

Tre som byggemateriale

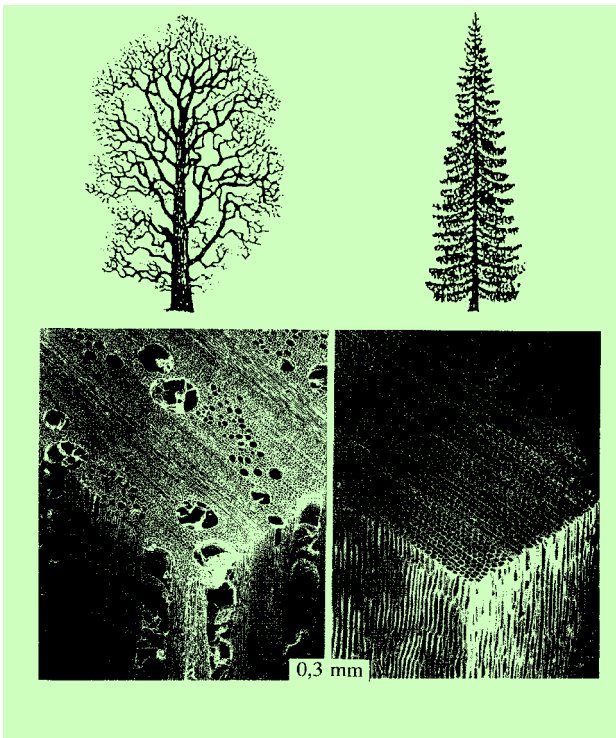
15.1 Et naturlig komposittmateriale

Trevirke er et naturlig, organisk cellemateriale som er bygd opp av celluloseforbindelser, hemicellulose, lignin og ekstraktivstoffer. Trecellene som er bygd opp av lange og meget sterke cellulosemolekyler, er kittet sammen med lignin til det vi kunne kalle et komposittmateriale. Her utgjør ligninet limet, mens trecellene utgjør armeringen.

Fordi trecellene har ulik form og orientering og varierer i størrelse og type, har trematerialet ikke på langt nær samme styrkeegenskaper i fiberret-

avslutte vekstsesongen ved å danne en endeknopp og fire til fem sideknopper. Disse knoppene ligger klare til å starte veksten det påfølgende år.

Endeknoppen vokser oppover og danner en forlengelse av trestammen, mens sideknoppene danner grener. Hvert av disse skuddene vil så igjen avslutte veksten ved å danne et endeskudd og noen sideskudd. Slik fortsetter veksten med stadig nye forgreninger (→ fig. 15.2).



Figur 15.1 Bildene viser cellestrukturen hos løvtrær og bartre. Til venstre eik – til høyre gran (kilde: STEP).

ningen som på tvers av den. Trevirket er derfor sterkt anisotrop, og i tillegg kommer variasjoner i cellestrukturen som skyldes treetts ujevne veksthastighet gjennom året (→ fig. 15.1).

15.2 Treetts vekst

Treet har en karakteristisk vekstrytme, et mønster som vil gjenta seg hvert år fra den første spiren til det fullt utviklede treet. Det første året vil spiren



Figur 15.2 Tegningene viser lengde- og tykkelsestilvekst.

Det vesentlige er at skuddene legger etter seg et lag av celler, kambiet eller vekstlaget, som har evnen til å dele seg. Disse kambialcellene setter av flest celler innover hvor de danner treetts vedandel (ca. 80 %), men avgir også de bastcellene treet trenger (ca. 20 %). Det er bare i vekstsesongen, altså i sommerhalvåret, at det blir dannet nye celler. Resten av året kan oppfattes som en hvileperiode.

15.2.1 Årringer

At veksten stopper opp i vinterhalvåret, fører til at det dannes årringer. Er vekstforholdene gunstige, får vi lange toppskudd og brede årringer som består av en lys og en mørk del. Den lyse vårveden består av tynnveggede celler med store hulrom. Utenfor ligger den mørkere sommerveden som har tykkveggede celler med små hulrom.

Hos bartrærne er det gjerne vårvedsonene som varierer mest i bredde med varierende vekstforhold. Trevirke med brede årringer vil derfor ha

lav sommervedandel, dårligere styrkeegenskaper og lavere densitet enn trevirke med smale årringer.

Hos løvtrærne er forholdet annerledes. For spredtporige løvtrær har varierende årringsbredde ingen innvirkning på densitet og styrke. For ringporige treslag som eik, ask og alm er det sommervedsonen som varierer mest i bredde. Rask vekst med brede årringer gir derfor stor andel sommerved med høy densitet og stor styrke.

15.3 Snittretninger

En trestamme, gren eller rot har tre snittretninger: tverrsnitt, radialsnitt og tangentialsnitt som det ofte blir henvist til i studiet av treets anatomi. Det er viktig å skille disse tre snittretningene fra hverandre, da de har høyst forskjellige styrkeegenskaper, krymping og svelling.

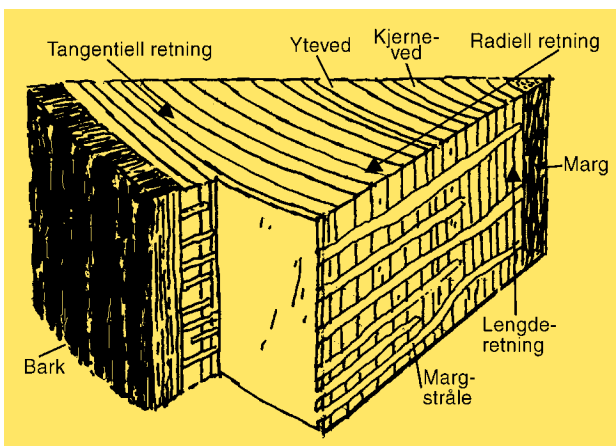
15.3.1 Tverrsnittet

Omtrent i senter av stammen kan vi se margen som en brun, porøs flekk. Margen strekker seg fra rot til topp og ut i hver enkelt gren. Ytterst i snit-

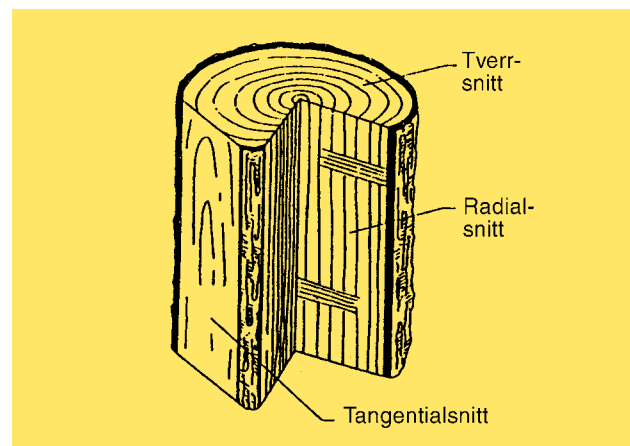
tet har vi bark, bast og kambiet. Mellom margen og kambiet (vekstlaget) finner vi den egentlige veden som er lagvis bygget opp av årringene. Denne strukturen er lik hos alle trær som vokser her i landet.

15.3.2 Radialsnitt og tangentialsnitt

I treets lengde skiller vi mellom radialsnitt og tangentialsnitt. Radialsnittet går gjennom margen, mens tangentialsnittet står vinkelrett på radialsnittet. I radialsnittet vil årringene se ut som parallelle striper, mens de i tangentialsnittet oftest vil ta seg ut som pilspisser.



Figur 15.3 De forskjellige retninger og detaljer vi kan se i trevirket (kilde: Träkunnskap, Saarman).

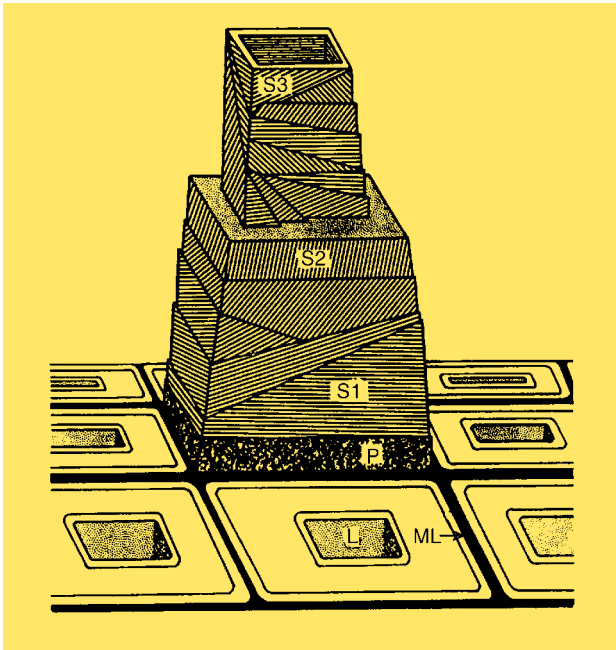


Figur 15.4 Tverrsnitt, tangentialsnitt og radialsnitt i en trestamme.

15.4 Mikrostruktur

Skal vi studere flere enn de allerede nevnte detaljer i de ulike snittretningene, må vi benytte lupe eller mikroskop. Hos nåletrær er hver trecelle 3–5 mm lang og omtrent 3/100 mm i tverrmål. Det betyr at for å danne 1 cm³ trevirke trengs det nærmere 1/2 million slike celler. De fleste av dem ligger i treets lengderetning.

Studerer vi figur 15.5 på neste side som viser skjematisk hvordan en trecelle er bygget opp, ser vi raskt at konstruksjonen er genial. Det dominerende S2-laget, med nesten bare langsgående bunter av mikrofibriller, vil effektivt kunne oppta strekkrefter. Ved trykkbelastning vil fibrillbåndene i S1- og S3-laget, som begge er orientert mer på tvers av cellen, bidra til å avstive fibrillbuntene i S2-laget. Ser du likheten mellom denne konstruksjonen og en fiskestang av glassfiber?



Figur 15.5 Skisse over treetts mikrostruktur – sterkt forstørre: ML = midtlamell, P = primærvegg. S1, S2 og S3 er lagene i sekundærveggen, L = cellelumen (kilde: STEP).

Utenfor primærlaget (P), mellom hver enkelt tre-celle, finner vi midtlamellen (ML) som består av lignin, og utgjør limstoffet i dette komposittmaterialet.

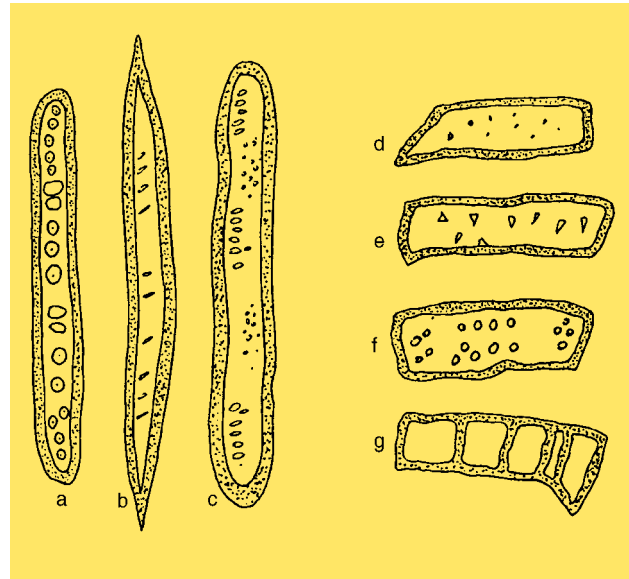
Som før nevnt er det andelen av sommerved med tykkveggede celler som bidrar mest til styrken i trevirket. Belaster vi slikt trevirke til brudd, vil bruddene bli lange og seige og med mye oppsplintring. Grunnen er den store styrken cellene har i forhold til ligninet i midtlamellen, slik at det mellom cellene skjer en glidning som bidrar til spenningsfordeling. I virke med en stor andel tynnveggede celler blir bruddet rett og sprøtt fordi cellene her har liten styrke, det oppstår derfor ingen glidning før de ryker.

15.4.1 Trakeider eller prosenkymceller – døde celler

De viktigste cellypene hos bartre er trakeidene. Det er døde celler som ligger i treetts lengderetning, de utgjør omtrent 95 % av tremassens volum. Vårvedtrakeidene har tynn cellevegg, stort hulrom og mange porer i celleveggen, all transport av vann oppover i treet foregår gjennom disse trakeidene. Sommervedtrakeidene har tykk cellevegg, lite hulrom og gir derfor størst bidrag til treetts styrke.

15.4.2 Parenkymceller – levende celler

Parenkymceller er celler i yteveden som har et lev-



Figur 15.6 Forskjellige typer av celler som opptrer i trestrukturen: a = furu vårved, b = furu sommerved, c = gran vårved, d og e = margstråletrakeider, gran respektive furu, f og g = parenkym, gran respektive furu.

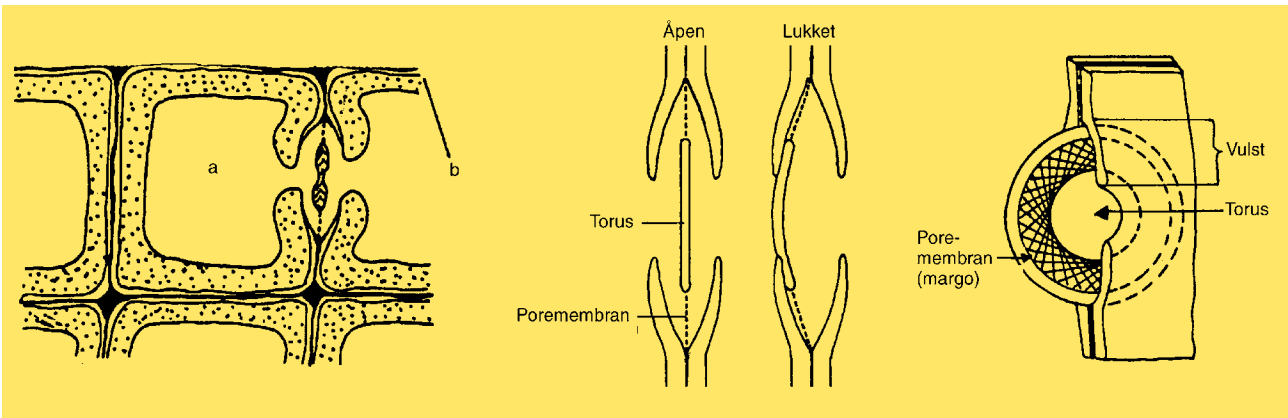
ende innhold. De er tynnveggede og finnes først og fremst i margstrålene. Dette er flak eller striper av celler som stråler fra marginen og ut mot basten. De har som hovedoppgave å transportere vann fra bastlaget og inn til kambiet. Margstrålene har bare én celle i bredden, bortsett fra noen som er utvidet for å gi plass til en harpikskanal. Da margstrålene går på tvers av de andre cellene, vil de armere trevirket og gi større kløyvingsmotstand mellom årringene.

15.4.3 Porer i celleveggen

For at det skal kunne transporteres væske fra celle til celle i treet, må det finnes ventiler eller små åpninger i celleveggen. Mellom to levende celler er det enkle porer. Dette er åpninger i celleveggen som gjør det mulig for byggestoffene å finne vei fra celle til celle.

Mellom de døde cellene i treet har vi en spesiell type porer som kalles linseporer (→ fig. 15.7). De er utformet som en slags ventil med en elastisk sperreknapp i midten. Når trykkforholdene i de to nabocellene blir forskjellige, vil knappen mer eller mindre stenge ventilen. Denne stengingen er mer effektiv hos gran enn hos furu, og er en av årsakene til at gran ikke lar seg trykkimpregnere.

Mellom levende og døde celler har vi en tredje type porer. Disse kalles for halvlinseporer og er en kombinasjon av de foregående.



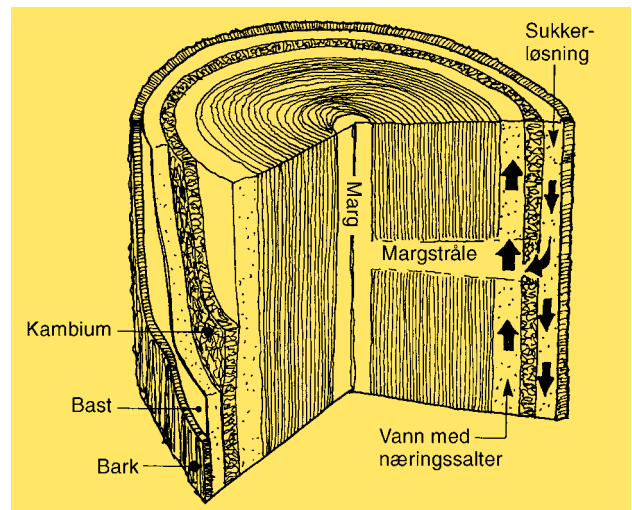
Figur 15.7 Linseporens plassering mellom to trakeider. a = tverrsnitt av en trakeide, b = tilgrensende cellevegger.

Figur 15.8 Forenklet skisse av en linsepore i åpen og lukket tilstand.

Figur 15.9 Skjematisk fremstilling av linsepore med vulst, torus og poremembran (margo).

15.4.4 Transportbaner

All transport av ferdige byggestoffer som er dannet i kronen, foregår gjennom levende celler i bastlaget, altså utenfor kambiet. Dersom dette laget ødelegges, vil ikke roten få tilgang på byggestoffer, og treet dør. Foruten denne transportoppgaven skal basten og barken beskytte det ømfintlige vekstlaget både mot mekaniske skader og mot for store temperatursvingninger.



Figur 15.10 Væsketransport i treet.

15.5 Kjerneved og yteved

Noe av vannet som suges opp fra jorden, går med til produksjon av byggestoffer i kronen, men det meste fordamper gjennom bladverket. Hos mange treslag vil cellene i de eldste, indre delene av treet bli satt ut av funksjon, fordi behovet for vanntransport til kronen er begrenset. Disse cellene vil ikke lenger inneholde vann, men istedet være fylt med luft; de kalles kjerneved. Hos noen treslag vil det samtidig dannes såkalte kjernestoffer som bidrar til å øke holdbarheten. Men det er også de eneste forandringene som skjer med disse cellene.

Den ytre delen av stammen som er aktivt med i vanntransporten, kaller vi yteved eller splintved. Fordi luftfylte celler er lettere enn vannfylte, vil yteveden i ferskt trevirke være vesentlig tyngre enn kjerneveden. Ferske toppstokker gir for eksempel høyere transportvekt enn ferske rotstokker. At vanninnholdet er forskjellig i kjerneved og yteved har også stor betydning når trelasten skal tørkes.

15.6 Kvist

En kvist er den delen av grenen som befinner seg i stammens trevirke. Den har sitt utspring i en sideknopp fra toppskuddet og går derfor alltid helt inn til margen. Hver årring som danner seg på trestammen, vil også omfatte hele kvisten slik at forbindelsen blir fullstendig. En frisk kvist har derfor ikke så lett for å løsne fra stammen.



Figur 15.11 Kvistens innvirkning på vedstrukturen. Vi ser at kvistveden går omtrent på tvers av lengderetningen.

Cellene i kvistveden går omtrent på tvers av trets lengderetning. Fordi fiberretningen har stor betydning for trevirkets fasthet, vil en kvist derfor bidra sterkt til å redusere fastheten. Kvisten har langt tettere årringer enn stammen, og vil derfor bli mørkere og betydelig hardere. Hos gran kan kvistens densitet være opp til det dobbelte av stammens.

En planke eller et bord har fire sider: margside, yteside og to kantsider. I hver av disse sidene vil kvisten opptre på forskjellig måte, og dermed også ha forskjellig innvirkning på trevirkets styrke.

15.6.1 Når kvisten dør

En kvist dør hvis grenen mister bladene eller blir brukket av. Det kan skje hvis bladene på kvisten får for lite lys, slik at produksjonen av byggestoffer opphører. Når dannelsen av nye celler i grenen stopper opp, vil det ikke lenger bli noen direkte forbindelse mellom stammen og kvisten. Så lenge treet lever, fortsetter imidlertid stammen å legge på seg nye årringer, dermed vil kvistresten etter hvert bli overvokst og forsvinne inn i virket. Den delen av kvisten som satt utenfor stammen da den døde, vil danne det vi kaller en svartkvist eller løskvist. Den er ikke sammenvokst med stammen og inneholder ofte bark.



Figur 15.12 Tett skog gir lite lys, lite kvist og liten avsmalning.



Figur 15.13 Glissen skog gir mye lys, mye kvist og stor avsmalning.

15.6.2 Tidlig, naturlig oppkvisting er en fordel

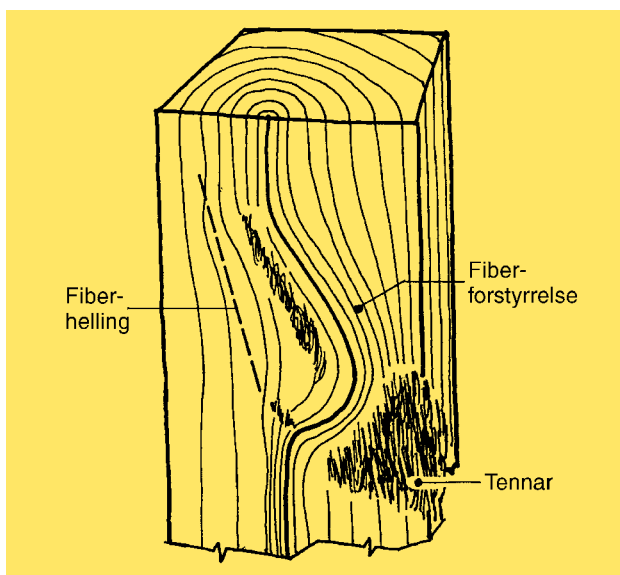
I tett skog der det slipper lite lys ned til skogbunnen, vil trærne forholdsvis tidlig miste kvistene på den nedre delen av stammen (→ fig. 15.12). Derfor vil det i stammens kjerne ofte være småkvist som vi ikke finner i de ytre delene.

Skjer en slik naturlig oppkvisting og overvoksing tidlig i treets liv, blir kvisten liten og får mindre betydning for trevirkets fasthet. Fordi kravet til lys er større hos furu enn hos gran, får furu vanligvis en lengre kvistfri stamme.

I glissen skog med god tilgang på lys helt ned til skogbunnen, vil kvistene sitte på stammen helt til trærne hugges (→ fig. 15.13).

15.7 Vre

Med vre mener vi større eller mindre grader av tverrved som ofte oppstår ved toppbrudd eller i forbindelse med store kvister. En vre er en alvorlig fiberforstyrrelse som fører til betydelig svekkelse av trevirket. I sorteringsreglene er derfor vre definert som et eget sorteringskriterium.



Figur 15.14 Et toppbrudd har store konsekvenser for treets egenskaper og kvalitet.

15.8 Ungdomsved

Ungdomsveden utgjør de første 5–20 årringene av stammens tverrsnitt. Denne veden har andre egenskaper enn den modne veden som ligger lenger ut i stammen. Typisk for ungdomsveden er at cellene er korte og tynnveggede, og at microfibrillene i cellenes S2-lag ligger mer skrått. Ungdomsveden har derfor lavere fasthet enn moden ved, den vil også krympe mer i lengderetningen.

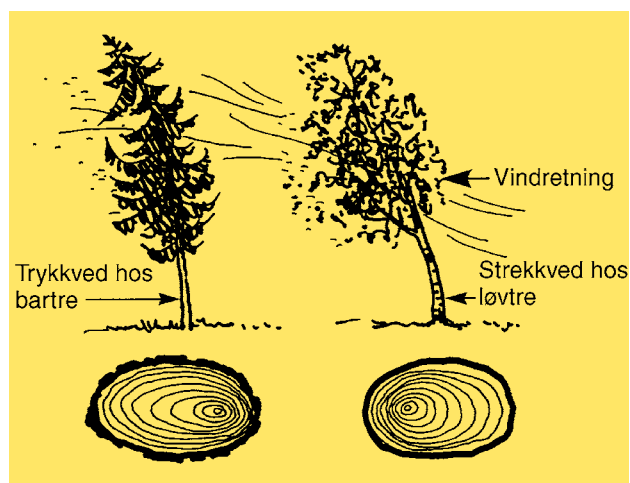
Normalt er det ikke problematisk om trelast til industrielt bruk inneholder noe ungdomsved. Men ved meget rask vekst, som kan være tilfelle i skogplantasjer, vil problemene øke. For eksempel vil en undergurt med stor andel ungdomsved krympe så mye i lengderetningen at takstolen får en betydelig bøy oppover.

15.9 Reaksjonsved

Når en trestamme stadig utsettes for ytre påkjenninger i én retning, vil den søke å motvirke dette ved å danne reaksjonsved. Bartrær vil danne trykkved (tennar) i områder med store trykkspenninger, mens løvtrær vil danne strekkved i områder som er utsatt for store strekkspenninger. Strekkved skaper sjelden problemer for trevirke til bærende konstruksjoner, mens trykkved ofte er problematisk.

Trykkveden har som regel bredere årringer og større sommervedandel enn normal ved, og kontrasten mellom sommerved og vårved er også mindre. Fordi microfibrillene i trykkvedens S2-lag er orientert i ca. 45 graders vinkel, vil denne veden få større lengdekrymping, den har altså tilnærmet samme egenskaper som ungdomsveden.

Bartrærnes tennar kjennetegnes på en rødbrun fargetone fordi årringenes vårvedandel er vesentlig mindre enn normalt. Tennarveden er tyngre enn normal ved og kan forekomme lokalt, for eksempel i rothalsen, fordi tre som heller vil rettes opp ved hjelp av trykkveden. Gran er mer utsatt for tennar enn furu.



Figur 15.15 Reaksjonsved dannes ved ensidig vindpåvirkning, eller når treet står i en bratt li.

15.10 Eksentrisitet

Dersom stammen har vokst på en slik måte at margen ikke er blitt liggende i midten, sier vi at den er eksentrisk. Ofte er den også mer eller mindre oval. Eksentrisk vekst skyldes gjerne at stammen har vært utsatt for ensidig belastning som følge av skjev krone, snøbelastning, skrått terreng eller sterk fremherskende vindretning. Eksentrisk vekst følges derfor ofte av reaksjonsved. Eksentrisitet kan også skyldes for eksempel ensidig næringstilgang og behøver da ikke henge sammen med tennar.



Figur 15.16 Eksentrisk stammetsvernsnitt.

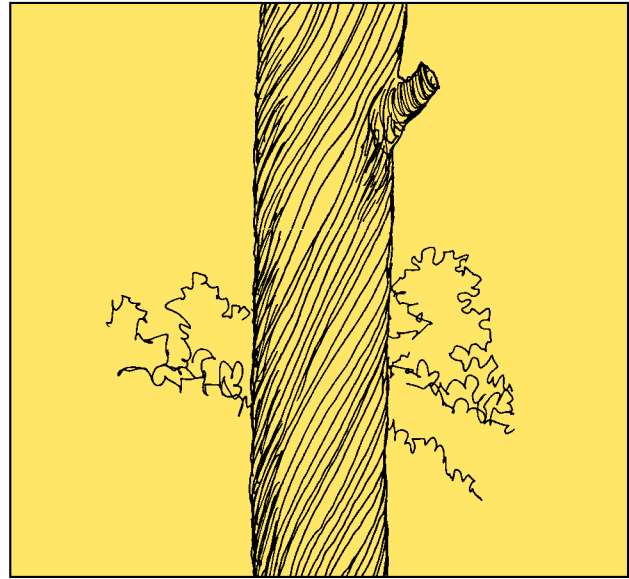
15.11 Vridd vekst

Alle cellene i et tre ligger vanligvis i en liten vinkel til stammens lengdeakse. Vi kan derfor si at veksten alltid er vridd. Vanligvis er vridningen så minimal at vi ikke merker den, men det forekommer at enkelte trær er så vridde i veksten at det er vanskelig å benytte dem. Undersøkelser har vist at det hos gran er en tendens til venstrevridning mens trærne er unge, men at dette etter hvert endrer seg til en høyrevridning. Det skjer dermed en stabilisering av spenningene i disse trærne.

Trær som forblir venstrevridde, vrir seg særlig mye under tørkeprosessen og vil for eksempel som laftetømmer kunne vri seg helt ut av veggen. Vridningstendensen som finnes i stammen, er også til stede i grenene. Det tyder på at vridningen må ha sammenheng med funksjoner i treets vekstprosess, og ikke skyldes solpåvirkning eller lignende faktorer.

Trelast som er produsert av stokker med vridd vekst, vil ofte ha så stor fiberhelning at det får direkte betydning for styrken. I de visuelle sorteringsreglene er det derfor gitt grenser for graden

av fiberhelningen; når det gjelder høykvalitetsvirke er for eksempel forholdet 1:10 største aksepterte helning.



Figur 15.17 Vridd vekst, slik det ser ut på et gammelt, dødt tre.

15.12 Treet og fuktigheten

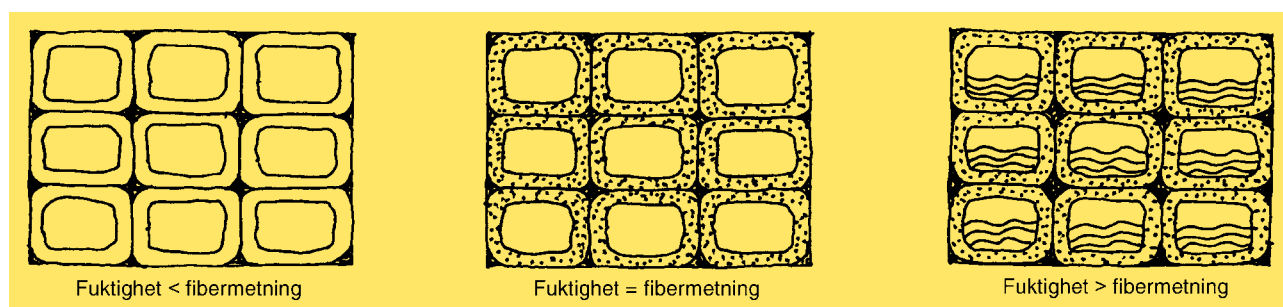
Trevirke er et hygroskopisk materiale som kontinuerlig endrer fuktighet i forhold til klimaet det omgis av. I alle kombinasjoner av temperatur og fuktighet i luften omkring vil trevirke innstille seg på det vi kaller likevektsfuktigheten. Her er det noe forskjell på om trevirket tørker eller blir oppfuktet. Er virket først tørket helt ned og så fuktes opp igjen, vil trefuktigheten ligge noe lavere ved samme klima enn da det ble tørket. Denne effekten kalles for hysteresis og bidrar til at trefuktigheten varierer mindre ved stadig vekslende luftfuktighet.

Trevirkets fuktighetsinnhold er definert som massen av vann (m_W) i forhold til massen av helt tørt trevirke (m_0). Tørt trevirke får vi ved å tørke det i ovn ved en temperatur på 103 ± 2 °C inntil vekten er konstant.

$$\omega = \frac{m_W}{m_0} \cdot 100 = \frac{m_\omega - m_0}{m_0} \cdot 100$$

ω = trefuktigheten i %
 m_ω = massen av rått trevirke

Når rått trevirke begynner å tørke, forsvinner først det frie vannet fra cellehulrommene. Celleveggene er bygd opp av lange kjedemolekyler som på noen steder er så løst bundet sammen at



Figur 15.18 Skjematisk fremstilling av vedceller ved forskjellig fuktighet.

vann kan trenge inn mellom dem. Når celleveggen fortsatt er mettet med vann, og det ikke lenger er tilbake noe fritt vann i cellehulrommene, har virket nådd det såkalte fibermetningspunktet. For bartre vil det ligge et sted mellom 25–35 % trefuktighet, men som et praktisk gjennomsnitt regner vi vanligvis med 28 %. Fibermetningspunktet har stor interesse, da de fleste mekaniske og fysiske egenskaper endrer seg radikalt når trefuktigheten kommer under dette nivået. Ved fuktigheter over fibermetningspunktet er de fleste egenskapene omtrent konstante.

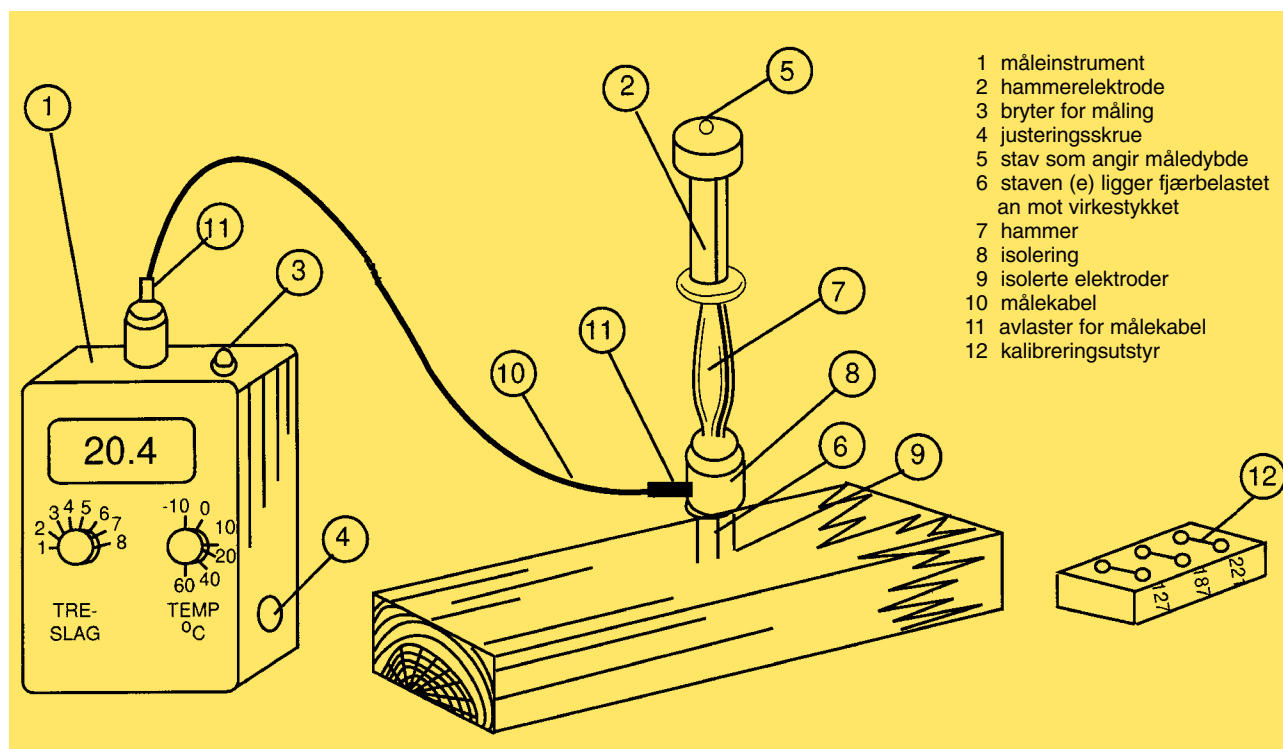
15.12.1 Måling og beregning av fuktigheten i trevirke

Trefuktigheten (ω), eller vanninnholdet, angis som nevnt i % av treets tørre masse (m_0). Det er to måter å bestemme den på:

- med elektriske fuktighetsmålere
- ved tørke- og veiemetoden

For fuktighetsinnhold mellom 6 og 28 % er elektriske fuktighetsmålere greie og raske å benytte. Nøyaktigheten for de beste instrumentene er vanligvis $\pm 2\%$, som er bra nok for praktisk bruk.

Et prinsipp for elektriske fuktighetsmålere kan være to stifter, elektroder, som presses inn i trevirket. Det som egentlig måles, er trevirkets evne til å lede elektrisk strøm mellom de to stiftene. Ledningsevnen avtar sterkt når trefuktigheten går ned. Trestrukturen kan påvirke resultatene noe, så vi bør derfor alltid ta flere målinger. Elektrodene skal settes langs fibrene og minimum 600 mm fra plankens ende. Følg bruksanvisningen nøye og pass på å justere de avleste verdiene både for treslag og temperatur, dersom instrumentet ikke gjør det automatisk.



Figur 15.19 Elektrisk fuktighetsmåler av motstandstypen.

Skal trefuktigheten bestemmes mer nøyaktig, må tørke- og veiemetoden benyttes. Den er mer arbeidskrevende, men gir nøyaktigere måling. Metoden utføres på følgende måte:

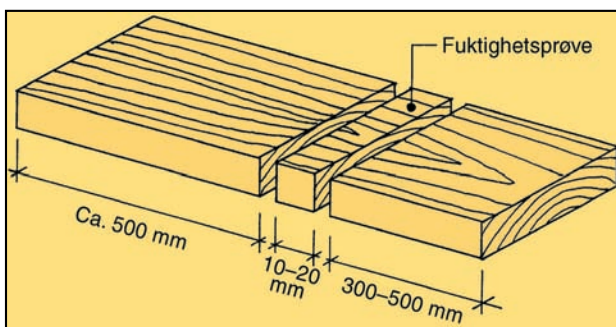
Det skjæres ut en 10–20 mm tykk skive av hele planketverrsnittet minst 500 mm fra enden. Skiven veies på en nøyaktig vekt og rå masse (m_{ω}) noteres. Deretter legges skiven i et tørkeskap med temperatur 103 ± 2 °C omtrent i ett døgn, eller inntil vekten er konstant. Da er tørrmassen (m_0) bestemt, og vi kan notere verdien.

Eksempel:

m_{ω} (massen av rått trevirke) = 43,7 g, m_0 (tørrmassen) = 38,0 g

$$\omega = \frac{m_W}{m_0} \cdot 100 = \frac{m_{\omega} - m_0}{m_0} \cdot 100 =$$

$$\frac{43,7 - 38,0}{38,0} \cdot 100 = 15,0 \text{ \% trefuktighet}$$



Figur 15.20 Uttak av prøver til tørke- og veiemetoden.

15.12.2 Svelling og krymping

Når vann trenger inn mellom microfibrillene i celleveggen, vil det presse fibrillene litt fra hverandre. Under svellingen vil volumet av cellehulrommet være konstant. Det betyr at volumsvellingen av selve trevirket under fibermetningspunktet blir tilnærmet lik volumet av absorbert vann.

Om trevirket blir hindret i å svulle på tvers av fiberretningen, slik tilfellet kan være i mange boltforbindelser, vil det oppstå store indre spenninger. Fordi trevirke er et elastisk/plastisk materiale, kan det da oppstå permanente deformasjoner. Når trevirket senere får tilbake sin opprinnelige fuktighet, kan det være stuket så mye at forbindelsen både blir løs og får mindre kapasitet.

Under tørking krymper trevirket. Fordi cellene er omtrent 100 ganger lengre enn tverrmålet, har

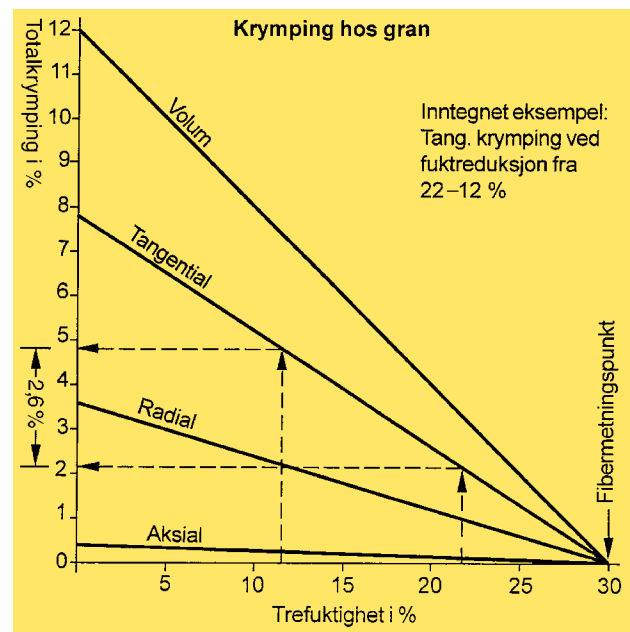
virkestykket tilsvarende flere cellevegger i tverretning enn i lengderetning. Da det er summen av krympingen i hver enkelt cellevegg som gir virkestykkets totale krymping, vil krympingen i tverretning derfor være omtrent 20 ganger så stor som krymping i lengderetning. Det er derfor viktig at stålbeslag i forbindelser ikke har for stor utstrekning på tvers av fiberretningen og dermed hindrer trevirket i å krympe. Det kan da oppstå tverrstrekkspenninger som fører til oppsprekking av virket, og forbindelsen kan i verste fall miste det meste av kapasiteten.

Både svelling og krymping er tilnærmet proporsjonal med endringen i trefuktighet fra fibermetningspunktet og ned til helt tørt virke. Krymping og svelling er forskjellig i tangentiell og radiell retning og er totalt (fra fibermetningspunktet og til helt tørt virke) henholdsvis 8 % og 4 % (→ fig. 15.21).

For normal bruk i prosjektering av bygningskonstruksjoner kan vi gå ut fra følgende gjennomsnittlige dimensjonsendringer i prosent per prosent fuktighetsendring:

- i fiberretningen $\pm 0,01$
- tvers på fiberretningen $\pm 0,2$

For å minimalisere problemene med dimensjonsendringer bør trefuktigheten under produksjonsfasen ligge nærmest mulig den fuktigheten konstruksjonen senere vil innstille seg på.



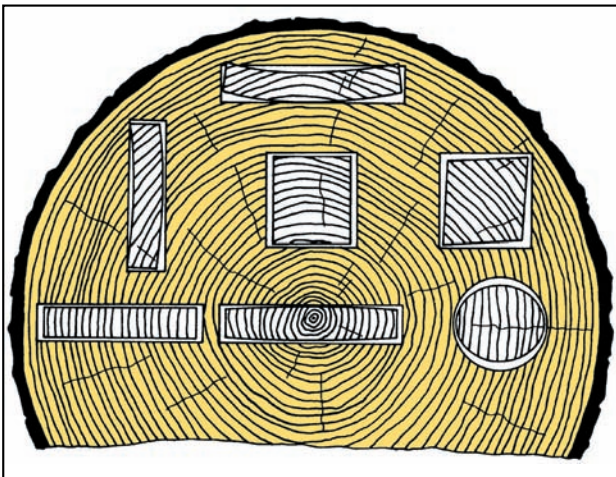
Figur 15.21 Krymping og svelling i de tre retningene.

Som nevnt oppstår krymping og svelling når fuktinnholdet i selve celleveggen endrer seg. Det betyr

at treslag med stor andel cellevegg, altså tunge treslag, vil ha større dimensjonsendring enn lette. De vil som regel også kreve mer tid for å nå den totale krympingen. Hvis trevirket i kortere tidsrom påvirkes av et annet klima, vil vi observere mindre dimensjonsendringer hos tunge treslag, simpelthen fordi de ikke har fått tid til å innstille seg.

15.12.3 Formendring og deformasjoner

Fordi trevirket krymper omtrent dobbelt så mye i tangentialretning som i radialretning, vil skurlasten endre form under tørkeprosessen. Det er årsaken til at årringene retter seg ut når trelasten tørker. Spenningene som oppstår under tørking, kan ofte utløse radielle sprekker. Faren for oppsprekking øker med økende tverrsnitt og jo raskere tørkingen foregår. Formendringenes størrelse og type er avhengig av hvor i stokken plankene eller bordene er skåret ut. Figuren nedenfor viser noen typiske formendringer ved tørking.



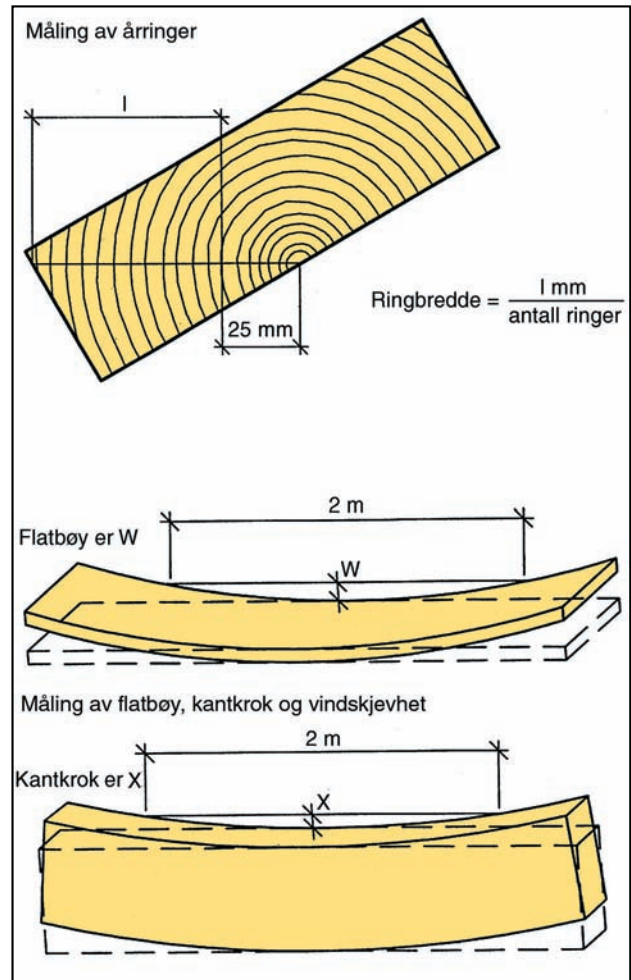
Figur 15.22 Formendringer i forskjellige deler av tverrsnittet når trevirket tørker.

Innhold av reaksjonsved, ungdomsved og kvist i en del av tverrsnittet vil forårsake følgende deformasjoner også i lengderetningen:

- flatbøy, som er flatsidens bøyning i lengderetning
- kantkrok, som er kantsidens bøyning i lengderetning
- vridning (vindskevhet), som er en skruerformet deformasjon

Vridning kan også være et resultat av at trelasten er skåret av tømmer med vridd vekst.

I reglene for visuell og maskinell sortering er det satt grenser for største tillatte avvik fra den ideelle



Figur 15.23 Forskjellige former av deformasjon på trelast.

form. Grensene er gitt for å gjøre anvendelsen, særlig monteringen, mindre komplisert. I spesielle konstruksjoner med stor utnyttelse av trevirkets fasthet kan det være aktuelt å angi spesielle kravgrenser for deformasjoner. For eksempel vil kantkrok eller flatbøy i trykkbelastede elementer være av betydning for knekkberegningene.

15.12.4 Fuktigheten og fasthetsegenskapene

De mekaniske egenskapene for trevirke varierer med fuktighetsinnholdet. Økning av trefuktigheten gir lavere verdier både for fasthet og E-modul. Dette skyldes til en viss grad at når celleveggen sveller, vil det være mindre celleveggmateriale per arealenhet. Det viktigste er imidlertid at når vann trenger inn i celleveggen, blir bindingene som holder mikrofibrillene sammen, dårligere. Fuktigheter over fibermetningspunktet har ingen betydning for de mekaniske egenskapene, fordi det da bare er snakk om variasjoner i mengden av fritt vann i cellehulrommet.

De ulike fasthetene endrer seg ikke likt når trefuktigheten endres. For eksempel vil økt fuktighet ha større betydning for trykkfastheten enn for strekkfastheten i fiberretningen, fordi det er knekkingen av hver enkelt trecelle som fører til trykkbrudd. På grunn av løsere bindinger mellom mikrofibrillene vil celleveggen knekke lettere ut ved høy fuktighet.

Tabellen nedenfor viser fuktighetens effekt på de forskjellige mekaniske egenskapene hos feilfritt virke. Verdiene gjelder for trefuktigheter mellom 8 % og 20 %, og det er egenskapene ved 12 % trefuktighet som er basis. Endringene er per prosent endring i trefuktighet (→ fig. 15.24).

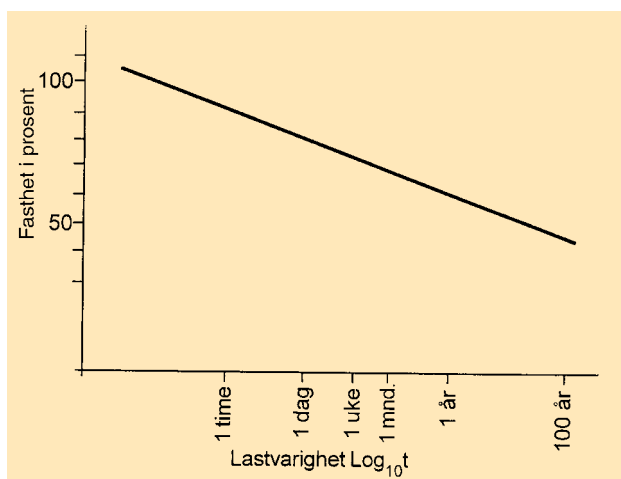
Egenskap	Enhet	Symbol	Endring (%)
Trykkfasthet i fiberretningen	N/mm ²	$f_{c,0,k}$	5
Trykkfasthet normalt på fibrene	N/mm ²	$f_{c,90,k}$	5
Bøyefasthet i fiberretningen	N/mm ²	$f_{m,0,k}$	4
Strekkfasthet i fiberretningen	N/mm ²	$f_{t,0,k}$	2,5
Skjærfasthet i fiberretningen	N/mm ²	$f_{v,0,k}$	3
Elastisitetsmodul i fiberretningen	N/mm ²	E_0	1,5

Figur 15.24 Omtrentlig endring i fasthetsegenskapene per prosent endring i trefuktighet for feilfritt trevirke (kilde: STEP).

15.13 Lastvarighetens betydning for fasthetsegenskapene

Trevirket vil over tid miste en betydelig del av fastheten. For små, feilfrie prøver viser den såkalte Madison-kurven (→ fig. 15.25) at fastheten over tid bare er ca. 60 % av fastheten ved korttids laboratorieforsøk. For vanlig konstruksjonslast, som alltid vil inneholde for eksempel kvist, fiberhelning og sprekker, er fasthetsreduksjonene mindre og vil også variere med kvalitetsklassen. Trefuktigheten har likeledes betydning for fasthetsreduksjonen over tid.

I beregningsstandarden er det tatt hensyn til betydningen av både trefuktighet og lastvarighet ved å plassere konstruksjonene i ulike klimaklasser og lastene i ulike lastvarighetsklasser.



Figur 15.25 Madison-kurven som viser fasthetsreduksjonen for feilfritt trevirke over tid.

15.14 Styrkesortering

Trevirkets egenskaper varierer både i lengde- og tverretning fra tre til tre og innen samme tre. Gjennom oppdeling av tømmer til planker og bord vil trefibrer bli kuttet som følge av treets avsmalning og fiberforstyrrelser rundt kvistene. Det gjør at styrkeegenskapene vil variere mer i skurlast enn i rundvirke. Generelt kan vi si at jo mindre tverrsnitt skurlasten har, jo større er variasjonene.

Utnyttelse av trevirke til bærende konstruksjoner er basert på karakteristiske styrkeverdier. Styrkeverdien angis som 5 %-fraktilverdien. Det vil si at 95 % av partiet har bedre styrkeverdier enn det vi beregningsmessig benytter. Dersom vi sorterer trelasten i styrkeklasser, vil styrkeverdiene innen hver klasse variere mindre og karakteristisk styrkeverdi bli mer representativ for den aktuelle klassen.

15.14.1 Visuell styrkesortering

Visuell styrkesortering har i stor grad vært utført ved å ta hensyn til de egenskaper som har betydning for styrken, for eksempel årringsbredde, kvist, fiberhelning osv. Nøyaktigheten ved visuell sortering har derfor sine klare grenser, men som regel vil styrkeverdiene ligge på den sikre siden.

15.14.2 Maskinell styrkesortering

De senere årene har maskinell styrkesortering blitt mer vanlig. Prinsippet for de maskinene som benyttes i dag, bygger på sammenhengen mellom

styrke og stivhet. Plankene som mates kontinuerlig gjennom maskinen, påføres en last og deformasjonen måles. Ut fra målt deformasjon kan hver planke plasseres i en gitt styrkeklasse ut fra forhåndsbestemte grenser. En annen metode er å måle lasten ved en gitt deformasjon.

Det pågår for tiden mange interessante utviklingsprosjekter som bygger på andre prinsipper for maskinell sortering, for eksempel densitetsmåling, optisk scanning, vibrasjoner, mikrobølger og ultralyd. Alle har som målsetning å bedre nøyaktigheten, slik at trevirket kan utnyttes optimalt som bygge- og konstruksjonsmateriale. Fremtidens maskiner vil kanskje baseres på en kombinasjon av de forskjellige prinsippene.

15.14.3 Ulike sorteringsparametere

I tabellen på figur 15.26 er sammenhengen mellom ulike sorteringsparametere og styrkeegenskaper antydnet. Tallene som angir det vi kaller forklaringskoeffisientene, er fortsatt usikre, men vi tar dem med likevel. Dersom det for eksempel sorteres bare etter kvist, vil denne sorteringsmåten være riktig i 60 % av tilfellene for strekk i fiberretningen ($f_{t,0}$).

Sorteringsparameter	Forklaringskoeffisient		
	f_m	$f_{t,0}$	$f_{c,0}$
Kvist	0,5	0,6	0,4
Fiberhelning	0,2	0,2	0,1
Densitet	0,5	0,5	0,6
Årringsbredde	0,4	0,5	0,5
Kvist + årringsbredde	0,5	0,6	0,5
Kvist + densitet	0,7-0,8	0,7-0,8	0,7-0,8
E-modul	0,7-0,8	0,7-0,8	0,7-0,8
E-modul + densitet	0,7-0,8	0,7-0,8	0,7-0,8
E-modul + kvist	> 0,8	> 0,8	> 0,8

Figur 15.26 Forklaringskoeffisienter for ulike sorteringsparametere (kilde: STEP).

15.14.4 Kvalitetssikring

En viktig forskjell på visuelt og maskinelt sortert virke er at det visuelt sorterte alltid lar seg etterkontrollere, selv i tilfeller hvor virket er tatt i bruk. På maskinsortert virke har vi ingen mulig-

heter for å gjøre dette dersom merkingen er blitt borte, for eksempel ved kapping til takstoler. På grunn av dette er det behov for sikre kontrollmetoder når det gjelder maskinell styrkesortering. Industrien benytter i dag to metoder:

- *Output-controlled system*, som er basert på at det kontinuerlig tas ut enheter av den maskin-sorterte trelasten som kjøres til brudd. For at metoden skal være økonomisk, kreves det store ordrer med samme dimensjon og samme styrkeklasse.
- *Machine-controlled system*, som ble utviklet for å unngå den destruktive etterkontrollen. Her legges vekten på kontinuerlig kalibrering av maskinen etter gitte regler og verdier som er konstante for samme maskintype. Det er denne metoden som benyttes mest i Norge og ellers i Europa.

15.15 Fasthetsklasser

Resultatet av visuell eller maskinell styrkesortering er at trevirket blir plassert i ulike fasthetsklasser med klart definerte verdier for de mekaniske egenskapene. Alt trevirke, uansett opprinnelse, kan derfor benyttes til bærende konstruksjoner dersom samsvarende standarder for sortering og dimensjonering følges. I Norge er NS 3470 gjeldende standard for dimensjonering og NS INSTA 142 gjeldende standard for visuell sortering (→ fig. 15.27).

I de europeiske felles standardene er det Eurocode 5 *Design of timber structures* (EC5) som er gjeldende regler for dimensjonering av trekonstruksjoner. For visuell styrkesortering gjelder EN 518 *Structural timber – Grading – Requirements for Visual Strength Grading Standards*. EN 519 *Structural Timber – Grading – Requirements for Machine Strength Graded Timber and Grading Machines* gjelder på tilsvarende vis for maskinell sortering. I tillegg til disse er det laget en standard EN 338 *Structural Timber – Strength Classes*, som inneholder alle styrkeklassene.

15.16 Branntekniske egenskaper

Trevirke og trebaserte materialer består i hovedsak av cellulose og lignin, som igjen er bygget opp av karbon, hydrogen og oksygen. Materialet er derfor brennbart, og det er både vanskelig og kostbart å behandle det slik at det blir ubrennbart. Det er heller ikke nødvendig, fordi det bare er i spesielle bygningsdeler at det stilles krav om bruk av helt ubrennbare materialer.

Karakteristiske fasthetsverdier, stivhetsmoduler samt densitet for konstruksjonstre*)						
Fasthetsverdier (N/mm ²)		Fasthetsklasser i henhold til NS-EN 338				
		C14	C18	C24	C30	C40
Bøyning	f_{mb}	14,0	18,0	24,0	30,0	40,0
Strekk i fiberretningen	f_{t0k}	8,0	11,0	14,0	18,0	24,0
på tvers av fiberretningen	f_{t90k}	0,3	0,3	0,4	0,4	0,4
Trykk i fiberretningen	f_{c0k}	16,0	18,0	21,0	23,0 ⁴⁾	26,0 ⁴⁾
på tvers av fiberretningen	f_{c90k}	4,3	4,8	5,3	5,7	6,3
Skjær¹⁾	f_{vk}	1,7	2,0	2,5	3,0	3,8
For stabilitetsberegninger²⁾	E_{0k}	4700	6000	7400	8000	9400
For beregninger av forskyvninger og deformasjoner³⁾	E_0	7000	9000	11000	12000	14000
	E_{90}	230	300	370	400	470
	G	440	560	690	750	880
Densitet (kg/m³)	ρ_k	290	320	350	380	420
Densitet (kg/m³)	$\rho_{mid.}$	350	380	420	460	500

1) Rulleskjærfastheten kan settes lik $f_{vk}/2$.

2) De angitte verdiene representerer 5 % fra-til verdier. E_{90k} kan settes lik $E_{0k}/30$.

3) De angitte verdiene representerer middelverdier.

4) For nordisk gran og furu kan f_{c0k} settes lik 27,0 N/mm² for C 30 og 32,0 N/mm² for C 40.

*) For konstruksjonstre av gran og furu sortert etter NS-INSTA 142 tilsvarer sorteringsklassene følgende fasthetsklasser i henhold til NS-EN 338 og tidligere sorteringsstandard NS 3080:

NS-EN 338	NS-INSTA 142	Tidligere sorteringsstandard NS 3080
C14	–	–
C18	T1	T18
C24	T2	T24
C30	T3	T30

Figur 15.27 Tabell over fasthetsklassene i NS 3470.

Ved temperaturer over 100 °C starter det vi kaller pyrolyse. Pyrolyse er et samlebegrep for alle de kjemiske prosessene som skjer når trevirke brytes ned gjennom varmeutvikling og brann. Svak forkulling, sviing av overflaten vil opptre fra 95 °C og oppover. Når temperaturen passerer 200 °C, er nedbryting av hemicellulosen kommet i gang. Ved videre økning i temperaturen angripes cellulosen og til slutt ligninet. Rundt 230 °C nås flammepunktet. Muligheten for antennelse er nå tilstede dersom det tilføres en flamme utenfra. Ved om-

trent 260 °C har vi tennpunktet, da trevirket begynner å brenne uten tilførsel av en ytre tennfaktor.

På grunn av lav varmeledningsevne, særlig i kullsjiktet, vil pyrolysesonen bare langsomt trenge innover i trevirket. Temperaturøkningen innenfor kullsjiktet blir ikke så stor at trevirket her mister noe særlig av fastheten. Fordi forkullingen skjer med tilnærmet konstant hastighet, kan vi ut fra krav om en bestemt branntid beregne hvor raskt

Materiale	Minste densitet (kg/m ³)	Innbrenningshastighet (mm/min)
Heltre av gran eller furu	> 290	0,8
Limtre av gran eller furu	> 290	0,7
Heltre av løvtre	> 450	0,5
Limtre av løvtre	> 450	0,5

Figur 15.28 Tabellen viser forkullingshastigheten for ulike treslag og trebaserte materialer basert på densiteter (EC5).

tverrsnittet blir redusert under en brann. Ved å øke tverrsnittet vil vi kunne forlenge tiden det tar før en konstruksjon mister bæreevnen i en brann-situasjon.

15.17 Varmeledningsevne

Trevirke har meget lav varmeledningsevne sammenlignet med andre materialer som benyttes i bærende konstruksjoner. Det er forholdet mellom cellevegg og cellehulrom som bestemmer isolasjonsevnen. Tunge treslag vil derfor isolere dårligere enn treslag med lavere densitet. Varmeledningsevnen er to til tre ganger større i fiberretningen enn på tvers. Dessuten stiger varmeledningsevnen proporsjonalt med trefuktigheten, ca. 0,25 % for hver grad økning i temperaturen. For gran og furu med densitet 500 kg/m³ regner vi i praksis med en varmeledningsevne på 0,14 W/mK på tvers av fibre.

Den høye varmeledningsevnen for metaller betyr at en ubeskyttet metallkonstruksjon raskt vil følge temperatursvingningene i omgivelsene. Lav egenvarme betyr at det skal liten varmemengde til før temperaturen stiger.

Som vi ser, har trevirke både stor egenvarme og dårlig varmeledningsevne i forhold til de andre materialene. Trekonstruksjoner i oppvarmede bygg vil derfor ikke bidra til å danne kuldebroer i

like stor grad som de andre materialene (→ fig. 15.29).

15.18 Trevirkets holdbarhet

Trevirke er et organisk materiale som hovedsakelig består av karbon, hydrogen og oksygen. Derksom forholdene ligger til rette, vil naturen selv bryte ned trevirket, og stoffene vil etter hvert gå tilbake til det naturlige kretsløpet. Denne nedbrytningen skjer ved at trevirket angripes av insekter, sopp og bakterier. Når det gjelder insektene, har stripet borebille, stokkmaur, husbukk og pælemark størst innvirkning på trevirkets styrke, da de angriper og ødelegger selve celleveggen eller veden.

Soppspor er finnes alltid i luften. For at soppen skal kunne utvikle seg, må følgende betingelser være til stede:

- tilgang på oksygen
- passende trefuktighet (25–75 %)
- passende temperatur (25–30 °C)
- næringsgrunnlag

Tar vi bort én av disse betingelsene, vil soppen dø ut. Den vanligste og også den eldste beskyttelsen vi har, er å holde trefuktigheten nede ved å verne konstruksjonene mot vær og vind. Dersom trevirket får anledning til å tørke ut innimellom, kan

Materiale	Spesifikk vekt (kg/m ³)	Egen varme (kJ/kg °C)	Varmeledningsevne (W/m °C)	Lineær utvidelse (mm/mK)
Stål	7800	0,46	50,00	0,12
Aluminium	2700	0,89	240,00	0,25
Betong	2400	1,05	1,50	0,12
Trevirke	500	2,70	0,14	0,005

Figur 15.29 Tabellen viser noen varmetekniske egenskaper for forskjellige materialer.

det i perioder gjerne være nedfuktet uten å ta særlig skade. Det viktigste er å unngå detaljer som demmer opp vann slik at uttørringen går sent. Gjennomført drenering er derfor en viktig detalj i alle former for trekonstruksjoner.

Trevirke som er eksponert for vær og vind, vil etter hvert få en gråaktig overflate. Den oppstår ved at de ultrafiolette strålene som er i sollyset, bryter ned ligninet (bindemidlet) i virket. Når overflaten senere blir utsatt for nedbør, vil en del løse trefibrer bli vasket bort og flaten blir etter hvert grå og grovere. Dette grå laget vil imidlertid beskytte og forsinke videre nedbryting. På gamle hus som har stått ubeskyttet i mange hundre år, skal vi ikke så veldig langt inn før vi treffer på friskt trevirke.

For å beskytte treoverflaten mot denne nedbrytningen kan den behandles med maling eller beis som inneholder så mye pigmenter at sollyset ikke slipper gjennom. Klar behandling utendørs er ut fra det som er nevnt over, ikke å anbefale, da den over tid vil løsne. Ellers er det viktig at all overflatebehandling skjer på nybearbeidet treflate. Å male på en overflate som lenge har vært eksponert for sollys, er som å male på rustent stål.

Dersom bruksklimaet for en konstruksjon er slik at faren for sopp eller skadedyr er til stede, må virket behandles ved kjemisk trebeskyttelse. Her er trykkimpregnering med vannløste metallsalter, kreosotolje eller white-spirit-løsemidler det mest vanlige. Trykkimpregnert tre deles inn i fire klasser som avspeiler bruksområdene og graden av beskyttelse. De fire klassene betegnes med bok-

stavene M, A, AB og B. Den strengeste klassen, som inneholder mest impregneringsstoffer, er klasse M (maritim) som er beregnet for å motstå blant annet pelemark.

15.19 Energiforbruk

Produksjon av treprodukter krever generelt mindre energi enn alternative produkter med andre materialer, og en stor del av energien som forbrukes, blir produsert ved å brenne bark og sekundærprodukter. Selv om energiforbruket i denne industrien er lav, vil det fortsatt være behov for å utnytte den bedre for å kunne konkurrere med andre materialer.

Det er vanskelig å gi noe eksakt tall for energibehovet fordi produksjonssystemene varierer ganske mye fra bedrift til bedrift (→ fig. 15.30).

Materiale	Primærenergibehov	
	kWh/kg	kWh/m ³
Skurlast	0,7	350
Limtre	2,4	1200
Sponplater	3,4	2210
Betong	0,3	700
Stål	5,9	46000
PVC	18,0	24700
Aluminium	52,0	141500

Figur 15.30 Tabellen viser energibehovet ved fremstilling av noen ulike byggematerialer.

