

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka, Imatra
Paperitekniikan koulutusohjelma
Kuidutus- ja paperinvalmistustekniikka

Marko Hietamäki

HAKKEEN OMINAISUUksiIN JA IRTOTILAVUUSPAINOON VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Opinnäytetyö 2010

TIIVISTELMÄ

Marko Hietamäki

Hakkeen ominaisuuksiin ja irtotilavuuspainoon vaikuttavat tekijät, 35 sivua, 1 liite

Saimaan ammattikorkeakoulu, Imatra

Tekniikka, Paperitekniikan koulutusohjelma

Kuidutus- ja paperinvalmistustekniikka

Opinnäytetyö 2010

Ohjaajat: Lehtori Esko Lahdenperä, DI Sampo Luukkainen

Opinnäytetyön aiheena oli tutkia Stora Enso Oyj:n hakkeen ominaisuuksia ja niiden vaikutuksia sellun valmistusprosessissa. Tärkein tutkimuksen kohde oli hakkeen tuoreiheys ja palakoko. Työn tarkoituksena oli myös toimia eräänlaisena manuaalina tehtaan käytössä.

Tutkimusvälineinä käytettiin tavallisia sankoja. Niiden avulla tutkittiin hakkeen pakkautumista iskukokeilla ja kuiva-aineen muutoksia huoneenlämmössä. Haketta tutkittiin seulomattomana ja seulottuna sekä tuoreena ja kuivana. Työssä tutkittiin myös hakkeen eri akseptiosuuksien vaikutusta pakkautumiseen.

Kokeet suoritettiin Stora Enson tutkimuskeskuksella ilmastoidussa huoneessa, jossa olivat seula, vaaka, kamera ja kuivatusuunit. Hakenäytteet tulivat suoraan tehtaalta tuoreena.

Tutkimusten ja teoriaosan mukaan suurimmat vaihtelut hakkeen kuiva-ainepitoisuuksissa saman puulajin sisällä johtuivat vuodenajasta. Tuoreiheydet vaihtelivat yli 100 kg/m³ helmi- ja kesäkuun välillä. Tuoreiheydet vaihtelivat myös eri puulajien ja puun iän mukaan. Puun vanhemman iän vaikutus näkyi eritoten suuremmassa kuivan sydänpuun osuudessa. Myös puun pitkittäiset ja poikittaiset kosteuden vaihtelut otettiin huomioon työssä.

Työn tulokset olivat selviä ja hakkeen pakkautumisen vaikutukset olivat san-kotestien perusteella hakekasalla, siilossa ja keittimessä huomattavia.

Asiasanat: Hake, tuoreiheys, kuiva-aine, palakoko ja pakkautuminen

ABSTRACT

Marko Hietamäki

Effective factors in chip properties and separate volume, 35 pages, 1 appendix

Saimaa University of Applied Sciences, Imatra

Degree Programme in Technology

Bachelor's Thesis 2010

Instructors: Lecturer Esko Lahdenperä, Graduate Engineer Sampo Luukkainen

The aim of this thesis work was to study Stora Enso's chip properties and the influences in making of pulp. The main study point was chips fresh density and chip size. Thesis work was also meant to work as a manual to the factory.

In Experiments I used normal buckets. With them I studied chip engorgement with strike tests and dry content changes at room temperature. I studied screened and unscreened chips and also fresh and dry chips. Different chip sizes for engorgement were studied.

Experiments were done in Stora Enso's research center in air-conditioned room, where was screener, scale, camera and drying ovens. Fresh chip samples came directly from the plant.

According to experiments and the literature the biggest changes in chip dry content between same tree species were caused by time of year. Fresh densities between February and June could change as much as 100 kg/m^3 . Of course densities changed between different tree species and according to trees age. The effect of tree's older age was especially seen in bigger portion of dry heartwood. Also tree's differences in lengthwise and transverse moisture were taken in notice.

The results of thesis work were clear and effects of chip engorgement in strike tests were notable in chip heap, storage bin and cooker.

Keywords: Chip, fresh density, dry content, chip size and engorgement

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	5
2	PUURAAKA-AINE	6
2.1	Havupuiden rakenne	6
2.1.1	Vuosilusto	7
2.1.2	Rungon pituussuuntaiset trakeidit	7
2.1.3	Ydinsäteet	8
2.1.4	Pihkatiehyet	9
2.1.5	Pitkittäisparenkyymisolut	9
2.2	Lehtipuiden rakenne	9
2.2.1	Vuosilusto	9
2.2.2	Putkilot	10
2.2.3	Kuitutrakeidit ja libriformsolut	10
2.2.4	Lehtipuiden trakeidit	11
2.2.5	Ydinsäteet	12
2.2.6	Pitkittäisparenkyymisolut	12
2.3	Juuret ja oksat	12
3	SELLUTEHTAAN RAAKA-AINEET	13
4	LEHTIPUUN KOSTEUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	15
4.1	Pinta- ja sydänpuu sekä rungon pituussuuntainen vaihtelu	15
4.2	Kanto- ja juuripuu, oksat ja lehdet	15
4.3	Runkojen välinen vaihtelu	16
4.4	Kasvupaikan aiheuttamat vaihtelut	16
4.5	Vuodenaikaisvaihtelut	17
5	HAVUPUUN KOSTEUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	18
5.1	Pinta- ja sydänpuu	18
5.2	Rungon pituussuuntainen vaihtelu	18
5.3	Kosteus kanto- ja juuripuussa sekä oksissa	19
5.4	Runkojen välinen vaihtelu	19
5.5	Kasvupaikan aiheuttamat vaihtelut	19
5.6	Vuodenaikaisvaihtelut	20
6	HAKKEEN OMINAISUUKSIEN VAIKUTUKSET KEITOSSA	22
7	ISKUKOKEET	25
7.1	Alustava iskukoe	25
7.2	Toistokokeet iskujen vaikutuksesta	26
7.3	Uunikuivan hakkeen pakkautuminen	30
7.4	Koe tehdashakkeella	31
8	HAKKEEN KUIVA-AINEEN MUUTOKSET	32
8.1	Hakkeen kuivuminen huoneenlämmössä	32
8.2	Hakkeen kerrokselliset kuiva-aineet sangossa	34
9	YHTEENVETO	35
	LÄHTEET	36

LIITTEET

Liite 1 Mittaustulokset

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön teoriaosassa käsitellään puuraaka-aineen rakennetta ja kosteuden vaikuttavia tekijöitä. Lisäksi tarkastellaan hakkeen ominaisuuksien vaikutusta tehdasprosesseissa.

Opinnäytetyön kokeellinen osuus suoritettiin Stora Enso Oyj:n Kaukopään tehtaan kuitulinjalle. Hakkeen tutkimukset tehtiin tutkimuskeskuksella.

Haketuksessa valmistetaan raaka-ainetta massan valmistukseen. Muodostuvan hakkeen ominaisuuksilla on suuri merkitys massan laadulle ja jatkoprosessien toiminnalle. Näistä etenkin hakkeen palakoko ja kuiva-ainepitoisuus ovat työni kannalta tärkeimmät ominaisuudet. Hakkeen laatuun taas vaikuttavat monet eri tekijät, kuten puuraaka-aine, sen kuljetus, varastointi, katkaisu, kuorinta ja käytettävä haketusprosessi.

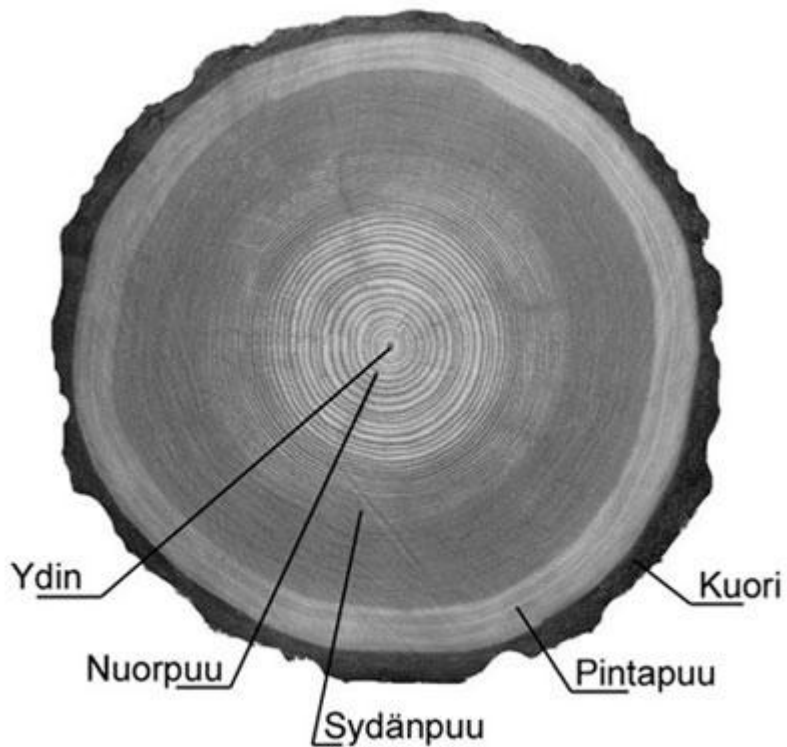
Tämän työn tavoitteena oli tutkia hakkeen ominaisuuksien vaikutusta pakkautuvuuteen ja yleisesti koko massan valmistusprosessiin. Kokeet tehtiin täytämällä sangot hakkeella ja tutkimalla hakkeen pakkautumista iskukokeilla. Iskukokeissa sanko iskettiin lattiaa vasten. Tutkimuksen toinen osa oli tutkia eri palakoossa ja pakkautumisasteessa olevan hakkeen kuiva-aineen muutoksia huoneenlämmössä.

2 PUURAAKA-AINE

Metsäteollisuuden tärkein yksittäinen raaka-aine on puu. Puu rakentuu juurisysteemistä, rungosta ja oksista lehtineen tai neulasineen. Teollisuudelle tärkein hyödynnettävä osa on runko, mutta myös oksia käytetään hyödyksi.

2.1 Havupuiden rakenne

Kuvasta 1 nähdään havupuun poikkileikkauksessa erottuvat rakenteet, jotka ovat ydin, nuorpuu, sydänpuu, pintapuu ja kuori.



Kuva 1 Havupuun poikkileikkaus (PuuProffa.)

2.1.1 Vuosilusto

Puiden pituuskasvu tapahtuu puuyksilön kärkikasvusolukoissa. Havupuilla on monopodiaalinen eli varsijatkoinen kasvutapa, jossa alkuperäinen pääranka kasvaa tavallisissa oloissa jatkuvasti pituutta. (Kärkkäinen 2007.)

Puutieteen kannalta tärkein puuyksilökohtainen muutos on, että aivan nuoruusvaihetta lukuun ottamatta vuosiluston paksuus ohenee ytimeistä pintaan päin, koska sydänpuun osuus kasvaa prosentuaalisesti puun ikääntyessä. Kehän pituuden kasvaessa samassa suunnassa, pinta-alamääräisesti vuosiluston edustama kasvu voi pysyä samana olosuhteiden pysyessä vakioina. (Kärkkäinen 2007.)

Kuusella ja männyllä vuosiluston paksuus riippuu säästä eri tavalla. Ainakin Etelä-Suomessa männyn kevätpuun muodostumiseen kuluva aika on pituudeltaan jokseenkin vakio ja kevätpuun määrä melko riippumaton tänä aikana vallitsevasta lämpötilasta. Sen sijaan kesäpuun määrä riippuu siitä, kuinka varhain sen muodostuminen pääsee alkuun ja mikä on lämpötila kesäpuun muodostumisen aikana. Kuusella taas sekä kevät- että kesäpuun määrä riippuvat kasvukauden lämpötilasta. Käytännössä tämä ero saattaa näkyä muun muassa siten, että kuusen ja männyn kasvun vaihtelu saattaa olla erilainen vuodesta toiseen. (Kärkkäinen 2007.)

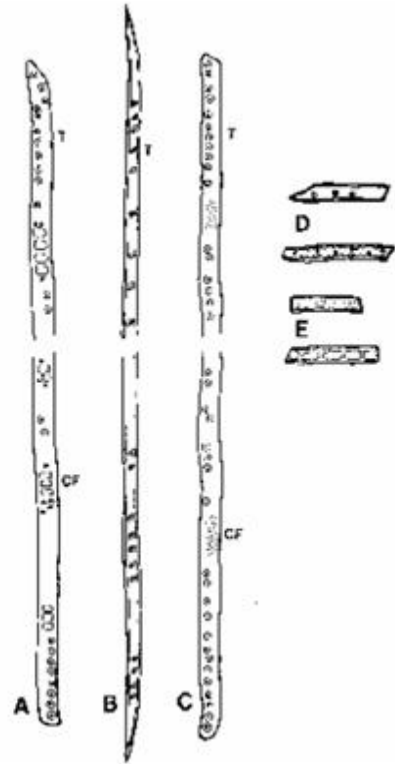
2.1.2 Rungon pituussuuntaiset trakeidit

Havupuilla suurin osa soluista on trakeideja, joita on nimitetty myös vesisoluiksi ja putkisoluiksi. Ne ovat täysikasvuisina kuolleita prosenkyymisoluja (suippusoluja), jotka näkyvät poikkileikkauksessa säteen suuntaisina säännöllisinä jonoina. Kehän laajenemisen vuoksi jonojen lukumäärä lisääntyy ytimeistä pintaan päin. Trakeidien koko kasvaa samassa suunnassa. (Kärkkäinen 2007.)

Kesäpuun trakeidit ovat paksuseinäisiä kevätpuun trakeideihin verrattuna. Nämä trakeidilajit eroavat poikkileikkauksessa myös muodoltaan. Trakeidien

läpimitta on tangentin suunnassa suunnilleen sama, mutta säteen suunnassa kevätkuun trakeidien läpimitta on huomattavasti suurempi. Trakeidien läpimitan lisäksi myös niiden pituus vaihtelee vuosiluston sisällä. Kesäpuun trakeidit on yleensä havaittu jonkin verran pitemmiksi kuin kevätkuun trakeidit. (Kärkkäinen 2007, 27.)

- A. Männyn kevätkuutrakeidi
- B. Männyn kesätkuutrakeidi
- C. Kuusen kevätkuutrakeidi
- D. Kuusen ja männyn ydinsädesoluja (ray tracheids)
- E. Kuusen ja männyn ydinsäteen tylppysoluja (ray parenchyma cells)



Kuva 2 Männyn ja kuusen trakeidit, ydinsädesolut ja tylppysolut (Sundqvist 2007.)

2.1.3 Ydinsäteet

Ydinsäteet ovat kaikilla puilla tavattavia muodostumia, joissa solujen pituus-suunta on kohtisuoraan rungon tai muun vastaavan osan pituusakselin suuntaan nähden. Ydinsäteet muodostuvat joko yksinomaan parenkyymisoluihin (tylppysoluista) tai parenkyymisoluihin ja ydinsädetrakeideista. Edellisiä nimitetään homosellulaarisiksi ja jälkimmäisiä heterosellulaarisiksi ydinsäteiksi. (Kärkkäinen 2007.)

2.1.4 Pihkatiehyet

Pihkatiehyellä tarkoitetaan solukossa olevaa kanavaa, jota reunustavat pihkaa erittävät rauhassolut eli epiteeliparenkyymisolut. Epiteelikerros on yhden solukerroksen vahvuinen. Pihkatiehytkompleksiin kuuluvat lisäksi epiteelikerroksen ulkopuolella olevat parenkyymisolut ja tylppäpäiset trakeidit. (Kärkkäinen 2007.)

Tavanomaisten pihkatiehyeiden lisäksi tavataan myös traumaattisia pihkatiehyitä, jotka syntyvät puun vaurioitumisen seurauksena. Vaurioituminen ei välttämättä tarkoita kuoren rikkoutumista. Esimerkiksi kuusella mekaaninen puristus voi olla riittävä syy. (Kärkkäinen 2007.)

2.1.5 Pitkittäisparenkyymisolut

Pitkittäisparenkyymisolulla eli puuparenkyymisolulla tarkoitetaan rungon pituusakselin suuntaista parenkyymisolukkoa. Tavallisesti pitkittäisparenkyymisolut ovat tiiliskiven muotoisia. Suomalaisilla havupuilla pitkittäisparenkyymi on harvinainen. (Kärkkäinen 2007.)

2.2 Lehtipuiden rakenne

2.2.1 Vuosilusto

Havupuiden tapaan myös lehtipuiden pituuskasvun aiheuttaa varren kärjessä oleva kärkikasvusolukko. Havupuille tyypillinen varsijatkoinen kasvutapa on mm. haavalla, lepällä, vaahteralla ja saarnella. Muilla lehtipuilla kasvutapa on taas sympodiaalinen eli haarajatkoinen, jolloin alkuperäisen päärangon kehitys pysähtyy ja seuraavan vuoden pituuskasvu lähtee jostakin päärangon ylimmistä silmuista. Uudelle päärangalle käy aikanaan samoin kuin vanhalle päärangalle. (Kärkkäinen 2007, 43.)

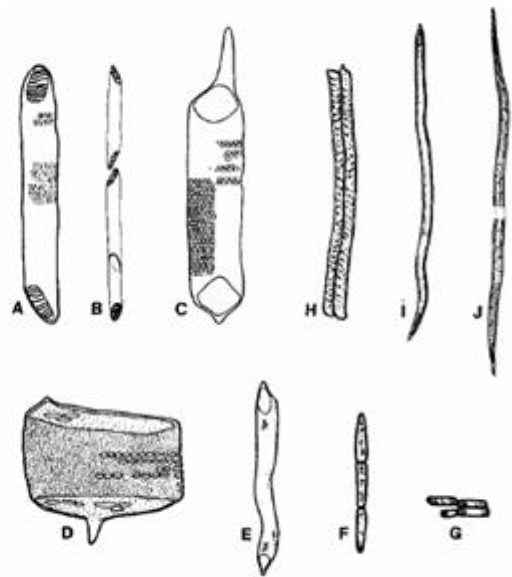
Monilla lehtipuilla voidaan erottaa samanlainen kausivaippa kuin havupuilla. Niillä puulajeilla, joilla ei ole varsinaisia lepokausia, vastaavia lustoja ei syn-

ny. Poikkileikkauksessa kausilustoja voi olla vaikea erottaa myös silloin, kun lehtipuulla on kahden kasvujakson välillä lepojako. (Kärkkäinen 2007.)

2.2.2 Putkilot

Lähes kaikilla lehtipuusuvuilla on putkiloita. Evoluutiossa putkiloiden oletetaan kehittyneen trakeideista. Putkilot eli trakeet ovat rungon pituusakselin suuntaisia, yhtenäisiä soluonteloita, jotka ovat muodostuneet päällekkäin olevien putkilosolujen päätyseinämien hävittäessä osittain tai kokonaan. Putkilot ovat näin ollen kuolleista soluista koostuvia muodostumia, solusulautumia. Putkilot eivät kuitenkaan ole suoria, vaan voivat mutkitella tangentin suunnassa useita millimetrejä viiden senttimetrin matkalla. (Kärkkäinen 2007.)

- A. Koivun putkilosolu (kevät)
- B. Koivun putkilosolu (kesä)
- C. Haavan putkilosolu (kevät)
- D. Tammen putkilosolu (kevät)
- E. Tammen putkilosolu (kesä)
- F. Tammen pitkittäistylppysolu
- G. Koivun ydinsäteen tylppysoluja
- H. Tammen trakeidi
- I. Koivun kuitutrakeidi
- J. Koivun puusyy



Kuva 3 Lehtipuiden putkilosolut, tylppysolut ja trakeidit (Sundqvist 2007.)

2.2.3 Kuitutrakeidit ja libriformsolut

Lehtipuilla on havupuista poikkeavasti useita eri prosenkyymilajeja rungon pituusakselin suunnassa. Lehtipuita voi pitää havupuita kehittyneempinä, koska solujen erikoistuminen on edennyt pidemmälle. (Kärkkäinen 2007.)

Lehtipuiden kuidut ovat pitkiä, ohuita, paksuseinämäisiä ja päästään sulkeutuneita, yleensä kuolleita soluja, jotka eivät ole trakeideja. Usein näitä soluja ei jaotella ryhmiin, koska tällaiset kuidut ovat esimerkiksi selluteollisuuden kannalta likimain samanarvoisia eräistä rakenteellisista eroista huolimatta. (Kärkkäinen 2007, 51.)

Anatomiassa kuidut voidaan kuitenkin jakaa kahteen ryhmään, kuitutrakeideihin ja libriformsoluihin eli puusuihin. Kuitutrakeidit erottuvat libriformsoluista etenkin huokosten perusteella. Kuitutrakeideissa on rengashuokokset ja puusuiissa yksinkertaiset huokokset. Libriformsoluissa on suurempi soluontelo. (Kärkkäinen 2007.)

Lehtipuiden kuitujen pituus muuttuu rungossa likimain samalla tavalla kuin havupuiden trakeidien pituus. Ne ovat lyhimmillään ytimen läheisyydessä ja pitenevät pintaan päin. Vuosiluston paksuuden kasvaessa kuidut pitenevät ainakin nuorilla puilla, koska paksussa lustossa on enemmän pituutta lisääviä solujen jakautumia kuin ohuessa. Samassa vuosilustossa kevätpuun kuidut ovat lyhyempiä kuin kesäpuun kuidut. (Kärkkäinen 2007, 52.)

2.2.4 Lehtipuiden trakeidit

Lehtipuiden trakeideja on kahta selvästi toisistaan erottuvaa tyyppiä, joista on alettu käyttää nimityksiä putkilomaiset ja putkilokeskeiset trakeidit. Putkilomaiset trakeidit muistuttavat kooltaan, muodoltaan ja sijainniltaan lehtipuiden kesäpuun putkilosoluja lukuun ottamatta sitä, etteivät niiden päätyseinämät ole hävinneet. Ne ovat putkilosolujen lailla pystysuorissa riveissä, jotka voivat koostua yksinomaan putkilomaisista trakeideista tai niistä sekä välillä olevista putkiloista. Putkilokeskeiset trakeidit ovat lyhyehköjä, epäsäännöllisen muotoisia soluja, joita on erityisesti kehäputkiloisten lehtipuiden suurten kevätpuun putkiloiden ympärillä. Niiden päät ovat usein suippenevat tai pyöristyneet, eivätkä ne ole selvissä pystysuuntaisissa riveissä. (Kärkkäinen 2007.)

2.2.5 Ydinsäteet

Havupuista poikkeavasti lehtipuiden ydinsäteet koostuvat yksinomaan parenkyymisolui-
sta. Lehtipuulajien väliset erot ydinsäteissä ovat suuria toisin kuin
havupuilla. Useimmissa lehtipuissa ydinsäteiden leveys on kaksi solukerrosta
tai enemmän. Myös ydinsäteiden korkeus vaihtelee huomattavasti puulajeit-
tain. Vuosiluston rajalla ydinsäteet levenevät. (Kärkkäinen 2007, 53–55.)

2.2.6 Pitkittäisparenkyymisolut

Valtaosa lehtipuiden syiden suuntaisista parenkyymisolui-
sta on pitkittäispa-
renkyymisolui-
ja eli puuparenkyymisolui-
ja. Osa muodostuu jäl-
len solujen jakau-
tuessa poikittaisilla seinämillä
pienemmiksi soluiksi, poikittaisseinä-
mäisiksi pitkittäisparenkyymisolui-
ksi. Osa taas säilyy jakautumattomina,
sukkulamaisina pitkittäisparenkyymisolui-
na. (Kärkkäinen 2007, 58.)

2.3 Juuret ja oksat

Puun syntyessä on helppo erottaa peruselimet juuri, varsi ja lehdet. Sekun-
daarisen paksuuskasvun alkamisen jälkeen rungon ja juurten tarkan vaihtu-
miskohdan erottaminen ei ole mahdollista ulkoisesti. Kasvukauden aikana
yhtenäinen kasvuvaippa ulottuu juurista runkoon ja oksiin saakka. Täysikas-
vuisessa puussa peruselimien välillä vallitsee yhteys, koska yhteyttämisessä
tarvittava vesi siirtyy lehtiin juurten, rungon ja oksien kautta. (Kärkkäinen
2007.)

Rungon tyviosa muodostaa maanpäällisen kannon. Männyllä melkoinen osa
kanto- ja juuripuusta on kantopuuta ja monessa suhteessa verrattavissa run-
kopuuhun. Kannossa ja yli 5 cm:n paksuisissa juurissa on huomattava määrä
puuta. Kanto- ja juuripuun kuiva massa voi eräissä olosuhteissa vastata
massaa, joka on lähes puolet kaupallisen rungon alasta. (Kärkkäinen 2007,
78.)

Oksien anatominen rakenne noudattaa pääpiirteittäin runkopuun rakennetta. Oksissa on mm. samat solut kuin rungossa. Näiden solulajien runsaussuhteet voivat kuitenkin olla erilaiset, ja eri solujen dimensiot saattavat poiketa huomattavastikin runkopuussa olevien vastaavien solulajien mitoista. (Kärkkäinen 2007.)

Rakenteen samankaltaisuus on ymmärrettävää, koska oksat kehittyvät samasta kasvusolukosta kuin päärunko. Oksien ja pääranan yhteyttä osoittaa se, että monilla puulajeilla latvan katketessa jostakin sivusilmusta tai -oksasta saattaa kehittyä pysty runko, joka anatomisesti muistuttaa täysin alkuperäistä runkoa. Niin kauan kun pääranan tuottamien hormonien vaikutus vallitsee, oksat pysyvät oksina. Tällä apikaalisella kontrollilla tarkoitetaan yksinkertaisesti sitä, että pääranan hormonituotanto vaikuttaa sivuoksiin niiden kasvua rajoittaen. (Kärkkäinen 2007, 83.)

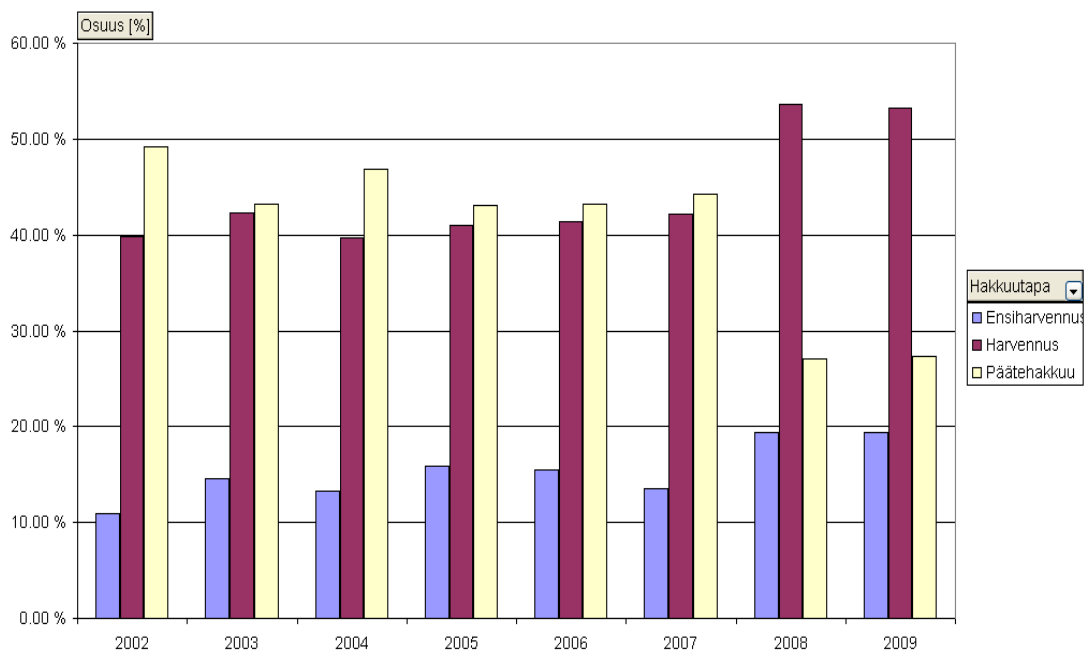
3 SELLUTEHTAAN RAAKA-AINEET

Ensiharvennusleimikoitten puutavarassa on runsaasti nuorpuuta, jolle ovat ominaisia lyhyet ja ohutseinäiset kuidut. Vastaavasti voidaan osoittaa eroja nopea- ja hidaskasvuisten leimikoitten puuaineessa. Nuoresta hyötykasvuisesta ensiharvennusleimikosta saadaan erilaista kuitua kuin vanhasta kitukasvuisesta päätehakuuleimikosta. (Hakkila 1998.)

Ensiharvennuspuun korjuu on kallista, hävikki rumpukuorinnassa on huomattava ja puuraaka-aineen kuidutettavat ominaisuudet ovat epäedulliset. Hakuiden kannattavuus on joskus kyseenalaista. Ensiharvennusta pitää kuitenkin harkita tarkasteltaessa metsikön koko kiertoaikaa tai laajemman metsäalueen pitkän ajan tulosta. 12–13 metrin valtapituusvaiheessa suoritettava ensiharvennus antaa jo hakkuukertymää. (METLA 1999.)

Harvennuspuun käyttömahdollisuuksiin päätehakuupuuta korvaavana materiaalina vaikuttavat sen raaka-aineominaisuudet. Esimerkiksi päätehakuu-

puuta suuremman nuorpuun osuuden ja vanhan puun hidaskasvuisten pintalustojen puuttumisen vuoksi harvennuspuun tiheys oli alempi, lujuusominaisuudet heikommät ja puun kuivausmuodonmuutokset suurempia. Tekniseltä laadultaan mäntyharvennuspuu oli merkittävästi päätehakkuupuuta huonompaa ja laadun vaihtelu suurta, vaikka tekninen laatu paranikin hieman siirryttäessä ensiharvennuksista toisiin harvennuksiin. Kuiva-tuoretiheys oli ensiharvennusmännyllä alempi kuin toisen harvennuksen männyllä tai päätehakkuumännyllä. Ensiharvennusten tyvitukkien puuaine oli tiheydeltään verrannollinen toisten harvennusten ja päätehakkuiden väli- ja latvatukkeihin. (Stöd, Wall, Heräjärvi, Kilpeläinen, Machón & Verkasalo 2008.)



Kuva 4 Esimerkki sellutehtaalla käytettävien raaka-aineiden osuudet vuodesta 2002 vuoteen 2009 (Stora Enso.)

Kyseisellä esimerkkitehtaalla harvennushakkuiden tuottaman kuitupuun osuus on kasvanut vuodesta 2002 aina tähän päivään asti, kuten kuvasta 4 nähdään. Nykyään yli 70 % sellutehtaan raaka-aineesta saadaan harvennushakkuista.

4 LEHTIPUUN KOSTEUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

4.1 Pinta- ja sydänpuu sekä rungon pituussuuntainen vaihtelu

Lehtipuilla kosteus vaihtelee monimutkaisemmin kuin havupuilla. Kosteussuhteen (veden määrän suhde kuiva-aineeseen) muuttuminen ytimestä pintaan päin ja tyvestä latvaan päin saattaa riippua vuodenajasta. Koivulla on yleensä todettu, että kosteus alenee ytimestä pintaan päin ja kohoaa tyvestä latvaan päin. Säteen suuntainen vaihtelu on siis erilainen kuin havupuilla. Keväällä lehtien puhkeamisen aikaan, jolloin puu on tavallista kosteampaa, tilanne voi kuitenkin olla poikkeuksellinen. Tällöin kosteus ei muutu tyvestä latvaan päin, ja myös säteen suuntainen muutos saattaa puuttua. (Kärkkäinen 2007.)

Kosteuden aleneminen ytimestä pintaan päin johtuu koivulla ilmeisesti siitä, että tiheys kasvaa samassa suunnassa. Kerrottakoon myös, ettei koivulla ole varsinaista sydänpuuta. Koivun kosteuden lisääntyminen tyvestä latvaan päin voidaan osittain selittää sillä, että tiheys alenee samassa suunnassa. Kokonaan kosteuden kohoaminen ei selity tiheyden muutoksesta. (Kärkkäinen 2007.)

4.2 Kanto- ja juuripuu, oksat ja lehdet

Koko puuta ajatellen kosteussuhde on alimmillaan rungossa. Ainoana poikkeuksena voi olla kanto, jonka kosteussuhde saattaa olla suhteellisen alhainen sen vuoksi, että sen puuaineen tiheys on monilla puulajeilla poikkeuksellisen korkea. Taulukosta 1 nähdään koivupuun eri osissa vallitsevan kosteuden vaihtelut.

Taulukko 1 Koivun kosteussuhde puun eri osissa (Kärkkäinen 2007.)

Puun osa	Kosteussuhde, %
Ohuet juuret	167
Paksut Juuret	105
Rungon alaosa	71
Runko	79
Latva	90
Ohuet oksat	141
Lehdet	255

Kuten taulukossa 1 on jo todettu, kosteus ei ole samanlainen ohuissa ja paksuissa juurissa. Samoin eroavat toisistaan ohuet ja paksut oksat. Yleisesti ottaen kosteussuhde lisääntyy selvästi juurissa siirryttäessä kannosta poispäin. Samoin oksissa on yleensä voitu todeta, että kosteus lisääntyy tyvestä kärkeen päin. (Kärkkäinen 2007, 136.)

4.3 Runkojen välinen vaihtelu

Lehtipuilla ikä ei ilmeisesti vaikuta kosteuteen yhtä paljon kuin havupuilla, mutta kun iän myötä tiheys kasvaa useilla lehtipuilla, iän vaikutus on samansuuntainen kuin havupuilla. Nuoret puut ovat keskimäärin huomattavasti kosteampia kuin vanhemmat puut. Kosteus määräytyy myös osin perinnöllisesti, mikä selittää osan samalla kasvupaikalla olevien samanikäisten runkojen vaihtelusta. (Kärkkäinen 2007.)

4.4 Kasvupaikan aiheuttamat vaihtelut

Taulukossa 2 on esitetty koivukuitupuuhakkeen kuiva-tuoretiheys alueittain. Alueina ovat Etelä- ja Pohjois-Suomi.

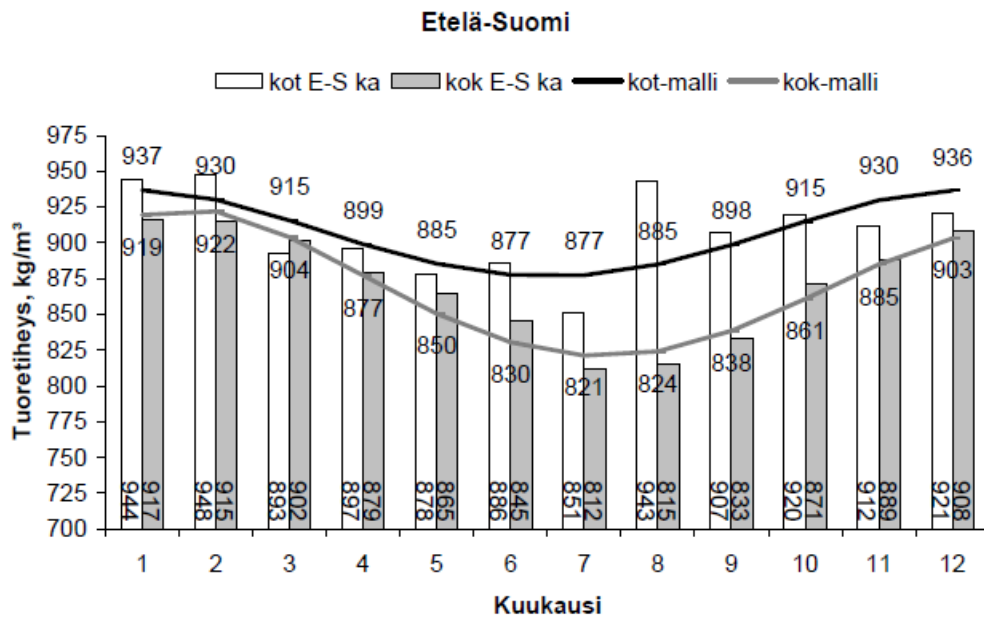
Taulukko 2 Koivukuitupuuhakkeen kuiva-tuoretiheys alueittain, kg/m³. (Lindblad & Verkasalo 2001)

Alue	Testien määrä (kpl)	Kuiva-tuoretiheys
Etelä-Suomi	129	494
Pohjois-Suomi	42	481

Koivukuitupuuhakkeen kuiva-tuoretiheys oli Pohjois-Suomessa alhaisempi kuin Etelä-Suomessa, mikä nähdään taulukosta 2. Alueiden väliset erot kosteudessa olivat näin ollen olemattoman pienet vaikuttaakseen huomattavasti tuloksiin.

4.5 Vuodenaikaisvaihtelut

Lehtipuilla tuoretiheys muuttuu voimakkaasti vuoden aikana pohjoisissa oloissa. Suurimmat erot ovat samoja kuin havupuilla. Kuitenkin monilla lehtipuilla korkein huippu on keväällä ennen lehtien puhkeamista, koska puu valmistautuu luovuttamaan lehdille vettä. Koivu on kuitenkin tässä asiassa hieman erilainen puulaji. (Kärkkäinen 2007.)



Kuva 5 Koivutukin ja koivukuitupuun tuoretiheyden kuukausittaiset keskiarvot ja regressiomallit Etelä-Suomessa. (Kainulainen & Lindblad 2005.)

Kuvasta 5 nähdään, että koivun tuoretiheys on suurin joulu-, tammi- ja helmikuussa ja matalin kesä-, heinä- ja elokuussa. Koivun tuoretiheys on myös paljon suurempi kuin havupuiden.

5 HAVUPUUN KOSTEUTEEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

5.1 Pinta- ja sydänpuu

Havupuilla vaikuttavat rungon sisäiseen kosteusvaihteluun eniten pinta- ja sydänpuun erot. Sydänpuun muodostumiseen liittyy usein voimakas kosteuden aleneminen manto- eli pintapuuhun verrattuna. Koivulla ja useilla muilla lehtipuilla vastaavaa ilmiötä ei ole. (Kärkkäinen 2007.)

Manto- ja sydänpuun kosteusero on huomattava. Männyllä tavanomainen mantopuun kosteussuhde on 120–150 % ja sydänpuun 32–37 %. Kuusella kosteus on samaa luokkaa tai korkeampi alhaisemman tiheyden vuoksi. Tämän takia keskimääräiseen kosteussuhteeseen rungon eri korkeuksilla vaikuttaa erityisen voimakkaasti sydänpuun suhteellinen osuus poikkipinta-alasta. (Kärkkäinen 2007.)

5.2 Rungon pituussuuntainen vaihtelu

Lähinnä juuri sydänpuuosuuden vaihteluista johtuu, että tukkipuukokoisilla mäntyrungoilla keskimääräinen poikkileikkauksen kosteus alenee hieman tyvestä n. 10–20 %:n korkeudelle asti ja sitten kohoaa tasaisesti latvaan saakka, lopussa kuitenkin hidastuen. Kuusella kosteussuhteen muuttuminen on hyvin samanlainen. Kuusen suuremman sydänpuupitoisuuden takia rungon keskimääräinen kosteus on alhaisempi kuin männyllä. (Kärkkäinen 2007.)

Kun rungon pituuden suuntaista kosteussuhteen muuttumista tarkastellaan erikseen sydän- ja pintapuussa, saadaan erilaisia tuloksia. Männyllä ja kuu-

sella sydänpuun kosteus muuttuu vain vähän, mutta pintapuussa kosteus yleensä selvästi nousee tyvestä latvaan päin. (Kärkkäinen 2007, 134.)

5.3 Kosteus kanto- ja juuripuussa sekä oksissa

Havupuilla puun eri osien erot kosteudessa ovat samantapaiset kuin koivulla, joskaan neulasten kosteus ei ole niin korkea kuin lehtien. Hakkeena korjuun kannalta on mielenkiintoinen kysymys, millainen kosteussuhde on erivahvuissa oksapalasisissa, koska esimerkiksi ohuet palaset voivat tulla joko pienistä oksista läheltä runkoa tai suurten oksien kärjistä. Kun aineistoon sisältyy järeiden tukkipuukokoisten runkojen oksia, on voitu havaita kosteuden lisääntyvän oksapalasten läpimitan pienetessä. Tarkasteltaessa harvennuspuus- toa, kosteuden ei ole havaittu riippuvan oksapalan läpimitasta. Oksan kosteuden on havaittu jopa kasvavan läpimitan suuretessa männyllä. Kuusella on aina havaittu kosteuden lisääntyvän läpimitan pienetessä. (Kärkkäinen 2007.)

5.4 Runkojen välinen vaihtelu

Saman puulajin runkojen väliseen kosteusvaihteluun vaikuttaa havupuilla eniten puun ikä. Tämä johtuu yksinkertaisesti siitä, että sydänpuuta alkaa muodostua runkoon vasta vanhemmalla iällä, ja näin ollen nuoret puut ovat keskimäärin huomattavasti kosteampia kuin sydänpuuta omaavat vanhemmat puut. Pohjoismaissa on saatu tuloksia, joiden mukaan saman puulajin runkojen välinen kosteuden vaihtelu on todella huomattavaa. Männyn pintapuun kosteussuhde vaihteli välillä 96–177 % ja sydänpuun 29–33 % (Kärkkäinen 2007, 137.)

5.5 Kasvupaikan aiheuttamat vaihtelut

Taulukosta 3 ja 4 nähdään mänty- ja kuusikuitupuuhakkeen kuiva- tuoretiheydet Etelä- ja Pohjois-Suomessa.

Taulukko 3 Mäntykuitupuuhakkeen kuiva-tuoretiheys Etelä- ja Pohjois-Suomessa, kg/m³. (Lindblad & Verkasalo 2001.)

Alue	Testien määrä (kpl)	Kuiva-tuoretiheys
Etelä-Suomi	333	409
Pohjois-Suomi	40	395

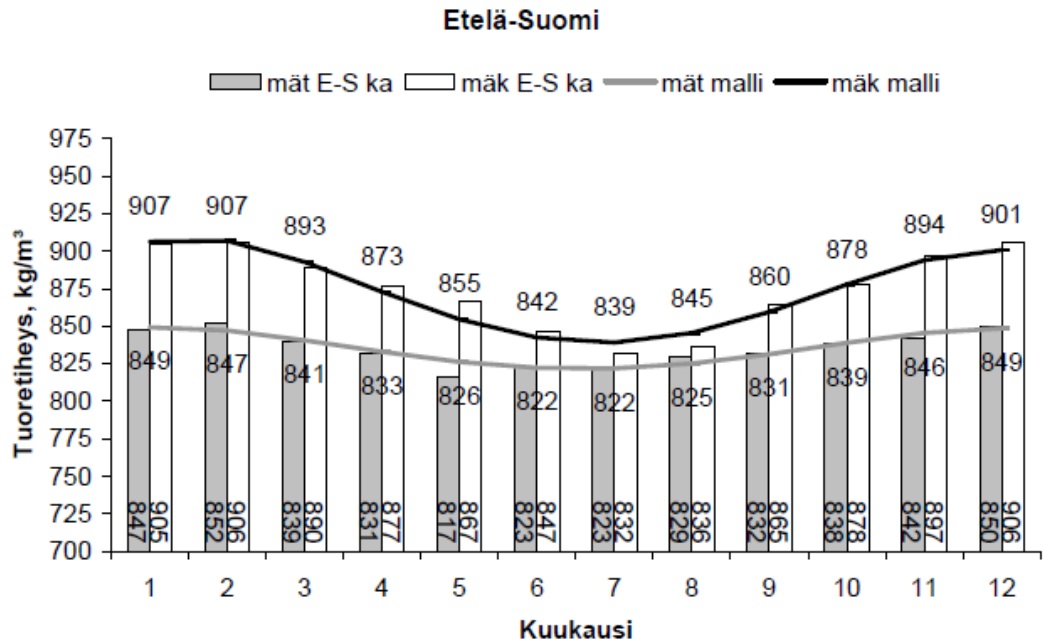
Taulukko 4 Kuusikuitupuuhakkeen kuiva-tuoretiheys Etelä- ja Pohjois-Suomessa, kg/m³. (Lindblad & Verkasalo 2001.)

Alue	Testien määrä (kpl)	Kuiva-tuoretiheys
Etelä-Suomi	201	393
Pohjois-Suomi	41	408

Taulukosta 3 ja nähdään, että mäntykuitupuuhakkeen kuiva-tuoretiheys oli Pohjois-Suomessa alhaisempi kuin Etelä-Suomessa. Taulukosta 4 nähdään, että kuusikuitupuuhakkeen kuiva-tuoretiheys oli Pohjois-Suomessa suurempi kuin Etelä-Suomessa. Kosteuden vaihtelut ovat näin ollen alueittain olemattoman pienet.

5.6 Vuodenaikaisvaihtelut

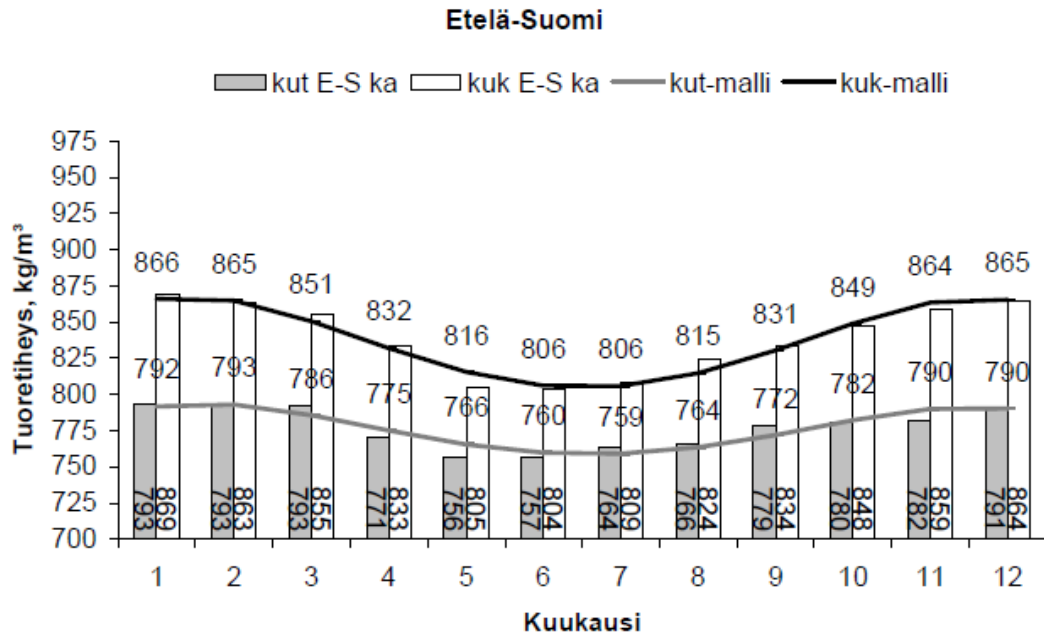
Havupuiden puuaineen tuoretiheys on suurimmillaan talvella ja pienimmillään kesällä. Poikkeukselliset tulokset eivät ole harvinaisia sään vaihtelun vuoksi. (Kärkkäinen 2007). Kuvassa 6 nähdään mäntytukin ja mäntykuitupuun tuoretiheyden kuukausittaiset keskiarvot ja regressiomallit Etelä-Suomessa.



Kuva 6 Mäntytukin ja mäntykuitupuun tuoretiheyden kuukausittaiset keskiarvot ja regressiomallit Etelä-Suomessa. (Kainulainen & Lindblad 2005.)

Kuvasta 6 nähdään, että männyn tuoretiheys on suurin joului-, tammi- ja helmikuussa ja matalin kesä- ja heinäkuussa. Mäntytukin tuoretiheys on kuitenkin tasaisempi ympäri vuoden, toisin kuin mäntykuitupuun tuoretiheys.

Kuvassa 7 nähdään kuusitukin ja kuusikuitupuun tuoretiheyden kuukausittaiset keskiarvot ja regressiomallit Etelä-Suomessa.



Kuva 7 Kuusitukin ja kuusikuitupuun tuoretiheyden kuukausittaiset keskiarvot ja regressiomallit Etelä-Suomessa. (Kainulainen & Lindblad 2005.)

Kuvasta 7 nähdään, että kuusen tuoretiheys on suurin marras-, joulukuussa ja matalin kesä- ja heinäkuussa. Vaihtelut kuukausittain ovat pienempiä kuin koivulla ja männyllä. Kuusen tuoretiheys on huomattavasti alhaisempi kuin männyllä.

6 HAKKEEN OMINAISUUKSIEN VAIKUTUKSET KEITOSSA

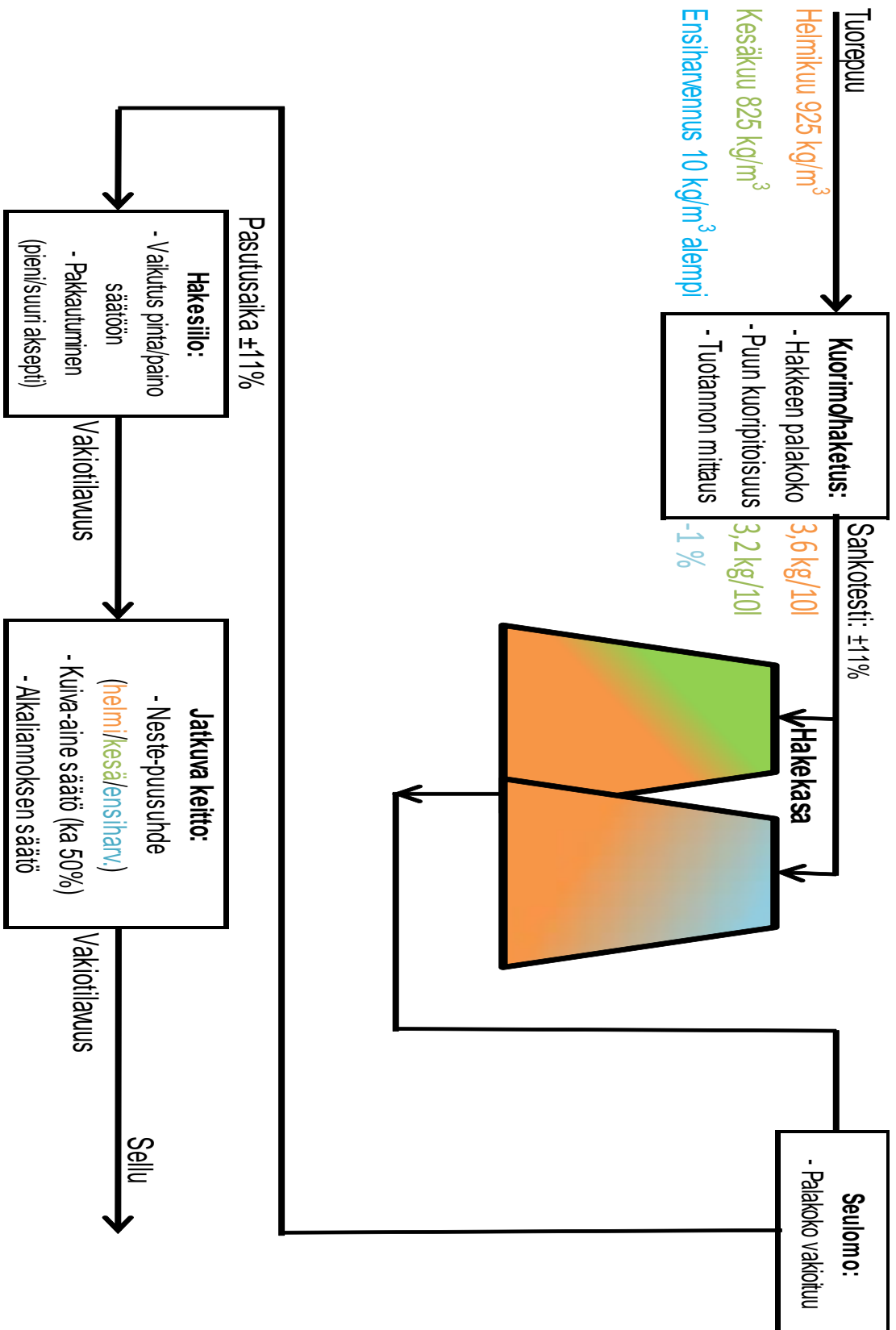
Keittoon menevä puu haketetaan mahdollisimman tasakokoiseksi. Hakekoon vaihtelu pyritään pitämään seulonnalla niin vähäisenä kuin suinkin. Pienet kuorimäärät tai kosteuden vähäinen vaihtelu eivät aiheuta vaikeuksia. (Sepälä, Klemetti, Kortelainen, Lyytikäinen, Siitonen & Sironen 2005.)

Keitin pyritään täyttämään aina samalla tavoin eli vakiomäärällä haketta. Hakkeen määrä lasketaan absoluuttisen kuivana puuna. Kosteuden määrittämiseksi oletetaan, että kuutiometrissä on aina vakiomäärä haketta ja painonvaihtelut johtuvat kosteuden vaihteluista (hihnaavaa). Haketäytössä pyritään mahdollisimman tasaiseen haketiiveyteen, nopeaan täyttöön ja suureen

pakkautumiseen. Hakkeessa oleva ilma hidastaa keittymistä. Ilman poistoon käytetään höyrytystä, tai hake voidaan imeyttää lipeällä. (Seppälä ym. 2005.)

Hakkeen kosteuden muutokset näkyvät eritoten puu-nestesuhteessa. Keiton nestemäärä on puun veden, lauhteen, valkolipeän ja mustalipeän summa. Tehdaskeitossa puu-nestesuhde säädetään mustalipeällä vakioksi. Kuivan hakkeen määrän perusteella suoritetaan valkolipeän annostus. Valkolipeän suhdetta kuivan puun määrään kuvaa termi alkalisuhde. Alkalisuhde vaihtelee 17–27 %.

Kuvasta 8 nähdään hakkeen kulku prosessissa. Kuvassa on myös vertailtu kolmen erilaatuisen hakkeen vaikutuksia prosessissa. Prosessin eri vaiheet on eroteltu ja eri hakelaatujen ominaisuuksien vaikutukset on havainnollistettu kuvaan, tutkimuksen kannalta tärkeimpien vaiheiden perään. Hakkeen ominaisuuksia on vertailtu helmi- ja kesäkuussa sekä ensiharvennushakkuussa. Eri hakelaadut on esitetty kuvassa eri värein. Prosessilaatikoissa on kuvattu tärkeimmät hakkeeseen vaikuttavat prosessin osat.



Kuva 8 Hakkeen kierto prosessissa ja sen ominaisuuksien vaikutukset

Kuvasta 8 nähdään, että tuoretiheys on 11 prosenttia suurempi helmikuussa kuin kesäkuussa. Tästä johtuen myös sankokokeella saadaan 11 prosenttia suurempia tuloksia. Ensiharvennushakkuun tuoretiheys on vain 10 kg/m^3 pienempi, joten sen kosteus ei suuremmin vaikuta prosessissa. Ero on alle yhden prosentin. Helmi- ja kesäkuun hakkeen kosteuden erot huomataan hakesiilossa kasvaneessa tai lyhentyneessä pasutusajassa. Myös vakiopinta- tai painoon ajettaessa erot tulevat esille. Kosteammalla hakkeella vakiopintaa ajettaessa hakkeen massa on suurempi ja vakiopainoa ajettaessa hakkeen pinnankorkeus on paljon matalammalla. Tämä vaikuttaa myös siilon purkausruuvien nopeuteen ja siten myös tuotantoon.

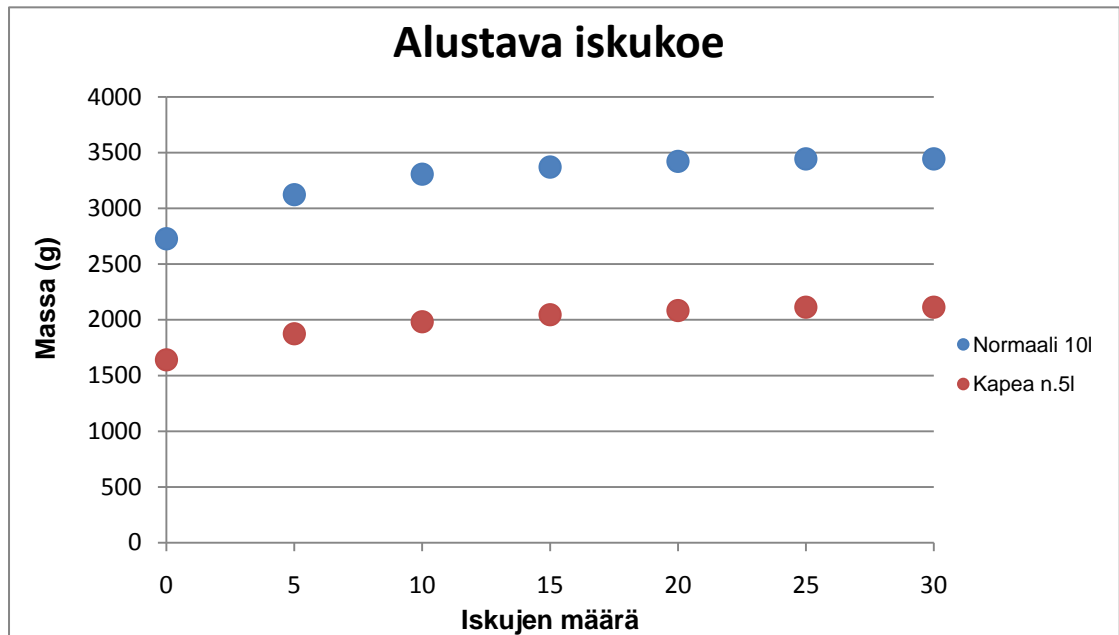
Keitossa hakkeiden erilaisten kuiva-ainepitoisuuksien vaikutus näkyy muuttuneena neste-puusuhteena. Tätä onkin prosessissa vaikein hallita. Kosteuden muutoksia kompensoidaan mustalipeällä.

7 ISKUKOKEET

Iskukokeilla simuloitiin hakkeen pakkautumista hakesiilossa ja keittimessä. Kokeet tehtiin tehdasmäntyhakkeella valvotuissa laboratorio-olosuhteissa.

7.1 Alustava iskukoe

Alustavassa iskukokeessa testattiin, kuinka monta iskuja tarvittiin, kunnes hakemäärä oli täysin pakkautunut 5 ja 10 litran sangoissa. Sangot täytettiin seulomattomalla tehdashakkeella ja punnittiin. Viiden iskun välein sangot täytettiin uudelleen ja punnittiin sankojen massat. Tätä toistettiin, kunnes sangoissa ei enää tapahtunut pinnan korkeuden muutosta eli hake ei enää pakkautunut. Kuvassa 9 on esitetty alustavan iskukokeen tulokset. Sangon massa on vähennetty kaikista iskukokeiden tuloksista.

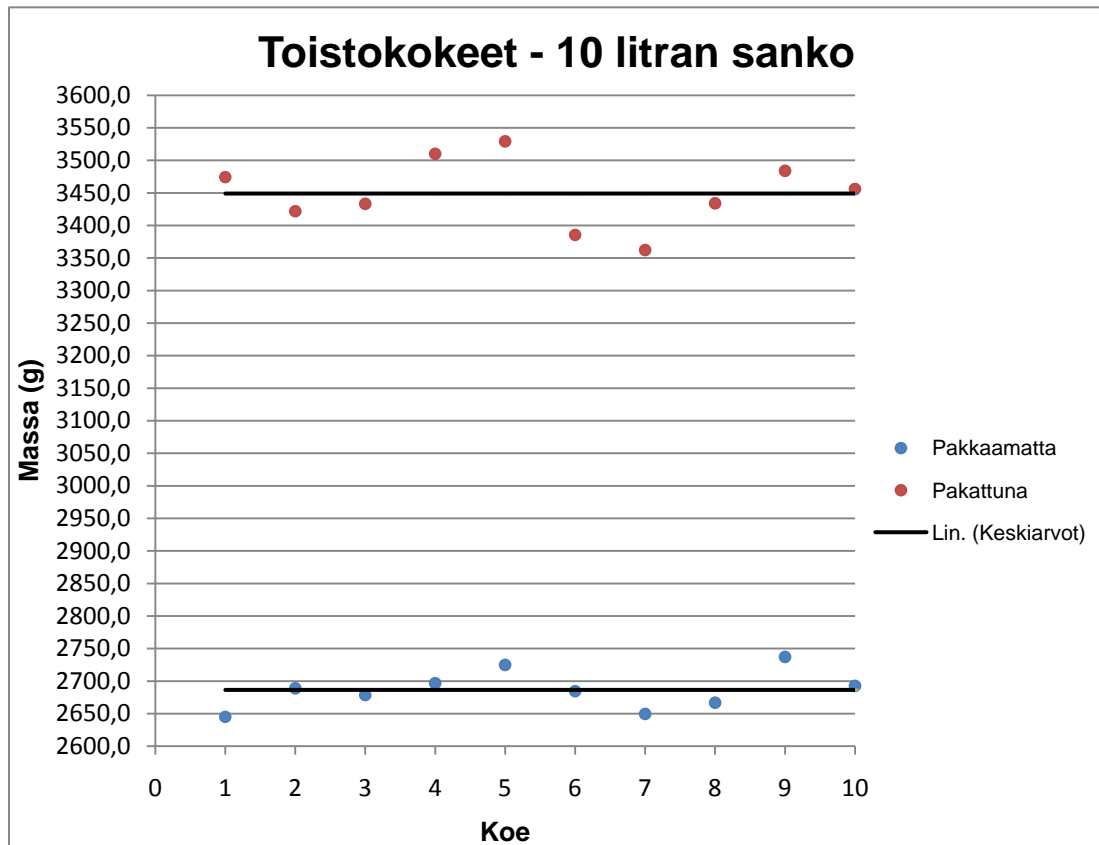


Kuva 9 Alustava iskukoe hakkeen pakkautumisesta 5 ja 10 litran sangoilla

Kuvasta 9 nähdään, että pakkautuminen 5 ja 10 litran sangoilla oli kuvaajan mukaan lähes yhtenevä alustavassa iskukokeessa. Kymmenen ensimmäisen iskun jälkeen hake oli pakkautunut jo todella tiukasti, eikä huomattavaa pakkautumista sen jälkeen enää tapahtunut. Näiden tulosten perusteella suoritettiin loput hakkeen pakkautumiskokeet.

7.2 Toistokokeet iskujen vaikutuksesta

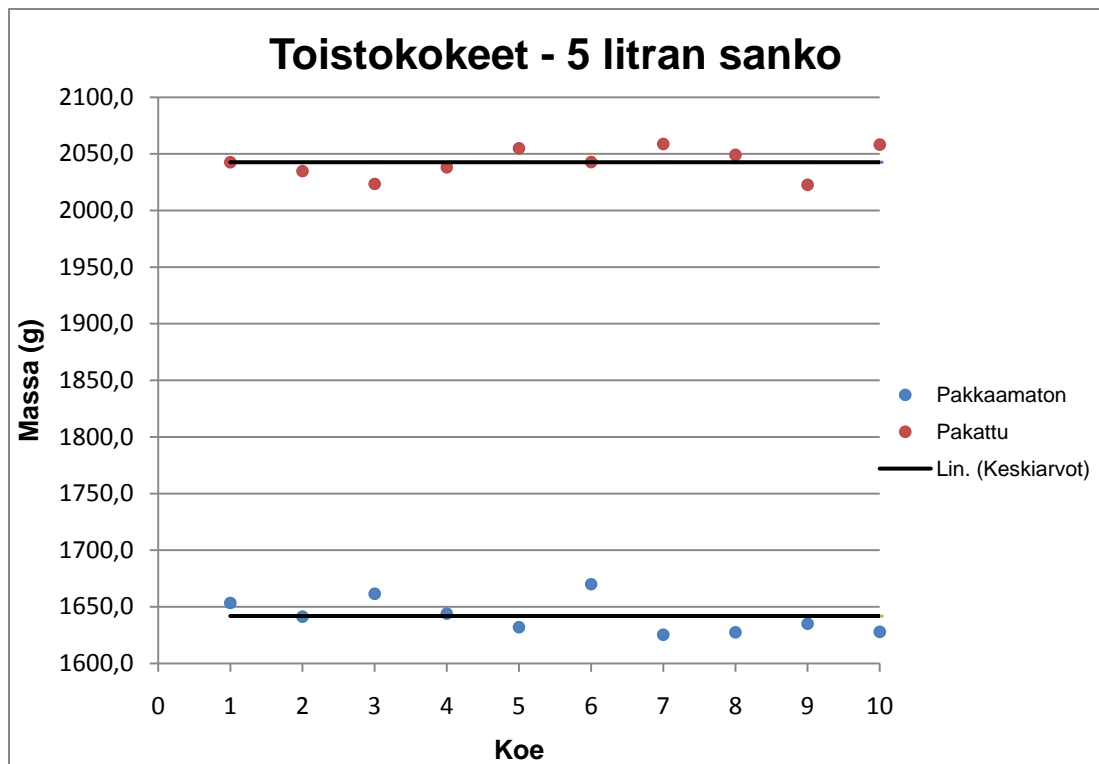
Toisto kokeet suoritettiin 5 ja 10 litran sangoilla alustavan iskukokeen tulosten perusteella. Kokeisiin tehdasmäntyhaketta otettiin suurempaan 30 litran sankoon, josta sitä siirrettiin pienempiin sankoihin. Kokeissa hake vaihtui koko ajan ja myös hakkeen palakoko vaihteli täten kokeissa. Kokeissa seuloimatonta haketta pakattiin 30 iskulla. Kuvassa 10 on esitetty hakkeen pakkautumisen toistokokeet 10 litran sangolla.



Kuva 10 Hakkeen pakkautumisen toistokokeet 10 litran sangolla

Kuvasta 10 nähdään hakkeen pakkautumiskokeet 10 litran sangossa. Hakkeen massat vaihtelivat pakkaamattomana 2650 grammasta 2750 grammaan. Pakattuina hakkeen massat vaihtelivat 3350 grammasta noin 3550 grammaan. Lisäystä pakkauksessa tuli parhaimmillaan yli 800 grammaa. Vaihtelut toistokokeiden massoissa johtuivat seulomattoman hakkeen palakovaihteluista.

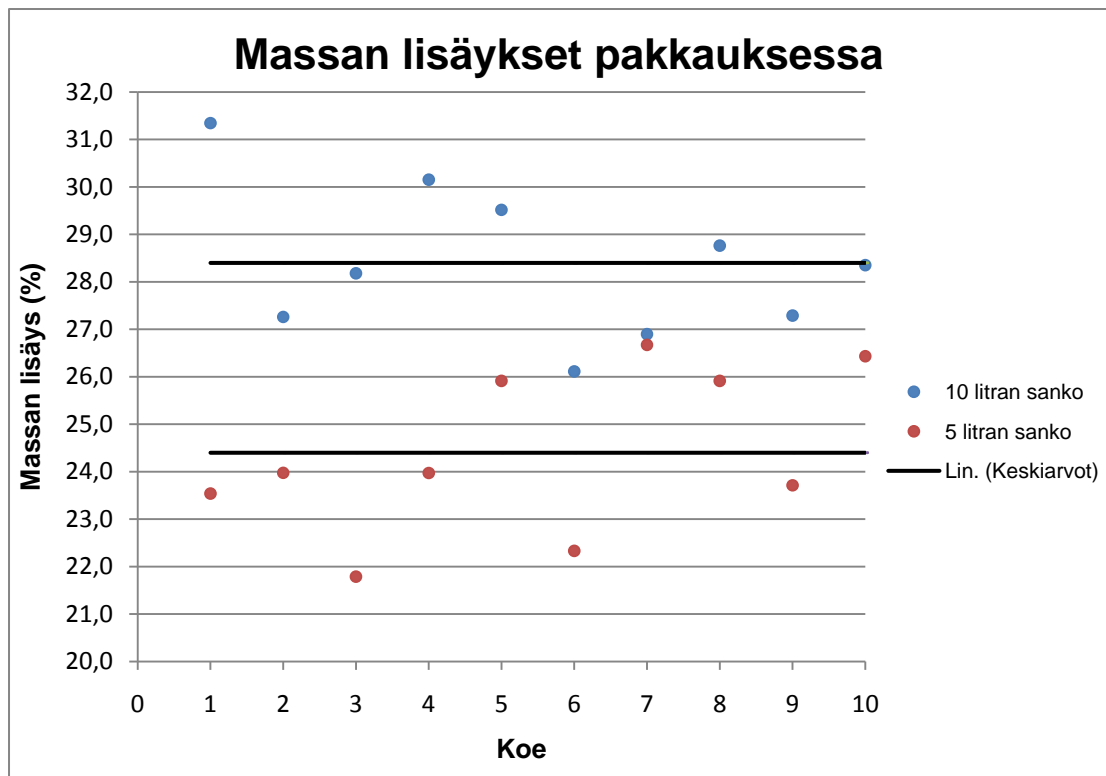
Kuvassa 11 on esitetty hakkeen pakkautumisen toistokokeet 5 litran sangossa.



Kuva 11 Hakkeen pakkautumisen toistokokeet 5 litran sangolla

Kuvasta 11 nähdään hakkeen pakkautumiskokeet 5 litran sangossa. Hakkeen massat vaihtelivat pakkaamattomana 1625 grammasta 1670 grammaan. Pakattuina hakkeen massat vaihtelivat 2020 grammasta noin 2050 grammaan. Lisäystä pakkauksessa tuli parhaimmillaan yli 400 grammaa. Vaihtelut toistokokeiden massoissa johtuivat seulomattoman hakkeen palakokovaihteluista.

Kuvassa 12 on esitetty massan lisäykset hakkeen pakkautumisessa iskukokeissa 5 ja 10 litran sangoilla.



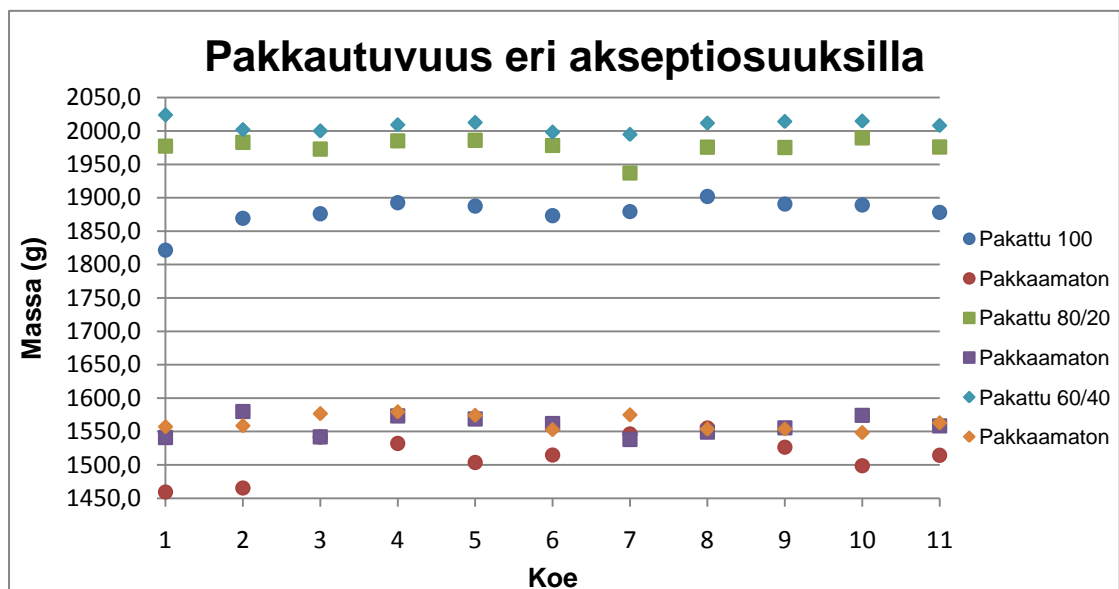
Kuva 12 Massan lisäykset pakkauksessa 5 ja 10 litran sangoissa

Kuvasta 12 voidaan todeta, että 10 litran sangolla massan lisäys (28,4 %) hakkeen pakkauksessa oli prosentuaalisesti selvästi suurempi kuin 5 litran sangolla (24,4 %).

Toistokokeiden tulosten perusteella loppuihin kokeisiin valittiin 10 litran sanko. Kokeiden keskihajonta oli pienempi ja massan lisäys pakkauksessa suurempi.

7.3 Uunikuivan hakkeen pakkautuminen

Kokeen tarkoituksena oli poistaa kosteuden vaikutukset pakkautumisessa. Ainoaksi muuttuvaksi tekijäksi kokeessa jäi siten hakkeen palakoon vaikutus. Koetta varten hake seulottiin ja akseptiosuudet eroteltiin. Iso ja pieni akseptijae laitettiin viikoksi uuniin 50°C:een. Koe suoritettiin 10 litran sangolla. Kokeet suoritettiin eri akseptiosuuksilla. Ensimmäinen koe suoritettiin 100 prosenttisesti isolla akseptilla, seuraava koe suhteessa 80/20 iso/pieni aksepti ja viimeinen koe suhteessa 60/40 iso/pieni aksepti. Kuvassa 13 on esitetty eri hakkeen akseptiosuuksilla suoritettut kokeet.

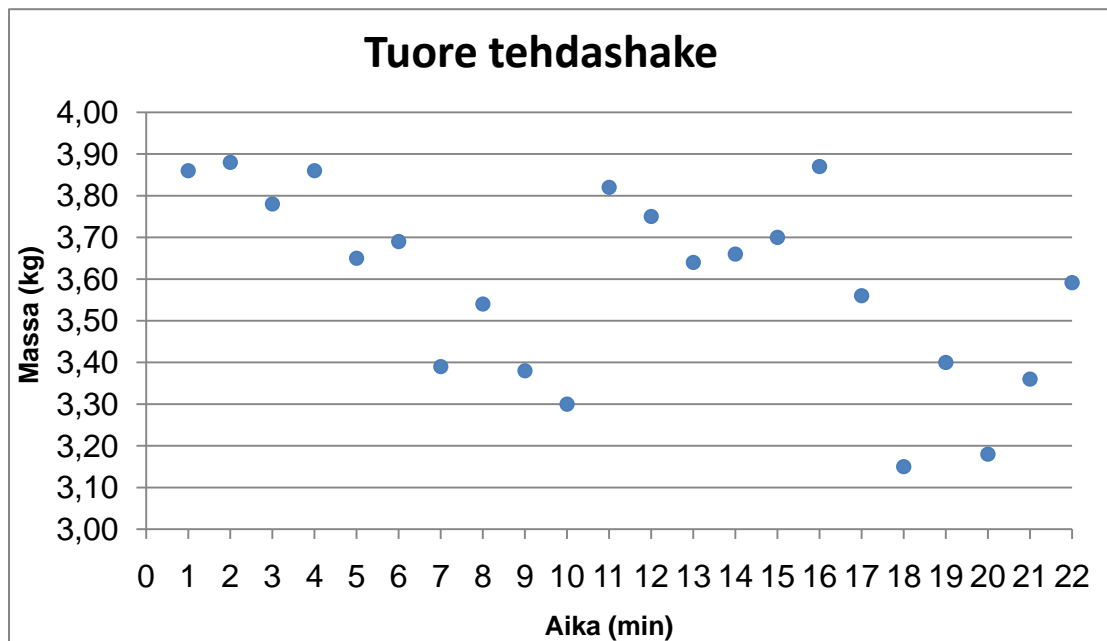


Kuva 13 Uunikuivan seulotun hakkeen pakkautuminen eri akseptiosuuksilla 10 litran sangossa

Kuvasta 13 nähdään, että pakkaamattomana erot eri akseptiosuuksien välillä eivät olleet huomattavan suuria. Suurimmat erot eri akseptiosuuksien välillä huomataan pakkautumisen jälkeen. Kuvan koenumero 11 esittää tulosten keskiarvot.

7.4 Koe tehdashakkeella

Näytteet tuoreesta mäntyhakkeesta otettiin 12.2.2010. Koe tehtiin ottamalla näytteet noin minuutin välein suoraan hakun jälkeen ja iskemällä sitä viisi kertaa maahan. Hake oli näin ollen seulomatonta. Epätasaisista tuloksista huomataan hakkeen kuiva-aineen ja palakoon aiheuttamat vaihtelut. Kuvassa 14 nähdään saadut tulokset.



Kuva 14 Stora Enson tuoreen mäntyhakkeen ajo

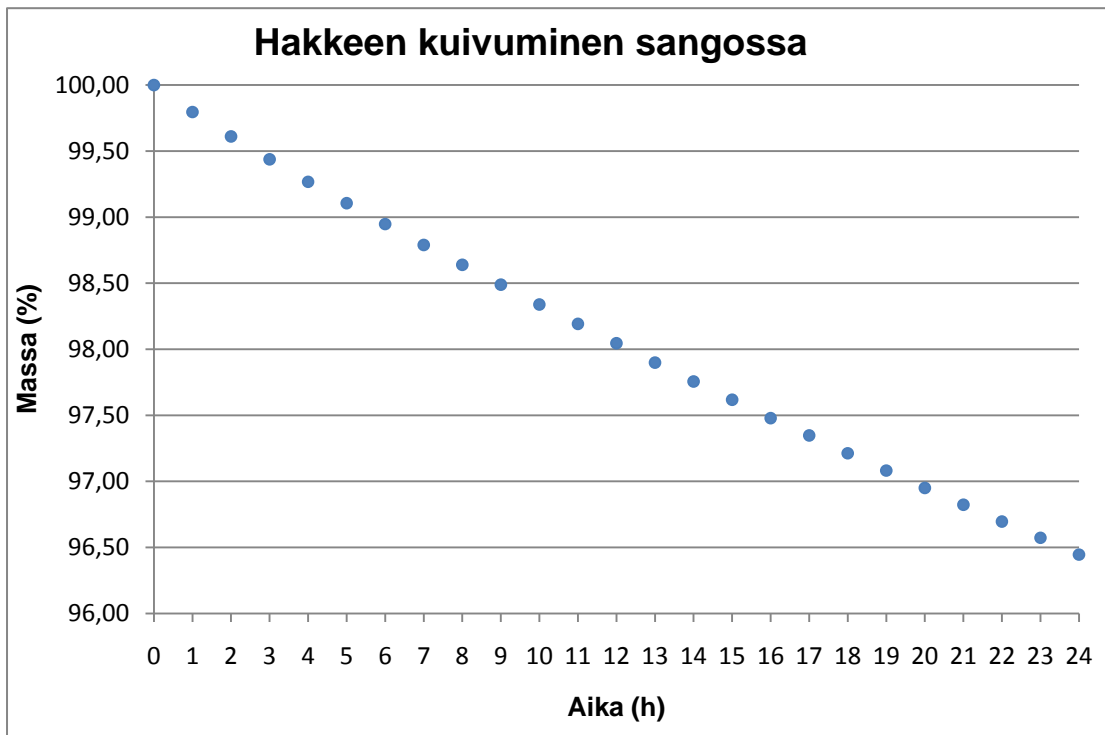
Kuvasta 14 nähdään, että tuoreen mäntyhakkeen laatu ei ole tasaista. Kuiva-aineen ja palakoon vaikutus oli selvästi nähtävissä vaihtelevista massoista sangossa. Kuiva-aineen vaihtelu oli kuvan mukaan huomattavan suurta, kun taas palakoon vaihtelun ei ajateltu aiheuttavan kovin suurta vaihtelua hakkeen massaun. Kuvassa on nähtävissä myös kaksi jaksottaista vaihtelua. Aluksi sangon massa oli lähellä neljää kiloa, josta se lähti tasaisesti laskemaan. Kymmenen minuutin kohdalla massa nousi taas ja lähti jälleen laskemaan. Tämä voi johtua haketettavan puun vaihtelevista läpimitoista.

8 HAKKEEN KUIVA-AINEEN MUUTOKSET

Näillä kokeilla simuloitiin hakkeen käyttäytymistä hakekasalla. Kokeet suoritettiin laboratorio-olosuhteissa. Lämpötila testien aikana oli 21°C ja suhteellinen kosteus oli noin 18 %. Kokeet suoritettiin tuoreella seulomattomalla mäntyhakeella. Kokeissa huoneen kosteus oli suuri vaikuttava tekijä alhaisen arvon vuoksi. Normaalisti hakekasalla vallitsee normaali ilmankosteus.

8.1 Hakkeen kuivuminen huoneenlämmössä

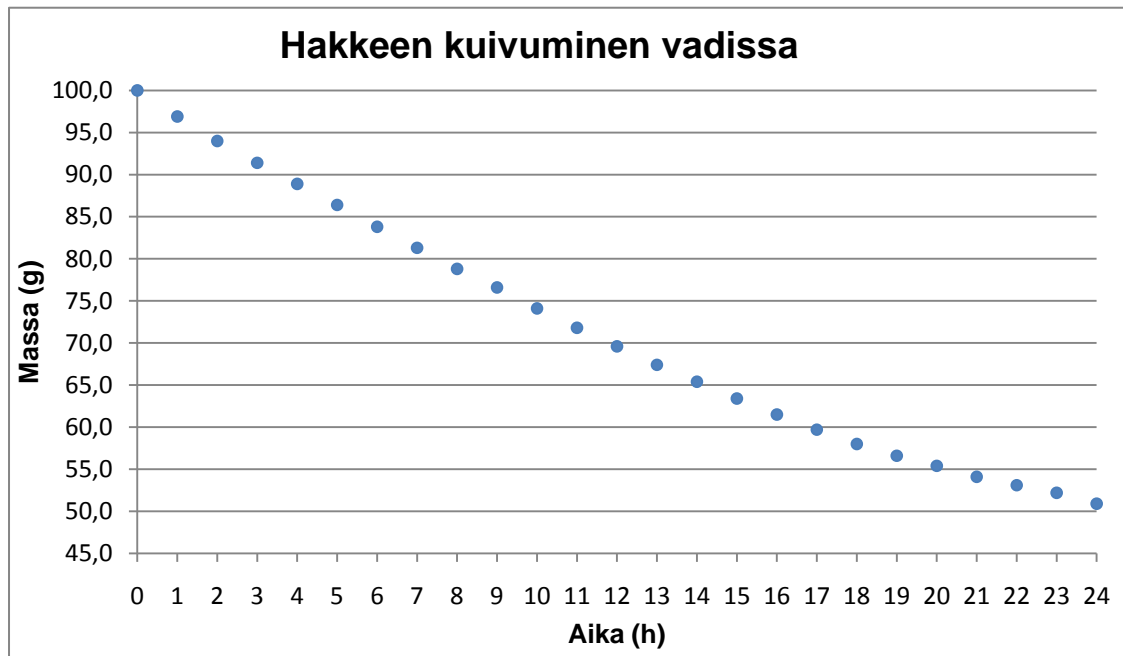
10 litran sanko laitettiin tiiviisti täyteen tuoretta haketta, jolloin sangon massaksi tuli 2593,8 grammaa. Sanko asetettiin vaa'alle kameran alle. Intervallikuvauksella vaa'an lukemista otettiin kuvia kymmenen minuutin välein kaksi vuorokautta. Kuvien perusteella tulokset on esitetty tunnin välein kuvassa 15 ja massa on ilmaistu painoprosenteina suhteessa kokeen alussa mitattuun massaan



Kuva 15 Tuoreen mäntyhakeen kuivuminen sangossa

Kuvasta 15 nähdään, että hakkeen kuivuminen oli tasaista. Alun 2593,8 grammasta oltiin vuorokaudessa päästy jo 2501,6 grammaan. Kahden vuorokauden jälkeen hakkeen massa ei enää muuttunut ja lopullinen hakkeen massa sangossa oli 2422,0 grammaa. Näin ollen hakkeen massa oli pudonnut 6,6 prosenttiyksikköä.

Kokeen lopuksi haketta tarkasteltaessa huomattiin, että hake oli kuivunut vain pinnasta. Muutama senttimetri pinnasta alaspäin hake oli jo selvästi kosteampaa. Tämän takia suoritettiin toinen koe, jossa hakkeet oli levitetty tasaisesti vadille erilleen toisistaan. Kokeen tulokset ovat kuvassa 16.



Kuva 16 Tuoreen mäntyhakkeen kuivuminen vadissa

Kuvasta 16 nähdään, että hakkeen kuivuminen oli alussa nopeaa hidastuen loppua kohti. Vuorokaudessa hakkeen massa oli vähentynyt jo lähes puoleen alun 100 grammasta. Lopullisesti kahdessa vuorokaudessa hakkeen massa putosi 47,2 grammaan, joka oli hakkeen kuiva-ainepitoisuus.

8.2 Hakkeen kerrokselliset kuiva-aineet sangossa

Koe simuloi hakekasan eri pinnankorkeuksissa vallitsevaa kuiva-aineepitoisuutta. Koe suoritettiin 30 litran sangolla, isolla ja pienellä akseptihakkeella. Hake oli kuivunut sangossa viikon huoneenlämmössä. Isolla akseptilla pinnan korkeus oli 30 cm. Pienellä akseptilla pinnan korkeus oli 15 cm. Kokeet otettiin 5 cm:n välein. Tulokset näkyvät taulukoissa 5 ja 6.

Taulukko 5 Ison akseptin kerrokselliset kuiva-aineen vaihtelut sangossa

	Kuiva-aine 1	Kuiva-aine 2	Kuiva-aine 3	Keskiarvo
Pinta 30 cm	87,9	88,7	80,6	85,7
25 cm	52,0	48,8	53,3	51,3
20 cm	49,6	50,4	50,0	50,0
15 cm	50,5	54,3	52,2	52,3
10 cm	46,8	49,6	48,8	48,4
Pohja 5 cm	48,2	51,1	50,4	49,9

Taulukko 6 Pienen akseptin kerrokselliset kuiva-aineen vaihtelut sangossa

	Kuiva-aine 1	Kuiva-aine 2	Keskiarvo
Pinta 15 cm	78,4	78,1	78,3
10 cm	64,3	63,6	63,9
Pohja 5 cm	67,0	65,4	66,2

Kuten taulukoista 5 ja 6 nähdään, hake kuivuu pinnasta huomattavasti enemmän, kuin jo 5 cm alempana. Pintaa lukuun ottamatta kuiva-aineet ovat kutakuinkin samat verratessa mitä kerrosta tahansa.

9 YHTEENVETO

Tutkimuksen teoreettisessa osassa selvitettiin puun rakennetta ja kosteuden vaihtelua sen eri osissa. Näiden tietojen perusteella pystyttiin hyvin havaitsemaan suuret erot kahden Suomessa eniten käytetyn puulajin kosteuseroista ja puiden sisäisistä rakenteista johtuvista eroista kosteudessa. Myös kasvupaikan ja vuodenaikaisvaihtelun todettiin vaikuttavan.

Hakkeen kuiva-ainetta mitattaessa huomattiin selvästi kuiva-aineen vaihtelut aivan tuoreessakin tehdashakkeessa. Vaihtelut olivat suuruudeltaan lähes kymmenen prosenttiyksikköä saman näyte-erän sisällä. Tehdasprosessissa onkin tämän takia melko mahdotonta hallita täydellisesti nesteen määrää esimerkiksi keitossa. Hakkeen palakoon mittauksissa ei huomattu suuria eroavaisuuksia eri näytteiden osalta. Hakkeen kuiva-aineen vaihtelut ovatkin suurin yksittäinen muuttuja prosessissa.

Pakkautuvuuskokeissa palakoon merkitys tuli selvemmin esille. Varsinkin käytössä olleen huomattavan pienen sangon käyttö toi suuria vaihteluita pakkautumiseen. Uunikuivan hakkeen pakkautumisessa nähtiin selvästi pienempiä eroja kuin tuoreella hakkeella suoritetuissa kokeissa.

LÄHTEET

PuuProffa

http://www.puuproffa.fi/arkisto/puun_rakenne.php (luettu 27.9.2010)

Kärkkäinen, M. 2007. Puun rakenne ja ominaisuudet. Metsäkustannus

Sundqvist, H. 2007. Puusolut ja solukot. VTT.

Hakkila, P. 1998. Kuitupuun laadun vaihtelu ja lajitteluperusteet. Metsätieteen aikakauskirja 2, 245-248.

Metla

www.metla.fi/metla/esitteet/metsat/kivalo-1999-tutkimusvihko.pdf (luettu 27.9.2010)

Stöd, R. Wall, T. Herajärvi, H. Kilpeläinen, H. Machón, P. & Verkasalo, E. 2008. Harvennuspuun raaka-aineominaisuudet ja puutuotemahdollisuudet. Metla.

Lindblad, J. & Verkasalo, E. 2001. Teollisuus- ja kuitupuuhakkeen kuiva-tuoretiheys ja painomittauksen muuntokertoimet. Metsätieteen aikakauskirja 3, 411–431.

Kainulainen, J. & Lindblad, J. 2005. Puutavaralajien tuoretiheyden alueellinen vaihtelu mittausasemien vastaanottomittauksessa. Metla.

Seppälä, M, J. Klemetti, U. Kortelainen, V. Lyytikäinen, J. Siitonen, H. & Siironen, R. 2005. Paperimassan valmistus. 2-3 painos. Saarijärvi. Gummerus kirjapaino Oy.

Alustava iskukoe 10 litran sangolla

Iskut (kpl)	Massa (g)
0	2727,3
5	3123,1
10	3306,7
15	3370,6
20	3422,2
25	3444,1
30	3444,1

Alustava iskukoe 5 litran sangolla

Iskut (kpl)	Massa (g)
0	1641,3
5	1874,6
10	1982,6
15	2046,2
20	2083
25	2113,5
30	2113,5

Hakkeen pakkautuminen iskukokeessa 10 litran sangolla

	Paino pakkaamatta (g)	Paino pakattuna (g)	Lisäys (%)
Koe 1	2645,1	3474,2	31,3
Koe 2	2688,9	3421,9	27,3
Koe 3	2678,5	3433,3	28,2
Koe 4	2696,9	3510,1	30,2
Koe 5	2724,9	3529,2	29,5
Koe 6	2684,5	3385,5	26,1
Koe 7	2649,6	3362,3	26,9
Koe 8	2666,9	3434,0	28,8
Koe 9	2737,1	3484,0	27,3
Koe 10	2692,6	3456,0	28,4
Keskiarvo	2686,5	3449,1	28,4

Hakkeen pakkautuminen iskukokeessa 5 litran sangolla

	Paino pakkaamatta (g)	Paino pakattuna (g)	Lisäys (%)
koe1	1653,4	2042,6	23,5
koe2	1641,3	2034,8	24,0
koe3	1661,5	2023,5	21,8
koe4	1644,0	2038,1	24,0
koe5	1632,0	2054,9	25,9
koe6	1669,9	2042,8	22,3
koe7	1625,3	2058,8	26,7
koe8	1627,4	2049,1	25,9
koe9	1635,0	2022,7	23,7
koe10	1627,9	2058,2	26,4
Keskiarvo	1641,8	2042,6	24,4

Uunikuivan hakkeen pakkautuminen 10 litran sangossa

100 % isoa akseptia

	Paino pakkaamatta (g)	Paino pakattuna (g)	Lisäys (%)
Koe 1	1459,3	1821,5	24,82 %
Koe 2	1465,3	1869,2	27,56 %
Koe 3	1541,7	1876,1	21,69 %
Koe 4	1532,1	1892,6	23,53 %
Koe 5	1503,6	1887,6	25,54 %
Koe 6	1514,7	1873,2	23,67 %
Koe 7	1546,4	1879,3	21,53 %
Koe 8	1555,2	1902,0	22,30 %
Koe 9	1526,4	1890,5	23,85 %
Koe 10	1498,7	1889,1	26,05 %
Keskiarvo	1514,3	1878,1	24,05 %

80 % isoa ja 20 % piestä akseptia

	Paino pakkaamatta (g)	Paino pakattuna (g)	Lisäys (%)
Koe 1	1541,0	1977,3	28,31 %
Koe 2	1579,9	1983,0	25,51 %
Koe 3	1541,9	1972,9	27,95 %
Koe 4	1573,3	1985,2	26,18 %
Koe 5	1568,8	1986,1	26,60 %
Koe 6	1562,0	1978,3	26,65 %
Koe 7	1538,1	1937,0	25,93 %
Koe 8	1549,1	1975,8	27,55 %
Koe 9	1555,5	1975,3	26,99 %
Koe 10	1574,1	1989,5	26,39 %
Keskiarvo	1558,4	1976,0	26,81 %

60 % isoa ja 40 % piestä akseptia

	Paino pakkaamatta (g)	Paino pakattuna (g)	Lisäys (%)
Koe 1	1557,0	2024,1	30,00 %
Koe 2	1558,5	2002,1	28,46 %
Koe 3	1576,6	2000,2	26,87 %
Koe 4	1579,3	2009,3	27,23 %
Koe 5	1574,1	2012,8	27,87 %
Koe 6	1552,6	1998,4	28,71 %
Koe 7	1574,8	1995	26,68 %
Koe 8	1553,5	2011,9	29,51 %
Koe 9	1553,5	2014,3	29,66 %
Koe 10	1548,2	2014,9	30,14 %
Keskiarvo	1562,81	2008,3	28,51 %

Koe tehdashakkeella

	Paino (kg)
Koe 1	3,86
Koe 2	3,88
Koe 3	3,78
Koe 4	3,86
Koe 5	3,65
Koe 6	3,69
Koe 7	3,39
Koe 8	3,54
Koe 9	3,38
Koe 10	3,30
Koe 11	3,82
Koe 12	3,75
Koe 13	3,64
Koe 14	3,66
Koe 15	3,70
Koe 16	3,87
Koe 17	3,56
Koe 18	3,15
Koe 19	3,40
Koe 20	3,18
Koe 21	3,36
Koe 22	3,59

Hakkeen kuivuminen huoneenlämmössä

Aika (min)	Sanko (g)	Vati (g)
0	2593,8	100,0
60	2588,5	96,9
120	2583,7	94,0
180	2579,2	91,4
240	2574,8	88,9
300	2570,6	86,4
360	2566,5	83,8
420	2562,4	81,3
480	2558,5	78,8
540	2554,6	76,6
600	2550,7	74,1
660	2546,9	71,8
720	2543,1	69,6
780	2539,3	67,4
840	2535,6	65,4
900	2532,0	63,4
960	2528,4	61,5
1020	2525,0	59,7
1080	2521,5	58,0
1140	2518,1	56,6
1200	2514,7	55,4
1260	2511,4	54,1
1320	2508,1	53,1
1380	2504,9	52,2
1440	2501,6	50,9
2900	2422,0	47,2