



Veikko Tarvainen

Menetelmiä sahatavaran suorruuden parantamiseksi

Menetelmiä sahatavaran suorruuden parantamiseksi

Veikko Tarvainen

VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka



ISBN 951-38-6710-2 (nid.)
ISSN 1235-0605 (nid.)

ISBN 951-38-6711-0 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)
ISSN 1455-0865 (URL: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/>)

Copyright © VTT 2005

JULKAISIJA – UTGIVARE – PUBLISHER

VTT, Vuorimiehentie 5, PL 2000, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 4374

VTT, Bergsmansvägen 5, PB 2000, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 4374

VTT Technical Research Centre of Finland, Vuorimiehentie 5, P.O.Box 2000, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 4374

VTT Rakennus- ja yhdyskuntateknikka, Betonimiehenkuja 3, PL 1801, 02044 VTT
puh. vaihde 020 722 111, faksi 020 722 7006

VTT Bygg och transport, Betongblandargränden 3, PB 1801, 02044 VTT
tel. växel 020 722 111, fax 020 722 7006

VTT Building and Transport, Betonimiehenkuja 3, P.O.Box 1801, FI-02044 VTT, Finland
phone internat. +358 20 722 111, fax +358 20 722 7006

Toimitus Anni Kääriäinen

Kansikuva: Sahatavaraa NTI:n teollisuuskokeesta

Valopaino Oy, Helsinki 2005

Tarvainen, Veikko. Menetelmiä sahatavaran suoruuden parantamiseksi [Methods to improve straightness of sawn timber]. Espoo 2005. VTT Tiedotteita – Research Notes 2295. 69 s.

Avainsanat sawn timber, Norway spruce, Sitka spruce, quality improvement, dimensional stability, twist, bow, log sorting, grain angle, spiral grain

Tiivistelmä

Puun syiden kierteisyys, jota sahatavaran kohdalla nimitetään vinosyisyydeksi, on keskeinen syy sahatavaran kieroutumiseen kuivauksessa. Myös jotkin muutkin kasvavan puun kannalta hyvät ilmiöt, kuten reaktiopuu ja epäsymmetrinen oksisto, johtavat sahatavarassa haitallisiin muodonmuutoksiin, kuten syrjä- ja lapevääryyteen, kierouden lisäksi.

EU:n Straight-projektissa tutkittiin erilaisia menetelmiä, joilla sahatavaran suoruutta voidaan parantaa. Hanke keskittyi pääosin kuivauksessa tehtäviin toimiin. Lisäksi tarkasteltiin tukkien ja sahatavaran lajittelua syiden suunnan mukaan sekä ohjaamista erilaisiin käsittelyihin ja käyttökohteisiin. Projektissa tutkituista menetelmistä esitellään tässä julkaisussa tukkien lajittelu kierteisyyden mukaan, kierteisten tukkien kiertäminen sahausajan aikana, ydinkeskeisten saheidon halkaisu, yhteenliimaus ja kuivaus, kuivauskuorman pitäminen suorana yläpuolisilla painoilla tai painimilla, kuorman kiertäminen kuivauksessa ja jälkitasannuksessa viistettyjen aluspuiden avulla sekä kuumakuivaus.

Tehokkaimmaksi menetelmäksi osoittautui ytimen läheltä sahatun tavaran jalostaminen liimaamalla: ydinkeskeinen kappale halkaistaan tuoreena, sahatavaran alkuperäiset pinnat liimataan vastakkain ja kuivataan. Kauempaa ytimeistä sahattu tavara on luonnostaan suurempaa. Menettelyllä parannetaan siten koko sahatavaratuotannon laatua.

Kuivauskuorman yläpuoliset painimet ovat tehokas ja edullinen tapa pitää tavara suorana kuivauksessa. Niiden etuna on mahdollisuus lisätä kuormitusta puun kuivumisen edistyesä. Tällöin vältetään rimanpainaumat mutta varmistetaan riittävä yläpuolinen kuormitus tavaran suorana pitämiseksi myös alhaisiin kosteuksiin kuivattaessa. Kuormituksen poistuttua muodonmuutokset lisääntyvät mutta ovat vähäisempiä kuin ilman painimia kuivattaessa. Erittäin tärkeää on antaa tavaran jäähtyä yläpuolisen kuormituksen alaisena.

Suoraksi painamista tehokkaampaa on vääntää kuormaa kieroutumiselle vastakkaiseen suuntaan. Tämä voidaan toteuttaa viistetyillä aluspuilla trukkitäyttöisessä kamarissa. Menetelmää ollaan kehittämässä myös suursahoilla käytössä oleviin järjestelmiin soveltuvaksi. Kuivauksessa kieroutuneet puut voidaan myös suoristaa rimoittamalla ne uudelleen ja tasaannuttamalla kuivaamossa kierouteen nähden vastakkaiseen suuntaan kierrettyinä.

Korkeissa lämpötiloissa puun viruminen lisääntyy. Näin ollen kuumakuivaus tehostaa jossain määrin edellä esitettyjä suoruuden parantamismenetelmiä. Kuumakuivaus yksistään ei lisää suoruutta.

Muodonmuutokset lisääntyvät kosteuden alentuessa. Näin ollen puuta ei tulisi kuivata yhtään tavoitekosteutta kuivemmaksi. Kaikki menetelmät kosteushajonnan pienentämiseksi ovat eduksi, koska niillä voidaan vähentää ylikuivien kappaleiden määrää.

Tässä julkaisussa kuvataan eri menetelmiä sekä niiden hyötyjä ja haittoja. Julkaisu on lyhennelmä englanninkielisestä projektin loppuraportin luonteisesta julkaisusta "Measures for Improving Quality and Shape Stability of Sawn Softwood Timber during Drying and under Service Conditions – Best Practice Manual to Improve Straightness of Sawn Timber".

Tarvainen, Veikko. Menetelmiä sahatavaran suoruuden parantamiseksi [Methods to improve straightness of sawn timber]. Espoo 2005. VTT Tiedotteita – Research Notes 2295. 69 p.

Keywords sawn timber, Norway spruce, Sitka spruce, quality improvement, dimensional stability, twist, bow, log sorting, grain angle, spiral grain

Abstract

In the EU funded project STRAIGHT, different drying, sorting, conditioning and re-engineering methods to minimise the distortion of sawn softwood timber were investigated. The main outcome from this study for the industry is the Best Practice Manual. This publication is a shortened Finnish version of BPM. It presents the studied methods, their pros and cons in timber production, and in the end use of the sawn timber. The straightness improvement methods are examined according to the acceptance percentage of structural timber, when straightness is the main criteria. Other important criteria include extra drying and handling costs, the effects of methods on other quality factors and the saleability of material with normal sawmill production.

The studied methods are: a) pre-sorting of logs according to the spiral grain angle, b) twisting of small diameter logs during sawing to counteract natural direction of twisting, c) re-engineering of pith-boxed battens using green gluing i.e. splitting battens along their length and re-engineering whilst green, d) twisting the drying load in the opposite direction to natural twist (the support sections on the kiln wagon are angled to counteract the normal direction of twist), e) top-loading of the kiln load, f) oscillating drying schedules for enforcing mechanosorptive creep to reduce twist (reported only in BPM), g) high-temperature drying and finally h) new conditioning techniques where dried twisted timber is re-stacked and stickered on angled support bunks which promotes opposite twisting during special conditioning.

The best straightening results has been achieved by re-engineering the pith-boxed battens using green gluing before drying. The most cost-effective method is the top-loading and correct stickering of drying charges. It is important that the timber is top loaded also during the cooling phase. The disadvantage of top-loading, as well as of the counter-wise twisting during drying is the spring back effect: the timber is fairly straight directly after drying, although the distortion increases gradually as environmental changes occur. These methods of drying are suitable, if the timber is used in a construction soon after drying or opening of timber package or re-engineered so that eventual spring-back effect is prevented.

Sorting out logs and battens with large grain angles considerably improves the straightness of the sawn timber and reduces breakdowns in sawmill process.

This publication is a shortened Finnish version of English publication "Measures for Improving Quality and Shape Stability of Sawn Softwood Timber during Drying and under Service Conditions – Best Practice Manual to Improve Straightness of Sawn Timber".

Alkusanat

EU:n Straight-projekti käynnistyi lokakuussa 2001. Koordinaattorina toimi englantilainen BRE. Muut osapuolet olivat NTI Norjasta, Chalmersin yliopisto ja SP Trätek Ruotsista, BFH Saksasta, CTBA Ranskasta, TNO ja Brookhuis Micro-Electronics Hollannista sekä VTT Suomesta. Suomen osuuden rahoitukseen ja johtoryhmätyöhön osallistivat VTT:n lisäksi Wood Focus Oy ja Valutec Oy.

VTT:n teollisuuskokeet tehtiin Stora Enso Timberin Kotkan ja Honkalahden sahoilla.

Esitän kaikille projektissa eri muodoissa auttaneille tahoille VTT:n puolesta parhaat kiitokseni.

Espoossa 4.4.2005

Veikko Tarvainen

Sisällysluettelo

Tiivistelmä.....	3
Abstract.....	5
Alkusanat.....	7
1. Johdanto.....	10
2. EU:n Straight-projekti.....	11
2.1 Projektin tavoitteet	11
2.2 Tutkitut menetelmät	11
2.2.1 Raaka-aineen lajittelu.....	13
2.2.2 Tukin kiertäminen sahauksessa.....	14
2.2.3 Suoristaminen kuivauksen keinoin	14
2.2.4 Liimattujen rakenteiden käyttö	14
2.3 Muodonmuutokset ja niiden mittaus	15
2.4 Hyväksyntäkriteerit	16
2.5 Suoruus käytössä	16
3. Tehdyt tutkimukset ja niiden tulokset.....	17
3.1 Tukkien lajittelu kierresyisyyden mukaan	17
3.1.1 Menetelmä.....	18
3.1.2 Tulokset.....	19
3.1.3 Suoruus käytössä.....	21
3.1.4 Kannattavuustarkastelu	21
3.2 Pientukin kiertäminen sahauksen aikana.....	22
3.2.1 Menetelmä.....	22
3.2.2 Tulokset.....	23
3.2.3 Kannattavuustarkastelu	26
3.2.4 Suoruus käytössä.....	26
3.3 Ydinkeskeisen tavaran halkaisu ja tuoreliimaus.....	27
3.3.1 Menetelmän kuvaus	29
3.3.2 Tulokset.....	29
3.3.3 Suoruus käytössä.....	32
3.3.4 Kustannustarkastelu	33
3.4 Rimapaketin yläpuolinen kuormitus.....	33
3.4.1 Menetelmä.....	33
3.4.2 Tulokset.....	34
3.4.2.1 Kuormitustason vaikutus muodonmuutoksiin	35

3.4.2.2	Vinosyisyyden ja yläpuolisen kuormituksen vaikutus.....	39
3.4.3	Suoruus käytössä.....	42
3.4.4	Yhteenvedo ja tulosten tarkastelua	43
3.4.5	Päätelmiä	44
3.4.6	Suosituksia kuormituksen järjestämiseksi.....	45
3.4.7	Käytännön kokemuksia kuormanpainimista	47
3.5	Vastaväännöllä suoraksi – kuivaus kierretyllä alustalla.....	47
3.5.1	Menetelmän kuvaus	48
3.5.2	Tulokset.....	49
3.5.3	Suoruus käytössä.....	52
3.5.4	Kustannustarkastelu	53
3.6	Kuumakuivaus.....	54
3.6.1	Menetelmä.....	54
3.6.2	Kokeiden tuloksia.....	54
3.6.3	Kuivauskustannukset.....	56
3.6.4	Suoruus käytössä.....	57
4.	Eri menetelmien hyvät ja huonot puolet.....	58
4.1	Tukkien esilajittelu kierresyisyyden mukaan	58
4.2	Kierresyisten tukkien kiertäminen sahauksen aikana.....	59
4.3	Ydinkeskeisten saheidien halkaisu, yhteenliimaus ja kuivaus	60
4.4	Kuivauskuorman pitäminen suorana yläpuolisilla painimilla	62
4.5	Vastaväännöllä suoraksi – kuivaus kierretyllä alustalla.....	63
4.6	Kuumakuivaus.....	64
4.7	Eri menetelmien vertailua.....	65
5.	Yhteenvedo	68
	Kirjallisuutta	70

1. Johdanto

Sahatavaran liialliset muodonmuutokset ovat tulleet merkittäväksi esteeksi puun käytölle rakentamisessa. Haittaa lisäävät puun kuivaaminen alhaisiin loppukäytön mukaisiin kosteuksiin sekä rakennustyön koneellistuminen ja automatisoituminen. Aiemmin kirvesmies ja puuseppä valitsivat raaka-aineen ja käyttivät muotovikaiset kappaleet lyhyinä pätkinä sopiviin kohteisiin. Arvioiden mukaan jopa 30 % kaikesta rakennusteollisuuden sahatusta tavarasta hylätään nykyisin kierouden tai muiden muotovikojen takia jossakin vaiheessa. Taloudelliset tappiot ovat huomattavia ja korvaavien kilpailevien materiaalien käyttö suoruutta vaativiin kohteisiin jatkaa yleistymistään, mikäli puun suoruutta ei saada parannettua.

Muodonmuutosten syitä ja vähentämismahdollisuuksia on tutkittu varsin paljon. Keskeisin syy sahatavaran kieroutumiseen on vinosyisyys eli syiden suunnan poikkeaminen kappaleen pituussuunnasta. Kappaleen eri kohtien pituuskutistumisen erot johtavat myös lape- ja syrjävääryyteen. Syynä pituuskutistumaeroihin on mm. ytimen ympärillä olevan nuorpuun lähes kaksinkertainen kutistuminen muuhun puuainekseen verrattuna. Lisäksi reaktiopuu kutistuu normaalia puuta enemmän. Myös oksien epäsymmetrinen sijainti aiheuttaa paikallisten syyhäiriöiden kautta kutistumiseroja ja muodonmuutoksia.

2. EU:n Straight-projekti

Vastataksaan asetettuun haasteeseen eurooppalaiset tutkimuslaitokset käynnistivät EU:n viidennen puiteohjelman hankkeen nimeltä Straight (Measures for improving quality and shape stability of sawn softwood timber during drying and under service conditions). Hankkeen koordinaattorina toimi BRE Englannista. Muut osapuolet olivat CTBA Ranskasta, BFH Saksasta, Chalmersin yliopisto ja Trätec Ruotsista, NTI Norjasta, TNO ja Brookhuis Micro-Electronics BV Hollannista sekä VTT Suomesta. Suomen osuuden rahoitukseen ja johtoryhmätyöhön osallistuivat VTT:n lisäksi Wood Focus Oy ja Valutec Oy.

2.1 Projektin tavoitteet

Projektin päätavoite oli löytää keinoja kuusi- ja sitkakuusisahatavaran suoruuden parantamiseksi. Muodonmuutosvikojen aiheuttamat taloudelliset tappiot ovat erittäin suuret, sillä rakennusteollisuudessa jopa 30 % sahatavarasta joudutaan hylkäämään kierouden, syrjävääräyden tai lapevääräyden takia. Huonosta tavarasta voidaan katkomalla saada lyhyitä, riittävän suoraa kappaleita joihinkin kohteisiin. Tämä aiheuttaa kuitenkin ylimääräistä työtä ja kustannuksia. Ainoa tapa parantaa sahatavaran ja puutuotteiden imagoa ja käytettävyyttä on toimittaa asiakkaille vain suoraa sahatavaraa.

Tavoitteeseen päästään raaka-aineen lajittelulla, uusilla sahaus- ja kuivausteknisillä ratkaisulla sekä ongelmaraaka-aineen jalostamisella esimerkiksi suoriksi liimatuiksi tuotteiksi. Straight-projekti perustuu esitettyihin periaatteisiin.

2.2 Tutkitut menetelmät

Sahatavaran suoruuden parantamiseksi tutkittiin seuraavia keinoja, jotka esitetään sahan tuotantoprosessin mukaisessa järjestyksessä:

- A. Tukkien lajittelu kierteisyyden mukaan
- B. Kierresyisten tukkien kiertäminen sahauksen aikana
- C. Sahatavaran lajittelu kuivausryhmiin alkukosteuden ja tiheyden mukaan
- D. Ydinkeskeisten saheiden halkaisu, yhteenliimaus ja kuivaus
- E. Kuivauskuorman pitäminen suorana yläpuolisilla painimilla

F. Kuorman vääntäminen kuivauksessa

G. Oskilloivat kuivauskaavat

H. Kuumakuivaus

I. Kieron tavaran jälkitasaannutus vastaväännön alaisena.

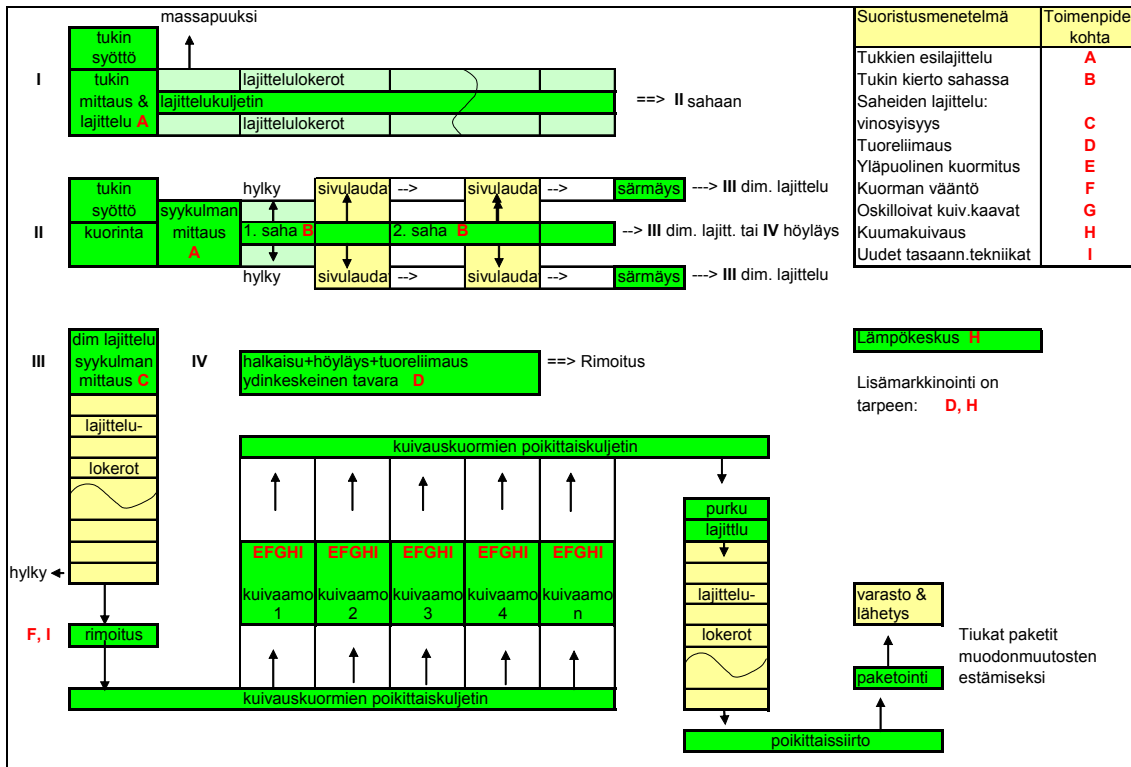
Edellä esitetyt menetelmät voidaan jakaa niiden vaikutustavan mukaan seuraaviin neljään ryhmään:

1. Ongelmaraaka-aineen lajittelu tuoreena (tukkeina tai sahatavarana) pois tuotannosta tai ohjaaminen erikoiskäsittelyihin (menetelmä A)
2. Sahaus puun rakenne, etenkin syysuunta, huomioon ottaen ja kuivaus niin, että valmis sahatavara on tavoitekosteudessaan suoraa ja jännityksetöntä (menetelmä B)
3. Sahatavaroiden kuormittaminen kuivauksen tai myöhemmän käsittelyn aikana niin, että puutavara virumisen ansiosta on prosessin jälkeen tai loppukäytössä suoraa (menetelmät E, F, G, H, I sekä osittain C)
4. Liimatut rakenteet, joissa muodonmuutosjännitykset kumoavat toisensa (menetelmä D).

Menetelmän vaikutustapa ratkaisee, kuinka pysyvää saavutettu suoruus on.

Kuvassa 1 esitetään sahan kulkukaavio, johon on merkitty ne kohdat, joissa kukin tutkittu suoruuden parantamismenetelmä vaikuttaa.

Tässä julkaisussa ei esitellä tarkemmin menetelmiä C (lajittelu alkukosteuden mukaan) ja G (oskilloivat kuivauskaavat) eikä niiden tuloksia, koska niitä käyttämällä ei ole saavutettavissa sahatavaran suoruuden paranemista suomalaisilla sahoilla. Tuoreen puun kosteus riippuu lähinnä sydänpuuosuudesta. Sydän- ja pintapuu kuivuvat vientikuivaksi likimain yhtä nopeasti. Esilajittelu alkukosteuden mukaan tulee kysymykseen, jos osa tavaroista on kuivunut esimerkiksi ulkokuivauksessa ennen kuivaamoon laittoa.



Kuva 1. Sahatavaran suoruuden mahdolliset parantamiskohdat (A–I) sahan prosessi-kaaviossa.

Oskilloivat kuivauskaavat tarkoittavat lähinnä kuivausolosuhteiden vaihtelua puhallussuunnan vaihdellessa. Suunnanvaihtovälin pituus kuivauksen eri vaiheissa vaikuttaa kyllä kuivauksen laatuun, etenkin halkeiluun, mutta ei juurikaan muodonmuutoksiin.

2.2.1 Raaka-aineen lajittelu

Puun pinnalle suunnattu laservalo muodostaa ellipsin, jonka pituus akseli asettuu syiden suuntaan. Tähän perustuvia vinosyisyyden mittalaitteita on jo käytettävissä. Menetelmä on helposti automatisoitavissa.

Ruotsissa Chalmersin yliopistossa on kehitetty tuoreen puun syysuunnan mekaaninen mittalaite. Sen erikoismuotoiltu terä lyödään tai painetaan puuhun, jolloin terä asettuu syiden suuntaiseksi. Terän kiertymä kappaleen pituussuunnasta ilmaisee kierteisyyden tai vinosyisyyden.

Tukit voidaan lajitella syiden kierteisyyden mukaan. Erittäin kierresyinen materiaali kannattaa ohjata mahdollisesti sellun ja paperin raaka-aineeksi. Kohtuullisen kierteisistä tukeista voidaan sahata dimensioita, joita ei kuivata hyvin alhaisiin kosteuksiin. Myös

pientukkien kiertäminen sahauksessa tulee harkittavaksi, jos menetelmän edellyttämät laiteratkaisut saadaan käytäntöön.

Sahatavaroista voidaan vastaavasti mitata vinosyisyys ja ohjata tavara sopivaan jatkokäsittelyyn: suorasyiset kuivataan normaalisti ja vinosyiset ohjataan esimerkiksi kuivauskuorman alimpaan pakettiin, jota kierretään kuivauksen ajan.

2.2.2 Tukin kiertäminen sahauksessa

Ennen sahausta tukista mitataan syiden kierteisyys esimerkiksi laservalon sirontaan perustuvalla mittarilla. Erikoislaitteiston avulla tukkia voidaan kiertää sahauksessa niin, että saheet ovat tuoreena kieroja mutta vastakkaiseen suuntaan kuin suoraan sahattu ja kuivattu tavara. Optimitalauksessa kierteisesti sahattu puu suoristuu kuivauksessa luonnollisen kiertymisen ansiosta. Menetelmä soveltuu ainoastaan pientukeille, joista ei sahata pintalautoja.

2.2.3 Suoristaminen kuivauksen keinoin

Tämän ryhmän menetelmät perustuvat siihen, että sahatavaran suoraksi painamisesta tai kiertämisestä syntyvät jännitykset venyttävät (viruttavat) puuta ja tasaavat siten puun luonnollisia pituuskuistumaeroja sekä lisäävät suoruutta. Se, kuinka hyvin ja kuinka kauan sahatavara pysyy suorana, riippuu siitä, miten pysyvää virumista on. Yleensä osa virumasta on palautuvaa etenkin puun kosteuden vaihdellessa. Näin ollen on odotettava, että puun pitäminen suorana kuivauksen aikana ei takaa sahatavaran suoruutta käytössä. Viruman osittainen palautuminen johtaa muotovikoihin. Kierrettäessä puuta kuivauksen aikana kieroutumistaipumukseen nähden vastakkaiseen suuntaan on tavara optimitalanteessa suoraa palautuvan viruman jälkeen.

2.2.4 Liimattujen rakenteiden käyttö

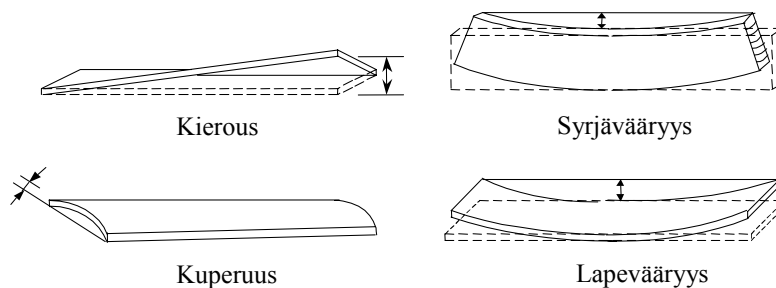
Muodonmuutosongelmia voidaan vähentää liimaamalla kaksi tai useampia kappaleita yhteen. Tällaisen tuotteen muodonmuutokset ovat pienempiä kuin sahatavaran.

Straight-projektissa tutkittiin ydinkeskeisen sahatavaran jalostamista halkaisemalla ja uudelleen yhteen liimaamalla tuoreena. Kuivauksessa puoliskojen muodonmuutosvoimat kumoavat toisensa, ja kuivatut tuotteet ovat suoraa.

Parittomalla ex logilla sahaus ja ydinkeskeisten saheiden jalostaminen liimaamalla parantavat koko sahatavaruotannon laatua merkittävästi, sillä kauempaa ytimestä sahattu tavara on luonnostaan suurempaa.

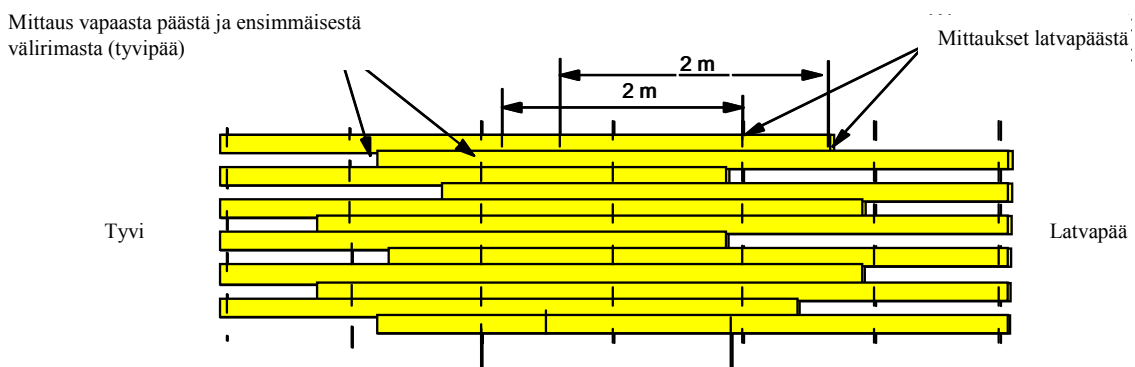
2.3 Muodonmuutokset ja niiden mittaus

Projektissa keskityttiin sahatavaran pituuden suuntaisiin muodonmuutoksiin ja niiden hallintaan. Kuvassa 2 esitetään ko. pituudensuuntaiset muodonmuutokset eli kierous sekä syrjä- ja lapevääräisy. Kuperuus kuvaa poikkileikkauksen muodonmuutosta. Tässä projektissa syrjä- ja lapevääräisy ilmoitetaan millimetreinä kahden metrin matkalla. Projektissa tutkittiin pääasiassa 50 x 100 mm tavaraa, joten kierouden yksikkönä käytettiin pääasiassa mm / 2 m / 100 mm. Myös yksikköä °/m käytettiin.



Kuva 2. Sahatavaran muodonmuutokset.

Muodonmuutokset mitattiin kahden metrin matkalta. Mittaus tehtiin pitkälle sahatavaraalle rimapaketin sisällä olevasta päästä. Ensimmäinen mittaus tehtiin aivan päästä ja toinen mittaus ensimmäisestä välirimasta lukien (kuva 3).



Kuva 3. Muodonmuutosten mittauskohdat tutkituissa rimapaketeissa.

2.4 Hyväksyntäkriteerit

Eri standardeissa esitetään vaatimuksia sahatavaran suoruudelle. Vaatimuksiin vaikuttavat mm. tarkastelukosteus ja sahatavaran muu laatu. Straight-projektissa valittiin omat hyväksyntäraajat kieroudelle, syrjä- ja lapevääryydelle ja kuperuudelle 15 %:n kosteudessa (taulukko 1). Rajat ovat varsin tiukat. Lähtökohtana oli, että rakentamisessa ja muussakin käytössä laatu ehdot täyttävä sahatavara on ongelmatonta.

Taulukko 1. Straight-projektissa sovitut hyväksyntäraajat sahatavaran muodonmuutoksille 15 %:n kosteudessa.

Muodonmuutos	Hyväksyntäraja
Kierous	4 mm / 2 m / 100mm
Lapevääryys	4 mm / 2 m
Syrjävääryys	3 mm / 2 m
Kuperuus	2 mm / 100 mm

2.5 Suoruus käytössä

Suoruuden pysyvyyden selvittämiseksi kuivattuja puita pidettiin vapaasti roikkumassa aina kerrallaan 3 kk suhteellisissa kosteuksissa 85 %, 30 % ja 85 %. Lämpötila oli 23 °C. Puun vastaavat kosteudet syklien lopussa olivat keskimäärin 18, 10 ja 17 %.

Kunkin syklin jälkeen mitattiin muodonmuutokset ja määritettiin kosteus. Muodonmuutokset redusoiitiin lineaarisesti 15 %:n kosteuteen. Menetelmien hyvyyttä arvioitiin suorien kappaleiden osuudella. Hyväksyntäraja kierouden osalta oli 4 mm / 100 mm / 2 m.

Eri menetelmissä tutkittu sahatavara ei ole esimerkiksi vinosyisyyden suhteen samantyyppistä. Koska vinosyisyys on keskeinen kierouteen vaikuttava tekijä, ei eri menetelmillä käsiteltyjen tai kuivattujen puiden suoruuksia ja hyväksytyjen osuuksia tule suoraan verrata keskenään.

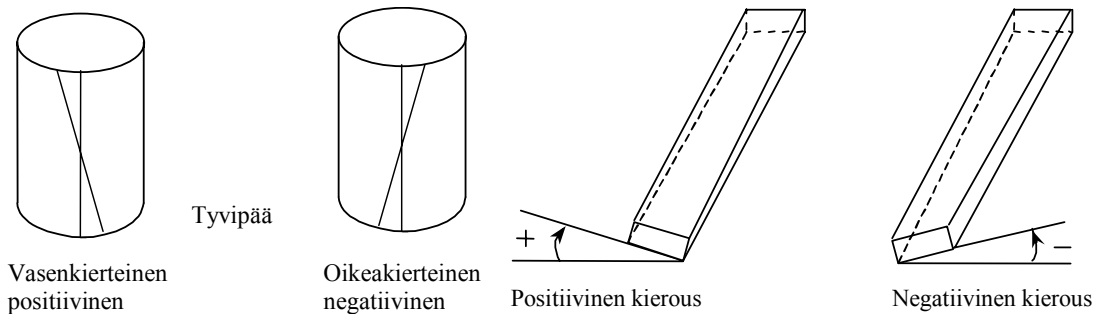
3. Tehdyt tutkimukset ja niiden tulokset

Tutkimus jaettiin kuuteen pääkohtaan, jotka olivat 1) raaka-aineen hankinta, 2) muodonmuutosten vähentämismenetelmät, 3) kuivauslaadun määrittäminen, 4) muodonmuutokset kuivauksen jälkeen muuttuvissa olosuhteissa, 5) tutkittujen menetelmien vaikutus sahatavaran ominaisuuksiin sekä 6) tulosten yhteenveto ja tiedottaminen.

Pääkohta 2 sisältää kaikki tutkitut menetelmät. Kohdat 3–5 sisältävät kokeellisen osan mittaukset ja tulosten analysoinnin. Tehdyt tutkimukset ja saadut tulokset esitetään seuraavaksi menetelmittain sahan prosessikaavion mukaisessa esiintymisjärjestyksessä.

3.1 Tukkien lajittelu kierresyisyyden mukaan

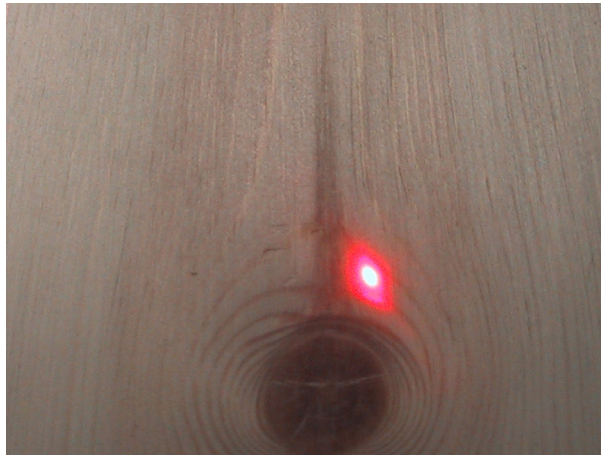
Sahatavaran kieroutumisen pääasiallinen syy on vinosyisyys. Mittaamalla tukkien syiden kierteisyys voidaan tuotannosta lajitella pois voimakkaan muodonmuutos- taipumuksen omaava materiaali. Tällaisista tukeista voidaan vaihtoehtoisesti sahata tuotteita, joille asetetaan vain vähäiset vaatimukset kierouden suhteen, tai tukit voidaan ohjata erikoissahaukseen ja sahatavara erikoiskuivaukseen, joilla luonnollista muodonmuutosta voidaan vähentää. Chalmersin yliopisto tutki, miten tukin kierresyisyys vaikuttaa sahatun tavaran kierouteen. Kuvassa 4 esitetään periaatekuva tukkien kierresyisyydestä ja sahatavaran vinosyisyydestä sekä niiden suunnan merkitsemisestä.



Kuva 4. Tukin kierresyisyyden, sahatavaran syysuunnan (positiivinen, negatiivinen) ja kierouden suunnan merkintä.

3.1.1 Menetelmä

Kuoritun tukin kierresyisyys voidaan mitata teollisuudessa ainakin lasertekniikan avulla (Nyström 2002). Lasersäde suunnataan kohtisuoraan puun pintaan. Pinnalle syntyvän soikean valoläikän pituus akseli on syiden suuntainen (kuva 5). Syysuunta voidaan määrittää kameratekniikalla.



Kuva 5. Poikkileikkaukseltaan pyöreään lasersäteen siroaminen puun pinnalla. Kuvion pituus akseli on puun syiden suuntainen. Oksan lähellä syysuunta poikkeaa sahatavaran pituussuunnasta.

Tässä projektissa Chalmersin yliopiston tutkijat mittasivat kuoripäällisestä tukista syiden kierteisyyden S-GAG-nimisellä mittalaitteella. Erikoismuotoiltu terä painetaan tai lyödään puuhun, jolloin se etenkin tuoreessa puussa asettuu syiden suuntaiseksi. Laitte on kehitetty toistaiseksi vain manuaaliseen mittaukseen. Laitteessa on asteikko, jolta voidaan lukea (puun suuntaiseksi asetetun) varren ja terän välinen kulma (kuva 6). Menetelmä ei sovellu kovin hyvin kuivalle puulle.

Esimerkiksi laadunvalvonnassa syykulma voidaan määrittää myös ns. raaputusmenetelmällä. Puun tangentiaalista pintaa raaputetaan terävällä neulalla sen sivuttaisliikkeitä estämättä. Syntyvä naarmu seuraa puun syiden suuntaa. Sen poikkeama kappaleen pituussuunnasta eli vinosyisyys mitataan.

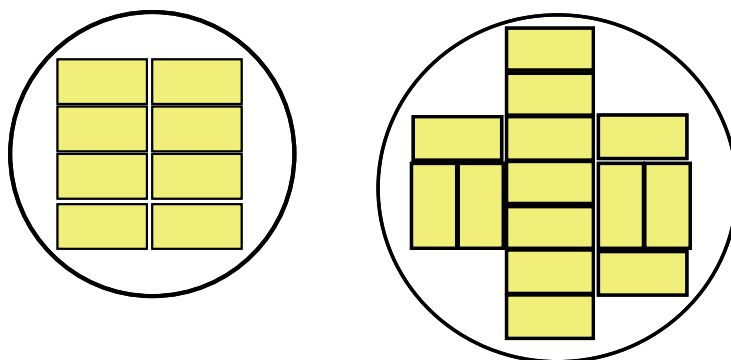


Kuva 6. Puun kierresyisyyden määrittäminen S-GAG-mittalaitteella.

3.1.2 Tulokset

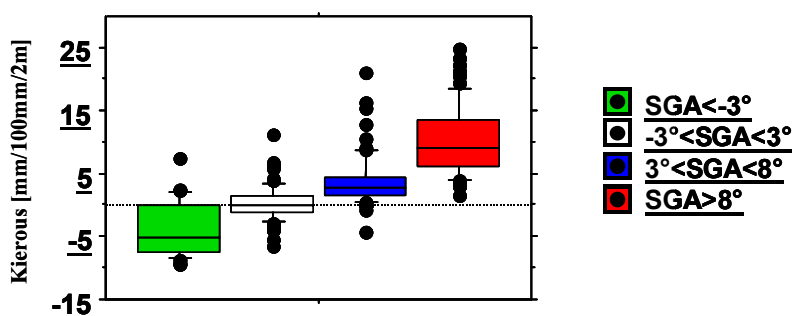
Ruotsissa Södra Timberin Värön sahalla valittiin 1 000 tukin erästä halkaisijaltaan yli 30 senttimetrin tukkeja S-GAG-laitteella siten, että saatiin neljä kierresyisyydeltään erilaista ryhmää. Tukit sahattiin mahdollisimman suuren sahemäärän (50 x 100 mm) antavilla asetteilla (kuva 7). Saanto vaihteli 5:stä 20:een saheeseen per tukki. Tukkeja oli yhteensä 31 ja saheita 282. Kappaleet olivat sahauksen jälkeen varsin suoria.

Tavara kuivattiin kamarikuivaamossa 18 %:iin kuorman keskipaketissa. Kuivatut tavarat ripustettiin laboratorion tasaannutushuoneeseen (22 °C, 90 % RH) vapaasti roikkumaan.



Kuva 7. Esimerkkejä käytetyistä sahausaseteista.

Kuvassa 8 esitetään sahatavaran kieroutuminen tukkiryhmittäin kuivauksen ja tasaannuksen (22 °C, 90 % RH) jälkeen mitattuna. Kuvassa olevien laatikoiden sisällä on 50 % ryhmän sahatavaroista. Laatikon keskellä oleva viiva esittää kierouden keskiarvoa.



Kuva 8. Sahatavaroiden kierous (mm / 100 mm / 2 m) 18 %:n kosteudessa tukin pinnan kierresyisyyden (SGA) mukaan lajitelluissa neljässä tukkiryhmissä. 50 % kappaleista on laatikoiden sisällä. Laatikoiden keskiviiva esittää kierouden keskiarvoa. Lyhyiden viivojen ylä- samoin kuin alapuolella on 10 % sahatavaroista. Pallot esittävät yksittäisiä mitta-arvoja.

Kaikista sahatavaroista 58 % oli kieroudeltaan alle 4 mm / 100 mm / 2 m. Suorasyisistä tukeista ($-2^{\circ} < SGA < +2^{\circ}$) sahatuista tavaroista 90,5 % alitti kyseisen kierousrajan 18 %:n kosteudessa. Vastaavat luvut eri kierresyisyysalueilla olivat $\pm 3^{\circ}$ / 88,8 %, $\pm 4^{\circ}$ / 84,6 %, $\pm 6^{\circ}$ / 78,2 % ja $\pm 7^{\circ}$ / 77,4 %.

Ytimen vierestä sahatuista kappaleista alle 35 % täytti asetetun suoruuksivaatimuksen. Ytimen lähialue tulisikin jalostaa muuksi kuin sahatavaraksi, tai ko. sahatavaran suoruuksua kannattaa parantaa erikoistoimenpitein, joita esitellään toisaalla tässä julkaisussa.

3.1.3 Suoruus käytössä

Eri tukkiryhmistä sahattuja ja kuivattuja sahatavaroita tasaannutettiin vapaasti ripustetuna kolmessa eri kosteusolosuhteessa kolmen kuukauden ajan kussakin. Huoneen lämpötila oli 23 °C, ja ilman suhteelliset kosteudet ko. jaksoissa olivat 85, 30 ja 85 % (ks. kohta 2.5).

Suorasyisistä tukeista sahattu tavara on säilyttänyt suorautensa parhaiten. Palautuma on kosteuden vaihtelusta huolimatta vähäistä (taulukko 2).

Taulukko 2. Suorien sahatavaroiden osuudet riippuvarastoinnin jälkeen (katso kohta 2.5). Kieroudet on redusoitu 15 %:n kosteuteen. Hyväksyntäraja on 4 mm / 100 mm / 2 m.

Tukkien kierresyisyys (°)	Hyväksytyjen osuus (%) 1. jakson jälkeen	Hyväksytyjen osuus (%) 3. jakson jälkeen
< -3	40,0	30,0
-3 < KS < +3	79,7	77,4
3 < KS < 8	34,7	24,5
8 < KS	3,8	3,8

3.1.4 Kannattavuustarkastelu

Sahojen kannalta optimitilanne olisi, että voimakkaasti kierteiset rungon osat valmistetaisiin jo metsässä massateollisuuden raaka-aineeksi. Toistaiseksi sahatukeille ei ole kuitenkaan olemassa kierresyisyyttä koskevia laatuvaatimuksia. Toisaalta käytettävissä ei ole myöskään syykulman metsämittaukseen tarkoitettua automatisoitua laitetta. S-GAG-mittarin periaatteella toimiva systeemi olisi mahdollista toteuttaa ja asentaa metsäkoneen korjuupäähän.

Chalmersin yliopisto on tarkastellut sahalla tapahtuvan tukkien kierresyisyyteen perustuvan lajittelun vaikutusta kannattavuuteen. Tarkastelussa on otettu huomioon tukkiraa-ka-aineen hinta, hyvitys massateollisuudelle menevistä hylkytukeista, valmiin sahatavaran hinta tukkien kierresyisyyden mukaan sekä kierresyisten tukkien osuudet raaka-ainevirrassa.

Tarkastelun mukaan tukkien lajittelulla ei saavuteta taloudellista hyötyä. Ruotsalaisilla PK-sahoilla tehdyn haastattelun mukaan voimakkaasti kierresyisten tukkien pois-lajittelu vähentää kuitenkin häiriöitä sahatavaran käsittelyssä niin paljon, että se kannattaa.

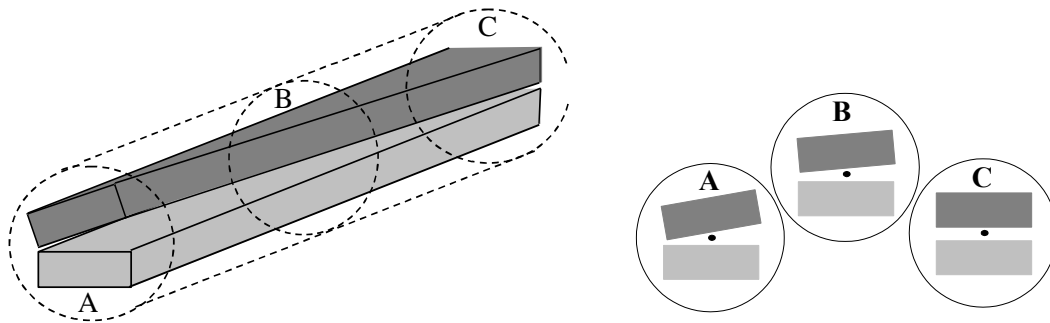
3.2 Pientukin kiertäminen sahauksen aikana

Pientukkien halkaisija on liian pieni 3 ex login sahaukseen, jolloin voitaisiin käyttää aiemmin kuvattua ydinkeskeisen kappaleen jalostusmenetelmää. Yhtenä sahatavaran suoruuden parantamismenetelmänä tutkittiin Chalmersin yliopistossa pientukin kiertämistä sahauksessa.

3.2.1 Menetelmä

Tutkitussa menetelmässä pientukkia käännetään sahauksen aikana luonnolliselle kieroutumiselle vastakkaiseen suuntaan. Tuoreena saheet ovat siten kieroja mutta kuivauksen jälkeen optimitapauksessa suoria. Mikäli kunkin tukin kiertäisyys mitataan ennen sahausta, voidaan tukkeja kiertää pinnan syykulman perusteella sahakoneessa yksilöllisesti. Toisena vaihtoehtona on kiertää kaikkia tukkeja yhtä paljon niin, että kuivattujen sahatavaroitten kierouden keskiarvo on mahdollisimman lähellä nollaa. Menetelmä soveltuu vain pientukille, joista sahataan pelkkää sydäntavaraa ja pinnat haketetaan.

Tutkimuksessa koepuut sahattiin vannesahalla. Tukki syötettiin vaakasuorassa olevalle vannesahalle tukkivaunulla. Tukki oli kiinnitetty syöttövaunuun siten, että sitä voitiin kiertää sahauksen aikana. Ensimmäisellä sahauksella irrotettiin pinta ja toisella leikkauksella särmäämätön sahe. Kummassakin sahauksessa tukkia kierrettiin yhtä paljon. Jäljellä olevan tukkipuoliskon pinta oikaistiin suoralla sahauksella. Aihiota käännettiin 180° ja lopuksi sahattiin kahdella leikkauksella suora vertailukappale (kuva 9).



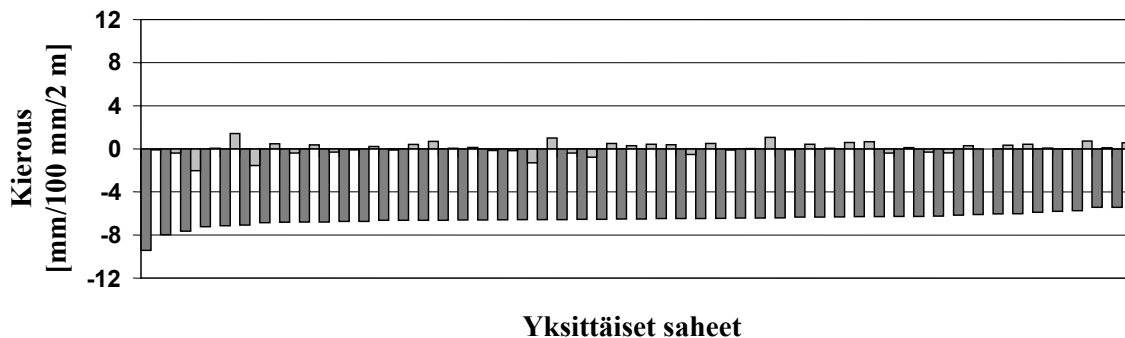
Kuva 9. Jokaisesta tukista sahattiin ensimmäinen soiro tukkia sahauksen aikana kiertämällä. Toinen soiro sahattiin tukin loppuosasta suoraan sahaamalla.

Kahdelta paikkakunnalta toimitettiin sahaukseen 50 tukkia kummastakin. Toinen kasvupaikka oli tuulinen, ja sieltä saatiin voimakkaasti kierresyisiä tukkeja. Toinen hankinta-alue oli suojainen. Kummankin ryhmän tukit järjestettiin ensin syykulman mukaiseen järjestykseen. Tämän jälkeen aineisto jaettiin kahteen ryhmään poimimalla tukkeja ryhmiin vuorotellen niin, että ryhmät olivat kierteisyyden osalta mahdollisimman samanlaiset. Jokaisesta tukista sahattiin toinen puoli suoraan ja toinen puoli tukkia kiertämällä (kuva 9). Puolet tukeista kierrettiin vakiomäärällä (3,5° / 2 m) ja puolet yksilöllisesti tukin pinnalta mitatun kierteisyyden mukaan.

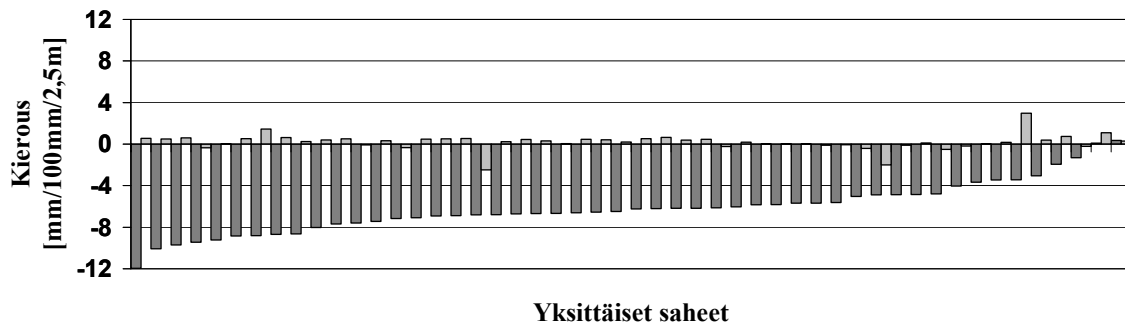
3.2.2 Tulokset

Kieroudet mitattiin ennen (kuvat 10 ja 11) ja jälkeen (kuvat 12a ja b) kuivauksen.

Vakiomäärällä esikierrettyjen tukkien saheiden kierous ennen kuivausta oli $-6,5 \text{ mm} / 100 \text{ mm} / 2 \text{ m}$. Yksilöllisesti kierrettyjen tukkien sahauksessa saheiden kierouden keskiarvo oli $-6,2 \text{ mm} / 100 \text{ mm} / 2 \text{ m}$. Vaihteluväli oli $-12... + 0,4 \text{ mm} / 100 \text{ mm} / 2 \text{ m}$.

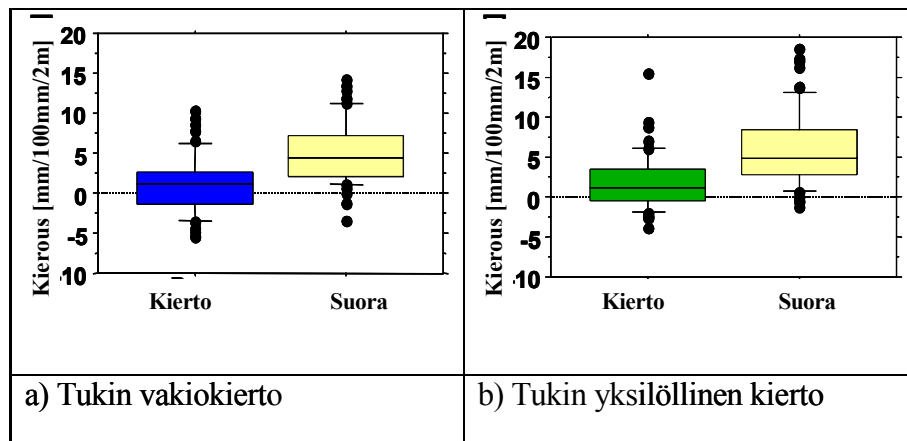


Kuva 10. Kierous sahauksen jälkeen. Tummat palkit ilmaisevat vakiomäärällä kierrettyjen puiden kierouden. Vaaleat tolpat ovat suoraan sahattujen puoliskojen arvoja.



Kuva 11. Kierous (mm / 100 mm / 2,5 m) sahauksen jälkeen. Tummat palkit kertovat yksilöllisesti kierrettyjen puiden kierouden. Vaaleat tolpat ovat suoraan sahattujen puoliskojen arvoja.

Suoraan sahatuista saheista täytti 18 %:iin kuivauksen jälkeen annetun suoruusvaatimuksen (4 mm / 100 mm / 2 m) ainoastaan 32 %. Kiertäen sahattujen hyväksyntäprosentti oli 60. Näyttää siltä, että yksilöllistä kiertoa ei optimoitu, koska tulos ei ole juurikaan vakiokiertoa parempi.



Kuva 12a ja 12b. Perinteisesti ja tukkia kiertäen sahattujen sahatavaroiden kieroudet kuivauksen jälkeen 18 %:n kosteudessa. Vasemmalla on vakiomäärällä (3,5° / 2 m) kierrettyjen ja oikealla yksilöllisesti kierrettyjen puiden kieroudet. Saheista 50 % on laatikoiden sisällä. Laatikoiden keskiviiva esittää kierouden keskiarvoa. Lyhyiden viivojen ylä- samoin kuin alapuolella on 10 % sahatavaroista. Pallot esittävät yksittäisiä mittausarvoja.

3.2.3 Kannattavuustarkastelu

Toistaiseksi markkinoilla ei ole kaupallista laitetta, jolla tukkia voitaisiin kiertää sahausksessa esitetyllä tavalla. Näin ollen on vaikea arvioida laitteen pääomakustannuksia. Seuraavassa laskelmassa oletetaan laitteen tulevan kaupallisen version kustannukseksi 0,5 milj. euroa. Menetelmällä sahataan 100 000 m³ sahatavaraa. Suoran ja liian kieron tavarann hinnat ovat 200 ja 140 €/m³. Kannattavuuslaskelma perustuu kohdassa 3.2.2 esitettyihin lukuihin eli sahatavaran hyväksyntäprosentteihin kuivauksen jälkeen.

Sahatavaran arvon alennus kierouden johdosta on laskettavissa kaavalla 1 seuraavasti:

$$\text{Arvon alennus} = [1 - (H + ((1 - H) \times 140/200))] \times 100 \% = 20,4 \%, \quad (1)$$

missä H = hyväksytyjen sahatavaroiden osuus.

$$\text{Arvon alennus (perinteinen)} = [1 - (0,32 + 0,68 \times 140/200)] \times 100 \% = 20,4 \%$$

$$\text{Arvon alennus (kiertäen sahaus)} = [1 - (0,6 + 0,4 \times 140/200)] \times 100 \% = 12 \%$$

Vastaavat luvut kuivattaessa 10 %:n kosteuteen ovat 24 % ja 22,5 %.

Investoinnista johtuvat pääomakustannukset ja laitteiston huollon lisäkustannukset ovat pieniä arvonalennuksista johtuviin eroihin verrattuna. Muilta osin kuivauskustannukset ovat eri tavaroille samat. Chalmersin yliopiston tekemien laskelmien mukaan pientukin kiertäminen sahausksessa lisää myyntituloja vientikuivatun tavarann osalta noin 14 euroa kuutiometriä kohden. Puusepänkuivauksessa lisätulo kattoi juuri lisäkustannukset. Tilaanne muuttuu, jos kiertäminen optimoidaan alhaisen loppukosteuden mukaan.

3.2.4 Suoruus käytössä

Suoruuden pysyvyyden selvittämiseksi puita pidettiin vapaasti roikkumassa aina kerrallaan 3 kk suhteellisissa kosteuksissa 85 %, 30 % ja 85 %. Lämpötila oli 23 °C. Puun kosteudet syklien lopussa olivat n. 18, 10 ja 17 %. Muodonmuutokset on redusoitu vertailua varten 15 %:n kosteuteen. Taulukossa 3 esitetään kierouden osalta hyväksytyjen puiden osuudet ensimmäisen ja toisen kostean tasaannutusjakson jälkeen.

Taulukko 3. Suorien sahatavaroiden osuudet riippuvarastoinnin jälkeen (katso kohta 2.5). Kieroudet on redusoitu 15 %:n kosteuteen. Hyväksyntäraja on 4 mm / 100 mm / 2 m.

Sahaustapa	Hyväksytyjen osuus (%) 1. jakson jälkeen	Hyväksytyjen osuus (%) 3. jakson jälkeen
Vakiokierto sahauksessa	40	36
Suoraan sahaus	30	30
Yksilöllinen kierto sahauksessa	48	46
Suoraan sahaus	26	22

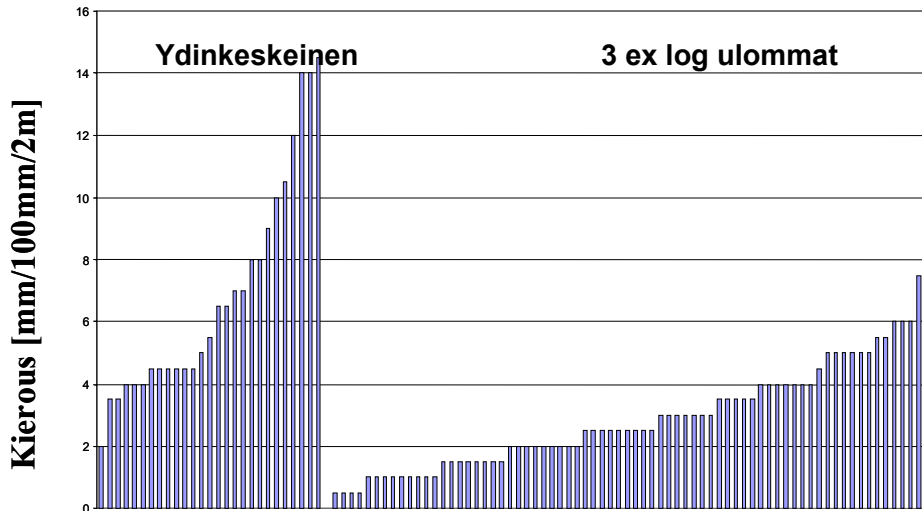
10 %:n kosteudessa kiertäen sahatuista vain 25 % täytti asetetun suoruuksvaatimuksen. Suoraan sahattujen osalta luku oli 20 %. Syynä kiertäen sahauksen alhaiseen hyväksyntäprosenttiin on, että kiertämisen määrää ei ollut optimoitu kyseisen alhaisen kosteuden mukaan.

3.3 Ydinkeskeisen tavarank halkaisu ja tuoreliimaus

Ydinkeskeisellä tavaralla (kuva 13) on tunnetusti suuri taipumus kieroutua. Etäisyyden kasvaessa ytimestä sahatavaran suoruuks lisääntyy (kuva 14).

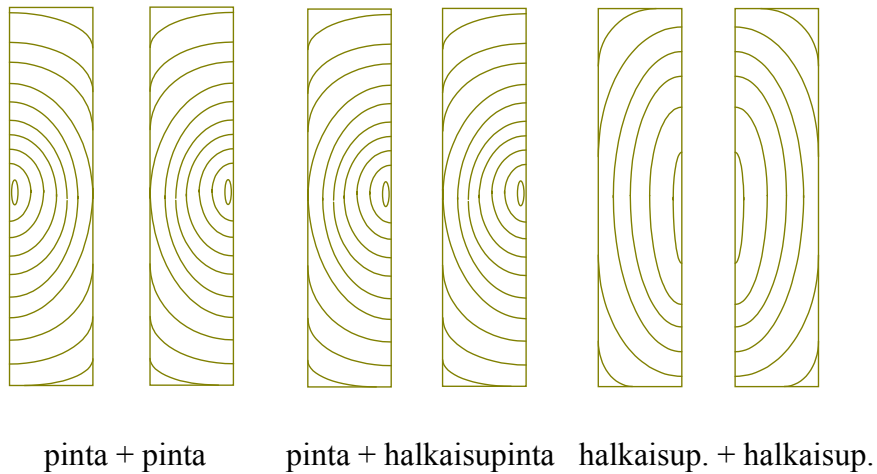


Kuva 13. Ydinkeskeinen sahatavara.



Kuva 14. Ydinkeskeisten 50 x 100 mm soirojen ja niiden molemmin puolin sahattujen tavaroiden kieroudet (3 ex log -sahaus).

BRE tutki ydinkeskeisen sahatavaran jalostamista halkaisemalla ja liimaamalla puoliskot uudelleen yhteen. Ensimmäisessä vaiheessa selvitettiin, mikä yhteenliimausvaihtoehto (kuva 15) antaa parhaan tuloksen. Toisessa vaiheessa tutkittiin laajemmalla aineistolla parhaan tuloksen antaneen rakenteen suoruutta.



Kuva 15. Yhteenliimausvaihtoehdot.

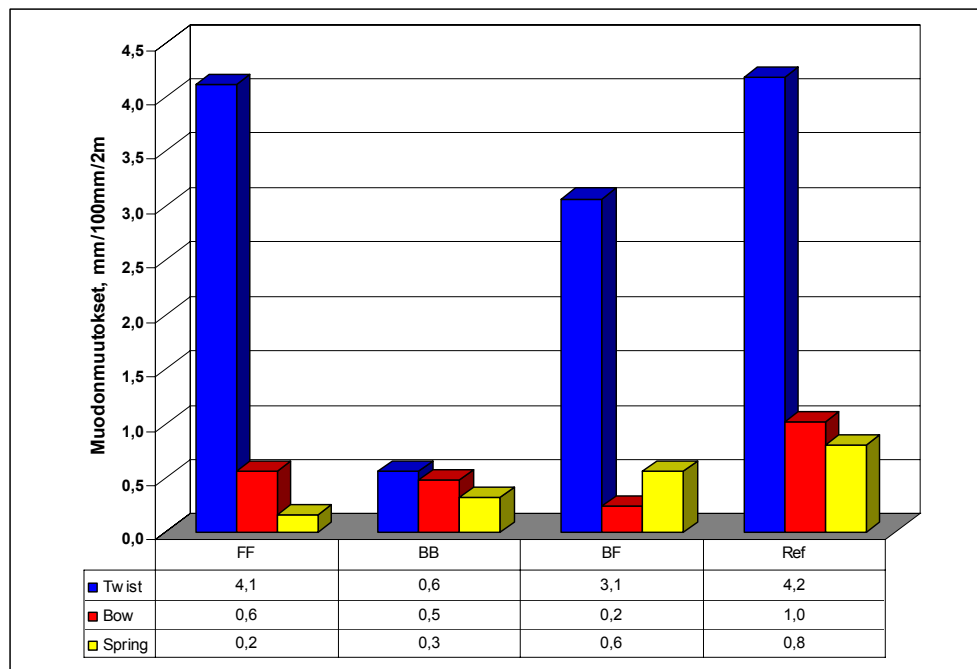
3.3.1 Menetelmän kuvaus

Sahausasetteita muutetaan joko kaikkien tukkien tai vain suurten tukkien osalta niin, että keskeltä otetaan ydinkeskeinen sahatavara. Sen tuorepaksuus valitaan 5 mm normaalia paksuutta suuremmaksi. Lisäpaksuuden ansiosta tavara on erotettavissa dimensiolajittelijalla helposti omaan lokeroonsa.

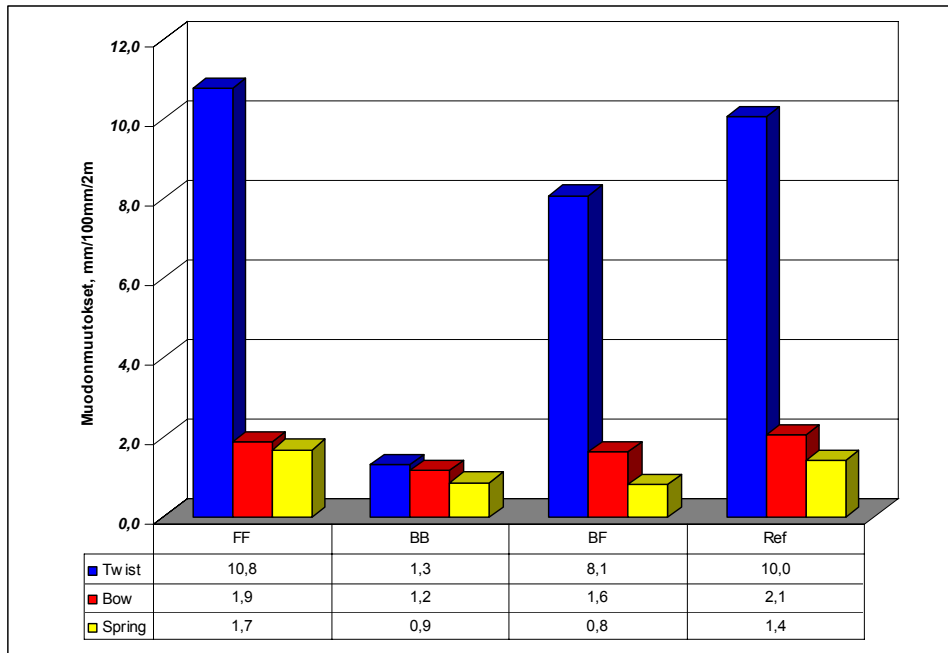
Saheet jalostetaan tuoreena erillisellä linjalla. Siellä ne halkaistaan sekä höylätään alkuperäisiltä pinnoiltaan, jotka liimataan yhteen tuoreliimaukseen soveltuvalla liimalla. Projektissa käytettiin ruskeaa GreenWeld-liimaa sekä vaaleaa polyuretaaniliimaa.

3.3.2 Tulokset

Eri tavoin yhteenliimatut kappaleet rimoitettiin ja kuivattiin kuivaamossa 20 %:n kosteuteen, minkä jälkeen muodonmuutokset mitattiin. Tavaroiden annettiin tasaantua edelleen 13 %:n kosteuteen, minkä jälkeen tehtiin uusintamittaus. Tulokset esitetään kuvissa 16 ja 17.



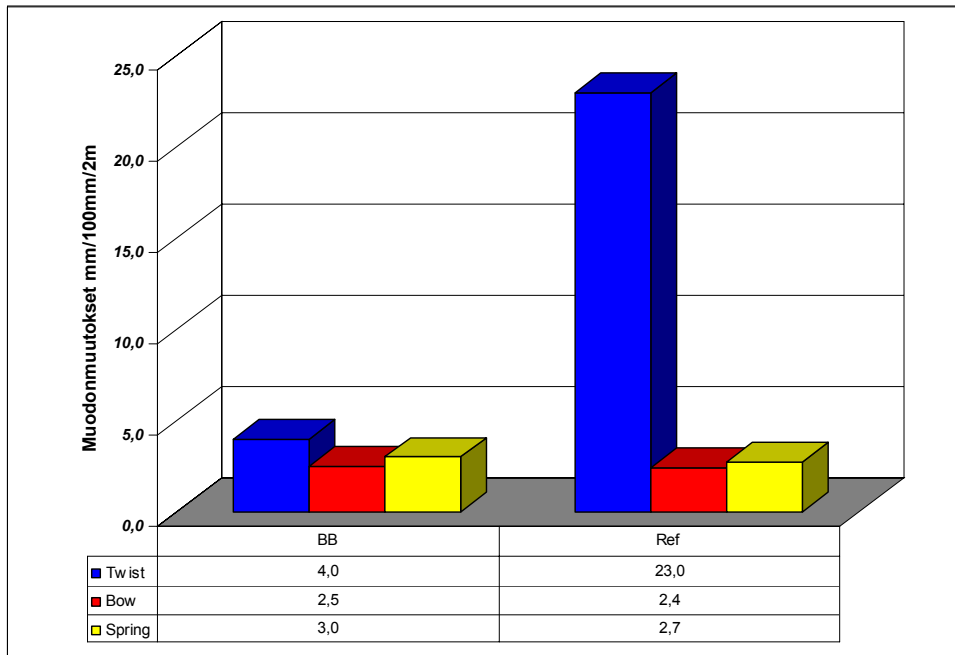
Kuva 16. Eri tavoin yhteenliimattujen kappaleiden sekä ydinkeskeisen vertailukappaleen muodonmuutokset kuivauksen jälkeen 20 %:n kosteudessa. Merkinnot: FF = halkaisupinnat yhteen, BB = alkuperäisen saheen pinnat yhteen, BF = halkaisupinta + pinta, Ref = ydinkeskeinen vertailukappale. Ryhmien tolpat vasemmalta oikealle: kieroisuus (twist), lapevääryys (bow) ja syrjävääryys (spring).



Kuva 17. Yhteenliimattujen kappaleiden sekä ydinkeskeisen vertailukappaleen muodonmuutokset kuivauksen ja tasaannutuksen jälkeen 13 %:n kosteudessa. Merkinnät: katso edellisen kuvan teksti.

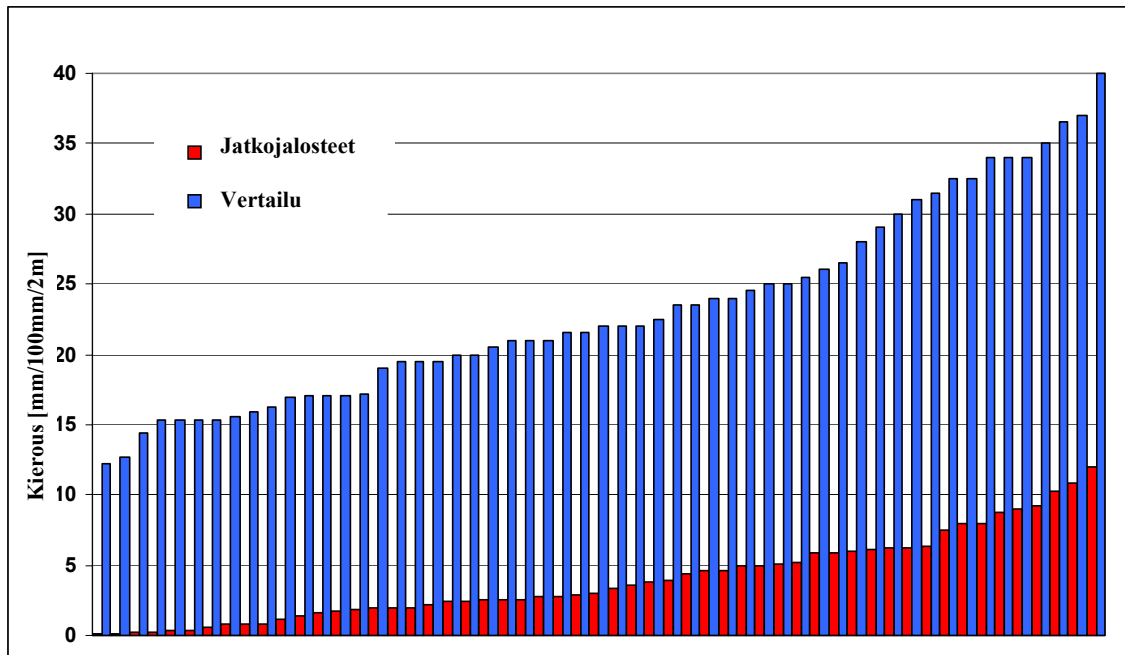
Tulokset osoittavat selkeästi, että paras tulos saavutetaan liimaamalla alkuperäiset pinnat vastakkain. Tässä vaihtoehdossa kosteuden aleneminen 13 %:iin lisää muodonmuutoksia vain vähän, kun taas vertailuryhmässä etenkin kierous kasvaa huomattavan suureksi.

Hyvän tuloksen varmistamiseksi valittiin eräällä englantilaisella sahalla 50 ydinkeskeistä sahetta (50 x 100 x 4 800 mm). Ne katkaistiin kahteen osaan, joista toinen puolisko toimi vertailukappaleena ja toinen höylättiin pinnoiltaan, halkaistiin ja liimattiin polyuretaaniliimalla höylätyt pinnat yhteen. Puristusaika oli 30 minuuttia. Tämän jälkeen kaikki saheet kuivattiin lämminilmakamarikuivaamossa 14 %:n kosteuteen ilman yläpuolista kuormitusta. Kuivauksen jälkeiset keskimääräiset muodonmuutokset esitetään kuvassa 18. Yksittäisten kappaleiden kieroudet kuivauksen jälkeen ovat kuvassa 19.



Kuva 18. Tuoreliimauksella jalostettujen tuotteiden ja ydinkeskeisten vertailupuiden muodonmuutokset kuivauksen jälkeen 14 %:n kosteudessa. Merkinnät: katso kuvan 16 teksti.

Muodonmuutokset ovat kohtuulliset mutta oleellisesti suuremmat kuin ensimmäisessä kokeessa (kuva 17). Suora kuivaus 14 %:iin johtaa suurempaan loppukosteuden hajontaan ja myös ylikuiviin kappaleisiin verrattuna ensimmäisessä kokeessa käytettyyn kuivaukseen ja tasaannutukseen. Suureen muodonmuutoseroon sarjojen välillä vaikuttavat oleellisesti raaka-aineominaisuuksien erot.



Kuva 19. Yksittäisten kappaleiden kieroudet (mm / 100 mm / 2 m) jatkojalostetuissa puissa (matalat tolpat) ja vertailukappaleissa.

3.3.3 Suoruus käytössä

Muodonmuutokset kasvavat kosteuden aletessa ja pienenevät sen kasvaessa sekä liima-
tuilla että vertailupuilla. Muodonmuutokset eivät näytä lisääntyvän pitkäaikaistestissä.
Hyväksytyjen puiden osuus on pikemminkin vähän kasvanut ensimmäisen ja toisen
kostean syklin mittausten välillä (taulukko 4). Tähän on osittain syynä kuivaus ilman
yläpuolista kuormitusta. Kuormanpainimien käyttö kuivauksessa (ks. kohta 3.4) toden-
näköisesti parantaisi suoruutta etenkin välittömästi kuivauksen jälkeen, mutta kuormi-
tuksen vaikutus tuntuu jossain määrin vielä myös riippuvarastoinnin jälkeen.

Taulukko 4. Suorien puiden osuudet riippuvarastoinnin jälkeen (katso kohta 2.3.3). Kie-
roudet on redusoitu 15 %:n kosteuteen. Hyväksyntäraja on 4 mm / 100 mm / 2 m.

Käsittely	Hyväksytyjen osuus (%) 1. jakson jälkeen	Hyväksytyjen osuus (%) 3. jakson jälkeen
Ydinkeskeinen vertailu- aineisto	0	0
Tuoreliimauksella jalostetut puut	70,9	72,7

3.3.4 Kustannustarkastelu

Menetelmän käyttöönotto edellyttää sahausasetteiden ja tukkiluokkarajojen muutoksia. Näistä johtuvat kertakustannukset eivät ole kovin suuret. Uusi ydinkeskeisen tavaran jatkojalostuslinja edellyttää huomattavaa investointia.

Menetelmä parantaa tavaran laatua merkittävästi. Tutkituista vertailukoekappaleista mikään ei täyttänyt lujuuslajittelun vaatimuksia muodonmuutosten osalta. Sen sijaan vain kaksi liimattua kappaletta viidestäkymmenestä hylättiin visuaalisessa tarkastuksessa liiallisten muodonmuutosten takia.

Liimattuja tuotteita ei kannata myydä muun tavaran mukana vaan erillisenä tuotteena, jolloin niistä voidaan saada korkeampi hinta. Tällöin kohonneet jalostuskustannukset ovat helpommin katettavissa.

3.4 Rimapaketin yläpuolinen kuormitus

Aiemmat tutkimukset ovat osittaneet, että sahatavaran yläpuolinen kuormitus kuivauksen aikana parantaa sahatavaran suoruutta. Tässä tutkimuksessa oli tavoitteena kehittää uusia yläpuolisen kuormituksen ratkaisuja ja määrittää niiden vaikutukset sahatavaran suoruuteen. Tavoitteena oli lisäksi tuottaa tietoa kaupallisten kuormitusjärjestelmien kehittämiseen.

Osahankkeeseen osallistuivat NTI, BFH, BRE ja VTT. Pääasiassa yläpuolinen lisäkuormitus pidettiin vakiona koko kuivauksen ajan. NTI tutki myös muuttuvan kuormituksen vaikutusta. Puun ollessa vielä märkää voidaan käyttää pientä kuormitusta ja puun kuivuessa kuormitusta voidaan lisätä. Tällöin taataan puun pysyminen suorana kuivauksessa mutta voidaan välttää rimanpainaumat.

3.4.1 Menetelmä

Sahatavara voidaan pitää suorana kuivauksessa erilaisin rimapaketin päälle laitettavin painoin. Käytettyjä ratkaisuja ovat mm. erilaiset betonipainot. Ne voivat olla betonipalkkeja tai levyjä tai erityisesti tarkoitukseen valettuja laattoja, joissa on syvennykset trukin sorkille. Myös rautatiekiskoista valmistettuja painoja on käytössä. Sahat ovat investoineet yhä enemmän pneumaattisiin tai hydraulisiin kuormanpainimiin.

Vaikka sahatavara saadaankin pysymään suorana kuivauksen ajan, tulee tavaraan haitallisia muodonmuutoksia kuivauksen jälkeen yläpuolisen kuormituksen poistuessa. Tähän

palautumisilmiöön (spring back effect) vaikuttavat käytetty kuivauskaava ja tasaannutusolosuhteet. Avaintekijöitä ovat viruminen ja virumista edistävät olosuhteet.

Yläpuolinen kuormitus vaikuttaa eniten ylimmissä rimakuorman kerroksissa, kun taas syvemmillä kuormassa kuorman oma paino pitää tavaran suorana. Tarvittava kuormitus riippuu etenkin dimensiosta, puulajista ja kuivauskaavasta. Kunkin puulajin mekaaniset ominaisuudet (kimmomoduli ja viruminen) kuivauslämpötilassa vaikuttavat jäykkyyteen ja sahatavaran tasomaisena ja suorana pitämiseen tarvittavaan voimaan.

Ohut ja leveä tavara pysyy tasomaisena hyvin pienellä kuormituksella verrattuna neliön muotoiseen poikkileikkaukseen. Toisaalta leveän tavaran sivusuuntainen jäykkyys on suuri. Yleensä leveät laudat ovat symmetrisesti sahattuja, ja syrjävääryyttä aiheuttavat voimat kumoavat toisensa. Läpisahausta ja kuivausta ennen työstöä onkin käytetty puupänteollisuudessa vähentämään haitallisia muodonmuutoksia.

Periaatteessa syrjävääryyttä voidaan vähentää kuorman sivuttaispuristuksella. Käytännön ratkaisut ovat kuitenkin hankalia, etenkin kun puristuksen täytyy vaikuttaa myös puun kutistuessa.

3.4.2 Tulokset

Päätulos on, että yläpuolisella kuormituksella voidaan vähentää muodonmuutoksia, etenkin kieroutta, mutta myös lape- ja syrjävääryyttä. Pidettäessä tavara suorana kuivaamisen ajan se jää virumisen ansiosta suuremmaksi kuin ilman kuormitusta.

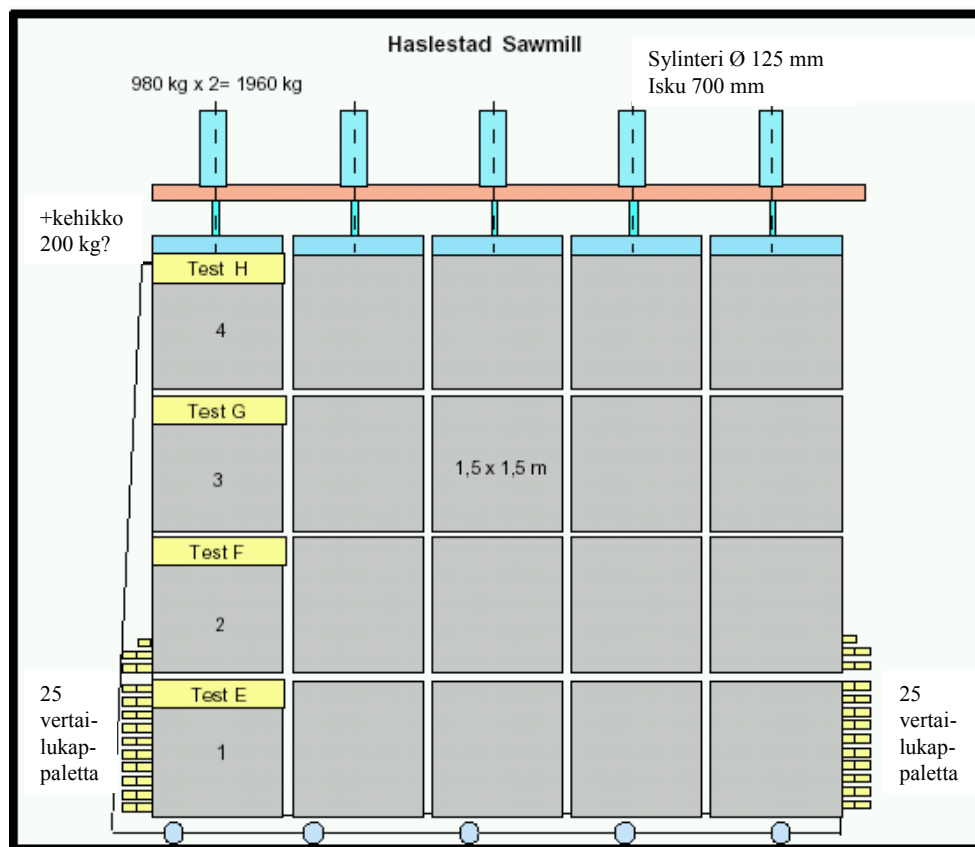
Optimaalinen ja riittävä kuormitus riippuu paitsi puulajista, dimensiosta ja loppukosteudesta myös kuorman korkeudesta, rimojen määrästä, kuormitus-mekanismista ja kuivaamon rakenteesta.

Straight-projektissa tutkittiin vain kuusen ja sitkakuusen dimensiota 50 x 100 mm. Tulosten perusteella voidaan päätellä myös, miten kuormitusta tulee lisätä tai vähentää dimension muuttuessa tai kuivattaessa jäykkyydeltään erilaista puulajia.

Muodonmuutoksiin vaikuttaa myös rimojen määrä ja sahatavaran ja rimojen välinen kitka. Riittävät kitkavoimat estävät sivuttaiset muodonmuutokset, vaikka kutistumisen takia kappaleiden välille muodostuukin rakoja. Rungasrimoitus estää muodonmuutokset rimojen välillä. Kun vapaat päät jäävät lyhyiksi, ovat niistä johtuvat muodonmuutokset myös vähäisiä.

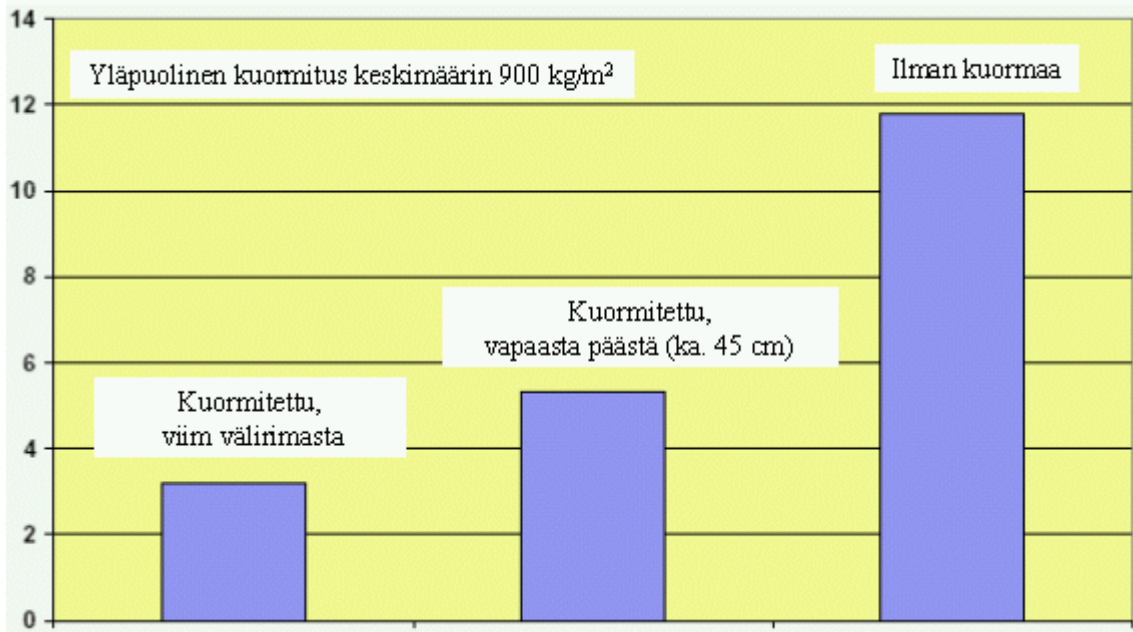
3.4.2.1 Kuormitustason vaikutus muodonmuutoksiin

NTI tutki yläpuolisen kuormituksen tason vaikutusta lämminilmakuivatun (70 °C) sahatavaran muodonmuutoksiin ja siihen, kuinka hyvin sahatavara täytti suoruusvaatimukset. Kuvassa 20 esitetään koepuuerien sijainti Haslestadin sahan kuivaamossa. Vertailukappaleet on sijoitettu varsinaisen kuorman ulkopuolelle siten, että niitä eivät kuormita edes muut koepuut. Muut ryhmät olivat eri syvyyksillä ja siten eri tavoin kuormitettuja. Painimen aiheuttaman kuormituksen lisäksi kutakin koeryhmää painoivat suoraksi yläpuolella olevat puut. Vastaavia kokeita tehtiin myös Begnan sahalta.

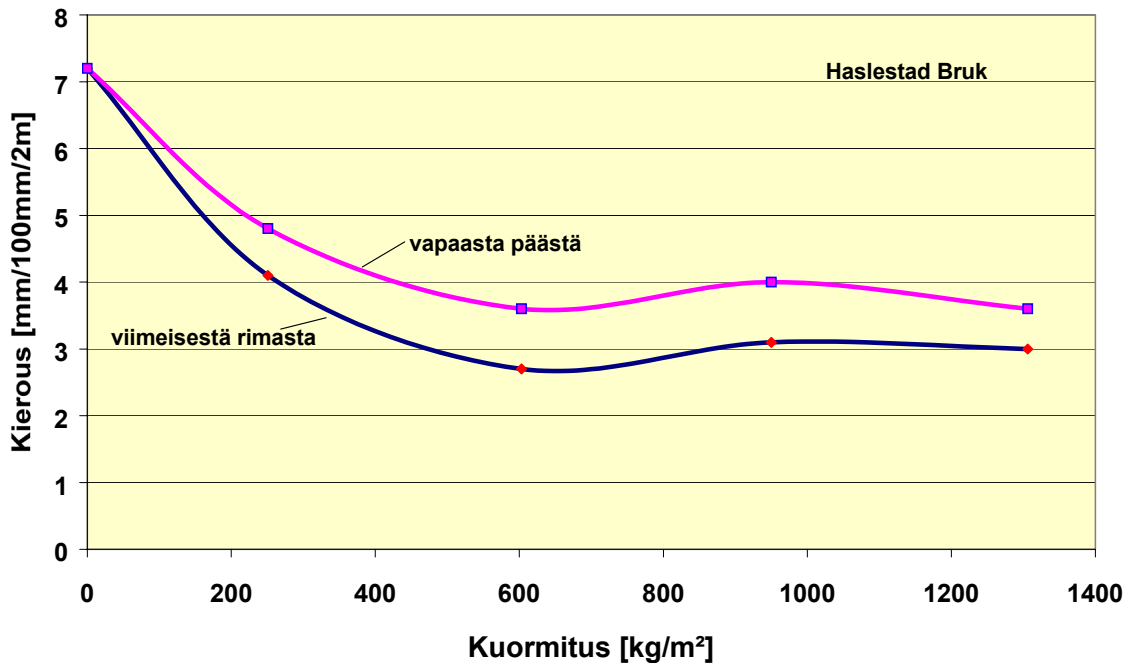


Kuva 20. Koejärjestely NTI:n kokeessa Haslestadin sahalta Norjassa. Kunkin rimapaaketin yläosassa on koemateriaalia. Vertailupuut ovat kuormittamattomina kuorman sivuilla.

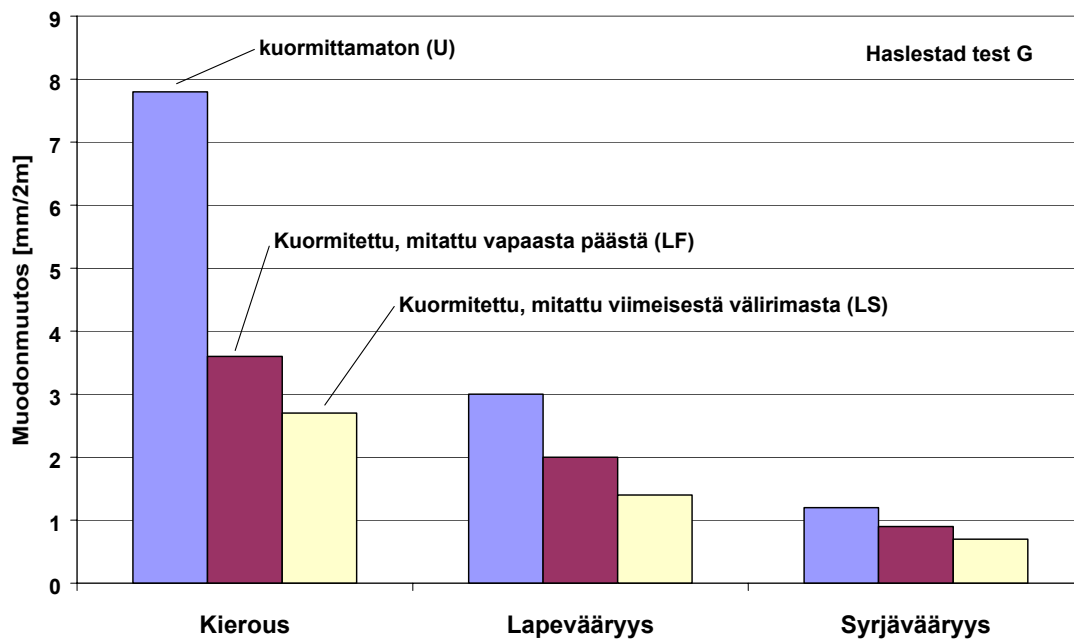
Kuvissa 21–23 on NTI:n tutkimuksen tuloksia kuormituksen vaikutuksesta. Kuormittamattomista ja painon alla kuivatusta puista otetusta valokuvasta (kuva 24) näkyy konkreettisesti menetelmällä kuivauskuorman ylimpien kerrosten osalta saavutettava hyöty.



Kuva 21. Kuormituksen (900 kg/m^2) vaikutus sahatavaran kierouteen (mm / 2 m / 100 mm). Kierous on mitattu 2 metrin matkalta sekä vapaasta päästä että viimeisestä välinimasta lukien.



Kuva 22. Yläpuolisen kuormituksen vaikutus kierouteen.



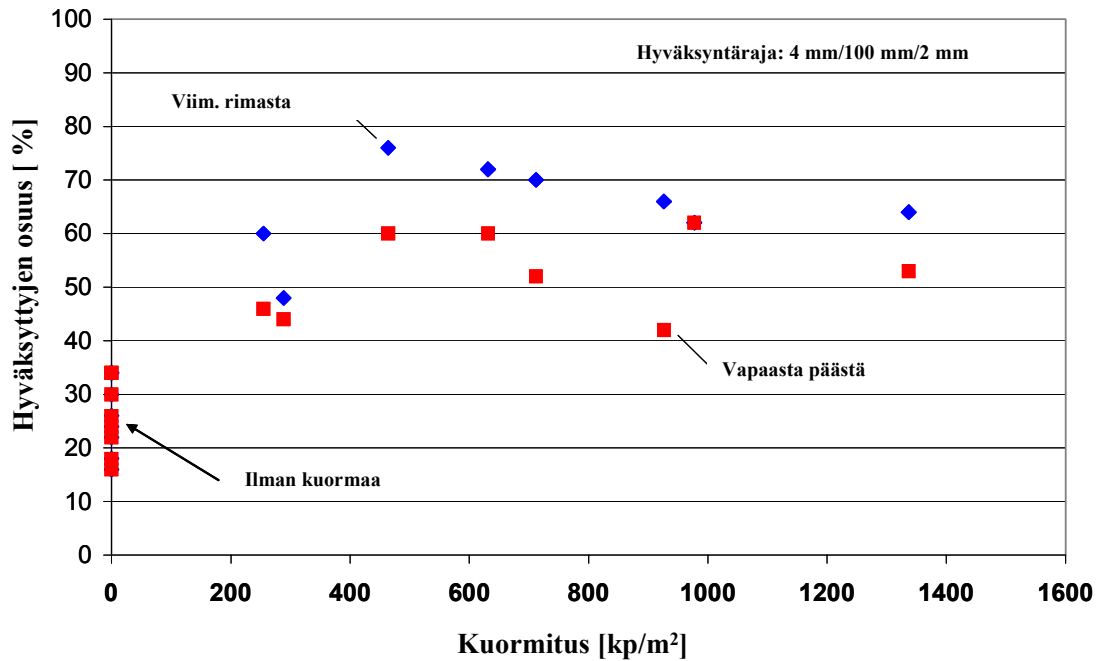
Kuva 23. Kuormituksen (900 kg/m^2) vaikutus muodonmuutoksiin.



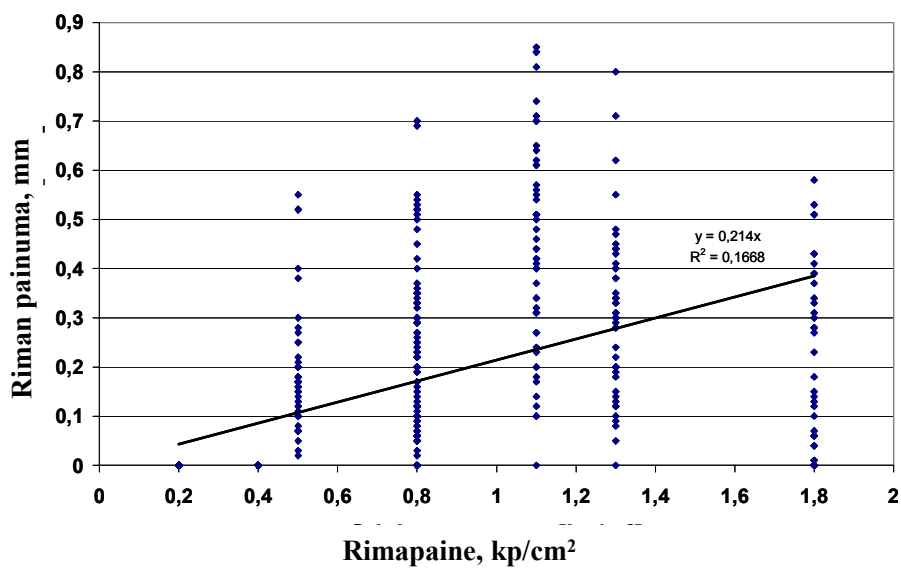
Kuva 24. Kuormitettuja ja kuormittamattomia sahatavaroita kuivauksen jälkeen.

Kuvat osoittavat, että yläpuolinen kuormitus vähentää oleellisesti sahatavaran muodonmuutoksia. Eniten vähenee kierous. Näyttää siltä, että riittävä kuormitus on $400\text{--}600 \text{ kg/m}^2$ kuivattaessa $50 \times 100 \text{ mm}$ kuusta. Kuormituksen lisääminen tästä ei paranna suorutta. Kuormituksen tulee pitää tavara suorana koko kuivauksen ajan. Syrjäväärityden osalta tämä tarkoittaa, että sahatavaran ja väliriman välisen kitkan tulee estää sivuliikkeet.

Oleellista sahan kannalta on tietää, kuinka paljon menetelmä parantaa laatuvaatimukset täyttävän tavaran osuutta. Kuvassa 25 esitetään, miten kuormitustaso vaikuttaa siihen, kuinka paljon tavaroista on kieroudeltaan alle 4 mm / 100 mm / 2 m. Muodonmuutokset on redusoitu 15 %:n kosteutta vastaaviksi.



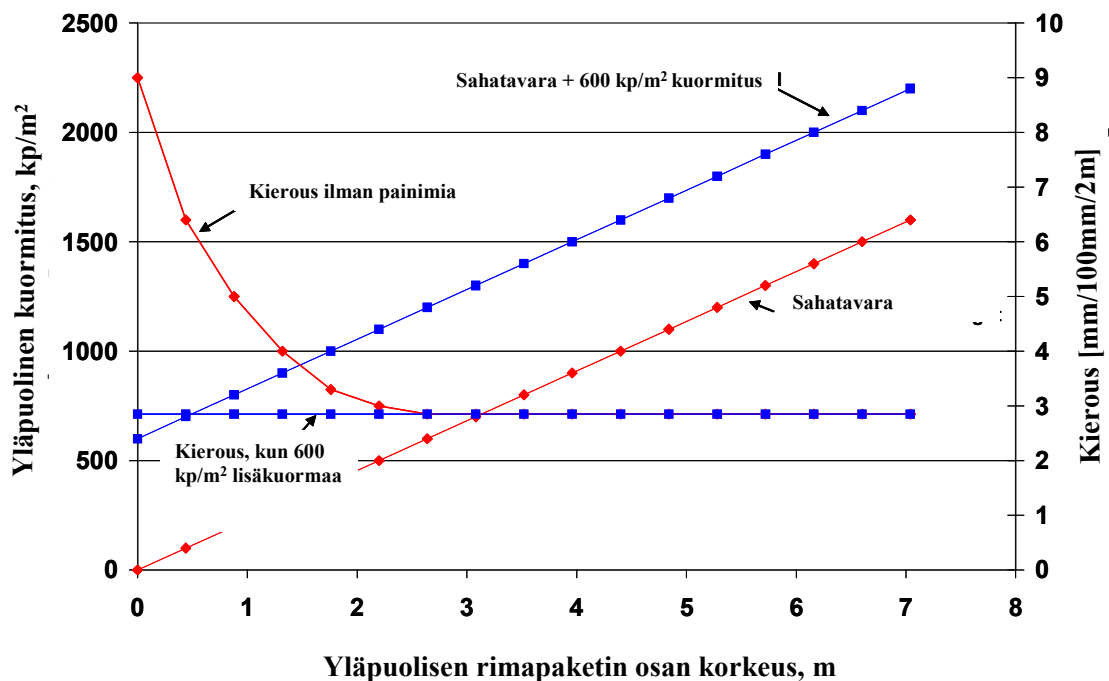
Kuva 25. Hyväksytyjen kuusisoirojen osuudet kuivauksen jälkeen, kun kriteerinä oli, että kierous on alle 4 mm / 100 mm / 2 m 15 %:n kosteudessa. Dimensio oli 50 x 100 mm².



Kuva 26. Rimapaineen vaikutus riman painumaan.

Rimanpainaumat voivat rajoittaa yläpuolisen kuormituksen määrää. Kuitenkaan suurimmillakaan kokeissa käytetyillä kuormituksilla ei rimanpainaumia pidetty sahoilla ongelmana. Kupertumisen takia rimajäljet tulevat etenkin sydänlappen keskelle ja pinalappen reunoille, joista ne poistuvat oikeasevassa höyläyksessä. Sahatavaran paksuuden kasvaessa rimanpainaumat syvenivät. Vuosirengasväli ei vaikuttanut rimajälkiin. Kuvassa 26 esitetään NTI:n tekemien rimanpainumamittausten tulokset.

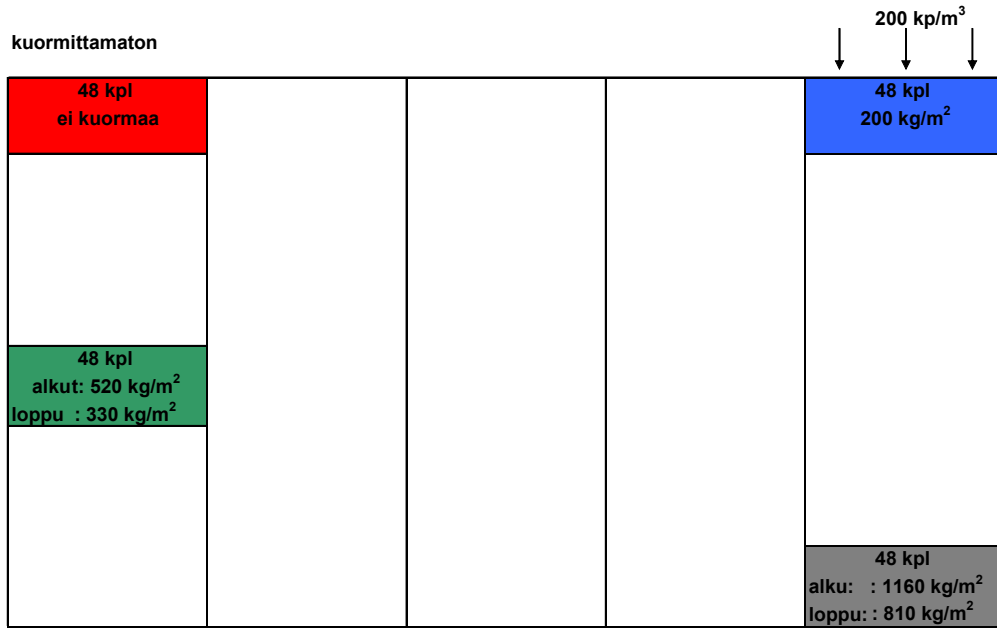
Yläpuolinen lisäkuormitus vaikuttaa eniten ylimpiin kerroksiin. Merkitys vähenee syvemmällä kuormassa, kun puut painavat alla olevia kerroksia. Kun yläpuolisten puiden paino riittää pitämään alapuoliset suorassa, ei lisäkuormasta ole hyötyä. Tätä havainnollistetaan kuvassa 27.



Kuva 27. Rimapaketin korkeuden vaikutus sen alapuolella olevien sahatavaroiden kokonaiskuormitukseen ja kierouteen yläpuolisen 600 kp/m² lisäkuormituksen kanssa ja ilman.

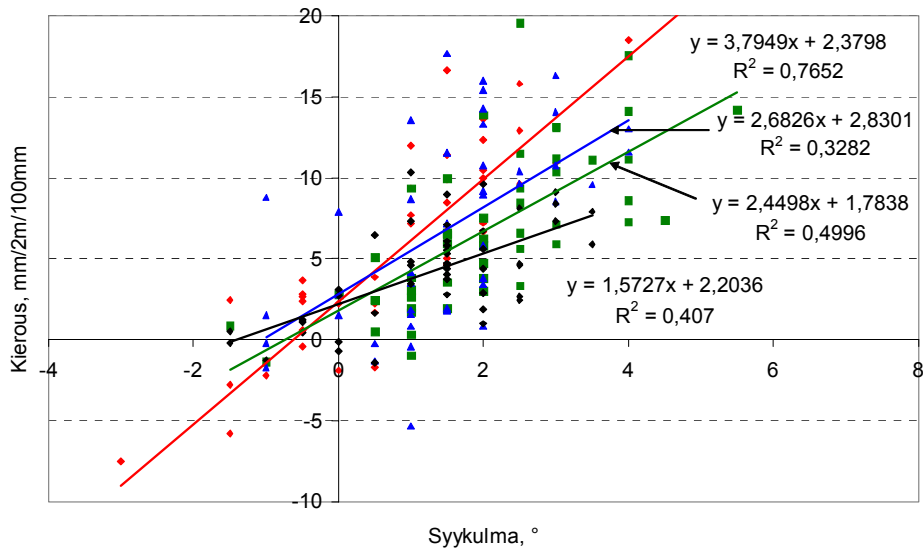
3.4.2.2 Vinosyisyyden ja yläpuolisen kuormituksen vaikutus

Stora Enso Timberin Kotkan sahalla tutkittiin vinosyisyyden ja yläpuolisen kuormituksen vaikutusta muodonmuutoksiin sekä lämminilma- että kuumakuivauksessa. Kuvassa 28 esitetään eri kuormitusryhmien sijainnit ja yläpuoliset kuormitukset kuivaamossa.

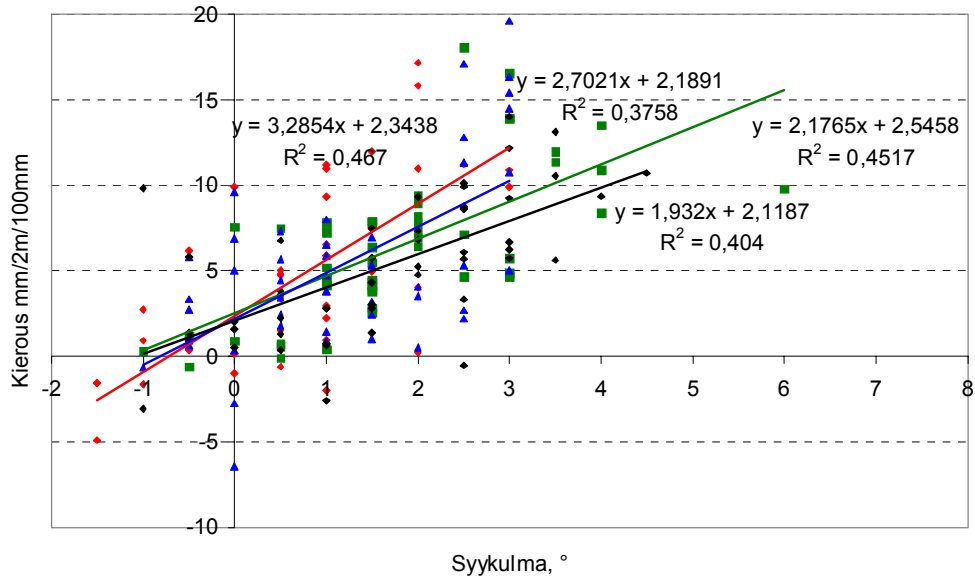


Kuva 28. Puiden yläpuoliset kuormitukset Stora Enso Timberin Kotkan sahalla tehdyssä kuivauskokeessa.

Yläpuolisen kuormituksen ja vinosyisyyden vaikutukset kierouteen lämminilma- (70 °C) ja kuumakuivauksessa (105 °C) esitetään kuvissa 29 ja 30.



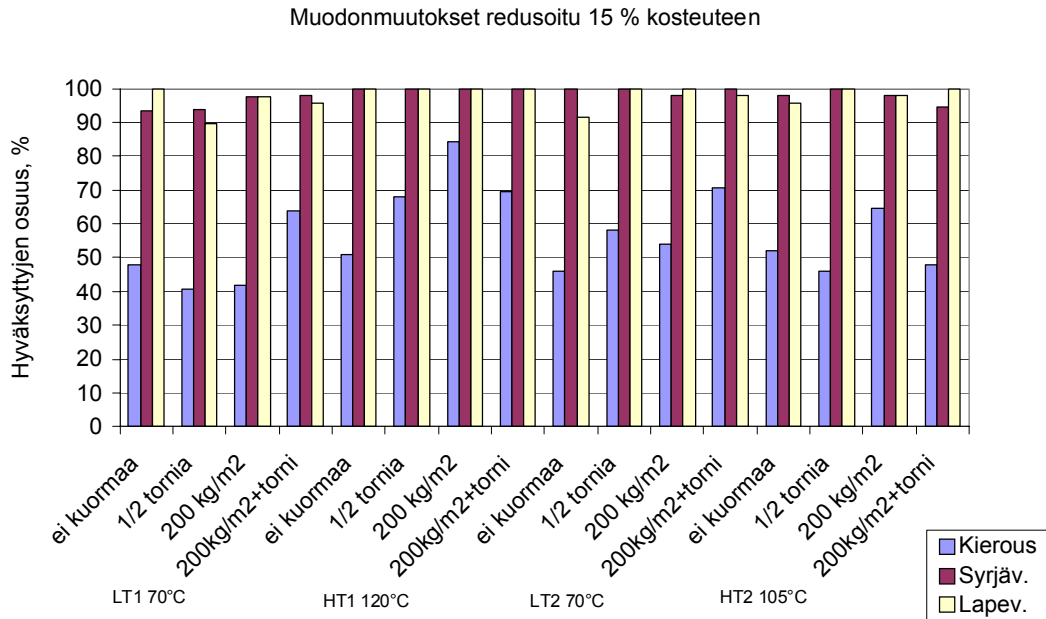
Kuva 29. Yläpuolisen kuormituksen (katso kuvan 28 värikoodit) ja syykulman vaikutus kierouteen teollisessa lämminilmakuivauksessa 70 °C:ssa.



Kuva 30. Yläpuolisen kuormituksen (katso kuvan 28 värikoodit) ja syykulman vaikutus kierouteen teollisessa kuumakuivauksessa 105 °C:ssa.

Kuvista nähdään, että kierous vähenee kuormituksen kasvaessa. Lämpötila ei juuri näytä vaikuttavan kierouteen. Regressiosuorat ja niiden selitysasteet (R^2) osoittavat, että syykulma on pääasiallinen syy sahatavaran kierouteen.

Teollisuuden kannalta on oleellista, kuinka hyvin sahatavara täyttää asetetut laatuvaatimukset. Kuvassa 31 esitetään, kuinka monta prosenttia eri kuivausten tavaroista täyttää taulukossa 1 asetetut laatuvaatimukset. Muodonmuutokset on redusoitu 15 %:n kosteuteen. Mittaukset tehtiin 2–4 viikon sisätilassa tapahtuneen varastoinnin jälkeen. Näin ollen palautumisen takia muodonmuutokset ovat jonkin verran suurempia kuin välittömästi kuivauksen jälkeen. Tämä vastaa tilannetta monella jatkojalostuslaitoksella.



Kuva 31. Straight-projektissa käytettyjen muodonmuutosrajojen mukaan hyväksytyjen puiden osuudet kuivauksittain ja kuormitusryhmittäin.

Kuvasta nähdään, että lape- ja syrjävääryys tuottaa harvoin ongelmia. Pienläpimittaisesta kuusesta sahatusta tavarasta sen sijaan vain noin puolet täyttää asetetut kieroutta koskevat laatuvaatimukset.

Yhteenvetona teollisuuskokeista voidaan todeta, että riittävä yläpuolinen kuormitus vähentää muodonmuutoksia. Dimensioltaan 50 x 100 mm² olevalle kuusisahatavaralle 500 kp/m² on riittävä yläpuolinen kuormitus. Palautuminen lisää jonkin verran muodonmuutoksia kuivauksen jälkeen.

3.4.3 Suoruus käytössä

Osa tutkimusaineistosta ripustettiin vapaasti roikkumaan tasaannutushuoneisiin. Puita pidettiin aina kerrallaan 3 kk suhteellisissa kosteuksissa 85 %, 30 % ja 85 %. Lämpötila oli 23 °C. Puun kosteudet syklien lopussa olivat n. 18, 10 ja 17 %. Muodonmuutokset on redusoitu vertailua varten 15 %:n kosteuteen. Hyväksyntäprosentit ovat taulukossa 5.

Stora Enso Timberin Kotkan sahalla kuivattiin soiroja lämminilma- ja kuumakuivamossa erisuuruisten yläpuolisten kuormitusten alaisena. Hyväksytyjen puiden osuudet esitetään taulukossa 6.

Taulukko 5. Suorien sahatavaroiden osuudet lämminilmakuivauksen ja riippuvarastoinnin jälkeen (katso kohta 2.3.3). Kieroudet on redusoitu 15 %:n kosteuteen. Hyväksyntäraja on 4 mm / 100 mm / 2 m. NTI:n kokeet Norjassa.

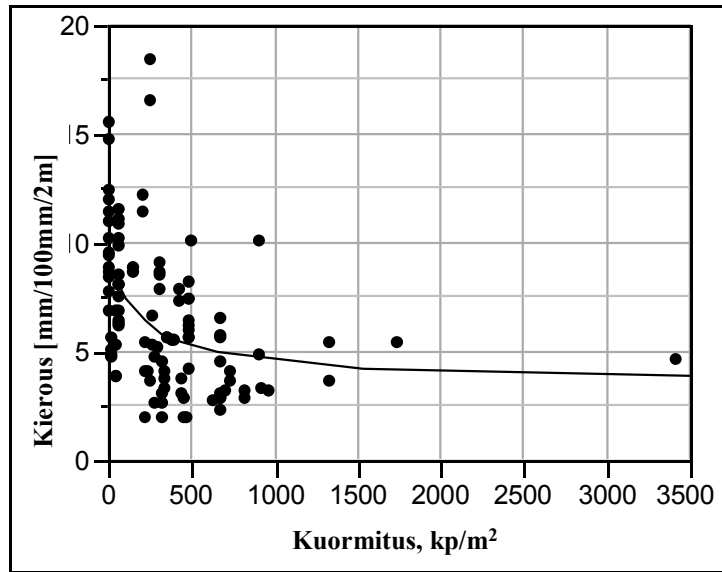
Yläpuolinen kuormitus kg/m ²	Hyväksytyjen osuus (%) 1. jakson jälkeen	Hyväksytyjen osuus (%) 3. jakson jälkeen
0	29,0	29,0
700	40,0	36,0
1 300	39,5	39,5

Taulukko 6. Suorien sahatavaroiden osuudet lämminilma- ja kuumakuivauksen jälkeisen riippuvarastoinnin jälkeen (katso kohta 2.3.3). Kieroudet on redusoitu 15 %:n kosteuteen. Hyväksyntäraja on 4 mm / 100 mm / 2 m. LK = lämminilmakuivaus, KK = kuumakuivaus.

Kuivaus/kuormitus kg/m ²	Hyväksytyjen osuus (%) 1. jakson jälkeen	Hyväksytyjen osuus (%) 3. jakson jälkeen
LK/0	25,0	22,9
LK/200	33,3	29,2
LK/700	31,3	25,0
KK/0	37,0	37,0
KK/200	35,6	33,3
KK/700	25,0	25,0

3.4.4 Yhteenveto ja tulosten tarkastelua

Päätavoitteena oli löytää yläpuolisen kuormituksen ja muodonmuutosten välinen riippuvuus, joten kokeita tehtiin laajalla kuormitusalueella. Suurin kuormitus oli 3 418 kp/m². Kuvaan 32 on koottu Straight-projektin 107 kokeen tulokset. Hyvin vaihtelevat tulokset osoittavat, että niihin vaikuttavat kuormituksen lisäksi monet muut parametrit, kuten vinosyisyys ja muut kasvutekijät.



Kuva 32. Yläpuolisen kuormituksen vaikutus kierouteen. Pisteet ovat 107 kokeen mittausten keskiarvoja.

Kuten kuvasta 32 näkyy, kuormituksen lisääminen 0–600 kp/m² vähentää kieroutta selvästi (kaava 2). Suurempien kuormien vaikutus on vähäistä, eikä niiden käyttö näin ollen ole taloudellisesti kannattavaa.

$$\text{Kierous} = \frac{1180}{\text{Kuormitus} + 195} + 3,63 \text{ (mm / 100 mm / 2 m)}, \quad (2)$$

missä kuormituksen yksikkö on kp/m².

3.4.5 Päätelmiä

Yläpuolinen kuormitus vähentää etenkin kieroutta mutta jossain määrin myös lapevääräryttä. Sen sijaan vaikutus syrjävääräryteen on epäselvä.

Tulosten mukaan yläpuolisen kuormituksen ollessa 600 kp/m² sahatavara pysyy suorana kuivauksessa. Suuremmilla kuormituksilla kierouden väheneminen on vähäistä. Lapevääräryys sen sijaan jopa kasvaa, jos rimoitus ei ole aivan kohdallaan.

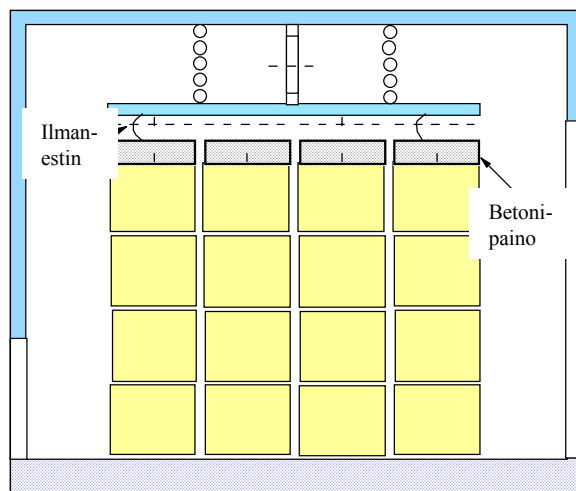
Tärkeää on havaita, että jo pienillä kuormituksilla suoruus paranee huomattavasti. Esimerkiksi jo puolella optimikuormasta (600 kp/m²) kierous alenee 80 % saavutettavissa olevasta kokonaisparanemisesta.

3.4.6 Suosituksia kuormituksen järjestämiseksi

Kuormitus voidaan järjestää kahdella eri tavalla:

- betoni- tai muilla painoilla, jotka laitetaan ylimpien rimapakettien tai tornien päälle
- kuivaustornien yläpuolisilla pneumaattisilla tai hydraulisilla kuormanpainimilla.

Kuorman leveyden ollessa 1,5 m ja pituuden 6 m tarvitaan 600 kg/m^2 puristuksen aikaansaamiseksi jokaisen tornin päällä $5\,400 \text{ kg}$:n painot. Betonin tiheyden ollessa $2\,400 \text{ kg/m}^3$ tämä saadaan aikaan 25 cm paksulla laattalla (kuva 33).



Kuva 33. Kuorman yläpuoliset betonipainot kamarikuivaamossa.

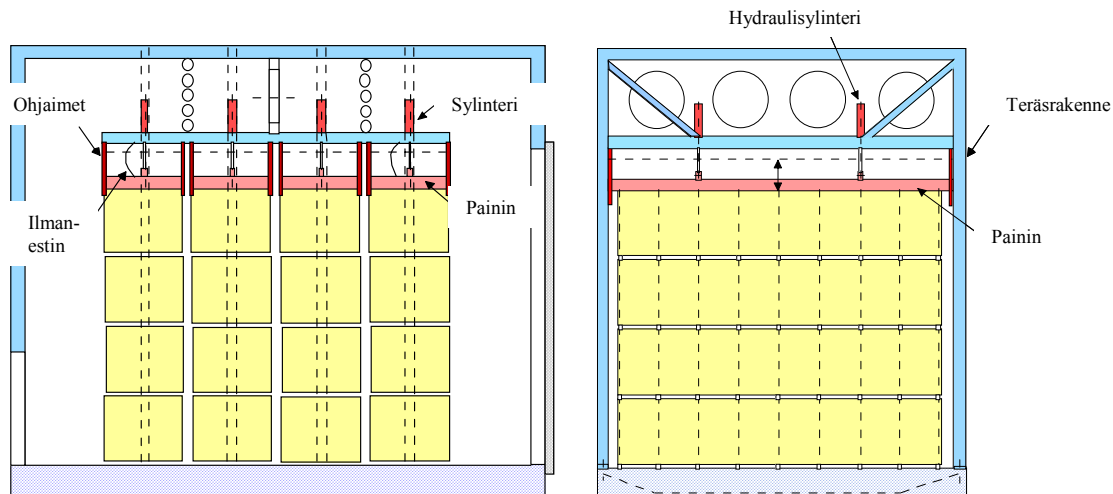
Trukin nostokapasiteetin mukaan painot voidaan nostaa joko ylimmän paketin kanssa tai erikseen sen päälle. Jälkimmäisessä tapauksessa trukilla on suurempi vaara osua puhallintatasoon.

Etenkin korkeissa kuivaamoissa on turvallisuussyistä tärkeää varmistaa tornien pystyssä pysyminen. Joissakin tapauksissa tämä vaatimus on estänyt painojen käytön.

Korkeissa kuivauskuormissa painojen käyttö saattaa aiheuttaa rimanpainaumia alimmissa kerroksissa, kun puu on vielä märkää. Pneumaattisessa järjestelmässä tämä voidaan välttää käyttämällä pientä kuormitusta kuivauksen alkuvaiheissa.

Painojen etuna ovat pienet hankintakustannukset. Käyttökustannukset (painojen käsittely, turvatoimet) ovat kuitenkin suuremmat kuin pneumaattisessa järjestelmässä.

Korkeiden painojen käyttö vähentää kuivauskapasiteettia verrattuna pneumaattisen järjestelmän ohuihin metallikehikkoihin. Betonin asemesta voidaan käyttää myös metallia, jolloin rakenteen mukaan päästään ohuempiin painoihin ja vähäisempään kapasiteettihukkaan. Kuvassa 34 esitetään periaatekuva pneumaattisista ja hydraulisista kuormanpainimista.



Kuva 34. Periaatekuva hydraulisesta ja pneumaattisesta kuormanpainimista kamari-kuivaamossa.

Yleisimmin käytetään pneumaattisia kuormanpainimia, joissa 2 tai 3 sylinteriä liikuttaa teräskehikkoa. Kullakin tornilla on oma painimensa. Kehikkoihin on yhdistetty myös ilmanestimet kuormien yläpuolisten ilman ohivirtausten välttämiseksi.

Teollisuudessa käytettävän paineilman paine on yleensä 8–10 baria. Sylinterin halkaisijan ollessa 12,5 cm saavutetaan kahdella sylinterillä kehikkoon maksimissaan 2 454 kp:n kuormitus. Normaaliin 1,5 x 6 m:n kuormaan saadaan tällöin yläpuoliseksi kuormitukseksi 273 kp/m². Tällä saavutetaan jo varsin hyvä suoruuden paraneminen, mutta maksimihyöty edellä esitettyjen tulosten mukaan on saavutettavissa neljällä sylinterillä per painin. Tällöin maksimikuormitus on 564 kp/m².

Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää hydraulisyylintereitä. Veden paine voi olla ainakin kymmenkertainen paineilmaan nähden. Esimerkiksi 80 barin paineella voidaan kahdella halkaisijaltaan 63 mm sylinteillä saavuttaa 546 kp/m² kuormitus.

Sylinterien iskunpituuden mitoituksessa täytyy ottaa huomioon kuorman kutistuminen.

Dynaamisten kuormanpainimien käyttö vähentää kuormien kaatumisriskiä, mikäli suunnittelussa on otettu huomioon vaakasuorat rasitukset. Paksut pneumaattisen painimen männänvarret voivat riittää sivuttaisvoimien hallintaan. Ohuita varsia käytettäessä

voidaan sivuttaisliikkeet estää kuvan 34 mukaisesti ohjaimilla. Oleellista on, että puhallintaso on mitoitettu ottamaan vastaan sylinterien aiheuttamat voimat. Uusia kuivaamoihin suunniteltaessa kuormanpainimet otetaan mitoituksessa huomioon. Asennus vanhoihin kuivaamoihin saattaa edellyttää kuivaamon rakenteiden vahvistamista. Joissakin tapauksissa ainoaksi kuormitusratkaisuksi jäävät betoni- tai metallipainot.

3.4.7 Käytännön kokemuksia kuormanpainimista

Kuormanpainimia asennetaan lähes kaikkiin uusiin kamarikuivaamoihin pohjoismaalaisilla sahoilla. Tämä osoittaa, että sahat ja kuivaamonhoitajat ovat antaneet positiivista palautetta laitteiden eduista laitevalmistajille ja muille sahoille.

Norjassa tutkimukseen osallistuneet Begna Bruk ja Haslestad Bruk olivat ensimmäisiä, jotka hankkivat kuormanpainimet. Käyttöönotto on onnistunut hyvin. Kysymyksiä on herättänyt ainoastaan sopiva kuormituksen taso kuivauksen eri vaiheissa. Sahat ovat päätyneet käyttämään 30 % maksimikuormasta kuivauksen alussa. Toinen saha siirtyi maksimikuormaan lasketun kosteuden ollessa noin 40 % ja toinen sen ollessa arviolta 30 %. Tutkimusjakson aikana ei laitteistoissa esiintynyt mitään ongelmia.

Painimien käyttöönoton jälkeen tuli jatkojalostusosastolta välitön kommentti, että tavara on suurempaa ja aiheuttaa vähemmän käsittelyongelmia kuin aikaisemmin.

Yhdellä sahalla rimojen lukumäärää kasvatettiin seitsemästä yhdeksään. Tämä vähensi rimojen väliin jäävien vapaiden päiden kieroutumista. Oleellista on, että rimoja lisättäessä myös kuormanpainimen kehikkoon ja kuorman alapuolella järjestetään tuenta kaikkien rimojen kohdalle.

Molemmilla sahoilla lisähyötynä on ollut, ettei kuorman kallistumisia ole enää esiintynyt.

Painimet joutuvat olemaan korroosiota aiheuttavissa olosuhteissa, mikä tulee ottaa huomioon putkistojen, sylinterien ja paininkehien materiaalivalinnoissa.

3.5 Vastaväännöllä suoraksi – kuivaus kierretyllä alustalla

SP Trätekin Ruotsissa on tutkinut sahatavaran vääntämistä kuivauksessa luonnolliseen kieroutumiseen nähden vastakkaiseen suuntaan. Tällöin puu viruu enemmän, kuin jos se pidettäisiin painojen tai painimien avulla vain suorassa. Optimitalauksessa tavara on suoraa kuivauksen ja varastoinnissa tapahtuvan palautumisen (spring back) jälkeen. Hyviä tuloksia antaneiden laboratoriokokeiden pohjalta tutkimusta jatkettiin teollisuus-

nessa. Laboratoriokokeet osoittivat, että ratkaisevaa virumisen ja siten puun suoraksi saamisen kannalta ovat lämpötilan muutokset, eivät niinkään puun kosteusvaihtelut.

Samaa periaatetta Trätek käytti myös kuivauksessa kieroutuneiden puiden oikaisemiseen. Kieroja puita väännettiin kieroudelle vastakkaiseen suuntaan ja tavaraa käsiteltiin lämpötilaltaan vaihtuvissa olosuhteissa. Puu virui ja jäi käsittelyn ja palautumankin jälkeen alkuperäistä suuremmaksi. Optimitilanteessa kappaleiden kierouden keskiarvo on nolla.

3.5.1 Menetelmän kuvaus

Vinosyiset sahatavarat rimoitetaan rimapaketin alimmaisiiin kerroksiin vinoon kallistettujen aluspalkkien päälle. Kuorman vastakkaisissa päissä olevat palkit on kallistettu vastakkaisiin suuntiin. Keskimmainen aluspalkki on vaakasuora. Päiden ja keskiosan välillä palkkien kallistus muuttuu tasaisesti. Kuvassa 35 on koekuivauksissa käytetty järjestely, jossa vääntävä alusta on aikaansaatu viistetyillä aluspuilla.

Vinosyiset sahatavarat voidaan lajitella omaan lokeroonsa tuorelajittelijalla lasertekniikan avulla. Menetelmä perustuu poikkileikkaukseltaan pyöreän lasersäteiden sirontaan puun pinnalla niin, että valo muodostaa ellipsin muotoisen läiskän, jonka pituusakseli on syiden suuntainen (katso kuva 5). Menetelmä on helposti automatisoitavissa ja yhdistettävissä muuhun automaattiseen laatulajitteluun.

Tarvittava alustan kierto ei ole niin suuri, että se aiheuttaisi ongelmia. Korkeatkin rimapakit pysyvät hyvin pystyssä (kuva 35). Ilman kiertoonkaan sahatavarakerrosten välisen tilan loivat mutkat eivät vaikuta haitallisesti.



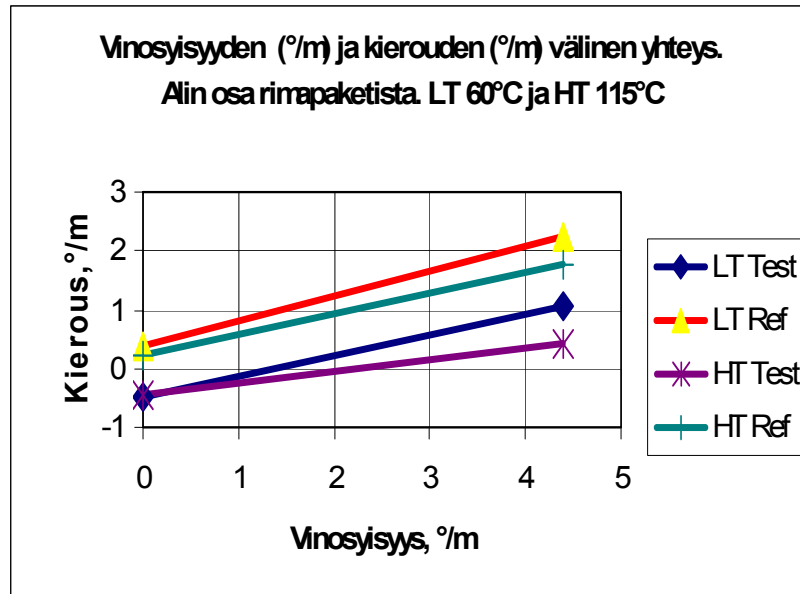
Kuva 35. Koekuivauksissa käytetyt viistetyt aluspuut ja rimakuorma. Korkeakin kuorma pysyy hyvin pystyssä.

3.5.2 Tulokset

Teollisuusolosuhteissa menetelmän toimivuutta tutkittiin sekä lämminilmakuivauksessa 60 °C:n lämpötilassa että kuumakuivauksessa lämpötilan ollessa 115 °C. Puut kuivattiin 14 %:n keskimääräiseen kosteuteen. Kuvassa 36 esitetään, miten kuivattujen puiden kierous riippuu vinosyisyydestä ko. kuivausten jälkeen.

Tuloksen mukaan 2 asteen vinosyisyys vaatii noin 1,5°/m vastaväännön. Tämä vastaa aluspuiden 1:14 kallistusta 6 m pitkän rimapaketin molemmissa päissä. Trätekin mukaan tarvittava yläpuolinen kuormitus 50 °C:n lämpötilassa on tuoreella 50 x 100 mm kuusisaha-tavaralla vain 200 kg/m². Kuivalla puulla ja kaksinkertaisella vastaväännöllä, eli käytettäessä vastaavaa kiiloitusta rimapaketin yläpuolella, on kuormitustarve yli 500 kg/m² lämpötilan ollessa 50 °C. Todennäköisesti edellisessä kohdassa (3.4 Rimapaketin yläpuolinen kuormitus) esitetyillä suuremmilla kuormituksilla voidaan varmistaa,

etenkin kuivan puun oikaisussa, että kaikki puut vääntyvät halutun määrän. Kuvan 36 kokeessa yläpuolinen kuormitus oli 600 kg/m^2 . Sahatavaran leveys oli 141 mm. Tutkimuksessa muuten käytetty 100 mm leveä tavara saattaa vaatia tätäkin suuremman yläpuolisen kuormituksen.



Kuva 36. Kierous vinosyisyyden funktiona kuumakuivauksen (HT) ja lämminilmakuivauksen (LT) jälkeen. Kierrettyjen puiden tulokset esitetään suorilla LT Test ja HT Test. Suorana kuivatut esitetään suorilla LT Ref ja HT Ref. Yläpuolinen kuormitus oli 600 kg/m^2 .

Kuvasta 36 nähdään, että kuumakuivauksessa käytetty vääntökulma ja yläpuolinen kuormitus olivat lähes optimaaliset, kun vinosyisyys oli noin 2° . Lämminilmakuivauksessa väännön olisi täytynyt olla voimakkaampaa yhtä hyvään tulokseen pääsemiseksi.

Trätek käytti hyväksyntärajana kierouden osalta INSTA 141 -ohjeen mukaisesti $\pm 3,7 \text{ mm} / 2 \text{ m} / 141 \text{ mm}$. Näiden rajojen sisään mahtui lämminilmakuivatuista 66 %, kun käytettiin vastavääntöä ja yläpuolista kuormitusta ja 33 % käytettäessä vain yläpuolista kuormitusta. Vastaavat luvut kuumakuivauksessa olivat 80 % ja 48 %.

Teollisuudessa tehdyt kokeet osoittivat, että menetelmä on helppo ottaa käyttöön ainakin sahoilla, joissa tavara kuivataan trukkitäyttöisissä kamareissa. Kuivaamon lattialle asennetaan kiinteästi halutulla tavalla viistetyt aluspuut. Kaikkein vinosyisin tavara rimoitetaan alimpaan trukkipakettiin. Syykulma on mahdollista mitata lasertekniikan avulla, ja vinosyiset kappaleet voidaan ohjata omaan lajittelulokeroonsa. Sen sijaan sopivan kappalemäärän ohjaaminen aina rimapaketin alimpiin kerroksiin voi tuottaa teknisiä vaikeuksia lajittelun ja rimoituksen automaatioasteen mukaan.

Kuorman kiertäminen on käytännössä ongelmallista, jos tavara rimoitetaan vaunuille tai suoraan rullaradalla kulkevien palkkien päälle. Toimivat ja taloudellisesti kannattavat ratkaisut edellyttävät innovatiivista menetelmäkehitystä. Vaunuissa voisi olla esim. saranoidut teräspalkit, jotka voidaan hydraulisesti kallistaa ja lukita haluttuun asentoon. Tällainen ratkaisu on tosin varsin kallis toteuttaa, kun vaunuja ja palkkeja on sahalla huomattavan paljon. Kun käytännölliset ja edulliset ratkaisut löytyvät, on menetelmä hyödyllinen.

Kierojen, kuivien puiden tasaannutus kierretyllä alustalla

Kuivauksen jälkeen liian kierot sahatavarat joko rimoitetaan uudelleen kierretylle alustalle tai nippu nostetaan rimoituksen jälkeen viistettyjen aluspuiden päälle (kuva 37). Tavara voidaan käsitellä sopivassa lämmössä ja kosteudessa kuormituksen alaisena tai laittaa mukaan muun tavaran normaaliin kuivaukseen kuorman alimmaiseksi.



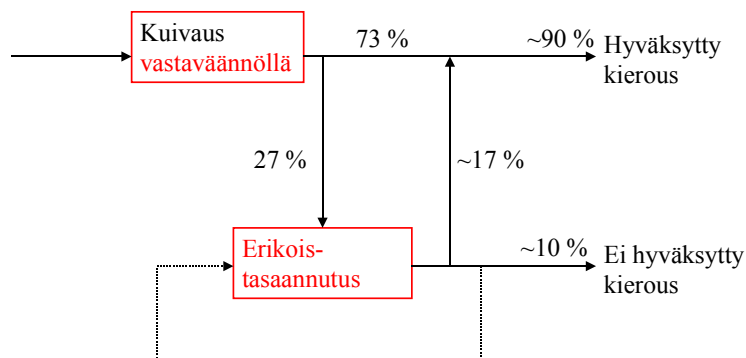
Kuva 37. Kuivattuja, uudelleen rimoitettuja kieroja soiroja.

Trätekin erikoistasaannuskokeessa puita käsiteltiin lämpötilaltaan vaihtuvissa olosuhteissa 6 tuntia. Puiden keskimääräinen vinosyisyys oli 3,5 °. Kierous väheni käsittelyssä 19 mm / 2 m:stä 12 mm / 2 m:iin. Ilmeisesti vastavääntö tai käytetty yläpuolinen kuormitus ei ollut riittävä.

Trätekin on jatkanut tutkimuksia myös Straight-projektin jälkeen.

Kuvassa 38 on Trätekin ehdotus sahatavaran suoruden parantamiseksi. Sen mukaan kieroutumaan taipuvaiset vinosyiset puut kuivataan vastaväännöllä mahdollisimman suoraksi. Tällöin kaikki puut eivät kuitenkaan täytä kieroudelle asetettuja vaatimuksia. Tällaiset puut lajitellaan erilleen ja käsitellään viistettyjen aluspuiden päälle rimoitettuna painojen alla kehitettyä erikoistasaannutusta käyttämällä.

Prosessi C



Kuva 38. Trätekin ehdotus sahatavaran suoruuden parantamiseksi.

3.5.3 Suoruus käytössä

Taulukossa 7 esitetään eri tavoin kuivattujen puiden hyväksyntäprosentit ensimmäisen ja kolmannen kosteusyklin jälkeen (katso kohta 2.5). Riippuvarastoidut kappaleet ovat saaneet vapaasti muuttua muotoaan. Koe antaa näin ollen huonoimman mahdollisen käytännössä esiintyvän tuloksen.

Taulukko 7. Suorien sahatavaroiden osuudet lämminilma- ja kuumakuivauksen jälkeisen riippuvarastoinnin jälkeen (katso kohta 2.3.3). Kieroudet on reducedu 15 %:n kostuteen. Hyväksyntäraja on 4 mm / 100 mm / 2 m. LK = lämminilmakuivaus, KK = kuumakuivaus. Yläpuolinen kuormitus 600 kp/m².

Alusta/Kuivaus	Hyväksytyjen osuus (%) 1. jakson jälkeen	Hyväksytyjen osuus (%) 3. jakson jälkeen
Kierretty alusta / LK	38,9	33,3
Kierretty alusta / KK	77,8	77,8
Suora alusta / LK	20,4	18,5
Suora alusta / KK	38,9	35,2

Vastavääntö on parantanut suoruutta sekä lämminilma- että kuumakuivauksessa. Kuumakuivauksen osalta tulos on kuitenkin huomattavasti parempi. Palautumaton viruma on kuumakuivauksessa riittävän suurta. Lämminilmakuivauksessa kiertäminen tai yläpuolinen kuormitus on ollut riittämätöntä. Niiden optimoinnilla voidaan todennäköisesti lämminilmakuivauksessakin saavuttaa parempia tuloksia.

Taulukossa 8 on kuivauksessa kieroutuneiden, vastaväännöllä jälkitasaannutettujen puiden hyväksyntäprosentit.

Taulukko 8. Jälkitasaannutetun erän suorien sahatavaroiden osuudet riippuvarastoinnin jälkeen (katso kohta 2.3.3). Kieroudet on redusoitu 15 %:n kosteuteen. Hyväksyntäraja on 4 mm / 100 mm / 2 m.

Alusta	Hyväksytyjen osuus (%) 1. jakson jälkeen	Hyväksytyjen osuus (%) 3. jakson jälkeen
Kierretty alusta	0	0
Suora alusta	0	0

Toisin sanoen mikään puu ei suoristunut käsittelyssä riittävästi. Lisäämällä vastavääntökulmaa ja yläpuolista kuormitusta saavutetaan todennäköisesti parempi tulos.

3.5.4 Kustannustarkastelu

Uusijärvi (2004) kuvaa sahalaitosta, jossa lasermenetelmällä lajitellaan eniten vinosyinen neljännes sahatavaroista erilleen ja rimoitetaan. Kuivaamoon mahtuu 4 pakettia päällekkäin. Alimmaiseksi laitetaan aina vinosyiset puut. Sahalla ei käytetä vinoa alustaa, mutta muuten menettely sopii vastavääntömenetelmän käyttöön.

Sahan kokonaistuotanto on 210 000 m³, josta 60 000 m³ käsitellään ko. menetelmällä. Investointikustannukset olivat 28 000 €, ja vuotuiset käyttökustannukset ovat noin 17 000 €. Saavutetut hyödyt ovat kierouden suhteen hyväksytyjen sahatavaroiden osuuden lievän kasvun ja keskipituuden kasvun (pienempi katkaisuhukka) johdosta noin 72 000 €/a. Takaisinmaksuaika on siten alle puoli vuotta.

Kyseisessä tapauksessa menettely olisi voitu korvata yläpuolisilla painimilla. Mutta käytettäessä vastavääntöä on vinosyisten kappaleiden lajittelu rimakuormien alimmaisiksi välttämätöntä, sillä väännön vaikutus heikkenee ylöspäin mentäessä. Yksinkertaista vastaväännön aiheuttavaa alustaa käytettäessä puiden suoristuminen lisää myyntituloja selvästi. Tuntematta vastaväännön kustannuksia tarkemmin voidaan takaisinmaksuajan olettaa olevan samaa suuruusluokkaa tai lyhyemmän kuin edellä kuvatussa tapauksessa.

3.6 Kuumakuivaus

3.6.1 Menetelmä

Kuumakuivaus tarkoittaa kuivausta yli 100 °C:n lämpötiloissa. Yleensä kuumakuivauksessa ei kuivaamoon oteta raitista ilmaa. Puusta irtoava kosteus poistuu höyrynä syntyvän ylipaineen ansiosta poistoilmakanavaan. Kuumailmakuivauksessa kuivaamoon sen sijaan otetaan raitista ilmaa.

Kuumakuivauksen muodonmuutoksia vähentävä vaikutus perustuu puun tehokkaaseen virumiseen korkeissa lämpötiloissa. Lämpötilan lisäksi virumiseen vaikuttaa myös puun kosteus. Kuivauksessa puun pinnan ei kannata antaa kuivua liikaa, sillä alhaisissa kosteuksissa viruminen vähenee. Kuivauksen aikaisen tasapainokosteuden ollessa mahdollisimman korkea saavutetaan tehokkain viruminen. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että märkälämpötila kannattaa pitää mahdollisimman lähellä 100 °C:ta ja kuivalämpötila vähän sen yläpuolella.

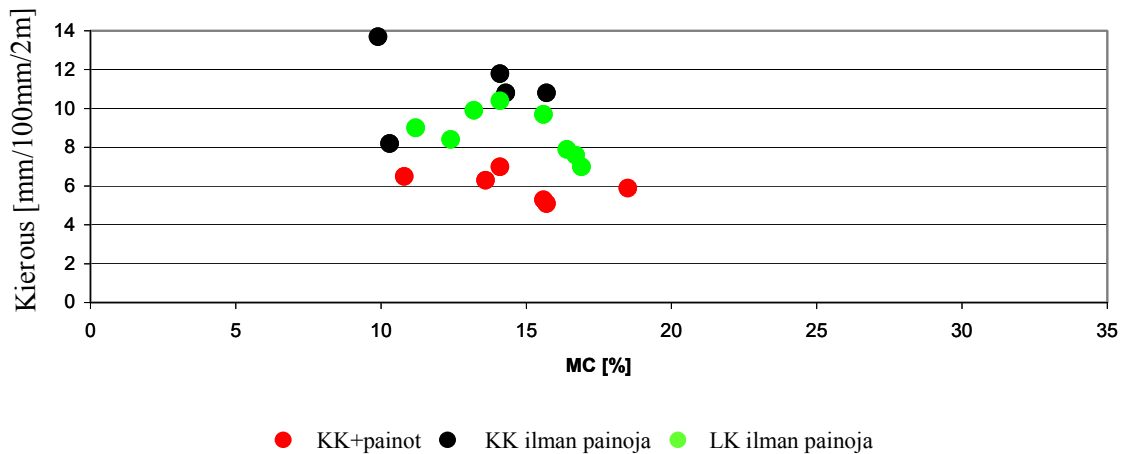
Puut kannattaa lämmittää kuivauslämpötilaan niin, että ne eivät vielä kuivu. Tällöin kuivumisen ja kutistumisen alkaessa olosuhteet virumiselle ovat mahdollisimman hyvät. Lämmitys voidaan tehdä esimerkiksi höyryllä. Lämpeneminen on nopeaa, ja höyryn tiivistyminen puun pinnalle estää tehokkaasti ennenaikaisen kuivumisen ja halkeilun.

Täytyy muistaa, että puu viruu, kun sitä pidetään kuivauksessa suorassa vain, kun siihen syntyy kuivausjännityksiä kutistumisen vaikutuksesta. Jos puuta sen sijaan väännetään, kuten edellä on esitetty, virumista tapahtuu, vaikka puu ei vielä kutistukaan. Olosuhteet ovat tällöin virumisen kannalta kaikkein suotuisimmat: korkea kosteus ja korkea lämpötila.

3.6.2 Kokeiden tuloksia

Kuivauskokeita tekivät CTBA Ranskassa, TNO Hollannissa, SP Trätek Ruotsissa ja VTT Suomessa. Laboratoriokokeiden lisäksi tehtiin myös teollisuuskuivauksia. Sitka-kuusta kuivattiin tavanomaisen kuumakuivauksen lisäksi myös yhdistelmä-kaavoilla, joissa puunsyiden kyllästymispisteen yläpuolella käytettiin alle 100 °C:n lämpötiloja kollapsin estämiseksi. Yleisimmin käytettiin kuumakuivauslämpötiloja 105 ja 120 °C. Vertailukokeet tehtiin 70–75 °C:n lämpötiloissa. Kuvassa 39 esitetään sitkakuusella tehtyjen kuumakuivaus- ja vertailukokeiden keskimääräiset loppukosteudet ja kieroudet.

Kuumakuivauksessa täytyy tulosten mukaan käyttää yläpuolisia painoja tai painimia muodonmuutosten vähentämiseksi.



Kuva 39. Sitkakuusisahatavaran keskimääräinen kierous kuumakuivausten ja lämminilmakuivausten jälkeen. Punaisella on merkitty kuumakuivatut ja kuormitetut puut. Mustalla on merkitty ilman kuormitusta kuumakuivatut puut. Vihreät pallot edustavat ilman painoja lämminilmakuivattuja vertailupuuta.

Kuumakuivauslämpötilalla ei tehtyjen kokeiden perusteella todettu olevan vaikutusta kierouteen. Keskimäärin 15 %:iin kuivattujen puiden kierouden keskiarvot olivat 105 °C:ssa 6,0 mm / 100 mm / 2 m ja 120 °C:ssa 6,1 mm / 100 mm / 2 m.

Kuivauksen jälkeisellä höyrytasaannuksella ei myöskään havaittu olevan vaikutusta tavarankierouteen. Sen sijaan tasaannutus kuumakuivauksen jälkeen on erittäin suositeltavaa kosteusgradientin vähentämiseksi ja pintakovuuden poistamiseksi. Lisäksi sillä vältetään kuivauksen jälkeinen sisähalkeilu.

Vaikka kuumakuivaus yläpuolisen kuormituksen kanssa parantaa suorutta, ovat monet muut tekijät paljon ratkaisevampia, kun kuivausmenetelmää valitaan.

Kuumakuivauksen etuja lämminilmakuivaukseen verrattuna ovat

1. 50–75 % lyhyempi kuivausaika (laatuvaatimusten mukaan)
2. joustavammat toimitukset lyhyen kuivausajan ansiosta
3. pienempi energiakulutus
4. pienemmät pääomakustannukset (kuivaamo ja sahatavara kuivaamossa).

Kuumakuivauksen haittoja ovat perinteiseen lämminilmakuivaukseen verrattuna seuraavat:

1. Nykyiset kattilalaitokset eivät tuota riittävän kuumaa vettä tai höyryä integraattilaitoksia lukuun ottamatta. Sähköenergian käyttö tulisi liian kalliiksi.
2. Värit muuttuvat.
3. Etenkin värinmuutoksien takia tavaraa ei voida käsitellä ja myydä yhdessä lämminilmakuivatun tavaran kanssa.
4. Paksujen tavaroiden kuivauksessa sisähalkeilun riski on suuri.
5. Lujuus alenee hieman (0–5 %).

3.6.3 Kuivauskustannukset

Kuumakuivaus on nopea ja energiataloudellinen menetelmä. Seuraavassa oletetaan, että käytettävissä on riittävän kuumaa vettä tai höyryä ja että energian yksikköhinnat ovat lämminilma- ja kuumakuivauksessa samat. Näillä ehdoilla kuumakuivaus on halvempaa kuin lämminilmakuivaus etenkin kuivattaessa alhaisiin loppukosteuksiin (taulukko 9). Kuumakuivausta on verrattu puusepäнкуivauksessa kamarikuivaukseen ja vientikuivauksessa kanavakuivaukseen. Mikäli investointi uuteen lämpökeskukseen on tarpeellista tai lämmitykseen käytetään sähköä, muuttuu laskelma oleellisesti.

Kustannusvertailuun vaikuttaa oleellisesti kuivaamotoimituksen laajuus, rakenneratkaisut ja toteutustapa. Lämminilmakuivattua ja kuumakuivattua tavaraa on vaikea saada täysin vertailukelpoiseksi keskenään. Käytetyillä kuivausajoilla loppukosteuden hajonta on todennäköisesti kuumakuivauksessa lämminilmakuivusta suurempi.

Taulukko 9. Kuumakuivauksen ja lämminilmakuivauksen kustannusvertailu. Tavoitekos-
teudet ovat 8 ja 18 %.

Mänty 50 mm	Kamari 8 %	Kuumakuiv. 8 %	Kanava 18 %	Kuumakuiv. 18 %
Lähtöarvot				
kuivauskapasiteetti, m ³ / a	2961	14000	27360	34111
hankintahinta milj. euroa	0,25	0,75	0,8	0,75
takaisinmaksuaika a	12	12	12	12
korkokanta %	6	6	6	6
lämpö, €/kWh	0,02	0,02	0,02	0,02
sähkö, €/kWh	0,04	0,04	0,04	0,04
kuivaamon täyttö, m ³	99	118	276	118
sahatavaran arvo, €/m ³	200	200	170	170
kuivausaika, h	240	60	80	25
lämmön kulutus, kWh/m ³	280	210	220	260
sähkön kulutus, kWh/m ³	40	50	25	35
työ- ja kunnossapitokust., €/m ³	2	2	2	2
arvonalennus kuivausvirheistä, %	5	5	5	5
Kustannukset, €/m³				
kuivaamon pääomakustannus	10,07	6,39	3,49	2,62
sahatavaran korkomenot kuivauksessa	0,33	0,08	0,09	0,03
energiakustannus	7,20	6,20	5,40	6,60
työ ja kunnossapito	2,00	2,00	2,00	2,00
laadun aleneminen	10,00	10,00	8,50	8,50
<i>Yhteensä</i>	<i>29,60</i>	<i>24,67</i>	<i>19,48</i>	<i>19,75</i>
muutos lämmin => kuuma, %		-16,6		1,4

3.6.4 Suoruus käytössä

Pitkäaikaisvarastoinnin jälkeen hyväksyntäprosentit olivat varsin alhaiset, parhaimmillaan 35 %. Kuumakuivaus ei näytä oleellisesti parantavan tulosta lämminilmakuivaukseen verrattuna. Mielenkiintoinen oli sitkakuusella saatu tulos, jonka mukaan palautuma oli jopa negatiivinen. Hyväksyntäprosentti kasvoi siis ensimmäisen ja toisen kostean varastointijakson välillä (taulukko 10).

Taulukko 10. Jälkitasaannutetun sitkakuusierän suorien sahatavaroiden osuudet riippuvarastoinnin jälkeen (katso kohta 2.3.3). Kieroudet on redusoitu 15 %:n kosteuteen. Hyväksyntäraja on 4 mm / 100 mm / 2 m.

Kuivaus	Hyväksytyjen osuus (%) 1. jakson jälkeen	Hyväksytyjen osuus (%) 3. jakson jälkeen
Kuumakuivaus	26,5	32,7
Lämminilmakuivaus	32,7	36,7

4. Eri menetelmien hyvät ja huonot puolet

Eri menetelmien arvioimiseksi laadittiin taulukot, joihin koottiin kunkin menetelmän tunnuspiirteet sekä edut ja haitat. Taulukkojen alaotsikot ovat

- Menetelmän kuvaus
- Kuinka menetelmä parantaa sahatavaran suoruutta?
- Kuivausprosessille ja kuivaamolle asetettavat erityisvaatimukset
- Menetelmän vaikutus muihin sahatavaran laatutekijöihin
- Vaikutus muuhun sahan tuotantoprosessiin
- Vaikutus kuivauksen ja tasaannutuksen kustannuksiin
- Muut menetelmästä johtuvat lisäkustannukset
- Vaikutus tuotevalikoimaan. Ovatko lisätoimet myynnissä ja markkinoinnissa tarpeen?
- Muut menetelmän käyttöönottoon teollisuudessa vaikuttavat tekijät.

Seuraavassa on faktaa ja arvioita edellä esitetyistä eri menetelmistä.

4.1 Tukkien esilajittelu kierresyisyyden mukaan

Menetelmän kuvaus

Tukit esilajitellaan kierresyisyyden mukaan. Kierteisyyttä voidaan mitata kuoritusta tukista lasertekniikalla ja kuorimattomasta tukista sen pintaan lyötävällä tai painettavalla, syiden suuntaan asettuvalla terällä, jonka kiertymiskulma mitataan. Liian kierreiset tukit voidaan lajitella pois sahausprosessista.

Kuinka menetelmä parantaa sahatavaran suoruutta?

Ydinkeskeinen ja ytimen läheltä sahattu tavara on taipuvainen kieroutumaan. Ulompaa sahattu tavara on yleensä suoraa, paitsi tukin kierteisyyden ollessa yli $\pm 3^\circ$. Hyvin kierresyiset tukit voidaan lajitella pois tuotannosta tai sahata tuotteiksi, joille ei aseteta tiukkoja suoruusvaatimuksia.

Esimerkki: Isosta tukista sahattiin 10 kpl 50 x 100 mm soiroja. Kierteisyyden ollessa alle 3° vain kaksi (20 %) ytimen läheltä sahattua jouduttiin hylkäämään. Kierteisyyden ollessa yli 4° kaikki tavarat hylättiin liiallisen kierouden takia ilman yläpuolista kuorimitusta kuivattaessa.

Kuivausprosessille ja kuivaamolle asetettavat erityisvaatimukset

Ei erityisvaatimuksia, perinteinen kuivaus.

Menetelmän vaikutus muihin sahatavaran laatutekijöihin

Ei vaikutuksia.

<p><i>Vaikutus muuhun sahan tuotantoprosessiin</i></p> <p>Sahalle tulee asentaa kuorinnan jälkeen tukin vinosyisyyden mittauslaite. Lisäksi tarvitaan hylättyjen tukkien lokero. Hylkytukkien käsittely tulee myös järjestää. Menetelyllä vähennetään käsittelyongelmia ja seisokkeja kuivauksen jälkeisillä kuljettimilla, lajittelussa ja paketoinnissa.</p>
<p><i>Vaikutus kuivauksen ja tasaannutuksen kustannuksiin</i></p> <p>Ei vaikutuksia.</p>
<p><i>Muut menetelmästä johtuvat lisäkustannukset</i></p> <p>Hylkytukkien erikoiskäsittely aiheuttaa lisäkustannuksia. Myös tukin tehdashinnan ja jälleenmyyntihinnan (selluteollisuus) erotus on sahalle lisäkustannus. Sahatavaran hinnan paraneminen ja lisäkustannusten erotus ratkaisevat, kuinka kierteisiä tukkeja kannattaa lajitella pois sahausprosessista.</p>
<p><i>Vaikutus tuotevalikoimaan. Ovatko lisätoimet myynnissä ja markkinoinnissa tarpeen?</i></p> <p>Ei vaikutusta. Laadun paraneminen kierojen kappaleiden vähenemisen ansiosta helpottaa myyntiä ja markkinointia.</p>
<p><i>Muut menetelmän käyttöönottoon teollisuudessa vaikuttavat tekijät</i></p> <p>Tukkien lajittelu vinosyisyyden mukaan aiheuttaa kustannuksia.</p> <p>Raaka-aine voidaan lajitella jo metsässä harvesteriin asennetulla mittalaitteella (modifioitu S-GAG-laite). Voimakkaasti kierteiset rungon osat voidaan katkoa massateollisuuden käyttöön. Tämä edellyttää tukkien laatuvaatimuksiin ja hinnoitteluun tehtäviä muutoksia.</p> <p>Sahalla voimakkaasti kierteiset tukit voidaan lajitella eroon kuorinnan jälkeen lasermittauksella.</p> <p>Arviolta 10 % tukeista on liian kierteisiä.</p>

4.2 Kierresyisten tukkien kiertäminen sahauksen aikana

<p><i>Menetelmän kuvaus</i></p> <p>Lähes kaikki alle 20 cm halkaisijaiset tukit ovat vasenkierteisiä. Kiertämällä pien-tukkeja sahakoneeseen rakennettavin lisälaittein voidaan tämän kierteisyyden haitta-vaikutus kompensoida. Saheet ovat tuoreina kieroja mutta kuivauksen jälkeen suorina. Menetelmä soveltuu ainoastaan sahauksessa, jossa ei oteta sivulautoja vaan pinnat haketetaan.</p>

<p><i>Kuinka menetelmä parantaa sahatavaran suoruuutta?</i></p> <p>Menetelmässä otetaan huomioon sahatavaran luonnollinen kieroutuminen. Se kompensoidaan kiertämällä pientukkeja sahakoneeseen syötettäessä joko vakiomäärällä tai tukkien yksilölliseen mittaukseen perustuvalla määrällä. Kiertämisasteeseen vaikuttaa myös sahatavaran tavoitekosteus, jossa tuotteen tulee olla suoraa.</p>
<p><i>Kuivausprosessille ja kuivaamolle asetettavat erityisvaatimukset</i></p> <p>Ei erityisvaatimuksia, perinteinen kuivaus.</p>
<p><i>Menetelmän vaikutus muihin sahatavaran laatutekijöihin</i></p> <p>Todennäköisesti ei vaikutuksia.</p>
<p><i>Vaikutus muuhun sahan tuotantoprosessiin</i></p> <p>Sahakoneen syöttölaitteisto tulee uusia. Yksilöllisen kierron tapauksessa tulee asentaa vinosyisyyden mittausjärjestelmä. Voimakkaasti sahauksessa kierretty sahatavara voi aiheuttaa häiriöitä tuoreen puun käsittelyssä.</p>
<p><i>Vaikutus kuivauksen ja tasaannutuksen kustannuksiin</i></p> <p>Ei vaikutuksia.</p>
<p><i>Muut menetelmästä johtuvat lisäkustannukset</i></p> <p>Ei lisäkustannuksia.</p>
<p><i>Vaikutus tuotevalikoimaan. Ovatko lisätoimet myynnissä ja markkinoinnissa tarpeen?</i></p> <p>Ei vaikutusta. Laadun paraneminen kierojen kappaleiden vähenemisen ansiosta helpottaa myyntiä ja markkinointia.</p>
<p><i>Muut menetelmän käyttöönottoon teollisuudessa vaikuttavat tekijät</i></p> <p>Arvioidut investointikustannukset ovat 50 000–500 000 euroa. Lisäksi tulevat vinosyisyyden mittalaitteen kustannukset käytettäessä tukkien yksilöllistä kiertoa.</p>

4.3 Ydinkeskeisten saheiden halkaisu, yhteenliimaus ja kuivaus

<p><i>Menetelmän kuvaus</i></p> <p>Ydinkeskeinen materiaali, joka on erityisen herkkää kieroutumaan, jatkojalostetaan ennen kuivausta halkaisemalla, höyläämällä ja liimaamalla osat uudelleen yhteen. Perinteisen 2 ex log -sahauksen asemesta tukit sahataan parittomalla ex logilla, jolloin syntyy yksi ydinkeskeinen kappale. Muut saheet ovat jo selvästi kauempaa ytimestä eivätkä ole niin herkkiä kieroutumaan kuin aivan ytimen vierestä sahatut. Ydinkeskeiset kappaleet halkaistaan ja kootaan liimaamalla uudelleen yhteen ja kuivataan tavoitekosteuteen. Kuivauksessa puoliskojen kieroutumat kumoavat toisensa ja tavara pysyy suorana.</p>

<p>Ydinkeskeisen kappaleen tuorepaksuuteen lisätään halkaisu- ja höyläysvara. Paksuuden lisäys mahdollistaa myös näiden puiden lajittelun dimensiolajittelijalla omaan lokeroon jatkojalostusta varten.</p>
<p><i>Kuinka menetelmä parantaa sahatavaran suoruuutta?</i> Kauempaa ytimestä sahattu tavara on suurempaa kuin ytimen läheltä sahattu. Ydinkeskeisten saheiden jatkojalostus tuottaa suoraa tavaraa. Näin koko sahatavaratuotannon suoruuus paranee.</p>
<p><i>Kuivausprosessille ja kuivaamolle asetettavat erityisvaatimukset</i> Ei mitään.</p>
<p><i>Menetelmän vaikutus muihin sahatavaran laatutekijöihin</i> Ydin saattaa tulla näkyviin saheen pintalappeille.</p>
<p><i>Vaikutus muuhun sahan tuotantoprosessiin</i> Sahausasetteet täytyy vaihtaa. Ydinkeskeinen materiaali tarvitsee lisäksi uuden halkaisu-höyläys-liimauslinjan.</p>
<p><i>Vaikutus kuivauksen ja tasaannutuksen kustannuksiin</i> Liimasauman vaikutus kuivumiseen ja sen kustannuksiin on vähäistä.</p>
<p><i>Muut menetelmästä johtuvat lisäkustannukset</i> Uusi tuoreen tavaran jalostuslinja. Ydinkeskeisen tavaran siirto jalostukseen. Jalostetun tavaran siirto rimoituskoneelle.</p>
<p><i>Vaikutus tuotevalikoimaan. Ovatko lisätoimet myynnissä ja markkinoinnissa tarpeen?</i> Uusi materiaali edellyttää ylimääräistä markkinointia sen tunnetuksi tekemiseksi. Tavara kannattaa markkinoida uutena tuotteena. Joitakin käyttökohteita varten tuotteen lujuusominaisuudet täytyy selvittää.</p>
<p><i>Muut menetelmän käyttöönottoon teollisuudessa vaikuttavat tekijät</i> Uuden jatkojalostuslinjan käyttöönotto edellyttää uutta osaamista sahan perinteisen tietotaidon lisäksi.</p>

4.4 Kuivauskuorman pitäminen suorana yläpuolisilla painimilla

<p><i>Menetelmän kuvaus</i></p> <p>Kuivauskuormaa painetaan joko kuorman päälle laitettavilla painoilla tai painimilla niin, että tavara pysyy suorana kuivauksen ajan. Painimet voivat olla hydraulisia tai pneumaattisia, jolloin kuormitusta voidaan säätää. Painimiin on yleensä yhdistetty ilmanestimet, jotka vähentävät kuorman yläpuolisia ilmavuotoja. Painimet estävät myös kuorman kallistumiset.</p>
<p><i>Kuinka menetelmä parantaa sahatavaran suoruuutta?</i></p> <p>Kuormitus estää tavaran muodonmuutokset kuivauksessa (sahatavaran vapaita päitä lukuun ottamatta). Muodonmuutosvoimien vaikutuksesta puu viruu. Virumisen ansiosta tavara on kuormituksen poistamisen jälkeen suurempaa kuin ilman kuormitusta kuivatut puut.</p>
<p><i>Kuivausprosessille ja kuivaamolle asetettavat erityisvaatimukset</i></p> <p>Painojen käyttö ei aseta vaatimuksia kuivaamon rakenteelle. Painojen paksuuden mukaan kuivauskapasiteetti laskee vähän. Hydraulisia tai pneumaattisia painimia käytettäessä tulee kuivaamon rakenteiden ottaa vastaan ja kestää painamisen vastavoimat. Painimet eivät vähennä kuivauskapasiteettia.</p> <p>Menetelmä ei vaikuta itse kuivaustapahtumaan paitsi lisäämällä ilmannopeutta rima-väleissä, kun ilman ohivirtaus kuorman ylitse estetään tehokkaasti.</p>
<p><i>Menetelmän vaikutus muihin sahatavaran laatutekijöihin</i></p> <p>Vaikutusta muuhun laatuun (halkeilu ym.) ei ole havaittu. Erityinen huomio kohdistettiin rimanjälkiin. Ne eivät suurimmillakaan käytetyillä kuormituksilla olleet 0,2–0,3 mm syvempiä. Mikäli niistä on kuitenkin haittaa, voidaan kuormitusta säätää puun kosteuden mukaan. Kuormitusta lisätään asteittain puun kuivussa ja puristuskestävyyden kasvaessa.</p>
<p><i>Vaikutus muuhun sahan tuotantoprosessiin</i></p> <p>Suurempi tavara vähentää häiriöitä kuljettimilla ja parantaa siten tuottavuutta. Erityisesti erottelukuljettimet toimivat huomattavasti paremmin sahatavaroiden ollessa suorina.</p>
<p><i>Vaikutus kuivauksen ja tasaannutuksen kustannuksiin</i></p> <p>Yläpuolinen kuormitus edellyttää investointeja. Betonipainot ovat investointikustannuksiltaan halvimmat mutta käyttökustannuksiltaan kalleimmat. Pneumaattisten kuormanpainimien osalta tilanne on päinvastoin. Järjestelmä on helposti rakennettavissa uuteen kuivaamoon. Vanhan kuivaamon osalta sen rakenteet ja niiden mahdolliset vahvistamistarpeet ratkaisevat asennuksesta syntyvät kustannukset.</p> <p>NTI on laskenut yläpuolisen kuormituksen investoinnin takaisinmaksuajat. Betonipainoilla takaisinmaksuajaksi saatiin 0,36 ja pneumaattisilla painimilla 0,91 vuotta. Säästöt syntyivät pienemmästä laadun alenemisesta ja vähentyneestä seisonta-ajasta. Sahatavaran hintaa alennettiin 20 %, jos kierous oli yli 4 mm / 100 mm / 2 m (C14). Kierouden ollessa tätä pienempi (C18, C24, C30) laskettiin sahatavaralle täysi hinta. Hylkyjen osuutta ei otettu huomioon. Se olisi entisestään pienentänyt investoinnin takaisinmaksuaikaa.</p>

Vuosittainen säästö on molemmissa kuormitustavoissa likimain sama. Pneumaattiset kuormanpainimet ovat kuitenkin helppokäyttöisemmät ja turvallisemmat. Ne pitävät korkeatkin kuormat hyvin pystyssä, eikä vaaraa kuormien kallistumiseen tai kaatumiseen tai painon putoamiseen ole. Lisäksi niihin on yhdistetty yleensä hyvät ilmanestimet.

Muut menetelmästä johtuvat lisäkustannukset

Tavaran parantunut suoruus vähentää seisokkeja ja lisää siten kapasiteettia.

Vaikutus tuotevalikoimaan. Ovatko lisätoimet myynnissä ja markkinoinnissa tarpeen?

Ei vaikutusta.

4.5 Vastaväännöllä suoraksi – kuivaus kierretyllä alustalla

Menetelmän kuvaus

Rimapakettia väännetään kuivauksen ajan saheiden kieroutumiselle vastakkaiseen suuntaan. Sahatavara kuivataan rimoitettuna kuivaamon lattialla tai kuormavaunulla olevien kallistettujen aluspalkkien päälle. Aluspuiden kallistuskulma on suurin kuorman päissä. Se vähenee tasaisesti kuorman keskelle, missä palkki on vaakasuorassa. Siitä kallistus kasvaa vastakkaiseen suuntaan kuorman toiseen päähän mentäessä. Menetelmä on tehokkain alimmissa sahatavarakerroksissa. Korkeammalla kuormaa vaikutus vähenee. Lajittelu- ja rimoitusjärjestelmän tulisi ohjata kaikkein vinosyisimmät sahatavarat rimakuorman alimpiin kerroksiin.

Menetelmää voidaan käyttää myös kuivauksessa liiaksi kieroutuneiden sahatavarojen parantamiseen. Tavara rimoitetaan uudelleen. Puita tasaannutetaan kuormituksen alaisina erikoisolosuhteissa. Toinen vaihtoehto on pitää puut mukana normaalissa kuivauksessa kuorman alimpana pakettina.

Kuinka menetelmä parantaa sahatavaran suoruutta?

Sahatavaran vääntäminen luonnolliseen muodonmuutokseen nähden vastakkaiseen suuntaan aiheuttaa vetojännityksiä ja virumista. Optimaalisen kiertämisen seurauksena sahatavara on suoraa kuivauksen ja varastoinnin (palautuminen) jälkeen. Virumista tehostavat etenkin lämpötilan muutokset.

Kuivausprosessille ja kuivaamolle asetettavat erityisvaatimukset

Varsinainen kuivaus ei edellytä muutoksia. Kuivauskuormien vääntö voidaan toteuttaa kuivaamon lattialle laitettujen kallistettujen aluspuiden avulla. Kuormavaunuja käytettäessä tulee niissä olla aluspalkkien kallistusmekanismi. Kuivauskuormat tulee jäähdyttää kuormituksen alaisena.

Menetelmän vaikutus muihin sahatavaran laatutekijöihin

Ei vaikutusta.

Vaikutus muuhun sahan tuotantoprosessiin

Voimakkaasti vinosyiset puut täytyy lajitella erilleen ja ohjata rimakuormien alimiksi. Käytännön ratkaisut rimoitukseen, kuivaamoon lastaukseen ja kuivaukseen täytyy kehittää. Sama koskee kieroutuneiden puiden erikoistasaannutusta.

<p><i>Vaikutus kuivauksen ja tasaannutuksen kustannuksiin</i> Varsinaisen kuivauksen kustannukset eivät muutu. Sen sijaan uusintatasaannutus aiheuttaa lisää käsittelykustannuksia ja kuluttaa kuivaamokapasiteettia.</p>
<p><i>Muut menetelmästä johtuvat lisäkustannukset</i> Lajittelu vinosyisyyden mukaan, esilajitellun tavaran lisäkäsittelyt lajittelussa ja rimoituksessa samoin kuin kuorman väentölaitteet aiheuttavat lisäkustannuksia. Kierojen puiden erilleen lajittelu, uudelleen rimoitus ja tasaannutuskäsittely aiheuttavat lisäkustannuksia.</p>
<p><i>Vaikutus tuotevalikoimaan. Ovatko lisätoimet myynissä ja markkinoinnissa tarpeen?</i> Ei vaikutusta (hylkykappaleiden määrä vähenee).</p>
<p><i>Muut menetelmän käyttöönottoon teollisuudessa vaikuttavat tekijät</i> Ratkaisevaa menetelmän käyttöönotolle on taloudellisten kuormanväentöratkaisujen kehittäminen. Oleellista on myös vinosyisyyden ja kierouden automaattinen mittaus.</p>

4.6 Kuumakuivaus

<p><i>Menetelmän kuvaus</i> Kuumakuivaus tarkoittaa kuivausta yli 100 °C:n lämpötiloissa. Kuivaus voidaan tehdä niin, että mukana on ilmaa tai pakottaa ilma kokonaan pois ja kuivata puhtaassa tulistetussa höyryssä (märkälämpötila 100 °C).</p>
<p><i>Kuinka menetelmä parantaa sahatavaran suoruutta?</i> Puun viruminen lisääntyy lämpötilan noustessa. Kuumakuivauksessa voidaan olettaa puun viruvan painojen alla tai vastakkaiseen suuntaan kierrettynä lämminilma-kuivausta enemmän. Viruminen riippuu myös puun kosteudesta ja käsittelyn kestosta.</p>
<p><i>Kuivausprosessille ja kuivaamolle asetettavat erityisvaatimukset</i> Kuumakuivaus on mahdollista vain siihen suunnitelluissa kuivaamoissa. Rakenteiden tulee kestää korkeaa lämpötilaa ja kosteutta. Kuivaamon tulee olla tiivis niin, että vain hallittu höyryn poisto on mahdollinen. Myös lämpöeristyksen tulee olla hyvä lämpövuotojen minimoimiseksi ja höyryn kondensoitumisen estämiseksi. Höyrynkehitin on tarpeellinen etenkin ylösajossa ja tasaannutuksessa.</p>
<p><i>Menetelmän vaikutus muihin sahatavaran laatutekijöihin</i> Kuumakuivaus muuttaa puun väriä. Paksujen tavaroiden pitkät kuivaukset johtavat koko poikkileikkauksen värin lievään tummentumiseen. Lautojen tummumista ei juuri ehdi tapahtua. Pintapuussa olevat uuteaineet muuttavat sen sijaan muotoaan ja näkyvät harmaina alueina ja juovina. Usein nämä muutokset (karamellisoituminen) ovat niin pinnallisia, että ne poistuvat höyläyksessä. Syvemmälle ulottuvia värivikoja esiintyy kuitenkin niin paljon, että kuumakuivattua tavaraa ei suositella esim. huonekalu- ja paneeliraaka-aineen kuivaukseen.</p>

<p>Pitkä kuumakuvaus vähentää vähän lujuutta. Maalattavuus ja liimattavuus ovat hyviä. Tosin puun haurastumisen johdosta puustamurtuminen adheesiokokeissa lisääntyy.</p>
<p><i>Vaikutus muuhun sahan tuotantoprosessiin</i> Monessa tapauksessa investointi uuteen lämpökeskukseen on tarpeen, jotta riittävät patterilämpötilat voidaan saavuttaa. Sähkölämmitys on mahdollinen, mutta kallis vaihtoehto. Värimuutosten takia kuumakuivattu tavara tulee käsitellä ja markkinoida erikseen, mikä lisää kustannuksia.</p>
<p><i>Vaikutus kuivauksen ja tasaannutuksen kustannuksiin</i> Kuivauskustannukset ovat vientikuivauksessa noin 5 % ja puusepänkuivauksessa noin 10 % pienemmät kuin lämminilmakuivauksessa.</p>
<p><i>Muut menetelmästä johtuvat lisäkustannukset</i> Materiaalivirran jakaminen kuumakuivattuun ja lämminilmakuivattuun lisää kustannuksia.</p>
<p><i>Vaikutus tuotevalikoimaan. Ovatko lisätoimet myynnissä ja markkinoinnissa tarpeen?</i> Kuumakuivattu tavara muodostaa oman tuoteryhmänsä.</p>
<p><i>Muut menetelmän käyttöönottoon teollisuudessa vaikuttavat tekijät</i> Nopean kuivumisen takia oikean loppukosteuden saavuttaminen edellyttää täsmällisiä kuormanvaihtoja. Tällöin kuormia täytyy vaihtaa myös yöllä ja viikonloppuisin. Tämä aiheuttaa joissakin tapauksissa merkittäviäkin lisäkustannuksia.</p>

4.7 Eri menetelmien vertailua

Menetelmiä voidaan verrata keskenään eri kriteerein. Niitä ovat mm. suoruus, suoruu-
den pysyvyys, laadun paranemisesta johtuva tulon lisäys sahalla sekä investointi- ja
käyttökustannukset. "Paras ratkaisu" on tapauskohtainen. Taulukkoon 11 on koottu eri
menetelmien vaikutuksia sahan toimintaan ja sahatavaran ominaisuuksiin.

Taulukko 11. Arvioita sahatavaran suoruuden parantamismenetelmistä. Merkkien selitykset: < vähenee, << vähenee selvästi, > kasvaa, >> kasvaa selvästi, - ei vaikutusta, ? vaikutus selvittämättä.

Suoruuden parantamismenetelmä	muodonmuutokset	kuivaus-kapasiteetti	kuivaus-kustann.	käsittely-kustann.	laadun aih. tulot	halkeilu
Tukkien lajittelu kierteisyyden mukaan	<	-	-	>	>	-
Tukin kiertäminen sahauksessa	<<	-	-	>	>	-
Tuoreliimaus - kuivaus	<<	-	-	>>	>>	<
Yläpuoliset painimet	<	< ¹	>	<>	>	-
Kuorman kierto kuivauksessa	<	<	-	>	>	-
Kierojen puiden oikaisu vastaväännöllä	<	<<	>	>	>	-
Kuumakuivaus	<	>	<	>	-	-

¹ käytettäessä betonipainoja. Pneumaattiset / hydrauliset painimet eivät vähennä kapasiteettia.

Suoruuden parantamismenetelmä	värin muutos	kosteus-hajonta	lujuus	myytävyyden normaali	erikseen
Tukkien lajittelu kierteisyyden mukaan	-	-	-	kyllä	
Tukin kiertäminen sahauksessa	-	-	-	kyllä	
Tuoreliimaus - kuivaus	-	?	?		kyllä
Yläpuoliset painimet	-	(<)	-	kyllä	
Kuorman kierto kuivauksessa	-	-	-	kyllä	
Kierojen puiden oikaisu vastaväännöllä	-	?	-	kyllä	
Kuumakuivaus	>	>	<		kyllä

Muodonmuutosten vähentämisen kannalta parhailta menetelmiltä vaikuttavat "tukin kiertäminen sahauksessa" ja "tuoreliimaus". Ensin mainittu edellyttää laitetekniikan kehittämistä ja soveltuu vain pienille tukeille, joista sahataan vain sydäntavara ja pinnat haketetaan.

Koko tuotannon laadun parantaminen ongelmakappaleiden jalostamisella halkaisemalla ja liimaamalla näyttää erittäin hyvältä ratkaisulta. Se edellyttää kuitenkin merkittäviä investointeja sekä uuden tietotaidon hankintaa sahalle. Vaihtoehtona on löytää ydinkeskeiselle tavaralle muuta käyttöä.

Tukkien lajittelu kierteisyyden mukaan on hyvä menetelmä, jos voimakkaasti kierresyiset tukit sahataan vähemmän vaativaan käyttöön tai saadaan ohjattua kohtuullisiin kustannuksin massateollisuuteen. Edullisinta olisi lajitella voimakkaasti kierteinen raaka-aine jo metsässä harvesteripäähän kehitettävällä mittalaitteella massapuuksi.

Kuorman kierto kuivauksessa ja uudet tasaannustekniikat edellyttävät uusia teknisiä ratkaisuja toimiakseen suurtuotannossa. Pk-yrityksissä ja trukkitäyttöisiä kamareita käytettäessä menetelmät ovat toteutettavissa tuottavasti nykytietämyksenkin avulla.

Yläpuolisten painimien käyttö parantaa etenkin ylimpien kuivauskuorman kerrosten suoruutta. Laskelmien mukaan investoinnin takaisinmaksuaika on alle vuosi. Menetelmää voidaan suositella kaikkiin kamareihin, vaikka muodonmuutosongelma ei sillä täysin poistukaan. Käytettäessä pneumaattisia tai hydraulisia painimia vähenee kuormien

kallistumis- ja kaatumisvaara. Painimiin yhdistetyt ilmanohjaimet estävät kuorman yläpuoliset ohivirtaukset.

Kuumakuivaus edistää tavaran suoristumista yläpuolista kuormitusta ja kuorman kiertoa käytettäessä. Kuumakuivauksen käyttöön liittyy kuitenkin paljon muita tekijöitä, jotka ovat menetelmän käyttöönoton kannalta paljon muodonmuutoksia merkityksellisempiä. Muodonmuutosten vähenemistä voidaan pitää lähinnä kuumakuivauksen lisähyötynä.

Suoran sahatavaran keskeisimmät avaintekijät ovat laadukas raaka-aine, lajittelu ja liimatut tuotteet.

5. Yhteenveto

Puun syiden kierteisyys, jota sahatavaran kohdalla nimitetään vinosyisyydeksi, on keskeinen syy sahatavaran kieroutumiseen kuivauksessa. Myös jotkin muutkin kasvavan puun kannalta hyvät ilmiöt, kuten reaktiopuu ja epäsymmetrinen oksisto, johtavat sahatavarassa haitallisiin muodonmuutoksiin, kuten syrjä- ja lapevääryyteen, kierouden lisäksi.

EU:n Straight-projektissa tutkittiin erilaisia menetelmiä, joilla sahatavaran suoruutta voidaan parantaa. Hanke keskittyi pääosin kuivauksessa tehtäviin toimiin. Lisäksi tarkasteltiin tukkien ja sahatavaran lajittelua syiden suunnan mukaan sekä ohjaamista erilaisiin käsittelyihin ja käyttökohteisiin. Projektissa tutkituista menetelmistä esitellään tässä julkaisussa tukkien lajittelu kierteisyyden mukaan, kierteisten tukkien kiertäminen sahauksen aikana, ydinkeskeisten saheidon halkaisu, yhteenliimaus ja kuivaus, kuivauskuorman pitäminen suorana yläpuolisilla painoilla tai painimilla, kuorman kiertäminen kuivauksessa ja jälkitasannuksessa viistettyjen aluspuiden avulla sekä kuumakuivaus.

Tehokkaimmaksi menetelmäksi osoittautui ytimen läheltä sahatun tavaran jalostaminen liimaamalla: ydinkeskeinen kappale halkaistaan tuoreena, alkuperäiset pinnat liimataan vastakkain ja kuivataan. Kauempaa ytimestä sahattu tavara on luonnostaan suorempaa. Menettelyllä parannetaan siten koko sahatavaratuotannon laatua.

Kuivauskuorman yläpuoliset painimet ovat tehokas ja edullinen tapa pitää tavara suorana kuivauksessa. Kuormituksen poistuttua muodonmuutokset lisääntyvät mutta ovat vähäisempiä kuin ilman painimia kuivattaessa. Lisäämällä kuormitusta kuivauksen edetessä estetään rimanpainaumat puun ollessa märkää mutta varmistetaan riittävä kuormitus myös kuivauksen loppuvaiheessa. Erittäin tärkeää on antaa tavaran jäähtyä yläpuolisen kuormituksen alaisena.

Suoraksi painamista tehokkaampaa on vääntää kuormaa kieroutumiselle vastakkaiseen suuntaan. Tämä voidaan toteuttaa viistetyillä aluspuilla trukkitäyttöisessä kamarissa. Menetelmää ollaan kehittämässä myös suursahoilla käytössä oleviin järjestelmiin soveltuvaksi. Kuivauksessa kieroutuneet puut voidaan myös suoristaa rimoittamalla ne uudelleen ja tasaannuttamalla kuivaamossa kierouteen nähden vastakkaiseen suuntaan kierrettyinä.

Korkeissa lämpötiloissa puun viruminen lisääntyy. Näin ollen kuumakuivaus tehostaa jossain määrin edellä esitettyjä suoruuden parantamismenetelmiä. Kuumakuivaus yksistään ei lisää suoruutta.

Muodonmuutokset lisääntyvät kosteuden alentuessa. Näin ollen puuta ei tulisi kuivata yhtään tavoitekosteutta kuivemmaksi. Kaikki menetelmät kosteushajonnan pienentämiseksi ovat eduksi, koska niillä voidaan vähentää ylikuivien kappaleiden määrää.

Muodonmuutosten väheneminen käytetyillä menetelmillä ei ole täysin pysyvää vaan muodonmuutokset lisääntyvät, kun niitä ei estetä. Muodonmuutokset ovat edelleenkin riippuvaisia puun kosteudesta. Toisin sanoen puun kuivuessa muodonmuutokset pääsääntöisesti lisääntyvät ja kostuessa vähenevät.

Sahausasetteen valinnalla voidaan vaikuttaa muodonmuutoksiin. Ydinvapaalla sahauksella parannetaan sahatavaran laatua. Ohut ydinkeskeinen lauta voidaan jalostaa liimatuiksi tuotteiksi. Voimakkaasti kierresyisestä tukista kannattaa sahata ohuita leveitä dimensioita. Joissakin tapauksissa voi olla kannattavaa lajitella voimakkaasti kierresyiset tukit pois sahatavaratuotannosta massanvalmistukseen. Keskeinen hyöty saavutetaan häiriöiden vähenemisenä kuljettimilla ja annostelijoilla.

Dimensioltaan $50 \times 100 \text{ mm}^2$ kuusisahatavara ei yleensä täytä rakentamisen suoruuksvaatimuksia, kun se on kuivattu alle 18 %:n kosteuteen. Puu onkin menettänyt markkinaosuutta väliseinien runkotolppana. Useimmat tutkitut menetelmät vain lieventävät tätä puutetta. Toisaalta vapaasti riippuvien kappaleiden muodonmuutokset harvoin vastaavat käytännön tilanteita, joissa sahatavara ja siitä tehdyt komponentit kiinnitetään puutuotteeseen tai -rakenteeseen.

Kirjallisuutta

Bäckström, M., Johansson, M. & Kliger, R. 2004. Properties of timber converted by using novel techniques – Report of WP 5 STRAIGHT Project. Department of Structural Engineering and Mechanics, Chalmers University of Technology, Publication 04:11, Structural Engineering and Mechanics – Steel and Timber Structures, Göteborg. 90 s.

Bäckström, M., Johansson, M. & Kliger, R. 2003. Restraining forces preventing twist in the in-service conditions in timber studs. Proceedings of the Second International Conference of the European Society for Wood Mechanics, Stockholm, Sweden, May 25–28.

Johansson, M. & Bäckström, M. 2003. Distortion models based on variation in material properties. Proceedings of the Fourth IUFRO WP S5.01–04 Workshop, Harrison Hot Springs, Canada, September 8–14.

Johansson, M., Perstorper, M., Kliger, R. & Johansson, G. 2001. Distortion of Norway spruce timber – part 2. Modelling of twist. Holz als Roh- und Werkstoff 59(3), s. 155–162.

Kliger, R., Johansson, M., Perstorper, M. & Johansson, G. 2003. Distortion of Norway spruce timber – part 3. Modelling bow and spring. Holz als Roh- und Werkstoff 61, s. 241–250.

Kliger, R., Nilsson, N. & Johansson, M. 2004. Pre-twisting during sawing results in straight studs. Submitted to Forest Products Journal.

Nyström, J. 2002. Automatic measurement of compression wood and spiral grain for the prediction of distortion in sawn timber products. Doctoral thesis, Luleå University of Technology, Division of Wood Technology, Skellefteå, Sweden. Publication nr. 2002: 37. 18 s. + liitt. 62 s.

Tarvainen, V. 2003. Kieroutumisen syyt ja vähentämiskeinoja. Puumies 48(9), s. 6–7.

Tarvainen, V. & Hukka, A. 1997. Sahatavaran kierouden vähentäminen kuivauksen keinoin. Esiselvitys. Espoo: VTT Tiedotteita 1861. 36 s. ISBN 951-38-5157-5; 951-38-5158-3. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1997/T1861.pdf>

Tronstad, S. 2003. Europa satser på rette bjelker. NTI Träteknisk Informasjon. June 2003. 50 s.

Uusijärvi, R. 2004. Rakare virke från befintlig skogsråvara. Träteknik Report P0407017, Stockholm, 2004. 41 s.

Tekijä(t) Tarvainen, Veikko			
Nimeke Menetelmiä sahatavaran suoruuden parantamiseksi			
Tiivistelmä Puun syiden kierteisyys, jota sahatavaralla nimitetään vinosyisyydeksi, on keskeinen syy sahatavaran kieroutumiseen kuivauksessa. Myös jotkin muutkin kasvavan puun kannalta hyvät ilmiöt, kuten reaktiopuu ja epäsymmetrinen oksisto, johtavat sahatavarassa haitallisiin muodonmuutoksiin, kuten syrjä- ja lapevääryyteen, kierouden lisäksi. EU:n Straight-projektissa tutkittiin menetelmiä, joilla sahatavaran suoruutta voidaan parantaa. Hanke keskittyi pääosin kuivauksessa tehtäviin toimiin. Lisäksi tarkasteltiin tukkien ja sahatavaran lajittelua syiden suunnan mukaan sekä ohjaamista erilaisiin käsittelyihin ja käyttökohteisiin. Projektissa tutkitut menetelmät olivat tukkien lajittelu kierteisyyden mukaan, kierteisten tukkien kiertäminen sahausajan aikana, sahatavaran lajittelu kuivausryhmiin alkukosteuden ja tiheyden mukaan, ydinkeskeisten saheiden halkaisu, yhteenlii- maus ja kuivaus, kuivauskuorman pitäminen suorana yläpuolisilla painoilla tai painimilla, kuorman kiertäminen kuivauksessa ja jälkitasannuksessa viistettyjen aluspuiden avulla, "sahaavat" kuivauskaavat sekä kuumakuivaus. Tehokkaimmaksi menetelmäksi osoittautui ytimen läheltä sahatun tavaran jalostaminen liimaamalla: ydinkeskeinen kappale halkaistaan tuoreena, sahatavaran alkuperäiset pinnat liimataan vastakkain ja kuivataan. Kauempaa ytimestä sahattu on luonnostaan suorempaa. Menettelyllä parannetaan siten koko sahatavaratuotannon laatua. Kuormanpainimet ovat tehokas ja edullinen tapa pitää tavara suorana kuivauksessa. Kuormituksen poistuttua muodonmuutokset lisääntyvät mutta ovat pienempiä kuin ilman painimia kuivattaessa. Lisäämällä kuormitusta kuivauksen edetessä estetään riman-painaumat puun ollessa märkää mutta varmistetaan riittävä kuormitus myös kuivauksen loppuvaiheessa. Tärkeää on jäähdyttää tavara yläpuolisen kuormituksen alaisena. Suoraksi painamista tehokkaampaa on vääntää kuormaa kieroutumiselle vastakkaiseen suuntaan. Tämä voidaan toteuttaa viistetyillä aluspuilla trukkitäytteisessä kamarissa. Menetelmää ollaan kehittämässä myös suursahoilla käytössä oleviin järjestelmiin soveltuvaksi. Kuivauksessa kieroutuneet puut voidaan myös suoristaa rimoittamalla ne uudelleen ja tasaannuttamalla kuivaamossa vastakkaiseen suuntaan kierrettyinä.			
Avainsanat sawn timber, Norway spruce, Sitka spruce, quality improvement, dimensional stability, twist, bow, log sorting, grain angle, spiral grain			
Toimintayksikkö VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Betonimiehenkuja 3, PL 1801, 02044 VTT			
ISBN 951-38-6710-2 (nid.) 951-38-6711-0 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)		Projektinumero R1SU00884/STRAIGHT	
Julkaisu-aika Toukokuu 2005	Kieli Suomi, engl. tiiv.	Sivuja 69 s.	Hinta B
Projektin nimi EU:n Straight-projekti		Toimeksiantaja(t) Suomessa: Wood Focus Oy, Valutec Oy	
Avainnimeke ja ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (nid.) 1455-0865 (URL: http://www.vtt.fi/inf/pdf/)		Myynti: VTT Tietopalvelu PL 2000, 02044 VTT Puh. 020 722 4404 Faksi 020 722 4374	

Author(s) Tarvainen, Veikko			
Title Methods to improve straightness of sawn timber			
Abstract <p>In the EU funded project STRAIGHT, different drying, sorting, conditioning and re-engineering methods to minimise the distortion of sawn softwood timber were investigated. The main outcome from this study for the industry is the Best Practice Manual. This publication is a shortened Finnish version of BPM. It presents the studied methods, their pros and cons in timber production, and in the end use of the sawn timber. The straightness improvement methods are examined according to the acceptance percentage of structural timber, when straightness is the main criteria. Other important criteria include extra drying and handling costs, the effects of methods on other quality factors and the saleability of material with normal sawmill production.</p> <p>The studied methods are: a) pre-sorting of logs according to the spiral grain angle, b) twisting of small diameter logs during sawing to counteract natural direction of twisting, c) re-engineering of pith-boxed battens using green gluing i.e. splitting battens along their length and re-engineering whilst green, d) twisting the drying load in the opposite direction to natural twist (the support sections on the kiln wagon are angled to counteract the normal direction of twist), e) top-loading of the kiln load, f) oscillating drying schedules for enforcing mechanosorptive creep to reduce twist, g) high-temperature drying and finally h) new conditioning techniques where dried twisted timber is re-stacked and stickered on angled support bunks which promotes opposite twisting during special conditioning.</p> <p>The best straightening results has been achieved by re-engineering the pith-boxed battens using green gluing before drying. The most cost-effective method is the top-loading and correct stickering of drying charges. It is important that the timber is top loaded during the cooling phase. The disadvantage of top-loading, as well as of the counter-wise twisting during drying is the spring back effect: the timber is fairly straight directly after drying, although the distortion increases gradually as environmental changes occur. These methods are good if the timber is used in a construction soon after drying or opening of timber package or re-engineered so that spring-back is prevented.</p>			
Keywords sawn timber, Norway spruce, Sitka spruce, quality improvement, dimensional stability, twist, bow, log sorting, grain angle, spiral grain			
Activity unit VTT Building and Transport, Betonimiehenkuja 3, P.O.Box 1801, FI-02044 VTT, Finland			
ISBN 951-38-6710-2 (soft back ed.) 951-38-6711-0 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)			Project number R1SU00884/STRAIGHT
Date May 2005	Language Finnish, engl. abstr.	Pages 69 p.	Price B
Name of project Straight-project of EU		Commissioned by In Finland: Wood Focus Oy, Valutec Oy	
Series title and ISSN VTT Tiedotteita – Research Notes 1235-0605 (soft back edition) 1455-0865 (URL: http://www.inf.vtt.fi/pdf/)		Sold by VTT Information Service P.O.Box 2000, FI-02044 VTT, Finland Phone internat. +358 20 722 4404 Fax +358 20 722 4374	

EU:n Straight-projektissa tutkittiin, miten sahatavaran suoruutta voidaan parantaa. Tehokkaimmaksi menetelmäksi osoittautui ytimen läheltä sahatun tavaran jalostaminen liimaamalla: ydinkeskeinen kappale halkaistaan tuoreena, alkuperäiset pinnat liimataan vastakkain ja kuivataan. Kauempaa ytimestä sahattu tavara on luonnostaan suorempaa. Menettelyllä parannetaan siten koko sahatavaruotannon laatua.

Kuormanpainimet ovat tehokas ja edullinen tapa pitää tavara suorana kuivauksessa. Kuormituksen poistuttua muodonmuutokset lisääntyvät mutta ovat pienempiä kuin ilman painimia kuivattaessa. Tärkeää on jäähdyttää tavara yläpuolisen kuormituksen alaisena. Suoraksi painamista tehokkaampaa on vääntää kuormaa kieroutumiselle vastakkaiseen suuntaan. Tämä voidaan toteuttaa viistetyillä aluspuilla tai vastaavalla vinolla alustalla.

Julkaisussa arvioidaan eri menetelmien hyviä ja huonoja puolia sahatavaran suoruuden parantamiseen tähtäävien investointihankkeiden pohjaksi.

Tätä julkaisua myy
VTT TIETOPALVELU
PL 2000
02044 VTT
Puh. 020 722 4404
Faksi 020 722 4374

Denna publikation säljs av
VTT INFORMATIONSTJÄNST
PB 2000
02044 VTT
Tel. 020 722 4404
Fax 020 722 4374

This publication is available from
VTT INFORMATION SERVICE
P.O.Box 2000
FI-02044 VTT, Finland
Phone internat. + 358 20 722 4404
Fax + 358 20 722 4374
