

Marko Brilli

# ULTRAÄÄNIMITTAUSPENKIN OHJAINKORTTI JA OHJELMISTO

Insinööryö

Kajaanin ammattikorkeakoulu

Tekniikan ja liikenteen ala

Tietotekniikan koulutusohjelma

Kevät 2001

 <p><b>Kajaanin ammattikorkeakoulu</b></p>	<p>TIIVISTELMÄ</p> <p>OPINNÄYTETYÖ</p>
<p>Osasto Tekniikka</p>	<p>Koulutusohjelma Tietotekniikka</p>
<p>Tekijä(t) Marko Brilli</p>	
<p>Työn nimi Ultraäänimittauspenkin ohjainkortti ja ohjelmisto</p>	
<p>Vaihtoehtoiset ammattiopinnot Mittaustekniikka</p>	<p>Ohjaaja(t) Pentti Romppainen Ville Hyvärinen</p>
<p>Aika 30.3.2001</p>	<p>Sivumäärä 48 + 8</p>
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän insinööriyön aiheena oli suunnitella Oulun yliopiston Mittalaitelaboratoriolle tarvittava ohjelmisto puutavaran tutkimiseksi ultraäänimittaus-penkillä. Tutkimuslaitteiston perustan muodostaa kaupallinen ultraäänilähetin-vastaanotinlaitteisto, jonka tuottama ultraääni kohdistetaan tutkittavaan materiaaliin. Tutkittavaa materiaalia siirretään mittauspenkissä askelmoottoreita käyttäen mitaten samalla ultraäänen etenemistä kohteessa. Askelmoottoreiden pyörivä liike muunnetaan lineaariliikkeeksi lineaariyksiköiden avulla. Kohteen läpi menneen ultraäänen voimakkuus ja ajallinen viipymä mitataan ultraääni-laitteistolla ja tiedonkeruukortilla. Ohjelmisto muodostaa mittaus tulosten perusteella tutkitusta alueesta värisävykartan, joka havainnollistaa materiaalin ominaisuuksia. Ultraäänilaitteiston asetuksia ohjataan ohjelmistosta käsin sarjaportin välityksellä. Ohjelmisto laadittiin graafisella LabVIEW-ohjelmointikielillä ja työn tuloksena oli ohjaus- ja mittausohjelmisto, joka mahdollistaa puutavaran tutkimisen ultraäänimittauspenkillä. Työssä suunniteltiin ja rakennettiin myös askelmoottoreiden ohjaamiseen tarvittava ohjainkortti.</p>	
<p>Luottamuksellinen Kyllä Ei            x</p>	
<p>Hakusanat Ultraääni, LabVIEW</p>	
<p>Säilytyspaikka Oulun yliopisto, Kajaanin kehittämiskeskus, Mittalaitelaboratorio, kirjasto Kajaanin ammattikorkeakoulu, tekniikka, käsikirjasto</p>	

 <b>Kajaanin ammattikorkeakoulu</b>		ABSTRACT	
Faculty of Engineering		Faculty of Information Technology	
Degree programme		Information Technology	
Author(s) Marko Brilli			
Title Software and Motor Controller Card for an Ultrasound Measurement Station			
Optional professional studies Measurement Technology		Instructor(s) / Supervisor(s) Pentti Romppainen Ville Hyvärinen	
Date 30.3.2001		Total number of pages 48 + 8	
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this final year project was to design and test software for an ultrasound measurement station for the measurement of wood. Ultrasound is generated by an air-coupled ultrasonic flaw detector and the wood materials are scanned using the through-transmission technique with a motorized scanning arrangement. The scanning movement is effected by step motors and their movement is converted to a linear motion by linear rails. The received ultrasound signal is measured by a flaw detector and further by a data acquisition board. The results are visualised by the software in an intensity chart which presents the scanned area. The software was made using LabVIEW which is a graphical programming language.</p> <p>The result of this project was software which makes it possible to scan wood products with an ultrasound measurement station. A motor controller for step motors was designed and built too.</p>			
Confidential Yes			
No <input checked="" type="checkbox"/>			
Keywords Ultrasound, LabVIEW			
Deposited at Measurement and Sensor Laboratory, library Kajaani Polytechnic, Faculty of Engineering, library			

## ALKUSANAT

Tämä insinööri työ on tehty Oulun yliopiston Kajaanin kehittämiskeskuksen Mittalaitelaboratoriolle. Haluan kiittää työn ohjaajina toimineita Pentti Romppaista Kajaanin ammattikorkeakoulusta ja Ville Hyväristä Mittalaitelaboratoriosta. Lisäksi haluan esittää kiitokset tutkimusjohtaja Juha Kalliokoskelle mahdollisuudesta tämän työn tekemiseen, sekä Pertti Karjalaiselle, Jouko Laukkaselle ja Veijo Sutiselle arvokkaista neuvoista ja tuesta työni eri vaiheissa. Niin ikään haluan kiittää koko Mittalaitelaboratorion henkilökuntaa ystävällisestä suhtautumisesta työtäni kohtaan. Kiitokset myös Kajaanin ammattikorkeakoulun opettajille Eero Soiniselle ja Kaisu Korhoselle työn kielellisestä ohjauksesta.

Kajaanissa 30.3.2001

Marko Brilli

## SISÄLLYSLUETTELO

1 JOHDANTO .....	1
2 ULTRAÄÄNI .....	3
2.1 Yleistä.....	3
2.2 Ultraäänen eteneminen.....	3
2.3 Ilman ongelmallisuus väliaineena.....	4
3 TUTKIMUSLAITTEISTO .....	6
3.1 Yleistä.....	6
3.2 Ultraäänilaitteisto.....	6
3.2.1 Lähetin ja vastaanotin .....	7
3.2.2 Ultraäänilaitteiston ominaisuudet .....	9
3.3 Mittauspenkki.....	12
3.3.1 Runko ja liikejärjestelmä.....	13
3.3.2 Lineaariyksiköt.....	13
3.3.3 Askelmoottorit .....	13
3.3.4 Kiinnitykset .....	14
3.4 Ohjainkortti.....	14
3.4.1 Komponenttien sijoittelu .....	14
3.4.2 Ohjainpiirit .....	15
3.4.3 Tuloastepiirit.....	15
3.4.4 Muut komponentit.....	17
3.5 Ohjausyksikkö.....	17
3.6 Tietokone ja tiedonkeruukortti.....	18
3.6.1 Tiedonkeruukortin ominaisuuksista .....	19
3.6.2 Tiedonkeruukortin liitännät muuhun laitteistoon .....	20
4 OHJELMISTO .....	22
4.1 Ohjelmistolle asetettavia vaatimuksia.....	22

4.2 Ohjelmiston rakenne.....	23
4.2.1 Ultraäänimittaus.vi.....	23
4.2.2 Aloituskohta.vi.....	24
4.2.3 Taulukot.vi.....	25
4.2.4 Muut virtuaaliset instrumentit.....	26
4.3 Siirtoliikkeen toteutus.....	28
4.4 Mittaustulosten keruu ja tallennus.....	29
4.4.1 Mittaussekvenssi.....	29
4.4.2 Mittaustulosten taulukointi.....	31
4.4.3 Mittaustulosten visualisointi.....	31
4.4.4 Mittaustulosten tarkastelu.....	33
4.5 Manuaalisiirto.....	33
4.6 Ultraäänilaitteiston asetukset.....	34
4.6.1 Asetukset ja komennot.....	35
4.6.2 Asetusten toteutus.....	36
5 TESTAUS.....	38
5.1 Testikappale.....	38
5.2 Ultraäänilaitteiston asetukset.....	39
5.3 Mittausjärjestely.....	40
5.4 Mittaustulokset.....	40
6 TYÖN ARVIOINTI.....	44
7 YHTEENVETO.....	45
LÄHTEET.....	46
LIITTEET	

## 1 JOHDANTO

Tämä insinööri työ on tehty Oulun yliopiston Mittalaitelaboratoriolle (MILA), joka on Kajaanissa toimiva Oulun yliopiston tutkimusyksikkö. MILA tuottaa mittaus- tekniikan osaamista ja toimii yhteistyössä mittalaitteita valmistavan elektroniikka- ja puunjalostusteollisuuden kanssa. Työ liittyy syksyllä 1999 aloitettuun laajempaan tutkimusprojektiin, jossa tutkitaan puumateriaalien ominaisuuksia useilla erilaisilla mittausmenetelmillä. Projektin tavoitteena on löytää suomalaisesta puusta sen kilpailukykyä parantavia ominaisuuksia ja niiden mittaus- menetelmiä.

Yhdeksi tutkimusmenetelmäksi on valittu ultraäänen etenemiseen perustuvat mittaukset. Tutkittavasta puumateriaalista pyritään ultraäänen avulla paikallistamaan esimerkiksi oksat, reiät, halkeamat ja laho sekä vieraat esineet, kuten naulat, luodit ja haulit. Tutkimuslaitteiston perustana on kaupallinen ultraää- nilähetin-vastaanotinlaitteisto ja itse rakennettu mittauspenkki.

Mittausten suorittaminen käsin olisi hidasta ja virhettä aiheuttavien tekijöiden mahdollisuus suuri, koska tällöin mittaustulos riippuisi aina jonkin verran mittauksen suorittaneesta henkilöstä. Mittaustapahtuma tulee voida myös toistaa riittävän tarkasti samoilla asetuksilla, joten mittausten automatisoimiseksi tarvitaan tietokoneella tapahtuvaa ohjelmoitua asemointia, mittausten tahdistusta asemointiin ja mittaustulosten tallentamista sekä käsittelyä, mikä on tämän insi- nöörityön aihe. Ohjaus- ja mittausohjelmiston lisäksi työssä suunniteltiin ja raken- nettiin askelmoottoreiden ohjaamiseen tarvittava ohjainkortti. Mittauspenkin

rungon ja liikejärjestelmän suunnittelu ja mitoitus sekä askelmoottoreiden yksityiskohtaisempi käsittely on rajattu tämän työn ulkopuolelle.



## 2 ULTRAÄÄNI

### 2.1 Yleistä

Nimitys ääni liittyy ihmisen korvan kykyyn havaita akustisia aaltoja. Akustinen aalto on väliaineen atomien, molekyylien tai ionien determinististä liikettä termisestä tasapainoasemastaan. Akustisilla aalloilla tarkoitetaan kaikkia taajuusalueella 0 - 100 GHz esiintyviä hiukkasaaltoja. Aluetta 0 - 20 Hz sanotaan infraäänialueeksi ja aluetta 20 kHz - 1 GHz ultraäänialueeksi. Yli 1 GHz olevia aaltoja sanotaan hyperaalloiksi. Ihmisen kuuloalueen alapuoliset infraäänit ja kuuloalueen yläpuoliset ultraäänit eivät saa aikaan korvassa kuuloaistimuksia. Kuitenkin myös kuuloalueen taajuuksilla esiintyy akustisia aaltotyyppisiä, joita ihmisen korva ei kuule. Ultraääneen perustuvaa tekniikkaa käytetään paljon esimerkiksi merenkulun kaikuluotauslaitteissa, lääketieteessä, pinnankorkeus- ja virtausmittarisovellutuksissa sekä erityyppisten materiaalien tutkimuksessa [1, s.115].

### 2.2 Ultraäänen eteneminen

Ultraääni ei normaalisti etene ilmassa hyvin, vaan tarvitsee toisenlaisen väliaineen edetäkseen. Tämä johtuu ilman akustisesta ominaisimpedanssista, joka on kaasuilla useita kertaluokkia pienempi kuin kiinteillä aineilla tai nesteillä. Akustisella ominaisimpedanssilla tarkoitetaan äänenpaineen ja hiukkasnopeuden suhdetta väliaineessa. Akustisten aaltojen tärkeimmät aaltotyypit ovat pitkittäis- ja poikittaisaallot, Rayleigh-aallot ja Lamb-aallot. Näiden aaltojen etenemisnopeus riippuu mm. aineen ja väliaineen ominaisuuksista sekä rajapinnasta [1, s.116,121].

Aiempien tutkimusten pohjalta tiedetään, että äänen nopeus itse puumateriaalissa riippuu mm. syynsuunnasta, lämpötilasta, kosteudesta, kimmomoduulista ja äänen taajuudesta. Lahonneessa puumateriaalissa ääni ei etene, vaan kiertää sen [2].

### 2.3 Ilman ongelmallisuus väliaineena

Korkeataajuinen ultraääni pyrkii heijastumaan erilaisen akustisen ominaisimpedanssin omaavan materiaalin ja väliaineen rajapinnasta. Käytettäessä väliaineena kaasua, kuten ilmaa, ovat ultraäänen häviöt huomattavasti suuremmat kuin nesteitä käytettäessä. Materiaalien rajapinnasta siirtyvän ultraäänen akustisen energian määrä  $T$  riippuu materiaalien akustisten ominaisimpedanssien sovituksesta

$$T = 2 \cdot \frac{\sqrt{Z_1 \cdot Z_2}}{Z_1 + Z_2},$$

missä  $Z_1$  ja  $Z_2$  ovat materiaalien akustiset ominaisimpedanssit [ $\text{Mrayls} = 10^6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ].

Esimerkiksi teräksen ( $Z \approx 46 \text{ Mrayls}$ ) ja veden ( $Z \approx 1,5 \text{ Mrayls}$ ) rajapinnassa signaalista siirtyy noin 35 %, mutta teräksen ja ilman ( $Z \approx 0,0004 \text{ Mrayls}$ ) tapauksessa vain noin 0,6 %. Käytännön mittaustilanteessa tällaisia rajapintoja on ainakin neljä; lähetinmateriaalista ( $Z \approx 35 \text{ Mrayls}$ ) väliaineeseen ja tutkittavaan materiaaliin sekä materiaalista väliaineeseen ja vastaanotinmateriaaliin [3, s.1-2].

Yleisimpiä impedanssisovituksen parantamiseen käytettyjä väliaineita ovat esimerkiksi vesi tai erilaiset öljyt ja geelit. Tällaisten väliaineiden käyttäminen tutkittaessa puumateriaaleja ultraäänimittauspenkillä ei ole mahdollista. Ultraäänitekniikka on kuitenkin kehittynyt varsin nopeasti, ja nykyään on saatavilla useilta eri valmistajilta ultraäänilähetin-vastaanotinlaitteistoja, joita käyttäen tällaisia

mittauksia voidaan suorittaa ilman erillisiä väliaineita. Tällöin ympäröivä ilma toimii väliaineena ja kohdetta voidaan tutkia koskettamatta ja rikkomatta.

## 3 TUTKIMUSLAITTEISTO

### 3.1 Yleistä

Tutkimuslaitteisto koostuu ultraäänilähetin-vastaanotinlaitteistosta, funktio-generaattorista, mittauspenkistä liikejärjestelmineen, kahdesta askelmoottorista, ohjausyksiköstä, tietokoneesta ja siihen asennetusta tiedonkeruukortista sekä ohjaus- ja mittausohjelmistosta. Laitteiston toimintaa voidaan kuvata seuraavasti:

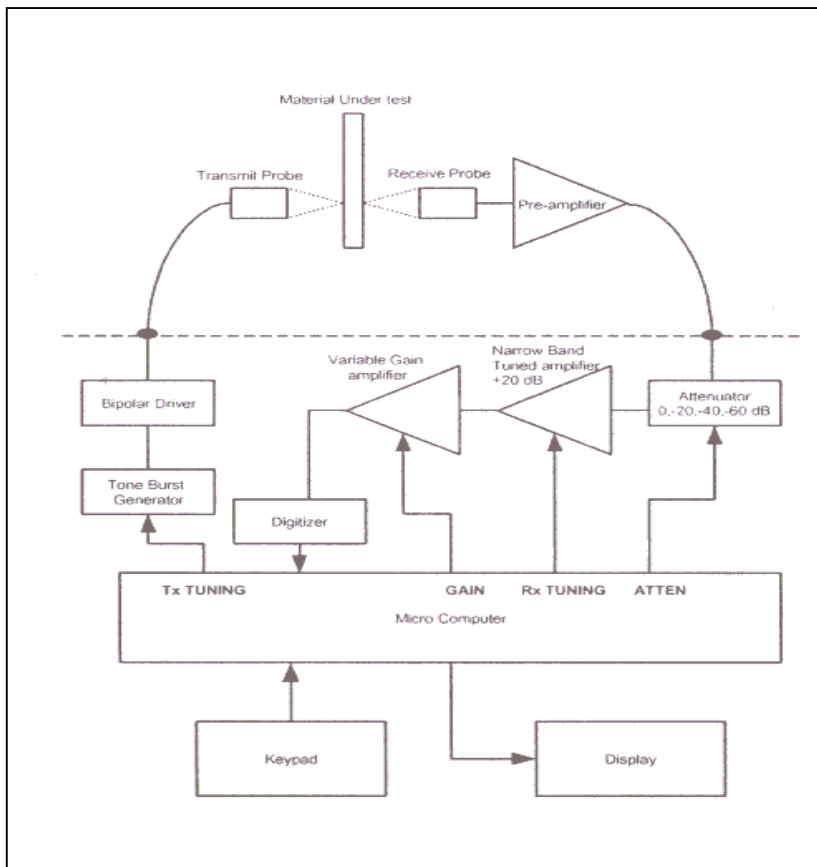
Ultraäänilaitteistolla muodostettu ultraäänikeila kohdistetaan lähettimestä tutkittavaan materiaaliin. Materiaalin läpi mennyt ultraääni vastaanotetaan, ja sen voimakkuus ja ajallinen viipymä mitataan ultraäänilaitteiston keskusyksikössä, josta ultraäänen voimakkuus johdetaan edelleen jännitemuotoisena signaalina tiedonkeruukortin mitattavaksi. Kohdetta siirretään ja pysäytetään mitaten ultraäänen voimakkuus jokaisella pysäytyshetkellä, kunnes koko tutkittavaksi määritetty alue on kartoitettu. Mittaustulosten perusteella alueesta voidaan muodostaa intensiteettikartta, jossa ultraäänen voimakkuus on kuvattu värisävyjä käyttäen.

### 3.2 Ultraäänilaitteisto

#### Yleistä

Työssä käytetty ultraäänilaitteisto on yhdysvaltalaisen valmistajan (Quality Material Inspection Inc, QMI) Sonda 007CX Airscan. Laitteisto koostuu keskusyksiköstä ja ultraäänilähetin-vastaanotinparista mittajohtimineen. Keskusyksikkö sisältää mm.

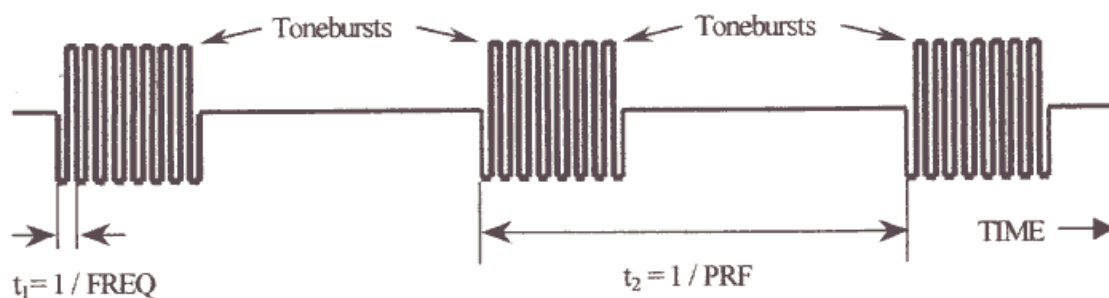
mikrotietokoneen, tarvittavan näppäimistön ja näytön, joiden avulla lähettimen ja vastaanottimen asetuksia säädetään. Kuvassa 1 on esitetty tämän tyyppisen ultraäänilaitteiston yksinkertaistettu lohkokaavio.



Kuva 1. Ultraäänilaitteisto – yksinkertaistettu lohkokaavio [3, s.4].

### 3.2.1 Lähetin ja vastaanotin

Ultraäänilähettimen ja vastaanottimen rakenteella on suuri merkitys häviöiden pienentämisessä. Ultraäänilaitteistossa häviöitä on pyritty pienentämään mm. käyttämällä suurta, pienihäiriöistä vahvistusta vastaanotettaessa signaalia sekä tuottamalla ultraääntä purskeina (kuva 2).



Kuva 2. Laitteisto tuottaa ultraääntä purskeina valitulla taajuudella [4, s.4].

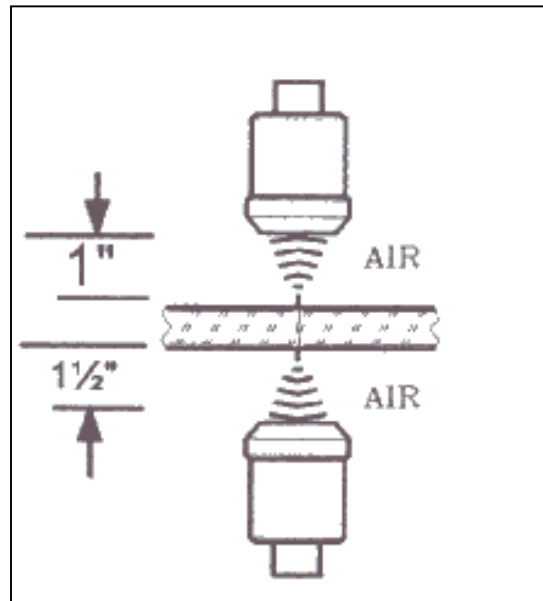
Purskeiden toistotaajuus (PRF) voidaan asettaa joko ulkoisella laitteella tai ultraäänilaitteistolla kiinteästi 150 kHz:n arvoon. Lähetin-vastaanotinpari on suunniteltu käytettäväksi vain tietyllä taajuudella, joten eri taajuuden käyttäminen edellyttää kyseiselle taajuudelle suunnitellun lähetin-vastaanotinparin käyttöä. Työssä käytetyllä mittausmenetelmällä puumateriaaleja tutkittaessa käytetään 120 kHz:n lähetin-vastaanotinparia.

#### Lähettimen ja vastaanottimen asettelu

Lähettimen ja vastaanottimen sijoittelu vaikuttaa paljon ultraäänen käyttäytymiseen ja lähettimen sekä vastaanottimen välille muodostuviin aaltotyyppihin. Lähetin-vastaanotinpari asetellaan haluttavan aaltotyypin ja tutkittavan materiaalin perusteella. Sijoitteluvaihtoehtoja on useita. Lähettimen ja vastaanottimen etäisyys kohteesta riippuu tutkittavasta materiaalista ja mittausmenetelmästä.

Yksinkertaisin ja yleisin skannauksessa käytetty asettelu on, että ultraäänilähetin ja -vastaanotin on asetettu vastakkain tutkittavan materiaalin molemmin puolin (Trough-Transmission – Compressional Wave set -up). Tätä asetelua käytetään ultraäänimittauspenkissä puumateriaaleja tutkittaessa.

Kuvan 3 mukaan lähetin sijoitetaan noin 4 cm:n ja vastaanotin noin 3 cm:n etäisyydelle tutkittavasta materiaalista. Kuvan esittämät etäisyydet ovat kuitenkin lähinnä valmistajan suuntaa antavia ohjearvoja, joten etäisyydet täytyy asettaa kullekin materiaalille sopivaksi ennen mittausten aloittamista.

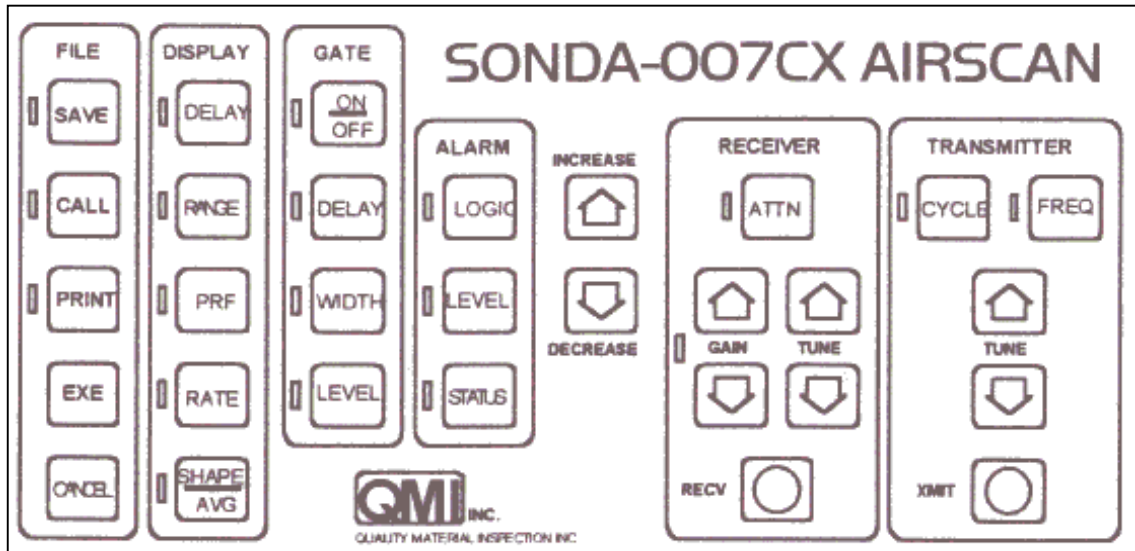


Kuva 3. Lähetin-vastaanotinparin asettelu [4, s.7].

### 3.2.2 Ultraäänilaitteiston ominaisuudet

#### Yleistä

Sonda-007CX:n asetuksia voi säätää joko laitteen etupaneelista tai ohjelmallisesti sarjaportin välityksellä. Asetukset voidaan jakaa kuuteen osaan: FILE-, DISPLAY-, GATE-, ALARM-, RECEIVER-, ja TRANSMITTER-asetuksiin (kuva 4). Laitteeseen voi liittää myös erillisen monitorin ja kirjoittimen. Seuraavassa on kerrottu lyhyesti tärkeimmistä asetuksista.



Kuva 4. Ultraäänilaitteiston etupaneelin asetusvalikko [4, s.9].

#### Lähetin (Transmitter)

Ultraäänipulssien taajuudeksi (FREQ) on asetettavissa 50 kHz, 120 kHz, 400 kHz tai 1 MHz. Vastaanotinpuolen asetukset muuttuvat automaattisesti valitulle taajuudelle. Tutkittaessa puuainesta skannaamalla on valmistajan suositus tälle taajuudelle 120 kHz. Purskeen sisältämien pulssien lukumäärä (CYCLE) on valittavissa väliltä 1...15.

#### Vastaanotin (Receiver)

Ultraäänivastaanottimen tulossa on mahdollista käyttää vaimennusta. Vaimennuksen (ATTN) arvoksi on valittavissa 0, 20, 40 tai 60 dB. Vastaanottimen vahvistus (GAIN) on säädettävissä välillä 40...80 dB.

#### Näyttö (Display)

Liipaisupulssin ja näytön välinen viive (DELAY) on säädettävissä välillä 0,1 - 1600  $\mu$ s. Näytön aika-aluetta (RANGE) voi säätää 0,4 ja 800  $\mu$ s:n välillä. 5 MHz:n tai tätä pienemmillä näytteenottotaajuuksilla (RATE) näytön aika-alue on enimmillään 1600  $\mu$ s.



Tuotettavien ultraäänipurskeiden toistotaajuudeksi (PRF) on valittavissa 150 Hz tai se voidaan säätää myös ulkoisesti esimerkiksi funktiogeneraattorilla tai tiedonkeruukorttia hyödyntäen. Näytteenottotaajuuden arvoksi (RATE) on valittavissa 1,2, 2,5, 5 tai 10 MHz. Useimmiten näytteenottotaajuuden arvona käytetään 10 MHz.

Näytölle on valittavissa neljä erilaista näyttömuotoa (SHAPE). RF-tilassa signaali näytetään 0-tason molemmin puolin keskellä näyttöä joko täytetyssä (filled) tai läpinäkyvässä (hollow) muodossa. FW-tilassa signaali näkyy 0-tason yläpuolella näyttöruudun alaosassa filled- tai hollow-muodossa. Kuvaruudulla näytettävä signaali päivitetään AVG-asetuksen mukaan. Arvo on valittavissa väliltä 1...15, jolloin näyttö päivitetään 1...15 ultraäänipurskeen välein.

#### Rajaustoiminto (Gate)

Gate-asetuksella voidaan laitteen näytöltä rajata tarkasteltavaksi halutun kokoinen alue. Mikäli rajausta käytetään (ON/OFF), niin valittujen arvojen mukaan rajattu alue näkyy näytöllä. Rajatun alueen aloituskohtaa näytöllä muutetaan viiveellä (DELAY), jonka arvo on säädettävissä välillä 0,1...1600  $\mu$ s. Rajausalueen leveys (WIDTH) on säädettävissä 0,1...800  $\mu$ s. Rajausalueen korkeudeksi (LEVEL) valitaan 0 - 100 % kuvaruudun korkeudesta.

#### Hälytys (Alarm)

Alarm-asetuksia (LOGIC, LEVEL, STATUS) käytetään yhdessä Gate-asetusten kanssa määrittämään signaalille tietty taso, jolloin laite hälyttää signaalin tason noustessa tai laskiessa asetetun tason ylä- tai alapuolelle. Äänimerkin kesto voidaan asettaa joko siten, että hälytysääni kuuluu, kunnes signaalin taso ei ole enää hälytykselle määritetyllä tasolla, tai niin, että hälytysääni kuuluu jatkuvasti, vaikka signaalin taso siirtyisi pois hälyttävältä tasolta.

## Tiedostotoiminnot (File)

File-valikon asetuksia ja toimintoja (SAVE, CALL, PRINT, EXEC, CANCEL) käytetään signaalikuvien tallentamiseen ja tulostamiseen. Laitteen muistiin on mahdollista tallentaa esimerkiksi määritettyjä asetuksia ja kuvia näytölle jäädytetyistä signaaleista [4, s.10-14].

## 3.3 Mittauspenkki

### Yleistä

Tutkittavan kohteen siirtämiseksi olisi saatavissa valmiita kaupallisia siirtolaitteita, mutta itse rakentamalla saatiin tähän käyttötarkoitukseen sopivan kokoinen ja edullinen järjestelmä. Tilan säästämiseksi penkki asennettiin pystyasentoon (kuva 5). Penkkiä on kuitenkin mahdollista käyttää myös vaakatasossa, joten sitä voidaan hyödyntää tarvittaessa myöhemmissäkin tutkimustarpeissa.



*Kuva 5. Ultraäänimittauspenkki.*

### 3.3.1 Runko ja liikejärjestelmä

Mittauspenkin runko on tehty 45 mm:n alumiiniprofiilista (Bosch), jonka valintaperusteena on sekä rakentamisen että muunneltavuuden nopeus ja helppous. Tutkittava kohde liikkuu x- ja y-suunnissa lineaariyksiköillä ja askelmootoreilla toteutetulla liikejärjestelmällä. Kohteen siirtämiseen molemmissa suunnissa käytetään askelmootoreita niiden helpon ohjattavuuden vuoksi. Askelmootoreiden tuottama pyörivä liike muutetaan lineaariliikkeeksi lineaariyksiköillä.

### 3.3.2 Lineaariyksiköt

Lineaariyksiköiden- ja johteiden valintaan vaikuttavia seikkoja olivat siirron pituus ja tarkkuus, kuormitettavuus ja mekaaninen koko. Pystysuuntaa siirtäväksi lineaariyksiköksi valittiin Rose & Kriegerin valmistama kuularuuvikäyttöinen PLS 60, jonka paikoitustarkkuudeksi valmistaja ilmoittaa  $\pm 0,1$  mm / 300 mm. Kuularuuvikäyttöinen yksikkö mahdollistaa trapetsiruuvikäyttöistä suuremmat nopeudet ja kuormitukset sekä jatkuvan käytön. Pystysuunnan liikelaajuus rajoittaa tutkittavan kohteen maksimipituudeksi pystysuunnassa 1100 mm. Vaakasuunnan siirtämiseen valittiin trapetsiruuvikäyttöinen lineaariyksikkö PLS 40, jonka paikoitustarkkuudeksi luvataan niin ikään  $\pm 0,1$  mm / 300 mm [5]. Vaakasuunnan liikelaajuus rajoittaa tutkittavan kohteen maksimileveydeksi 170 mm. Molempien lineaariyksiköiden tarkkuus ja kuormitettavuus olivat tähän käyttötarkoitukseen riittäviä.

### 3.3.3 Askelmootorit

Askelmootoreille asetettavia vaatimuksia olivat tarkkuuden, vääntömomentin ja mekaanisen koon ohella yhteensopivuus ohjainkortin kanssa. Pystysuuntaan siirrettäessä tarvitaan suurempaa vääntömomenttia kuin vaakasuunnan siirtämiseen. Sekä pystysuuntaa että vaakasuuntaa siirtäväksi moottoriksi valittiin 2-vaiheinen Sanyo Denki Stepsyn -askelmoottori, mutta vaakasuuntaa siirtävä moottori pienempikokoisena. Molemmat moottorit olivat suoritusarvoiltaan riittäviä

tähän käyttötarkoitukseen, ja niiden ottamat maksimivirrat olivat sopivia ohjainkortille mitoitettujen komponenttien kanssa.

### 3.3.4 Kiinnitykset

Tutkittavan kohteen kiinnitys on tehty sellaiseksi, että penkkiin voidaan helposti kiinnittää tutkittavaksi erimittaisia puumateriaaleja. Mittauksia suoritettaessa ultraäänilähettimen ja -vastaanottimen paikka on kiinteä, mutta kiinnitykset on toteutettu siten, että niiden etäisyyttä ja korkeutta voidaan muuttaa mitattavan kohteen mukaan.

## 3.4 Ohjainkortti

### Yleistä

Suunniteltu ohjainkortti perustuu Prosessori-lehdessä 5/2000 esiteltyyn ohjauskytkentään, jonka perustana on puolijohdepiiri L6203 [7]. Askelmoottoreiden ohjaukseen tarvittava kytkentä ja ohjainkortin piirilevy suunniteltiin PADS-ohjelmistolla. PADS-ohjelmistolla laaditun dokumentoinnin pohjalta voitiin piirilevyjyrsimellä valmistaa ohjainkorttia varten kaksipuolinen piirilevy. Komponenttien sijoittelu ja juottaminen piirilevylle tapahtui käsin. Ohjainkortti pyrittiin suunnittelemaan siten, että sen pohjalta voidaan valmistaa myöhemminkin vastaavanlaiseen käyttötarkoitukseen soveltuva kortti. Piirilevyn layout-kuva ylä- ja alapuolelta on esitetty liitteessä A/1-2.

### 3.4.1 Komponenttien sijoittelu

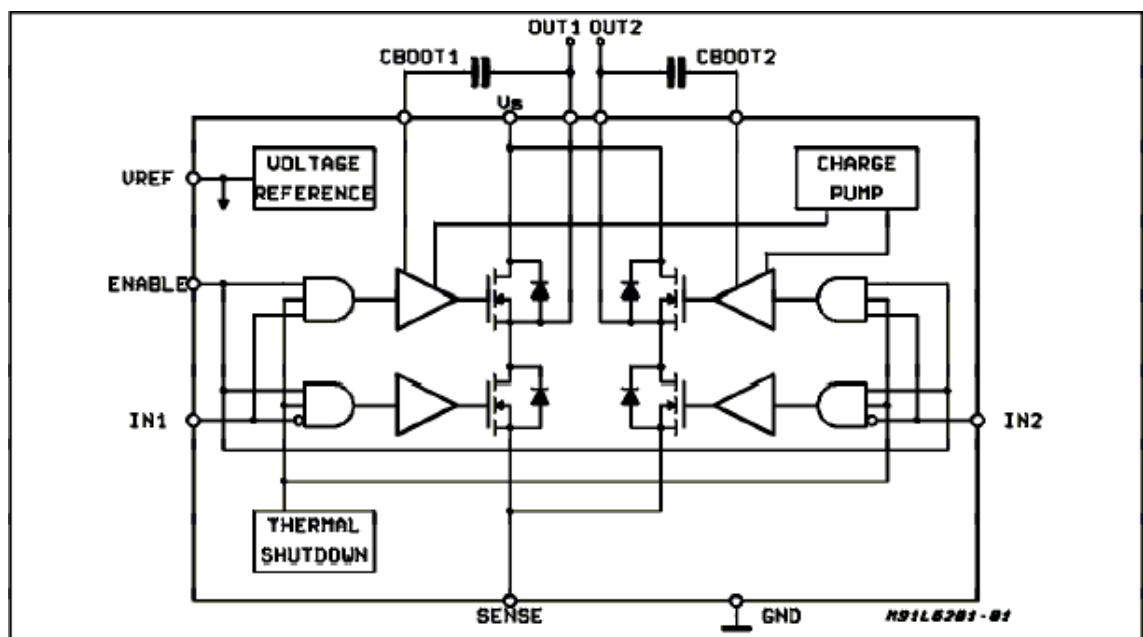
Ohjausyksikössä käytettävissä oleva tila asetti rajoitukset ohjainkortin koolle. Piirilevyn pituus sai olla enimmillään 170 mm ja leveys enimmillään 100 mm. Piirilevyn suunnittelu aloitettiin siten, että ensimmäisenä sijoitettiin ne komponentit, joiden paikka oli määrätty. Liittimet sijoitettiin piirilevyn reunoille ja ohjainpiirit

piirilevyn toiselle reunalle siten, että ne oli mahdollista kiinnittää jäähdytinelementtiin. Suodinkondensaattorit sijoitettiin IC-piirin läheisyyteen ja muut komponentit niin, että pitkiä ja kiemurtelevia johtimia tulisi mahdollisimman vähän. Komponenttien sijoittelukuva on esitetty liitteessä B.

### 3.4.2 Ohjainpiirit

Ohjainkortissa kytkennän ohjausasteina toimivat L6203-puolijohdepiirit. Moottorin käämin läpi kulkevan virran kytkemiseksi, katkaisemiseksi ja kääntämiseksi ohjainpiirissä on neljästä D-MOSFETista muodostettu siltakytkentä.

Kahden ylemmän ohjaamiseen tarvittava syöttöjännitettä suurempi jännite saadaan myötäaskeltavista bootstrap-piireistä (kuva 6).



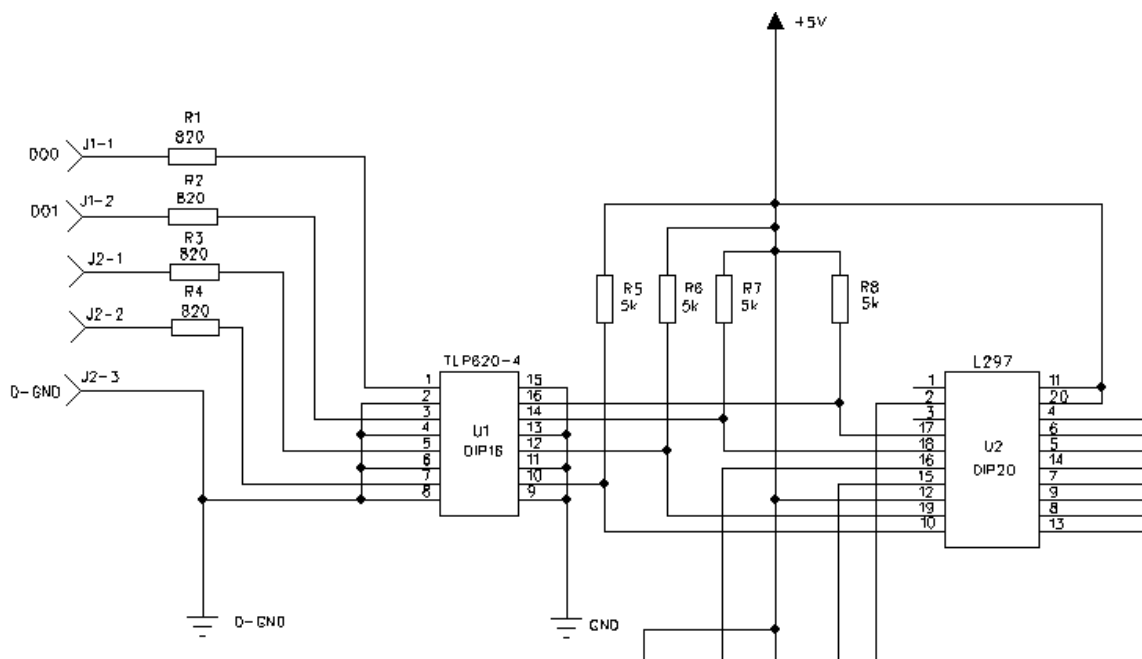
Kuva 6. L6203-ohjainpiirin lohkokaavio [6].

### 3.4.3 Tuloastepiirit

Kuvassa 7 on esitetty pystysuuntaa siirtävän moottorin tuloastepiirin kytkennät.

L297-tuloastepiirin nastoihin syötettävillä jännitetasoilla valitaan, askeltaako moottori kokonaisen vai puolen askeleen verran ja pyöriikö moottori myötä- vai vastapäivään. Ohjattava moottori askeltaa yhden askeleen kerrallaan jokaisella tulonastaan 18 syötettävällä pulssilla. Nastan 17 jännitetasolla ohjataan pyörimissuuntaa, ja vastaavasti nastan 19 jännitetasolla voidaan määrätä, askeltaako moottori kokonaisen vai puolikkaan askeleen kullakin nastaan 18 syötettävällä pulssilla. Ohjainkortilla nasta 19 kytkettiin siten, että moottori askeltaa puolikkailla askelilla.

Kytkentään lisättiin liitin J2-1 sekä ylösvetovastus R6, jotta nastan 19 jännitetasoa voidaan tarvittaessa muuttaa. Nollaustasta 20 ja ohjausnasta 11 kytkettiin kiinteästi 5 V:n syöttöjännitteeseen. Sallintanasta 10 kytkettiin myös vastuksen R5 kautta syöttöjännitteeseen ja liitin J2-2 lisättiin ohjainkortin mahdollista myöhempää käyttöä varten. Optiseen erotukseen tarvittavaa TLP620-4-piiriä käytetään erottamaan ohjain- ja tiedonkeruukortin maadoitukset. Täydellinen kytkentäkaavio on esitetty liitteessä C/1 ja vaakasuuntaa siirtävän moottorin ohjauskytkennät liitteessä C/2.



Kuva 7. Tuloastepiirin kytkennät.

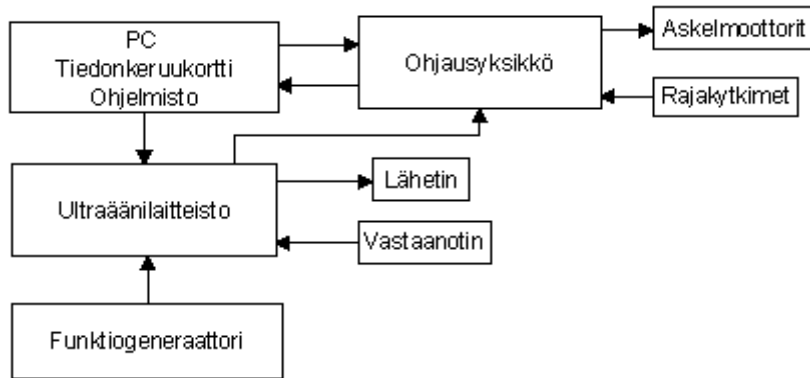
#### 3.4.4 Muut komponentit

Liitteissä C/1-2 näkyvät vastukset R14 ja R29 yhdessä kondensaattoreiden C6 ja C16 kanssa vaimentavat mahdollisia moottorin napojen yli meneviä jännitepiikkejä. Vastukset R12, R13, R27 ja R28 estävät mikropiirien U2 ja U6 toiminnan, jos virta pyrkii nousemaan liian suureksi. Ohjainpiirit eivät vaurioidu lämmöstä, mutta katkaisevat moottorin syötön lämpötilan noustessa liian korkeaksi [7]. Ohjainpiirien sisäisestä lämpösuojauksesta huolimatta ne kiinnitettiin varmuuden vuoksi ohjausyksikössä erilliseen alumiiniseen jäähdytyslevyyn.

Samalle piirilevyllä sijoitettiin myös liitteessä C/3 näkyvä rajakytkimille tarvittava 74HC14-Schmitt-trigger-piiri U10 sekä vastukset R31 ja R32. Rajakytkimen 1 tehtävänä on tunnistaa, milloin pystysuuntaa ohjaava askelmoottori on siirtänyt kohteen alimpaan asentoonsa, ja rajakytkin 2 tunnistaa, kun leveyssuuntaa ohjaava moottori on siirtänyt leveyssuunnan ääriasentoonsa. Ohjausyksikön muuntajalta saatava 24 V:n jännite konvertoidaan edelleen rajakytkimille ja ohjainkortille sopivaksi 5 V:n jännitteeksi TEM2-2411-piiriä U9 käyttäen. Ohjainkortin komponenttiluettelo on liitteessä D/1-2.

#### 3.5 Ohjausyksikkö

Ohjainkortti sijoitettiin erilliseen ohjausyksikköön, jonne asennettiin ohjainpiirien jäähdytystä varten tuuletin ja alumiininen jäähdytyslementti. Ohjausyksikköön syötettävä verkkojännite muunnetaan ohjausyksikössä olevalla muuntajalla askelmoottoreille sopivaksi jännitteeksi. Ohjausyksikkö varustettiin pääkytkimen lisäksi hätä/seis-kytkimellä ja takapaneeliin asennettiin liitin ultraäänilaitteistolta tulevan jännitesignaalin mittaamista varten. Tiedonkeruukortti liitettiin ohjausyksikköön 25-napaisella liittimellä. Kuva 8 havainnollistaa ohjausyksikön liitäntöjä muuhun tutkimuslaitteistoon.



Kuva 8. Ohjausyksikön liitännät muuhun tutkimuslaitteistoon.

### 3.6 Tietokone ja tiedonkeruukortti

#### Yleistä

Tietokonetta tarvitaan ohjaus- ja mittausohjelmiston suorittamiseen sekä tiedonkeruukortin käyttämiseen. Tietokoneelle ei asetettu erityisiä vaatimuksia, vaan käyttötarkoitukseen soveltui Windows-käyttöjärjestelmällä varustettu tavallinen mikrotietokone. Tiedonkeruukorttia tarvitaan ultraäänilaitteistolta saatavan 0 - 5 V jännitesignaalin mittaamiseen, askelmoottoreiden pyörimissuunnan ja niille syötettävien askelluspulssien tuottamiseen sekä rajakytkimien tilan havaitsemiseen. Tiedonkeruukorttia tullaan hyödyntämään myöhemmin myös ultraäänilaitteiston lähettämien ultraäänipurskeiden toistotaajuuden (PRF) säätämiseen.

#### Tietokone

Mittausjärjestelmässä käytettävälle tietokoneelle asetettavia vaatimuksia olivat käyttötarkoitukseen riittävä suorituskyky ja kiintolevyn koko. Tietokoneeksi sopi PCI-väylällä oleva 233 MHz:n PC varustettuna 3,4 Gt:n kiintolevyllä, 80 Mt:n keskusmuistilla ja 17 tuuman näytöllä. Käyttöjärjestelmäksi asennettiin Windows NT 4.0.



## Tiedonkeruukortti

Tiedonkeruukortille asetettavia vaatimuksia olivat

- riittävä resoluutio
- riittävä analogisten tulokanavien ja digitaalisten I/O-kanavien määrä
- tulokanavien jännitealue välillä 0 - 10 V
- yhteensopivuus PCI-väylän, Windows-käyttöjärjestelmän ja LabVIEW-ohjelmiston kanssa.

### 3.6.1 Tiedonkeruukortin ominaisuuksista

*Resoluutiolla* ymmärretään tässä yhteydessä bittien lukumäärää, jota tiedonkeruukortilla oleva ADC-muunnin (Analog-to-Digital Converter) käyttää analogisen signaalin esittämiseen. Mitä suurempi resoluutio kortilla on, sitä tarkemmin se pystyy muodostamaan uudelleen digitaalisen signaalin alkuperäisestä analogisesta signaalista.

Tiedonkeruukortin tulokanavat voidaan kytkeä joko erillisiin (*Differential*) tai yhteiseen (*Single-ended*) maapotentiaaliin. Single-ended-tulossa kanavat on kytketty yhteiseen maapotentiaaliin. Tätä vaihtoehtoa käytetään, jos tulosignaalin taso on suuri ( $>1$  V) ja mittajohtimien pituus signaalin lähteen ja tiedonkeruukortin tulon välillä on lyhyehkö ( $< 5$  m). Differentiaalista tuloa käytettäessä jokaisella tulokanavalla on oma maapotentiaalinsa. Tämä pienentää mahdollisia mittajohtimien ja maapotentiaalain kautta aiheutuvia häiriöitä [8, s.9-3].

*Jännitealue* viittaa tiedonkeruukortin ADC-muuntimelle tulevan jännitteen minimi- ja maksimiarvoihin. Se on useimmiten ohjelmallisesti asetettavissa siten, että kortin resoluutiota voidaan hyödyntää mitattavan signaalin mukaan. Mitattavaa signaalia voidaan myös vahvistaa, vaimentaa tai keskiarvoistaa ennen digitalisointia mittaustarkkuuden parantamiseksi [8, s.9-4].

*Näytteistystaajuus* määrää, kuinka usein A/D-muunnos (Analog-to-Digital) suoritetaan. Mitä suurempi näytteistystaajuus on, sitä tarkempi kuva alku-

peräisestä signaalista voidaan muodostaa. Nyqvistin näytteenottoteorian mukaan näytteistystaajuuden tulee olla vähintään kaksi kertaa suurempi kuin suurin mitattavassa signaalissa esiintyvä taajuus, jotta uudelleen muodostettava signaali ei vääristyisi [8, s.9-5].

Tiedonkeruukortiksi valittiin PCI-väylään sopiva 6023E (National Instruments), joka tukee LabVIEW-ohjelmistoa ja täyttää sille asetetut vaatimukset seuraavilla ominaisuuksilla [9]

- 12-bittinen resoluutio
- analogisia tulokanavia 16 single-ended, 8 differential
- tulokanavien vaihteluväli asetettavissa 0 - 10 V
- digitaalisia I/O-kanavia 8
- Windows- ja LabVIEW -yhteensopiva.

### 3.6.2 Tiedonkeruukortin liitännät muuhun laitteistoon

Digitaalisten I/O-kanavien DIO0 - DIO3 kautta ohjataan askelmoottoreiden nopeutta ja suuntaa. Kanavia DIO6 ja DIO7 käytetään rajakytkimien 1 ja 2 tilojen havaitsemiseen. Analogisella tulokanavalla ACH0 mitataan ultraäänilaitteistolta saatavaa 0 - 5 V jännitesignaalia, joka sisältää tiedon tutkittavan kohteen läpi menneestä ultraäänien voimakkuudesta ja ajallisesta viipymästä. Tiedonkeruukortti yhdistettiin ohjainyksikön 25-napaiseen liittimeen taulukon 1 mukaisesti.

Taulukko 1. Tiedonkeruukortin ja ohjausyksikön väliset liitännät.

<b>Kanava</b>	<b>I/O-liitin</b>	<b>DB-25</b>	<b>Ohjainyksikkö</b>
ACH0	68	15	Jännitesignaali uä-laitteistolta
AGND	64	14	Analoginen maa
DIO0	52	11	Moottorin 1 suunta (pystysuunta)
DIO1	17	4	Moottorin 1 askellus (pystysuunta)
DIO2	49	9	Moottorin 2 suunta (vaakasuunta)
DIO3	47	7	Moottorin 2 askellus (vaakasuunta)
DIO6	16	3	Rajakytkin 1 (pystysuunta)
DIO7	48	8	Rajakytkin 2 (vaakasuunta)
DGND	13	6	Digitaalinen maa
DGND	18	5	Digitaalinen maa
DGND	15	2	Digitaalinen maa
DGND	50	10	Digitaalinen maa
DGND	53	12	Digitaalinen maa
+5V	14	1	+5V

## 4 OHJELMISTO

### Yleistä

Kuten aiemmin todettiin, mittausten suorittaminen käsin olisi liian hidasta ja toistaminen hankalaa. Sopivan ohjaus- ja mittausohjelmiston avulla laitteisto voidaan jättää suorittamaan aikaa vievät mittaukset ilman valvontaa. Ohjelmisto laadittiin graafisella LabVIEW-ohjelmointikielellä, joka on vuosien myötä lunastanut paikkansa muiden ohjelmointikielien joukossa automaatio- ja mittaustekniikan ohjaus- ja mittaussovelluksissa. LabVIEW:llä tehtyä ohjelmaa kutsutaan virtuaaliseksi instrumentiksi, jonka mukaan ohjelmatiedostot nimetään vi-tarkenteella. Ohjelmoinnissa käytetty LabVIEW:n tähän saakka uusin versio 6.i julkaistiin syksyllä 2000.

### 4.1 Ohjelmistolle asetettavia vaatimuksia

Ohjelmistolle asetettavia vaatimuksia olivat

- mitattavan kohteen asemointi
- ultraäänilähetin-vastaanotinlaitteiston parametointi
- mittaustulosten keruu ja tallennus
- mittaustulosten visualisointi.

Lisäksi käyttäjän tulee voida siirtää tutkittavaa kohdetta myös manuaalisesti siten, että kohde voidaan asemoida haluttuun kohtaan esimerkiksi sopivien asetusten löytämiseksi ultraäänilaitteistolle. Ultraäänilaitteiston asetuksia on pystyttävä

säätämään ohjelmistosta käsin ja kohteelle määritellyt mittaukset tulee voida suorittaa laitteistolla ilman valvontaa. Mittaustulokset täytyy visualisoinnin lisäksi saada myös tallennettua myöhempää analysointia varten.

## 4.2 Ohjelmiston rakenne

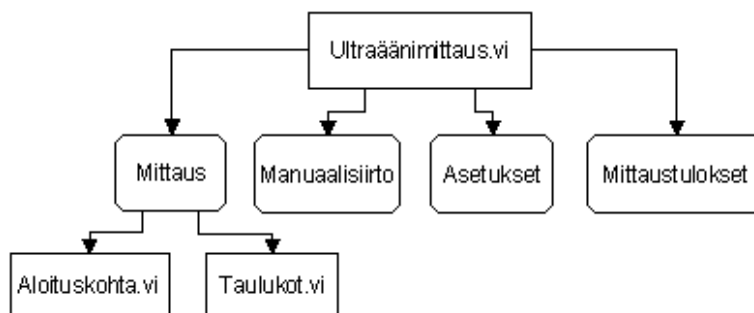
Ohjelmisto koostuu seuraavista pääosista:

- tutkittavan alueen määrittäminen ja mittaus
- kohteen manuaalinen siirto
- ultraäänilaitteiston asetukset
- mittaustulosten tarkastelu.

Käyttöliittymän yksinkertaistamiseksi nämä pääosat on koottu pääohjelmaan välilehdiksi, joista käyttäjä voi valita kulloinkin tarvitsemansa toiminnot. Seuraavassa on kuvattu lyhyesti virtuaaliset instrumentit, joista ohjelmisto rakentuu.

### 4.2.1 Ultraäänimittaus.vi

Ultraäänimittaus sisältää ohjelmiston pääosat: mittaus, manuaalisiirto, asetukset ja mittaustulokset. Tämän pääohjelman mittausosa sisältää lisäksi kaksi aliohjelmaa, jotka suorittavat ohjelmistossa pienempiä toimintoja (kuva 9).

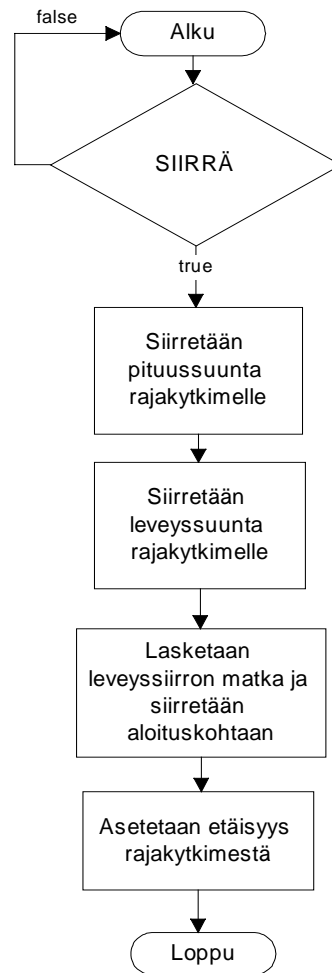


Kuva 9. Ohjelmiston rakenne.

Pääohjelma on toteutettu Case-rakenteella, jossa jokainen pääosa muodostaa oman tapauksensa. Mittaus sisältää mittauksessa tarvittavat toiminnot. Manuaalisiirto-välilehdeltä käyttäjä voi siirtää tutkittavaa kohdetta haluamansa verran haluamaansa suuntaan. Asetukset-välilehdeltä ohjataan ultraäänilaitteiston asetuksia ja Mittaustulokset-sivulla voi tarkastella tallennettuja mittaustuloksia sekä tallentaa ja lukea mittauksista tehtyjä muistiinpanoja.

#### 4.2.2 Aloituskohta.vi

Aloituskohta-aliohjelma siirtää tutkittavan kappaleen mittauksen aloittamiskohtaan. Se on toteutettu sekvenssirakenteella, jossa kohdetta siirretään ensimmäiseksi pituussuunnassa alaspäin, kunnes rajakytkin saavutetaan. Sen jälkeen siirrytään leveyssuunnassa vasemmalle, kunnes leveyssuunnan rajakytkin saavutetaan. Seuraavaksi kohde siirretään käyttäjän antaman leveystiedon perusteella laskettuun aloituskohtaan. Lopuksi kohde siirretään 10 mm rajakytkimestä ylöspäin. Kuvassa 10 on aliohjelman toiminnallinen vuokaavio.



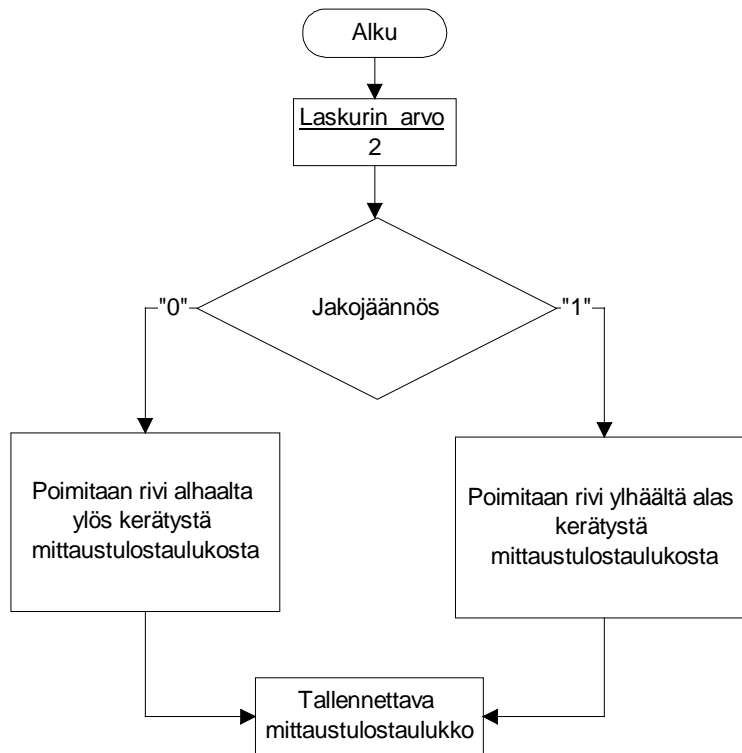
*Kuva 10. Aloituskohtaan siirto.*

Mittauspenkissä olevien ultraäänilähettimen ja -vastaanottimen paikka on kiinteä leveyssuunnassa, eivätkä ne liiku mittauksen aikana. Niiden sijaintia muutetaan vain korkeussuunnassa kohteen pituuden mukaan. Lähettimen ja vastaanottimen kiinnitykset on kuitenkin toteutettu siten, että niiden etäisyyttä kohteesta ja sijaintia leveyssuunnassa voidaan tarvittaessa muuttaa.

#### 4.2.3 Taulukot.vi

Taulukot-aliohjelmalla yhdistetään alhaalta ylöspäin ja ylhäältä alaspäin kerätyt mittaustulokset yhdeksi taulukoksi, joka voidaan esittää intensiteetikarttana. Se on toteutettu For-silmukka- ja Case- rakenteella, jossa erillisistä mittaustulos-taulukoista mittaustulokset poimitaan vuorotellen samaan taulukkoon rivi kerrallaan. For-silmukan suorituskertojen lukumäärä riippuu erillisten taulukoiden rivien lukumäärästä. Mittaustulosrivit sijoitetaan tallennettavaan taulukkoon For-

silmukan laskurin arvolle suoritetun jakolaskun jakojäännöksen perusteella (kuva 11).



*Kuva 11. Mittaustulokset järjestetään aliohjelmassa samaan taulukkoon.*

#### 4.2.4 Muut virtuaaliset instrumentit

Ohjelmistossa on hyödynnetty myös seuraavia valmiita virtuaalisia instrumentteja:

Write to Digital Line\_1.vi

Write to Digital Line\_1.vi:llä asetetaan tiedonkeruukortin digitaalisten I/O-linjojen tilat. Tätä käytetään mm. askelmoottoreiden pyörimissuunnan ohjauksessa.



## Read from Digital Line.vi

Read from Digital Line.vi:llä luetaan tiedonkeruukortin digitaalisten I/O-linjojen tilat. Tätä käytetään pysty- ja vaakasuunnan ääriasentoa tunnistavien rajakytkimien tilojen havaitsemiseen.

## Serial Port Init.vi ja Serial Port Write.vi

Serial Port Init.vi:llä määritellään sarjaliikenteessä käytettävät asetukset. Tätä tarvitaan ultraäänilaitteiston asetusten ohjaamisessa sarjaportin välityksellä. Serial Port Write.vi:llä kirjoitetaan dataa sarjaporttiin. Tätä käytetään ultraäänilaitteistolle annettavien asetuskäskyjen kirjoittamiseen.

## Write to Spreadsheet File.vi

Write to Spreadsheet File.vi:llä muutetaan taulukko merkkitiedoksi ja kirjoitetaan se uuteen tai olemassa olevaan tiedostoon. Tätä käyttäen mittaustulokset tallennetaan ohjelmistossa tiedostoiksi.

## Read from Spreadsheet File.vi

Read from Spreadsheet File.vi:llä luetaan haluttu rivimäärä merkkitiedostosta. Tätä käyttäen tallennetut mittaustulokset voidaan myöhemmin avata tarkasteltavaksi ohjelmistossa.

## Open/Create/Replace File.vi ja Simple Error Handler.vi

Open/Create/Replace File.vi:llä avataan, luodaan tai korvataan tiedosto. Simple Error Handler.vi ilmoittaa virhetilanteista. Näitä käytetään ohjelmistossa muistiinpanojen tallentamiseen ja avaamiseen.

### 4.3 Siirtoliikkeen toteutus

Askelmoottoreiden pyörittämiseen tarvitaan pulssijonoa, jota tuotetaan ohjelmiston ja ohjainkortin avulla. Askelmoottori askeltaa yhden määrätyn kokoisen askeleen kullakin sille syötettävällä pulssilla. Ohjainkortilla tämä askellus on valittu siten, että moottori askeltaa puoli askelta kullakin ohjainkortille syötettävällä pulssilla. Pulssit synnytetään ohjelmistossa kirjoittamalla kunkin moottorin tiedonkeruukortille kytkettyyn digitaaliseen I/O-kanavaan vuorotellen 0- ja 1-tilaa, jolloin kanavan tila on vuorotellen 0 V ja +5 V.

Moottorin pyörimissuunta vaihdetaan vastaavalla tavalla ohjelmistosta käsin asettamalla pyörimissuunnalle määritetty I/O-kanava 0- tai 1-tilaan. Siirron pituus määräytyy lineaariyksiköiden ominaisuuksien mukaan. Pystysuuntaa siirtävän PLS 60:n liike on 5 mm jokaista moottorin täyttä kierrosta kohti ja vaakasuuntaa siirtävän PLS 40:n liike 4 mm. Näin ollen yhdellä kokonaisella moottorin askeleella saadaan aikaan

$$5 \text{ mm} / 200 \text{ askelta} = 0,025 \text{ mm liike} / \text{askel.}$$

Vastaavasti vaakasuuntaan saadaan

$$4 \text{ mm} / 200 \text{ askelta} = 0,02 \text{ mm liike} / \text{askel.}$$

Tämän perusteella voidaan ohjelmistossa laskea tietyn matkan siirtämiseen tarvittavien pulssien lukumäärä kullekin moottorille. Yhdellä pulssilla moottori askeltaa puolikkaan askeleen verran. Ohjelmistossa tuotetaan yhden millimetrin matkan siirtämiseen tarvittava pulssijono suorittamalla yhden pulssin tuottava For-silmukka riittävän monta kertaa. Esimerkiksi pystysuunnassa millimetrin matkan siirtämiseksi silmukka suoritetaan

$$80 \cdot (0,025/2) \text{ mm} = 1 \text{ mm.}$$

Kohteen siirtäminen on toteutettu tällä periaatteella sekä manuaalisessa siirrosta, että kohdetta mitattaessa.

#### 4.4 Mittaustulosten keruu ja tallennus

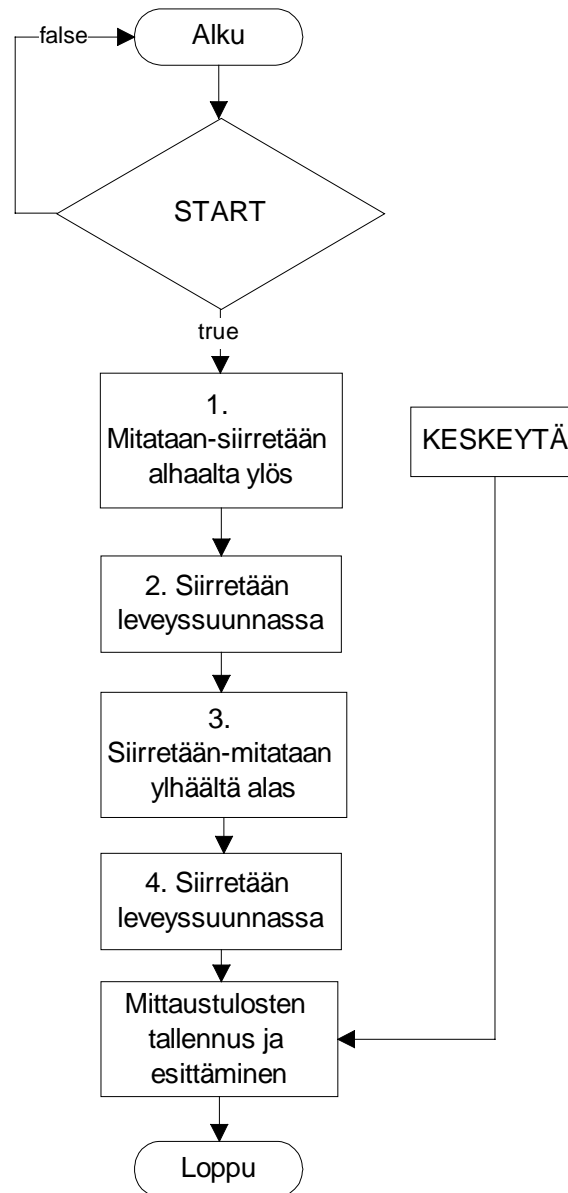
Ennen mittauksen aloittamista käyttäjä antaa tutkittavan alueen pituuden, leveyden ja leveyssuunnassa siirrettävän matkan sekä määrittelee mittauspisteiden välisen etäisyyden. Pystysuuntaan siirrettäessä yläpäässä ei ole ääriasentoa tunnistavaa rajakytkintä, ja pystysuunnassa siirrettävä enimmäispituus riippuu pystysuunnan lineaarijohteen liikealueesta. Vastaavasti vaakasuuntaan oikealle päin siirrettävä enimmäismatka määräytyy vaakasuunnan lineaarijohteen liikealueesta. Alueelle annettavat maksimipituus ja maksimileveys on asetettu ohjelmassa siten, ettei käyttäjä voi antaa alueelle suurempia dimensioita kuin kussakin suunnassa on mahdollista enimmillään siirtyä.

##### 4.4.1 Mittaussekvenssi

Mittaus on toteutettu sekvenssirakenteella, jossa kohdetta

- 1 mitataan ja siirretään vuorotellen alhaalta ylös
- 2 siirretään leveyssuunnassa
- 3 siirretään ja mitataan vuorotellen ylhäältä alas
- 4 siirretään leveyssuunnassa.

Tätä sekvenssiä toistetaan, kunnes käyttäjän mitattavaksi määrittelemä alue on käyty läpi kokonaisuudessaan tai käyttäjä keskeyttää mittauksen. Keskeytyksen sattuessa ohjelma pyytää käyttäjää tallentamaan keskeytyshetkeen saakka mitatut tulokset nimeämäänsä tiedostoon. Kuvassa 12 on mittausjärjestystä kuvaava vuokaavio.



*Kuva 12. Mittausjärjestys.*

#### 4.4.2 Mittaustulosten taulukointi

Ultraäänisignaalin voimakkuus mitataan jokaisen siirron jälkeisellä pysäytys-hetkellä. Ultraäänivastaanottimelta ultraäänilaitteistolle tuleva mittaussignaali johdetaan edelleen tiedonkeruukortille, jonka kautta mittaustulokset saadaan ohjelmistoon. Alhaalta ylöspäin ja ylhäältä alaspäin mitatuista tuloksista syntyneet taulukot yhdistetään yhdeksi taulukoksi Taulukot-aliohjelmalla. Mittauksen päätyttyä ohjelma pyytää käyttäjää tallentamaan mittaustulokset nimeämäänsä tiedostoon. Mittaustulokset sijoitetaan kaksiulotteisen taulukon alkioiksi, jossa kunkin rivin indeksi vastaa leveyssiirron järjestyslukua ja sarakkeen indeksi mittauspisteen järjestyslukua (kuva 13).

Mittauspisteet →

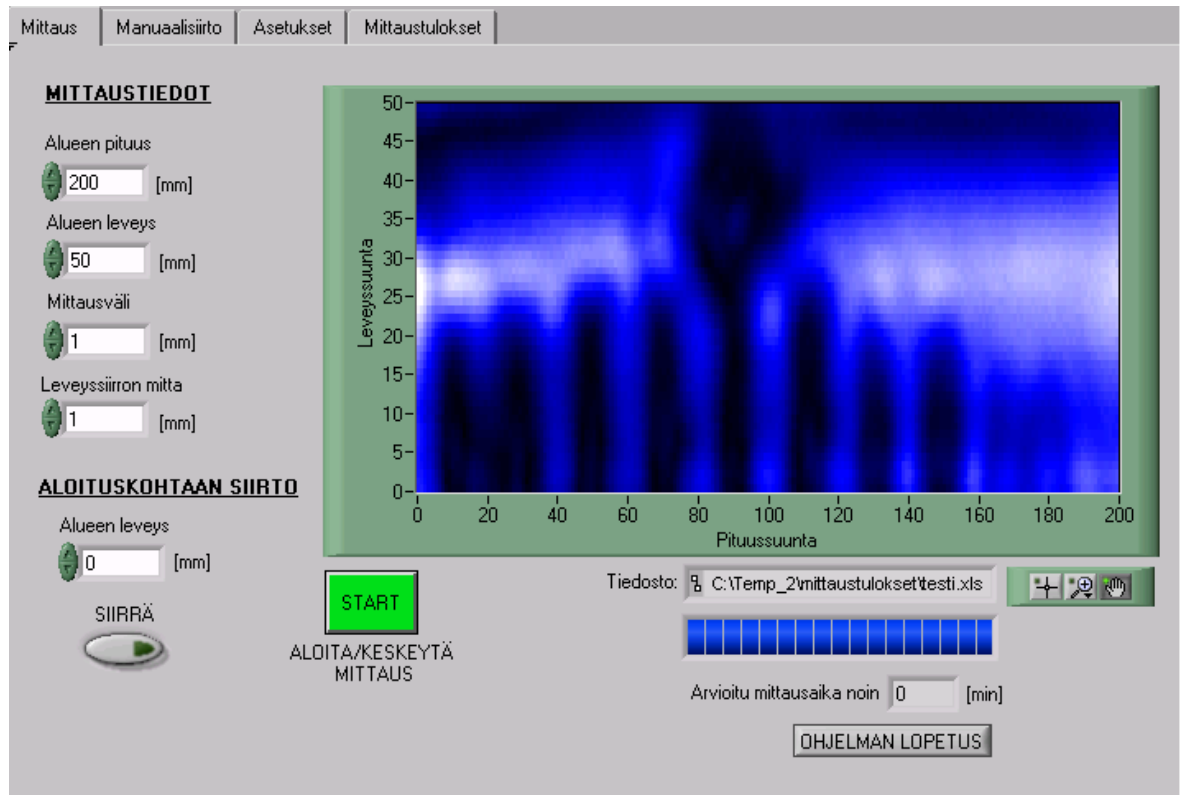
	A	B	C	D	E	F
1	4,834	3,608	3,450	3,335	3,530	3,726
2	4,988	4,988	4,990	4,988	4,985	4,988
3	4,990	4,792	4,321	3,687	3,416	3,059
4	2,622	2,942	3,018	3,059	2,781	2,583
5	4,475	4,121	3,491	3,257	2,900	2,705
6	3,369	3,376	3,254	2,976	2,585	2,427
7						

↓ Leveyssiirrot

Kuva 13. Mittaustulosten taulukointi.

#### 4.4.3 Mittaustulosten visualisointi

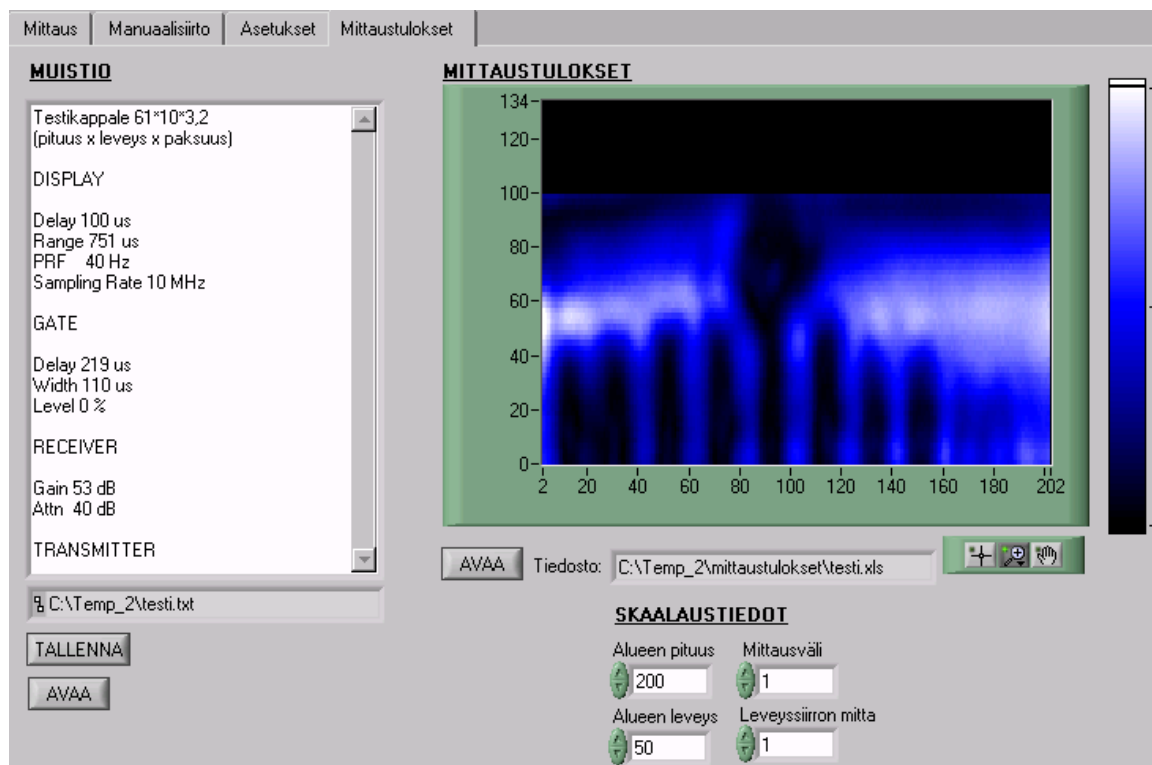
Koska mittaustulokset sellaisenaan taulukkomuodossa eivät olisi kovin havainnollisia, täytyy ne voida visualisoida. Tähän tarkoitukseen LabVIEW:stä löytyy valmiita työkaluja. Taulukkomuodossa olevat mittaustulokset esitetään ohjelman Mittaus-välilehdellä intensiteetikarttana, jossa jokaisen mittaustuloksen arvo esitetään värisävynä, joka indikoi ultraäänien intensiteettiä kussakin mittauspisteessä. Ohjelma näyttää lisäksi mittaustulostiedoston hakemistopolun ja mittauksen etenemisen sekä jäljellä olevan mittausajan (kuva 14).



Kuva 14. Mittaus-välilehti.

#### 4.4.4 Mittaustulosten tarkastelu

Tallennettuja mittaustuloksia voi tarkastella myöhemmin Mittaustulokset-välilehdellä, jossa mittaustulokset esitetään skaalattuna käyttäjän antamien tietojen perusteella. Käyttäjä voi myös kirjoittaa muistiinpanoja mittauksista ja tallentaa ne nimeämäänsä tiedostoon (kuva 15). Intensiiteettikuvaajan ominaisuuksia on mahdollista muokata esimerkiksi koon, skaalauksen tai värisävyjen osalta.



Kuva 15. Mittaustulokset.

#### 4.5 Manuaalisiirto

Tutkittavaa kohdetta täytyy voida siirtää myös manuaalisesti siten, että käyttäjä voi määrätä siirrettävän matkan ja siirron suunnan. Tämä on tarpeen esimerkiksi ennen mittausten aloittamista, kun ultraäänilaitteistolle säädetään sopivia asetuksia. Siirto käynnistetään SIIRRÄ/PYSÄYTÄ -painikkeella ja siirron eteneminen näkyy viereisestä suorituspalkista. Käyttäjän on mahdollista

keskeyttää siirtäminen tai vaihtaa siirron suuntaa siirtämisen aikana, mutta pysty- ja vaakasuunnan yhtäaikainen siirtäminen ei ole mahdollista (kuva 16).



Kuva 16. Manuaalisiirto.

#### 4.6 Ultraäänilaitteiston asetukset

##### Yleistä

Sonda 007-CX tukee RS-232-liitäntää, joka mahdollistaa laitteen ulkoisen ohjelmoinnin ja päivittämisen. Myös laitteiston asetuksia on mahdollista muuttaa sarjaportin välityksellä. LabVIEW:stä löytyy useita valmiita virtuaalisia instrumentteja, joita soveltamalla sarjaportin välityksellä tapahtuva kommunikointi voidaan toteuttaa. Asetusten muuttaminen ohjelmallisesti paitsi helpottaa säätöjen suorittamista myös mahdollistaa sen, että mittauslaitteiston voi ohjelmoida suorittamaan perättäisiä mittaussekvenssejä erilaisilla asetuksilla.



#### 4.6.1 Asetukset ja komennot

Seuraavassa on lueteltu tärkeimmät asetukset, joita käyttäjän on pystyttävä ohjelmiston välityksellä muuttamaan:

- Gate Delay
- Gate Width
- Receiver Gain
- Receiver Attn
- Receiver Tune.

Näiden asetusten lisäksi ohjelmasta käsin on mahdollista säätää muitakin asetuksia. Taulukossa 2 on esitetty komennot, joita käytetään ultraäänilaitteiston eri asetusten ohjaamiseen.

Taulukko 2. Ohjauskomennot [4, s.21].

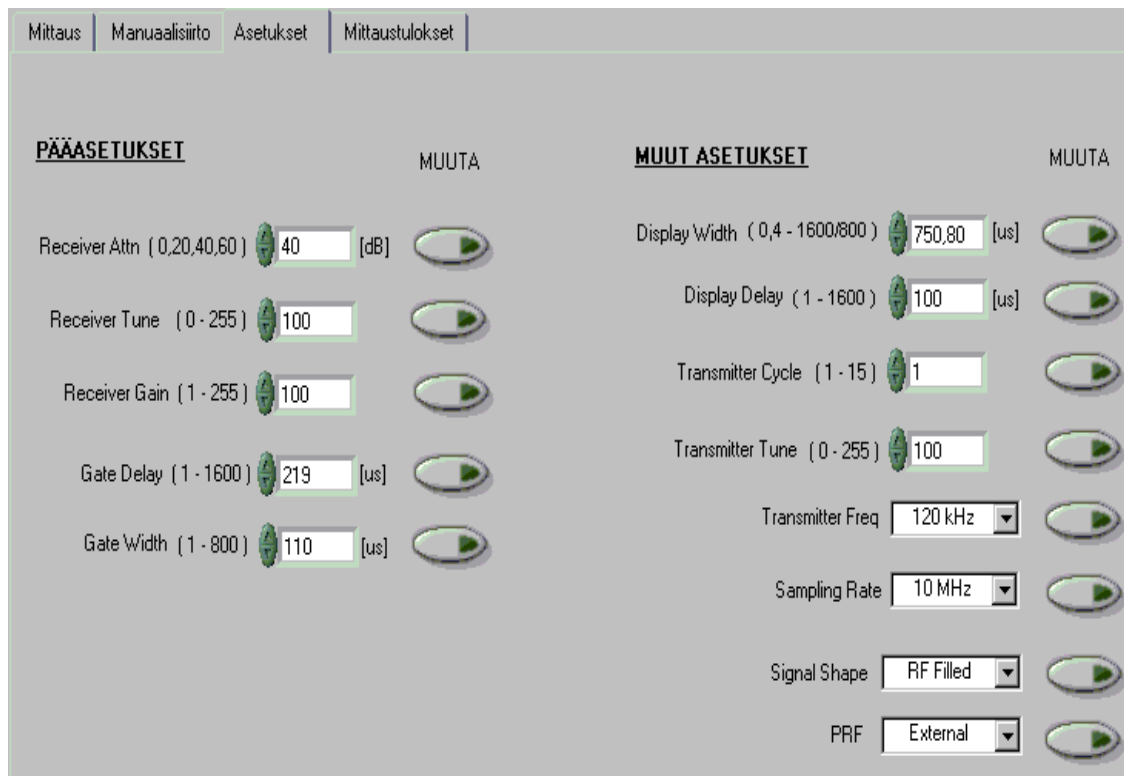
Command	Description	Range	Actual value
DD	Display Delay	1-16000	0,1us – 1600 us
DW	Display Width	4-8000	0,4 us – 800 us (1600 us)
RF	PRF	0-2	0:EXT,1:150Hz
SR	Sampling Rate	0-3	0:1,2 MHz,1: 2,5 MHz,2: 5 MHz,3:10MHz
SH	Signal Shape	0-3	0: RF/H, 1: RF/F, 2: FW/F, 3: FW/H
GD	Gate Delay	1-16000	0,1 us – 1600 us
GW	Gate Width	1-8000	0,1 us – 800 us
GT	Gate Threshold	1-127	0% - 100 %
TF	Xmit Freq	0-3	0:0,05MHz,1:0,12MHz,2:0,4MHz,3:1MHz
TC	Xmit Cycle	1-15	1 – 15
RG	Recv Gain	1-255	40 – 80 dB
RA	Recv Attn	0-3	0: 0dB, 1: 20dB, 2: 40dB, 3: 60dB
AS	Alarm Status	0-2	0: Continuous,1:Intermittent,2:Alarm Off
AL	Alarm Logic	0-1	0: Above Treshold, 1: Below Treshold
AV	Averaging	1-15	1 – 15
TT	Xmit Tune	0-255	-100 kHz – (+100 kHz) around Xmit Freq
RT	Recv Tune	0-255	-100 kHz – (+100 kHz) around Xmit Freq

#### 4.6.2 Asetusten toteutus

Asetusten muuttaminen on toteutettu pääosin Case-rakenteilla, joissa ohjauskomentojen syöttämistä kontrolloidaan kytkimillä. Käyttäjän valitseman asetuksen arvo muutetaan kirjoittamalla ohjauskomento ja sen arvo sarjaporttiin. Ennen sarjaporttiin kirjoittamista määritellään sarjaliikenteessä käytettävät asetukset.

Käyttäjä antaa haluamansa asetuksen arvon sille määrättyyn kontrolliin tai valitsee haluamansa asetuksen valikosta. Kontrolleille on määritetty tietotyyppi ja minimi- ja maksimiarvo, jonka käyttäjä voi sille antaa sekä kunkin asetuksen oletusarvo. Kontrollin vieressä on kerrottu alue, jolla annettavan asetuksen arvon tulee olla.

Asetuksen arvo muutetaan erikseen kunkin asetuksen kohdalla olevalla painikkeella (kuva 17).



Kuva 17. Asetukset on jaettu pääasetuksiin ja muihin asetuksiin.

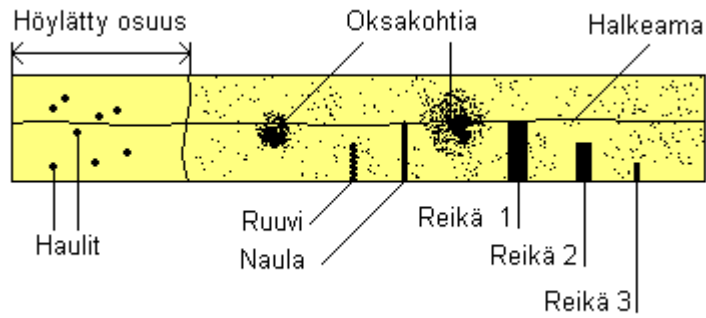
## 5 TESTAUS

### 5.1 Testikappale

Ohjelmiston toimintaa ja käytettävyyttä testattiin suorittamalla testikappaleeksi valitulle laudalle mittauksia eri resoluutioilla. Testikappaleeksi valittiin 61 cm pituinen mäntylauta, joka oli höylätty vain toiselta puoleltaan noin 25 - 29 cm matkalta päästä lukien (kuva 18). Laudan leveys oli 10 cm ja paksuus 3,2 cm. Laudan höylättyyn osaan oli ammuttu kahdeksan halkaisijaltaan 2,9 mm lyijyhaulia. Laudan keskellä oli koko laudan pituudelta juuri ja juuri erotettavissa oleva halkeama pituussuunnassa sekä useampia oksakohtia. Lisäksi lautaan oli vasaroitu 75 mm pitkä, halkaisijaltaan 3 mm naula sekä 42 mm pitkä, halkaisijaltaan 3,7 mm ruuvi. Lautaan porattiin myös taulukon 3 mukaiset reiät.

*Taulukko 3. Reikien koot.*

<b>Reikä</b>	<b>Halkaisija [mm]</b>	<b>Syvyys [mm]</b>
1	8	75
2	5	62
3	2	35



Kuva 18. Testikappale.

## 5.2 Ultraäänilaitteiston asetukset

Suoritettaessa mittauksia eri resoluutioilla ultraäänilaitteiston asetukset pidettiin vakiona. Lauta siirrettiin ensin manuaalisesti lähettimen ja vastaanottimen väliin siten, että ultraäänikeila läpäisi laudan oksattomasta ja virheettömästä kohdasta. Tämän jälkeen laitteistolle asetettiin sopivat asetukset. Mittaukset suoritettiin taulukon 4 mukaisilla asetuksilla.

Taulukko 4. Mittausasetukset.

Asetus	Arvo
Display Delay	100 $\mu$ s
Display Range	750,9 $\mu$ s
PRF	40 Hz
Sampling Rate	10 MHz
Gate Delay	218,8 $\mu$ s
Gate Width	110 $\mu$ s
Level	0 %
Receiver Gain	52,6 dB
Receiver Attn	40 dB
Transmitter Frequency	120 kHz
Cycle	1

### 5.3 Mittausjärjestely

Lauta mitattiin aluksi viidellä erilaisella resoluutiolla ja mittausten kestot kirjattiin ylös. Taulukossa 5 on esitetty mitattavaksi määriteltyjen alueiden koot ja mittausten kestot (resoluutio = mittausväli x leveysiirron mitta).

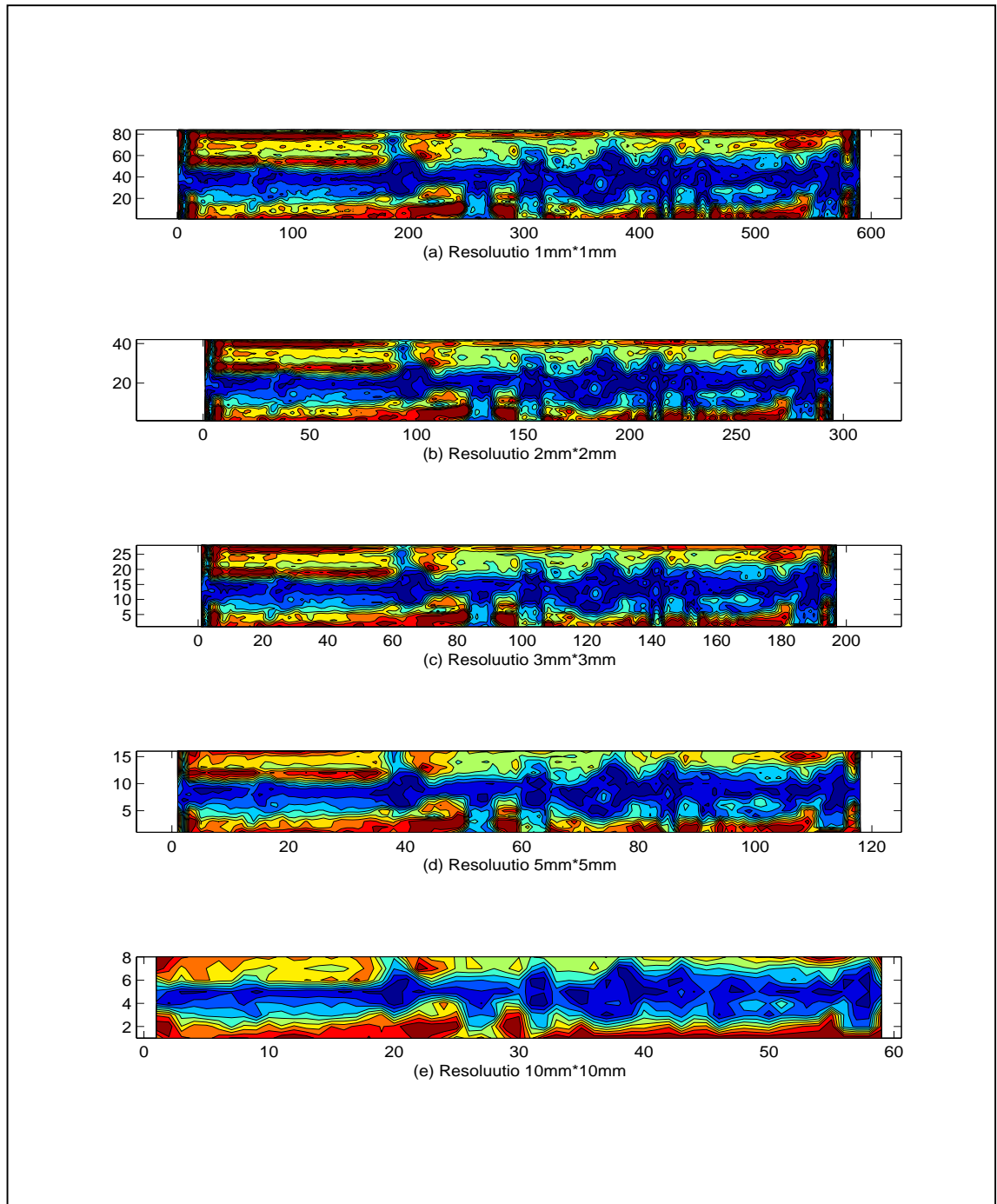
*Taulukko 5. Mittausalueet ja resoluutiot.*

<b>Alue [mm]</b>	<b>Resoluutio [mm]</b>	<b>Kesto</b>
590 x 85	1 x 1	3 h 20 min
590 x 84	2 x 2	84 min
591 x 84	3 x 3	52 min
590 x 85	5 x 5	29 min
590 x 90	10 x 10	16 min

Seuraavaksi suoritettiin neljä mittausta 5 x 5 mm:n resoluutiolla erilaisilla Receiver Gain -asetuksen arvoilla. Muut asetukset pidettiin samoina. Kuvien 19 ja 20 mittaustulokset on visualisoitu MatLab-ohjelmalla.

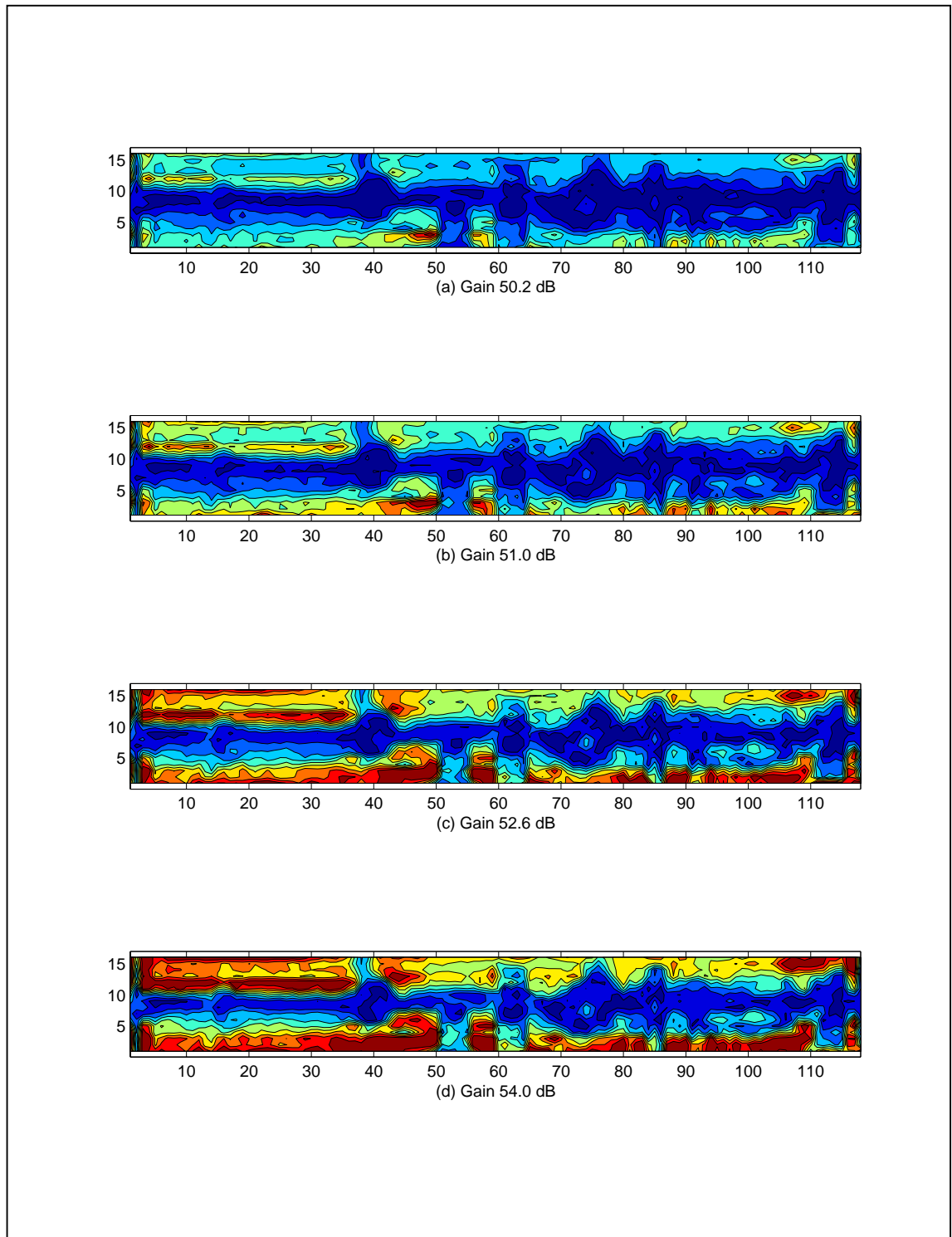
### 5.4 Mittaustulokset

Kuvassa 19a - 19e on esitetty eri resoluutioilla saadut mitaustulokset.



*Kuva 19. Resoluution vaikutus mittaustulokseen.*

Kuvassa 20a - 20d on erilaisilla Receiver Gain -asetuksen arvoilla saadut mittaustulokset.



*Kuva 20. Gain-asetuksen vaikutus mittaustulokseen.*

#### Mittaustulosten tarkastelu

Kuvan 19 mittaustuloksista havaitaan resoluution vaikutus mittaustuloksen tarkkuuteen. Kuvissa sinisenä näkyvä väri kertoo siitä, että ultraääni on edennyt



sinisenä näkyvässä alueessa heikoimmin. Laudan keskellä pituussuunnassa oleva halkeama erottuu kuvasta selkeästi sinisenä alueena vielä 10 x 10 mm:n resoluutiolla, kuten myös laudassa olevat oksakohdat (kuva 19e). Sen sijaan laudassa olevat haulit eivät erotu kovin selkeästi tarkimmallakaan resoluutiolla, vaan peittyvät sinisenä näkyvän halkeaman alle (kuva 19a). Noin puolessa välissä lautta oleva naula ja ruuvi sekä kaksi suurempaa reikää erottuvat kuvasta hyvin vielä 5 x 5 mm:n resoluutiolla, joskin varsin leveänä (kuva 19d). Tämä johtuu osittain siitä, että lauta on höyläämätön. Höylätystä laudasta saataisiin selkeämpi kuva, koska ultraääni kytkeytyy tehokkaammin sileäpintaiseen kuin pinnaltaan karheaan lautaan.

Kuvan 20 mittaustuloksista näkyy vastaanottimen vahvistuksen arvon vaikutus intensiteettikarttaan. Pienimmällä (50,2 dB) arvolla saatu kuva on pääasiassa sinisävyinen, mutta siitäkin on erotettavissa oksakohdat, halkeama ja naula sekä ruuvi (kuva 20a). Muutaman dB:n vahvistuksen arvon suurentaminen korostaa kuvien värisävyjen eroja ja parantaa hieman kuvan tarkkuutta (kuva 20d). Selvästi eniten kuvan tarkkuuteen vaikuttaa kuitenkin resoluutio, jolla mittaus on suoritettu. Resoluution tarkentaminen pidentää kuitenkin huomattavasti aikaa, jonka mittauksen suorittaminen vie.

Mittauksissa havaittiin myös, että laudan reuna-alueet kuvautuvat hieman epäselvänä, koska ultraääni pääsee etenemään osittain reunan ympäri ja vääristää siten mittaussignaalia. Tämän vuoksi mittausalueiden koot rajattiin siten, että laudan reunat jäivät mitattavan alueen ulkopuolelle.

## 6 TYÖN ARVIOINTI

Ohjelmistoa suunniteltaessa tuli ilmi vaiheittaisen suunnittelun ja testauksen merkitys. Laajemman ohjelmiston suunnittelu kannattaa jakaa pienempiin osiin ja koodin toimivuutta on helpompaa testata sitä mukaa kun ohjelma valmistuu. Muutoin testausvaiheessa saattaa olla hankalaa selvittää, minkä vuoksi jokin ohjelmiston osa toimii eri tavalla kuin alun perin suunniteltiin.

Eräs mittausprosessin ongelma on sen hitaus tarkemmilla resoluutioilla mitattaessa. Yhtenä ohjelmiston jatkokehitystavoitteena onkin saada nopeutettua mittauksia. Ohjelmistoa tullaan jatkossa kehittämään myös siten, että laitteisto voidaan ohjelmoida suorittamaan kohteelle useita perättäisiä mittauksia erilaisilla asetuksilla. Myös ultraäänipurskeiden toistotaajuus (PRF) tullaan myöhemmin tuottamaan tiedonkeruukortilla ilman ulkoista funktiogeneraattoria. Parantelua kaipaava ominaisuus on myös mittauspenkin runkorakenteen ja askelmoottoreiden resonanssista aiheutuva, jokseenkin epämiellyttävä ääni mittauksen aikana.

## 7 YHTEENVETO

Työssä suunniteltiin ohjaus- ja mittausohjelmisto lautatavaran kokoisen puun tutkimiseksi ultraäänimittauspenkillä. Ultraäänimittauspenkki oli valmistettu itse ja tutkittavan kohteen siirtäminen oli toteutettu askelmoottoreista ja lineaariyksiköistä koostuvalla liikejärjestelmällä. Työssä suunniteltiin ja rakennettiin myös askelmoottoreiden ohjaukseen tarvittava ohjainkortti.

Ohjelmisto ja ohjainkortti täyttivät pääpiirteissään niille asetetut vaatimukset. Ohjelmistolla pystytään mittaamaan puutavaraa tarkimmillaan 1 x 1 mm:n resoluutiolla ja mittaustulokset voidaan tallentaa ja visualisoida. Mittaustuloksista on erotettavissa mm. vieraat esineet, reiät, halkeamat ja oksakohdat. Seuraavaksi tarvitaan kuitenkin lisää erilaisia mittauskokeiluja erilaisilla puumateriaaleilla, jotta selviää, minkälaisia lisäominaisuuksia ohjelmistolta vaaditaan ja tarvitaanko mittauksissa esimerkiksi tarkempaa resoluutiota.

Työn kirjallisessa osuudessa pääpaino oli ohjelmistolla ja ohjainkortin toteutuksella, mutta siinä käsiteltiin lyhyesti myös ultraääntä ja sen käyttäytymistä sekä kuvattiin tutkimuslaitteistoa kokonaisuudessaan.

## LÄHTEET

- 1 Halttunen, J. 75411 Anturitekniikan jatkokurssi. Luennot Tampereen teknillisessä korkeakoulussa, 1996.
- 2 Lankinen, A. Puun sähköiset mittausmenetelmät, osa 3. Mekaanisen värähtelyn käyttö puun mittauksessa. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Espoo, 1989.
- 3 Buckley, J. Principles and Applications of Air-Coupled Ultrasonics, presented at the British Institute of Non Destructive Testing Seminar "Developments in Ultrasonic Transducers," Sonatest Plc, 19 November 1997, <http://www.joe.buckley.net/papers/airscan%20paper.pdf>
- 4 Sonda 007CX Airscan Operating Manual, Quality Material Inspection, USA, April 2000.
- 5 Lineaariliike, tuoteluettelo, Movetec.
- 6 SGS-Thomson Microelectronics, Dmos full bridge driver, datalehti, 1997.
- 7 Prosessori-lehti 5/2000, K. S. M. Walraven, Askelmoottorin ohjaus.
- 8 LabVIEW Basics 1, Hands-On Course, National Instruments, 1999.
- 9 Measurement and Automation Catalogue, National Instruments, 2000.

## LIITTEET

- Liite A/1 Ohjainkortin piirilevy, yläpuoli
- Liite A/2 Ohjainkortin piirilevy, alapuoli
- Liite B Komponenttien sijoittelu
- Liite C/1-3 Kytkenäkaavio
- Liite D/1-2 Osaluettelo