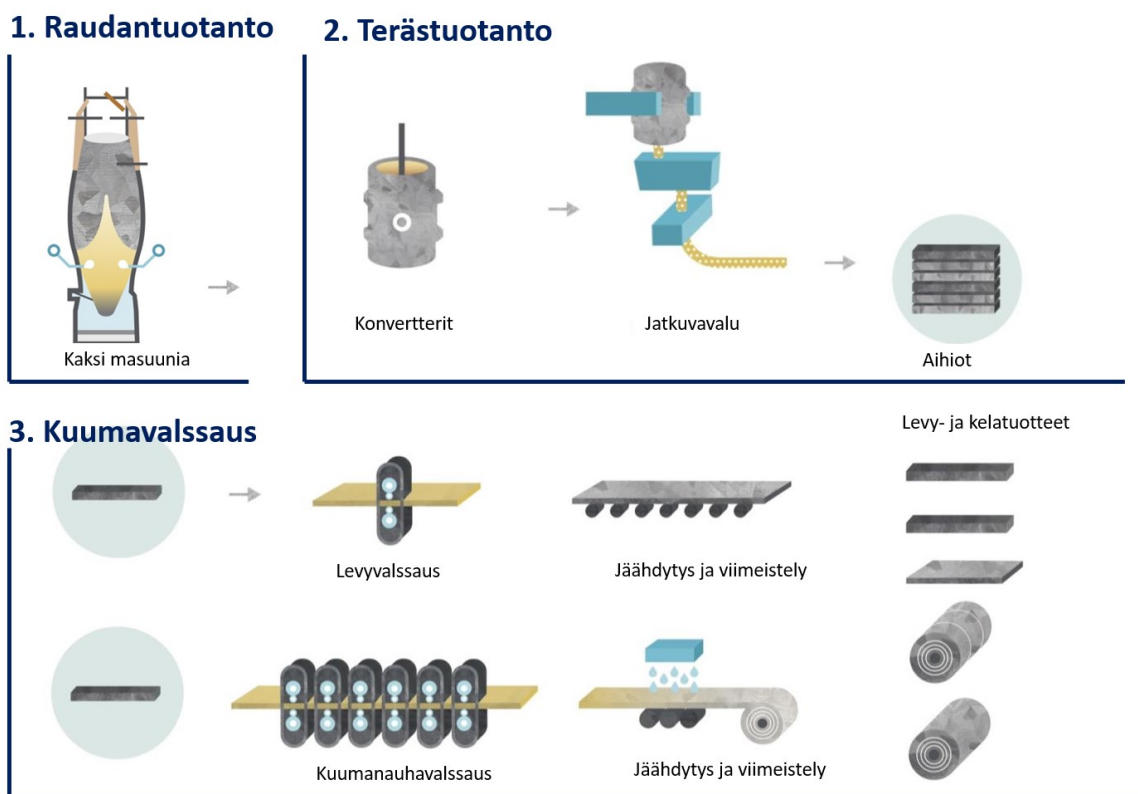


Kuva 1. SSAB:n tuotebrändit [1]

2.2 Raahen tehdas

Raahen integroitutehdas on perustettu 1960. Päätuotteita kuumavalssatut teräslevyt ja -kelat. Työntekijöitä Raahessa n. 2500. Urakoitsijoilla työntekijöitä yli 500. Rautatuotanto alkoi vuonna 1964. Teräksen ja kuumavalssattujen levyjen tuotanto alkoi 1967, valssaamo saatiin valmiiksi 1971. Toinen masuuni valmistui 1975. Vuoteen 2014 saakka Raahen-tehdas kuului Rautaruukkiin, kunnes yhtiö sulautui osaksi SSAB:tä.

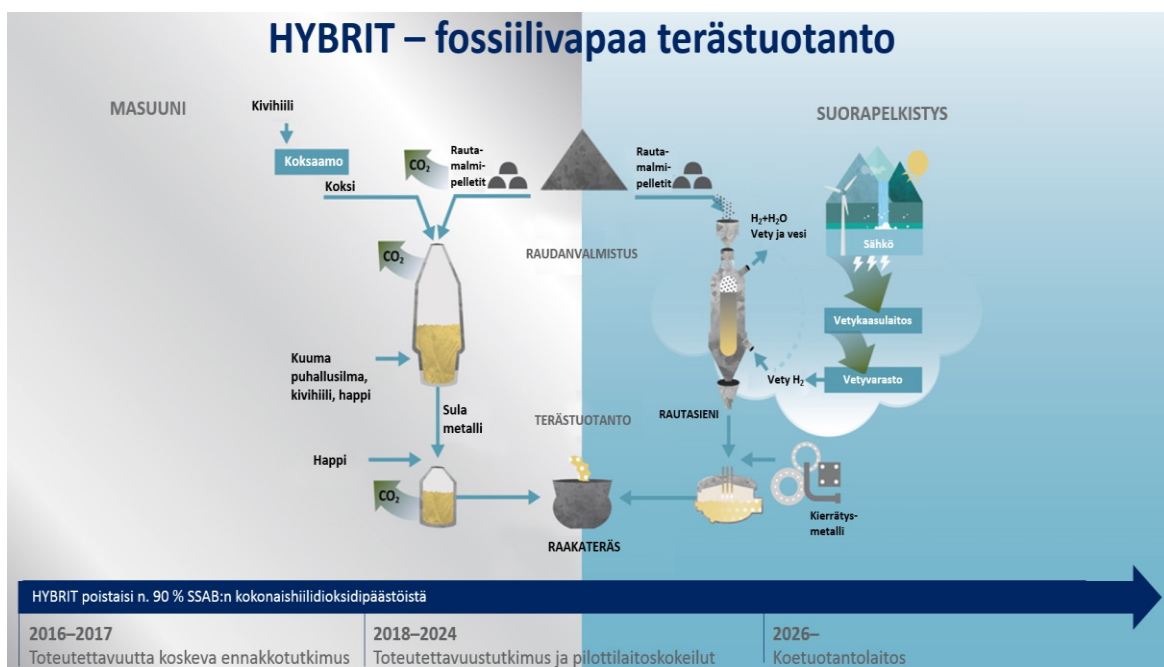
Raahen tehdasalueella on useita ns. tehtaita tehtaan sisällä (kuva 2). Raakarautaa valmistetaan tehtaassa kahdessa masuunissa. Terässulatolla raakarautaa jalostetaan teräkseksi. Kuumavalssaamalla teräsaihoista valssataan levy- tai kelatuotteita. Lisäksi alueella on koksaaamo ja voimalaitos. Koksaaamalla valmistetaan koksia ja koksikaasua. Koksia käytetään raudantuotannossa pelkistysaineena ja koksikaasua hyödynnetään tuotantoprosessissa polttoaineena. Voimalaitos tuottaa terästehtaan prosessikaasuista sähköä ja lämpöä. Voimalaitoksen tuotanto kattaa jopa 72 % koko tehtaassa sähkön kulutuksesta. [2.]



Kuva 2. Raahen tehtaassa prosessit voidaan jakaa karkeasti kolmeen osaan. [2]

2.3 Kohti fossiilivapaata tuotantoa

SSAB:n tavoitteena on siirtyä HYBRIT-hankkeen kautta vaiheittain kohti fossiilivapaata teräksen-
tuotantoa (kuva 3). Tavoitteena on päästä suurelta osin eroon oman tuotannon hiilidioksidipääs-
töistä noin vuonna 2030. Tavoitteeseen pyritään rakentamalla uusi pohjoismainen tuotantojär-
jestelmä, joka tuo lisäkapasiteettia premium-tuotteille, paremman kustannusasetaman ja fossiili-
vapaan tuotantojärjestelmän. Uuden suunnitelman ajatuksena on Ruotsin Luulajan ja Raahen
tehtaiden uudistaminen kustannustehokkaalla minimills-tuotannolla, johon sisältyvät valokaari-
unit ja valssaamot. Elokuussa 2020 SSAB käynnisti maailman ensimmäisen fossiilivapaan teräk-
sen pilottilaitoksen Ruotsin Luulajassa. Heinäkuussa 2021 valmistettiin ensimmäiset fossiilivapaat
teräkset ja toimitettiin asiakkaalle. [2.]



Kuva 3. Masuuniprosessi verrattuna suorapelkistykseen. [2]

2.4 Laboratoriot ja laaduntarkastus

Laboratoriot ja laaduntarkastus kuuluvat Valmistuksen ja toimitusten ohjausorganisaation alaisuuteen. Raahen tehtaan laboratoriot on yksi Suomen suurimmista laboratorion kokonaisuuksista. Analyysilaboratoriossa analysoidaan noin 240 000 näytettä, joista tehdään noin 4,4 miljoonaa määrittystä. Testauslaboratoriossa testataan vuosittain noin 500 000 näytettä. Tutkimuslaboratorio toteuttaa vuosittain noin 900 tutkimustilausta. Aineistodistustoimistossa käsitellään vuosittain noin 40 000 aineistodistusta. [2.]

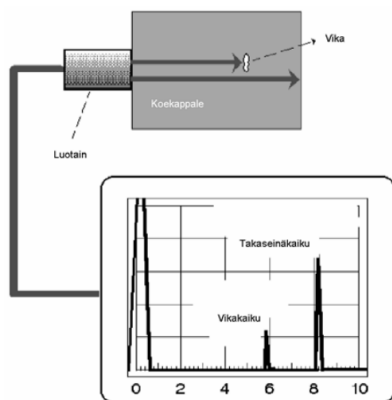
Kuumavalssattujen levyjen ultraäänitarkastus on osa levyvalssaamon toimintoja. Levyille suoritettavat ultraäänitarkastukset määräytyvät asiakastilausten mukaan, vuosittaiset tarkastusmäärät vaihtelevat 2000 ja 10000 kappaleen välillä. [7.]

3 NDT

NDT-tarkastus eli rikkomattoman testauksen menetelmiä (Non-Destructive testing) on useita ja niitä käytetään lähes kaikissa tuotannon vaiheissa, monille laitteistoille ja komponenteille niiden elinkaaren eri vaiheissa. Usein ennen käyttöönottoa laitokset, laitteet ja materiaalit tarkastetaan soveltuvilla NDT-menetelmillä, jotta niille asetetut turvallisuus-, laatu- ja muut vaatimukset täyttyvät. Esimerkiksi hitsauksen laatu tarkistetaan röntgenkuvauksella tai ultraäänitarkastuksella. NDT-tarkastukset ovat myös olennainen osa kunnonvalvontaa. Yleisimmät NDT-menetelmät ovat: silmämääräiset tarkastukset (VT), magneettijauhetarkastukset (MT), tunkeumanestetarkastukset (PT), radiografiset tarkastukset (RT), ultraäänitarkastukset (UT), pyörrevirtatarkastukset (ET). [3.]

3.1 Ultraäänitarkastuksen fysiikka

Ultraäänitarkastus perustuu kiinteiden materiaalien hyvään äänenjohtamiskykyyn ja äänen heijastumiseen materiaalin epäjatkuvuuskohdista. Rajapintojen lisäksi myös sisäiset viat (säröt, sulkeumat jne.) heijastavat hyvin ääntä ja siksi sitä käytetään paljon perusaineen ja hitsien tarkastuksessa. Menetelmä sopii mainiosti varsinkin, kun etsitään tasomaisia vikoja, jollaiset ovat myös materiaalin lujuuden kannalta vaarallisimpia. Ultraäänilaitte lähettää äänipulseja pietsosähköisen kiteen avulla, joka myös vastaanottaa heijastuksen ja muuntaa sen sähköiseksi pulssiksi. Epäjatkuvuuden etäisyys pinnasta on äänen kulkema matka. Ultraäänitarkastuksia tehdään taajuusalueella 0,5–25 MHz, joka on ihmisen kuuloalueen ulkopuolella. Laaja valikoima mahdollistaa luotaimen ominaisuuksien sovittamisen kaikkiin tarkastustehtäviin. Kuva 4 esittää yksinkertaistettua vian havaitsemista ultraäänilaitteistolla. [3.]



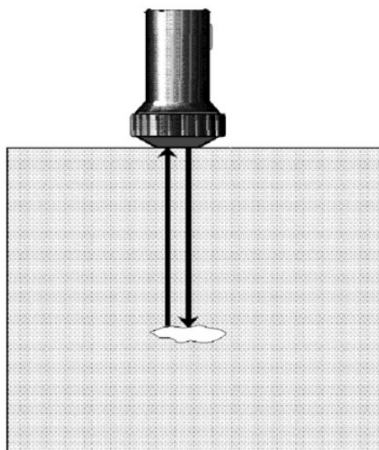
Kuva 4. Vian havaitseminen ultraäänilaitteistolla. [3]

3.2 Luotaimet

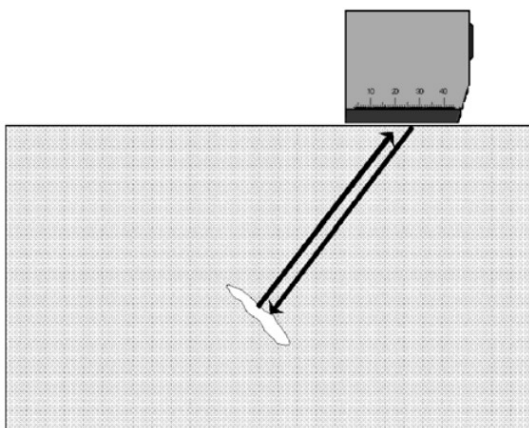
Epäjatkuvuuksien havaitseminen paranee, kun luotaimen kulma on sopiva. Suurin kaiku saadaan, kun ääni osuu epäjatkuvuuteen kohtisuoraan. Normaaliluotaimen lisäksi on kulmaluotaimia sekä vaiheistettuja luotaimia. Tandemluotaimella luotaamisessa käytetään ultraäänipulssin lähettämiseen ja vastaanottamiseen eri luotainta.

Luotaimia on moniin eri tarkoituksiin. Niitä voidaan käyttää vikojen havaitsemiseen, paikantamiseen ja koon mittaamiseen. Ääntä kohtisuoraan pintaan nähden lähettävää ja vastaanottavaa luotainta kutsutaan normaaliluotaimeksi (kuva 5). Vinosti pintaan nähden ääntä lähettäviä ja vastaanottavia luotaimia kutsutaan kulmaluotaimiksi (kuva 6). Käytettäessä lähettävää ja vastaanottavaa kulmaluotainta kutsutaan menetelmää tandem luotaukseksi (kuva 7).

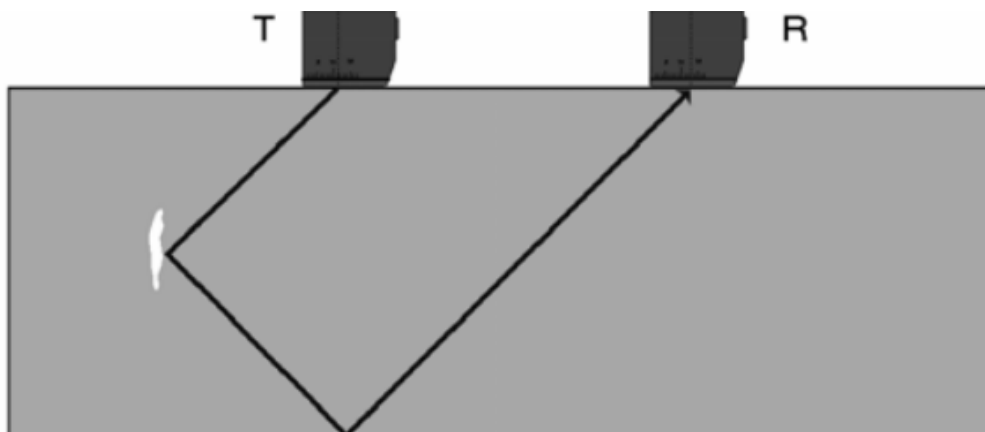
Luotain kytketään tarkastuskohteelle nesteen tai kytöntäaineen avulla, jotta ääni kulkisi luotaimesta kohteeseen ja takaisin. Äänen heijastuksia kuuluvalla alueella kutsutaan kaiuiksi. Luotainta liikutetaan kappaleen pinnalla tasaisin välein ja samanaikaisesti seurataan mahdollisista epäjatkuvuuksista saatavia kaikuja. [3.]



Kuva 5. Normaaliluotain. [3]

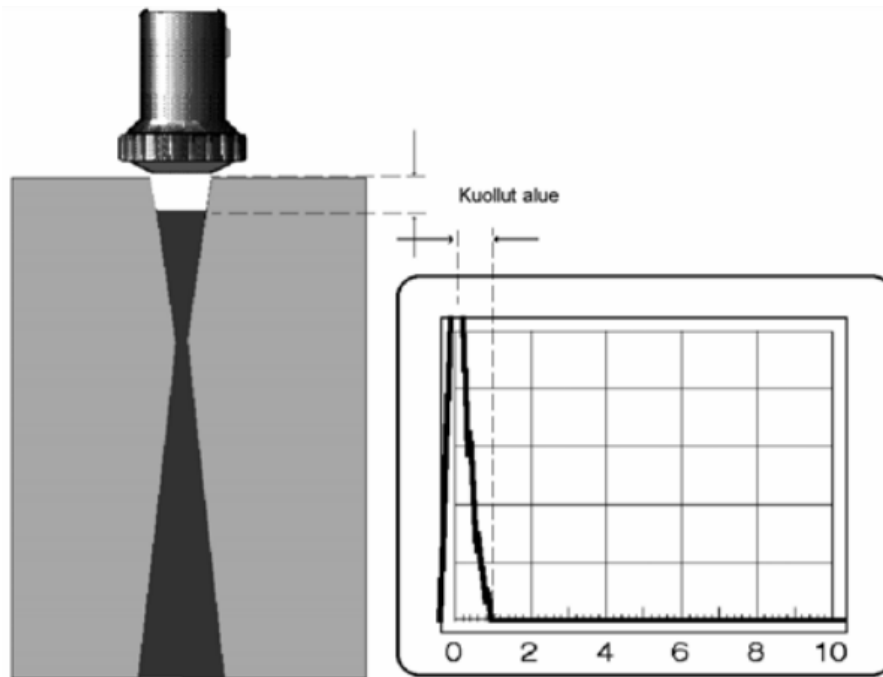


Kuva 6. Kulmaluotain. [3]



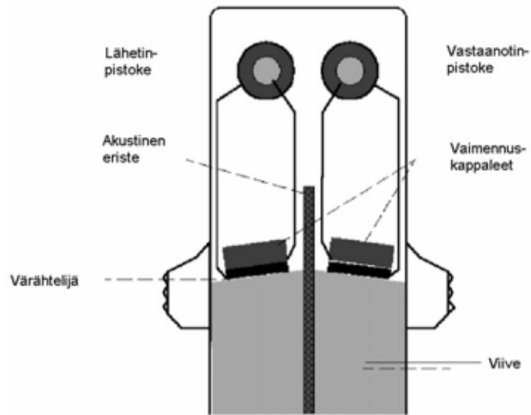
Kuva 7. Tandem luotauksessa käytetään kahta luotainta. [3]

Yksikideluotaimessa lähtöpulssin alle jää alue, jossa näyttämiä ei voi havaita, ja sitä kutsutaan kuolleeksi alueeksi. Kuollut alue on riippuvainen luotaimesta ja laitteesta. Se voidaan siten minimoida luotaimen ja laitteen oikealla valinnalla. Kulmaluotaimissa ei ole kuollutta aluetta, koska äänen kuljettava huomattavasti pidempi matka pleksin läpi ennen kuin se siirtyy kappaleeseen, joten lähtöpulssin vaikuttama alue jää pleksiin.



Kuva 7. Lähtöpulssin aiheuttama kuollut alue [8]

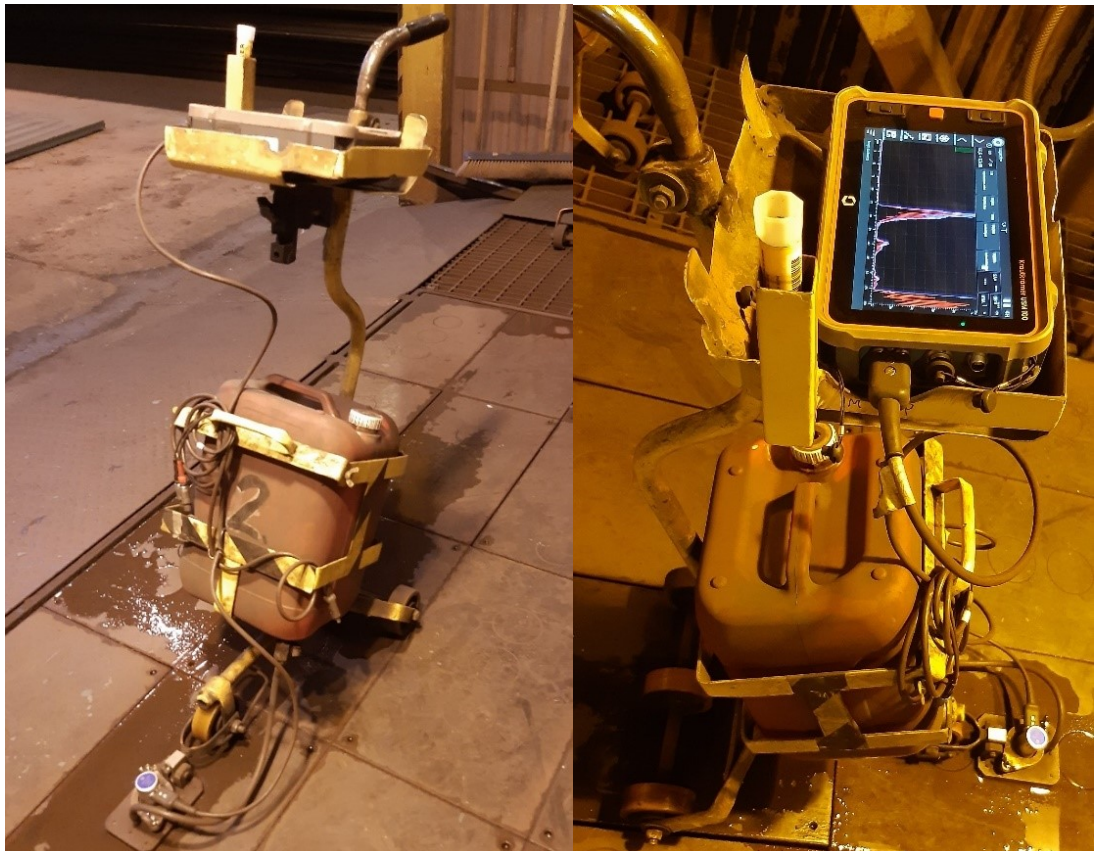
Mikäli normaaliluotaimelle halutaan yhtä hyvä lähierotuskyky kuin kulmaluotaimelle, on käytettävä kaksikideluotainta. kaksikideluotaimella käytetään kahta toisistaan akustisesti eristettyä värähtelijää, jotka on asennettu samaan runkoon. Toinen värähtelijöistä optimoitu lähettäväksi ja toinen vastaanottavaksi, joten on tärkeää, että luotain on kytketty oikein. Kaksoisluotain sopii erinomaisesti lähellä pintaa olevien epäjatkuvuuksien etsintään ja ohuiden kohteiden paksuudenmittaukseen. Kaksoisluotain reagoi huomattavasti vähemmän kontaktin muutoksiin, erityisesti karheilla tai kaarevilla pinnoilla. [3.]



Kuva 8. Kaksikideluotaimen leikkauskuva. [3]

3.3 Levyn ultraäänitarkastus

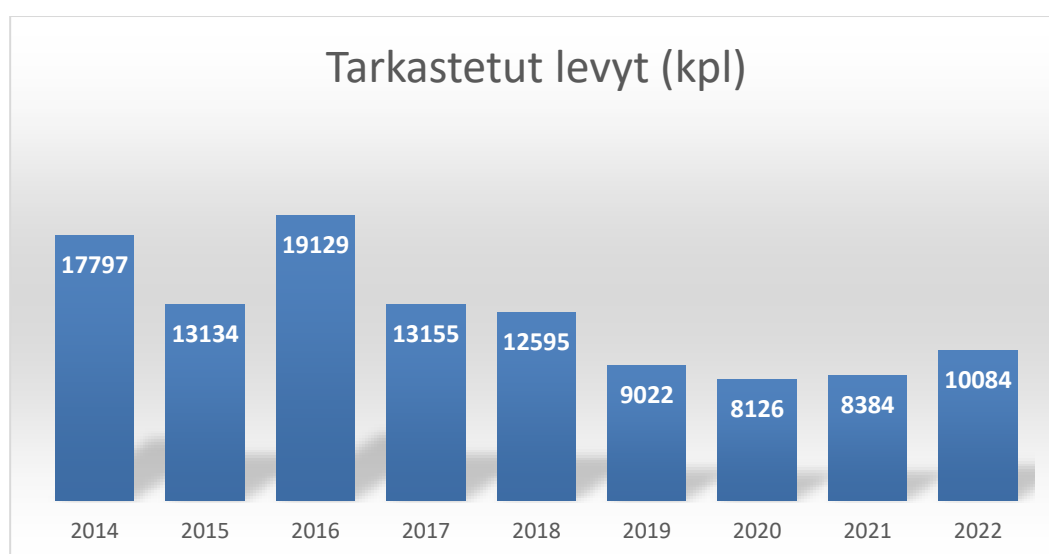
SSAB:n Raahen tehtaalla levyjen ultraäänitarkastus suoritetaan manuaalisesti, ns. kärryyn asennetulla laitteistolla, kuva 8. Laitteisto sisältää kärryn lisäksi ultraäänilaitteen, kaapelin, luotaimen, luotainpidikkeen ja vesisäiliön, josta menee vesiletku luotainpidikkeeseen.



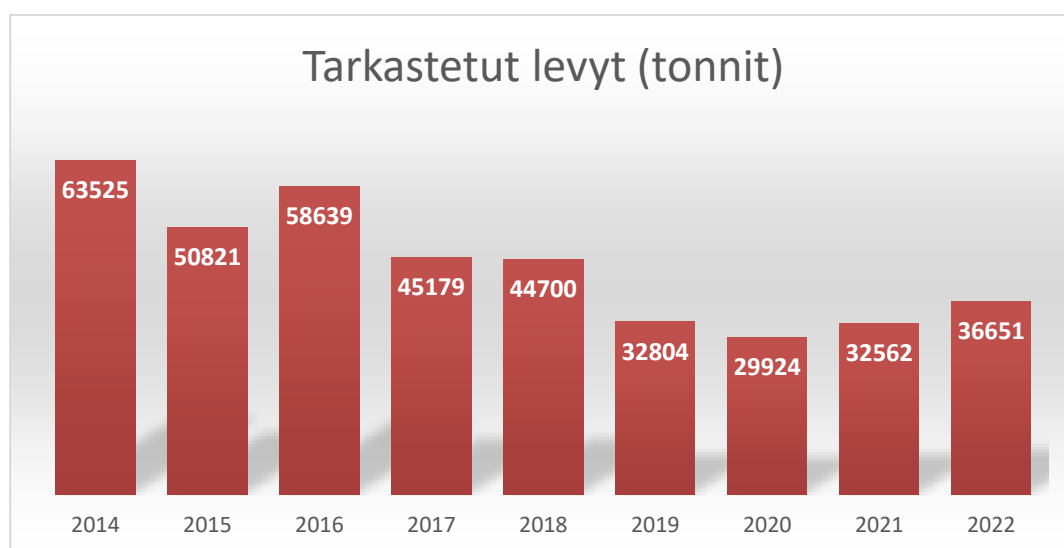
Kuva 9. Levyntarkastuslaitteisto

Levyjen ultraäänitarkastus määrät vaihtelevat tilausten mukaan, joten tarkastusmäärissä on suuriakin vaihteluja. Suuret vaihtelut johtuvat projektikohtaisista myynneistä, esimerkiksi yhteen suureen säiliöön valmistettavien levyjen valmistaminen näkyy ultraäänitarkastettavien levyjen määrissä selkeästi. Vuosittaiset ultraäänitarkastus määrät nähtävissä kuvasta 10.

Tarkastettavien levyjen koko vaihtelee alle yhden neliömetrin pinta-alasta yli 80 neliometriin. Levyvalssaamalla valmistettavien levyjen paksuusalue on 6–170 mm, joka on myös ultraäänitarkastettavien levyjen paksuusalue. Vaikka tarkastettavien levyjen vahvuudet ja sitä myötä painot vaihtelevat paljonkin, ovat vuosittaiset tonnimäärät samassa suhteessa tarkastettujen kappalemäärien kanssa (Kuva 11). [7].



Kuva 10. Ultraäänitarkastettujen levyn kappale määrät vuosittain



Kuva 11. Ultraäänitarkastettujen levyn tonni määrät vuosittain

3.3.1 Tarkastuksiin vaikuttavat standardit ja vaatimukset

Ultraäänitarkastukset suoritetaan aina jonkin standardin tai erillisen työohjeen mukaan käyttäen tarkastusohjetta. Tarkastusohjeet on jaettu 52 koodikohtaiseen työohjeeseen, jotka viittaavat standardeihin tai asiakkaan laatimiin vaatimuksiin. Yleisimmät käytössä olevat standardit ovat SFS-EN 10160:1999, ASME SA-578/ SA-578M:2021 ja ASTM A 578/A 578M:2017. Vähäisessä käytössä on myös neljä muuta standardia, joiden mukaisia tilauksia vielä tulee toisinaan.

Standardiin tai asiakkaan vaatimukseen perustuvissa työohjeissa on selitetty tarkastusalue, luotaintyyppin valinta, laitteen säätäminen, vikakoon määrittäminen, reuna-alueen tarkastus vaatimukset, raportointi- ja hylkäysrajat sekä levyn merkkäminen. [4.]

3.3.2 Henkilöstö

SSAB:n Raahen tehtaalla työskentelee 13 NDT-tarkastajaa. Tarkastajat työskentelevät 5-vuorojärjestelmässä 12 tunnin työvuoroissa, jossa on kaksi aamuvuoroa, kaksi iltavuoroa ja kuusi vapaa.

Ultraäänitarkastuksia suorittavan henkilön on oltava pätevytetty standardin SFS-EN ISO 9712:n tai SNT-TC-1A:n mukaisesti, asiaan kuuluvalla sektorilla, tasolle 1, 2 tai 3. Tarkastustuloksen hyväksymis- tai hylkäämispäätöksen tekee aina tason 2 tai 3 henkilö.

Standardin SFS-EN ISO 9712 pätevytetetyt henkilöt koulutetaan siihen luvan saaneen ulkopuolisen toimijan järjestämällä kurseilla tasolle 2 ja 3. Pätevöinti suoritetaan Kiwa sertifiointin järjestämänä ja sertifikaatti myönnetään, kun suorittaa pätevyyskokeessa olevat käytännön ja teoria osiot hyväksytysti, sekä täyttää vähimmäistuntimäärän koulutuksesta ja työkokemuksesta/harjoittelusta. Tason 2 ultraäänitarkastajat ohjaavat ultraäänitarkastusten lisäksi tason 1 ultraäänitarkastajien toimintaa ja hyväksyvät ultraäänitarkastuspöytäkirjat. Tason 3 omaavat henkilöt vastaavat työohjeiden laadinnasta, pätevyysien ylläpidosta ja seuraavat ultraäänitarkastus toimintaa.

SNT-TC-1A:n mukaisesti koulutetut ultraäänitarkastajat ovat niin sanotusti sisäisesti koulutettuja ja pätevytettyjä tason 1 tarkastajia. Sisäisesti koulutettavien NDT-tarkastajien pätevyttämismenettely on SSAB Europe Oy:n sisäinen järjestelmä, joka noudattaa standardia ASNT (The American

Society for Nondestructive Testing, Inc.) Recommended Practice No. SNTTC-1A (2020). Koulutuksen ja pätevöinnin suorittaa SSAB:n työntekijä, joka on pätevoidetty SFS-EN ISO 9712:n mukaan tasolle 3. [4.]

3.3.3 Tarkastukseen tarvittavat tiedot

Ennen tarkastuksen aloittamista täytyy tarkastajalla olla seuraavat tiedot käytettävissään:

Tarkastajalta vaadittava pätevyystaso ja sektori, kuten esimerkiksi SFS-EN ISO 9712 taso 2. Tarkastusolosuhteet, esimerkiksi lämpötila ja tarkastuskohteen tila, joka voi olla esimerkiksi lämpökäsittely. Vaatimukset pinnanlaadun suhteen, joka voi olla esimerkiksi hiekkapuhallettu. Vaadittava tarkastustilavuus/ tarkastuksen laajuus, joka voi olla esimerkiksi 100 %. Tarkastuksen herkkyys ja herkkyyden säädön toimenpiteet, jotka tarkoittavat miten laite säädetään. Arvostelu-, raportointi- ja hyväksymisrajat, jotka määräytyvät tarkastusohjeen mukaan. Tieto siitä, tehdäänkö muita tarkastuksia ennen ultraäänitarkastuksen suorittamista, koska esimerkiksi ultraäänitarkastus ennen tunkeumanestetarkastusta voi vaikuttaa tunkeumanestetarkastuksesta saataviin tuloksiin. Laitteiston kunto, jossa silmämääräisesti tutkitaan laitteen, luotaimen ja kaapelin kunto. [11.]

3.3.4 Ultraäänilaitteiston vaatimukset

Tarkastuslaitteen on täytettävä SFS-EN ISO 22232-1:n mukaiset vaatimukset (laitteen toimittaja takaa). Tuotannon tarkastuksissa käytettäville ultraäänilaitteille teetetään 12kk välein standardin SFS-EN ISO 22232-1:2020, group 2 mukaiset tarkistukset valmistajan edustajalla.

Luotaimen on täytettävä SFS-EN ISO 22232-2:n mukaiset vaatimukset (laitteen toimittaja takaa). Ennen käyttöönottoa suoritetaan luotaimille kalibrointi, joka toistetaan 12kk välein koko luotaimen elinkaaren ajan.

Ultraäänilaitteiston on täytettävä SFS-EN ISO 22232-3:n vaatimukset. (henkilöstön tekemät tarkistukset). Jokainen ultraäänitarkastaja suorittaa laitteistolle päivittäiset ja viikoittaiset tarkastukset, jotka selvitetty kappaleessa 3.3.8 laitteiston säätäminen ja toiminnan tarkastaminen. [8.]

3.3.5 Luotaimen valinta

Äänennopeuden kasvaessa äänen tunkeutuminen huononee, joten paksumpia levyjä ultraäänitarkastettaessa käytetään matalampi taajuista 2MHz:n luotainta. Epäjatkuvuuden erottaminen paranee taajuuden kasvaessa, jonka vuoksi ohuempien levyjen tarkastuksessa käytetään korkeampi taajuista 4MHz luotainta.

Tarkastuksessa käytettävän luotaimen valinta suoritetaan levyntarkastukseen laadittujen koodikohtaisten ohjeiden mukaisesti (ohjeet laadittu eri standardien mukaisesti). Ohjeissa kerrotaan luotaimelta vaadittavat ominaisuudet tarkastusluokittain ja levyn ainevahvuusalueittain. [4.]

Taulukko 1. Luotaimen valinta levyn vahvuuden mukaan. [4]

Levyn paksuun	Luotain
$6 \leq e < 150$	Kaksikideluotain SEB4 ISO
$60 \leq e \leq 200$	Kaksikideluotain SEB2
$60 \leq e \leq 200$	Yksikideluotain

3.3.6 KytKentäaine ja vertailukappaleet

Käytännössä luotaimen ja tarkastettavan kappaleen välissä on aina pieni ilmarako, josta ääni ei pääsee etenemään kappaleeseen. Jotta ultraääni etenee luotaimesta tarkastettavaan kappaleeseen, tarvitaan niiden väliin kytKentäaine.

Levyn ultraäänitarkastuksessa kytKentäaineena käytetään vettä. Vesi lisätään tarkastuskärryissä olevaan säiliöön, josta se valuu letkua pitkin luotainpidikkeeseen. Luotain pidikkeeseen on koneistettu vesitila luotaimen ympärille, jotta vesi pääsee helposti luotaimen ja tarkastettavan kappaleen väliin. Mikäli joudutaan ultraäänitarkastamaan kappaleita, jotka eivät ole vaakatasossa joudutaan käyttämään ultraäänitarkastukseen tarkoitettua geeliä.

Standardin SFS-EN 10160:1999:n mukaisia ultraäänitarkastuksia tehtäessä on laitteessa käytettävä vertailukäyrä. Laitteiston herkkyys säädetään laatimalla vertailukäyrä vertailukappaleiden avulla. Vertailukappaleiden avulla säädetään myös laitteen etäisyysasteikko ja tehdään toiminnan tarkastaminen.

Vertailukappaleina käytetään levykappaleita, joihin on koneistettu 5 mm:n tasapohjaporaukset eri syvyyksille (vertailuviat, joista laaditaan vertailukäyrä). Vertailukappaleiden vahvuudet ovat 10 mm, 30 mm, 60 mm, 100 mm, 150 mm ja 200 mm. Jokaiseen vertailukappaleeseen on koneistettu kolme eri syvyyttä 5 mm:n tasapohjaporausta. [4.]

3.3.7 Laitteiston säätäminen ja toiminnan tarkastaminen

Laitteiston toiminta tarkistetaan erillinen ohjeen (id: 0000013517) mukaan. Mitta-alue valitaan kattamaan tarkastustilavuus standardissa tai ohjeessa määritellyllä tavalla. Laitteiston kunnan tarkastamiseen sisältyy kaapeleiden, luotaimen, ultraäänilaitteen ja vertailukappaleen silmämääräinen tutkiminen mekaanisen kulumisen ja vaurioiden varalta. Viikoittaisiin tarkastuksiin sisältyy pystyasteikon lineaarisuuden, herkkyden, signaali- kohinasuhteen ja pulssin pituuden tarkistaminen ja perusarvoihin vertaaminen.

Pystyasteikon lineaarisuus tarkistetaan kytkemällä luotain 60 mm tarkistuskappaleeseen siten, että saadaan maksimikaiku halkaisijaltaan 5 mm porauksesta, 30 mm syvyydeltä. Säädetään laitteen portti 80 % näytön korkeudesta. Näytön lineaarisuuden varmentamiseksi kaiun korkeus säädetään vahvistuksella 80 % näytön korkeudesta ja merkitään sitä vastaava vahvistuksen arvo desibeleinä (viitearvo). Suurennetaan vahvistusta 2 dB ja tarkistetaan, että kaiku nousee noin näytön korkeuteen (100 %). Palautetaan vahvistus alkuperäiseksi ja vähennetään siitä 6 dB. Luetaan vastaava kaiun korkeus, joka on noin 40 % näytön korkeudesta. Pienennetään vahvistusta lisää 6 dB portain kolme kertaa, jolloin vastaavat kaikujen korkeudet ovat noin 20 %, 10 % ja 5 % näytön korkeudesta. Tarkistuksessa saatujen tulosten tulee olla annetuissa rajoissa (Taulukko 2.) [8.]

Taulukko 1. Hyväksymisrajat pystyasteikon lineaarisuudelle [8]

Vahvistus dB	Odotettu kaiun korkeus portissa (% enimmäisarvosta)	Hyväksymisraja (% enimmäisarvosta)
+2	100	vähintään 95%
0	80	viitearvo (80%)
-6	40	37...43
-12	20	17...23
-18	10	8...12
-24	5	alle 8

Herkkyys ja signaali-kohinasuhde tarkistetaan kytkemällä luotain n 60 mm tarkistuskappaleeseen 30 mm syvyydellä olevaan Ø5 mm porauksen ja etsitään suurin kaiku. Vahvistuksen avulla säädetään kaiku (dB) 20 % näytön korkeudesta ja merkitään tämä ensimmäinen arvo muistiin (kuva 12).

Luotain irrotetaan tarkistuskappaleesta, pyyhitään luotaimen pinta puhtaaksi kytkentäaineesta ja pidetään luotaimen kontaktipinta ilmassa, esim. asettamalla se kyljelleen. Vahvistusta suurennetaan, kunnes kohina on 20 % näytön korkeudesta samalla kohdalla mitta-alueetta ja merkitään tämä toinen vahvistuksen arvo muistiin (kuva 13). Ensimmäinen vahvistuksen arvo muodostaa vertailuarvon luotaimen ja laitteen herkkyyden tarkistamista varten. Vahvistusten välisestä erotuksesta saadaan signaali-kohinasuhde. Ø5mm porauksesta saatu vahvistuksen arvo ja laskettu signaali-kohinasuhde saavat poiketa enintään ± 6 dB samalla laitteistolla tehdyn perusmittauksen arvoista. [8.]



Kuva 12. Kaiun säätö 20 %:n korkeudelle [8.]



Kuva 13. Kohinan säätö 20 %:n korkeuteen. [8]

Pulssin pituuden tarkistamisessa luotain kytketään 30 mm tarkistuskappaleeseen ja takaseinästä saatu kaiku säädetään 100 % näytön korkeudesta (kuva 14.). Määritetään kaiun leveys millimetreinä 10 % näytön korkeudella, laitteen portin avulla. Pulssin pituus saa olla enintään 1,5 kertainen samalla laitteella, luotaimella ja kaapelilla mitattu perusarvo.[8]



Kuva 14. Pulssin pituuden mittaaminen [8]

Laitteen etäisyysasteikko kalibroidaan aina ennen käyrien tekoa. Etäisyysasteikon kalibroinnin voi tehdä manuaalisesti asettamalla laitteeseen 5920ms äänennopeuden ja säätämällä viiveen avulla kaiun oikeaan kohtaan asteikkoa tai käyttämällä laitteen automaattikalibrointia. Etäisyysasteikon kalibrointi tehdään aina kahdella paksuudella. Esim. 10 ja 150 (tai 200 mm). Riippuen tarkastettavan kohteen paksuudesta.

SFS-EN 10160:1999:n mukaisia ultraäänitarkastuksia tehdessä käytetään DAC-vertailukäyrää. DAC-vertailukäyrä laaditaan rekisteröimällä kaiut 5, 10, 15, 30, 50, 75, 100, 135 ja (180 mm:n) etäisyyksiltä. 180 mm etäisyyttä käytetään vain SEB2 E sekä SEB4 EN luotaimien kanssa, jolloin käyrän käyttö alueet ovat 5–200 mm SEB-2 luotaimella ja 5–150 mm SEB-4 luotaimella. Levyä ultraäänitarkastettaessa käytetään 6dB lisävahvistusta. [8.]

3.3.8 Tarkastusta edeltävät toimenpiteet ja tarkastuslaajuus

Luodattavilla pinnoilla ei saa esiintyä likaa, irtonaista hilsettä, roiskeita tms. ja niiden on oltava niin tasaisia ja tasomaisia, jotta riittävä akustinen kytkentä voidaan ylläpitää. Ennen tarkastuksen aloittamista pinta on harjattava irtohilseestä ja muista epäpuhtauksista.

Levyvalssaamo varmistaa pinnanlaadun ennen ultraäänitarkastuspaikkaa levylinjan jäähdytystasolla. Pinnanlaatua seurataan ultraäänitarkastuspaikalla pistokoeluoontoisesti. Eriyistapauksissa pinta tarkastetaan tarkastuspaikalla kaikista levyistä, jos ilmenee tarvetta (yleensä asiasta ilmoitetaan, josta tähän on tarvetta). Jos tilaukselle on vaadittu magneettijauh tarkastusja/taitunkeumanestetarkastussekä ultraäänitarkastus, tehdään pintamenetelmä tarkastukset ennen ultraäänitarkastusta.

Tarkastuslaajuus on kuvattu eri standardien mukaisesti tehdyissä ohjeissa tai tilauskohtaisesti tilauksella. Raakalevyjen ultraäänitarkastuksessa on varmistettava, että levyistä leikattavien osalevyjen reuna-alueiden tarkastusleveydet täyttävät käytettävien standardien ja tarkastusohjeiden niille asettamat tarkastusleveysvaatimukset. [4.]

3.3.9 Luotaussuunnitelma ja tarkastusohje

Luotaimen kytkentälinjat tarkastettavalle pinnalle on kuvattu eri standardien mukaisesti tehdyissä ohjeissa (koodikohtaiset ohjeet). Ohjeissa määritetään tarkastuslaajuus erikseen reuna- ja keskialueille. SFS-EN 10160:1999:n mukaisissa tarkastuksissa levyn keskialue tarkastetaan yhtäjaksoisesti rasterimenetelmällä, jossa reunojen kanssa yhdensuuntaisten kytkentälinjojen välinen etäisyys on 200 mm tai 100 mm. Luotaus voidaan tehdä myös yhdensuuntaisin tai oskilloivin kytkentälinjoin, jotka ovat jakautuneet tasaisesti tarkastettavalle alueelle ja joilla saadaan sama peittoalue verrattuna rasterimenetelmällä saatuun tarkastuslaajuuteen. Reuna-alueen tarkastusleveys määräytyy tarkastettavan levyn ainevahvuuden mukaan (taulukko 3).

Taulukko 2. Tarkastusleveyden määräytyminen. [9]

Levyn ainevahvuus [mm]	Levyn reuna-alueen tarkastusleveys [mm]
$6 \leq e < 50$	50
$50 \leq e < 100$	75
$100 \leq e \leq 200$	100

Tarkastusohjeissa on määritelty jokaiselle ultraäänikoodille hyväksymis- ja raportointirajat, jotka löytyvät koodikohtaisista ohjeista taulukoituna. Taulukosta ilmenevät hyväksymisluokka, hylkäyksen aiheuttava yksittäisen epäjatkuvuuden suurin sallittu koko sekä sallittujen epäjatkuvuuksien enimmäismäärät ja pituudet.

Epäjatkuvuuksien pinta-alan määrittäminen on myös ohjeistettu koodikohtaisissa ohjeissa. Kaikkien niiden epäjatkuvuuksien, joiden heijastuskaiku ylittää ominaiskäyrän, pinta-ala on määritettävä kuuden desibelin tekniikalla, jossa luotaimena alle 60 mm:n levyillä käytetään halkaisijaltaan 10 mm:n kokoista kaksikideluotainta ja yli 60 mm:n levyillä käytetään yksikideluotainta. Menetelmässä epäjatkuvuuden ääriviivat määritetään luotaimen keskikohdan mukaan siten, että epäjatkuvuuden heijastuma on puolet (50 %) enimmäisamplitudista. Tämän jälkeen määritetään koko epäjatkuvuutta ympäröivä suorakulmio, jonka pinta-ala lasketaan. Määritetyn suorakulmion pidempää sivua kutsutaan epäjatkuvuudenpituudeksi ja lyhyempää sivua epäjatkuvuuden leveydeksi. Suorakulmion pinta-ala määrittelee epäjatkuvuusalueen pinta-alan. [9.]

3.3.10 Tarkastuspöytäkirja

Ultraäänitarkastuksesta laaditaan tarkastuspöytäkirja, jossa on oltava vähintään seuraavat tiedot: Valmistajan ja/tai tilauksen tunnistus. Kohteen yksityiskohtainen tunnistus (mitat, materiaali ym.). Tarkastuspaikka(paikkakunta). Kohteen tila (pinnanlaatu, pinnoitteet, lämpötila ym.). Tarkastuslaitteet. Viittaukset sopimusasiakirjoihin (standardit jne.). Viittaukset tarkastusohjeeseen. Tarkastajan tai tarkastuksesta vastaavan henkilön nimi, pätevyys ja allekirjoitus. Tarkastuspäivämäärä. Tarkastuksen ja arvostelun tulos. Kaikki poikkeamat ohjeista.

Ultraäänitarkastuspöytäkirja laaditaan URS-sovelluksella, joka on rakennettu pelkästään NDT-tarkastuspöytäkirjojen laadintaa ja hyväksyntää varten. Sovelluksessa on valmis pohja ultraäänitarkastuspöytäkirjalle, johon voi syöttää kaikki tiedot myös käsin. Normaalisti pöytäkirjaan siirtyy suurin osa tarkastustiedoista KVARTTO prosessin hallintajärjestelmästä, kun tarkastettu levy raportoidaan ultraäänitarkastetuksi.

Ultraäänitarkastuspöytäkirjat tarkastavat ja hyväksyvät standardin SFS-EN ISO 9712 tason 2 tai 3 mukaan pätevitetyt henkilöt. Hyväksynnän jälkeen pöytäkirjat siirtyvät M-Files arkistointi järjestelmään, josta ne liitetään tarvittaessa levyn ainestodistuksen liitteeksi. [4.]

3.3.11 Työturvallisuus

Levyjen ultraäänitarkastus suoritetaan pääosin ultraäänitarkastuspaikalla, joka sijaitsee levyvalsaamon pohjoispäässä, jossa on paljon muitakin prosessipaikkoja ja paljon nosturiliikennettä. Hallissa liikkuesssa on noudatettava erityistä varovaisuutta ja käytettävä merkittyjä reittejä sekä ylikulkusilloja. Halleissa huomioitava nosturiliikenne ja annettava nosturille etuajo-oikeus, sillä nosturista on rajoitettu näkyvyys. Nosturin taakan alle ei saa mennä. Huomioitava on myös magneettien varassa olevien levyjen putoamisriski.

Tarkastusalueella on käytettävä henkilökohtaisista suojavälineistä huomiosuojavaatteita, turvakengkiä, hihnallista suojakypärää, suojalaseja ja kuulosuojaimia.

Tarkastusalueella työskentelevien työntekijöiden havaitsemiseksi on lisätty huomiovalo. Valo kytketään päälle, kun työskennellään tarkastusalueella. Valon palaessa nostureilla ei ole sallittua tulla tarkastusalueelle. [10]

4 Tarkastuksen luotettavuus

NDT-tarkastus on pääosin kvalitatiivista testausta, joten numeeristen mittausepävarmuuksien määrittäminen on vaikeaa. Tässä opinnäytetyössä on määritelty tekijöitä, jotka vaikuttavat mittausepävarmuuteen sekä arvioitu niiden vaikuttavuutta.

Rakenneturvallisuuden kannalta on tärkeää tietää, miten luotettavasti materiaalisia mahdollisesti olevat viat löydetään ja mitoitetaan. NDT-menetelmän pitää havaita luotettavasti tarkastuskohteessa mahdollisesti olevat viat. Tärkeää olisi tietää, mikä on isoin vika, joka jää havaitsematta. Voi olla helppo ajatella, että mitä pienemmän vian menetelmä löytää, sitä tehokkaampi se on. Pienten vikojen löytäminen on välttämätöntä millä tahansa NDT-menetelmällä, mutta sitä ei voi käyttää menetelmän tehokkuuden mittana. Vikojen havaitsemisen todennäköisyyden ymmärtämiseen tarvitaan tietoa sekä NDT-menetelmistä että tilastomatematiikasta. Vian havaitsemisen todennäköisyyden laskeminen ilman ymmärrystä NDT-tarkastuksen kyvykkyydestä voi johtaa väärin johtopäätöksiin NDT-tarkastusten luotettavuudesta. [5.]

4.1 Luotettavuuteen vaikuttavat tekijät

NDT:n luotettavuus on monen eri tekijän tulo. On tärkeää, että otetaan huomioon kaikki luotettavuuteen vaikuttavat tekijät. NDT-menetelmän luotettavuuteen vaikuttavat tärkeimmät muutujat on listattu taulukkoon 4. [5.]

Taulukko 3. NDT-tarkastukseen vaikuttavat tekijät [5]

NDT-tarkastukseen vaikuttavat tekijät
Laitteiston kalibrointi, kunto, säätäminen ja toistettavuus
Vian ominaisuudet (koko, suunta, muoto, tyyppi, vian pinnanlaatu)
Tarkastettava materiaali (pinnanlaatu, paksuus, muoto,)
Tarkastusmenetelmä (standardit, toistettavuus)
Tarkastusohje
Määritelty havaitsemisraja
Inhimilliset tekijät (motivaatio, koulutus, ammattitaito)
Tarkastuslaitteisto (manuaalinen, mekanisoitu, automaattinen)
Ympäristö (lämpötila, työskentelyasento)

4.2 Tarkastaja

NDT-tarkastuksen luotettavuuteen merkittävästi vaikuttava tekijä on tarkastuksen suorittaja, johon menetelmien luonteesta, joka perustuu pitkälti arviointiin. Henkilöstön suoritustason vaikutus mittausepävarmuuteen pyritään minimoimaan standardoidulla henkilöpätevöinnillä. NDT-tarkastajien pätevöinnille on määritelty standardissa SFS-EN ISO 9712 ja SNTTC-1A vähimmäistuntimäärä koulutuksesta ja työkokemuksesta/harjoittelusta.

Vaatimusten täytyessä tarkastajakokelaat voivat osallistua pätevyyskokeeseen, jonka sisältö on standardoitu ja hyväksymiskriteerit määritelty. Pätevyyttä ylläpidetään järjestämällä tarvittavia koulutuksia ja seurataan säännöllisellä monitoroinnilla. Monitoroinnilla estetään väärin menettelytapojen omaksuminen ja vakiintuminen käytännön suorittamiseen. Näkökyvyn vuosittainen tarkistus ja seuranta kuuluu myös olennaisena osana pätevyyden ylläpitoon. [6.]

4.3 Laitteet ja ympäristö

Laitteiden valinta, kunto ja säätäminen vaikuttavat merkittävästi mittausepävarmuuteen, varsinkin ultraäänitarkastuksessa. Tarkastus herkkyyden ja tarkkuustason pitämiseksi vaaditulla tasolla, laitteet ovat suunnitellun kalibrointiohjelman piirissä. Laitteiden perusasetusten ja tarkastusasetusten säätäminen on ohjeistettu sekä opastettu henkilökunnalle. Tarkastajat suorittavat laitteiston perusarvomittaukset viikoittain ja tarkastavat herkkyyden ennen ultraäänitarkastamisen aloittamista sekä neljän tunnin välein.

Näillä menettelyillä tarkastus on mahdollisimman yhtenevä ja mittausepävarmuus saadaan minimoitua. Uusia laitteita hankittaessa huomioidaan olemassa oleva laitekanta ja pyritään hankimaan käytettävyydeltään vastaavia laitteita. Laitteiden valinnalle myös standardit asettavat vaatimuksia.

Olosuhteet pyritään pitämään mahdollisimman vakiona. Tehdasolosuhteissa lämpötilaerot ja muut olosuhde-erot ovat niin pieniä, ettei niillä ole vaikutusta mittausepävarmuuteen. Työasennot ovat myös vakiot, eikä ergonomisesti hankalissa asennoissa jouduta työskentelemään. [6.]

4.4 Menetelmät ja kohde

Kaikki käytössä olevat menetelmät ovat standardimenetelmiä, joissa on tarkasti määritelty laitevaatimukset, laitteen säädöt, vertailukappaleet, tarkistuskappaleet, arviointirajat, hyväksymisrajat jne. Vakioituilla menettelyillä ja niiden ohjeistuksella saadaan mahdollisimman vertailukelpoisia ja yhteneviä tuloksia eri tarkastusten välillä, mahdollisimman pienellä mittausepävarmuudella/hajonnalla. Toimintaa varmistetaan vertailumittauksilla.

Tarkastettavalla kohteella on merkitystä mittausepävarmuuteen. Tarkastettava materiaali, sen pinnanlaatu, paksuus, pinnoitus, muoto ym. on huomioitava tarkastusta suunniteltaessa ja toteutettaessa. Oikeilla laitevalinnoilla, laiteasetuksilla ja pintojen puhdistuksella saavutetaan vaadittava herkkyystaso ja mahdollisimman pieni mittausepävarmuus. Ultraäänitarkastusta suorittaessa kohteen pinnanlaadun eroa vertailukappaleisiin kompensoidaan tarvittaessa ns. siirtymäkorjauksella laiteasetuksiin. [6]

5 Koekappaleiden ultraäänitarkastus

Ultraäänitarkastuksen luotettavuutta arvioitaessa on käytettävä keinotekoisia vikoja, koska todellisia vikoja käytettäessä vian koon, sijainnin ja muodon todellista kokoa on erittäin vaikea määrittellä. Kokeen haluttiin vastaavan mahdollisimman paljon normaalia levyn ultraäänitarkastusta, joten ohjeet, laitteisto ja kappaleiden materiaali ovat samat, jotka ovat päivässä tarkastus käytössä.

5.1 Koekappaleet

Ultraäänitarkastuksen luotettavuuteen vaikuttavia eri tekijöitä haluttiin saada mahdollisimman paljon koekappaleisiin. Koekappaleita valmistettiin neljä ja jokaiseen koneistettiin 6–7 keinotekoisia vikaa. Paksuusalue tarkastettavilla levyillä on 6–170 mm, joten kokeeseen haluttiin useita eri vahvuisia kappaleita. Koekappaleiden vahvuudeksi valittiin 6 mm, 10 mm, 15 mm ja 40 mm. Yli 40 mm:n vahvat kappaleet jätettiin pois hankalan käsiteltävyyden vuoksi.

Tuotannossa olevilla levyillä on erilaisia pinnanlaatuja, aina erittäin sileästä ja kiiltävästä karheaan ja epätasaiseen osittain irronneeseen hilsepintaan, joten niiden vaikutusta haluttiin selvittää myös.

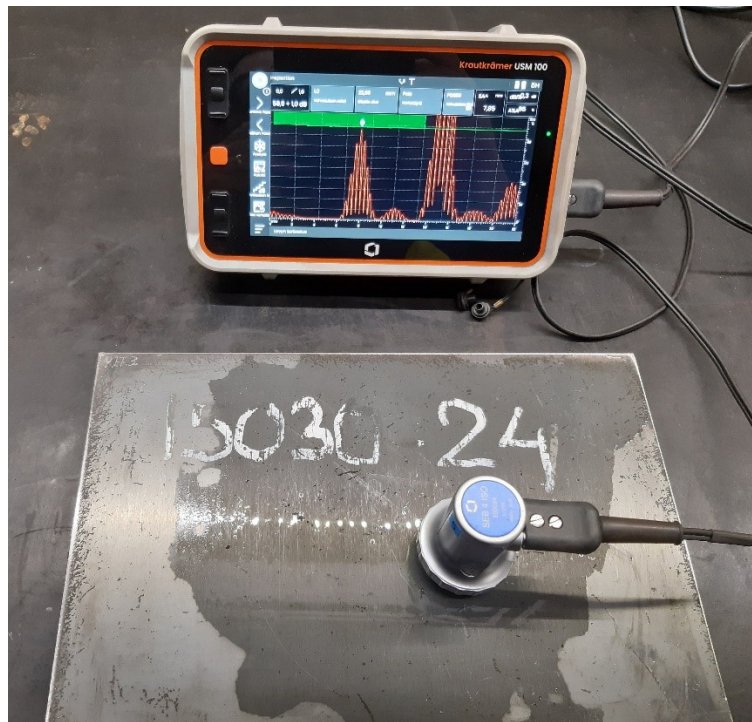
Koekappaleisiin koneistettiin erikokoisia tasapohjaisia vikoja jäljitteleviä muotoja. Koneistettujen muotojen pinta-ala ovat 1–1000 mm². Pienemmillä vioilla oli tarkoitus selvittää löydettävyyttä ja suuremmilla koon määrittelyä ja paikantamista.

5.2 Tarkastuslaitteisto

Koepalojen ultraäänitarkastuksissa käytettiin samaa laitteistoa kuin normaaleissa tuotannon tarkastuksissakin. Kaikki tarkastajat käyttivät samaa ultraäänilaitetta, luotainta, kaapelia ja kytkentäainetta, jotta laiteista johtuvat vaihtelut eivät vaikuttaisi tuloksiin. Laitteiston herkkyys säädettiin SFS-EN 10160:1999:n mukaisesti Ø5mm:n tasapohjareikään, kuten tuotannon tarkastuksissakin.

Käytetty laitteisto:

- Ultraäänilaite: Krautkrämer USM 100 Pro Nro. 1
- Luotain: Krautkrämer SEB 4 ISO Nro. 35
- Kaapeli: Krautkrämer KBA-533
- Kytkeväaine: Krautkrämer ZG-F



Kuva 15. Ultraäänitarkastuksissa käytetty laitteisto ja tarkastettava kappale

5.3 Tarkastustulokset

Koekappaleiden tarkastuslaajuus oli 100 % ja kaikki näytämät tuli raportoida laatimani tarkastusohjeen mukaan (liite 1). Tarkastukset suoritettiin oman työvuoron aikana tarkastajan valitsemana ajankohtana häiriöiden minimoimiseksi. Tarkastustulokset kirjattiin tarkastuspöytäkirjaan (liite 2) ja palautettiin suljetussa kirjekuoressa.

Tarkastuspöytäkirjojen tulokset syötin Exceeliin laatimaani taulukkoon (taulukko 5). Havaitut viat ovat saaneet arvon 1 ja havaitsematta jääneet arvon 0. Kappaleisiin koneistettuja \varnothing 1 mm:n vikoja

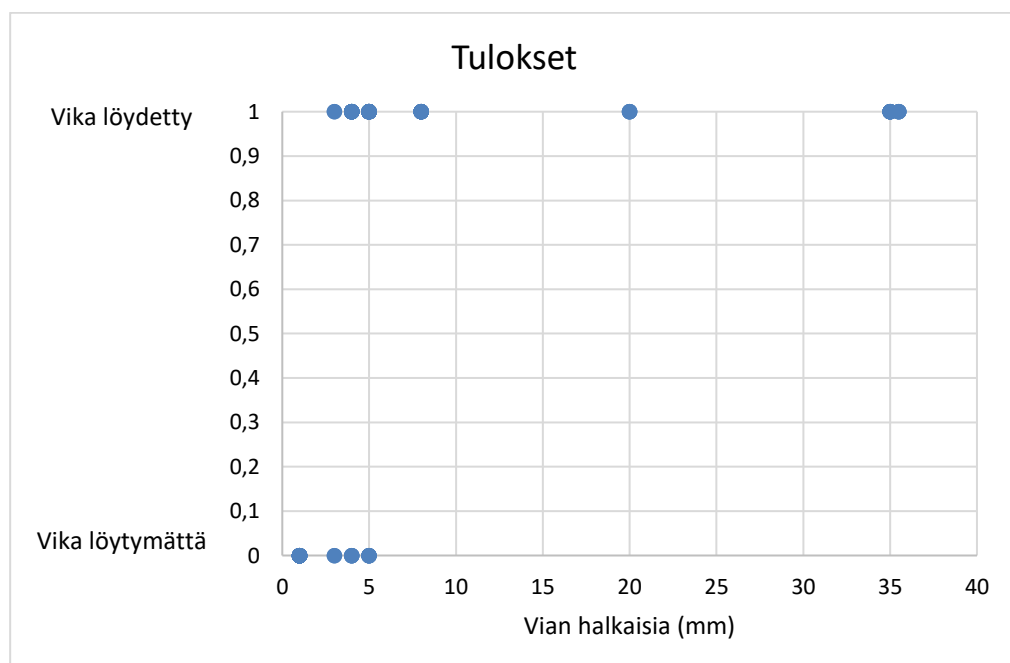
ei löytynyt tekemieni koeltrausten perusteella, joten ne jätettiin tulosten laskelmista pois. Tuloksista on nähtävissä yksittäisen vian löytymis-% ja kappaleen tarkastustulos tarkastajittain.

Taulukko 4. Ultraäänitarkastuksen tulokset

Tarkastaja	Kappale nro	Vika 1	Vika 2	Vika 3	Vika 4	Vika 5	Vika 6	Vika 7	Löydetyt viat kpl	Löydetyt viat %	Vika löydetty	1
1	1	0	1	0	0	1	1		3	75	Vika löydetty	1
2	1	1	1	0	0	1	1		4	100	Vika löytämättä	0
3	1	1	1	0	0	1	1		4	100	Ei löydettävissä	0
4	1	1	1	0	0	1	1		4	100		
	Löydetyt viat kpl	3	4	0	0	4	4					
	Löydetyt viat %	75	100	0	0	100	100					
1	2	1	0	1	0	1	1	0	4	67		
2	2	1	1	1	1	1	1	0	6	100		
3	2	1	0	1	1	1	1	0	5	83		
4	2	1	0	1	1	1	1	0	5	83		
	Löydetyt viat kpl	4	1	4	3	4	4	0				
	Löydetyt viat %	100	25	100	75	100	100	0				
1	3	1	1	0	0	1	1	1	5	100		
2	3	0	1	0	0	0	1	1	3	60		
3	3	1	1	0	0	1	1	1	5	100		
4	3	0	1	0	0	1	1	1	4	80		
	Löydetyt viat kpl	2	4	0	0	3	4	4				
	Löydetyt viat %	50	100	0	0	75	100	100				
1	4	1	1	0	0	1	1	1	5	83		
2	4	1	1	0	0	0	1	1	4	67		
3	4	1	1	0	1	1	1	1	6	100		
4	4	1	1	0	1	1	1	1	6	100		
	Löydetyt viat kpl	4	4	0	2	3	4	4				
	Löydetyt viat %	100	100	0	50	75	100	100				

Vian pinta-alalla on suuri vaikutus havaittavuuteen. Taulukkoon 6 on koottu tulokset vian halkaisijan mukaan. Havaitut viat ovat saaneet arvon 1 ja havaitsematta jääneet arvon 0.

Taulukko 5. Vikojen löytyminen vian halkaisijan mukaan



Taulukossa 7 on vian halkaisijan mukaiset tulokset prosentteina. Tuloksista on selkeästi havaittavissa vika koon vaikutus havaittavuuteen.

Taulukko 6. Vikojen löytyminen prosentteina halkaisijan mukaan.

Vika koko \emptyset mm	Löytymis %
1	0
3	50
4	80
5	84,4
≥ 8	100

Tutkimuksessa haluttiin selvittää vaikuttaako vian etäisyys tarkastustuloksiin. Taulukossa 8 on nähtävissä, että vian etäisyydellä ei ole selkeää vaikutusta havaittavuuteen.

Taulukko 7. Vian etäisyyden vaikutus löydettävyyteen

Vian etäisyys pinnasta / halkaisija							Viat löydetty
Vika	Kappale 1	Kappale 2	Kappale 3	Kappale 4			Vikoja löytämättä
1	3,4 / 5	3,5 / 4	5 / 4	34 / 25			Ei löydettävissä
2	2 / 4,6	2,6 / 5	13 / 8	34 / 17			
3	2,9 / 1	6,7 / 8	11 / 1	35 / 1			
4	4,4 / 1	6,8 / 5	13 / 1	36 / 3			
5	2,4 / 5	6,6 / 36	9,5 / 4	23 / 4			
6	4,1 / 35,5	6,8 / 4	8 / 5	36 / 5			
7		7 / 1	5 / 5	15 / 8			

5.4 Tulosten arviointi

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää, kuinka luotettavasti eri kokoisia vikoja havaitaan kuumavalssatuissa levyissä. Tarkastuksen luotettavuutta varmistettiin käyttämällä vain SFS-EN ISO 9712:n mukaisen pätevyyden omaavia tarkastajia sekä antamalla heille riittävästi aikaa ja rauhallinen paikka tarkastuksen suorittamiseen.

Havaitsemisrajaksi päätettiin $\varnothing 5$ mm vikakoko, joka on käytössä olevan standardin mukainen laitteen herkkyyden säätötaso.

Työssä haluttiin selvittää myös, mikä on pienin havaittavissa oleva vika, joten jokaiseen tarkastettavaan kappaleeseen koneistettiin vähintään yksi $\varnothing 1$ mm vika. Näistä jokainen vika jäi löytymättä, koska vioista ei noussut minkäänlaista näyttämää. Tähän vaikuttaa myös se, ettei koneistaja saanut vioista täysin tasapohjaisia, koska niin pientä tasapohjaista koneistustyökalua ei ole saatavilla.

Pienin havaittu vika oli $\varnothing 3$ mm, jonka löysi 50 % tarkastajista. Suurin havaitsematta jäänyt vika oli $\varnothing 5$ mm, jonka havaittavuus oli 84 %. $\varnothing 8$ mm ja sitä suuremmat viat löytyivät 100 %.

Kappaleen 2 vian 2 raportoi vain yksi neljästä tarkastajasta. Kolme tarkastajaa raportoi vian 1 ja 2 yhdeksi isoksi viaksi, vaikka molemmat viat tulisi raportoida erillisinä vikoina, koska vikojen välinen etäisyys on suurempi kuin pinta-alaltaan pienemmän suorakulmion pituus.

Vian syvyydellä ei näytä olevan suurta vaikutusta, koska myös useita lähellä pintaa sijaitsevia vikoja löytyi yhtä hyvin kuin lähellä pohjaa sijaitsevia vikoja.

Löytyneiden vikojen raportoidut sijainnit poikkesivat keskiarvoltaan 3 mm todellisilta sijainneiltaan. Pienempien vikojen mitoituksessa oli enemmän vaihtelua kuin isompien. Raportoitujen vikojen syvyydet poikkesivat alle 2 mm todellisista syvyyksistä. Raportoitujen vikojen koot olivat mitoitettu keskimäärin 200 mm^2 liian suureksi, etenkin pienissä vioissa oli suuria ylimitoituksia.

Kappaleeseen numero 4 on koneistettu vierekkäin kaksi suurempaa vikaa vikojen yhdistämisen arvioimiseksi. Jokainen tarkastaja oli yhdistänyt viat yhdeksi suuremmaksi, kuten standardi vaatii.

Koska vikojen havaitsemistodennäköisyys vaihtelee suuresti ja tarkastusten lukumäärä jäi pieneksi, näen ettei POD-käyrän laskeminen anna luotettavaa kuvaa tarkastuksista.

6 Johtopäätökset ja jatkotoimenpiteet

SSAB:n Raahen tehtaalla tarkastetaan kvarttolevyjen sisäistä laatua ultraäänitarkastuksilla. Tarkastusten luotettavuutta ylläpidetään koulutuksilla, tutkinnoilla ja monitoroinneilla. Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli selvittää kvantitatiivisesti, vikojen havaitsemisen luotettavuus tyypillisessä kvarttolevyssä. Tarkastuskohteiksi valittiin eri vahvuisia levyjä, koska tuotannossa levyjen vahvuus vaihtelee 6–170 mm välillä. Vikojen havaitsemistulokset laskettiin tarkastustuloksista.

6.1 Johtopäätökset

Tarkastusten tulokset olivat odotetun kaltaiset siinä määrin, että havaitsemistodennäköisyys kasvaa vikakoon kasvaessa. Vian syvyydellä ei näytä olevan vaikutusta havaitsemistodennäköisyyteen. Myöskään pinnalaadun vaihtelut eivät näy kokeen tuloksissa. Laitteiston vaikutus tuloksiin pyrittiin saamaan mahdollisimman pieneksi käyttämällä kaikissa tarkastuksissa samaa laite kaapeli-luotain-yhdistelmää.

Löytyneiden vikojen sijaintien ja syvyyksien määrittelyt onnistuivat hyvin, mutta pinta-alojen määrittämisessä oli reilusti ylimitoituksia, mikä kertoo luotaimen sopimattomuudesta pienten vikojen koon määrittelyyn. Ultraäänitarkastuksen koodikohtaisissa ohjeissa vian pinta-alan määrittämisessä ohjeistetaan alle 60 mm:n paksuisissa levyissä käyttämään pienempää \varnothing 10 mm:n kokoista kaksikideluotainta, joka soveltuu paremmin vian pinta-alan määrittelyyn.

6.2 Jatkotoimenpiteet

Tässä opinnäytetyössä haluttiin käyttää tuotantokäytössä olevaa ultraääniluotainta vikojen havaitsemistodennäköisyyden selvittämiseen, vikojen koon arvioitiin ja sijainnin määrittelyyn. Mikäli jatkossa monitoroinneissa tai tutkimuksissa käytetään samaa luotainta, tulisi vikojen sijainnin ja koon määrittelyyn olla mahdollisuus käyttää pienempää luotainta, jotta saadaan tarkempia tuloksia.

Määräajoin suoritettavien monitorointien tulosten taulukoimisella ja analysoinnilla saataisiin tätä tutkimusta vastaavaa tietoa suuremmalta tarkastajajoukolta, joten niiden kehittäminen olisi suositeltavaa.

Lähteet

- [1] SSAB Lyhyesti, SSAB; 2023. [viitattu 1.4.2023]. Saatavilla <https://www.ssab.com/fi-fi/ssab-konserni/tietoja-ssabsta/ssab-lyhyesti>
- [2] SSAB Europe Oy. SSAB RAAHE yleisesitys. [Viitattu 3.4.2023] Saatavilla SSAB Intrassa: 2023
- [3] Berke, M. 1993. Ainetta rikkoman ultraäänitarkastus - Johdatus perusteisiin. (Sonar- käännös) Krautkrämer GmbH & Co. [Viitattu 4.4.2023]
- [4] Ultraäänitarkastuksen yleiset ohjeet. [Viitattu 12.5.2023] Sisäinen ohje. Saatavilla EMS tietojärjestelmästä.
- [5] Nondestructive Evaluation System Reliability Assessment. MIL-HDBK -1823. 2009. United States of America: Department of Defense.
- [6] Mittausepävarmuuteen vaikuttavat tekijät NDT-tarkastuksessa. [Viitattu 12.5.2023] Sisäinen ohje. Saatavilla EMS tietojärjestelmästä.
- [7] Tuotantoraportit. [Viitattu 15.10.2023]. Saatavilla Eweman tuotannonseurantajärjestelmästä.
- [8] Laboratorion työohjeet, ultraäänilaitteiston varmentaminen [Viitattu 1.11.2023] Sisäinen ohje. Saatavilla EMS tietojärjestelmästä.
- [9] Laboratorion työohjeet, koodikohtaiset ohjeet [Viitattu 7.11.2023] Sisäinen ohje. Saatavilla EMS tietojärjestelmästä.
- [10] Työohjeet, Levyvalssaamon turvallisuusohjeet. [Viitattu 8.11.2023] Sisäinen ohje. Saatavilla EMS tietojärjestelmästä.
- [11] SFS-EN 10160 (2023), Vähintään 6 mm paksujen teräslevytuotteiden ultraäänitarkastus. Suomen Standardisoimisliitto. <https://online.sfs.fi>

Tarkasta kappale tarkastuskoodin EN 59 mukaisesti. Raportoi kaikki löydetyt viat. Käytä USM 100 ultraäänilaitetta ja SEB 4 luotainta. Säädä laitteen herkkyys $\varnothing 5\text{mm}$ tasapohjaporaukseen.

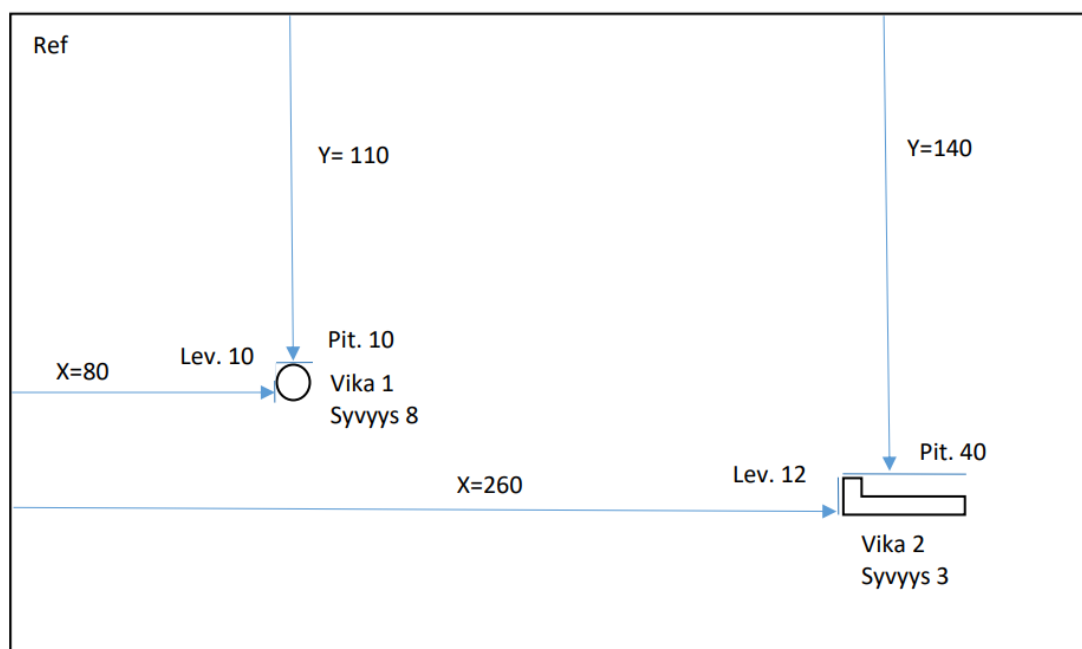
Mitoita vikojen/ vika-alueiden sijainti, koko ja syvyys ohjeen mukaisesti ja raportoi ne liitteelle 2. Piirrä, mitoita ja numeroi viat liitteessä 1 olevaan kappaleen kuvaan.

Sijainnin määrittämisen 0-piste sijaitsee kappaleen vasemmassa ylänurkassa ja se on merkitty kirjaimilla REF.

Ohje mitoitukseen ja raportointiin.

X=Etäisyys vasemmasta reunasta

Y= Etäisyys yläreunasta





Nimi:

Havaittujen vikojen raportointi

Laitteen perusvahvistus _____ dB/DAC Kappaleen numero _____

Vika 1.

Sijainti X= _____ mm Y= _____ mm, koko _____ mm², syvyys _____ mm, vahvistusero/DAC _____ dB

Vika 2.

Sijainti X= _____ mm Y= _____ mm, koko _____ mm², syvyys _____ mm, vahvistusero/DAC _____ dB

Vika 3.

Sijainti X= _____ mm Y= _____ mm, koko _____ mm², syvyys _____ mm, vahvistusero/DAC _____ dB

Vika 4.

Sijainti X= _____ mm Y= _____ mm, koko _____ mm², syvyys _____ mm, vahvistusero/DAC _____ dB

Vika 5.

Sijainti X= _____ mm Y= _____ mm, koko _____ mm², syvyys _____ mm, vahvistusero/DAC _____ dB

Vika 6.

Sijainti X= _____ mm Y= _____ mm, koko _____ mm², syvyys _____ mm, vahvistusero/DAC _____ dB

Vika 7.

Sijainti X= _____ mm Y= _____ mm, koko _____ mm², syvyys _____ mm, vahvistusero/DAC _____ dB

Vika 8.

Sijainti X= _____ mm Y= _____ mm, koko _____ mm², syvyys _____ mm, vahvistusero/DAC _____ dB

Vika 9.

Sijainti X= _____ mm Y= _____ mm, koko _____ mm², syvyys _____ mm, vahvistusero/DAC _____ dB

Vika 10.

Sijainti X= _____ mm Y= _____ mm, koko _____ mm², syvyys _____ mm, vahvistusero/DAC _____ dB