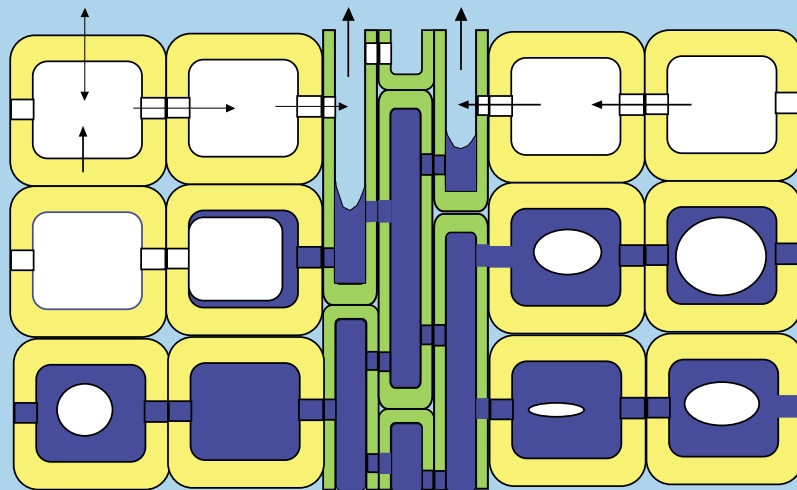


# FOKUS på tre

## Trefuktighet - tørking



- Trefuktigheten bør tilpasses klimaet på brukerstedet
- Fuktighetstransporten ved tørking - en kompleks prosess
- Tørking - en balansegang mellom tørkehastighet og tørkeskader
- Definisjoner

## Hvorfor tørke trevirket?

De fleste egenskaper ved trevirket blir bedre ved nedtørring. Dette gjelder både fysiske og mekaniske egenskaper.

Tørt trevirke vil sammenlignet med rått ha bl.a. følgende fordeler:

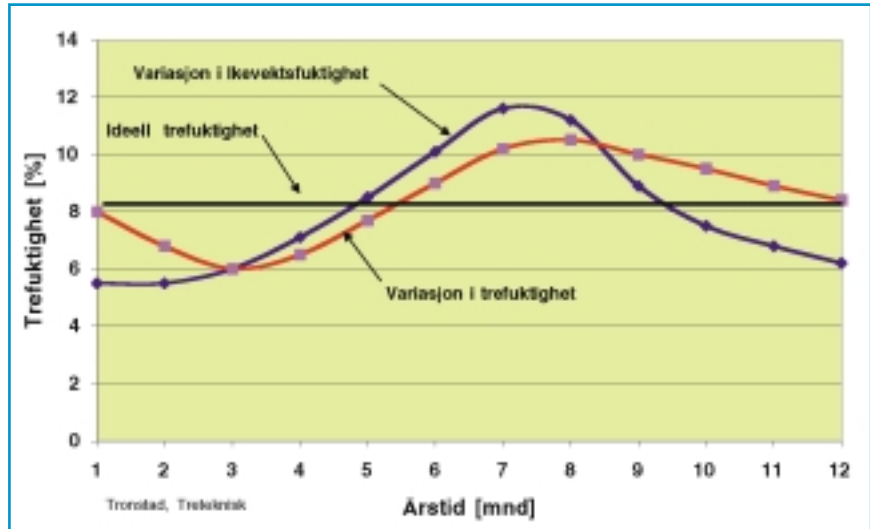
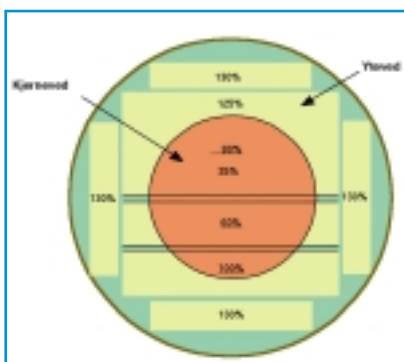
- lavere vekt
- mindre krymping og svelling i bruk
- større bestandighet mot råte og sopp
- bedre impregnerbarhet
- høyere styrkeegenskaper
- bedre limbarhet
- bedre feste for maling og lakk
- lavere varmeledningsevne
- bedre bearbeidingsegenskaper

## Rå trelast - uegnet for de fleste formål

Alle treslag har i nyavvirket tilstand en fuktighet som ligger langt over ønsket bruksfuktighet. I tillegg er det normalt store variasjoner i fuktigheten i stammetverrsnittet. Det gir seg utslag i stor variasjon i fuktigheten i trelast som blir skåret av tømmeret. Et tverrsnitt av gran- og furustammer har for eksempel en gjennomsnittlig fuktighet på ca. 80 %, mens kjerneveden inneholder 32 - 40 % og yteveden 120 - 130 %.

Dette resulterer i at det blir stor variasjon i fuktigheten i planker og bord som blir skåret av stok-

*Typisk fuktighetsfordeling i planker og bord skåret av en gran-/furustokk.*



ken. Derfor er det høy, men relativt jevn fuktighet i sidebordene og middels høy og ujevn fuktighet i plankene. Nyskårne bord av furu inneholder faktisk over 500 liter vann per m<sup>3</sup>.

Det er derfor en stor utfordring å fjerne fuktigheten i planker og bord, både når det gjelder mengde vann som skal fordampes, og å oppnå riktig og jevn slutfuktighet.

## Trefuktigheten bør tilpasses klimaet på brukerstedet

Alt trevirke er hygroskopisk og tilpasser fuktigheten til luftens temperatur og relative fuktighet. For at trevirket skal krympe og

svelle minst mulig i bruk, bør det tørkes til en fuktighet som tilsvarer luftens midlere likevektsfuktighet (se definisjoner) på brukerstedet. Diagrammet ovenfor viser et eksempel på variasjon i likevektsfuktighet over året i inneklime, og tilsvarende "faseforskjøvete" variasjon i trefuktighet. Faseforskyvningen blir mindre jo tynnere trevirket er. Ideell montasjefuktighet, for å gi minst mulig krymping og svelling, blir ca. middelverdien av maksimal og minimal likevektsfuktighet. Dette blir i stor grad fulgt opp for parkett, gulvbord, møbler og dører/vinduer. Bygningslast, paneler og listverk blir imidlertid tørket til en fuktighet vesentlig over likevektsfuktigheten på

*Riktig fuktighet gir godt resultat.*



brugerstedet. Spesielt for paneler og listverk kan dette føre til uheldige deformasjoner grunnet nedtørring til bortimot likevektsfuktighet etter en tids bruk. En nedtørring av disse produkter til ideell fuktighet ville utvilsomt gi bedre produkter, men vil også gi høyere priser.

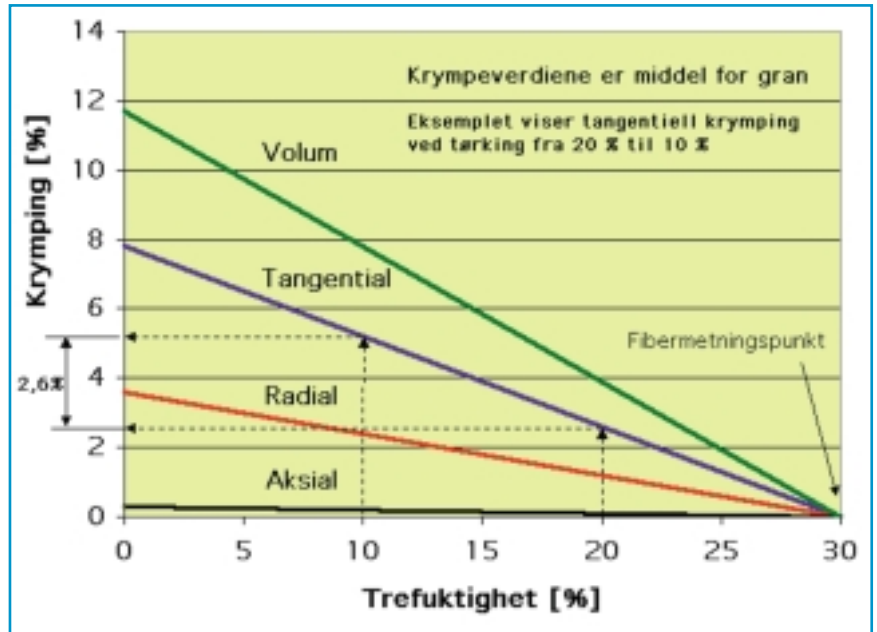
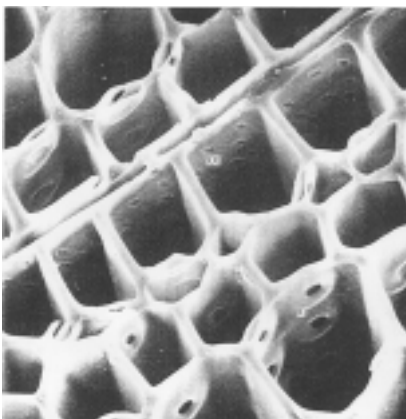
## Rått virke inneholder fritt og bundet vann

Trevirke er bygget opp av hule celler med forskjellig lengde og veggtykkelse. De fleste cellene er orientert i stammens lengderetning (trakeider), mens en del er orientert i radiell retning (margstråler). I rå tilstand er hulrommene i cellene mer eller mindre fylt med vann (fritt vann). Det er også vann i celleveggen, men vannet ligger her bundet mellom celleveggenes byggesteiner (mikro-fibriller). I kjerneveden er det lite eller ikke noe fritt vann, dvs. stor sett bare bundet vann i celleveggene.

I celleveggene er det små åpninger som muliggjør væsketransport mellom cellene.

Ved tørking skal alt det frie vannet pluss en del av det bundne vannet i celleveggen fjernes.

*Mikrosnitt av barte med cellehulrom og poreåpninger i veggen. Det frie vannet vil ligge i hulrommene og det bundne vannet i celleveggene.*



Eksempel på krympeverdier for gran.

Når alt det frie vannet er fjernet, er fuktigheten ca. 28 - 30 %, og man har kommet til det såkalte fibermetningspunktet. All resterende fuktighet ligger da bundet i celleveggen.

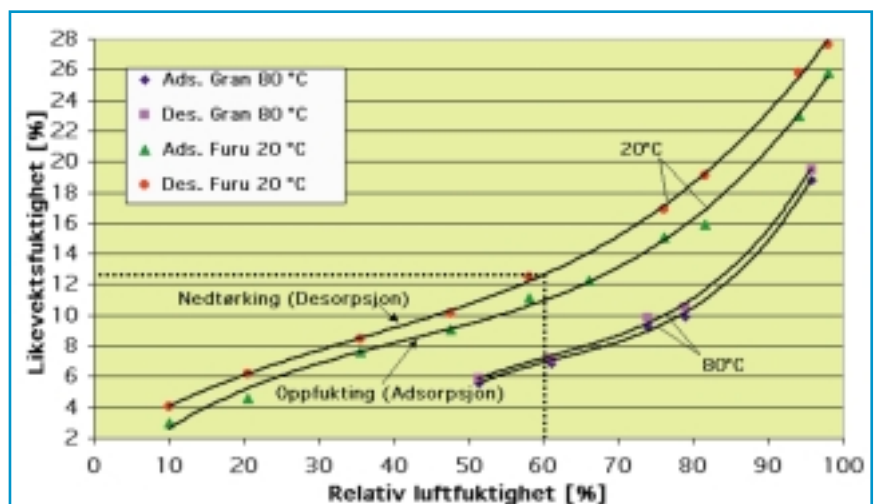
## Trevirket sveller og krymper med fuktighetsendringer

Fjerner man fuktighet fra celleveggen, begynner trevirket å krympe. Krympingen skjer da noenlunde lineært med fuktighetsreduksjonen.

Krympingen er forskjellig langs årringene (tangentielt) og på tvers av årringene (radielt). Ved nedtørring fra rått til absolutt tørt er krympingen for gran og furu på ca. 8 % i tangentiell retning og ca. 4 % i radiell retning.

I lengderetningen er krympingen liten i forhold til de to andre retningene og varierer fra 0,1 % til 0,5 %. Selv om denne krympingen er prosentvis liten, vil den ved større trelastlengder utgjøre et problem ved nedtørring, for eksempel ved belistning.

Likevektsfuktigheten ved nedtørring og oppfuktning ved 20 °C og 80 °C.



Ved fuktighetsopptak vil trevirket få en tilsvarende svelling i de forskjellige retninger.

## Trevirket er hygroskopisk

Trevirket er hygroskopisk, dvs. at det opptar og avgir fuktighet avhengig av luftens relative fuktighet. En bestemt temperatur og relativ fuktighet i luften omkring trevirket vil gi en bestemt fuktighet i trevirket etter lang tids lagring i vedkommende klima. Denne fuktigheten kalles trevirkets likevektsfuktighet ved det bestemte klimaet. Ved romtemperatur er likevektsfuktigheten 1-1,5 % høyere ved nedtørking enn ved oppfukning som vist i diagrammet. Ved høyere temperaturer forsvinner denne forskjellen gradvis, samtidig som likevektsfuktigheten generelt blir lavere.

## Fuktighetstransporten ved tørking

I yteveden av rått trevirke, hvor man har fritt vann i cellehulrommene og bundet vann i celle-

veggene, vil man ved konvensjonell varmluftstørking ha tre forskjellige transportmekanismer for å få fuktigheten ut av trevirket:

- Kapillærtransport av det frie vannet gjennom cellehulrom og poreåpninger, grunnet kapillærkrefter delvis hjulpet av ekspansjon av luft i cellehulrommet.
- Diffusjon av vanndampen i cellehulrommene, grunnet vanndampens partialtrykkforskjell fra overflaten og innover i trevirket.
- Diffusjon av det bundne vannet i celleveggen. I kjerneved, hvor det er lite fritt vann, vil fuktighetstransporten hovedsakelig foregå ved diffusjon.

Figuren viser et skjematisk situasjonsbilde fra en tidlig fase av tørkingen, hvor fuktigheten i en blanding av kapillærtransport grunnet kapillærkreftene og diffusjon grunnet vanndampens partialtrykkforskjell, beveger seg til overflaten tatt opp av tørkeluften og transportert bort fra trevirket. Tørkeluften overfører

samtidig varme til trevirket for fordamping av vannet. Som en ser av figuren, har margstrålene en sentral plass i fuktighetstransporten, noe som bidrar til at transporten går nesten dobbelt så fort i radiell som i tangentiell retning. I lengderetningen er fuktighetstransporten vesentlig raskere, opptil 20 ganger raskere enn i tangentiell retning. Dette medfører at endeveden i trelast tørker vesentlig raskere enn resten av trelasten.

Varmluftstørking med temperaturer opp til 100 °C, som er prinsipielt beskrevet ovenfor, er den mest vanlige tørkemethoden hvor det inngår konvensjonelle spjeldregulerte kammer- og kanaltørker og kondensasjonstørker.

Andre tørkemethoder er:

- Høytemperaturtørking (over 100 °C), hvor tørkemedit er overhettet damp.
- Vakuumbørking, hvor trykket er senket til 50-300 kPa og hvor tørkemedit også er overhettet damp, men ved en lavere temperatur (ca. 70 °C).
- Mikrobølge- eller høyfrekvens-tørking, hvor energien blir tilført gjennom hele tverrsnittet.

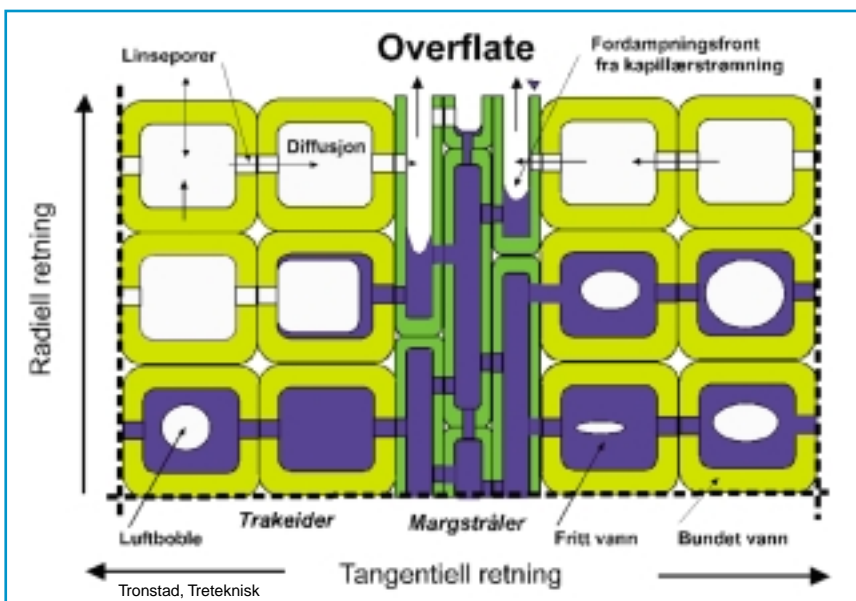
De fleste betraktninger i denne Fokus på tre vil omhandle varmluftstørking, som representerer den største andelen.

## Faktorer som påvirker tørkehastigheten

Tørkehastigheten er påvirket av klimaet omkring trelasten (temperatur, relativ fuktighet og luften hastighet) og trelastens egenskaper (treslag, dimensjon, fuktighet m.m.).

En økning av *temperaturen* vil under ellers like betingelser gi en kortere tørketid. Dette skyldes primært at diffusjonskoeffisienten, som gir et uttrykk for hvor lett vanndampen beveger

Snitt gjennom noen overflateceller i starten av en tørkeprosess.





seg i trevirket, øker ved økende temperatur.

En senkning av *relativ fuktighet* vil under ellers like betingelser gi en økt tørkehastighet. Dette skyldes at vanddampens partialtrykk i tørkeluften blir lavere ved en lavere relativ fuktighet. Det gir bl.a. en større partialtrykkforskjell mellom vanddampen på overflaten av trevirket og i tørkeluften. Da partialtrykkforskjellen er drivkraften for vandamptransporten både fra overflaten til tørkeluften og innen trevirket, vil en større forskjell i denne gi en større tørkehastighet.

Tørkehastigheten vil også være avhengig av *lufthastigheten*, da økt lufthastighet vil gi et tynnere grensesjikt mellom overflaten og tørkeluften og dermed også en økt tørkehastighet. Lufthastigheten har størst betydning i første fase av tørkingen, hvor vandamptransporten fra overflaten til tørkeluften er den begrensende faktor. Etter hvert som fordunstningsfronten trekker seg innover i trevirket, vil den indre diffusjonsmotstanden bli stadig større og gradvis bli den begrensende faktor for tørkehastigheten. Lufthastigheten får derfor gradvis mindre betydning for tørkehastigheten etter hvert som trevirket blir tørrere. Det er derfor vanlig med en gradvis senkning av lufthastigheten etter hvert som trevirket blir tørrere. Vanlige lufthastigheter i starten ligger på 3 - 4 m/s, med en senkning til 2 - 2,5 m/s mot slutten.

Tørkehastigheten er også i stor grad avhengig av *egenskapene i trevirket* som densitet, dimensjon, trefuktighet og forbehandling. Tørkehastigheten avtar normalt ved økende densitet. Dette er mest fremtredende under fibermetningspunktet, hvor transporten av det bundne vannet i celleveggen blir

påvirket av celleveggenes tykkelse. Tørkehastigheten blir også i stor grad påvirket av trevirkets tykkelse og avtar med økende tykkelse. Sammenhengen mellom tørketid og tykkelse kan uttrykkes:

$$\tau_2 = \tau_1 \left( \frac{d_2}{d_1} \right)^n$$

hvor  $\tau$  er tørketiden og  $d$  er tykkelsen. Eksponenten  $n$  kan variere fra ca. 1 til 2 avhengig av densitet, klima, tørkekonstruksjon m.m. Ved konvensjonell tørking i kammertørker ligger eksponenten på 1-1,5.

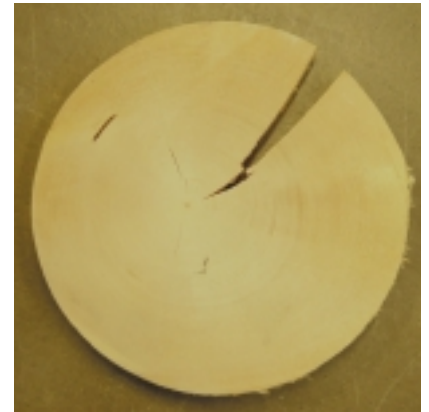
Tørkehastigheten er også sterkt avhengig av *trevirkets fuktighet*. Den er størst ved høy fuktighet, da man har overveiende kapillær transport av fuktigheten. Den er lavest under fibermetningspunktet, da man kun har diffusjon.

Tørkehastigheten kan også påvirkes av trevirkets forbehandling. Som eksempel kan trevirke som er lagret lenge i vann ha en redusert tørkehastighet.

## Tørking - en balanse-gang mellom tørkehastighet og tørkeskader

Generelt er man interessert i å tørke så raskt som mulig. Det vil i praksis si med så høy temperatur, lav relativ fuktighet og høy lufthastighet som mulig i tørkeanlegget. Dette vil isolert sett gi høy utnyttelse av anlegget og tilsynelatende lave tørkekostnader. Men regnestykket er ikke så enkelt, da et skarpt tørkeklima kan forårsake store tørkeskader som reduserer verdien på trevirket. I tillegg vil en for høy lufthastighet gi uakseptable strømkkostnader.

Sprekk er den mest vanlig årsaken til nedklassing i tørkesammenheng og er forårsaket av

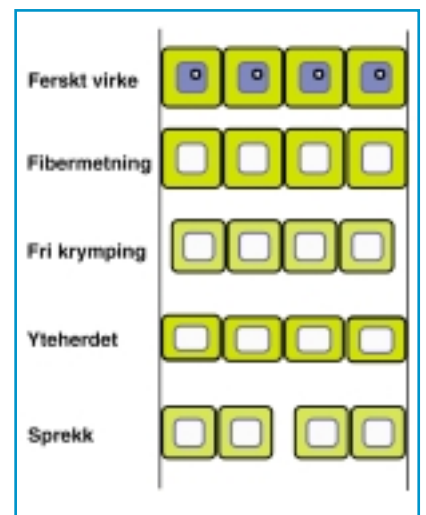
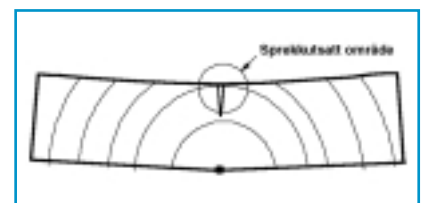


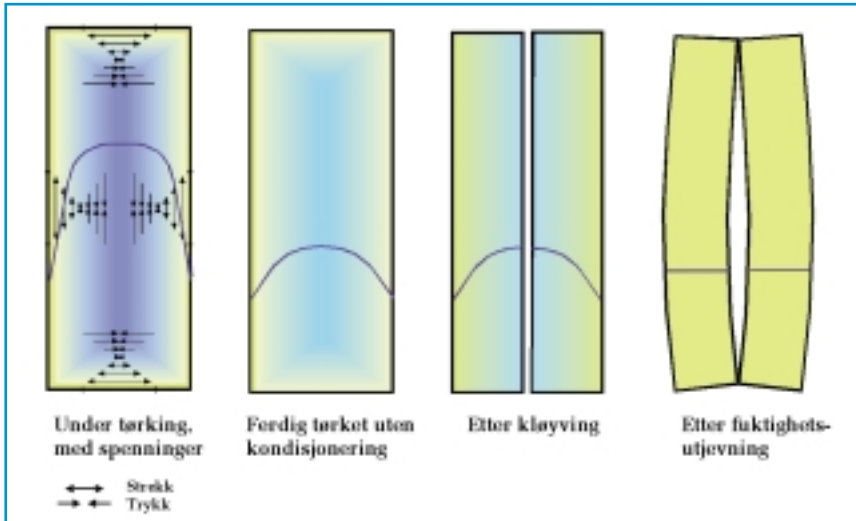
*Sprekk er vanskelig å unngå ved innesluttet marg.*

strekkspenninger på tvers av fiberretningen, som har blitt så høye at det har oppstått brudd. Grunnen til at det oppstår strekkspenninger ved tørking kan skyldes to forhold:

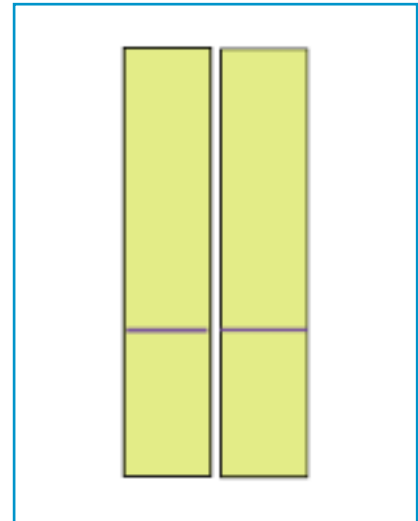
- Trevirkets anisotropi (forskjell i tangentiell og radiell krymping)
- Fuktighetsgradienter

Tørker man et trestykke med innesluttet marg, som for eksempel en rundstokk, vil en selv ved meget forsiktig tørking med minimal fuktighetsgradient





Spenninger og fuktighetsprofil i trelasten under tørking og resulterende deformasjon uten og med fuktighetsutjevning (ikke kondisjonert).



Kondisjonert planke etter kløyving og fuktighetsutjevning.

risikere å få sprekk som vist på bildet. Dette skyldes den store forskjellen i tangentiell og radiell krymping, som gir kraftige strekkspenninger i tangentiell retning.

Ved tørking av plank uten innsluttet marg, vil fuktighetsgradienten, med lavere fuktighet på overflaten enn lenger inn, være hovedårsaken til sprekk. Yttersjiktet vil da krympe mer enn trevirket lenger inn, og det vil dermed oppstå så høye strekkspenninger på tvers av fibre at det kan oppstå sprekk. Er imidlertid temperaturen på trevirket høy, vil trevirket bli mer plastisk. I stedet for sprekk vil det oppstå en plastisk forstrekning av fibre i yttersjiktet.

Etter hvert som tørkeprosessen skrider frem, vil også de indre deler av trevirket passere fibermetningspunktet og begynne å krympe. Da det ytre sjiktet er forstret og derfor "for stort" i forhold til hva fuktigheten skulle tilsi, vil en gradvis få en omvandling av spenningsbildet til trykkspenninger i yttersjiktet og strekkspenninger i de indre deler. Dette fenomenet kalles yteherding. Graden av yteherd-

ing vil påvirkes av tørkeklimaet. Det er større fare for yteherding jo høyere temperatur og skarpere klima (større psykrometerdifferanse) man benytter. Psykrometerdifferanse er forskjellen mellom tørr- og våttemperatur.

Kløyver man opp en planke som er yteherdet, vil bordene få minimal deformasjon så lenge fuktighetsgradienten opprettholdes. Ved utjevning av fuktighetsgradienten vil bordene imidlertid kuve som vist i figuren, uavhengig av om gradienten blir utjevnet i planken før kløyving eller i bordene etter kløyving.

Kondisjonerer man trelasten, dvs. fukter opp overflaten på slutten av tørkeprosessen ved å benytte høy relativ fuktighet, vil det forstrekte yttersjiktet bli trykket tilbake til sin riktige lengde. Dermed unngår man at trelasten blir kuet ved en kløyving. Se også Fokus nr. 39.

*Indre sprekk i plank grunnet kraftig yteherding.*



Indre sprekk kan oppstå ved tørking i høy temperatur med kraftig yteherding. Ved fuktighetsutjevning kan de indre strekkspenninger bli så store at det vil føre til indre sprekk. Slike sprekker er imidlertid sjeldne ved tørking av gran og furu og kan i tilfelle unngås ved kondisjonering.

Da trevirket er inhomogent med forskjell i tangentiell og radiell krymping, stor variasjon i lengdekrymping, tilfeldig spredte kvister med stor krymping og fibre som ligger på skrå i forhold til lengdeaksen, vil en nedtørking føre til forskjellige typer deformasjoner i form av avvik fra den rektangulære form (kuving, kantkrok, flatbøy, vridning).

Ved fritt opplagte planker er disse deformasjoner ikke til å unngå. Ved innspenning av plankene under tørking, for eksempel med toppbelastning, vil disse deformasjonene bli kraftig redusert.

Generelt blir trevirke mørkere jo høyere temperaturen er. Dette kan sette begrensninger på hvor høyt man kan legge tørketemperaturen, da markedet som

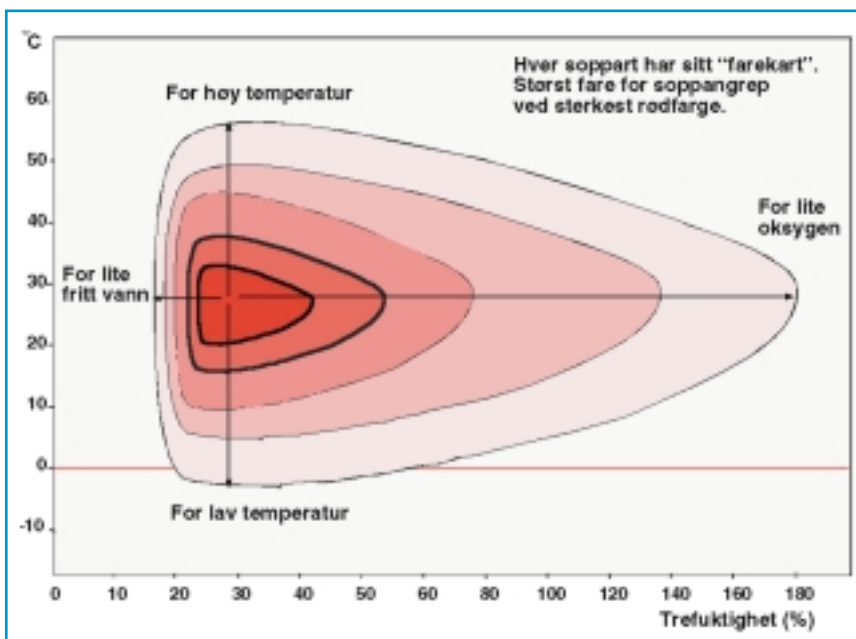


Trevirke utsatt for forskjellig grad av varmebehandling.

oftest ønsker så lyst trevirke som mulig. I visse tilfeller er det imidlertid ønskelig med en varmebehandling ved høy temperatur for å få en mørkere farge på trevirket. For trevirke som ikke er synlig (konstruksjonsvirke), burde mørkfarging uansett ikke ha noen negativ betydning.

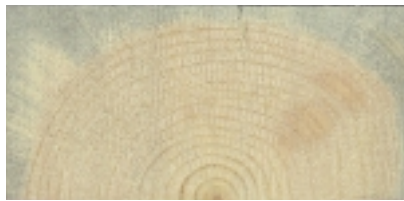
En rekke forskjellige ørsmå sopp sporer (en tusendel til noen hundredels millimeter) finnes i millionantall i luften omkring oss. Slår disse sopp sporene seg ned på gjenstander som gir næring, fuktighet og klimatiske betingelser for vekst, som for eksempel fuktig trevirke, vil sporene vokse og spre seg via trådlignende hyfer i trevirket.

Farekart for utvikling av sopp skader.



Etter hvert blir omfanget så stort at det er synlig med det blotte øyet (soppangrep). I tørkesammenheng er det viktig å være oppmerksom på hvilke betingelser som gir muligheter for soppangrep.

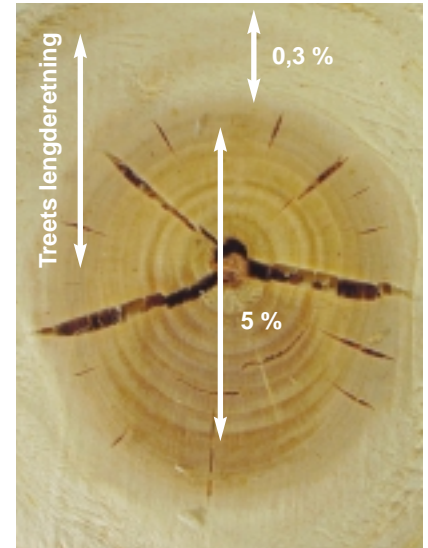
Muggsoppene kan vokse over et stort temperaturområde fra 0 °C til 55 °C. Blåvedsoppene og råtesoppene tåler ikke så høye temperaturer og vokser sjelden ved temperatur over 35 °C.



Blåvedskadet planke.

Ved rask oppvarming og bruk av tørketemperaturer over 60 °C, unngår man slike skader.

Graden av kvaeutflod øker med trevirkets temperatur og er dessuten avhengig av kvaens hardhet. Kvaens hardhet er avhengig av hvor stor andel flyktige stoffer (terpéner) som den inneholder. I fersk gran og furu er terpeninnholdet i kvaen nesten



Typisk tørkesprekk i kvist.

30 %, hvilket gjør kvaen lett-flytende.

Da kvisten har helt andre krympningskoeffisienter enn veden omkring, vil det ved tørking av virket oppstå spenninger og ofte sprekk i kvisten. Da forskjellen i krymping er størst i lengderetningen (0,3 % i trevirket mot 5 % i kvisten), vil det normalt bli størst sprekk i kvisten på tvers av lengderetningen. I tverretningen vil krympingen i kvisten og i trevirket omkring være mer likt, noe som tilsier mindre sprekk i denne retningen.

Ved fastleggelse av klimabetingelsene under tørking (tørkeskjema), må en ta hensyn til alle disse kvalitetsbegrensende faktorer.

Ved praktisk tørking av trelast vil man få en balansegang mellom ønsket om en rask tørking gjennom et skarpt tørkeklima og lave tørkeskader gjennom et skånsomt tørkeklima. Men det vil gi lenger tørketid.

Fokus nr. 39 "Tørking av gran og furu" belyser hvilke klimabetingelser (tørkeskjemaer) som er gunstige for å få en rask, men samtidig skånsom tørking.

## Konklusjon

- Tørking bedrer de fleste egenskaper ved trelasten og er en betingelse for et godt produkt både når det gjelder bearbeiding og bruk.
- Fuktighetstransporten under tørking er en meget kompleks prosess og blir styrt av tørkemediets temperatur, relative fuktighet og hastighet.
- Skader på trelasten under tørkeprosessen kan lett

oppstå, men kan unngås ved bruk av gode tørkeanlegg og optimale tørkeskjemaer.

- En nedtørking av trelasten til brukerstedets likevektsfuktighet gir best stabilitet under bruk og bør følges opp i størst mulig grad.
- Toppbelastning under tørking reduserer deformasjoner kraftig.

## Litteratur

Fløtaker, S., Sandland, K. M., Tronstad, S. 1996

**Tørkespenninger - kondisjonering**  
Treteknisk

Tronstad, S. 2001

**Tørking av trelast** –  
Byggenæringens Forlag

Tronstad, S. 2001

**Tørkekompetanse i verdikjeden** –  
Informasjonsmappe  
Treteknisk

Tronstad, S. 2003

**Tre og Fuktighet**

Teknisk småskrift nr. 35 Treteknisk

[www.torkeklubben.no](http://www.torkeklubben.no)

## Definisjoner

### Densitet [kg/m<sup>3</sup>]

Vekten av trevirket i forhold til trevirkets volum. Det er mest vanlig å angi densiteten som massen av absolutt tørt trevirke i forhold til volumet av trevirket i rå tilstand og kalles da basisdensiteten.

### Fibermetning/ fibermetningspunkt [%]

Den trefuktighet hvor trevirket ikke kan ta opp mer bundet vann i fiberveggen. Oppnås ved å utsette trevirket for 100 % relativ fuktighet over lang tid. (Overskytende fuktighet vil bli tatt opp som fritt vann i cellehulrommene.) Fibermetningspunktet er avhengig av treslag og temperatur og er ca. 28 % for gran og furu.

### Fuktighetsgradient [%/cm]

Forskjellen i trefuktighet i et tverr- eller lengdesnitt av trevirket over en gitt lengdeenhet, for eksempel cm. Blir ofte angitt som fuktighetsforskjellen i tverrsnittet mellom sentrum og overflaten av trevirket.

### Likevektsfuktighet [%]

Den fuktighet trevirket innstiller seg på etter lang tids lagring ved en bestemt temperatur og relativ fuktighet. Likevektsfuktigheten vil være lavere ved en oppfukning (adsorpsjon) eller nedtørking (desorpsjon). Dette fenomenet kalles hysteres. Ved 20 °C og 60 % relativ fuktighet er f.eks. likevektsfuktigheten for furu ved desorpsjon ca. 12,5 % mot ca. 11 % ved adsorpsjon.

### Lufthastighet [m/s]

Med lufthastighet i tørkesammenheng menes vanligvis den hastighet tørkeluften har i spalten mellom trelasten i en strølagt pakke. Hastigheten måles vanligvis midt i spalten og vil derfor gi et uttrykk for den maksimale hastigheten. I vakuumbørker og høytemperaturtørker hvor det tørkes med overhetet damp, vil en bruke begrepet (vann)damphastighet.

### Partialtrykk [kp/m<sup>2</sup>, Pa]

I en vandamp/luftblanding vil totaltrykket være lik summen av

partialtrykkene (deltrykkene) for vandampen og luften. I tørkesammenheng er det partialtrykket til vandampen som er interessant. Ved for eksempel 60 °C og 30 % relativ fuktighet er partialtrykket til vandampen 609 kp/m<sup>2</sup>, mens det ved 100 % relativ fuktighet er 2031 kp/m<sup>2</sup>.

### Relativ luftfuktighet [%]

(1) Massen av vandamp i en gitt luftmengde i forhold til massen av vandampen ved metning ved samme temperatur, eller (2) vandamptrykket i luften i forhold til metningstrykket ved samme temperatur, begge uttrykt i prosent.

### Trefuktighet [%]

Forholdet mellom massen av vannet og massen av trevirket i absolutt tørt tilstand i et stykke tre, uttrykt i prosent. For brensel brukes vanligvis forholdet mellom massen av vannet og totalmassen (vann pluss trevirke), uttrykt i prosent.

**Forfatter** Sverre Tronstad, Treteknisk

**Finansiering** Treteknisk

**Foto** Chr. Aas Clementz, Per Skogstad, Christian Wenzlow og Sverre Tronstad

Treteknisk 

Forskningsveien 3 B  
Postboks 113 Blindern, 0314 Oslo  
Telefon 22 96 55 00  
Telefaks 22 60 42 91  
firmapost@treteknisk.no  
[www.treteknisk.no](http://www.treteknisk.no)