

ANDERS Q NYRUD

**Bearbeiding og modifisering  
av tre  
og trebaserte materialer**

**Kompendiet omfatter størstedelen av  
pensum i emne TT 202 - høsten 1998**

**Professor  
Rolf Birkeland  
Institutt for skogfag  
NORGES LANDBRUKSHØGSKOLE  
1998**

998  
  
0 282557 003233  
Kr 108.00

**Bearbeiding og modifisering  
av tre  
og trebaserte materialer**

**Kompendiet omfatter størstedelen av  
pensum i emne TT 202 - høsten 1998**

**Professor  
Rolf Birkeland  
Institutt for skogfag  
NORGES LANDBRUKSHØGSKOLE  
1998**



**Forord**

Dette kompendiet er laget som et hjelpemiddel til emne TT 202, Trebearbeiding, ved Institutt for skogfag, NLH, for studieåret 1998.

Stoffet er delvis laget spesielt for dette studiet og delvis er det benyttet tidsskriftartikler fra en artikkelserie om bearbeiding av tre og trebaserte materialer som har vært publisert de senere årene i tidsskriftet Tre og Møbler. Det er også hentet inn noe stoff fra andre forfattere og kilder.

Det tas sikte på at stoffet skal suppleres med eksempler, oppgaver og øvinger, samt tilleggsstoff av betydning. Dette vil bli innarbeidet i senere utgaver.

Ås 28. august 1998  
Rolf Birkeland

## Innholdsfortegnelse

	Sidetall
1. Innledning	5
2. Foredlingskjeden for trevirke	6
3. Hovedformene for trebearbeiding	13
4. Trevirket som et materiale	15
5. Skjærende bearbeiding	21
6. Verktøymaterialer	30
7. Slipeverktøy	36
8. Hogst, rotredusering og barking	39
9. Sirkelsagen, dens virkemåte og anvendelse	42
10. Båndsagen, konstruksjon, virkemåte og anvendelse	50
11. Høvling	64
12. Sliping av tre	74
13. Trestøv, eksplosjonsfare og håndtering	82
14. Helse- og miljøaspekter ved forskjellige treslag	86
15. Plastisk formaing av trevirke	88
16. Andre trebearbeidingsmetoder og -maskiner	92
17. Rammesagen og dens utvikling	95
18. Om framstilling av komplekse treprodukter	100
19. Laser og vannjet	115
20. Lim og dets bruk ved trebearbeiding	120
21. Toleranser og pasninger i møbel- og trevareproduksjon	140

Kvalitetskontroll i trelastindustrien av Birger Eikenes -  
sidenummerert fra 1 til 23

## 1. Innledning

For at trevirke skal komme til nytte som et konstruktivt materiale må det som oftest bearbeides. Bearbeidingen kan være så enkel at det dreier seg om en enkel kløving med en øks, men det kan også være snakk om mange nødvendige arbeidsoperasjoner før trevirket har fått den ønskete utforming. Når vi bruker begrepet trebearbeiding tenker de fleste sannsynligvis umiddelbart på bearbeiding ved hjelp av oppdelende eller sponfraskillende verktøy. Trebearbeidingen innbefatter imidlertid alle metoder som kan anvendes ved omdanning av trevirke fra en form til en annen. Metoder for plastisk formendring og annen moddifisering av tre kommer derfor også inn under begrepet og vil bli omhandlet.

Historisk må vi regne med at trebearbeiding i en eller annen form har funnet sted helt siden menneskene tok til å bearbeide verden rundt seg. Det ligger nær å anta at den første bearbeiding av trevirke skjedde som en pussing eller skraping, avskaving, av trevirke ved at greiner og andre trestykker ble filt mot røe steiner. Meget gamle funn av tildannede steinverktøy tyder på at det tidlig ble vanlig å lage skarpe egger på slikt verktøy ved at det ble slått fliser av passende steiner slik at det oppstod skarpe kanter. Prøver har vist at det går an å bearbeide tre, særlig mens det enda er rått, med slike steinverktøy. Etterhvert lærte man seg til å slipe steinverktøy og noen av de beste funnene fra steinalderen viser et så høyt nivå rent fremstillingsmessig at man kan undre seg.

Ild må formodes å ha vært en annen bearbeidingsform. Vi kjenner fra vår egen verden bruk av ild, f.eks. til uthuling av større trestammer som skulle anvendes til kar eller til båter.

Menneskene tok etterhvert til å anvende metaller som ga muligheter for å lage verktøy med holdbarhet og ikke minst skarphet. De første verktøyene på basis av kobber (Cu) og etterhvert bronse (CuSn) var imidlertid ikke så gode at de uten videre utkonkurrerte steinverktøy. Da jernet etterhvert ble tatt i alminnelig bruk og smedene lærte å herde eggene ble effektiviteten av skjæreverktøyene atskillig forbedret. Etterhvert som evnen øket til bl. annet å valse stål til tynne plater som det kunne lages f.eks. store sagblader av, ble slike verktøy utviklet og etterhvert tatt i bruk.

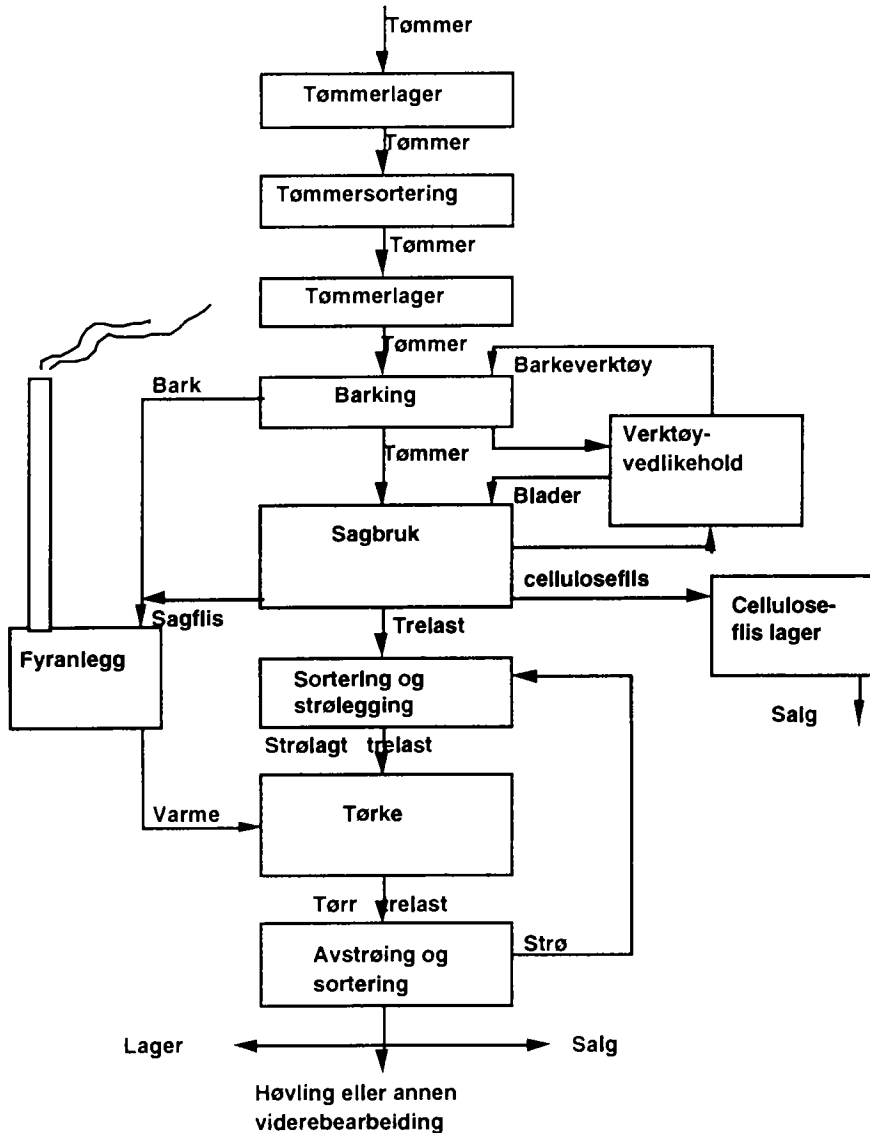
En annen vesentlig side ved treindustrien slik vi kjenner den idag er at den stort sett er gjennommekanisert. De første kraftkildene var vann- og vindkraft. Da dampkraft ble tilgjengelig ble dampdrevne kraftsentre en viktig bestanddel av mange treindustribedrifter. Betegnelsen "dampsag", som er en del av bedriftsnavnet for en rekke norske sagbruk den dag i dag, bærer bud om dette. De mobile dampmaskinene, lokomobilene, fikk en særlig betydning for sagbruksindustrien. De muliggjorde at sagbruk kunne plasseres andre steder enn ved fosser og bidro således til en omlokalisering av trelastnæringen.

Det meste av det som foregår av trebearbeiding i vår del av verden finner sted i fabrikker og verksteder. De senere årene har frembrakt såvel nye materialer som nye maskiner og prosesser. Blant materialene har MDF-platene (MDF = Medium Density Fiberboard) fått relativt stor anvendelse. For å kunne bearbeide disse måtte man helst bruke verktøy med lengre standtid enn tidligere. Det førte til at diamantverktøy ble mer alminnelige i bruk. På maskinsiden er det sannsynligvis den numerisk styrte overfresen som har medført de største endringene i treindustriene.

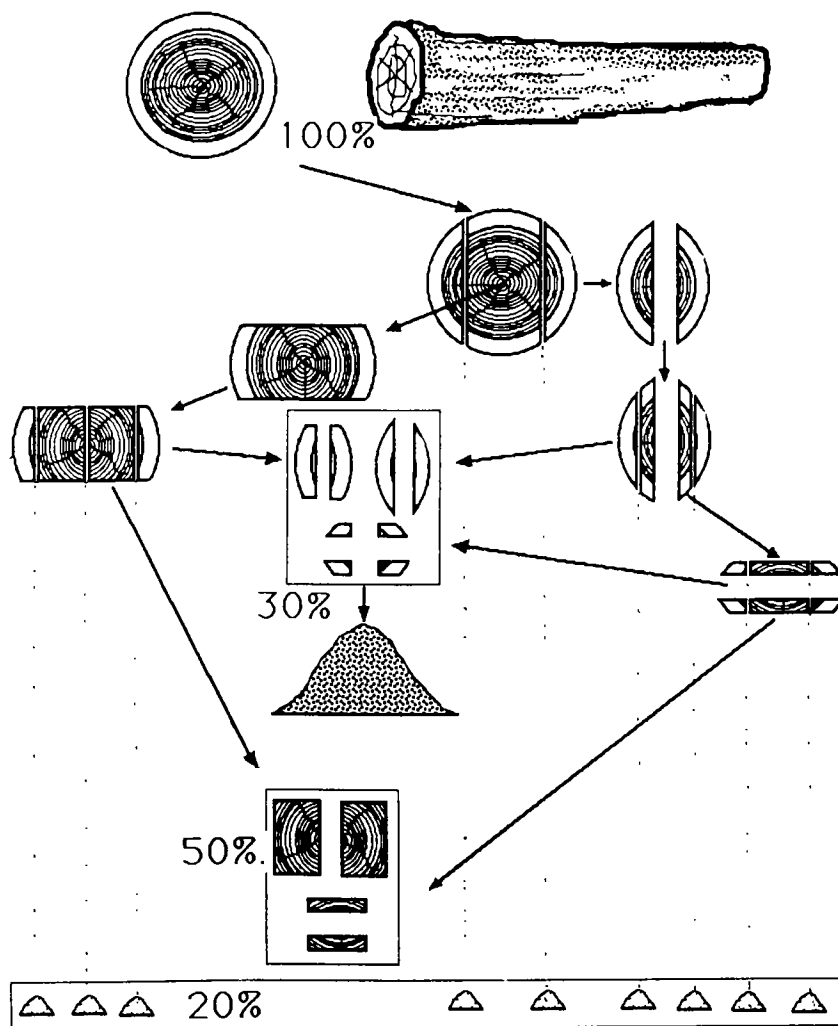
## 2. Foredlingskjeden for trevirke

Trebearbeiding skjer på en lang rekke steder i kjeden fra skog, trær, tømmer og til det ferdige produktet foreligger.

I sagbruket hogges flis til celluloseproduksjon (eller bakhon bntes til fiberplateproduksjon) kløves, kantes og kappes.

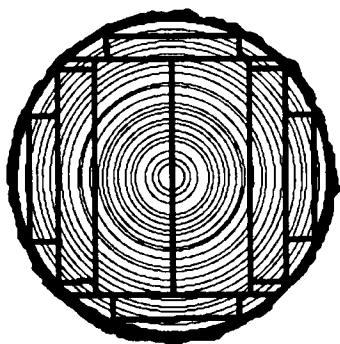


Den langsgående sagingen kan foregå med sirkelsager, båndsager eller rammesager. Kappingen foregår som regel med sirkelsager hva gjelder enkeltstykk-kapping men med kjedesverdsager hva gjelder hele pakker. I sagbruket utnyttes som regel bare ca. 50% av stokkens virkelige volum under bark til hovedproduktet trelast. Ca. 30-35% er råstoff for cellulose- eller fiberplateproduksjon. Resten er bøss og sagflis.



### Nordiske oppdelingsprinsipper

Et relativt typisk oppdelingsmønster for nordiske tredimensjoner og trekvaliteter kan f.eks. se ut som vist under.



Snittene legges parallelt med margen og oppdelingsmønsteret er basert på at det skal være symmetrisk om margen. Fra gammelt av har man også søkt å få til det vi benevner kvadratuttak - et kvadrat er den største flaten som kan innskives i en sirkel.

Når sagtømmeret volumberegnes baseres beregningen på toppdiameteren og at avsmalningen er 1 cm/m. Ut fra dette beregnes diameteren midt på stokken. Volumet beregnes som om stokken er en sylinder med stokkens lengde og den beregnede midtdiameteren.



Vankant betegner den delen av trelasten som ikke er framstilt ved saging men som representerer treet's ytre sylinderflate. Tidligere nyttet man ofte skurprogrammer hvor trelasten ble framstilt med svært stor vankant. Vanlige betegnelser var 1/3, 1/2, 2/3 og 3/4 kant. Betegnelsen beskrev da hvor stor del av plankenes sidekant som var saget. Idag nytter vi for det meste det vi benevner skarpkant, dvs. at alle plankenes sider skal være bearbeidet med sagblader eller en annen form for verktøy.

### SKURUTBYTTEBEREGNING - EKSEMPEL

En tømmerstokk blir skåret i fem forskjellige dimensjoner:

- 2 stk. 63 x 150 mm
- 2 stk. 44 x 150 mm
- 2 stk. 25 x 175 mm
- 2 stk. 22 x 125 mm
- 2 stk. 16 x 100 mm

All trelasten er skarpkantet.

Tømmerstokk:

- Toppdiameter: 29,5 cm u.b.
- Lengde: 4,9 m
- Avsmalning: 1 cm pr. meter

Det beregnes ikke overmål på trelasten pga. dårlig skurnøyaktighet og tørkesvinn (de nominelle målene er lik de reelle). Beregn skurutbyttet rett etter skur (beregning uten renkapping / modulskapping av trelasten).

#### Løsning

1. Volum av stokken:

Lengde (l) = 4,9 m

Diameter i toppen = 29,5 cm

Diameter på midten (d) = 29,5 cm + (1 cm · 2,45 m) = 31,95 cm

Arealet på midten (a):  $801,7 \text{ cm}^2 = 8,017 \text{ dm}^2$

$V = l \cdot a = 49 \text{ dm} \cdot 8,017 \text{ dm}^2 = \underline{392,85 \text{ dm}^3}$

Volum av trelast:

$$\begin{aligned} 2 \cdot 0,63 \text{ dm} \cdot 1,50 \text{ dm} \cdot 49 \text{ dm} &= 92,61 \text{ dm}^3 \\ 2 \cdot 0,44 \text{ dm} \cdot 1,50 \text{ dm} \cdot 49 \text{ dm} &= 64,68 \text{ dm}^3 \\ 2 \cdot 0,25 \text{ dm} \cdot 1,75 \text{ dm} \cdot 49 \text{ dm} &= 42,88 \text{ dm}^3 \\ 2 \cdot 0,22 \text{ dm} \cdot 1,25 \text{ dm} \cdot 49 \text{ dm} &= 26,95 \text{ dm}^3 \\ 2 \cdot 0,16 \text{ dm} \cdot 1,00 \text{ dm} \cdot 49 \text{ dm} &= 15,68 \text{ dm}^3 \\ &\underline{242,80 \text{ dm}^3} \end{aligned}$$

Skurutbyttet:  $242,8/392,85 = 0,62 = \underline{62\%}$

### HVILKEN TOPPDIAMETER BØR VI NYTTE?

Det ønskes å ta ut 3 stk. 50 x 150 mm skarpkant fra sentrumsutbyttet.

Sagsnitt: 2,5 mm

Det beregnes ikke overmål på trelasten pga. dårlig skurnøyaktighet, tørkesvinn og overflateruhet.

Beregn nødvendig toppdiameter u.b. (under bark) på tømmerstokken.

Det sagede tverrsnittet representerer et rektangel hvor den ene siden er plankebredden: 150 mm og den andre siden er:  $50 + 2,5 + 50 + 2,5 + 50 = 155 \text{ mm}$

Den nødvendige minimumsdiameteren i toppenden for en tømmerstokk som gir dette sentrumsuttaket representeres av hypotenusen i en trekant hvor de to sidene i rektanglet danner katetene.

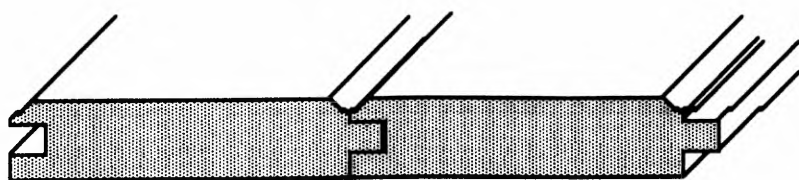
$$155^2 = 22500 + 24025 = 46525$$

Kvadratrotten av 46525 = 216

Toppdiameter (d): = 216 mm

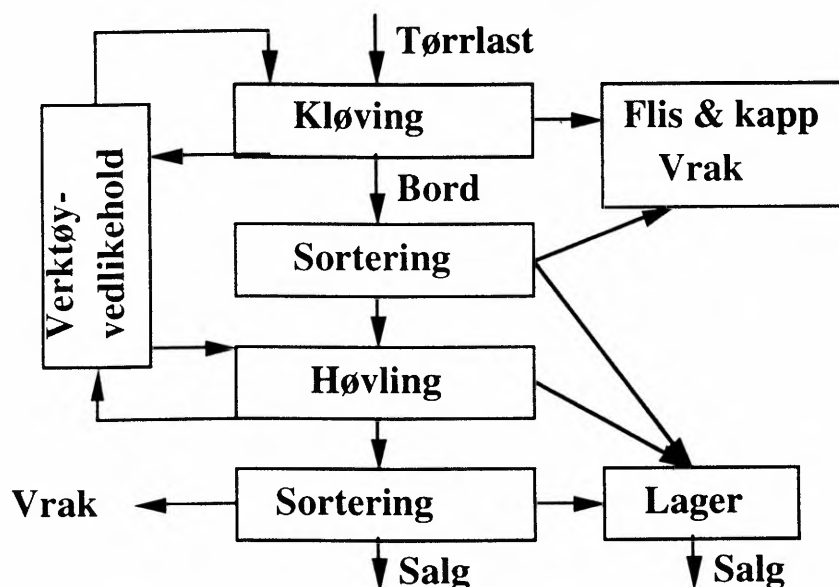
### Høvleri, emnefabrikasjon.

For stadig flere anvendelsesområder er det ønskelig at trelasten er høvlet. Det kan dreie seg om enkel justering og glatthøvling gjort i en høvelmaskin eller det kan dreie seg om profilering til paneler, gulvbord, listverk eller andre profiler. Kravene til trekvaliteten i høvellast er nedfelt i NS 3180. Forøvrig er det en rekke standarder som gjelder for forskjellige detaljer vedrørende profiler, pløying etc. Se oversikten over standarder.



**Faspanel**

Et høvleri kan være en avdeling av en trelastbedrift eller det kan være en helt selvstendig bedrift som kjøper råstoff fra enhver leverandør som kan skaffe det som behøves.



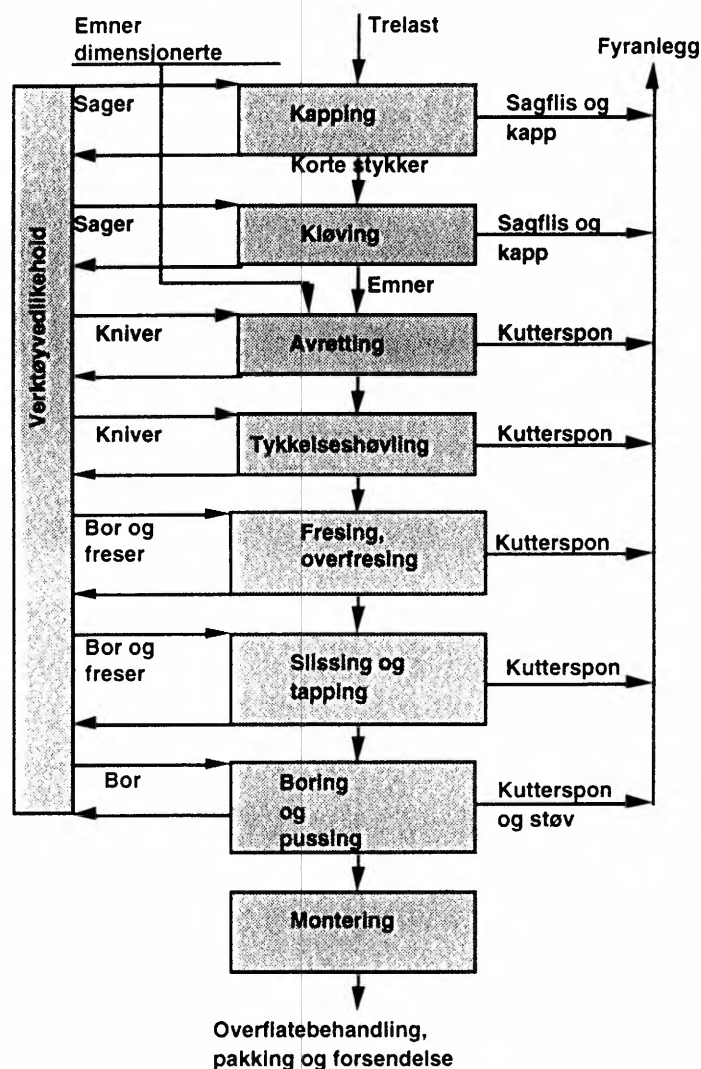
Bearbeidingen i et høvleri omfatter som tegningen viser kløving, høvling og kapping. Av og til skjer det også endefresing, dvs. at bordene utstyres med not og fjær i endene for at de skal kunne skjøtes lettere. Kløving skjer som regel eneten med sirkelsager eller bånddager, høvlingen foregår med en høvelmaskin, kappingen skjer som regel med et sirkelsagblad mens endefresingen foretas ved hjelp av et eget fresagregat hvor trelasten mates på tvers forbi en fres.

### Møbel-, trevare- og annen treartikkelfabrikasjon.

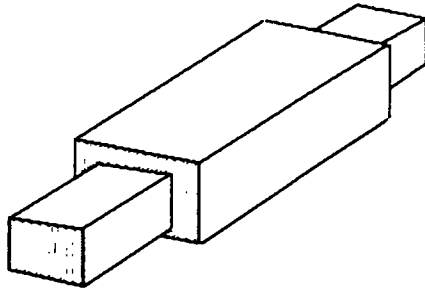
Trelast er ikke noe ferdigprodukt, men utgjør et råstoff eller et halvfabrikat for en videreforedling. Med videreforedling menes i denne sammenheng alle former for prosesser som med utgangspunkt i tre som et av sine mer vesentlige råstoff fremstiller bruksferdige produkter som møbler, vinduer, trapper, dører, ispinner, paller, souvenirer etc., etc.. Disse produksjonene foregår i en stor og meget uensartet mengde bedrifter av alle størrelseskategorier og med de forskjelligste sammenstillinger av maskiner. Arbeidsgangen er imidlertid relativt ensartet.

Et fellestrekk er at de aller fleste anvender tørket trelast som råstoff. Vanlig tørrhet er gjennomgående 10-12%. Noen bedrifter vil ha trelasten litt tørrere, andre vil ha den litt mindre tørr. Tidligere var det overveiende slik at de videreforedlende bedriftene selv tørket trevirket. Dette skjedde enten ved at de hadde vanlige tørker (gjærne små kammertørker) eller at de lagret materialene over lengre tid inne i produksjonslokalene. Mange mindre videreforedlingsbedrifter som fortsatt tørker trelasten anvender små kondensasjonstørker. Å anvende kondensasjonstørker ved lave fuktigheter er ikke energimessig gunstig, men det gir en lettvent tørkeprosess fordi det erfaringsmessig oppstår lite tørkeskader.

Prinsipielt flytskjema for en videreforedlingsbedrift:



Mange trelastleverandører leverer idag trelasten tørket til kundens spesifikasjoner. Mange videreforedlingsbedrifter kjøper råstoffet, ikke bare ferdig tørket, men også ferdig kappet, av og til dimensjonert og i noen tilfelle sågar ferdig maskinert.



Kappingen skjer som regel med sirkelsager, selv om det av og til skjæres tynne lister med giljotineliknende knivinnretninger. Den langsgående kløvningen kan foregå enten med sirkel- eller med båndsgag. Avretting, tykkelseshøvling og fresing skjer med forskjellige former for frese-/høvleverktøy. Slissing og tapping skjer med forskjellige spesialmaskiner. Burong skjer med forskjellige typer boremaskiner eller med boreagregater påmontert andre maskiner. Pussing skjer som regel med spesialbyggette pussemaskiner når det er profiler og flater som skal pusses. Fortsatt skjer det imidlertid en del pussing for hånd, særlig i møbelproduksjon.

### Finérproduksjon

Fra tidlige historiske tider kjenner vi bruk av finér. Sjeldne men etterspurte treslag som f.eks. ibenholt ble "drøyet" ved at man skar de opp i tynne skiver som så ble limt til et underlag av mer tilgjengelig råstoff. De første finéer kjenner vi således fra utgravninger i Egypt og de skriver seg fra ca. 3000 f.K. Disse finérene ble fremstilt ved saging.

Sagbladene var relativt tykke og snitt-tapet ble derved stort. Den finéren man fikk var nærmest for en slags supertynne bord å regne og var derfor ganske sterke og ga lite sprekk i forhold til de tynne, knivfremstilte finérene vi benytter idag. For enkelte bruksformål hvor det er viktig ikke å få sprekker i de belagte flatene (musikkinstrumenter) fremstilles det fortsatt saget finer.

De første finérene ble saget for hånd. Den første mekanisk drevne finérsag ble patentert i 1812 men det var ikke noen slik sag i bruk før i 1825. Den første knivskjæremaskin ble patentert i Frankrike i 1834, men noen særlig industriell anvendelse fikk ikke prinsippet før nærmere 30 år senere. Den første kjente oppfinnelsen av skrellemaskin stammer fra 1818. I USA og Frankrike ble maskiner som ser ut noenlunde som dagens finérskrellemaskiner (hvor tømmeret holdes som i en dreiebenk mellom to roterende sentre) patentert rundt 1840. Disse maskinene hadde en skjærehastighet på ca. 4-5 m/min.

Skrellemaskinen førte til utviklingen av en helt ny industri: kryssfinérfabrikasjonen.

Idag produseres det meste av finéret som skrellet finér og det anvendes enten i kryssfinér eller som bakfinér for å utbalansere knivskåret finér i møbelproduksjon.

Den knivskårne finéren anvendes stort sett for synlige formål, fronter, paneler og produksjon av limte laminerte møbler.

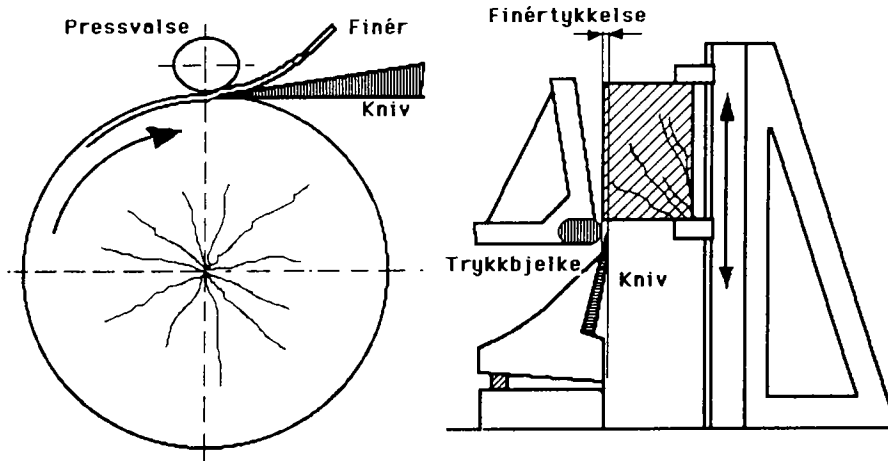
Kryssfinérproduksjonen anvendes selvsagt til mange formål men en større del brukes direkte eller indirekte i husbygging. I mange land (USA og Kanada nyttes kryssfinér som vi bruker sponplater i husbyggingen.

Verdens samlede produksjon av finérark, dvs. som ikke blir sammenlimt til kryssfinér i produsentlandet, har de siste årtiene ligget på litt i underkant av 5 millioner m<sup>3</sup> (2). Ca. 40% av dette kvantumet har blitt eksportert fra opprinnelseslandet. De største eksportørlandene var Elfenbenskysten, Kanada, USA, Brasil, Indonesia, Maylasia og Portugal. De største importlandene var USA, Japan, Frankrike, Tyskland, Italia og Storbritannia.

Kryssfinérproduksjonen, da slått sammen med produksjonen av møbelplater og liknende produkter har de siste årene ligget på rundt 50 millioner m<sup>3</sup>. De dominerende produsentlandene er Kanada, USA (38%), Brasil, Kina, Indonesia (18%), Japan, Korea, Maylasia og den tidligere Sovjetunionen.

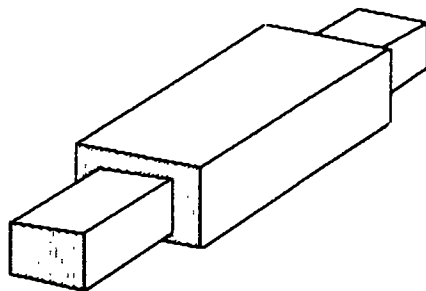
Råstoffet til finérproduksjonen anvendes normalt rått og ved det meste av finérproduksjonen varmes råstoffet opp. Oppvarmingen skjer som regel ved at tømmeret dyppes i varmt vann eller ved at det legges inn i rom hvor damp kondenserer ut på tømmeret. For fremstilling av bartrefinér anbefales temperaturer i veden på fra ca. 55 °C til 90 °C, avhengig av treslaget. For løvtre vil en kunne greie seg med noe lavere temperaturer.

Selve finérskjæringen foregår enten som knivskjæring eller som skrelling.



Prinsippskisse av skrelling.

Knivskjæring hvor emnet beveger seg vertikalt forbi kniven.



Kappingen skjer som regel med sirkelsager, selv om det av og til skjæres tynne lister med giljotineliknende knivinnretninger. Den langsgående kløvningen kan foregå enten med sirkel- eller med båndsgag. Avretting, tykkelseshøvling og fresing skjer med forskjellige former for frese-/høvleverktøy. Slissing og tapping skjer med forskjellige spesialmaskiner. Burong skjer med forskjellige typer boremaskiner eller med boreagregater påmontert andre maskiner. Pussing skjer som regel med spesialbyggede pussemaskiner når det er profiler og flater som skal pusses. Fortsatt skjer det imidlertid en del pussing for hånd, særlig i møbelproduksjon.

### Finérproduksjon

Fra tidlige historiske tider kjenner vi bruk av finér. Sjeldne men etterspurte treslag som f.eks. ibenholt ble "drøyet" ved at man skar de opp i tynne skiver som så ble limt til et underlag av mer tilgjengelig råstoff. De første finéer kjenner vi således fra utgravninger i Egypt og de skriver seg fra ca. 3000 f.K. Disse finérene ble fremstilt ved saging.

Sagbladene var relativt tykke og snitt-tapet ble derved stort. Den finéren man fikk var nærmest for en slags supertynne bord å regne og var derfor ganske sterke og ga lite sprekk i forhold til de tynne, knivfremstilte finérene vi benytter idag. For enkelte bruksformål hvor det er viktig ikke å få sprekker i de belagte flatene (musikkinstrumenter) fremstilles det fortsatt saget finér.

De første finérene ble saget for hånd. Den første mekanisk drevne finérsag ble patentert i 1812 men det var ikke noen slik sag i bruk før i 1825. Den første knivskjæremaskin ble patentert i Frankrike i 1834, men noen særlig industriell anvendelse fikk ikke prinsippet før nærmere 30 år senere. Den første kjente oppfinnelsen av skrellemaskin stammer fra 1818. I USA og Frankrike ble maskiner som ser ut noenlunde som dagens finérskrellemaskiner (hvor tømmeret holdes som i en dreiebenk mellom to roterende sentre) patentert rundt 1840. Disse maskinene hadde en skjærehastighet på ca. 4-5 m/min.

Skrellemaskinen førte til utviklingen av en helt ny industri: kryssfinérfabrikasjonen.

Idag produseres det meste av finéret som skrellet finér og det anvendes enten i kryssfinér eller som bakfinér for å utbalansere knivskåret finér i møbelproduksjon.

Den knivskårne finéren anvendes stort sett for synlige formål, fronter, paneler og produksjon av limte laminerte møbler.

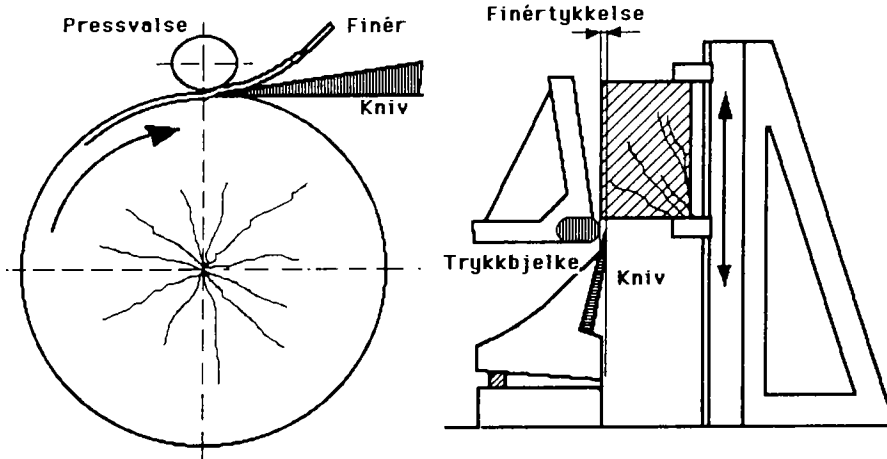
Kryssfinérproduksjonen anvendes selvsagt til mange formål men en større del brukes direkte eller indirekte i husbygging. I mange land (USA og Kanada nyttes kryssfinér som vi bruker sponplater i husbyggingen.

Verdens samlede produksjon av finérark, dvs. som ikke blir sammenlimt til kryssfinér i produsentlandet, har de siste årtiene ligget på litt i underkant av 5 millioner m<sup>3</sup> (2). Ca. 40% av dette kvantumet har blitt eksportert fra opprinnelseslandet. De største eksportørlandene var Elfenbenskysten, Kanada, USA, Brasil, Indonesia, Maylasia og Portugal. De største importlandene var USA, Japan, Frankrike, Tyskland, Italia og Storbritannia.

Kryssfinérproduksjonen, da slått sammen med produksjonen av møbelplater og liknende produkter har de siste årene ligget på rundt 50 millioner m<sup>3</sup>. De dominerende produsentlandene er Kanada, USA (38%), Brasil, Kina, Indonesia (18%), Japan, Korea, Maylasia og den tidligere Sovjetunionen.

Råstoffet til finérproduksjonen anvendes normalt rått og ved det meste av finérproduksjonen varmes råstoffet opp. Oppvarmingen skjer som regel ved at tømmeret dyppes i varmt vann eller ved at det legges inn i rom hvor damp kondenserer ut på tømmeret. For fremstilling av bartrefinér anbefales temperaturer i veden på fra ca. 55 °C til 90 °C, avhengig av treslaget. For løvtre vil en kunne greie seg med noe lavere temperaturer.

Selve finérskjæringen foregår enten som knivskjæring eller som skrelling.



Prinsippskisse av skrelling.

Knivskjæring hvor emnet beveger seg vertikalt forbi kniven.

### 3. Hovedformene for trebearbeiding

#### Sponfraskillende bearbeiding

- Hogging, kløving og teljing med machete, øks, kniv og ikke minst kile!

Anvendes ved produksjon av brenneved, gjerdevirke, enklere bygningsmaterialer (tak- og veggspen f.eks. For produksjon av bruksgjenstander ble trebitene grovteljet med øks og finbearbeidet med kniv. Mange spesialiserte verktøy - adze (tverrøks), stemjern, kniver av mange slag.

- Saging - med håndsag for kapping eller kløving. Prinsippet det samme i sagmaskinene - rammesag, sirkelsag, båndsag, kjedesag, stikksag etc. Anvendes ved tømmerhogst - øks er i dag et U-lands redskap ved trefelling, aptering, oppdeling av tømmer til trelast, videreoppdeling av trelast, både kapping og kløving. Med spesialiserte sagblader kan man ved tørt trevirke levere flater så glatte at de uten videre kan limes eller betraktes som ferdigbearbeidet.

- Høvling, dreining og fresing - i prinsippet som ved teljing med øks, kniv eller stemjern. Håndhøvelen er et urgammelt redskap - kjent fra det gamle romerriket. Prinsippet det samme med roterende verktøy - snittet foretas i mange små kutt.

- Boring - kompleks bearbeiding som både innebærer avskjæring av fibre og uthuling av små spon.

- Pussing - abrasiv bearbeiding med relativt uregelmessige skjæreegger - sandpapirpartkler.

#### Duktil bearbeiding

- Forming av treet ved at det bøyes, komprimeres, stukes, strekkes eller preges - anvendt ved båtbygging, produksjon av spaserstokker, ski av heltre samt ved møbelproduksjon, etc.

#### Bearbeiding ved ild eller forbrenning

- Gammel metode, laser den nye tids variant - har delvis erstattet svipennen og brennglasset. Men laser nyttes ikke bare til å dekorere treoverflater med, den nyttes også til skjæring av komplekse former og til boring av hull.

#### Bearbeiding ved erosjon

- Hydraulisk bearbeiding med væsker med høyt trykk. Tre skjæres i noen sammenhenger med hydrauliske stråler. Enkelte treslag har bark som er tykk og langfibret og vanskelig å barke på mekanisk vis.

#### Sammenføyning ved hjelp av lim

Helt fra oldtiden kjenner vi til at større trestykker og tildels komplekse former som vanskelig lar seg utforme ved det vi vanligvis forstår ved bearbeiding har blitt laget ved at mindre trestykker er føyet sammen til større ved hjelp av forskjellige stoffer som har fungert som lim. I vår tid har limingen fått stadig større betydning og selv om det kan diskuteres er liming av tre i denne boken tatt med som en av bearbeidingsprosessene.

#### Bearbeidingskjeden

Trær som sådan har liten anvendelsesverdi. Våre forfedre gjorde hva de kunne for å bli kvitt trærne slik at de fikk dyrket jorden eller kunne anvende den som beitemark.

Materialfremstillingskjeden for trevirke er relativt lang. Trær felles - stammene apteres - deles opp - i Norden i skogen men mange andre steder først på sagbruket - vi får tømmer (3,5 - 6 m er vanlig hos oss idag, men andre steder skjæres helt opp til 10 m lengder, og enda lengre). Tømmeret skjæres ved sagbruket. Under skuren (som er det faguttrykket som sagbruksfolkene nytter for skjæring av tømmer og som man benytter i landbruket for skjæring av korn) deles tømmeret - som er tilnærmet rundt, tilnærmet rett og konisk, opp til parallelepipeder med rektangulært tverrsnitt. I denne prosessen er det vanlig at bare ca. 50 % av tømmervolumet er utnyttbart til trelast - dvs. planker og bord.



En prosess som det er knyttet stor interesse til men som vi bare såvidt det er utnytter i Norge er finerskjæring. Ved finérfremstilling oppstår det ingen sagflis - til forskjell fra ved saging hvor det ihvertfall må regnes med 10 % sagflis.

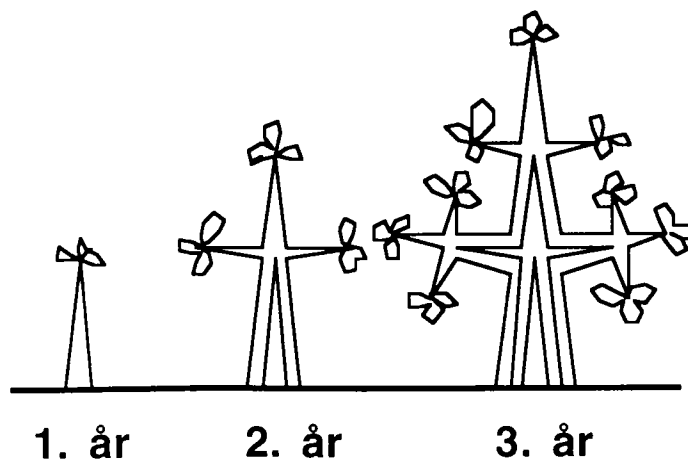
Planker, bord og finér er imidlertid bare halvfabrikata - de fortsetter videre inn i en foredlings- og bearbeidingskjede fram til hus, gjerder, møbler, trevarer og tusenvis av andre produkter. Under transformasjonen til ferdigprodukter gjennomgår trevirket normalt en rekke bearbeidingstrinn.

## 4. Trevirket som et materiale

Trevirke har enkelte særegenheter i forhold til de fleste andre materialer som bearbejdes. På grunn av det mangfold av arter vi har, det regnes med at det er over 23.000, er det vanskelig å beskrive alle trevirkets egenskaper med få ord. Dette fordi det er mange arter men også fordi egenskapene varierer ganske mye. Som skal diskuteres siden er mange av de egenskapene som er viktige i bearbejdingssammenheng knyttet til densiteten. De letteste treslagene (balsa (*Ochroma lagopus*) f.eks.) har en tørrdensitet på ca. 0,1 g/cm<sup>3</sup>. De tyngste treslagene vi kjenner (f.eks. pokkenholt (*Guaiacum officinale*)) har en tørrdensitet som ligger på ca. 1,2 g/cm<sup>3</sup>. Vi ser således at mens forholdet mellom de tyngre og de lettere metallene kan ligge i størrelsesorden 3:1 ligger det for trevirkesslag på hele 12:1. De mest alminnelige anvendte treslagene i vår del av verden har imidlertid tørrdensiteter som ligger i området 0,35 - 0,75 g/cm<sup>3</sup>. Hos oss er de mest anvendte treslagene gran, furu, bjørk, eik og bøk som alle har densiteter i det nevnte intervallet.

Trevirkets særegenheter knytter seg først og fremst til at trevirket som et biologisk materiale er bygget opp av celler. Treets vekst skjer ved at det ut fra et celledelende lag, kambiet, som ligger mellom barken og veden (egentlig ligger kambielaget innenfor basten), avsettes vedceller innover og bastceller utover. Dette betyr at trevirket vokser utenpå og ovenpå seg selv.

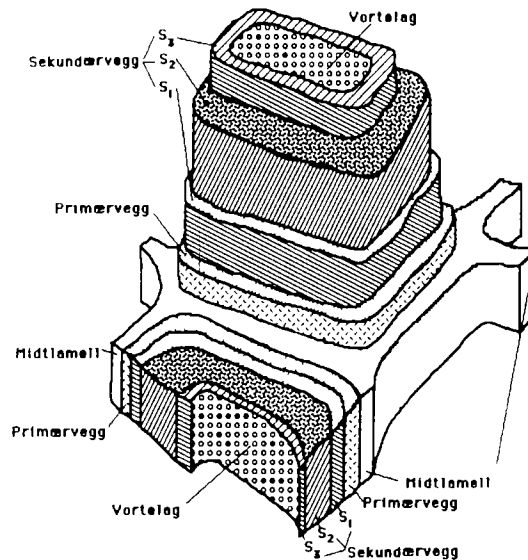
Treets første spire vokser opp fra frøet og avslutter vekstsesongen ved at det i enden dannes en endeknopp og flere sideknopper som ligger klare til neste års vekst. I neste vekstsesong dannes et nytt toppskudd oppå det første ved at endeknoppen vokser oppover og treet vokser i lengden. Sideknoppene danner grenskudd ved å vokse utover til siden og slik dannes grenene. Knoppenes vekst setter av de brune cellene som danner marginen i stamme og grener.



En vesentlig faktor ved skuddenes virksomhet er at de legger etter seg et lag av celler som har en evne til fortsatt å dele seg. Dette laget kalles kambiet (sevjelag). Det ligger mellom veden og basten (innerbark).

Når endeskuddene begynner å vokse, påvirkes også cellene i kambiet, og ved deres deling øker treets tykkelse. Cellene i kambiet setter av de fleste cellene innover til ved (ca. 80%) og noen til nødvendig bast og bark utover (ca. 20%). Trærne legger altså på seg utenpå og ovenpå seg selv!

Alle cellene som dannes i kambiet er i utgangspunktet like, men straks etter dannelsen begynner de å strekke og utvide seg. Det er under denne prosessen de forskjellige celletypene dannes til de ulike formål.

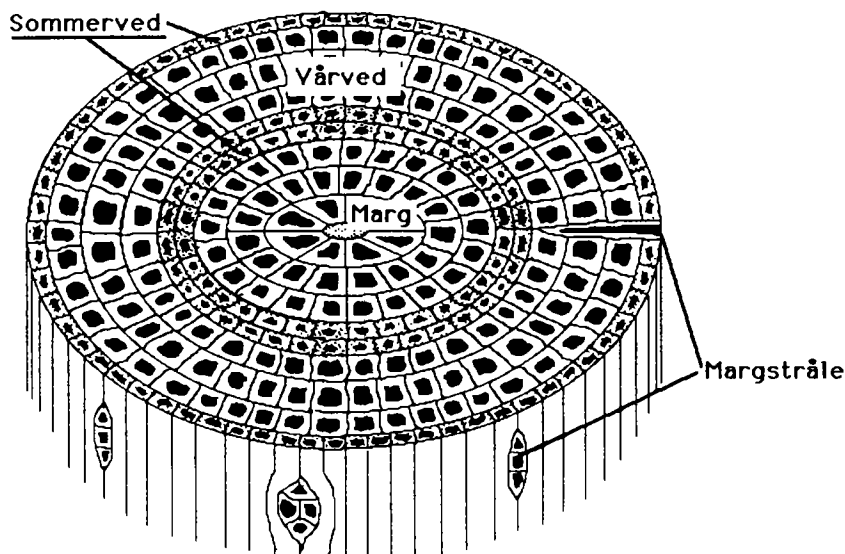


Når cellene etableres avsettes det først en primærvegg med fibriller i relativt tilfeldig orientering. Når primærveggen er etablert er cellens volum avgrenset. På innsiden av primærveggen dannes så sekundærveggen, den består normalt av tre forskjellige lag av fibriller. Det ytterste, som dannes først og derfor benevnes S<sub>1</sub> har fibrillene liggende i en stor vinkel i forhold til cellens lengderetning. Innenfor S<sub>1</sub> etableres og bygges så S<sub>2</sub>-laget opp. Dette har fibrillorienteringen nokså nær parallelt med cellens lengderetning. På innsiden av S<sub>2</sub>-laget etableres og dannes så det tredje sekundærlaget: S<sub>3</sub>. Fibrillene i S<sub>3</sub>-laget har en orientering som danner en stor vinkel i forhold til cellens lengderetning.

Inn mot vakuolen (cellehulrommet) dannes det oftest et tettende skikt. Hos mange treslag er dette tettende sjiktet forsynt med vortelignende utvekster og benevnes derfor vortelaget.

### Årringer og margstråler

Hvert år avsetter kambiet en sylindrerformet vedmasse. Tilveksten som dannes har forskjellig farge og struktur i begynnelsen og slutten av vekstperioden. Dette fremtrer som årringer på tverrsnittet av en stamme. De cellene som avsettes om våren eller på forsommeren har større tverrsnitt og er ofte mer tynnveggede enn de som avsettes senere på sommeren. Dette kalles vårved. Hos våre trær danner vårveden den lyse delen av veden. Vårveden har til oppgave å sørge for rask transport av vann og næringsstoffer.



Sommerveden (høstved) har tykkveggede celler med små hulrom.

Hos bartrærne våre er vårvedsonens bredde (tykkelse?) avhengig av vekstforholdene om våren. Er det gode vekstvilkår blir det avsatt en bred vårvedsone. Sommervedsonen hos bartrærne er imidlertid mer konstant av størrelse fra år til år. Dette betyr at jo fortere bartrær vokser dess større andel av veden blir vårved. Derfor vil raskvokst bartrevirke ha lavere densitet enn mer seintvokst bartre.

Hos ringporige løvtrær (f.eks. eik (*Quercus robur*), ask (*Fraxinus excelsior*), teak (*Tectona grandis*)) varierer vårvedsonen lite i bredden og når årringene er brede vil det være sommervedsonen som utgjør en stor del og veden får en høy densitet.

Hos spredtporige løvtrær (f.eks. osp (*Populus tremula*), bjørk (*Betula verrucosa*)) ser det ikke ut til at densiteten varierer noe særlig med årsvekstene. Hos disse treslagene er også årringene ofte utydelige (bjørk f.eks.).

Celleveggene er bygget opp av cellulosemolekyler som har form av lange tynne "tråder" og som er organisert i en slags "bunter" som vi gjerne benevner mikrofibriller. Disse er igjen organisert i litt større enheter, de såkalte fibrillene. Cellulosemolekylene er kittet sammen av amorfe og termoplastiske stoffer, lignin og hemicelluloser. Når trevirke belastes til brudd vil bruddet som oftest skje ved at cellulosemolekylene rives eller glir fra hverandre.

Pga. celleutformingen og det at trærne vokser slik at de etterhvert nærmest blir bestående av lag på lag av koniske, konsentriske rør hvor hvert "rør" karakteriserer en årring, får trevirket svært forskjellige fasthetsegenskaper i de forskjellige retningene. Vi skjeller for enkelthets skyld gjerne mellom egenskapene i longitudinal retning, i tangential retning og i radial retning.

Fordi hovedmengden av cellulosefibre følger treets vekstretning bli styrken størst i denne retningen. Særlig er trevirkets strekkstyrke i lengderetningen bemerkelsesverdig høy. Trykkstyrken langs vekstretningen er normalt mindre enn strekkstyrken. Dette skyldes at de enkelte cellene danner relativt slanke rør som vil ha en tendens til å knekke eller "bukle" seg når de sammentrykkes lengdeveis. I den såkalte stukingsprosessen som omtales i et senere kapittel er det nettopp denne egenskapen hos trevirke som utnyttes.

Styrkeegenskapene i radial og tangential retning er ofte bare brøkdeler av hva de er i longitudinal retning. Særlig gjelder dette strekkbruddfastheten. Dette innebærer at trevirke kan være lett å spalte, som når vi kløver en vedkubbe med øks, men vanskelig å kappe tverrs av fiberretningen.

### **Årringene**

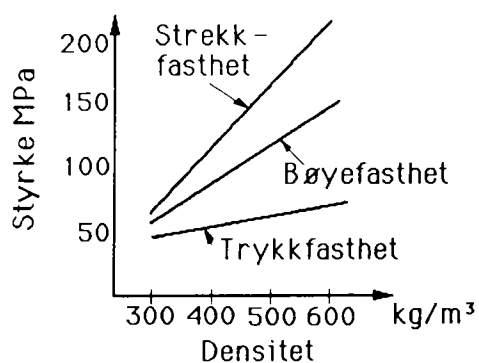
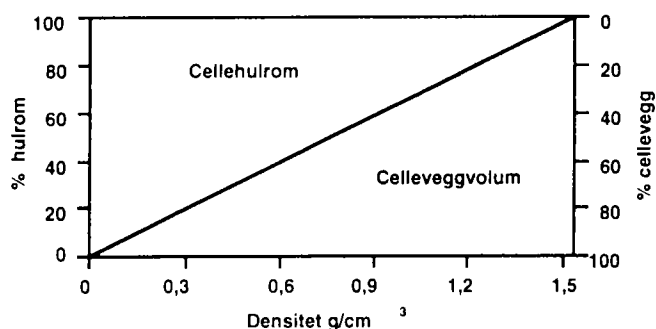
Årringene og forskjell innen årringene med hensyn på densitet har selvsagt innvirkning på bearbeidingsforholdene. Med stor forskjell i densitet vil årringene markere seg ved flaskbearbeiding. Vårveden lar seg komprimere mens sommerveden bearbeides. Når vårveden "tar seg igjen" vil den komme opp og stå som bølger i en bearbeidet overflate.

### **Margstrålene**

I enkelte treslag er cellemengden i margstrålene relativt stor og den har åpenbart innflytelse på både trevirkets styrke i radial og tangential retning.

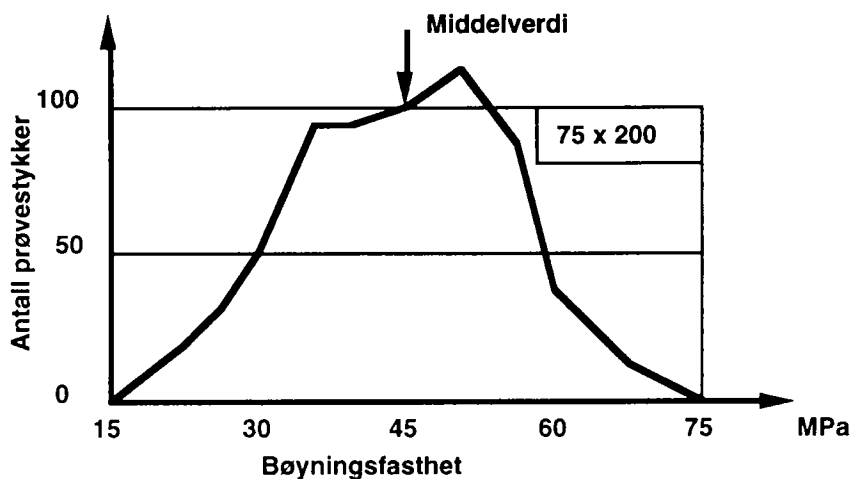
### **Cellestrukturen og densiteten**

Trevirket kan sammenliknes med en bunt sugerør.



### Variasjonene innen treet, mellom trærne og mellom treslagene

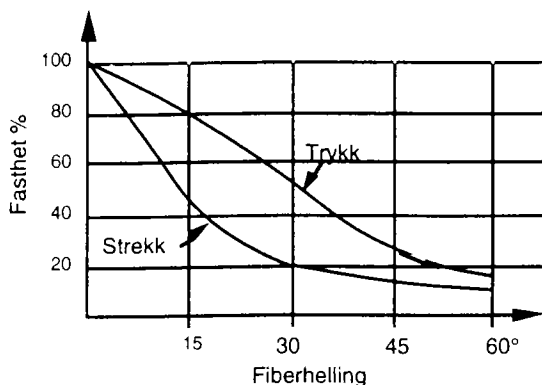
Trevirke har ofte større variasjoner både innen det samme treet og mellom trær av samme treslag enn mellom forskjellige treslag. Figuren under gjengir resultatene av en større undersøkelse av styrken av et stort antall planker av gran som ble belastet til brudd. Det er verdt å merke seg at de sterkeste plankene tålte hele 5 ganger så mye som de svakeste.



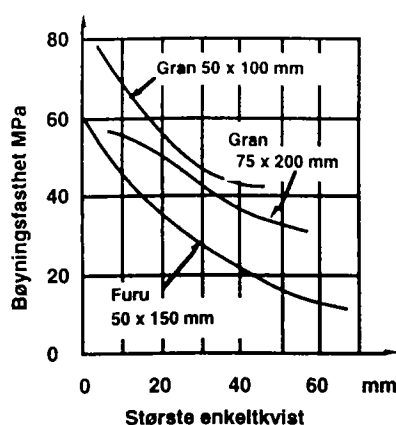
Hypphetsfordeling av bøyingsfasthet gran - full størrelse

Forklaringen på disse variasjonene er flere, densiteten, fiberhellingene, vanninnhold, for å nevne noen.

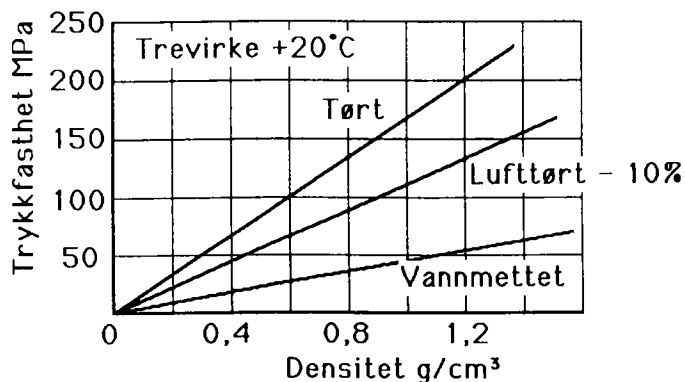
Densiteten er en viktig styrkeparameter. En viktig faktor og som er meget vanskelig å vurdere rent visuelt er at de mikrorørene som trevirket er bygget opp av i perioder av trærnes liv ofte vokser i en spiralform.



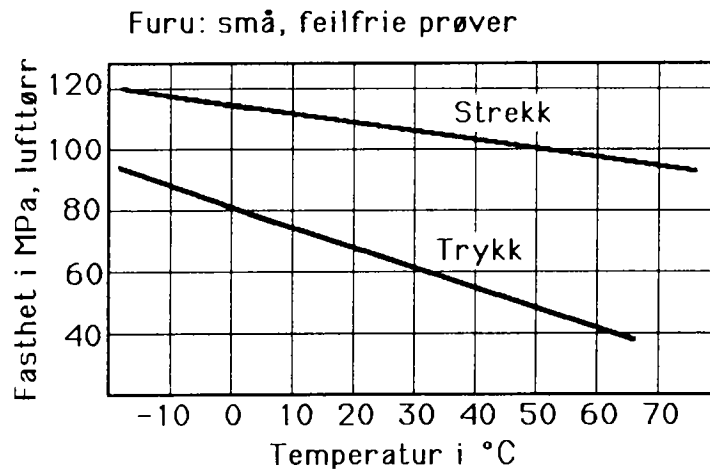
Det betyr at vi i endel konstruksjonsvirke får det vi kan kalle skråfibrighet og som er en sterkt styrkenedsettende faktor. I tillegg til de nevnte faktorene finnes det en rekke styrkenedsettende faktorer som er langt lettere å observere og dermed ta hensyn til. Kvister og de fiberforstyrrelser som opptrer rundt disse er de faktorene som har størst betydning.



Tre er hygroskopisk. Fordi vannmolekylene er innleiret i celleveggen og på det vis bidrar til å holde de enkelte fibrillene fra hverandre sveller treet og molekylkreftene mellom de enkelte cellulosekjedene minker. Samtidig bevirker utsvellingen at det blir mindre relativ tetthet og dermed mindre materiale til å ta opp kreftene. I diagrammet nedenfor er vist sammenhengen mellom trykkfastheten og forskjellige grader av fuktighet som funksjon av densiteten for furu.



Temperaturen er en annen faktor som har innvirkning på trevirkets styrkeforhold. Hemicellulose og lignin er termoplastiske, dvs. de mykner ved oppvarming. Dette innebærer at trevirket blir svakere dess høyere temperaturen blir. Ved temperaturer over 100° C blir ligninet såvidt plastisk at endel treslag relativt lett lar seg bøye og forme.



### Kompositter.

Etterhvert har det kommet i produksjon en rekke sammensatte materialer hvor trevirke utgjør en større eller mindre bestanddel. Hensikten med å lage sammensatte materialer er å kombinere viktige egenskaper i de enkelte bestanddelene slik at det nye produktet får andre eller nye egenskaper. Det kan dreie seg om å få større grad av frihet fra krymping/svelling, få fram store plater eller store lengder. Videre kan det dreie seg om å få fram jevne, forutsigbare egenskaper eller simpelthen å produsere et råstoff eller halvfabrikata som kan konkurrere på pris.

Materialene kan være sammensatt på mikroplanet, dvs. hvor de enkelte materialslagene inngår som veldig små deler, som lim i en MDF-plate, eller på makroplanet hvor de enkelte bestanddelene tydelig kan skjelnes fra hverandre. Sammenbindingen av de enkelte bestanddelene kan være basert på kjemiske eller mekaniske prinsipper avhengig av bindemidlets virkemåte.

Listen over kompositter med tre som basis eller som et av hovedmaterialene øker stadig:

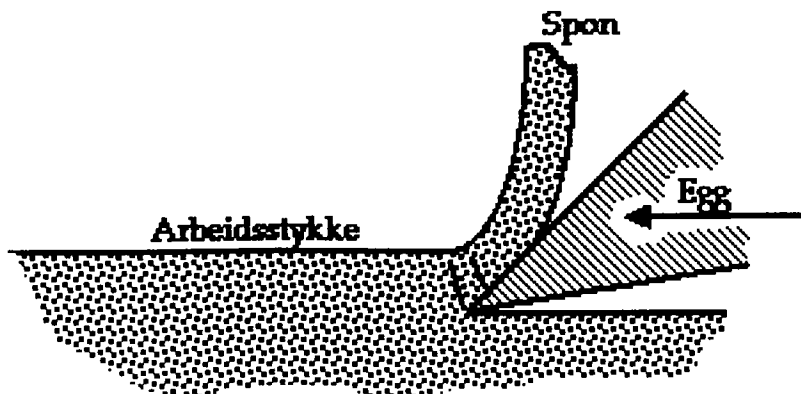
- Kryssfinér, møbelplater.
- Sponplater.
- Treullcement.
- Treplast.
- Limtre.
- LVL.
- Parallam.
- Scrimber.
- Laminatplater.
- I-bjelker.
- Armert tre.
- MDF-plater.

## 5. Skjærende bearbeiding

Bearbeiding betyr å forandre arbeidsstykket. Bearbeiding med skjærende verktøy er det vi som oftest mener med bearbeiding. Skjæring innebærer at det i ett eller annet plan opptrer spenninger som er så store at materialet brister. Ren skjæring opptrer f.eks. når vi klipper noe med en saks. Trevirket er utformet svært likt en sammenlimt bunt med sugerør, riktignok med atskillig mindre diameter på rørene. Dette gjør at når trevirke skal bearbeides med verktøy blir det svært viktig hvordan cellenes orientering er i forholdet til verktøyets utforming og dets skjærebevegelse.

### Skjæring

Med skjæring forstår vi at vi deler opp materialet ved hjelp av et skjærende verktøy, et eggverktøy. De klassiske verktøyene er forskjellige utforminger av kniver og økser og disse har bare en egg. Sagbladene derimot har et større antall skjærende egger. Når eggen klemmes mot materialet oppstår det spenninger i materialet som til slutt blir så store at materialet brister. Jo skarpere eggen er dess mindre behøver trykket å være for at spenningen i materialet akkurat under eggen blir så høyt at materialets styrkeegenskaper overskrides. I materialer som er isotrope, dvs. at de har de samme materialegenskapene i alle retninger, spiller det ingen rolle hvordan verktøy og arbeidsstykke beveger seg i forhold til hverandre. I figuren er vist hvordan skjæring skjer når en verktøyegg beveger seg gjennom et slikt materiale.



Figur 1

I trevirke blir bildet annerledes og helt avhengig av hvilken vei verktøyet beveger seg relativt til arbeidsstykket.

Betrakter vi de fleste trebearbeidingsoperasjonene som vi foretar med eggverktøy nærmere vil vi finne at de grovt kan deles inn i to hovedkategorier:

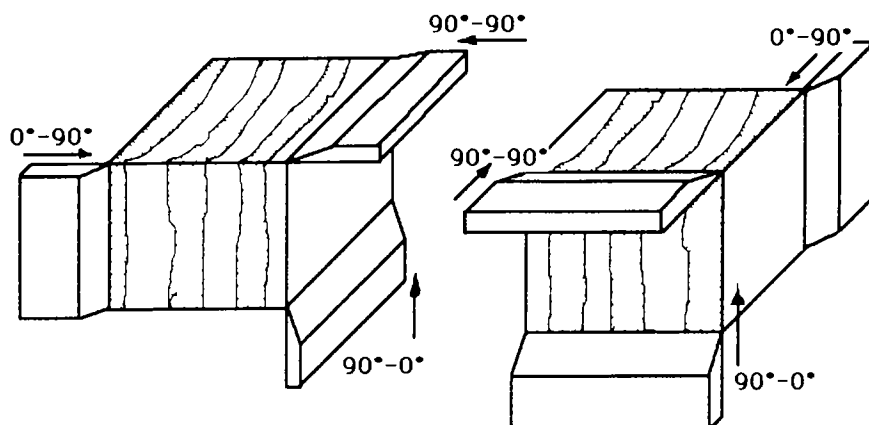
1. Verktøyeggen beveger seg vinkelrett på treets fiberretning
2. Verktøyeggen beveger seg parallelt med treets fiberretning

I tillegg finnes det selvsagt en rekke kombinasjoner hvor verktøyeggens bevegelsesretning danner en eller annen spiss vinkel med treets fiberretning.

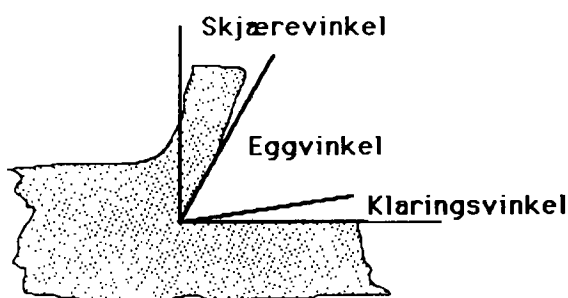
De som først satte ord og matematikk på fenomenene knyttet til skjæring av tre var Eero Kivimaa i 1950 (Finland), Norman Franz i 1958 (Kanada) og William McKenzie i 1960 (Australia).



Fordi tre er som det er må vi være presise når vi beskriver hvilken vei verktøyet beveger seg relativt til treet fiberretning og hvilken orientering verktøyet har i forhold til fiberretningen.



Vinklene i forbindelse med skjæring må vi også kjenne:



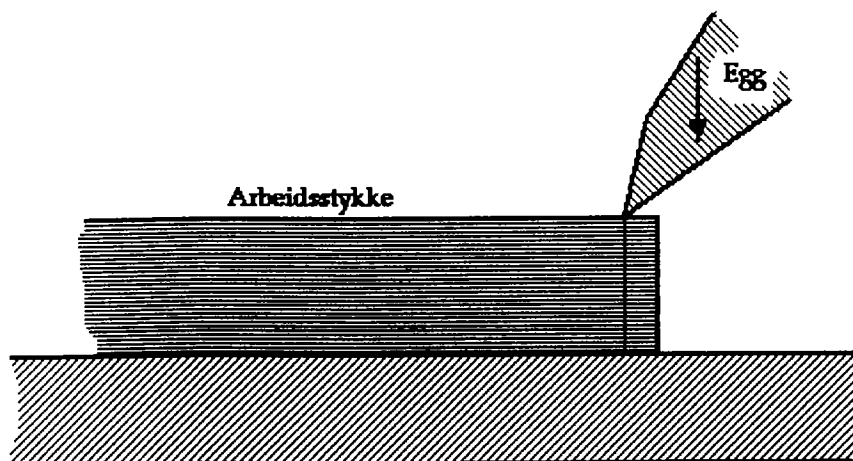
Illustrasjonen over viser et verktøy som beveger seg fra høyre mot venstre. Vinkelen mellom normalen på snittflaten og fronten på verktøyet benevnes i denne boken skjærevinkel. Noen kaller den også for sponvinkel. Vanlig i trebearbeiding er at skjærevinkelen er i området fra 10° til 30°. Jo hardere trevirket er, dess mindre vinkel anvendes normalt og omvendt: jo mykere trevirket er, dess større skjærevinkel anvendes. Når trevirke bearbeides komprimeres det ofte på undersiden av snittlinjen. I det samme eggen har passert vil det komprimerte trevirket ekspandere og dersom verktøyet ikke har en klaringsvinkel vil man få friksjon mellom det ekspanderende trevirket og verktøets underside. Slik friksjon fører til oppvarming, unøyaktigheter og unødig verktøyslitasje. Derfor anvender vi ved trebearbeiding klaringsvinkler som kan gå helt opp til 10°. Jo hardere og fastere trevirket er dess mindre kan vi gjøre klaringsvinkelen og omvendt: jo mykere treet er dess større klaringsvinkel bør vi anvende. Selve eggvinkelen blir avhengig av hvor stor skjærevinkel og hvor stor klaringsvinkel vi vil benytte.

$$\text{Eggvinkel} + \text{skjærevinkel} + \text{klaringsvinkel} = 90^\circ$$

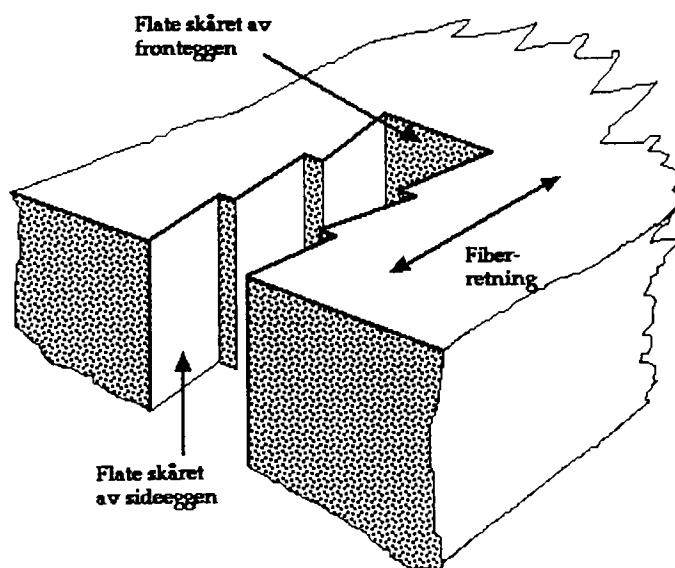
Jo mindre eggvinkelen blir dess lettere vil normalt verktøy trenge inn og skjære det materialet det dreier seg om, men samtidig blir eggen mer utsatt for slitasje og at det oppstår hakk. Jo lettere verktøyet arbeider dess lavere blir kraftforbruket. Også snittflaten blir normalt glattere og jevnere med små eggvinkler og dermed store skjærevinkler. For harde og tunge materialer tilstreber vi store eggvinkler og omvendt: for lette og myke materialer vil vi gjerne ha små eggvinkler, dvs. spisse og skarpe egger.

### Skjæring på tvers av fibrene - som når vi sager: 90° - 90° - verktøyeggen beveger seg vinkelrett på treets fiberretning

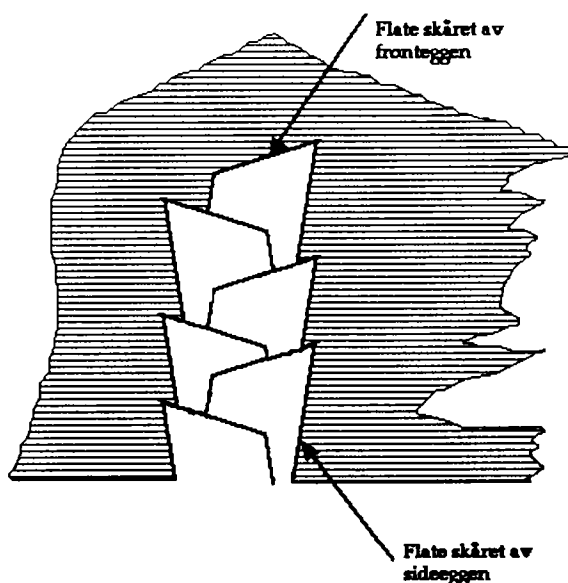
Den første formen for bearbeiding finner vi typisk når vi kapper eller kløver trevirke med sagblader eller når vi benytter f.eks. et stemjern. Selv ved bruk av sirkelsagblader vil vi i mange tilfelle se at tennene for en stor del av snittet beveger seg i vinkler som ligger nær vinkelrett på fiberretningen. Noen ganger når vi skjærer trevirke vinkelrett på fiberretningen er det for f.eks. å oppnå en pen endeplate på en trebite. Ved bruk av et stemjern eller en pusshøvel når vi støter en endeplate av et trestykke er det denne effekten vi er ute for å oppnå, se figuren.



Når vi f.eks. kløver trevirke blir bildert et annet. Sagtanna (ihvertfall gjelder det en hardmetalltann) har tre flater som skjærer i trevirket. Fronteggen har som hovedoppgave å kappe fibrene på tvers av deres lengderetning. Sideeggene har som oppgave å skjære sagflisbiten løs fra det omkringliggende virket. Når vi har kløvet et stykke og ser på snittflatene er det resultatet av sideeggens virksomhet vi betrakter. Fronteggens effekt på trevirket lar seg lettest betrakte når vi ser på de sagflisbitene som sagbladet har skåret ut. I figuren under er forsøkt illustrert de forskjellige snittflatene vi får når vi kløver virke på langs med et blad med f.eks. hardmetallbestykkete tenner.

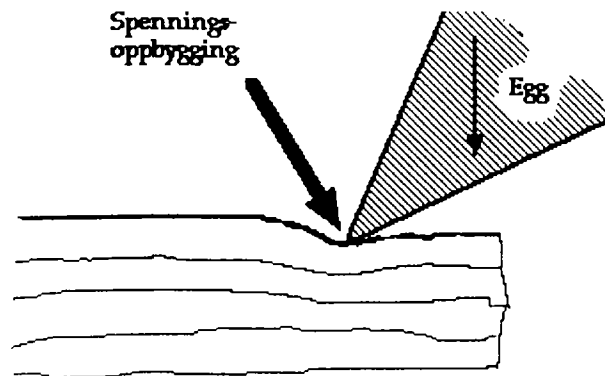


Kapper vi trevirke med et kappsagblad blir effekten noenlunde den samme. Den flaten vi betrakter vil være endesnippet og det vil ved en kappsagoperasjon dannes av sideeggen. Fordi det er vanskeligere å kappe fibre rett av enn det er skjære de langs lengderetningen blir imidlertid selve flatene som regel svært forskjellige ved de to formene for bearbeiding vinkelrett på fiberretningen. Mange kappsagblader er laget slik at en har tenner som skjærer og kapper fibre vekselvis på den ene og den andre siden av sagflisen. Noen kappsagblader har også en egen tannform på f.eks. tredje hver tann med en frontegg som har som oppgave å skjære løs og fjerne sagflisen fra sagsnittet. I neste figur er vist hvordan snittene faller når det kappes med et vigget blad (båndsag, sirkelsag eller håndsag for kapping) med skråslipt frontegg. Det er sideeggene som skjærer av fibre og det er denne endeflaten vi ser når vi betrakter endeflaten av en kappet trebite.



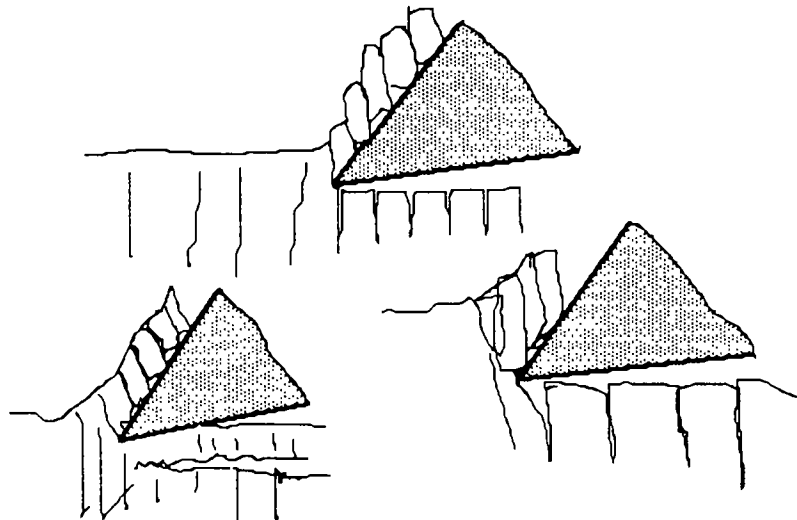
Fordi de to bearbeidingsformene, kapping og kløving, skjer best med spesialtilpassete sagblader lønner det seg som regel å anvende spesialblader og ikke kappe med en kløvsag eller omvendt. Ved håndsaging merker en det tydelig dersom en forsøker å kløve et bord med en kappsag eller omvendt. For mange formål kan en nytte kombinasjonsblader som er laget med alternerende tannformer slik at bladene fungerer rimelig godt både som kløvsagblader og som kappsagblader. Mange av de sagbladene som leveres til bruk for håndsirkelsager er slike kombinasjonsblader.

Som nevnt må det et visst trykk til før eggen tar til å skjære. Med det samme eggen møter trestykket skjer det selvsagt ingenting. Eggen beveger seg imidlertid ubønhørlig inn mot og etterhvert innover i materialet. Materialet der eggen møter trevirket blir trykket sammen og vi sier det skjer en spenningsoppbygging rett under eggen. Jo spissere eggen er dess mindre areal vil trykk-kraften bli fordelt på. Spenning uttrykker vi som kraft per flateenhet og med en gitt kraft betyr en minskning av flaten at spenningen øker. Ethvert materiale har en grense for hvor stor spenning det tåler. Den spenningen som svarer til hva materialet må utsettes for i det øyeblikket det brister kaller vi for bruddspenningen.



Når deformasjonen under verktøyeggen blir så stor at spenningen når bruddgrensen starter selve skjæreprosessen. Mange av de treslagene vi normalt bearbeider er relativt myke og det innebærer at de lar seg komprimere ganske mye før spenningsoppbyggingen overstiger bruddgrensen. Jo hardere, dvs. jo tyngre, treslaget er, dess raskere vil den spenningen som bygger seg opp overstige trevirkets bruddgrense. Det er det som gjør at det er lettere å få en glatt og fin endeflate i tverrved når vi høvler et stykke hardved enn når vi gjør det samme med et stykke raskvokst furu eller gran.

I det øyeblikket trevirkets bruddgrense overskrides skjæres det av en rekke celler og det fortoner seg ofte på et vis som en slags utløsning. Det betyr at vi ofte får skåret over en hel liten bunt av celler. Ofte avsluttes "buntene" med en sprekk som går et stykke inn i endeveden der verktøyet nettopp passerte. Når denne buntene er overskåret gjentar det samme seg. Verktøyet komprimerer trevirket, det bygges opp et trykk per flateenhet som tilsvarer en spenning over skjærbruddgrensen på tvers av fibrene og så skjæres en ny liten bunt av celler av. Jo hardere og stivere trevirket er, dvs. jo tyngre og/eller tørrere det er, dess mindre blir "buntene". Rått, frovokst (raskvokst) virke av mange bartresorter og av lette lauvtreslag er det nesten umulig å kappe "pent".



Noen ganger er forholdet mellom trevirkets egenskaper og verktøyets vinkler slik at fibrene (dvs. cellene i veden) bøyes og brytes/trekkes av i et plan som ligger under det planet den skjærende eggen beveger seg i. Når noen av og til kanskje har undret seg over at enden på veden ser så "opprevet" ut skyldes det at det har skjedd slike brudd, dvs. at flis på et vis er revet ut av flaten.

**Verktøyeggen beveger seg parallelt med treets fiberretning**

Den andre hovedformen for bearbeiding inntreffer når verktøyet beveger seg langs treets lengderetning, som f.eks. når vi høvler, bruker sikling eller pusser med sandpapir. Både når vi høvler med en håndhøvel og med en maskin med roterende kutter, som når vi avretter eller tykkelseshøvler, arbeider verktøyet normalt nokså parallelt med fibre. Svært mye av det vi gjør i snekkerfaget dreier seg egentlig om parallellbearbeiding.

På samme vis som når vi bearbeider trevirke på tvers av fiberretningen vil verktøyet etterhvert bygge opp en spenning som får trevirket til å bryte sammen. Det som er viktig med parallellbearbeiding og som gjør at den blir svært forskjellig fra bearbeiding på tvers av fibre er at trevirke er lett å spalte langs fiberretningen. Det er den effekten vi nytter når vi hogger ved! Det bruddet som vi får ved parallellbearbeiding er derfor ofte en spalting av trevirket. Dvs. at verktøyet nærmest virker som en kile og får veden til å sprekke. Som nevnt tidligere er tre stivt men har samtidig relativt svake styrkeegenskaper på tvers av fiberretningen.

Når vi bearbeider trevirke parallelt med fiberretningen skjelner vi gjerne mellom tre forskjellige sponformer:

Sponform 1. Trevirket spaltes foran eggen

Sponform 2. Trevirket skjæres av eggen

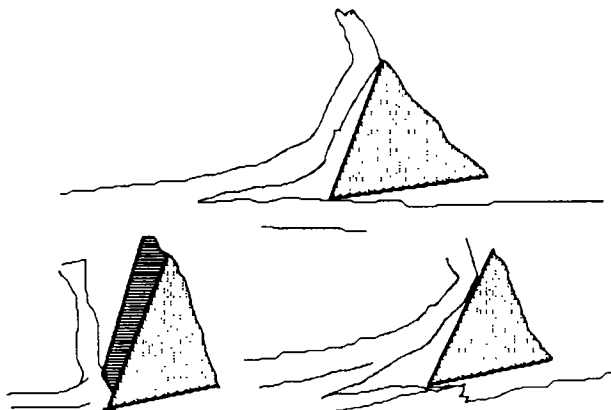
Sponform 3. Trebrudd skjer som et trykkbrudd langs en skjærelinje foran eggen

I den neste artikkelen skal vi mer detaljert ta for oss hva som skjer når vi bearbeider tre langs fiberretningen. Ofte er det slik at det samme verktøyet starter med å gi oss sponform 1, når det sløves litt - men akkurat passe mye - blir snittet penere - da har vi sponform 2, når verktøyet sløves ytterligere får vi en flate som er dannet ved det vi kaller sponform 3. og da er det på tide å bryne, slipe eller skifte verktøy.

### **Sponform 1. Trevirket spaltes foran eggen**

Dersom vi tar et verktøy, som f.eks. en pusshøvel, og starter et kutt langs fiberretningen vil eggen på et vis kile seg inn i endeveden på arbeidsstykket. Pga. kilevirkningen vil en spon som svarer til snitt-tykkelsen bli revet løs fra den underliggende veden. Enden på den sponen som dannes vil gli opp langs fronten på høvelstålet. Jo stivere trevirket er dess stivere vil en slik spon selvsagt være. Det betyr at tørt trevirke lettere vil spaltes foran eggen enn trevirke med høy trefuktighet. Jo større kutt vi tar, dvs. jo tykkere spon vi forsøker å lage dess stivere vil sponen også være. Hvis fronten på eggen er svært glatt vil sponens ende lett gli opp langs flaten og forsterke spaltevirkningen. Jo spissere verktøyet er og jo større skjærevinkelen er, dess lettere vil også forspaltingen opptre.

### **Sponform 1**



## Professor Rolf Birkeland

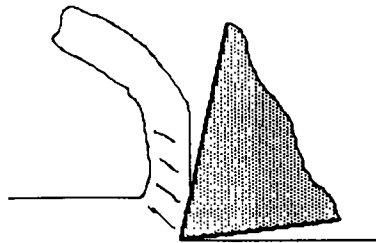
Dersom fiberretningen i det trestykket vi bearbeider er eksakt parallell med verktøyets skjæretning vil selvsagt ikke en spalting av treet som løper foran eggen ha noen betydning. Heller ikke vil det representere noe problem dersom fiberretningen er slik i forhold til verktøyets skjærelinje at fibreene skjæres av. I det vi vanligvis kaller motved, dvs. hvor fibreene ligger som antydnet i skissen nederst til høyre i tegningen av sponform 1, vil vi få fiberutriv og fibreene vil sprekke ned under det planet vi gjerne vil at høvelen skal skape.

For å forhindre at vi får denne spaltevirkningen som er beskrevet kan vi endre verktøyvinklene, vi kan redusere sponykkelsen og vi kan forsyne verktøyet med en sponbryter som skissert nederst til venstre i tegningen av sponform 1. For at en slik klaffing som vi gjerne kaller det, på f.eks. en pusshøvel, skal virke som forutsatt må avstanden fra eggen og til kanten på klaffen helst være omtrent like stor som den tilsiktede sponykkelsen. Det som vil skje når klaffingen er riktig er at treet ikke vil forspaltes og vi får det vi benevner sponform 2.

### Sponform 2. Trevirket skjæres av eggen

Sponform 2 dannes ved at trebruddet skjer like foran eggen. Det skapes skjærpåkjenninger som får fibreene til å komprimeres langs linjer som går diagonalt fra verktøyeggen og opp til oversiden av den spon som dannes, samtidig som materialet skjæres av rett ved eggen. Sponform 2 som er ganske lik den vi har ved f.eks. dreining av metaller gjør at det dannes sammenhengende spiralformete spon. Jo tykkere spon vi tar dess større radius vil sponen ha.

### Sponform 2



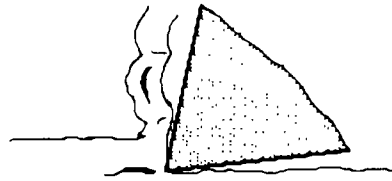
Sponform 2 gir oss en meget fin flate og det er denne sponformen vi tilstreber ved høvling og annen trebearbeiding parallelt med fiberretningen. Alle som har arbeidet noe særlig med håndverktøy vet hvordan man i endel tilfelle får fram ideelle glatte flater samtidig som det dannes lange fine spiralformete høvelspon.

Sponform 2 får vi lettest når vi anvender liten sponykkelse, treet ikke er hverken for fuktig eller for tørt og når vi har en middels skjærevinkel - eller bruker en sponbryter. Sammenlikner vi kraftforbruket og verktøyslitasje for sponform 1 og sponform 2 vil vi finne at sponform 2 gir større kraftforbruk og større verktøyslitasje enn hva sponform 1 gir.

### Sponform 3. Trebrudd skjer som et trykkbrudd langs en skjærelinje foran eggen

Når verktøyet blir tilstrekkelig sløvt vil vi ofte få en tredje sponform og som vi følgelig benevner sponform 3. Når verktøyet går i inngrep med trestykket vil fibreene foran eggen komprimeres inntil trykkbelastningen blir så stor at det skjer et brudd langs en linje framfor eggen. Det treet som rives løs blir skjøvet eller kastet oppover og vekk fra skjæresonen. Det bruddet som danner den bearbejdede flaten vil ofte ha et ullent eller loddent preg og i områder med motved vil det oppstå en sterkt opprevet flate.

### Sponform 3

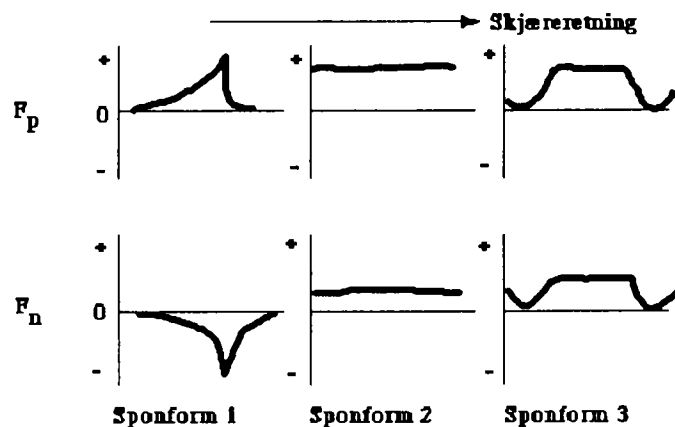


Sponform 3 opptrer gjerne som et resultat av en eller flere av følgende faktorer:

- Små positive eller negative skjærevinkler
- Sløve verktøy - dette gir som regel små positive eller negative skjærevinkler fordi eggen er avrundet
- Meget lav eller meget høy trefuktighet
- Høy friksjon mellom spon og verktøyets frontside

### Skjærekraftene er forskjellige for de tre sponformene.

Sammenlikner vi de kreftene som opptrer for de tre sponformene vil vi finne meget karakteristiske forløp. Vi pleier gjerne å dele den kraften som virker på verktøyet i to komponenter. Den ene som virker rett mot verktøyets bevegelsesretning kaller vi gjerne for den parallelle skjærekraften ( $F_p$  i figuren under) mens den andre som virker normalt (vinkelrett) på verktøyets bevegelse kalles for normalkraften ( $F_n$  i figuren under).



Ved sponform 1 får vi et karakteristisk forløp. Når spondanningen starter og spona tar til å klatre oppover verktøyets front øker parallellkraften og normalkraften inntil spona brekker av. Når det inntreffer synker de kreftene som påvirker verktøyet nesten til 0. Så treffer verktøyet veden igjen og det hele gjentar seg i en syklisk prosess. Verdt å merke seg er at normalkraften har en negativ verdi i diagrammene over. Det betyr at verktøyet trekkes ned i materialet - eller at trestykket løftes opp og inn i verktøyet. Noen og hver kan ha opplevd at man ved høvling med roterende kuttere, som f.eks. i en moulding, kan få ut arbeidsstykker som blir tynnere mot bakenden. Da ligger ofte forklaringen i at verktøyet og skjærebetingelsene fremmer sponform 1.

Sponform 2 har et helt annet skjærekraftforløp. Både parallellkraften og normalkraften er noenlunde konstant og dette forklarer selvsagt at kraftforbruket blir større enn ved sponform 1. For denne sponformen ser vi at normalkraften er positiv og det betyr at verktøyet forsøker å skyve arbeidsstykket fre seg. I f.eks. en moulding vil det bety at arbeidsstykket trykkes mot maskinbordet og fensen (anlegget).

Sponform 3 har også et syklisk kraftforløp. Sammenliknet med sponform 1 er imidlertid kraftforbruket langt større. Dette kommer av at det går med en god del energi til å komprimere fibrene foran eggen før bruddet inntreffer.

Ofte er det slik at det samme verktøyet starter med å gi oss sponform 1, når det sløves litt - men akkurat passe mye - blir snittet penere - da har vi sponform 2, når verktøyet sløves ytterligere får vi en flate som er dannet ved det vi kaller sponform 3. og da er det på tide å bryne, slipe eller skifte verktøy.



## 6. Verktøymaterialer

### Verktøyet er hardere enn arbeidsstykket

For at et skjærende verktøy skal kunne virke må materialet i verktøyet være hardere enn det materialet som skal bearbeides. De vanlige verktøymaterialene som vi anvender idag når vi bearbeider tre og trebaserte materialer er alle svært harde.

Herdet stål, hurtigstål ("high-speed-steel"), hardmetall, stellite, tantung, diamanter og keramer er alle verktøymaterialer som enten er i vanlig bruk eller som det arbeides med å utvikle til brukelige verktøymaterialer for trebearbeiding. De tidlige verktøyene var ofte utformet på det viset at verktøykroppen og skjæreeggene var utformet i det samme materialet. Det gjaldt f.eks. sagblader og faste freser.

Etterhvert har vi fått verktøymaterialer som egner seg godt som skjærende egger men ikke er særlig egnet som verktøykropper. Mange av de nyere skjæreverktøymaterialene er dessuten så dyre at det blir om å gjøre å nytte så lite som mulig. Det har ført til at verktøyene bygges opp som verktøykropper (sagblader, freshoder, bor eller liknende) som de skjærende eggene loddes eller sveises til. Denne teknikken gjør at vi kan velge materialer i de skjærende eggene som f.eks. er svært harde og slitesterke men som kanskje er så sprø at de ikke ville tåle den belastningen som resten av verktøyet utsettes for.

### Kravene til et godt verktøymateriale

Det ideelle verktøymaterialet finnes ikke men dersom det fantes ville det minst ha følgende egenskaper:

- Høy hardhet
- Stor seighet
- God slipbarhet
- Stor slitestyrke
- God temperaturbestandighet
- Lett å forme (smi eller stuke)
- Lav pris

Den ene egenskapen går imidlertid ofte på bekostning av en eller flere av de andre egenskapene slik at vårt valg av verktøymateriale blir et kompromiss. F.eks. er svært harde materialer gjerne svært sprø, slik at om vi vil ha et verktøy med en spiss egg av et svært hardt materiale risikerer vi at det ikke tåler svært mye slagbelastning. Mange av de svært harde verktøymaterialene er dessuten bygget opp av små korn som er kittet sammen med et bindemiddel. Blir eggen for skarp (spiss) vil hele korn lett kunne brytes ut og derfor velger vi gjerne store eggvinkler slik at eggen blir robust.

### Herdet stål

Karbonstål var i lange tider det eneste tilgjengelige verktøymaterialet for trebearbeiding. Herdbart stål har vi når jernet har et karboninnhold som er over ca. 0,25%. Jo mer karbon stålet inneholder dess hardere og mer slitesterkt blir det men samtidig øker sprøheten. Dagens karbonstål som anvendes til trebearbeidingsverktøy inneholder foruten jern og karbon ofte flere andre metaller som inngår i legeringen. Det kan dreie seg om silisium, nikkel, mangan, krom og vanadium. I glødd tilstand er karbonstål relativt bløtt. Gjennom herdeprosessen hvor stålet varmes opp til en temperatur i området 800 - 870°C og deretter avkjøles brått omdannes stålets struktur og man får et svært hardt materiale. Dette stålet vil normalt bli for sprøtt for anvendelse som verktøy og derfor endrer vi seigheten ved en såkalt anløpningsprosess. Stålet varmes opp til en temperatur i området 360 - 500°C og kjøles deretter langsomt. Sprøheten minsker men det gjør samtidig hardheten. Jo høyere anløpningstemperaturen er dess mykere blir stålet. Pga. denne anløpningseffekten er det ytterst viktig at karbonstål ikke varmes for mye hverken ved

## **Professor Rolf Birkeland**

sliping eller ved bruken. Ideelt burde alle karbonstålverktøy slipes ved bruk av kjølevæske.

Riktig herdet og anløpt karbonstål er meget hardt og slitesterkt samt har en meget finkornet struktur og det innebærer at man kan lage svært spisse og skarpe egger av karbonstål (barberkniver f.eks.). En slik spiss egg er imidlertid svak for slag og f.eks. ved bearbeiding av gran med harde kvister vil svært spisse verktøy av karbonstål lett få hakk.

### **Hurtigstål**

Tilsetter vi store mengder av forskjellige legeringsemner får vi det såkalte hurtigstålet som er mer slitesterkt enn karbonstål, men først og fremst mer temperaturbestandig. Det finnes en rekke varianter for forskjellige anvendelser:

Kromstål - jern, karbon, ca. 12% krom og ca. 3% kobolt

18-4-1 med 18% wolfram, 4% krom og 1% vanadium, ved å tilsette kobolt helt oppimot 10% blir materialet enda mer elastisk og fjærende

Molybdenhurtigstål - er som 18-4-1 men med molybden istedetfor wolfram. Stålet blir seigere men også dyrere

Legeringsmetallene bindes kjemisk til karbon og danner små svært harde korn av karbider som ligger finfordelt i stålmassen. Det er dette som gir den større slitestyrken. Fordi disse karbidene er relativt stabile selv ved høyere temperaturer blir hurtigstålene også i stand til å tåle høyere temperaturer uten at det går ut over hardhet og slitestyrke.

Mens verktøy fremstilt av karbonstål gjerne har samme materiale både i verktøkkropp og i egger blir hurtigstål ofte brukt som et påleggsmateriale, f.eks. i kutterkniver. Knivene bygges opp med en kjerne av vanlig karbonstål som det loddes et tynt sjikt med hurtigstål på. Kjernen er relativt myk og elastisk mens belegget er hardere, mer slitesterkt og sprøere.

### **Stellit og tantung**

Både stellit og tantung er bygget opp av små korn som er kittet sammen med forskjellige metaller som fungerer som bindemidler. Stellit som har fått relativt stor anvendelse som eggmateriale innen sagbruksbransjen som belegg på sagtenner er det vanligste. Stellit består av 2-4% karbon, 25-33% krom, 5-20% wolfram, 20-55% kobolt og 0-10% jern. Sammen med karbonet inngår krom og wolfram i meget harde små korn av karbider. Kobolten virker som sammenbindingsmidlet. Stellit regner man med har en slitestyrke som er 5-10 ganger større enn karbonstål.

### **Hardmetall**

De siste 20 - 25 årene har hardmetall fått stor utbredelse i treindustrien. Hardmetall inneholder ikke jern men består som mange andre skjærematerialer av små harde og slitesterke korn som blir kittet sammen under høyt trykk og høy temperatur. Hovedbestanddelen er wolframkarbider som danner kornene mens kobolt er det vanligste bindemidlet. (På engelsk (amerikansk) kalles grunnstoffet wolfram for tungsten og derfor kalles hardmetall på engelsk ofte for "tungsten-carbide").

Det finnes idag et stort utvalg av hardmetallkvaliteter og de forskjellige verktøyleverandørene tilpasser idag gjerne hardmetallbelegget til anvendelsesområdene. Hardmetallene er standardiserte (ISO).

### **Diamant**

Verktøy av diamant har etterhvert blitt relativt vanlig ved bearbeiding av MDF-plater og plater belagt med papirplastlaminater. Diamant er det hardeste materialet vi kjenner og som en følge av det har diamantverktøy svært stor slitestyrke. Man regner med at

## **Professor Rolf Birkeland**

diamantverktøy har en standtid f.eks. ved kantbearbeiding av sterkt verktøyslitende sponplater som er 10-20 ganger lengre enn for hardmetall.

De diamantverktøyene som anvendes har eggbelegg som er dannet av svært små syntetiske diamanter som er sintret sammen ved svært høyt trykk (6000 MPa) og høy temperatur (1400°C). Selve diamanterne produseres også under svært høyt trykk og høy temperatur ved at rent karbon komprimeres.

Diamantbeleggene som fremstilles som små plater er svært sprø og diamantverktøy fremstilles derfor med så store eggvinkler som mulig.

### **Keramer**

Keramer er en fellesbetegnelse for sammensintrede småelementer til et materiale. Nest etter diamant er det en rekke andre materialer som danner små harde korn og som kan sintres sammen under høy temperatur. Aluminiumsoksyd og en rekke andre bestanddeler som vi kan finne i vanlig keramikk kan danne svært harde og slitesterke materialstykker som har stor temperaturbestandighet og kan brukes som tannspisser eller eggbelegg på f.eks. overfresbor. Ved bearbeiding av metall (dreining) anvendes keramiske verktøy i en viss utstrekning. Overfresbor er et område hvor man forsøker å utvikle keramiske skjær som både kan ha skarpe egger, stor slitestyrke og som tåler den store oppvarmingen som slike verktøy utsettes for.

### **Verktøyslitasje**

Uansett hvor harde og slitesterke verktøymaterialene er så sløves allikevel verktøyet. Det er etterhvert blitt klart at det er en rekke forskjellige mekanismer som bidrar til at verktøyene sløves. Under bearbeiding, særlig av tørre materialer, oppstår det svært høye temperaturer. Ved svært høye temperaturer opptrer en rekke kjemiske fenomener som vi vanligvis ikke observerer. Ved bearbeiding av trevirke med høy fuktighet opptrer det også kjemiske prosesser og sammen med elektriske fenomener galvaniske prosesser som bidrar til å bryte ned verktøyeggene. Når et polart materiale som trevirke gnis mot metaller ser det også ut til at det opptrer en rekke elektriske fenomener som i seg selv også bidrar til verktøyslitasjen. I den neste artikkelen skal vi titte litt nærmere på selve verktøyslitasjen.

Som nevnt sløves verktøyet uansett hvor harde og slitesterke verktøymaterialene er. Det er etterhvert blitt klart at det er en rekke forskjellige mekanismer som bidrar til at verktøyene sløves. Det er imidlertid fortsatt mye vi ikke vet om hvordan trebearbeidingsverktøy sløves. En av hovedgrunnene til dette er at selve slitasjeprosessen skjer i kontaktflaten mellom verktøy og materiale og der er det ikke lett å observere hva som skjer.

Trebearbeidingsverktøy opererer i tillegg med store hastigheter. Det er ikke sjelden at bearbeidingshastigheten ligger mellom 50 og 100 m/s - eller tilsvarende fra 180 til 360 km/h. Ved så store hastigheter, når materialer gnis mot hverandre, oppstår det selvsagt friksjon og som en følge av det stor oppvarming. Hvor høy temperaturen er i kontaktpunktet er det imidlertid svært vanskelig å måle. Alle med noen praktisk erfaring vet at verktøy kan bli svært varme. Den varmen som dannes på den ytterste eggen ledes imidlertid svært raskt gjennom metallet og fordi vi i praksis ikke kan måle temperaturen på eggspissen under selve bearbeidingen, men i beste fall et lite stykke unna, blir det en form for beregning av hvor høy temperaturen kan bli, som vi har å støtte oss til.

Oppvarmingen i kontaktpunktet mellom verktøy og materiale innebærer selvsagt at også materialet som bearbeides blir oppvarmet. Kjenner en på en neve tørr sagflis som nettopp er saget kjenner en at temperaturen er atskillig over romtemperaturen. Dersom materialet som bearbeides er fuktig vil sannsynligvis fordamping av vannet forbruke svært mye av den varmen som dannes. På den annen side vil fuktig trevirke kunne føre til at det kan oppstå galvaniske strømmer som bidrar til å tære på den skjærende eggen. Den finske forskeren Eero Kiviima viste for mange år siden at når man bearbeider rått trevirke så vil

## Professor Rolf Birkeland

man kunne øke verktøyslitasjen om man sender en likestrøm den ene veien gjennom systemet mens man kan motvirke slitasjen når strømmen går motsatt vei.

Tørre materialer leder varme svært dårlig og det innebærer at flaten nærmest verktøyet kan bli svært varm. At det dreier seg om rask oppvarming vet alle som har fått brente snittflater, f.eks. når de har kløvet tørt hardtre med sirkelsag. Amerikanske undersøkelser tyder på at ved bearbeiding av f.eks. MDF-plater kan temperaturen i snittflaten antas å ha vært over 1000°C fordi man har funnet kjemiske forbindelser som bare kan ha stammet fra limet i MDF-platen inne i strukturen i de hardmetallverktøyene som ble nyttet. Og temperaturen må ha vært svært høy for at de kjemiske forbindelsene man har funnet kunne bli dannet.

### Flere slitasjefenomener

De slitasjefenomene en kan observere ved trebearbeiding kan deles inn i ulike kategorier:

Friksjonslitasje - opptrer gjerne når tørt trevirke bearbeides med for liten matning per kutt - eggen blir nærmest polert av å gnis mot trevirket. Slik slitasje kan opptre både på sager og på fresverktøy når matningen blir for liten.

Overflateutmatting - ved så høy hastighet som trebearbeidingsverktøy arbeider under oppstår det lokalt høyt trykk og utallige små slagpåkjenninger. Disse påkjenningene kan lede til at det dannes små overflatesprekker pga utmatting. Når det blir mange nok slike små overflatesprekker kan små fragmenter brytes ut og nye flater eksponeres for slitasjen.

Korrosjonsslitasje skyldes sannsynligvis galvaniske strømmer og opptrer som nevnt særlig når det er relativt høy fuktighet tilstede i materialene.

Enkelte treslag, som f.eks. enkelte tropiske treslag (bl.a. teak - *Tectona grandis*), inneholder små mineralkrystaller som er svært harde og nærmest fungerer som sandpapirpartikler, og disse fører ofte til at verktøy slites ekstremt fort. Forurensninger i form av steinstøv kan også gi kraftig verktøyslitasje. I et tilfelle jeg kjenner viste det seg at limfugene i en bestemt type kryssfinér ga ekstrem verktøyslitasje når kantene på kryssfinérplatene ble bearbeidet. En nærmere undersøkelse viste at det var nyttet steinmel som drøyemiddel i det limet som kryssfinérplatene var limt med!

Av og til inntreffer det også at det går skall av eggen eller at mindre stykker slås ut. Når slikt inntreffer skyldes det gjerne enten at eggen er for skarp i forhold til materialets sprøhet (dvs. at eggvinkelen er for liten) eller at eggen har blitt skadet f.eks. ved at den har blitt tørrslipt og derved fått for høy temperatur. Særlig er dette kritisk for stålverktøy. Som en regel burde en sannsynligvis våtslipe alle vanlige former for trebearbeidingsverktøy.

### Slitasjemotstand

Hvor stor slitasjemotstand de enkelte verktøymaterialene har overfor de forskjellige slitasjeformene som kan opptre er det gjort endel undersøkelser av. Resultatene er ikke bestandig helt entydige, blant annet fordi det ikke er helt enkelt å bestemme hvor stor slitasjen er i det enkelte tilfelle. En metode som anvendes består i at man tar en avstøpning av eggspissen (tannspissen) med jevne mellomrom og så måler avrundingen av eggen ved å lese av radien i et mikroskop. En annen metode som anvendes i enkelte tilfelle baserer seg på at kraftforbruket for en bestemt bearbeidingsprosess og med et bestemt verktøy erfaringsmessig øker med slitasjen. Under konstante betingelser, hvor en for eksempel kløver en bestemt tresort med konstant fuktighet og med konstant snitthøyde og matehastighet, vil en kunne bruke kraftforbruket direkte som et mål på at sagtennene er slitt. I en større amerikansk bedrift (California Cedar Products Company) som kløver opp 75 millimeter (3") høye blokker av et treslag som heter "incense cedar" (*Libocedrus decurrens*) til blyantemner stoppes maskinene automatisk når kraftforbruket på det enkelte sagbladet overskrider en innstilt størrelse. Det kan selvsagt hende at det også er andre ting

enn ren verktøyslitasje som gir øket kraftforbruk som f.eks. at bladet har blitt varmet opp og har mistet strekken, men som oftest er det tannspiss-slitasje som er "stoppårsaken".

Professor Anders Grönlund oppgir i boken "Träbearbetning" (ISBN 91-970513-2-2) de forskjellige verktøymaterialenes relative slitasjemotstand som følger:

Karbonstål: 1 tidsenhet mellom omslipninger  
Hurtigstål: 2-3 tidsenheter mellom omslipninger  
Stellit: 5-10 tidsenheter mellom omslipninger  
Hårdmetall: 30-40 tidsenheter mellom omslipninger  
Diamant: 300 - 600 tidsenheter mellom omslipninger

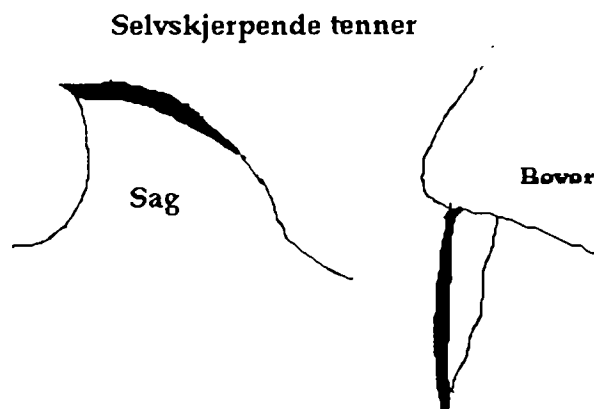
### **Tiltak mot slitasje**

Gjennom tidene har både produsenter og brukere av verktøy selvsagt spekulert mye på hvordan en kan øke slitasjemotstanden. Herding av verktøyeggen lar seg gjøre i endel tilfelle. For karbonstål kan en anvende induksjonsharding (som det finnes enkelte maskiner som kan gjøre for sagtenner) eller en kan anvende f.eks. en nitrering, dvs. at verktøyet varmes opp sammen med stoffer som avgir nitrøse gasser og som sammen med stålet danner et meget hardt overflatesjikt.

Fordi det er tydelig at det ved mange bearbeidingsoperasjoner er den varmen som utvikles som sterkt bidrar til slitasjen har det selvsagt blitt spekulert på om man kan belegge verktøyet med varmeledende sjikt, f.eks. som kopperbelegg. Andre funderinger har gått og går i retning av å belegge de flatene på verktøyet som er i kontakt med trevirket med enten svært harde eller svært glatte sjikt eller helst et sjikt som både er hardt og glatt. Tidligere foregikk slik pålegging av slitesjikt gjerne galvanisk i form av f.eks. krombelegging eller belegging med tinn-nikkel. I den senere tiden har en også tatt i bruk prosesser som skjer under vakuum og hvor man damper metallbelegg på verktøyet.

### **Den selvskjerpene tannen**

En idé som har dukket opp flere ganger er den selvskjerpene sagtannen. På klaringssiden (ryggen) er tannen belagt med et tykt hardt sjikt av f.eks. en egnet kromlegering. På forsiden (fronten) er det ikke noe belegg. Når tannen slites vil fronten slites raskere enn belegget på klaringssiden og det vil hele tiden finnes en framstående egg som er dannet av det harde belegget på klaringssiden. Naturen har forlenget utviklet en slik selvskjerpene tann - fordi beverens fortenner som vokser hele tiden har et hardt emaljesjikt på forsiden men et bløtere materiale på baksiden. Etterhvert som beveren gnager ned nye trær slites tennene men fordi baksiden slites mer enn den harde fronten ser tennene nesten ut som krumme stemjern.



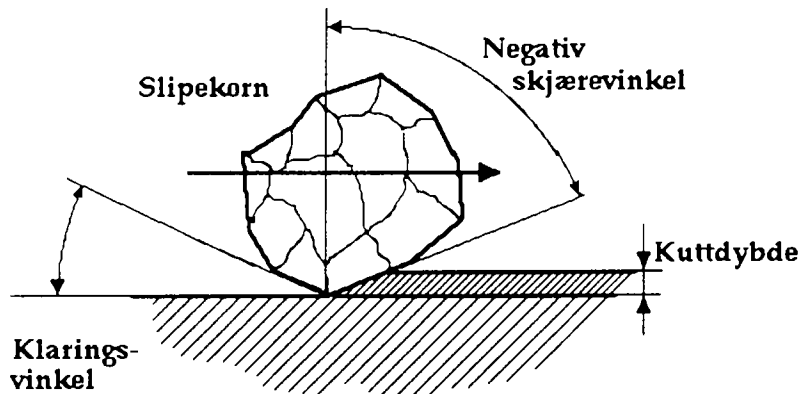
Som allerede nevnt er skarpt verktøy en betingelse for at vi skal få en vellykket bearbeiding. Fordi tre og trebaserte materialer gjennomgående er svært myke blir det enda viktigere at vi har meget skarpe verktøyegger. Er ikke eggen veldig skarp vil vi ofte få en

innpressing av materialet under eggen før den tar til å skjære og det betyr at vi får en flate som ofte er revet opp eller som er så komprimert før skjæringen starter at den vil ese ut igjen. I endel sammenhenger kan vi anvende engangsverktøy, så som vendeskjær for freser. Til mange formål er fortsatt sliping og bryning metodene vi benytter for å få skarpt verktøy.

## 7. Slipeverktøy

### Slipeverktøyet, hardere enn verktøymaterialet

Slipekornene som vi finner i en slipeskive ser i de fleste tilfelle nesten ut som miniatyrversjoner av pukkstein. Det kommer av framstillingsmetoden: de mineralkornene som anvendes i slipeskiver fremstilles vanligvis ved at større klumper knuses til mindre korn. Disse kornene er det som vi presser inn i verktøyet og ved å skyve kornene langs verktøyflaten pløyer eller skraper hvert slipekorn vekk noen fine korn.



Det finnes en rekke forskjellige harde mineraler som kan anvendes for slipeskiver, både av naturlig opprinnelse og framstilt ved forskjellige metallurgiske prosesser. Av de mange harde naturmineralene er det særlig granat, naturlige forekommende blandinger med stort innslag av aluminiumoksyd ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  - de såkalte smergeltypene (fortsatt kalles ofte slipeskiver for smergelskiver og finere slipepapir for f.eks. sliping av lakk og sparkel på våre biler for smergelpapir), diamant (rent karbon og det hardeste stoffet vi kjenner), kvarts (Silisiumdioksyd -  $\text{SiO}_2$ ) og sandstein. Sandsteinen anvendes til slipesteiner og fortsatt anvendes naturstein (Gotlandsstein) mens mange slipesteiner framstilles av kvarts. Diamanter anvendes i stigende utstrekning i slipeskiver (særlig for hårdmetall) men også som fint støv i bryner.

Mange av de skivetyperne vi anvender ved verktøysliping idag er framstilt med basis i det vi kan kalle syntetiske slipemineraler. De vanligste mineralene er aluminiumoksyd ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) og silisiumkarbid ( $\text{SiC}$ ) samt stadig mer kunstig framstilt diamant (C) og bornitrid (CBN). I samme rekkefølgen betegnes disse mineralene internasjonalt som A, C, D og B.

De mineralene vi anvender har forskjellig hardhet. Det finnes forskjellige metoder for å angi hardheten av materialer. Det anvendes ofte en skala etter hvor lett mineralet riper et annet emne (som diamant i glass) eller hvor lett mineralet lar seg påvirke av andre materialer. Den første metoden gir hardheter som rangerer noen av de nevnte mineralene slik (Moh's skala):

Granat	6,6 - 7,5
Kvarts	7
Smergel	8
Aluminiumoksyd	9
Silisiumkarbid	9,0 - 9,5
Diamant	10

### Slipeskivene er av mange slag

For at kornene skal la seg presse inn i verktøymaterialet vårt uten at de knuses er det en forutsetning at de er hardere enn verktøymaterialet. Pga. den butte formen vil størrelsen

## Professor Rolf Birkeland

på partiklene også ha stor innflytelse på hvor lett de lar seg presse inn i verktøymaterialet. Vanligvis bruker vi slipeskiver med grove korn for bløtere materialer og når vi vil ha stor og gjerne litt grov bearbeiding. Hardere materialer sliper vi med skiver med mindre partikler og når vi vil ha en finere overflate.

Fra gammelt av har slipepartikler blitt sortert ved hjelp av sikting og fortsatt sorteres slipepartikler etter det samme prinsippet. Størrelsen på partiklene angis med et tall som angir hvor mange masker det finnes per tomme (25,4 mm) langs silens side. Således betyr størrelse 24 at det finnes 24 masker per tomme, eller at slipepartiklene kan passere et kvadratisk hull som har en sidekant som er ørlite over 1 millimeter ( $25,4/24 = 1,058$  mm). Tilsvarende betyr størrelse 60 at det er 60 masker per tomme og at partiklene derfor kan passere et kvadratisk hull med sidekant  $25,4/60 = 0,423$  mm. I endel tilfelle blandes forskjellige størrelser av slipekorn.

I en slipeskive holdes slipekornene sammen og på plass ved hjelp av et bindemiddel. Avhengig av hvor hardt slipekornene er bundet sammen betegner vi slipeskivens hardhet. I en løs skive løsner kornene lett mens de i en hard slipeskive er vanskelige å rive løs. For sliping av mykere materiale og ved våtsliping anvender vi harde skiver mens vi anvender mykere skiver ved sliping av harde materialer og ved tørrsliping. Hardheten av skiven angis ved en bokstav. Jo lenger ut i alfabetet dess hardere er slipeskiven. De vanligste bindemidlene i slipeskiver for verktøysliping er keramiske eller kunststoffer (fenolplaster) samt metall. Metall (bronse) anvendes som bindemiddel i skiver framstilt med diamanter og bornitrid. Også keramiske og plastbaserte bindemidler anvendes imidlertid også for enkelte typer skiver med bornitrid og diamant slipepartikler. Keramisk bindemiddel angis med bokstaven V, fenolplast (bakelitt) angis med B og metall med M.

Ikke bare varieres kornstørrelsen og typen av bindemiddel men også strukturen i skivene varierer. Noen skiver lages med åpen struktur, dvs. at det er større mellomrom mellom slipekornene, mens andre lages med tett struktur. Strukturen har blant annet betydning for hvor fort en slipeskive tettes igjen samt hvor fort den slites. Som man kan tenke seg vil en skive med åpen struktur være mindre utsatt for at den tettes til men slites fortere enn en tilsvarende skive med tett struktur.

### Slipeskivene har betegnelser

Det finnes standarder (ISO) for hvordan slipeskiver skal karakteriseres men fordi de enkelte fabrikkene blander inn sine egne koder for mineraler, bindemidler, etc. så er det ikke helt enkelt bestandig å tolke betegnelsene. De faktorene som skal angis er (i riktig rekkefølge):

Slipematerial, kornstørrelsen, skivens hardhetsgrad, strukturen kan angis men er det ikke bestandig (!), bindemiddeltype og bindemiddelvariant.

Eksempelvis kan en skive angis som A - 60 - I - V

Dette betyr at skiven er laget med aluminiumoksydpartikler, slipekornstørrelsen er 60, skiven er framstilt med hardhet I og den er keramisk bundet.

Fordi de enkelte fabrikkene har sine egne koder i tillegg vil det lønne seg å holde seg til en eller et lite antall slipeskivefabrikanter.

### Mange slipematerialer og skivetyper - hva passer til hva?

Fabrikkene angir i sine kataloger forskjellige alternativer. Det er ikke lett å sammenlikne disse. Det som angis nedenfor blir derfor et slags gjennomsnitt av hva forskjellige fabrikanter anbefaler.

For vanlig verktøystål, hurtigstål og stellit anbefaler de fleste fabrikkene at man benytter aluminiumoksydskiver. Svært harde varianter anbefales det at man sliper med bornitridskiver. Hardmetall anbefales det at man sliper enten med silisumkarbid eller med diamantskiver.



**Professor  
Rolf Birkeland**

**Hvor fort skal slipeskivene rotere?**

Slipeskivenes periferihastighet bør ikke være høyere enn strengt nødvendig. Ved tørrsliping (se nedenunder) er det viktig for at man ikke skal få overopphetning og anløpning eller annen form for destruksjon av verktøyeggen. Dessuten er det viktig av rent sikkerhetsmessige grunner at skivene ikke roterer for fort (det er også veldig viktig at de monteres riktig - les bruksanvisningen!) pga faren for sprengning. Veiledende hastigheter for noen typer av slipeskiver er:

Slipeskive	Skjærehastighet
Aluminiumoksyd	15 - 20 m/s
Bornitrid - tørrsliping	25 - 30 m/s
Diamant, tallerkenskive	10 - 15 m/s
Diamant, rett skive	ca. 20 m/s

**Også slipeskivene må skjerpes**

Slipeskivene kan endres både hva gjelder form og slipeegenskaper gjennom den såkalte skjerpningen. Det finnes flere typer verktøy som kan anvendes for å skjerpe (dreie av) slipeskiver. Vanlig brukte er enkelttrinser eller sammensatte ruller av hardmetall eller herdet stål samt diamanter. Ved bruk av diamanter for avdreining av slipeskiver er det viktig med kjøling fordi diamanterne ikke tåler særlig stor oppvarming.

**Våtsliping bedre enn tørrsliping**

Den gamle slipesteinen som står bak låveveggen og som dynkes med vann når den nyttes - hvis den da ikke er satt opp i et stativ med en vanntro som omslutter den undre delen - er et ideelt slipeverktøy. Det gjelder ikke bare låen, som mange forbinder med den gamle slipesteinen, men like mye øksa, kniven og stemjernnet. Den moderne slipemaskinen med et turtall på 2 - 3000 omdreininger per minutt og utstyrt med moderne keramisk bundne slipeskiver har sannsynligvis ødelagt mer verktøy enn selve bruken av verktøyet. Grunnen til dette er at ved tørrsliping får vi svært lett for høy temperatur i verktøyeggen. Ved sliping ved hjelp av diamantskiver er det en forutsetning at det anvendes væskekjøling. Diamantene kan ellers fort bli for varme og derfor ødelagte - og diamanter er relativt dyre!

**Henvisninger**

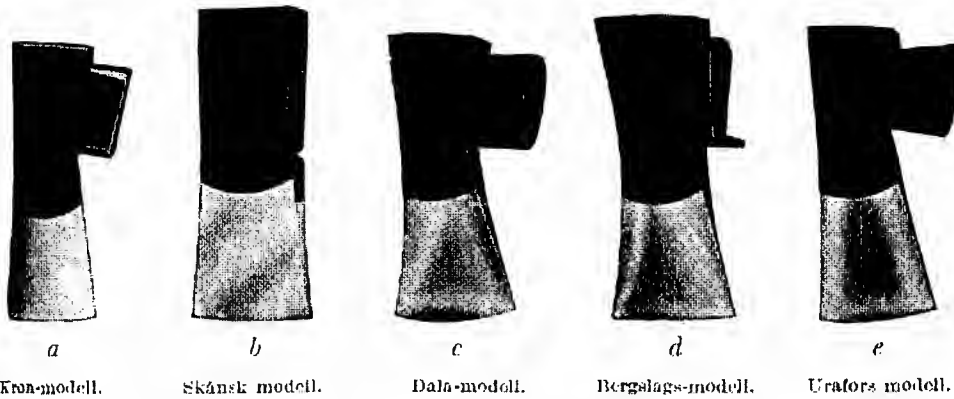
Grönlund, A.: Träbearbetning. Trätek. Stockholm, 1985.

Nordlander, Å.: Slipskivor. Trätek. Stockholm, 1994.

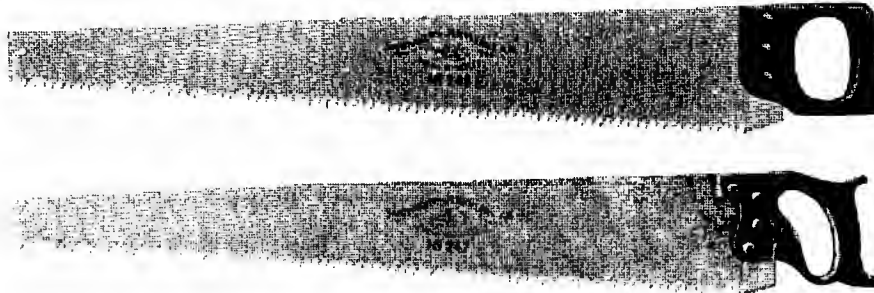
Anon.: Treteknisk håndbok. Norsk Treteknisk Institutt. Oslo, 1991.

## 8. Hogst, rotredusering og barking

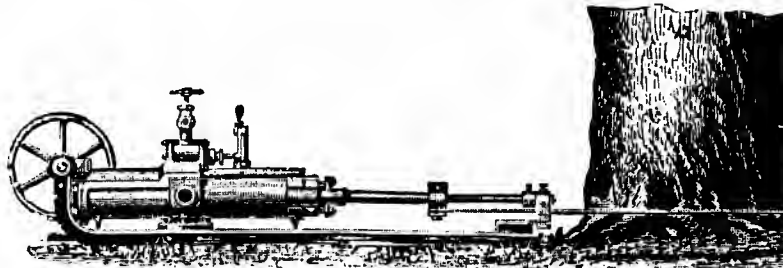
Trebearbeidingen starter i skogen med at trærne felles, kvistes og deles opp i passende stokkelengder, avhengig av om det skal bli skurtømmer eller cellulosevirke. Tradisjonelt foregikk fellingen med øks - derav navnet hogst. Det fantes og finnes fortsatt en lang rekke typer av økser, både spesialiserte for de enkelte arbeidsoperasjonene og ut fra hva brukeren foretrakk. Kataloger over øksetyper, skaftutforminger, etc. oppviser en stor variasjon. Illustrasjonen under viser noen svenske øksetyper.



Med utviklingen av sagstål fikk man tømmer-sagen (tømmer-svans): Den ble ofte nyttet som et tomannsredskap. Også dette redskapet finnes i en rekke forskjellige utforminger.



Den virkelige revolusjonen i skogsarbeidet kom med motorsagene. Allerede rundt 1875 var det imidlertid blitt utviklet maskiner drevet med damp for felling av trær.



Denne dampdrevne motorsagen skjøv og dro et sagblad fram og tilbake på samme måten som skogsarbeideren nytter svansen. I tiden etter første verdenskrig ble også utviklet en del maskiner drevet med forbrenningsmotorer som var basert på bruk av en slags bånd-sagblader.

Motorsagen i den form vi kjenner den i dag, og som benytter en sagtannkjede, ble imidlertid ikke tatt i alminnelig bruk før en god stund etter andre verdenskrig. Det er med

## Professor Rolf Birkeland

en viss stolthet at vi kan konstatere at JoBu, den norske motorsagen som idag produseres av et svenskeiet firma, var en norsk utvikling. Bruken av motorsagen rasjonaliserte skogsarbeidet enormt. Både fellingen, kvistingen og apteringen ble mye enklere.

Samsset gir sammenlikninger for medgått arbeidsplasstid i timer pr. kubikkmeter og i nedenstående er gjengitt noen tall:

kbm./tre	Manuell hogst og barking	Motorsag uten barking	Motorsag mask. Kvist.	Hogstmaskin
0,5	2,50	0,66	0,242	0,067
1,0	2,25	0,49	0,195	0,051

Helt inntil barkemaskinene ble vanlige henimot slutten av 1950-tallet ble tømmeret barket i skogen. Dette arbeidet skjedde manuelt og ved hjelp av den såkalte barkespaden.

Traktoren med kvistemaskiner og etterhvert dagens hogstmaskiner som både feller, kvister og apterer var de neste utviklingstrinnene. Kvistemaskinene skjærer stort sett kvistene av treet ved at det draes gjennom en knivring mens fellingen og apteringen som regel skjer ved hjelp av motorsager. Ved felling av smådimensjoner, tynningsvirke, nyttes det også sakser som "klipper" av stammene.

### Aptering på sagtomt - helstammedrift

Vi nytter i Norden stort sett skogsaptering, dvs. at trestammene deles opp i de forskjellige virkessortimentene i skogen. I mange andre land fraktes imidlertid trestammene hele inn til en industritomt, gjerne i forbindelse med et sagbruk.

Oppdelingen av trestammen til tømmer og cellulosevirke skjer da normalt på en apteringsstasjon hvor stammen først dimensjonsmåles ved hjelp av en optisk diameteravlesning og deretter kappes i de ønskete lengdene. De fleste slike apteringsstasjoner nytter store sirkelsagblader for kappingen men det anvendes enkelte steder også motorsager.

### Rotreduering

Med økende bruk av hogstmaskiner synes det som om det er en tendens til at stubbene blir kortere. Det medfører at det blir mer rotutsvellinger på de rotstokkene som kommer til sagbrukene. Hverken barkemaskiner eller sagmaskiner fungerer tilfredsstillende hvis tømmeret har stor diameterforskjell i topp og rotende. Ved mange sagbruk er det derfor etterhvert tatt i bruk de såkalte rotreduererne som freser den nederste delen av rotstokken slik at den blir tilnærmet sylindrisk.

### Barking

Markedet forlanger at trelast skal være fri for bark. Det samme forlanger kjøperne av celluloseflis. Som nevnt foran foregikk barking i lang tid manuelt, med barkespade og i noen tilfelle sågar med øks. Idag foretas det meste av barking i den industrialiserte delen av verden maskinelt, som regel først når trevirket når industritomten. Dette innebærer endel fordeler. Virket holder seg stort sett bedre når barken er på, forutsatt at barken holdes rå. Barken beskytter også i en viss utstrekning mot mekaniske skader. Den barken som kommer fra industrivirket er en viktig energiresurs og derfor er det hensiktsmessig at barking skjer så nær forbrenningsanlegget som mulig. På den negative siden hevdes det at man ved å ta trevirket ubarket ut av skogen frarøver skogen en ressurs.

I celluloseindustrien foregår det aller meste av barking som trommelbarking. Virket mates inn i den ene enden av en roterende skråstilt sylinder hvor det spyles inn relativt store mengder vann. Ved rotasjonen gnis og slås trevirkesbitene mot hverandre og mot veggene i barketrommelen (sylindren). Barken slås av og renner ut sammen med vannet.

I sagbruksindustrien anvendes i vår del av verden stort sett bare den typen barkemaskin som går under betegnelsen ringbarkemaskin. Det ubarkede tømmeret mates gjennom

**Professor  
Rolf Birkeland**

sentrum i en roterende ring som det er festet såkalte barkekniver til. Disse knivene presses mot tømmerstokkene enten ved hjelp av fjærer, ved hjelp av pneumatiske sylindere eller ved hjelp av hydrauliske sylindere. Knivene skjærer og skaver av barken i en skrueformet stripe. Skjer barkingen når tømmeret er ferskt og ufrosset blir barkingen stort sett veldig fin. Tømmer med større uregelmessigheter i overflaten (rotjærer på furu f.eks.) og tømmer hvor barken er frosset fast eller hvor kambiet er tørket og dermed bidrar til å "lime" barken til trevirket kan være verre å få barket.

De barkemaskinene som benyttes i Norden er gjennomgående enten av svensk (Cambio) eller finsk fabrikat (VK),

Enkelte treslag lar seg ikke uten videre barke ved hjelp av ringbarkere, det kan være fordi treoverflaten er for uregelmessig eller at barken har en beskaffenhet som ikke egner seg for ringbarking. Mange treslag har svært tykke barklag og i mange tilfelle er barken satt sammen av svært lange seige og sterke langsgående fibre. På enkelte treslag sitter dessuten barken svært godt fast på det underliggende trevirket. For å få barket slike treslag nyttes det derfor i mange land en slags freseoperasjon hvor et fresehode med kraftige tenner brukes til å frese av barken. Selve operasjonen kan være manuell eller freshodet kan sitte på en arm som operatøren kan manøvrere ved hjelp av pneumatikk eller hydraulikk.

I enkelte sammenheng nyttes det også hydraulisk barking av tømmer. Det skjer i prinsippet ved at man ved hjelp av høytrykksprøyter "spyler" barken av tømmerstokkene. Enkelte av de sagbrukene som skjærer store dimensjoner av forskjellige nord-amerikanske bartreslag nytter slik hydraulisk barking.

**Henvisninger:**

Anon.: Handbok i skogsteknologi. C.E. Fritzes Bokförlags Aktiebolag. Stockholm 1922.

Anon.: Treteknisk Håndbok. Norsk Treteknisk Institutt, Oslo 1991 (ISBN 82-7120-026-7)

Anon.: Produksjon av skurlast. Universitetsforlaget, Oslo 1979 (ISBN 82-00-27191 - 9)

Grönlund, A.: Träbearbetning. TräteknikCentrum, Stockholm, 1985. (ISBN 91-970513-2-2)

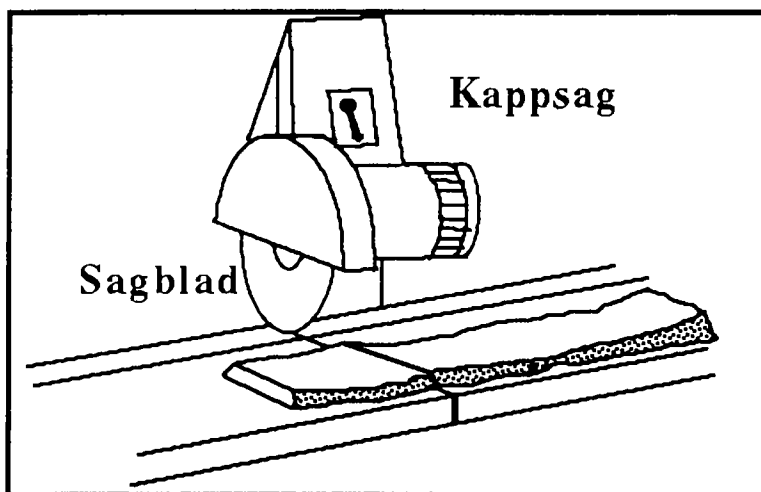
Ransome, S.: Modern Wood-Working Machinery. William Rider and Son, Limited. London, 1924.

Samset. I.: 150 år i forsøksskogen. Rapp. Skogforsk 9/95. (ISBN 82-7169-736-6)

## 9. Sirkelsagen, dens virkemåte og anvendelse

Sirkelsagen og sirkelsagbladet er viktige hjelpemidler i sagbruk, høvlerier og i møbel- og treindustrien og for å få det best mulige resultatet er det viktig at vi har kjennskap til virkemåten og de forhold som påvirker resultatet.

Bortsett fra når vi unntaksvis benytter sirkelsagbladet til å note med eller for å bearbeide en ytterflate på et trestykke er det for oppdeling vi nytter sirkelsagen. Grovt sett har vi da enten saging langs fiberretningen: splitting eller kløving, eller oppdeling på tvers av fiberretningen: kapping.



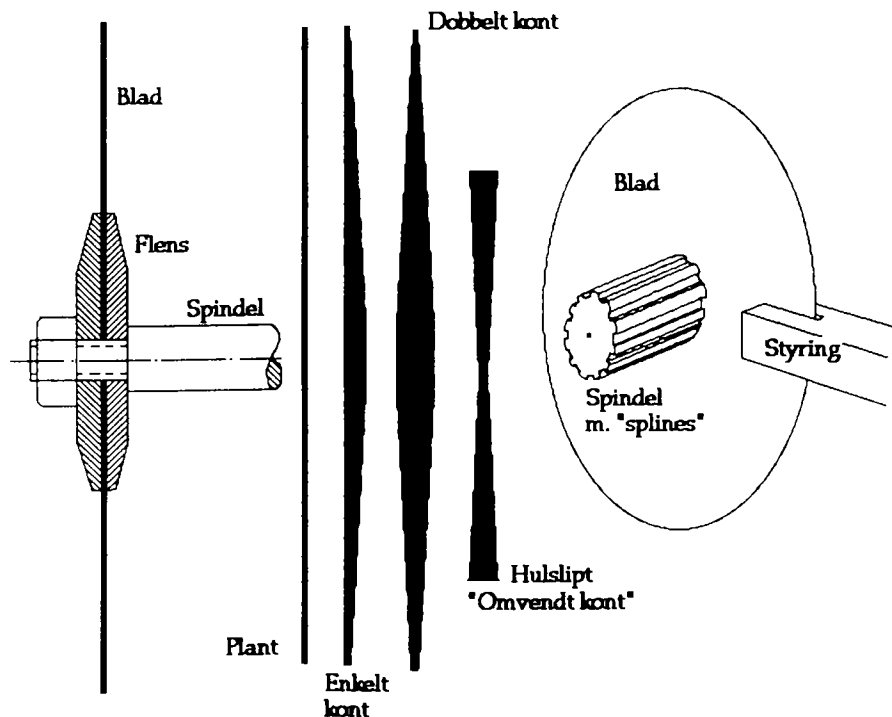
I begge tilfelle er vi som regel interessert i så tynt som snitt som mulig samtidig som vi gjerne vil ha retttest mulig snitt og glatttest mulig snittflate.

Sirkelsagbladet er på samme tid både et av de enkleste og et av de mer kompliserte verktøyene vi nytter i trebearbeidingen. Sirkelsagbladet er enkelt fordi det bare er en sirkulær skive som roterer, drevet av en spindel gjennom sentrum, og som har skjærende tenner langs periferien. Slik sett blir også sirkelsagen som maskin veldig enkel. På den annen side er altså sirkelsagbladet komplisert og mer jo tynnere det er og jo større diameter det har. Det kompliserte ligger i at det er en rekke faktorer som påvirker sirkelsagbladet. Det dreier seg om sentrifugalkreftene som øker med økende turtall og økende diameter. Det dreier seg om at sagbladet varmes opp i tanningen og derfor vil utvide seg i tannsonen. Tynne stålskiver settes også lett i svingninger og har sine egne svinge- og frekvensmønstre avhengig av bladstørrelse, tykkelse, spenningsforhold og ytre påvirkning, slik som temperatur, luftstrømmer rundt tennene, etc..

### Historikk

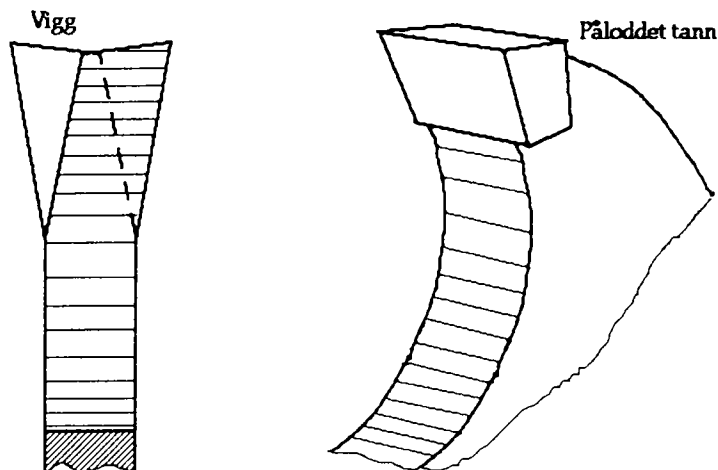
I 1777 ble det første patentet for en sirkelsag tatt ut av en engelskmann, S. Miller. At det ikke skjedde før beror sannsynligvis på at man ikke klarte å lage store plane stålblader som egnet seg til sirkelsagblader før da. Siden har vi sett en framvekst av en sann flora av forskjellige sirkelsagmaskintyper. Sirkelsager nyttes til kapping av tømmer - på sagbruk for store tømmerdimensjoner kan det dreie seg om blader med 2 m diameter og mer. De nyttes i sagbruk, til oppdeling av tømmer, til oppdeling av planker og bord, til kapping. I møbel- og trevareindustrien er det til kapping og splitting og annen oppdeling både av trevirke og andre trebaserte materialer at vi nytter sirkelsagblader. Med utviklingen av de bærbare håndmaskinene har vi fått en utvikling av lette bærbare håndsirkelsager som etterhvert mer og mer tar over for håndsagene våre.

Til å begynne med var sirkelsagene plane skiver og festet til spindelen, gjerne med flenser.



Etterhvert ble det utviklet koniske blader som var tykkere i sentrum og som smalnet av utover mot periferien for at man skulle få det tynneste mulige snitt. I snekkerfaget nytter vi til oppdeling av plater stundom blader som er "omvendt koniske" på den måten at de er tynnere i sentrum enn i periferien slik at det ikke skal oppstå friksjon mellom bladet og snittflaten. I sagbrukssammenheng har man i senere tid fått en utvikling mot at bladene ikke lenger er festet til spindelen, men de er utstyrt med de såkalte "splines" slik at de kan forflyttes på spindelen. Kraftoverføringen mellom spindelen og sagbladet skjer gjennom de såkalte "splines" eller langsgående kilespor som er frest ut både i bladet og i spindelen. Bladet holdes på plass av styringer som er plassert like innenfor tannsonen og som er "smurt" enten ved en vann/oljeblanding eller ved trykkluft. Fordelen med at bladene kan forflyttes langs spindelen ligger i at det bare er selve bladet og styringen som skal flyttes og da kan omstilling fra en dimensjon til den neste gå meget kjapt. Det ser også ut til de "flytende" sagbladene gir minst så god nøyaktighet som de bladene som er festet til spindelen med flenser eller liknende.

De første sirkelsagbladene, og mange av de vi fortsatt benytter har tanningen utført i det samme materialet som resten av bladet. For at tennene skal ha tilstrekkelig hardhet og slitestyrke må derfor hele bladet lages av en stål kvalitet som tilsvarer kravet til tannspissen. De stål kvalitetene som benyttes er av høy kvalitet og gjerne med høyt innhold av forskjellige legeringselementer. De tannformene som ble nyttet var vigget, dvs. at tennene var bøyd annenhver ut til siden. Da hårdmetallet var utviklet dukket etterhvert sirkelsagblader med påloddete tannspisser opp.



Etterhvert har vi fått flere skjærematerialer, slike som stellite, tantung, diamantskjær etc.. Lenge fortsatte man å anvende de samme høykvalitets ståltypene i selve bladkroppen. Dette til tross for at stål kanskje ikke er det ideelle materialet for tynne roterende skiver som utsettes for ujevn varmepåvirkning. Som nevnt varmes bladene opp i tannsonen og på sirkelsagmaskiner varmes også spindelen ofte opp gjennom lagerfriksjonen og denne varmen overføres gjennom spindelen og flensene til bladkroppen. Stål har en relativt høy varmeutvidelseskoeffisient og ujevn oppvarming fører derfor til at bladet utvider seg ujevnt med den følger at det "slår seg". For noen få år siden begynte man å interessere seg for å benytte andre metaller i bladkroppen, f.eks. invar, en legering som har svært liten varmeutvidelseskoeffisient. Disse forsøkene viste at det ga en helt annen stabilitet i bladene. Fordi invar ikke er så slitesterkt som stål fikk man imidlertid raskt slitasje inne i selve tannlukene slik at man har fortsatt letingen etter materialer som har liten varmeutvidelsesevne og stor motstandsevne mot slitasje. Det har gjennom tidene vært fundert mye på hvordan man skal forhindre eller redusere virkningen av ujevn oppvarming av sirkelsagblader. Belegging med varmeledende sjikt har vært nytteløst, hull i forskjellige mønstre har vært boret og slisser av forskjellige slag nyttes.

De fleste har sikkert merket seg hvilken klang det er i et sirkelsagblad. Mange har også ergret seg over den støyen som sirkelsagblader utvikler. Bruk av forskjellige andre metaller enn stål har også i denne sammenheng vist seg å kunne by på fordeler. Enkelte nikkellegeringer har svært liten klang. En annen måte på å redusere støyen fra sirkelsagblader på er å laminere sammen bladene med et mykere materiale limt mellom to ytre stålskiver. Slike blader avgir vesentlig mindre støy enn de rene stålbladene. Fordi sirkelsagblader roterer med stor hastighet: 50 - 100 m/sek i periferihastighet, oppstår det kraftige luftvirvler rundt tannspissene. Disse virvlene forplanter seg som støy og de innvirker også på bladene slik at disse settes i svingninger. Utformingen av tennene har vist seg å ha stor betydning for denne virveldannelsen og det arbeides stadig med å finne fram til gunstigere tannformer.

Ved de fleste sageoperasjonene er vi interessert i å ha så tynne, rette og glatte snitt som mulig. Har vi rette og glatte snittflater vil vi bare behøve å høvle eller pusse av svært lite og er snittet veldig fint kan det hende vi ikke behøver å etterbearbeide i det hele tatt. Det er summen av snitt-tykkelsen og det vi må ta vekk ved etterbearbeidingen som representerer det totale materialtapet ved en oppdeling av trematerialer. Jo tykkere sagblad vi benytter dess rettere og ofte også glattere vil snittet kunne bli, men samtidig stiger snitt-tykkelsen. Omvendt synker snitt-tykkelsen når vi reduserer blad-tykkelsen mens behovet for etterbearbeiding øker fordi bladet vil ha en tendens til å avvike fra det rette plan og vi får bølger i den bearbejdede flaten.

Tapet ved oppdeling blir således summen av sagtannspissenes bredde (snitt-tykkelse) og det vi eventuelt må høvle vekk på de to sidene av snittet for å få den jevnhet og glatthet vi ønsker.

### Tannlukens størrelse bestemmer kapasiteten

Den flisen som skjæres løs av sirkelsagtennene blir samlet opp inne i tannluken og transportert ut av snittet. Når solid trevirke eller trebaserte materialer som f.eks. sponplater blir omdannet til sagflis øker volumet ganske mye. I praksis kan man regne med at volumet blir mellom 2-3 ganger større. Økningen i volum avhenger blant annet av treslag, sagflisstørrelse og trefuktighet. Hvis det er et dypt snitt som skal skjæres vil den flismengden som dannes kunne bli så stor at den fyller tannluken helt og vil prøve å sprengte seg ut mellom sagbladkroppen og siden inne i snittet. I mange tilfeller i møbel- og trevareproduksjon, og særlig med håndmatning, er det ikke tannlukestørrelsen som begrenser matningshastigheten. Ved f.eks. kløving av større bredder vil det fort vise seg at det er praktisk mulig å overfylle tannlukene. Konsekvensen av dette blir at man får det som populært betegnes bølgeskur. I tillegg vil en ofte også kunne få oppvarming av bladene som i sin tur bare forverrer situasjonen og som fører til at strekken i bladene ødelegges.

I eksemplet som følger er vist hvordan vi kan regne ut den maksimale matningen vi kan nytte i en bestemt situasjon. Det valgte eksemplet gir en maksimal matehastighet på 80 m/min og dette er klart mer enn man vil nytte i praksis.

I en del praktiske tilfelle og kanskje særlig med håndmatning vil en faktisk kunne mate for sakte. Når tennene får for lite "å bite i" vil trefibrene virke som en slags børster og polere tannspissene slik at de blir avrundet. Fortrinnsvis skulle man nytte en matningshastighet som gir en matning per tann på minst 0,2 - 0,3 mm og fortrinnsvis enda mer.

#### Sirkelsagens kapasitet:

$p$  = periferihastighet m/s  
 $n$  = omdr/min  
 $m$  = matning m/min  
 $t$  = matning per tann mm  
 $f$  = tannlukereaal  $\text{mm}^2$

$a$  = antall tenner / omdreining  
 $s$  = snittdybde mm  
 $F$  = forholdet flis/fastved (2,5-3,5)  
 $D$  = bladdiameter mm

$$t \cdot n \cdot a = m \cdot 1000$$

$$m = \frac{t \cdot n \cdot a}{1000} \text{ m/min}$$

$$t \cdot s < \frac{f}{F}$$

$$t < \frac{f}{s \cdot F} \text{ mm}$$

$$m < \frac{f \cdot n \cdot a}{s \cdot F \cdot 1000} \text{ m/min}$$

$$m < \frac{f \cdot p \cdot 60 \cdot a}{s \cdot F \cdot D \cdot \pi}$$

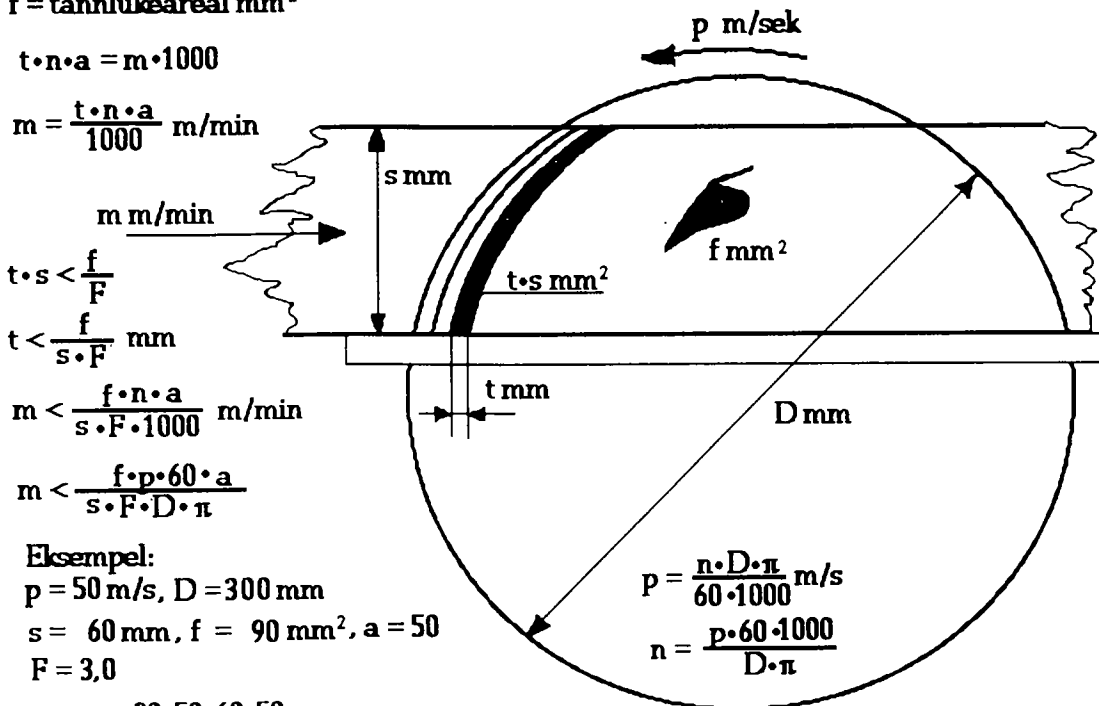
#### Eksempel:

$$p = 50 \text{ m/s}, D = 300 \text{ mm}$$

$$s = 60 \text{ mm}, f = 90 \text{ mm}^2, a = 50$$

$$F = 3,0$$

$$m < \frac{90 \cdot 50 \cdot 60 \cdot 50}{60 \cdot 3 \cdot 300 \cdot \pi} = 80 \text{ m/min}$$



$$p = \frac{n \cdot D \cdot \pi}{60 \cdot 1000} \text{ m/s}$$

$$n = \frac{p \cdot 60 \cdot 1000}{D \cdot \pi}$$

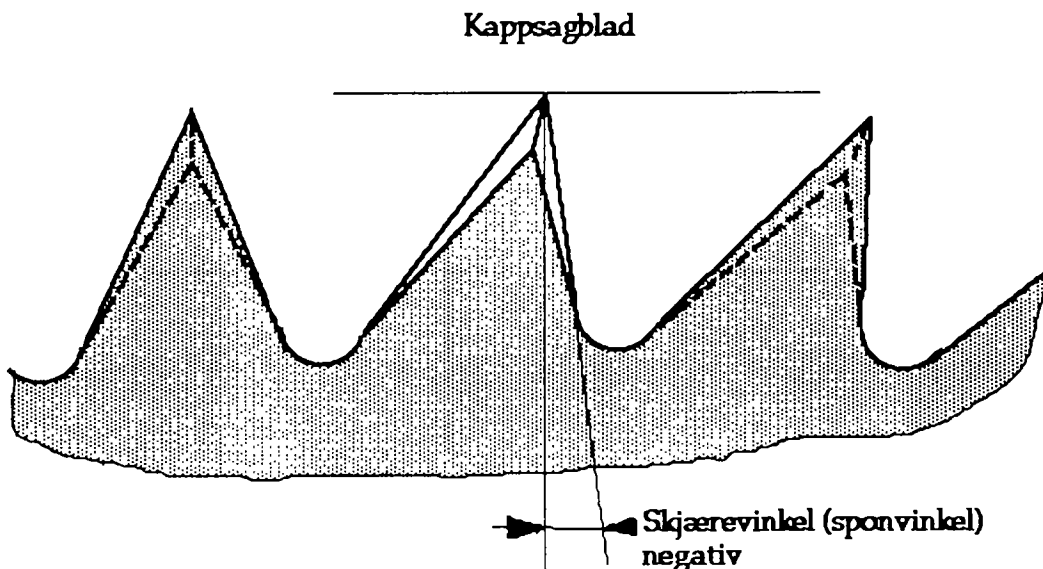
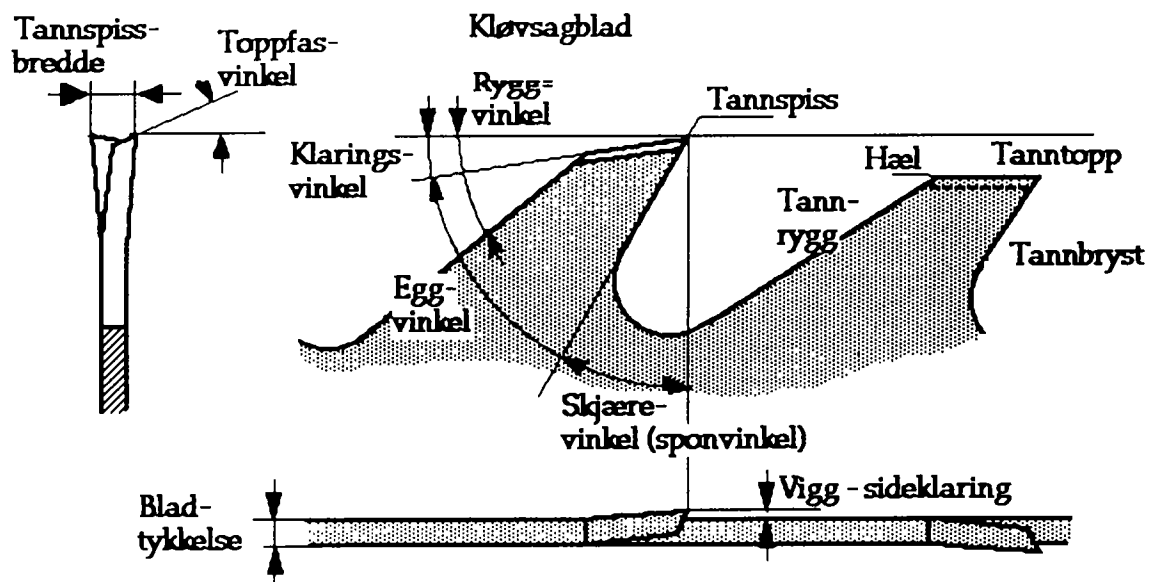


Flateinnholdet av tannluken måler en relativt enkelt ved hjelp av et millimeterpapir og simpelthen ved at man teller antall kvadratmillimeter.

På en rekke sagblader som er laget for å nyttes i justersager og liknende er tennene utformet med en sponbegrensning som i praksis gjør det nær sagt umulig å mate for hardt.

### Tannformer, tanngeometri og tannmaterialer

Tidligere, da den nesten utelukkende ble nytted stålblader og hvor tannspissene var laget av det samme materialet som i bladene forøvrig, ble det som regel bare nytted to tannformer: en tannform for kløving og en for kapping. Tennene på slike stålblader er som regel vigget, dvs. tennene er bøyet ut til siden slik at selve snittbredden blir bredere enn tykkelsen av sagbladkroppen. Kappsagbladene av denne typen er som regel slipt eller filt slik at spissene blir så spisse og skarpe som mulig slik at de kan skjære av fibre effektivt. Tannformene som nyttes er som regel slik at tannens framkant luter bakover ( $0-5^\circ$ ). Kløvsagene har framoverlutende tenner slik at forkanten av tanna - tannbryst - danner en vinkel på mellom  $15^\circ$  og  $25^\circ$  med radien (se figuren).



For å få så stive tenner som mulig slik at de ikke bøyes - særlig aktuelt ved kløving av heltre som inneholder kvist - utformes gjerne tennene så brede som mulig. Det samme gjelder for kappsagblader. Ved kapping av hardt og tørt virke benyttes ofte en tannform som minner noe om en kløvsagtann men med en svært liten eller negativ skjærevinkel.

### **Strekking av bladene**

Når sirkelsagbladene framstilles er utgangspunktet plane stålplater. Når bladene arbeider roterer de med tildels stor hastighet og sentrifugalkreftene har en tendens til å ville utvide platen og mer jo nærmere periferien det dreier seg om. I tillegg til denne effekten vil sagbladene, når de skjærer, bli oppvarmet i tannsonen. Skjærearbeidet overføres dels til sagflisen og dels overføres det til sagbladet gjennom friksjon mellom trevirke og tannspiss og egg. Begge disse effektene - sentrifugalkreftene og oppvarmingen av tannsonen - fører til at bladet forsøker å ekspandere i tannsonen. Midtpartiet som ikke er utsatt for de samme påvirkningene holder imidlertid igjen og det betyr at tannsonen vil ha en tendens til å bukle seg. For at sirkelsagblader under drift skal være noenlunde plane utfører vi derfor den såkalte strekkingen.

Ved strekkeprosessen hamrer eller komprimerer vi på annen måte, f.eks. ved valsing bladets midtparti slik at bladet når det er stillestående og holdes horisontalt faktisk har en svak skålforn. Ved denne strekkingen utvider vi altså midtpartiet men lar tannsonen være urørt. Resultatet blir at det i et stillestående blad er trykkspenninger i bladets midtparti mens det er strekkspenninger i tannsonen. Under drift utvides tannsonen av sentrifugalkreftene og oppvarmingen og dersom strekkingen er riktig utført vil bladet under drift være ganske plant og uten sterke spenninger i de forskjellige partiene av sagbladet.

Som nevnt utfører vi strekkingen ved at vi hamrer eller på annen måte komprimerer midtpartiet. Tidligere var det vanligste hamring men i dag leveres de fleste nye blader med spenningene tilført ved hjelp av valsing eller ved såkalt "peening", dvs. at bladet "beskytes" med stålkuler med stor hastighet. Strålen av stålkuler virker på et vis som en slags hamring av overflaten men istedetfor markerte hammerslag fordeles påvirkningene jammere.

Det anvendes også en omvendt prosess som særlig nyttes ved framstilling av mindre og billige sirkelsagblader til håndsager, nemlig at tannsonen krympes. Dette gjøres ved at bladet, mens det roterer, oppvarmes i en sirkel rett innenfor tannsonen. Ved oppvarmingen forsøker stålet i den oppvarmede sonen å utvide seg med holdes igjen av stålet innenfor. Ved høy nok temperatur vil stålet flyte litt ut på tvers av bladets plan. Når bladet nedkjøles vil stålet få tilbake sin opprinnelige fasthet og det vil oppstå strekkspenninger i tannsonen og som et resultat av dette igjen trykkspenninger i midtpartiet. Og det er nettopp dette vi vil ha for at bladet skal være så plant som mulig når det brukes.

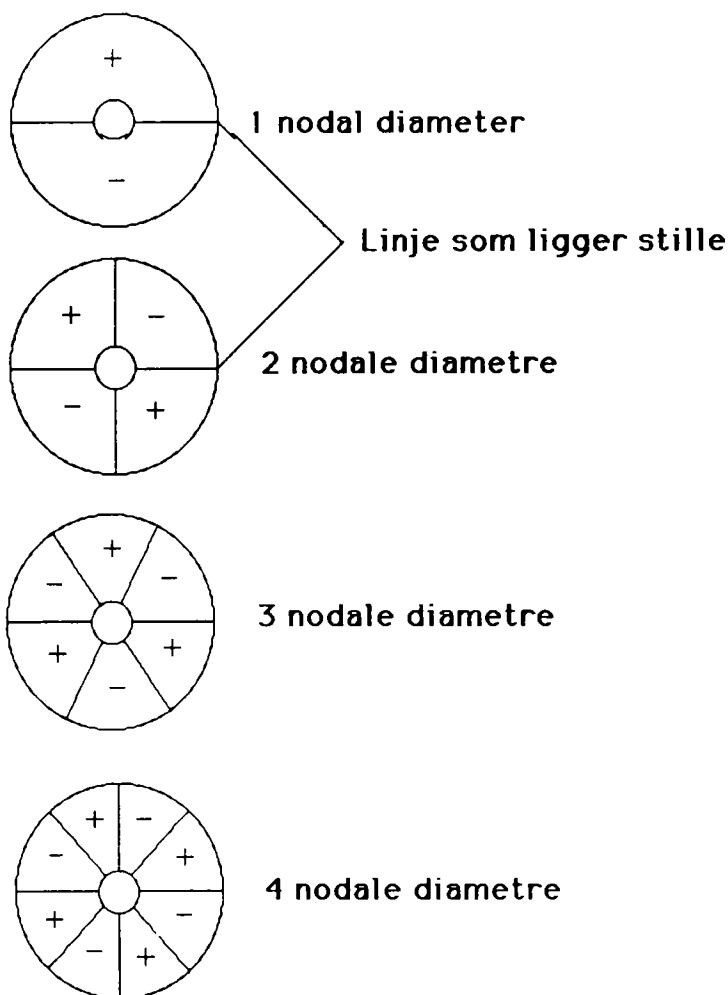
Tynne stålskiver settes lett i svingninger på tvers av planet og har sine egne svinge- og frekvensmønstre avhengig av bladstørrelse, tykkelse, spenningsforhold og ytre påvirkning, slik som temperatur, luftstrømmer rundt tennene, etc..

Holder man et sirkelsagblad på en trestokk gjennom senterhullet og slår på det med en egnet gjenstand, f.eks. en liten hammer, vil man høre at sagbladet virker som et klanglegeme, ja nesten som en gong-gong. Det klangbildet vi opplever er som regel satt sammen av en rekke forskjellige frekvenser og er forskjellig fra sagblad til sagblad. Faktorer som virker inn på dette klangmønsteret er bladets diameter, dets tykkelse og geometri forøvrig ( om det er plant, konisk eller har et tykkere midtparti, samt utformingen av tannsonen), de spenningene som finnes i bladet på grunn av strekkingen samt hvilket materiale bladet er laget av, dvs. hvilken stivhet sagbladet har.

Dersom vi spenner opp et sirkelsagblad slik at det ligger horisontalt og setter det i vertikale svingninger ved hjelp av et pulserende magnetfelt som virker i kanten av bladet

og som vi kan variere frekvensen på, vil det dannes bølger som forplanter seg til begge sider langs bladets periferi. Dersom frekvensen er "riktig" vil bølgene i de to retningene møte hverandre i faste punkter slik at de henholdsvis forsterker hverandre eller opphever hverandre, det oppstår resonans. Der bølgene opphever hverandre vil det fortone seg som om bladet står i ro mens der de forsterker hverandre vil bladet svinge opp og ned ( på tvers av bladplanet).

Vi kan observere de forskjellige svingemønstrene som opptrer ved forskjellige bestemte frekvenser, dersom vi f.eks. strør fin sand på bladets overflate. Ved å bruke fin sand og tvinge bladet til å svinge som beskrevet over vil vi direkte kunne observere de vanligste svingemønstrene fordi sanden vil samles i de områdene av bladet som ligger i ro, dvs. langs de sirkelene eller radiale linjene som ligger stille. I de partiene som svinger vil stålplaten svinge opp og ned og sanden hoppe rundt. I figuren er forsøkt illustrert de vanligst forekommende svingemønstrene man kan observere. De stillestående linjene benevner vi gjerne nodale diametre og de svingende partiene for noder. Det opptrer forøvrig også bølger som forplanter seg innover bladplanet som sirkler som krymper og som returnerer fra bladsentrum omtrent som ringer i vann når vi kaster uti en stein.



Når vi bruker sirkelsagbladene står de imidlertid ikke i ro, de roterer. Som nevnt forplanter bølgene seg begge veier langs periferien ut fra det punktet hvor forstyrrelsen oppstår. De bølgene som forplanter seg i bladets rotasjonsretning vil få en hastighet som svarer til summen av bølgehastigheten og rotasjonshastigheten mens de bølgene som forplanter seg mot bladets rotasjonsretning vil få en hastighet som er differensen mellom bølgehastigheten og rotasjonshastigheten. Dersom sirkelsagbladet roterer med en

hastighet som medfører at de nodale diametrene og nodene blir liggende stille i planet ( det har oppstått stående resonans) vil bladet rotere med det såkalte kritiske turtallet og det skal svært små sideforstyrrelser til før bladet mister stivheten og bukler seg.

Dersom man har et sirkelsagblad som har blitt blåflekket på grunn av at det har buklet seg "gått varmt" vil man se at disse flekkene som regel ligger enten  $120^\circ$  eller  $90^\circ$  i forhold til hverandre. Dersom slik varmgang inntreffer vil det si at turtallet har vært kritisk i forhold til bladets egenfrekvens.

Bladets egenfrekvens kan måles og det anvendes i enkelte amerikanske bedrifter en systematisk måling av egenfrekvensen for å forhindre at man opererer de enkelte bladene ved de kritiske turtallene. Senkes turtallet med i størrelsesorden 15-20% i forhold til det kritiske turtallet vil bladene som regel oppføre seg forskriftsmessig. Jo større bladdiameteren er dess lavere blir det kritiske turtallet. Økes diameteren på klembrikkene (bladflensene) vil det kritiske turtallet for et gitt sagblad øke. Jo tykkere bladet er dess høyere er det kritiske turtallet. Ved å strekke bladet kan vi også øke det kritiske turtallet.

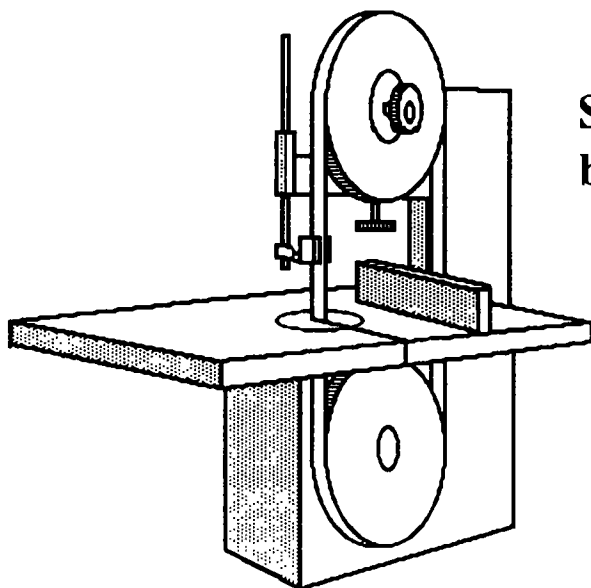
Som nevnt foran finnes det en rekke metoder for strekking av sirkelsagblader. I tillegg til de metodene som er nevnt finnes det også hva man kan benevne "dynamisk termisk strekking". I tidligere tider utførte ofte kløvsagmestrene i høveriene slik strekking ved at de varmet opp de roterende bladene inne ved sentrum enten ved at de "pakket" bladene ved at det ble plassert filler, fliser eller liknende i utsparinger i sagmaskinen slik at det oppsto friksjonsoppvarming inn mot sentrum eller at man simpelthen varmet bladet ved å holde en kjepp mot bladet slik at det ble friksjonsoppvarmet. Ved at temperaturen ble forhøyet inne ved sentrum øket man strekken i bladet og med det ville man kunne få stabile forhold ved at det kritiske turtallet ble øket.

De optimale betingelsene for slik strekking av sirkelsagblader ble fastlagt gjennom et forskningssamarbeide mellom den amerikanske forskeren Dan Mote (fra University of California i Berkeley) og den norske forskeren Sindre Holøyen (ved Norsk Treteknisk Institutt). De kartla at dersom man hadde en overtemperatur inne ved bladmidten som er ca  $20-24^\circ$  høyere enn ved periferien vil bladet være på sitt mest stabile. Dette resulterte i et patent med Sindre Holøyen som oppfinner og dette ledet i sin tur til at firmaet JaJod utviklet en innretning benevnt "Thermostress". Denne innretningen finnes det et ganske stort antall av i bruk i norske høvlerier og sagbruk, samt i enkelte snekkerbedrifter. Utstyret består av en berøringsfri termometer som måler temperaturen ved bladperiferien og inne mot sentrum av bladet. Disse temperaturene sammenholdes og dersom temperaturdifferansen er for liten varmes bladet opp inne ved sentrum ved hjelp av en induksjonsoppvarmer.

## 10. Båndsagen, konstruksjon, virkemåte og anvendelse

En båndsag har, som navnet indikerer, et bånd som sageverktøy. Båndsagbladet, et fleksibelt tynt endeløst stålband med tenner på en eller begge sidekanter, danner et kontinuerlig verktøy. Båndsagbladet spennes stramt opp over to eller flere hjul. Ett av hjulene fungerer normalt som drivhjul og trekker båndsagbladet rundt. Båndsager anvendes i sagbruks- og høvlerivirksomhet, men kanskje like mye i snekkerivirksomhet, samt hvor trevirke skal deles opp ved hjelp av høye snitt. Båndsager anvendes imidlertid også i stor utstrekning for oppdeling av andre materialer enn tre og trebaserte materialer. Slakteriene anvender båndsager for å dele opp kjøtt. Fiskeforedlingsindustrien som lager "fiskepinner" nytter båndsager for å dele opp store blokker med frossenfisk til "pinner". I metallindustrien har båndsager stor anvendelse for oppdeling og tildanning av plater og emner i de forskjelligste materialer.

Båndsager kan i prinsippet deles inn i to hovedtyper. Den ene hovedtypen er laget for, og anvendes til å lage rette snitt ved oppdeling av tømmer, planker og bord. Disse sagerne har relativt brede blader og gjennomgående stor motoreffekt. Den andre hovedtypen, og som anvendes i snekkervirksomheter er hovedsakelig laget for, og anvendes til, å sage kurvede snitt (sveifing på "snekkerspråket"). Disse sagerne har derfor smale blader og er beregnet for relativt små motoreffekter og lave matningshastigheter.

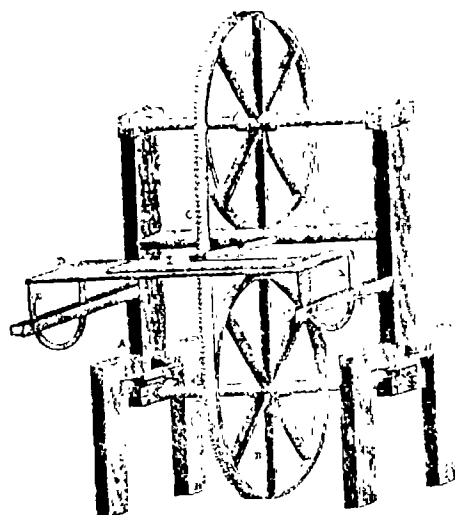


**Snekker-  
båndsag**

### Historikk

Mange, særlig franskmenn, hadde ihvertfall siden midten på 1700-tallet tenkt og eksperimentert med å framstille en maskin som kunne avløse de vanlige "vippesagene", som ble anvendt ved kurvesaging, med sager med et endeløst sagblad, uten at de fikk dette til.

Det første kjente patent vedrørende båndsager ble utstedt i England i 1808 til William Newberry.

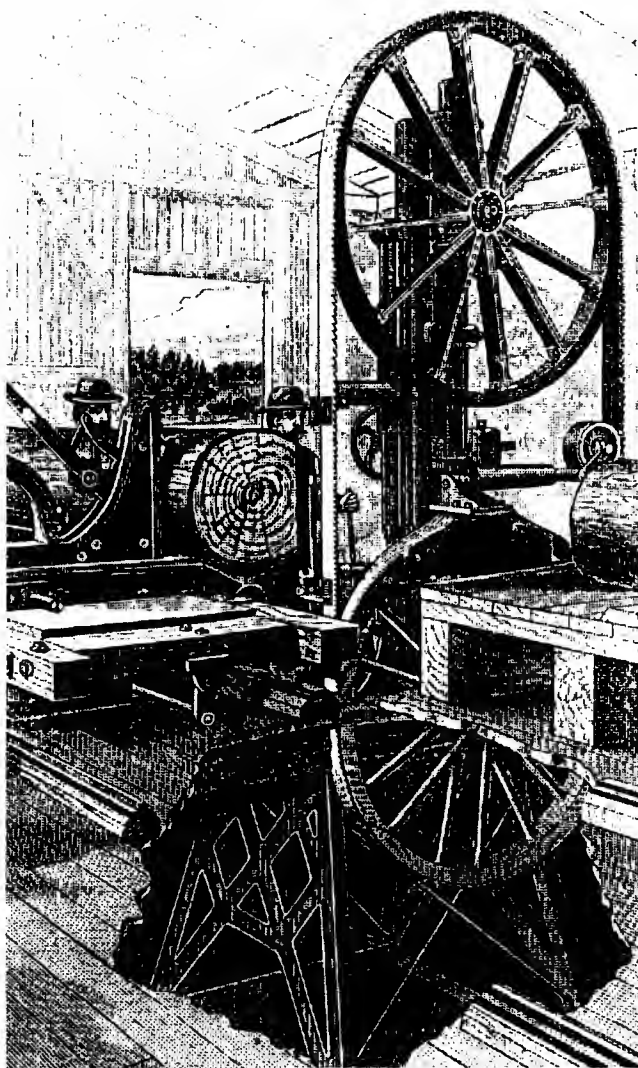


Den maskinen som er skissert i patentsøknaden skulle i prinsippet kunne fungere. I praksis gjorde imidlertid heller ikke denne maskinen det, og det tok bortimot 50 år til før båndsagmaskinene var virkelig anvendbare. Hovedgrunnen til at båndsagmaskinene ikke virket var imidlertid ikke maskinutformingen men at man ikke hadde blader som var gode nok. De første båndsagbladene ble framstilt av vanlig båndjern og de ga langtfra tilfredsstillende levetid.

Rundt midten av forrige århundre var det en franskmann, Perin, som lyktes i framstille et tilfredsstillende båndsagstål samt en skjøtemetode basert på slaglodding av bladene slik at man kunne framstille de endeløse båndene. Fortsatt anvendes slaglodding, omenn med noe endrede loddemetaller, for endel typer av båndsager. Som vil bli diskutert i avsnittet om båndsagbladene, deres framstilling og vedlikehold har også på dette området sveising blitt stadig mer vanlig for sammenføyning av bladene.

I Europa fortsatte utviklingen av det vi kan kalle snekkerbåndsagen, en sagmaskin med smalt blad som egner seg godt for saging av kurvete snitt. Båndsaghjulene var bandasjerte, dvs. at de var forsynt med et mykt belegg av lær, gummi eller liknende som forhindret at tennene på båndsagbladet ødela hjulbanen. Mindre snekkerbåndsager er fortsatt laget på denne måten, dvs. at hjulbanene er belagt med et mykt belegg. En snekkerbåndsag kan også sage rette snitt men det er meget begrenset hvilken matehastighet den kan benytte.

I Nord-Amerika utviklet man fra midten av forrige århundre en ny type båndsager som egnet seg ved bearbeiding av tømmer og større tredimensjoner og som særlig var beregnet på rette snitt (ihvertfall i prinsippet). Til forskjell fra de omtalte snekkerbåndsagene var disse sagmaskinene svært store, de opererte med svært brede sagblader og bladshastigheten var også vesentlig større enn det som ble nyttet på snekkerbåndsagene. Bladene lå rett på hjulbanene uten bandasjering. Det var selvsagt de enorme tømmerdimensjonene som amerikanerne og kanadiere var ute etter å dele opp som drev denne utviklingen. Båndsagmaskiner med hjuldiametre på opp til 3 m ble framstilt, og med bladbredder på helt opptil 18" (= 457,2 mm). Snittene var tykke og nøyaktigheten målt med dagens standard var klart diskutabel. Råstoffet var imidlertid nesten gratis - det var kun hogst og framdrift som skulle betales - og litt ekstra skurmann tellet derfor sannsynligvis ikke så mye.



Etter relativt få år hadde europeiske båndsaagfabrikker adoptert de nordamerikanske byggeprinsippene og allerede ved århundredskiftet ble nye båndsaager utviklet b.a. i England, Frankrike og Belgia. Disse europeiske nasjonene var alle kolonimakter og importerte store mengder eksotiske treslag i tildels store dimensjoner. De eksporterte også sine båndsaager til koloniene og til andre land som hadde store tømmerdimensjoner.

På et vis kan man konstatere at de tømmertagende båndsaagene ikke har gjennomgått noen gjennomgripende endringer siden begynnelsen av dette århundre. Høyere bladspenninger, høyere hastighet, nye og mer effektive styringer samt bedre båndsaagstål har medført at prestasjonene er noe høyere i dag både hva gjelder produktivitet (matehastighet) og sagenøyaktighet.

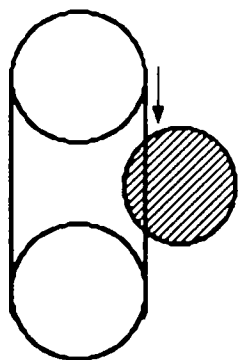
De første tømmertagende båndsaagene i Norge, som ble tatt i bruk rundt ca. 1960, var stort sett alle av britisk fabrikat. Senere har bildet endret seg, svenske fabrikker har levert mange båndsaager til Norge, men det finnes også saager av finske, tyske og fra noen få andre land. I høvleriene finnes det fortsatt en god del norske kløvbandsaager av norsk fabrikat (JaJod). Da de første båndsaagene ble tatt i bruk i sagbrukene ble det nyttet engelske sagblader, men etterhvert er det nesten utelukkende svenske båndsaagblader som nyttes i sagbruks- og høvleriindustrien.

Grunnen til at det i Norge ikke ble tatt i bruk båndsaager i sagbruks- og høvleriindustrien tidligere var stort sett at man ikke hadde erfaringer med store båndsaager og derfor heller ikke personell som kunne behandle bladene på riktig vis. Som vi skal diskutere litt senere

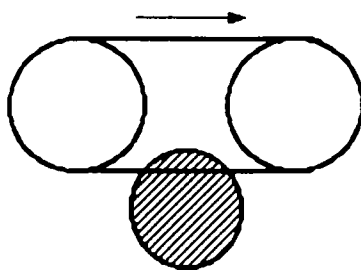
er det i stor utstrekning bladenes strekktilstand som bestemmer hvor godt bladene oppfører seg.

### Båndsakkonstruksjoner

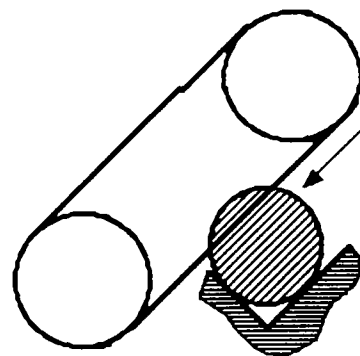
Som navnet sier sager båndsagen ved hjelp av et båndformet verktøy som har tenner i den ene eller i begge kanter og som er skjøtt sammen slik at det danner en sammenhengende lengde. Dette båndet er spent opp over to eller flere hjul. Det vanligste er at det nyttes to hjul, det ene er drevet av motoren, gjerne over en removerføring, mens det andre drives rundt av selve sageverktøyet som således virker også som en slags flatrem. Mange av de tidlige båndsagene var vertikale tohjulsmaskiner, og det er fortsatt det vanligste. Det ble imidlertid tidlig utviklet maskiner med liggende bånd og det kan ha sine fordeler når det skal sages svært grove tømmerdimensjoner av svært tunge treslag. Det er i de senere årene også utviklet atskillige mindre båndsager for tømmeroppdeling som arbeider med den sagende delen av båndsagbladet i horisontal stilling.



**Vertikal**

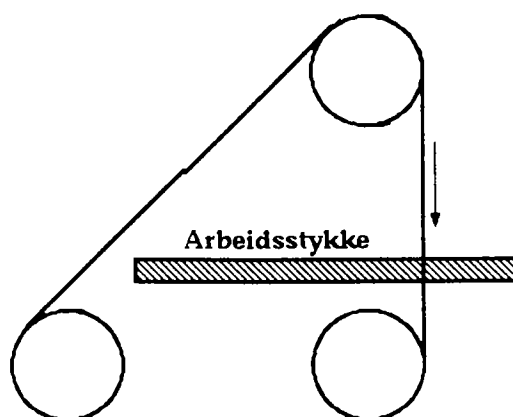


**Horisontal**



**Skråstilt**

Det er også bygget skråstilte båndsager hvor det som skal deles opp, tømmer eller trelast, holdes på plass mot anlegget - som er vinkelformet - ved hjelp av tyngdekraften. Som nevnt kan båndsager også bygges med flere enn to hjul. Hensikten med det er å oppnå større avstand mellom den sagende delen av sagbladet og den delen som beveger seg i motsatt retning. Vanligst er nok dette prinsippet ved små båndsager beregnet for forskjellige snekkerarbeider.

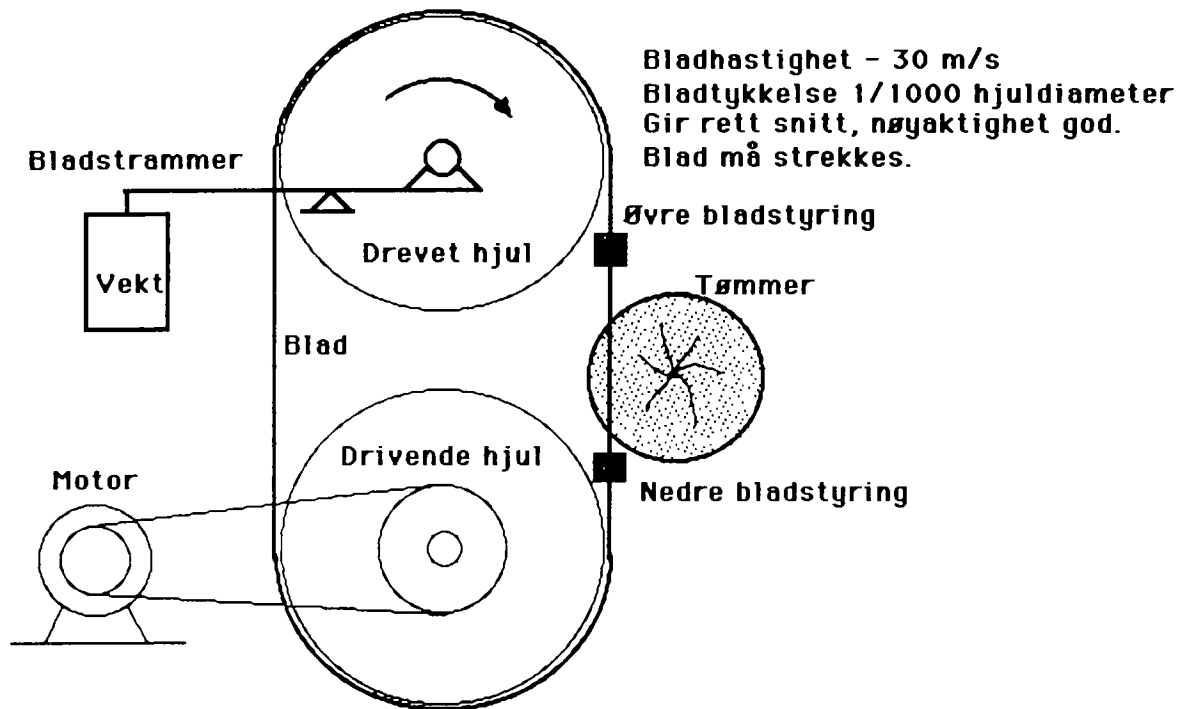


**Trehjuls båndsag for store arbeidsstykker**

Selve den konstruktive utformingen avhenger selvsagt av hva slags båndsag det dreier seg om og hva den skal anvendes til. For å begynne med hjulene som utgjør viktige elementer, så er disse som regel støpte. Det anvendes både helstøpte hjul og hjul med eiker. Det drivende hjulet som skal overføres motoreffekten til båndsgabladet er ofte

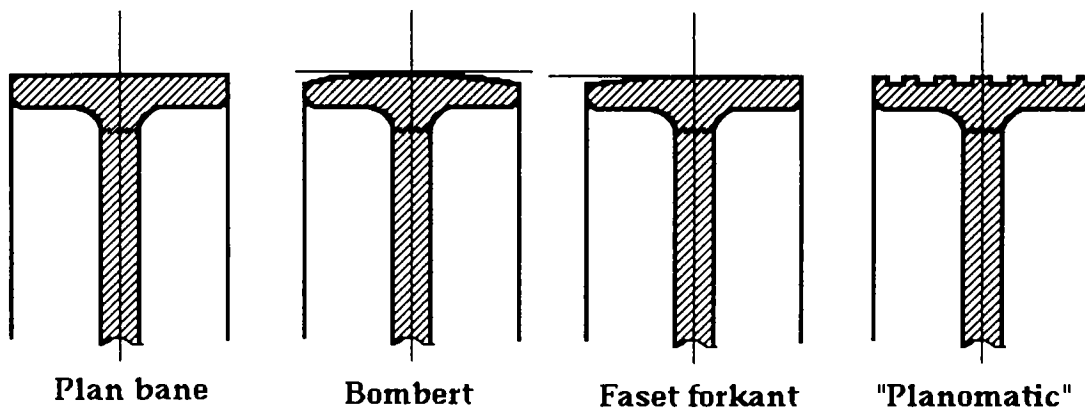


kraftigere dimensjonert enn det drevne hjulet (de drevne hjulene dersom det er en båndsag med flere enn to hjul).



Hjulbanen er en vesentlig detalj ved båndsaghjulene og det finnes en rekke utforminger. Hjulene på snekerbåndsager er som nevnt som regel bandasjert og vanlig nyttet i dag er enten kork eller gummi.

På maskiner for brede bånd, dvs. som anvendes for rette snitt og derfor er de vi anvender i sagbruk og høvlerier ligger tanningen utenfor hjulbanen. Det tilstrebes en avstand på noen millimeter (5 millimeter) mellom tannlukebunnen og kanten på hjulbanen. Det finnes flere former for utforming av hjulbanene. De mest vanlige er skissert i illustrasjonen under.

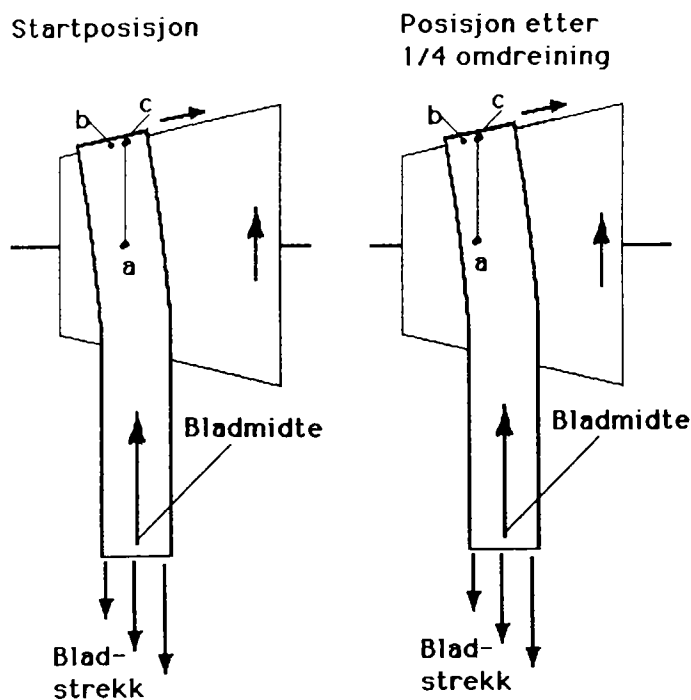


For å styre båndene slik at de ikke presses av hjulene forsøkte de som utviklet de første båndsagene å utstyre hjulene med en styrekant i bakkant. Dette medførte at sagbladet ble oppvarmet av friksjonen mot styrekanten og raskt ødelagt. Etterhvert fant man fram til at det kunne la seg gjøre å holde bladene på hjulene simpelthen ved den interne spenningstilstanden man kan bygge inn i bladene (det som i det senere benevnes "strekken" i bladene) kombinert med hjulbanenes utforming (plan hjulbane, bombert hjulbane, faset forkant og "Planomatic") og hjulenes stilling i forhold til det planet sagtennene beveger seg i.

### Hvorfor bladene holder seg på hjulene

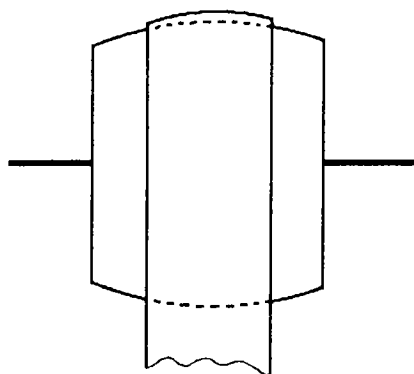
Det er sannsynligvis mange som har fundert på hvordan et båndsaagblad holder seg på hjulene. I "gamle dager" var det mange som funderte på hvordan flatremmene klarte å holde seg på plass. I det følgende gjengirs her en forklaring gitt av Wong og Schajer ved "University of British Columbia" i Vancouver i Kanada.

For å forstå hva som skjer la oss betrakte et bånd (båndsaagblad uten tenner f.eks.) som er spent opp på et konisk hjul som vist i figuren. Når vi strammer opp båndet får vi en ujevn strekk i bladet pga. konisiteten og dermed vil bladet bli svakt krummet (krummingen på tegningen er sterkt overdrevet) i bladplanet. La oss se på punktet a idet det akkurat kontakter det koniske hjulet.



Da ser det ut som om punktet a er bestemt å ende opp i punkt b når hjulet har rotert 1/4 omdreining. Pga. trykket mellom båndet og hjulet er det stor friksjon mellom de to og det skjer ingen glidning av båndet mot hjulet. Derfor følger punktet a en sirkelbane vinkelrett på hjulets rotasjonsretning og ender etter 1/4 omdreining opp i punktet c. Dette innebærer at båndet "klatrer" mot den tykkeste enden av det koniske hjulet.

I det virkelige liv er ikke båndsaaghjul ensidig koniske. Ofte er de som allerede nevnt utfomet med en overhøyde på midten - de er "bomberte". Det betyr at dersom midten av bladet innledningsvis er til ene siden for den forhøyete midtbanen så vil det forflytte seg mot det høyeste punktet. Når det har kommet dit blir strekken i bladet pga oppstramningen symmetrisk om midten og bladet balanserer i en likevektsposisjon.



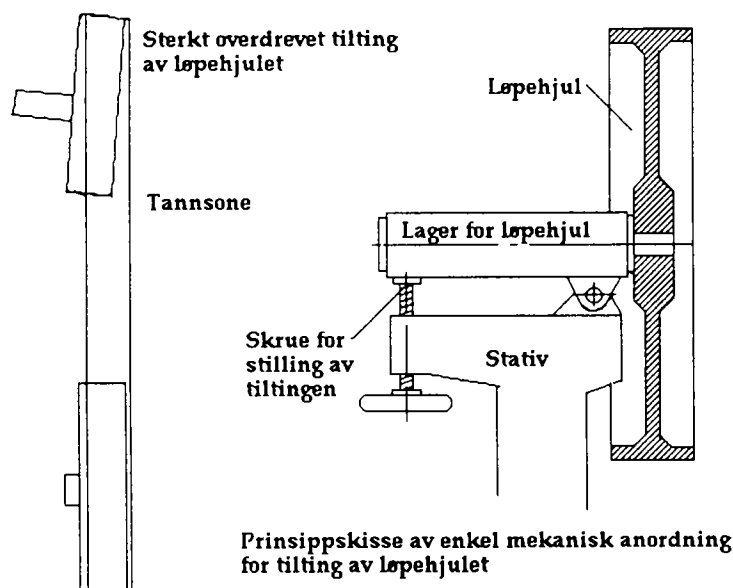
Dersom et blad kommer utfor kanten på et hjul med sylindrisk hjulbane vil bladet bøyes over kanten og virkningen blir som om hjulet er konisk og bladet vil derved bevege seg inn på hjulbanen igjen.

### Bladstrekking

Som senere vil bli diskutert mer i detalj i avsnittet om båndsagbladets utforming strekkes sagbladene ved at de deformeres ved hjelp av valsing (tidligere ble bladene hamret) slik at midten av bladet er lengre enn både forkanten (der tanningen er) og bakkanten (dette gjelder bare sagblader med tenner på den ene siden, med tanning på begge sider må strekkingen være symmetrisk) og slik at forkanten er kortere enn bakkanten. Når et båndsagblad sager blir forkanten oppvarmet og dermed forlenger bladets forkant seg. Den strekken som settes inn i bladene som nevnt er blant annet ment å skulle kompensere for den forlengelsen som skyldes oppvarmingen.

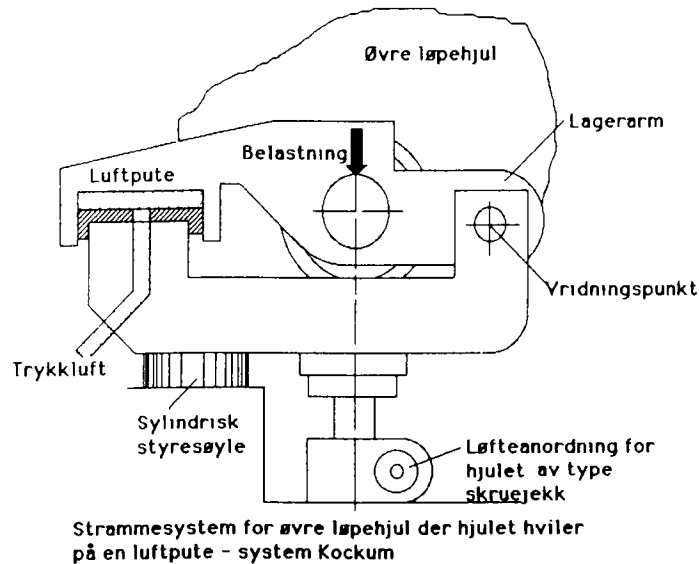
Når et båndsagblad sager vil bladet skyves bakover på hjulene. For å motvirke dette skråstiller man gjerne det ene eller begge hjulene slik at de "heller" forover. Dette betegnes ofte (etter det engelske begrepet) at man "tilter" hjulene. Etterhvert som bladet utvider seg pga. den oppvarmingen - hele bladet oppvarmes noe, ikke bare forkanten (tannsonen) - som skjer, og pga. de kreftene som tenderer til å skyve bladet bakover, vil bladet forskyve seg litt bakover men pga. skråstillingen av hjulet (hjulene) vil bladet finne seg en ny likevektstilling.

For å få til den ønskete skråstillingen må båndsagene rent konstruktivt utformes slik at enten den ene eller begge hjulenes aksler kan skråstilles. Det finnes en rekke konstruktive løsninger for dette.

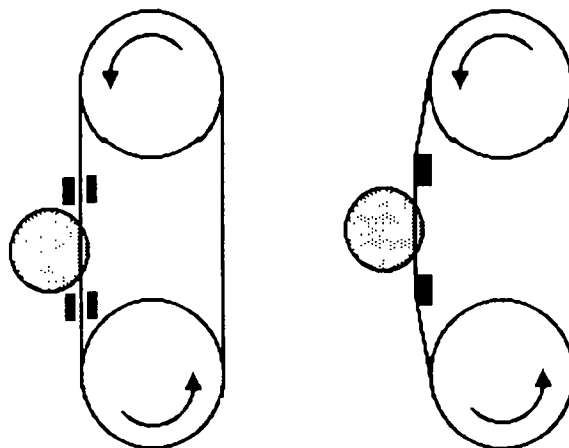


Prinsippskisse av enkel mekanisk anordning for tilting av løpehjulet

Som nevnt oppvarmes ikke bare bladets forkant men etterhvert også hele bladet, omenn det er forskjell på oppvarmingen i forkant, i bakkant og i midtsonen av bladene. Dette innebærer at hele bladet blir lenger. For å kompensere for denne lengdeforandringen og også for å kunne absorbere slagpåvirkninger som kan oppstå for eksempel når bladet treffer en stor og hard kvist utformes båndagene slik at at hjulene avstand kan forskyves lite grann ved hjelp av enten vektstangsystemer, mekaniske fjærsystemer, pneumatiske eller hydrauliske systemer. Disse systemene benyttes samtidig til å spenne opp båndagbladene med den strekkspenningen man vil ha.



I strekket mellom hjulene vil båndagbladet relativt lett både kunne komme i svingninger og bøyes ut dersom det utsettes for sideveis krefter. For å redusere effekten av slike forstyrrelser anvendes de såkalte bladstyringene. Det finnes to hovedtyper - den ene typen har styrepinner på begge sider av bladet, plassert slik at det er en liten klaring mellom pinnene og selve bladkroppen. Den andre hovedtypen virker bare på den ene siden av bladkroppen og spenner denne ut lite grann fra den rette linjen som tangerer de to hjulene. Avstanden bladet spennes ut fra den rette linjen kan være i størrelseorden 5-10 mm.



I begge formene for bladstyringer er det viktig at de stoffene som nyttes har så lav friksjonkoeffisient mot stål som mulig. Den typen bladstyringer som spenner bladet ut fra den rette linjen kan være laget av forskjellige kunststoffer. Det anvendes også keramer i slike bladstyringer. Disse bladstyringene kan også være kjølte og smurte ved at det sprøytes vann eller en vann-olje-trykkluftblanding på dem.

### Båndagbladet, dets utforming og skjøtsel

**Professor  
Rolf Birkeland**

Et godt båndsgmateriale bør ha følgende egenskaper:

- God slitestyrke for å kunne beholde eggskarpheten
- Stor seighet for å tåle kalddeformasjonen som opptrer ved steking
- Stor slagseighet for å motstå slagpåkjenning
- God utmattingsfasthet for å motstå faren for tretthetsbrudd ved bladets

gjentatte bøyninger over saghjulene.

De kravene som er stillet lar seg vanskelig kombinere i ett og samme stål og de kvaliteter som nyttes er derfor en slags kompromissløsninger.

Båndsgbladene som anvendes i trelastindustrien er framstilt av stål med innslag av forskjellige legeringselementer. En omtrentlig sammensetning kan være som følger:

C = 0,70 - 0,75 %

Si = 0,20 - 0,25 %

Mn = 0,35 - 0,65 %

P = maksimalt 0,020 %

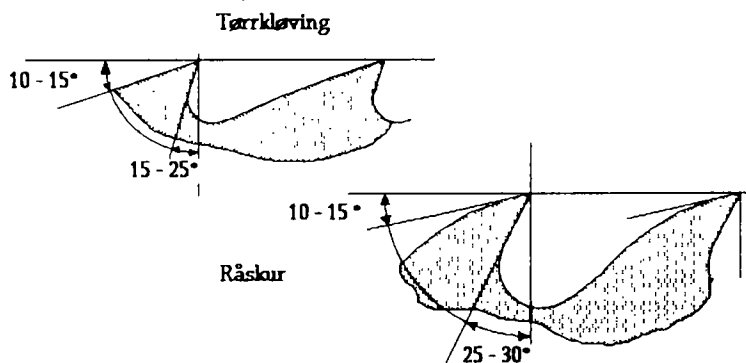
S = maksimalt 0,017 %

Ni = 2,0 % for sagblader med stukete tenner

Stålet leveres som båndstål i lange lengder. Vanlige tykkelser er enten angitt i millimeter (svenske verk) eller i bladnr. (Britiske sagblader). Vanlige brukte tykkelser for snekkerbåndsager er fra 0,4 - 1,0 mm mens det for kløvbåndsager gjerne nyttes tykkelser fra 0,9 til 1,5 mm. I sagbrukene nyttes gjerne bladtykkelser fra 1,25 og opp til 2,0 mm. Hvilken tykkelse man skal nytte avhenger i stort monn av hjuldiameteren. En praktisk tommelfingerregel er at bladtykkelsen skal være lik eller mindre enn 1/1000 av hjuldiameteren for at ikke bøyespenningen som oppstår skal overstige utmattingsfastheten. Svært vanlig i norske sagbruk er båndsager med hjuldiameterer på 1500 mm og tilhørende bladtykkelser på omtrent 1,5 mm. Sprekkdannelser som oppstår pga. de gjentatte bøyningene søkes forhindret ved at man sliper tennene om igjen etter relativt kort tid. Vanlig er det faktisk at tennene slipes om etter ca. 4 timers saging.

Selve bladproduksjonen innebærer at tennene stanses ut, stålbåndet rettes, båndet loddes eller sveises, bladet rettes og strekkes, tennene stukes (eller vigges) eller det sveises på tannspisser av stellit.

Tannformene er viktige. Jo større tannluke man kan ha dess større avvirkningskapasitet har et båndsgblad. Jo større tannavstanden blir dess større matning per tann må man nytte for å ha samme matningsahstighet ved en gitt bladhastighet. Jo høyere tennene er dess lettere vil de kunne bøyes ut til siden dersom de utsettes for sidekrefter.



Det finnes en rekke tanntyper som anbefales for forskjellige forhold. Sagbladfabrikkene og de fabrikkene som leverer slipeutstyr anbefaler mange forskjellige tannformer og det anbefales at man ved eventuelle endringer av tannformer søker råd både hos leverandørene og kolleger som arbeider med samme maskintyper og noenlunde ens råstoff.

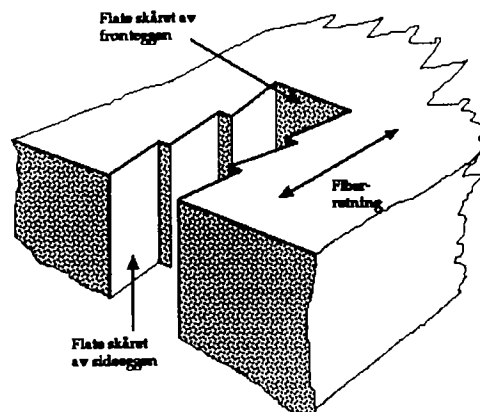
Når et sagblad sager er det viktig at tannspissene er bredere enn tykkelsen på bladkroppen, slik at det er klaring i sagsnittet mellom treoverflatene og sagbladets sider. Hvor stor klaring som skal nyttes i det enkelte tilfelle avhenger av hvilket treslag som

**Professor  
Rolf Birkeland**

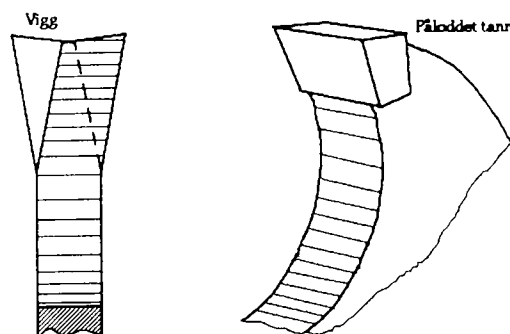
sages, hvor høy densiteten og fuktigheten er, samt hvilken temperatur trevirket har. Når det sages hardt, tørt og frosset virke kan det nyttes liten sideklaring (0,3 - 0,5 mm til hver side), mens det for mykt og rått trevirke bør nyttes større sideklaring (0,5 - 0,7 mm til hver side).

Tidligere ble sagtennene vigget, dvs. de ble bøyet annenhver tann til hver sin side av bladet. Fortsatt anvendes dette på mange snekkerbåndsager. Etterhvert har man imidlertid tatt til å stuke tannspissene for på denne måten å øke tannspissbredden. Stukingen skjer ved at en eksentrisk bolt dreies rundt mot tannens front mens det klemmes en ambolt mot tannens ryggside. Ved denne prosessen klemmes stålet i tannspissen ut slik at tannen blir bredere og lengre. For å få den ønskete bredden anvendes som regel en såkalt egalisering som kan bestå i at klembakker klemmer tannspissen inn til ønsket bredde eller ved at sidene slipes vekk. Trykkegaliseringen gir erfaringsmessig en noe hardere og dermed sterkere tannspiss mens den slipegaliserte tannspissen opviser større nøyaktighet. Etter stukingen og egaliseringen slipes tannen til den ønskete profilen, som regel ved hjelp av en slipeautomat. Som regel anvendes aluminiumoksydkiver med korning i størrelsesorden 50- 60. Som nevnt slipes tennene svært ofte for å forhindre at små riss i tannbunnen skal utvikle seg til sprekker. Ved hver sliping reduseres tannspissbredden og etter endel gangers omsliping må stuken taes helt vekk og tennene stukes opp igjen.

Figuren under viser hvordan de enkelte stukete tennene skjærer ut veden.



I de senere årene har det også for båndsaager blitt vanligere å sveise på tannspisser av et annet materiale enn det bladet forøvrig er laget av. Stellite, som er en sammensatt legering bestående av karbon (C = 2 - 4 %), krom (Cr = 25 - 35 %), wolfram (tungsten på engelsk) (W = 5 - 20 %), kobolt (Co = 20 - 55 %) og jern (Fe = 0 - 10 %) er det vanligste materialet for tannspisser på båndsaager i sagbruksindustrien.



Som nevnt foran strekkes sagbladene ved at de deformeres ved hjelp av valsing (tidligere ble bladene hamret) slik at midten av bladet er lengre enn både forkanten (der tanningen er) og bakkanten (dette gjelder bare sagblader med tenner på den ene siden, med tanning på

begge sider må strekkingen være symmetrisk) og slik at forkanten er kortere enn bakkanten. Når et båndsaagblad sager blir forkanten oppvarmet og dermed forlenger bladets forkant seg. Den strekken som settes inn i bladene er blant annet ment å skulle kompensere for den forlengelsen som skyldes oppvarmingen. Strekkingen foregår idag som regel ved at bladet deformeres i langsgående riller ved at det presses mellom to herdede stålruller som er drevet maskinelt. At strekken er riktig kontrolleres enklest ved at man måler den konvekse krummingen i bakkant av bladene og som kommer fram når en del av bladet legges ned på et flatt underlag.

### Båndsaagens kapasitet

Båndsaagens kapasitet er bestemt av flere faktorer, men viktigst av disse er tannutformingen og bladhastigheten. Hver tann skjærer på sin vei gjennom virket ut et prisme med bredde tilsvarende tannspissbredden, tykkelse som svarer til matningen per tann ( $t$ ) og lengde tilsvarende snittdybden ( $s$ ). Den vedmengden som dette prismet inneholder skal fraktes gjennom og ut av snittet inne i tannluken. Med andre ord stuves sagflisen opp inne i tannluken etterhvert som tannen går gjennom veden. Sagflis pakker relativt dårlig og den sagflis som dannes av et bestemt massivt vedvolum øker erfaringsmessig til ca 2,5 - 3,5 ganger det opprinnelige vedvolumet. Hvor stor økningen av volum blir avhenger av en rekke faktorer, bl.a. treslaget, densiteten, trefuktigheten og matningen per tann. Hvis sagflisen inne i tannluken komprimeres utover det som er det naturlige volumet for flisen som er dannet av den vedmengden som er skåret løs vil det dannes en relativt hard sagflisplugg som vil kunne presse seg inn på den ene siden av saagbladet mellom veggen i sagsnittet og selve bladkroppen. Skjer dette vil det raskt skje en friksjonsoppvarming av bladet og dette vil miste stabiliteten og bevege seg i bølger gjennom arbeidsstykket. Slik bølgeskur kan ha sideveis amplituder på mange centimetre. Når kapasiteten for en gitt båndsaag/blad-kombinasjon skal beregnes kan man derfor regne seg fram til den matning per tann som svarer til et flis/fastved forhold i området 2,5 - 3,5. I eksemplet som følger er gjengitt formler som kan nyttes samt et talleksempel.

#### Båndsaagens kapasitet:

$b$  = bladhastighet m/s

$T$  = tannavstand mm

$m$  = matning m/min

$t$  = matning per tann mm

$s$  = snittdybde mm

$F$  = forholdet flis/fastved (2.5-3.5)

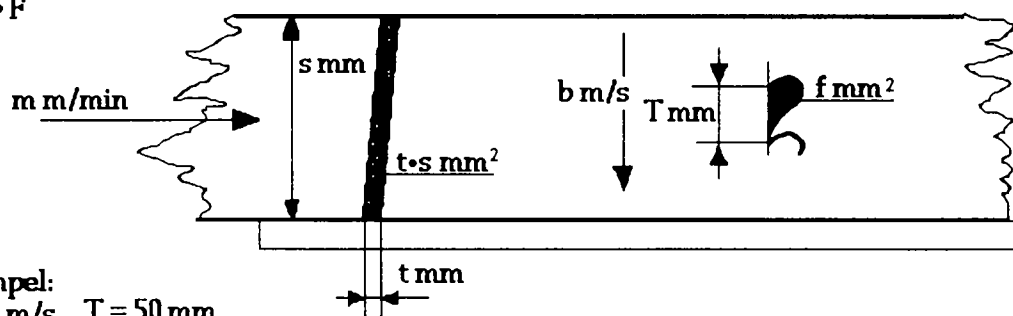
$f$  = tannlukeareal  $\text{mm}^2$

$$t \cdot s < \frac{f}{F}$$

$$t < \frac{f}{s \cdot F} \text{ mm}$$

$$m = \frac{b \cdot 60 \cdot t}{T}$$

$$m < \frac{b \cdot 60 \cdot f}{T \cdot s \cdot F} \text{ m/min}$$



#### Eksempel:

$b = 30 \text{ m/s}$ ,  $T = 50 \text{ mm}$

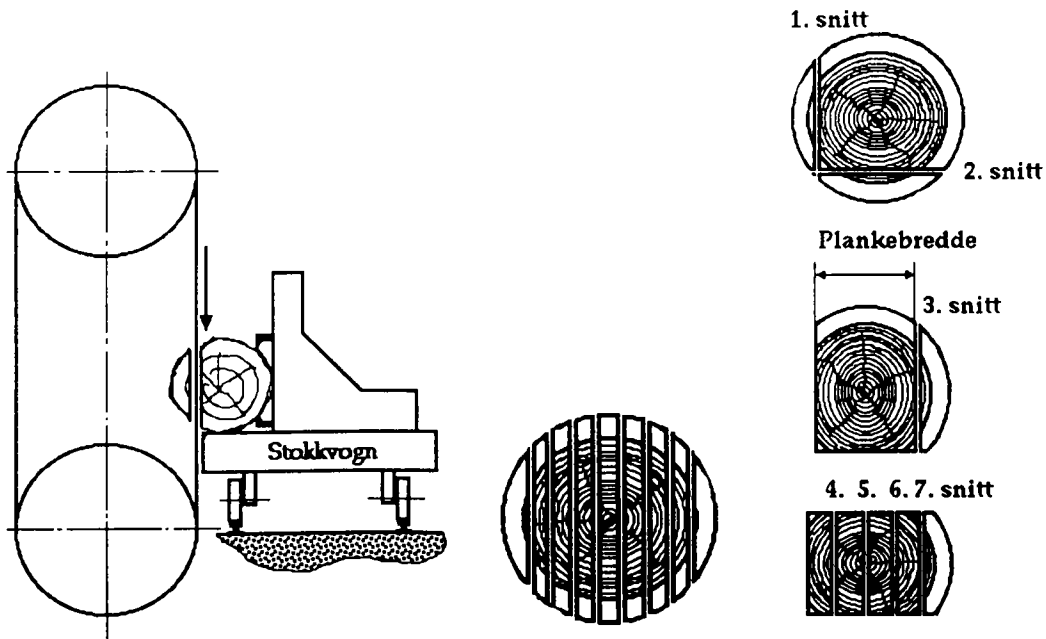
$s = 200 \text{ mm}$ ,  $f = 400 \text{ mm}^2$ ,

$F = 3,0$

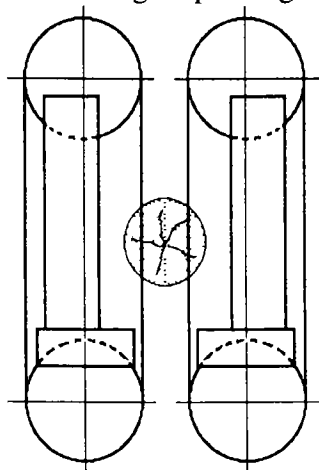
$$m < \frac{30 \cdot 60 \cdot 400}{50 \cdot 200 \cdot 3} = \underline{24 \text{ m/min}}$$

Båndsaag i sagbruk og høvlerier

I praksis kan man dele inn de båndsagmaskinene som nyttes i sagbruk og høvlerier i enten tømmertagende maskiner eller kløvsager. Selve sageenheten er utformet likt men måten trevirket mates inn i maskinen på varierer. De tømmertagende maskinene omfatter de såkalte stokkvognsagene og flerbladsagene (dobbelte, trippel eller fireblads-sager). Stokkvognsagene har som navnet tilsier en stokkvogn som tømmeret spennes fast til og som mates forbi sagbladet. Tegningen nedenfor viser en skisse av et stokkvognopplegg. Til høyre er vist de to skurmønstrene som en stokkvognsag egner seg for og ofte anvendes til: gjennomskur ved at stokken skives opp i ukantede planker eller bord samt ordinær plankeskur. For hvert av de første 3 snittene legges stokken til rette. Stokkvognen er utstyrt med vendeanordning som gjør det mulig raskt å snu stokken rundt slik at den orienteres riktig i forhold til sagbladet.



Det har gjennom årene blitt utviklet mange former for sagmaskinoppsett basert på båndsager. Det kan dreie seg om tvillingsager som består av to motstilte båndsager oppstilt symmetrisk om en matetransportør for tømmer eller det kan dreie seg om grupper som består av tre eller fire maskiner beregnet på å sage flere snitt i ett gjennomløp.

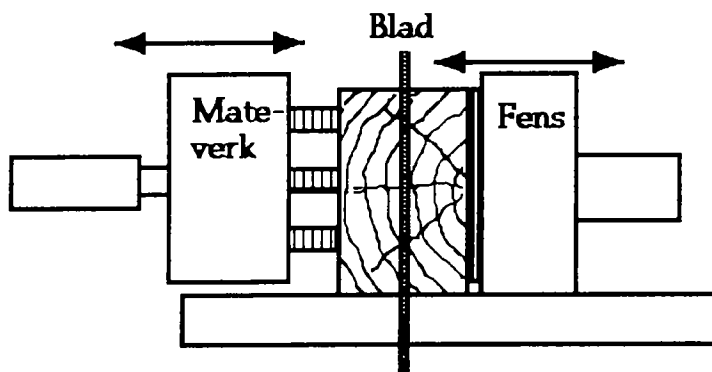


Ved eldre maskiner beveges maskinene i forhold som regel ved hjelp av skruesystemer. Mer moderne maskiner er oppstilt på hydrauliske systemer som det som anvendes som kanonfundamenter og som tillater at maskinene kan flyttes svært raskt i forhold til hverandre.



Flermaskingrupper har mateverk som i prinsippet består av en fens som planker eller blokker kan holdes inn mot og derved bestemme tykkelsen av det som skal skjæres mellom fensen og første blad. Avstanden mellom bladene forøvrig gir de respektive tykkelsene som trevirket skal deles opp i.

Kløvsagene er i prinsippet akkurat som stökkvogsagene og de sagene som inngår i forskjellige maskinkombinasjonene nevnt over. Tegningen nedenfor viser et mateverk for en plankekløvsag. Avstanden mellom det som er benevnt fens og sagblad gir planketykkelsen for den ene halvdel. Tykkelsen av det som "blir igjen" på den andre siden av sagbladet bestemmes av tykkelsen på råstoffet, tykkelsen av den første planken og bredden av snittet.



### Båndsagenes nøyaktighet og snittkvalitet

En rekke faktorer influerer på skurnøyaktigheten. Disse faktorene kan som regel deles inn i følgende fire grupper:

1. Materialinnflytelse
2. Verktøyforhold
3. Maskinforhold
4. Betjeningsforhold

Trevirkets egenskaper, dets densitet, fuktighet og temperatur innvirker på hvordan sagen arbeider og hvilken effekt som trenges. I tillegg kommer varierende egenskaper som skyldes årringdannelsen, kvister og tennar. Treets egenskaper er det imidlertid lite å gjøre med. Det må sages som det er.

Verktøyet som brukes har stor innflytelse på sagenøyaktigheten. Som regel vil man forsøke å anvende så tynne sagblader som mulig for å redusere snitt-tykkelsen. Jo tynnere sagblad dess dårligere nøyaktighet hvil man kunne forvente. Båndagblader består av tynne og relativt brede stålbånd og disse er svært ømfindtlige for temperaturvariasjoner. Vi forsøker å motvirke den eventuelle innvirkningen av temperaturforskjeller ved den såkalte strekkingen men simpelthen fordi det er vanskelig å forutsi temperaturforløpet vil det kunne inntreffe variasjoner. Bladenes skarphet har også stor innflytelse. Med sløve blader får man større kraftforbruk og større unøyaktighet enn ved skarpe blader.

Som diskutert under avsnittet om båndsagene kapasitet vil en for stor matning i forhold til tannlukens volum kunne føre til at man får bølgeskur, dvs. svært stor unøyaktighet. Ved stor sideklaring i forhold til tykkelsen av selve bladkroppen vil en kunne tolerere en større matning per tann uten å få stor unøyaktighet enn man kan dersom det sages med svært liten sideklaring.

**Professor**  
**Rolf Birkeland**

Maskinens utforming, dens presisjon og stabilitet spiller også inn på nøyaktigheten. Først og fremst er det eventuelle rystelser eller rykk i fremføringen som skjer under selve sagingen som kan indusere svingninger og forstyrrelser i sagbladet som kan gi problemer med nøyaktigheten. For kløvsager er det selvsagt viktig hvor nøyaktig fens gå i posisjon og for mangebladsager spiller den presisjon hvormed bladene går i stilling stor rolle.

I den gruppen som benevnes betjeningsforhold kan man som regel spore tre forskjellige innflytelsesforhold: forhold ved innmatning i maskinen - det kan dreie seg om manglende linjering eller at tømmer, blokk eller planker utsettes for sideveis rykk etter at sagbladet har gått i inngrep, det kan også dreie seg om forhold under selve sagingen - det kan igjen dreie seg om rystelser men som oftest vil det dreie seg om at matningen er for stor i forhold til tannløykene og deres kapasitet, også ved utmatningen kan det forekomme forhold som gir opphav til unøyaktigheter - f.eks. ved at trelast eller bakhon bendes sideveis før snittet er helt fullført, dette kan gi feilskur.

Rent generelt kan det anføres at båndsaager oppviser relativt god skurnøyaktighet og at denne, dersom saagen ikke overmates, er relativt uavhengig av skurhøyden. Det normale ved saging av vanlige norske tømmerdimensjoner vil være at to ganger standardavvik vil være i størrelsesorden mellom 0,5 og 0,8 mm og som nevnt relativt uavhengig av skurhøyden. Dette er svært forskjellig fra hva man observerer f.eks. ved sirkelsaager hvor skurnøyaktigheten normalt er bortimot omvendt proporsjonal med skurhøyden. Studier utført både ved sommer- og vinterskur ved norske båndsaagbruk tyder på at når sideklaringen blir noe over henholdsvis 0,5 - 0,6 mm og 0,4 - 0,55 mm så vil båndsaagene kunne mates vesentlig rakere enn hva kapasitetseksemplet foran angir.

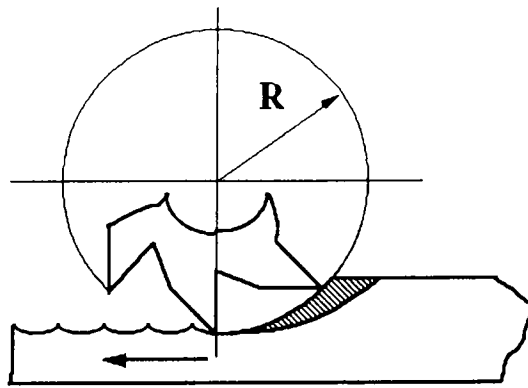
Det er forøvrig utført en rekke studier av båndsaagenes skurnøyaktighet og også enkelte uregelmessigheter som under enkelte omstendigheter kan oppstå ved at det dannes en rekke skrå bølgeomønstre i selve skurflsten - uten at dette går ut over selve nøyaktigheten. I den litteraturlisten som følger er angitt endel arbeider som mer i detalj gir de nyere resultatene man har kommet til.

## 11. Høvling

### Hvor store kutterslag vil vi ha?

Kutterslagene er karakterisert ved to parametre: dybden på den "bølgen" som kutterslaget utgjør og lengden mellom to "topper". Vanligvis oppgis det i håndbøker at matningen per kutterslag bør ligge mellom ca. 1 og 2,5 mm. Blir kutterslaglengden svært kort vil også spontykkelsen minske og som en følge av det vil ikke den skjærende eggen få "noe å bite i" og verktøyet vil sløves svært fort. Det virker nærmest som om trevirket polerer eggen fra klaringssiden. Blir kutterslaglengden vesentlig større vil man lett få oppriving av fibre og utslag, f.eks. rundt kvister. Hvor dype kutterslagene skal være er vanskelige å finne opplysninger om. Dybden av slike små bølger er svært vanskelig å måle. Hvordan utseendet er på den ferdig høvlete eller freste flaten avhenger heller ikke bare av geometrien men også av trevirket som benyttes.

Er diameteren på kutteren liten vil lange kutterslag også bli relativt dype og dermed svært synlige.



Vil vi ha en så glatt flate som mulig ved hjelp av en roterende kutter bør vi ha så stor kutter-diameter som mulig og så liten matning per kutterslag som vi kan benytte uten at vi som nevnt får unødig stor verktøyslitasje. Vil vi ha korte kutterslag må vi enten benytte lav matehastighet eller flere kniver i kutteren. Har vi behov for fin overflate og stor matehastighet må vi anskaffe en kutter med så mange kniver som mulig og la den rotere så fort som maskinen og kutteren tillater samt avpasse matehastigheten slik at vi får den kutterslaglengden vi vil ha.

### Kutterslaglengden

Kutterslaglengden er en direkte funksjon av spindelurtallet, antall skjær som kutteren er utstyrt med, samt matehastigheten. Vi kan stille opp følgende formel for kutterslaglengden (K):

$$K = \frac{M \times 1000}{N \times a}$$

der K = kutterslaglengden i mm  
M = matehastigheten i m/min  
N = spindelurtallet, omdr./min  
a = antall kniver i kutteren

Er turtallet for eksempel 4200 omdr./min, matehastigheten 10 m/min og antall kniver i kutteren = 4, får vi en kutterslaglengde:

$$K = \frac{10 \times 1000}{4200 \times 4} = 0,6 \text{ mm}$$

Øker vi matehastigheten til det dobbelte øker vi kutterslaglengden til det dobbelte, osv. Omvendt kan vi selvsagt finne hvilken matehastighet vi kan tillate dersom vi vil ha en bestemt kutterslaglengde:

$$M = \frac{K \times N \times a}{1000}$$

Vil vi ha en kutterslaglengde som ikke er mer enn 2 mm og vi har en 6-skjærskutter som gjør 6000 omdr./min svarer det til en matehastighet på hele 72 m/min.

### Kutterslagdybde - profildyp (P)

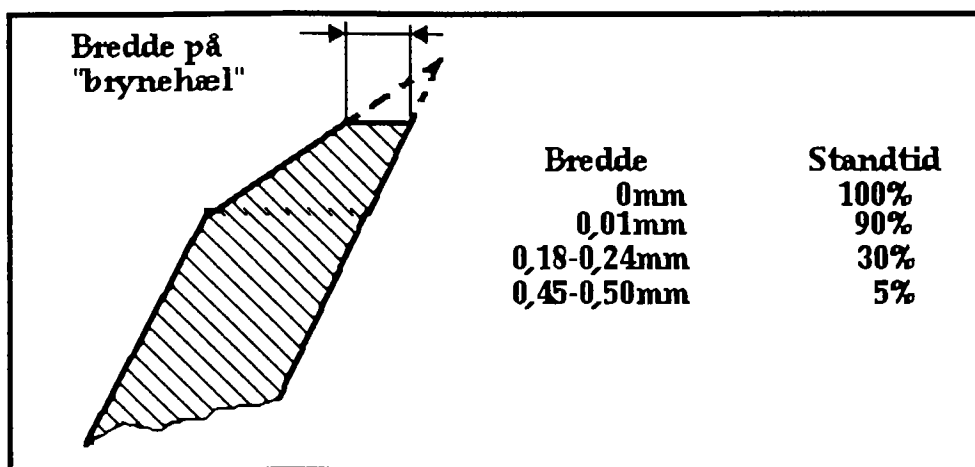
Selv om kutterens kniver beskriver perfekte sirler så mates arbeidsstykket litt fram under kuttet og mellom de enkelte kuttene. Det betyr at den kurven som kuttereggen beskriver gjennom arbeidsstykket ikke er en sirkel men egentlig har en litt mindre radius enn den som kuttereggen beskriver. En matematisk forenkling men som allikevel gir et relativt riktig resultat gir at kutterslagdybden (P) er:

$$P = \frac{K^2}{4 \times D}$$

der D er kutterdiameteren i mm.

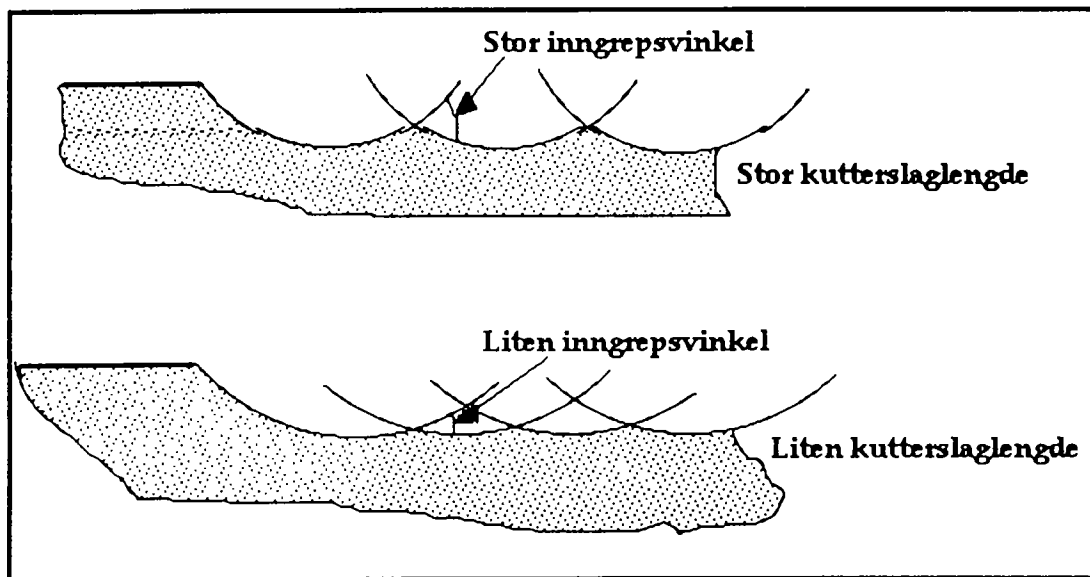
Har vi en kutterslaglengde på 1 mm og en kutterdiameter på 120 mm vil vi ha et profildyp som er  $1/480 = 0,0020833$  mm, dvs. 2 tusendels millimeter. Hvis vi forlanger at alle knivene i det minste skal ha satt etter seg et merke kan knivene ikke avvike mer enn  $\pm 2$  tusendels millimeter, dvs. at man kan ha et maksimalt radialkast på 4 tusendels millimeter. Å poste en kutter med individuelle kniver som spennes fast i kutterhodet så nøyaktig er i praksis nesten umulig.

Den eneste måten en kan sikre at alle knivene skjærer likt er at man bryner knivene på plass og med fullt turtall i den maskinen der de arbeider. På en rekke høvelmaskiner og enkelte avrettere og tykkelseshøvler er det fastmonterte bryneapparater. Det finnes også løse bryneinnretninger som monteres opp etter at de nyslippede og finjusterte knivene er på plass i kutteren og som sikrer en best mulig rundgang. Ved bryning vil de knivene som stikker lengst fram bli brynt mer enn de andre. Den "hælen" som oppstår vil gni mot trevirket og skape friksjon. Jo større "hælen" er dess kortere standtid vil kniven ha. Den lengste standtid får man uten bryning men da har man altså problemet med å justere knivene slik at de skjærer med samme radius. I tabellen under er vist hvordan "hælens" bredde reduserer standtiden.



Inngrepsvinkelen er viktig

Den vinkelen verktøyeggen kommer i inngrep med trevirket under er viktig for kvaliteten av bearbeidingsprosessen. Jo større kutterslaglengde dess større blir inngrepsvinkelen.



Blir inngrepsvinkelen for liten vil eggen gli mot arbeidsstykket ved starten av kuttet. Resultatet av dette blir sterk verktøyslitasje samt at kutterslagmønsteret blir uregelmessig. Grönlund oppgir at Jonsered henviser til at inngrepsvinkelen ikke bør være under  $1^\circ$ . Ved f.eks. en kutterdiameter på 160 mm oppgis den beste kutterslaglengden til 1,8 mm og da blir inngrepsvinkelen  $1^\circ 20'$ .

#### Henvisninger:

Grönlund, A.: Træbearbetning. Trätæk. Stockholm, 1985.

Anon.: Treindustriens Håndbok. Teknologisk Forlag. Oslo, 1968.

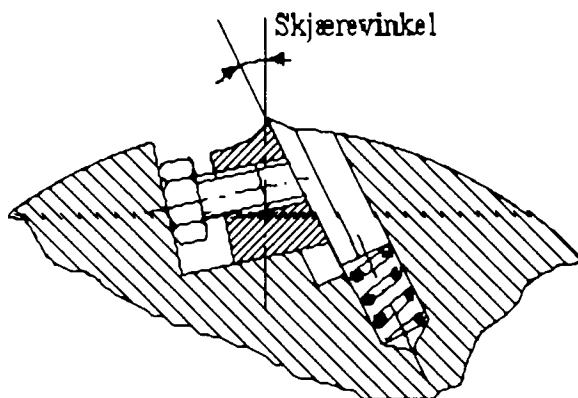
#### Høvel- og freseverktøy

Ved høvling og fresing nyttes det enten en kutter med løse stål eller en fres som har faste stål, enten utformet av det samme materialet som selve freskroppen eller av andre materialer (HSS-stål, hardmetall) som er loddet fast til freskroppen. Terminologien på området er imidlertid noe flytende, noen omtaler kuttere med løse stål som freser - og av og til omvendt.

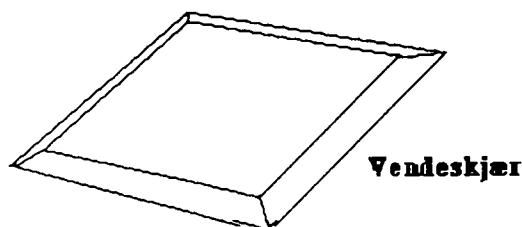
Ved de fleste høvel- og freseoperasjoner nyttes det tildels svært høye turtall. Dette innebærer at man utsetter verktøyene for store sentrifugalkrefter. I uheldige fall kan det medføre ulykker om et verktøy anvendes ved et høyere turtall enn det er beregnet og sertifisert for. På verktøyene er angitt maskimalt omdreiningstall per minutt og det er ytterst viktig at dette ikke overskrides. Dersom verktøy utsettes for store påkjenninger, f.eks. ved at de faller ned på golvet, kan det i uheldige fall gi opphav til rissdannelser som i sin tur kan medføre at verktøyet sprenges eller at verktøyelementene løsner og flyr ut i luften omkring. Også dersom man kommer i skade for å høvle i "skarpt", dvs. at høvel- eller frestannen treffer metall eller stein som er innvokst eller finnes i trevirket, kan det inntreffe verktøybrudd.

#### Kuttere

Det er utviklet et meget stort antall patenter og prinsipp-løsninger for kuttere. Forskjellene dreier seg særlig om hvordan skjæene spennes fast i slisser eller spor i kutterkroppen.



Vanligvis har man utformet kutterkroppene i karbonstål. I den senere tiden har det blitt stadig mer alminnelig med kutterkropper av høyfast aluminium. Kutterkroppen blir lettere og særlig hvor spindelen er lagret bare i den ene enden har dette betydning. Inn i kutterkroppen festes så skjærene. De kan være laget av hurtigstål (HSS-stål), hårdmetall eller diamentbelagte hårdmetallplater. Når hurtigstål fortsatt anvendes i relativt stor utstrekning så henger det sammen med at sliping og utforming av profilstål er enklere og raskere med hurtigstål enn med hårdmetall. De stålene som innpasses i kutterhodene kan være av samme material tvers igjennom eller de kan være laminerte, devs. bygget sammen av sammenloddete lag av forskjellige legeringer eller materialer. I den senere tid er det blitt utviklet en rekke forskjellige typer av engangsstål, beregnet på at de bare kastes når de er blitt sløve. Til bearbeiding av plane flater anvendes ofte såkalte vendeskjærskuttere hvor skjærene er laget slik at de kan nyttes på begge sider, eller på fire sider når stålene har kvadratisk utforming slik at de kan brukes på alle fire kantene før de er utslitte.



### Freser

Freser er som regel beregnet på å anvendes ved profilering av f.eks. paneler, listverk og andre profilerte treprodukter.

Fresene er som regel maskinert ut av massive emner av karbonstål. Selve eggen kan imidlertid være framstilt av et annet materiale som f.eks. HSS-stål eller hårdmetall. Selve framstillingen av freskroppen er ofte både kostbar og vanskelig. Utgangspunktet er som regel en massiv bite av sylindrisk stål. Fresens utforming skjer ved hjelp av dreining og fresing. Tilslutt loddes skjæremetallet på plass og verktøyet slipes. Før levering skal verktøyene prøvekjøres ved et turtall som er så høyt at man har sikkerhet for at verktøyet ikke går i stykker ved det som stemples på som det høyeste tillatelige turtallet.

Når freser blir sløve må de slipes om igjen. Vanlig idag, for mange freser, er at de er framstilt med slik geometri på skjærestålens rygg at selve skjæremetallet bare skal slipes på fronten. Etterhvert som man sliper vekk materiale endres ikke den profilen som framkommer når fresen arbeider i trematetialene. Selve eggdiameteren endres imidlertid og det innebærer at etterhvert som man sliper verktøyet omigjen så reduseres skjæresirkeldiameteren. I verkstedsindustriens CNC-utstyr er det vanlig at maskinene selv er i stand til å avføle verktøydiameteren og kompensere for endringer ved maskininnstillingen. Ved de fleste vanlige høvemaskiner som anvendes ved trelastframstilling og trelastbearbeiding finnes det ikke slik automatikk og det innebærer

selvsagt at maskinoperatørene må ta hensyn til hva som er den virkelige diameteren ved innstilling og ikke for eksempel den diameteren som er angitt på selve verktøkkroppen.

### Støybekjemping

Kuttere og freser er på grunn av sin utforming kraftige støykilder. Særlig kuttere med rette stål gir høyt støynivå. Jo lenger ut stålene rager dess kraftigere blir støyen. Det henger sammen med at stålene bidrar til å gi luftstøt som forplanter seg gjennom luften omkring. Støyfrekvensen henger derfor nøye sammen med turtallet.

For å bekjempe støy kan en anvende en rekke metoder:

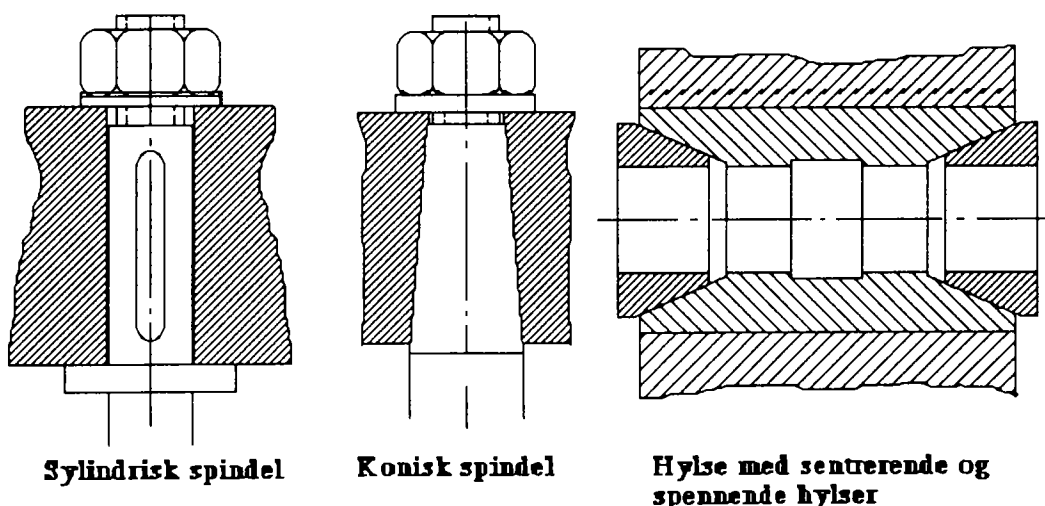
- Senk turtallet
- Reduser stålframstikket
- Anvend spiral kuttere
- Del opp skjæret i en rekke mindre lementer og plasser disse i skruform
- Reduser luftstrømmene omkring verktøyeggene
- Kapsle inn verktøyet
- Bygg inn hele maskinen i et støyhus

Den siste løsningen er faktisk ganske vanlig både i høvleriene og i mange snekkertibedrifter.

Dersom en kan dele opp knivene i kortere stykker og fordele disse i en slags skruform rundt verktøykroppen vil en kunne redusere støyen betraktelig. Det er også tilgjengelig spiralkuttere hvor knivene danner en sammenhengende spiral som skrur seg rundt kutterkroppen. Ved slike metoder unngår man det støtet mot luften som den rette kutterkniven gir og deved vil støyen kunne reduseres betraktelig.

### Fastspenning av kuttere og freser til spindelen

På riktig gamle og enkle frese- og høvelmaskiner har kutter- og freskroppene sylindriske borer. De spennes fast på sylindriske spindler ved hjelp av kraftige muttere som er gjenget omvendt av rotasjonsvinkelen. På enkelte eldre utgaver ble det dessuten anvendt kiler for forhindre at kutter- eller freskroppene skal kunne gli rundt. Fordi det nødvendigvis må være klaring mellom spindel og utboring i fres- eller kutterkropp vil en slik fastspenning være nær umulig å få sentrisk.



En bedre løsning er koniske fester, de anvendes både ved ensidig lagring av verktøyet som ved sidekuttere og ved tosidig lagring som ved over- og underkuttere i forskjellige avrettere, tykkelseshøvler og høvelmaskiner. Ved ensidig lagring har både spindelen og fres- eller kutterkroppene konisk utforming og ved hjelp av endemutter på spindelen trekkes fres- eller kutterkroppen fast inn på spindelen. Ved tosidig lagring nyttes det

**Professor  
Rolf Birkeland**

koniske hylser som presses inn i koniske utboringer i fres- eller kutterkroppen og derved klemmes mot spindelen som er sylindrisk.

I de senere årene har vi også fått forskjellige typer av hydrauliske innspenningsordninger for fres- og kutterkropper som har forenklet både fastspenningen og sentreringen betydelig. Det anvendes tre noe forskjellige systemer, men alle er basert på at man ved hjelp av et hydraulisk trykk i utboringer i enten spindelen, verktøykroppen eller en hylse mellom verktøy og spindel ekspanderer henholdsvis verktøy slik at det klemmes mot spindelen, spindelen slik at den fyller ut boringen i verktøykroppen eller hylsen slik at klemmes mot spindelen og fyller boringen i verktøykroppen. De tre systemene anvender alle fett som det hydrauliske mediet:

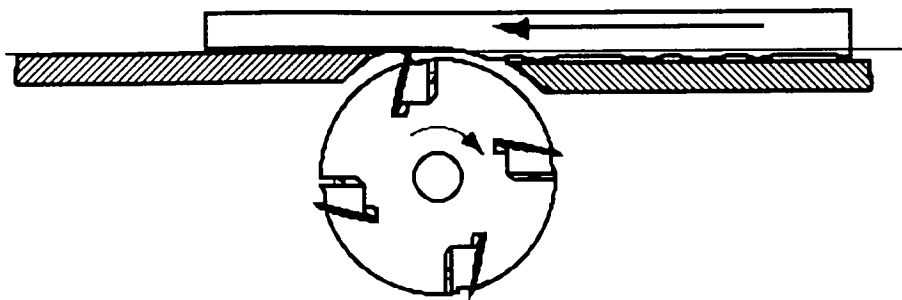
## Sliping av freser og kuttere

### Maskiner for høvling og fresing

#### Avretting.

Trevirke slik det kommer fra sagbrukene må avrettes for at man skal få en rett og plan referanseflate som resten av bearbeidingsoperasjonene kan ta sitt utgangspunkt i. Den såkalte avretterfunksjonene (avrettingen) får man til ved at det foran den avrettende kutteren er et plan som er minst så langt som de trebitene som skal avrettes. Dette planet ligger så langt under kutterens skjæresirkel som man vil ha snittdybden til å være. Snittdybden kan reguleres enkelt f.eks. ved at en lar innmatingsbordet forflytte seg langs et skråplan ved hjelp av en skrueanordning eller liknende. På utmatingsiden kommer trevirkesbiten ut på et nytt plan som er parallelt med det første (innmatingsbordet) og som ligger tangentialt til skjæresirkeldiameteren.

### Avretterhøvel



Kutteren vil som regel være utstyrt med flere kniver. Med de tildels store turtallene som det arbeides med (4 - 8.000 omdr./min.) er det ytterst viktig at kutteren er nøyaktig utbalansert såvel statisk som dynamisk. For at knivene skal skjære i det samme planet er det viktig at de enten er plassert riktig når de plasseres tilbake i kutteren etter sliping eller at det er mulig å slipe eller bryne de etter at de er på plass i kutterkroppen. På endel maskiner nyttes også "bruk-og-kast" kniver som er meget dimensjonsnøyaktige når de er nye og som det derfor er relativt enkelt å få til å skjære i tilnærmet det samme planet.

Ved mindre produksjoner vil avretterhøvlene gjerne være håndopererte. Operatørene legger trevirkesbitene flatt ned på innmatingsbordet og fører det med jevn bevegelse, og uten å vippe på trestykket, over kutteren og inn på utmatingsbordet. Som regel er avretterhøvlene utstyrt med et sideanlegg som kan stilles slik at planet er vinkelrett på eller

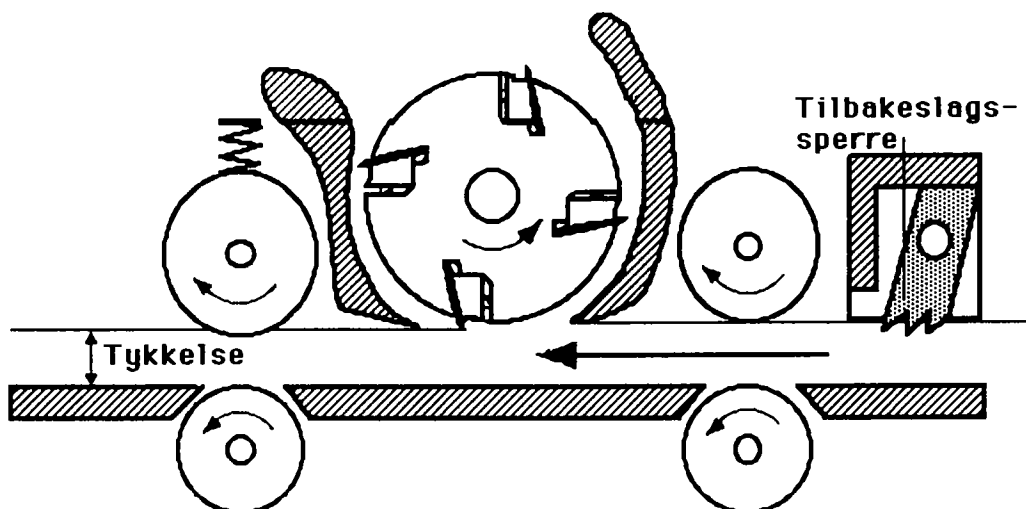


danner en ønsket vinkel med avretterplanet. Etter at den første flaten på en trevirkesbit er avrettet vil en ved å nytte anlegget kunne avrette den neste siden slik at den danner en rett vinkel med den første eller slik at den danner en ønsket vinkel med den først avrettede flaten.

Ved større produksjon vil det ofte være formålstjenlig med en kombinertmaskin som både har en liggende avretterkutter og en opprettstående kutter for oppvinkling og avretting av ytterligere en side. Slike maskiner er gjerne utstyrt med mekaniske mateverk som har flere hastighetstrinn eller kontinuerlig variabel hastighet slik at matehastigheten kan tilpasses kuttdybden og den ytfinheten man vil ha på det ferdige produktet.

### Tykkelseshøvling, dimensjonspussing

Som regel må uhøvlet trevirke dimensjoneres for at bitene skal få riktig tykkelse. Etter at den ene siden er avrettet anvendes ofte en såkalt tykkelseshøvel for å gi riktig tykkelse. Tykkelseshøvelen har normalt en overliggende kutter som skjærer mot maskinens materetning. For å forhindre at materialene kastes tilbake er maskinene bestandig utstyrt med sperremekanismer. En tykkelseshøvel må være mekanisk matet. Dersom man prøvde å mate en tykkelseshøvel manuelt er sjansene for at kutterstålene griper fatt i trestykket og trekker dette - og operatørens hender - inn i maskinen!



Matevalsen kan være riflet eller belagt med gummibane. Tykkelsen på det som bearbeides bestemmes av avstanden mellom maskinens faste bord og kutterens bearbeidingsradius. På de fleste maskinene er det bordet som beveges opp og ned. Det lages imidlertid også maskiner hvor bordet står fast og overdelen med drivmotor, kutter etc. flyttes opp og ned. Skal en sette en avretter og en tykkelseshøvel direkte etter hverandre vil det selvsagt være en fordel om det er maskinens overdel som flyttes opp og ned fordi utmatingsbordet på avretterhøvelen og innmatingsbordet på tykkelseshøvelen kan ligge i eksakt samme plan. Selve innstillingen skjer på de enklere maskinene ved at en ved hjelp av en sveiv skrur seg fram til riktig tykkelse. På siden av maskinen eller direkte koplet til sveivmekanismen er det som regel en skala som avgir hvilken tykkelse som er innstilt. Større maskiner har ofte servodrift av tykkelsesinnstillingen. Selve innstillingen kan da skje med trykknappinnstilling eller ved at man forhåndsinnstiller en numerisk styringsinnretning. Selve innstillingen av tykkelsen kan skje enten ved hjelp av stepmotorer eller ved at man styrer drivmotoren for tykkelseinnstillingen ved hjelp av en digital linjal.

Det lages også maskiner som er kombinerte avrettere og tykkelseshøvler og som i tillegg er utstyrt med sidekuttere. Slike firesidige høvelmaskiner kan med fordel nyttes i mange

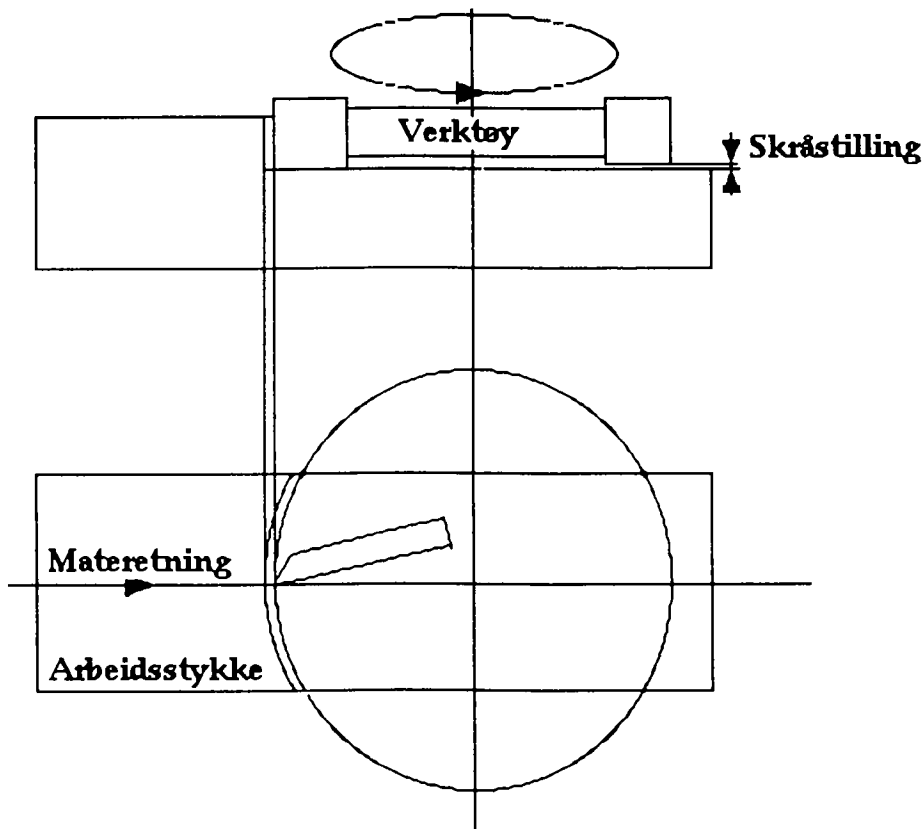
bedrifter. Skal man avrette og dimensjonere lang trelast må man imidlertid være oppmerksom på at innmatingsbordet må være så langt at det understøtter hele lengden.

### **Fresing, høvling av kanter**

Ofte vil man ha bearbeidet kantene på emnene eller platene spesielt. Det kan dreie seg om bare en enkel bearbeiding for å gi en glatt kant, samtidig som man vil foreta en breddejustering. Ofte vil man gi kanten et profil eller frese en not i den for f.eks. styring av en kantlist. Ved svært liten produksjon kan en håndoverfres kunne gjøre nytten. Ved litt større produksjon vil man som oftest foretrekke en bordfres. Denne har en fresspindel som stikker opp gjennom maskinbordet. Spindelen kan som regel heves og senkes og vinkles. På spindelen settes fresverktøyet, vanligvis en flerskjærskutter med skjærebegrensning. Tidligere benyttet man ofte de såkalte firkantkutterne. Selve freskroppen på disse var utformet som en firkantet stålkropp med svalehalespor for skruehodene som holdt skjærestålene. Skjærestålene var relativt enkle stål som bedriften som regel slipte selv. Idag er slike firkantkuttere ikke tillatt benyttet ved åpne maskiner og ved håndmating. Vanlig idag er å nytte ferdigfremstilte kuttere til produkter som det produseres mye av. For mindre oppgaver vil en komme langt med standardsett som det finnes en mengde av.

### **Planfresing**

I tillegg til den høvling og fresing vi vanligvis nytter har det i de senere årene blitt utviklet en annen form for overflatehøvling. Planfresing som man kanskje kan kalle denne formen for bearbeiding arbeider med et stort plant verktøy med kniver langs periferien, nærmest som et stort sirkelsagblad å regne, og som arbeider på tvers av de flatene som skal bearbeides. Det franske firmaet Guilliet lanserte maskiner basert på noenlunde det samme prinsippet for et par ti-talls år siden uten at det ble noen suksess. Nå er det en slovensk bedrift: Lestro-Ledinek, Maribor-Hoce, som har utviklet konseptet til en maskin som nå lanseres. Også firmaet Guilliet har tatt opp igjen idéen. Argumentet for denne "nye" høvelmetoden er at den gir en svært glatt flate uten de vanlige kutterslagene.



**Professor  
Rolf Birkeland**

I metallbearbeidingen har man i lang tid benyttet planfresing for å fremstille plane flater. Det er på et vis de samme prinsippene som nå søkes nyttet ved bearbeiding av trematerialer og kunststoffer.

I en artikkel i Holz-Zentralblatt (1) beskrives i mer detalj en av de maskintypene som det slovenske firmaet lanserer, "Rotoplast 2100".

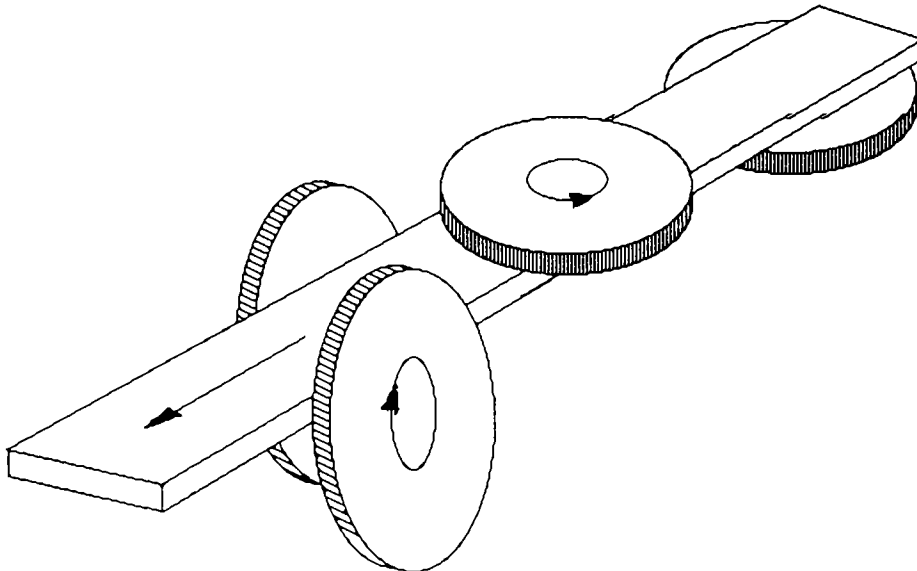
**En bearbeidingsbredde på 2100 mm!**

Selve bearbeidingsverktøyet består av en stor skive med en diameter på hele 2750 mm. Langs periferien er festet 180 verktøy - for nåletre oppgis at de nytter vendeskjær av hardmetall - med en eggvinkel på 60°. Skjæreverktøyene er fastskrudd til justerbare verktøyholdere, planløpet angis til fra 0,01 mm til 0,02 mm. Den store verktøydiameteren medfører at man kan bearbeide bredder på opp til 2100 mm! Noen liten snekkermaskin kan man ikke benevne maskinen, den forbruker hele 200 kW!

Dette store verktøyet roterer med et turtall som kan reguleres mellom 140 omdr./min og 370 Omdr./min. Dette tilsvarer en periferihastighet på fra 20 m/s til 53 m/s. Matningen per tann angis å ligge i området fra 0,1 mm til 0,3 mm. Matehastighet oppgis å være fra 6 m/min til 36 m/min.

I artikkelen nevnes at det også finnes andre og mindre størrelser enn den som er spesielt omtalt.

For at man ikke skal få spor av baksiden av verktøyet er verktøyskiven ganske lite skråstilt slik at baksiden ligger fra 0,1 til 0,3 mm høyere enn bearbeidingssonen. Dette betyr at flaten blir aldri så lite konkav men uten at det er praktisk merkbart. På undersiden av den roterende skiven, altså inn mot arbeidsstykket er det montert en støtteplate som det oppgis ligger bare 0,05 mm fra den ferdig bearbeidete flaten. Denne støtteplaten skal tjene til å holde arbeidsstykket på plass og forhindre sterke vibrasjoner.



Fordelen ved denne maskineringsmetoden er at det ikke finnes kutterslag. Med riktig utforming av de skjærende eggene og riktig valg av hastighet sies det i artikkelen at det ikke kan sees spor etter bearbeidingen uten optiske hjelpemidler (forstørrelsesglass).

En annen fordel som oppgis er at selve bearbeidingen er svært lydsvak. Den største støykilden er det ventilasjonen som står for.

**Professor**

**Rolf Birkeland**

Maskintypen har vært framvist på en rekke messer siden den ble lansert på Ligna i 1991. Hittil er det ifølge artikkelen levert 150 stykker av maskinen til forskjellige kunder.

**Henvisninger**

Tröger, J.: Holz- und Kunststoffbearbeitung mittels Stirnplanfräsen. Holz-Zentralblatt Nr. 36. 22. mars 1996.

## 12. Sliping av tre

Både fra en praktisk såvel som fra en estetisk synsvinkel tilstreber vi i mange sammenheng plane og glatte treoverflater. De metodene vi nytter for å dele opp trevirke gir stort sett alle sammen relativt ujevne flater, flater med oppstikkende fibre eller spor etter verktøy. Disse flatene er ru å ta på, tekstiler kan hake seg fast, de tar også ofte overflatebehandlingsmidler som beis ujamnt og gir derved et skjoldete utseende. Fra gammelt av har derfor snekkerne bestrebet seg på å fremskaffe glatte flater. Høvling, skraping og sliping er de viktigste metodene som har vært og delvis fortsatt er i bruk og i det følgende skal vi drøfte disse metodene, hvilke verktøy som nyttes, samt hvilke fordeler og ulemper de gir.

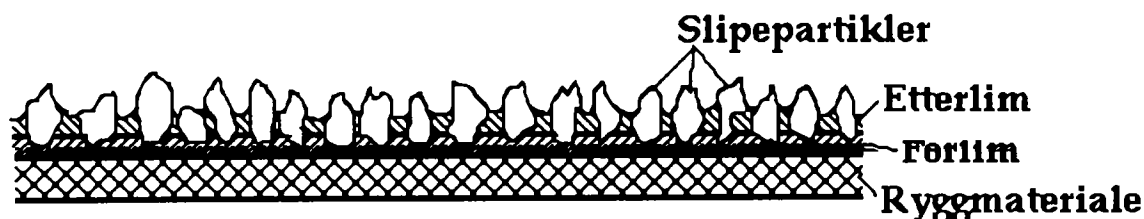
### Idag er pussing det vanligste

Som tidligere diskutert gir de høveloperasjonene vi nytter når vi bruker roterende kuttere de såkalte kutterslagene. I skrått innfallende lys vil kutterslagene som regel være sterkt synlige og oppleves ofte som skjemmende.

I dag er det sannsynligvis pussing eller sliping som benyttes mest for å fjerne kutterslagene og som dermed blir den siste behandlingen før den eventuelle overflatebehandlingen.

### Pussepapiret og dets oppbygging

Det vi benevner som pussepapir er bygget opp som vist på nedenstående figur:

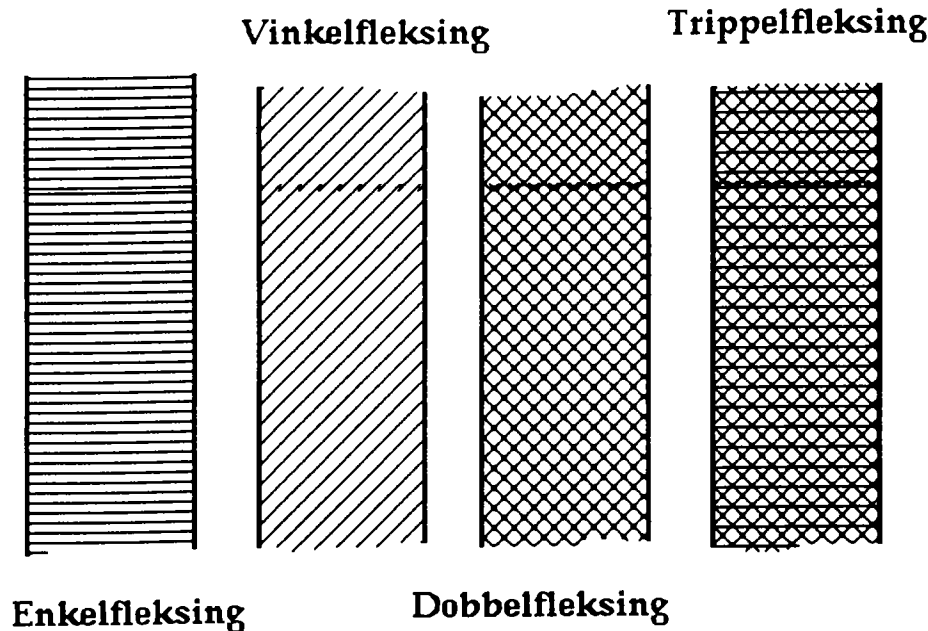


Når et slipepapir produseres blir ryggmaterialet som ofte først er påtrykket firmanavn, papirbetegnelser etc. først pålagt en første limfilm - forlimet. Så påføres slipepartiklene. Dette kan skje enten ved at slipepartiklene faller ned på limpapiret eller at de trekkes opp til limpapiret av elektrostatiske krefter. De mineralene som anvendes ved framstilling av slipepapir lar seg lade elektrostatisk i et elektrostatisk felt og de vil da orientere seg slik at lengdeaksen av partiklene følger kraftlinjene i feltet. Ved at den positive elektroden i det elektrostatiske feltet er plassert tett inntil ryggmaterialet i slipepapiret vil partiklene orientere seg slik at den negative enden av partiklene retter seg mot papirplanet og de vil trekkes inn i limfilmen. Etter at partiklene er heftet til forfilmen blir denne limfilmen herdet og deretter påføres slipepapiret en ny limfilm - etterlimet. Denne limpåføringen har som hensikt å forankre slipepartiklene ytterligere og å gi de sideveis støtte. Etter at etterlimet er herdet kan slipepapiret etterbehandles, formatskjæres, etc..

Slipepartiklene plasseres på en rekke slipepapirkvaliteter så tett som det er mulig å få til mens det på andre papirtyper anvendes spredt korning, som som regel innebærer at det anvendes ca. 60% av det antall slipepartikler som det er mulig å få plass til ved tett belegging. Spredt korning anvendes fortrinnsvis når man skal slippe eller pusse treslag som har lett for å "tette" slipepapiret.

Et slipepapir er når det er nyprodusert omtrent så stivt som et flatbrød. For å gi slipepapirene en mykhet som svarer til hva papiret er ment å skulle anvendes til anvendes den såkalte fleksingen. Denne skjer ved at det stive papiret draes over linjaler eller valser slik at det danner seg fine sprekkemønstre i den stive limfilmen. Slipepapir som bare skal

bøyes i en retning "flekkes" bare i en retning mens papirtyper som skal ha større smidighet "brekkes" i flere retninger.



Ryggmaterialet i et slipepair kan være papir eller tekstil eller kombinasjoner av tekstil og papir. Forskjellige fibermaterialer anvendes også. Papiret vil normalt være tykkere og tyngre dess tyngre sliping papiret er beregnet på. De tekstilene som nyttes har forskjellig vev og er vevd av forskjellige tråddykkelser alt etter om det skal være et fleksibelt slipebånd eller et stivere produkt.

De limtypene som nyttes kan være hudlim i begge limlagene, eller det kan nyttes hudlim i det første limlaget og et kunstharpikslim i det ytterste limlaget. Papir som utsettes for hard påkjenning vil som regel framstilles med kunstharpikslim i begge limsjiktene. Hudlim er det rimeligste men har den ulempen at det mykner ved oppvarming og oppfukting.

Den viktigste bestanddelen i et slipepapir er selvsagt slipepartiklene. Det er en rekke mineraler som kan anvendes ved framstilling av slipepapir. Vanligst idag er at det anvendes enten flint, aluminiumoksyd eller silisiumkarbid.

Flint er et naturlig forekommende mineral. Flinten som består av kvarts (silisiumdioksyd -  $\text{SiO}_2$ ) er det rimeligste slipepartikkelmaterialet og papir som er laget med flint som slipepartikler anvendes idag i det vesentligste til håndsliping.

Aluminiumoksyd ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  -som også benevnes korund) framstilles syntetisk i elektriske smelteovner. Aluminiumoksyd framstilles i flere kvaliteter. Den nesten helt rene aluminiumoksyden gir relativt skarpe og spisse partikler som skjærer lett. Den normale blandingen som anvendes i slipepartikler for framstilling av slipepair gir ganske kraftige slipepartikler men som ikke har så skarpe egger som de edleste typene. Fordi aluminiumsoksyd er så hard som tilfellet er, er slitestyrken svært høy og dersom ikke noe uforutsett inntreffer kan aluminiumsoksydpapir anvendes svært lenge.

Silisiumkarbid ( $\text{SiC}$ ) er blåsvart med metallisk glans og dannes av kvarts (Silisiumdioksyd) og karbon under svært høy temperatur ( $2700^\circ\text{C}$ ). Silisiumkarbid er det hardeste av de vanlige slipepartikkelmaterialene. Silisiumkarbid danner svært skarpe men nokså sprøe partikler. Derfor anvendes silisiumkarbid vanligvis ved finsliping hvor det er viktig med svært skarpe partikler.

Fordi slipepapir produseres slik tilfellet er vil selve sliperesultatet avhenge av jevnheten i partikkelstørrelse. Er partiklene svært forskjellige i størrelse på den måten at noen partikler rager svært langt over de andre så vil disse store partiklene "pløye" furer som går dypere enn det de fleste andre partiklene gjør.

Skal vi framstille en svært glatt flate er det derfor en stor fordel at partiklene er svært jevne. Normalt er det slik at forskjellen i partikkelstørrelse er mindre dess finere korningen - dvs. jo mindre partiklene er. I industriell sammenheng anvendes det svært ofte både to og tre slipetrinn hvor det første slipeparet som anvendes svært ofte er nokså grovt mens de etterfølgende er finere, dvs. framstilt med mindre partikler.

For å få fram slipepartikler med så jevn størrelse som mulig anvender produsentene av slipepartikler soding av partiklene. Vanlig sorteres partiklene i partikkelstørrelsene 12 - 800 i henhold til de såkalte FEPA-normene (Fédération Européenne des Fabricants des Produits Abrasif). Tallene angir antall hull per tomme (1 tomme = 25,4 mm) langs hver av sidekantene i et sold. De laveste numrene angir dermed de største partiklene og omvendt. De fineste partiklene sorteres normalt ikke ved sikting gjennom sold men ved hjelp av vindsikting eller sedimentering.

De største partiklene (12 - 50) anvendes gjerne til grovsliping.

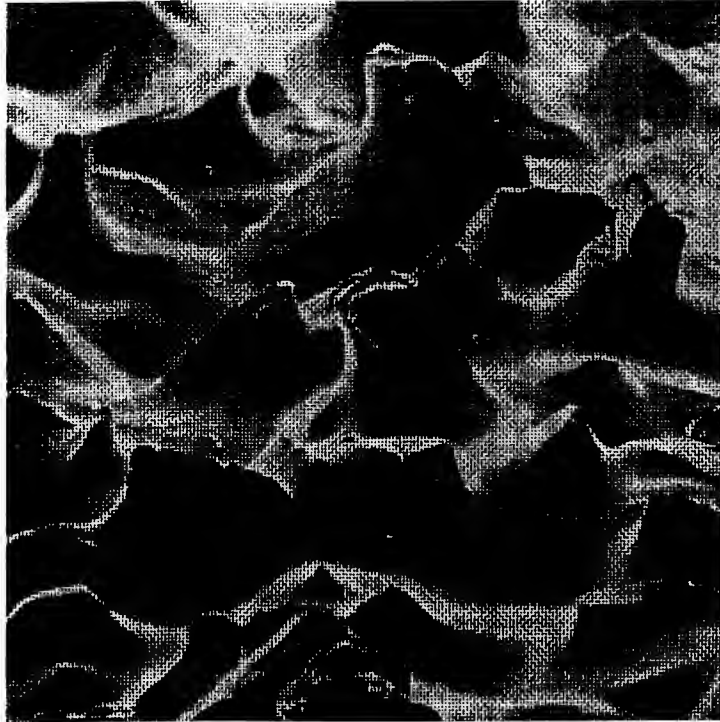
Partikkelstørrelse 60 - 100 brukes gjerne til såkalt mellomsliping av høvlete og finerte flater.

Finsliping av høvlete og finerte flater utføres gjerne med slipepapir med partikkelstørrelser fra 120 til 220.

Lakksliping utføres gjerne med korninger fra 240 til 600.

### **Slipepartikler er uregelmessige**

Slipepapirpartikler er nærmest som en form for småstein å regne. De er preget av at de er oppstått ved knusing av større mineralstykker. Noen av partiklene er skarpe, andre er ganske kampesteinliknende, hvis vi betrakter dem i et mikroskop. Hvis vi betrakter et slipepapir nærmere vil vi se at de fleste partiklene har det vi kan kalle for negative skjærevinkler, akkurat som de partiklene vi vil se i en slipeskive eller i et bryne. Det innebærer at de ikke skjærer ut spon av trevirket men nærmest pløyer en fure.



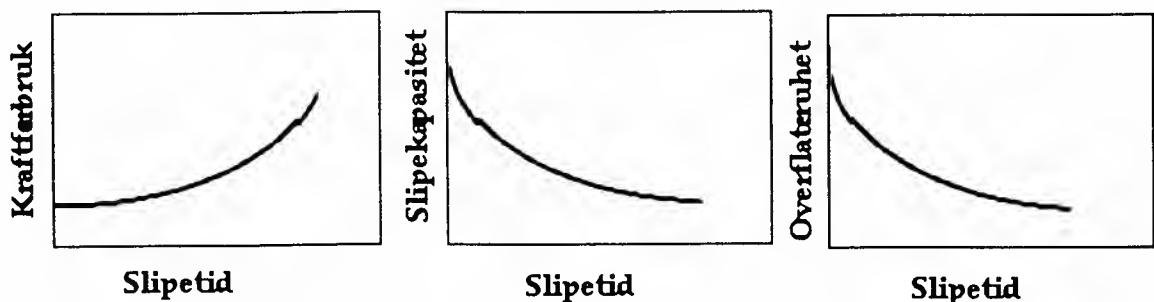
Bildet viser hvor uregelmessig partiklene fortøner seg når vi betrakter et slipepapir i mikroskopet.

Fordi det er mange partikler og de følger tett etter hverandre vil kuttedybden for den enkelte partikkelen bli ganske beskjeden og de vedpartiklene som rives løs blir derfor ganske tynne og korte.

Jo skarpere spissene og eggene på slipepartiklene er dess bedre vil de fungere rent avspøningsmessig. På den annen side blir partiklene svakere jo slankere de er. Hvis vi vil ha stor avspøning vil vi derfor som regel bruke partikler med stor korning og av et mineral som danner robuste partikler. Tenker vi på kraftforbruket sier det seg selv at svært butte og runde partikler vil kreve mer kraft enn partikler som er skarpe.

#### **Slipepartikler slites de også**

Mens partikler som brukes i slipeskiver ved sliping av stål brytes av når de blir sløve skjer ikke det vanligvis i samme omfang med slipepapir som nyttes til bearbeiding av trevirke. Enkelte svært lange og spisse partikler vil selvsagt kunne brytes av men de fleste blir simpelthen bare mer og mer avrundet av slitasjen fra trevirket. Ser vi på hvordan kraftforbruket per avslippt mengde per tidsenhet vil vi se at dette øker eksponentielt med tiden. På den annen side blir avvirkningskapasiteten for et gitt slipepapir redusert med tiden etterhvert som partiklene blir mer avrundet. Overflateruheten som et gitt papir gir vil også bli mindre etterhvert som slipepapiret slites.





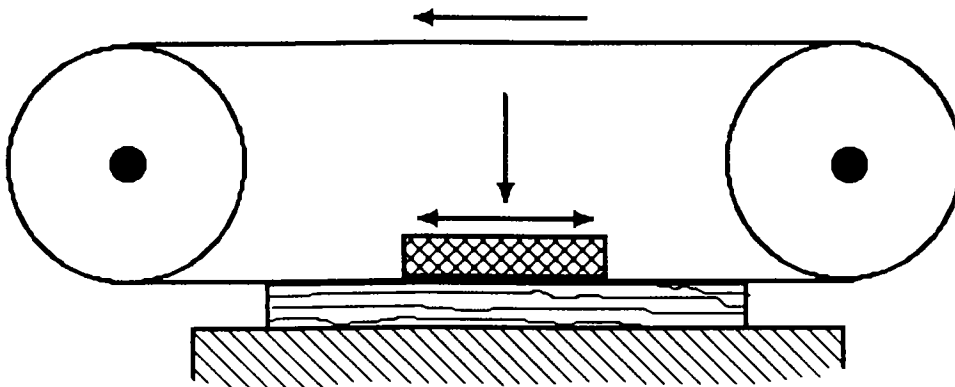
### Sliping skjer som regel med fiberretningen

Når man tenker på hvordan trevirke er bygget opp med lange tynne rør som ligger i det vi benevner fiberretningen og hvordan slipepartiklene skal pløye furer i overflaten forstår man hvorfor resultatet av en slipeoperasjon ihvertfall blir penest når vi beveger slipepapiret langs fiberretningen. Sliper vi på tvers av fiberretningen vil vi kunne rive løs enkeltceller (fibre) eller bunter av celler og mønsteret som slipepapiret etterlater blir ganske markert på tvers av fiberretningen.

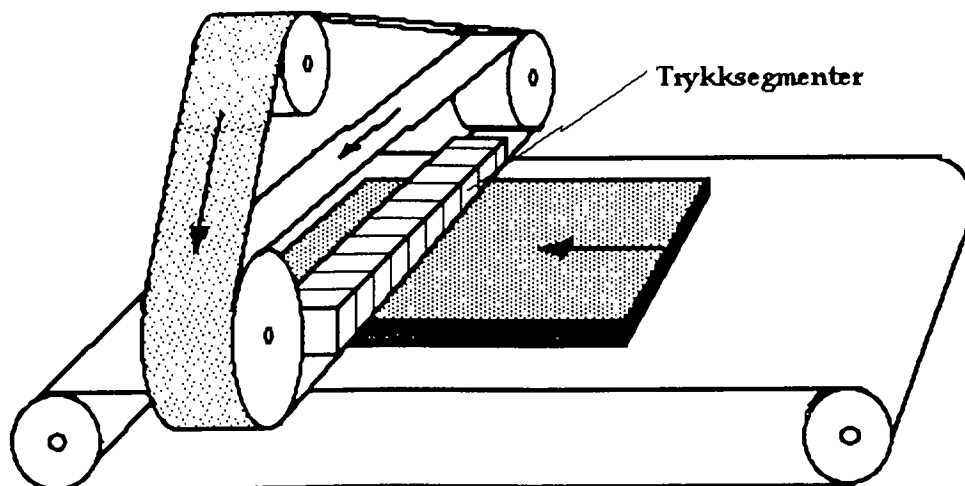
### Båndpussing

Mye av pussingen (sliping) vi utfører har som hensikt å gi plane og glatte flater. De vanlige båndpussemaskinene som fungerer som antydnet på skissen under vil "ri" på toppene og slipe flatene ned til planhet. Fordi en normalt vil anvende store trykk-klosser vil en stor flate av slipepapiret være i inngrep samtidig og det betyr at avspinningsdypet for den enkelte partikkel vil bli svært lite.

Med håndføring av trykk-klossen vil avspinningen kunne bli forskjellig på forskjellige deler av en plate. Særlig ved kantene vil man kunne ha vansker med å slipe plant. Mange er nok de nybegynnerne i snekkerfaget som har pusset igjennom finéret på kanten av finérte plater. Industrielt anvendes idag i stor utstrekning bjelkepussemaskiner hvor det er en diagonalstillet trykkbjelke med innstillbart slipetrykk istedetfor trykk-klossen. De platene og produktene som skal pusses mates igjennom bjelkepussemaskinen med et transportbelte som platene legges på.



Moderne industrimaskiner har ofte et ekstra relativt tykt og mykt bånd mellom slipebåndet og trykkbjelken som har litt lavere hastighet enn slipebåndet og som skal tjene til å gi et jevnere slipetrykk. Det er også ved bjelkepussemaskiner et problem å unngå gjennomsliping og avrunding av den slipte platen mot kantene. De mest moderne maskinene har derfor bjelker som er oppdelt i trykksegmenter som styres elektronisk slik at de segmentene som ligger ved og på kanten enten ikke belaster slipebåndet eller har redusert trykk.



### Valsepussing

Blant de tidligere spesialmaskinene finner vi valsepusmaskinene. Valsepusmaskinen er velegnet til å slipe vekk ujevnheter på plane flater samt egner seg til å pusse vekk tykkelsesforskjeller. Fordi pussebåndet er kort blir det relativt fort varmet opp og har tendenser til å tettes.

Valsepussemaskinene er i prinsippet svært enkle. Pussepapiret er viklet rundt en sylinder, en valse som roterer, enten lagt i spiral eller klemt fast i en langsgående spalte.

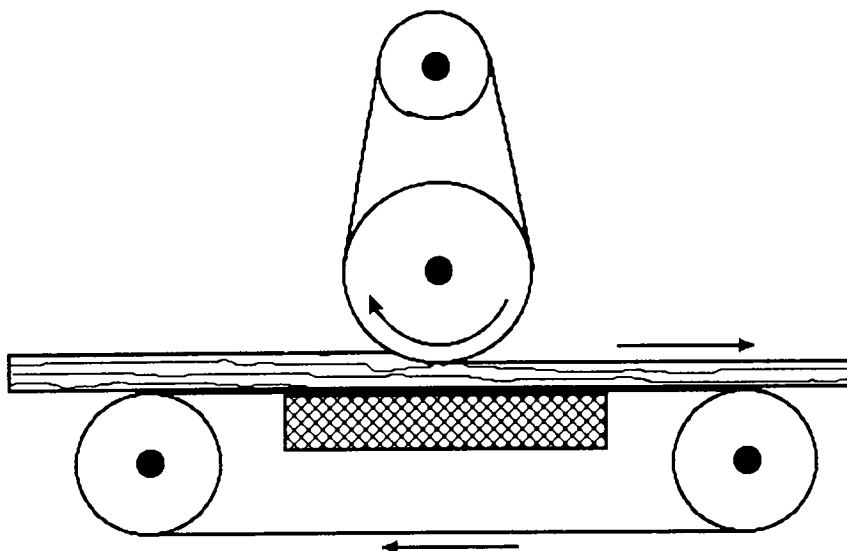
Maskinene kan være utstyrt med én eller flere pussevalser som da enten kan være overliggende eller underliggende eller den kan ha to sett med valser, ett sett som pusser materialenes overside og ett som bearbeider undersiden. De materialene som skal pusses mates som oftest gjennom maskinen ved hjelp av en matematte - når det er undersiden som skal pusses må maskinen ha en innmatingsmatte og en utmatingsmatte samt pressruller som holder materialene inn mot pussevalsene. De valsene som nyttes har normalt en diameter fra ca. 300 mm og opp til 7 - 800 mm. Valsene vandrer relativt raskt fram og tilbake i aksial retning omtrent en centimeter for å forhindre at pussepapirene slites ensartet.

Valsepussemaskinenes periferihastighet, dvs. den hastigheten som pussebåndet har, ligger i området 15 - 25 m/s.

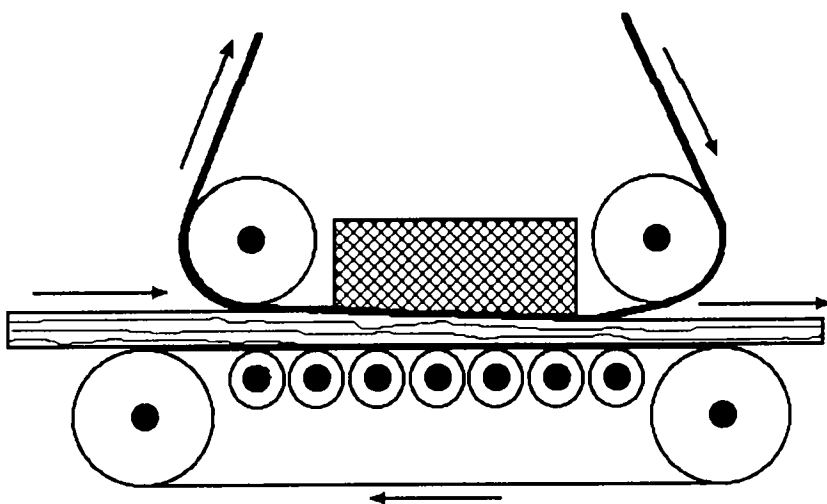
### Bredbåndpussing

Valsepussemaskinene blir etterhvert ofte skiftet ut med bredbåndpussemaskiner. Disse maskinene anvendes stort sett til det samme som valsepusmaskinene men det er raskere å skifte pussebånd på bredbåndpussemaskinene. Fordi båndene er vesentlig mye lengre og får en form for luftkjøling vil de vanligvis ikke bli så varme som båndene på valsepusmaskinene. De pussebåndhastighetene som brukes er omtrent som ved valsepusmaskinene: 15 - 25 m/s. Som for valsepusmaskinene kan man ha overliggende eller underliggende bearbeiding og ofte nyttes flere bånd etter hverandre. På maskiner med flere aggregater kan man med fordel anvende forskjellig korning på pussepapirene slik at man i en gjennommatning kan få til både grovsliping, mellomsliping og finsliping.

Bredbåndpussemaskinene kan være utstyrt med forskjellige slags mateinnretninger og valser. Med myk valse og fjærende mateinnretning kan man slipe vekk et noenlunde jevntykt sjikt over hele flaten. Med en fast valse og en fast mateinnretning vil maskinen fungere omtrent som en tykkeshøvel og slipe arbeidsstykket slik at det blir like tykt over det hele.



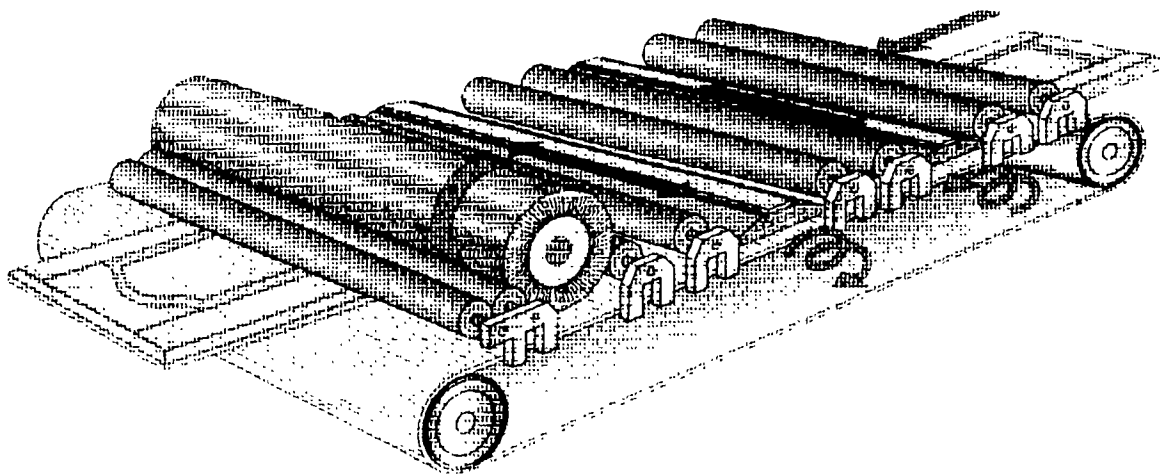
Dersom mateinnretningen ikke fjærer i det hele tatt og valsen er laget av et fast materiale f.eks. stål, har man en form for slipende trebearbeidingsmaskin som anvendes svært mye i USA, Kanada og Japan til tykkelsehøvling av trevirke. På engelsk benevnes prosessen for "abrasive planing" = slipehøvling. Til forskjell fra de vanlige bredbåndpussemaskinene er maskinene mer robuste, valsene er gjerne noe mindre i diameter, motorytelsen er vesentlig større og både bånd- og matehastighet er gjerne vesentlig høyere enn ved vanlig bredbåndpusning. For å få stor bearbeidingskapasitet anvendes gjerne svært grov korning. Fordelene er at man kan få en flate som direkte kan anvendes for liming, uten kutterslag og uten utrivning f.eks. rundt kvister. Sliping er imidlertid ikke noen effektiv bearbeidingsprosess og det spesifikke kraftforbruket, dvs. medgått energi mengde per volumenhet som fjernes fra arbeidsstykkene, blir vesentlig høyere enn ved vanlig høvling.



For finsliping av plane flater anvendes det ofte en trykkplate som gir omtrent den samme slipeeffekten som man oppnår ved en vanlig båndpussemaskin.

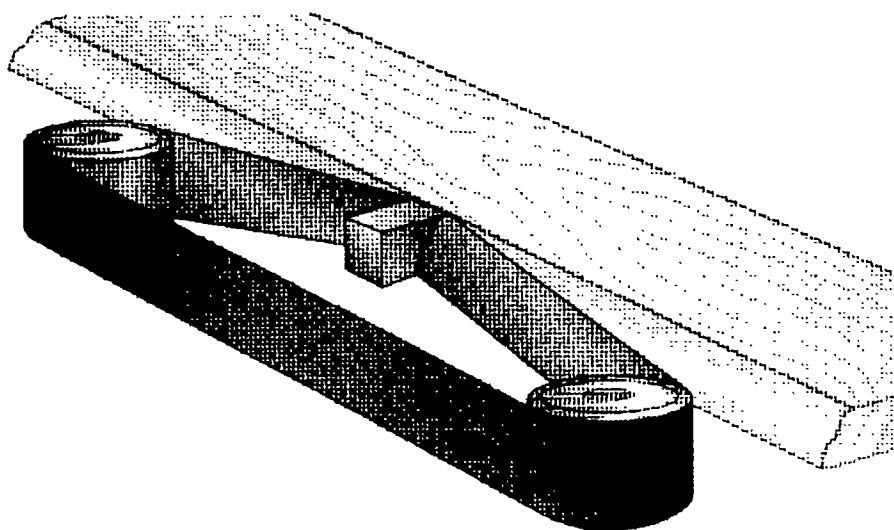
### **Kombinerte pusseprosesser av plane flater**

Etterhvert er det utviklet en lang rekke forskjellige kombinasjoner av slipeoperasjoner hvor man forsøker å kombinere de beste egenskapene for flere former for sliping/pusning og eliminere ulempene.



### Pussing av profiler

Svært mange møbel- og innredningsprodukter har profilerte deler og kanter og det er ofte nødvendig å pusse disse både før en eventuell overflatebehandling og som et mellomtrinn i selve overflatebehandlingsprosedyren. For lange rette arbeidsstykker som framstilles i relativt store serier lar det seg gjøre å anvende mykgjorte bånd som presses inn mot arbeidsstykkets profil med trykk-klosser med motsatt profil, slik som vist i tegningen under.



I svært mange tilfelle er det imidlertid svært vanskelig å pusse bare ved hjelp av gjennommatningsmaskiner. Derfor anvendes det fortsatt i mange operasjoner håndpussing. Enten håndpussingen skjer med vanlig pussekloss som det er viklet slipepapir rundt eller ved hjelp av en eller annen form for håndpussemaskin oppstår det støv. Pussestøv er ansett som en svært miljøbelastende faktor - i enkelte sammenhenger kan det være direkte helsefarlig.

## 13. Trestøv, eksplosjonsfare og håndtering

### Eksplosjonsfare

Når et stoff brenner vil flammeutviklingen avhenge av hvor varmt stoffet er. Hvor varmt stoffet blir avhenger av temperaturen i antenningsflammen og hvor stor masse stoffet har. I fint trestøv har hvert korn svært liten masse og tilsvarende stor overflate som gir tilgang for oksygen. Når støvet blir oppvarmet omdannes det veldig raskt til brennbare gasser og med rikelig tilgang på oksygen blir forbrenningen også svært rask. Er støvkornene nær hverandre, slik de vil være i en tett støvsky, vil varmen fra de første forbrennede støvkornene forplante seg svært raskt til de neste og dermed vil brannen spre seg så fort gjennom støvskyen at det hele får karakter av en eksplosjon. Det har faktisk vært utført eksperimenter som viser at det går an å drive forbrenningsmotorer med finfordelt støv av brennbare stoffer som kullstøv, torvstøv og tremel.

Rent sikkerhetsmessig kan én for tørr atmosfære i en trebearbeidende bedrift øke risikoen for antenelse av støv. De yrkeshygieniske kravene som gjelder for trestøv i arbeidsluften gjør at sjansen for å få støvbranner eller støvekspløsjoner i vanlig arbeidsluft er utelukket. Skjer det imidlertid uhell ved at det kommer større mengder tørt trestøv (fra pusseanlegg f.eks.) ut i luften kan forholdene bli så ugunstige at det kan skje eksplosjoner. Hvor mye støv som skal til avhenger av mange faktorer men mellom ca. 10 og 100 g/m<sup>3</sup> er angitt som den sannsynlige nedre grensen for når det kan oppstå støvekspløsjoner. Vanlig tørt trestøv vil normalt ikke selvantenne. For å få en eksplosjon må det derfor en varmekilde til, det kan være en åpen flamme eller en gnist fra et elektrisk apparat. Også gnister som oppstår ved sliping av verktøy kan i ugunstige tilfelle gi støvekspløsjoner. Vi kjenner til en del eksplosjoner fra norske møbel- og trevarefabrikker og disse har stort sett alle vært knyttet til filteranlegg i forbindelse med anlegg for pussing av trevirke og overflatebehandlinger.

Det anbefales at man også studerer:

**Industrielle støvekspløsjoner. Verneregler nr. 25. Bestillingsnr. 307 fra Statens arbeidstilsyn.**

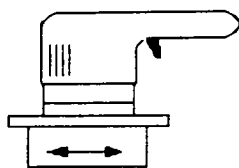
Det har etterhvert kommet innretninger som skal forhindre at gnister forplanter seg gjennom avsugningsledningene slik at man kan forhindre støvekspløsjoner. Et slikt system består av en gnistdetektor som når den registrerer en gnist lukker spjeld og sprøyter sløkningsmiddel inn i avsugningskanalen.

### Håndsliping anvendes fortsatt i en rekke sammenhenger

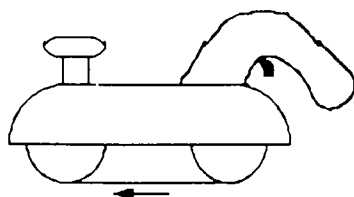
Ved sliping av plane flater og rektangulære arbeidsstykker er det ofte mulig å benytte forskjellige slipemaskiner utstyrt med avsug slik at den støvbelastningen operatørene utsettes for ikke overstiger de normer som er satt (2 mg/m<sup>3</sup> for nordiske treslag unntatt eik og bøk og 1 mg/m<sup>3</sup> for eik og bøk og andre eksotiske treslag).

Med mer kompliserte former på arbeidsstykkene og hvor kravene til overflatefinhet er svært store, samt ved pussing av mindre detaljer anvendes det gjerne håndsliping. Det kan skje med den tradisjonelle pusseklossen eller med håndmaskiner hvor pussepapiret enten er i form av et bånd, som en skive som roterer og/eller oscillerer (svinger), eller som en rektangulær eller trekantet flate som oscillerer (svinger fram og tilbake).

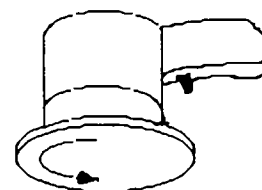
### Håndpussemaskiner



Oscillerende sliper



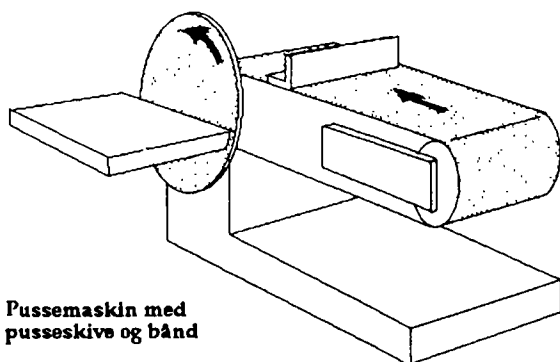
Båndsliper



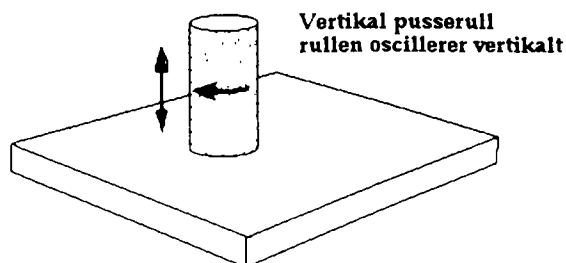
Roterende sliper

Det anvendes både elektrisk drevne maskiner og maskiner drevet med trykkluft

Det anvendes også en rekke forskjellige stasjonære maskiner hvor arbeidsstykkene holdes mot pussebånd som kan være vertikale eller horisontale, pusseruller og pussesyndre av forskjellige diametre og geometrier eller mot roterende skiver. Det finnes en lang rekke forskjellige utforminger av slike maskiner, mange av disse er slik at de både er utstyrt med pussebånd, rull og en roterende planskive.



Pussemaskin med  
pusseskive og bånd



Vertikal pusserull  
rullen oscillerer vertikalt

Mange av disse maskinene er også slik at de kan stilles slik at de kan anvendes til å slipe/pusse såvel horisontale som vertikale flater.

### Støvbelastningen

Hvor stor støvbelastning en operatør utsettes for på sin arbeidsplass avhenger selvsagt av en rekke faktorer og det er umulig kategorisk å si at håndpusseoperasjoner medfører en bestemt støvbelastning. Det er imidlertid etterhvert gjort en rekke målinger av enkeltoperasjoner og disse gir nok et visst grunnlag for ettertanke. Tyske målinger i det som kan benevnes benkesnekkerverksteder er oppgitt til  $2,35 \text{ mg/m}^3$  og ved rene håndpusseoperasjoner ble det målt  $3,8 \text{ mg/m}^3$ . Blant de sterkeste støvkildene nevner den tyske rapporten rotasjonseksenterslipere som kan avgi helt opp til  $35 \text{ mg/m}^3$ . Dette dreier seg selvsagt om støvbelastninger som ligger vesentlig over det som regelverket tilsier.

### Hvordan bli kvitt støvet

Jo nærmere kilden en kan klare å fange opp støvet dess bedre er det selvsagt.

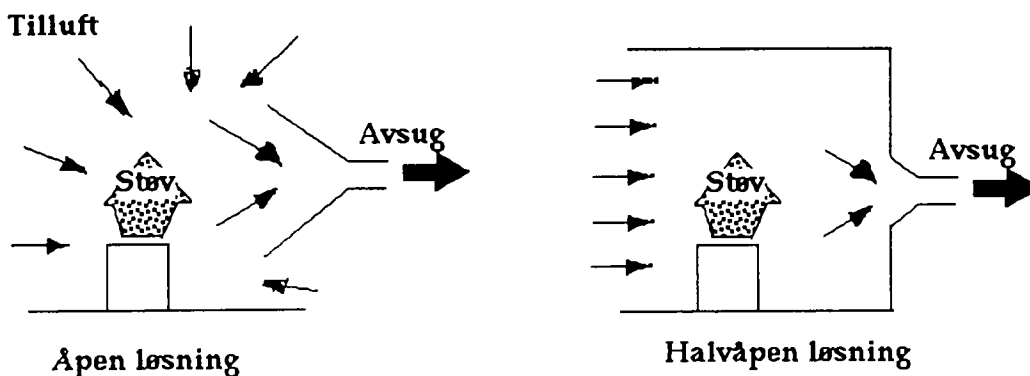
Etterhvert har de fleste håndmaskinene såvel som de vanligste mindre stasjonærmaskinene blitt utstyrt med enten egne innebyggede avsug eller med uttak for avsug. Mange av håndmaskinene utstyrt med egne innebyggede støvavsug synes ifølge de tyske undersøkelser (se henvisning) ikke å makte å suge av tilstrekkelig. Klarer ikke maskinen dette må man anvende eksternt avsug eller på annen måte sørge for at støvet suges vekk fra operatøren. Jeg har selv forsøkt å anvende en del former for slipeutstyr koplet til støvavsug ved fleksible slanger. Ved enkle operasjoner er ikke slangene til særlig hinder, men ved litt mer kompliserte former blir slike systemer tungvinte i bruk.

Når en skal fjerne støv fra en arbeidsplass, kan en suge vekk støvet ved at det skaffes tilveie en luftstrøm som "griper" støvet og frakter det med seg i retning vekk fra arbeidsplassen. Den luften som suges ut må selvsagt erstattes av ny og ren luft. De prinsippene en kan tenke seg å anvende kan enten være som i en sprøyteboks for lakkering, eller det kan anvendes et avsug nedover mens operatørplassen forsynes med friskluft ovenfra.

Problemet med alle avsugssystemer er at det er luft man har med å gjøre og det medfører at en ofte må prøve seg fram for å få til en effektiv luftstrøm. Hvilken lufthastighet en skal ha avhenger også av hvor store støvpartiklene er samt hvilken form de har. På den ene siden sikrer en høyest mulig lufthastighet en effektiv støvfjerning, men på den andre siden må ikke lufthastigheten være så høy at den gir trekkubehag for operatørene. Hva som oppfattes som ubehagelig trekk avhenger av temperaturen og luftfuktigheten. Ved vanlig romtemperatur regner man normalt med at lufthastigheten ikke må overskride 0,2 m/sek.

#### Avsugning gjennom en vegg

Den tyske rapporten beskriver en rekke prøver med forskjellige former for pussestasjoner hvor luften suges gjennom en vegg. Det rapporteres fra forsøk både med hva som kan kalles åpne, halvåpne og lukkede løsninger.



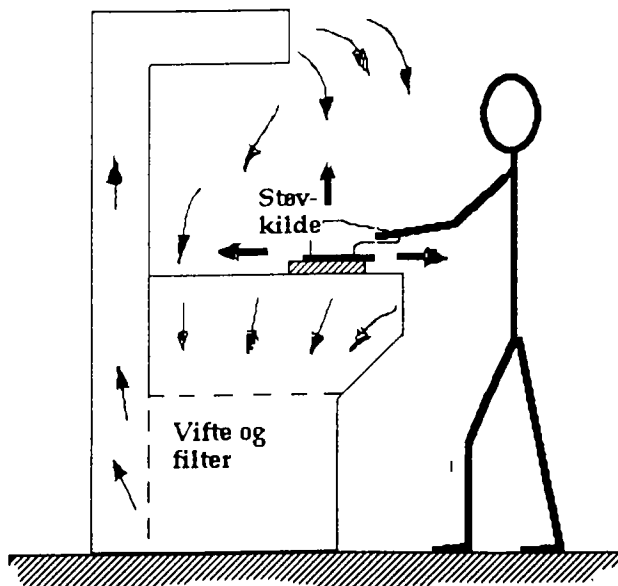
Den halvåpne løsningen (se tegning) gir en støvbelastning for operatøren som tilfredsstillende selv ved pusseoperasjoner hvor støvbelastningen uten avsugsanlegg vil være  $10 \text{ mg/m}^3$ ! Det forutsettes da at lufthastigheten ved kabinettåpningen er minst 0,2 m/sek over hele tverrsnittet. Har kabinettet en arbeidsbredde på 1,5 m betinger dette imidlertid en luftmengde på minst  $1.500 \text{ m}^3/\text{time}$ !

Istedetfor et kabinett kan man ha avsug gjennom en vegg - lavt ned og helt ned mot gulvet - og anvende en nedadrettet skrå luftstrøm som stryker forbi og rundt operatøren. Man kan blåse støv langt, mye lengre enn man kan suge det!

#### Avsugning gjennom avsugsbord

Ved å suge av luften gjennom en vegg oppnår man det beste resultatet med en nedadrettet skrå luftstrøm. En logisk videreutvikling av dette er at luften suges av rett under arbeidsplassen, f.eks. gjennom et arbeidsbord. Fordi støv også er tyngre enn luft og

dermed har tendenser til å synke rett ned øker selvsagt effektiviteten. Ved å kapsle inn avsugsbordet og tilføre ren (filtrert) luft fra oversiden vil en selv ved stor støvproduksjon kunne holde støvinnholdet i operatørluften innenfor de tillatte normene. Det finnes etterhvert en rekke avsugsbord beregnet for håndpusseoperasjoner på markedet. Sannsynligvis kan man i mange bedrifter, hvor det er behov for én eller noen ganske få arbeidsplasser for håndpusseoperasjoner, kunne rigge til avsugsbord koplet til bedriftens avsugsanlegg. Gjør man dette er det imidlertid viktig at man også sørger for at ren nok luft tilføres over og gjerne fra bak operatøren:



### Avslutning

Med denne artikkelen avslutter vi, ihvertfall foreløpig, drøftingen av pussing og sliping. Det arbeides imidlertid også med andre former for bearbeiding som har som mål å skaffe glatte flater uten at det anvendes skjærende verktøy som kuttere eller sandpapir.

### Henvisninger

Weiss, E.: Reduzierung der Staubbelastung an Handarbeitsplätzen in Holzverarbeitenden Betrieben, Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Sozialordnung, Baden Württemberg, Stuttgart 1995.

Administrative normer for forurensning i arbeidsatmosfæren. Arbeidstilsynet, Bestillingsnr. 361.



## 14. Helse- og miljøaspekter ved forskjellige treslag

Vi regner stort sett tre som et miljø- og helsevennlig materiale. De naturlige byggestoffene i tre, cellulose, hemicellulose og lignin inneholder ingen helsefarlige stoffer. Tre er imidlertid så mangt. Mange treslag inneholder forskjellige stoffer som ikke er en egentlig del av trevirket, men som finnes innleiret i cellehulrommene og i celleveggene.

Mange av disse stoffene er ganske komplekse kjemiske forbindelser. Det kan dreie seg om gummilignende substanser, fett, harpiks, sukker, olje, stivelse, alkaloider og garvestoffer. Garvestoffer forekommer i neste alle treslag og i størst mengde i barken. Hos bark av eik og gran kan andelen garvestoff være opp til 20% av tørrvekten. Garvestoffene (tanninene) inneholder syrer og fenoler som er lett oppløselige i vann og kan trenge inn i veden og gi de såkalte tanninskader (misfarginger), f.eks. ved vannlagring av tømmer.

Som garvestoffene er mange av de andre stoffene også løselige i forskjellige løsemidler og kan derfor ekstraheres (trekkes ut) fra trevirket. De kalles derfor ofte med et fellesnavn for ekstraktivstoffer. Andelen av slike ekstraktivstoffer i selve trevirket varierer fra langt under 1% (*Populus*-arter) til mer enn 10% av tørrvekten (*Sequoia sempervirens*). Det er rapportert at enkelte tropiske treslag inneholder over 20% ekstraktiver. Innholdet varierer imidlertid fra tre til tre og også innen det enkelte tre.

I endel treslag forekommer det forskjellige uorganiske forbindelser, f.eks. kalsiumsalter og silisiumforbindelser (kvarts ( $\text{SiO}_2$ ) bl.a.). Disse forbindelsene forekommer ofte som små mineraler i vedstrukturen. Treslag som inneholder relativt mye av de hardere formene for uorganiske forbindelser er kjent for å slite verktøy i ekstrem grad. Noen tropiske treslag som f.eks. merbau (*Intsia bijuga* og *Intsia palembanica*) er meget vanskelige å bearbeide med vanlige karbonstål- eller highspeedverktøy. Enkelte av ekstraktivstoffene medfører at pH-verdien i det fuktige virket blir slik at det i forbindelse med fysisk kontakt med forskjellige metaller kan oppstå galvaniske strømmer. I praksis tilskrives den raske slitassen som en har på sagbladene ved bearbeiding av enkelte treslag slike fenomener. Ved bearbeiding av de vanligste norske treslagene, gran, furu, bjørk og osp oppstår det ikke slike fenomener i noen merkbar grad.

Mange av ekstraktivstoffene kan gi praktiske problemer med f.eks. liming og overflatebehandling.

Endel av ekstraktivstoffene fører også med seg andre ulemper som at de kan føre til allergi av forskjellige slag. Noen ekstraktivstoffer er også toksiske (gir giftvirkninger) og det er indikasjoner på at noen av ekstraktivstoffene også kan være kanseriserende (kreftfremkallende).

Det er funnet en spesiell form for nesekreft hos snekkere som i mange har vært i arbeid i snekkerbedrifter hvor man blant annet har bearbeidet eik og bøk. Kreftformen er relativt sjelden og det foregår en intens vitenskapelig diskusjon om det er treslagene eller andre stoffer som har vært årsaken. Uansett har man for sikkerhets skyld tatt med støv av eik og bøk på listene over kanseriserende stoffer.

Fordi det er i form av støv at mange av stoffene i trevirket kommer i så intim kontakt med det menneskelige legeme (lunger, slimhinner, hud, bl.a.) at det gir medisinske problemer er det innført stadig strengere regler for hvilken støveksposering man skal kunne utsettes for. I dag er kravet til støv i luften at det skal være mindre enn  $2 \text{ mg/m}^3$  luft av nordiske treslag, unntatt bøk og eik. For bøk og eik og alle de treslag som kan benevnes eksotiske treslag gjelder at arbeidsatmosfæren ikke skal inneholde mer enn  $1 \text{ mg/m}^3$  luft.

I nedenstående tabell er gjengitt en oversikt over de treslag som man kan støte på i Norge og som man kjenner til kan gi forskjellige medisinske problemer, samt hvilke disse er (etter Treteknisk håndbok, ISBN 82-7120-026-7, NTI, Oslo 1991).

Handelsnavn	Botanisk navn	Virkning		Annet	Anmerkning
		Allergi, utslett eksem	Puste- besvær, astma		
<b>Treslag som er virksomme med temmelig stor sikkerhet</b>					
Iroko	<i>Chlorophora Excelsa</i>	X	(X)		
Afr. mahogni	<i>Khaya anthotheca</i>	X			
Pau ferro	<i>Machaerium scleroxylon</i>	X			
Mansonia	<i>Mansonia altissima</i>	X	X	X	Svimmelhet, hjerteforstyrr.
W, red cedar	<i>Thuja plicata</i>	X		X	Forgifning v. fliser i sår
Makoré	<i>Thieghemella heckelii</i>			X	Slimhinnebesvær
<b>Sjeldnere virksom</b>					
Gabun	<i>Aucoumea klaineana</i>	X			
Palisander	<i>Dalbergia spp.</i>	X			
Ibenholt	<i>Dispoyros spp.</i>	X			
Keruing, yang	<i>Dipterocarpus spp.</i>	X		X	Kvalme
Movingui	<i>Distemonanthus benthamianus</i>	X			
Ramin	<i>Gonystylus spp</i>	(X)	X		
Wengé	<i>Millettia laurentii</i>	X		X	Krampe, lammelse ved fliser i sår
Kokrodua	<i>Percopsis elata</i>	X	(X)		
Douglas, Oregon pine	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	X			
Padouk, mununga	<i>Pterocarpus spp.</i>	X	X		
Barlind	<i>Taxus baccata</i>	X	X	(X)	Svimmelhet
Teak	<i>Tectona grandis</i>	X			
Puna	<i>Tetramerista glabra</i>	?	?		
<b>Muligens virksom fra tid til annen, ikke regelmessig</b>					
Doussié	<i>Afzelia bipidensis</i>	X	X		
Parana pine	<i>Aracauria angustifolia</i>	X		X	Muskelkrampe
Goncalo	<i>Astronium spp.</i>	X		X	Muskelkrampe
Pau marfim	<i>Balfourodendron riedelianum</i>	X	X		
Ceder fra Sentralam.	<i>Cedrela spp.</i>	X			
Basralocus, angélique	<i>Dicorynia paraensis</i>			X	Svimmelhet, kvalme
Agba	<i>Gossweilerodendron balsamiferum</i>	X	X		
Pokkenholt	<i>Guaiacum officinale</i>	X	X	X	Svimmelhet, kvalme, hjertebesvær
Merbau	<i>Intsia bijuga</i>	X	X		
Mahogni, afrikansk	<i>Khaya ivorensis</i>	X			
Greenheart	<i>Ocotea rodiaei</i>		X	X	Forgiftning ved fliser i sår, kvalme, nyreforstyrrelser
Sandeltre	<i>Santalum album</i>	X			
Ipé	<i>Tabebuia spp.</i>	X			
Framiré, limba	<i>Terminalia spp.</i>	X			
Abachi	<i>Triplochiton scleroxylon</i>		X		
Avodiré	<i>Turraeanthus africanus</i>	X	X		

## 15. Plastisk forming av trevirke

Fordi trevirket er bygget opp som en kompositt satt sammen av relativt sterke og tynne tråder (fibriller og celler) kittet (limt) sammen av termoplastiske og hydrofile materialer er det innen visse grenser mulig å forme tre plastisk. Dette skjer ved at matriksen (ligninet og cellulosen) som kitter cellulosefibrene sammen gjøres plastisk. Slik plastifisering eller mykgjøring kan gjøres på forskjellig vis: ved oppvarming, ved oppfuktning og ad kjemisk vei. Når matriksen er mykgjort kan trevirket i en viss grad formes plastisk ved bøyning, ved komprimering eller ved strekking. Etter at formingen er gjort slik det er ønsket kan trevirket bringes til å "størkne", ved at temperaturen senkes, ved at fuktigheten senkes, eller ved at kjemikalier som eventuelt er benyttet fordampes eller absorberes på forskjellig vis.

### Fremstilling av krumme deler, bøyning og laminering

Det er ikke bestandig at snekkeren eller designeren vil ha rette trestykker som en del av produktet. I en rekke møbler, for ikke å snakke om i båter, tønner, ski av heltre, spaserstokker og en mengde andre produkter, er det ønskelig at trevirket har krumme former.

I tidligere tider ble det bevisst sanket inn emner av f.eks. krokete trestykker som kunne egne seg til båtpant, knær av forskjellige slag til bruk i bygningskonstruksjoner, osv.. Fortsatt lar det seg sannsynligvis gjøre å skaffe visse former for krumvokste materialer men i de fleste tilfellene vil bedriftene i dag ta utgangspunkt i rett trevirke og på forskjellig vis få fram de krummingene det er behov for. Former på treprodukter følger visse trender eller moteretninger og i enkelte tidsepoker fremstilles det rettvinklede produkter med rette elementer mens det i andre epoker er ønskelig med krumme elementer.

Krumme elementer kan forøvrig skapes på en rekke måter:

- De kan skjæres ut av rette, ofte sammenlimte plater (eksempler er f.eks. trappevanger, akterstaver (bakbein) på spisestuestoler, ryggelementer på enkelte former for stoler, osv..)

- De kan bygges opp av en rekke korte rette stykker som sammenføres med fingerskjøter, not og fjær i endene, tappforbindelser (sentrumstapper) el.l..

- Tre kan mykgjøres (plastifiseres), bøyes til riktig kurvatur mens det er plastifisert for så å bringes til å stivne. Rått tre er relativt plastisk, men på basis av tørt trevirke kan plastifisering skje både ved oppfuktning, oppvarming eller ved en kombinasjon av oppvarming og oppfuktning. I oppfuktet og oppvarmet tilstand kan tre bli ganske plastisk ved endestukning (endesammentrykking). Tre kan også mykgjøres ad kjemisk vei - ammoniakk ( $\text{NH}_3$ ) er det mest anvendte kjemiske plastifiseringsmiddelet.

- Flere lag eller pakker med tynne treskiver (finéer) med uherdet lim i mellom, og som tilsammen tilsvarer tykkelsen på de krumme elementene som skal skapes, bøyes til ønsket kurvatur, hvoretter limet mellom de enkelte lagene bringes til herding. Prinsippet er det samme som ved fremstilling av store sammenlimte trekonstruksjoner (limtre) og anvendes i stor utstrekning i norsk møbelindustri.

- Heltrestykker snittes opp på forskjellig vis med tynne snitt vinkelrett på bøyeretningen slik at det gjenværende materialet er tynt nok til å tåle den krummingen det dreier seg om å fremskaffe. Ved liming eller istøping av plast fylles snittene. Slik fremstilling av krumminger anvendes særlig for plater og

**Professor  
Rolf Birkeland**

ved fremstilling av produkter hvor det er ønskelig at hjørnene er avrundet (fjernsyns- og radiokabinetter f.eks.).

Både plastifisering og laminering er vanlig benyttete metoder for fremstilling av krumme deler. I Norge er det som nevnt hovedsakelig laminering (dvs. sammenliming av tynne sjikt av finéer) som har kommet til anvendelse. Fra gammelt av har det i enkelte mellom-europeiske land vært en stor produksjon av møbler basert på varmbøyeteknikken. I Norge har disse metodene ikke fått noen særlig anvendelse ved møbelproduksjon. Plastifisering og bøyning arbeides det imidlertid med i en rekke båtbyggerier for bøyning av spant. I tønnefabrikasjon (bøkkerfaget) mykgjøres stavene slik at de lar seg bøye til tønneform ved at det fyres opp inne i tønne. På basis av utnyttelsen av et dansk patent for endestukning og mykgjøring av oppfuktet og oppvarmet trevirke arbeides det også med etablering av underleverandørproduksjon til møbelindustrien.

For fremstilling av enkelte treprodukter slik som spasérestokk- og paraplyhåndtak, treringer og enkelte sportsredskaper (tennisracketter) er bøyning av plastifisert tre eller laminering av tynne sjikt de eneste økonomisk konkurransedyktige fremstillingsmetodene.

Fordelene ved plastifisering eller laminering er flere:

- Intet, eller svært lite, spontap.
- Ved kompliserte former er formingen enklere og raskere enn ved bearbeiding.
- Lav investeringskostnad (som regel)
- Lavt energiforbruk.
- Produktene er sterke fordi det ikke finnes tverrved.
- Overflatebeskaffenheten som regel utmerket (fordi det ikke finnes tverrved).

### **Plastifisering og bøyning av trevirke**

Som nevnt skjer permanent bøyning ofte ved hjelp av en plastifisering av trevirket. Plastifiseringen får man som oftest til ved en kombinasjon av fuktighet og temperatur. Når tre lar seg plastifisere skyldes det at trevirket er et viskoelastisk materiale, dvs. at det under en konstant belastning vil deformeres og når belastningen fjernes vil det sakte gå tilbake til den opprinnelige formen eller dimensjonen dersom bruddgrensene ikke er overskredet. Trevirkets tendens til å "flyte" øker når temperaturen og fuktigheten øker. En annen bemerkelsesverdig egenskap ved trevirke er at det langs fiberretningen tåler langt mindre når det komprimeres enn når det strekkes. Denne forskjellen blir enda større ved økende fuktighet og temperatur.

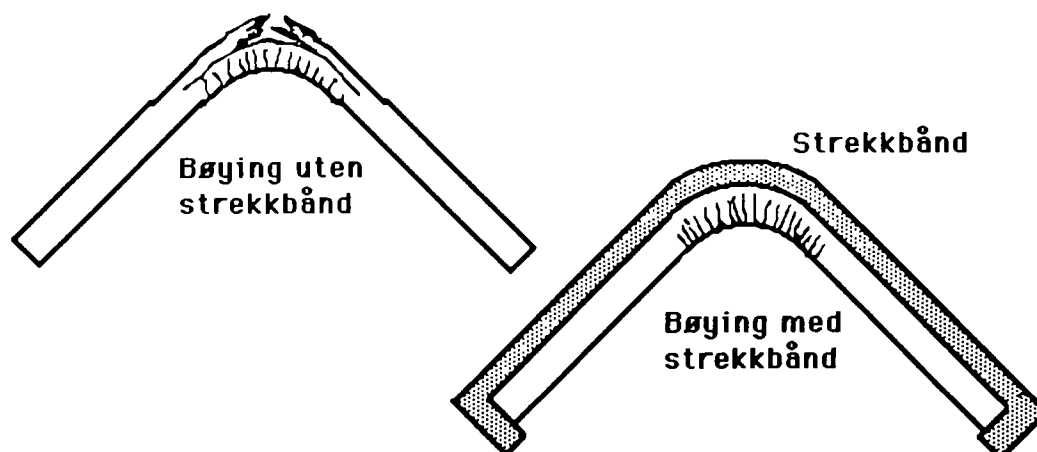
Treslag som egner seg til bøyning er blant andre:

- Bjørk - *Betula verrucosa* og *B. pubescens*
- Bøk - *Fagus silvatica*
- Eik - *Quercus robur* og *Q. petraea*
- Lønn - *Acer platanoides*
- Kirsebær - *Prunus avium*
- Iroko - *Chlorophora excelsa* og *C. regia*
- Ask - *Fraxinus excelsior*
- Alm - *Ulmus glabra*

Furu - *Pinus silvestris* - er ikke utpreget lett å bøye men anvendes ikke desto mindre til produkter som båtbord og tønner hvor den bøyes.

Når en trebite bøyes vil den til å begynne med komprimeres omtrent like mye på trykksiden som den strekkes på strekksiden. Når spenningen på trykksiden når bruddgrensen vil trevirket bli komprimert på den måten at det oppstår små lokale folder i cellene. Dette innebærer samtidig at nøytralaksen forskyves mot strekksiden. Ved at nøytralaksen forskyves mot strekksiden blir det tverrsnittet som tar opp

strekkbelastningen mindre og strekkspenningen tilsvarende høyere. Ved fortsatt bøying av trestykket vil denne prosessen fortsette til strekkbelastningen blir så høy at den overstiger trevirkets strekkstyrke. Dersom dette inntreffer får man strekkbrudd på strekksiden og dermed er arbeidsstykket normalt ødelagt. Kunsten å bøye heltre gjorde et stort sprang framover da det ble vanlig å anvende et strekkbånd på strekksiden. Dette strekkbåndet, som som oftest er laget av stål eller metall, tar opp strekkspenningene slik at det ikke inntreffer noe strekkbrudd på strekksiden. Trevirket stukes på trykksiden og når trevirket er kjølt ned og tørket beholder det langt på vei den formen det hadde i bøyeformen.



I praksis utfører man som oftest mykgjøringen, eller plastifiseringen, ved at de tørre trestykkene fuktes og oppvarmes i et dampkar, gjerne et rør eller en sylinder hvor mettet damp ledes gjennom. Noe av den mettede dampen vil kondensere ut på trevirket og ved det får man samtidig både en oppfukting og en oppvarming. En kan tenke seg å dyppe trevirket i varmt vann men dette frarådes da en ofte får en utvasking av enkelte stoffer av trevirket og også kan oppnå en misfarging.

Den enkleste formen for bøying skjer ved at trestykket bøyes rundt en dertil egnet form og festes til denne i hver ende, f.eks. ved at den klemmes fast med tvinger. Skal det produseres større mengder vil det normalt lønne seg å få spesiallaget et passende antall bøyeformer. Skal det nyttes strekkbånd må lengden av trebiten svare til avstanden mellom de motholdene som spenner inn trebiten.

Det er gjennom tidene fremstilt en rekke spesialmaskiner for bøying av heltre. Slike maskiner har særlig vært nyttet ved fremstilling av møbelemner, tønnestav, spaserstokkhåndtak og liknende masseartikler.

### Laminering

Jo tynnere et trestykke er dess lettere er det normalt å bøye det. Laminering av krumme emner bygger nettopp på dette. Finér som er så tynt at det lar seg bøye til ønsket radius uten å briste påføres lim og legges i pakker så tykke som emnene skal bli. Mens limet enda er flytende spennes finérpakken til ønsket form. Deretter bringes limet til herding. Herdingen av fysikalske lim kan skje ved at limet tørker gjennom at vannet fordampes (tar lang tid), kjemisk herdende lim kan herdes ved oppvarming ved motstandsoppvarming eller høyfrekvensoppvarming.

Forøvrig henvises til Raknes, E.: Liming av tre, Universitetsforlaget, 1987. I denne boken er de viktigste sidene ved laminering av finérer til møbeldeler beskrevet.

Når en pakke med finérer fuktes med lim, bøyes og herdes vil den ofte endre form etter at herdingen og uttørkingen av finérene har funnet sted. Ved svært krumme former vil

krummingen tendere til å trekke seg sammen ytterligere. Er det slake krumninger som lamineres vil de tendere til å rette seg litt ut. Denne tendensen til at de laminerte buene form endrer form benevnes ofte "springback". URMI har latt utarbeide et dataprogram som beregner hvordan buene eller krummingene endrer seg (Lind, P. og Toverød, H.: Simulering av formendring ved laminering av krumme deler, URMI, 1995.).

Programmet beregner og tegner på basis av geometriske data, data for treslag, finértykkelser, antall lameller, limmengde etc. hvordan formen blir etter at utherdningen har funnet sted. I praksis må man selvsagt ta hensyn til denne formendringen på den måten at formen som lamellene spennes opp ved hjelp av lages slik at de ferdige emnene blir som ønsket etter at formendringen har funnet sted. Dataprogrammet kan også nyttes til å beregne hvordan formen bør være for at formen etter utherdning skal bli så riktig som mulig. Fordi tre varierer såvidt mye fra stykke til stykke som tilfellet er lar det seg ikke gjøre å beregne resultatet helt eksakt.

## 16. Andre trebearbeidingsmetoder og -maskiner

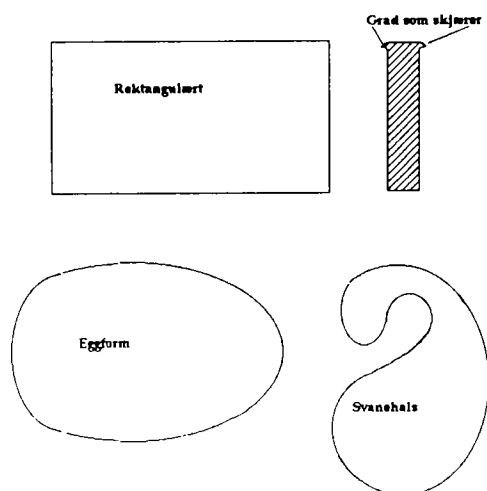
### Siklingen var lenge et viktig verktøy

For mange er begrepet sikling kanskje bare forbundet med at det er en rektangulær tynn plate av verktøystål som man nytter til å skrape vekk restene av skismørningen med. Siklingen er imidlertid et gammelt snekkerverktøy som anvendes til å skave av tynne sjikt av hardtre- og lakkoverflater for å få overflatene glattest mulig. Ikke bare anvendes den til å skave av tynne sjikt av tre- og lakkoverflater men også til å fjerne limrester langs limfuger samt å fjerne papir og nylontrådrester på sammenfugete finerte flater. Slik sett er siklingen et verktøy på linje med alle andre sponfraskillende verktøy.

At ordet sikling er et lånord fra tysk føler jeg meg overbevist om. Det redskapet vi kaller sikling, og som jeg ikke kan se har noen mening på norsk, heter på tysk Ziehklinge og det kan til godt norsk oversettes til draegg eller drastål. Det ordet beskriver forsåvidt ganske godt hvordan en sikling anvendes: en stålegg trekkes over overflaten.

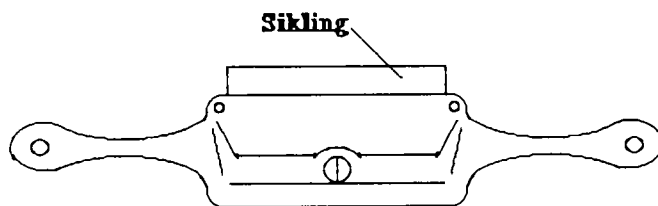
### Det finnes flere former for siklinger

Som nevnt innledningsvis forbinder mange av oss siklingen med en tynn stålplate av omtrentlig 150 mm lengde, 60 mm bredde og en tykkelse i nærheten av 1 mm. Hovedmengden av siklinger er sannsynligvis omtrent slik omenn det nok også anvendes vesenlig tykkere stålplater enn vi er vant til, ihvertfall forekommer det siklinger med 3 mm tykkelse. For bearbeiding av krumme flater finnes det dessuten flere andre former for siklinger. De mest vanlige har enten eggform eller hva som vanlig benevnes svanehalsform. I Figur 1. er gjengitt de vanligste formene.



Figur 1. De vanligste formene for siklinger

Det anvendes også en form for siklinghøvel, som minner mye om det kanskje mer velkjente verktøyet som noen kaller skavkniv og andre kaller sponhøvel. I siklinghøvelen settes det inn en sikling, som lett kan taes ut av og settes inn i verktøyet. Siklinghøvelen brukes gjerne ved avretting av større flater samt når limrester og papirrester skal taes vekk. Se Figur 2.

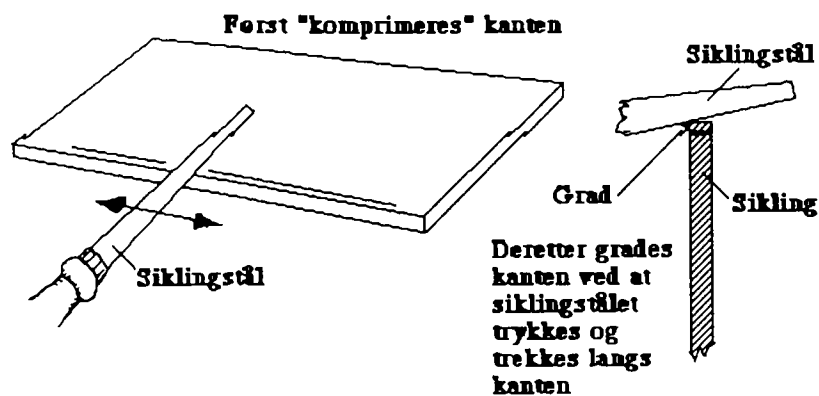


## Figur 2. Siklinghøvel

Golvsiklingen er også en variant av siklingene. Den har tradisjonelt blitt anvendt av golv- og parkettleggere for avretting av golv. Golvsiklingen er større og tykkere enn de siklingene som nyttes i snekkerverkstedet.

### Siklinger må settes opp

I Figur 1. er vist et snitt av kanten på en sikling. Det sees at det er en grad eller fas på på hver side av stålplaten. Det er denne graden som anvendes som det skjærende verktøyet når det skaves av tynnre lag av fibre eller av lakk. Skal resultatet bli førsteklasses er det viktig at den graden som skal brukes er skarp og at det ikke er hakk eller uregelmessigheter i den. Når et sikling skal settes opp må kanten først files slik at den er rettvinklet og helt glatt. Etter omsorgsfull filing bør det anvendes et fint bryne slik at man fjerner alle spor etter filtennene. Når kanten er rettet foretar man en form for komprimering av kanten ved at man drar et såkalt siklingstål, en herdet og blankpolert stång av form nærmest som en trekantfil langs kantene slik som vist i Figur 3. Etter denne komprimeringen (deformeringen) av kanten trykker og drar man siklingstålet langs kanten på siklingen mens stålet holdes nesten vinkelrett på siklingens plan, slik at det dannes en grad. Vil man ha en kraftigere grad må man gjenta operasjonen. Denne graden, som danner det egentlige verktøyet, må som nevnt være uten hakk og uregelmessigheter.



Figur 3.

Det finnes også et eget verktøy, som av utseende nærmest minner om en håndhøvel, som kan anvendes til å presse fram gradene på siklingen.

### Glatting eller glitting (?) er en gammel prosess

Mange som har fremstilt arbeidstykke i tre eller metall har glattet flatene etter bearbeidingen med at man har gnidd en glatt gjenstand av et hardere materiale over de flaten man vil ha glattere. Det man oppdager er at ved høye trykk kan man presse ned fibre og jevne ut ujevnheter som skyldes selve bearbeidingsprosessen. Gnir man med tommelfingerneglen på en treflate vil man kunne glatte flaten ganske bra. Gjør vi det samme på en metallgjenstand, f.eks. for å fjerne sporene etter dreining så få vi en permanent endring av overflaten, dersom vi trykker den glatt med en hard og glatt flate. På tre og trebaserte materialer kan vi trykke ned fibre men noen permanent glatting av flaten oppnår vi normalt ikke på de treslagene vi vanligvis omgås. Det skyldes hovedsakelig at trevirket er bygget opp slik det er, samt at det er hygroskopisk, dvs. at det trekker til seg vann fra luften, og når det skjer tar fibre tilbake sin opprinnelige form.

### Friksjonsglatting

I forbindelse med maskinering av MDF-plater blir den freste kanten eller de freste sporene nærmest litt ullne. Ved bruk av vannbaserte eller vannholdige lakker og malinger vil fibre ha en tendens til å reise seg. Dersom det forlanges helt glatte flater blir dette et problem og flatene må grunnes slik at fibre låses på plass og slipes. Dette innebærer



**Professor**  
**Rolf Birkeland**

flere operasjoner og er selvsagt lite ønskelig. Ved det tyske Institut für Holztechnologie Dresden GmbH (**ihd** bruker instituttet som logo) har man i noen tid arbeidet med å utvikle en glattemetode for slike freste flater og spor. Ved å la et glatt, meget hardt, roterende verktøy, med samme ytre dimensjoner som det overfresverktøyet som bearbeidet kanten eller laget sporet, og som trykkes mot den bearbeidende flaten og følger den samme arbeidsgangen som skjæreverktøyet, oppnår man en form for glatting som tyskerne kaller "Thermoreibglätten". Det tyske navnet beskriver forsåvidt metoden. Ved friksjonen (Reibung = friksjon) som oppstår mellom glattingsverktøyet og den freste flaten oppstår det friksjonsvarme. Når trefibre varmes relativt kraftig opp vil de kunne la seg forme plastisk. Det glatte roterende verktøyet komprimerer og glatter på det viset overflaten på den freste kanten eller i det freste sporet. Den flaten som dette resulterer i er omtrent like hard og glatt som selve ytterflaten på MDF-platene. Rent praktisk vil man kunne bruke friksjonglatteverktøyet i den samme overfresmaskinen som brukes til å frese kantene eller sporene og gjennomføre glattingen ved den samme oppspenningen og styrt av det samme programmet.

**Henvisninger**

Myrsten, A.: Så slipper du mellanslipa MDF. Träindustrien 20/1996

Nutsch, W.: Holztechnik. Fachkunde. Verlag Europa, Stuttgart, 1995. ISBN 3-8085-4015-X

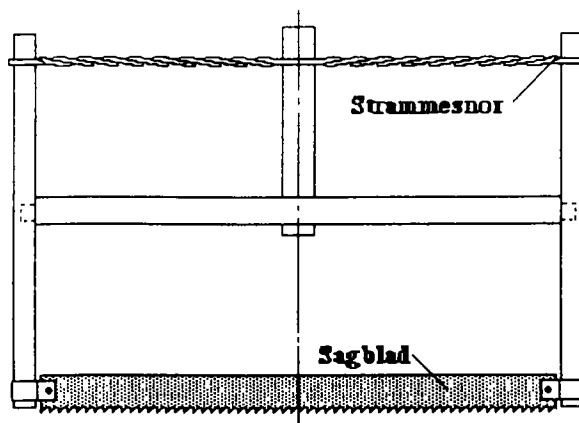
Sandig, C.: Thermoreibglätten mit rotierenden Werkzeugen, HK 1/94.

## 17. Rammesagen og dens utvikling

### Vippesagen

Da det ble utviklet stål som egnet seg for framstilling av sagblader ble det mulig både å kappe og kløve trevirke ved hjelp av sager. De første sagbladene forsøkte man nok både å lage så korte, tynne og smale som mulig, simpelthen fordi stål var vanskelig å lage og sannsynligvis var svært dyrt.

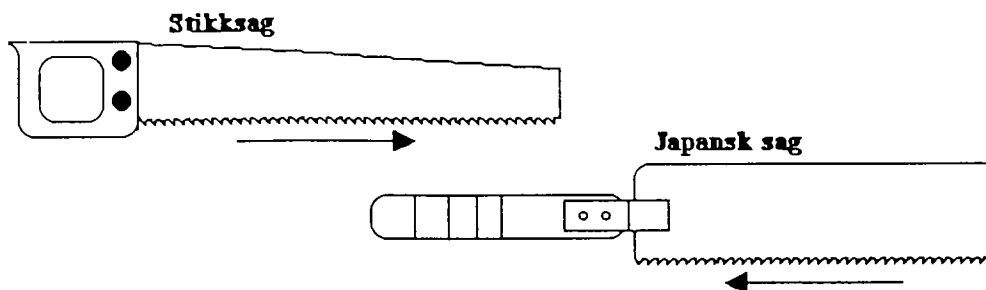
Ved kløving av tynne materialer fant man nok fort fram til den sagtypen som benyttes av snekkerne - den sagtypen som vi kjenner som grindsagen. Bladet som er tynt og smalt strammes mellom sidene i "grinden" ved hjelp av et strammesystem som ofte er basert på at en snorløkke tvinnes. Ved at bladet strammes vil det holde seg relativt rett og dermed gi nokså rette snitt.



På et vis er også sager som f.eks. løvsagen (ja, baufilen med) en tilsvarende type. Bladet som er tynt og smalt strammes ved hjelp av en eller annen strammeanordning, f.eks. en skrueanordning, så mye som det nesten er mulig inne i en bøyle.

Disse sagene ble (og blir mange steder fortsatt) benyttet både til kapping, til kløving og ved utsaging av kurvete snitt (sveifing). Etterhvert har vi fått de såkalte stikksagene som etterhvert er blitt utformet for og anvendes til svært mange oppdelingsoppgaver, både ved kapping og ved kløving.

Mens mange av våre sager faktisk er laget for å sage når de skyves (stikkes) vekk fra den som sager har man for eksempel i Japan en helt annen tradisjon hvor sagbladene er utformet slik at de skjærer når de trekkes mot den som bruker sagen.

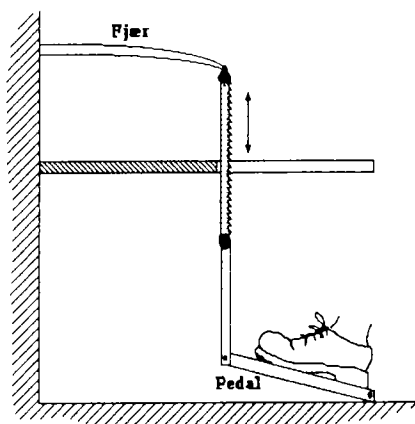


Fordelene med å trekke bladet mot seg istedetfor å skyve det fra seg er selvsagt at bladet ikke vil kunne bølgje seg. Dermed kan man benytte et tynnere sagblad og ved det benytte mindre kraft ved siden av at det ikke blir så mye sagflis.

Etterhvert dukket det opp idéer om at sagbladet kunne beveges fram og tilbake, eller opp og ned, ved at det ble dratt den ene veien og at en eller annen fjærende innretning dro

sagbladet tilbake til utgangsposisjonen. Det har sannsynligvis eksistert mange versjoner av slike sageinnretninger.

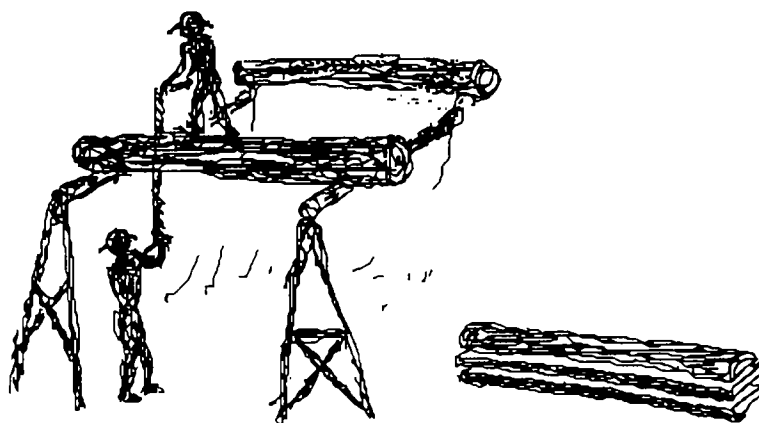
Det førte til utvikling av vippesagen:



Denne idéen ble etterhvert utviklet på den måten at man istedetfor pedalarrangementet satte inn en veivaksel som dro bladet ned. Da kunne man drive sagen ved hjelp av en roterende kraftkilde - en sveiv, et vasshjul, en vindmølle, dampmaskin eller motor. Denne sagtypen var meget utbredt i snekkerbedrifter inntil båndsagen ble alminnelig. Idag har vippesagen en renessanse som maskin for å framstille tynne og kurvete snitt i forbindelse med kunsthåndverk og hobby-arbeider.

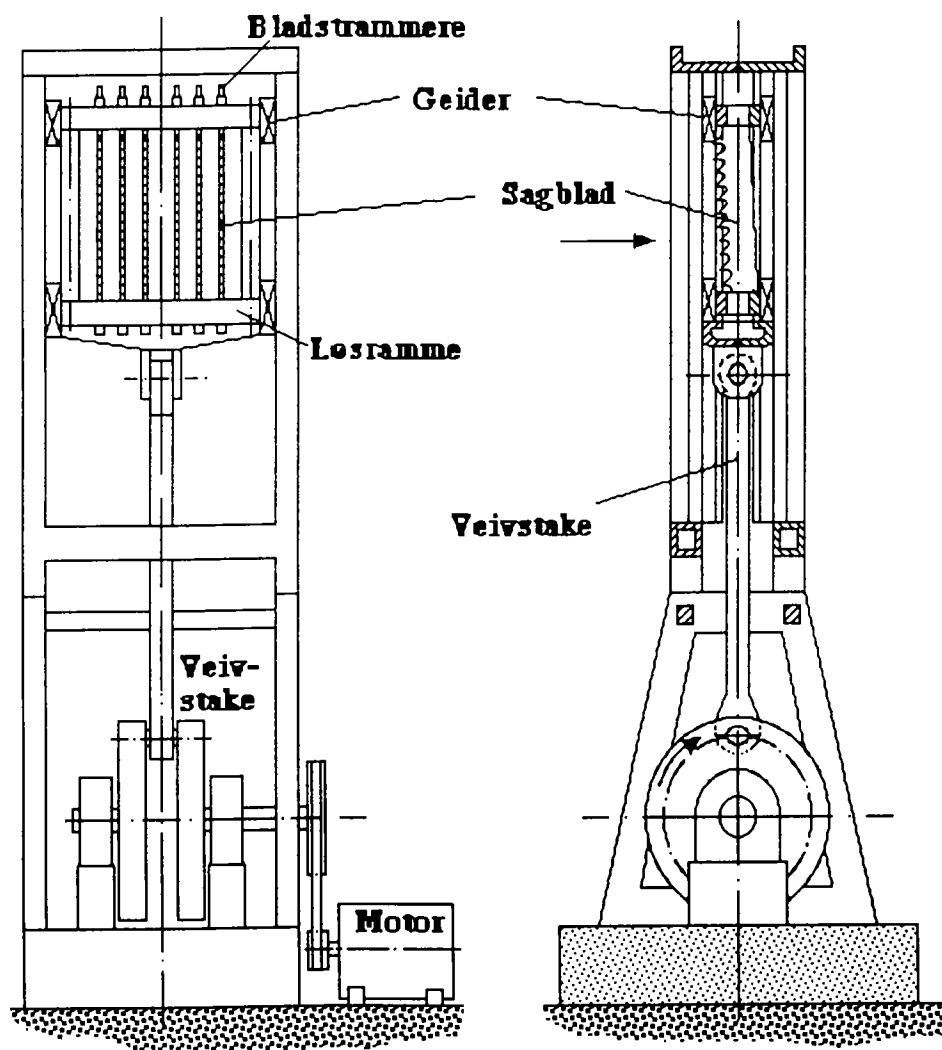
### Saging av tømmer

Den teknikken som ble anvendt ved langs-saging av tømmer, da sager ble tilgjengelige, var den vi vanligvis betegner som oppgangssaging ("pit-sawing" på engelsk).



Denne sageformen var i bruk i lange tider i vår del av verden og anvendes fortsatt i mange utviklingsland. For å kunne bruke et så tynt sagblad som mulig spente man gjerne sagbladet inn i en ramme. Denne rammen ble så trukket opp og ned eller skjøvet fram og tilbake. De første mekanisk drevne sagene var en slags storkopier av den vippesagen som er skissert foran. Drivkraften var sannsynligvis enten vannhjul eller vindmøller. Et tidlig utviklingstrinn besto av at man ved hjelp av en slags roterende kam løftet sagbladet eller rammen opp og deretter falt den ned trukket av tunge vekter. For å holde bladet stramt dersom man bare benyttet et blad uten ramme benyttet man ofte en fjærende trestamme eller liknende.

Etterhvert ble det til at man spente flere blader inn i rammen. Rammen ble drevet opp og ned eller fram og tilbake ved hjelp av en veivaksel.

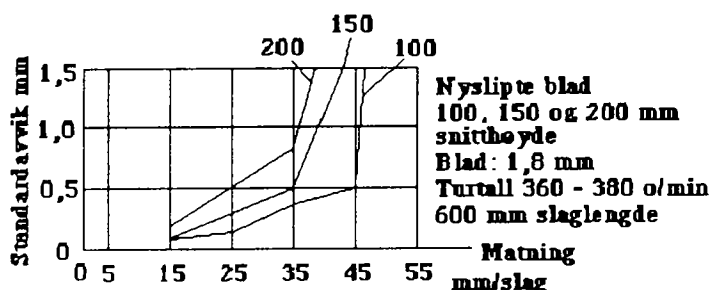


Da dampmaskinen ble tatt i bruk som kraftkilde ble det også laget rammesager hvor rammen direkte ble trukket fram og tilbake av stempet i dampmaskinen, altså uten at man benyttet først en veivaksel for å omsette dampmaskinens fram- og tilbakebevegelse til en roterende bevegelse for deretter å omforme denne igjen til rammesagens fram- og tilbakegående bevegelse. Problemet med en slik teknisk løsning er selvfølgelig at man ikke kan endre slag hastigheten på rammesagen opp eller ned i forhold til dampmaskinens slagtakt.

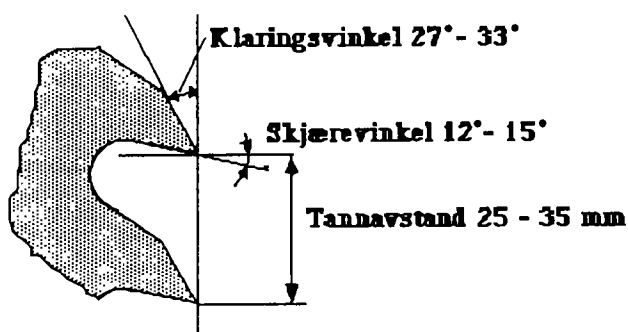
For å styre rammen i dens fram- og tilbakegående bevegelse er den utstyrt med geideføringer som sitter inne i hva man kan kalle en ytre ramme. Den rammen som bladene er spent inn i og som beveger seg benevnes ofte for løsramme. Ved vertikale rammesager skjærer bladene normalt ved nedadgående bevegelse. For at de ikke skal "subbe" inne i snittet ved oppadgående bevegelse er bladene spent inn noe framoverlutende i forhold til vertikalen. Det er også framstilt rammesager hvor løsrammen foretar en 8-tall liknende bevegelse med sikte på at man skal unngå "subbing". Ved de første helt mekanisk drevne oppgangssagene og rammesagene var frammatningen av tømmeret rykkvis. Ved hjelp av en såkalt klinkermekanisme ble stokken matet fram mens bladet beveget seg opp og sto stille under selve snittet. For å øke sagehastigheten ble det etterhvert alminnelig å anvende kontinuerlig matning og det øker selvsagt problemene med å avstemme bladenes framoverlutning og matehastigheten.

Vanlig slag hastighet ved moderne rammesager er oppimot 400 omdreininger/minutt. Slaglengden som anvendes ved skur av "våre" dimensjoner er ofte 600 mm. Med en matning på f.eks. 35 mm per slag (som er hva man noenlunde forsvarlig kan mate en rammesag når snithøyden er ca. 200 mm) tilsvarer dette en matehastighet på 14 m/min.

Dette kan synes lite men fordi man skjærer flere snitt samtidig blir rammesagens kapasitet relativt stor. For rammesagen er kapasiteten bestemt av sagbladgeometrien og tannlukens størrelse. Når tannlukene overfylles synker nøyaktigheten mye fordi sagflisen tvinges ut i klaringen mellom sagbladet og siden i sagsnittet. I figuren under er vist (etter Grönlund, A.: Træbearbeiting) standardavvik som et uttrykk for skurnøyaktigheten varierer ved forskjellige snitthøyder og matehastigheter.



Bladtykkelsen vil som oftest være ca. 2 mm. Bladene er enten vigget eller stuket. Idag er det mest vanlig med stuking. Stukstørrelsen er som regel på sommeren 0,6 - 0,8 mm og ved vinterskur 0,4 - 0,6 mm til hver side av bladet.



For å få tilstrekkelig klaring på tennes baksida under "oppslaget" bruker en ofte en litt annen tannutforming ved rammesager enn ved bånd- og sirkelsager. Den vesentligste forskjellen består i at man vil ha en større klaringvinkel og ofte anvendes en noe mindre skjærevinkel (sponvinkel).

Avstanden mellom bladene stilles tradisjonelt ved hjelp av distanseklusser. Det er nå også utviklet numerisk styrte distanseringsanordninger som gjør at man kan stille bladavstanden mye enklere og raskere. Ved tradisjonell omstilling eller bladskift henges bladene inn i løsrammen med distanseklussene på plass, så strammes hvert enkelt blad opp, som regel ved hjelp av en eksenterspenninganordning. I bladens spennanordninger er det bygget inn et fjærende element slik at bladstramningen forblir noenlunde konstant når bladene varmes opp og dermed forlenger seg.

Når rammesagen arbeider er det store masser i sving. Rammesagene krever derfor store og tunge fundamenter og bør helst være fundamentert på fast fjell. Det er utviklet metoder med eksentriske svinghjul som langt på vei helt eliminerer de rystelsene som rammesager kan overføre til omgivelsene. Kravet til vedlikehold er noe større for rammesager enn for de andre sagmaskinene. Geidene og føringene krever kontinuerlig smøring og justering. Et særlig problem har rammesagene ved at det kan oppstå trethetsbrudd i den under bjelken i løsrammen. Det er derfor vanlig at rammesagdeler som er utsatte røntgenforograferes med jevne mellomrom for å avdekke eventuelle begynnende brudd.

Inntil for få år siden hadde mange av de større sagbrukene i Norge rammesager. Idag finnes det ingen komplette rammesagbruk i drift i Norge. Både i Sverige og Finland, i

**Professor**

**Rolf Birkeland**

mellom- Europa og i det tidligere Sovjetsamveldet er det mange rammesagbruk i full drift. Fortsatt driver produsentene utvikling og særlig er det med hensyn til å gjøre det enklere å stille om saken fra et skurmønster til et annet som opptar produsentene.

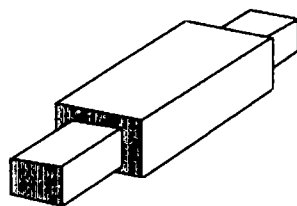
Boken: Grönlund, A.: Träbearbetning, Stockholm 1986, ISBN 91-970513-2-2, gir en relativt fyldig diskusjon av rammesagen og dens driftsforhold.

## 18. Om framstilling av komplekse treprodukter

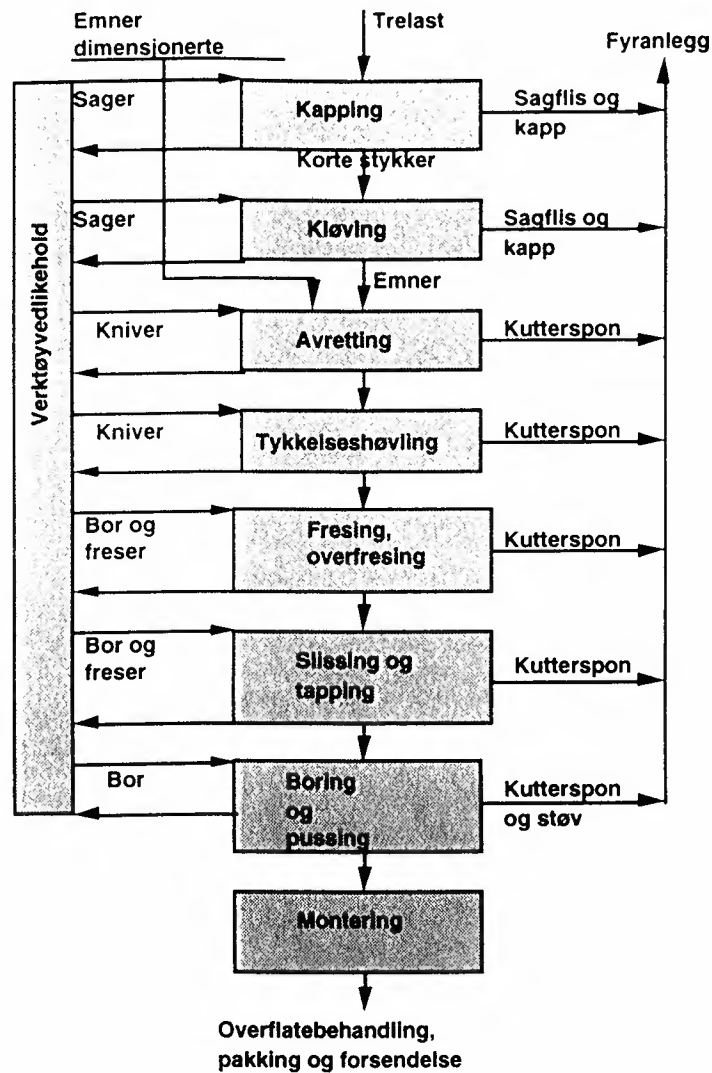
Trelast er ikke noe ferdigprodukt, men utgjør et råstoff eller et halvfabrikat for en videreforedling. Med videreforedling menes i denne sammenheng alle former for prosesser som med utgangspunkt i tre som et av sine mer vesentlige råstoff fremstiller bruksferdige produkter som møbler, vinduer, trapper, dører, ispinner, paller, souvenirer etc., etc.. Disse produksjonene foregår i en stor og meget uensartet mengde bedrifter av alle størrelseskategorier og med de forskjelligste sammenstillinger av maskiner. Arbeidsgangen er imidlertid relativt ensartet.

Et fellestrekk er at de aller fleste anvender tørket trelast som råstoff. Vanlig tørrhet er gjennomgående 10-12%. Noen bedrifter vil ha trelasten litt tørrere, andre vil ha den litt mindre tørr. Tidligere var det overveiende slik at de videreforedlende bedriftene selv tørket trevirket. Dette skjedde enten ved at de hadde vanlige tørker (gjerne små kammertørker) eller at de lagret materialene over lengre tid inne i produksjonslokalene. Mange mindre videreforedlingsbedrifter som fortsatt tørker trelasten anvender små kondensasjonstørker. Å anvende kondensasjonstørker ved lave fuktigheter er ikke energimessig gunstig, men det gir en lettvinnt tørkeprosess fordi det erfaringsmessig oppstår lite tørkeskader.

Mange trelastleverandører leverer idag trelasten tørket til kundens spesifikasjoner. Mange videreforedlingsbedrifter kjøper råstoffet, ikke bare ferdig tørket, men også ferdig kappet, av og til dimensjonert og i noen tilfelle sågar ferdig maskinert.



Nedenfor vises et prinsipielt flytskjema for en videreforedlingsbedrift.

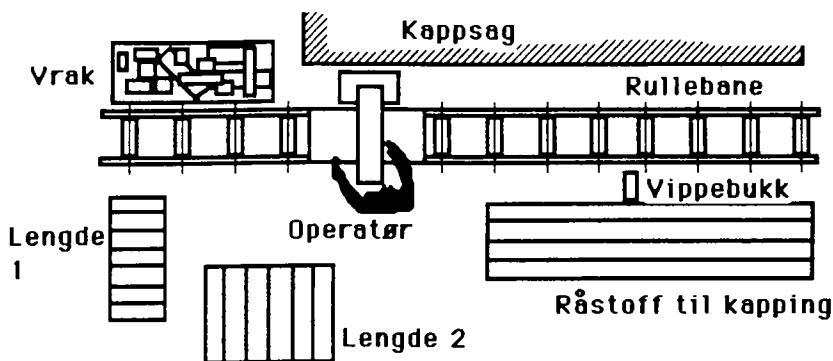


### Kapping - kappsager

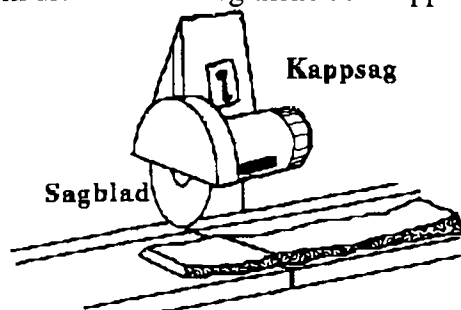
Dersom en bedrift som anvender heltre ikke kjøper ferdigkappede emner til all sin produksjon - og det er det de færreste bedriftene som gjør - må bedriften ha et anlegg for kapping av trevirket. Som antydnet i avsnittet om materialer er det mange former for heltre som kan anskaffes og helt avhengig av dimensjoner, materialtype og kvaliteteter vil man kunne anvende forskjellige oppdelings- og kappemønstre. Svært ofte dreier seg imidlertid om å kappe vanlig kantet trevirke.

Ved mindre produksjoner vil kappeanlegget som regel være manuelt betjent og med en relativ enkel utrustning.





En layout for et slikt manuelt kappeanlegg kan f.eks. fortone seg som vist på figuren over. Her er kappeanlegget slik utformet at operatøren plasserer råstoffet sitt til høyre for seg, f.eks. på løse bukker, eller på et løftebord, ved hjelp av en jekktralle. Er kappestasjonen betjent hele dagen er det vanlig at råstoffet plasseres på et løftebord som enten kan betjenes av operatøren (f.eks. ved hjelp av en pedal) eller det løfter seg automatisk styrt av en mikrobryter eller en fotocellanordning. Fra pakken med råstoff vipper operatøren plankene en og en over på rullebanen (Er det store og tykke og dermed tunge planker kan det hende han må ha en medhjelper i den bortre enden av pakken). Han legger den planken som skal kappes inntil bakre kant eller til en styrelist og fører den fram med høyre hånd. Til venstre for sagen og innstilt etter den kappeordren han har er det montert stoppeklosser. På skissen er det antydnet at det skal kappes to lengder. Normal kappeprosedyre er at det først taes et renkapp - så kort som mulig men samtidig så langt inn at det tar vekk sprekker - og deretter mates planken fram mot stoppeknaesten. Betjeningen av selve kappsagen avhenger litt av hvilken type sag det dreier seg om. Enkelte sager er manuelt betjent på den måten at operatøren enten svinger sagen som henger i en pendel i taket (pendelkappsag) fram over planken mens andre har en rettlinjet framføring av sagen (parallellkappsag) ved at den enten er hengslet eller glir på skinner fram mot operatøren som drar den mot seg mens den kapper planken.



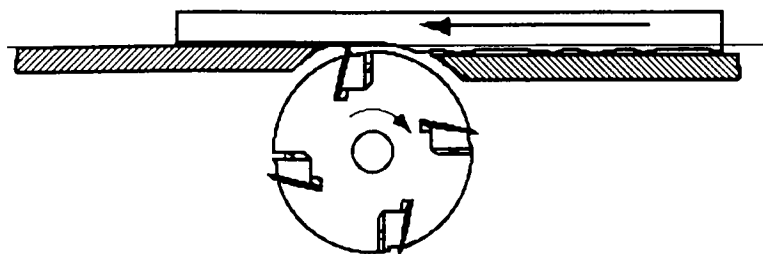
Er sagen mekanisert vil det vanlige være at operatøren betjener to knapper slik at han tvinges til å holde fingrene vekk fra snittsonen. Det finnes også kappsager med underliggende blad som da kommer opp når kappet skjer. Ved alle kappsagtyper er bladenes skjæreretning slik at planken tvinges inn mot anslaget hvis da ikke sagen er utstyrt med en egen anordning som klemmer fast planken i kappeøyeblikket. I alle tilfelle er det av største viktighet at sagbladet er skjernet slik at ikke operatøren eller andre kan komme inntil bladet.

### Avretting - avretterhøvler

Trevirke slik det kommer fra sagbrukene må avrettes for at man skal få en rett og plan referanseflate som resten av bearbeidingsoperasjonene kan ta sitt utgangspunkt i. Den såkalte avretterfunksjonene (avrettingen) får man til ved at det foran den avrettende kutteren er et plan som er minst så langt som de trebitene som skal avrettes. Dette planet ligger så langt under kutterens skjæresirkel som man vil ha snittdybden til å være. Snittdybden kan reguleres enkelt f.eks. ved at en lar innmatingsbordet forflytte seg langs et skråplan ved hjelp av en skrueanordning eller liknende. På utmatingsiden kommer

trevirkesbiten ut på et nytt plan som er parallelt med det første (innmatingsbordet) og som ligger tangentialt til skjæresirkeldiameteren.

### Avretterhøvel



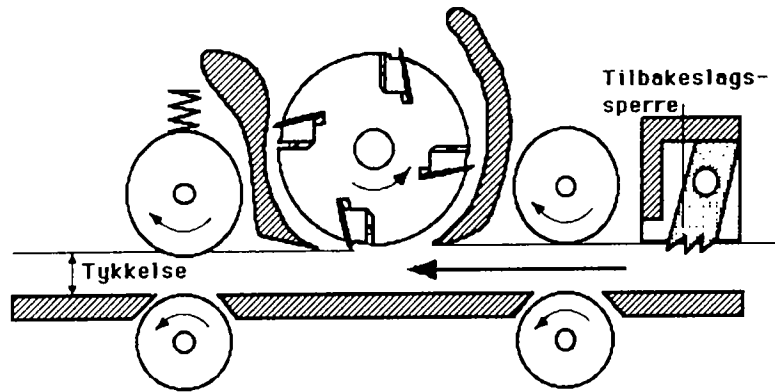
Kutteren vil som regel være utstyrt med flere kniver. Med de tildels store turtallene som det arbeides med (4 - 8.000 omdr./min.) er det ytterst viktig at kutteren er nøyaktig utbalansert såvel statisk som dynamisk. For at knivene skal skjære i det samme planet er det viktig at de enten er plassert riktig når de plasseres tilbake i kutteren etter sliping eller at det er mulig å slipe eller bryne de etter at de er på plass i kutterkroppen. På endel maskiner nyttes også "bruk-og-kast" kniver som er meget diemsnjonsnøyaktige når de er nye og som det derfor er relativt enkelt å få til å skjære i tilnærmet det samme planet.

Ved mindre produksjoner vil avretterhøvlene gjerne være håndopererte. Operatørene legger trevirkesbitene flatt ned på innmatingsbordet og fører det med jevn bevegelse, og uten å vippe på trestykket, over kutteren og inn på utmatingsbordet. Som regel er avretterhøvlene utstyrt med et sideanlegg som kan stilles slik at planet er vinkelrett på eller danner en ønsket vinkel med avretterplanet. Etter at den første flaten på en trevirkesbit er avrettet vil en ved å nytte anlegget kunne avrette den neste siden slik at den danner en rett vinkel med den første eller slik at den danner en ønsket vinkel med den først avrettete flaten.

Ved større produksjon vil det ofte være formålstjenlig med en kombinertmaskin som både har en liggende avretterkutter og en opprettstående kutter for oppvinkling og avretting av ytterligere en side. Slike maskiner er gjerne utstyrt med mekaniske mateverk som har flere hastighetstrinn eller kontinuerlig variabel hastighet slik at matehastigheten kan tilpasses kuttdybden og den ytfinheten man vil ha på det ferdige produktet.

### Tykkelseshøvling

Som regel må uhøvlet trevirke dimensjoneres for at bitene skal få riktig tykkelse. Etter at den ene siden er avrettet anvendes ofte en såkalt tykkelseshøvel for å gi riktig tykkelse. Tykkelseshøvlen har normalt en overliggende kutter som skjærer mot maskinens materetning. For å forhindre at materialene kastes tilbake er maskinene bestandig utstyrt med sperremekanismer. En tykkelseshøvel må være mekanisk matet.



Matevalsen kan være riflet eller belagt med gummibane. Tykkelsen på det som bearbejdes bestemmes av avstanden mellom maskinens faste bord og kutterens bearbejdingsradius. På de fleste maskinene er det bordet som beveges opp og ned. Det lages imidlertid også maskiner hvor bordet står fast og overdelen med drivmotor, kutter etc. flyttes opp og ned. Skal en sette en avretter og en tykkeshøvel direkte etter hverandre vil det selvsagt være en fordel om det er maskinens overdel som flyttes opp og ned fordi utmatingsbordet på avretterhøvelen og inmatingsbordet på tykkeshøvelen kan ligge i eksakt samme plan. Selve innstillingen skjer på de enklere maskinene ved at en ved hjelp av en sveiv skrur seg fram til riktig tykkelse. På siden av maskinen eller direkte koplet til sveivmekanismen er det som regel en skala som avgir hvilken tykkelse som er innstilt. Større maskiner har ofte servodrift av tykkelsesinnstillingen. Selve innstillingen kan da skje med trykknappinnstilling eller ved at man forhåndsinnstiller en numerisk styringsinnretning. Selve innstillingen av tykkelsen kan skje enten ved hjelp av steptomotorer eller ved at man styrer drivmotoren for tykkelseinnstillingen ved hjelp av en digital linjal.

Det lages også maskiner som er kombinerte avrettere og tykkeshøvler og som i tillegg er utstyrt med sidekuttere. Slike firesidige høvelmaskiner kan med fordel nyttes i mange bedrifter. Skal man avrette og dimensjonere lang trelast må man imidlertid være oppmerksom på at inmatingsbordet må være så langt at det understøtter hele lengden.

Dersom materialene som skal dimensjoneres er relativt nøyaktige vil det ofte kunne lønne seg å utføre dimensjoneringen ved hjelp av pussemaskiner. Bredbåndpussemaskiner hvor materialene som skal dimensjoneres legges på matebånd med liten elastisitet og hvor pussebåndene går over stålvalser vil fungere som dimensjoneringsmaskiner.

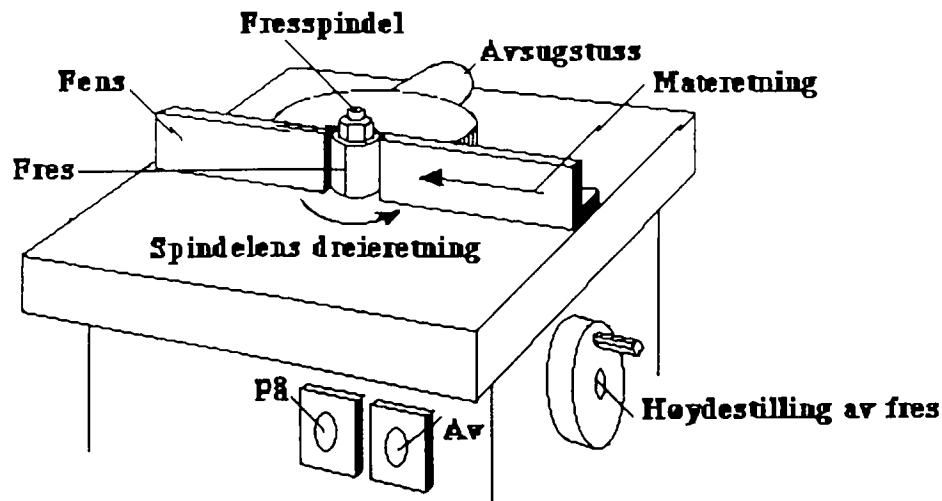
### **Sveifing, tilskjæring, bruk av overfres (manuell og numerisk styrt)**

I mange produkter inngår deler som har kurvet form. Det kan f.eks. dreie seg om bord - eller stolbein, bordplater til ovale eller runde bord, osv.. I gamle dager ble slik kurveskjæring utført for hånd ved hjelp av en såkalt grindsag. Mange kaller det å skjære kurvete deler for sveifing - det er en nokså direkte anvendelse av det tyske begrepet for kurveskjæring - schweifen. I noen tilfelle ble det nyttet en vippesag. Da båndsager ble vanlige ble det vanlig å foreta utsagingen ved hjelp av båndsager. Vanlig arbeidsmetode var, og er, at de kurvene som skal sveifes tegnes på emnene og deretter er det opp til den som skal utføre arbeidet å sage slik at snittet følger streken. som regel tegnes emnene opp med et visst overmål. Ved fremstilling av store mengder av ensartete deler vil det lønne seg å anvende en sjablonstyrt føringsenhet eller en numerisk styrt enhet. Med frihåndssveifing vil nøyaktigheten variere. Vanlig er at de utsveifete delene freses til endelig form. Med utviklingen av de numerisk styrte maskinene har det blitt utviklet programmerbare båndsager som kan nyttes ved utskjæring av krumme deler. Kanskje enda mer vanlig er at bedriftene har tatt i bruk numerisk styrte overfreser slik at de i en operasjon både skjærer ut den endelige formen delen skal ha og foretar eventuell profilering. Deler som lages ved hjelp av en numerisk styrt overfres vil som regel være

meget presise i form og dimensjon og med såvidt fin snittflate at det bare gjenstår pussing.

### Fresemaskiner

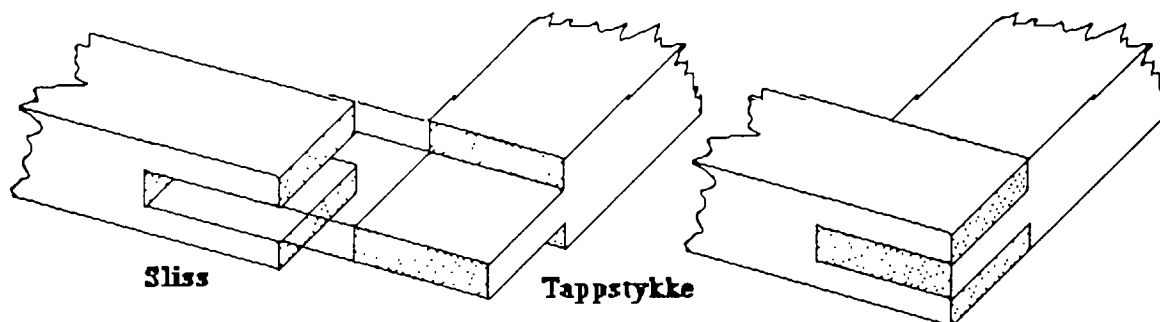
Ofte vil man ha bearbeidet kantene på emnene, platene og utsveifete deler spesielt. Det kan dreie seg om bare en enkel bearbeiding for å gi en glatt kant, samtidig som man vil foreta en breddejustering. Ofte vil man gi kanten et profil eller frese en not i den for f.eks. styring av en kantlist. Ved svært liten produksjon kan en håndoverfres kunne gjøre nytten. Ved litt større produksjon vil man som oftest foretrekke en bordfres.



Opp av midten av et relativt stort bord av støpejern stikker fressspindelen. Den kan som regel heves og senkes, den kan skråstilles i et plan rettvinklet på materetningen. På mange fresemaskiner er det en rekke hastigheter å velge mellom. Ikke uvanlig er spindelhastigheter på opp til 6.000 omdreininger per minutt. Ved de høyeste hastighetene er det viktig at det nyttes freser som er godkjent for så høye turtall. For å styre fresingen og bestemme kutterens inngrep i materialene er maskinen utstyrt med den såkalte fensen som er todelt og hvor begge deler kan stilles til ønsket kuttdybde. Årsaken til at fensen er todelt er at dersom fresen benyttes til en kantfresing av hele tykkelsen av arbeidsstykket må fensen til venstre være stilt slik at forlengelsen av den akkurat tangerer skjæresirkeldiameteren på fresen. Fensen til høyre derimot stilles bak tangentplanet akkurat så mye at det tilsvarer den ønskete kuttdybden.

Det finnes et rikholdig tilbud av forskjellige freser som kan nyttes på bordfresemaskinen. Det finnes både faste freser og kutterhoder med utskiftbare kniver eller profilstål. Svært mange av verktøyene med utskiftbare kniver er utstyrt med to eller flere verktøystål, men det nyttes av og til også bare et stål. Dette må da utbalanseres med en tilsvarende tyngde diametralt motsatt.

Bordfresen anvendes også til såkalt slissing og tapping. Da utstyres bordet med en sleide som arbeidsstykkene kan spennes fast til og mates forbi fresen. Ved vanlig vinkelrett fresing av ender, slisser og tapper står arbeidsstykkene vinkelrett på materetningen.



Ved små serier eller bearbeiding av enkeltstykker mates som regel bordfresen for hånd. Det er påbudt at det anvendes såkalt sikkerhetsverktøy hvor freskroppen er utformet slik at verktøystålene bare stikker svært lite ut fra freskroppen. Det er videre viktig at det brukes skjerming - på tegningen over er sikkerhetsutstyret ikke tegnet inn. Ved mating for hånd må det brukes hjelpeverktøy både for å holde arbeidsstykket inn mot fensen og for å mate fram arbeidsstykket.

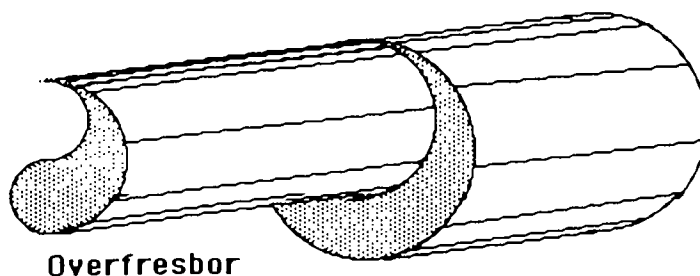
### **BORDFRESEMASKINEN ER EN AV DE MEST ULYKKESBELASTEDE TREBEARBEIDINGSMASKINENE OG DET DREIER SEG SOM OFTEST OM HÅNSKADER**

De fleste vanlige bordfresemaskiner kan det monteres mekanisk mateverk på slik at man ved mange arbeider ikke behøver å ha hendene i nærheten av verktøyet.

I en periode anvendte man gjerne det man kaller dobbelte tappskjæremaskiner for å framstille slisser og tapper og liknende sammensetninger. Disse maskinene består av to fresemaskiner som står mot hverandre mens arbeidsstykkene mates mellom maskinene ved hjelp av matekjeder mens man samtidig kan bearbeide begge sidene eller endene av arbeidsstykkene. Den ene maskinen kan flyttes i forhold til den andre slik at man kan maskinere forskjellige lengder av arbeidsstykker. Selv om slike maskiner fortsatt anvendes i bedrifter som bearbeider store serier er det blitt mer alminnelig med at man plasserer enkle maskiner i serie og slik plassert i forhold til hverandre at man etter å frest den ene enden av arbeidsstykket bare flytter det over til den andre maskinen og freser den andre enden, uavhengig av lengden av arbeidsstykket. Dette henger sammen med at det er en klar tendens til at seriestørrelsene blir stadig mindre og derved blir kostnadene ved omstilling fra en dimensjon til den andre uforholdsmessig store ved komplekse maskiner som dobbelte tappskjæremaskiner.

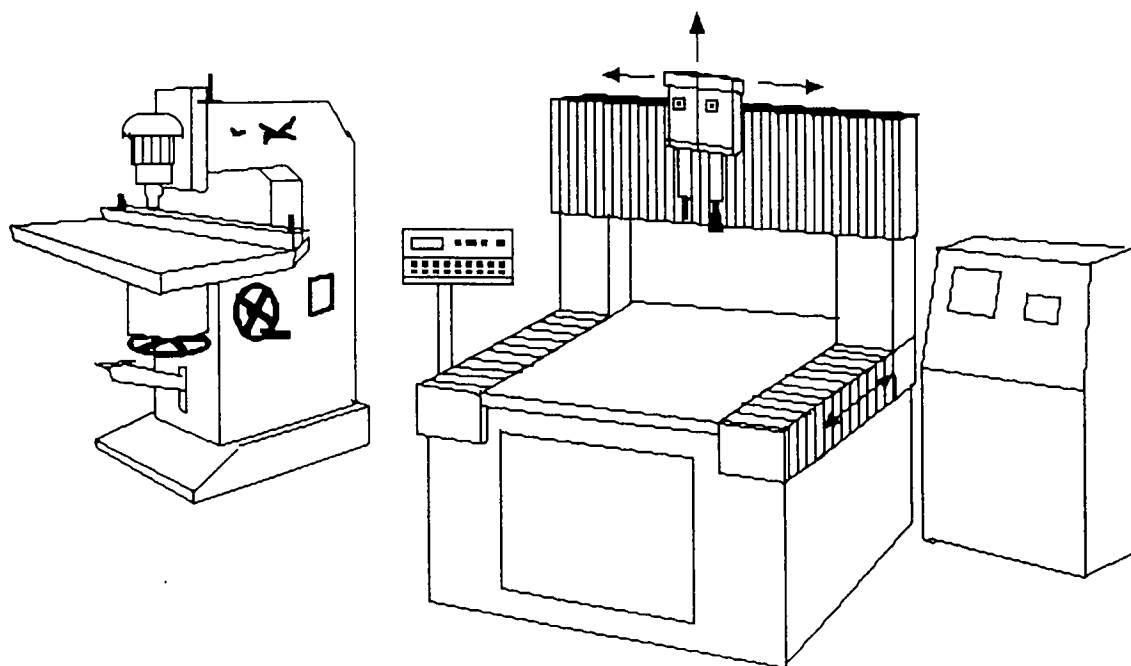
### **Overfresen**

Overfresen representerer en av de maskintypene som virkelig er i ferd med å sette spor etter seg i moderne trebearbeiding. En overfres arbeider som navnet indikerer med en fres som arbeider ovenfra og ned i arbeidsstykket. Det vi idag forstår som overfresing kan skje både med den såkalte håndoverfresen, en vanlig manuelt operert overfresmaskin eller en numerisk styrt overfres. Det som skiller overfresene fra de fleste andre trebearbeidingsmaskinene er at de arbeider med svært store turtall og som en følge av det med verktøy med svært små diametre. Overfresmaskiner arbeider ofte med spindelertall i størrelsesorden 20.000 omdreininger/minutt.



En håndoverfres er et håndverktøy som med tilleggsutstyr kan benyttes til en lang rekke bearbeidingsoperasjoner. Typisk består en håndoverfres av en elektromotor som arbeider med 18.000 - 26.000 o/min. Effekten kan være fra noen hundre watt til 2 kW. Maskinen føres manuelt ved hjelp av to håndtak på siden av motoren. Verktøyene festes direkte i motorspindelen. Det anvendes vanligvis faste freser med skaftdiameter fra 6 mm til 12 mm. Det finnes imidlertid også verktøy sett med utskiftbare profilstål. En håndoverfres kan nyttes både med verktøy for å lage mønstre i plane flater og for kantbearbeiding. Når det skal lages mønstre i en overflate kan det skje på "frihånd" dvs at operatøren fører maskinen fritt i det mønsteret han vil lage eller overfresen kan føres langs en mal. Ved kantbearbeiding anvendes det en føringskant som enten kan være selve arbeidsstykket eller en mal som arbeidsstykket er festet til.

Den "vanlige" overfresmaskinen arbeider gjerne med malstyring. Selve fresmotoren sitter i et stativ og kan forskyves opp og ned til ønsket dybde ved hjelp av en pedal og et anslag. Fresmotoren er som regel en høyfrekvensmotor som får strøm fra en frekvensomformer. En "gammeldags" frekvensomformer er gjerne en motor som drives med nettfrekvensen og som i sin tur driver en flerpolig generator som gir den ønskete frekvensen. I motorspindelen festes verktøyet. I bordet rett under spindelen kan det monteres en styrepinne. Arbeidsstykket festes til en føringsplate som på undersiden har et spor som svarer til den formen en vil bearbeide arbeidsstykket til. Styrepinnen har ofte samme diameter som overfresverktøyet. Operatøren fører føringsplaten gjennom det mønsteret som sporet på undersiden gir.



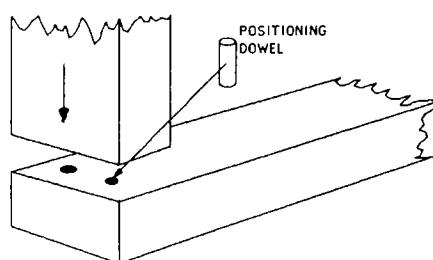
“Vanlig” overfres til venstre, numerisk styrt overfres til høyre

Vanlig er at utsveifete deler freses til endelig form ved hjelp av en overfres. Idag har mange bedrifter tatt i bruk numerisk styrte overfreser slik at de i en operasjon både skjærer ut den endelige formen delen skal ha og foretar eventuell profilering. Den numeriske styrte overfresen avviker fra den "vanlige" overfresen ved at det er et numerisk styringssystem som styrer bevegelsene både til fresen og til arbeidsstykket som er festet til bordet under fresen. Som regel anvendes det vakuum for å holde arbeidsstykkene fast. De mest moderne overfresene har relative bevegelser mellom verktøy og arbeidsstykke vertikalt, i to plan horisontalt og i tillegg kan spindelen vinkles i forhold til planet. Programmeringen av de mest avanserte overfresene er meget kompleks. Deler som lages ved hjelp av en numerisk styrt overfres vil som regel være meget presise i form og dimensjon og med såvidt fin snittflate at det bare gjenstår pussing.

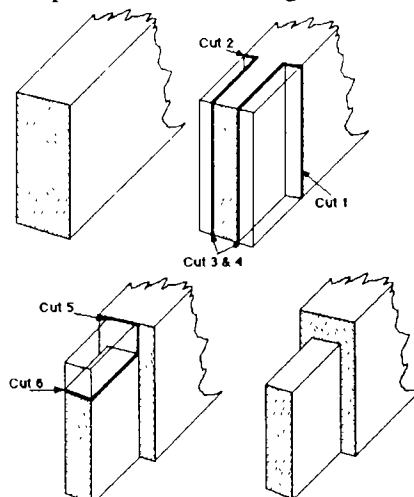
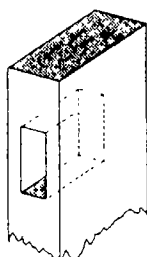
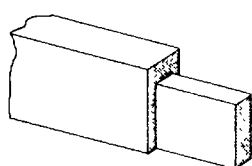
### Boring av hull - runde, avlange, firkantede og framstilling av tilhørende tapper

Ved framstilling av mange treprodukter skal det bores hull.

Runde hull skal til for vanlige skruer og når det nyttes sentrumstapper for å føye sammen tredeler. Vanlige spiralformete bor kan nyttes for boring også i tre men fordi det er så store forskjeller i hardhet mellom sommerved og vårved vil vanlige spiralbor ha lett for å vandre. Det anbefales derfor at man nytter spesielle bor hvor det er slipt ut en senterspiss som forenkler presisjonen betraktelig.



Mange treprodukter er sammensatt ved hjelp av tapp og sliss som tidligere beskrevet. Meget vanlig er også tapper og tapphull som vist på nedenstående figur:

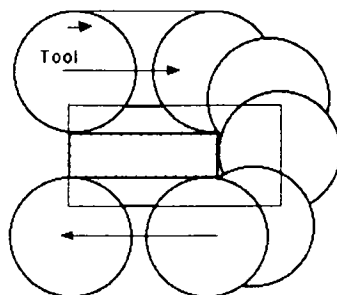


**Tapp og tapphull  
hjelp av sag**

**Skjæring av tapp ved**

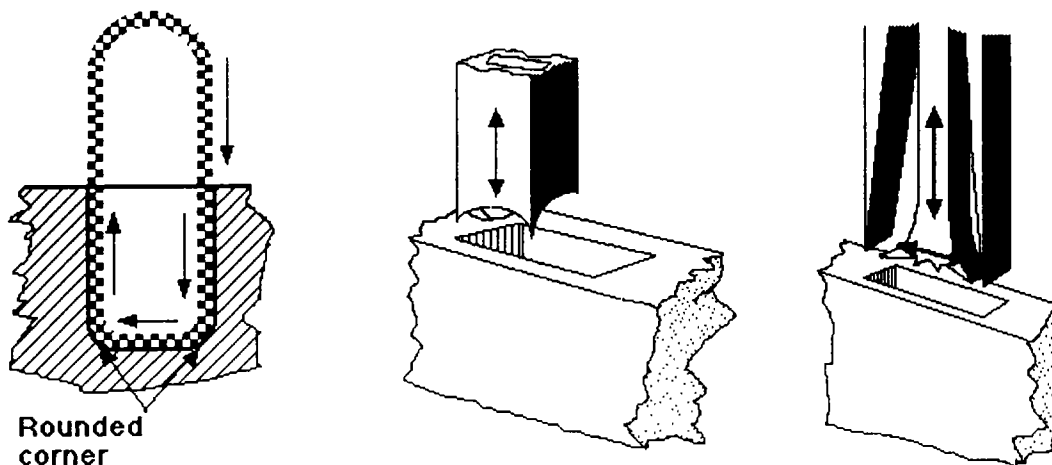
For at en slik sammansetning skal funksjonere riktig er det viktig at det er svært små klaringer mellom tapp og tapphull. Tappene framstilles vanligvis ved hjelp av en

fresemaskin som beskrevet tidligere. Tappene kan imidlertid også framstilles ved hjelp av saging eller ved hjelp av en spesiell tappfresemaskin. De fleste moderne numeriske overfreser kan også enkelt framstille tapper.



### Fresing av tapp ved hjelp av overfres

Når det skal anvendes firkantede tapper må det til firkantede tapphull. Tradisjonelt ble slike tapphull til ved at man først boret en serie vanlige runde hull og deretter ble tapphull utformet ved hjelp av stemjern. Idag kframstilles rektungulære tapphull som oftest med en av de tre følgende metodene. Det kan anvendes et kjedestemmeapparat. Kjeden er som en motorsagkjede og roterer rundt et sverd på samme måten som i en motorsag. Ulempen ved kjedestemm maskinen er at hjørnene nede i tapphullet nødvendigvis må bli avrundet.



### Kjedestemm maskin Svingmeiselstemm maskin

En annen metode for å framstille rektungulære tapphull er å benytte de såkalte hylseborene. Inne i en kvadratisk stålhylse som er utstyrt med skarpe hjørner roterer et spiralbor. De skarpe hjørnene skjærer ut hjørnene inne i det hullet som skapes mens spiralboret trekker fibre inn og river/skjærer dem løs samt transporterer dem ut av skjæresonen. Et hylsebor kan selvsagt bare lage kvadratiske hull og dersom det skal framstilles avlange rektangulære hull må det bores så mange hull som behøves.

### Hylseboring

En tredje mulighet for å framstille rektangulære tapphull har vi i den såkalte svingmeiselstemm maskinen. Den har to skarpe egger ved endene av tapphullet. Mellom de to skarpe eggene svinger en spei utformet meisel fram og tilbake. Denne meiselen er utstyrt med skarpe tenner som skjærer spon for hvert slag.

Avlange hull med avrundete, halvsirkelformete ender framstiller vi ved hjelp av en såkalte langhulls bore maskin. Denne maskinen har et oscillerende boreaggregat som mates inn i trestykket: Bredden på tapphullet bestemmes av bordiameteren mens lengden bestemmes ved hjelp av maskinens fram- og tilbakegående bevegelse.

### Dreining av tre



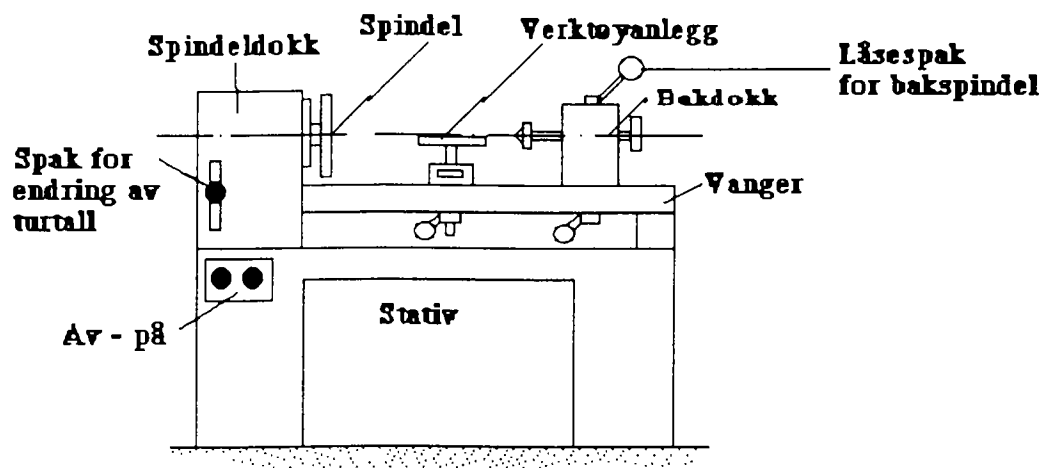
Tredreining er en eldgammel bearbejdingsform. Tredreining kan utføres med svært enkelt utstyr og allikevel gi produkter med nær sagt profesjonelt utseende. I Norge har tredreiningen lange tradisjoner. Mange eldgamle treprodukter vitner om det. I dag anvendes tredreiningen i en viss utstrekning i møbelframstilling, gjerne til stol- og bordbein, hjørnestolper i senger og liknende produkter, samt i forbindelse med dreining av stolper f.eks. til laftehus. At tredreining idag ikke er en stor og viktig industriprosess henger sammen med at møbeldesignet i Norge ikke er basert på utstrakt bruk av rotasjonssymmetriske deler. Møbeldesign beveger seg i sykler og det er ikke usannsynlig at vi om noen få år får en ny trend i møbelutforming som betyr at tredreiningen som industriprosess får et nytt oppsving.

Tredreining er imidlertid en av de mest utbredte hobby- og fritidsaktivitetene i verden. Det står tredreiebenker i svært mange hjem. Flere konger og statsledere har gjennom tidene sluppet av fra viktige beslutninger med å tilbringe noen stunder ved tredreiebenken. Den listen over tredreielitteratur som jeg har laget (og som jeg er sikker på er langt fra komplett) viser hvordan tredreiningen tydelig fascinerer svært mange mennesker. Tredreining er både enkelt og vanskelig. I Norge er tredreining et eget fag under Lov om fagopplæring.

Den enkleste form for tredreining kan man fortsatt betrakte i mange utviklingsland. Det dreier seg som regel om det som kan kalles spindeldreining, dvs. at arbeidsstykket har relativt liten diameter og svært ofte er atskillig lengre enn diameteren er stor til, samt at selve dreiningen foregår mens arbeidsstykket er spent opp mellom to spisser. Som drivkraft anvendes ofte en snor som er slått rundt emnet og som er spent opp i en bue som trekkes fram og tilbake. Det anvendes også fjærer som trekker snoren tilbake mens dreieren drar snoren til seg, enten manuelt eller ved hjelp av en pedal. Med en drivkraft som beskrevet vil emnet først rotere den ene veien og så mens buen eller fjæren fører snoren tilbake til utgangsposisjonen, rotere den andre veien. Dreieren må som en følge av dette føre fram verktøyet og dreie når emnet dreier den riktige veien og trekke det litt tilbake når emnet roterer den andre veien. Jeg har selv stått bak ryggen på en tredreier i Tanzania og betraktet hvordan han ved hjelp av en fot som trykker den ene av de to spissene som emnet er spent opp mellom inn i emnet, med en hånd fører buen som drar emnet først den ene veien og så den andre veien, mens den andre hånden fører dreiestålet. Resultatene av prosessen er dreide produkter som ikke kan gjøres bedre på noen "moderne" dreiebenk.

Den "klassiske" tredreiebenken er vist på tegningen under.

Arbeidsstykket kan enten spennes opp mellom spindelen og senterspissen i bakdokken eller det kan spennes opp enten i en chuck eller festet til planskiven montert på spindelen. Vanligvis er slike dreiebenker utformet slik at turtallet kan endres mellom ca. 200 og 3.000 omdreininger/minutt. Turtallsendingen kan foretas enten trinnvis ved hjelp av remskiver eller flytende ved hjelp av enten en mekanisk variator eller en elektrisk turtallsregulator. For vanlig håndarbeide vil dimensjonene på en dreiebenk normalt være slik at man kan dreie omtrent en meters lengde mellom spindel og bakdokk samt en maksimal diameter på 3-400 mm. Enkelte dreiebenker er utstyrt med en såkalt brønn - en fordypning i vangene rett foran spindeldokken som tillater at man kan dreie vesentlig større diameter dersom arbeidsstykkene ikke er lengre enn brønnen er lang til. Enkelte dreiebenker er dessuten utstyrt med en gjennomgående spindel i spindeldokken som tillater at man kan dreie også på "baksiden" av spindeldokken. Dette er anvendelig hvis det er store diameter av relativt grunne produkter som skal dreies, f.eks. fat og boller.



Ved serieproduksjon av like enheter benyttes gjerne et kopieringsapparat. En mal som enten kan være bare i form av produktets silhuett eller selve produktet spennes opp på dreiebenkens bakside. Verktøy monteres i en tverrsleide som kan gli langs vangene. En føler på tverrsleiden trykkes mot malen og bestemmer hvor langt inn i arbeidsstykket dreiestålet skal trenge. Føler og dreiestål har samme neseform for å sikre at produktet får de samme dimensjonene som malen.

Ved storserieproduksjon benyttes de såkalte automatdreiebenkene. Ved framstilling av objekter med liten diameter mates råmaterialet, som er i form av kvadratiske lekter, automatisk fram gjennom spindelen mot et anslag. En chuck griper emnet og dreiestålet føres automatisk gjennom den syklus som skal til for å gi produktet ønsket form. Ofte avsluttes dreieprosessen med pussing ved hjelp av slipepapir før et stikkstål skjærer det ferdige produktet løs fra materialstangen. De nødvendige sekvensene er styrt av kammer.

Ved endel dreieoperasjoner nyttes det ikke et stål men derimot en form for fingerfres med spindel vinkelrett på dreiebenkens rotasjonsakse. Fresen roterer med stort turtall. Det kan benyttes en egen liten fresemaskin festet på tverrsleiden og som styres ved hjelp av et kopieringsapparat. De fresene som benyttes har da det samme rotasjonsprofilen som "fingeren" på føleren i kopieringsapparatet.

En annen variant av automatdreiebenker benytter en stor fres med akse parallelt med dreiebenkens rotasjonsakse. Fresen er bygget opp med flere stål som tilsammen gir fresen den omvendte profilen av det ferdigproduktet skal. Når emnet er spent inn i dreiebenken starter fresen og trykkes inn mot emnet inntil emnet er dreiet ned til ønsket form og størrelse. Fresens skjæretning er den omvendte av dreieemnets rotasjonsretning. Disse dreiebenkene som har meget stor kapasitet nyttes når det skal lages store serier av relativt kraftige produkter som sengestolper, bein til salongbord og liknende. Verktøyet er meget komplisert å bygge opp og kan vanskelig anvendes til noe annet enn det produktet det er laget for å framstille.

### Dreiebøker

Anon.: Design book six - 186 sider, 266 fargefotografier. Fine Woodworking. Pris \$25,95. Kan kjøpes fra Packard Woodworks, PO BOX 718, 101 Miller Rd. Tryon, NC 28782, USA (Fax (704) 859-5551)

Anon.: Faceplate turning - 112 sider, 248 fotografier, 165 tegninger. Fine Woodworking. Pris \$9,95. Kan kjøpes fra Packard Woodworks, PO BOX 718, 101 Miller Rd. Tryon, NC 28782, USA (Fax (704) 859-5551)

**Professor****Rolf Birkeland**

Anon.: Lathes and turning techniques - 128 sider, 277 fotografier. Fine Woodworking. Pris \$14,95. Kan kjøpes fra Packard Woodworks, PO BOX 718, 101 Miller Rd. Tryon, NC 28782, USA (Fax (704) 859-5551)

Anon.: Spindle turning - 96 sider, 153 fotografier, 120 tegninger. Fine Woodworking. Pris \$9,95. Kan kjøpes fra Packard Woodworks, PO BOX 718, 101 Miller Rd. Tryon, NC 28782, USA (Fax (704) 859-5551)

Anon.: Svarvboken. Luna, Alingsås, 1979.

Anon.: Woodturning techniques - 128 sider. Guild of Master Craftsman Publications Ltd, Castle Place, 166 High Street, Lewes, East Sussex, BN/ 1XU, England. Pris £9,95.

Bidou, G.: Technologie du Tournage sur Bois. Eyrolles, Paris, 1987.

Blandford, Percy W.: The woodturner's bible - 448 sider, mange illustrasjoner. ISBN 0-8305-9820-5. TAB Books, 1979.

Borré, W.R.: The art of freehand turning in wood. BJ Miniatures, Windsor, Canada, 1982.

Boulter, B.: Woodturning in pictures. Bell/Hyman 1973.

Child, Peter: The craftsman woodturner - 248 sider, 150 sort/hvitt illustrasjoner. Bell/Hyman, 1984. Pris \$14,95. Kan kjøpes fra Packard Woodworks, PO BOX 718, 101 Miller Rd. Tryon, NC 28782, USA (Fax (704) 859-5551)

Conover, Ernie: The lathe book - 208 sider, 120 fotografier, 60 tegninger. Pris \$25,95. Kan kjøpes fra Packard Woodworks, PO BOX 718, 101 Miller Rd. Tryon, NC 28782, USA (Fax (704) 859-5551)

Darlow, Mike: The practice of woodturning. Metaleuca, 1985.

Dunbar, Michael: Woodturning for cabinetmakers - 192 sider, 300 illustrasjoner. Pris \$14,95. Kan kjøpes fra Packard Woodworks, PO BOX 718, 101 Miller Rd. Tryon, NC 28782, USA (Fax (704) 859-5551)

Flatum, Ivar: Tredreing - 74 sider, mange illustrasjoner. Universitetsforlaget, 1983.

Grubbström & Gustafsson: Forma i svarv. Liber, Stockholm, 1963.

Gustafsson & Olsson: Svarva i trä. ICA-förlaget. Västerås. 1977.

Holtzapffel, John Jacob: Hand or simple turning - 592 sider, 771 illustrasjoner. Pris \$15,95. Kan kjøpes fra Packard Woodworks, PO BOX 718, 101 Miller Rd. Tryon, NC 28782, USA (Fax (704) 859-5551)

Holtzapffel, John Jacob: The principles and practice of ornamental or complex turning - 656 sider, 600 illustrasjoner. Pris \$16,95. Kan kjøpes fra Packard Woodworks, PO BOX 718, 101 Miller Rd. Tryon, NC 28782, USA (Fax (704) 859-5551)

Hopper, Ray: Multi-centre woodturning - 168 sider, 164 sort/hvitt illustrasjoner, 8 fargefotos. Pris: \$14,95. Kan kjøpes fra Packard Woodworks, PO BOX 718, 101 Miller Rd. Tryon, NC 28782, USA (Fax (704) 859-5551)

Hunnex, John: Woodturning: A source book of shapes - 144 sider, 188 fargebilder. Pris: \$16,95. Kan kjøpes fra Packard Woodworks, PO BOX 718, 101 Miller Rd. Tryon, NC 28782, USA (Fax (704) 859-5551)

Jacobson, J.A.: Small and unusual woodturning projects. Sterling, 1987.

Key, Ray: Woodturning and design.

Ljungberg, Gert og Ljungberg, Inger A.: Forme og dreie i norske treslag - 85 sider, mange illustrasjoner. ISBN 82-529-0258-8. Landbruksforlaget, 1981.

Martin, C.A.: Der Drechsler. 402 sider, 724 illustrasjoner. Originalen utgitt i Leipzig 1905. Faksimile: ISBN 3-88746-242-4. Schäfer, Hannover 1990

Miltersen, Nils P.: Trædrejning - 144 sider, 216 fotografier, 21 litteraturhenvisninger. ISBN 87 7490 255 5. Frederiksberg, Danmark, 1994.

Miltersen, Nils P.: Trædrejebænken - 127 sider, ca. 200 fotografier, 9 litteraturhenvisninger. ISBN 87 7490 307 1. Kjøbenhavn, Danmark, 1989.

Nish, Dale: Artistic woodturning - 255 sider, ca. 700 fotografier. Stobart, 1980. Pris \$15,95. Kan kjøpes fra Packard Woodworks, PO BOX 718, 101 Miller Rd. Tryon, NC 28782, USA (Fax (704) 859-5551)

Nish, Dale: Creative woodturning - 248 sider, 680 fotografier. Stobart, 1975. Pris: \$12,95. Kan kjøpes fra Packard Woodworks, PO BOX 718, 101 Miller Rd. Tryon, NC 28782, USA (Fax (704) 859-5551)

Nish, Dale: Master woodturners - 217 sider, over 600 fotografier. Pris: \$17,95. Artisan Press, 1985. Kan kjøpes fra Packard Woodworks, PO BOX 718, 101 Miller Rd. Tryon, NC 28782, USA (Fax (704) 859-5551)

O'Donnell, M.: Woodturning. Argus Books, 1988.

Pain, F.: The practical woodturner - 160 sider, 45 fotografier. Pris \$12,95. Kan kjøpes fra Packard Woodworks, PO BOX 718, 101 Miller Rd. Tryon, NC 28782, USA (Fax (704) 859-5551)

Raffan, Richard: Turned bowl design - 176 sider, 248 fotografier, 137 illustrasjoner. Pris: \$21,95. Kan kjøpes fra Packard Woodworks, PO BOX 718, 101 Miller Rd. Tryon, NC 28782, USA (Fax (704) 859-5551)

Raffan, Richard: Turning projects with Richard Raffan - 176 sider, 400 fotografier, 36 illustrasjoner. Pris: \$19,95. Kan kjøpes fra Packard Woodworks, PO BOX 718, 101 Miller Rd. Tryon, NC 28782, USA (Fax (704) 859-5551)

Raffan, Richard: Turning wood with Richard Raffan - 176 sider, 266 fotografier, 166 tegninger. Taunton, 1986. Pris: \$19,95. Kan kjøpes fra Packard Woodworks, PO BOX 718, 101 Miller Rd. Tryon, NC 28782, USA (Fax (704) 859-5551)

Reardon, P.: The woodturner's pocket book. Fine Wood and Tool Store, 1985.

Reborn, Eldon: Woodturning. McKnight and McKnight, 1970.

Roszkiewics, R.: The woodturner's companion. Sterling, 1984.

Rowley, Keith: Woodturning: A foundation course - 151 sider, 289 illustrasjoner. Pris: \$19,95. Kan kjøpes fra Packard Woodworks, PO BOX 718, 101 Miller Rd. Tryon, NC 28782, USA (Fax (704) 859-5551)

**Rolf Birkeland**

Sainsbury, John: John Sainsbury's guide to woodturning tools & equipment - 192 sider, 291 illustrasjoner. ISBN 0-7153-9336-7. David & Charles Publishers plc, Devon, 1989.

Sainsbury, John: The craft of woodturning. Sterling 1984.

Sainsbury, John: Turning miniatures in wood - 144 sider, 277 illustrasjoner. GMC Pubs Ltd., 1986. Pris \$14,95. Kan kjøpes fra Packard Woodworks, PO BOX 718, 101 Miller Rd. Tryon, NC 28782, USA (Fax (704) 859-5551)

Sainsbury, John: Woodturning projects for dining. Sterling, 1981.

Schabillion, Shirl: All in a nutshell - (om dreining av miniatyrer av nøtten fra palmen *Phytelephas macrocarpa*) - 42 sider. Pris \$4,95. Kan kjøpes fra Packard Woodworks, PO BOX 718, 101 Miller Rd. Tryon, NC 28782, USA (Fax (704) 859-5551)

Sherwin, R.: Pleasure and profit from woodturning. GMC Pubs, 1988.

Spannagel, Fritz: Das Drechslerwerk - 319 sider, 1258 illustrasjoner. ISBN 3-88746-014-6. Otto Maier, Ravensburg, 1940. Kan kjøpes hos Th Schäfer GmbH, Tivolistrasse 4, D-3000 Hannover 1.

Springett, David: Woodturning wizardry - 231 sider, 320 fotografier, 136 tegninger, 20 prosjekter. Guild of Master Craftsman, England. Pris \$19,95. Kan kjøpes fra Packard Woodworks, PO BOX 718, 101 Miller Rd. Tryon, NC 28782, USA (Fax (704) 859-5551)

Stokes, Gordon: Modern woodturning. Evans, London, 1973.

Stokes, Gordon: The manual of woodturning. Pelham, 1979.

Sundqvist, Wille og Gustafsson, Bengt: Träsvarvning enligt skärmetoden - 131 sider, Mange illustrasjoner. ISBN 91-36-01981-X. LTs förlag, Stockholm, 1981.

Underwood and Warr: Beginner's guide to woodturning. Newnes, 1981.

Wooldridge, W.J.: Woodturning. Batsford, 1982.

## 19. Laser og vannjet

Her skal vi ta for oss bearbeiding av trevirke ved hjelp av stråler. Det dreier seg om to forskjellige former for stråler, nemlig vannstråler og laserstråler som i realiteten er en form for lysstråler. Begge bearbeidingsmetodene baserer seg på det samme grunnprinsippet, nemlig at en form for svært energirik stråle rettes mot trevirket og der strålen treffer ødelegges trevirket. Vannstrålen knuser trevirket og "avfallet" følger med vannstrålen ut av snittet. Laserstrålen brenner trevirket vekk, nesten som vi kan få til med et stort brenn glass, og forbrenningsproduktene suges vekk ved hjelp av et avsugsanlegg.

Begge bearbeidingsprosessene fattet man interesse for på slutten av 50-tallet og begynnelsen av 60-tallet. Det vakte relativt stor oppmerksomhet men etter den første ståheien stilnet det av igjen. Det betydde imidlertid ikke at man sluttet å interessere seg for utnyttelsen av metoden og mer i det stille fortsatte både den nødvendige forskningen og utviklingen av de mer praktiske arbeidsredskapene.

Begge metodene har noen av de samme fordelene og ulempene. Fordelene består i at både vannskjæring og laserskjæring skjer med meget tynne snitt slik at snitt-tapet blir svært lite. Snittene kan stoppe og starte midt inne på et arbeidsstykke og fordi strålene er svært tynne og sirkelrunde kan man maskinere ut relativt skarpe innvendige hjørner. Begge metodene benyttes gjerne i numerisk styrte anlegg og det innebærer at man kan ha svært korte omstillingstider fra et skjæremønster til et annet dersom det er det samme materialet og de samme tykkelsene som skal bearbeides. Ingen av metodene påfører arbeidsstykkene noen sidekrefter og derfor behøver man ikke å spenne fast arbeidsstykkene i noen særlig grad. For begge metodene gjelder imidlertid at det spesifikke energiforbruket er svært høyt og det innebærer at det for f.eks. hver bearbeidet flateenhet er en kostbar bearbeidingsform. Effektiviteten er for begge metodene best ved ganske tynne snitt og den synker relativt fort når snitt-tykkelsen øker.

For laserskjæring har man et særproblem ved at de flatene som oppstår er forkullede og dermed sotsvarte. Det er ikke mye som skal fjernes for å få fram treet under men det innebærer allikevel en ekstra og svært ofte komplisert operasjon, dersom man ikke kan tolerere at snittflatene er svarte.

### **Et anlegg for vannstråleskjæring (hydraulisk skjæring)**

Den viktigste bestanddelen i et vannstråleanlegg er den innretningen som gir vannet det nødvendige trykket. Det dreier seg om å få til vanntrykk på omkring 3000 - 3500 bar. Som regel anvendes en tottrinns prosess hvor det første trinn er en oljepumpe som gir et hydraulikktrykk på ca. 200 bar. Dette trykket tilføres en trykkforsterker som gir vannet et trykk på ca. 3000 - 3500 bar. Før vannet tilføres anlegget filtreres det omhyggelig. Fra høytrykksenheten føres vannet gjennom en høytrykksledning til skjæredysen. Selve maskinen er som regel utformet som en numerisk styrt overfres hvor man istedetfor overfresaggregatet har skjæredysen.

Vannhastigheten ut av skjæredysen er i størrelsesorden 900 m/s (det tilsvarer 3240 km/h!). Vannstrålen forårsaker ganske høy støy og det oppgis at den er målt til 120 dB i en avstand av 1 meter fra skjærehodet. Under arbeidsstykket har man et oppsamlingskar for vannet og for de avfallsstoffene som følger med. Den energien som ikke anvendes til å slå i stykker arbeidsstykket går over til varme i oppsamlingskaret (på samme måten som det vannet som strømmer ut av en kraftstasjon er oppvarmet av den bevegelsesenergien i vannet som turbinen ikke klarer å ta ut).

### **Det anvendes forskjellige skjæresystemer**

Det opprinnelige skjæresystemet benytter rent vann. Dysediameteren som benyttes har en diameter på fra 0,15 til 0,25 mm. Vannstrålen opptrer imidlertid samlet bare i et kort stykke (på samme måten som strålen ut av en hageslange sprer seg et kort stykke utenfor munnstykket) og egnert seg derfor bare bearbeiding av tynne arbeidsstykker. Jo mykere

og svakere det materialet strålen skal trenge gjennom er dess tykkere materiale kan man bearbeide fordi motstanden mot strålen er relativt liten og strålen derfor forblir samlet.

Det oppgis at stråleskjæring med rent vann egner seg for skjæring av følgende materialer: papir, papp, bølgepapp, finér, kunststofffolier, ABS, pleksiglass, gummi, skumgummi, skumstoffer, isolasjonsmaterialer, tekstiler, lær, tepper og matvarer av forskjellig slag.

For å holde vannstrålen samlet over en lengre strekning blandes det inn polymerer som forbedrer sammenbinding av molekylene i vannet. Ved at man har en lengre samlet stråle får man smalere snitt, bedre snittflater, mindre snitt-tap, høyere skjærehastighet og bedre skjærenøyaktighet. En må imidlertid ha et egnet apparat for innblanding av polymeren og både investeringen ved dette og kostnadene for selve polymeren gir en noe dyrere bearbeidingsprosess. Vannstråler iblandet polymerer kan skjære det samme som de rene vannstrålene men med noe større materialtykkelser. Det oppgis at metoden også kan nyttes ved skjæring av trevirke dersom det brukes relativt lave matningshastigheter.

For å bearbeide materialer med større fasthet og i større tykkelser benyttes en prosess hvor vannet blandes med slipemiddel av fin korning. Dysestørrelsen som anvendes ved slik skjæring oppgis til 1,5 millimeter diameter. Egnete slipemidler oppgis å være granat ( $\text{Fe}_3\text{Al}_2(\text{SiQ}_4)_3$ ), olivin ( $\text{Mg}_2\text{SiQ}_4$ ) og sirkon (WTN). Det oppgis at man kan skjære opptil 50 mm tykt stål og 300 mm tykk betong med denne skjæremetoden. Metoden oppgis å egne seg for skjæring av glass, keramikk, stein, kompositter, forskjellige metalllegeringer, tre og forskjellige kunststoffer.

De faktorene som innvirker på skjæreplassen er pumpetrykket, dyse diameter, avstand mellom dyse og arbeidsstykke, matehastighet og skjæremetode. Ved skjæring av trevirke fant Bryan at det er lettere å skjære rått tre enn tørt tre, både fordi tørt tre er sterkere enn rått tre og fordi fibre i tørt tre vil svulle når de fuktes opp og derigjennom bevirke at snittet blir trangere og vannstrålen bremses. Bryan observerte også at den største snittdybden fikk han når vannstrålen traff trevirket i tangential retning og snittet beveget seg langs fibre som ved kløving.

Dagens anvendelse ved trebearbeiding er relativt beskjedent. Vannstråleskjæring nyttes ved kantiing av de våte fibermattene ved framstilling av fiberplater og MDF-plater. Vannstråleskjæring nyttes også ved framstilling av puslespill og forskjellige leketøy av heltre og tynne kryssfinéer, samt ved produksjon av finér til intarsia-arbeider. I USA finnes det endel bedrifter som anvender vannstråleskjæring ved oppdeling av fiberplater og papp-produkter.

Et problem ved vannstråleskjæring er det relativt høye energiforbruket. Tyske beregninger fra 1993 indikerer at kostnadene per time dreier seg om ca. 230 DM. Fordi dette sannsynligvis er basert på tyske elektrisitetskostnader vil det muligens bli atskillig billigere i Norge.

### **Om laseren**

Foran tok vi for oss litt om bearbeiding av trevirke ved hjelp av to forskjellige former for stråler, nemlig vannstråler og laserstråler som i realiteten er en form for lysstråler. Hovedvekten ble lagt på vannstråleskjæring. Her skal vi ta for oss den andre formen for strålebasert trebearbeiding: laseren og dens bruk ved trebearbeiding.

Jeg husker fra mine guttedager at vi leste en tegneserie om Lyn-Gordon. Han benyttet en strålepistol. Like etter annen Verdenskrig var det store presseoppslag om at nå hadde man utviklet strålevåpen som man kunne skyte ned fiendtlige fly med og man kunne realisere Lyn-Gordon fantasiene. Det var LASEREN som det ble fablet om.

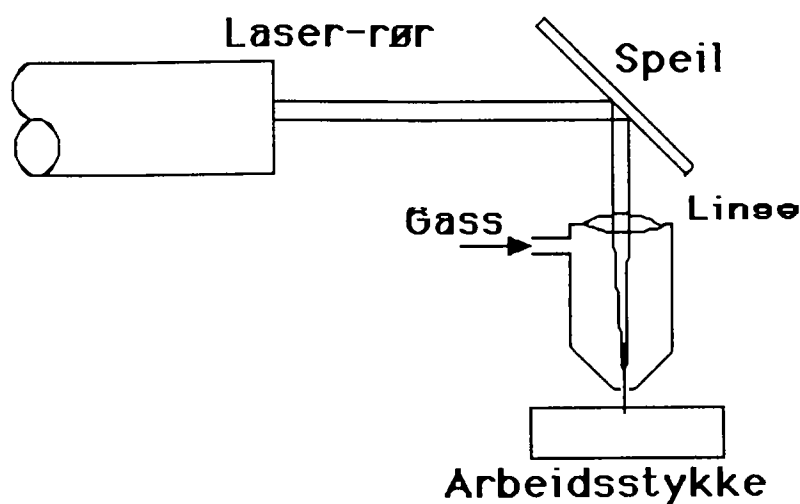
Så snart det ble tilgjengelige lasere til fredelige formål ble det startet forskning om og utvikling av bruken av laseren. Bruk av laser for skjæring av forskjellige materialer ble tidlig vurdert og tre var et av de materialene man forsøkte å skjære med laser. Utviklingen

gikk nok noe langsommere enn de mest entusiastiske visjonærene forutså. Idag nyttes det imidlertid laser ved endel former for trebearbeiding og laseren kommer nok etterhvert til å bli enda mer benyttet ved forskjellige former for bearbeiding av tre og trebaserte materialer.

### Hva er en LASER?

Ordet LASER er en forkortelse for "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation" som kan oversettes som "lysförsterkning ved stimulert utsending av stråling". Laserstrålen oppstår ved at man sender monokrome lysstråler gjennom et försterkende medium omgitt av speilende flater. Dette får lysstrålene til å gå parallelt og langs systemets optiske akse og laserlyset kommer som en stråle ut av laseren. De første laserne brukte krystaller som medium mens nyere lasere benytter gass som försterkende medium, De røde laserne som etterhvert er relativt vanlige i treindustrien, og som anvendes for å vise hvor f.eks. sagsnitt kommer, er basert på bruk av Helium-Neon. De laserne som benyttes for skjæring av forskjellige materialer, blant annet trevirke, benytter CO<sub>2</sub> som försterkende medium. En CO<sub>2</sub> laser sender ut lysstråler med en bølgelengde på 10,6 μm (mikrometer = milliontedels meter). Virkningsgraden for en CO<sub>2</sub> laser er i størrelsesorden 10-15%, hvilket tilsier at 85-90% av den tilførte energimengden må fjernes ved hjelp av kjøling. Som regel vil en laser være vannkjølt.

Den strålen som kommer ut av laseraggregatet ledes dit den skal nyttes ved hjelp av vannkjølte speil. Strålen samles (fokuseres) ved hjelp av en linse. Strålediameteren er typisk 0,1-0,2 mm. Ved denne fokuseringen får man en svært høy energitetthet: for tre 10<sup>4</sup> - 10<sup>6</sup> w/cm<sup>2</sup>. Denne enorme energitettheten øker temperaturen svært raskt, helt opp mot 2-3000°C, og materialet der strålen fokuseres smelter eller fordampes. Ved bearbeiding av tre skjer det også tildels en forbrenningsprosess. Dette medfører at snittflatene er forkullet i et tynt sjikt. Ved laserskjæring tilføres gass mellom fokuseringslinsen og skjærepunktet. Hensikten med denne gasstilførselen er å fjerne fordampnet materiale fra snittet samt å hindre sprut og damp mot linsesystemet foruten å beskytte arbeidsstykket mot uønskete kjemiske reaksjoner. Ved trebearbeiding nyttes inerte gasser som argon eller nitrogen. Ved skjæring av stål nyttes oksygen.



Hvilken effektivitet en laserstråle har, dvs. hvor mye materiale den fjerner per tidsenhet, avhenger av flere faktorer. Viktigste er selvsagt effekt-tettheten. Jo skarpere vi kan fokusere strålen, dess større effekt per flateenhet. Arbeidsstykkets refleksjonsegenskaper spiller også inn. Blanke materialer vil reflektere en del av strålene og dette reduserer selvsagt bearbeidingseffektiviteten. Materialets egenvarme, fordampningsvarme (nedbrytningsvarme) og varmeledningsevne er andre faktorer som har betydning for bearbeidingsforløpet. Høy egenvarme, fordampningsvarme og varmeledningsevne bidrar



**Professor  
Rolf Birkeland**

til å senke den mulige bearbeidingskapasiteten fordi mer av energien går med til oppvarming, fordampning eller ledes vekk fra selve skjæreområdet.

Ved dype snitt synker laserens arbeidskapasitet. Ved bearbeiding av tynne materialer, finér, kryssfinér og liknende vil matningshastigheten kunne være relativt høy men den synker kraftig ved økning av snitt-tykkelsen. I litteraturen oppgis noe forskjellige kapasiteter men tendensen er hos alle den samme, med økende tykkelse synker kapasiteten.

Burgfeld oppgir følgende bearbeidingskapasiteter ved skjæring av finér av forskjellige tykkelser med en 250 watt laser (avgitt effekt):

Tykkelse mm	Snitthastighet m/min
0,6	20
1,0	20
2,5	9-10
5,0	3,5-4,5

Aunan og Brønstad rapporterer at de har skåret 45 mm tykk furu med en laser med 1300 watt utstrålt effekt og oppnådde da en matningshastighet på 0,5 m/min.

## 2 hovedanvendelsesområder

I selve trebearbeidingen anvendes laser hovedsakelig innen to hovedarbeidsområder: Skjæring av intrikate mønstre, puslespill f.eks. og "gravering" av flater hvor laseren bare brenner seg inn et lite stykke.

Ved skjæring av intrikate mønstre anvendes vanligvis numerisk styrte maskiner, stor sett er disse bygget, styrt og drevet som numerisk styrte overfresmaskiner hvor man istedet for fresen har laserskjærehodet.

Det andre hovedanvendelsesområdet, nemlig til forsiring og "gravering" på forskjellige tregjenstander, er i sterk vekst. Mange av oss har etter hvert fått souvenirer eller mindre prydgjenstander hvor det er "brent" inn forskjellige mønstre, figurer eller tekst. De maskinene som anvendes til slike arbeider arbeider som regel enten etter det samme prinsipp som den numerisk styrte maskinen eller ved at det anvendes en maske som skjerner de delene av treoverflaten som ikke skal bearbeides. Disse maskene er laget av rustfritt stål og laserstrålene bringes til å sveipe over hele flaten. Der det er åpninger i masken treffer laserstrålen det underliggende treet og "graveringen" skjer.

Det markedsføres etterhvert en rekke lasermaskiner for bruk i tresammenheng. Et eksempel på en slik maskin (og uten å ville reklamere for akkurat denne utrustningen) ble stilt ut på siste trebearbeidingsmesse i Atlanta i USA. En CO<sub>2</sub> maskin som det oppgis kan arbeide innen en flate på inntil 24" x 36" (609,6 x 914,4 mm) og med en watteffekt på 80 watt kostet FOB produsenten i Wisconsin \$74.500 (ca. 480.000 Nkr). Maskinen styres av en relativt ordinær PC som er inkludert og det kan nyttes DAK programmer eller det kan scannes inn det som skal "graveres" eller skjæres.

Indirekte har laseren fått relativt stor betydning for trebearbeidingen ved at den anvendes til å skjære ut tannformer og mønstre i sirkelsagblader.

## Laserens fordeler og ulemper

Et hvert bearbeidingsystem har sine fordeler og ulemper, så også laserbearbeiding.

De viktigste fordelene er:

- Ingen verktøyslitasje
- Liten snitt-tykkelse, i praksis = 0,5 - 1,0mm
- Kompliserte mønstre kan produseres i små serier

**Professor**  
**Rolf Birkeland**

Snitt kan startes midt inne på en flate  
 Overflaten har liten ruhet  
 Prosessen gir lite støy og støv  
 Utstyret godt egnet for automatisering

Blant de viktigste ulempene er:  
 Utstyret er relativt dyrt  
 Snitthastigheten relativt lav  
 Begrenset tykkelse av materialene som skal skjæres  
 "Beskyttelsesgass" nødvendig  
 Forbrenningsgassene må fjernes  
 Snittflatene misfarges (sot eller karbonsjikt)

**Avslutning**

Laseren har nok ikke fått den betydning innen trebearbeidingen som man trodde da de første opplysningene om de skjærende lysstrålene kom. Den har imidlertid etablert seg innen noen nisjer innen trebearbeidingen og vil nok heller øke enn minske sin anvendelse.

**Henvisninger**

Aunan, N. og Brønstad, B.,M.: Trebearbeiding ved hjelp av laser. Ingeniørnytt 78/1987.

Bryan, E.L.: High energy jets as a new concept in wood machining. Forest Products Journal 13 (8) (1963).

Bryan, E.L.: Machining wood with light. Forest Products Journal 13 (1) (1963).

Burgfeld, A.: Einsatz von Lasern in der Holzindustrie. Holz Zentralblatt 27/94.

Schleusener, J.: Stand der Wasserstrahlschneidtechnik. HK 12/93.

## 20. Lim og dets bruk ved trebearbeiding

### Innledning

For bruken av trevirket har sannsynligvis limet hatt den samme betydningen som sveisingen har hatt for bruken av stål og andre sveisbare metaller. Det er imidlertid sparsomt med opplysninger om bruk av lim i de tidligste tider, selv om lim er kjent fra meget langt tilbake i historien. En rekke limtyper basert på råstoffer fra plante- og dyreriket ble benyttet allerede i oldtiden. Former for cementliknende bindemidler ble også benyttet for limeformål. Også smeltelimprinsippet var i bruk idet det ser ut til at tjære eller bek ble benyttet som lim i en del sammenheng. I en tidsepoke som varte fra ca. år 400 e.K. til 1500 e.K. var lim praktisk talt ute av bruk, ihvertfall i vår del av verden. Mellom 1500 og 1700 blomstret bruken av finéer opp igjen. Fra midten av 1700-tallet og fram til i dag har det blitt patentert og satt i produksjon stadig nye limtyper. De såkalte kunstharpikslimene er stort sett alle utviklet i nyere tid og med tyngdepunkt i utviklingen i årene rundt og under andre Verdenskrig.

### Fingerskjøting.

Mer og mer anvendes fingerskjøting for å sammenføre trevirke endeveis. Endeved mot endeved gir meget dårlige limforbindelser. Fra tidlige tider ble det derfor anvendt skråskjøter. Hvis vinkelen med fiberretningen er mindre enn det som svarer til ca. 1:12 viser det seg i praksis at man får omtrent samme styrken ved liming av to biter som man får ved å lime sammen to stykker med flaskved med parallelle fibre. En skråskjøt er imidlertid vanskelig å fremstille og å lime riktig. Ved å dele opp skråskjøten i en rekke små fingre oppnår en en rekke fordeler:

Materialforbruket pr. skjøt blir mindre.

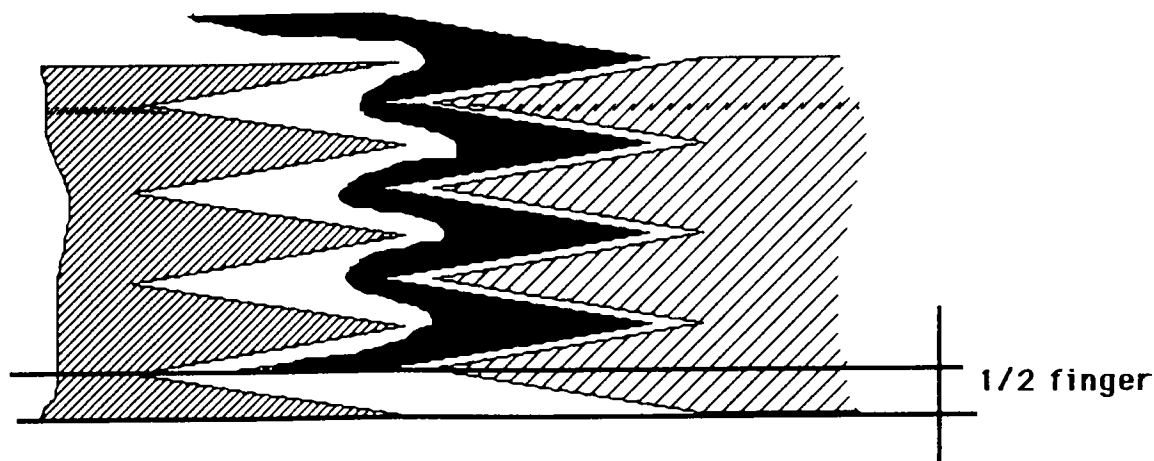
Delene i skjøten blir lettere å styre på plass.

Maskineringen av skjøtene blir enklere.

Ulempene ved fingerskjøtene er at de kan gi skjemmende mønstre i veden. Ved de fleste typene av fingermønstre i snekkersammenheng anvendes det gjerne fingre med avkortet spiss for å sikre at fingrene kommer riktig sammen. Dette medfører en reduksjon av det ideelt limte tverrsnittet ved at det blir endeved mot endeved ved fingerspissene.

Til liming av konstruksjonsvirke ble det vanlig å anvende fingerskjøter først på 60-tallet. I snekkersammenheng har det imidlertid i lange tider blitt anvendt forskjellige former for fingerskjøter. Mange av de bilene som ble fremstilt i begynnelsen av århundret hadde karosserier hvor de bærende elementene besto av trevirke. Utvendig og innvendig var karosseriene kledd med plater. De bærende elementene var gjerne laget av eik eller tilsvarende sterke tresorter. Sammenføyningene mellom de enkelte trebitene var ofte utformet som forskjellige former for fingerskjøter.

I dag finnes det en rekke forskjellige utstørsformer for fingerskjøting av trevirke. De enkleste anleggene består av en form for fres hvor enden av bitene føres forbi fresverktøyet for hånd. Det er viktig at bitenes lengderetning står nøyaktig vinkelrett på fremmatingsretningen. Ved større produksjon anvendes det mekaniserte anlegg hvor bitene enten føres forbi kutterne enkeltvis og får frest først den ene og så den andre enden eller at det mates enn et visst antall ender som legges jevnt i den ene enden som så freses. Deretter legges endene jevnt i den andre enden og fingrene freses der. For å spare virke ved den etterfølgende maskineringen freses fingrene i den ene enden av bitene forskutt en halv fingertykkelse i forhold til i den andre enden.



Limpåføringen kan skje ved at operatøren anvender en kost for å påføre lim eller enda bedre en passe tilformet trebite med fingerskjøtingsmønsteret frest ut i enden. De fleste benytter imidlertid idag, selv ved manuelle anlegg, en roterende skive med fingermønsteret på periferien, til limpåføring. Trebitene med lim påført legges så inn i pressanordningen. Det finnes tre hovedtyper - den ene er basert på at bitene gripes i en tvinge- eller skruestikkliknende innretning og presses mot foregående bit. For liming av konstruksjonsvirke hvor det i Norge som regel anvendes varmherdende fenol-resorcinollim skjer utherdning så ved hjelp av høyfrekvens mens bitene fortsatt står i spenn. Fordi utherdingsprosessen nødvendigvis må ta noe tid egner denne metoden seg lite ved skjøting av meget korte stykker. Den andre hovedtypen for å fremskaffe limetrykke under herdeprosessen er basert på at bitene presses mot de foregående ved hjelp av et matehjul som enten er utstyrt med en innebygget sluremekanisme eller som slurer mot den sist innlagte trebiten. Rekken av trebiter som skal sammenlimes bremses opp av en brems i enden av rekken. Ved enkelte anlegg forvarmes trebitene med infrarøde stråler slik at selve limherdingen tar kort tid. Ved stopp i fremmatningen vil man da imidlertid få avkjøling av de fingerskjøteendene som ikke enda er sammenpresset. Andre anlegg er slik utformet at rekken med biter som skal herdes ligger inne i en slags oppvarmet tunnel. Normalt er det tilfredsstillende at limet på de ytterste fingrene blir utherdet slik at de sammenskjøtte stykkene tåler den videre håndteringen. Den tredje hovedtypen for sammenpressingen av trebitene, og som anvendes ved flere anlegg for fremstilling av snekkervirke er basert på at bitene først klemmes delvis sammen. Når det er laget en lengde som svarer noenlunde til den lengden man er interessert i å anvende i den videre produksjonen kappes denne lengden av - med et lite sikkerhetstillegg på noen få centimeter. Den kappede lengden sammenpresses så lengdeveis med relativt høyt trykk. Ved bruk av korte fingre med spisse ender og liten stigning vil friksjonen mellom de sammenpressete fingrene være tilstrekkelig til å holde bitene sammen mens etterherdingen foregår.

### **Kompositter.**

Etterhvert har det kommet i produksjon en rekke sammensatte materialer hvor trevirke utgjør en større eller mindre bestanddel. Hensikten med å lage sammensatte materialer er å kombinere viktige egenskaper i de enkelte bestanddelene slik at det nye produktet får andre eller nye egenskaper. Det kan dreie seg om å få større grad av frihet fra krymping/svelling, få fram store plater eller store lengder. Videre kan det dreie seg om å få fram jevne, forutsigbare egenskaper eller simpelthen å produsere et råstoff eller halvfabrikata som kan konkurrere på pris.

Materialene kan være sammensatt på mikroplanet, dvs. hvor de enkelte materialslagene inngår som veldig små deler, som lim i en MDF-plate, eller på makroplanet hvor de enkelte bestanddelene tydelig kan skjernes fra hverandre.

Sammenbindingen av de enkelte bestanddelene kan være basert på kjemiske eller mekaniske prinsipper avhengig av bindemidlets virkemåte.

Ofte benytter vi begrepet kompositt for sammensatte materialer. Det kan ofte være greit å tenke på at også trevirke er en kompositt. Trevirket kan betraktes som et armert materiale med cellulose som armering i en matriks av lignin og hemicelluloser. Når vi i fortsettelsen benytter begrepet kompositt er det imidlertid i betydningen: et laget materiale hvor en har kombinert de beste egenskapene i flere materialer - men også ofte med henblikk på å eliminere (redusere) de mest negative egenskapene.

Listen over kompositter med tre som basis eller som et av hovedmaterialene øker stadig:

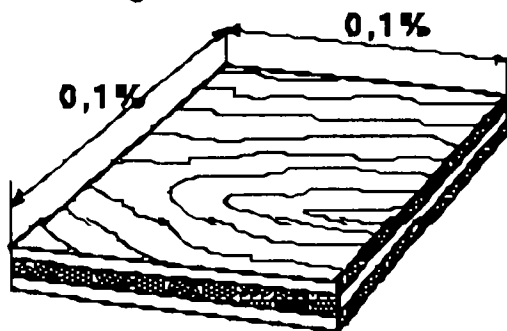
- Kryssfinér, møbelplater.
- Sponplater.
- Treullcement.
- Treplast.
- Limtre.
- LVL.
- Parallam.
- Scrimber.
- Laminatplater.
- I-bjelker.
- Armert tre.
- MDF-plater.

I det følgende tar vi her for oss litt om hvert enkelt av de ovenstående materialene, med unntak av treplast som er viet en egen forelesning.

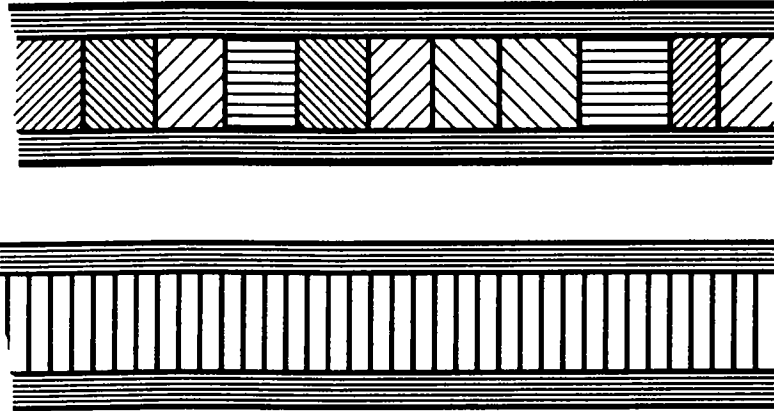
### **Kryssfinér, møbelplater.**

Kryssfinér består av et odde (ulikt) antall sammenlimte finérlag lagt slik at fiberretningen i annethvert lag er parallell og at fiberretningen i de mellomliggende lagene ligger vinkelrette på de foregående. Fordi fibre i finér og kryssfinér bare i liten grad ødelegges under prosessen vil kryssfinér normalt ha større stivhet og styrke enn sponplater og andre produkter fremstilt av spon og mindre trestykker og fibre. Produksjon av kryssfinér startet på en rekke steder i verden rundt midten av forrige århundre. Det var først rundt 1890 at det ble almen aksept av fordelene med kryssfinér og dermed noen særlig anvendelse. Kryssfinér kalles plywood på engelsk men dette navnet ble ikke alminnelig tatt i bruk før under første verdenskrig (1914-1918). På tysk heter kryssfinér Sperrholz. Til å begynne med ble det produsert enkle trelags kryssfinérer hvor hovedhensikten var å få fram stabile plater.

### **Kryssfinér - møbelplater** **Fuktbevegelse ved fukt-** **endringer fra 6% til 21%**



Etterhvert ble det utviklet flere varianter - mangelags-kryssfinér. Møbelplatene (Battenboard på engelsk) ble lansert i 1910, og i 1923 ble det lansert plater med kjerne av finérstriper (Laminboard på engelsk).



Kryssfinér og andre tilsvarende krysslaminerte platetyper anvendes stort sett enten til dekorative formål (Paneller for veggdekorasjon f.eks.) eller til konstruksjon. I Nordamerika f. eks. anvendes kryssfinér til vanlig husbygging, både som gulv, vegger, tak og mange andre steder.

Viktig for alle de platetyperne som produseres er at de for å bli stabile overfor klimavekslinger må være symmetrisk bygget opp. Derfor vil det bestandig være odde antall lag som ligger i de to hovedretningene.

Kryssfinérets gjennombrudd kom i realiteten under 1. Verdenskrig. Det ble utviklet og bygget store mengder av både fly og båter hvor kryssfinér var en viktig bestanddel. I bilproduksjonen var også kryssfinér lenge et vanlig benyttet platemateriale.

Under 2. Verdenskrig ble flere vannfaste lim tatt i bruk for kryssfinérproduksjon:

Aerolite  
Fenol  
Resorcinol

Dette førte til en utvikling av vannfaste plater som kan anvendes f.eks. til utvendig kledning, båter og andre påkjente konstruksjoner. Et viktig anvendelsesområde for kryssfinér har blitt fenollimte vannfaste plater belagt med fenol eller melamin og som anvendes som forskalingsmateriale ved betongstøping.

Kryssfinér fremstilles av veldig mange forskjellige treslag. Ofte bygges hele platen opp av finérark av samme treslag men det nyttes også ofte billigere og svakere treslag i de indre sjiktene mens de ytre sjiktene består av sterkere eller penere finérark.

Kryssfinérplater av løvtrevirke produseres vanligvis i tykkelser fra 3 til 25 mm mens bartrekryssfinér normalt produseres i tykkelser fra 6,5 til 32 mm. Spesielle kvaliteter og dimensjoner produseres for forskjellige anvendelsesområder som for eksempel marint bruk eller flyproduksjon (En finsk fabrikk lager en spesialkvalitet bjørk kryssfinér spesielt beregnet for flyfabrikasjon). For bruk under spesielt vanskelige vilkår fremstilles også impregnerte kryssfinéer.

#### **Produksjonsdata.**

Kryssfinérproduksjonen og anvendelsen fikk en enorm vekst etter 2. Verdenskrig (Tallene for 1980 og 1990 inkluderer også de andre platetyperne som er krysslaminert):

1955	10 mill. m <sup>3</sup>
1970	32 mill. m <sup>3</sup>
1980	39,5 mill. m <sup>3</sup>
1990	49,7 mill. m <sup>3</sup>

FAO's statistikk over verdens kryssfinérproduksjon viser at det i 1990 ble produsert kryssfinér og tilsvarende produkter i tilsammen 99 land. De viktigste produsentlandene for kryssfinér var (I 1000m<sup>3</sup>):

<b>Gabon</b>	<b>131</b>
<b>Marokko</b>	<b>100</b>
<b>Nigeria</b>	<b>175</b>
<b>Kanada</b>	<b>1950</b>
<b>Mexico</b>	<b>157</b>
<b>USA</b>	<b>18771</b>
<b>Brasil</b>	<b>1300</b>
<b>Kina</b>	<b>1709</b>
<b>India</b>	<b>360</b>
<b>Indonesia</b>	<b>9250</b>
<b>Israel</b>	<b>109</b>
<b>Japan</b>	<b>6417</b>
<b>Korea</b>	<b>1124</b>
<b>Malaysia</b>	<b>1090</b>
<b>Filippinene</b>	<b>397</b>
<b>Singapore</b>	<b>399</b>
<b>Tsjekkoslovakia</b>	<b>234</b>
<b>Finnland</b>	<b>643</b>
<b>Frankrike</b>	<b>518</b>
<b>Tyskland</b>	<b>449</b>
<b>Nederland</b>	<b>380</b>
<b>Polen</b>	<b>126</b>
<b>Romania</b>	<b>181</b>
<b>Spania</b>	<b>150</b>
<b>Jugoslavia</b>	<b>138</b>
<b>Australia</b>	<b>125</b>
<b>Sovjetunionen</b>	<b>1744</b>

Norge hadde en oppgitt produksjon på 7.

#### **Produktdata for kryssfinér**

I mange sammenheng er kryssfinér et utmerket konstruktivt materiale. Kombinert med anvendelse av moderne limteknikk kan det utformes mange konstruktive løsninger som utmerker seg med kombinasjonen lett vekt og stor styrke. Det å forhåndsbergne styrken av kryssfinérkonstruksjoner betinger imidlertid kjennskap til produktdata. Fordi det er så mange variable som kan spille inn på styrkedataene fra den enkelte platefabrikant (treslag, lamelltykkelse, limtype, pressebetingelser etc.) kan det bare angis veiledende, gjennomsnittlige data. I praksis må det innhentes data fra den aktuelle leverandør.

Tabell:

Fasthetsverdiene gjelder midlere bruddfasthet ved prøving (korttidstest) av tørre plater med minimum 5 finérlag:

**Professor**  
**Rolf Birkeland**

Egenskap	Verdi	Enhet
Densitet	500-650	kg/m <sup>3</sup>
Bøyefasthet	25-50	MPa
Strekkfasthet i planet	20-30	MPa
Strekkfasthet på tvers	ca. 1,5	MPa
Trykkfasthet i planet	15-25	MPa
Trykkfasthet på tvers (2% def.)	2,5-4,5	MPa
E-modul, bøyning	2500-9000	MPa
E-modul i planet	4000-8000	MPa
G-modul, skivevirkning	400-600	MPa
Fuktinnhold fra fabrikk	10-12	%
Fuktbev. i planet 30-90% RF	ca. 0,2	%
Tykkelsessvelling 30-90% RF	ca. 5	%
Kantsvelling 10 døgn i vann	6-11	%
Temperaturutvidelse	ca. $6 \cdot 10^{-6}$	mm/(mm°C)
Varmeledningsevne	0,12	W/m*K
Vanndampgjennomgang (55% RF)	$1-3 \cdot 10^{-6}$	g/m <sup>2</sup> hPa/m

(Tabellen gjengitt etter Treteknisk Håndbok, NTI 1991)

**Sponplaten:**

Ideen om sponplaten er minst 100 år gammel, men bortsett fra noen mindre fabrikker som ble etablert i 1930-årene ble moderne sponplateproduksjon først satt ut i livet under og etter 2. verdenskrig. Hvorfor den ikke ble realisert tidligere? Grunnene kan være enda flere men de viktigste var nok:

1. Ingen kunnskaper om spon.
2. Ingen kunnskaper om lim.
3. Presseforløp ukjent.
4. Kundene skeptiske.
5. Fant ikke utstyr.
6. Generell skepsis, ingen testprosedyrer.

I 1941 - 42 ble fabrikasjon igangsatt i Tyskland. Tyskerne hadde et desperat behov for alle typer materialer og til mange formål var plateformede materialer vel egnet. De første ideene gikk ut på at man skulle bruke avfall fra annen treindustri og lime dette sammen til mer høyverdige plateformede produkter.

I 1943-44 ble trelagsplaten utviklet og i stor grad er det den som fortsatt produseres og anvendes i vår del av verden.

I begynnelsen av 1950-årene ble den første større sponplateproduksjonen startet i USA. USA hadde (og har) enorme skogressurser og mye fint råstoff for kryssfinerproduksjon. Derfor var det ikke det samme behovet for å få fram nye platetyper der. En av foregangsmennene for amerikansk sponplateproduksjon var norskamerikaneren, professor E.S. Johnson ved North Carolina State University, Raleigh, North Carolina.

**Platetyper.**

Rent prinsipielt kan en dele sponplatene inn i to hovedtyper: de flatpressete og de ekstruderte. Ved fremstillingen av de flatpressete platene legges sponene som er forsynt med lim (Vanligvis anvendes en limmengde som svarer til ca. 8-10% av platens vekt. Vanligst er urealim og for mer fuktbestandige plater anvendes melamin-urealim) ut på bånd eller plater som så presses sammen i forskjellige former for pressanordninger, mens limet herdes. Det nyttes både enetasjes og mangeetasjes flate presser. Dessuten finnes det pressetyper som presser og limer i gjennomløp. De flatpressete platene kan enten ha samme sponstype tvers gjennom tverrsnittet eller de kan være bygget opp av sjikt med forskjellige sponformer. For konstruktive formål hvor stivhet og bøyefasthet er viktig er



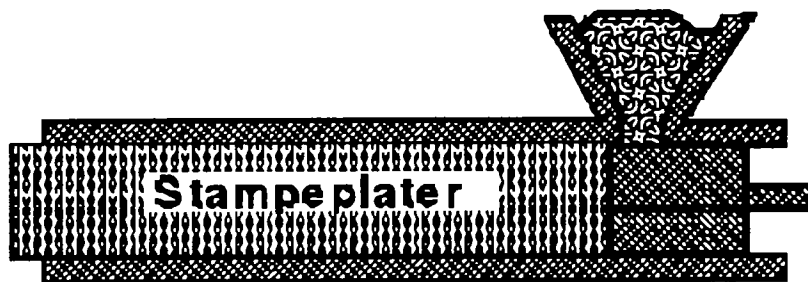
det vanlig at de ytterstliggende sponene er lange mens midsjiktet ofte er framstilt av kortere spon typer. Skal platene males eller det av annen grunn er viktig at platen har en jamn og tett ytterflate legges det gjerne på et yttersjikt av veldig fine partikler.

## Lang spon

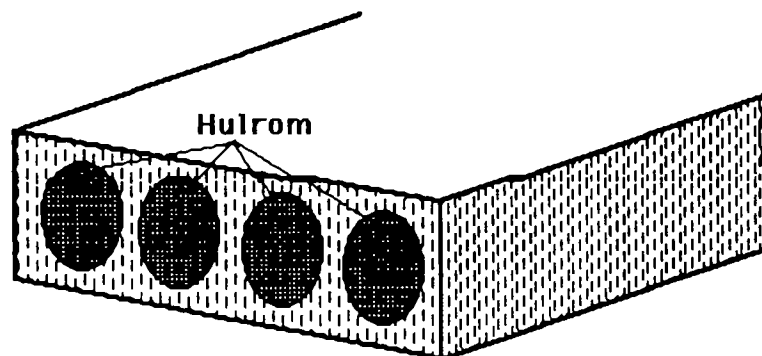


## 8-10% ureaformaldehydlim

Den andre hovedtypen sponplate utgjøres av de ekstruderte platene eller de såkalte stampeplatene. Sponen som er belagt med lim mates inn i ekstruderingskammeret og et fram og tilbakegående stempel presser så sponblandingen frem mot åpningen. Kammeret som sponplaten presses ut gjennom gjøres så langt at limet blir delvis utherdet mens platen oppholder seg i kammeret. Det anvendes også høyfrekvensherding og da kan kammeret gjøres kortere. På grunn av prosessens natur vil sponene i stor grad orientere seg med sin lengderetning på tvers av plateplanet. Ekstruderte plater vil derfor ikke ha noen særlig bøyestyrke og blir derfor gjerne belagt med overflatesjikt som gir styrke. det nyttes både flatpressede sponplater, fiberplater, finér og forskjellige plastbaserte overflatesjikt.



I ekstruderingsmaskinene kan det også fremstilles plater med langsgående innvendige hulrom eller kanaler.



**Professor**  
**Rolf Birkeland**

Nye varianter av de flatpressete sponplatene er utviklet for konstruktive formål. Det nyttes veldig store spon i yttersjiktet og dette gir platene større stivhet og bøyestyrke. I noen platetyper (Waferboard) ligger sponene tilfeldig orientert i planet mens sponene i en annen hovedtype (Strandboard) ligger orientert med lengderetningen i platens lengderetning.

Det fremstilles en rekke andre treprodukter med basis i spon og lim. Sponmassen med påført lim anbringes i former hvor sponen sammentrykkes og herdingen skjer. Et vanlig produkt er for eksempel sponklosser til paller. Et tysk firma har patentert den såkalte Werzalit-prosessen for industriell fremstilling av forskjellige formdeler av spon/limblandinger.

Sponplateproduksjonen var i 1982 - 38 mill m<sup>3</sup> mens den i 1990 utgjorde noe over 52 mill m<sup>3</sup>.

Styrkeegenskaper for flatpressete plater.

Tabell:

Fasthetsverdiene gjelder midlere bruddfasthet ved prøving (korttidstest) av tørre plater:

Egenskap	Verdi	Enhet
Densitet	650-800	kg/m <sup>3</sup>
Bøyefasthet	15-30	MPa
Strekfasthet i planet	5-15	MPa
Strekfasthet på tvers	0,4-1,0	MPa
Trykkfasthet i planet	10-25	MPa
Trykkfasthet på tvers (2% def.)	2,0-25	MPa
E-modul, bøyning	2000-4000	MPa
E-modul i planet	2000-3500	MPa
G-modul, skivevirkning	1000-2000	MPa
Fukttinnhold fra fabrikk	7-9	%
Fuktbev. i planet 30-90% RF	ca. 0,3	%
Tykkelsessvelling 30-90% RF	3-5	%
Kantsvelling 10 døgn i vann	8-15	%
Temperaturutvidelse	9-12*10 <sup>-6</sup>	mm/(mm°C)
Varmeledningsevne	0,12	W/m*K
Vandampgjennomgang (55% RF)	2-2,5*10 <sup>-6</sup>	g/m <sup>2</sup> hPa/m
Luftgjennomgang, 12 mm	1-10*10 <sup>-3</sup>	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> hPa

(Tabellen gjengitt etter Treteknisk Håndbok, NTI 1991)

Mens det vi vanligvis forbinder med sponplater er framstilt av trespon som er limt sammen med vanlige trelim så framstilles det også plater hvor tresponene bindes sammen med mineralske bindemidler som sement, magnesitt og gips. Treandelen i disse platene utgjør ca. 20-25% av vekten. Sementplatene har en egenvekt på ca. 1,25 g/cm<sup>3</sup>, mens magnesittplatene har en egenvekt på ca. 0,85 g/cm<sup>3</sup> og de gipsbundne platene en egenvekt på ca. 1,2 g/cm<sup>3</sup>. Nespo AS i Mosjøen produserer en gipsbunden sponplate. De mineralbundne platene har stort sett bedre evne til å motstå fuktighet og brann enn de vanlige sponplatene. De vil jevnt over også gi mindre lydgjennomgang enn andre, lettere plater

Etter noen kataloger gjengis nedenunder noen av materialeegenskapene for sement- og gipsbundne plater:

**Professor  
Rolf Birkeland**

Egenskap	Verdi	Enhet
Densitet	1200-1300	kg/m <sup>3</sup>
Bøyefasthet	8-10	MPa
Strekkfasthet i planet	3,2-4,2	MPa
Strekkfasthet på tvers	0,3-0,5	MPa
Trykkfasthet i planet	8-15	MPa
E-modul, bøyning	3000-4500	MPa
Fuktinnhold fra fabrikk (Gips)	2-3	%
Fuktbev. i planet 30-90% RF	0,08-0,3	%
Tykkelsessvelling	1,2-2,5	%

### Treullcementplater

Et produkt som vi ikke ser så mye i bruk i Norge lenger men som har egenskaper som i enkelte sammenhenger er interessante er treull-sementplater. Platene består av treull som er bundet sammen med sement. Det kan også anvendes andre mineralske bindemidler som magnesitt og gips. Treullsementplatene anvendes som vegg og takbekledning. De kan også anvendes som undergulv. Et spesielt anvendelsesområde er anvendelse som forskalling ved betongbygg og hvor treullsementplaten etter betongherdingen blir sittende og danner hud på den støpte konstruksjonen. Treullsementplater har relativt gode varmeisolasjonsegenskaper og absorberer lyd ganske effektivt. Fordi treullsementplatene er meget tungt antenkelige tillates de også anvendt på steder hvor det er krav om brannfasthet. De normale formatene for treullsementplatene er i tykkelser fra 15 til 150 mm og i plateformater opptil 600 x 2400 mm.

Treullsementplatene fremstilles i Nord-Europa som oftest av gran eller furu. Dersom andre treslag skal anvendes må en undersøke sukkerinnholdet fordi sement og sukker ikke går godt sammen. Egenvekten på de ferdige platene ligger som regel i området 360-570 kg/m<sup>3</sup>. Bøyefastheten ligger mellom 0,4 og 1,7 MPa. Forøvrig henvises til forskjellige firmaers produktkataloger.

### Limtre og LVL (Laminated Veneer Lumber)

Med limtre forstår vi (bærende) konstruksjonselementer hvor tverrsnittet er bygget opp av minst 4 lameller med tilnærmet parallell fiberretning som ved lim er brakt til fullt statisk samvirke. Med LVL forstår vi tilsvarende konstruksjonselementer hvor det er finérlameller som anvendes til å bygge opp tverrsnittet.

I 1901 ble det patentert en metode for liming av trebjelker (Otto Hetzer fra Weimar). Limtreproduksjon basert på dette patentet foregikk også i Norge ved en fabrikk på Mysen. Den brant imidlertid ned i 1920 og produksjonen ble ikke gjenopptatt. Noen av produktene finnes fortsatt- f.eks. er det en perongoverbygning på Trondheim Sentralstasjon som bæres av søyler laget på Mysen. Et datterselskap i Töreboda i Sverige som ble startet i 1919 fortsatte og er idag en del av Limtredivisjonen i Moelven-gruppen.

Skikkelig fart i utviklingen av limtre kom etter krigen med de nye limtypene, først og fremst fenol og resorcinol og disse i blanding. Det ble etablert limtreproduksjon flere steder. Idag (1993) er det i drift 7 fabrikker i Norge.

Allerede i 30-årene ble det fremstilt store konstruksjoner av limtre.

I dag (1993) har vi noen av de største limtrekonstruksjonene i verden i Norge. Det dreier seg da om de innendørs sportsarenaene som er reist i forbindelse med vinterolympiaden på Lillehammer i 1994.

De siste årene har det innenlandske limtremarkedet blitt redusert som følge av redusert byggevirksomhet. Limtreprodusentene har imidlertid klart å kompensere for dette bortfallet av marked ved en øket eksport. I nedenstående tabell er vist produksjon og eksport (m<sup>3</sup>) for de norske fabrikkene i årene 1987, 1990 og 1992.

	1987	1990	1992
<b>Produksjon</b>	<b>48.500</b>	<b>48.000</b>	<b>44.100</b>
<b>Eksport</b>	<b>5.000</b>	<b>15.300</b>	<b>19.500</b>

Limtre har en rekke fordeler som et konstruksjonsmateriale. Et av de viktigste er det gunstige forholdet mellom bruddfasthet og vekt:

	Bruddfasthet N/mm	Volumvekt Kg/m	Forhold <sup>3</sup>
<b>Limtre</b>	<b>39</b>	<b>470</b>	<b>0,083</b>
<b>Aluminium</b>	<b>210</b>	<b>2750</b>	<b>0,070</b>
<b>Stål</b>	<b>440</b>	<b>7800</b>	<b>0,056</b>
<b>Armert betong</b>	<b>37</b>	<b>2400</b>	<b>0,015</b>
<b>Forspent betong</b>	<b>67</b>	<b>2400</b>	<b>0,028</b>

Andre fordeler med limtre er:

- Store tverrsnitt i forhold til hva som er mulig med vanlig heltre.
- Større tverrsnitt og lengder enn det man kan få med ordinær skurlast - i prinsippet bare begrenset av produksjons- og transport- mulighetene.
- Fordi defektene deles opp og fordeles blir den gjennomsnittlige styrken større og jevnere enn for tilsvarende skurlastdimensjon.
- Stor arkitektonisk frihet.
- Bedre stabilitet enn heltre.
- God brannstabilitet (Se forøvrig kapitlet om tre og brann).
- Enkel fundamentering fordi selve konstruksjonen blir relativt lett.
- Bortsett fra lengdeproblematikken er ikke limtre besværlig eller særlig tungt å transportere.

Sammenliknet med andre konstruksjonsmaterialer kommer limtre i de fleste tilfelle gunstigere ut dess større konstruksjonen blir på grunn av den lave egenvekten av konstruksjonselementene

### **LVL - Microlam (USA) - Kertopuu (Finland)**

Konstruksjonsvirke fremstilt på basis av parallellimt finer har vært på markedet siden begynnelsen på 1970 årene. I enda høyere grad enn for vanlig limtre får en fordelt styrkenedsettende materialdefekter utover og på den måten øket gjennomsnittsstyrken. Idag er det to større fremstillere av LVL - den eldste og største er Trus Joist Corporation i USA (og som nå er fusjonert med Macmillan Bloedel - et kanadisk firma som utviklet Parallam, s.d.) som lager et produkt som de markedsfører som Microlam og det andre produktet lages i Finland og benevnes Kertopuu. Begge produksjonene benytter skrellet finér i 2-3 mm tykkelse. Microlam fremstilles stort sett av **douglas fir** (*Pseudotsuga menziesii*). mens Kertopuu fremstilles av gran eller furu. Finérarkene har en lengde på minst 1,2 m og etter tørking og sortering blir de tilskåret og limt sammen til store plater med uendelig lengde i kontinuerlige presser. Microlam benytter en slags overlappskjøt i lengderetningen mellom de enkelte finérarkene mens Kertopuu anvender en 20 mm lang skråskjøt og forskjøter arkene før de går inn i den kontinuerlige pressen.

Kertopuu som er det merket en mest sannsynlig vil møte i Norge fremstilles i tykkelser på fra 27 til 75 mm og i en bredde på 1800 mm. Som nevnt er de enkelte finérarkene skjøtt sammen i lengderetningen ved hjelp av en skråskjøt og fabrikken oppgir at det i ethvert snitt bare kan forekomme høyst to skjøter. Som lim nyttes enten fenol (varmtherdende)

eller ureamelaminlim. Slutfuktigheten etter pressingen er oppgitt til ca. 10%. Pga. fremstillingsmetoden anvendes de bjelkene som lages av Microlam og Kertopuu med limfugene stående. Både Microlam og Kertopuu anvendes forøvrig i stor utstrekning til styrkedeler i I-bjelker, gitterdragere o.l.. For Microlam opplyses forøvrig at bjelker leveres i lengder opp til 24m.

Konstruksjonsfasthet i MPa oppgis av fabrikanten av Kertopuu til å være:

Bøyning både på høykant og på "flasken"	26,0
Strekk i fiberretningen	24,0

E-modul i fiberretningen ved deformasjonsberegninger er oppgitt til 13 000 MPa.

### Norske møbler fremstilles av LVL.

I stor utstrekning lages det i Norge møbler av en form for LVL. Det vi vanligvis benevner laminerte møbler er fremstilt av parallellimt skrellet finér. Som regel er det bøk (*Fagus sylvatica*) som benyttes til slike møbeldeler fordi den har liten egenstruktur og egner seg godt til kurvede produkter. Det kan imidlertid anvendes mange forskjellige treslag. Av våre egne treslag vil bjørk egne seg ypperlig. Noen ganger fremstilles møbeldelene med et ytre finérlag av spesielle treslag som f.eks. palisander (*Dalbergia nigra* etc.), nøttetre (valnøtt) (*Juglans regia* etc.) el.l. Når sidene av de laminerte møbeldelene beises med passende farger vil det mange ganger være svært vanskelig å se at ikke hele delen er laget av samme treslaget.

Mange av de laminerte møbeldelene er ikke rette men danner tildels skarpe kurver. Flere norske fabrikker har spesialisert seg på å fremstille slike deler både til bruk i egne møbelmodeller og som underleverandører til andre møbelfabrikker.

For å få limt finérarkene sammen til riktig geometri trenges en form som kan gi tilstrekkelig limetrykk langs hele delen. Ofte lages formene av kryssfiner eller sponplater. Noen ganger fremstilles det både såkalte hunnformer og hannformer. Andre ganger, når det dreier seg om enkle og slake buer, vil en kunne nytte f.eks. bare en hannform som er korrekt tildannet og benytte f.eks. en brannslange som fylles med trykkluft for å gi limetrykk og klemme finérpakken inntil hannformen.

Utformingen av formene krever god kjennskap til produksjonsgangen og helst atskillig praktisk erfaring. Fordi de vanligst brukte limene (ureaformaldehydlim) inneholder vann tilføres finérarkene vann før pressingen. Dette fører ofte til at når møbeldelen er ferdig presset og klimatisert så vil den ferdige delen innta en annen geometri en den som formen er laget for. Enkelt sagt er det slik at slake buer gjerne åpner seg etter kondisjoneringen mens skarpe buer har en tendens til å bli enda skarpere. Det er utviklet dataprogrammer ved Norsk Treteknisk Institutt (blir tilgjengelig gjennom URMI) som kan nyttes til å forhåndsberegne hvordan den endelige krummingen vil bli, avhengig av geometri, treslag, finértykkelse, antall finérark, limtype og trefuktighet.

Når formen gir riktig fasong på ferdigproduktet kan produksjonen begynne. I all enkelhet går den ut på at finérarkene tilskjæres i riktige dimensjoner. Lim påføres, gjerne i en valsepåføringsmaskin. Når finérpakken er ferdig spennes den inn i formen. Limet kan utherdes ved oppvarming ved hjelp av motstandsoppvarmede varmeplater som legges inn i formen sammen med finérpakken eller det kan nyttes høyfrekvensherding av limet (Det vises i denne sammenheng til Raknes, E.: Liming av tre. Universitetsforlaget. Oslo 1987).

### Parallam: McMillan Bloedel (Kanada) og Scrimber (Australisk).

Blant de nyeste innovasjonene i trekomposittfamilien er bjelkeformete konstruksjonsmaterialer fremstilt av lange treelementer som limes sammen til større enheter som så kan deles opp til mer kurante konstruksjonsdimensjoner. Et av disse

**Professor**  
**Rolf Birkeland**

produktene kalles Parallam. Det er utviklet og produseres av et stort kanadisk skogindustrikonsern som heter MacMillan Bloedel (og som nevnt i forrige kapittel har fusjonert med Trus Joist som fremstiller Micro-Lam).

Enkelt sagt består Parallam av parallell-limte finérstriper. Finéret produseres ved skrelling og er ca. 3 mm tykt før selve sammenlimingsprosessen tar til. Finéret kappes opp i smale striper med ca. 12 mm bredde og 2400 mm lengde. Disse smale stripene tørkes og forsynes med et limovertrekk hvoretter de mates inn i en kontinuerlig presse som har en åpning på 290 x 375 mm. Herdingen av limet skjer med mikrobølger (915 MHz). Finérstripene komprimeres noe under selve pressingen og herdingen av limet og dette øker densiteten og dermed fasthetsegenskapene noe for det ferdige produktet. Etter pressing og herding av limet (fenol-lim) kappes og splittes det ferdige produktet opp i de dimensjonene brukerne skal ha.

Hovedanvendelsesområder for Parallam er til takstoler, flenser i I-bjelker og liknende produkter hvor høy og jevn styrke og stivhet er vesentlig. Et av hovedargumentene for anvendelse av Parallam er nettopp at det oppviser meget jevne styrkeegenskaper.

Sammenliknende **tillatte** (ikke bruddstyrkedata) fasthetsdata etter kanadisk standard for Parallam, Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) - kvalitet Select Structural og Hemlock Fir (*Tsuga heterophylla*) - kvalitet Select Structural :

	Bøy MPa	Skjær MPa	Trykk MPa	E-modul MPa
Parallam	23,0	1,45	20,0	13.800
Douglas fir	15,0	0,62	11,0	12.400
Hemlock	11,2	0,50	8,9	11.100

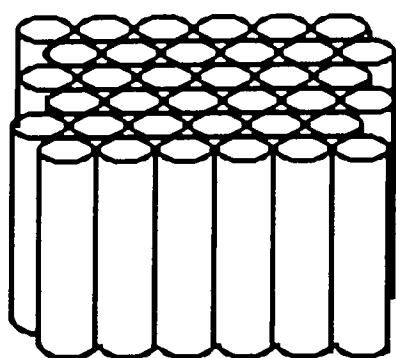
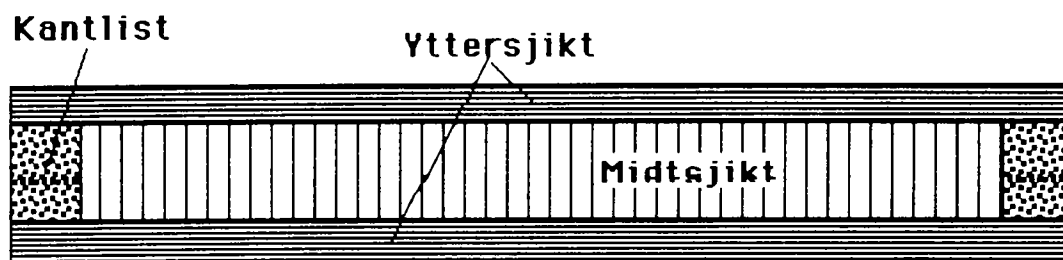
Utviklingen av produktet startet allerede i 1969 og den første produksjonen startet opp i 1988. Produksjonen foregår foreløpig i to fabrikker - en i Vancouver i Britisk Kolumbia i Kanada og en i Georgia i USA. I de siste par årene er produktet utviklet videre og en av nyhetene at Parallam-bjelker kan leveres impregneret med CCA-basert impregneringsmiddel. Etter impregneringen tørkes Parallam-bjelkene til et gjennomsnittlig fuktinnhold på 19% (som tilsvarer den fuktigheten trevirke vil få utendørs under tak).

I begynnelsen av 1990 ble en ny fabrikk for fremstilling av et nytt trekomposittprodukt åpnet i Australia. Som Parallam dreier det seg om et konstruksjonsråstoff limt sammen av lange treelementer. Til forskjell fra Parallam fremstilles imidlertid treelementene ved at tømmerstokker (tynningsvirke) av et innplantet treslag, Radiata pine (*Pinus radiata*), bearbeides langs hele lengden ved en slags valseprosess slik at trevirket sprekker opp i lange "slintrer". Disse tørkes til ca. 5%, påføres lim og presses i en slags kammerpresse til bjelker med dimensjon 12000 x 1200 x 124 mm. Disse kan så sages opp til de forskjellige aktuelle konstruksjonsdimensjonene. Produksjonen ac scrimber b,e nok ikke den suksessen som man hadde håpet. Fabrikken ble stoppet og såvidt jeg vet er det nå en amerikansk fabrikant av forskjellige trebaserte produkter som har produksjonsrettighetene og forsøker å få prosessen igang igjen.

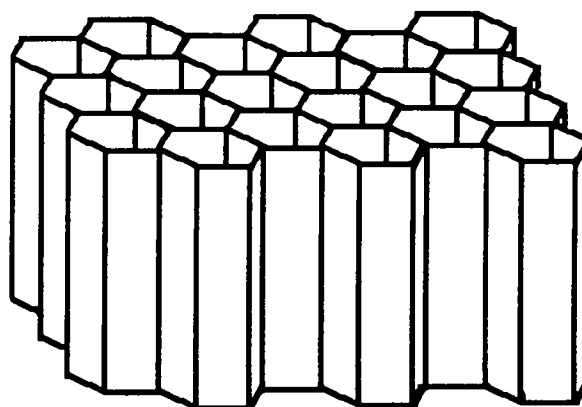
### Laminatplater.

Fordi mange plateformete konstruksjonselementer påkjennes på bøyning er det nærliggende å tenke seg en oppbygging hvor yttersjiktene er laget av relativt stive og sterke materialer mens det som midtsjikt og distansestykke mellom yttersjiktene anvendes lette og gjerne billige materialer. Kravet til midtsjiktets styrke er stort sett at det skal tåle skjærkraft parallell plateplanet mens det blir yttersjiktene som tar opp trykk- og

strekbelastningene. De limene som nyttes må selvsagt binde til de materialene som nyttes og ellers være tilpasset belastningene som kan forekomme.



**Papprør - halmstrå**



**Honeycomb - papir - aluminium**

Typiske eksempler på laminerte plateprodukter er dørblander til glatte innerdører, platene i kjøkken- og garderobeinnredninger, sengesider, bordplater, laminert parkett, etc..

Fordeler ved laminatplater kan være:

- God materialutnyttelse
- Lett vekt (når kjerne er lett). Av og til er det et poeng at et produkt er såvidt tungt at det ikke velter eller flytter for lett på seg. Da kan tyngde være viktig.
- Dimensjonsstabil
- Gunstig pris

Som kjernemateriale kan en lang rekke materialer nyttes:

- Billig trevirke
- Balsa (lett men ikke billig!)
- Strå - med lengden på tvers av plateplanet
- Honeycomb - papir
- Aluminium
- Skumplaster (isopor, polyuretanskum etc.).
- Finérstriper
- Sponplater

Yttersjikt:

- Kunststoffer (papirplastlaminater f.eks.)
- Kryssfinér
- Finért fiberplate

- Finér
- Tynnskårne bord

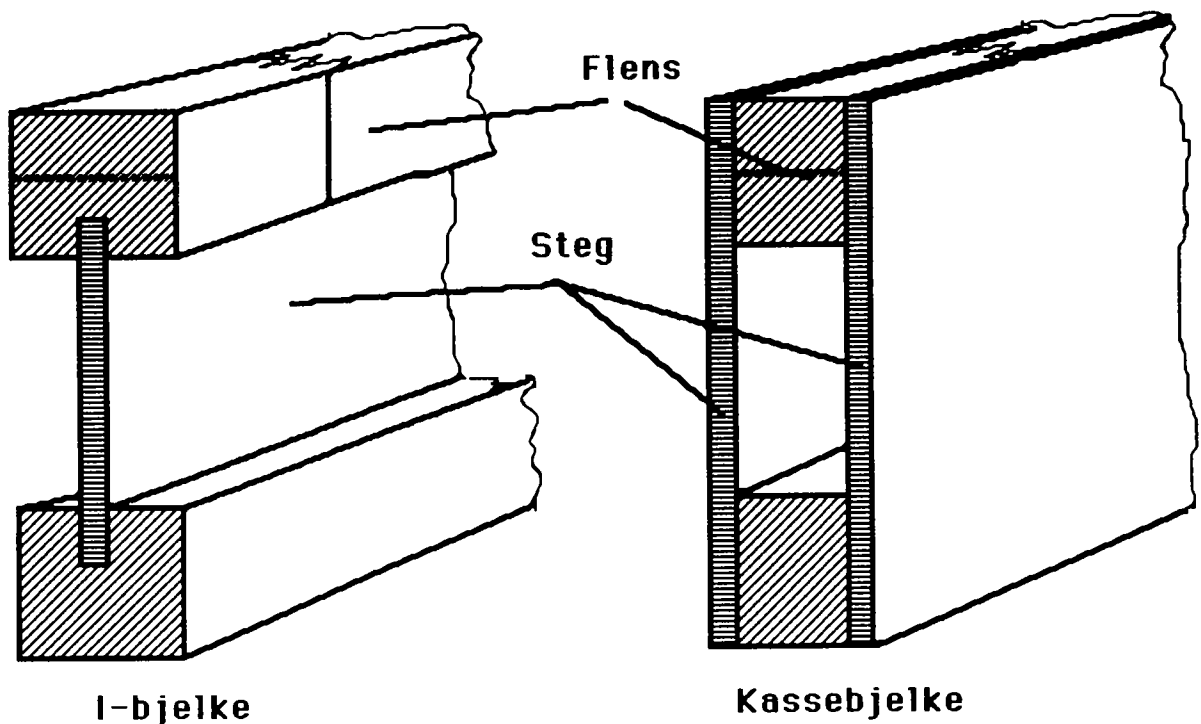
Ulemper:

- Ofte en komplisert prosess som betinger stor produksjon
- Dyr produksjon for de mer kompliserte løsningene
- Vansker med kantene. Det må ofte legges inn klosser el.l. for skruefeste (hengsler, feste til andre plater etc.).
- Mange laminatplater er vanskelige å reparere

### I-bjelker og kassebjelker

I stål og metaller er I-bjelken og kassebjelken gamle og mye benyttete produkter. Det er flensene som opptar strekk- og trykk-kreftene mens steget (stegene) ved siden av rollen som distansestykke mellom flensene tar opp skjærspenningene som oppstår ved bøyning. Prinsippet er således som i laminatplater.

I mange av I-bjelkeløsningene er steget innlimt i flensene. I kassebjelkeløsningene er stegene limt til flensenes ytterside. Det finnes imidlertid også en rekke løsninger, særlig for I-bjelker, hvor kraftoverføringen mellom steg og flenser er løst med bolt- eller skrueforbindelser.



Som flensmateriale anvendes gjerne sterkt materiale, det kan dreie seg om bedre kvaliteter av konstruksjonsvirke (T 40) eller LVL, parallam eller liknende. Det er i praktisk bruk en rekke forskjellige stegmaterialer:

- Fiberplate
- Sponplate
- Heltre
- Kryssfinér
- Metall, både som fagverk og som "bølgeblikk" er særlig anvendt for forskjellige typer av I-bjelker.

I-bjelkens og kassebjelkens hovedfordeler er at de gir stor materialbesparelse og er lette i vekt. De kan lages meget store. Brukt som bjelkelag har begge bjelketypene fordeler



**Rolf Birkeland**

framfor f.eks. heltre ved at de er mer dimensjonsstabile. Dette gir langt mindre behov for oppretting enn heltrebjelkelag og blir derfor ofte billigere å installere. Ved installasjoner i vegger, etasjeskiller og takkonstruksjoner hvor det skal isoleres byr begge bjelketypene på fordeler ved at de gir minimal varmeoverføring. Kassebjelkene kan eventuelt fylles med isolasjonsmateriale allerede ved fabrikasjonen. Mange av de løsningene som anvendes, særlig ved bruk av I-bjelker, lar seg også lett forsyne med åpninger i steget som letter fremføring av ledninger, rør etc.. Slike utsparinger må selvsagt plasseres på steder hvor den svekkelsen de gir av bjelken ikke får konsekvenser for bæreevnen.

I-bjelkene og kassebjelkene har selvsagt også sine ulemper:

- Spesialfabrikasjon og dermed relativt dyre.
- Endeinnfesting krever spesielle løsninger
- Krever spesialister
- Brannsikkerhet svak fordi de inneholder liten masse i forhold til overflaten

Hva gjelder styrkemessige beregninger for I-bjelker og kassebjelker henvises til NS 3470.

**Armert tre for forskjellige spesialanvendelser**

Armering limes av og til inn i forskjellige trekonstruksjoner for å øke strekk- eller trykkfastheten.

Armeringsmaterialer kan være stål, glassfiber, karbonfibre el.l.

Dersom armeringen skal ha den tilsiktede virkning kreves det som regel god kraftoverføring mellom armeringsmaterialet og det omkringliggende trevirket (materiale). Dette betyr at det må anvendes presisjon ved produksjonen og vises omhu ved limingen.

For møbelfremstilling anvendes det stundom en slags armering i laminerte (sjiktlimte) møbeldeler. Mest benyttet har aluminium vært. Ved siden av å virke forsterkende og stabiliserende kan aluminiumet gi en dekorativ effekt.

**MDF -Medium Density Fibreboard (Midlere Densitets Fiberplater).**

Et av de nyeste konstruksjonsmaterialene på trebasis er MDF-platen.

MDF står for Medium Density Fibreboard på engelsk. Tyskerne anvender stundom betegnelsen *Mitteldichte Faserplatte* (MDF).

MDF-platen er en tørreprodusert fiberplate med bindemiddel - lim. I Europa leveres det plater med tykkelser fra 3,2 til 50 mm. MDF-platen fremstilles av tørkede trefibre som er fremstilt med hjelp av slike defibratorer som benyttes ved produksjon av vanlige (våtproduserte). etter defibreringen er fibrene tørket. deretter er de påført lim, lagt opp i passe tykke flak og presset til plater. Den uniforme og tettpakkete fibermassen tillater at man kan foreta intrikate kantfresoperasjoner uten at kanten på platene flises opp eller at det blir store fordypninger etter utrevne biter. MDF-plater anvendes derfor særlig til produkter hvor man vil ha profilerte kanter. Produktene kan dreie seg om bordplater, dørpaneler eller skuffeforstykker. MDF-platene er sterkt slitende på verktøy og etter at MDF-platene fikk større anvendelse i møbelfremstillingen har diamantverktøy for saging og kantfresoperasjoner fått større anvendelse - særlig til MDF-bearbeiding.

Da de første MDF-platene kom var de limt med ureaformaldehydlim og avspaltingen av formaldehyd var relativt stor. I land hvor formaldehydavspaltingen (Vest-Tyskland og Danmark) skal være liten ga dette problemer. I løpet av de siste årene har imidlertid produsentene av MDF-plater løst formaldehydproblemet. I Norden fremstilles det siden i 1992 MDF-plater ved en fabrikk i Danmark (Juncker).

MDF-platenes fortrinn er at snittflatene blir jevne og kan bli relativt glatte etter en passende lakkering eller maling. Det innebærer at en rekke produkter som tidligere ble fremstilt av massivt heltre eller av finerte sponplater pålimt heltrekanter nå fremstilles bare

av MDF-plater. MDF-platene er sterke. De vesentligste svakhetene er den sterke verktøyslitasjen og den høye vekten (som i enkelte tilfelle kan være en fordel).

Den europeiske foreningen av MDF-produsenter (Euro MDF Board) har laget sine egne normer for MDF-plater. I tabellen under er gjengitt de vesentligste dataene som denne industrinormen definerer.

### Toleranser, fysiske, mekaniske og kjemiske egenskaper for MDF-plater

Egenskap	Enhet	Tykkelsesgruppe (mm)					
		1,8-4	>4-6	>6-12	>12-19	>19-35	>35
Tykkelsestoleranse (Maks.)	mm	± 0,14	± 0,15	± 0,2	± 0,2	± 0,3	± 0,3
Måltoleranse		± 2 mm/m maks. for lengde og bredde, 10 mm maks for >4m					
Rettvinkelhet		± 1,5 mm/m for alle tykkelsesgrupper					
Tykkelsessvelling (Maks.)							
- etter 24h vannlagring	%	27	22	16	10	6	6
- etter Syklustest <sup>1</sup>	%	8	8	7	6	6	6
Bøyefasthet ved statisk bøyning (minimum)	N/mm <sup>2</sup>	45	40	35	30	28	25
Statisk E-modul (minimum)	N/mm <sup>2</sup>	2700	2600	2500	2500	2000	2000
Tverrestrekkfasthet (minimum)	N/mm <sup>2</sup>	0,70	0,70	0,65	0,60	0,60	0,55
-etter Syklustest <sup>1</sup>	N/mm <sup>2</sup>	0,30	0,30	0,30	0,25	0,20	0,12
Skruefasthet (minimum) <sup>2</sup>							
i flaten	N	2	2	2	1050	950	950
i kanten	N	2	2	2	850	850	850
Dimensjonsstabilitet (Maks.) ved luftfuktendring fra 35 - 85%							
Lengde/bredde	%	0,60	0,50	0,40	0,40	0,35	0,35
Tykkelse	%	15	15	8	8	6	5
Sandinnhold	Vekt.%	Maksimalt 0,1 for alle tykkelsesgrupper					
Formaldehydinnhold (Maks.) <sup>3</sup>							
Klasse A	mg/100g	10 for alle tykkelsesgrupper					
Klasse B	mg/100g	20 for alle tykkelsesgrupper					
Overflateabsorpsjon (minimal)		150 mm (tosidig) for alle tykkelsesgrupper					

<sup>1</sup> Gjelder fuktresistente kvaliteter ("MDF MR" på engelsk, "Feuchteresistente MDF-Platten" på tysk)

<sup>2</sup> Skruerfasthetstesten er ikke anvendbar på plater tynnere enn 15 mm.

<sup>3</sup> Verdiene gjelder for Perforatormetode DIN EN 120. Anvendes acetylacetonmetoden er verdiene 9 mg/100g for klasse A og 19 mg/100g for klasse B.

Fuktinnholdet for MDF-plater fra verk er oppgitt til 8% ± 3%.  
Europeisk produserte plater har en egenvekt på over 600 kg/m<sup>3</sup>.

Gjengitt etter: Anon.: Industrienorm für MDF, HK 1/91.

Limtyper

Treprodusenten av i dag har en rekke limtyper til disposisjon. De sterkeste limforbindelsene er idag gjennomgående sterkere enn de trestykkene de limer sammen. Alle lim har imidlertid fordeler og ulemper og ideallimet sett fra alle synsvinkler finnes enda ikke.

I dag deler vi ofte inn limtypene i de såkalte naturlige og syntetiske lim.

### **Naturlig baserte limtyper.**

Disse er fremstillet av naturlig forekommende stoffer.

De viktigste limtypene som kan anvendes sammen med tre er (27):

1. Stivelsesbaserte lim og dekstrin som fremstilles på basis av karbohydrater som lages av stivelse ved opphetning til 160°-200° C.
2. Lim på basis av proteiner:
  - 2.1. Animalsk lim, fremstilt av huder, sener, ben, hover, horn, fiske-skinns. Anvendt som snekkerlim, brukes fortsatt i enkelte sammenhenger.
  - 2.2. Blodalbuminlim fremstilt av tørrestoffet i blod, som er et biprodukt fra slakteriene. Lite anvendt. Brukt ved kryssfinerproduksjon.
  - 2.3. Kaseinlim fremstilt av ostestoffet i melk, blandet med kalsiumhydroksid (lesket kalk) og andre kjemiske tilsatsstoffer. Snekkerlim. Anvendt også ved kryssfiner- og limtreproduksjon
  - 2.4. Planteproteinlim fremstilt av soyabønnemel, peanøtter o.a.. Anvendt på samme måte som kasein.
3. Skjellakk som er en gulaktig harpiks som skilles ut av et insekt (*Laccifer lacca*). Stoffet ble tidligere brukt også til lim men anvendes idag bare til enkelte former for overflatebehandling (kvistlakk), skjellakk, hårspray, fiksativ o.l..
4. Naturlig og kunstig gummi (neopren). Gummibaserte lim kan anvendes både som vanlige lim og som kontaktlim.
5. Asfaltbaserte lim. Asfalt forekommer naturlig, ofte i forbindelse med oljeforekomster. Asfaltlim som kan være både fysikalsk herdende (løsemiddel som fordamper) og smeltelim anvendes i forbindelse med tre særlig ved taktetting, vanntetting osv.
6. Mineralsk baserte lim (natrium-, magnesiumforbindelser. Billig bindemiddel som anvendes til endel treemballasje med forventet kort levetid. Sement virker som et lim blant annet ved framstilling av treullsementplater. Både sement og gips anvendes som lim i henholdsvis sement- og gipsbundne sponplater.

### **Syntetiske lim:**

#### 1. Kjemisk herdende kunstharpikslim.

- 1.1. Urealim (karbamidlim). fremstillet av urea og formaldehyd. Forekommer i en rekke former: kaldtherdende, varmherdende, fyllende, modifisert for å øke vannbestandigheten, som limfilm, i kombinasjon med PVAc-lim.
- 1.2. Melaminlim. Fremstilles av melamin og formaldehyd. Nær beslektet med urealim, mer vann- og varmebestandig, men også dyrere.
- 1.3. Fenollim. fremstilles av fenol og formaldehyd. Finnes både varmherdende (til vannbestandig kryssfiner) og kaldtherdende (syreherdende). Det siste anvendes gjerne til håndverk og hobby. Kombineres også med resorcinollim til limtrefremstilling.
- 1.4. Resorcinollim. fremstilles av resorcin og formaldehyd. Praktisk talt uopløselig. Anvendes til limtre. Dyrt.
- 1.5. Epoksyylim. Løsemiddelfritt tokomponentlim med gode gapfyllende egenskaper. Limets egenskaper kan "skreddersyes". Epoksyylimene kan

anvendes til mange limeoperasjoner men er dyrt og omstendelig i bruk. Må omgås med omtanke da det lett gir allergier ved kontakt.

- 1.6. Polyuretanlim. Lim i familie med polyuretanlakkene. Består av to hovedkomponenter: polyol og isocyanat. Kan fremstilles både som en- og tokomponentlim. Enkomponentlimet herder ved vannopptak.
- 1.7. Emulsjonspolymer isocyanat (EPI). Relativt "ung" tokomponent limtype med gode bruksegenskaper (kryssfiner, laminering, kompositter (tre-metall)). Hudkontakt bør unngås. Gir ingen gassavspalting i herdet tilstand. foreløpig relativt dyrt.
- 1.8. Akrylatlim. Tokomponentlim hvor herder og lim gjerne kan påføres hver sin flate. Herding ved kontakten. Særlig aktuelt som monteringslim og for materialkombinasjoner.

## 2. Termoplastiske kunstharpikslim.

- 2.1. PVAC-lim. Lim fremstilt av acetylen og eddiksyre. Limet leveres som en emulsjon i vann. Fysikalsk herdende og termoplastisk (mykner ved varme). Kan skreddersyes til mange bruksformål. Anvendes til praktisk talt all ikke-vannfast liming, unntatt finering og andre operasjoner hvor det lønner seg å anvende varmpresse.
- 2.2. Kontaktlim. I tillegg til kontaktlim basert på naturlig forekommende gummier fremstilles det kontaktlim på basis av syntetiske stoffer (kloropren). Påføres tosidig, løsemiddel dunster av og liming foretas. Dyrt lim som hovedsakelig anvendes ved montering. De organiske løsemidlene som ofte nyttes er ansett som meget farlige.
- 2.3. Smeltelim. kan være ett eller en blanding av flere stoffer: polyetylen, etylen- vinylacetat kopolymer eller polyamider. Ved vanlig temperatur faste men myknes ved oppvarming. Herdingen er simpelthen at limet størkner. Anvendes til kantbelisting og montering.

### Hvorfor lim binder seg til tre.

Lenge var lim sett på som noe mystisk. Det var først etter at man begynte å lage fly at det ble systematiske studier av hvordan en skal oppnå sterke limforbindelser (rundt ca. 1920).

I dag regner en at adhesjonen (limeforbindelsen) oppstår gjennom tre mekanismer: mekanisk forankring, molekylære (fysiske) tiltrekningskrefter samt utvikling av kjemiske bindinger mellom tre og lim.

Den mekaniske teorien går ut på at det flytende limet trenger inn i porer (cellehulrom) og ujamnheter når det påføres trevirket. Når limet herdner forankres det mekanisk i treoverflaten. Det hevdes også at vannløselige lim i tillegg til å trenge inn i cellehulrom også vil kunne etablere limforankring i selve celleveggen (mellom mikrofibrillene). Den mekaniske teorien forklarer imidlertid ikke hvorfor materialer som ikke inneholder porer lar seg lime. En kan også observere at det herdete limet krymper og løsner fra celleveggene inne i cellehulrommene. Det ser derfor ut til at hovedgrunnen til at lim limer er andre mekanismer i tillegg til de mekaniske.

Den viktigste grunnen til at lim limer anser man er at det oppstår molekylære tiltrekningskrefter (van der Waal'ske krefter og hydrogenbindinger) mellom trevirket og limet. Det er de samme former for krefter som får to ideelt plane harde plater av f.eks. kvarts (som ikke har vært eksponert for luft) til å hefte til hverandre.

I praksis finnes nesten aldri ideelle flater og derfor kan man ikke få aktivisert de molekylære kreftene uten at det anvendes et flytende stoff - lim må være flytende på ett eller annet stadium av limeprosessen for å skape kontakt med flatene som skal limes. De substansene som anvendes som lim må danne varige forbindelser og være motstandsdyktige overfor bruksbetingelsene. Limsubstansen bør når den er herdet ha høy indre styrke (kohesjon). I flytende form må limet ha en polaritet som svarer til polariteten

**Professor  
Rolf Birkeland**

på den flaten som det skal hefte til. Har limsubstansen i flytende form en polaritet som er større enn treflaten (Trevirket er polart pga. de frie hydroksylgruppene i cellulosemolekylet) det skal hefte til vil det ikke kunne fukte treet. Limet vil ligge som en dråpe på overflaten. Er limet mindre polart enn treoverflaten vil limmolekylene tiltrekkes sterkere av trevirket enn av de andre limmolekylene og limet vil flyte utover.

Et polart lim kan derfor bare lime polare materialer. Et upolart lim kan lime både polare og upolare materialer.

I prinsippet vil det også kunne etableres kjemiske bindinger mellom lim og de materialene som skal limes. Det er foreløpig ikke klart hvor stor rolle de forskjellige formene for bindinger betyr for limstyrken. For en mer detaljert beskrivelse av ovenstående anbefales Raknes's bok: Liming av tre (ISBN 82-00-35464-4).

**Faktorer som fremmer gode limforbindelser.**

Det er med liming som med mange andre prosesser at betingelsene må være riktige for at man skal oppnå et godt resultat.

Treoverflatene som skal limes bør være så glatte og så uskadde som mulig og de bør også være så "ferske", dvs. nybearbeidete, som mulig. Dette betyr at verktøyet som brukes bør være skarpt og at matehastighet og kuttdybde bør være tilpasset forholdene. Limbarheten av flatene nedsettes dersom flatene tilsmusses eller eldes nevneverdig etter bearbeidingen. Dette er imidlertid avhengig av treslag og limtype.

Trefuktigheten bør normalt ikke være hverken for høy eller lav, mellom 5 - 15% regnes som passe. Er treet for tørt har limet ofte vanskelig for å fukte treet ordentlig. Blir treet for fuktig vil vannholdige trelim tørke ut for langsomt og selve limsubstansen vil kunne ha en tendens til å suges opp av trevirket slik at fugen blir for mager.

Limblandingen må være riktig utført, dvs. at forskriftene for blandingsforholdene følges nøyaktig. Lim og herdere må oppbevares forsvarlig og i lukkede beholdere og ved langvarig lagring bør de helst oppbevares i kjølerom. Blandeutstyr bør helst ikke brukes til flere forskjellige limtyper.

Limpåføringen er også en viktig faktor. Det er viktig å benytte den riktige mengden og å få denne jevnt fordelt. Ved lave limetrykk og når det dreier seg om liming av treslag som det er vanskelig å få fuktet tilfredsstillende vil det være en fordel å stryke limet på begge de to flatene som skal limes sammen.

Pressetid, pressetrykk og herdetemperatur bør være riktigst mulig i forhold til produsentens anvisninger.

**Referanser**

Anon.: Industrienorm für MDF, HK 1/91.

Anon.: Katalogmateriale for Nesporex fra Nespo A/S og for Garnit fra Norsal A/S.

Anon.: Kertobjelken. Brosjyre.

Anon.: Limtreboka. Moelven Limtre A.S. Moelv 1984.

Anon.: Scrimber - The Australian Answer. Australian Forest Industries Journal, august 1988.

Anon.: Scrimber opening gets national audience. Australian Forest Industries Journal, januar/februar 1990.

**Professor**  
**Rolf Birkeland**

- Anon.: Treteknisk Håndbok, NTI, Oslo 1991.
- Barnes, D.: Parallam - a new wood product invention and development to the pilot plant stage. The Marcus Wallenberg Foundation Symposia Proceedings: 4. Falun 1988.
- Bohlen, J.C.: LVL - Laminated Veneer Lumber - Development and Economics. Forest Products Journal. Januar 1972.
- Churchland, M. T.: Parallam - a new product commercial product development. The Marcus Wallenberg Foundation Symposia Proceedings: 4. Falun 1988.
- Johnson, E.S.: Wood Particle Board Handbook, North Carolina State College, NC. 1956,
- Kollmann, F., Kuenzi, E. og Stamm, A.: Principles of wood science and technology, II, Wood based materials. Springer-Verlag. New York. 1975.
- Kunesh, R.H.: Micro=Lam: Structural Laminated Veneer Lumber. Forest Products Journal. Juli 1978.
- Mombächer, R.: Holz-Lexicon, DRW-Verlag, Stuttgart 1988
- Raknes, E.: Liming av tre. Universitetsforlaget. Oslo. 1987.

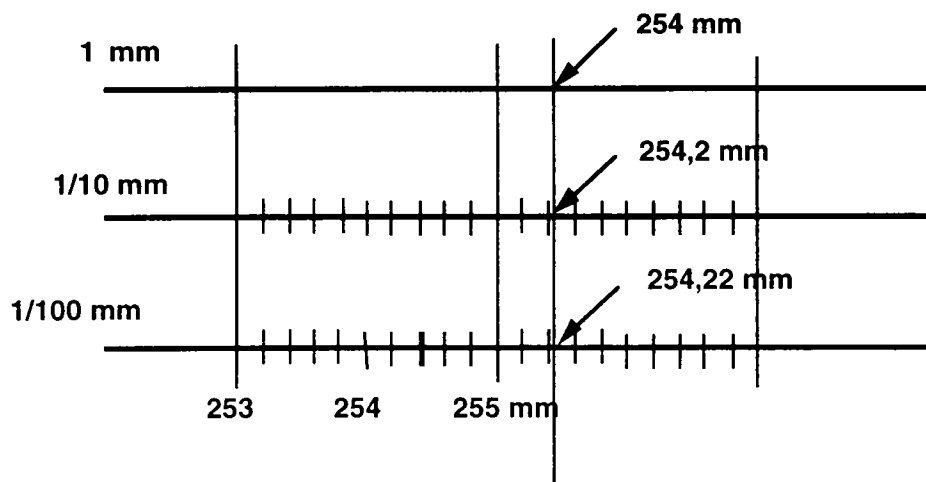
## 21. Toleranser og pasninger i møbel- og trevareproduksjon

De gamle håndverkere utførte som oftest selv hele arbeidet fra valget av råmateriale til sammenstillingen av det ferdige produkt. Besto et produkt av flere deler ble disse laget slik at hver del ble tilpasset den foregående. To håndverksprodukter av samme slag var derfor som regel ikke så like at delene kunne anvendes om hverandre. Ved reparasjon av eldre produkter merkes dette tydelig fordi det som oftest ikke kan taes en gammel del fra lageret, men nye deler må lages og tilpasses det gamle produktet. Ved en god del av den håndverksproduksjonen som foregår idag er forholdene fortsatt de samme.

Ved fabrikkmessig fremstilling blir det imidlertid om å gjøre at en kan lage delene uavhengige av hverandre med hensyn til rekkefølge og med utstrakt bruk av underleverandører også med hensyn til produksjonssted. Skal man få dette til må man ha et system for å sikre at alle involverte er i stand til å fremstille delene slik at de når de skal stilles sammen virkelig passer.

For å få dette til anvendes det toleransesystemer som sikrer at pasningene og vinklene er slik vi vil ha.

Med et toleransesystem mener vi et system som setter opp regler for hvordan vi måler og beskriver de avvik fra det absolutte mål som vi kan tolerere. Når det er behov for slike systemer er det fordi det nesten bestandig finnes avvik - dersom vi anvender stor nok "forstørrelse". Hvor nøyaktig vi synes en gjenstand er bearbeidet avhenger av hvor findelt skalaen er som vi bruker til å vurdere nøyaktigheten. I nedenstående eksempel er vist hva vi finner når vi måler en gjenstand med henholdsvis en millimeterskala, et skyvelære med 1/10 - mm skala og et mikrometer som tillater avlesning med 1/100 - mm nøyaktighet.



Med millimetermålet vil en dimensjon som er litt over 254 mm bli avlest som 254 mm. Med avlesning med en skyvelære med en 10-delt mm skala vil vi avlese litt over 254,2 mm og det vil bli tolket som 254,2. Leser vi av med et mikrometer som tillater avlesning med en 1/100 mm nøyaktighet finner vi 254,22. Hva vi finner hvis vi anvender en enda nøyaktigere målemetode kan man antakelig lett forestille seg. I dette ligger at hva vi forstår med nøyaktighet ved fremstillingen er avhengig av hva vi har definert som dimensjonsmålet og hva vi måler med. For hver prosess vi arbeider med har vi en bearbeidingsnøyaktighet som er avhengig av ihvertfall:

- Verktøyet
- Maskinene
- Materialet
- Innspenningen og innstillingen

Det er variasjoner i disse faktorene og en rekke andre som gjør at vi for hver operasjon må forvente en spredning av målene på det ferdige produktet (delen). Ofte er de målene vi finner tilfeldig gruppert om en middsverdi etter en Gausskurve eller som vi ofte benevner det: normalfordelt.

En Gaussfordeling er karakterisert ved at den er symmetrisk om middsverdien. Vi kan videre regne ut noen karakteristiske verdier for en slik kurve. Det såkalte standardavvik regnes ut etter følgende formler når  $n \geq 50$  og  $n < 50$ , henholdsvis ( $n =$  antall mål som inngår i fordelingen):

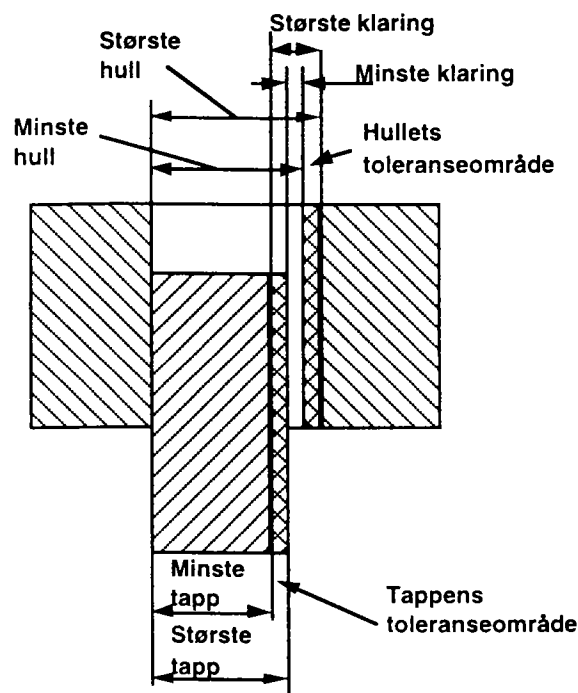
$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{for } n \geq 50$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{for } n < 50$$

Forutsetningen for at en prosess er normalfordelt er at det ikke er noen begrensninger som gjør at et mål ikke kan bli over eller under en spesiell størrelse. I en høvelmaskin har vi vanligvis en slik typisk begrensning. Det vi høvler kan komme ut av maskinen atskillig tynnere enn det vi har innstilt maskinen til å gi oss av tykkelse mens det ikke er noen særlig mulighet for at det kan komme ut trebiter som er vesentlig tykkere enn det innstillingen tilsier. I et slikt tilfelle får vi en klar skjevfordeling av målene.

### Høvlingskurven

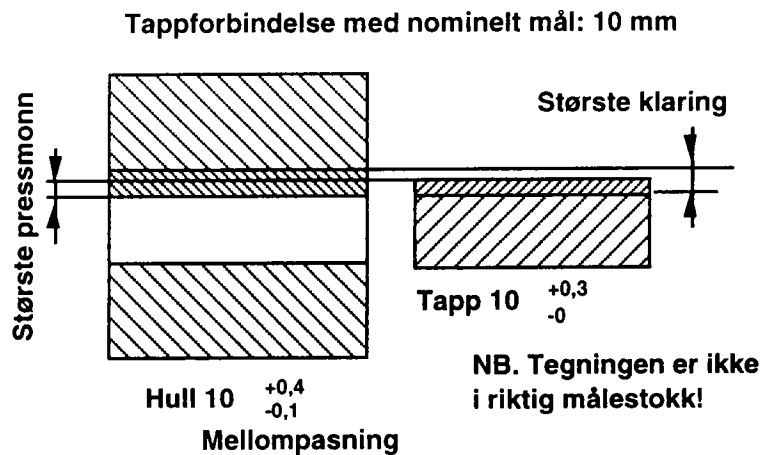
Den variasjon vi får når vi bearbejder delene gjør at vi for sammenhørende deler får varierende sammenpasning. La oss som eksempel betrakte de variasjonene vi kan finne ved en tappforbindelse slik som det er illustrert i figuren under:



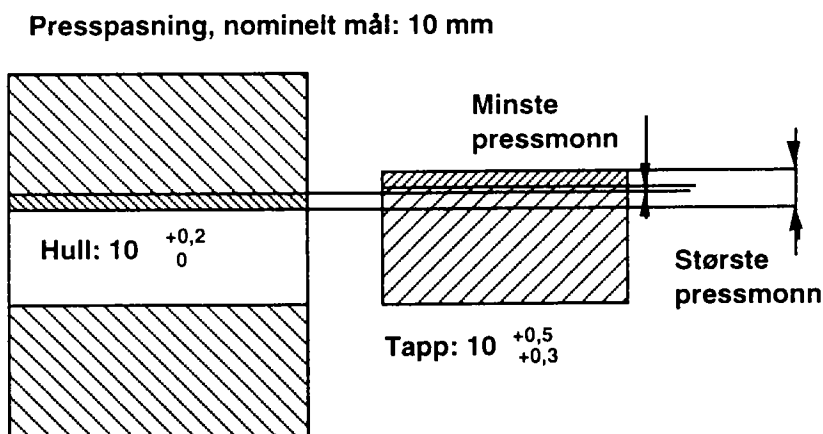


Med de målene og de variasjonene som er tegnet inn på figuren ser vi at det største mellomrommet mellom tapp og hull er anslagsvis tre ganger så stort som det minste.

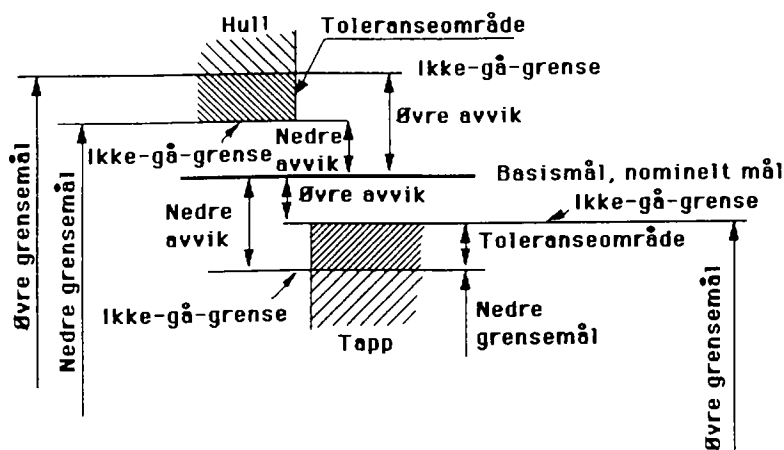
Når vi vet de ytre og indre grensene for dimensjonene for de enkelte sammenhørende deler fastlegger vi samtidig hva slags pasning vi vil ha. Er f.eks. en tapp helt sikkert mindre enn hullet har vi en klaringspasning. Er tappen helt sikkert større enn hullet har vi en presspasning. I mellområdet sier vi som regel at vi har en mellompasning. I illustrasjonen som følger er vist en prinsippskisse av en mellompasning. Ofte når vi utformer forbindelser opererer vi med et basismål eller et nominelt mål, i dette tilfellet 10 mm. Legg merke til hvordan vi har avmerket avvikene fra det nominelle målet. Disse tallene er det vi benevner toleransegrenser. Når de står på en arbeidstegning er det en beskjed om at det er innen de grensene at sluttmålene skal være. Dersom de maskinene vi har klarer å lage tappen ikke mindre enn 10,0 mm og ikke tykkere enn 10,3 mm og hullet mellom 9,9 mm og 10,4 mm så kan vi få en største klaring som er differansen mellom det største hullet = 10,4 mm og den minste tappen = 10,0 mm, dvs. 0,4 mm. Det største pressmonnet får vi mellom det minste hullet = 9,9 mm og den største tappen = 10,3 mm, dvs. 0,4 mm.



Det neste eksemplet viser en presspasning. Det minste pressmonnet får vi mellom den minste tappen og det største hullet, i dette eksemplet 0,1 mm. Det største pressmonnet blir mellom det minste hullet og den største tappen, i dette eksemplet 0,5 mm.



I det neste eksemplet er det vist en prinsipiell tegning av en klaringspasning. Legg merke til de betegnelsene som er anvendt på de forskjellige målene. Ved praktisk produksjon må en ha en metode for å kontrollere at målene er innen de grensene en er interessert i og da anvendes ofte begrepene grensemål eller gå-/ikke-gå-grenser. I det oppstilte eksemplet er det tillatt at målene på henholdsvis tapp og hull ligger innenfor toleranseområdene. De målene som tilsvarer toleranseområdenes yttergrenser blir således ikke-gå-grenser.



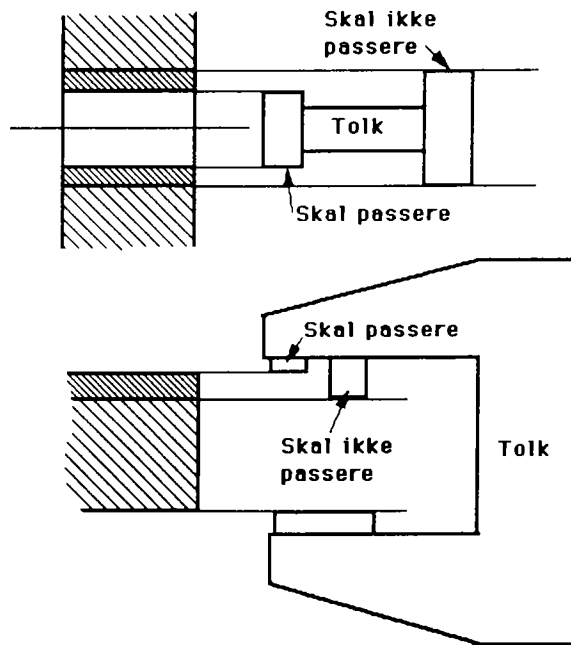
Jo finere toleranser en vil benytte dess dyrere blir det ofte fordi det gjerne tar lenger tid å stille inn maskiner og utstyr, produksjonen må kontrolleres hyppigere og dersom det oppstår avvik vil en ofte få kassasjon eller fornyet bearbeiding av delene.

Hvilke toleranser en skal nytte avhenger selvsagt av kapabiliteten på maskiner og utstyr. Utgangspunktet for hvilke toleranser og pasninger som skal spesifiseres må derfor være at man først undersøker hva bedriftens maskiner og utstyr har av variasjonsområder. Enklest skjer dette ved at man produserer en liten serie (helst så stor som mulig og gjerne 50 eller mer, da dette gir det beste statistiske grunnlaget) og måler variasjonen i målene og/eller vinklene. Idag er de fleste litt større lommekalkulatorene utstyrt med beregningsprogrammer for standardavvik (s). Når man kjenner maskin- og utstyrsparkens variasjonsområder kan man mye sikrere spesifisere toleranser og pasninger som er realistiske.

Fra tidligere kjenner vi endel forskjellige trebearbeidingsmaskiners bearbeidingsnøyaktighet. Hvilken nøyaktighet en maskin har avhenger ikke minst av hvor fast arbeidsstykkene holdes eller hvor nøyaktig de føres forbi verktøyene. Moderne maskiner med fastspente arbeidsstykker, slik vi ser det ved f.eks. numerisk styrte overfresmaskiner, vil sannsynligvis oppvise større nøyaktighet.:

<b>Tykkelseshøvler:</b>
$\pm 0,20$ mm - $\pm 0,40$ mm - gjennomsnitt - $\pm 0,30$ mm
<b>Moldinger:</b>
$\pm 0,10$ mm - $\pm 0,40$ mm - gjennomsnitt - $\pm 0,30$ mm
<b>Valse- og kontaktpussemaskiner:</b>
$\pm 0,18$ mm - $\pm 0,35$ mm - gjennomsnitt - $\pm 0,30$ mm
<b>Boremaskin for hull til 10 mm sentrumstapper:</b>
$\pm 0,10$ mm - $\pm 0,25$ mm - gjennomsnitt - $\pm 0,15$ mm
<b>Dobbel justersag - platestørrelse: 665 mm x 370 mm:</b>
Lengde: $\pm 0,10$ mm - $\pm 0,37$ mm - gjennomsnitt - $\pm 0,20$ mm
Bredde: $\pm 0,12$ mm - $\pm 0,37$ mm - gjennomsnitt - $\pm 0,28$ mm
Vinkelretthet: $\pm 0,25$ mm avvik ved endene.
Sidekrumming: ca. $\pm 0,18$ mm på de lange sider
<b>Dobbeltappmaskiner ("gjennomsnittsplater"):</b>
Lengde og bredde: $\pm 0,15$ mm - $\pm 0,30$ mm - gjennomsnitt - $\pm 0,20$ mm
Vinkelretthet: $\pm 0,20$ mm - $\pm 1,1$ mm, gjennomsnittlig - $\pm 0,42$ mm
Sidekrumming over 80 mm lengde: ca. $\pm 0,17$ mm
Tapptykkelse: ca. $\pm 0,17$ mm
Avstand fra anleggsflate til tapp: ca. $\pm 0,30$ mm
Tapplengde: ca. $\pm 0,28$ mm

Måling av variasjonene som oppstår i produksjonen kan skje på en rekke forskjellige måter. Ved enkeltstykk- og småserietilvirkning vil det enkleste normalt være å anvende vanlig måleverktøy som skyvelærer og tilsvarende. Idag finnes det også registrerende skyvelærer som gjør det enklere å ta vare på målene ved at de overføres til en kalkulator eller en datamaskin.



Ved serietilvirkning vil det ofte være behov for hjelpemidler som sikrer at målene er innen de aksepterte grensene. Det mest vanlige er da å anvende tolker eller lærer - fast innstilte måleverktøy som definerer de største og minste tillatte målene. I nedenstående illustrasjon er det vist prinsippet for tolker for såvel innvendig som utvendig bruk. For mekanisk industri er det utarbeidet egne standarder for de forskjellige toleranse- og pasningsområdene og det kan kjøpes tolker som er tilpasset de forskjellige områdene.

**Birger Eikenes**  
**Institutt for skogfag, NLH**

## **KVALITETSKONTROLL I TRELASTINDUSTRIEN**

### **Innledning**

I løpet av det siste tiåret er det fokusert sterkt på en rekke nye begrep, hvor ordet *kvalitet* inngår. De internasjonale ISO 9000-standardene som ble utgitt i 1988, har vært hovedgrunnen til dette. Særlig har vareproduserende bedrifter lagt ned mye innsats for å finne fram til hvordan kvalitetsarbeidet bør ledes, sikres, styres og kontrolleres. Men det er også andre forhold som har bidratt til denne fokuseringen på kvalitet. Noen stikkord er:

- EØS-avtalen – markedene for industribedriftene har stadig blitt mer internasjonale
- sertifisering av kvalitetssystemer, produkter og/eller personell – i løpet av de siste årene er det satset betydelig på dette i Europa
- internkontroll (IK) – dette er et prinsipp som de ulike tilsynsmyndighetene (arbeidstilsyn, forurensningstilsyn osv) i Norge har gått over til å benytte. Hovedvekten er lagt på helse, miljø og sikkerhet (HMS). Prinsippet stammer fra offshore-virksomheten, men med de nye forskriftene for internkontroll som tok til å gjelde fra 1.1.92, omfatter nå internkontrollinstruksene nær sagt all virksomhet. Det er mange likhetstrekk mellom internkontroll og kvalitetssikring, og det er derfor et klart behov for å se disse i sammenheng.

### **Kvalitetsbegrepet**

Ordet *kvalitet* har ingen presis betydning i dagligtalen, men de fleste forbinder det nok med et positivt innhold. Ordet stammer opprinnelig fra det latinske «qualitas» som kan oversettes med «hvordan objektet er sammensatt» i betydningen «som objektet virkelig er». Begrepet har altså et objektivt innhold, knyttet til selve produktet. Men det har også et subjektivt innhold, knyttet til brukerens oppfatning av produktet, eller produktets evne til å tilfredsstille spesielle forventninger, ønsker eller behov hos brukeren. Et par langrennski kjøpt på salg kan være god kvalitet for en som går søndagstur, men vil neppe være det for en OL-deltaker.

NS-ISO 8402, som er en del av ISO 9000-systemet, definerer begrepet *kvalitet* som «helhet av egenskaper og kjennetegn et produkt eller tjeneste har, som vedrører dets evne til å tilfredsstille fastsatte krav eller behov som er antydnet». Kortere kan vi si at «med kvaliteten av et produkt menes produktets egnethet for bruksformålet». En annen kortversjon er «overensstemmelse med spesifiserte krav».

I denne gjennomgangen skal vi konsentrere oss om hvordan deler av kvalitetskontrollen kan gjennomføres i trelastindustrien. Når vi innledningsvis har sagt litt om kvalitet generelt, er det bare for å sette kvalitetskontrollen inn i en større sammenheng.

Kvalitetskontroll er altså en produktkontroll som gjennomføres mer eller mindre systematisk i alle produksjonsbedrifter. Arbeidet med forbedring av produktkvaliteten vil normalt foregå i trinn slik det er illustrert i fig. 1. I denne gjennomgangen skal vi konsentrere oss om første trinn i «kvalitetstrappa», og bare slå fast at det ikke er mulig å nå de øverste trinnene uten å ha brukt tid på trinnene foran.

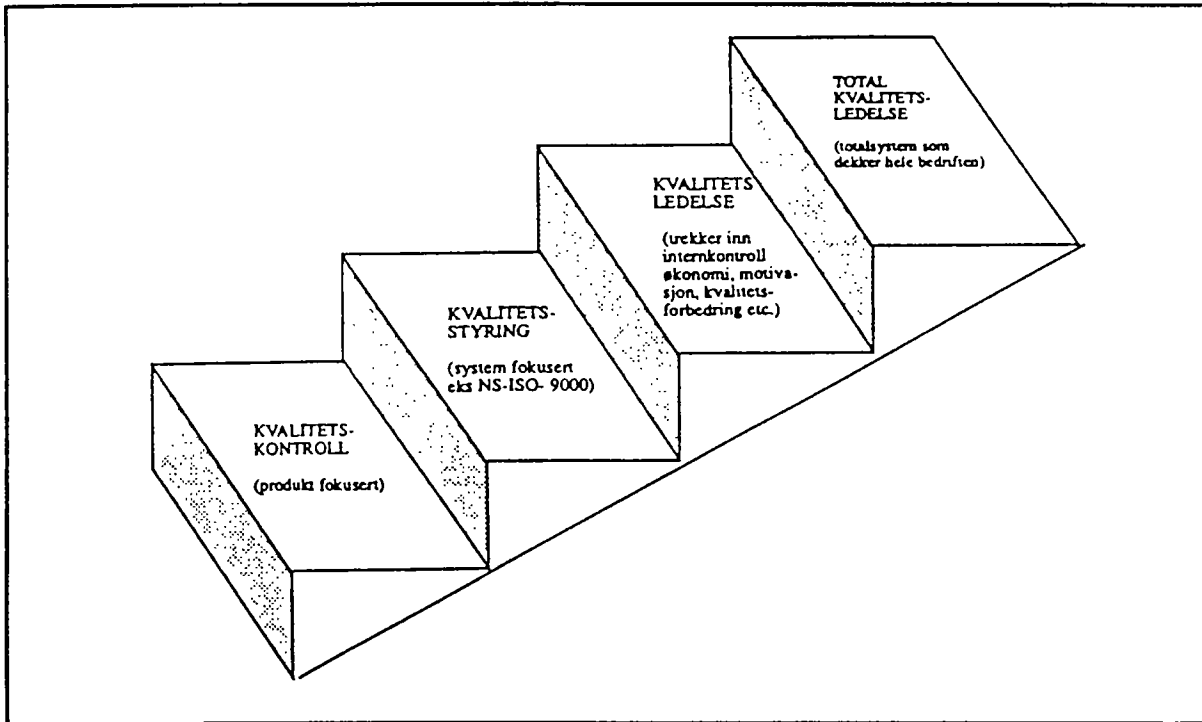


Fig. 1 Kvalitetsteknikkens utvikling (Nordby & Hay 1993).

I kvalitetsstandarden (NS-ISO 8402) er også andre begrep definert, bl. a. kvalitetskontroll, kvalitetsledelse, kvalitetsplan, kvalitetssikring, kvalitetsstyring, kvalitetsrevisjon og kvalitetssystem.

*Kvalitetskontroll* er «aktiviteter som måling, undersøkelse, prøving og tolkning av ett eller flere kjennetegn ved et produkt eller en tjeneste og sammenligning av disse med spesifiserte krav for å fastslå overensstemmelse». I trelastbransjen er det utgitt en rekke standarder hvor de kravene som skal oppfylles er spesifisert. Det er jo nettopp dette som er grunnlaget for å lage slike produktstandarder, at produsent og bruker av produktet skal vite hva man bør forvente av produktet når det gjelder en rekke målbare faktorer.

Eksempler på slike standarder er:

NS 3079 Trelast. Dimensjoner

NS 3080 Kvalitetskrav til trelast for konstruktive formål

NS 3082 Generelle krav til høvellast

## Produkt- og prosesskontroll

Vi skal i det etterfølgende konsentrere oss om kontroll av dimensjonene på trelasten. Det er viktig at tykkelse og bredde holder de mål man har planlagt. En av hovedgrunnene til at dette ikke er så enkelt er at trevirke reagerer med krymping eller svelling avhengig av om vann fjernes eller tilføres.

Det er imidlertid viktig å være klar over at kvalitetskontroll kan og bør gjennomføres for alle forhold hvor standarder eller kunder stiller krav. Det kan være forhold som er vanskeligere å måle, f.eks. kvistmengde, tekstur eller utseende generelt, eller det kan være krav til styrke, hardhet osv.

Kvalitetskontrollen har normalt to formål:

- *skille ut enheter* som ikke oppfyller de kravene som er stilt slik at disse ikke går til videre bearbeiding eller sendes til kunden
- *framskaffe data* (tilbakemelding) fra produksjonsprosessen til bruk i kvalitetsstyringen

Kvalitetskontrollen kan være *destruktiv* eller *ikke-destruktiv*, og den kan omfatte alle enheter i partiet eller være begrenset til deler av det. Kontrollen kan dessuten gjennomføres ved bruk av ulike hjelpemidler (måleinstrumenter eller lignende).

*100%-kontroll* betyr at alle enheter i partiet kontrolleres. Dette er den mest kostbare kontrollmetoden, men den gir samtidig den største sikkerheten for at alle feil-enheter blir skilt fra. Metoden benyttes derfor oftest ved ikke-destruktiv kontroll av kritiske feil.

*Stikkprøvekontroll* kan betraktes som en samlende betegnelse for alle metoder der kontrollen foretas ved å trekke en stikkprøve fra partiet og kontrollere hver enhet i stikkprøven. Stikkprøvekontroll foregår oftest etter statistiske prinsipper.

*Tilvirkningskontroll* er en fellesbetegnelse på kontroll som foretas under tilvirkningen av produktene i den hensikt å forhindre at detaljer eller produkter av ikke-tilfredsstillende kvalitet tilvirkes og føres videre i produksjonsapparatet.

Behovet for tilvirkningskontroll oppstår fordi enhver tilvirkningsprosess er utsatt for variasjoner i råmaterialer, personell, ytre forhold m.v. Så lenge variasjonene i disse faktorene er små og «tilfeldige», vil den resulterende virkning være relativt liten og sluttproduktet vil falle innenfor toleransegrensene hvis disse er riktig satt. Prosessen er da «under kontroll». Fra tid til annen hender det imidlertid at de tilfeldige faktorene påvirker sluttresultatet i samme retning. Sluttproduktet vil da kunne falle utenfor toleransegrensene, og prosessen er «ute av kontroll». Det samme vil være tilfelle hvis variasjonene i en eller flere av enkeltfaktorene blir unormalt store.

Tilvirkningskontrollen deles gjerne i to: *Innstillingskontroll* og *regulær tilvirkningskontroll*.

*Innstillingskontroll* er overvåking av at verktøyet er korrekt innstilt i maskinen etter verktøybytte og at utstyret ellers er riktig montert. Endelig klarsignal til å

starte den regulære tilvirkning gis når den tilvirkede del i verktøyet er kontrollert på alle punkter, som kan påvirkes av den aktuelle operasjonen, og alle registreringer ligger innenfor oppgitte toleransegrenser. En effektiv innstillingskontroll er av stor betydning for å unngå «systematiske» feil.

*Regulær tilvirkningskontroll* er den kontrollen som foretas av produktene under regulær tilvirkning. Hensikten er dels å styre prosessen, dels å skille fra produktenheter med feil.

Styring av prosessen kan gjennomføres enten gjennom direkte kontroll av prosessfaktorene (temperatur, hastighet osv) eller indirekte gjennom kontroll av produktenes karakteristika (dimensjoner, overflate osv). I det siste tilfellet er det med andre ord ikke den enkelte produktenhet i seg selv som interesserer, men enhetene inspiseres for å gi informasjon om prosessen de stammer fra.

## Kontrollmetoder

De kontrollmetoder som står til disposisjon, bygger ofte på statistiske prinsipper, og deles gjerne i to hovedgrupper:

1. *Målekontroll* – tilvirkningsresultatet måles langs en kontinuerlig skala (i millimeter, volt, pH e.l.)
2. *Tellekontroll* – tilvirkningsresultatet telles i antall godkjente og antall tilbakeviste enheter (f.eks. ved kontroll med faste tolker)

Felles for disse kontrollmetodene er at deres viktigste formål er å styre prosessen slik at sluttresultatet blir liggende innenfor *toleransegrensene*. Metodene knytter seg derfor i stor utstrekning til bruk av diagrammer som gir et visuelt bilde av prosessens beliggenhet i forhold til toleransegrensene eller de såkalte *kontrollgrensene* (upper control limits (UCL), lower control limits (LCL)).

Moderne statistikkprogram har ofte mulighet for å vise slike kontrollidiagram direkte basert på registrerte eller importerte data.

Målekontrollen gir opplysninger om enhetenes nøyaktige beliggenhet i forhold til en skala. Den vil derfor i prinsippet kreve færre stikkprøver fra tilvirkningen enn tellekontrollen. På den annen side vil kontroll utført med måleutstyr stille større krav til personellet enn kontroll utført f.eks. med faste tolker. Det er heller ikke alltid mulig å måle et resultat – det må telles (f.eks. ved kontroll av vevefeil ved tekstiltilvirkning, feil i glass, papir o.l.).

De mest vanlige metoder ved målekontroll er:

1. Frekvensdiagram
2. X-diagram
3. Multivariasjonsdiagram
4. X-bar/R-diagram

**Frekvensdiagram**

Frekvensdiagram – gir et bilde av hvordan måleresultatene fordeler seg enkeltvis langs en skala. Fig. 2 viser noen eksempler.

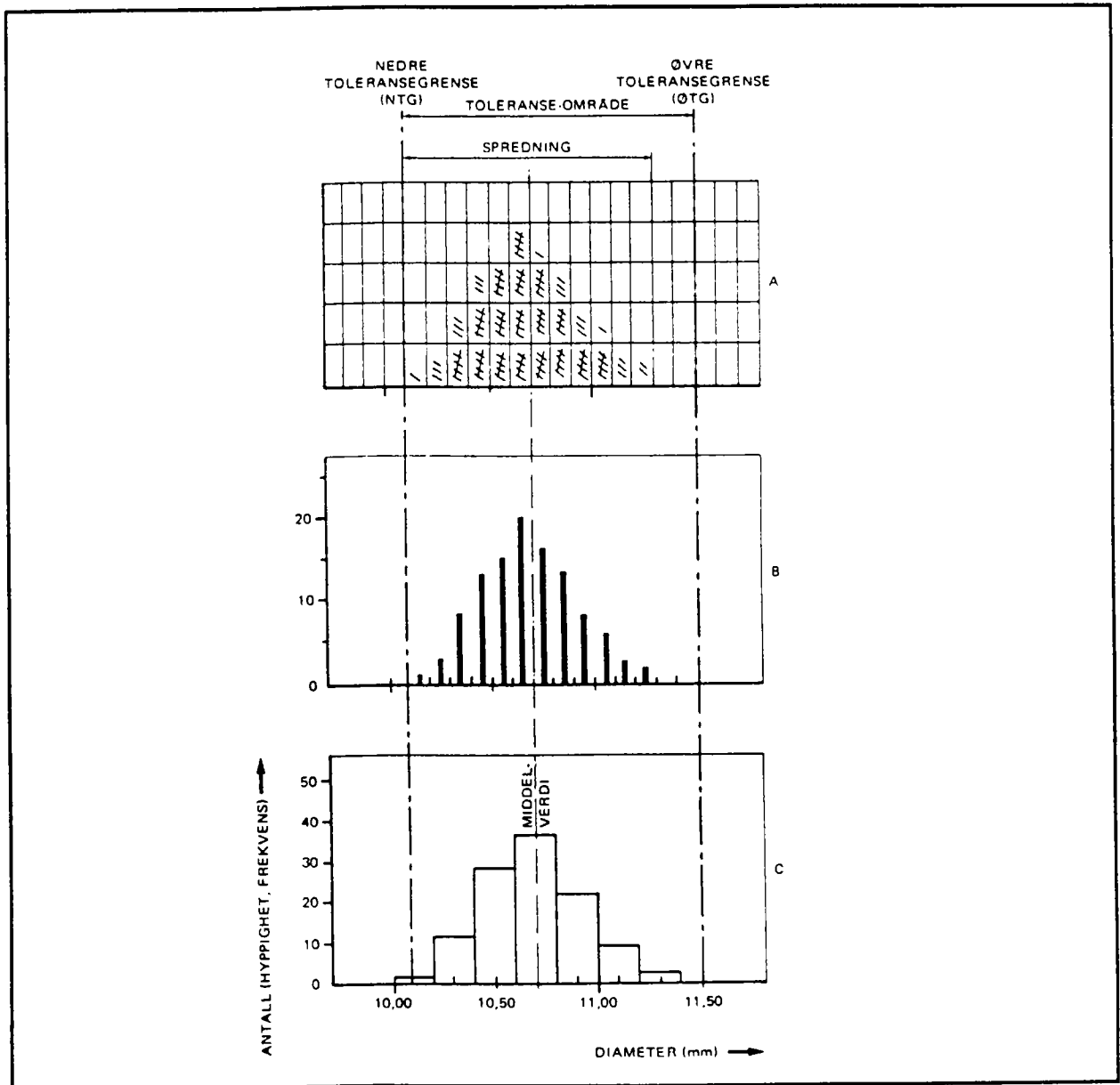


Fig. 2. Frekvensdiagram (Jersin 1993).

A = frekvenstabell

B = stolpediagram

C = histogram

Prosessens toleranseområde:  $\text{ØTG} - \text{NTG} = 11,50 - 10,10 = 1,40 \text{ mm}$

Prosessens spredning:  $11,30 - 10,10 = 1,20 \text{ mm}$

Prosessens middelvei:  $10,70 \text{ mm}$

Av diagrammene kan følgende konklusjoner trekkes:



- Prosessens spredning er mindre enn toleranseområdet.
- Prosessens middelvei kan med fordel justeres opp ca. 0,10 mm, slik at den blir liggende midt i toleranseområdet. Prosessen kan da sies å være under kontroll.
- Enkelte måleverdier vil sannsynligvis falle utenfor toleransegrensene under den videre tilvirkning. Skal dette unngås, må prosessens spredning innskrenkes.

### X-diagram

X-diagram – viser hvordan måleresultatene varierer med tiden som vist i fig. 3. Hvert måleresultat merkes av med et kryss. Ved å trekke en strek mellom disse, kan man få et visst inntrykk av hvordan prosessen varierer med tiden. Oftest foretrekkes imidlertid en av de to neste metodene, fordi disse metodene tillater en tidligere inngripen når prosessen er i ferd med å komme ut av kontroll.

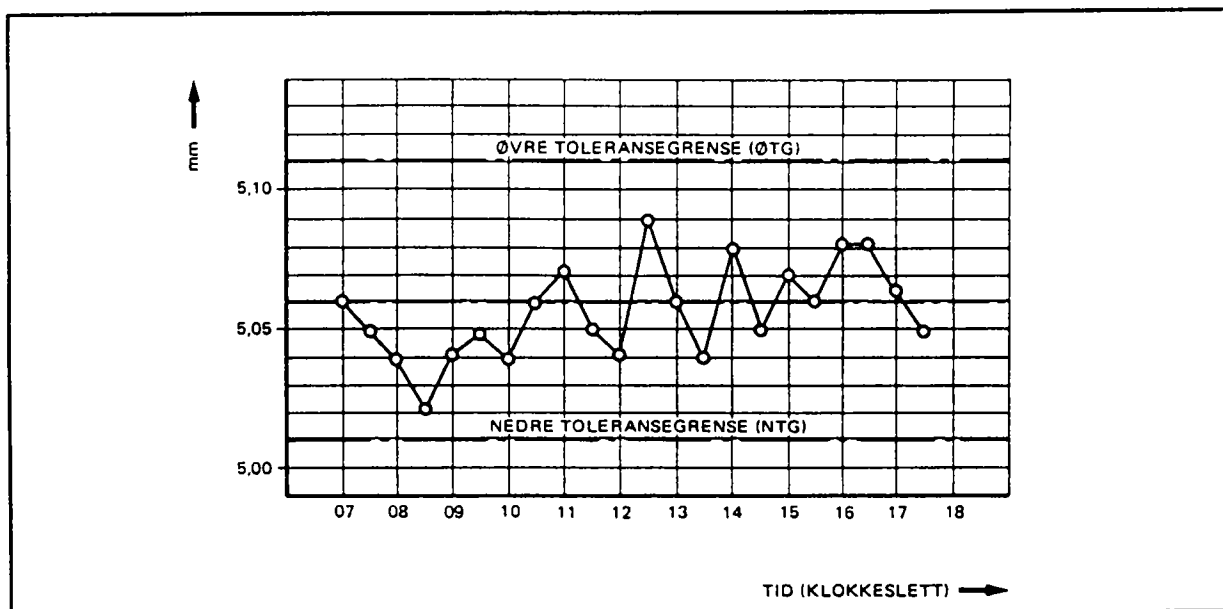


Fig. 3. Diagram over enkeltverdier (X-diagram) (Jersin 1993).

Prosessens synes å være under kontroll, idet ingen måleverdier faller utenfor toleransegrensene og ingen tydelig trend er til stede.

### Multivariasjonsdiagram

Multivariasjonsdiagram (eng. Multi-vari chart) – gir både et inntrykk av prosessens spredning og dens variasjoner med tiden slik det er illustrert i fig. 4.

Diagrammet er egentlig et x-diagram, bare med den forskjell at det er innført en "tredje dimensjon", idet diagrammet også viser variasjonen innen en enkelt enhet (f.eks. diameteren i hver ende av en aksel). Dette gir mulighet for meget raskt å skaffe seg et overblikk over prosessen. Metoden er derfor velegnet for enkle undersøkelser av prosessens kapabilitet (spredning), og kan også benyttes til regulær styring av prosessen.

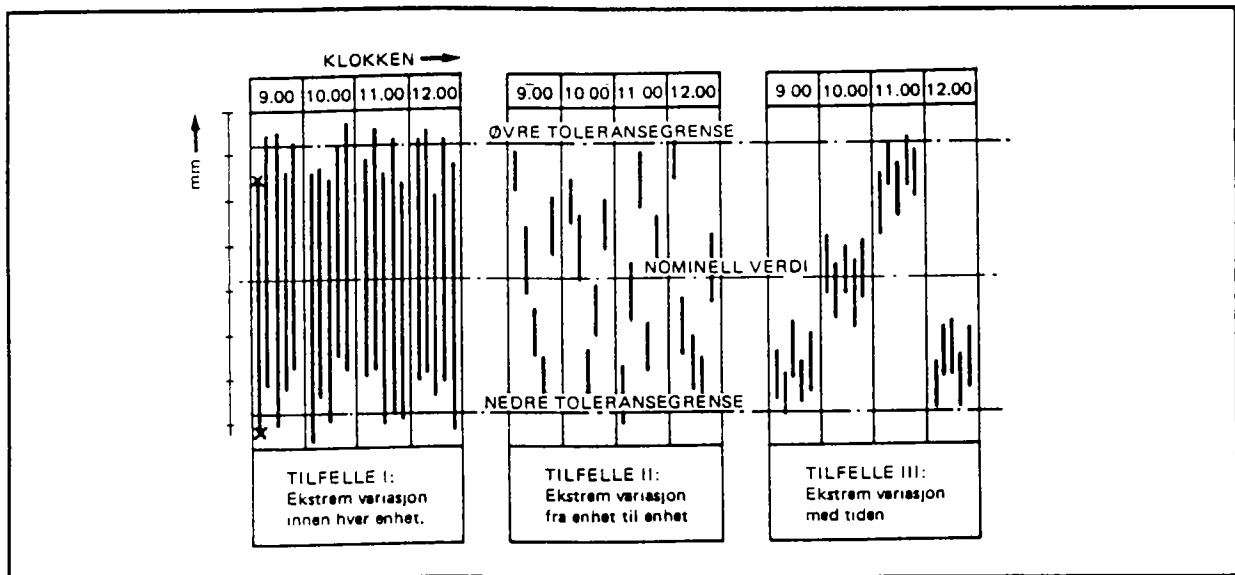


Fig. 4 Multivariasjonsdiagram (Jersin 1993).

I eksemplet tas en stikkprøve på fem enheter hver hele time. Hver enhet måles på to steder (f.eks. i hver ende av en aksel) og måleresultatene merkes av (sml. kryssene i tilfelle I). Mellom verdiene trekkes en strek. Lengden av streken representerer dermed variasjonen mellom de to målepunktene. Strekenes beliggenhet i forhold til nominell verdi gir et bilde av prosessens sentring.

### X-bar/R-diagram

X-bar/R-diagram- er den mest kompliserte, men også den av de nevnte metodene som ofte egner seg best til å styre prosessen og holde den under kontroll (fig. 5).

X-bar-diagrammet er bygd opp som X-diagrammet (fig. 3), men med den vesentlige forskjell at det for hvert tidsintervall trekkes ut en stikkprøve på 4-5 enheter fra prosessen. Siden disse er tatt ut på samme tidspunkt, vil en eventuell forskjell mellom enhetene vesentlig skyldes *tilfeldige* variasjoner i råmateriale, maskiner, stillverk etc. Ved å beregne eller anslå middelveien for hver stikkprøve og markere denne i diagrammet, får man fram et tydeligere bilde av eventuelle tendenser til *systematiske* variasjoner eller trender i prosessen. Videre kan de såkalte *kontrollgrenser* beregnes. Hvis X-verdiene overskrider en av disse, er det et varsel om at prosessen snart vil overskride den tilsvarende *toleransegrensen* og derfor bør korrigeres.

For å holde styring på de tilfeldige variasjonene, er det imidlertid nødvendig å ha et lignende diagram for forskjellen mellom enhetene innen hver stikkprøve (R-verdien, engelsk "range value"). Bare hvis både X-bar- og R-diagrammet holder seg innenfor sine respektive kontrollgrenser, kan prosessen sies å være under kontroll. Korreksjon er da ikke nødvendig.

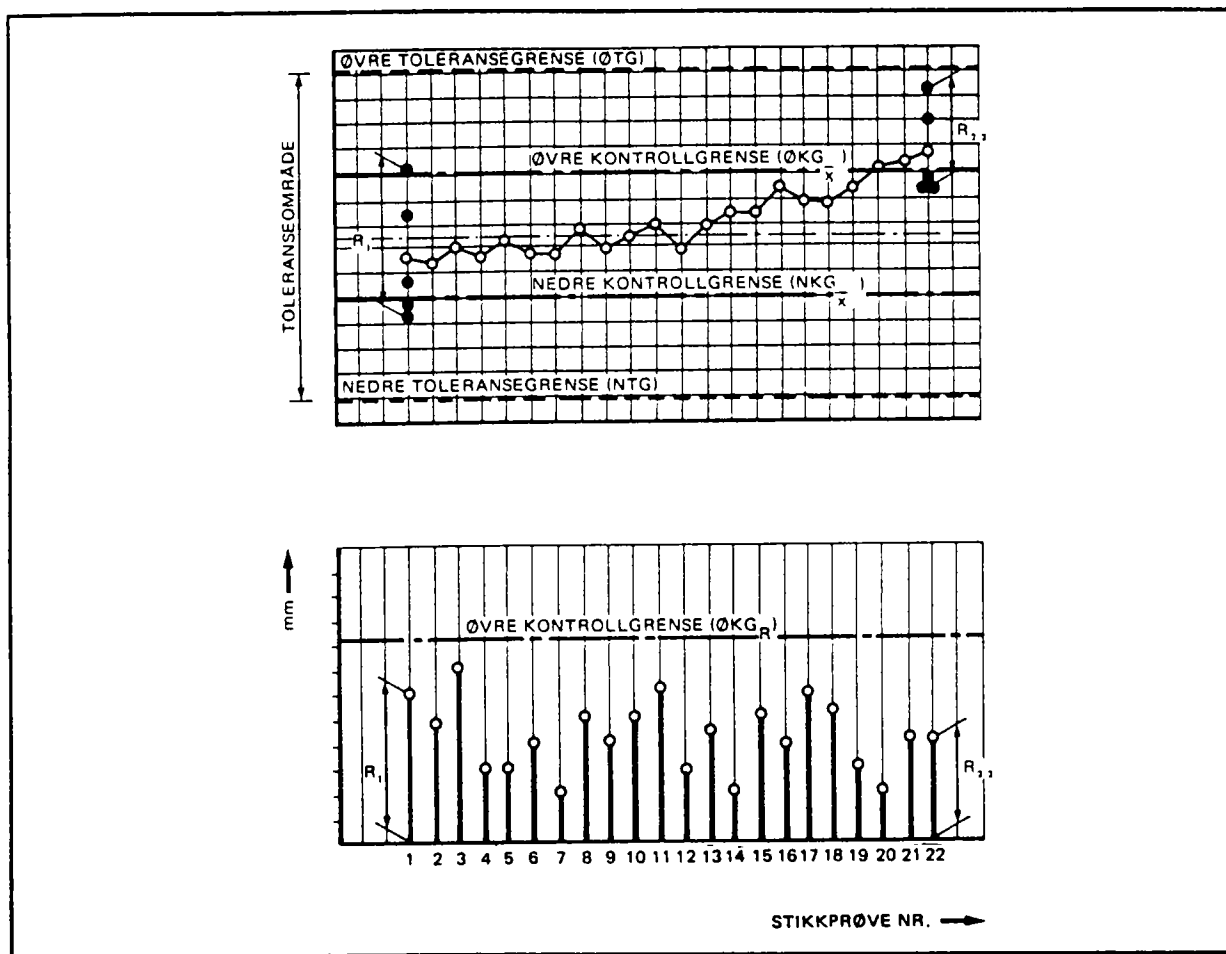


Fig. 5.  $\bar{X}$ -bar/R-diagram for vilkårlig valgt prosess ( $\bar{X}$ -diagrammet øverst, R-diagrammet nederst) (Jersin 1993).

Måleresultater fra stikkprøven er markert med •, middelveiene med ° i  $\bar{X}$ -bar-diagrammet. Av sistnevnte framgår det at prosessen viser en tydelig trend mot økende verdier ved slutten av perioden. De siste  $\bar{X}$ -verdiene faller utenfor ØKG<sub>x</sub>, og prosessen bør derfor nå korrigeres. Dette varsel kommer, som man ser, før toleransegrensen overskrides. R-verdiene er i eksemplet hele tiden under kontroll.

Metodene ved tellekontroll bygger stort sett på de samme prinsippene som  $\bar{X}$ -bar/R-kontrollen, men siden det dreier seg om kategoriske variabler (i motsetning til kontinuerlige) må vi bruke andre formler for å beregne kontrollgrensene. Det finnes ulike metoder som er kort omtalt hos Jersin (1993).

### Spesielle forhold i trelastindustrien

Det er mange grunner til at tømmeret skjæres til trelast mens det har en fuktighet over fibermetningspunktet. Den rå trelasten må derfor ha dimensjoner som er større enn de tørre målene, siden trelasten vil krympe når den tørkes ned til 20% eller mindre. Siden krympingen er forskjellig i tangentiell og radiell retning i trevirket, medfører dette ikke bare dimensjonsendringer, men også

formendringer. Krympingen er dessuten forskjellig for ulike planker og varierer også innen en enkelt planke avhengig av densitet, kvistmengde, fiberforløp etc.

Vi får alltid en viss unøyaktighet ved skur av trevirke, ved at sagbladet ikke går helt rett gjennom trevirket. Det er denne unøyaktigheten som kanskje litt misvisende kalles *skurnøyaktighet*.

Vi får dessuten en overflateruhet eller profildyp som skyldes at sagtannen ikke skjærer av trefibrene like «rent» hele veien, men river opp fiberbunter i overflaten.

Det er altså tre former for formendringer og unøyaktigheter vi finner hos den tørre trelasten, og de skyldes:

- krymping
- skurnøyaktighet
- overflateruhet

Unøyaktighetene medfører at det må opereres med et visst overmål ved all skjæring av trevirke, slik at dimensjonen på ferdigproduktet holder et visst minstemål. Det er særlig ved overgangen fra rå trelast (> 30% fuktighet) til tørr trelast (< 20% fuktighet) at dette overmålet er viktig.

## Krymping

Krympingen er omtrent dobbelt så stor i tangentiell som radiell retning. Hos gran og furu er den ca. 8% og ca. 4% fra fibermetning og ned til 0% fuktighet. Men krympingen vil også variere fra planke til planke. Fig. 6 viser et eksempel for furu.

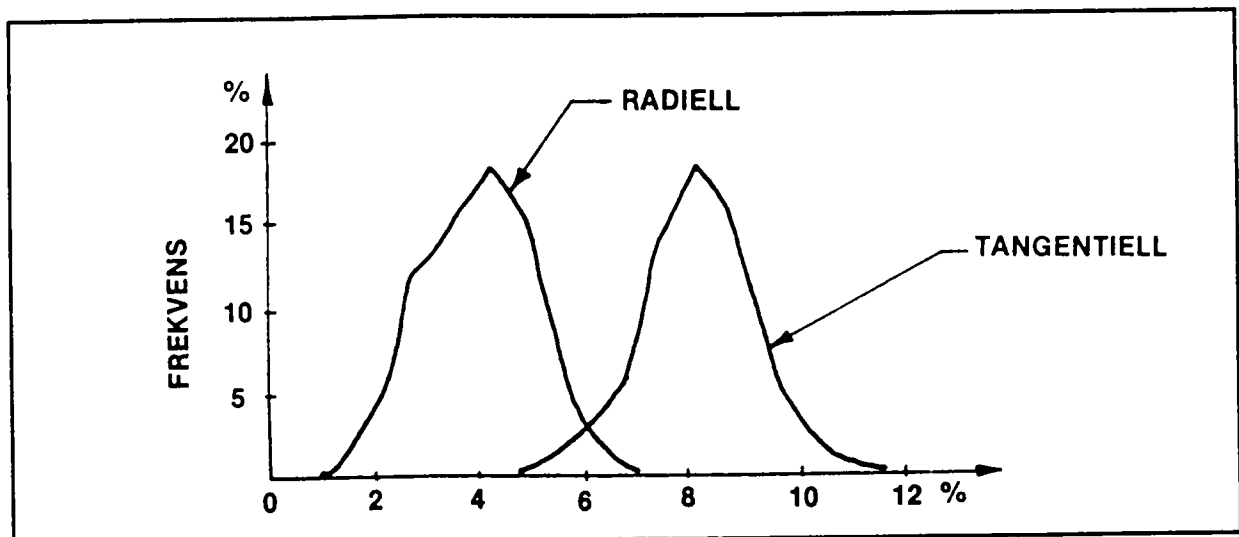


Fig. 6. Målte variasjoner i radiell og tangentiell krymping for furu (Skjelmerud 1982).

Fordi krympingen er forskjellig i tangential og radial retning, vil trelasten kuve etter tørking slik fig. 7 viser.

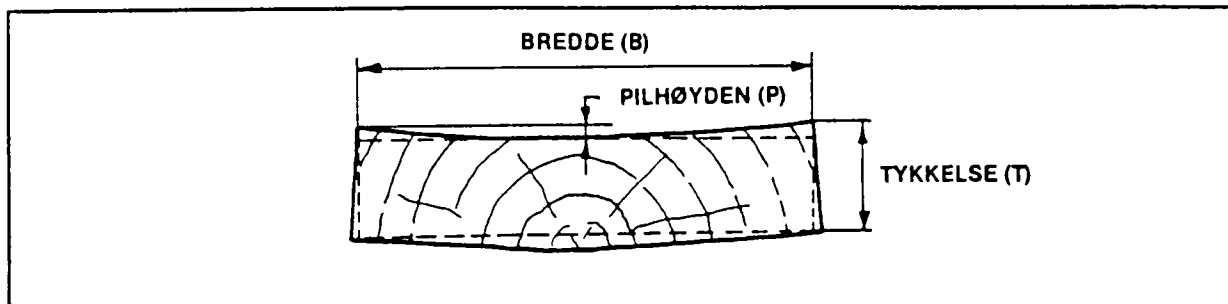


Fig. 7. Eksempel som viser hvordan tørr trelast kuver.

Kuvingen vil være forskjellig alt etter hvor i tømmerstokken planken eller bordet er tatt ut. Tykke planker kuver mindre enn tynne, noe som skulle tilsi at man burde skjære relativt tykke planker. Imidlertid øker risikoen for sprek under tørkingen med økende planketykkelse. Valg av planketykkelse blir derfor en avveining mellom flere forhold som vi ikke skal komme nærmere inn på her.

### Skurnøyaktighet

Ved oppdelingen av tømmeret opererer man med en viss unøyaktighet som gjerne sammenfattes i begrepet skurnøyaktighet. Dimensjonsnøyaktigheten varierer langs planken/bordet. Vi skal komme tilbake til hvor på planken det er vanlig å måle tykkelse og bredde.

Hvis vi i første omgang ser bort fra variasjonen langs planken, men bare måler tykkelsen et sted på hver plank, vil vi se at det er variasjon i tykkelse mellom de ulike plankene. Målinger på et parti kan se ut som vist i fig. 8.

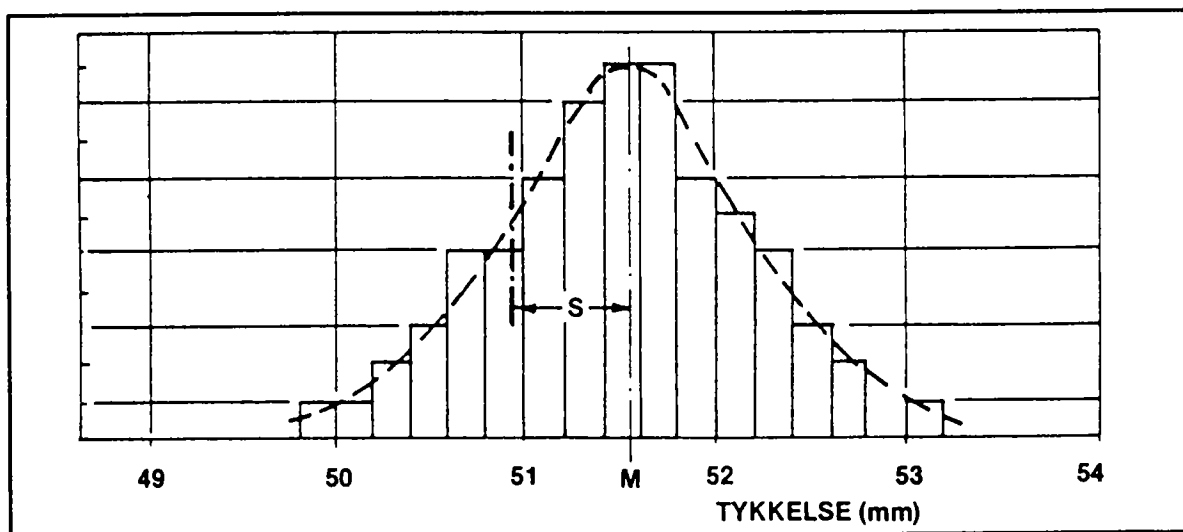


Fig. 8. Et eksempel på variasjon i tykkelse for et parti rå planker.

Skurnøyaktighet kan uttrykkes i form av standardavviket for det utvalget man har målt på. Standardavviket for den rå trelasten betegner vi  $s_x$ . Når vi snakker om skurnøyaktighet tenkes først og fremst på plankenes tykkelse. Skurnøyaktigheten varierer med med en rekke forhold som:

- Maskintype – sirkelsag, båndsag, rammesag
- Maskinkonstruksjon
- Matehastighet
- Sagbladets kvalitet – tannform, strekk, belastning
- Virkeskvalitet – type og dimensjon
- Dimensjonsinnstilling
- Bladstyringer
- Transportutstyr for inn- og utmating av tømmer
- Temperatur
- Skurhøyde
- Operatørens dyktighet

Densitet, tennar og kvistmengde har stor betydning for skurnøyaktigheten. Det samme gjelder selvfølgelig sagbladet og tenneses skarphet. Tynne sagblad vil normalt øke unøyaktigheten, men bladstyringer og matehastighet er minst like viktig, sammen med maskintype og maskinens stabilitet. Stokken må dessuten kunne holdes godt fast under skurprosessen. Og uansett utstyr vil operatørens dyktighet alltid påvirke nøyaktigheten i vesentlig grad.

Nøyaktigheten vil også avhenge av skurhøyden (dimensjonen på tømmeret) og vil avhenge av årstid (særlig temperatur), og hvordan tømmeret har vært lagret.

En tradisjonell framstilling av forskjellen i skurnøyaktighet mellom ulike maskintyper er vist i fig. 9.

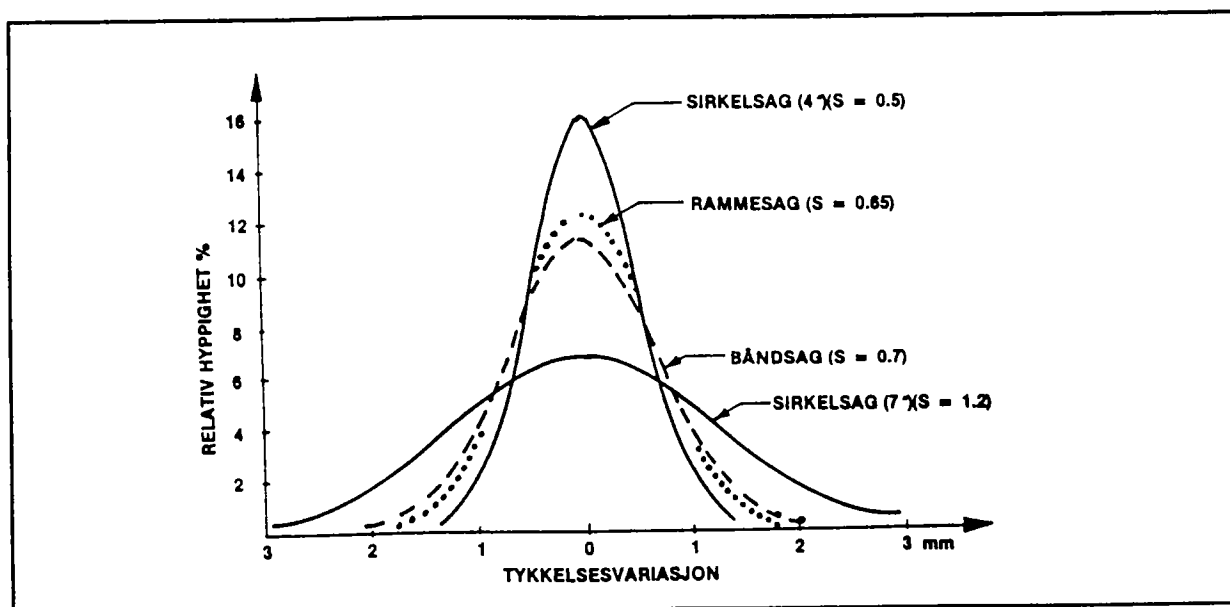


Fig. 9. Eksempel på skurnøyaktighet ved ulike maskintyper (Skjelmerud 1982).

Skurnøyaktigheten ved bruk av sirkelsag øker betydelig med snitthøyden, mens rammesag og til dels båndsag oppnår en bedre skurnøyaktighet ved høye snitt. Når man kjenner til de ulike sagmaskinenes konstruksjon, er dette neppe noe overraskende resultat. Det som har skjedd de senere årene, er at det har kommet en rekke gode bladstyringer for sirkelsager som har gjort at maskiner basert på sirkelsager har fått betydelig bedre skurnøyaktighet. Dette har ofte vært kombinert med bruk av over- og underliggende blad, slik at snitthøyden i praksis blir halvert.

NTI har gjort flere undersøkelser av skurnøyaktighet ved norske sagbruk (bl.a. Lier & Müller 1983 og Müller & Rønningen 1987). Ved måling av skurnøyaktighet har det i Norge vært vanlig å måle fem steder på hver plank slik fig. 10 viser.

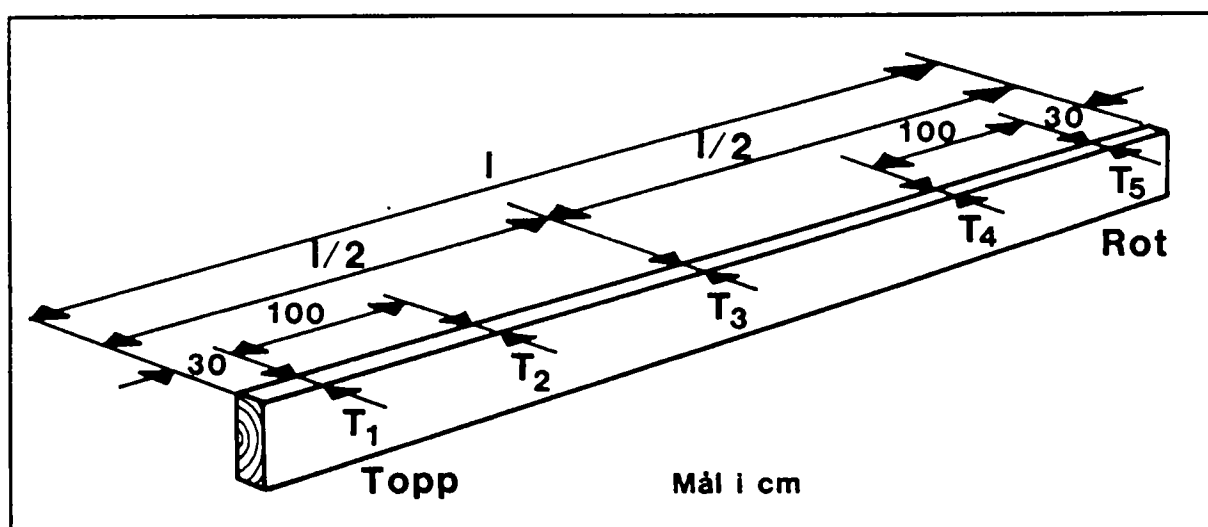


Fig. 10. Registreringspunkter ved måling av skurnøyaktighet.

Det benyttes vanligvis skyvelære med målenøyaktighet 0,1 mm. Det er ofte vanlig bare å måle tykkelsen i overkant av planken. Men tykkelsen i underkant av planken og plankebredden kan også måles (se fig. 11).

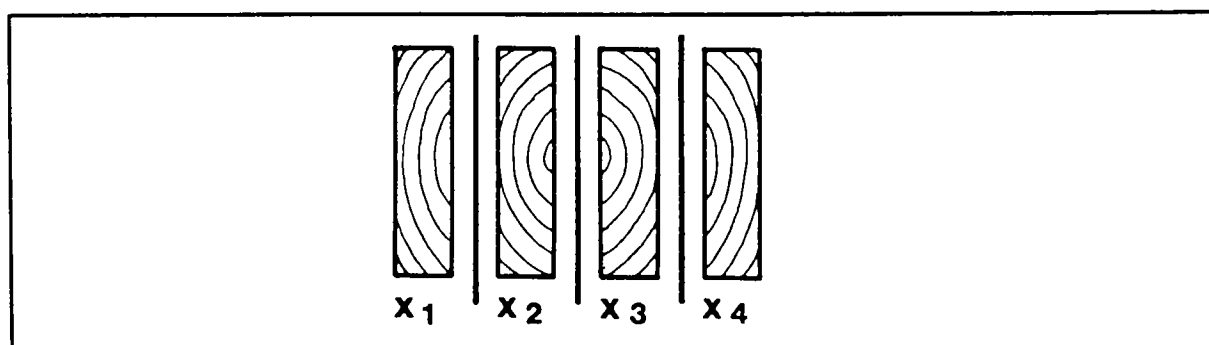


Fig. 11. Det er viktigst å måle i overkant av planken. De ulike planketypene må holdes atskilt.

Det er viktig å holde de ulike planketyperne atskilt. Det er en forutsetning hvis man vil benytte registreringsdataene for å kontrollere hvordan de ulike maskinene eller sagbladene virker (se fig. 11).

En bedre skurnøyaktighet bedrer råstoffutnyttelsen, men det gir også skurlast som er bedre egnet i den videre produksjonen. Dimensjonskontrollen ved de fleste sagbruk har oftest skjedd sporadisk, og resultatene av kontrollmålingene har sjelden blitt nedtegnet og fulgt opp slik det ofte gjøres i annen industri. En slik registrering av kontrollresultatene vil etter hvert bli en naturlig prosedyre ved innføring av nye kvalitetsstyringssystemer, for å kunne dokumentere hvordan produksjonsprosessen forløper til enhver tid.

Ved skurnøyaktighetsundersøkelser har det ofte vært vanlig å undersøke ulike skurhøyder, f.eks. 100, 150 og 200 mm blokkhøyde.

For sirkelsager er det ikke uvanlig at det er en viss forskjell på tykkelsen som er målt i overkant og underkant av planken. Det skyldes selvfølgelig at det vanskeligere å styre sagbladet rett når man kommer lenger fra sentrum av bladet hvor det er spent fast. For bånd- og rammesager er det normalt sjelden noen forskjell mellom målingene i overkant og underkant av planken. Nye typer bladstyringer har medført at skurnøyaktigheten for sirkelsager nå er betydelig bedre enn tidligere ved større skurhøyder.

Med en gruppe menes planker av samme dimensjon skåret på samme sag. Dette betyr at parplanker fra en trippelsag tilhører to forskjellige grupper, selv om de har samme dimensjon. Middelerdi og standardavvik beregnes derfor separat for høyre- og venstreplanker. Tilsvarende beregninger gjøres for tre- og fireplanks uttak.

Middelerdi og standardavvik innen den enkelte planke kan testes mot gruppens middel og standardavvik. Hvis testen viser at det er forskjell mellom disse to gruppene, kan en anta at det er en dominerende feil som har påvirket resultatet, f.eks. dårlig dimensjonsinnstilling. Er derimot disse to gruppensnittene like, vil en vesentlig del av resultatet være knyttet til sagbladet og maskinens generelle tilstand. Det kan videre testes om de målte verdiene innen den enkelte gruppe er normalfordelt eller ikke. Er de normalfordelt, kan en med stor sikkerhet hevde at det ikke er noen systematisk feil i maskinen.

Skurnøyaktigheten uttrykkes ofte ved  $\pm 2$  ganger standardavviket. Det vil si at hvis vi forutsetter at observasjonene er normalfordelt, vil vi kunne regne med at ca 95% av de observasjoner vi gjør vil ligge innenfor området som er bestemt av den beregnede middelerdien  $\pm 2$  standardavvik.

Dataene fra dimensjonskontrollen kan behandles i et statistikkprogram ved en- eller toveis variansanalyse. Hvis man ikke benytter et statistikkprogram, kan man følge oppsettet i kapittel 7 i Uddeholm (1985). Dette har vært benyttet en god del i Nord-Amerika.



## Resultater fra norske undersøkelser

I NTI's undersøkelse fra 1987 (Müller & Rønningen 1987) viste det seg at hele 19 av 20 måleserier for tømmerkantsager ved fem bedrifter hadde indikasjoner på systematiske feil. For delingssagene viste det seg 64% av måleseriene hadde indikasjoner på at det var en eller flere systematiske feil som man antok lå utenfor selve sagbladet.

Undersøkelsene viste at det ikke er nok å ha godt teknisk utstyr, men at det er helt vesentlig at utstyret ettersees og justeres til enhver tid. Viktigheten av operatørens dyktighet ble også godt demonstrert.

Tabell 1. Skurnøyaktighet uttrykt ved  $\pm 2$  standardavvik for dobbelte tømmerkantsager (Müller & Rønningen 1987).

Bedrift	Fabrikat	Blokkdimensjon (plankebredde)			Utetemperatur
		100 mm	150 mm	200 mm	
1 I	JaJod D 210	9,2	4,6	5,3	- 12 °C
1 II	"	8,2	3,5	3,1	- 15 °C
1 III	"	4,8	2,2	5,0	- 15 °C
2	ARI m/floatex	7,5	3,1	2,7	- 10 °C
3	ARI m/floatex	1,8	2,9	2,7	- 10 °C
4	ARI vannsmurt bladstyring	10,2	4,4	4,5	- 20 °C
5	Veisto-Rakenne Rautio Ky	1,6	-	-	- 25 °C

Tabell 2. Skurnøyaktighet uttrykt ved  $\pm 2$  standardavvik for tømmerkløyvsager (Müller & Rønningen 1987).

BEDRIFT	FABRIKAT	SKURHØYDE		
		100 mm	150 mm	200 mm
1 I	JaJod DG 350	6,2	8,9	9,0
1 II		3,1	3,0	6,4
1 III		2,6	2,5	7,1
2	ARI DS 75 H	1,9	3,1	5,0
3	ARI DS 75	1,7	2,0	2,2
4	ARI DS8/DS 82 A	3,2	3,2	7,8
5	Veisto-Rakenne Rautio Ky	1,1		

NTI's undersøkelse fra 1983 (Lier & Müller 1983) viste at for dobbelte tømmerkantsager, var det de tradisjonelle sirkelsagene som kom dårligst ut (fig. 12).

I denne undersøkelsen ble det foretatt målinger på 21 bedrifter (for fire av bedriftene ble foretatt to målinger, slik at totalt antall måleserier ble 25).

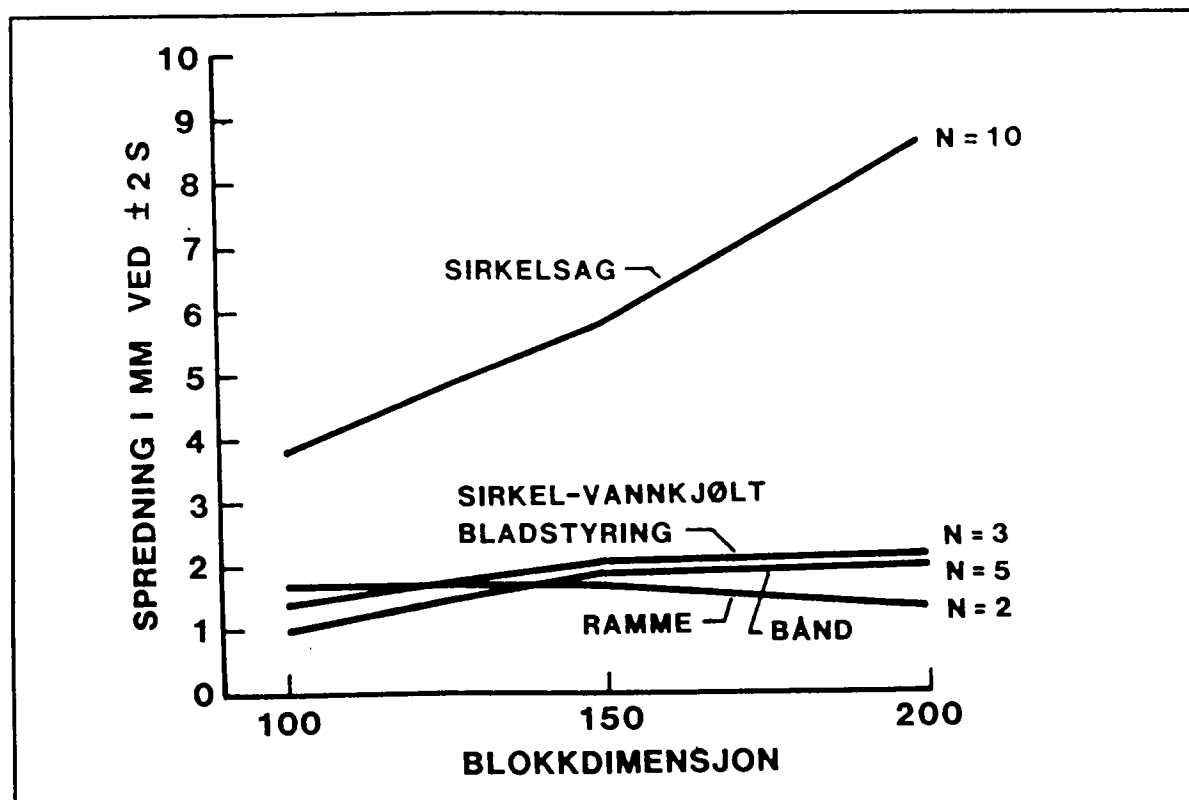


Fig. 12. Skurnøyaktighet for tømmerkantsager (Lier & Müller 1983).

Etter at de tradisjonelle sagene hadde fått montert vannsmurte styringer, ble skurnøyaktigheten ikke vesentlig forskjellig fra båndslagene. Rammesagene var den eneste maskintypen som hadde en bedre skurnøyaktighet med økende blokkhøyde. Dette er en bekreftelse av tidligere målinger, og som hovedårsak har en antatt at en større blokk har større vekt og stivhet og dermed ligger roligere under skur.

For delingslagene er resultatene vist i fig. 13.

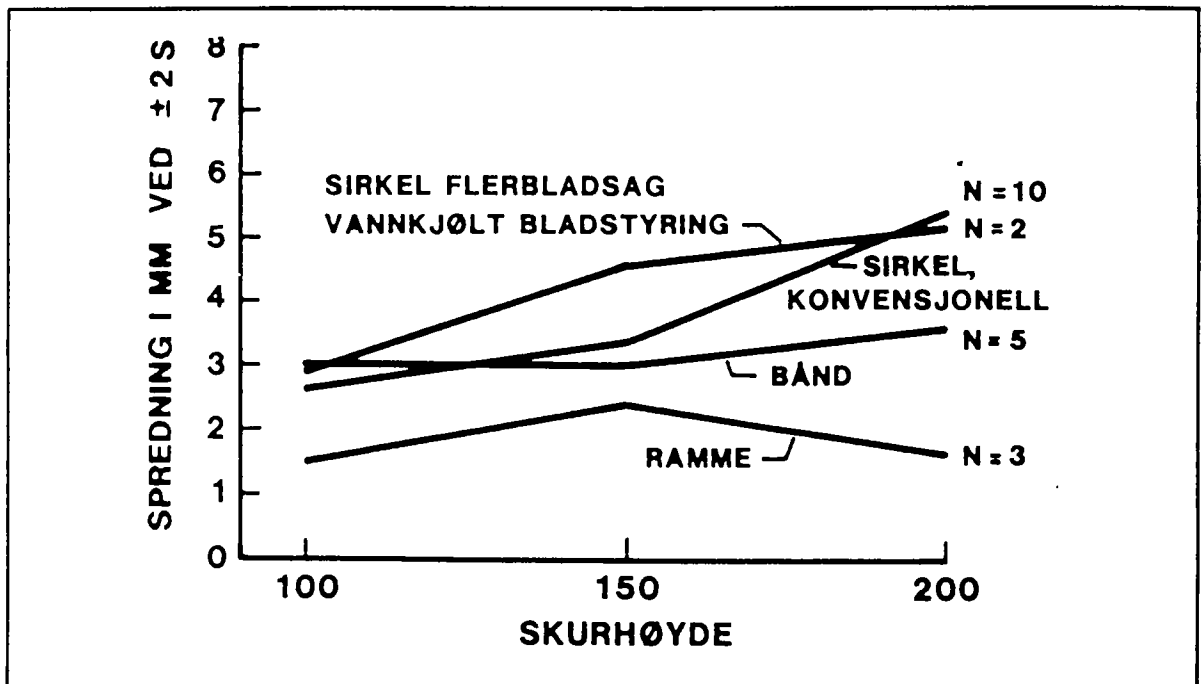


Fig. 13. Skurnøyaktighet for delingssager (Lier & Müller 1983).

Flerblad sirkelsager med vannkjølte bladstyringer viste et resultat som ikke gav noen nøyaktighetforbedring tilsvarende det en oppnådde for tømmerkantsager, men den ene av sagerne var under innkjøring, og resultatet må derfor ikke betraktes som generelt gjeldende. Sirkelsager med vannsmurte bladstyringer har ved 100 mm skurhøyde oppnådd en bedre nøyaktighet enn båndsaager, mens båndsaaga ved økende skurhøyde gir en bedre nøyaktighet.

Sirkelsagerne var den sagmaskintype som viste den største unøyaktigheten. Problemet med unøyaktig skur er størst for dobbelte tømmerkantsager. Her er det imidlertid oppnådd store forbedringer ved å montere vannsmurte bladstyringer. For båndsaagerne har de største problemene vedrørende nøyaktighet ligget i delingssagerne. Problemet har først og fremst vært å få riktig innbydes avstand mellom de forskjellige sagbladene. Målingene på disse sagerne har også vist hvor stor betydning transportutstyret i og ved sagerne har for skurnøyaktigheten.

En forbedret skurnøyaktighet vil være betinget av flere forhold, men de viktigste synes å være:

- bedre kontroll med sagbladstrekkingen
- bedre bladstyringer
- nøyaktigere dimensjonsinnstilling
- nøyaktigere gjennommatingsutstyr

En bedre skurnøyaktighet kan bare oppnås ved systematisk kontroll av skurnøyaktigheten.

Rapporten til Lier & Müller (1983) gir også detaljresultater for målingene på den enkelte sag. Fig. 14, 15 og 16 viser resultaene for tre ulike maskintyper. Den totale variasjonsvidden i figurene er  $\pm 2$  standardavvik.

Et eksempel på skurnøyaktighet er gitt i fig. 17, hvor spredningen i gjennomsnittlig tykkelse for en rekke planker er gjengitt i et histogram.

Skurnøyaktigheten gir verdifulle data om maskinenes tilstand og drift. Sammen med krymping og overflateruhet er den avgjørende for det overmål som må legges til grunn ved skuren. Av disse forholdene er det oftest slik at selve skurnøyaktigheten som varierer mest. Det er derfor svært vanskelig å sette opp noen tabell over nødvendig overmål. Stedegne målinger av skurnøyaktighet er nødvendig som grunnlag for egne tabeller.

Det er rimelig å anta at de observerte tallene for skurnøyaktighet er normalfordelt. Med utgangspunkt i egne målinger for skurnøyaktighet kan man sette opp en beregningsmodell. Utgangspunktet er spredningen i tykkelsen dvs. skurnøyaktigheten i rå tilstand ( $S_R$ ). Ved å addere denne kvadratisk til spredningen i krympingen ( $S_K$ ), får vi spredningen ( $S_N$ ) slik vi kan vente den når trelasten er tørket til skipningstørrelse (18-20 % fuktighet), altså:

$$S_N = \sqrt{S_R^2 + S_K^2}$$

Dette forholdet kan vises i fig. 18. Kurven til høyre i figuren viser skurnøyaktigheten rett etter skuren målt på trelasten i rå tilstand, altså spredningen ( $S_R$ ) rundt det tykkelsesmålet vi har innstilt maskinen på ( $M_R$ ). Fordelingskurven til venstre viser spredningen for trelastens tykkelse etter at trelasten er tørket ned til ca 20 % fuktighet. Figuren viser at vi normalt får en større spredning for tykkelsesmålene i tørr tilstand på grunn av variasjon i krympingen ( $S_K$ ). Kurven til venstre er tegnet med en fordeling slik at maksimalt 10 % av plankene ligger under det nominelle målet ( $N$ ) ved 20 % fuktighet. Det er det som er angitt i standarden NS 3079 (hvor det stilles krav til trelastdimensjonene). Overmålet for det nominelle målet som sagmaskinene må innstilles på når tømmeret skal skjæres, kan derfor beregnes på følgende måte:

$$O = 1,28 \cdot S_N + K_{20}$$

hvor  $O$  = nødvendig overmål i mm

$S_N$  = spredningen av tykkelsesmålene ved ca 20 % fuktighet

$K_{20}$  = krympingen fra rå tilstand til ca 20% fuktighet

Det er selvfølgelig mulig å måle trelasten i tørr tilstand (ca 20 % fuktighet) og beregne spredningen i tørr tilstand direkte. Dette medfører imidlertid en del ekstra arbeid siden fuktigheten må måles i hver enkelt planke da det alltid er noe variasjon mellom de enkelte plankene. Det er derfor vanlig å måle dimensjonene på plankene i fersk tilstand og regne seg fram til det nødvendige overmålet ut fra et anslag for spredningen i krympingen. Det er også mulig ut fra slike beregninger å sette opp et tabellverk for nødvendige overmål basert på registrert skurnøyaktighet og krymping pluss virkningen av kuvingen som kommer i tillegg.

		SKURNØYAKTIGHET RESULTATER	BRUK <b>7</b>		
		Middelavvik/mål. pr. målepunkt, samt standardavvik	TOTAL VARIASJONS-VIDDE		
KANTSAG	BREDDEMÅL-VARIASJON	<p>44x100</p> <p>63x150</p> <p>75x200</p>	<p>AVVIK I MM FRA MÅL I TOPP</p> <p><math>s=1.29</math></p> <p><math>s=2.61</math></p> <p><math>s=3.43</math></p>	<u>13.7</u>	
	DELNINGSSAG	TYKKELSESMÅL I OVERKANT V/SKURHØYDE	<p>100 mm</p>	<p><math>s=0.69</math></p> <p><math>s=0.99</math></p>	<u>4.2</u>
			<p>150 mm</p>	<p><math>s=1.00</math></p> <p><math>s=1.47</math></p>	<u>5.8</u>
		<p>200 mm</p>	<p><math>s=0.96</math></p> <p><math>s=1.01</math></p>	<u>5.8</u>	
KOMMENTARER		<p>Dobbelttømmerkante hadde nedslitte styreklosser. Styrepinne på høyre side i dobbelt kløvsag knakk under skurforsøket.</p>	<p>Tegn.forkl.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ V-planke</li> <li>● H-midt.pl.</li> <li>△ V-midt.pl.</li> <li>□ H-planke</li> </ul>		

Fig. 14. Skurnøyaktighet for sirkelsagmaskiner (Lier & Müller 1983).

			SKURNØYAKTIGHET	BRUK	
			RESULTATER	18	
			Middelavvik/mål. pr. målepunkt, samt standardavvik	TOTAL VARIASJONS-VIDDE	
DELNINGSSAG	KANTSAG	BREDDEMÅL-VARIASJON	<p>2x50x100</p> <p>2x50x150</p> <p>4x50x200</p> <p>AVVIK I MM FRA MÅL I TOPP</p>	2.1	
		TYKKELSESNÅL	I OVERKANT V/SKURHØYDE	<p>100 mm</p>	1.9
			150 mm		1.7
			200 mm		2.6
KOMMENTARER			<p>Tegn.forkl.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ V-planke</li> <li>● H-midt.pl.</li> <li>△ V-midt.pl.</li> <li>□ H-planke</li> </ul>		

Fig. 15. Skurnøyaktighet for båndsgmaskiner (Lier & Müller 1983).

		SKURNØYAKTIGHET RESULTATER	BRUK <i>21</i>
		Middelavvik/mål. pr. målepunkt, samt standardavvik	TOTAL VARIASJON'S VIDDE
DELNINGSSAG I OVERKANT V/SKURHØYDE	KANTSAG BREDDEMÅL- VARIASJON	<p>2x50x100 3x50x150 2x75x200</p> <p>AVVIK I MM FRA MÅL I TOPP</p> <p>Topp Ret</p>	<i>21</i>
	TYKKELSESMALE	<p>100 mm</p>	<i>1.2</i>
		<p>150 mm</p>	<i>1.3</i>
		<p>200 mm</p>	<i>1.1</i>
KOMMENTARER		<p>Tegn.forkl.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ V-planke</li> <li>● H-midt.pl.</li> <li>△ V-midt.pl.</li> <li>□ H-planke</li> </ul>	

Fig. 16. Skurnøyaktighet for rammesagmaskiner (Lier & Müller 1983).

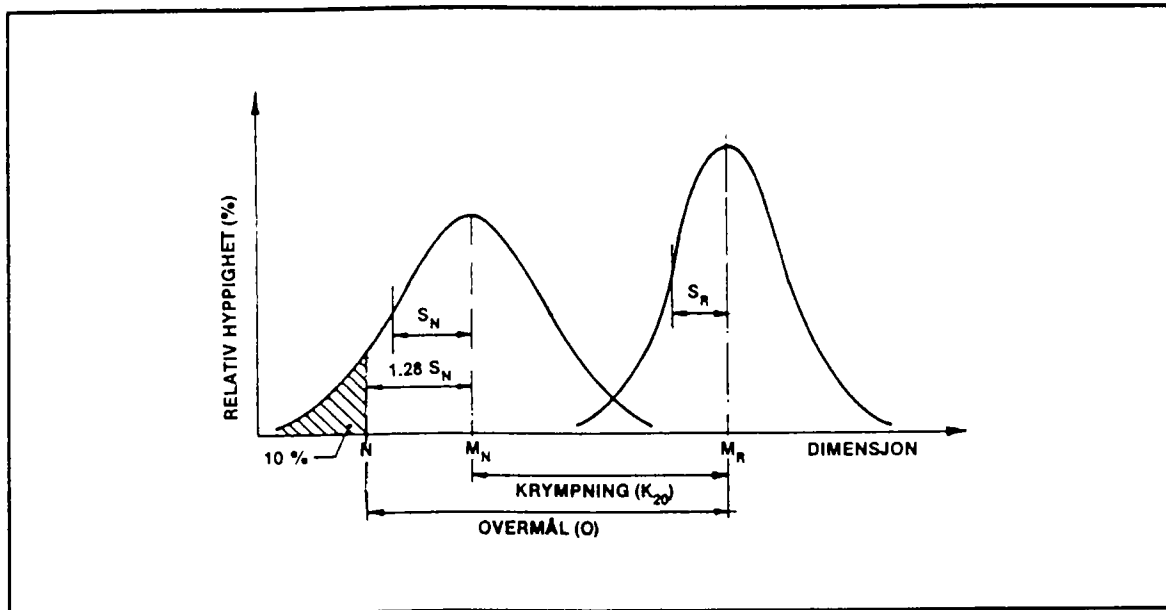


Fig. 17 Variasjon i tykkelsesmål for planker i rå og tørr tilstand.

## OVERFLATERUHETEN

Overflateruheten eller profildypet er et direkte materialtap når trelasten skal bearbeides videre. Denne unøyaktigheten er av en annen art enn unøyaktigheten ved skuren. Den varierer med sagtypen og øker markert med økende mating pr sagtann. Den er karakterisert ved en oppriving av fibre fra sagtennene og er derfor noenlunde lik over hele skurflatens lengde. Det er derfor rimelig at denne unøyaktigheten adderes lineært til skurnøyaktighetstapet. Vanligvis er det rammesagene som gir den største overflateruheten, og særlig når disse sagene arbeider med stor mating pr tann. Ved råskur er det ikke uvanlig å registrere at profildypet kan variere fra 0,5 til 3 mm. For bearbeiding i høvelmaskiner til høvellast må også dette tapet tas i betraktning.

## SNITTYKKELSEN

De forhold som hittil er behandlet betinger et overmål ved skuren noe som gir et virkestap. Krympingen er en naturlig egenskap ved trevirket og er derfor et 100 % virkestap. For de øvrige forholdene skyldes tapet at vi reduserer den mengden vi kunne få av trelast til et sekundærprodukt som har atskillig lavere pris. Forholdet mellom prisene for trelast, industriflis og sagflis varierer over tid, men er omtrent som 15:3:1.

Snittykkelsen ved selve skuren settes i praksis til summen av sagbladtykkelsen og friskjæret, selv om det i virkeligheten er noe mindre pga av den såkalte «spring-back»-effekten som skyldes at treoverflaten får en viss kompresjon under selve skuren.

Når vi holder oss til råskuren, kan vi registrere at båndsågene stort sett har et mindre snittap enn sirkel- og rammesager, nemlig omkring 2,2 - 2,6 mm (inkl



friskjær). For rammesagene er tilsvarende tall 3,6 - 4,2 mm. For sirkelsagblad varierer bladtykkelsen med bladdiameteren, men for tømmerstur kan vi regne med en snittykkelse på 3,5 - 4,8 mm for de tradisjonelle sagene.

Fra Skjelmerud (1982) har jeg hentet følgende tabell over de ulike elementene av det totale snittapet:

Tabell 3. Det totale snittapet ved ulike sagbruksmaskiner (råskur).

Sagtype	Snittykkelse m m	Virkning av skjære- nøyaktighet mm (4·SR)	Overflate- ruhet mm (2·C)	Totalt snittap m m
Vanlig sirkelsag	4,0	3,0	1,8	8,8
Båndsag	2,5	3,0	1,2	6,7
Rammesag	4,0	2,5	3,6	10,1

## Litteratur

- Baldwin, Richard F. 1984. Operations Management in the Forest Products Industry. Miller Freeman Publications, San Francisco.
- Brown, Terence D. 1982. Quality Control in Lumber Manufacturing. Miller Freeman Publications, San Francisco.
- Grönlund, Anders 1992. Sågverksteknik – del II – processen. Sveriges Skogsindustriförbund, Markaryd.
- Jersin, Erik 1993. Kvalitetsstyring – kvalitetssikring – kvalitetskontroll. 6. opplag. Tapir Forlag, Trondheim.
- Lier, Bjørn & Magnar Müller 1983. Skurnøyaktighet ved råskur. Rapport nr. 8. Oslo.
- Müller, Magnar & John Rønningen 1987. Skurnøyaktighetsundersøkelser '86. Nye sirkelsagmaskiner – råskur med sagbladstyringer og tørrkløyving. Rapport nr. 10. Oslo.
- Nordby, Per & Martin Hay 1993. Kvalitetssikring i trelastindustrien. Trelastbransjens Opplæringsvirksomhet, Oslo.
- Skjelmerud, Halvor 1982. Treteknikk – materialer, produksjon, anvendelse. Tapir Forlag, Trondheim.
- Skogstad, Per 1991. Treteknisk Håndbok. Teknisk småskrift nr. 33. Norsk Treteknisk Institutt, Oslo.
- Uddeholm 1985. How to increase profit in bandsawing. Uddeholm Strip Steel AB, Munkfors, Sverige.

Williston, Ed M. 1981. Small log sawmills. Profitable product selection, process design and operation. Miller Freeman Publications, San Francisco.

