

Metoder för produktion av rakare virke

Översikt av STRAIGHT-projektets resultat

Jarl-Gunnar Salin

Metoder för produktion av rakare virke

Översikt av STRAIGHT-projektets resultat

Abstract

Methods for the production of straighter timber. Summary of results from the STRAIGHT project.

This report is a Swedish summary of the results obtained in the EU STRAIGHT project "Measures for improving quality and shape stability of sawn softwood timber during drying and under service conditions". The aim of the project was to investigate different methods to minimise sawn softwood timber deformations, especially twist.

The final report of the project and all subproject reports are available in English at <http://projects.bre.co.uk/ConDiv/straight/reports.html> . The final report "Best Practice Manual to improve straightness of sawn timber" is also available at www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2005/P584.pdf .

Key words: Twist, drying, grain angle, creep, top loading, green gluing, pre-twist, bow, spring, high temperature drying, feasibility

**SP Sveriges Provnings- och
Forskningsinstitut**
SP Rapport 2006:32
ISBN 91-85533-17-3
ISSN 0284-5172
Stockholm

**SP Swedish National Testing and
Research Institute**
SP Report 2006:32

Postal address:
Box 5609,
SE-114 86 STOCKHOLM, Sweden
Telephone: +46 8 762 1800
Telefax: +46 8 762 1801
E-mail: info@sp.se

Innehållsförteckning

Abstract	2
Innehållsförteckning	3
Förord	5
Sammanfattning	6
1 Inledning	7
2 EU STRAIGHT-projektet	8
2.1 Projektets mål	8
2.2 Analyserade metoder	9
2.3 Skevhet – orsak, mätning och stabilitet	9
3 Undersökta metoder för minimering av skevhet	11
3.1 Stocksortering på basis av snedfibrighet	11
3.1.1 Metod	11
3.1.2 Resultat	13
3.1.3 Rakhet i användning	14
3.1.4 Lönsamhetsbedömning	14
3.2 Vridning av klentimmer under sågningen	14
3.2.1 Metod	14
3.2.2 Resultat	15
3.2.3 Rakhet i användning	17
3.2.4 Lönsamhetsbedömning	17
3.3 Försortering på basis av startfuktkvot och densitet	18
3.4 Märgklyvning och våtlimning	19
3.4.1 Metod	20
3.4.2 Resultat	20
3.4.3 Rakhet i användning	22
3.4.4 Lönsamhetsbedömning	23
3.5 Tryckbelastning på virkesstaplar vid torkning	24
3.5.1 Metod	24
3.5.2 Resultat	25
3.5.2.1 Belastningsnivåns inverkan på deformationerna	25
3.5.2.2 Samverkan av snedfibrighet och belastning på deformationerna	29
3.5.3 Rakhet i användning	31
3.5.4 Slutsatser	32
3.5.5 Rekommendationer för tryckbelastningens genomförande	33
3.5.6 Praktiska erfarenheter	34
3.5.7 Lönsamhetsbedömning	35
3.6 Torkning och konditionering av virke i motvridet läge	36
3.6.1 Metod	36
3.6.2 Resultat	37
3.6.2.1 Laboratorieförsök	37
3.6.2.2 Industrieförsök	41
3.6.2.3 Industrieförsök med värmebehandling	44
3.6.3 Rakhet i användning	50
3.6.4 Rekommendationer	51
3.6.5 Lönsamhetsbedömning	53
3.7 Oscillerande torkscheman	53
3.8 Högtemperatortorkning	54

3.8.1	Metod	54
3.8.2	Resultat	54
3.8.3	Rakhet i användning	56
3.8.4	Lönsamhetsbedömning	56
4	Sammanställning av de olika skevhetsminskande metodernas lämplighet	57
4.1	Stocksortering på basis av snedfibrihet	59
4.2	Vridning av klentimmer under sågningen	60
4.3	Försortering på basis av startfuktkvot och densitet	61
4.4	Märgklyvning och våtlimning	62
4.5	Tryckbelastning på virkestaplarna vid torkning	63
4.6	Torkning och konditionering av virke i motvridet läge	64
4.7	Oscillerande torkscheman	65
4.8	Högtemperatortorkning	65
4.9	Jämförelse av olika metoder	65
	Litteratur	66

Förord

Denna svenska översikt av resultaten från EU-projektet ”Measures for improving quality and shape stability of sawn softwood timber during drying and under service conditions” med kortnamnet STRAIGHT, har finansierats av Skogsindustrierna genom projekt nr 2005/8, för vilket uttrycks ett varmt tack.

Sammanfattning

Denna rapport utgör en svenskspråkig översikt av EU STRAIGHT-projektets resultat. Detta projekts mål var att ta fram metoder för produktion av rakt virke. De delprojekt som ingick, och som presenteras i denna översikt, var följande:

- Stocksortering på basis av snedfibrighet
- Vridning av klentimmer under sågningen
- Försortering på basis av startfuktkvot och densitet
- Märgklyvning och våtlimning
- Tryckbelastning på virkesstaplarna vid torkning
- Torkning och konditionering av motvridet virke
- Oscillerande torkscheman
- Högtemperaturtorkning

Utöver detta behandlas orsakerna till skevhet hos virket, samt stabiliteten hos virke som genomgått någon skevhetsminskande åtgärd. Slutligen görs en grov jämförelse av de olika metoderna. I översikten har huvudvikten lagts på de metoder som bedömts viktigast ur industriell synpunkt.

Märgklyvning och våtlimning visade sig vara den mest effektiva metoden och ger både rakt och stabilt virke. Det är dock även den mest omfattande metoden vad gäller implementering industriellt. Vridning av klentimmer under sågningen samt Torkning av virke i motvridet läge kan båda producera virke med en medelskevhet nära noll men åtgärderna bör anpassas efter virkets jämviktsfuktkvot i slutanvändningspunkten. Den metod som är enklast att genomföra är Tryckbelastning på virkesstaplarna, men denna metod ensam kan bara minska virkets inneboende skevhetsbenägenhet till hälften.

1 Inledning

Virkesdeformationer har blivit en allt viktigare kvalitetsfaktor, speciellt inom byggnadssektorn där andra material hotar att konkurrera ut trä. Detta har accentuerats av torkning till lägre fuktkvoter samt byggnadsarbetets mekanisering och automatisering. I ett stort EU-projekt, STRAIGHT, har olika metoder att åtgärda deformationerna (formfelen) studerats. I första hand är det fråga om virkets skevhet men till viss del har även kantkrokighet, flatböjning och kupighet inkluderats. I projektet deltog nio partner från sju olika länder och varje partner ansvarade för analysen av åtminstone en deformationsminskande metod. Vem som ansvarat för en viss metod framgår i början av beskrivningen för respektive metod i denna rapport.

Varje partner har rapporterat resultaten för den metod som undersökts. Några sådana delrapporter har listats i litteraturförteckningen och alla rapporter återfinns på <http://projects.bre.co.uk/ConDiv/straight/reports.html>. Därtill har en sammanfattande slutrapport inklusive rekommendationer ställts samman av VTT i Finland (Tarvainen, 2005a). Alla dessa rapporter har skrivits på engelska. Då skevhetsproblematiken är viktig för den svenska sågverksindustrin och då några rätt så effektiva metoder tagits fram för hantering av detta problem har det varit motiverat att göra en svenskspråkig översikt av projektets viktigaste delar. Som huvudsakligt basmaterial för denna översikt har använts dels den nämnda slutrapporten och dels en av VTT gjord finskspråkig sammanfattning för finländsk industri (Tarvainen, 2005b). Föreliggande svenska version är dock inte en direkt översättning av någondera av dessa, utan en viss anpassning till svenska förhållanden och kanske en delvis avvikande åsikt om fördelarna och nackdelarna med olika metoder har påverkat innehållet. Det ligger i sakens natur att varje partner i projektet gärna överdrivit den ”egna” metodens fördelar. Detta sammanhänger till stor del med att förhållandena och marknadskraven är olika i olika länder. En rangordning av olika skevhetsminskande metoder måste med andra ord bedömas separat för varje specifikt fall. STRAIGHT-projektet har i varje fall genererat en stor mängd värdefull information och denna svenska översikt strävar till att ge en någorlunda täckande översikt av resultaten.

I litteraturförteckningen ingår även några nyare referenser med koppling till skevhetsproblematiken.

I projektet presenterades lönsamhetsberäkningarna med euro som valuta. I denna översikt har kursen 1 EUR = 10 SEK för enkelhets skull använts vid omräkning, vilket kan uttryckas så att ca 7 % inflation sedan slutrapportens sammanställande har beaktats.

2 EU STRAIGHT-projektet

EU har inom det 5:e ramprogrammet finansierat ett projekt ”Measures for improving quality and shape stability of sawn softwood timber during drying and under service conditions” som fått kortnamnet STRAIGHT (QLK5-2001-00276). Såsom projektnamnet antyder har målet varit att ta fram metoder för att minska deformationerna hos torkade sågvaror samt kontrollera stabilitet och beteende i slutanvändningspunktens förhållanden. Partnerna i projektet framgår av följande lista

Building Research Establishment (BRE), Watford, England (Projektkoordinator)	Geoff Cooper & Keith Maun
Chalmers tekniska högskola, Konstruktionsteknik. Göteborg	Robert Kliger, Marie Johansson & Magnus Bäckström
SP Träteknik, Stockholm	Björn Esping & Jarl-Gunnar Salin
VTT Bygg och transport, Esbo, Finland	Veikko Tarvainen, Holger Forsén, Alpo Ranta-Maunus & Antti Hanhijärvi
Norsk Treteknisk Institutt (NTI) Oslo, Norge	Sverre Tronstad, Knut Magnar Sandland & Kjersti Folvik
Technical Centre for Wood and Furniture (CTBA) Paris, Frankrike	Daniel Aleon
Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft (BFH) Hamburg, Tyskland	Johannes Welling & Torsten Riehl
Brookhuis Micro-Elektronics BV Enschede, Nederländerna	Pieter Rozema & Martijn Schuijl
TNO Applied Physics Delft, Nederländerna	Michel Riepen

2.1 Projektets mål

Huvudmålet var att finna metoder för att öka rakheten (minska formfelen) hos sågvaror av gran och sitkagran. De ekonomiska förlusterna till följd av virkesdeformationer är mycket betydande, för i byggindustrin är det upp till 30 % av virket som inte kan godkännas p.g.a. skevhet, kantkrokighet eller flatböjning. Sågverksindustrins sorteringsregler tillåter för stora deformationer. En del kan återvinnas, t.ex. i form av kortare virkesstycken som är tillräckligt raka men detta leder till extra arbete och kostnader. På sikt är det enda rätta, med tanke på sågindustrins image, att leverera endast rakt virke till kunderna. Målet kan uppnås genom sortering av råvaran, med nya såg- och torkningstekniska lösningar samt med förädling av problemråvara genom limning till raka produkter. I praktiken har arbetet varit koncentrerat på minskning av skevheten.

2.2 Analyserade metoder

Metoder för ökning av rakheten, som analyserats i projektet, är i produktionsprocessens ordningsföljd:

- A. Stocksortering på basis av snedfibrighet.
- B. Vridning av stocken under sågningen.
- C. Sortering i torkningsgrupper enligt startfuktkvot och densitet.
- D. Märgklyvning och våtlimning.
- E. Tryckbelastning på virkesstaplar vid torkning.
- F. Torkning av virke i motvridet tillstånd.
- G. Oscillerande torkscheman
- H. Högtemperaturtorkning.
- I. Värmebehandling av redan torkat, men skevt, virke i motvridet tillstånd.

Dessa metoder kan indelas i fyra grupper enligt åtgärdens verkningssätt:

1. Utsortering av problemråvara i färskt tillstånd (stockar eller sågvaror) ut ur produktionen eller dirigerad till specialbehandling (A).
2. Sågning med beaktande av stockens egenskaper, främst fibervinkeln, och torkning så att den färdiga produkten vid målfuktkvoten är rak (B).
3. Belastning av virket under torkningen eller vid en senare behandling, så att virket till följd av krypning (formförändring) blir rakt efter processen eller i slutanvändningspunkten (E, F, G, H, I och delvis C).
4. Sönderdelning och hoplimning så att deformationskrafterna tar ut varandra (D).

Metoderna C, G och H (ifråga om ökad rakhets) har inte visats vara tillräckligt effektiva och dessa behandlas därför endast i korthet vid genomgången i följande kapitel.

2.3 Skevhet – orsak, mätning och stabilitet

Den egentliga orsaken till skevhet hos torkat virke sammanhänger med virkets snedfibrighet, d.v.s. fibrerna är inte exakt orienterade i stammens riktning, utan går i en spiral med märgen i mitten. Då virket torkar är krympningen tvärs fibrerna betydligt större än längs fibrerna och detta leder då till en skevning som alltså blir proportionell med fibervinkeln. Detta framgår av följande formel som härletts av Stevens och Johnston (1960) för skevheten vid torkning av fritt rörligt virke.

$$\alpha = \frac{2Ls\Theta}{r(1-s)}$$

där

α = skevhetsvinkel, grader

Θ = fibervinkel, grader

L = plankans längd, m

r = radiellt avstånd från mörgen, m

s = tangentiell krympning, m/m

Denna formel är approximativ men ger en god bild av sammanhangen. Formeln bygger på antagandet att fibervinkeln är konstant och oberoende av avståndet från mörgen, vilket dock inte är fallet i verkligheten för t.ex. gran. Ekevad (2005) har visat att denna fibervinkelgradient också påverkar skevhetens storlek. Det bör observeras att fibervinkeln nära mörgen alltså till övervägande del är riktad åt samma håll, vilket leder till att mörgnära virke också huvudsakligen skevar åt samma håll. En omfattande undersökning av fibervinkeln hos svensk gran finner man i (Säll 2002).

Inom projektet har skevhet i princip mätts så att en 2 m lång bit lagts på ett plant underlag så att tre hörn ligger mot ytan och det fjärde hörnets avstånd från ytan mäts upp (och proportioneras till 100 mm bredd). Skevheten anges alltså i mm per 2 m längd och 100 mm bredd. För bitar längre än 2 m är det väsentligt var på biten denna längd väljs ut. I ett vanligt ströat virkespaket kommer den ena ändan att hamna mellan två strörader och denna del är då fritt rörlig vilket normalt leder till större skevhet. Problem av denna typ har i projektet beaktats för att hålla mätresultat inbördes jämförbara.

Såsom gräns mellan acceptabel och icke acceptabel deformation har i STRAIGHT-projektet valts:

Skevhet	4 mm/100 mm/2 m
Flatböjning	4 mm/2 m
Kantkrokighet	3 mm/2 m
Kupighet	2 mm/100 mm

För att kontrollera hur stabilt resultatet är för de olika skevhetsmotverkande metoderna, så lät man virket genomgå en fuktkvotscyklning. Virkesstyckena var upphängda i taket i en klimatkammare, d.v.s. virket var fritt rörligt utan deformationsmotverkande krafter. Klimatet varierades med tre månaders mellanrum med relativa luftfuktigheterna 85 %, 30 % och slutligen igen 85 % samt temperaturen 23°C. För varje klimat mättes skevhet och fuktkvot. Skevheten har sedan normaliserats till 15 % fuktkvot genom linjär interpolation mellan de uppmätta fuktkvotsvärdena. Skevheten har bedömts enligt den ovan angivna acceptansgränsen, dock utan att notera riktningen för avvikelser från raket. Resultaten redovisas i denna rapport under rubriken ”Raket i användning” för respektive metod.

Då skevhetens riktning inte noterades finns det risk att resultatet för de effektivaste metoderna kan vara missvisande. Materialet för dessa stabilitetstester levererades av de olika parterna uppenbarligen vid något olika fuktkvoter. Skevhetsminskningens återgång (spring-back) under den första anpassningen till relativa fukthalten 85 %, har troligen därför också varit olika, vilket påverkat resultatet från efterföljande klimatväxlingar. Slutligen har fibervinkeln för de olika levererade partierna inte beaktats vid resultatgenomgången och därför framgår det inte hur den inneboende skevhetsbenägenheten påverkat återgången. Dessa faktorer gör att det tyvärr inte går att jämföra olika skevhetsminskande metoder med varandra i fråga om stabiliteten.

3 Undersökta metoder för minimering av skevhet

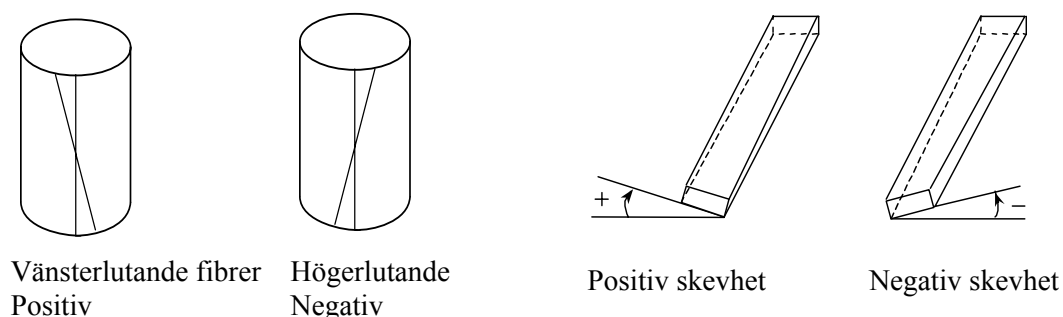
Projektet var uppdelat i sex huvudområden, vilka var 1) råvaruanskaffning, 2) metoder för minimering av formförändringar, 3) bestämning av torkningskvalitet, 4) formförändringar efter torkningen i föränderligt klimat, 5) de undersökta metodernas inverkan på virkets egenskaper och 6) resultatens sammanfattning och resultatförmedling.

Område 2 innehåller alla undersökta metoder. Områdena 3-5 innehåller den experimentella delens mätningar och resultatanalys. De gjorda undersökningarna och uppnådda resultat presenteras i det följande, metod för metod.

3.1 Stocksortering på basis av snedfibrighet

Robert Kliger, Marie Johansson, Magnus Bäckström
Chalmers tekniska högskola

Den huvudsakliga orsaken till skevhet hos virket är snedfibrighet. Genom att mäta fibervinkeln på stocken kan man från produktionen sortera ut sådana stockar som kan förväntas leda till stora formförändringar. Ur dessa stockar kan man antingen såga produkter vars krav gällande skevhet är lägre, eller stockarna kan dirigeras till specialsågning och sågvirket till specialtorkning varigenom den naturliga strävan till formförändring kan minskas. Chalmers har undersökt hur stockens snedfibrighet påverkar skevheten hos det utsågade virket. Figur 1 visar en principskiss över stockens och virkets snedfibrighet och hur riktningen beskrivs.



Figur 1. Definition av riktningen för fibervinkel och skevhet. Detta är den definition som använts i STRAIGHT-projektet – även den motsatta definitionen förekommer.

3.1.1 Metod

En barkad stocks snedfibrighet på ytan kan mätas i industrimiljö åtminstone med hjälp av laserteknik (Nyström 2002). En tunn laserstråle riktas vinkelrätt mot träytan. På ytan bildas en elliptisk ljusfläck vars storaxel ligger i fiberriktningen, denna så kallade trakeideffekt illustreras av Figur 2. Ljusfläckens orientering, d.v.s. fiberriktningen kan bestämmas medamerateknik.

I detta delprojekt mätte Chalmers personal snedfibrigheten hos obarkade stockar med hjälp av en mätanordning kallad S-GAG. En speciellt utformad egg trycks eller slås in i träet, varvid den – speciellt i färskt trä – ställer sig i fiberriktningen. Apparaten är tills vidare utvecklad enbart för manuell mätning. Apparaten har en skala som visar vinkeln

mellan eggen och ett skaft som ställts i stockens riktning (Figur 3). Metoden lämpar sig mindre väl för torkat virke.



Figur 2. Avlång ljusfläck, utdragen i fiberriktningen, som bildas av en rund laserstråle då den träffar virkesytan..

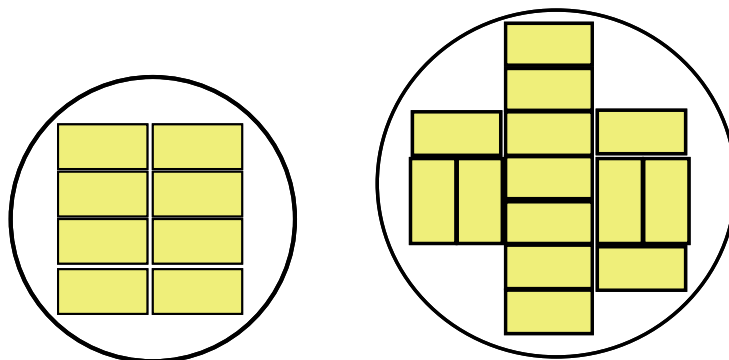


Figur 3. S-GAG mätapparat för mätning av fibervinkel.

T.ex. i kvalitetskontroll kan fibervinkeln även bestämmas manuellt med den s.k. ritsmetoden. Träets tangentiella yta ritsas med en vass nål på ett ledat skaft som hindrar ofrivillig rörelse i tvärriktningen. Skåran som bildas följer fiberriktningen och fibervinkeln kan därmed mätas upp.

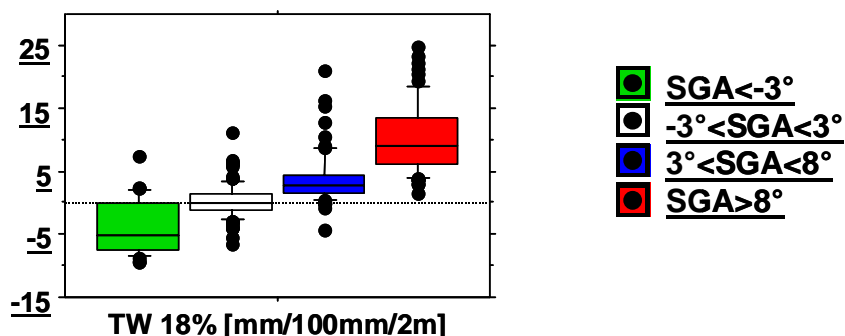
3.1.2 Resultat

Vid Södra Timber AB, Värösågen valdes ur ett parti med 1000 stockar sådana med en diameter över 30 cm och med hjälp av S-GAG anordningen så att fyra grupper med olika nivåer på fibervinkeln erhöles. Målet var att finna stockar med speciellt hög högerlutande fibervinkel under bark. Stockarna sågades med en postning vald så att utbytet av 50 x 100 mm² blev så högt som möjligt (Figur 4). Utbytet varierade från 5 till 20 regler per stock. Totalt ingick 31 stockar och 282 regler. Efter sågningen var rakheten hos virket god.



Figur 4. Exempel på använda sågningsmönster.

Materialet torkades i torksatsens mittstapel i en kammartork till 18 % fuktkvot. Det torkade materialet hängdes upp fritt rörligt i laboratoriets klimatrum (20°C, 90 % RF). Figur 5 visar det torkade och jämviktskonditionerade virkets skevhet för de olika grupperna. Inom rektanglarna i figuren faller 50 % av mätvärdena och mittstrecket i rektangeln visar medelvärdet.



Figur 5. Sågade virkets skevhet (mm/100 mm/2 m) som funktion av fibervinkeln (SGA) mätt under bark. Hälften av antalet ligger inom rektanglarna och strecken anger medeltalet och 10 % fraktilerna. Punkterna utgör individuella extremvärden.

Av alla regler hade 58 % en skevhet mindre än 4 mm/100 mm/2 m. Ur stockarna med rak fiberriktning ($-2^\circ < SGA < +2^\circ$) sågade bitar uppfyllde 90,5 % den ifrågasvarande skevhetsgränsen vid 18 % fuktkvot. De motsvarande värdena för olika fibervinkelområden var $\pm 3^\circ/88,8\%$, $\pm 4^\circ/84,6\%$, $\pm 6^\circ/78,2\%$ och $\pm 7^\circ/77,4\%$.

Av bitarna sågade intill märgen uppfyllde 35 % det angivna rakhetskravet. Detta visar att bitar nära märgen har en förhöjd skevhetsbenägenhet. Det bör dock uppmärksammas att ovan angivna värden representerar ett på ett speciellt sätt utvalt virke, med en helt annan egenskapsfördelning (stockdiameter, sågningsmönster och extrem fibervinkel under bark) än hos det normala flödet vid ett sågverk. Värdena saknar därför allmängiltighet.

3.1.3 Rakhet i användning

Det från de olika stockgrupperna sågade och torkade virket fuktutjämnades fritt hängande i tre olika klimatförhållanden under tre månader i vart klimat. Klimatrummens temperatur var 23°C och relativa luftfuktigheten under respektive period var 85, 30 och 85 %. Virket från stockar med låg fibervinkel behöll sin rakhet bäst. Skevhetens ökning var trots variationen i fukt rätt måttlig (Tabell 1).

Tabell 1. Det raka virkets andel efter fuktutjämning fritt hängande. Skevheten har normaliserats till 15 % fuktkvot. Acceptansgränsen är 4 mm/100 mm/2 m.

Stockarnas fibervinkel under bark (°)	Andel accepterat virke (%) efter första perioden	Andel accepterat virke (%) efter tredje perioden
SGA < -3	40,0	30,0
-3 < SGA < +3	79,7	77,4
3 < SGA < 8	34,7	24,5
8 < SGA	3,8	3,8

3.1.4 Lönsamhetsbedömning

Den för sågverket optimala situationen skulle vara att kraftigt vridna delar av stammen skulle reserveras för massaindustrin redan i skogen. Tills vidare saknas dock kvalitetskrav för sågstock vad gäller snedfibrighet. Å andra sidan finns det inte heller metoder för automatisk mätning av fibervinkel i skogen. S-GAG mätarens princip kunde eventuellt vidareutvecklas för att ingå i en skördares utrustning.

Chalmers har granskat hur en på sågverket genomförd utsortering av stockar med stor snedfibrighet påverkar lönsamheten. I granskningen har beaktats råvarupris, ersättning för till massafabrik sänd utskottsstock, pris för färdigt sågvirke i relation till stockens snedfibrighet samt fibervinkelns fördelning i stockflödet. Enligt granskningen uppnår man inte lönsamhet för stocksoreringen. Enligt intervjuer vid små och medelstora sågverk skulle utsortering av kraftigt snedfibriga stockar minska störningarna i virkets hantering i produktionen så mycket att åtgärden ändå skulle löna sig.

3.2 Vridning av klentimmer under sågningen

*Robert Kliger, Marie Johansson, Magnus Bäckström
Chalmers tekniska högskola*

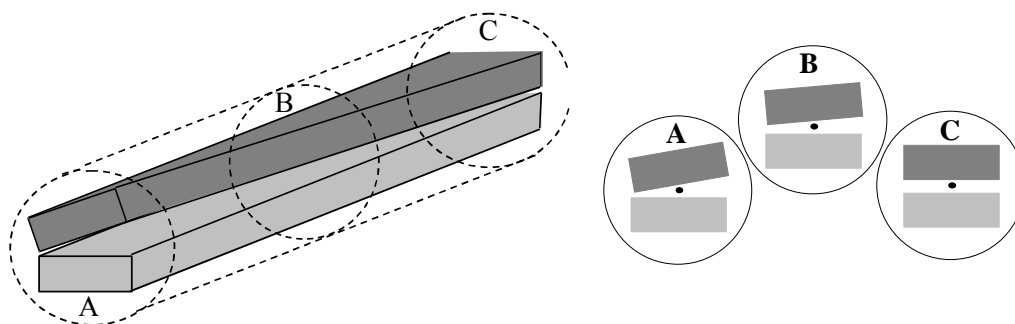
Det är välkänt att mörgnära bitar (2 ex log) har en förhöjd benägenhet att bli skeva. En möjlighet att utnyttja klentimmer är att sågningen sker under vridning så att bitarna är vridna efter sågen men raknar i torkningen. Denna metod har undersökts av Chalmers tekniska högskola. Det bör observeras att endast klentimmer kommer ifråga, emedan man inte kan såga de inre bitarna vridna, samtidigt som de yttre bitarna inte sågas lika mycket vridna.

3.2.1 Metod

I den undersökta metoden vrids stocken under sågningen i motsatt håll i förhållande till den riktning som sågvirket strävar att vrida sig under den efterföljande torkningen. Om stockens snedfibrighet mäts före sågningen är det möjligt att individuellt bestämma en lämplig vridning för respektive stock. Ett annat alternativ är att vrida alla stockar lika

mycket under sågningen, så att det erhållna sågvirket efter torkningen i medeltal får så liten skevhet som möjligt.

Vid undersökningen sågades provstockarna med en horisontell bandsåg. Stocken var fäst på matningsbordet så att den kunde roteras under sågningen. Vid första sågningen avlägsnades den översta delen av stocken under svag vridning så att en vriden yta skapades. Därefter flyttades sågbladet 50 mm nedåt och följande snitt gjordes med samma storlek på vridningen. På det sättet erhöles en jämntjock vriden okantad plank. Sedan gjordes ett tredje snitt utan vridning så att stockhalvan fick en plan yta. Detta resulterade i en kilformad bräda som innehöll mörgen. Stocken vändes därefter 180° och ett fjärde snitt gav en rak plank som en referens. De båda plankornas avstånd till mörgen var ungefär lika stort (Figur 6).

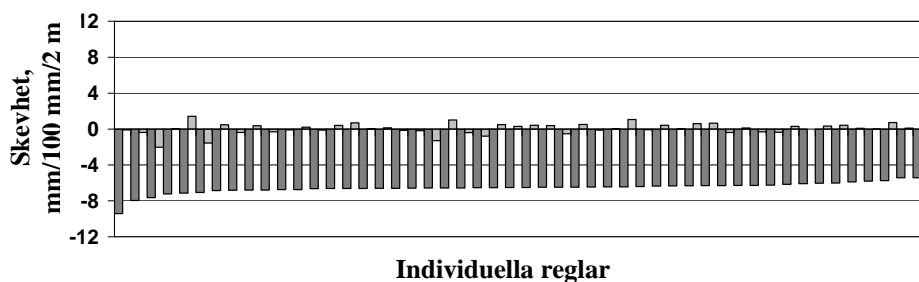


Figur 6. Ur varje stock sågades en regel under vridning samt, som referens, en regel på normalt sätt.

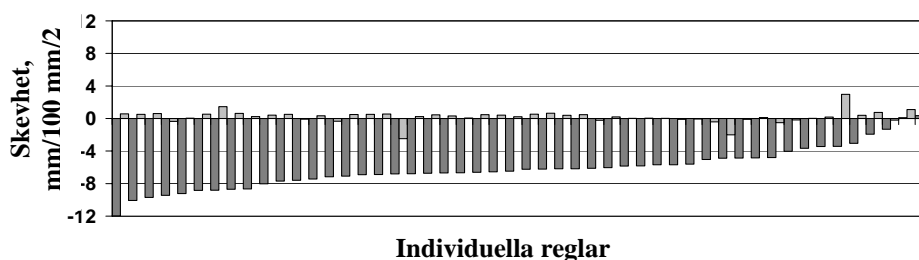
Från vardera av två orter anskaffades 50 stockar för proven. Det ena beståndet var vindutsatt och därifrån erhöles stockar med hög snedfibrighet. Det andra beståndet var en skyddad växtplats. Vardera gruppens stockar ordnades först i storleksordning enligt fibervinkeln. Därefter bildades två nya grupper genom att välja stockar parvis så att grupperna i fråga om fibervinkeln blev så lika som möjligt. Från varje stock sågades ena sidan rakt och den andra sidan under vridning (Figur 6). Hälften av stockarna sågades med konstant vridning ($3,5^\circ/2$ m) och andra hälften med en individuell vridning på basis av den uppmätta fibervinkeln.

3.2.2 Resultat

Skevheten hos utsågade regler mättes både före (Figurer 7-8) och efter torkningen (Figur 9). Med konstant vridning sågade regler uppvisade före torkningen en negativ medelskevhet om $-6,5$ mm/100 mm/2 m med en standardavvikelse om 0,6 mm/100 mm/2 m. De rakt sågade reglarna hade en medelskevhet före torkningen om 0,1 mm/100 mm/2 m med en standardavvikelse om 0,6 mm/100 mm/2 m (Figur 7). På motsvarande sätt uppvisade reglarna sågade med individuell vridning en medelskevhet om $-6,2$ mm/100 mm/2 m med en standardavvikelse om 2,4 mm/100 mm/2 m. Jämförelsematerialet som sågats rakt hade en medelskevhet före torkningen om 0,2 mm/100 mm/2 m med en standardavvikelse om 0,7 mm/100 mm/2 m (Figur 8).

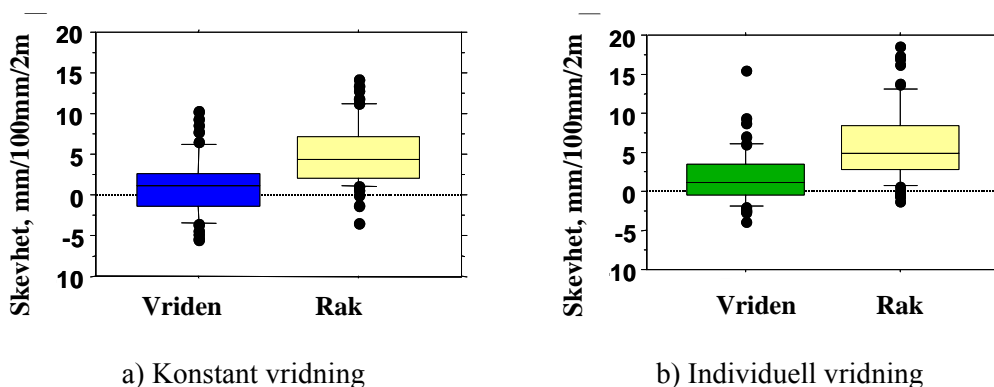


Figur 7. Skevhets efter sågningen. Mörka staplar visar skevhets hos regler sågade med konstant vridning och ljusa staplar skevhets hos regler sågade rakt.



Figur 8. Skevhets efter sågningen. Mörka staplar visar skevhets hos regler sågade med individuell vridning och ljusa staplar skevhets hos regler sågade rakt.

Provmaterialets skevhets mättes på nytt efter torkning till 18 %. Av det rakt sågade materialet uppfyllde endast 32 % rakhetskravet (4 mm/100 mm/2 m). För de med vridning sågade bitarna var motsvarande andel 60 %. Det förefaller att den individuellt valda vridningen vid sågningen inte valts på ett optimalt sätt då någon positiv effekt jämfört med konstant vridning inte kan ses.



Figur 9. Uppmätt skevhets för under vridning sågat virke respektive normalt (rakt) sågat virke, efter torkning till 18 % fuktkvot. Till vänster (a) sågning med konstant vridning och till höger (b) sågning med individuell vridning av stocken. Hälften av antalet ligger inom rektanglarna och strecken anger medeltalet och 10 % fraktilerna. Punkterna utgör individuella extremvärden.

3.2.3 Rakhet i användning

Virket från de olika grupperna fuktutjämnades fritt hängande i tre olika klimatförhållanden under tre månader i vart klimat. Klimatrummens temperatur var 23°C och relativa luftfuktigheten under respektive period var 85, 30 och 85 %. I Tabell 2 visas skevheten i form av andel accepterade bitar efter första och tredje utjämningsperioden.

Tabell 2. Det raka virkets andel efter fuktutjämnning fritt hängande. Skevheten har normaliserats till 15 % fuktkvot. Acceptansgränsen är 4 mm/100 mm/2 m.

Sågsätt	Andel accepterat virke (%) efter första perioden	Andel accepterat virke (%) efter tredje perioden
Konstant vridning vid sågning	40	36
Rak sågning	30	30
Individuell vridning vid sågning	48	46
Rak sågning	26	22

Resultaten visar att vridning under sågningen – antingen konstant eller individuell vridning – ger en lägre skevhet efter torkning än rak sågning. Samma inbördes ordning uppvisades även vid 10 % fuktkvot.

3.2.4 Lönsamhetsbedömning

Vridning under sågningen är inte något nytt koncept men det torde inte för närvarande existera någon kommersiell apparatur för genomförande i industriell skala. Därigenom är det svårt att uppskatta storleken på den tilläggsinvestering som krävs för genomförandet. I den följande beräkningen antas kostnaden vara 5 MSEK för en produktion av 100000 m³/år. Priset för virke som uppfyller acceptanskravet antas vara 2000 SEK/m³ och priset för skevt virke 1400 SEK/m³. Enligt ovan givna värden får man följande värdeminskningar till följd av skevhet.

$$\text{Traditionell sågning} = (1 - (0,32 + 0,68 \times 1400/2000)) \times 100 \% = 20,4 \%$$

$$\text{Sågning under vridning} = (1 - (0,6 + 0,4 \times 1400/2000)) \times 100 \% = 12 \%$$

Denna beräkning gäller för slutfuktkvotsmålet 18 %.

Tabell 3. Kostnadsjämförelse mellan granreglar ($50 \times 100 \text{ mm}^2$) sågade under vridning respektive rakt och torkade konventionellt till 18 % fuktkvot.

Granreglar $50 \times 100 \text{ mm}^2$	Traditionell sågning, 18 % fuktkvot	Sågning under vridning, 18 % fuktkvot
Utgångsvärden		
Produktionskapacitet (klientimmer), $\text{m}^3/\text{år}$	100000	100000
Tilläggsinvestering, MSEK	-	5
Amorteringstid, år	12	12
Räntesats, %	6	6
Värmepris, SEK/kWh	0,2	0,2
Elpris, SEK/kWh	0,4	0,4
Fullt produktpris, SEK/ m^3	2000	2000
Torkningstid, h	100	100
Värmeförbrukning, kWh/ m^3	300	300
Elförbrukning, kWh/ m^3	25	25
Personal- och underhålls- kostnader, SEK/ m^3	-	20
Värdeminskning till följd av skevhet, %	20,4	12,0
Kostnader, SEK/m^3		
Ökad kapitalkostnad	-	6,0
Räntekostnad under torkning	1,4	1,4
Energi	70	70
Personal och underhåll	-	20
Värdeminskning, skevhet	408	240
Totalt, SEK/m^3	479	337
Differens, SEK/m^3		142

Tabellen visar att sågning av klientimmer under vridning, ger lönsamhet genom mindre skevhet efter torkningen.

3.3 Försortering på basis av startfuktkvot och densitet

*Pieter Rozema & Martijn Schuijl,
Brookhuis Micro-Electronics BV, Nederländerna*

Försortering av färskt virke på basis av fuktkvot och densitet skulle möjliggöra en uppdelning av virkesflödet i grupper med olika torkningsegenskaper. Detta skulle kunna förbättra torkningens ekonomi genom optimerade torkningstider och jämnare slutresultat. Deformation skulle därmed minska genom att övertorkning undviks.

För närvarande finns inte någon pålitlig och billig metod för mätning av fuktkvoten hos färskt virke. Mätare av resistans-typ är endast pålitliga under ca 25 % fuktkvot. Mätare av kapacitans-typ är bättre lämpade, men kräver att även densiteten mäts för kompensation av rådata. Avsikten med detta delprojekt var att utreda möjligheterna att mäta fuktkvot och densitet på ett sådant sätt att ovan nämnda målsättning uppnås.

Utförda försök visade att viss sortering kunde uppnås med (förtorkat) virke med fuktkvoter upp till en nivå strax över fibermättnad. Däremot kunde en fungerande metodik inte påvisas för högre, mera intressanta fuktkvotnivåer. Då startfuktkvot och

densitet är korrelerade för splintveden, är det inte givet hur ens korrekt uppmätta värden skulle kunna användas för uppdelning i grupper enligt förväntade torkningsegenskaper.

Försortering på basis av fuktkvot och densitet verkar i dagsläget inte vara en fungerande metodik för minskning av virkesdeformationerna efter torkning.

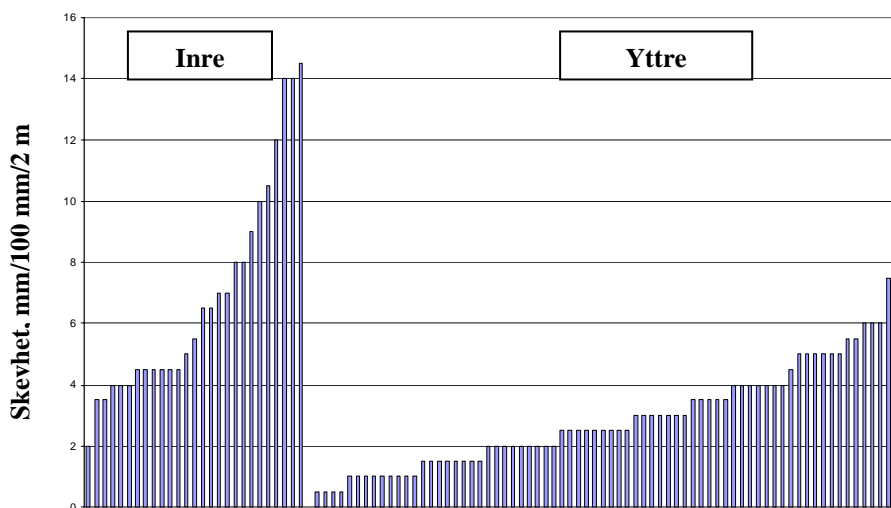
3.4 Märgklyvning och våtlimning

Geoff Cooper & Keith Maun
Building Research Establishment, England

Det är välkänt att regler med mäger inom tvärsnittet (Figur 10) har en kraftig tendens att bli skeva. Skevhetsbenägenheten avtar när avståndet från mäger ökar (Figur 11).

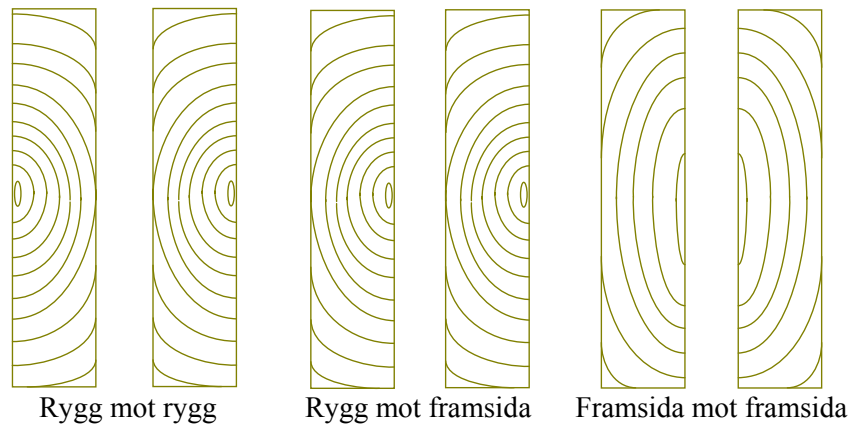


Figur 10. Mittbit vid 3 ex log sågning, "märgfångare".



Figur 11. Skevhet för inre respektive yttre bitar vid 3 ex log sågning.

I detta delprojekt undersöktes idén att klyva regler med mäger inom tvärsnittet och i rått tillstånd limma ihop bitarna på nytt varefter det modifierade virket torkas. I ett första skede granskades vilken limningskonfiguration (Figur 12) som ger det bästa resultatet. I ett andra skede studerades hur god raket som uppnås med den fördelaktigaste konfigurationen.



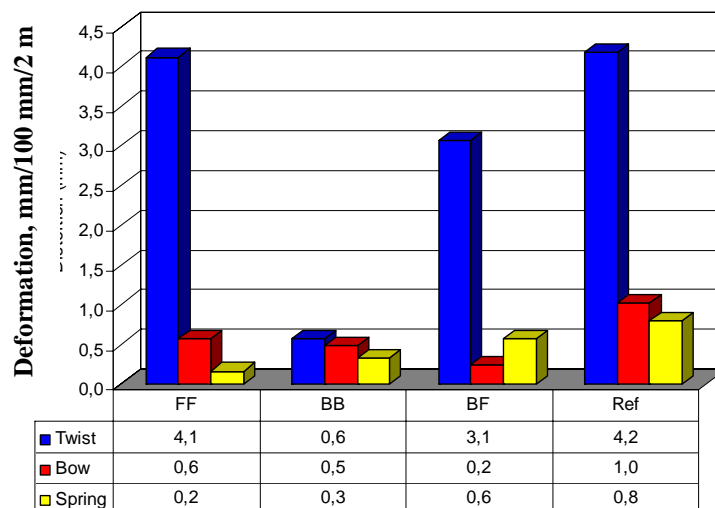
Figur 12. Alternativa konfigurationer vid våtlimningen.

3.4.1 Metod

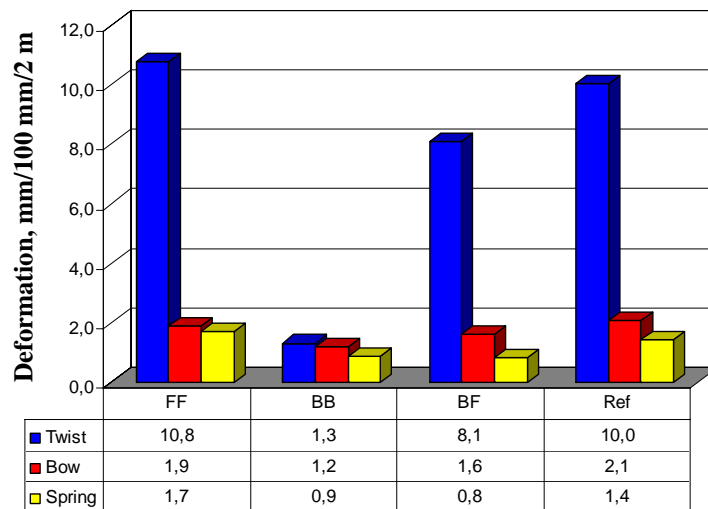
Sågningsmönstret ändras antingen för alla stockar eller endast för grova stockar, så att plankan i mitten (t.ex. vid 3 ex log) har märgen inom tvärsnittet. Tjockleken för denna plankor väljs cirka 5 mm över det normala. Tack vare den större tjockleken kan dessa plankor vid dimensionssorteringen ledas till ett eget fack. Den fortsatta behandlingen sker i en separat produktionslinje. Efter klyvning och lätt hyvling på de ursprungliga ytorna, limmas bitarna ihop med ett för våtlimning anpassat lim. I detta projekt användes brunt Greenweld-lim samt polyuretanlim.

3.4.2 Resultat

De på olika sätt hoplimmade reglarna torkades i en kammartork till 20 % fuktkvot, varefter formförändringarna mättes upp. Materialet konditionerades därefter till 13 % fuktkvot och en ny mätning genomfördes. Resultaten framgår av figurerna 13 och 14.



Figur 13. Deformation vid olika konfigurationer efter torkning till 20 % fuktkvot. (FF = framsida mot framsida, BB = rygg mot rygg, BF = rygg mot framsida, Ref = obehandlad referens). Staplarna är från vänster skevhet (twist), flatböjning (bow) och kantkrokighet (spring).



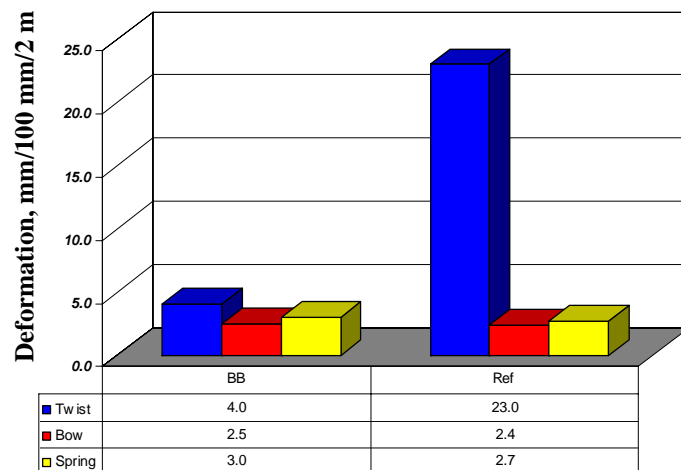
Figur 14. Deformation vid olika konfigurationer efter torkning till 20 % fuktkvot och konditionering till 13 % fuktkvot. Beteckningar: se figur 13.

Resultaten visar tydligt att det bästa resultat erhålls då man limmar de ursprungliga ytorna mot varann, d.v.s. ”rygg mot rygg”. Konditionering ner till 13 % mer än fördubblade skevheten men för ”rygg mot rygg” alternativet är värdet fortfarande lågt tack vare det raka utgångsläget.

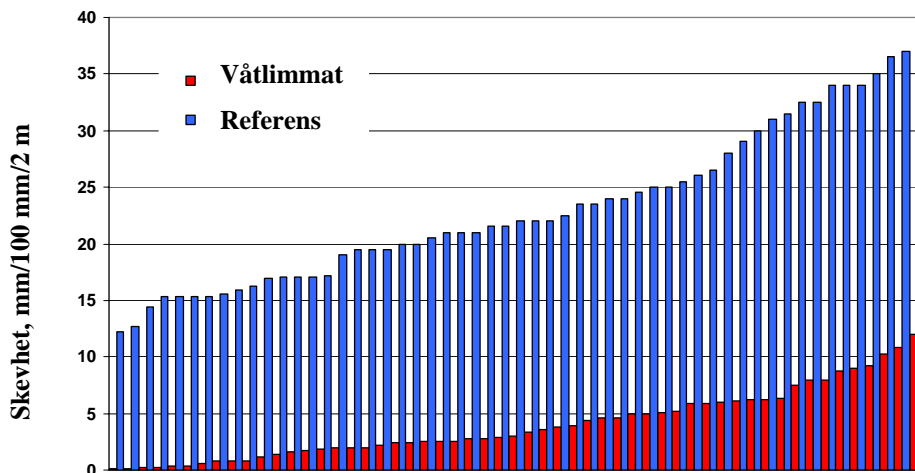
För att säkra det goda resultatet valdes på ett engelskt sågverk ut 50 regler (50 x 100 x 4800) med mårgen inom tvärsnittet. Dessa delades i två lika långa delar av vilka den ena fungerade som referens och den andra hyvlades lätt, klövs och de hyvlade ytorna limmades ihop med polyuretanlim. Presstiden i en vertikal press var 30 minuter (Figur 15). Därefter torkades både de limmade och referensreglarna, fritt rörliga, till 14 % i en varmluftstork inom temperaturområdet 50-70°C. Efter torkningen mättes deformationerna och resultatet framgår av figur 16 i form av medeltal och av figur 17 i form av individuella värden.



Figur 15. Press använd vid våtlimningen.



Figur 16. Deformation vid märgklyvning och våtlimning jämfört med obehandlad referens. Beteckningar: se figur 13.

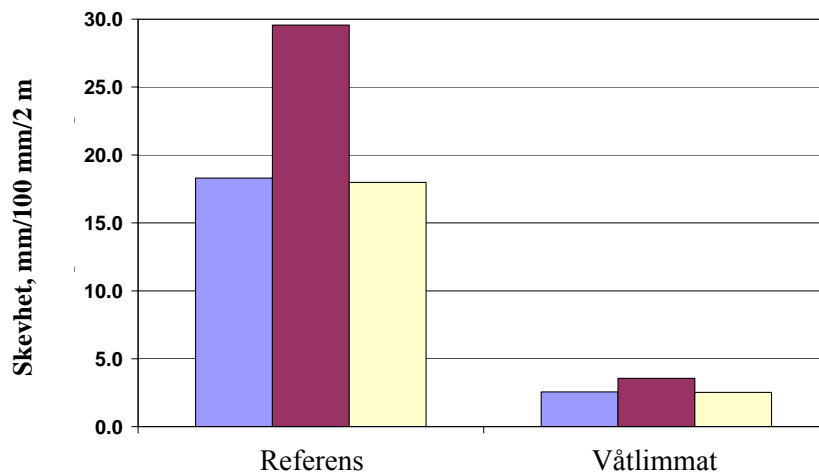


Figur 17. Skevhet vid märgklyvning och våtlimning jämfört på individbasis med obehandlad referens.

Dessa resultat verifierar de tidigare resultaten och visar att märgklyvning och limning "rygg mot rygg" avsevärt minskar skevheten jämfört med referensmaterialet från samma regel. En genomgående förändring i den senare försöksserien jämfört med den första, är att värdena ligger på en högre nivå. Detta beror dels på att virket nu torkades direkt till 14 % utan belastning och på att detta virke även torde ha haft en högre andel tryckved.

3.4.3 Raket i användning

De limmade reglarna och referenserna konditionerades fritt hängande till i tur och ordning 18, 10 och 18 % fuktkvot. Skevheten mättes efter varje steg och resultaten framgår av figur 18 och tabell 4. Deformationen ökar vid lägre fuktkvot men efter en full cykel syns ingen skillnad - enligt tabellen rent av ökade andelen godkända reglar något. Detta resultat motsvarar det förväntade genom att materialet hade torkats fritt rörligt. Hade virket torkats inspänt på normalt vis hade skevheten före konditioneringscykeln sannolikt varit lägre, för att sedan något öka under cyklingen.



Figur 18. Medeltal av absoluta skevhetsvärden uppmätta efter konditionering fritt rörligt till 18 %, 10 % respektive 18 % fuktkvot.

Tabell 4. Det raka virkets andel efter fuktutjämning fritt hängande. Skevheten har normaliserats till 15 % fuktkvot. Acceptansgränsen är 4 mm/100 mm/2 m.

Grupp	Andel godkänt virke (%) efter 1:a perioden	Andel godkänt virke (%) efter 3:e perioden
Referens med mörken inom tvärsnittet	0	0
Våtlimmade "rygg mot rygg"	70,9	72,7

Som helhet visar resultaten att metoden med mörgeklyvning och våtlimning är synnerligen effektiv för regler med mörken inom tvärsnittet, vilka annars skulle uppvisa stor skevhet.

3.4.4 Lönsamhetsbedömning

Ibruktage av metoden kräver ändring i sågmönster och stockklassindelning. Detta utgör dock inte en hög kostnad. En ny produktionslinje för mörkevirket kräver emellertid en betydande investering. Å andra sidan förbättras rakheten avsevärt för virket. Tabell 5 visar en kostnadsberäkning för metoden som utfört med en av BRE utvecklad beräkningsrutin.

Tabell 5. Beräknade kostnader för en produktionslinje med mörgeklyvning och våtlimning.

Utgiftspost	Kostnad
Klyvsåg	0,28
Hyvel	0,85
Limpress	1,14
Extra investeringar, MSEK	2,27
Räntefot, %	
Amorteringstid, år	5
Drift- och underhållskostnad, SEK/dag	2300
Extra golvyta, SEK/dag	240
Elkostnad, SEK/dag	450
Utnyttjningsfaktor	0,7
Limkostnad, SEK/kg	44
Limåtgång, g/m ²	150
Produktionsvolym m ³ /dag	50
Tilläggskostnad, SEK/m³	299

De limmade reglarna bör inte säljas tillsammans med vanliga regler utan skall helst marknadsföras som en skild "rak" produkt. Detta betyder att det limmade virket även i torkningen bör hanteras skilt, åtminstone paketvis i torren. Tilläggskostnad förknippad med detta ingår inte i tabellen ovan. Om man använder samma produktpris som angetts för vanliga regler i denna rapport, d.v.s. 2000 SEK/m³ för virke med godkänd raket och 1400 SEK/m³ för icke godkänd, och räknar med att minst 70 % godkända regler, så är det klart att metoden verkar värd en fortsatt utredning.

3.5 Tryckbelastning på virkesstaplar vid torkning

*Sverre Tronstad, Knut Magnar Sandland, Kersti Folvik
Norsk Treteknisk Institutt (NTI)*

Huvudsyftet med detta delprojekt var att undersöka nya lösningar för tryckbelastning och att bestämma deras effekt på deformationerna under torkningen. Därtill var målet att ta fram basdata för kommersiella system att förverkliga tryckbelastningen. Flera andra institut deltog i denna utredning genom att torkning av inspända regler ingick även i andra delprojekt.

3.5.1 Metod

Den slutliga deformationen efter torkning kan reduceras genom att hålla virket inspänt i rakt läge under processen. Tryckbelastning av stapeln med virkespaket är en effektiv metod att hålla virket rakt. Detta minskar klart deformationerna i de översta strölagren. För virke längre ned i stapeln är vikten hos det överliggande virket tillräcklig för att hålla virket rakt under torkningen. Lösningar som används är att placera tyngder på stapeln, t.ex. i form av betongblock eller sammankopplad järnvägsräls. Därtill blir det allt vanligare med pneumatiska eller hydrauliska tryckkramar. Även om virket hålls rakt under torkningen kommer den inneboende deformationsbenägenheten att resultera i spänningar i virket som utlöses då inspänningen frigörs. Virket kommer alltså ändå att ha en viss

deformation efter torkningen. Man bör alltså välja torkschemata och konditionering så att krypning mot rakhetsfavoriteras.

Tunt och brett virke hålls rakt redan av en låg belastning medan mera kvadratisk virke kräver hög belastning. Å andra sidan har brett virke hög styvhet i sidoriktningen och tenderar lättare till kantkrokighet. Därför behövs högre belastning för att öka friktionen mot ströna. Det breda virket är oftast sågat symmetriskt varigenom krafterna som förorsakar kantkrokighet tar ut varandra. Traditionellt har genomsågning och torkning före bearbetning använts för att minska deformationerna.

I princip kan kantkrokighet minskas genom sidobelastning av de ströade virkespaketen. I praktiken är detta dock svårt att genomföra, i synnerhet som belastningen bör bibehållas även när virket krymper under torkningen.

3.5.2 Resultat

Tryckbelastning på virkespaketen är en fungerande metod för att minska deformationerna, i första hand skevhet men även kantkrokighet och flatböjning. Genom att hålla virket rakt under torkningen förblir det, tack vare krypning, rakare än utan belastning.

Den optimala belastningens storlek beror av träslag, dimension, målfuktkvot, temperaturnivå, virkesstapelns höjd, antal strön och hur belastningen utförs. Begränsande faktorer är virkets styrka vad gäller intryckning vid ströna, belastningssätt och torkens konstruktion. Minimikravet är att virket hålls rakt under hela torkprocessen. Friktionen mot ströna i kombination med en tillräcklig belastning hindrar virket att röra sig i sidled. Då virkesändarna mellan ströna kan röra sig fritt ger ett ökat antal strön en minskad deformation.

I STRAIGHT-projektet undersöktes endast gran och sitkagran 50 x 100 mm². På basis av de resultat som erhållits kan man bedöma hur belastningen bör ändras för andra dimensioner eller för träslag med annan vridstyvhet.

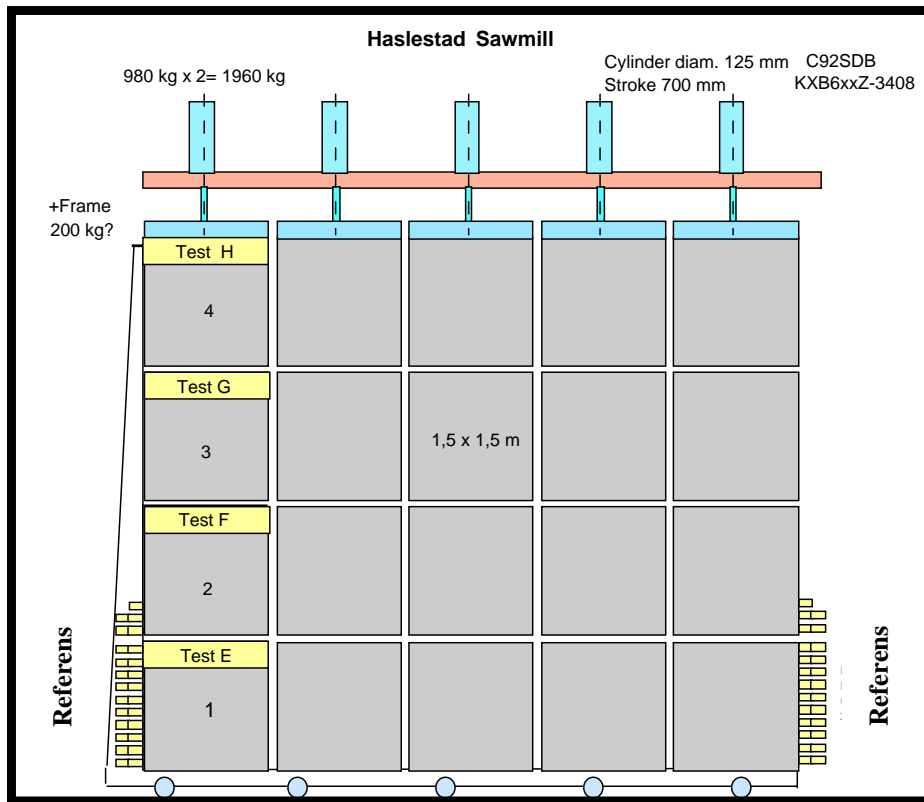
3.5.2.1 Belastningsnivåns inverkan på deformationerna

NTI undersökte hur belastningsnivån påverkade deformationerna vid konventionell (70°C) torkning och hur väl virket uppfyllde rakhetskraven. Figur 19 visar provbitarnas placering i torken vid sågverket i Haslestad. Referensbitarna är placerade vid sidan av den egentliga torksatsen så att de är obelastade och kan röra sig fritt. De övriga är placerade på olika höjd och är därmed olika mycket belastade. Utöver den pålagda belastningen verkar även vikten hos det ovanpå liggande virket. Motsvarande försök gjordes även vid Begna såg.

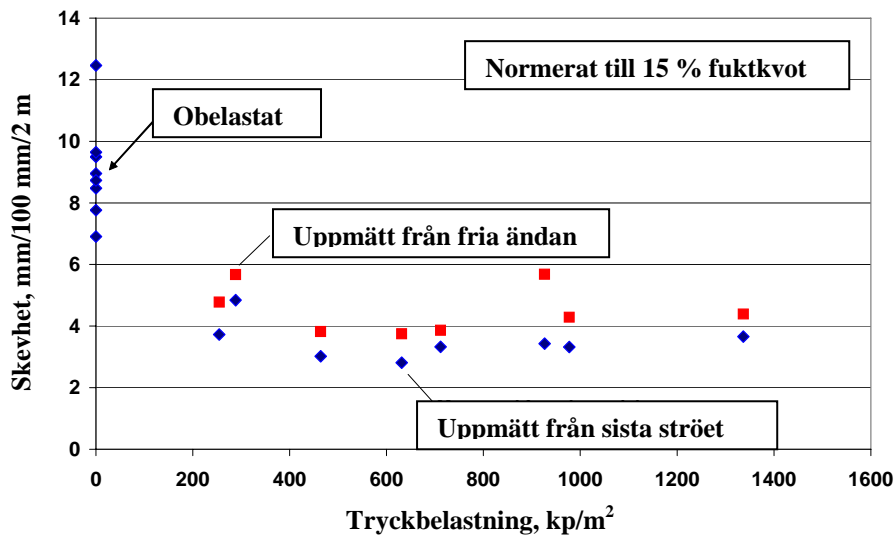
Figuren 20-22 visar hur belastningsnivån påverkar deformationerna efter torkningen. Figur 23 visar konkret skillnaden mellan under torkningen belastat och obelastat virke i de översta strölagren. [OBS: Belastningen kan ses antingen såsom vikt (massa) per ytenhet, d.v.s. kg/m², eller såsom ett tryck med (den gamla) enheten kp/m² – vilka dock siffermässigt är identiska.]

Figuren visar att belastning väsentligt minskar deformationerna, speciellt skevheten. Det verkar som om 400-600 kg/m² skulle vara tillräckligt för 50 x 100 mm² gran. En ökning av belastningen över denna nivå ger ingen ytterligare förbättring. För kantkrokighet betyder detta att friktionen mellan virke och strö då räcker till för att hindra sidorörelser. Figur 24 visar hur belastningsnivån påverkar andelen virke som uppfyller

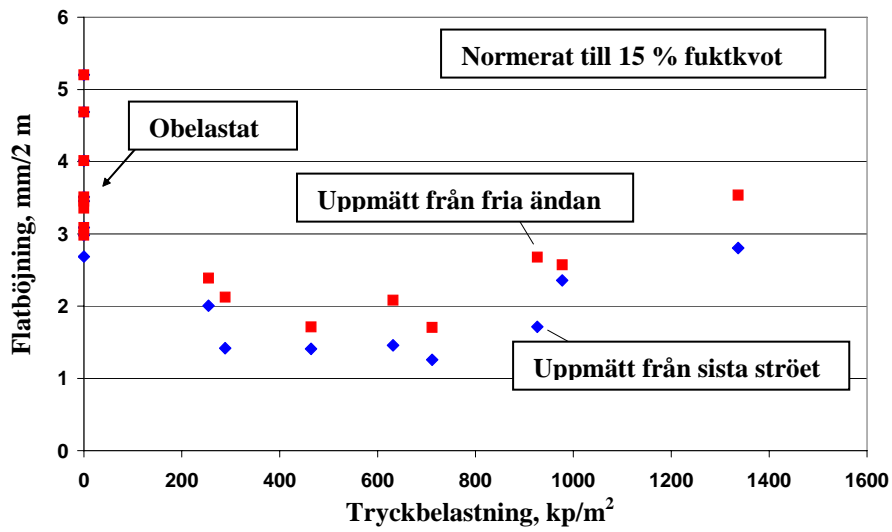
rakhetskravet 4 mm/100 mm/2 m. Uppmätta deformationer har normaliserats till 15 % fuktkvot.



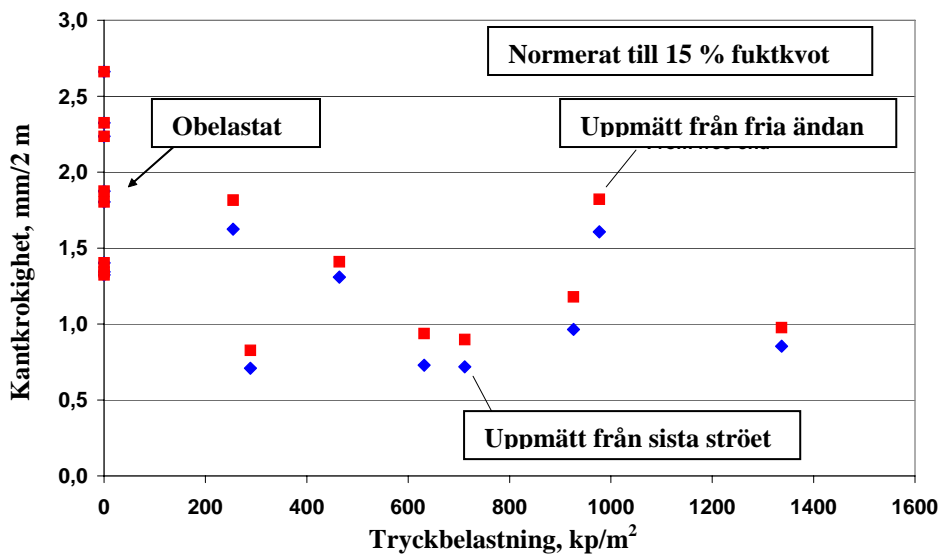
Figur 19. Försöksupplägg vid Haslestad sågverk i Norge. De översta virkeslagren i paketen enligt markering utgjorde försöksmaterialet och referensmaterialet placerades fritt rörligt nedtill på sidorna av torksatsen.



Figur 20. Inverkan av tryckbelastning på medelskevheten i industriförsök. Mätningen utförd över 2 m längd.



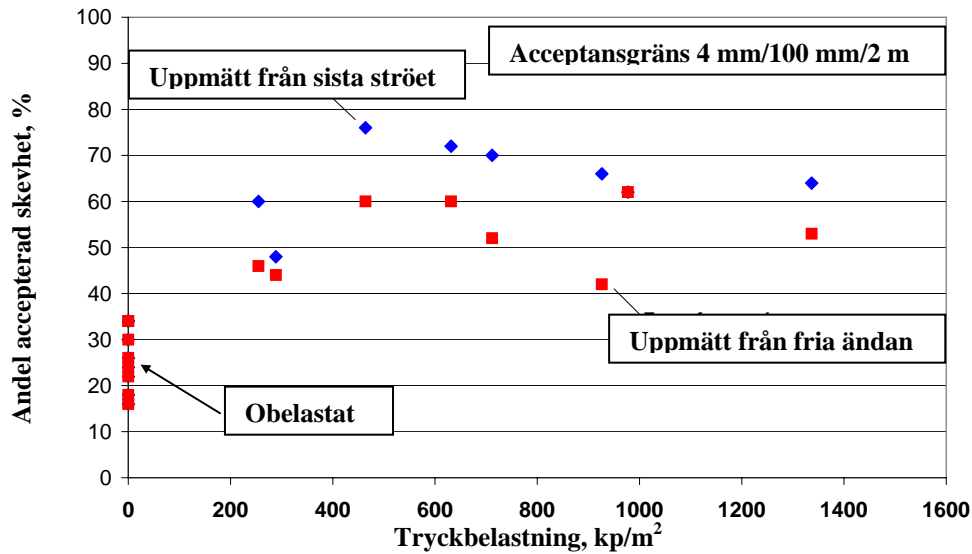
Figur 21. Inverkan av tryckbelastning på medelflatböjningen i industriförsök. Mätningen utförd över 2 m längd.



Figur 22. Inverkan av tryckbelastning på medelkantkrokigheten i industriförsök. Mätningen utförd över 2 m längd.



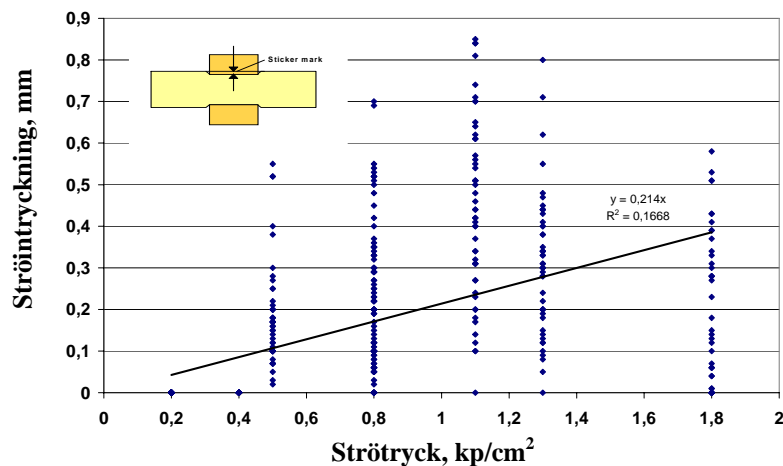
Figur 23. Virke torkat utan och med tryckbelastning.



Figur 24. Inverkan av tryckbelastning på andelen virke med acceptabel skevhet.

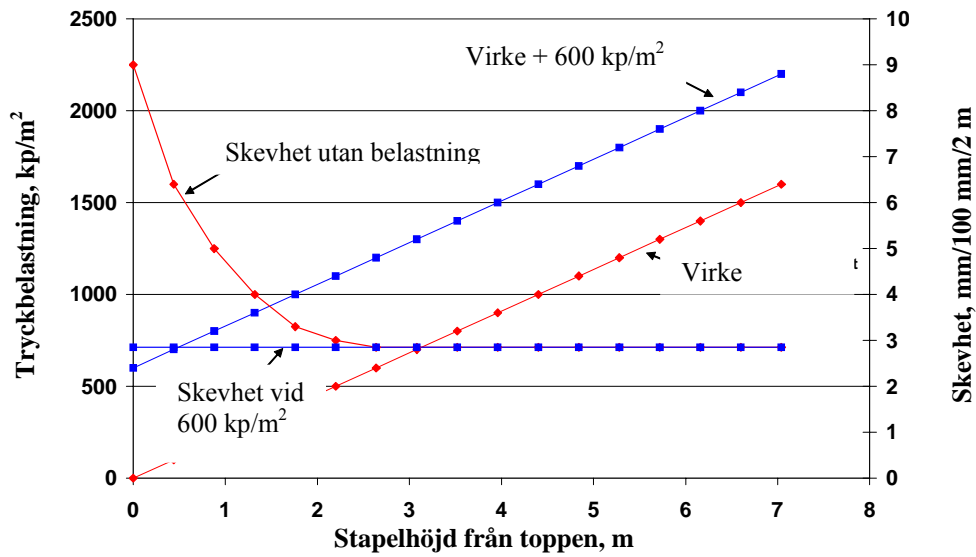
Avvikande värden, t.ex. sämre resultat vid högsta belastningen i Figur 21, torde bero på att alla strön i en strörad inte legat helt i linje med varandra vertikalt.

Intryckningar i virket orsakade av ströna kan vara en begränsande faktor för belastningens storlek. Dock uppfattades detta inte som ett problem på sågverken ens vid de högsta belastningarna i försöken. Till följd av virkets kupning är strömärkena tydligast i mitten av kärnsidan och i kanterna av splintsidan. Vid en eventuell hyvling kommer dessa delar dock även att påverkas mest. Vid ökande virkestjocklek ökade intryckningen men årsringsbredd verkade inte påverka resultatet. Figur 25 åskådliggör intryckningens storlek som funktion av strötrycket.



Figur 25. Ströintryckning som funktion av strötrycket.

Belastningen verkar av naturliga skäl kraftigast på de översta strölagren. Inverkan minskar längre ned i stapeln till följd av det ovanför liggande virkets vikt. Där virkets egen vikt räcker till för att hålla virket rakt får man ingen ytterligare effekt av en pålagd belastning. Detta framgår av figur 26.



Figur 26. Inverkan av stapelns höjd på underliggande virkes tryckbelastning och skevhet, med och utan 600 kp/m^2 tilläggsbelastning.

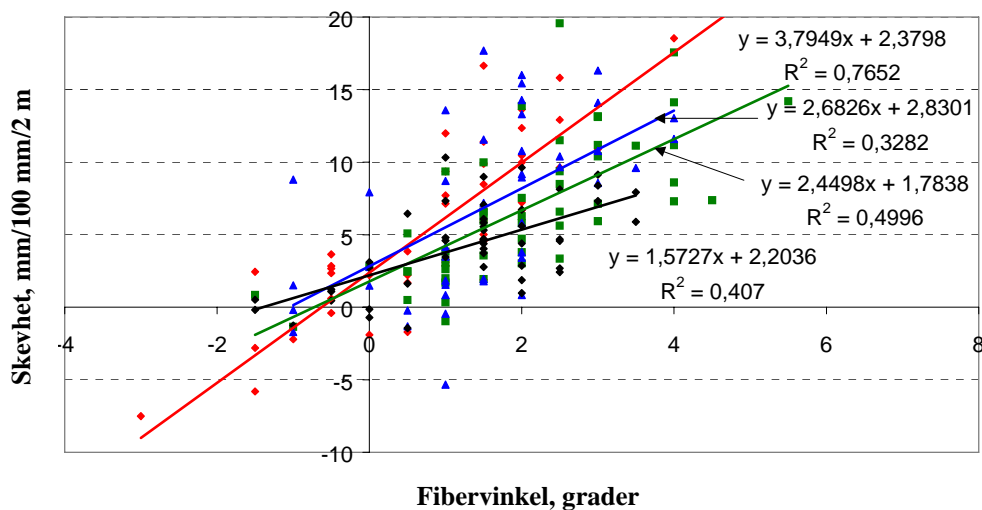
3.5.2.2 Samverkan av snedfibrighet och belastning på deformationerna

Vid Stora Enso Timber Kotka såg studerades inverkan av fibervinkel och belastning på deformationer vid både konventionell och högttemperatortorkning. Figur 27 visar provmaterialets placering i torksatsen och applicerad belastning.

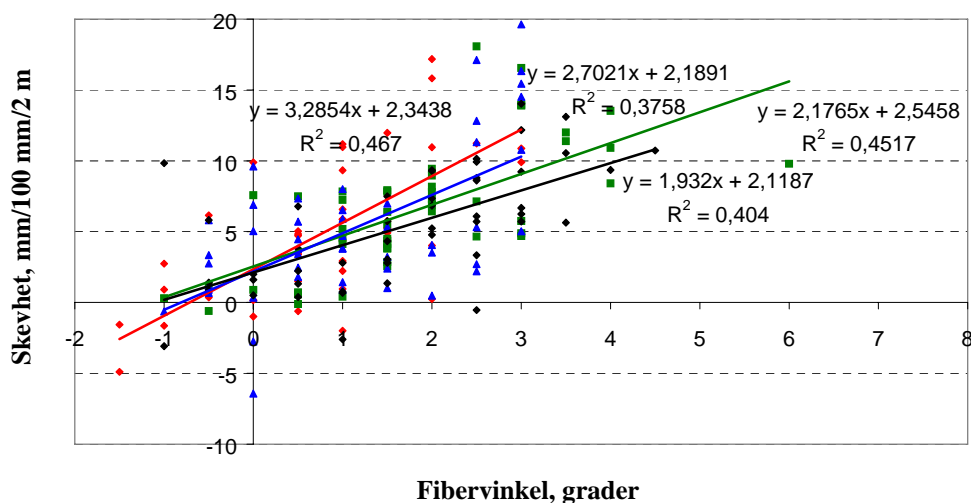
Obelastad				Belastad 200 kp/m^2
48 st obelastad				48 st 200 kp/m^2
48 st 520 kp/m^2				
				48 st 1160 kp/m^2

Figur 27. Tryckbelastning vid start på försöksmaterialet vid torkförsök vid Stora Enso Timber Kotka såg.

Belastningens och fibervinkelns inverkan vid konventionell torkning (70°C) och vid högttemperatortorkning (105°C) illustreras av figur 28 respektive figur 29.



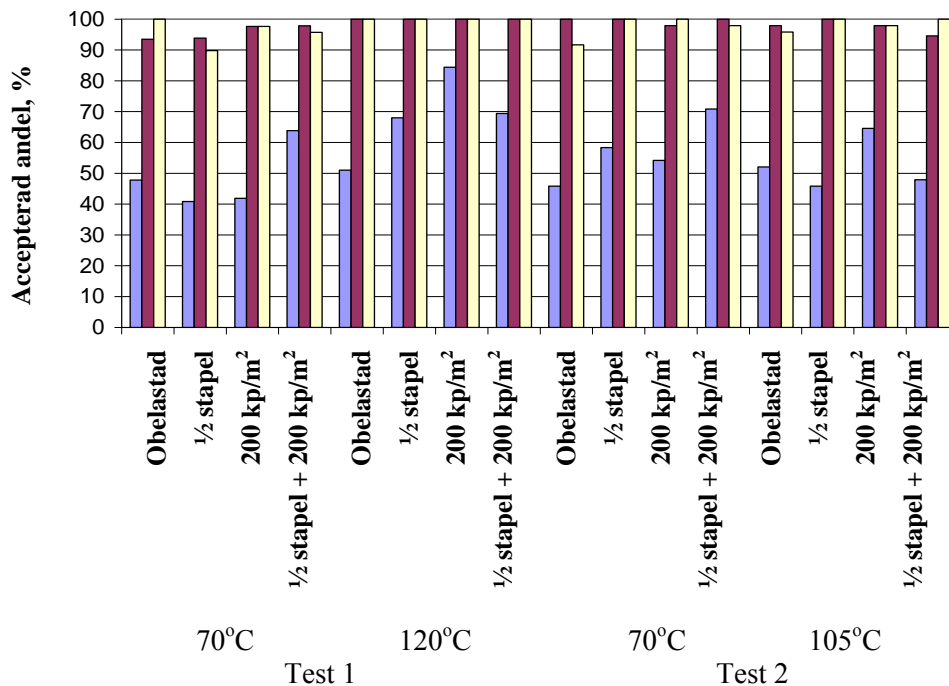
Figur 28. Inverkan av tryckbelastning (färgkod enligt figur 27) och fibervinkel på skevheten vid konventionell torkning vid 70°C.



Figur 29. Inverkan av tryckbelastning (färgkod enligt figur 27) och fibervinkel på skevheten vid högttemperaturtorkning vid 105°C.

Av figurerna framgår att skevheten minskar då belastningen ökar. Temperaturen verkar inte ha någon större inverkan. Regressionskurvorna bekräftar att snedfibrighet är den huvudsakliga orsaken till skevhet.

Ur industriell synpunkt är det viktigt hur virket uppfyller uppställda kvalitetskrav. Figur 30 visar hur stor andel av virket som uppfyller de olika kraven (avsnitt 2.3). Deformationerna har normaliserats till 15 % fuktkvot. Mätningarna gjordes efter 2-4 veckors lagring i inomhusklimat. En viss återgång (spring-back) gör att deformationerna var något större än strax efter torkningen. Detta motsvarar en rätt normal situation vid verk med någon form av vidareförädling.



Figur 30. Andel av virket med accepterad deformation (avsnitt 2.3) vid olika torktemperaturer och belastningsfall. De tre staplarna för varje deltest är från vänster skevhet, kantkrokighet och flatböjning.

Man ser att i de flesta fall utgör flatböjning och kantkrokighet inget stort problem. Av ur gran klentimmer sågade regler uppfyller dock endast ungefär hälften skevhetsgränsen.

Såsom sammanfattning av industriförsöken kan konstateras att en lämplig belastning på virkesstaplarna ger en minskad deformation. För gran 50 x 100 mm² var 500 kg/m² en tillräcklig belastning för att uppnå det skevhetsminimum som man med denna metod kan erhålla. En viss återgång av den uppnådda motdeformationen sker dock efter torkningen.

3.5.3 Raket i användning

En del av försöksmaterialet fuktutjämnades fritt hängande under tre månader i tre olika klimat med relativa luftfuktigheterna 85, 30 respektive 85 % och temperaturen 23°C. Skevheten har normaliserats till 15 % fuktkvot. Andelen godkända regler framgår av Tabell 6.

Tabell 6. Det raka virkets andel efter konventionell torkning och fuktutjämnning fritt hängande. Skevheten har normaliserats till 15 % fuktkvot. Acceptansgränsen är 4 mm/100 mm/2 m. Resultaten gäller NTI:s försök i Norge.

Belastning, kg/m ²	Andel accepterat virke (%) efter första perioden	Andel accepterat virke (%) efter tredje perioden
0	29,0	29,0
600	40,0	36,0
1300	39,5	39,5

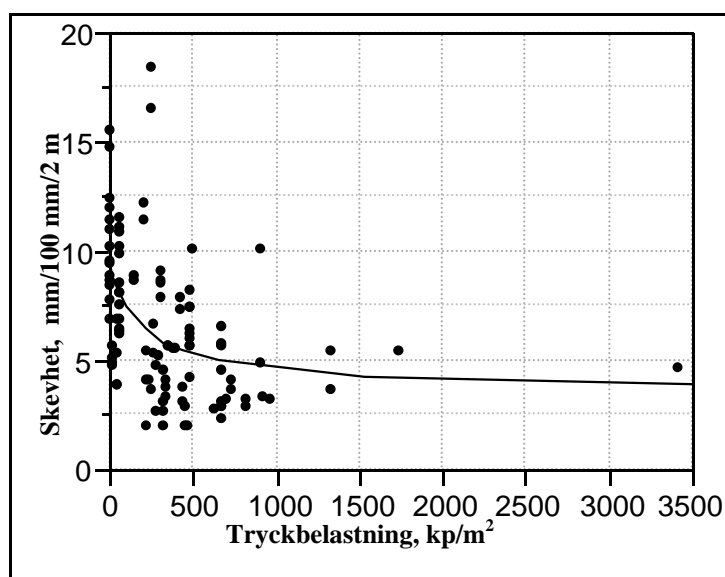
Tabell 7 visar motsvarande resultat för virke torkat konventionellt eller högttemperaturtorkat vid Stora Enso Timber Kotka såg med olika belastningar.

Tabell 7. Det raka virkets andel efter konventionell torkning eller högtemperaturtorkning och fuktutjämning fritt hängande. Skevheten har normaliserats till 15 % fuktkvot. Acceptansgränsen är 4 mm/100 mm/2 m. Resultat från VTT:s försök i Finland. (LT = lågttemperertorkning, HT = högtemperaturtorkning)

Torkning/belastning, kg/m ²	Andel accepterat virke (%) efter första perioden	Andel accepterat virke (%) efter tredje perioden
LT/0	25,0	22,9
LT/200	33,3	29,2
LT/700	31,3	25,0
HT/0	37,0	37,0
HT/200	35,6	33,3
HT/700	25,0	25,0

3.5.4 Slutsatser

Huvudsyftet med detta delprojekt var att undersöka sambandet mellan pålagd belastning och uppnådd minskning av virkesdeformationerna. Därmed prövades ett brett spann med belastningsnivåer – maximalt 3418 kg/m². I figur 31 har sammanställts resultaten från totalt 107 försök gjorda inom STRAIGHT projektet. Den rätt stora spridningen indikerar att även andra faktorer än belastningen påverkar resultatet, då i första hand snedfibriheten.



Figur 31. Inverkan av tryckbelastning på medelskevheten enligt alla 107 försök.

Såsom framgår av figuren ger en ökning av belastningen 0 --> 600 kg/m² en klar minskning av skevheten. Större belastningar ger ingen ytterligare minskning och är därmed inte ekonomiskt försvarbara. Ungefär 50 - 60 % av den inneboende skevhetsbenägenheten kan avlägsnas men det bör observeras att 40 - 50 % inte går att påverka med denna metod, oberoende av belastningens storlek. Kurvan i figuren har följande analytiska form

$$Skevhets = \frac{1180}{Belastning + 195} + 3,63$$

där belastningen är uttryckt i kg/m^2 och skevheten i $\text{mm}/100 \text{ mm}/2 \text{ m}$.

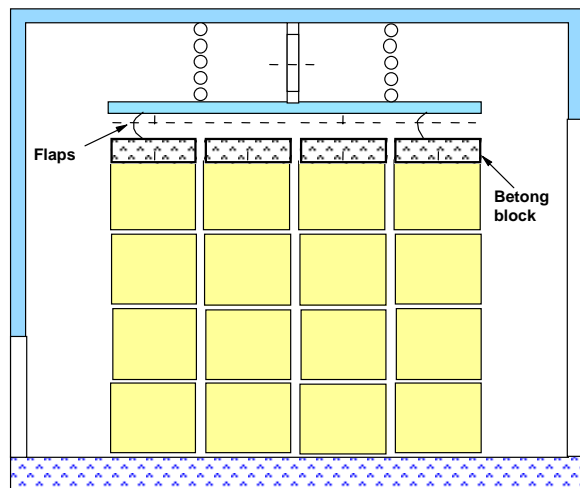
För kantkrokigheten kunde man i undersökningen inte finna någon tydlig inverkan av belastningens storlek. För flatböjningen kan en viss förbättring ses till följd av belastningen men resultatet är inte entydigt.

3.5.5 Rekommendationer för tryckbelastningens genomförande

Belastningen på virkesstaplarna i torken kan arrangeras på två olika sätt:

- Betongblock (eller annat material) som läggs ovanpå stapeln.
- Pneumatiskt eller hydrauliskt fungerande ramar som trycks mot var stapel efter det att torken fyllts.

Om stapelbredden är 1,5 m och -längden 6 m så motsvarar 600 kg/m^2 en totalvikt om 5400 kg för varje stapel. Då tätheten för betong är cirka 2400 kg/m^3 betyder detta 25 cm tjocka betongblock. För stål minskar tjockleken till cirka 8 cm. Figur 32 visar schematiskt användningen av block på staplarna.



Figur 32. Tryckbelastning med betongblock i en kammartork.

Beroende på truckens lyftkapacitet kan blocket antingen lyftas tillsammans med virkespaketen eller placeras på stapeln efter det att alla paket i stapeln lastats in. Det senare fallet kan bereda svårigheter för vissa trucktyper då den kan stöta emot fläktvåningens golv.

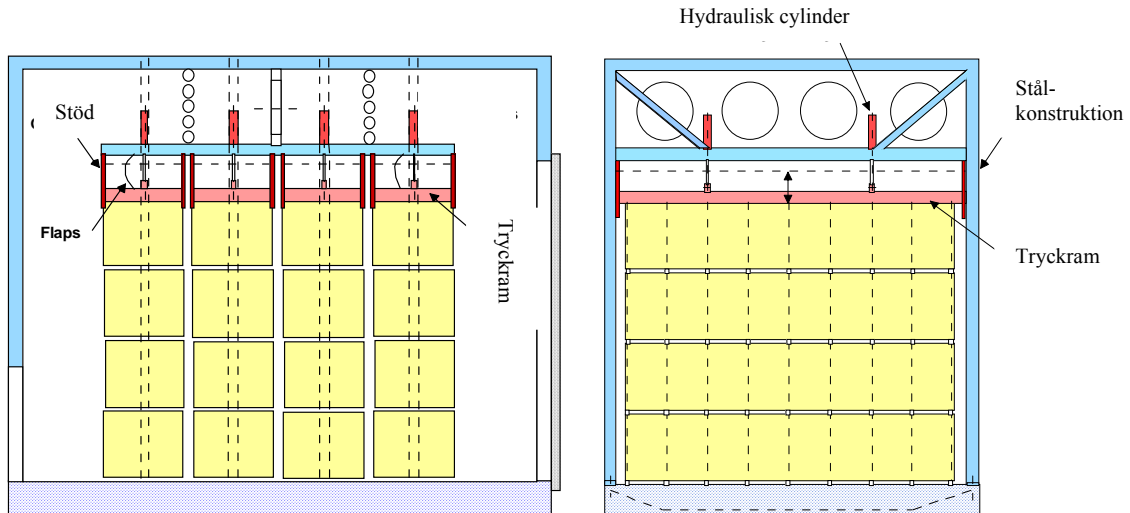
Speciellt för höga torkkammare är det av säkerhetsskäl viktigt att säkerställa att staplarna hålls upprätt. I vissa fall har detta hindrat användningen av vikter på staplarna.

En nackdel med vikter vid höga staplar, jämfört med pneumatisk belastning, är att full belastning läggs på från början, vilket tillsammans med det färska virkets vikt kan ge ströintryckning i den nedersta delen av stapeln.

En fördel med betongblock jämfört med pneumatisk belastning är den lägre investeringskostnaden. Denna fördel måste jämföras med den extra arbetsinsatsen och säkerhetsarrangemangen vid lastning av kammaren. Betongblock reducerar även torkens

kapacitet något, genom att blocken tar en viss volym i anspråk. Denna volymförlust är mindre vid pneumatisk belastning genom att utrymme i fläktvåningen kan utnyttjas.

Genom att applicera tryckbelastningen pneumatiskt eller hydrauliskt via stålramar, ”dynamisk belastning”, kan man vinna flera fördelar jämfört med betongblock. Figur 33 visar schematiskt detta utförande.



Figur 33. Principskiss av hydraulisk och pneumatisk belastning med tryckramar i en kammartork.

Det finns flera sätt att inkludera dynamisk belastning i en kammartork. Det vanligaste är att använda två eller tre pneumatiska cylindrar som verkar på en stålram som täcker en hel stapel. Till följd av variationer i stapelhöjd kan en ram som täcker hela torksatsen inte rekommenderas. P.g.a. olika krympning i paketmitt respektive paketändar är en ram med tre kolvar för varje stapel även att föredra.

Industriellt använd tryckluft har normalt ett tryck på 8-10 bar. Med en cylinderdiameter om 12,5 cm och två cylindrar uppnår man då maximalt en kraft motsvarande belastningen 2500 kg. För ett normalt 1,5 x 6 m² virkespaket ger detta 278 kg/m² vilket skulle ge en relativt god förbättring av raketten. Med fyra cylindrar skulle man maximalt uppnå nära optimal belastning. Alternativt kunde hydraulcylindrar användas. Vätsketrycket kan vara åtminstone tiofaldigt jämfört med tryckluft. Optimalt tryck skulle då kunna uppnås med två cylindrar med 63 mm diameter och 80 bar vätsketryck. Vid val av cylindrarnas slaglängd bör man beakta att virket krymper under torkningen.

Användning av dynamisk belastning minskar risken att en virkesstapel faller omkull. Detta förutsätter dock att eventuella påfrestningar i sidoriiktningen beaktats vid konstruktionen av belastningscylindrarna. Det är självfallet viktigt att fläktvåningens golv och hela torken är dimensionerade för de motkrafter som cylindrarna alstrar vid användningen – vid 6 staplar rör det sig om totalt 30 ton. I vissa fall kan detta vara en begränsning så att betongblock eller andra vikter kvarstår som enda alternativ.

3.5.6 Praktiska erfarenheter

Belastning av virkesstaplarna i någon form installeras idag i nästan alla nya torkar i Norden. Redan detta visar att sågverken funnit belastning vara en fungerande åtgärd för att minska skevhet. De norska sågverken Begna Bruk och Hasleland Bruk som deltog i undersökningen var de första i Norge att installera högre dynamisk belastning fullt ut och

detta verkar ha fallit väl ut. Den enda fråga som väckts är vilken belastningsnivå som skall användas i olika skeden av torkningen. Sågverken har valt att använda 30 % av maximal belastning i början. Den ena sågen går över till full belastning när den beräknade fuktkvoten är 40 % och den andra sågen vid fuktkvoten 30 %. Under analysperioden uppträdde inte några problem med utrustningen. Efter att den nya tekniken tagits i bruk kom från justerverket en omedelbar kommentar att virket var rakare och förorsakade mindre hanteringsproblem än tidigare.

Vid ett sågverk ökades ströantalet från sju till nio. Detta minskade skevheten hos de fria virkesändar som hamnar mellan två strön. Vid belastningen är det självfallet viktigt att krafterna styrs mot ströradernas lägen och att stöden under stapeln och mellan paketen är riktigt placerade. En annan viktig punkt att beakta är korrosionsproblemet då utrustningen utsätts för ett hett, mycket fuktigt och surt klimat.

3.5.7 Lönsamhetsbedömning

Följande tabell visar en lönsamhetsberäkning utförd av NTI i Norge. Tre fall beaktas, kammartork med pneumatisk tryckbelastning, betongblock som vikter och en kammare utan tryckbelastning såsom referens.

Tabell 8. Lönsamhetsberäkning för tryckbelastning med tryckramar eller betongblock.

	Pneumatisk tryckbelastning	Belastning betongblock	Kammare utan tryckbelastning
Utgångsdata			
Torkkapacitet (4x4 paket), m ³ /år	7000	6800	7000
Investering i tryckbelastning, kr	300000	100000	0
Investering i stöd för virkesstapel, kr	0	60000	40000
Summa extra investering, kr	300000	160000	40000
Räntesats, %	4	4	4
Avskrivningstid, år	10	10	10
Kostnad för truck inkl. förare, kr/h	350	350	350
Virkespris, kr/m ³	2000	2000	2000
Intäktsökning per tork			
Värdeökning genom rakare virke, kr/m ³	41	41	0
Värdeökning genom rakare virke, kr/år	287000	278800	0
Reducering av produktionsstopp, %	1	1	0
Ökad intäkt genom högre produktion, kr/år	3000	3000	0
Summa intäktsökning per tork, kr/år	290000	281800	0
Tilläggskostnader per tork			
Kapitalkostnad, kr/år	37000	19700	4900
Extra driftkostnad (stapelsäkring etc.), kr/år	0	3000	3000
Extra truckkostnad, kr/år	0	4800	0
Elenergi, underhåll cylindrar, kompressor, kr/år	10000	0	0
Summa tilläggskostnader per tork, kr/år	47000	27500	7900
Ekonomiskt resultat			
Intäkt – kostnad, kr/år	243000	254300	-7900
Differens mot referensfall, kr/år	7900	7900	
Differens per tork, kr/år	250900	262200	
Återbetalningstid, år	1,2	0,61	

Intäktsökningen är ungefär lika stor för de två olika metoderna för tryckbelastning men den högre investeringen gör att återbetalningstiden för det pneumatiska systemet är längre. Lönsamheten är dock god för båda fallen. Det pneumatiska systemet kan lätt utformas för en variabel belastning.

3.6 Torkning och konditionering av virke i motvridet läge

Björn Esping, Jarl-Gunnar Salin, SP Trätek, SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut.

3.6.1 Metod

Såsom det av föregående avsnitt (3.5) framgår uppnår man en förbättrad raket om virket torkas inspant i rakt läge. Det ligger då nära till hands att undersöka en metod där man vrider virket i motsatt riktning i förhållande till virkets inneboende skevningsbenägenhet och torkar det i denna position. Detta bör då ge en förbättrad effekt jämfört med enbart belastning av virket för att hålla det rakt under torkningen. SP Trätek har undersökt denna tankegång både i laboratorie- och industriell skala. Det experimentella arbetet har visat att denna idé är riktig och har även visat att utöver mekano-sorptiv krypning, utlöses krypning också av en temperaturändring. Denna senare iakttagelse möjliggör introduktion av en värmebehandlingsprocess som förbättrar raketten utan en samtidig torkning. Denna effekt kan användas för att minska skevheten hos torrt virke med för hög skevhet.

Motvridning av en individuell bit under torkningen är relativt lätt, men att motvrída bitarna i en hel stapel är betydligt svårare. Det är möjligt att på basis av fibervinkeln ganska pålitligt förutsäga hur mycket en bit kommer att skeva och därmed hur mycket motvridning som är optimalt. I en industriell miljö kan man inte tänka sig att motvrída alla bitar individuellt. I stället får man lov att vrída hela stapeln så mycket att medelskevheten efter torkningen blir så liten som möjligt. Ett enkelt motvridningssystem för torkar skulle ha ett stort marknadsvärde.

En motvridningsmetod, som presenteras och analyseras i denna rapport, är att lägga ett lutande underlag under varje stapel. Är virkestorken spårbunden kan ett sådant underlag monteras på vagnarna. I båda fallen ligger vardera ändan av virkesstapeln på ett lutande stöd med given lutningsvinkel. Denna vinkel minskar gradvis mot mitten av stapeln, där vinkeln är noll, och ökar sedan i motsatt riktning mot den andra ändan av stapeln (Figur 34). Detta är den motvridning som det understa strölagret utsätts för, men högre upp i virkesstapeln kommer motvridningen att successivt minska (om inte stapeln är belastad med en likaså vriden tryckram). I idealfallet borde därför det mest skevhetsbenägna virket sättas i bottenpaketet eller i detta pakets nedre del. Detta virke med den största benägenheten för skevhet kan separeras ur sågverkets totala virkesflöde genom mätning av fibervinkeln. Lutningsvinkeln för bottenplanet skall väljas så att virkets skevhet i medeltal efter torkning och utjämning skall bli så liten som möjligt.



Figur 34. Lutande stöd för ett virkespaket på en matningsvagn.

Problem som eventuellt kan uppstå är viss instabilitet vid hantering av motvridna staplar och vid ströläggnen om motvridning appliceras redan där. Samarbete med maskinleverantörer för modifiering av existerande utrustning eller installation av nya enheter kan vara nödvändig.

Virke som har för stor skevhet efter torkningen (utan skevhetsminskande åtgärder eller behandlat med någon åtgärd mot skevhet) kan ströläggas på nytt och korrigeras genom en värmebehandling i motvridet läge under tryckbelastning. En alternativ metod är att inkludera dessa i bottenpaketet med motvridning för en upprepad ”torkning” enligt beskrivningen ovan. Emellertid bör det observeras att medan nästan allt färskt virke har en tendens att skeva åt samma håll, så kan detta virke kräva separata behandlingar beroende på åt vilket håll motvridningen skall genomföras.

3.6.2 Resultat

Torkförsök har gjorts både i laboratorie- och full skala med målsättningen att bestämma den optimala motvridningsvinkeln, vilken tryckbelastning som behövs och inverkan av temperaturen (60 respektive 115°C). Därtill har en del praktiska aspekter diskuterats såsom lutande bottenplan i torken och motvridningens variation i höjddled i virkespaketen i torkens virkesstapel.

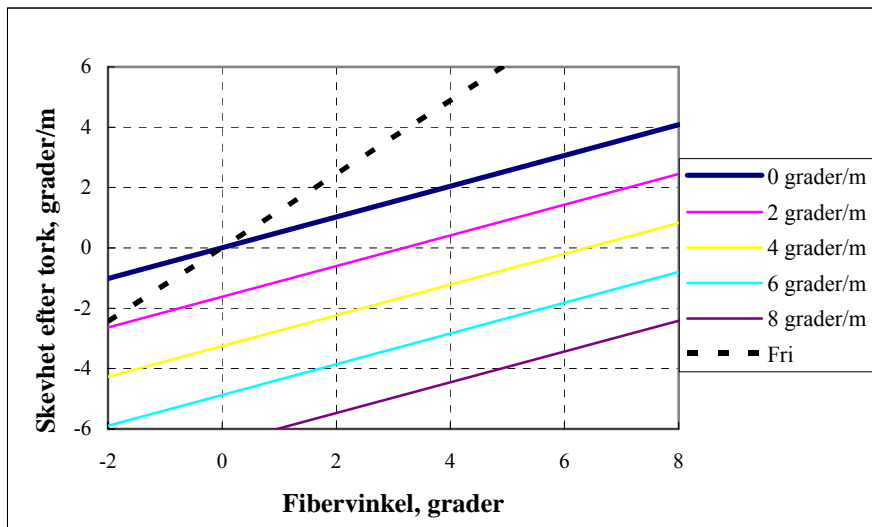
3.6.2.1 Laboratieförsök

Laboratieförsöken genomfördes i en liten tork med 1,5 m långt virke (Figur 35). Varje bit fästes i en hållare i vardera ändan. Den ena hållaren var fixerad medan den andra kunde vridas runt en axel i virkesriktningen och sedan fixeras i önskat läge. På detta sätt kunde varje virkesbit motvridas individuellt och torkas i det läget. Den vridningskraft som varje bit utövade på sin hållare kunde kontinuerligt mätas. Därtill torkades en del virkesbitar som inte var inspända utan kunde röra sig fritt.

En serie tester genomfördes för att bestämma sambandet mellan motvridning, virkesegenskaper och skevhet efter torkningen. Resultaten från dessa sammanfattas av figur 36. Den streckade linjen i figuren visar sambandet mellan fibervinkel (mätt med ritsmetoden på splintsidan) och skevhet efter torkningen för det fall att virkesbiten kan röra sig fritt. Linjen för noll grader motvridning motsvarar det bästa resultatet som kan uppnås med tryckbelastning men utan motvridning. I detta test fanns inga fria virkesändar såsom fallet är i ett normalt ströat virkespaket. Såsom framgår av figuren så minskar skevheten med nära 60 % om virket hålls helt rakt under torkningen, jämfört med att det kan röra sig fritt. Detta resultat är i överensstämmelse med resultaten redovisade i avsnitt 3.5.



Figur 35. Laboratorietork för torkning av virke i motvridet läge.



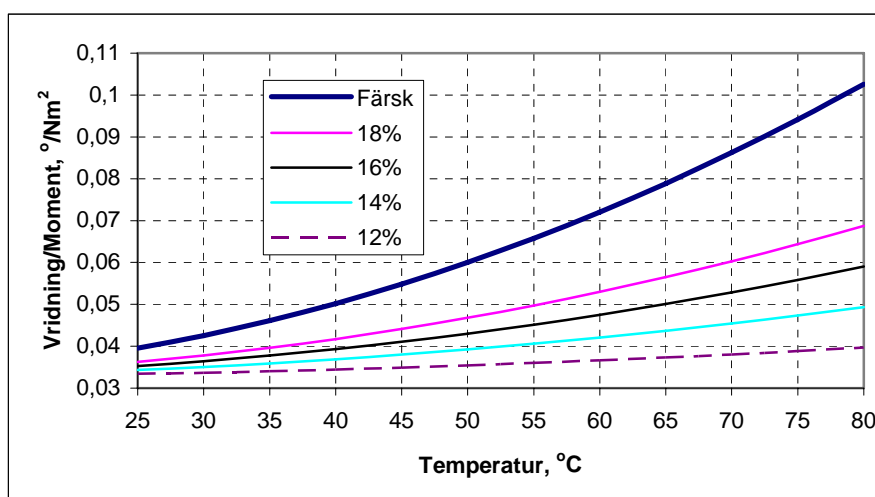
Figur 36. Skevhet efter torkning som funktion av fibervinkel och motvridning.

Det viktigaste resultatet som framgår ur figur 36 är dock möjligheten att ytterligare minska skevheten genom att individuellt motvrida varje virkesbit på basis av fibervinkeln för den biten. Emellertid är en individuell behandling inte möjlig i ett industriellt sammanhang. För mörgnära bitar gran $47 \times 100 \text{ mm}^2$ var fibervinkeln 1,5 – 2 grader i medeltal – alltså nästan alla skevhetsbenägna åt samma håll. Genom att motvrida alla bitar ungefär 1,5 °/m skulle medelskevheten efter torkningen bli nära noll. Antalet bitar som då faller inom acceptansgränserna skulle då öka väsentligt jämfört med den normala situationen.

Linjerna i figur 36 gäller för $47 \times 100 \text{ mm}^2$ gran sågat 2 ex log och torkad till cirka 15% slutfuktkvot med ett ”normalt” torkschemat. Inget signifikant beroende av andra variabler, såsom densitet eller slutfuktkvot, kunde observeras. Detta var förvånande då det bör

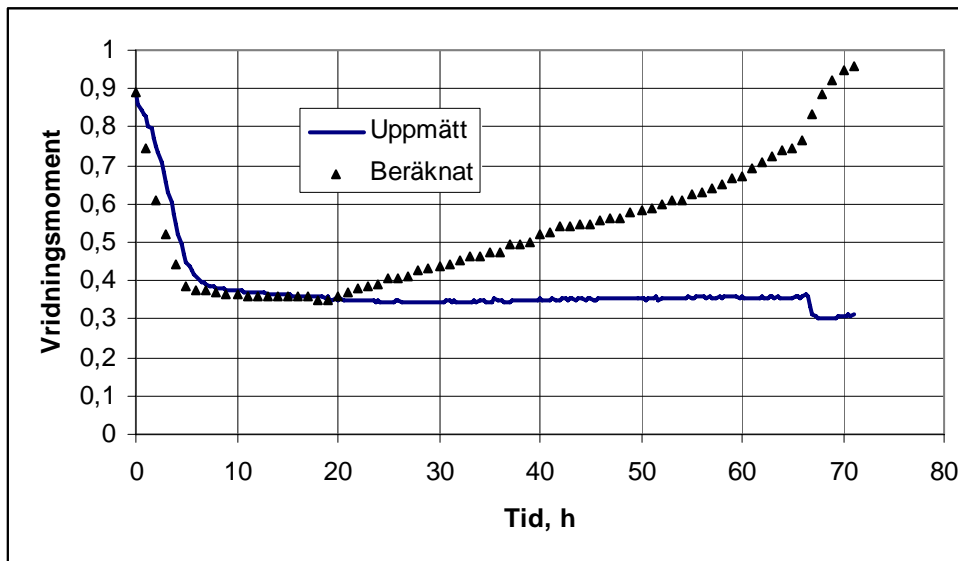
finnas ett fuktkvotsberoende, men variationen i slutfuktkvot var antagligen för liten för att detta skulle detekteras. Man kan förvänta sig att resultaten för ett annat träslag eller en annan dimension skiljer sig från figurens resultat men generellt kan man säkert vänta sig ett likartat beteende.

I de torkförsök där vridningskraften (vridmomentet) som virkesbiten utövade på sina hållare, mättes upp, så framkom en del intressanta resultat som eventuellt kunde användas i industriella processer. Detta motiverade en närmare analys av dessa vridningskrafter. Ändringar i den kraft som mättes upp påverkas av två komponenter, dels kan kraften minska genom att en krypning – formförändring – sker i önskad riktning, dels beror bitens vridstyvhet av både fuktkvot och temperatur så att en ändring i dessa påverkar den uppmätta kraften. För att kunna skilja dessa två komponenter åt genomfördes en mätserie för att bestämma virkets vridstyvhet som funktion av temperatur och fuktkvot. Resultaten från dessa försök framgår av figur 37. Man ser att både temperatur och fuktkvot har en tydlig inverkan. Ett högt värde i figuren motsvarar låg styvhet (hög ”mjukhet”) d.v.s. högre temperatur och högre fuktkvot (bunden fukt) ger en lägre vridstyvhet.



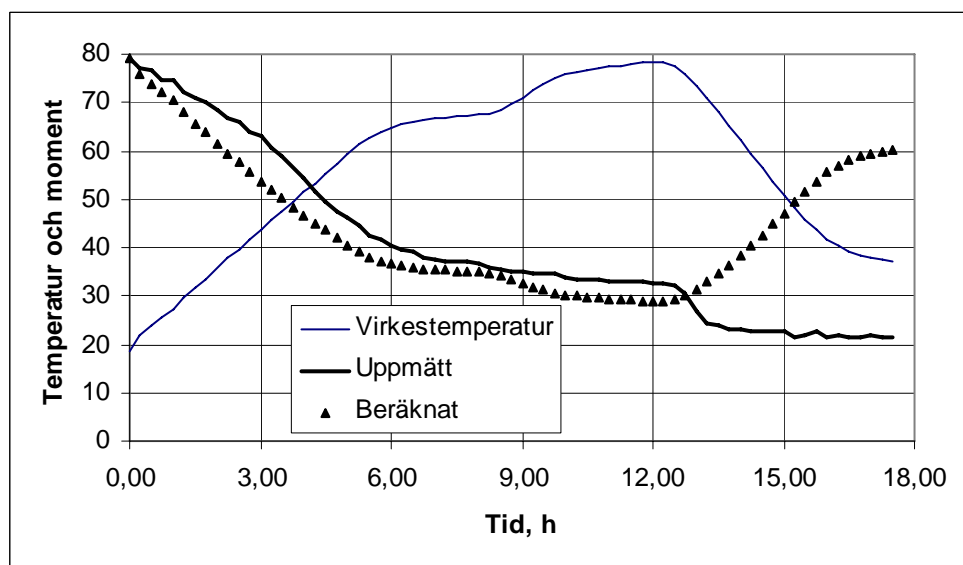
Figur 37. ”Vridmjukheten” (vridstyvhets omvända värde) som funktion av fuktkvot och temperatur.

Med hjälp av sambanden givna i figur 37 kan nu de två komponenterna i den uppmätta kraften på virkets hållare skiljas åt. Detta illustreras av följande exempel. I figur 38 representerar den heldragna kurvan den uppmätta vridkraften (vridmomentet) och de triangulära punkterna den förväntade kurvan under antagande av *rent elastiskt beteende utan krypning*. Under uppvärmningen (0-6 h) sjunker kraften väsentligt men de två kurvorna följs åt, vilket visar att ändringen beror på förändrad vridstyvhet och inte på formförändring i virket. Under den egentliga torkningen börjar kurvorna att skiljas åt vilket visar att en krypning sker i virket. Eftersom fuktkvoten ändras men virkestemperaturen hålls nära nog konstant så måste denna formförändring utgöra mekano-sorptiv krypning (d.v.s. krypning utlöst av en fuktförändring). Under den avslutande kylningsfasen var det väntat att kraften skulle öka enligt den övre kurvan (ökad styvhet vid lägre virkestemperatur) men i stället sjönk den uppmätta kraften. Eftersom fuktkvoten bör ha hållits huvudsakligen oförändrad under kylningsfasen, antyder detta att denna tilläggs-krypning utlösts av en temperaturförändring.

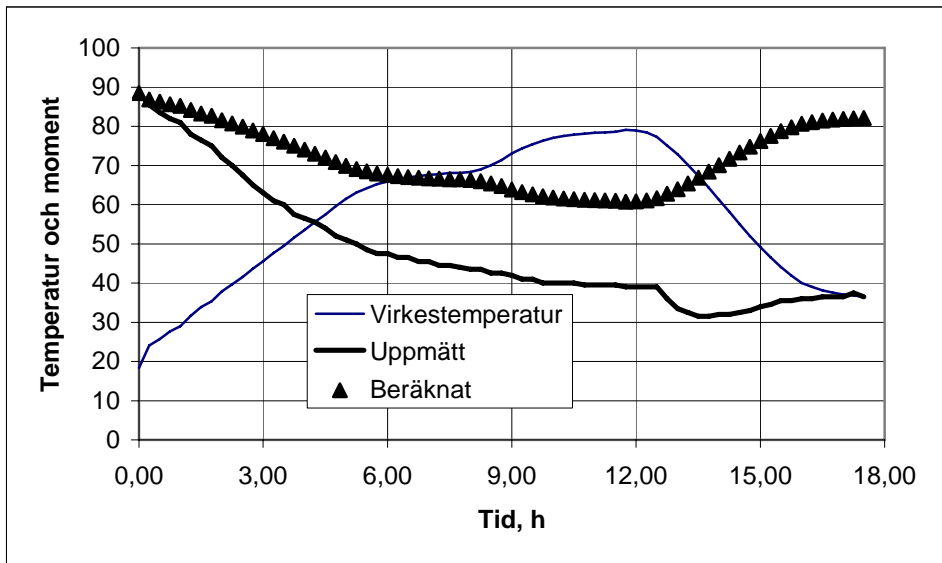


Figur 38. Jämförelse av uppmätt relativt vridmoment och beräknat relativt vridmoment med antagande av enbart elastiskt beteende.

För att kontrollera att en fuktförändring faktisk kan utlösa en krypning i det belastade virket utfördes ett verifierande försök. I detta "torkades", d.v.s. värmebehandlades, virkesbitar insvepta i plastfolie så att fuktkvoten inte kunde ändras under försöket. Försöket omfattade både färska och redan torkade bitar. Resultatet framgår av figur 39 och 40. För det färska virkets del följs kurvorna åt ända till avkylningen men separerar därefter, d.v.s. en krypning sker enbart under kylningen. För det redan torkade virkets del verkar en krypning ha skett både under uppvärmning och under kylning. Dessa resultat visar alltså att en deformation mot raket kan åstadkommas även genom en värmebehandling av virket i motvridet tillstånd, utan att fuktkvoten nödvändigtvis behöver ändras. Detta är ett intressant alternativ utöver möjligheten att erhålla rakt virke genom torkning i motvridet läge, alltså genom utnyttjande av mekano-sorptiv krypning.



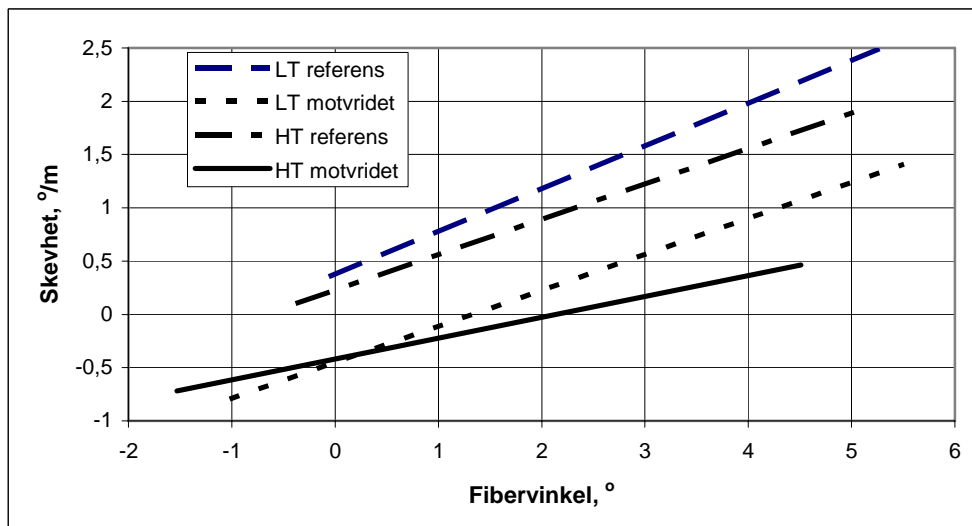
Figur 39. Jämförelse av uppmätt och beräknat vridmoment för färskt virke insvept i plastfolie.



Figur 40. Jämförelse av uppmätt och beräknat vridmoment för torkat virke insvept i plastfolie.

3.6.2.2 Industrieförsök

Det första industrieförsöket omfattade torkning vid både låg temperatur, ca 60°C, (LT-torkning) och vid hög temperatur, ca 115°C, (HT-torkning). I båda fallen torkades 54 plankor i motvridet läge och jämfördes med 54 plankor torkade utan motvridning. Provmaterialet utgjordes av mittbiten från 3 ex log sågat 41 x 147 mm² gran och torkades i den nedre delen av en stapel. För att åstadkomma motvridningen användes kilar och dessa hade lutningen 3:50 i vardera ändan av stapeln samt avtagande mot mitten där stödet var horisontellt (0°). Detta motsvarade en motvridning om 1,19 °/m. Resultaten från dessa försök sammanfattas i figur 41 och tabell 9.



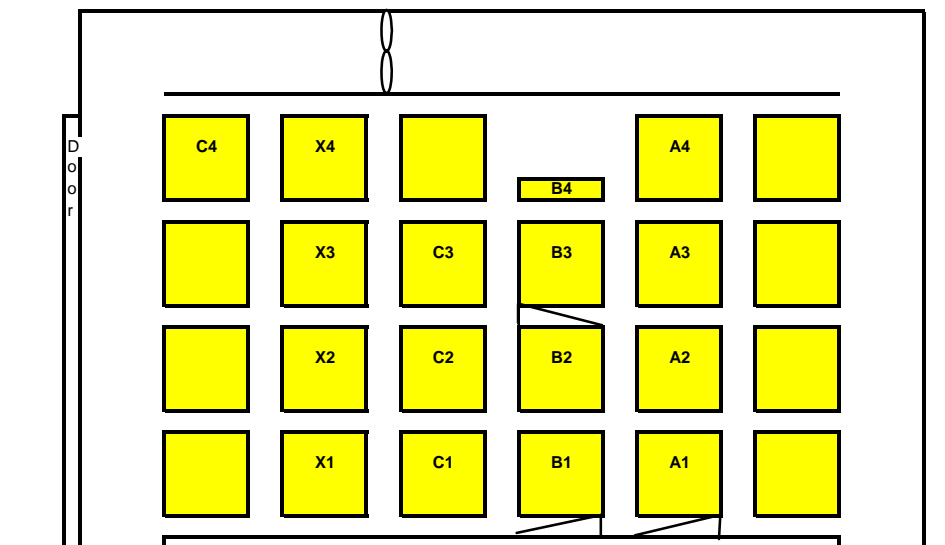
Figur 41. Samband mellan fibervinkel och skevhet i industrieförsök med konventionell torkning (LT) och högttemperatortorkning (HT).

Tabell 9. Resultat från industriförsök med konventionell torkning och högtemperaturtorkning samt med och utan motvridning.

Försök	Fibervinkel, °	Slutfuktkvot, %	Skevhet mm/100mm/2m	Skevhet °/m	Accepterade reglar
LT referens	2,13±1,17	13,9±0,9	4,29±2,93	1,23±0,84	30/54=56%
LT motvridet	1,81±1,38	13,5±0,9	0,56±2,64	0,16±0,76	45/54=83%
HT referens	1,98±1,18	14,2±1,2	3,08±2,43	0,88±0,70	36/54=67%
HT motvridet	1,49±1,38	14,0±1,2	-0,45±2,08	-0,13±0,6	52/54=96%

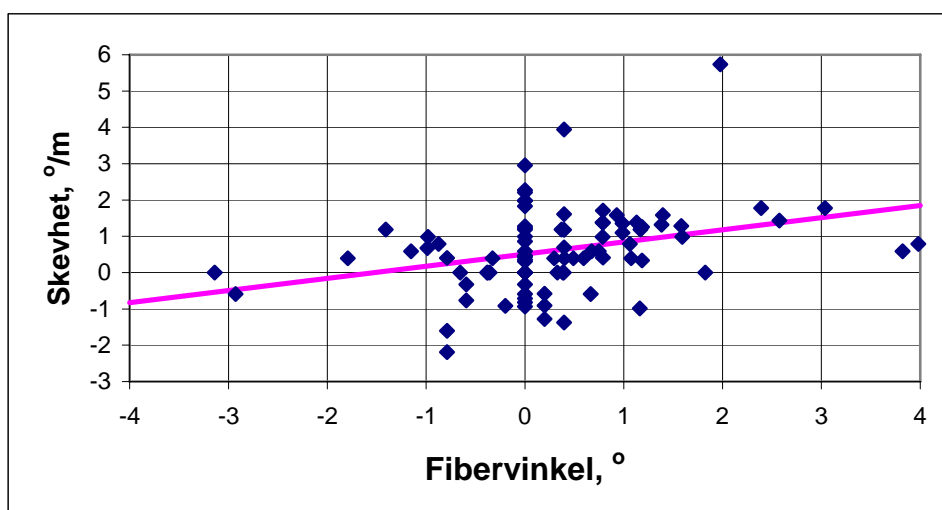
Figur 41 och tabell 9 visar tydligt att motskevningen minskat skevheten till en nivå som i medeltal låg rätt nära noll för både LT- och HT-torkat virke. Andelen accepterat virke har ökat väsentligt tack vare motvridningen. Detta är en följd av två effekter, dels ligger medelskevheten närmare noll och dels har skevhetens spridning minskat något. Man ser även att HT-torkning ger ett något bättre resultat, både vad gäller icke motvridet och motvridet virke.

Ett andra industriförsök gjordes på ett annat sågverk med 38 x 125 mm² gran sågat 2 ex log. Ett konventionellt torkschemat användes med våta temperaturen 70°C och den torra temperaturen stigande från 78 till 87°C. Medelslutfuktkvoten var 13,2 %. Avsikten med detta försök var att se hur högt upp i stapeln effekten av ett motvridande fundament sträckte sig. Virkespaketets konfiguration i torken framgår av figur 42.



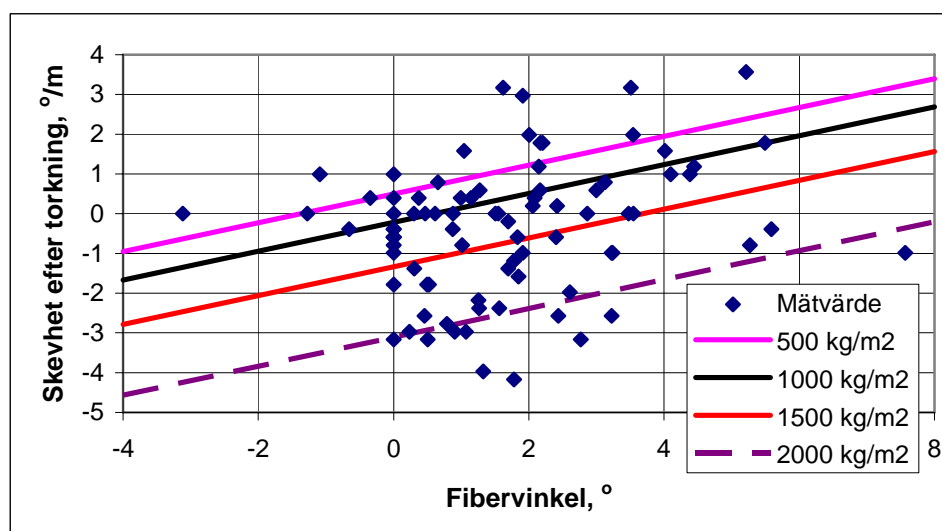
Figur 42. Virkespaketets placering i det andra industriförsöket.

Prov togs från de understa två lagren (11 + 11 bitar) i ett antal paket enligt beskrivning i det följande. I C-staplarna användes ingen motvridning och de representerade därför normal torkning. Provbitar från dessa staplar visade ett signifikant beroende av fibervinkeln men inte av läget i stapeln (höjd räknat från botten). Startvikten (ca 460 kg/m²) för de 21 virkeslager som låg ovanpå provbitarna från paket C4 var tydligen tillräcklig för att hålla alla provbitar från C-staplarna raka under torkningen. Resultatet visas i figur 43. Medelfibervinkeln för alla 88 virkesbitar var 0,33°, och medelskevheten efter torkningen var 0,62 °/m. Medelfibervinkeln för denna stapel var anmärkningsvärt låg och förklarar varför något beroende av läget i stapeln inte kunde påvisas.



Figur 43. Samband mellan fibervinkel och skevhet i paket utan motvridning.

Såsom nästa fall analyseras A-stapeln som motvreds med kilar med lutningen 1:5,79 i vardera ändan motsvarande en vridning om $3,50^\circ/\text{m}$. Denna vridning valdes hög för att tydligare kunna se effekten i höjddled i stapeln. Då skevheten efter torkning studerades framgick att skevheten var signifikant beroende av både fibervinkel och läget i stapeln. Om man som mått på läget i stapeln väljer startvikten för virket ovanför respektive punkt i stapeln, ligger det nära till hands att anta att skevheten beror exponentiellt av detta mått. Detta samband illustreras av figur 44. Medelfibervinkeln för provbitarna (73 st.) från stapel A var $1,66^\circ$ och medelskevheten efter torkning $-0,37^\circ/\text{m}$. A- och C-staplarnas medelfibervinklar skiljde sig alltså klart från varandra.

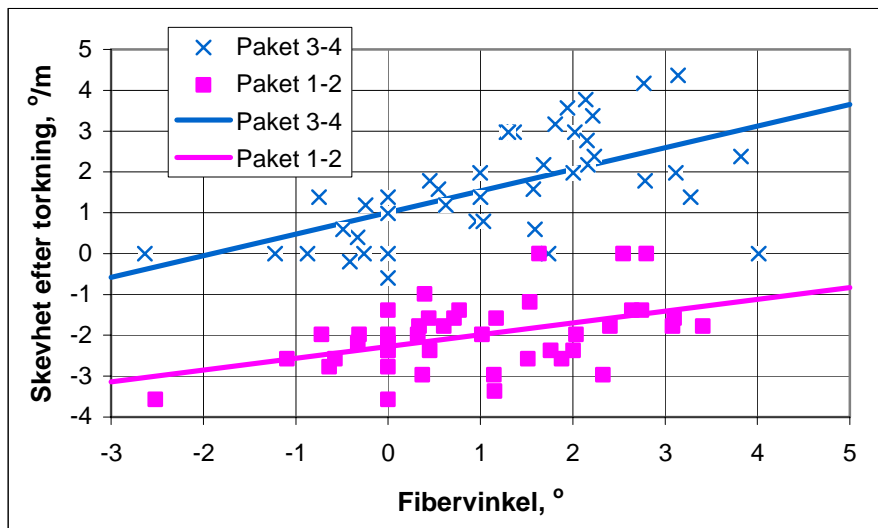


Figur 44. Skevhet efter torkning som funktion av fibervinkel och position i den motvridna A-stapeln (uttryckt som initial tryckbelastning).

Figur 44 visar att effekten av det lutande underlaget minskar uppåt. Om linjen för 500 kg/m^2 (vilket ungefär motsvarar vikten hos toppaketet A4) jämförs med linjen i figur 43 ser man att de är nästan identiska. Detta visar att virket i paket A4 var rakt under torkningen (inte motvridet) d.v.s. effekten av kilar i botten nådde inte upp till detta paket. Paketerna A3-A1 uppvisade en gradvis tilltagande effekt av kilar men endast bottenpaketet påverkades kraftigt. Detta betyder att skevhetsbenäget virke, t.ex. utvalt på

basis av fibervinkeln, bör placeras i botten av torkstapeln. Såsom nämnts valdes en för stor motvridning i detta försök. Om en mindre motvridning använts skulle den översta linjen i figur 44 ungefär ha förblivit på sin plats medan de övriga linjerna kommit närmare varandra. Det hade gett ett bättre helhetsresultat.

Slutligen skall B-stapeln diskuteras. I denna stapel har fundamentets motvridning upphävts med kilar i motsatt riktning mellan paketen B2 och B3. I princip är alltså paketen B1 och B2 motvridna, medan paketen B3 och B4 inte är det. Kilarnas lutning är desamma som för stapeln A. När skevheten efter torkningen mättes upp var den signifikant olika i den övre delen (B3, B4) jämfört med den nedre delen (B1, B2). Inom vardera delen för sig noterades att skevheten efter torkningen var signifikant beroende av fibervinkeln. Däremot noterades inget beroende av läget i stapeln. Resultatet illustreras av figur 45. Medelfibervinkeln för paketen B3, B4 var $1,18^\circ$ och för B1, B2 var den $0,91^\circ$. Skevheten efter torkningen var $1,63$ respektive $-2,01$ $^\circ/\text{m}$. Medeltalen för hela stapeln var $1,04^\circ$ och $-0,21$ $^\circ/\text{m}$.

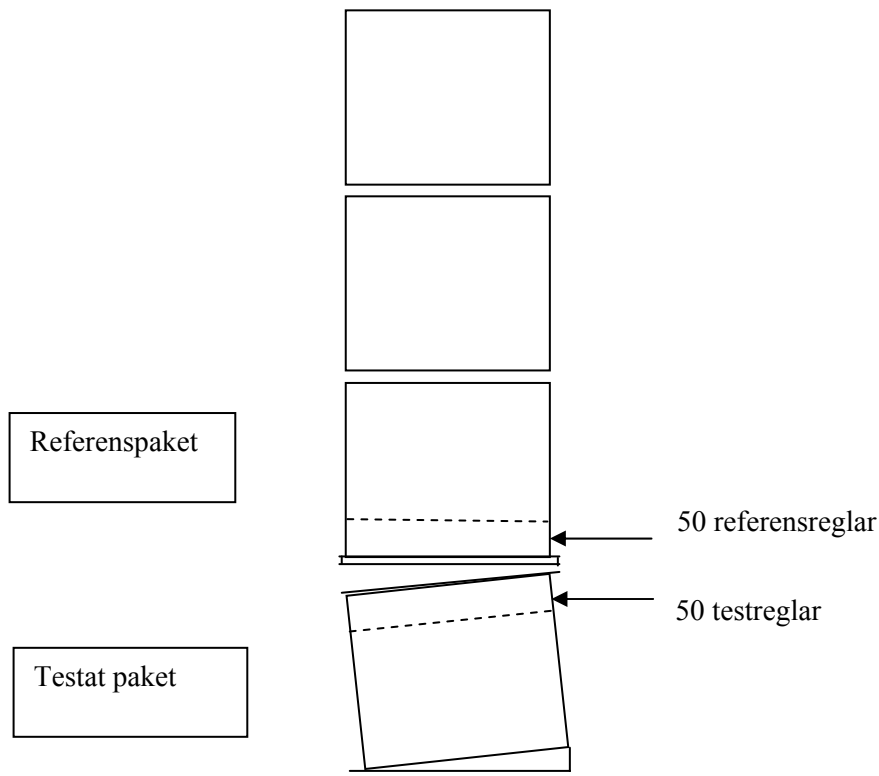


Figur 45. Skevhet efter torkning som funktion av fibervinkeln för B-stapelns två delar.

Den övre linjen i figur 45 är något brantare än linjen i figur 43 eller den översta linjen i figur 44 men positionen är i övrigt densamma vilket indikerar att situationen i B3, B4 motsvarar torkning utan motvridning. Den nedre linjen i figur 45 är (med beaktande av B4:s mindre storlek) i god överensstämmelse med de nedre linjerna i figur 44. Detta visar att situationen i B1, B2 motsvarar torkning med motvridning, men med en mera jämn motvridning i vertikal riktning än i A-stapeln. Såsom framgår av resultaten var de använda kilarna alldeles för branta. Med en mera optimal motvridning hade resultatet blivit bättre. Det framgår i varje fall att skevningsbenäget virke bör placeras i botten av stapeln och att två olika sätt för motvridning kan användas. Antingen är endast fundamentet motvridet varvid vridningen gradvis avtar uppåt i stapeln, eller så upphävs motvridningen på en viss nivå med en i motsatt riktning sned mellanplatta, vilket ger en jämnare motvridning.

3.6.2.3 Industriförsök med värmebehandling

Avsikten med följande försök var att analysera värmebehandling av redan torkat virke som var kraftigt skevt. Gran $45 \times 100 \text{ mm}^2$ torkat till ca 12 % slutfukt användes i försöket. Testet utfördes med en enda stapel (Figur 46) i en i övrigt tom tork.

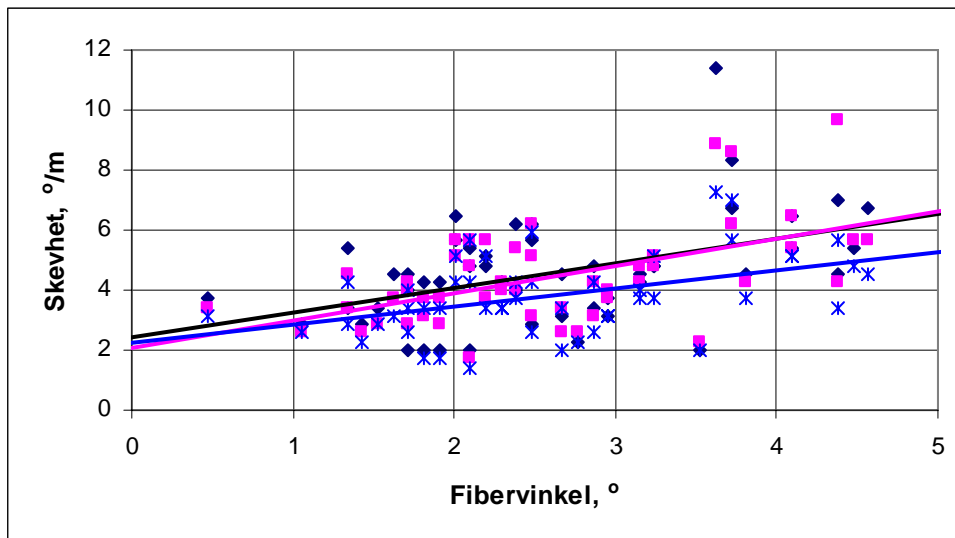


Figur 46. Virkesplacering i det första värmebehandlingsförsöket.

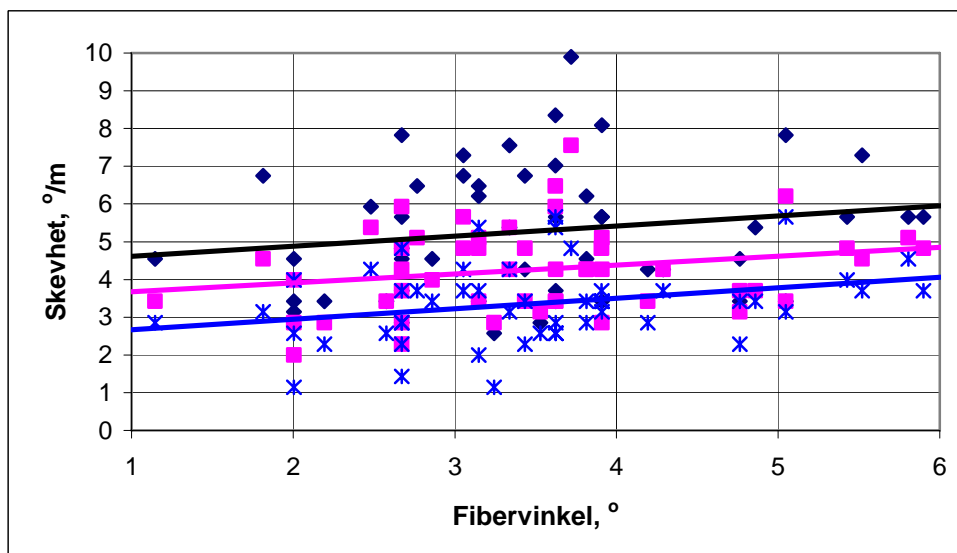
Alla fyra paket bestod av torkat virke av samma dimension och med samma målfuktkvot. Hundra plankor med mycket hög skevhet valdes ut och delades upp i två grupper om 50 plankor. Dessa placerades i stapeln så att den ena gruppen motvreds medan den andra utgjorde referens. Kilarna i paketets ändrar hade lutningen 1:12,1 vilket motsvarade en motvridning om 1,62 %/m. Värmebehandlingen utfördes under 5-6 timmar med ett klimat med jämviktsfuktkvoten 11-12 %. Detta garanterade att virkets fuktkvotsförändring var så liten som möjligt.

Före behandlingen mättes för varje bit skevhet, fibervinkel, vikt, etc. Efter värmebehandlingen togs stapeln ut ur torken och fick svalna i ursprunglig konfiguration. Därefter mättes skevhet och vikt på nytt för varje bit och sedan återskapades stapeln och en andra värmebehandling gjordes. Efter denna andra behandling, inklusive kylning, mättes skevhet, vikt och fuktkvot igen. Resultatet för referensgruppen (utan motvridning) framgår av figur 47 och resultatet för den motvridna gruppen framgår av figur 48. Därtill presenteras resultaten i tabell 10.

Om man först betraktar referensgruppen, ser man att gruppen verkligen består av extremer. Medelfibervinkeln är hög och medelskevheten före behandlingen var ytterligare betydligt större än vad fibervinkeln förutsatte. Den första behandlingen hade en liten (inte statistiskt signifikant) minskande effekt på skevheten. Den andra behandlingen gav en signifikant minskning av skevheten.



Figur 47. Skewhet i referensgruppen. Den översta linjen representerar utgångsläget och den nedersta resultatet efter andra värmebehandlingen.



Figur 48. Skewhet i den motvridna gruppen. Den översta linjen representerar utgångsläget och den nedersta resultatet efter andra värmebehandlingen.

Tabell 10. Resultatmedelvärden för det första försöket med värmebehandling.

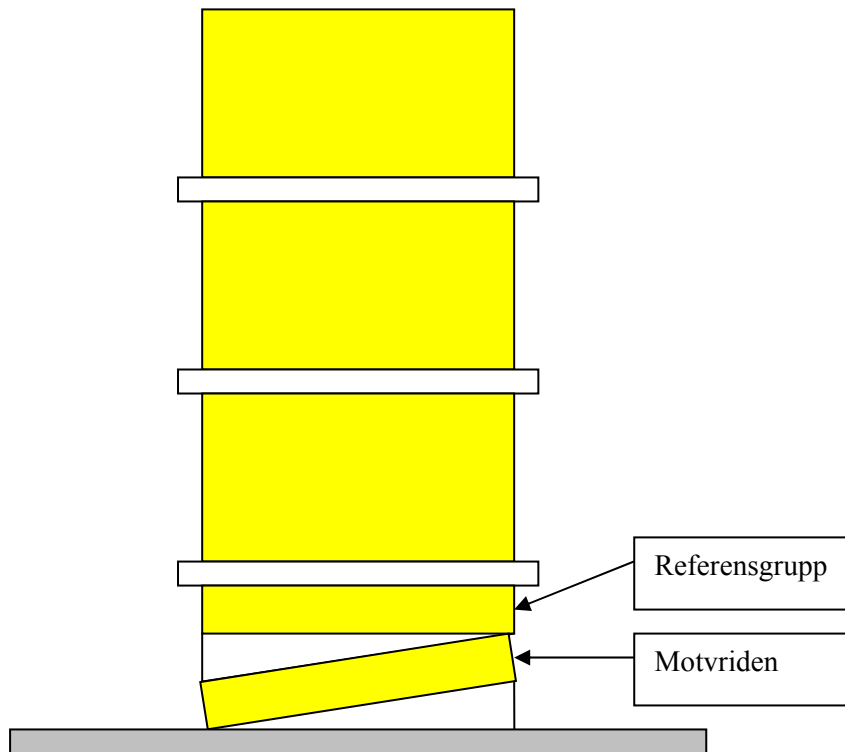
	Fuktkvot %	Fibervinkel grader	Skevhet °/m	Skevhet mm/100mm/2m
Referens				
Start	9,58	2,60	4,58	16,2
1. behandlingen	10,14	”	4,44	15,7
2. behandlingen	10,16	”	3,80	13,4
Motvridning				
Start	9,20	3,49	5,28	18,7
1. behandlingen	9,88	”	4,26	15,0
2. behandlingen	9,93	”	3,56	11,8

Resultatet för gruppen med motvridning framgår av figur 48 och tabell 10. Dessa plankor hade en ännu högre skevhet före behandlingen. Olyckligtvis är både medelfibervinkeln och lutningen hos linjerna i figurerna olika för de två grupperna. En direkt jämförelse av resultaten är därför inte korrekt. I området mellan medelfibervinklarna (2,60...3,49) är utgångslägena dock rätt nära varandra och en jämförelse kan göras. Båda behandlingarna med motvridet virke visar dock en klar effekt på skevheten, vilket var avsikten med försöket. Den andra behandlingen gav nästan lika stark effekt som den första. Trots att utgångsläget var sämre för den motvridna gruppen blev slutresultatet bättre.

Fuktkvoten för virket i försöket var lägre än målet (12 %). Detta kan delvis bero på den extra hantering detta virke genomgick. Fuktkvoten steg därför något under de två behandlingarna. Ändringen var dock så liten att en eventuell mekano-sorptiv krypning bör ha varit försumbar. Detta visar klart att temperaturförändringen under behandlingen var orsak till en minskad skevhet.

Emellertid var minskningen i skevhet i värmebehandlingen mindre än vad laborieförsöken förutspådde. Där finns en uppenbar orsak till detta. Paketet ovanför försökens provbitar var färdigtorkade och deras vikt var därmed relativt låg, och gav en belastning på ungefär 880 kg/m². Plankorna som behandlades var från början skeva i ”fel” riktning. Det behövdes därför en kraft för att göra dem raka och för de motvridnas del ytterligare en kraft för motvridningen. Slutligen, såsom framgår av figur 37, har torkat virke en betydligt högre vridstyvhet än färskt virke. Som ett resultat av detta hade en betydligt högre tryckbelastning behövts för att fullt ut uppnå den motvridning (i förhållande till utgångsläget) som önskades. Detta förklarar varför en mindre effekt än den förväntade (enligt laborieresultaten) uppmättes och kan också förklara varför det andra steget i figur 48 var ungefär lika stort som det första. Slutligen, om referensvirket i den första behandlingen var motvridet åt ”fel” håll, i stället för rakt, förklarar detta den låga effekten. Denna situation hade förbättrats i den andra behandlingen.

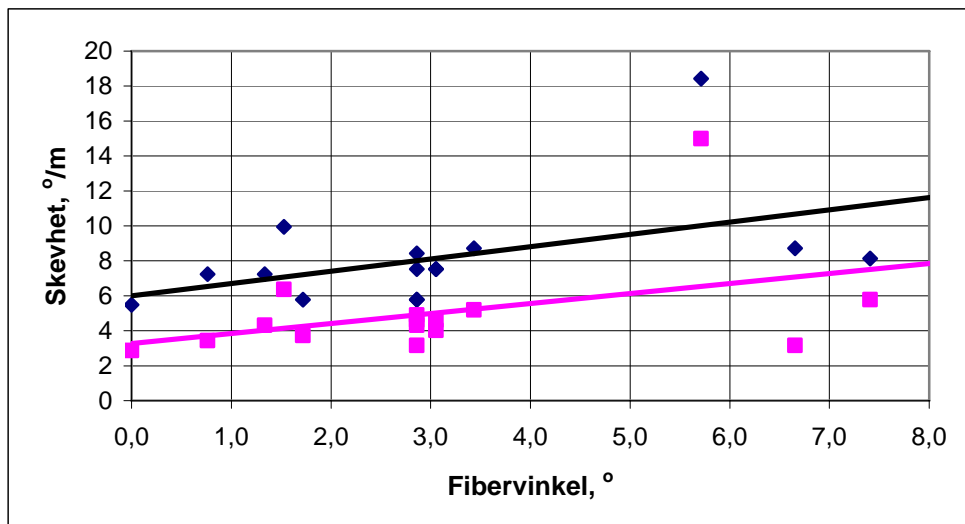
Ett andra industriförsök med värmebehandling genomfördes därför med högre tryckbelastning. Tidigare torkad gran 45 x 100 mm² med hög skevhet användes igen. Såsom referensgrupp användes 15 plankor vilka inte motvreds och 30 plankor användes för det egentliga provet med motvridning. Detta virke placerades i bottendelen av en stapel i en tork använd för normal torkning av 34 x 112 mm² gran. Denna process motsvarade därför inte en ren värmebehandling, men när testmaterialet redan var torkat bör dess fuktförändring ha varit begränsad. Stapelkonfigurationen framgår av figur 49. Kilar som användes för motvridning i detta försök hade lutningen 1:12,1 i paketets ändar, vilket motsvarar motvridningen 1,62 °/m (i förhållande till rakt virke). Tryckbelastningen i höjd med provmaterialet var nu ca 1500 kg/m², d.v.s. betydligt högre än i föregående industriförsök.



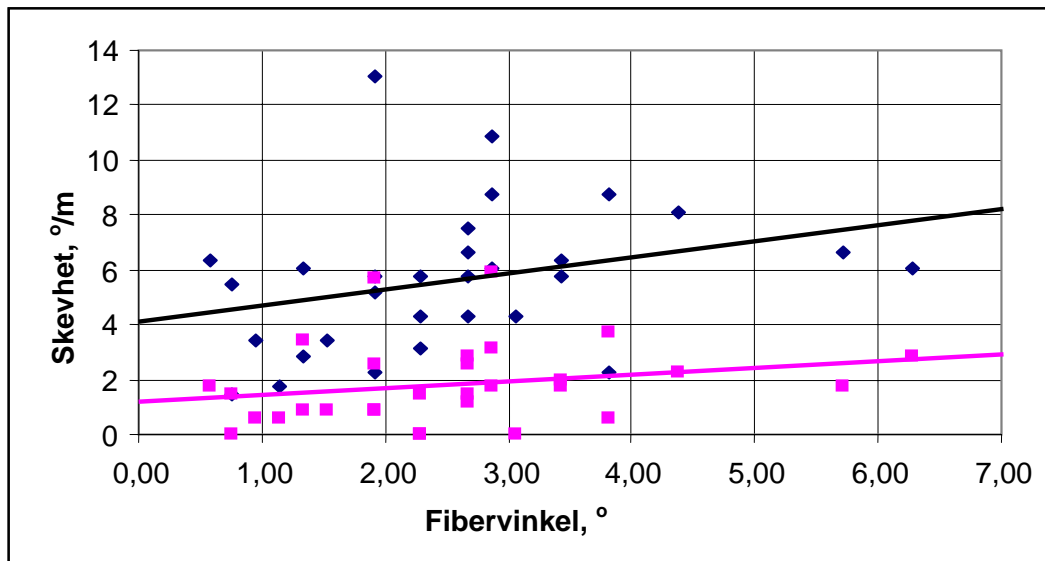
Figur 49. Virkesplacering i andra värmebehandlingsförsöket.

Efter torkningens (värmebehandlingen) slut lämnades torksatsen kvar i torken för kylning. Efter det genomfördes mätningarna på provmaterialet. Endast en behandling gjordes i detta försök.

Resultatet för referensvirket presenteras i figur 50 och i tabell 11.



Figur 50. Skewhet i referensgruppen. Övre linjen representerar läget före värmebehandlingen och den nedre efter.



Figur 51. Skevhet i den motvridna gruppen. Övre linjen representerar läget före värmebehandlingen och den nedre efter.

Som synes hade detta provmaterial en ännu extremare skevhet än i det föregående industriförsöket. Behandlingen av det inte motvridna virket, referensvirket, reducerade skevheten klart. Medelskevheten minskade med ca 38 %. Detta indikerar att tryckbelastningen nu var tillräcklig, i motsats till det tidigare försöket. Detta resultat visar att virke med hög skevhet kan bli delvis korrigerat genom ”omtorkning” i nedersta delen av en stapel.

Resultatet för det motvridna provmaterialet framgår av figur 51 och tabell 11. Skevheten före behandlingen är igen mycket hög men skiljer sig från referensgruppen, varigenom direkt jämförelse inte bör göras. Man ser dock att motvridningen har en klar effekt på skevheten efter behandlingen. Medelskevheten minskade med ca 67 %.

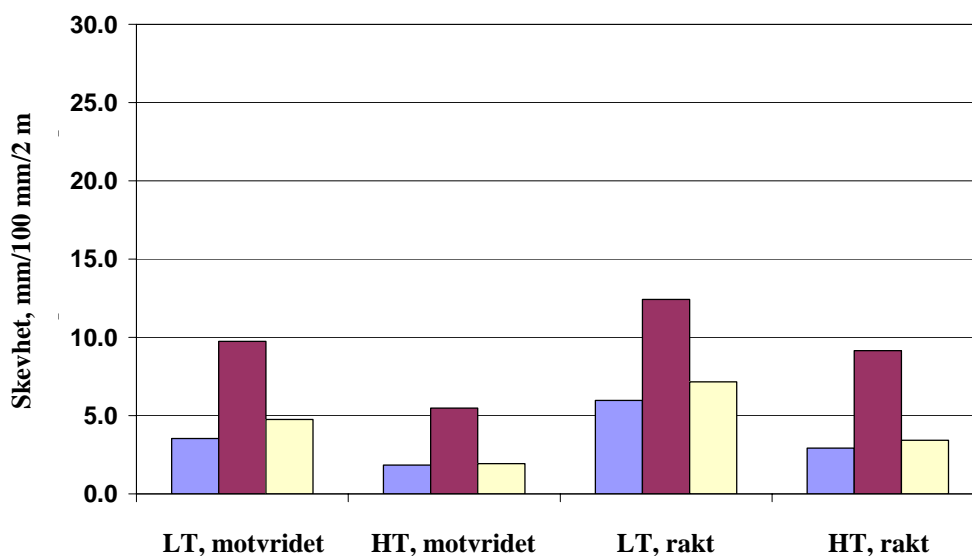
Tabell 11. Resultatmedelvärden för det andra värmebehandlingsförsöket.

	Fuktkvot %	Fibervinkel grader	Skevhet °/m	Skevhet mm/100mm/2m
Referens				
Före	~14	3,07	8,15	27,9
Efter	~11	”	5,03	17,3
Motvridning				
Före	16	2,54	5,62	19,4
Efter	11	”	1,82	6,4

Såsom av tabellen framgår, sjönk fuktkvoten under behandlingen, vilket är naturligt. Denna förändring är dock rätt liten så att inverkan av mekano-sorptiv krypning bör ha varit begränsad. Därmed har den utlösande faktorn för deformationen i första hand varit en temperaturförändring. Detta försök visar att torkat virke med hög skevhet kan korrigeras genom ”omtorkning” i motvridet läge i botten av en stapel med färskt virke. Denna procedur kan givetvis upprepas.

3.6.3 Raket i användning

Materialet från det första industriförsöket (3.6.2.2) med torkning i motvridet läge både vid låg och hög temperatur valdes för analys. Försöksmaterialet fuktutjämnades fritt hängande under tre månader i tre olika klimat med relativa luftfuktigheterna 85, 30 respektive 85 % och temperaturen 23°C. Skevheten har normaliserats till 15 % fuktkvot. Skevhet och andelen godkända regler framgår av figur 52 och tabell 12. Resultatet visar att skevheten var mindre för det motvridna materialet än för det som torkats rakt. Den erhållna deformationens återgång (spring-back) var liten för HT-torkat virke och något högre för LT-torkat.



Figur 52. Medeltal av absoluta skevhetsvärden uppmätta efter konditionering fritt rörligt till 18 %, 10 % respektive 18 % fuktkvot.

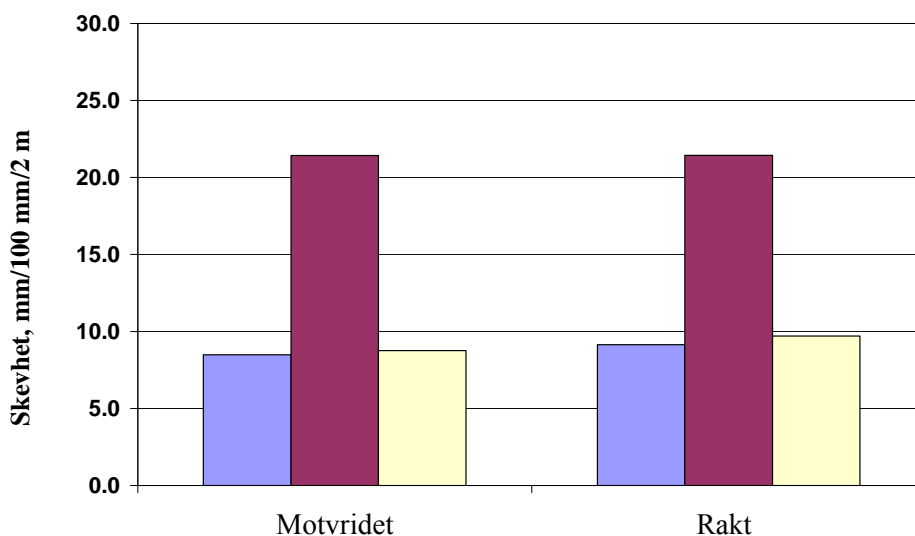
Andelen regler som uppfyllde acceptansgränsen för skevhet var högre för motvridet virke än för det som torkat rakt (Tabell 12). HT-torkat motvridet virke gav bättre värden än LT-torkat motvridet virke, men det bör observeras att samma motvridningsvinkel hade använts i båda fallen. Med en bättre anpassad motvridning för det LT-torkade materialet hade resultatet uppenbarligen blivit bättre. Det bör även observeras att det i ifrågavarande försök användes bredare virke än i andra delprojekt vilket kan ha påverkat resultatet.

Tabell 12. Det raka virkets andel efter fuktutjämning fritt hängande. Skevheten har normerats till 15 % fuktkvot. Acceptansgräns 4 mm/100 mm/2 mm.

Grupp	Andel accepterat virke (%) efter första perioden	Andel accepterat virke (%) efter tredje perioden
Motvridet, låg temp.	38,9	33,3
Motvridet, hög temp.	77,8	77,8
Rakt, låg temperatur	20,4	18,5
Rakt, hög temperatur	38,9	35,2

Materialet från det första försöket med värmebehandling (3.6.2.3) analyserades på samma sätt som ovan och resultatet framgår av figur 53. Någon större skillnad mellan virke värmebehandlat rakt eller motvridet kan inte ses. Spring-back effekten är mycket liten i båda fallen. Det bör observeras att detta virke var utvalt på basis av extremt hög skevhet efter torkningen och representerade också extremt höga fibervinklar. Ingen regel, varken

före eller efter behandlingen uppfyllde därför acceptansvärdet för skevhet. Jämförelse med resultat erhållna för normalt virke i detta projekt kan därför inte göras.



Figur 53. . Medeltal av absoluta skevhetsvärden uppmätta efter konditionering fritt rörligt till 18 %, 10 % respektive 18 % fuktkvot.

3.6.4 Rekommendationer

Laboratorie- och industriförsöken som utförts med virke motvridet under torkningen och motsvarande försök med värmebehandling under motvridning av redan torkat virke, har klart visat att en avsevärd reduktion av skevheten kan uppnås.

En tillämpning av denna metodik kräver en lösning av följande två deluppgifter, 1) Detektering och separering av plankor med hög skevhetsbenägenhet och 2) Framtagning av en procedur för motvridning av detta virke. Ett stegvis införande av metodiken är möjlig och rekommenderas.

Det är välkänt att virke sågat nära mörgen generellt är mera skevhetsbenäget än virke längre utåt från mörgen. Detta sammanhänger med fibervinkelns variation med avståndet från mörgen. Sågningsmönstret, postningen, ger därför en enkel bas för separation av virke som kräver åtgärder. Till exempel regler sågade 2 ex log eller de inre bitarna av regler sågade 4 ex log kommer att få en medelskevhet om ca 1 °/m efter en konventionell torkningsprocess. Om dessa regler torkas under motvridning så är det möjligt att uppnå en medelskevhet nära noll, med samma eller rent av lägre standardavvikelse. Detta betyder att en högre andel av virket kommer att falla inom acceptansgränserna för skevhet. Postningen kan därför utgöra en grund för separation av skevhetsbenäget virke.

En mera detaljerad, individuell metod för detektering av regler som kräver åtgärder är att mäta fibervinkeln för varje enskild bit och att sortera ut för behandling de med en fibervinkel över ett lämpligt tröskelvärde. För gran är antalet bitar ur centrumutbytet med en negativ fibervinkel över tröskelvärde mycket litet och kan troligen ignoreras. Detta betyder att motvridning bara i den ena riktningen blir aktuell. Fibervinkeln kan mätas enligt den s.k. trakeideffekten med en tunn laserstråle. Den cirkulära strålen kommer då den träffar träytan att dras ut i fiberriktningen och ses som en ellips vars riktning på storaxeln kan mätas med kamerateknik. Detta är en relativt enkel metod för on-line mätning och verkar vara den enda metoden som är lämplig i en industriell miljö. Mätning av fibervinkeln är redan i bruk vid några sågverk.

En lägre skevhet uppnås för virke torkat i den nedre delen av en normal torkstapel (utan motvridning) speciellt om tryckbelastningen på stapeln är otillräcklig. Ett första steg är därför att dirigera skevhetsbenäget virke till ett skilt paket som placeras underst i stapeln. Denna procedur i förening med fibervinkelmätning har med framgång tillämpats vid sågverk.

Den väsentliga delen i denna metod är dock att också motvrida virket (mot den inneboende skevhetsriktningen) och torka det i detta läge. Motvridning kan åstadkommas med ett lutande fundament under stapeln i torken eller med en modifierad vagnkonstruktion ifall torken är vagnmatad. I torkförsöken som beskrivits ovan användes kilar av trä som placerades ut manuellt under varje ströad i paketen. Detta är självfallet en för komplicerad metod för användning industriellt. Såsom figur 44 illustrerar avtar motvridningen uppåt i stapeln. Det mest skevhetsbenägna virket bör därför placeras längst ned i stapeln medan mindre kritiskt virke kan placeras högre upp. Fundamentets lutning bör väljas så att medelskevheten för hela stapeln kommer så nära noll som möjligt. En viss förhöjd motvridning kan dock vara på sin plats för att kompensera för den återgång av deformationen (spring-back) som sker i virket innan och sedan det nått sin slutanvändningspunkt.

I ett första steg kan ett fundament med fix lutning användas. Baserat på kännedom om vilket virke, dimension, målfuktkvot etc., som normalt torkas i en viss tork, så kan lutningen vara olika i olika torkar. Lutningen kan grovt bestämmas enligt uppgifterna i denna rapport men en intrimning enligt ”försök och misstag” för beaktande av lokala förhållanden och mål är normalt nödvändig. Ett slutligt steg är att lutningen kan varieras specifikt för varje torksats. Justerbara, hydrauliska stöd för virkesstapeln eller utbytbara (truck) bottenplattor kan tänkas.

Den värmebehandlingsprocess som beskrivits ovan är i första hand tillämplig för korrigerande av redan torkat virke som har för hög skevhet. Det finns två möjligheter att genomföra denna korrigerande, antingen i en för ändamålet gjord separat kammare, eller genom ”omtorkning” tillsammans med en normal torksats. Vid omtorkning bör detta virke placeras i botten av stapeln. Skevheten hos detta virke kommer att minska även om ingen motvridning används, men ett bättre resultat uppnås med motvridning. Omtorkning kommer normalt att leda till en för låg slutfuktkvot, men detta kan i många fall vara acceptabelt. Vidare kommer en viss del av torkens kapacitet att förbrukas för detta ändamål genom att den färska virkesmängden i torken minskar.

Om värmebehandlingen genomförs i en skild kammare bör det observeras att rätt så höga tryckbelastningar behövs. Dels har torkat virke en högre vridstyvhet än färskt virke och dels är motvridningskravet större (aktuell skevhet plus motvridning förbi nolläget). Detta kan kräva speciella belastningsarrangemang då stapelns egen vikt med torkat virke är låg.

Värmebehandling kan inte rekommenderas som en fristående metod för skevhetsminskning, utan i första hand skall lämpliga åtgärder användas i den egentliga torkningen och endast det virke som trots detta är för skevt tas till värmebehandling. Det bör i det sammanhanget observeras att trots att mörgnära färskt virke har en tendens till skevning åt huvudsakligen bara ett håll, kan en effektiv primärmetod för skevhetsminskning leda till att extremerna efter torkningen är skeva ungefär lika mycket åt vardera hållet. Detta kräver då två skilda värmebehandlingsgrupper med motvridning åt var sitt håll.

3.6.5 Lönsamhetsbedömning

I stället för en teoretisk lönsamhetskalkyl för motvridningsmetodik presenteras här en beräkning för ett verkligt fall där metoden delvis införts. En närmare beskrivning återfinns i (Uusijärvi, 2004). Den totala produktionen vid det aktuella sågverket var ca 210000 m³/år av vilket ca 60000 m³/år hanteras med det nya systemet. Implementeringen omfattade en laserbaserad fibervinkelmätare för detektering av plankor med hög fibervinkel. Ett dynamiskt tröskelvärde används som automatiskt anpassas så att 25 % av totala virkesmängden sorteras ut. En färgspray används för att märka dessa bitar. Längre fram används en fotocell för detektering av de färgmärkta bitarna och för att dirigera dem till ett separat fack. Vart fjärde paket kommer således att bestå av detta skevhetsbenägna virke och placeras nederst i virkesstapeln i torken. I detta fall består stapeln av fyra paket, vilket förklarar 25 % -tröskeln. I detta fall användes ingen motvridning.

Investeringskostnaden för detta system var av storleksordningen 280000 kr och den årliga driftkostnaden 170000 kr/år. Den nytta som systemet skapade bestod av två delar. För det första ökade andelen virke med acceptabel skevhet något och för det andra ökade virkets medellängd tack vare mindre avkap. Detta utgjorde ungefär 720000 kr/år vilket motsvarar en återbetalningstid för systemet om cirka ett halvt år.

Det bör observeras att ungefär samma resultat skulle ha kunnat uppnås genom en tillräcklig tryckbelastning på staplarna. Emellertid, om en motvridning av virket inkluderas i processen så skulle en fibervinkelmätning i varje fall behövas för att kunna styra det mest skevhetsbenägna virket till den nedre delen av stapeln, där motvridningen är effektivast. I ett sådant fall skulle ett avsevärt bättre resultat vad gäller andelen virke med acceptabel skevhet uppnås, även med en enkel lösning såsom ett lutande underlag för virkesstapeln. Detta antyder att samma eller bättre återbetalningstid bör kunna uppnås med ett komplett system.

3.7 Oscillerande torkscheman

Johannes Welling & Torsten Riehl

Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft, Hamburg, Tyskland.

Då forskningsresultat visat att krypning i trä under belastning ökar när temperatur och fuktkvot ändras, så har idén med torkscheman med oscillerande klimattillstånd för att intensifiera krypningen studerats som en möjlighet att producera rakare virke.

För konventionella torkscheman gäller att klimatet är ganska konstant eller i varje fall ändras långsamt under torkningen. Med ett oscillerande schema vill man variera klimatet (temperatur och relativ luftfuktighet) i cykler på ett sådant sätt att åtminstone virkets ytskikt genomgår ett cykliskt förlopp i fuktkvot och temperatur. Genom dessa variationer kan man vänta sig en större krypning i virket och därmed en mindre risk för sprickbildning och ett fördelaktigare läge för deformation till raket. Detta skulle kunna innebära kortare torkningstider och rakare virke. I projektet genomfördes en serie laboratorieförsök i halvstor skala med torkning med oscillerande schema både med vanlig gran och med sitkagran. Försöken gjordes dels med tryckbelastning, dels utan.

Vid försöken användes inte ett fixt grundschema – som sedan överlagraades med en cyklisk variation – utan grundschemas bestämdes på basis av mätning av aktuell fuktkvot för virket i torken vid varje tidpunkt. Denna mätning byggde på resistansmätning för ett begränsat antal i virket inslagna stift. Detta ledde till att grundschemas blev olika för varje torkning, vilket gör att jämförelser är mycket svåra att göra. För vanlig gran användes som referensfall ett mildt schema och oscillation med intervallen 1h, de alternativa fallen

omfattade även ett hårt schema respektive oscillationsintervallen 2,5h. Ur skevhetssynpunkt blev resultatet för referensfallet sämst, medan hårt schema och 2,5h intervall var bäst. Dock gav det sistnämnda fallet en oacceptabel sprickmängd. Genom att referensfallet även innehöll oscillation är det inte möjligt att dra längre gående slutsatser ur resultaten, varken avseende skevhet eller torkningstid. För sitkagran utgjordes referensfallet av ett torkningsschema utan oscillation. Ur skevhetssynpunkt gav referensfallet det bästa resultatet.

I alla torkningsförsöken fick man mindre skevhet med tryckbelastat virke jämfört med icke belastat under samma förhållanden. Även om den oscillationsprincip som låg till grund för försöken möjligen är helt korrekt, så utgör inte försöksresultaten en tillräcklig grund för bedömning av riktigheten eller för framtagande av riktlinjer för metodens genomförande. Det bör även ihågkommas att i en industriell tork bildas automatiskt ett cykliskt schema för torksatsens kantstaplar till följd av fläktreverseringen kombinerad med klimatvariationen i blåsriktningen.

3.8 Högtemperaturtorkning

Michel Riepen. TNO Institute of Applied Physics. Delft, Nederländerna.

3.8.1 Metod

Med högtemperaturtorkning avses torkning vid temperaturer över 100°C. Detta betyder att det inte är nödvändigt att ta in någon friskluft i torken, utan den förångade fukten kan avgå som ren ånga.

Högtemperaturtorkningens skevhetsminskande effekt bygger på att vedens krypningsförmåga blir effektivare vid högre temperaturer. Utöver temperaturen påverkar även fuktkvoten krypningen så att den går snabbare vid högre fuktkvot (bundet vatten). Detta kan tolkas så att den våta temperaturen bör vara så nära 100°C som möjligt och torra självfallet något över 100°C. En annan effekt är att högtemperaturtorkat virke har något lägre jämviktsfuktkvot (minskad hygroskopicitet) än konventionellt torkat virke. Detta ger mindre rörelser i virket i slutanvändarpunkten vid fuktförändringar.

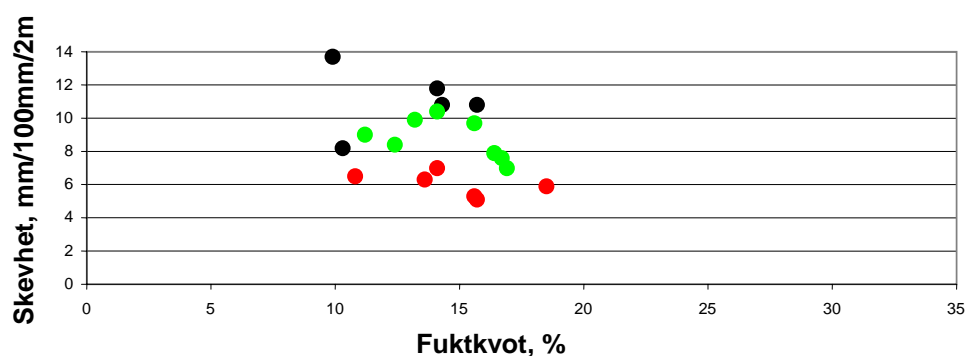
Det är viktigt att uppvärmningen till den egentliga torkningstemperaturen kan göras utan att virket i någon högre grad torkar. Detta kan effektivt åstadkommas t.ex. genom ångbasing.

3.8.2 Resultat

Försök med högtemperaturtorkning har genomförts vid CTBA i Frankrike, TNO i Nederländerna, SP Träteknik i Sverige och VTT i Finland med både vanlig gran och sitkagran, samt i laboratorie- och full skala. Högtemperaturtorkning i kombination med motvridning har rapporterats i avsnitt 3.6.2.2. För sitkagran användes kombinationstorkscheman med temperaturer under 100°C tills ca 30 % fuktkvot nåtts, för att undvika kollaps i virket. I övrigt gjordes torkningen inom temperaturområdet 105-120°C. Konventionell referenstorkning utfördes på temperaturnivån 70-75°C.

Figure 54 visar resultat för sitkagran i form av medelvärden för olika prov.

Medelskevhet för sitkagran 50 x 100 mm²



Högtemperaturtorkat utan tryckbelastning (svart)
 Konventionellt torkat utan tryckbelastning (grön)
 Högtemperaturtorkat med tryckbelastning (röd)

Figur 54. Medelskevhet efter högtemperaturtorkning med och utan tryckbelastning jämfört med konventionell torkning.

Det framgår av figuren att tryckbelastning minskar skevheten med ca hälften för högtemperaturtorkat virke, vilket grovt sett är i överensstämmelse med resultaten (avsnitt 3.5.2 och figur 36) för konventionell torkning. Däremot får man ett intryck av figuren att högtemperaturtorkning inte ger bättre skevhetsresultat än konventionell torkning, då tryckbelastning används. En jämförelse av torkning vid 105°C och vid 120°C uppvisade ingen tydlig skillnad såsom följande tabell visar.

Temperatur, °C	Skevhet, mm/100 mm/2 m
105	6,0
120	6,1

Försök med ångkonditionering efter torkningen uppvisade ingen effekt på skevheten. Däremot rekommenderas konditionering efter högtemperaturtorkning för att minska ythårdenheten, fuktgradienten samt risken för inre sprickor efter torkningen.

Resultaten från försöken med högtemperaturtorkning för minskning av skevhet är inte entydiga. En orsak kan vara att skevhetsbenägenheten hos virket varierat från prov till prov. Vidare kan det vara betydelsefullt om de ströade virkespaketen brutits före virkets kylning eller inte (jfr avsnitt 3.6.2.3). I varje fall verkar ingen avgörande förbättring kunna uppnås jämfört med konventionell torkning. Därmed blir det andra faktorer som avgör om en satsning på högtemperaturtorkning är lönsam eller inte.

Fördelarna med högtemperaturtorkning är i korthet följande:

- 50 – 75 % kortare torkningstider
- Kortare tider ger större flexibilitet vid leveranser.
- Lägre energiförbrukning per m³.
- Lägre kostnad per m³.

Nackdelarna är:

- Kräver normalt ett nytt energiförsörjningssystem då temperaturen i konventionella hetvattensystem är för låg. (Gäller inte vid integrat med t.ex. massafabrik.)
- Mörkare virke.
- Problem med inre sprickor vid tjockare dimensioner.

- Förhöjd slutfuktkvotsspridning.
- Viss hållfasthetsminskning (0 – 5 %).
- Bör marknadsföras såsom en skild produkt.

VTT har undersökt trycksatt ångbehandling av skevt torkat virke. Mättad ånga vid 150-160°C användes. Denna metod har viss likhet med värmebehandlingsmetoden beskriven i avsnitt 3.6. En klar minskning av skevheten uppnåddes men denna återgick till rätt stor del under efterföljande lagring. Metoden kan inte ses som ett realistiskt alternativ vid industriell produktion.

3.8.3 Raket i användning

En del av försöksmaterialet fuktutjämnades fritt hängande under tre månader i tre olika klimat med relativa luftfuktigheterna 85, 30 respektive 85 % och temperaturen 23°C. Skevheten har normaliserats till 15 % fuktkvot. I tre tester med högttemperatortorkat virke bedömdes stabiliteten på detta sätt. Två av dessa gällde kombinationer med andra metoder, tryckbelastning och torkning under motvridning. Det tredje testet gällde högttemperatortorkad sitkagran, torkad i Nederländerna. Resultaten visade att medelskevheten var ungefär lika i dessa stabilitetstester för båda högttemperatortorkat och konventionellt torkat virke. För sitkagran erhöles ett intressant resultat då skevheten minskade något, d.v.s. återgången (spring-back) var negativ (tabell 13).

Tabell 13. Det raka virkets (sitkagran) andel efter fuktutjämnning fritt hängande. Skevheten har normaliserats till 15 % fuktkvot. Acceptansgränsen är 4 mm/100 mm/2 m.

	Andel accepterat virke (%) efter första perioden.	Andel accepterat virke (%) efter tredje perioden.
Högttemperatortorkning	26,5	32,7
Referens	32,7	36,7

3.8.4 Lönsamhetsbedömning

Högttemperatortorkning representerar en snabb och energieffektiv metod. I det följande antas att ånga eller hetvatten med tillräckligt hög temperatur finns tillgänglig och att energins enhetspris är detsamma för både högttemperatur- och konventionell torkning. Med dessa villkor är högttemperatortorkning fördelaktigare ekonomiskt, speciellt vid lägre målfuktkvoter (tabell 14). För snickeritorrt virke har högttemperatortorkningen jämförts med kammartorkning och för skeppningstorrt virke med torkning i vandringsstork. Om en ny panna skulle ingå i investeringen så skulle resultatet förändras väsentligt.

Kostnadsberäkningen påverkas väsentligt av andelen högttemperatortorkat virke och av vilka tekniska lösningar som väljs. Det är även svårt att producera helt likvärdigt virke från högttemperatortorkar, bl.a. är slutfuktkvotsspridningen normalt större.

Tabell 14. Kostnadsjämförelse mellan högtemperaturtorkade och konventionellt torkade reglar.

Furu 50 mm	Kammartork 8 %	Högtemp. 8 %	Vandringstork 18 %	Högtemp. 18 %
Utgångsdata				
Torkkapacitet, m ³ /år	2961	14000	27360	34111
Torkinvestering, Mkr	2,5	7,5	8,0	7,5
Återbetalningstid, år	12	12	12	12
Räntefot, %	6	6	6	6
Värmepris, öre/kWh	20	20	20	20
Elpris, öre/kWh	40	40	40	40
Torksats, m ³	99	118	276	118
Virkespris, kr/m ³	2000	2000	1700	1700
Torkningstid, h	240	60	80	25
Värmebehov, kWh/m ³	280	210	220	180
Elbehov, kWh/m ³	40	50	25	35
Personal och underhåll, kr/m ³	20	20	20	20
Kvalitetsförlust i torkningen, %	5	5	5	5
Kostnader, kr/m³				
Kapitalkostnad, tork	100,7	63,9	34,9	26,2
Räntekostn. virke, under torkning	3,3	0,8	0,9	0,3
Energi	72,0	62,0	54,0	50,0
Personal och underhåll	20,0	20,0	20,0	20,0
Kvalitetsförlust	100,0	100,0	85,0	85,0
Totalt	296,0	246,7	194,8	181,5
Skillnad konv. --> högtemp. %		-16,7		-6,8

4 Sammanställning av de olika skevhetsminskande metodernas lämplighet

Några av de undersökta metoderna har visat sig vara både effektiva och användbara i industriell skala vid sågverk. I de flesta fall är förbättringen i rakhetsgrad inte helt permanent, utan man får räkna med en viss återgång med tiden – spring-back – speciellt vid klimatvariationer. Trots detta tenderar dock det behandlade virket att vara rakare vid användningen än det obehandlade. Om virket relativt snabbt kommer till slutanvändningspunkten, t.ex. i en vägg, har återgången en mindre betydelse och ofta kommer virket att vara inspänt så att en viss strävan till återgång av skevheten inte kan verka fullt ut.

En viktig fråga i detta sammanhang är hur stor andel av totala produktionen vid ett sågverk som kan sägas vara skevhetsbenägen. Det är känt att virke från stockar med hög snedfibrihet kommer att vara speciellt skevhetsbenäget. Andelen stockar med denna egenskap varierar mycket men torde representera 1 – 5 % av totala volymen sågad stock. Å andra sidan kommer stockar med en toppdiameter mindre än 160 mm att ge skevhetsbenäget virke till följd av små dimensioner och mörnåra bitar (där fibervinkeln är stor). För att få en uppfattning om denna andel insamlades data vid ett sågverk i Finland. Stockar med diameter 137 – 160 mm motsvarade ca 20 % av antalet och ca 12 % av volymen. Vidare konstaterades att virke med dimensionen 35...50 x 75...125 mm² och som sågats 2 ex log eller inre paret av 4 ex log eller mittbiten av 3 ex log utgjorde tillsammans ca 40 % av den totala producerade virkesvolymen. Den andel virke som med

hjälp av lämpliga metoder kan göras mindre skevt och därmed få en högre kvalitet kan alltså vara rätt betydande i många fall.

De flesta av metoderna för skevhetsminskning som undersökts bygger på ett utnyttjande av träets krypningsegenskaper, d.v.s. man skapar en deformation mot raket. En nackdel med detta är att den erhållna deformationen, såsom nämnts, inte är helt permanent. Sågning med samtidig vridning av stocken kan ge virke som efter torkningen är nära nog rakt. Det bör dock observeras att snedfibrigheten kvarstår, varigenom det torkade virkets skevhet/raket påverkas av en ändring i virkets fuktkvot. Metoden med märgklyvning och våtlimning ”rygg mot rygg” ger ett rakt virke som inte i större grad påverkas av en fuktkvotsförändring i virket, då krafterna initierade av snedfibrigheten motverkar varandra. Denna metod kräver dock en helt skild produktionslinje. Slutligen finns det metoder som bygger på att man sorterar ut stockar som kan förväntas ge skevt virke och utnyttjar dem för annat ändamål. Denna utsortering bör självfallet ske så tidigt som möjligt, helst i skogen.

I det följande har för varje metod uppgjorts en tabell med för- och nackdelar samt metodens övriga särdrag. Tabellernas underrubriker är:

- Metodens beskrivning
- Hur förbättras virkes raket?
- Krav på tork och torkningsprocess
- Metodens påverkan på andra kvalitetsfaktorer
- Inverkan på sågens produktionsprocess
- Inverkan på torkningsprocessens kostnader
- Metodens andra tilläggskostnader
- Inverkan på produktsortimentet
- Övriga faktorer

4.1 Stocksortering på basis av snedfibrighet

<p style="text-align: center;"><i>Metodens beskrivning</i></p> <p>Stockarna sorteras enligt snedfibrigheten under bark. Fibervinkeln kan mätas på barkade stockar med laser- och kamerateknik och på obarkade möjligen med en vass egg som slås mot stocken (avsnitt 3.1.1). Stockar som bedöms ge skevt virke sorteras bort ur processen.</p>
<p style="text-align: center;"><i>Hur förbättras virkets rakhet?</i></p> <p>Märgnära bitar är skevhetsbenägna. Längre från märgen blir virket normalt rakare. Fibervinkeln under bark ger en rätt god indikation på skevhetsbenägenheten för regler som sågats ut på olika avstånd från märgen. Detta utnyttjas för utsortering.</p>
<p style="text-align: center;"><i>Krav på tork och torkningsprocess</i></p> <p>Inga krav - konventionell torkning.</p>
<p style="text-align: center;"><i>Metodens påverkan på andra kvalitetsfaktorer</i></p> <p>Ingen påverkan.</p>
<p style="text-align: center;"><i>Inverkan på sågens produktionsprocess</i></p> <p>En mätstation för fibervinkeln behöver installeras efter barkningen. Därtill krävs fack för utsorterade stockar och hantering av dessa. Hanteringsproblemen i den egentliga såglinjen kan förväntas minska.</p>
<p style="text-align: center;"><i>Inverkan på torkningsprocessens kostnader</i></p> <p>Ingen inverkan.</p>
<p style="text-align: center;"><i>Metodens andra tilläggskostnader</i></p> <p>Kostnad för installation och drift av fibervinkelmätare samt hanteringskostnad för utsorterade stockar. Därtill kommer skillnaden i inköps- och försäljningspris för utsorterade stockar.</p>
<p style="text-align: center;"><i>Inverkan på produktsortimentet</i></p> <p>Ingen inverkan, men skevhetsnivån för producerat virke sjunker.</p>
<p style="text-align: center;"><i>Övriga faktorer</i></p> <p>Kostnadsberäkningar antyder att värdesänkningen för de utsorterade stockarna är för stor jämfört med fördelen av lägre skevhet. Önskvärt vore att stockar med hög snedfibrighet kunde detekteras redan i skogen.</p>

4.2 Vridning av klintimmer under sågningen

<i>Metodens beskrivning</i>
Nästan allt centrumvirke från klintimmer är skevhetsbenäget åt samma håll. Om man med en speciell anordning vrider stocken under sågningen är det färska virket skevt men blir rakt vid torkningen om vridningen är korrekt vald. Metoden förutsätter att sidobräder inte tas ut då dessa blir skeva efter torkningen.
<i>Hur förbättras virkets rakhet?</i>
Virkets inneboende skevningsbenägenhet kompenseras. Stockens vridning kan väljas konstant för en given dimension eller väljas individuellt enligt varje stocks snedfibrighet. Vridningens storlek beror även av måslutfuktkvoten.
<i>Krav på tork och torkningsprocess</i>
Inga krav – konventionell torkning.
<i>Metodens påverkan på andra kvalitetsfaktorer</i>
Troligtvis ingen påverkan.
<i>Inverkan på sågens produktionsprocess</i>
Krävs anordning för vridning av stocken vid sågningen. I fallet med individuell vridning av stocken fordras fibervinkelmätning (se 4.1). Hantering av det färska, och alltså skeva, virket kan förorsaka störningar.
<i>Inverkan på torkningsprocessens kostnader</i>
Ingen inverkan.
<i>Metodens andra tilläggskostnader</i>
Ej andra kostnader.
<i>Inverkan på produktsortimentet</i>
Ingen inverkan, men skevhetsnivån för producerat virke sjunker.
<i>Övriga faktorer</i>
Investeringskostnaden uppskattas till 0,5...5 Mkr. Vid individuell vridning krävs därtill en fibervinkelmätare.

4.3 Försortering på basis av startfuktkvot och densitet

<i>Metodens beskrivning</i>
Färskt virke sorteras i två eller tre grupper enligt fuktkvot och densitet. Kriteriet är att virke med liknande torkningsegenskaper skall komma i samma grupp, för att kunna torkas snabbare och med mindre fuktkvotsspridning. Det har tillsvidare inte visats att fuktkvot och densitet kan definiera torkningsegenskaperna tillräckligt väl för färskt virke. Möjligen kan metoden användas för förtorkat virke.
<i>Hur förbättras virkets rakhet?</i>
Skevheten ökar då fuktkvoten sjunker. Genom mindre fuktkvotsspridning minskar antalet bitar med hög skevhet.
<i>Krav på tork och torkningsprocess</i>
Uppdelning i mindre grupper kan kräva ändringar i virkesflödet genom torkarna.
<i>Metodens påverkan på andra kvalitetsfaktorer</i>
Jämnare fuktkvot.
<i>Inverkan på sågens produktionsprocess</i>
Ökat antal fack i råsorteringen.
<i>Inverkan på torkningsprocessens kostnader</i>
Möjligen reduktion genom homogenare torksatser.
<i>Metodens andra tilläggskostnader</i>
Sortering och hantering av mindre grupper höjer kostnaden.
<i>Inverkan på produktsortimentet</i>
Ingen inverkan.
<i>Övriga faktorer</i>
I dagsläget verkar metodens potential vara mycket begränsad.

4.4 Märgklyvning och våtlimning

<p style="text-align: center;"><i>Metodens beskrivning</i></p> <p>Traditionellt sågas stocken längs mörgen. I denna metod tas en centrumbit ut med mörgen i mitten och denna klyvs längs mörgen, hyvlas och delarna limmas ihop ”rygg mot rygg” i vått tillstånd. Centrumbiten sågas tjockare för att kompensera bortfall genom klyvning och hyvling.</p>
<p style="text-align: center;"><i>Hur förbättras virkets raket?</i></p> <p>Virket som klyvs och våtlimmas får en avsevärt förbättrad raket till följd av att de av snedfibrigheten i torkningen förorsakade krafterna i vardera halvan motverkar varandra. Övriga bitar kommer att tas ut längre från mörgen och är därmed mindre skevhetsbenägna. Totalt får man en klar förbättring av raketeten.</p>
<p style="text-align: center;"><i>Krav på tork och torkningsprocess</i></p> <p>Ingen inverkan, såvitt inte limfogen kräver begränsningar i temperatur o.dyl.</p>
<p style="text-align: center;"><i>Metodens påverkan på andra kvalitetsfaktorer</i></p> <p>Mörgen kan bli synlig på ytan</p>
<p style="text-align: center;"><i>Inverkan på sågens produktionsprocess</i></p> <p>Sågmönstret ändras. Då centrumbiten sågas tjockare kan den sorteras ut enligt tjockleken. En helt ny linje krävs för klyvning, hyvling och våtlimning.</p>
<p style="text-align: center;"><i>Inverkan på torkningsprocessens kostnader</i></p> <p>Ingen inverkan.</p>
<p style="text-align: center;"><i>Metodens andra tilläggskostnader</i></p> <p>Kostnad för ny produktionslinje och tillhörande hanteringskostnader. Spill genom extra klyvning och hyvling.</p>
<p style="text-align: center;"><i>Inverkan på produktsortimentet</i></p> <p>Den limmade produkten kräver extra marknadsföring för att få acceptans. Kan säljas som specialprodukt med hög och stabil raket. Produktens hållfasthetsegenskaper bör bestämmas. Totalt får produktsortimentet bättre raket.</p>
<p style="text-align: center;"><i>Övriga faktorer</i></p> <p>Den nya produktionslinjen kräver know-how utöver traditionell sågverkskunskap.</p>

4.5 Tryckbelastning på virkestaplarna vid torkning

<p style="text-align: center;"><i>Metodens beskrivning</i></p> <p>Torkstapeln belastas upptill med tyngder eller med hydrauliska/pneumatiska tryckramar så att virket även i de översta strölagren hålls plant under torkningen. Tryckramar kan utföras även med variabelt tryck. Tryckramarna utförs oftast så att läckageluft över stapeln hindras och vidare minskar rasrisken i stapeln.</p>
<p style="text-align: center;"><i>Hur förbättras virkets raket?</i></p> <p>Genom att virket hålls rakt under torkningen (med undantag av fria ändar mellan strön) kommer skevhetsbenägenheten att ge en motkraft i virket som orsakar krypning och deformation mot raket. Skevheten minskar ungefär till hälften jämfört med fritt rörligt virke.</p>
<p style="text-align: center;"><i>Krav på tork och torkningsprocess</i></p> <p>Pålagda vikter kräver extra hantering och minskar virkesvolymen i torken. Tryckramar kräver installation och eventuellt förstärkning av torkhuskonstruktionen.</p>
<p style="text-align: center;"><i>Metodens påverkan på andra kvalitetsfaktorer</i></p> <p>Ingen inverkan. Märken i virkesytan efter ströna är ett frågetecken men även för de högsta trycken uppmättes inte större intryckning än 0,2-0,3 mm. Skulle detta vara ett problem kan variabel tryckbelastning användas som ökas då virkets kompressionsstyrka ökar vid lägre fuktkvot och då virkets egen vikt minskar.</p>
<p style="text-align: center;"><i>Inverkan på sågens produktionsprocess</i></p> <p>Tryckbelastningens hantering.</p>
<p style="text-align: center;"><i>Inverkan på torkningsprocessens kostnader</i></p> <p>Investering i anordningar för tryckbelastning samt underhåll. Vikter på stapeln är en billig investering men driftkostnaderna blir högre. Tryckramar är en dyrare investering men driftkostnaderna är låga. System för tryckbelastning är lätt att inkludera i en ny tork men för en existerande tork kan rätt omfattande anpassning krävas. Beräkningar av NTI i Norge har gett återbetalningstider för tryckbelastning i området 0,6...1,2 år (avsnitt 3.5.7).</p>
<p style="text-align: center;"><i>Metodens andra tilläggs-kostnader</i></p> <p>Ej andra tilläggs-kostnader.</p>
<p style="text-align: center;"><i>Inverkan på produktsortimentet</i></p> <p>Ingen inverkan, men skevhetsnivån för producerat virke sjunker.</p>
<p style="text-align: center;"><i>Övriga faktorer</i></p> <p>En alternativ metod är att sortera ut (fibervinkelmätning) det mest skevhetsbenägna virket och dirigera det till den nedersta delen av virkestapeln i torken. Då fungerar ovanliggande virke som vikt och endast måttlig tryckbelastning behövs på toppen av stapeln. Tryckbelastning kan till viss del vara en förutsättning vid torkning under motvridning (3.6).</p>

4.6 Torkning och konditionering av virke i motvridet läge

<i>Metodens beskrivning</i>
<p>Det ströade virkespaketet vrids i motsatt riktning till virkets inneboende skevhetsriktning och torkas i detta läge. Vridningen kan åstadkommas med ett skevt underlag för virkesstapeln, där vridningen är störst vid ändarna av stapeln och minskar mot mitten där stödet är horisontellt. Denna motvridning är effektivast nederst i stapeln och minskar uppåt. Om stapeln är tryckbelastad med en på samma sätt pålagd vridning blir effekten oberoende av läget i stapelns höjddel. Motvridningens storlek väljs så att virkets medelskevhet efter torkning och lagring blir så liten som möjligt.</p> <p>Metoden kan även användas för redan torkat virke som uppvisar för hög skevhet. I detta fall görs en värmebehandling av virket i motvridet läge. Alternativt kan detta virke torkas på nytt i en normal torksats i en motvriden stapels nedre del.</p>
<i>Hur förbättras virkets raket?</i>
<p>Genom motvridningen och virkets inneboende skevhetsbenägenhet skapas vridkrafter som ger krypning i virket mot raket. Denna krypning utlöses både av en fuktförändring (mekano-sorptiv krypning) och av en temperaturförändring.</p>
<i>Krav på tork och torkningsprocess</i>
<p>Själva torkprocessen förändras inte men motvridningen kräver åtgärder. Den enklaste lösningen är ett skevt (truckhanterat) underlag i kammartorken. I en vandringsstork måste vagnarna utrustas med en möjlighet att luta underlaget. Det är fördelaktigt om virket kan kylas medan det ännu är motvridet (gäller även vid tryckbelastning utan motvridning).</p>
<i>Metodens påverkan på andra kvalitetsfaktorer</i>
<p>Ingen påverkan.</p>
<i>Inverkan på sågens produktionsprocess</i>
<p>Det mest skevhetsbenägna virket bör sorteras ut – t.ex. genom laserbaserad fibervinkelmätning – och dirigeras till den nedersta delen av den motvridna virkesstapeln i torken. Alternativt kan man skilja ut det minst skevhetsbenägna virket och styra det till den översta delen av stapeln. Utöver fibervinkelmätningen medför detta en utökad hantering och fler virkesgrupper.</p> <p>I fallet med värmebehandling av skevt redan torkat virke, kräver även detta en utsortering och skild hantering. I första skedet bör man eftersträva ett så gott resultat som möjligt med motskevning enbart för det färska virket vid normal torkning.</p>
<i>Inverkan på torkningsprocessens kostnader</i>
<p>Den egentliga torkningen påverkas inte. I fallet med värmebehandling ökar hanteringskostnaderna och torkningskapacitet förbrukas för behandlingen.</p>
<i>Metodens andra tilläggskostnader</i>
<p>Utsortering av skevhetsbenäget virke och styrning till virkesstaplarnas nedre del i torken, samt motvridning av stapeln medför tilläggskostnader.</p>
<i>Inverkan på produktsortimentet</i>
<p>Ingen inverkan men virkets skevhetsnivå minskar klart.</p>
<i>Övriga faktorer</i>
<p>Utsortering av det mest skevhetsbenägna virket och dirigerering av detta till den nedersta delen av virkesstapeln i torken – men tillsvidare utan motvridning – är framgångsrikt i bruk i full skala. Detta är ett naturligt och lönsamt första steg som senare kan kompletteras med motvridning. Jämfört med virke som kan röra sig fritt under torkningen minskas medelskevheten ungefär till hälften genom att hålla virket rakt. Den andra hälften kan uppnås genom ytterligare motvridning.</p>

4.7 Oscillerande torkscheman

Metoden har vid försöken inte gett en entydig positiv effekt. Metoden kan därför inte rekommenderas som ett sätt att åtgärda skevhetsproblem.

4.8 Högtemperatortorkning

Högtemperatortorkning har vid genomförda försök inte visats ge någon avsevärd förbättring i fråga om skevheten jämfört med metoder kombinerade med konventionell torkning. Högtemperatortorkning medför avsevärt kortare torkningstider och lägre energiförbrukning. Det är i första hand dessa egenskaper som avgör lämpligheten i specifika fall – inte eventuell inverkan på det torkade virkets skevhet.

4.9 Jämförelse av olika metoder

Metoderna kan jämföras enligt flera olika kriterier. Sådana kriterier är bl.a. uppnådd rakhet, raketens stabilitet, förväntad intäktsökning till följd av rakare virke samt investerings- och driftkostnader. Den ”bästa” metoden varierar därför från fall till fall.

Egenskap	Stocksortering på basis av snedfibrighet	Vridning av klentimmer under sågningen	Märgklyvning och våtlimning	Tryckbelastning på virkesstaplarna vid torkning	Torkning av virke i motvridet läge	Värmebehandling av torkat skevt virke i motvridet läge
Formförändring	<	<<	<<	<	<<	<
Torkkapacitet	-	-	-	(<)	<	<<
Torkningskostnad	-	-	-	>	-	>
Hanteringskostnad	>	>	>>	-	>	>
Intäkter av bättre rakhet	>	>	>>	>	>	>
Sprickbildning	-	-	(<)	-	-	-
Färgförändring	-	-	-	-	-	-
Fuktkvotsspridning	-	-	?	(<)	-	?
Styrka	-	-	?	-	-	-
Marknadsföring	normal	normal	ny produkt	normal	normal	normal

Den effektivaste metoden att minska skevheten verkar vara märgklyvning och våtlimning ”rygg mot rygg” av de två delarna. Denna metod ger en låg skevhet som dessutom är nästan oberoende av slutfuktkvoten. Å andra sidan krävs en helt ny produktionslinje för genomförandet.

Av de övriga metoderna är det bara två som i princip kan minska medelskevheten till noll – vridning av stocken under sågning och motvridning av virket under torkningen. I båda fallen är raketten beroende av fuktkvoten, d.v.s. åtgärden bör anpassas efter jämviktsfuktkvoten i slutanvändningspunkten. Vridning av stocken under sågningen kan användas bara för klentimmer där sidobränder inte tas ut, eftersom vridningen borde vara olika beroende på hur långt från märgen virkesstycket ligger. Däremot är det möjligt att välja vridningen individuellt för varje stock om fibervinkeln mäts upp. Motvridning av virket under torkningen kan i praktiken inte göras individuellt för varje bit men genom att styra det mest skevhetsbenägna virket till den nedersta delen av stapeln kan en viss differentiering uppnås. Detta förutsätter likaså mätning av fibervinkeln.

Utsortering av stockar som ger skevhetsbenäget virke är en effektiv metod att minska skevheten men problemet är att det är svårt att finna en lönsam användning för det utsorterade virket. Detta gör att det trots allt kan vara bättre att acceptera dessa stockar, åtminstone för produkter där raketeten inte är en central kvalitetsparameter.

Tryckbelastning på virkesstaplarna är en lönsam metod att minska skevheten, speciellt vad gäller de översta virkeslagren i stapeln. Metoden kan därför rekommenderas som en delåtgärd i kombination med alla andra metoder. Tryckbelastning minskar skevheten, men dock inte mera än ca hälften av den inneboende skevheten (vid fritt rörligt virke).

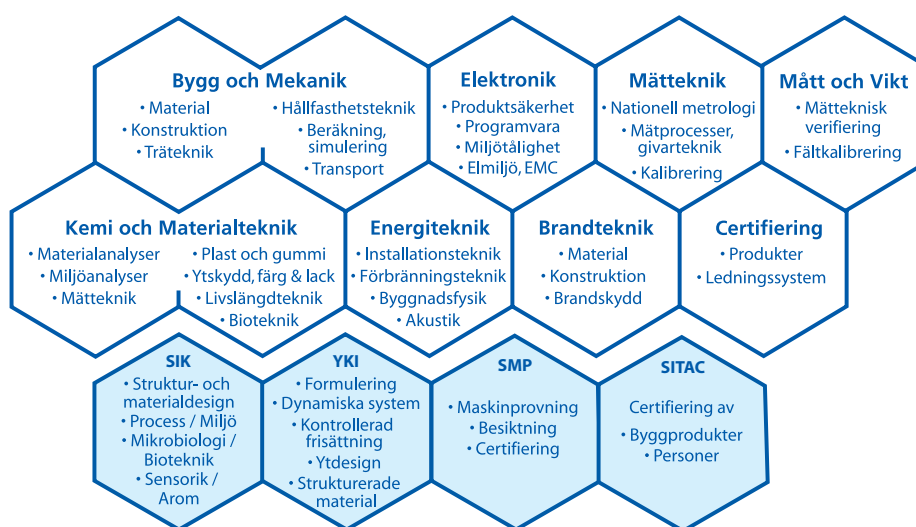
Värmebehandlingen av virke i motvridet läge är ett komplement till övriga metoder då den lämpar sig bäst för ”korrigerings” av redan torkat virke med för hög skevhet.

Litteratur

- Bäckström, M., 2006. Moisture-induced distortion in timber structures – example based on partition walls.
Doktorsavhandling, Chalmers tekniska högskola, Göteborg. Ny serie nr 2423.
- Bäckström, M., Johansson, M., 2006. Analytical model of twist in Norway spruce (*Picea abies*) timber.
Scandinavian Journal of Forest Research 21:54-62.
- Ekevad, M., 2005. Twist of wood studs: dependence on spiral grain gradient.
J. Wood Science 51, 455-461.
- Johansson, M., Kliger, R., Bäckström, M. 2004. Distortion in in-service conditions – Report on the WP 4 STRAIGHT Project.
Konstruktionsteknik, Stål- och träbyggnad, Publikation 04:10, Chalmers tekniska högskola.
- Nyström, J., 2002. Automatic measurement of compression wood and spiral grain for the prediction of distortion in sawn wood products.
Doktorsavhandling, Luleå Tekniska Universitet, Publikation nr 2002:37
- Oja, J., Grundberg, S., Berg, P., Fjellström, P-A., 2006. Mätutrustning för bestämning av fibervinkel och kärnvedsinnehåll vid tvärtransport av träprodukter i råsorteringen.
SP Rapport 2006:16
www.sp.se/databas/rapportpubl
- Salin, J-G., Esping, B., Hájek, B., 2005. Drying and re-conditioning of pre-twisted boards. Laboratory and industrial tests.
SP Report 2005:14, Borås.
www.sp.se/databas/rapportpubl
- Stevens, W.C., Johnston, D.D., 1960. Distortion caused by spiral grain.
Timber Technology 68, 217-218.
- Säll, H., 2002. Spiral grain in Norway spruce.
Doktorsavhandling, Växjö Universitet. Acta Wexionesia No 22/2002.

- Tarvainen, V., (Editor), 2005a. 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. VTT Publications 584, Esbo, Finland.
www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2005/P584.pdf
- Tarvainen, V., 2005b. Metoder för förbättring av rakheten hos sågvaror. [På finska]. VTT Meddelanden 2295, Esbo, Finland.
www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2005/T2295.pdf
- Tronstad, S., 2005. Effect of top loading on the deformation of sawn timber during kiln drying. NTI, Treteknisk Report nr 59, Oslo, Norge.
- Uusijärvi, R., 2004. Rakare virke från befintlig råvara. Träteknisk Rapport P0407017, Stockholm.

SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut utvecklar och förmedlar teknik för näringslivets utveckling och konkurrenskraft och för säkerhet, resurshushållning och god miljö i samhället. Vi har Sveriges bredaste och mest kvalificerade resurser för teknisk utvärdering, mätteknik, forskning och utveckling. Vår forskning sker i nära samverkan med högskola, universitet och internationella kolleger. Vi är drygt 830 medarbetare som bygger våra tjänster på kompetens, effektivitet, opartiskhet och internationell acceptans.



SP är organiserat i åtta tekniska enheter och fyra dotterbolag.

SP Bygg och Mekanik
 SP RAPPORT 2006:32
 ISBN 91-85533-17-3
 ISSN 0284-5172



SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut

Box 857
 501 15 BORÅS
 Telefon: 033-16 50 00, Telefax: 033-13 55 02
 E-post: info@sp.se, Internet: www.sp.se

A Member of

United Competence