

Mikko Pulkkinen

LÄMPÖTILAN VAIKUTUS PUUN
RUNGON MEKAANISESSA
PITUUDENMITTAUKSESSA

Opinnäytetyö
T535SN


Joulukuu 2009




MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU

Mikkeli University of Applied Sciences

KUVAILULEHTI

 MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU <small>Mikkeli University of Applied Sciences</small>	Opinnäytetyön päivämäärä 				
Tekijä(t) Mikko Pulkkinen	Koulutusohjelma ja suuntautuminen Puutekniikka				
Nimeke Lämpötilan vaikutus puun rungon mekaanisessa pituudenmittauksessa.					
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää kuinka suuri vaikutus ulkoilman lämpötilalla on puun rungon mekaanisessa pituudenmittauksessa hakkuutyömaalla.</p> <p>Hakkuukonetyössä on havaittu ongelmalliseksi mittalaitteen riippuvuus kuljettajan toimista ulkolämpötilan vaihdelta nopeasti. Hakkuupään mittakehä uppoaa puuhun erilaisilla sulan puun aikaan kuin jäisen puun aikaan eli talviolosuhteissa. Varsinkin nopeasti vaihtelevat lämpötilat aiheuttavat ongelmia pituusmitan tarkkuudessa.</p> <p>Mittaukset tehtiin Mikkelin ammattikorkeakoulun materiaalitekniikan laboratoriossa. Kahta eri puukapaletta painettiin kahdella erilaisella mittakehällä, jotka vastaavat hakkuutyössä olevaa käytäntöä. Mittauksia tehtiin neljässä eri lämpötilassa välillä +5 - -25 astetta. Painatusvoima oli 300 Newtonia kaikissa lämpötiloissa.</p> <p>Tutkimuksessa tehdyissä mittauksissa voitiin todeta lämpötilalla olevan suuri merkitys mittaustuloksiin hakkuutyössä. Jo 10 asteen vaihtelu aiheuttaa tukin pituudenmittauksessa niin suuren virheen ilman mittalaitteen säätöä, että tukki mitataan raakiksi saha- tai vanerilaitoksen puun vastaanotossa. Lisäksi vertailussa kahden erityyppisen mittakehän suhteen voitiin todeta, että teräväpiikkinen mittakehä ei ole niin luotettava kuin muotoiltu versio. Muotoillun mittakehän uppoaminen oli vähäisempää ja tulosten hajonta oli pienempää. Näin ollen voidaan päätellä, että luotettavampaan mittaustulokseen päästään juuri muotoillulla mittakehällä.</p>					
Asiasanat (avainsanat) pituudenmittaus, lämpötila, kuusi, mittausrvirheet,					
Sivumäärä 28 sivua + 8 sivua liitteitä	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;">Kieli</td> <td style="width: 33%;">URN</td> </tr> <tr> <td>Suomi</td> <td></td> </tr> </table>	Kieli	URN	Suomi	
Kieli	URN				
Suomi					
Huomautus (huomautukset liitteistä) 					
Ohjaavan opettajan nimi Kari Mäkelä (Pia Valtonen)	Opinnäytetyön toimeksiantaja John Deere / Markku Heikkinen				

DESCRIPTION

 <p>MIKKELIN AMMATTIKORKEAKOULU Mikkeli University of Applied Sciences</p>		Date of the bachelor's thesis	
Author(s)		Degree programme and option	
Mikko Pulkkinen		Wood technology	
Name of the bachelor's thesis			
The affect of the temperature when mechanically measuring the length of a tree trunk.			
Abstract			
<p>The purpose of this study was to find out how the outside temperature affects the mechanical measuring of the length of a trunk on a logging site.</p> <p>One problem in harvesting work has been the dependency of the measuring device on the driver's behaviour as the outside temperature changes quickly. The measuring device sinks into the tree trunk differently when it is frozen versus when it is unfrozen thus causing problematic inaccuracies in measurements.</p> <p>The measurements were made at the Mikkeli Polytechnic materials technology laboratory. Two different pieces of wood were measured in the same manner that is being used on the logging site. The measurements were made in four different temperatures from +5C to -25C degrees. The pressure power was 300 Newtons in every temperature.</p> <p>From the measurements performed during this study it was concluded that the temperature has a large impact on the mechanical measuring results. Just a 10- degree change in the temperature can cause such a difference in measurements that the log gets rejected in the receiving area of a saw or plywood mill.</p> <p>In addition it was also concluded that the device with sharp points was not as reliable as the shaped device the form. The shaped device sank less into the tree trunk and thus the variation in results was smaller</p>			
Subject headings, (keywords)			
length measuring, temperature, spruce, measurement error			
Pages	Language	URN	
28p + app. 8 p	Finland		
Remarks, notes on appendices			
Tutor		Bachelor's thesis assigned by	
Kari Mäkelä (Pia Valtonen)		John Deere / Markku Heikkinen	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	2
2	HAKKUUTYÖMAA	3
2.1	Puu ja sen ominaisuudet	3
2.1.1	Oksat	3
2.1.2	Reaktiopuu	3
2.1.3	Korot	4
2.2	Hakkuukone eli harvesteri	4
3	PITUUDEN MITTAUS	6
3.1	Mittauslainsäädäntö	6
3.2	Mittaustapahtuma	8
3.3	Puutavaran mittaus hakkuukonemittauksessa.....	9
3.4	Mittalaite.....	10
4	ONGELMAT	11
4.1	Katkontatarkkuus	11
4.2	Ongelmatilanteet.....	12
5	TOTEUTUS	14
5.1	Rajaukset.....	14
5.2	Koemateriaali.....	14
5.3	Tutkimuslaitteisto	15
5.4	Tutkimus ja sen tarkoitus.....	16
6	TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET.....	17
7	POHDINTA	26
8	LÄHTEET.....	27

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä on tavoitteena tarkastella ulkoilman lämpötilan vaikutusta puun rungon mekaaniseen pituuden mittaukseen koneellisessa puunkorjuussa. Harvesterin kouran mittakehän uppoaminen puun runkoon eri lämpötiloissa vaikuttaa mittapyörän kehän pituuteen ja sitä kautta antaa virheellisen tuloksen. Varsinkin ongelmakohtana on tunnettu vuodenaika, jolloin puuaines sulaa ja jäätyy vuorotellen nopeassa tahdissa.

Mittakehän uppoaminen puuhun eri olosuhteissa on ollut pitkään ainoastaan kokemusperäistä tietoa, ja siksi työhöni liittyen koen sen varsin mielenkiintoiseksi. Koska aikaisempaa tietoa ei ole voitu luotettavasti siirtää hakkuukoneen mittalaitteautomaatiikkaan, on kuljettajan täytynyt muuttaa mittalaitteen asetuksia kesken työvuoron olosuhteiden muuttuessa. Jos mittauksissa saadaan todettua yhteys puun ominaisuuksien ja lämpötilan suhteen, voidaan mittalaitteelle ohjelmoida lämpötilan automaattinen korjausohjelma.

John Deere Oy on maailman johtava metsä- ja maatalouskoneiden valmistaja. Lisäksi John Deere tuottaa moottoreita useille muille konevalmistajille. Yhtiö on perustettu vuonna 1937 ja työllistää tänä päivänä noin 50 000 työntekijää.

Tuotevalikoimaan kuuluu katkotun puutavaran valmistukseen ja kuljetukseen liittyvien harvestereiden, kuormatraktoreiden ja harvesteripäiden lisäksi kokopuunkorjuussa käytettävät kaatokasauskoneet, juontokoneet ja nosturit. Yrityksen osuus koko maailman metsäkonemarkkinoista on noin 40 %.

John Deeren tytäryhtiön John Deere Forestryn pääkonttori on Tampereella. Siellä sijaitsevat Euroopan ja Venäjän alueiden markkinointi, hallinto ja tuotekehitys. Tytäryhtiön liikevaihto oli vuonna 2006 noin 850 milj. euroa ja työntekijöitä 850, joista 700 Suomessa. Joensuun tehtaalla valmistetaan kaikki pyöräalustaiset harvesterit, kuormatraktorit sekä harvesteripäät.

2 HAKKUUTYÖMAA

2.1 Puu ja sen ominaisuudet

Puun rakenne ei ole tasalaatuista, eikä näin ollen voida etukäteen ennustaa tarkkaan kuinka puu käyttäytyy eri olosuhteissa. Varsinkin puun rungon eri osat muodostuvat erilaisesta solurakenteesta jonka takia yksittäisen solun käytös ei ole verrannollinen koko rungon käyttöön. Tässä työssä huomioitavia tapauksia ovat oksat, oksakymmyt, reaktiopuu sekä puun kuoren ominaisuudet. Lisäksi puun suhteellinen kosteus vaikuttaa puun kovuuteen varsinkin sen jäätyessä. Erilaisilla kasvupaikoilla kasvaneet puut koostuvat myös erilaisesta solukosta. Hitaammin paksuutta kasvanut puu sisältää enemmän kesäpuuta, joka on kovempaa kuin nopeasti muodostuva kevätpuu.

Puun tyvipölkkyjen tarkka katkenta on aina haasteellista, koska varsinkin järeän puun tyvi kaarna asettaa haasteita mittaukselle. Männyn kaarna on paksua ja usein hyvin epätasaista, ja mittakehä uppoaa siihen samalla kulkien kaarnan halkeamissa. Kuusella tyvikaarna taas on kovempaa kuin muissa rungon osissa.

2.1.1 Oksat

Oksien alueella puussa solukko on tiheämpää ja siten myös lujuudeltaan kovempaa. Oksakymmyjä puolestaan ilmenee lähinnä valoisalla paikalla kasvaneisiin puihin. Aukean reunoilla puihin usein kasvaa suurempia oksia ja myös oksakymmyjä, jotka ovat hakkuukoneelle tehokkaan puunkorjuun kannalta vaikeita kohteita. Oksat eivät karsiudu kunnolla ensimmäisellä yrityksellä ja rungon ajaminen karsimateriaa vasten useita kertoja johtaa lähes poikkeuksetta pituuden mittavirheen. Tämä puolestaan vaikuttaa mittakehän painumiseen puuhun eri tavoin./3/

2.1.2 Reaktiopuu

Kasvavan puun oikaisemiseen tai oksien tukemiseen puuhun kehittyy erikoiskudosta, reaktiopuuta, puristusjännityksen puolella. Reaktiopuu (Kuva 1.) kestää hyvin puristusjännitystä, mutta vetojännitystä erittäin heikosti. Lisäksi sen pituussuuntainen kutistuminen on huomattavasti suurempi kuin normaalin puun syiden suuntainen kutistuminen. Reaktiopuu on myös tiheämpää kuin normaali puu.



KUVA 1. Reaktiopuu.

2.1.3 Korot

Korot (Kuva 2.) eli puun rungon pinnassa olevat syventymät johtuvat yleensä pinnan vaurioitumisesta. Vaurioitunut kuori ja solukko muodostavat puun omilla aineilla suo-
jakerroksen vioittuneeseen kohtaan. Tähän ei muodostu uutta solukkoa, vaan ympäril-
lä oleva kuori yrittää peittää syventymää. Pinta-alaltaan suuri vaurio ei korjaudu ko-
konaan, jolloin kohtaan jää syventymä puun läpimitan kasvaessa.



KUVA 2. Koro.

2.2 Hakkuukone eli harvesteri

Teollisuuden kotimaisesta puunhankinnasta lähes kolme neljäsosaa korjataan koneel-
lisesti. Koneellisen puunkorjuun osuus on kasvanut voimakkaasti viimeisen 25 vuoden
aikana, sillä teollisuuden kasvanut puuntarve, tekniikan kehittyminen ja koneiden suo-
rituskyky ovat ajaneet perinteisemmät hakkutavat ahtaalle. Ensimmäiset yksiotehar-
vesterit ovat kehittyneet monipuolisiksi puunkorjuun monitoimikoneiksi, joilla voi-
daan toimia lähes kaikenlaisissa maastoissa ja leimikoissa. Hakkuukoneita (Kuva 3).
valmistetaan monessa eri kokoluokassa, sillä leimikkorakenne on vaihtelevaa ja ko-
neiden hinnoittelu estää yhden konemallin käyttämisen kustannustehokkaasti erityypp-
pisillä leimikoilla. Hakkuutaksat ovat tuotossidonnaisia ja näin ollen huomattavasti

kalliimmilla suuren kokoluokan koneilla ei voida hakata ensiharvennuksia, joissa keskimääräinen tuntituotos jää pienemmäksi kuin päätehakuilla. Voidaan karkeasti luokitella hakkuukoneet kolmeen eri kokoluokkaan. Kevyet, keskiraskaat ja raskaat hakkuukoneet eroavat toisistaan massan, hakkupään koon ja koneen leveyden perusteella. Voimanlähteenä poikkeuksetta käytetään dieselmoottoreita, jotka käyttävät hydraulipumppuja. Pumput puolestaan tuottavat voimansiirtoon ja työn tekemiseen tarvittavan voiman. Voimansiirtoa ja työhydrauliikkaa ohjataan monilla eri moduuleilla, jotka kommunikoivat keskenään sekä keskusohjelman kanssa. Näin päästään tehokkaaseen ja polttoainetaloudelliseen koneen käyttöön järjestelmän pienimmällä mahdollisella rasittamisella.

Harvesteri kaataa puun tarttumalla siihen aivan puun tyvestä hakkuupäällä eli kouralla. Kun kuljettaja on saanut kouran oikean kaatosahauskohtaan ja valittuaan oikean kaatosuunnan, tekee hän kaatosahauksen. Kaatosahauksen yhteydessä hakkuupään hydraulinen pystyssäpitotoiminto vapautuu otteen pysyessä koko ajan puussa kiinni. Puun kaaduttua kuljettaja valitsee hallintapaneelista oikean puulajin, jolloin mittalaitteen automatiikka aktivoituu ja ottaa käyttöön puulajikohtaisen apteerausohjeen. Mittalaite jakaa automaattisesti puun rungon siten, että tukkipaksuinen osuus rungosta saadaan käytettyä mahdollisimman tarkasti hyödyksi. Kuljettajan vastuulle jää aina puutavaran laadun määrittäminen, sekä erityistapauksissa myös puun rungon apteeraus.



KUVA 3. Hakkuukone eli harvesteri päätehakkuulla.

3 PITUUDEN MITTAUS

3.1 Mittauslainsäädäntö

Suomessa on säädelty puutavaranmittausta vuodesta 1939, jolloin ensimmäinen puutavaranmittauslaki tuli voimaan. Nykyistä lakia vuodelta 1991 on muutettu vuosina 1997 ja 2002, ja viimeisimmän lainmuutoksen yhteydessä virallisen mittauksen tehtävät siirtyivät maa- ja metsätalousministeriöltä Metsäntutkimuslaitokselle. Laissa määritellään säädökset siitä, miten ja milloin mittaukset on suoritettava, sekä edellytykset virallisen mittauksen toimittamiselle ja ohjeet sen pyytämiseen. Samassa laissa myös määritellään säädökset puutavaran mittauksen eri sidosryhmien, kuten virallisten mitaajien, mittauslautakunnan ja puutavaranmittauksen neuvottelukunnan vastuut lainmukaisissa tehtävissä.

Puutavaran mittaus on tärkeä ja olennainen osa puunhankintatoimintaa. Puutavaran mittauksella tarkoitetaan leimikon pystypuuston tai valmiin puutavaran mittaamista sen määrän tai laadun toteamiseksi. Mittausta tehdään kauppahintojen, metsätyöpalk-

kojen sekä puunkorjuun ja – kuljetuksen urakointimaksujen määrittämistä varten. Mittausmenetelmien hyväksyty tarkkuus on $\pm 4 \%$. /6/

Metsätehon keräämään ja julkaiseman aineiston mukaan kotimaisen puutavaran hakkuumääristä vuonna 2007 hakkuukonemittaus oli ylivoimaisesti yleisin mittausmenetelmä. 3,8% osuus oli tienvarsimittauksella, 21,5 % tehdasmittauksella ja 74,6 % hakkuukonemittauksella kaikkiaan 48,3 miljoonasta m³:stä. /10/

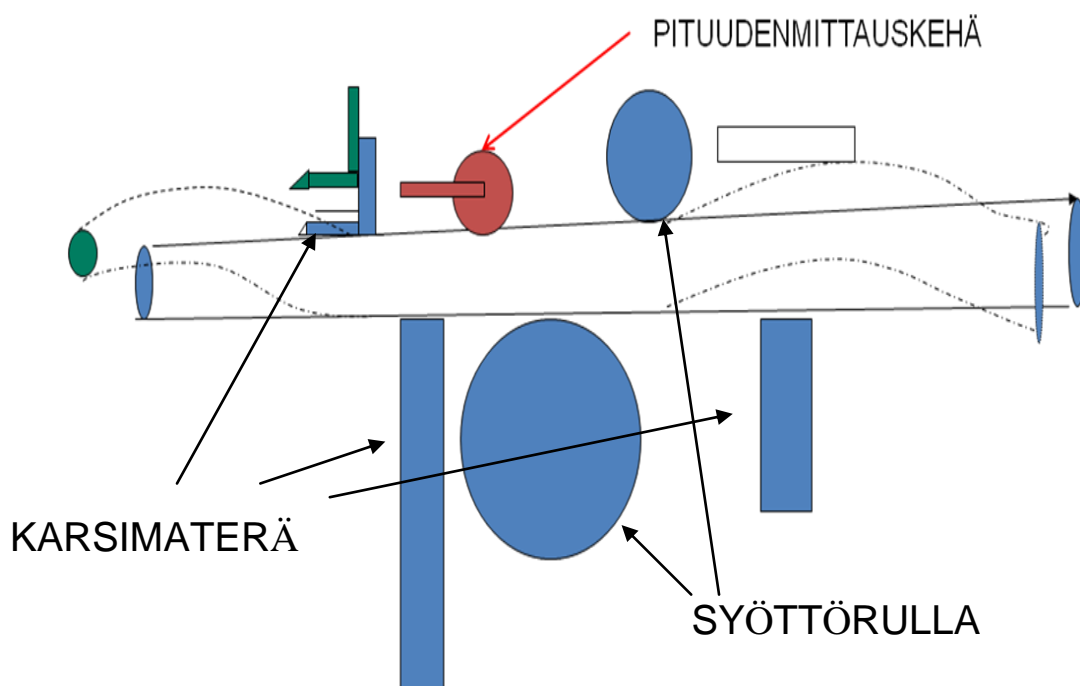
Maa- ja metsätalousministeriön antamien hakkuukonemittausohjeiden mukaan tarkastusmittauksen tarkoituksena on varmistaa ensisijaisesti kuutiointituloksen oikeellisuus. Mittauksessa puun pituus mitataan yhden senttimetrin ja läpimitta yhden millimetrin tarkkuudella. Tarkistusmittaus suoritetaan elektronisilla mittasaksilla, jotka ovat yhteydessä hakkuukoneen mittalaitteeseen. Mittalaitteessa on oltava kalibrointimahdollisuus jokaiselle puulajille erikseen. Tulostusmahdollisuus kesken leimikon ja kalibrointitietojen tallennus ovat myös pakollisia ominaisuuksia.

Pyöreän puutavaran pituus mitataan tyvi- ja latvaleikkauksen välisenä lyhimpänä etäisyytenä. Edellinen termi on määritelty SFS-EN 844-5 normissa, jossa kuvataan pyöreän puutavaran mittauksen ammattisanastoa. Kärkkäisen (1984) mukaan teoriassa tukin kapeneminen voi aiheuttaa virhettä pituudenmittauksessa. Pituuden mittaaminen tukin pintaa myöten antaa suuremman pituuden kuin mittaaminen keskiakselia pitkin. Käytännössä virhe on merkityksetön, sillä virheen suuruus on 20mm/m kapenemisella 0,005 %. Lengon tai mutkaisen tukin mittaaminen lyhimpänä etäisyytenä voi myös johtaa tilavuuden aliarviointiin.

Omaehtoiselle seurantamittaukselle annetaan ohjeet Metsätehon ohjeistuksessa (Metsäteho 2006). Työmaalla tehtävään katkontatarkkuuden seurantaa tulisi tehdä jokaisessa työvuorossa vähintään 10 – 15 pöllin verran. Joidenkin urakanantajien käytännöissä tarkastustiedot on lähetettävä heidän tietojärjestelmään tai tallennettava mittalaitteen lokiin, vaikka kalibrointia ei tehtäisi. Tietojen keräämisestä on hyötyä kun mittalaitteen tarkkuudessa todetaan jokin häiriö. Tällöin voidaan merkinnöistä todeta mittalaitteen toiminta ja häiriön mahdollisesti alkanut ajankohta.

3.2 Mittaustapahtuma

Koneellisessa puutavaran korjuussa käytetään useita eri tapoja puun rungon mittaamiseen. Kaikki tällä hetkellä käytössä olevista tavoista perustuvat mekaaniseen mittaus-tapaan, joskin joitain koeajoja on tehty myös optisilla mittausavoilla, tosin vielä huonoin tuloksin. Käytössä ovat harvesterin kouran pohjassa oleva pituudenmittauskehä, joka kulkee puun runkoa pitkin, sekä puuta syöttävän hydraulimoottorin akselista tietoa keräävä järjestelmä. Näistä ensimmäinen on selkeästi yleisempi (Kuva 4). Mitta-kehän akselissa on olakkeet, joista pulssianturi lukee kehän akselin liikettä. Anturin antamat tiedot käsitellään tietokoneen ohjelmilla jotka muuttavat pulssit kuljettajan mittalaitteen näytölle senttimetreinä.



KUVA 4. Periaatekuva pituudenmittauksesta harvesteripäällä H754.

Mittakehää painatetaan puun runkoa vasten jousivoimalla tai hydraulisesti. Painatus on ehdottoman tärkeää koska puun rungon mutkat ja muut vikaisuudet saattavat muutoin aiheuttaa mittakehän irtoamisen kouran läpi kulkevan rungon pinnasta aiheuttaen mittavirheen. Huolimatta mittakehän painatuksesta saattaa mittarulla alkaa luistamaan irtonaisen kuoren aikana, jolloin kuorta irtoaa puun rungosta ja kasautuu kehän eteen estäen sen pyörimisen. Samoin taaksepäin peruutettaessa kehä helposti jää paikoilleen

irtonaisen kuoren takia. Lisäksi jos runkoa joudutaan ajamaan useasti taaksepäin esimerkiksi suurten oksien takia, kulkee mittakehä jo aiemmin painamaansa jälkeä pitkin aiheuttaen mittavirheen. Irtonaisen kuoren aiheuttamien ongelmien minimoimiseksi on kehitetty erilevyisiä kehiä, niistä kapeimmat ovat noin 6mm.

3.3 Puutavaran mittaus hakkuukonemittauksessa

Hakkuukonemittauksen etuna on sen luonteva nivoutuminen yhdeksi osaksi koneellista puunkorjuuta. Työllistävää pinomittausta eikä muuta erillistä mittaustoimitusta ei tarvita, koska hakkuukoneen mittalaite mittaa jokaisen käsiteltävän rungon läpimittaa ja pituutta prosessoinnin aikana. Puuta käsiteltäessä puun runkoa syötetään hydraulisesti toimivien rullien (syöttörullat) avulla hakkuukoneen kouran eli harvesteripään läpi. Syötön yhteydessä karsimaterät karsivat oksat ja useissa malleissa karsimaterät myös mittaavat puun rungon läpimittaa. Mittaus tapahtuu kolmiomittauksella joka vastaa hyvin läheisesti ristiin mitattua läpimittaa. Pituuden mittauksessa käytetään puun runkoa vasten pyörivää anturoitua mittauskehää, joka yleensä muistuttaa lähinnä hammasratasta. Hammastuksia on erimallisia valmistajan sekä käyttökohteen mukaan. Rungon läpimitat mitataan yhden millimetrin ja pituus yhden senttimetrin tarkkuudella.

Mittalaite rekisteröi läpimitan muutoksia tiheästi, noin yhden senttimetrin välein. Näin saadaan puun rungosta muodostettua runkomalli, jota kutsutaan runkokäyräksi. Osissa tapahtuva tilavuuden laskenta suoritetaan kuutioimalla runko noin 10 cm kappaleissa. Kappaleet lasketaan joko katkaistun kartion tai lieriön laskukaavalla. Mitattavan pölkyn tilavuus on osien tilavuuksien summa. Mittaustapa on samanlainen jokaiselle puulajille./1/

Puun tyvipölkyn eli ensimmäisen katkaistun kappaleen tilavuusmittaus poikkeaa hieinan muun rungonosan kuutioinnista. Tämä johtuu siitä, että läpimitan ja pituuden mittaus ei ala aivan puun kaatosahauksen kohdalla, koska mittauslaitteet ovat kouran etu- ja keskiosassa. Tämä mittaus tehdään kiinteillä tyvikorjaustaulukoilla jotka ovat kaikille yhtenevät. Tällä saadaan korjattua esimerkiksi juurenniskan ja paksun tyvikäärnan aiheuttama virhe kuutioinnissa(Metsäkustannus Oy 2005)./7/

3.4 Mittalaite

Mittalaite on tietokonepohjainen hakkuukoneen tiedonkeruuohjelma (Kuva 5). Ohjelma seuraa puun rungon läpimitan ja pituuden kehitystä jatkuvasti työskentelyn aikana antureilta saaduilla tiedoilla. Antureilta tulevat virranmuutokset ja pulssit muutetaan eri tietokoneohjelmilla ohjaamon näyttölaitteelle senttimetreiksi ja millimetreiksi. Ohjelma mittaa prosessoitavaa runkoa ja ennustaa noin 1,5 metrin syötön jälkeen rungon latvaan saakka. Jos mittaukset eivät vastaa rungon kapenevuutta, niin mittalaite muuttaa ennustetta.

Ennustetta käytetään rungon apterauksessa, että voitaisiin käyttää rungon tukkiosa mahdollisimman tarkasti hyödyksi. Apteeraus eli rungon jakaminen katkontaa varten on toiminto jossa hyödynnetään tietokoneen laskukykyä ja muistitilaa. Apteeraus voi olla arvo- tai jakaumaperustaista ja puun ostaja määrittää aina tukkipituudet halutuista läpimittaluokista. Koska mitkään hakkuukoneissa käytettävät anturit eivät voi mitata tai havaita puun ulkoisia tai sisäisiä vikoja, jää tukkien ja kuitupölliin laadun varmistaminen aina kuljettajalle.



KUVA 5. Timbermatic T300 mittalaitteen käyttönäkymä.

Puuteollisuus on tehostanut viimeisen vuosikymmenen aikana puunhankintaa ja on aikaansaanut mittalaitteiden osalta kehitystä myös tiedonsiirron osalta. Jatkuvassa

muutoksessa olevat sahatavaran ja vanerin markkinatilanteet ovat johtaneet yhteydenpitoon hakkuutyömaan ja metsäyhtiön välillä. Hakkuukoneelta lähetetään päivittäin hakkuumäärät puutavaralajeittain puun ostajalle, joka mahdollisesti kesken hakkuutyömaan voi antaa uusia ohjeita kuljettajalle. Apteerausehtoja voidaan muokata kesken leimikon, mutta niiden ehtojen puitteissa, jotka puun myyjän kanssa on sovittu.

4 ONGELMAT

4.1 Katkontatarkkuus

Puuteollisuuden antamat katkontatarkkuudet tukin valmistuksessa määräävät kuljettajan toimintaa työmaalla. Kuljettajan täytyy pitää mittalaite kalibroituna, että annettu tarkkuus voidaan saavuttaa. Nykyisin sahatukilla yleinen katkaisutarkkuus on 0 – 6 cm ja sorvitukilla 0 – 10 cm. Tämä tarkoittaa, että esimerkiksi 520 cm pitkän sahatukin sallitut pituudet ovat 520 – 526 cm ja sorvitukin 520 – 530 cm.

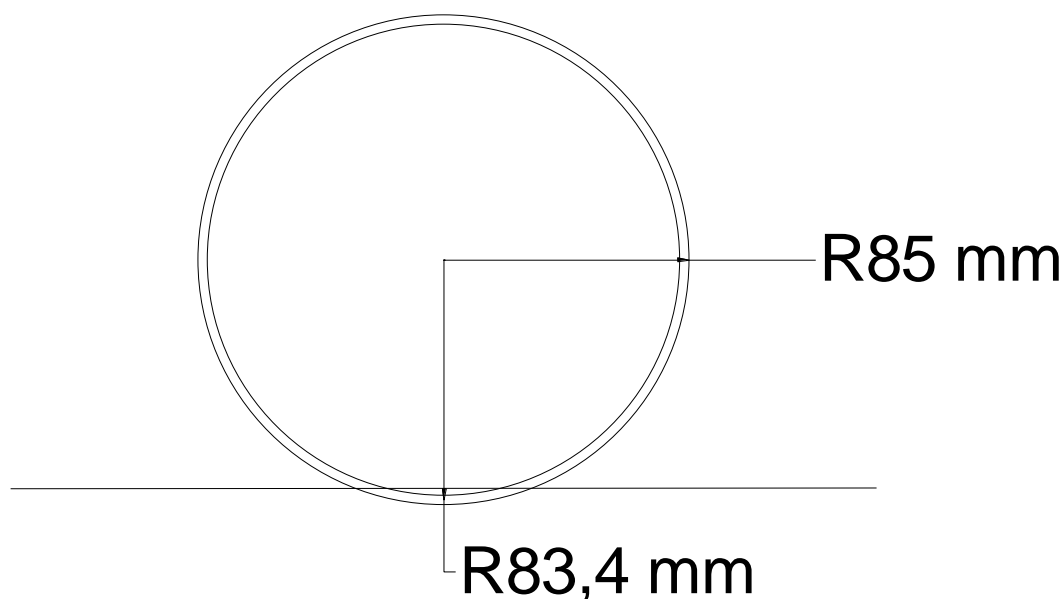
Käytännössä kuljettaja säätää mittalaitteen tekemään esimerkiksi 522- 524 cm pituisia tukkia, jolloin pieneen mittavirheeseen kummassakin suunnassa on varaa. Tämä saadaan aikaiseksi ohjelmoimalla mittalaitteeseen katkaisuikkuna, jonka alarajaksi annetaan 522 cm ja ylärajaksi 524 cm. Teknisesti jopa 0 cm eli 523 -523 katkaisuikkuna on mahdollista, ja uusimmat mittalaitteet osaavat järkevästi sen toteuttaa.

Kuitenkin tehtyjä tukkeja mitattaessa voidaan usein todeta, että edes tasalaatuisessa metsässä ja hyvissä olosuhteissa ei päästä absoluuttiseen tarkkuuteen. Mittaukseen vaikuttavia tekijöitä voidaan luokitella karkeasti kahteen eri luokkaan: koneen mekaanisista ominaisuuksista riippuvat tekijät sekä puun fyysisistä ominaisuuksista riippuvat tekijät.

4.2 Ongelmatilanteet

Mittakehä kulkee puun pintaa pitkin upoten kuoreen ja puuainekseen, mutta oksan kohdat, jotka ovat kovempaa solukkoa, tai korot ja oksakyhmyt pidentävät mittakehän kulkemaa matkaa verrattuna tukin todelliseen pituuteen verrattuna.

Koska painatusvoima on vakio, muuttaa mittakehän ohentaminen rullan aiheuttamaa pintapainetta puun pinnassa. Tästä taas johtuu, että ohuempi mittakehä pyrkii painumaan syvemmälle puun soluksoon. Tällöin mittakehän keskiakselilta mitattu säteen pituus puun pintaan muuttuu ja aiheuttaa jälleen mittavirheen (Kuva 6.). Tällaisen mekaanisen muutoksen jälkeen on aina tehtävä mittalaitteen kalibrointi, että saadaan mittalaite tekemään oikean pituista tukkia. Saman ongelman aiheuttaa nopeat ulkoilman lämpötilan muutokset. Sulaan puuhun mittarulla uppoaa syvemmälle kuin jäiseen puuhun. Tämä on kuljettajan hallittava työnaikaisia tarkastusmittauksia tehden. Erityisen vaikea vuodenaika on kevät, jolloin päivän auringonpaisteen ja kuulaan pakasyön lämpötilaero voi olla helposti jopa 20 astetta ollen yöllä. Lisäksi auringon puoleinen puun kylki voi olla jopa huomattavan lämmin, joka tekeekin lämpötilaerosta vielä suuremman. Eli kuljettajan on huomioitava myös kummalle puolelle hän kouran kiinnittää aloittaessaan puun kaadon.



KUVA 6. Mittakehän uppoama puuhun.

Jo 1,6 millimetrin uppouma kalibroidusta arvosta vaikuttaa 520 cm tukin pituudenmittauksessa käytettäessä 170 mm halkaisijalla olevaa mittapyörää vaikuttaa huomattavasti mittaustarkkuuteen. Kehän pituus saadaan kaavasta $2\pi r$. Jos kuljettaja on säätänyt koneen tekemään tukin 523cm pitkäksi, niin kuvassa 4 havainnollistettu tilanteen vaikutus tekee tukista 513,2cm pitkän, joten tukki on pituudeltaan raakki. Pituuden virhe on silloin noin 1,9 prosentin luokkaa tukin pituudesta.



KUVA 7. Harvesteripää H754.

Ongelmallisia kohteita pituuden mittaukselle ovat myös koivikot, jotka luonnostaan kasvattavat joskus hyvinkin mutkaisen rungon. Hakkuukoneen kouran (Kuva 7.) rungon pohjan ollessa jäykkä rakenne, joutuvat karsimaterät sekä vetorullat myötäilemään puun runkoa. Mutkainen runko saattaa irrottaa puuta kouran otteesta ja mittakehästä. Rulla on kiinnitetty vipuvarteeseen ja sitä painatetaan hydraulisesti tai jousivoimalla. Liikevaran loppuessa mittakehä ei pyöri puun rungon edelleen kulkiessa kouran läpi, saa mittalaite väärän tiedon syötetyn puun pituudesta katkaisten sen väärästä kohdasta.

5 TOTEUTUS

5.1 Rajaukset

Kun pohdin työn rajattavia kohteita, pyysin neuvotteluun Markku Heikkisen John Deereltä. Yhdessä pohdimme pois rajattavia asioita saadaksemme sopivan laajuuden mittauksiin ja päädyimme kohdentamaan mittaukset Etelä-Savon teollisuuden kannalta tärkeimpään puulajiin eli kuuseen. Lisäksi rajasimme ulkopuolelle oksan ja sen lähialueen puusolukon, koska solukko on huomattavasti kovempaa, ja estää tehokkaasti mittarullan piikkien uppoamisen.

Rajauksen ulkopuolelle jäi myös puun solukon erikoismuodostumat, kuten reaktiopuu eli lyly jota esiintyy mutkalle kasvaneissa puissa ja puun rungossa suurten oksien alapuolella. Tämä solukko on myös kovempaa kuin normaali solukko. Myös auringon sulattama puuainekesäpakkasilla jätettiin pois, koska sitä olisi ollut vaikeaa saada havainnollistettua laboratorio-olosuhteissa.

5.2 Koemateriaali

Mitattavien puukappaleiden täytyi olla tuoreita, että niiden fyysiset ominaisuudet täsmäisivät oikeaan tilanteeseen työmaalla. Sopiva puu löytyi omalta työmaalta Otavasta tuoreen kankaan ensiharvennusleimikolta. Hetken tarkastelun jälkeen löytyi sopivat palat noin neljän metrin korkeudelta. Valittiin kaksi noin 40 cm pituista pöllä niiden väliin jääden suunnilleen samankokoinen kappale. 40 cm oli oikein sopiva pöllin pituus, koska oksakiehkuroiden väli oli tässä kuusessa noin 45–50 cm, eli oksaryhmät rajattiin pois. Näihin pölleihin jäi pieni määrä kuivia, noin 3–4 millimetrin paksuisia oksia, jotka katkesivat jo ennen kuin sain vietyä pöllit olosuhdekaappiin.

Tuoreen kankaan kasvupaikalla tämä puu oli ehtinyt noin 45 vuoden ikään ja testipöllien läpimitta oli noin 20 cm. Vuosilustot olivat hyvin symmetrisen pyöreitä, eikä reaktiopuuta ei ollut muodostunut lainkaan. Heti sahausken jälkeen pöllit suljettiin jättesäkkiin ja kuljetin ne olosuhdekaappiin kylmenemään ensimmäistä mittausta varten.

5.3 Tutkimuslaitteisto

Olosuhdekaappi

Mittauksissa käytettiin Mikkelin ammattikorkeakoulun materiaalitekniikan laboratorion laitteistoa. Puukappaleiden jäähdyttämiseen käytettiin Vötsch VG 4020 olosuhdekaappia (Kuva 8). Kaappi ohjelmoitiin annettuun lämpötilaan seuraten ainoastaan lämpötilaa. Kosteuden seuranta oli pois käytöstä, ettei puukappaleet kuivuisi kaapissa.



KUVA 8. Olosuhdekaappi

Testauslaite

Yleisaineen testauslaite Shimadzu AG-1000kN (Kuva 9) suoritti itse mittaukset mitta-asanturilla, joka valittiin tarpeeksi pienellä mitta-asteikolla. Anturi pystyy havaitsemaan voiman muutokset Newtonin tuhannesosan ja testauslaitteen omat Y-akselin asentoanturit millimetrin sadastuhannesosan tarkkuudella.



KUVA 9. Mittauslaite.

Ohjelma

Itse mittauksiin ohjelma tehtiin Trapezium-ohjelmalla, ja ohjelman nimeksi tuli yksinkertaisesti mikko. Ohjelmaan laitettiin asetukset voiman minimirajan, voiman maksimirajan sekä mittausten toistokertojen suhteen. Myös mittauksen nopeus säädettiin tällä ohjelmalla, eli tässä tapauksessa 5mm minuutissa.

5.4 Tutkimus ja sen tarkoitus

Mittaukset tehtiin Mikkelin Ammattikorkeakoulun materiaalitekniikan laboratoriossa. Softaan ohjelmoitiin viisi mittauskertaa kumpaakin terää varten neljässä eri lämpötilassa. Tarkoitus oli tutkia koveneeko puuainesta vielä jäätyksen jälkeen, joten mittauspisteet olivat 5, -5, -15 ja -25 astetta. Pituudenmittauskehät leikattiin halki, että saatiin ne kiinni mittalaitteen mittausleukoihin. Testauksessa käytettiin kahta erilaisella piikkimuodolla olevaa mittausrullaa. Näin saatiin vertailtua perinteistä rullaa sekä uudemmallista rullaa. Niitä vielä jouduttiin hiukan modifioimaan ennen kuin kiinnitys onnistui.

Olosuhdekaapin(Kuva 9.) oli varattu käyttöni jo edellisellä viikolla koko seuraavaksi viikoksi. Samoin mittalaitteen varaus oli tehty joka aamupäiväksi, koska mittausten ei uskottu kestävän kolmea tuntia enempää päivittäin. Lisäksi mittalaitteeseen täytyi sovitaa jonkinlainen alusta, johon pöllit sai kiinnitettyä. Sopiva säädettäväleukainen kiinnitin löytyikin valmiina mittalaitteen omasta valikoimasta.

6 TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Mittaukset aloitettiin kesäkuun alussa materiaalitekniikan laboratoriossa. Mittalaitteen ohjelma, eli softa tarkastettiin vielä kerran ja mittausrullien sekä pöllien kiinnitys voitiin aloittaa. Mittausrullan piikit ajettiin käsiajolla aivan puukappaleen kuoren tuntuun, jonka jälkeen varoen ajettiin piikit kiinni kuoren pintaan, niin että mittalaitteen ilmoittama voima oli 2 Newtonia. Tässä kohdalla nollattiin rullan etenemän mittarilukema, että saatiin kaikille mittauksille sama lähtökohta. Tästä eteenpäin ohjelma hoiti mittauksen loppuun saakka automaattisesti. Voimaa lisättiin aina 500 N:n asti, jonka jälkeen mittalaite ajoi mittauspään takaisin aloituskohtaan. Vaikka ohjelma laski upouman 300 N:n voiman kohdalta, painettiin terää vielä 500 N:n saakka, koska halusin nähdä tapahtuuko suuria muutoksia piikkien upottua vielä syvempään. Testeissä Terä 1(Kuva 10) on uusi kehitysversio, joka on vesileikattu teräväpiikkinen versio ja Terä 2 on vakiomallin olakkeellinen versio.



KUVA 10. Ylhäällä terä 1 ja alhaalla terä 2.

Puukappale oli ollut viikonlopun yli olosuhdekaapissa 5 asteen lämpötilassa tasaantumassa. Puukappaleen siirtäminen mittalaitteeseen oli tehtävä vasta juuri ennen mittausten aloittamista, ettei huoneen lämpötila alkanut lämmittää puun kaarnaa ja solukkoa. Toiselle terälle varattu puunkappale oli pidettävä olosuhdekaapissa niin pitkään kunnes toinen terä oli vaihdettu ja kiinnityspenkki oli tyhjä. Mittausten jälkeen puukappaleet siirrettiin takaisin olosuhdekaappiin ja säädettiin kaapin lämpötila -5 asteeseen.



KUVA 11. Mittaus meneillään terällä 1.

Ensimmäisen mittausserän (Terä 1) keskimääräinen uppouma oli 5,533 millimetriä keskihajonnan ollessa 0,56602 mm. Toisen terän (Terä 2) keskimääräinen uppouma oli 4,52004 mm keskihajonnan ollessa 0,53338 mm. Tässä voitiin todeta jo ensimmäisessä mittauksessa, että terä 2 uppoaa puuhun vähemmän kuin terä 1 (Taulukko 1.).

Taulukko 1. Lämpötila +5 ° C.

Name	EASL1_Disp
Parameter	300 N
Units	mm
1 - 1	4.96800
1 - 2	6.02780
1 - 3	6.11760
1 - 4	4.92700
1 - 5	5.62500
Standard Deviation	.56602
2 - 1	4.21920
2 - 2	4.64300
2 - 3	5.29800
2 - 4	4.57150
2 - 5	3.86850
Standard Deviation	.53338
Total Standard Deviation	.74425

Toisessa mittauserässä puupalat olivat –5 asteen lämmössä olosuhdekaapissa ja pölli numero 1 laitettiin testeriin kiinni. Samat viisi mittausta tehtiin kuin aiemminkin ja sitten vaihdettiin toinen terä ja toinen pölli. Samat mittaukset toistettiin ja huomattiin, että nyt mitattiinkin erehdyksessä terä 2 ensin ja terä 1 vasta toisena. Tämä täytyy ottaa huomioon mittauspöytäkirjoja tutkiessa, ettei tule väärinkäsityksiä. Tässä mittauksessa keskimääräinen uppouma oli 4,305412 mm terällä 1 keskihajonnan ollessa 0,44183 mm ja terällä 2 uppouma oli 3,763768 mm keskihajonnan ollessa 0,29781 mm. Edelleen voi todeta terän 2 uppovan puuhun vähemmän (Taulukko 2).

Taulukko 2. Lämpötila -5° C.

Name	EASL1_Displacement
Parameter	300 N
Units	mm
1 - 1	4.15500
1 - 2	3.37011
1 - 3	3.93900
1 - 4	3.70073
1 - 5	3.65400
Standard Deviation	.29781
2 - 1	4.71360
2 - 2	4.29700
2 - 3	3.58267
2 - 4	4.60770
2 - 5	4.32609
Standard Deviation	.44183
Total Standard Deviation	.45571

Kolmannessa mittauksessa puupalat olivat olleet yön yli –15 asteen lämpötilassa olosuhdekaapissa. Samojen mittausten jälkeen voitiin todeta, että terällä 1 keskimääräinen uppouma oli 2,80912 mm keskihajonnan ollessa 0,36457 mm ja terällä 2 keskimääräinen uppouma oli 1,890404 mm keskihajonnan ollessa 0,21836 mm. Myös tässä mittauksessa terä 2 upposi vähemmän puuhun, saaden keskihajonnan melko pieneksi (Taulukko 3).

Taulukko 3. Lämpötila -15° C.

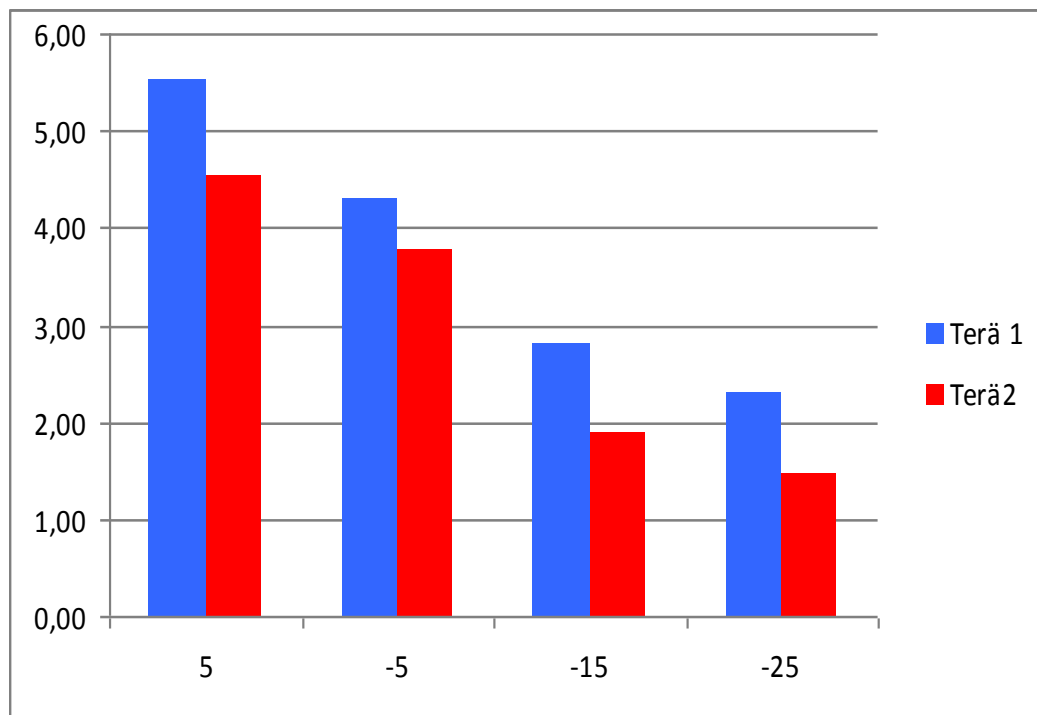
Name	EASL1_Displ
Parameter	300 N
Units	mm
1 - 1	2.34000
1 - 2	2.65200
1 - 3	2.74167
1 - 4	3.30043
1 - 5	3.01150
Standard Deviation	.36457
2 - 1	1.63033
2 - 2	1.72380
2 - 3	1.98560
2 - 4	1.93100
2 - 5	2.18129
Standard Deviation	.21836
Total Standard Deviation	.56100

Viimeisessä eli neljännessä mittauksessa puukappaleet olivat –25 asteen lämpötilassa olosuhdekaapissa vuorokauden tasaantumassa. Mittausten jälkeen voitiin todeta, että terä 1 sai keskiuippoumaksi 2,306364 mm keskihajonnan ollessa 0,42561 ja terä 2 sai keskiuippoumaksi 1,467862 mm keskihajonnan ollessa 0,33088 mm (Taulukko 4).

Taulukko 4. Lämpötila -25 ° C.

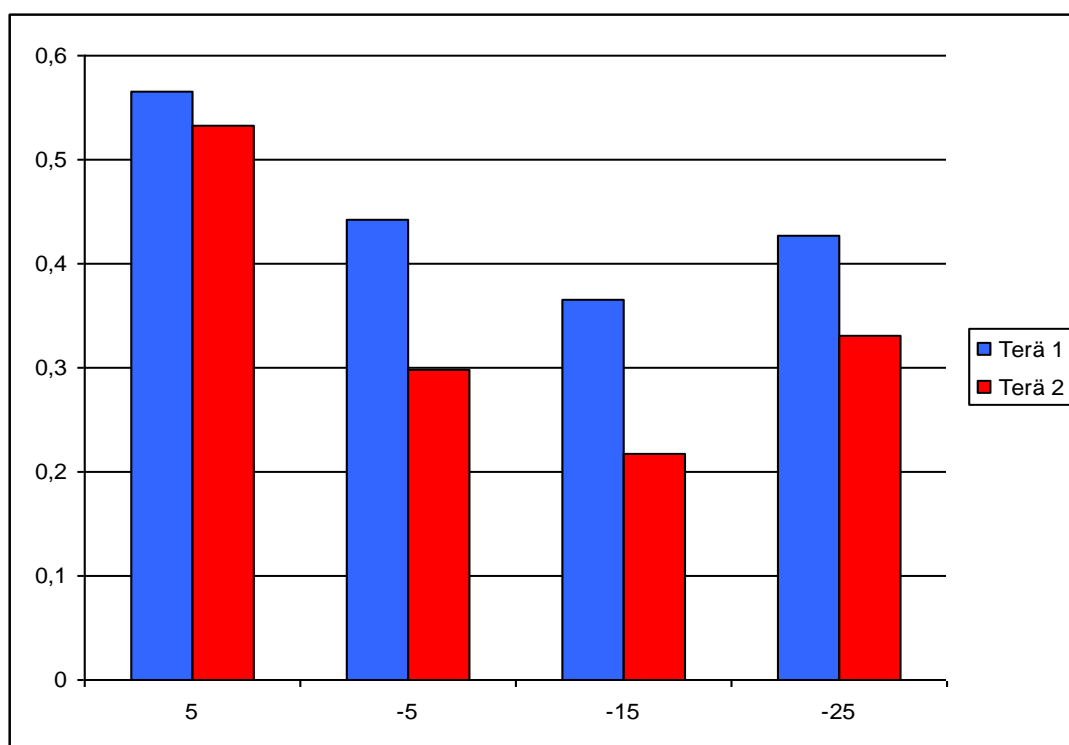
Name	EASL1_Displacement
Parameter	300 N
Units	mm
1 - 1	1.98109
1 - 2	2.72833
1 - 3	1.99000
1 - 4	2.01840
1 - 5	2.81400
Standard Deviation	.42561
2 - 1	1.26760
2 - 2	1.53000
2 - 3	1.21727
2 - 4	2.01973
2 - 5	1.30471
Standard Deviation	.33088
Total Standard Deviation	.56962

Taulukko 5. Yhteenvetotaulukko mittauksista (Keskimääräinen uppouma eri lämpötiloissa).



Vaikka terän 1 keskimääräinen uppouma puuhun oli pienempää kuin terällä 2, saatiin terälle 2 tuloksissa järjestelmällisesti pienempi keskihajonta (Taulukko 5). Ennakkoon olisi voinut ajatella tulosten olevan päinvastaisia, koska pienemmällä uppoumalla kuoren mahdollinen vaikutus on suurempi. Pienempi keskihajonta johtuu terän olakkeellisesta piikistä, joka estää vakiovoimalla painatettua terää uppoumasta liian syväälle puuhun. Keskihajonnan ollessa pieni, voidaan todeta terällä saavutettavan paremmat säätötarkkuudet mittalaitteella.

Taulukko 6. Yhteenvetotaulukko mittauksista (Mittausten keskihajonta eri lämpötiloissa).



Työn tavoitteena oli saada tutkittua tietoa mittakehän uppoamisesta puuhun eri olosuhteissa hakkuutyömaalla, koska uppoaminen vaikuttaa hakkuukoneen mittatarkkuuteen. Mittauksista saaduista tuloksista voidaan päätellä, että lämpötila vaikuttaa radikaalisti harvesterin mittalaitteen tarkkuuteen. Yhden millimetrin ero mittapyörän uppoumassa vaikuttaa 52 dm pituisessa tukissa jo lähes 6 senttimetriä. Tämä alitus tukin pituudessa johtaa jo katkontaikkunan alarajan alitukseen, jolloin tukki lasketaan sahalaitoksen puun vastaanotossa raakkitukiksi. Koska tällainen yhden millimetrin uppoumaero tapahtuu jo lämpötilavaihtelussa, jota tavataan lähes päivittäin talviaikana, korostuu kuljettajan työmenetelmien oikeellisuus entisestään.

Koska testattavat puokappaleet oli kaadettu kesällä, niiden suhteellinen kosteus ei ole aivan samanlainen verrattuna niihin puihin, joita käsitellään työmaalla ilman lämpötilan vaihdellessa edellä mainituissa olosuhteissa. Tästä johtuen veden määrä puussa on hiukan erilainen, ja se saattaa vaikuttaa jäätyneen puun kovuuteen. Täytyy myös huomioda, että mittauskehä kulkee puun pintaa myöten ylittäen myös oksankohdat, joita saattaa olla huomattavasti varsinkin aukean reunoilla kasvaneissa puissa. Juuri näissä

puissa on usein huomattavan suurikokoiset oksat. Koska puuainees on kovempaa oksien kohdalla, ei mittauskehä uppoa puuhun jatkuvasti ja siten saatua laskennallista mittausvirhettä ei voi yleistää käsittämään mittausta koko rungon pituudella.

Voidaan myös todeta, että puun kovuus ei muutu lineaarisesti lämpötilan aletessa. Ennakkoon oletus oli, että 5 ja -5 asteen välissä puun kovuus muuttuu eniten, koska puussa oleva vesi jäätyy lämpötilan mennessä pakkasen puolelle. Mittauksissa todettiin kuitenkin, että selvä muutos puuaineksen kovuudessa on -5 ja -15 asteen välissä. Tämän lämpötilan alapuolella mittakehän uppoaminen oli selvästi pienempää.

Tulosten soveltaminen käytäntöön tällaisenaan on vaikea toteuttaa. Jos puuainees olisi tasalaatuista, eli oksatonta ja kuoren paksuus ja rakenne olisi samanlaista puunrungon joka kohdassa ja maantieteellisesti koko Suomessa, voitaisiin kehittää mittalaitteeseen automaattinen korjausohjelma pituudenmittaukselle. Käytännössä kuitenkin lämpötilan muuttuminen vaikuttaa viiveellä puun ominaisuuksiin. Mahdollisesti harvesterin kouraan sijoitettava infrapuna-lämpömittari, joka mittaa puun pinnan lämpötilaa samalla kun puuta syötetään kouraan voisi olla yksi vaihtoehdoista johon yhteyteen voisi tässä tutkimuksessa saatua tietoa käyttää hyödyksi.

7 POHDINTA

Tässä työssä tavoitteena oli saada tutkittua tietoa aiheesta, joka on osa jokapäiväistä työskentelyä hakkuutyömaalla. Tähän asti tieto on ollut kokemusperäistä ja kulkeutunut kuljettajalta tai kouluttajalta toiselle. Nyt saaduilla tuloksilla voidaan vahvistaa aiemmat käsitysten suunta oikeiksi. Asia joka yllätti, oli puun kovuuden kasvu vielä jäätyamisen jälkeen. Eli mittalaitteiston säädön tarvetta täytyy aktiivisesti valvoa aina kun lämpötila on alle 5 C astetta.

Onnistuin mielestäni melko hyvin työn tavoitteisiin nähden. Mittausten määrää olisi voinut kasvattaa, että tulokset olisivat olleet luotettavammät. Suuremman otannan kautta virheet mittauksissa olisivat olleet merkityksettömämpiä. Toivon tulosten antavan työn tilaajalle niitä tietoja mitä työltä tavoiteltiin. Tietojen perusteella voisi esimerkiksi kehittää tietäntyyppisiä mittauskehiä erilaisiin sääolosuhteisiin.

Jatkotutkimuksiksi ehdottaisin optisen lämpötila-anturin soveltamista nyt saatuihin tuloksiin. Anturin tulisi sijaita kouran sisällä tai välittömässä läheisyydessä, josta se mittaisi kouraan syötettävän puun pinnan lämpötilaa. Ulkoilman lämpötilasta on vaikeaa johtaa puun lämpötilaa, koska lämpötila siirtyy aineessa viiveellä.

8 LÄHTEET

1. Sipi M. 2009. Puuraaka-aineen mittaus. Mittausmenetelmät ja niiden perusteet. Yliopistopaino. Helsinki. 151s.
2. Rantala S. 2005. Metsäkoulu. Metsäkustannus Oy. Hämeenlinna. 285s.
3. Kärkkäinen M. Puutieteen perusteet. Metsäkustannus Oy. Hämeenlinna. 451 s.
4. Metsätehon raportti 195. Katkontatarkkuuden ylläpito hakkuukoneilla. WWW-dokumentti. http://www.metsateho.fi/uploads/Raportti_195_AK_ym.pdf. Päivitetty 28.9.2006. Luettu 14.10.2009.
5. Kuikka K. 2002. Puutekniikka 2. Otava kustannusosakeyhtiö. Helsinki. 163s.
6. Tietoa puutavaranmittauksesta. Metsäntutkimuslaitos. WWW-dokumentti. <http://www.metla.fi/metinfo/tietopaketi/mittaus/index.htm>. Päivitetty 25.3.2002. Luettu 14.10.2009.
7. Rantala S. Tapion taskukirja. Metsäkustannus Oy. Hämeenlinna. 490 s.
8. SFS-EN 844-5 Pyöreä puutavara ja sahatavara. WWW-dokumentti. <http://www.sfs.fi/luettelo/sfs.php?standard=SFS-EN%20844-5>. Luettu 16.10.2009.
9. Kärkkäinen M. 1984. Puutavaran mittauksen perusteet. Helsingin yliopiston monistuspalvelu. Painatusjaos. Helsinki. 252s.

10. Melkas T. 2008. Puutavaran mittausmenetelmien osuudet vuonna 2007. Metsätehon tulosalvosarja 8a/2008. Metsäteho Oy. WWW-dokumentti. [http://www.metsäteho.fi/uploads/Tuloskalvosarja_2008_8a_Mittausmenetelmät_2007_tm.pdf](http://www.metsateho.fi/uploads/Tuloskalvosarja_2008_8a_Mittausmenetelmät_2007_tm.pdf). Luettu 19.10.2009.

Liite 1. Lämpötila 5 C astetta.

MAMK Pituusmittaus

Date : 9-6-2009

Operator : Mikko

Humidity :

Puulaji :

Shape: Plate

V1 : 2 mm/min

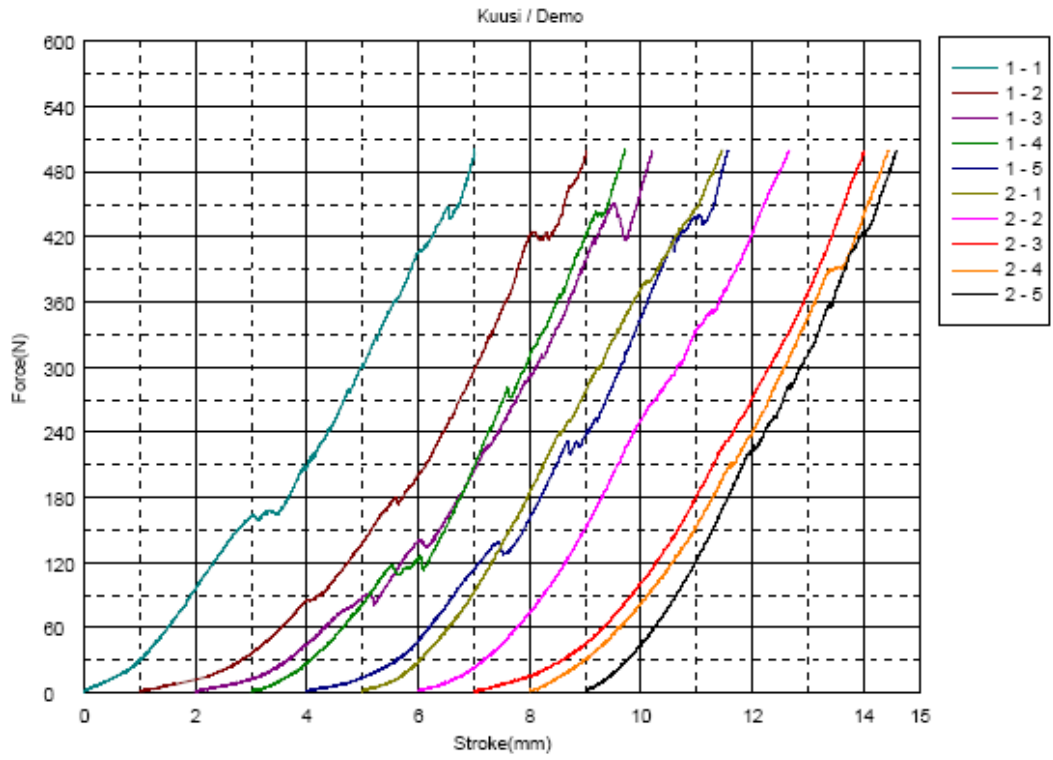
Temperature :

File Name :

	Thickness	Width	Height
Units	mm	mm	mm
1 - 1	1.0000	1.0000	100.0000
1 - 2	1.0000	1.0000	100.0000
1 - 3	1.0000	1.0000	100.0000
1 - 4	1.0000	1.0000	100.0000
1 - 5	1.0000	1.0000	100.0000
2 - 1	1.0000	1.0000	100.0000
2 - 2	1.0000	1.0000	100.0000
2 - 3	1.0000	1.0000	100.0000
2 - 4	1.0000	1.0000	100.0000
2 - 5	1.0000	1.0000	100.0000

Name	EASL1 Disp
Parameter	300 N
Units	mm
1 - 1	4.96800
1 - 2	6.02780
1 - 3	6.11760
1 - 4	4.92700
1 - 5	5.62500
Standard Deviation	.56802
2 - 1	4.21820
2 - 2	4.64300
2 - 3	5.29800
2 - 4	4.57150
2 - 5	3.86850
Standard Deviation	.53338
Total Standard Deviation	.74425

Liite 2. Lämpötila 5 C astetta



Comment

Liite 3. Lämpötila -5 C astetta.

MAMK Pituusmittaus

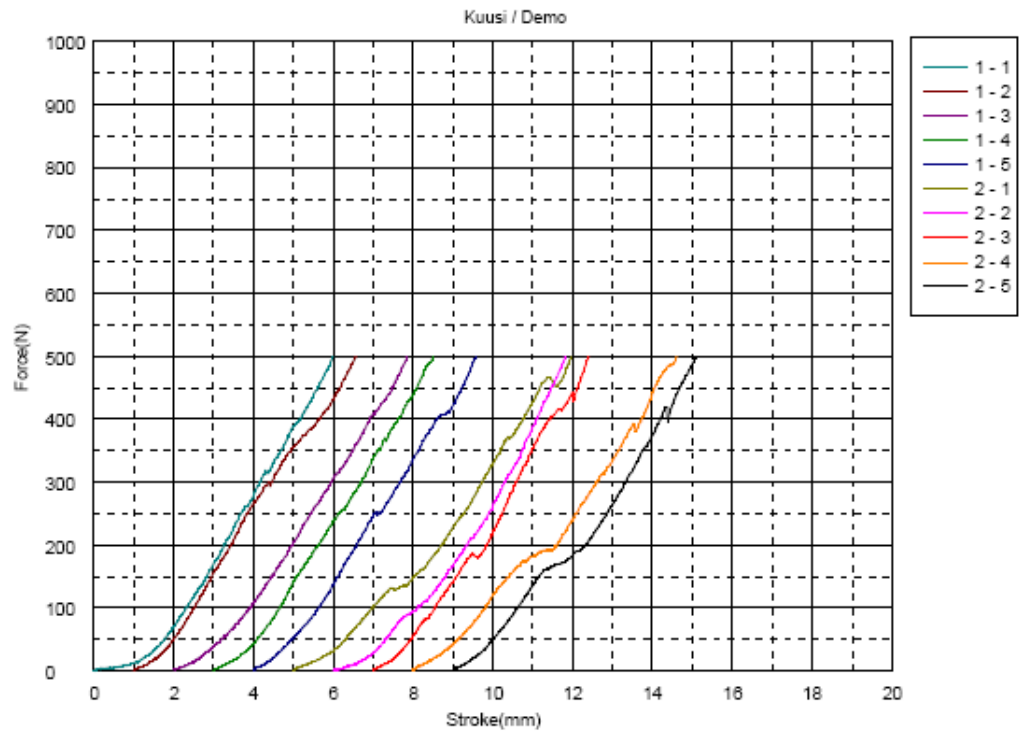
Date : 10-6-2009
 Operator : Mikko
 Humidity :
 Puulaji :
 Shape: Plate

V1 : 5 mm/min
 Temperature :
 File Name :

	Thickness	Width	Height
Units	mm	mm	mm
1 - 1	1.0000	1.0000	100.0000
1 - 2	1.0000	1.0000	100.0000
1 - 3	1.0000	1.0000	100.0000
1 - 4	1.0000	1.0000	100.0000
1 - 5	1.0000	1.0000	100.0000
2 - 1	1.0000	1.0000	100.0000
2 - 2	1.0000	1.0000	100.0000
2 - 3	1.0000	1.0000	100.0000
2 - 4	1.0000	1.0000	100.0000
2 - 5	1.0000	1.0000	100.0000

Name	EASL1 Disp
Parameter	300 N
Units	mm
1 - 1	4.15500
1 - 2	3.37011
1 - 3	3.93900
1 - 4	3.70073
1 - 5	3.65400
Standard Deviation	.29781
2 - 1	4.71380
2 - 2	4.29700
2 - 3	3.58287
2 - 4	4.60770
2 - 5	4.32809
Standard Deviation	.44183
Total Standard Deviation	.45571

Liite 4. Lämpötila -5 C astetta.



Comment

Liite 5. Lämpötila -15 C astetta.

MAMK Pituusmittaus

Date : 11-6-2009

Operator : Mikko

Humidity :

Puulaji :

Shape: Plate

V1 : 5 mm/min

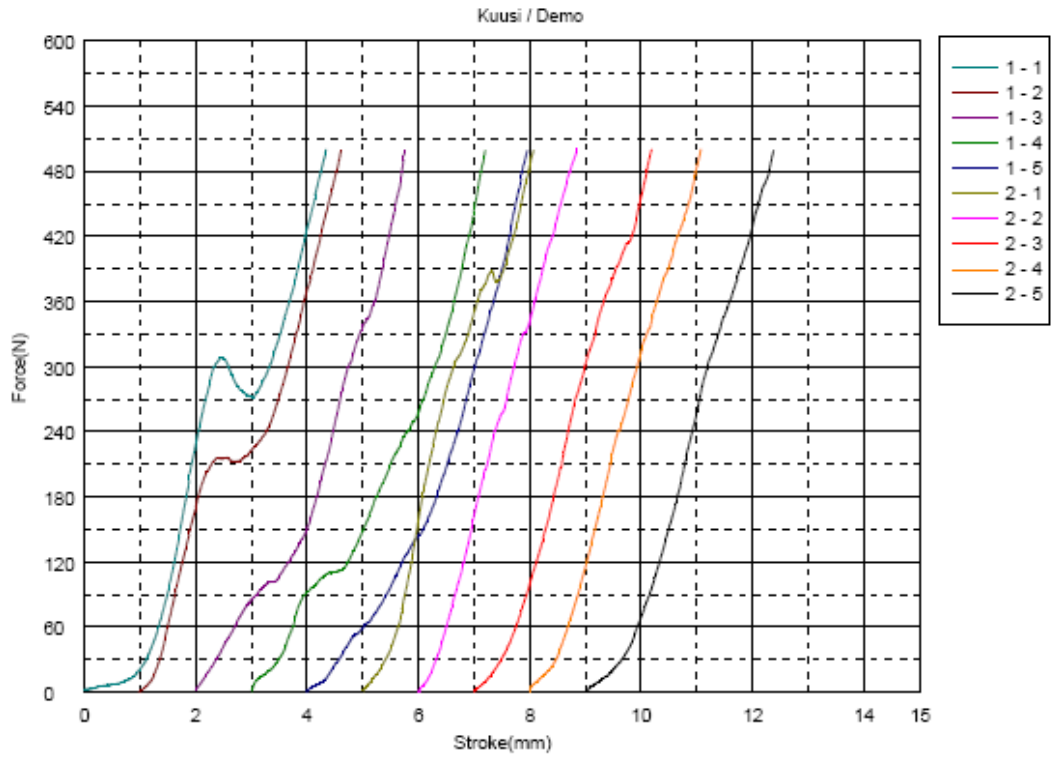
Temperature :

File Name :

	Thickness	Width	Height
Units	mm	mm	mm
1 - 1	1.0000	1.0000	100.0000
1 - 2	1.0000	1.0000	100.0000
1 - 3	1.0000	1.0000	100.0000
1 - 4	1.0000	1.0000	100.0000
1 - 5	1.0000	1.0000	100.0000
2 - 1	1.0000	1.0000	100.0000
2 - 2	1.0000	1.0000	100.0000
2 - 3	1.0000	1.0000	100.0000
2 - 4	1.0000	1.0000	100.0000
2 - 5	1.0000	1.0000	100.0000

Name	EASL1 Disp
Parameter	300 N
Units	mm
1 - 1	2.34000
1 - 2	2.65200
1 - 3	2.74187
1 - 4	3.30043
1 - 5	3.01150
Standard Deviation	.36457
2 - 1	1.63033
2 - 2	1.72380
2 - 3	1.98580
2 - 4	1.93100
2 - 5	2.18129
Standard Deviation	.21836
Total Standard Deviation	.56100

Liite 6. Lämpötila -15 C astetta.



Comment

Liite 7. Lämpötila -25 C astetta.

MAMK Pituusmittaus

Date : 12-6-2009
 Operator : Mikko
 Humidity :
 Puulaji :

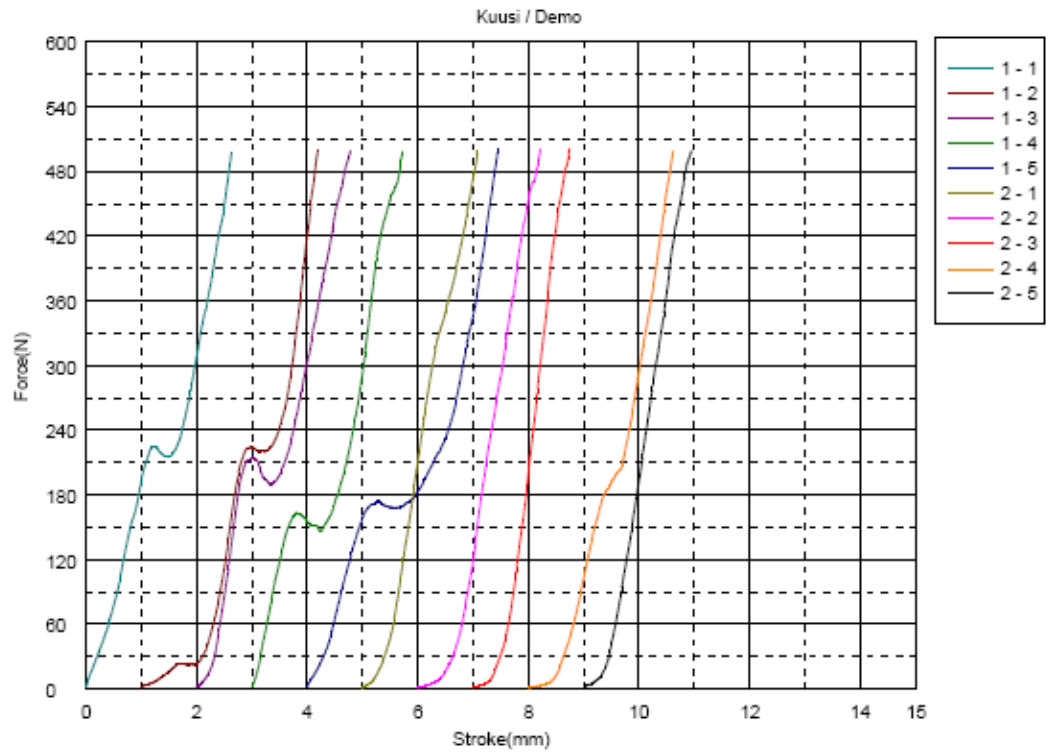
V1 : 5 mm/min
 Temperature :
 File Name :

Shape: Plate

	Thickness	Width	Height
Units	mm	mm	mm
1 - 1	1.0000	1.0000	100.0000
1 - 2	1.0000	1.0000	100.0000
1 - 3	1.0000	1.0000	100.0000
1 - 4	1.0000	1.0000	100.0000
1 - 5	1.0000	1.0000	100.0000
2 - 1	1.0000	1.0000	100.0000
2 - 2	1.0000	1.0000	100.0000
2 - 3	1.0000	1.0000	100.0000
2 - 4	1.0000	1.0000	100.0000
2 - 5	1.0000	1.0000	100.0000

Name	EASL1 Disp
Parameter	300 N
Units	mm
1 - 1	1.98109
1 - 2	2.72833
1 - 3	1.99000
1 - 4	2.01840
1 - 5	2.81400
Standard Deviation	.42561
2 - 1	1.26760
2 - 2	1.53000
2 - 3	1.21727
2 - 4	2.01973
2 - 5	1.30471
Standard Deviation	.33088
Total Standard Deviation	.56862

Liite 8. Lämpötila -25 C astetta.



Comment

