



REG NR: LITH-1KP-S-502  
TREDJE UPPLAGAN

96.

Stygans ex!

# Träteknik

för M3, M4 m.fl.

STIG-INGE GUSTAFSSON



LINKÖPINGS TEKNISKA HÖGSKOLA  
INSTITUTIONEN FÖR KONSTRUKTIONS- OCH PRODUKTIONSTEKNIK  
LINKÖPING, AUGUSTI 2004

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Våra jordar</b>	<b>9</b>
1.1	Inlandsis . . . . .	9
1.2	Avsmältning . . . . .	10
1.3	Landhöjning . . . . .	11
1.4	Lervarvskronologi . . . . .	11
1.5	Pollenanalyser . . . . .	12
1.6	Kiselalger . . . . .	12
1.7	Östersjöns utveckling . . . . .	12
1.8	Jordarter . . . . .	13
1.9	Jordmåner . . . . .	14
1.10	Vegetationsregioner . . . . .	15
<b>2</b>	<b>Träd i Sverige och övriga världen</b>	<b>17</b>
2.1	Barrträd, <i>Gymnospermae</i> . . . . .	17
2.1.1	Familjen tallar, <i>Pinaceae</i> . . . . .	17
2.2	Lövträd, <i>Angiospermae</i> . . . . .	18
2.2.1	Familjen videväxter, <i>Salicaceae</i> . . . . .	18
2.2.2	Familjen björkar, <i>Betulaceae</i> . . . . .	19
2.2.3	Familjen bokar, <i>Fagaceae</i> . . . . .	22
2.2.4	Familjen almar, <i>Ulmaceae</i> . . . . .	22
2.2.5	Familjen lönnar, <i>Aceraceae</i> . . . . .	23
2.2.6	Familjen lindar, <i>Tiliaceae</i> . . . . .	24
2.2.7	Familjen rosväxter, <i>Rosaceae</i> . . . . .	24
2.2.8	Familjen syrenväxter, <i>Oleaceae</i> . . . . .	25
2.3	Vem äger skogen? . . . . .	25
<b>3</b>	<b>Svampar, bakterier och insekter på virke</b>	<b>29</b>
3.1	Svampar . . . . .	29
3.2	Bakterier . . . . .	34
3.3	Insekter . . . . .	34

<b>4</b>	<b>Skärande bearbetning</b>	<b>39</b>
4.1	Verktygen . . . . .	40
4.2	Spåntyper . . . . .	41
4.3	Roterande bearbetning . . . . .	42
4.4	Skärkrafter . . . . .	44
4.5	Maskiner . . . . .	49
4.5.1	Agenter . . . . .	49
4.5.2	Rikthyveln . . . . .	51
4.5.3	Planhyveln . . . . .	52
4.5.4	Bordsfräsen . . . . .	52
4.5.5	Universalhyvel . . . . .	52
4.5.6	Tappmaskiner . . . . .	53
4.5.7	Överfräsar . . . . .	53
<b>5</b>	<b>Sågverk</b>	<b>59</b>
5.1	Timmerlager . . . . .	59
5.2	Vederlagsmätning . . . . .	61
5.3	Sågverket . . . . .	63
5.3.1	Rotreducering . . . . .	64
5.3.2	Barkning . . . . .	64
5.3.3	Sågning . . . . .	65
5.4	Råsortering . . . . .	67
5.5	Virkestorkning . . . . .	68
5.6	Justerverk . . . . .	68
5.7	Produktion och simulering . . . . .	68
5.8	Vidareförädling . . . . .	69
<b>6</b>	<b>Virkestorkning</b>	<b>71</b>
6.1	Brädgårdstorkning . . . . .	73
6.2	Längd- och tvärcirkulationstorkar . . . . .	73
6.3	Kammartorkning . . . . .	74
6.4	Några ytterligare torkmetoder . . . . .	74
6.5	Fuktkvotsmätare . . . . .	76
6.6	Svällning och krympning hos trä . . . . .	77
6.7	Torkning av lövträ . . . . .	78
6.7.1	Färgförändringar . . . . .	78
6.7.2	Formförändringar . . . . .	86
<b>7</b>	<b>Hållfasthetslära för möbler</b>	<b>89</b>
7.1	Möbellaster . . . . .	89
7.2	Analys av bärverket . . . . .	91
7.3	Andra typer av bärverk . . . . .	93
7.4	Några artiklar rörande hållfastheten hos trä . . . . .	94

7.5	Förband . . . . .	95
7.6	Inverkan av röta och svampar . . . . .	97
7.7	Statiskt obestämda bärverk . . . . .	97
7.8	Datorbaserade FEM-beräkningar . . . . .	106
7.8.1	Stolens geometri samt FEM-modell . . . . .	106
7.8.2	Beräkningsresultat och analys . . . . .	112
7.9	Sammanfogning av de olika elementen . . . . .	117
7.10	Justering av geometri hos 'kryssset' . . . . .	120
7.11	FEM-analys för det justerade bärverket . . . . .	120
7.12	Provning av trä m.m. . . . .	121
<b>8</b>	<b>Limning</b> . . . . .	<b>133</b>
8.1	Olika limtyper . . . . .	137
8.1.1	Naturliga limmer . . . . .	137
8.1.2	Syntetiska limmer . . . . .	139
8.2	Uppvärmningsmetoder . . . . .	142
<b>9</b>	<b>Träkompositer</b> . . . . .	<b>145</b>
9.1	Massivträkompositer . . . . .	145
9.2	Skivor . . . . .	147
9.3	Kemisk förändring av trä . . . . .	149
<b>10</b>	<b>Ytbehandling</b> . . . . .	<b>151</b>
10.1	Betsar . . . . .	153
10.2	Lasyrer . . . . .	154
10.3	Klarlack . . . . .	154
10.4	Färger . . . . .	154
10.5	Förtunning . . . . .	155
10.6	Torkning . . . . .	155
10.7	Vanliga lacktyper . . . . .	155
10.8	Maskinell utrustning för lackering och målning . . . . .	158
10.8.1	Beredning av färg och lack . . . . .	158
10.8.2	Sprutlackering . . . . .	158
10.8.3	Ridålackering . . . . .	159
10.8.4	Valsridåmaskiner . . . . .	160
10.8.5	Valslackeringsmaskiner . . . . .	160
10.8.6	Lacklinor . . . . .	162
<b>11</b>	<b>Energianvändning inom snickeriindustrin</b> . . . . .	<b>167</b>
11.1	Några exempel från verkligheten . . . . .	170
11.1.1	Rydsnäs snickerifabrik AB . . . . .	171
11.1.2	Totebo AB . . . . .	178

4

*INNEHÅLL*

12 Musikinstrument, båtar m.m.

219

13 Artbestämning av träslag

221

14 Gamla tentamina

223

# FÖRORD

Följande kompendium är i huvudsak avsett för den inledande kursen i träteknik, TMTR10, vid Linköpings Tekniska Högskola. Denna omfattar 5 poäng av de 180 som krävs för att få ut en examen som civilingenjör. Vissa delar av kompendiet är dock avsedda för de fortsättningskurser som också ges av institutionen. Sådana avsnitt har speciellt markerats med M4↓ i texten. Kurserna är avsedda för teknologer och högskolestuderande på maskintekniklinjen d.v.s. de färdiga ingenjörerna förväntas vara speciellt inriktade mot en yrkesverksamhet inom ex. vis verkstadsindustrin och framför allt trämanufakturindustrin.

Redan 1992 beslutade högskolan att ett nytt ämne, Träteknik, skulle startas. Initiativet till utbildningen kom bl. a. från Träindustriförbundet vilka noterat att andelen civilingenjörer inom den svenska träsektorn var utomordentligt låg. Detta vid en jämförelse med verkstadsindustrin som helhet. Endast 0.1 % av de anställda, mot verkstadsindustrins c:a 4 %, hade en akademisk bakgrund. För att råda bot på detta förhållande ansåg man att en träutbildning vid en etablerad högskola belägen i södra Sverige var angelägen. Lokaliseringen var viktig då man märkt en viss svårighet att rekrytera färdiga civilingenjörer från de redan existerande utbildningarna, vilka etablerats vid Kungliga tekniska högskolan i Stockholm och vid dåvarande högskolan i Luleå/Skellefteå. Genom ett anslag från förbundet möjliggjordes en satsning i Linköping och tanken var att ett nära samarbete skulle inledas främst mellan Institutet för träteknisk forskning, Trätek, i Jönköping och Träcentrum i Nässjö. Detta skulle innebära att erfarenheter från såväl branschen som högskolan snabbt får spridning till berörda parter. Detta samarbete formaliserades våren 1994 i den s.k. Träakademien. Under 1999 har dock Trätek i Jönköping lagts ner och en ny verksamhet byggts upp i Växjö. Av naturliga skäl har därför verksamheten vid Trätek knutits närmare till det nybildade universitetet i denna stad.

Tanken från den förste examinatorns sida var att kurserna skulle ge en mycket bred beskrivning av den svenska träindustrin och ambition var, och är fortfarande, att kursdeltagarna skulle tillägna sig en terminologi och ett kunnande så att trätekniska frågor skulle kunna diskuteras ingående, om än inte i alla detaljer. Tyngdpunkten skulle ligga på produktion av snickeriprodukter och möbler, medan ex. vis konstruktionsberäkningar för trähus gavs en mera undanskymd plats. Oturligt nog visade det sig att något lämpligt kursmaterial ej

fanns publicerat tidigare i samlad form. Kunskaperna måste inhämtas från ett flertal skilda publikationer. Detta kompendium är därför ett försök att i någon mån råda bot på detta förhållande. Som obligatorisk kurslitteratur i grundkursen används också Endel Saarmans bok 'Träkunskap', vilket innebar att detta kompendium inte kom att behandla förhållanden som beskrivs där. Vad gäller den första fortsättningskursen, TMTR15, har Kollmann / Côté, 'Principles of Wood Science and Technology', Volym 1, tidigare utgjort kurslitteratur. Tyvärr har denna tagit slut på förlaget varför vi hösten 1996 i stället bytte till Tsoumis 'Science and Technology of Wood'. Sedan hösten 1998 ges fortsättningskursen i tre separata delar varav den första behandlar trämateriallära. P.g.a. detta, samt teknologernas ekonomiska situation, återgick vi dock vad gäller kurslitteraturen till de inledande delarna av Kollmanns bok men nu i kopierad form. Tillstånd till detta inhämtas varje år från Springer Verlag i Berlin.

De avsnitt som berör fortsättningskursen härrör framför allt från den mängd senare litteratur som publicerats sedan Kollmanns bok presenterades 1969. Bl.a. har vi haft ambitionen att täcka samtliga vetenskapliga artiklar som publicerats inom ämnet sedan 1993 års början d.v.s. då kurserna startade första gången. Långt ifrån alla refereras naturligtvis här. Från och med januari 1995 har ambitionen mattats något och därför har endast sådan litteratur som har omedelbart intresse för vår verksamhet tagits med.

Ett tidigare kompendium, vars första upplaga kom ut 1993, författades ursprungligen av Charlotte Narfgren, Madeleine Andersson och Stig-Inge Gustafsson. De två förstnämnda var tidigare teknologer på maskintekniklinjens årskurs 4 - 5 och hade valt att studera träteknik som ett s.k. stort ämne. Stig-Inge Gustafsson var och är fortfarande lektor i ämnet Energisystem vid Tekniska högskolan men arbetar sedan hösten 1992 också vid avdelningen Träteknik. Gustafsson är dessutom kursansvarig och examinator för några av de kurser som ges vid avdelningen. I en senare upplaga infördes ett bidrag från en ytterligare teknolog, Anders Bäcklund. År 2002 skulle kompendiet ges ut i sin tionde upplaga. Tyvärr hade under årens lopp problem uppstått vad gäller hantering av grafik, utskrift m.m. varför det blev allt svårare att ge ut nya upplagor med det gamla kompendiumet som bas. Istället valde undertecknad att ta ett radikalt grepp. Teknologernas bidrag togs därvid bort helt och på några ställen ersattes den med helt ny text skriven av undertecknad. Detta innebar givetvis också en mycket större frihet då texten skulle förändras. Texten är nu skriven på en PC utrustad med LINUX. För att undvika problem med framtida versioner av komplicerade ordbehandlingsprogram valdes dessutom att skriva texten så att det gick att utnyttja  $\text{\LaTeX} 2_{\epsilon}$  i en elementär standardform. Kompendiumet är därför skrivet i en helt vanlig texteditor och alla figurer exporterade i form av s.k. EPS-filer. Endast framtiden kan ge besked om detta var en riktig strategi. Sammantaget har dessa genomgripande förändringar inneburit att ett helt nytt kompendium vuxit fram vilket nu föreligger i sin andra upplaga. De förändringar som vidtagits är att ett helt nytt kapitel om skärande bearbetning lagts till. Störst vikt har lagts vid

roterande bearbetning i moderna hyvlar o.s.v. Dessutom har ett avsnitt lagts till om svenska agenter för träbearbetningsmaskiner samt en kortfattad beskrivning hur sådana maskiner fungerar. Avsnittet är långt ifrån fullständigt så det finns utrymme för kompletteringar även i upplaga 3.

Linköping, 25 augusti 2004  
Stig-Inge Gustafsson





# Kapitel 1

## Våra jordar

Alla träd växer i någon form av jord. Denna jord är av stor betydelse för vilka typer av träd som trivs på olika platser. De inledande raderna i detta kompendium kommer därför att behandla hur dessa jordar bildats, var de finns, och hur jordarna sedan under växtlighetens inverkan bildar en s.k. jordmån.

### 1.1 Inlandsis

Sverige har flera gånger varit täckt av inlandsis. Isen bildades av snö som under årens lopp packats allt hårdare. En sådan hårt packad snö, d.v.s. en mellanform mellan snö och is, kallas för firn, [1] sidan 208. En förutsättning för att en inlandsis ska bildas är således att snön inte smälter bort under sommaren utan att den ligger kvar år från år. Det område där isen växer till kallas för närområde medan isranden, där isen smälter, kallas för tärområde. Isen är inte helt solid utan beter sig som en fast ”deg”. Då isen lättast bildas i högre terräng kommer den att sakta flyta ner mot lägre liggande trakter. Inlandsisen kan med tiden få en avsevärd tjocklek, flera tusen meter. Detta innebär att den utövar ett stort tryck på underlaget. När isen rör sig skrapar den därför loss stora och små stenar från underlaget vilka så småningom lagras in i ismassan. Då stenarna bryts loss från underlaget har dessa vassa kanter. Små och stora stenar blandas dessutom med varandra. Enär isen fungerar som en tjock vätska vandrar stenarna upp i ismassan allt eftersom nytt material lagras in. Stenar som ligger högre upp är således lossbrutna från mera avlägset liggande platser. Isen har som sagts en avsevärd tyngd vilket gör att hela jordskorpan trycks ner. Man har beräknat att denna nedtryckning varit ca 500 meter just i Skandinavien. Flera istider har avlöst varandra med mellanliggande varmare perioder, s.k. interglacaltider. De nyare inlandsisarna har dock effektivt skrapat bort spåren av de äldre, men man tycker sig ha funnit bevis på att minst fyra istider förekommit i Sverige.

Isens rörelse ger upphov till s.k. isräfflor där de vassa stenarna skrapar mot det underliggande berget. Dessutom får man en stötsida åt det håll som isen kommer

ifrån och en läsida nedströms isen. Stötsidan är mjukt avrundad medan läsidan är skrovlig och brant. Genom att undersöka bergytan och isräfflorna på denna har man funnit att närområdet under årtusendenas lopp flyttats från fjällkedjan mot Norrlands kusttrakter. Under den senaste istiden var hela Skandinavien och delar av Polen och Tyskland helt täckta av is. Ätminstone en tidigare inlandsis hade en än större utbredning och täckte då även de Brittiska öarna.

## 1.2 Avsmältning

Efter den kalla perioden började en klimatförbättring för c:a 15 000 år sedan. P.g.a. solens värme är det isens yta som först värms upp och smälter till vatten, s.k. ablation. De stenar som finns i isen kommer således att träda fram på ytan vilket innebär att solens inverkan blir än större. Jord har dock en ganska dålig förmåga att leda värme vilket innebär att avsmältningen sedan återigen går saktare ju tjockare jordlagret blir. Det vatten som bildas på isen kommer att samlas i stora isälvar, och många gånger i issjöar där naturen är sådan att vattnet däms upp. Isen är inte helt homogen utan djupa sprickor leder ner mot det underliggande berget. Vattnet rinner ner i dessa sprickor och en jökul bildas, d.v.s. en "underjordisk" älv. Där isälven mynnar vid isranden bildas en s.k. jökelport. Denna ligger ibland på land men många gånger under havsytan. Allt eftersom isen smälter kommer det underliggande berget att träda fram. Sådana uppstickande bergstoppar kallas för nunatakker. Kanterna på isen är ju ofta lägre än isens mitt och därför rinner vattnet först åt isens sidor. Om omgivande mark möter direkt mot isen bildas s.k. skvalrännor. Sådana kan än idag återfinnas på många platser i Sverige. Där isen möter havet kommer den att flyta om vattendjupet är tillräckligt stort. En shelfis bildas. Allt eftersom avsmältning sker blir istäcket tunnare och förr eller senare bryts stora isberg bort vilket kallas för kalvning. Även på land kan så stora sprickor uppkomma att delar av isen förlorar kontakten med närområdet. I sådana fall uppkommer s.k. dödisar, som kan ligga kvar under avsevärd tid utan att smälta helt. Detta då isen som nämnts kan vara täckt av metertjocka lager av jord. På så sätt uppkommer stora dödisgröpar i naturen vilka kan vara hundratals meter i diameter.

Då all is smält kommer de inlagrade stenarna så småningom att hamna direkt uppe på berggrunden. En sådan jordart kallas för morän. Flera typer av morän förekommer. T.ex. kan en kallare period göra att isen återigen börjar växa till. Iskanten skrapar då upp stora vallar ungefär som en snöplog. Sådana vallar som ligger vinkelrätt mot isens rörelseriktning kallas för ändmoräner. När isen rör sig över en längsgående bergsformation eller en kulle kan avlagringar ske bakom denna, således i isens rörelseriktning. En sådan bildning kallas för drumlin. Om isen inte förmår att helt skrapa rent berget kommer isen att vila mot redan avsatt morän varigenom s.k. bottenmorän bildas. Denna har utsatts för mycket höga tryck och är därför hårt sammanpackad. Förhållandena är dock mycket mer

komplicerade än de som skisserats ovan. I ex. vis [2] med början på sidan 235 ägnas ett flertal sidor åt bildningen av drumliner m.m.

Där vattnet strömmar fram under isen tar det med sig såväl finare material, som sand, och stora stenar. En del av de största kommer att ligga kvar på botten av isälven. Då dessa stenar tumlar mot varandra slipas de av och blir mera runda i formen. En s.k. rullstensås bildas. Om isälven mynnar under vatten kommer rullstensåsen att täckas av finare sediment och därför får den en rundad överyta. Om älven mynnar på land sker inte detta utan åsen får branta sidor och blir smal på toppen, en getryggsås bildas.

### 1.3 Landhöjning

Som nämnts ovan trycks jordskorpan ner av isens tyngd. När isen försvinner börjar således landet att höjas igen och man får en landhöjning. I början är denna mycket snabb men allteftersom tiden går kommer landhöjningstakten att avta. I dagsläget är den c:a 1 m per 100 år uppe vid norrlandskusten. När isen smälter bildas avsevärda mängder vatten vilket slutligen samlas i havet. Havsytan kommer därför att stiga samtidigt som landet höjer sig. I södra Sverige har inte landhöjningen förmått att hålla jämna steg med havsytagens höjning och därför kan förut torra områden översvämmas igen, s.k. transgression. Man har hittat stubbar på botten av Östersjön som bevis för detta. En annan indikation på att så skett är en saltvattenmussla, *Tapes decussatus*, vars skal man hittat i tydliga strandvallar vid västkusten. Denna händelse kallas därför tapes-transgressionen. Ett annat tecken är att man funnit ben av den s.k. Polartorsken, *Boreogadus saida*, i lera runt Lomma i Skåne, [3] sidan 316.

### 1.4 Lervarvskronologi

När isälvarna mynnar under vatten kommer det grova materialet att sedimentera snabbt medan det finare materialet håller sig svävande en längre period. På vintern kommer vattenmängden i isälven att avta medan högre flöden råder under sommaren. I de lager som bildas kan således årstidernas växlingar avläsas. Den svenske geologen Gerhard de Geer använde dessa lager för att bestämma vid vilken tidpunkt sedimenten hade avsatts, [1] sidan 220. Ovanligt varma somrar blev lagren tjockare medan de var tunnare vid ett bistrare klimat. Ibland skedde s.k. tappningskatastrofer då en hel issjö tömdes på en gång. Sådana tappningsvarv kan ha en avsevärd geografisk utbredning. Genom att ta upp prover från Skåne i söder till älvdalarna i Norrland, där varv fortfarande avsätts, har man lyckats knyta samman dessa lervarv till en obruten kronologisk serie. Det är således möjligt att datera sådan varvig lera på året när. Tyvärr avsätts inte varven på samma förnämliga sätt i salt som i sött vatten men varvig lera kan hittas i stort

sett över hela vårt land.

## 1.5 Pollenanalyser

Ett annat sätt att få vetskap om forna tiders klimat och isavsmältning är att analysera pollen från växter. Dessa pollen är mycket motståndskraftiga mot kemisk och biologisk nedbrytning varför man fortfarande kan hitta sådana bl.a. i torvmossor. Pollenanalysen utvecklades av Lennart von Post efter en idé av Gustaf Lagerheim, [1] sidan 223. Genom att markera den procentuella fördelningen av olika pollen i ett diagram får man på ett tydligt sätt fram när olika träd och växter vandrat in i Sverige. Lagren måste dock dateras med ex. vis  $C^{14}$  metoden. Man har därför kunnat visa att björk, *Betula*, och tall, *Pinus*, var dominerande arter c:a 6 000 år f. Kr. Granen, *Picea*, kom inte in förrän omkring 3 000 år senare.

## 1.6 Kiselalger

Kiselalger, eller diatoméer, lever i vatten. Algerna har ett mycket beständigt skal, de klarar kokning i svavelsyra, och när algerna dör sedimenterar skalen och hamnar på vattensamlingens botten. I haven finns andra arter än i sött vatten varför man i efterhand kan undersöka lagren och se i vilken miljö djuren levte.

## 1.7 Östersjöns utveckling

Med hjälp av metoderna ovan har man lyckats få fram en mycket komplicerad bild av hur landisen avsmält från Sverige och hur landet varit täckt av både sjöar och hav i olika perioder. För c:a 13 000 år sedan blev Skåne isfritt. Klimatet var fortfarande arktiskt vilket man visat genom att växtrester från fjällsippa, *Dryas octopetala*, hittats i lervarv från denna tid. Den första tiden efter avsmältningen kallas därför äldre Dryastid. C:a 8 900 år f. Kr stod isranden i en linje över Vättern och Väneren. Just då blev klimatet kallare och isranden ryckte ibland fram och ibland tillbaka och bildade de s.k. mellansvenska ändmoränerna. Sedan inträdde den finiglaciala perioden d.v.s. då istiden kommit in i sitt slutskede. Isen drog sig då snabbt tillbaka och Gerhard de Geer ansåg att istiden tog slut c:a 6 900 år f. Kr. då den postglaciala tiden inleddes.

Som nämndes ovan var landhöjningen omfattande direkt efter det att ismassan försvunnit. Vid Ångermanlandskusten har man uppmätt den s.k. högsta kustlinjen, HK, till 285 m över vår nuvarande havsyta, [1] sidan 239. Landhöjningen kombinerad med den stora avsmältningen innebar att tidigare torrlagda delar av södra Östersjön översvämmades igen. Östersjön hade dock ingen direkt förbindelse med havet vid Öresund som idag, utan vattnet samlades i den s.k. Baltiska issjön. Avloppet tror man dock fanns i form av en älv i Öresundssänkan,

och det spekuleras också om ett avlopp norrut mot Vita havet. När isen drog sig tillbaka fanns dock lägre liggande trakter bl.a. vid Billings nordspets. När iskanten nådde dit tappades issjön av i en tappningskatastrof vars verkningar fortfarande kan ses i naturen, den s.k. Timmersdalavallen. Sjöns yta föll ända ner till havets nivå d.v.s. 26 meter och med lervarvskronologin har tidpunkten beräknats till 8 213 f. Kr. Östersjön hade nu förvandlats till ett innanhav som kallas Yoldiahavet efter en saltvattenmussla, *Yoldia arctica*. Havets strandvallar återfinnes numera c:a 150 m. ö. h. Landhöjningen fortskred dock och snart dämades även denna förbindelse med havet upp. Detta innebar att den s.k. Ancylussjön bildades som fått namnet efter en sötvattensnäcka, *Ancylus fluviatilis*. Denna sjö hade sitt avlopp via Svea älv vars verkningar kan beses söder om Degerfors, bl.a. fanns ett vattenfall på inte mindre än 32 meters höjd. Svea älv fanns dock bara i 500 år och denna ersattes av Dana älv som hade sitt utlopp via Stora Bält. Man tror att omläggningen skedde c:a 6 500 år f. Kr., [1] sidan 244. Havsyntans stigning började nu gå snabbare än landhöjningen i södra Sverige vilket innebar att det s.k. Litorinahavet bildades. Återigen fick en snäcka, *Litorina litorea*, namnge bildningen. Salthalten i detta hav varierade också vilket gav upphov till ännu flera stadier som dock inte behandlas här. En diatomé, *Mastogloia*, som lever i salt vatten och en sötvattensnäcka, *Limnea ovata*, har bl.a. gett namn åt dessa. Nämnas bör att det var Henrik Munthe som på 1940-talet utredde hur Östersjöns utveckling gått till. Detta gjorde han bland annat genom att studera strandvallar på Gotland och de skalrester han hittade där, se [3] sidan 329.

## 1.8 Jordarter

När inlandsisen lämnat området kommer berggrunden på många ställen att vara täckt av jord. Denna kan således delas in två distinkta jordarter, morän respektive s.k. glacifluviala sediment. Moränen är sådan jord som legat inne i, eller ovanpå, isen men som inte transporterats i rinnande vatten. Den är således osorterad och består av stora och små skarpkantade stenar eller block blandade med mera finkornigt material. De glacifluviala sedimenten å andra sidan, utgörs av sådana jordar som transporterats i vatten och därför blivit sorterade. Vanligen delar man också upp jordarna efter deras kornstorlek. De klasser som används framgår av tabell 1.1.

Man pratar därför om blockig morän, sandig morän o.s.v. allt efter den dominerande kornstorlek som förekommer. För att bestämma fördelningen av olika fraktioner använder man en uppsättning siktar som ställs ovanpå varandra. Siktarnas olika maskvidd avgör hur mycket material som stannar på varje nivå. De glacifluviala avlagringarna benämns också efter deras ytformer eller hur de en gång avsatts, t.ex. deltan, åsar m.m. Man kan också dela in jordarna efter deras tekniska egenskaper. De finare fraktionerna, utom ler, kallas därvid ibland för silt.

Block		> 2 dm
Sten	$\leq 20$	> 2 cm
Grovgrus	$\leq 20$	> 6 mm
Fingrus	$\leq 6$	> 2 mm
Grovsand	$\leq 2$	> 0.6 mm
Mellansand	$\leq 0.6$	> 0.2 mm
Grovmo	$\leq 0.2$	> 0.06 mm
Finmo	$\leq 0.06$	> 0.02 mm
Grovmjåla	$\leq 0.02$	> 0.006 mm
Finmjåla	$\leq 0.006$	> 0.002 mm
Ler	$\leq 0.002$ mm	

Tabell 1.1: Kornstorleksklasser i Sverige. Siffrorna anger diametern, [1] sidan 251.

Även lerfraktionen kan delas in ytterligare dels om den avsatts i sött vatten, diatakt, eller i salt vatten symmikt. Styva leror innehåller mer än 40 % av fraktionen ler medan lätta leror endast innehåller 5 %. Flera mellanformer finns också, [1] sidan 268.

De postglaciala avlagringarna har bildats efter det att isen försvunnit. Det kan vara skalgrus som bildats av havets vågor eller eoliska sediment som bildats av vindens inverkan t.ex. sanddyner. Om lerfraktionerna blandas med finfördelade växtrester talar man om gyttja. Om gyttjan är mycket kalkhaltig kallas den för bleke.

Det finns också s.k. organogena jordarter vilka uppkommer av döda växter och djur. Så bildas torvjordarna. En mosse har endast tillgång till vatten från nederbörden. På en sådan växer mest vitmossa, *Sphagnum*, skvattram och ibland mindre träd. I ett kärr växer andra arter, t.ex. brunmossa, starr, fräken, al m.m. Ett kärr innehåller mera näring än en mosse och kan delas in i rikkärr och fattigkärr. Dy är en kemisk utfällning av humusämnen och bildar en brun till svart substans.

## 1.9 Jordmåner

När isen lämnat området börjar växter och djur att ta marken i besittning. Först kanske det bara växer några lavar på marken men dessa bryts i sinom tid ner och lämnar näring åt mera krävande växter. De förmultnande växterna förändrar också den kemiska sammansättningen på det vatten som sipprar ner genom marken till grundvattnet. Genom dessa processer utbildas så småningom en markprofil eller jordmånstyp, se [4] sidan 554. Man talar oftast om två olika jordmåner i Sverige, podsol och brunjord. Vissnande höstlöv, barr, kvistar m.m. bildar först ett lager på marken som kallas förna. I förnan kan man fortfarande identifiera de

olika växdelarna. Denna bryts emellertid ner till olika humusskikt med allt högre grad av förmultning. I barrskogar bildar förnan ett skikt som kallas för mår. Detta lager har ett lågt pH, omkring 4. När regnvattnet tränger ner genom detta översta lager av råhumus eller torv blir det mycket surt och därför urlakas den översta mineraljorden på sina järnföreningar och bildar s.k. blekjord. Blekjorden har ofta en tjocklek på c:a 10 cm. Järnföreningarna fälls sedan ut igen längre ner i jorden och detta anrikningsskikt som kan bli 30-40 cm tjockt kommer därför att få en roströd färg. Anrikningsskiktet kallas ibland för skenhälla. Podsoljordarna förekommer i hela landet men de är särskilt iögonenfallande på finkorniga moräner i Norrland och i de sydvästra delarna av Sverige. På ängsmarker och kalkhaltiga jordar bildar förnan i stället s.k. mull. Mullen, som är 1 - 20 cm tjock, är rik på dagmaskar som blandar om jordlagren effektivt. Under mullen uppkommer ett 30 - 150 cm tjockt chokladfärgat anrikningsskikt. Även mullvadar bidrar effektivt till att denna omblandning sker, se [5] sidan 69. Under detta skikt vidtar den s.k. alven d.v.s. den opåverkade mineraljorden under en brunjord.

## 1.10 Vegetationsregioner

Beroende på klimat och växtlighet har man delat in Sverige i olika biotiska områden eller vegetationsregioner, [6] sidan 20. Längst norrut finns fjällregionen eller den alpina regionen som utgörs av trädlösa fjällområden. Något längre söderut och i lägre liggande trakter ligger den s.k. fjällbjörksregionen vilken också kallas den subalpina björkskogsregionen. Fjällbjörk, *Betula pubescens ssp turtuosa*, är en underart till glasbjörken.

Större delen av Sverige täcks av den norra barrskogsregionen, eller den boreala regionen. Den ingår i ett barrskogsbälte, i Ryssland kallat taigan, som sträcker sig över de norra delarna av Amerika och Eurasien. Även lövträd, som t.ex. björk och asp finns i taigan, men det är barrskogen som dominerar. Ek saknas och ask, lind och alm är sällsynta. Gränsen mot den subalpina regionen beror dels på höjden över havet samt på läget räknat från ekvatorn. Som högst når barrskogsgränsen 850 m. ö. h. på latitud 62 °N medan den endast är 425 meter vid 69 °N. Nämnas kan att trädgränsen vid Nordkap synes gå vid havsytans nivå. Gränsen mellan den boreala regionen och boreo-nemorala, eller södra barrskogsregionen utgörs av den s.k. *Limes norrlandicus*, eller den naturliga norrlandsgränsen. Denna gräns är främst en klimatgräns men den visar i stort där den mellansvenska slättbygden övergår i kuperad norrlandsterräng. Den södra barrskogsregionen avgränsas i sydväst av den naturliga utbredningen för gran. Här dominerar gran och tallskog men på bördigare mark finns bok, ek, ask och alm. Vildväxande bok finns dock endast i den sydligare delen.

Den nemorala regionen, eller den södra lövskogsregionen domineras av bok och ekbestånd men på många ställen har man planterat mellaneuropeiska typer av gran. Tallen som invandrade söderifrån saknas nästan helt. Till regionen hör



i stort sett Skåne och västkusten. Se även [5] sid 103-110 för en mera detaljerad diskussion angående växtgeografiska förhållanden.

## Kapitel 2

# Träd i Sverige och övriga världen

Botaniskt delas växterna in i naken- eller gömfröiga, gymno- resp. angiospermer. Till den första gruppen hör alla barrträd medan lövträden återfinnes i den andra gruppen. Notera att ordningen mellan de olika familjerna varierar mellan olika botaniska inriktningar. Även de latinska namnen kan ändra sig då och då. För en mera fullständig sammanställning, se [7].

### 2.1 Barrträd, *Gymnospermae*

Två barrträd, gran och tall är grunden i vårt svenska skogsbruk men ett antal ytterligare barrträd förekommer ibland i träindustriella sammanhang och nedan återfinnes en kort sammanställning. Förutom familjen tallar, *Pinaceae*, finns familjerna cypresser, *Cupressaceae*, och idegranar, *Taxaceae*.

#### 2.1.1 Familjen tallar, *Pinaceae*

Till släktet *Pinus* hör främst vår vanliga tall, *P. sylvestris*, som i Sverige är ett av våra viktigaste skogsbildande träd. Andra arter finns också som ofta förekommer i odling, exempelvis bergtall, *P. mugo* som finns i Alperna. Contortatallen, *P. contorta*, liksom *P. radiata*, och weymouthtallen, *P. strobus*, kommer från Nordamerika medan svarttallen, *P. nigra*, och terpentintallen, *P. pinaster*, kommer från södra Europa. En speciell tall den s.k. cembratallen, *P. cembra*, hör hemma i Alperna och Karpaterna. C:a 80 arter finns på norra halvklotet.

Lärkträd hör till släktet *Larix* som innehåller 10 arter. Åtminstone tre förekommer som odlade i Sverige, europeisk lärk, *L. decidua*, sibirisk lärk, *L. sibirica*, och japansk lärk, *L. kaempferi*. Den första arten självsår sig i bland.

Till släktet granar, *Picea*, hör främst vår "vanliga" gran *P. abies*, men andra arter odlas eller importeras ibland som virke. Dit hör ex.vis vitgranen, *P. glauca*, blågran, *P. pungens*, serbisk gran, *P. omorica*, samt sitkagranen, *P. sitchensis*.

Den senare hör hemma i Nordamerika. C:a 50 arter finns främst på norra halvklotet.

Där finns också släktet hemlockgranar, *Tsuga*, med arten västamerikansk hemlock, *Tsuga heterophylla*. Släktet innehåller 9 arter. Släktet *Abies* med c:a 50 arter, innehåller s.k. ädelgranar varav den sk silvergranen, *A. alba*, finns i södra Europas bergstrakter. Andra ädelgranar är nordmannsgranen *A. nordmannia*, pichtagranen, *A. sibirica*, och coloradogranen *A. concolor*. Kaskadgran, *A. procera*, och kustgran *A. grandis*, är ofta planterade i Sverige men dessa kommer också ursprungligen från Nordamerika liksom douglasgranen, *Pseudotsuga menziesii*. Detta senare släkte innehåller fem arter.

## 2.2 Lövträd, *Angiospermae*

Våra svenska lövträd har inte samma avgörande betydelse för Sveriges betalningsbalans som barrträden, men å andra sidan förekommer de i finare möbler bl.a. som fanér och i limfog, d.v.s. hoplimmade massiva träskivor. De viktigaste två träslagen, i ekonomiska termer, torde vara al och björk, men många andra finns också. Det finns en livskraftig lövskogssektor i Sverige även om den mesta råvaran importeras från andra länder. Bl.a. kan här nämnas vår stora import av finsk björk som av många anses ha överlägsen kvalitet.

### 2.2.1 Familjen videväxter, *Salicaceae*

Till familjen *Salicaceae* hör bl.a. annat släktena *Salix* och *Populus*. Många av arterna är tvåbyggare d.v.s. han- och honblommor växer på olika träd. Av släktet *Salix* är det väl kanske bara sälgen *S. caprea* som har någon träindustriell betydelse och även den används mycket lite.

#### Asp, *Populus*

Till släktet *Populus* hör 30 - 40 arter som mest förekommer på norra halvklotet. Dessutom finns ett stort antal hybrider. Släktet är enligt [8] indelat i fem sektioner: *Turanga* olikbladiga popplar, *Leuce* aspar och vitpopplar, *Aigeros* svartpopplar, *Tacamahaca* balsampopplar och *Leucoides* storbladiga popplar. *Leuce* delas sedan in i *Trepidae* aspar och *Albidae* äkta vitpopplar. Underavdelningen *Turanga* innehåller endast en art, *Populus euphratica*, som växer i centrala Asien, Mellanöstern, Spanien och norra delen av Afrika. Vår egen asp, *Populus tremula*, hör till avdelningen *Trepidae* dit också två nordamerikanska arter placerats in, *P. tremuloides* och *P. grandidentata*. Till vitpopplarna hör *P. alba* som finns i Mellan- och Sydeuropa, Nordafrika och Asien. Det finns också en grå poppel *P. canescens* som av många anses vara en hybrid mellan *P. tremula* och *alba*. Gråpoppeln finns bl. a. i Danmark där de används som läplanteringar

p.g.a. att de tål salt och vind. Till svartpopplarna hör *P. nigra* och *P. deltoides* där den första finns vid Medelhavet och den andra i Amerika. Mellan europeiska och amerikanska svartpopplar bildas hybrider som går under samlingsnamnet *P. x euramericana*. Balsampopplar finns bara i Nordamerika och Asien. Till de amerikanska hör arterna *P. trichocarpa*, *balsamifera* och *candicans* medan några asiatiska arter är *P. laurifolia*, *koreana*, *maximowiczii* och *simonii*. Av de storbladiga popplarna finns en nordamerikansk art *P. heterophylla*. De andra finns i Fjärran östern. En art nämns speciellt i [8], *P. lasiocarpa*, vilken är sambyggare d.v.s han- och honblommor finns på samma träd.

I Sverige förekommer bara en art, asp, naturligt. Den s. k. hybrid Aspen är en korsning mellan denna och *P. tremuloides*. Aspen förekommer i stort sett i hela Sverige bara medeltemperaturen överstiger 7.6 °C. Flest aspar har vi i Svealand där den svarar för c:a 16 % av alla lövträd. På bladen förekommer ibland s.k. rotsvampar, *Melampsora*, men dessa skadar inte virket. Allvarligare är då ett antal rötsvampar bl.a. eldtickan *Phellinus ignarius*, och asptickan *Phellinus tremulae*. Svampen kommer in i trädet via skador på grenar och bark och veden färgas först mörkt brun för att senare bli blek. Fnösketikkan, *Fomes fomentarius*, och honungsskivlingen, *Armillaria sp.*, angriper också aspen. Den nedre delen av stammen blir ofta ihålig av den senare typen. Bakterier och svampar som orsakar kräfta finns också ofta i aspbestånd, liksom ett stort antal insekter som lever på blad och virke. Aspvedbockarna, *Saperda carcharias* och *populnea*, träfjärilen *Cossus cossus*, tillhör de allvarligaste skadegörarna på virket, liksom den gråbandade barkbocken, *Xylotrechus rusticus*.

Huvuddelen av våra aspar går idag till pappersframställning och användningen i annan träindustri är mycket begränsad om man undantar tändsticksframställning. Aspen anses svår att torka och den får ofta besvärliga formförändringar och spricker lätt vid kvistarna. Genom att till viss del torka stocken innan uppsågningen kan dock problemen göras mindre. I [8] anges att asp tidigare använts till emballage, fanér, blindträ i möbler, bastuinredningar, lastpallar, spån- och boardskivor m.m.

### 2.2.2 Familjen björkar, *Betulaceae*

Både släktena al, *Alnus* och björk, *Betula*, hör botaniskt till familjen Betulaceae. Alla arter är sambyggare d.v.s. de har han- och honblommor på samma träd. Blommorna sitter i hängen och frukterna är, botaniskt sett, nötter.

#### Björk, *Bétula*

I Sverige finns två arter med träindustriell betydelse, vårtbjörk *Betula verrucosa* och glasbjörk *B. pubescens*. Ytterligare en art finns, dvärgbjörk, *B. nana*, men den har i dagsläget inte samma ekonomiska betydelse. Enligt [9] finns skilda åsikter om hur många björkarter som finns i världen i övrigt, siffror mellan 50

och 400 nämns. Det synes dock som om man är ense om att dela in dem i följande grupper:

Sektionen *Eubetula* delas in i *Costatae* gulbjörkar (Asien och Nordamerika), *Albae* vitbjörkar (Europa, Asien och Nordamerika) och *Nanae* dvärgbjörkar (Europa, Asien och Nordamerika). Vad gäller sektionen *Betulaster* nämns endast en undersektion *Acuminatae* vilken finns i Asien. Vårt- och glasbjörk hör till vitbjörkarna. Även inom arterna finns varianter ex.vis ornäsbjörken, *B. pendula* f. *dalecarlia* som används som prydnadsträd då den har speciellt flikiga blad. Varianten *carelia*, eller masurbjörken har stort ekonomiskt värde som fanér eller finare virke. Glasbjörken har en mera nordlig utbredning än vårtbjörken. Den förstas sydgräns ligger vid Alpena medan den andra t.o.m. finns på Sicilien. Nordgränserna är 70 resp 65 °N. Björken svarar för c:a 70 % av vårt totala lövvirke eller 286 Mm<sup>3</sup>sk eller skogskubikmeter. Detta är omkring 10 % av all skog i Sverige. Masurbjörk kan odlas med framgång, i alla fall i Finland. Fyra former förekommer: Knöl-, hals-, rand- och ringmasur där de två första är de vanligaste. Masurbildningen är genetiskt betingad vilket innebär att man kan så masurbjörk. Långt ifrån alla plantor utvecklar dock masur och i så fall först efter 5 till 10 år. Fjällbjörk är, som nämnts ovan, en underart till glasbjörken, *B. pubescens* var. *turtuosa*.

Björkar angrips av många svampar ex. vis *Phellinus igniarius*, *Fomes fomentarius*, sprängtickan *Inonotus obliquus*, och björkticka *Piptoporus betulinus*. De tre första orsakar vitröta medan björktickan är en brunrötesvamp, se [10] sidan 162 för närmare förklaring. I Norrland och Småland är angrepp av svarttickan *Phellinus negricans* vanliga. Även denna är en vitrötesvamp. S.k. häxkvastar förekommer oftast på glasbjörk. Det är en svampart *Taphrina betulina* som angriper bladen och den angripna kvisten förgrenar sig starkt. Svampen anses inte skada träden i övrigt. Vårtbjörken angrips av en annan *Taphrina*-art.

Även insekter trivs på björk. Björksplintborren, *Scolytus ratzeburgi*, angriper levande träd. Vid allvarigare angrepp leder detta till att träden dör. Insekten borrar upp lodräta rader av hål i bark och näver. Trädödaren, randiga lövvedborren *Trypodendron signatum*, och den bredhalsade varvsflugan, *Hylecoetus dermestoides*, är andra arter som angriper virket. Vanligt förekommande är spåren efter den s.k. björkbastflugan *Phytobia betulae*, vars larver äter gångar under barken. Gången övervallas sedan med brun vävnad vilken syns som långa bruna strimmor i virket. I [9] nämns ytterligare ett tjugotal insekter som tycker om björk.

Det är svårt att skilja på virke från vårt- och glasbjörk men några skillnader i mikrostrukturen nämns i referensen ovan. Som nämnts ovan angrips björkvirke lätt av svampar. Björken saknar kärna och kan därför tryckimpregneras genom hela tvärsnittet men inte ens detta hjälper vid markkontakt. Veden angrips då ofta av s.k. mjukröta. Rått virke missfärgas också lätt vid lagring. Till en del anses detta kunna undvikas genom s.k. syrfällning, d.v.s. kvistar och blad får vara kvar på trädet en tid efter det att det avverkats.

Björkvirke har mycket hög drag- och böjhållfasthet. Vårtbjörken har något

högre värden än glasbjörk. I förhållande till densiteten har björk en draghållfasthet som toppar världsligan men även vridhållfastheten är utomordentlig. Det borde därför passa i många byggnadskonstruktioner, ex. vis limträbalkar, men användningen hittills är låg till detta ändamål.

Framför allt kvistfritt virke av glasbjörk används i träindustrin för möbeltillverkning. Vårtbjörken blir ofta flammigare och mera snedfibrig vilket gör virket svårare att bearbeta. Om flammigheten övergår i masurbjörk blir dock priset högt och virket prissätts t.o.m. i kr/kg. I Finland sägs det följa priset på socker. Björk anses av många som lätt att torka men kräver 50 % längre torktid än barrvirke. Problem finns dock med missfärgning och deformationer. Ett speciellt användningsområde är utvinningen av björksocker, xylytol, som inte orsakar karies. I Finland används 120 000 m<sup>3</sup> flis om året till detta. Priset är dock 7 till 8 gånger högre än för vanligt socker.

### Al, *Alnus*

Fyra arter av al finns i Europa, varav två finns i Sverige, klibbal *A. glutinosa* och gråal *A. incana*. Veden är ströporig, d.v.s. kärnen är jämnt fördelade över ett tvärsnitt, men dessa är inte synliga för blotta ögat. Alarna har både han- och honblommor på samma träd och frukterna göms i små "kottar". De blommar mycket tidigt på våren. En annan egenskap är att de kan binda kväve genom att rotknölnarna lever i symbios med ett strålsvampsläkte, *Frankia*. Mellan 50 och 100 kg kväve kan bindas per ha och år. De är också mycket ljuskrävande. Träden växer bra så länge de är unga och i [11] anges att en lämplig avverkningsålder är 30 - 50 år varvid det lägre värdet gäller för gråal. Träden angrips många gånger av svampar och *Phellinus ignarius* anges som den allvarligaste. Bland insekterna kan *Cossus Cossus* ge allvarliga skador då larverna gräver gångar i virket. Virket är utan synlig kärna, mjukt och lätt och anses i [11] vara lätt att torka. Efter torkningen förändras inte formen nämnvärt och virket används därför ofta i modellsnickerier. En hel del går också till möbelbranschen.

Klibbalen förekommer i så gott som hela Europa men också i Afrika och Sibirien. I Sverige finns den mest i södra landsändan upp till Gävle men följer kusten ända till gränsen mot Finland. Till viss del beror detta på att den är värmekrävande och sommartemperaturen måste i medeltal överstiga 12 °C. Den växer mest i mycket våta marker, s.k. alkärr, men detta kan bero på att inga andra träd trivs just där. Omkring 20 miljoner m<sup>3</sup>sk finns i Sverige varav cirka 14 i Götaland.

Gråalen förekommer mest i norra Sverige där inte klibbalen finns i samma omfattning. Den har inte heller inte samma krav på fuktighet utan finns även på sandhedar. Virkesförrådet uppgår till 8 miljoner m<sup>3</sup>sk främst i Bergslagen och södra Norrland.

Björkal, *A. viridis*, finner man företrädesvis i de mellaneuropeiska bergstrakterna medan den italienska alen, *A. cordata* hittas i Italien och på Korsika, [11].

I denna källa finns dessutom ett hundratal andra referenser till verk om al.

### 2.2.3 Familjen bokar, *Fagaceae*

Boken, *Fagus sylvatica*, är en sydlig art som huvudsakligen förekommer i Skåne, Blekinge och Halland. Avenboken, *Carpinus betulus*, hör egentligen till hasselfamiljen och kallas ibland för vitbok till skillnad från *F. sylvatica* som kallas rödbok. Äkta kastanj, *Castanea sativa*, finns odlad på många håll. Den ska inte förväxlas med hästkastanjen, *Aesculus hippocastanum*.

I Sverige växer två arter av ek, stjärkek, *Quercus robur*, och druvek, *Quercus petraea*. I dagligt tal är det *Q. robur* som avses när man talar om ek i träindustriella sammanhang. Stjärkeken växer främst söder om *Limes norrlandicus* men enstaka ekar finns så långt norrut som i Haparanda. Druveken växer främst i västra Sverige. I medelhavsområdet finns den s.k. steneken, *Q. ilex*, ett träd som kan bli 25 m högt. Några mera ovanliga europeiska arter är den turkiska eken, *Q. cerris*, och *Q. pubescens*. Den senare är dock mera buskartad. Ibland träffar man på rödeken, *Q. rubra*, se figur 2.1. Rödeken härstammar från Nordamerika. C:a 200 arter finns runt om i världen. Hit hör också den s.k. korkeken,



Figur 2.1: Rödek, *Quercus rubra*. Foto: Stig-Inge Gustafsson.

*Q. suber*, som växer i Sydeuropa och Nordafrika.

### 2.2.4 Familjen almar, *Ulmaceae*

I finare möbler hittas ibland virke av alm, *Ulmus glabra*, som är ganska allmän i södra Sverige. Lundalm, *U. minor*, och vresalm, *U. laevis* finns ex.vis på Öland och Gotland medan den engelska almen, *U. procera*, finns bl.a. i Frankrike. Arton arter finns på norra halvklotet.

### 2.2.5 Familjen lönnar, *Aceraceae*

Denna familj har bara två släkten, *Dipteronia*, och *Acer*. Till det första hör endast två arter som finns i Kina men släktet *Acer* har omkring 115 arter varav en växer på södra halvklotet. I Sverige finns naturligt två arter, skogs- eller spetslönn, *A. platanoides*, och naverlönn, *A. campestris*. Den tyska lönnen, eller sykomorlönnen, *A. pseudoplatanus*, är den vanligaste odlade arten och den påträffas ofta förvildad, [9]. Skogslönnens nordgräns ligger från norra Värmland till Ångermanland men söderut finns den ner till Schweiz men då främst i bergstrakter. Naverlönnen finns i sydligaste Skåne, i Svedala, men är allmän i Danmark och England. Sykomorlönnen finns bl.a. i den mellaneuropeiska bergsområdena och det anses att den inte finns naturligt i Danmark. Skogslönnen växer aldrig i egna större bestånd utan blandar sig med andra lövträd. I Frankrike och Tyskland växer ytterligare en art, den s.k. dvärglönnen, *A. monspessulanum*, men den verkar inte användas i industriella sammanhang.

En svamp, cinnobergömmingen, *Nectria cinnabaria*, växer med förtjusning speciellt på grenar och stammar av lönn. En annan, *Rhytisma acerinum*, orsakar svarta "tjärfläckor" på bladen. Virket har låg motståndskraft mot röta och olika mögelsvampar orsakar missfärgningar på färskt virke. Även blånadssvampar förekommer på sykomorlönnen. Skogslönnen som träd angrips sällan av insekter men då den avverkas och torkas angrips den av släktena *Lyctus*, *Anobium* och *Ptilius*.

Vid torkningen av virket skall det helst placeras stående enligt [9] sidan 37. Detta för att det ska få en önskvärd brunaktig färgton. Sker torkningen för snabbt anses den dock bli missfärgad. Sykomorlönn är mycket stabil för varierande luftfuktighet medan skogslönn och bok anses krympa mest av alla europeiska lövträd.

Ett viktigt användningsområde för sykomorlönn är resonansbottnar i stråkinstrument. Speciellt eftertraktat är sådan ved som är vägfibrig en egenhet som endast finns hos ungefär 5 % av träden. Flöjter och fagotter tillverkas också av lönn. S.k. fågelögontextur finns också hos vissa lönnar framför allt på den amerikanska sockerlönnen *A. saccharum*. Naverlönn kan ibland få s.k. masurväxt och virket blir då mycket eftertraktat.

Lönnar drabbas ibland av oönskade färgförändringar, fläckar, som är svåra att se efter torkning av ex. vis fanér. Om man håller fanéret mot ljuset syns de dock, liksom efter ytbehandling. Ibland missfärgas större partier ex. vis s.k. falsk kärna med grå, gråbruna och grönaktiga zoner. Felet uppträder troligen som ett resultat av svampangrepp.

Lönn är lätt att färga in och träslaget lämpar sig därför för att imitera andra mer dyrbara arter. Färgen gulnar med tiden och det är svårt att hindra detta ex. vis genom att använda UV- absorberande lacker. Speciellt under 50- och 60-talen röntes lönnen uppskattning som möbelvirke men idag är träslaget mera ovanligt.



### 2.2.6 Familjen lindar, *Tiliaceae*

Den vanliga linden, *Tilia cordata*, finns upp till södra Ångermanland. Bohuslinden, *T. platyphyllos*, är ibland odlad men där den växer vilt är den fridlyst. Dessutom finns den ofta odlade parklinden. Släktet innehåller c:a 30 arter från norra halvklotet. Figur 2.2 visar troligen en parklind.



Figur 2.2: Lind, *Tilia*. Foto: Stig-Inge Gustafsson.

### 2.2.7 Familjen rosväxter, *Rosaceae*

Till denna familj hör åtminstone några släkten av intresse för träindustrin nämligen, päron *Pyrus*, apel *Malus*, oxel och rönn *Sorbus* och fågelbär, körsbär, hägg m.fl. *Prunus*.

#### Fågelbär, *Prunus avium*

Till släktet *Prunus* hör c:a 200 arter som finns på norra halvklotet i dess tempererade zoner, [9]. I Europa är det bara fågelbäret, *P. avium*, som uppnår rejäl storlek. Fyra andra körsbärsarter finns också i Europa och surkörsbäret, *P. cerasus* bedöms också vara av intresse. Fågelbäret växer vilt i Sverige upp till Värmland och Uppland och tillhör ädellövträden. Arten behöver mycket ljus för att utvecklas bra men den tål skugga de första två åren. Ljusbehovet innebär dock att den lätt konkurreras ut av andra arter. Om trädet får en skada avsevärt en gummiartad sav, s.k. gummosis, och några författare anser detta beror på en svamp som kommer in i såren på trädet. Andra sjukdomar på *Prunus* är exempelvis bakterios som orsakas av bakterien *Pseudomonas*. En typ av denna, *P. morspunorum*, ger s.k. bakteriekräfta hos trädet. Två svampar, gul monilia, *Sclerotinia fructigena*, och gråmögel, *Botrytis cinerea*, angriper också trädet men dock främst frukterna. Ibland drabbas träden också av rotröta och även här anses ett antal svampar vara av betydelse, bl.a. rottickan, *Heterobasidion annosum* som

orsakar vitröta, *Phaeolus schweinitzii* som ger brunröta liksom *Armillaria sp.* Ytterligare en brunrötesvamp anses angripa via sår på grenar och stam nämligen *Laetiporus sulphureus*. Träden kan bli 40 meter höga men vanligare är c:a 20 meter medan diametern i brösthöjd blir c:a 50 cm. Vid torkning anges att kärnveden krymper måttligt medan splintveden krymper starkt. Virket är lätt att bearbeta och böjningsegenskaperna är goda. Det är mycket bra som möbelvirke både som massivträ och som fanér. En annan *Prunus*-art är *P. padus*, eller hägg.

### 2.2.8 Familjen syrenväxter, *Oleaceae*

I denna familj, som också kallas olivfamiljen, finns tre släkter i Sverige, liguster *Ligustrum*, syren *Syringa* och ask *Fraxinus*. Då det endast är asken som är av intresse för den trämekaniska industrin behandlas bara denna här.

#### Ask, *Fraxinus*

Släktet *Fraxinus* innehåller 65 arter som huvudsakligen förekommer på norra halvklottets tempererade zon, [11]. En art finns i Sverige, *F. excelsior*, men två nordamerikanska arter nämns som skogligt intressanta nämligen vitask, *F. americana*, och svartask, *F. nigra*. I Frankrike och Tyskland växer den s.k. mannaasken, *F. ornus*, men den verkar ha mindre betydelse i träindustriella sammanhang. Asken har rätt stora krav och växer mest på fuktiga mullmarker. Asken är en s.k. mångbyggare dvs den har antingen han- hon- eller tvåkönade blommor på samma träd. Dess lövsprickning är mycket sen. Det går lätt att föröka askar vegetativt, dvs genom att sätta skott. Ask angrips inte av svampar så lätt men bl.a. pälstickan, *Inonotus hispidus*, kan etablera sig. Den är inte heller särskilt känslig för insektsangrepp. Arten har bandporigt virke och de stora kärnen syns med lätthet med blotta ögat. Virket anges som tämligen beständigt men inte lika bra som ek. Samtidigt är det mycket segt och starkt, ett av de starkaste vi har i Sverige, och lätt att böja vid basning. Draghållfastheten har mätts upp till hela 293 MPa enligt [11].

## 2.3 Vem äger skogen?

Skogsvårdsstyrelsen i Linköping har i en skrivelse, [12], redovisat ägoförhållandena i Östergötland, se tabell 2.1.

Vi ser i tabellen att enskilda personer äger ungefär 50 % av skogen i Linköping, Åtvidaberg, Motala, Vadstena, Norrköping och Finspång medan detta ägande är större i t.ex. Valdemarsvik. Stat, kommun och kyrka har en betydligt större andel än riksgenomsnittet i ex.vis Motala, medan aktiebolagen har en förhållandevis stark ställning i Finspång. I Kinda kommun synes det enskilda ägandet dominera helt. Vad som ryms i ägarkategorin övrigt är i dagsläget okänt.

Kommun	Enskild person, Enkelt bolag, Dödsbo	Aktiebolag	Staten	Kommun	Kyrka	Ovriga	Summa
Linköping	34 268	5 695	13 233	3 017	710	4 457	61 380
Atvidaberg	25 795	21 467	2 691	189	2 040	624	52 806
Odeslöv	16 497	16	1 247	117	304	5 177	23 358
Boxholm	14 985	20 951	3 769	35	892	69	40 701
Motala	27 191	1 607	17 673	2 167	1 416	2 320	52 374
Vadstena	942	165	426		54	21	1 608
Mjölby	13 415	1 789	2 488	547	1 207	117	19 563
Norrköping	32 123	17 841	2 094	2 616	915	14 750	70 339
Finspång	36 810	32 575	6 758	570	1 035	2 533	80 281
Söderköping	28 575	2 611	57	513	735	2 596	35 087
Valdemarsvik	32 689	4 664	1 198	651	300	751	40 253
Kinda	61 992	7 039	3 310	1 408	1 843	9 800	85 392
Ydre	31 268	8 625	10 377	18	1 853	105	52 246
Summa	356 550	125 045	65 321	11 848	13 304	43 320	615 388

Tabell 2.1: Areal skogsmark i ha fördelad efter företagarkategori enligt Lantbruksräkningen 1992, [12].

Kommun	Storleksgrupp, hektar skogsmark								Summa
	0	0,1-5	5,1-20	20,1-50	50,1-100	100,1-200	200,1-400	400,1-	
Linköping	474	243	370	188	100	46	13	10	1 444
Atvidaberg	75	28	59	69	78	58	24	3	394
Odeslöv	179	72	170	133	62	21	6	1	644
Boxholm	54	25	84	74	58	26	5	2	328
Motala	224	137	220	133	63	30	27	6	840
Vadstena	183	29	27	12	3	0	0	0	254
Mjölby	251	142	200	106	31	16	5	2	753
Norrköping	262	122	255	209	114	46	14	7	1 029
Finspång	80	28	106	144	97	47	25	5	532
Söderköping	135	55	164	120	70	47	14	8	613
Valdemarsvik	78	31	95	110	85	67	26	8	500
Kinda	120	52	188	229	181	124	46	13	953
Ydre	83	24	97	137	102	70	21	4	538
Summa	2 198	988	2 035	1 664	1 044	598	226	69	8 822

Tabell 2.2: Antal företag fördelat efter storleksgrupp på skogsmarksareal enligt Lantbruksräkningen 1992, [12].

Enligt riksskogstaxeringen är skogsmarksarealen något större, 619 000 ha, än vad som anges i tabell 2.1. Efter det att lantbruksräkningen genomfördes har Domänverkets mark bolagiserats (heter numera ASSI-Domän AB). I tabell 2.2 har arealen i stället fördelats efter storleken på innehavet.

Av tabellen framgår att många skogsföretag är mycket små 2 198 av 8 822 st. Näst i tur kommer de företag som har en areal mellan 5 och 20 ha. Antalet företag med en areal över 400 ha är å andra sidan förhållandevis litet, 69 st. Multipliceras antalet företag med medelvärdet i intervallet synes det som om den största arealen i Östergötland upptas av företag mellan 100 och 200 ha. Denna tendens verkar vara förhållandevis fast inom länet. Som nämns i [12] är ägostrukturen viktig för skogsbruket. Ett stort företag kan besluta att införa en ny teknik på mycket stora arealer samtidigt. Mindre företag med många ägare låter sig inte påverkas så lätt av nymodigheter vilket kan vara av stort värde ur naturvårdssynpunkt.

Virkesförrådet uppgår till omkring 145 m<sup>3</sup>sk/ha. Under tjugotalet var motsvarande siffra 103 m<sup>3</sup>sk/ha vilket betyder att man tidigare hade glesa skogar som nu blivit markant tätare. Den största ökningen av virkesförrådet svarar gra-

nen för. Noteras bör att en stor del av lövträdstillgångarna står på annan mark än skogsmark. Barrskogarna utgör 85 % av skogsarealen, medan blandskogar har 6 % och lövskogen 8 %. S.k. ädla lövskogar utgör endast 1 % av skogsarealen. Man bör också vara medveten om att en stor del av lövträden står i barrskogarna. Intressant är också att notera hyggenas storlek. De privata ägarnas hyggen är i genomsnitt c:a 2 ha vilket hållt sig tämligen konstant under den senaste tjuugoårsperioden, medan Domänverkets hyggen var c:a 14 ha 1978 och c:a 4 ha 1993/94. Motsvarande siffror från aktiebolagsskogarna var c:a 9 ha mot omkring 6 ha. Hyggesstorlekarna har således minskat kraftigt, framför allt hos de stora skogsägarna.



## Kapitel 3

# Svampar, bakterier och insekter på virke

M4↓

### 3.1 Svampar

Stora skadegörare på trä är svampar av olika arter. I [13] sidan 97 - 112, finns en förhållandevis omfattande redogörelse av problemet, men endast ett fåtal arter behandlas, medan [10], sidan 160 - 164, endast kortfattat beskriver de svenska arterna. Nedan följer därför några kompletteringar, huvudsakligen hämtade från [14] och [15]

Svampar är en naturlig del av vår värld. De saknar klorofyll och lever både på levande organismer som parasiter eller på döda sådana, som saprofyter. Svamparna deltar i processen att bryta ner döda djur och växtrester och är därför utomordentligt värdefulla för oss. Tyvärr sätter de ibland in sina angrepp alltför tidigt dvs innan ex. vis en byggnad tjänat ut och rivits. Svamparna erhåller både sin energi och sitt behov av kol från det organiska material som de växer på. En del svampar kan också ta upp kol via luftens koldioxid men man vet inte om detta kol är en huvudkälla eller ej, [14] sidan 41. Svamparna har en mera komplicerad cellstruktur än ex.vis bakterier eller blå-gröna alger. I huvudsak framlever de sitt liv som mikroorganismer men ibland formar de fruktkroppar, ex.vis kantareller, vilka sprider sporer. Svampar som har stora fruktkroppar anses som mera utvecklade än de andra. De flesta svampar som är skadegörare på virke har just sådana fruktkroppar. Svamparna kan biologiskt delas in i två grupper, slemsvampar eller *Myxomycètes* och riktiga svampar eller *Eumycètes*. Slemsvamparna, som i sin tur kan delas in i fyra undergrupper, lever ofta på fuktigt och delvis nedbrutet virke men man har inte funnit att de bryter ner cellväggarna eller annars skadar virkets hållfasthet. De riktiga svamparna delas in i fem undergrupper. Den första gruppen, *Mastigomycètes*, anses inte ge några skadeverkningar på

virke varför den inte närmare behandlas här. Här skall nämnas att svamparnas botaniska indelning hela tiden förändras allt eftersom olika skolor inom mykologin vinner gehör. Här har därför de förhållanden som beskrives i [14] getts företräde men de svenska artnamnen m.m. har hämtats från [15].

Den andra gruppen, *Zygomycetes*, innehåller arter som i och för sig inte kan bryta ner cellväggarna men som lever på lösningsbara näringsämnen i cellerna. De anses vara de första svampar som kolonialiserar virke och får därför inte underskattas. Två familjer som tillhör kulmögelsvamparna, *Mucoraceae* och *Rhizopus*, kan växa in flera millimeter i virket på bara några få veckor, [14] sidan 55. Det är inte bara virket som påverkas. Människor som arbetar i sågverk m.m. kan drabbas av arten *Rhizopus rhizopodiformis* vilket kan ge upphov till sjukdomar. Vid torkning av virke kan dessutom vissa arter växa mycket snabbt och sporerne kan ge upphov till astmatiska besvär. Två sådana arter, som dock hör till gruppen *Deuteromycetes*, är *Paecilomyces variotii* och *Aspergillus fumigatus* vilka är vanliga i Sverige. Släktet *Aspergillus*, borstmögel, har ett tiotal arter i Sverige. Andra arter i gruppen *Zygomycetes* finns bara på insekter varför dessa lämnas därhän.

En grupp som behandlas bl.a. i [13] är *Ascomycetes*, säcksvampar, där den s.k. mögelröten ingår. Gruppen delas in i sex undergrupper varav en innehåller de vanliga jästsvamparna. En annan grupp innehåller *Penicillium* samt bl.a. arter av *Ceratocystis* som orsakar den s.k. holländska almsjukan, *C. ulmi*, och en art som ger sig på ek, *C. fagacearum*. Flera av dessa arter, enligt en forskare inte mindre än 59 stycken, orsakar också blånad på virket. En ytterligare undergrupp innehåller familjen *Chaetomiaceae* och en art, *C. globosum*, används som standardtest för att påvisa mjukröta. Andra arter i denna grupp tillhör familjerna *Xylariaceae*, med fem arter i Sverige varav en heter stubbhornsvamp, *Daldinia*-*ceae* och *Hypoxylon*. Den senare familjen som kallas dynsvampar, har c:a femton arter i Sverige, och är vanliga på lövträ, bl.a. ask. De bildar ofta kuddformiga fruktkroppar. Några arter av *Xylaria* orsakar s.k. vitröta som förekommer just på lövträ. Tryfflarna, *Tuberales*, tillhör en fjärde undergrupp medan några andra arter som ger mjukröta bl.a. *Delitschia*, *Leptosphaeria* och *Sporormia* tillhör en femte grupp. Dessa senare, liksom den sjätte gruppen anses inte som några allvarliga skadegörare på virke varför de inte beskrives närmare här.

Till de allvarliga skadegörarna hör däremot basidiesvamparna, *Basidiomycetes*. Dessa är indelade i tre grupper varav en är förhållandevis ointressant nämligen *Teliomycetes* eller rostsvampar. Vanliga champinjoner m.fl. hör till *Hymenomycetes*, eller hattsvampar, vilket i sin tur delas in i tre underordningar. Den första av dessa har kallats *Agaricales* med två familjer *Agaricaceae* och *Boletaceae*. Den första familjen innehåller släkten som *Amanita* flugsvampar, *Armillaria* vissa skivlingar, *Clitocybe* trattskevlingar, *Coprinus* bläcksvampar, *Hypholoma* slöjkskevlingar, *Laccaria* laxskivlingar, *Lepiota* fjällskivlingar, *Mycena* hättor, *Pholiota* tofsskevlingar, *Stropharia* kragskivlingar och *Tricholoma* musseroner. Alla dessa synes vara skivlingar medan familjen *Boletaceae* är soppar, dvs spo-

terna bildas i små rör under svampen. Vissa av dessa soppar är mycket viktiga som mycorrhizasvampar medan andra ger sjukdomar hos träden. Några lever på döda träd och stockar ex.vis *Armillaria mellea* honungsskivling, och *Pleurótus ostreátus* ostronskivling. En svamp, *Paxillus panuoides* en sorts pluggskivling, lever på mycket fuktigt trä i gruvgångar eller dylika lokaler. *Lentinus lepideus*, eller sylmussling, är en besvärlig svamp på barrträd.

Den andra ordningen, *Aphylophoráles* där bl.a. tickorna ingår, är inte helt utredd. Många av dessa svampar angriper växande träd men endast några få av dessa fortsätter att vara aktiva då trädet dött. Till och med sådana svampar som orsakar kärnröta klarar detta endast så länge trädet står upp medan de inte fortsätter sin verksamhet då trädet fallit omkull. Några mycket viktiga skadegörare i denna grupp är *Antrodia vaillantii*, *Bjerkandera adusta* troligen svedticka, *Gleophyllum trabeum* en släkting till vår svenska vedmussling, *Oligoporus placenta* en släkting till mögeltickan och *Trametes versicolor* vilken troligen motsvarar vår sidenticka. Den nyss nämnda sylmsvampen brukar ibland också räknas hit. En svamp på björk, *Piptoporus betulinus* björkticka, kan nämnas liksom *Heterobasidion annosum* vilken orsakar kärn eller rotröta på barrträd. Två svampar som ofta angriper hus är *Coniophora puteana* eller källarsvamp, och *Serpula lácrimans* eller hussvamp.

*Tulasnellales* kallas den tredje ordningen av hattsvamparna och innehåller bl.a. några allvarliga skadegörare på fönsterkarmar. Dessa tillhör de s.k. gelesvamparna och några familjer heter *Tremélla* krössvampar, *Exidia* också krössvampar, *Calócera* hjorthornssvamp och *Dacrymyces* plättsvampar. Just den senare, *D. stillatus* har gett stora problem i Skandinavien. Några andra svampar med begränsat intresse just inom trävetenskapen, men med stort vetenskapligt intresse, ingår i ordningen *Gasteromycétes*. Hit hör bl.a. *Lycoperdon* röksvampar, *Sclerotinia* rottryffel, *Geastrum* jordstjärnor, *Cyathus* brödkorgsvampar och *Crucibulum* också en brödkorgsvamp. Liksvamparna, *Phallus*, undviks av insekter p.g.a. de illaluktande ämnen som avges.

Ordningen *Deuteromycotina*, eller *Fungi imperfecti*, är en konstgjord indelning av svampar som inte producerar några sexuella sporer. Numera har man hittat sexuella stadier av dessa svampar men indelningsgrunden lever kvar trots detta. Vissa av dessa svampar har flera ofullkomliga stadier. Vetenskapen står fortfarande frågande inför flera av dessa arter. En av dessa, *Aureobasidium pullulans*, förekommer på fuktiga snickerier och missfärgar träet även utanpå målarfärgen. Många av blånadssvamparna hör till denna ordning, bl.a. släktet *Ophióstoma* med ett tiotal arter i Sverige, [15] sidan 330.

Som nämnts i bl.a. [10] klassifierar man ibland svamparna efter typen av deras angrepp. De svampar som ej förmår att bryta ner lignin kallas brunrötesvampar. Sådana svampar färgar således träet brunt. Några vanliga brunrötesvampar är:

- *Antrodia serialis*, knölticka
- *Antrodia sinuosa*, mögelticka



- *Antrodia vaillantii*
- *Antrodia xantha*
- *Coniophora arida*
- *Coniophora puteana*, källarsvamp
- *Daedalea quercina*, korkmussling
- *Donkioporia expansa*
- *Gleophyllum sepiarium*, vedmussling
- *Gleophyllum trabeum*
- *Lentinus lepidus*, sylsvamp
- *Meruliporia incrassata*, mest i Nordamerika
- *Oligoporus placenta*, mest i Nordamerika
- *Paxillus panuoides*, pluggskivlingar
- *Serpula lacrymans*, hussvamp
- *Tyromyces palustris*

Mycket forskning pågår runt om i världen för att förstå hur ex.vis svamparna bryter ner trästrukturen. Ett exempel återfinnes i [16] där man undersökt hur en svamp bryter ner lignin under strängt kontrollerade former. Efter en inkubationstid på 10 dagar började svampen att kemiskt omforma ligninets struktur och bildade också andra ämnen med lignin som råvara. Denna och andra svampar lämnar träet blekt eller vitt vid ett angrepp. De förmår således bryta ner ligninet men samtidigt kan de bryta ner andra ämnen i veden. Det är således felaktigt att påstå att de lämnar kvar cellulosan. Vanliga sådana vitrötesvampar är:

- *Bjerkandera adusta*, svedticka
- *Hyphoderma praetermissum*
- *Phanerochaete chrysosporium*, slätsvampar
- *Phlebiopsis gigantea*, ribbgryna?
- *Pleurótus ostreátus*, ostronskivling
- *Pycnoporus sanguineus*
- *Scizophyllum commune*, klyvmussling

- *Sterum hirsutum*, raggskinn
- *Trametes versicolor*, sidenticka

De latinska namnen ovan är hämtade från [14] sidan 78, medan de svenska namnen hämtats bl.a. från [10] och [15].

Sexton olika svampar som växer på björk och asp har undersökts i [17]:

- *Polyporus betulinus*
- *Stereum hirsutum*, raggskinn
- *Polyporus marginatus*
- *Stereum purpureum*
- *Polyporus hirsutus*
- *Corticium laeve*
- *Polyporus versicolor*
- *Corticium confluens*
- *Polyporus zonatus*
- *Peniophora incarnata*, tätskinn
- *Polyporus adustus*
- *Schizophyllum commune*, klyvblad
- *Lenzites betulina*, björkmussling
- *Libertella betulina*
- *Daedalia unicolor*
- *Cytosporina sp.*

Genom att odla svamparna på exempelvis filterpapper av ren cellulosa kunde man utröna att brunrötesvamparna *Polyporus betulinus* och *marginatus* inte kunde utnyttja denna som enda näringskälla. *Corticium laeve* och *Stereum purpureum* växte endast i begränsad omfattning medan de andra växte alldeles utmärkt. Man undersökte också vid vilken temperatur svamparna växte bäst. För alla arterna hade aktiviteten avstannat helt när temperaturen översteg 45 °C. Endast två arter, *Polyporus hirsutus* och *Schizophyllum commune* klarade ett varmare klimat än 35 °C. Bäst växte de om temperaturen höll sig mellan 20 - 30 °C.

Man bör notera att namnen på svamparna varierar både vad gäller latinet och svenskan varför översättningen i några fall kan ha blivit fel. Några vanliga mjukrötesvampar förtjänar också att nämnas av de 400 som angetts som misstänkta:

- *Chaetomium globosum*
- *Lecythophora hoffmannii*
- *Monodictys putredinis*
- *Humicola alopallonella*

Dessa är tyvärr inte beskrivna på svenska i den litteratur vi haft till hands.

## 3.2 Bakterier

I många träslag förekommer också angrepp av bakterier. Dessa anses svara bl.a. för s.k. vattved som är av ondo främst vid ytbehandlingen av träprodukter då permeabiliteten ökar 7 - 10 gånger i veden, se [18] sid 213 och följande. Dessutom producerar bakterierna ibland färgämnen som kan ge ett oönskat utseende på virket. I [19] nämns följande typer:

- *Bacillus pumilus*
- *Bacillus subtilis*
- *Cellulomonas spec*
- *Erwinia carotovora*
- *Pseudomonas convexa*
- *Serratia marcescens*

Se även avsnittet om färgförändringar längre fram i kompendiet.

## 3.3 Insekter

I den övriga kurslitteraturen finns de vanligaste skadegörande insekterna på skog och virke beskrivna. Här skall därför endast några kompletteringar göras. Framställningen nedan bygger på [20] om inget annat anges. I slutet på [20] finns dessutom en bestämningsnyckel för vanliga skadeinsekter efter skadornas utseende. En hel del står också att finna om insektsangrepp i [14] sidan 209 och följande sidor. År 2002 kom en mycket förnämlig bok ut som redogör i detalj för svenska vedlevande insekter, [21].

I Sverige finns c:a 4000 olika arter av skalbaggar varav några angriper trä. Andra skalbaggar lever på dessa skadegörare så det gäller att kunna avgöra vilka som är nyttiga resp skadliga om bekämpningsinsatser sätts in. En sådan nyttig insekt är den s.k. myrbaggen, *Thanátimus*, som lever på barkborrar och således gör stor nytta. Två arter finns *T. formicarius* som är 7 - 10 mm lång och *T. rufipes* 6 - 8 mm. Bägge finns i hela landet men den första är vanligare. De finns mest på barrvedsstockar, [22].

Den bredhalsade varvsflugan, *Hylecoétus dermestoídes*, är 9-16 mm lång och angriper björk, mest sjuka träd och nyfällda stammar. Larven lever i veden och orsakar gångar vilka liknar tätt ställda yxhugg. Barkat och sågat virke ger den sig dock inte på. Endast en art finns i Sverige. En annan varvsfluga, den s.k. skeppsvarvsflugan, *Lymexylon navale*, anses förr ha varit en stor skadegörare på ekvirke. Den är nu mycket sällsynt, [22].

I [13] talas om ett släkte som heter *Lyctidae*. Detta finns nästan inte alls beskrivet i den svenska litteratur som vi haft tillgänglig men Bengt Ehnström vid SLU, avd för skogsentomologi, skriver att släktet på svenska heter splint- eller parkettbaggar. Den enda art som finns frilevande i Sverige, *Lyctus linearis* eller eksplintbaggen, lever i nyligen död torr ved i ekbestånd upp till Uppland. Ibland kan den angripa sågat ekvirke som lagras utomhus och därigenom komma inomhus via parkettgolv. Det finns också en annan art, *Lyctus brunneus*, som kallas just parkettbagge. Den lever dock endast inomhus. Djuren lever i hårt och torrt virke och de packar igen gångarna med gnagmjöl vilket innebär att de är mycket lätta att förbigå. I referensen [23] finns *Lyctus canaliculatis* beskriven, vilken på svenska benämns ekvedbaggen eller parkettgolvbaggen. Dessa två namn är synonymer enligt Bengt Ehnström vilket verifieras i [24]. Ytterligare en art som vi ibland importerar är *Minthea rugicollis* vilken inte alls finns upptagen i den svenska litteratur vi haft tillgänglig.

En annan insektsfamilj med ekonomisk betydelse för virkeshantering är långhorningarna. Allmänna barkbocken, *Tetrópodium castáneum*, lever allmänt i hela landet medan arten *T. fuscum* är mera sällsynt, [22]. Larverna lever mest i barken men vid förpuppningen borrar de en hakformig gång om c:a 3 cm rakt in i veden. Den gråbandade barkbocken, *Xylótrechus rústicus* angriper vanligen växande asp men kan ibland återfinnas även på björk. Aspveden gillar den tydligen bäst då den där förstör veden totalt medan den endast fårar splinten obetydligt i björk. Den smalbandade ekbarkbocken, *Plagionótus arcuátus* som blir c:a 10-20 mm stor, angriper obarkat ektimmer och kan därför följa med i t.ex. parkettstav. Insekten som är ganska vanlig liknar en geting och känns därför lätt igen. Ytterligare en art finns, *P. detritus* men den är mera sällsynt. På svenska kallas den bredbandad ekbarkbock. Tallbocken, *Monochámus sútor* angriper både tall och gran mest i form av liggande timmer eller brandskadade träd. Larven förfärdigar en platt oval gång sex till sju cm djup, fri från gnagmjöl, som är mycket karaktäristisk. P.g.a. de djupa gångarna är insekten en mycket svår skadegörare. Tre arter finns men de två andra är sällsynta. Den större aspveds-

bocken, *Sapérda carchárias* är en c:a tre cm lång långhorning. Den gillar mest asp men förekommer också i poppel och sälg. Den angriper fullt friska träd och larverna gräver gångar i gagnvirket vilket gör att den är en svår skadegörare bl.a. inom tändsticksindustrin. Fem arter finns i släktet där tre av dessa heter *S. perforata*, *S. scalaris* med svenskt namn björkvedsbock som förekommer dock mest på rönn och björk, [22], och *S. populnea*, mindre aspvvedbock. Den senare angriper dock endast mindre aspar i plantskolor o.d.

Snytbaggarna tillhör familjen vivlar av vilka det finns c:a 600 arter i Sverige. Den vanliga snytbaggen, *Hylóbius abíetis*, är mycket vanlig i hela landet och angriper unga tall- och granplantor. Snytbaggen lägger ägg i färska stubbar eller liggande timmer med markkontakt. Tre andra arter finns, *H. pinastri*, *H. piceus* och *H. transversovittatus*. Den senare lever dock på växten *Lythrum*, eller fackelblomster. Ett annat släkte, tallvivlarna, innehåller sex arter. Den större tallviveln, *Pissódes píni*, lever på tall och granplantor. De perforerar barken på yngre träd och resultatet blir oftast en stark kådutgjutning. Vivelns angrepp betyder inte mycket vad gäller virkesvärden, endast en begränsad blåyta kan uppträda vid puppkammaren. Den enbandade tallviveln, *P. piníphilus*, har i stort sett samma beteende.

Till barkborrarna hör flera släkten benämnda splintborrar, märgborrar, äkta barkborrar och vedborrar. I Sverige finns ett åttiotal arter som tillhör skogens svåraste skadegörare. Den större almsplintborren, *Scólytus triarmatus*, angriper döende almar eller obarkat timmer och bygger ett djupt gångsystem i splinten. Det finns även en mindre almsplintborre, *S. laevis*. Den största skadan gör djuren dock då de överför den s.k. almsjukan vilken är ett angrepp av svampen *Ophiostoma ulmi*, som numera döpts om till *Ceratocystis*. En annan splintborre, *Scólytus ratzeburgi* eller björksplintborren är vanlig i hela landet. Denna angriper stående björkar och angreppet känns igen på den rad med lufthål som honan borrar ner till modergången. Nio arter finns i släktet *Scólytus*. Den fläckiga askbastborren, *Hylésinus fráxini*, c:a 2 - 2.5 mm stor, är synnerligen vanlig där det finns askar. Den angriper gärna nyligen fällt askvirke och äter yngre friska askträd som då får kräftliknande svulster. Gångarna äts tvärs fiberriktningen. Den svarta askbastborren, *H. crenátus*, samspelar troligen med den fläckiga fränden men detta är ännu inte klarlagt. Svarta tallbastborren och svarta granbastborren, *Hylástes brúnneus* resp. *cuniculárius* är vanliga i barrskog i hela landet, men verkar inte skada virke i nämnvärd omfattning då de mest gnager på rötterna eller vid markytan. Den bleka bastborren, *Hylúrgops palliátus*, gör i sig själv ingen skada men sprider s.k. blåytesvampar. Ytterligare en art finns, *H. glabratus*, som mest finns i Norrland. Märgborrarna, släktet *Blastóphagus*, är allvarliga skadegörare på skogen, främst då en av arterna sprider en blåytesvamp. Grenarnas skott faller också av varför angreppen glesar ur kronan hos träden. Angrepp av den mindre märgborren, *B. mínor*, färgar splintveden intensivt blå ända in till kärnan. Jättebastborren, *Dendróctonus mícans*, är en allvarlig skadegörare på sitkagran i Danmark. Av äkta barkborrar finns många arter. De tvåtandade

och fyrkantade barkborrarna saknar i stort praktisk betydelse medan den sextandade, *Pityogenes chalcographus*, har betydelse för skogsbruket. En annan art den skarptandade barkborren som mest förekommer i Norrland, *Ips acuminatus*, ger en kraftig mörkblå missfärgning av splinten. En släkting, den tolvkantade barkborren, *Ips sexdentatus*, ger blåfärgning mest vid modergången. Den randiga vedborren, *Trypodendron lineatum*, ger angrepp både av blåyte- och s.k. ambrosiasvampar. Larverna äter sedan av dessa svampar som i sin tur lever på veden. Vedborren ger djupa angrepp i splinten och gångsystemen får så småningom helt svarta väggar av ambrosiasvampen vilket naturligtvis ger svåra virkesskador.

Några arter skalbaggar återfinnes främst inomhus. Till dessa hör den s.k. mjuka trä(d)gnagaren, *Ernobius mollis* som är c:a 5 mm lång, och blåhjonet, *Callidium violaceum*. Till det första släktet finns ytterligare åtta arter men det är endast *E. mollis* som är allmän. Släktet *Callidium* hör egentligen till långhorningarna men brukar behandlas för sig i litteraturen. Två ytterligare arter finns som är sällsynta och mest förekommer i norr. De två arter som tagits upp här äventyrar aldrig virkets hållfasthet men de kan komma in i byggnader med ”smittat” virke och borrar sig sedan ut vilket resulterar i hål i tapeter mm.

Den strimmiga trägnagaren, *Anóbium punctatum*, tillhör släktet dödsur som innehåller nio olika arter. I [23] benämnes den *A. striatum*. I [13] anges att dödsuret har det latinska namnet, *Xestobium rufovillosum*, men författaren till [22] placerar denna art utanför detta släkte. *A. punctatum* angriper mest barrvirke i fuktiga lokaler men kan också förekomma i möbler i boningshus. Den gräver sina gångar längs fiberriktningen. En annan art, envisa trägnagaren, *A. pertinax* finns endast i rötskadat virke och mest i södra Sverige. Till långhorningarna hör också, husbocken, *Hylotrúpes bájulus*, som finns i södra och östra delarna av Sverige, upp till Dalälven. De förekommer endast i barrved men tallens kärnved gillar de inte. De bygger slingrande gångar där bormjöllet ligger kvar varför man inte ser dem förrän det är för sent. *Ptilinus pecticornis* tas upp i [13] men verkar vara så ovanlig i Sverige att den saknar svenskt namn. Den lever i lövträ och finns från Skåne upp till Uppland.

Det finns också flera arter av fjärilar som angriper träden. De flesta arterna begränsar angreppet till att äta upp blad eller barr. En art, den sk träd-ödaren, *Cossus cossus*, har larver som är 10 cm långa vilka gör långa slingrande gångar i veden. Fjärilarna kan också genom sina angrepp på träden bereda vägen för andra insekter ex. vis tallviveln.

Det finns dessutom flera arter av steklar som lägger ägg på och i ved. Gula hornstekeln, *Sírex gígas*, och blå hornstekeln, *Paurúrus juvéncus*, lägger ägg inne i trädet och larverna bygger långa gångar som avsevärt försämrar värdet på virket. I [23] kallas *S. gígas* för vedstekel. Gångarna är fyllda med tätt packat bormjöl. I [13] tas dessutom *Xeris spectrum* upp men enligt Bengt Ehnström är den troligen förbisedd i Sverige då den mest verkar vara nattaktiv. *X. spectrum* saknar svenskt namn. Till steklarna hör också myrorna varav hästmyran eller stockmyran, *Camponótus herculeánus*, är den allvarligaste skadegöraren.

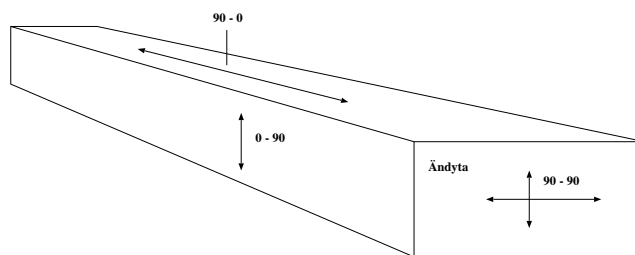
De s.k. minerarflugorna bl.a. arten, björkbastflugan, *Dendromýza bétulae*, har larver som gör gångar i kambiet hos björk. Detta innebär att björkveden blir oduglig för fanéertillverkning.

M4↑

# Kapitel 4

## Skärande bearbetning

När stockar skall förvandlas till brädor och plank, och virket i sin tur ska bli olika detaljer i möbler måste olika apparater som sågar, hyvlar, knivar m.m. användas. Gemensamt för alla dessa är att de utför en skärande bearbetning av materialet. Den enklaste varianten är att ett verktyg, ex. vis en kniv förs längs med träytan och därvid avskiljer spånor. En vanlig hyvel, av typen rubank, arbetar efter samma princip, d.v.s. verktyget vandrar parallellt med träytan. Sågning med handsågar, ex.vis en fogsvans, är ett annat exempel. Metoden benämns ofta som ortogonal bearbetning då skäreppen möter materialet under rät vinkel och inga sidokrafter förekommer. En ytterligare egenskap är att man kan producera "oändligt" långa spånor. Vid ortogonal bearbetning kan förfaringsättet indelas i tre kategorier. Genom att ange vinklarna hos skäreppen mot bearbetningsriktningen och fiberriktningen får man varianterna 90-0, 90-90 och 0-90, se figur 4.1. Den första siffran anger då vinkeln mellan eggen och fiberriktningen och den and-



Figur 4.1: Riktningbeteckningar vid skärande bearbetning.

ra vinkeln mellan skärriktningen och fiberriktningen. Vid "normal" hyvling är ju vinkeln mellan den skärande eggen och fiberriktningen  $90^\circ$  medan den är  $0^\circ$  mellan bearbetningsriktningen, d.v.s. hyvelns rörelseriktning, och fiberriktningen. Den andra varianten fås när man hyvlar på ändytan på en bräda medan den tredje erhålles om man hyvlar vinkelrätt mot brädans längdriktning men på

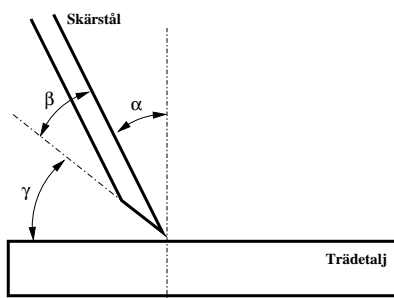


brädans ovansida. Beteckningarna kom redan på 1950-talet och används därför flitigt i olika läroböcker, se ex. vis [25] s. 162. (Upplaga år 2000).

En helt annan metodik är för handen vid cirkelsågar, fräsmaskiner m. fl. där verktyget sitter på en cirkulär eller cylindrisk anordning som roterar. Ett exempel är en hyvel vars kutter försetts med ”knivar” som skruvats fast utmed kutterns periferi. Denna metod genererar endast mycket korta spånor då den skärande eggen endast är i kontakt med materialet under kort tid. Om man tänker sig en kutter med oändlig radie övergår dock denna form i traditionell ortogonal bearbetning. Då skärande bearbetning är en förutsättning för att producera virke och andra produkter har processen undersökts ingående under många år. Även små förbättringar av en sågs effektivitet skulle ge ett mycket stort ekonomiskt utbyte och därför försöker man hela tiden att förbättra materialet i ex. vis sågklingorna så att än högre skärhastigheter kan uppnås. Ett tunnare sågblad kan ge motsvarande produktivitetshöjning.

## 4.1 Verktygen

En sågtand eller eggen på ett hyvelstål har samma principiella utseende, se figur 4.2. Vinkeln  $\alpha$  i figur 4.2 benämnes spånvinkel,  $\beta$  eggvinkel och  $\gamma$  för



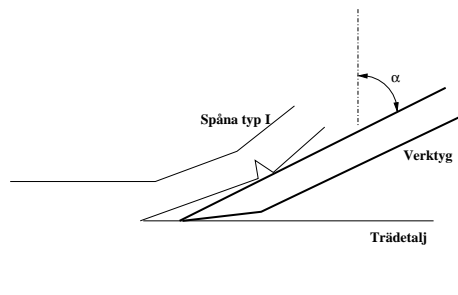
Figur 4.2: Verktyg för skärande bearbetning, principskiss.

släppningsvinkel, [26] s. 198. Det är naturligt att verktyget skär bättre ju skarpere eggen är, men efter en tids användning kommer den ändå att bli rundad av slitage och stukning. Eggvinkeln kan ju göras mindre men det har visat sig att c:a 25° åtminstone vad gäller handverktyg, [27] s. 287. För att man skall kunna avverka spånor med hjälp av verktyget måste man anbringa krafter på det. En kraft måste verka parallellt med arbetsstycket men för att en spåna ska kunna utformas måste även verktyget tryckas nedåt d.v.s. man måste ha en normalkraft, i alla fall då man ska börja att skära ut en spåna. Dessa s.k. skärkrafter har varit av stort intresse då man försökt att förbättra skäregenskaperna. Skärkrafterna avgör vilket material man måste ha i verktygen. Ju hårdare stål som använd ju

bättre borde eggen hålla men samtidigt som stålet görs hårt blir det också sprött. Just för träbearbetning i industriell skala synes det som om verktygen numera tillverkas av olika typer av stål, hårdmetall, stället men även "diamantverktyg" finns. Dessa senare har små industridiamanter ingjutna i verktygseggen, se [28] s. 51.

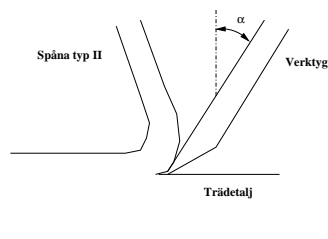
## 4.2 Spåntyper

Man brukar också skilja på tre olika spåntyper. I den första varianten, se figur 4.3 avverkas spånorna så att trämaterialen "flisas" ut ur träytan en bit framför verktygseggen. Ibland bryts spånarna av mot hyvelstålet men andra gånger kan



Figur 4.3: Spåntyp I, stor spånvinkel.

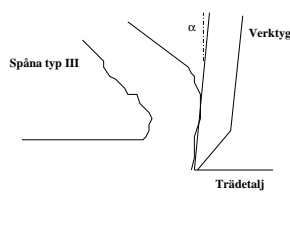
man erhålla mycket långa spånor på detta sätt. Spåntypen erhålls vid stora spånvinklar, jämför täljning med kniv. Den andra typen erhålls vid mera spetsiga spånvinklar. Brottet i spånarna sker nu omedelbart framför verktygseggen och spånarna lämnar verktyget ungefär vinkelrätt mot trädetaljens yta, se figur 4.4. Denna bearbetning ger ofta ett bra resultat vad gäller den färdiga träytan. Den



Figur 4.4: Spåntyp II, mindre spånvinkel.

tredje varianten erhålles när spånvinkeln närmar sig noll grader. Verktyget skär då inte på traditionellt sätt utan spånarna mer eller mindre skrapas av från träytan.

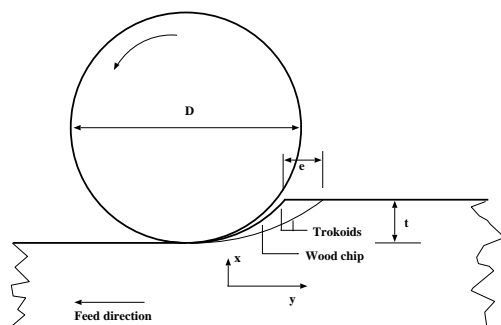
Här får man ofta en dålig yta efter bearbetningen då man trycker ner träytan framför verktygseggen. I [25], s. 162, jämförs bearbetningen med en snöplog, se figur 4.5. Där är också processen beskriven mera i detalj.



Figur 4.5: Spåntyp III, mycket liten spånvinkel.

### 4.3 Roterande bearbetning

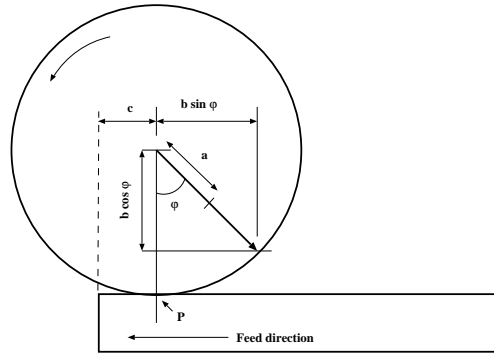
I industriell skala används, som nämnts ovan, verktyg som applicerats på roterande cylindrar, eller skivor. I den senare typen, ex. vis en cirkelsåg, är sågtanden, eller det egentliga verktyget i kontakt med trädetaljen under en förhållandevis lång tid. En sågklinga har ju också ibland ansevärd dimensioner. Bearbetningen närmar sig därför i princip den ortogonala som beskrivits ovan. När det gäller kuttrar och fräsar har dessa oftast mindre radier och varje skär sker endast på en kort del av cirkelsektorn. Spånorna kommer därför att bli mycket kortare och mera kilformade. I figur 4.6 visas hur bearbetningen i princip går till. På en cylinder



Figur 4.6: Roterande kutter med verktyg. [29]

sitter verktyg fastskruvade i form av långa ”knivar”. Samtidigt som kuttern roterar, men i övrigt inte rör sig, förs trädetaljen mot kuttern och verktyget kommer då i ingrepp och börjar skära ut ett spån. Kuttern roterar i stort sett alltid så att

verktygets rörelseriktning blir motsatt den som trädetaljen har, s.k. motmatning. Beroende på rotationshastighet, matningshastighet, antalet skär och skärdjup kommer avståndet "e" att variera. Spånan skärs inte ut efter en cirkelperiferi utan istället kommer en annan geometrisk form att vara för handen. I början av ingreppet kommer spånan att vara mycket tunn medan den blir tjockare och tjockare. När verktyget når trädetaljens översida slutar naturligtvis spånan att växa till. Skärförloppet kan förhållandevis enkelt beskrivas matematiskt. Betrakta figur 4.7. Placera först origo i punkten  $P$  där den skärande eggen först kommer



Figur 4.7: Roterande kutter med verktyg. Symboler och beteckningar.[29]

i kontakt med trädetaljen. Kutterns radie, från centrum till verktygsspetsen är satt till  $b$ . Antag först att ingen matning sker av trädetaljen. Med hjälp av trigonometri erhålls då  $x$ -koordinaten som  $b \times \sin\varphi$ .  $y$ -koordinaten som har värdet 0 i punkten  $P$  måste på samma sätt få värdet  $b - b \times \cos\varphi$ . Antag nu att trädetaljen förs med hastigheten  $f$  mot kuttern. Detta är matematiskt samma sak som att flytta kuttern i sidled, och efter en stund har den flyttat sig avståndet  $c$  åt höger i figuren. Antag vidare att kuttern rullar på en cirkels periferi, med radien  $a$ . Rotationsvinkeln  $\varphi$  svarar då mot avståndet  $c$  så att  $c = a \times \varphi$ . Notera att  $c$  är den båglängd  $a$  och  $\varphi$  genererar. Man får således:

$$x = a\varphi + b\sin\varphi \quad (4.1)$$

$$y = b - b\cos\varphi \quad (4.2)$$

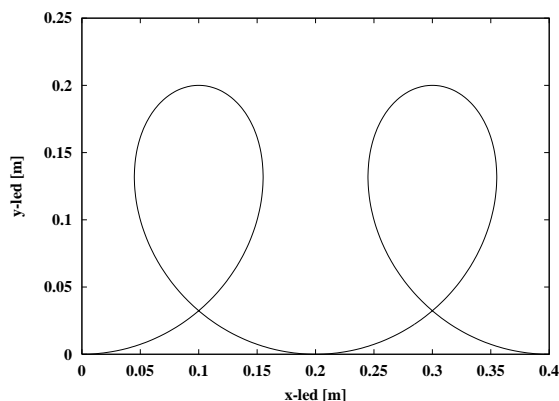
Kuttern antas rotera med hastigheten  $n$  varv per tidsenhet och därför kommer ett varv att ta tiden  $1/n$ . Trädetaljen matas ju in mot kuttern med hastigheten  $f$  varför detaljen under ett kuttervarv hinner längden  $f/n$ . Nu snurrar kuttern under ett skär endast  $\varphi/2\pi$  varv varför man får:

$$c = \frac{\varphi \cdot f}{2\pi n} \quad (4.3)$$

vilket i sin tur innebär att:

$$a = \frac{f}{2\pi n} \quad (4.4)$$

Det är nu möjligt att med hjälp av uttrycken 4.1, 4.2 och 4.4 rita upp en figur som visar hur verktygseggens rör sig i rummet. Vi antar att trädetaljen står stilla och att kuttern därför rör sig åt vänster samtidigt som den roterar fritt, se figur 4.8. Det ska påtalas här att figur 4.8 ritats av pedagogiska skäl,



Figur 4.8: Verktygseggens rörelse vid roterande bearbetning.[29]

och med pedagogiska värden på  $f$ ,  $n$  o.s.v. och därför är det inte säkert att kurvan får identiskt utseende med den figur som skulle baseras på en verklig bearbetningssituation. Exempelvis har ju bara rörelsen hos ett skär tagits med i figuren medan det finns många på en verklig kutter.

## 4.4 Skärkrafter

För att bearbetningen ska vara möjlig måste man givetvis anbringa krafter på det skärande verktyget. Redan under det förra seklet kom man på att en av de avgörande faktorerna för vilka krafter som behövdes var spåntjockleken. Följande uttryck finns att hämta i [13] s. 476:

$$k_s = K \times t_a^m, \quad (4.5)$$

där  $k_s$  = skärkraften i skärriktningen,  $K$  en konstant,  $t_a$  medelspåntjockleken och  $m$  en konstant mellan 0 och 1. Givetvis finns många förhållanden som träslag, trämaterialens densitet, fiberriktning, ev. kvistar, skärhastighet m.m. som också

inverkar men dessa antas vara konstanta just här. Spånans "bredd" är givetvis också av intresse varför man ofta talar om specifik skärkraft, d.v.s. kraften per spånans tvärsnittsarea. I moderna enheter borde denna alltså anges i  $N/m^2$ . Vid bearbetning med roterande verktyg erhåller man ju en kilformad spåna och därför används begreppet medelspântjocklek flitigt. Arealen för en spåna vid normal bearbetning fås genom att multiplicera matningen per tand med skärdjupet. Motsvarande begrepp återfinnes i figur 4.6 med beteckningarna  $e$  och  $t$  och arean för motsvarande "normalspåna" skulle således bli  $e \times t$ . Den verkliga spånarean skulle också kunna beräknas genom att multiplicera spånans "medeltjocklek"  $\delta_m$  med båglängden, d.v.s.  $b \times \varphi$ . (Det är oklart om  $t_a$  ovan beräknats på exakt samma sätt varför en ny beteckning,  $\delta_m$  införs här.) Ytorna ska ju vara helt lika så därför sätter man:

$$et = \delta_m b \varphi \quad (4.6)$$

Av figur 4.7 framgår att skärdjupet  $t$  kan tecknas som:

$$t = b - b \cos \varphi \quad (4.7)$$

$$\frac{t}{b} = 1 - \cos \varphi \quad (4.8)$$

Om man vidare erinrar sig att:

$$\sin \frac{\varphi}{2} = \sqrt{\frac{1 - \cos \varphi}{2}}, \quad \text{och att:} \quad (4.9)$$

$$\varphi \approx 2 \sin \frac{\varphi}{2} \quad \text{får man:} \quad (4.10)$$

$$\sin \frac{\varphi}{2} = \sqrt{\frac{t/b}{2}} \quad (4.11)$$

$$\varphi \approx 2 \sqrt{\frac{t}{2b}} \quad (4.12)$$

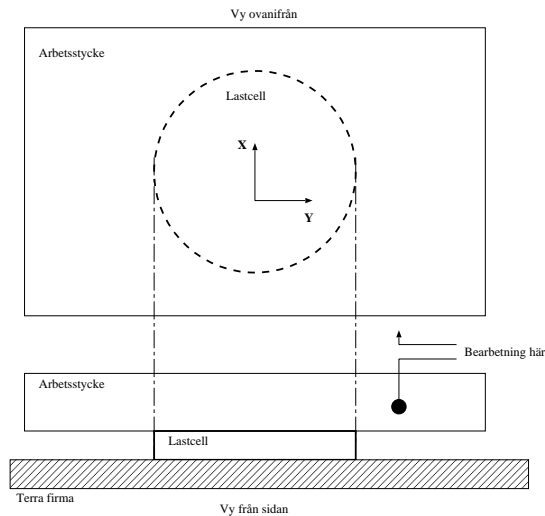
Om uttrycket 4.12 sätts in i 4.6 erhåller man efter förenkling:

$$\delta_m = e \sqrt{\frac{t}{D}} \quad (4.13)$$

där  $D$  är diametern på "kuttern". Motsvarande härledning återfinnes i [28] s. 291.

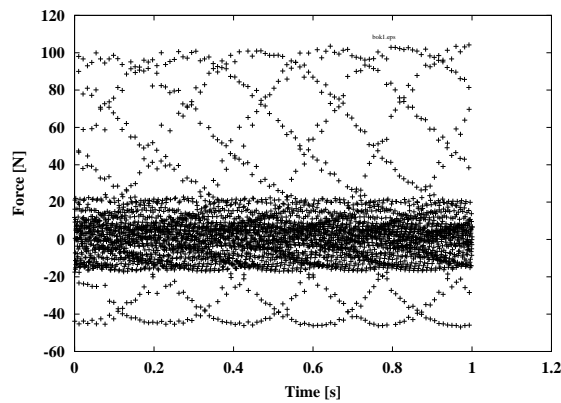
Det är tyvärr inte helt lätt att verkligen beräkna hur stora skärkrafterna blir för olika bearbetningsförhållanden. I uttrycket 4.5 är ju flera av de ingående

faktorerna olika konstanter som måste bestämmas genom experiment. Det är inte heller lätt att verkligen mäta krafterna under de betingelser som råder vid verklig hyvling eller sågning. Tidigare har man därför ofta mätt upp elanvändningen i den elmotor som driver sågblad eller hyvel. Man får då i alla fall en god uppfattning om vilka faktorer som kan vara viktiga att undersöka. På senare tid har det dock kommit datoriserad utrustning som förmår att mäta krafter mycket snabbt. Genom att ansluta en s.k. lastcell till ett speciellt mätkort, vilket sedan i sin tur sätts in i en vanlig bordsdator kan man ”scanna” lastcellen med en frekvens på många tusen  $Hz$ . Tyvärr är det inte möjligt att applicera lastcellen direkt på verktyget utan istället nödgas man registrera de krafter som appliceras på ett stillastående arbetsstycke vilket således hålls ”fast” med hjälp av lastcellen, se figur 4.9. Bearbetningen sker nu på ”kanten” av arbetsstycket med hjälp av



Figur 4.9: Skärkraftsmätning, experimentuppställning.

en fleroperationsmaskin. Arbetsstycket rör sig inte alls utan istället förflyttas verktyget, i form av en fräs, från höger till vänster samtidigt som det roterar. Den utrustning som funnits tillgänglig kan scanna lastcellen 4000 gånger per sekund. Det är inte möjligt att mäta under några längre tidsperioder för mätkortet har begränsad minneskapacitet. I stället kan mätningen startas via en dator när man ser att fräsen arbetar i trädetaljen. Mätningen fortgår under precis en sekund, d.v.s. man erhåller 4000 avläsningar av krafterna på lastcellen. Dessa värden sparas sedan på datorns hårddisk i en helt vanlig textfil. I figur 4.10 återfinnes värden från ett experiment i träslaget bok. Vid en ytlig betraktelse är det inte lätt att tolka figur 4.10. Man ser att kraften varierar mellan plus 100 till - 50 N men enskilda skär kan inte analyseras. I detta fall användes en fräs med diametern



Figur 4.10: Skärkraftsmätning i bok. Kraft i  $Y$ -led.

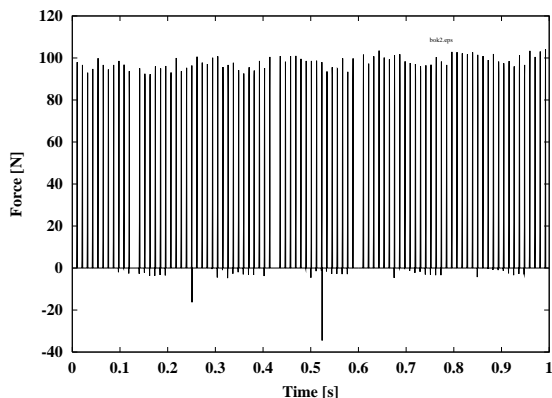
0.06 meter som roterade med 5000 varv per minut. För att undvika problem med centreringsen av olika skär användes här endast ett enda skär. Under en sekund borde därför ett 80-tal skär finnas registrerade i figur 4.10. För att kunna förstå vad som händer måste därför värdena granskas mera i detalj. Avläsningarna av lastcellen sker med ett intervall om 0.00025 sekunder. Varje varv hos fräsen tar 0.012 sekunder och under, de första hundra avläsningarna borde man kunna hitta ett säkert skär. Fräsen roterar så att rörelseriktningen hos verktyget vid ingrepp är riktad i  $Y$ -riktningen och teckenkonventionen sådan att man endast skall kunna ha positiva värden i  $Y$ -led under ett skär. I  $X$ -led innebär positiva värden att skäret trycker på trädetaljen medan negativa värden innebär att skäret drar i detaljen. i  $Z$ -led, d.v.s. uppåt och nedåt ska krafterna inte variera överhuvudtaget. Genom att "luläsa" datafilen hittades en sekvens med ett antal positiva värden som följer på varandra, se tabell 4.1. I avläsning nummer 38 registrerades således

Nummer	Tid [s]	X	Y	Z
37	0.00925	3	-51	-33
38	0.00950	-104	48	-69
39	0.00975	-213	195	-67
40	0.01000	-206	474	-58
41	0.01025	-58	900	27
42	0.01050	111	980	135
43	0.01075	103	467	164
44	0.01100	-11	-233	33

Tabell 4.1: Värden registrerade av lastcellen i  $N \times 10$ .



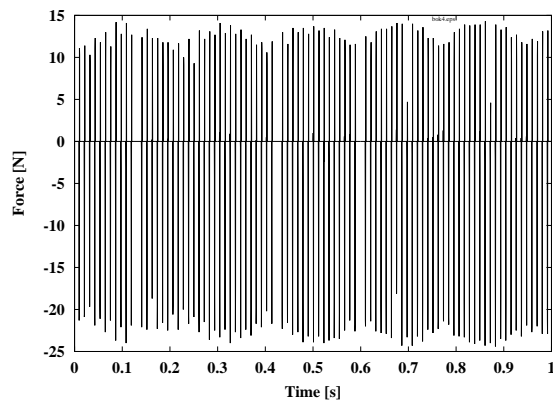
4.8 N och skärkraften växte fram till avläsning 42 upp till 98 N för att sedan avta varpå ett negativt värde följde i avläsning 44. Troligen är det därför så att verktyget sätter arbetsstycket i kraftig vibration vid varje skär. Efter det att verktyget lämnat trädetaljen vibrerar den således fram och tillbaka ända tills ett nytt skär inträffar. En annan sådan positiv talserie inträffar också för 82, 126, 169 o.s.v eller var 0.011 sekund. Detta innebär samtidigt att rotationshastigheten var något snabbare än den avsedda, 5454 i. st. f. 5000  $r/m$ . Det var nu möjligt att konstruera ett datoriserat filter där endast de avläsningar som var av intresse togs med, se figur 4.11 Som synes av figur 4.11 är inte filtret helt perfekt, vissa



Figur 4.11: Skärkraftsmätning i bok. Kraft i Y-led med aktivt filter.

skär detekteras inte. I några fall förekommer dessutom negativa värden som inte borde finnas med. Man ser dock att skärkrafterna i så gott som samtliga skär kommer upp till nivån 100 N. Det ska poängteras att det inte är den maximala skärkraften som detekterats utan endast momentanvärden där mätning skett. Det högsta värdet som detekterats var 104.2 N. I vårt fall var trädetaljens tjocklek 19 mm varför kraften också kan uttryckas som 55 N/cm. Detta värde kan nu jämföras med andras resultat. I [13] s. 519 finns en undersökning i björk redovisad. Kraften redovisas där som c:a 3 kp/cm för en spåntjocklek om 0.1 mm. I vårt fall var  $\delta_m = 0.03\text{mm}$  vilket innebär att skärkraften skulle öka om medelspåntjockleken skulle öka till 0.1 mm. I vår experimentserie testades också detta och skärkraften uppgick då till c:a 70 N/cm. Även om värdena skiljer sig åt en del är de i alla fall av samma storleksordning.

I tabell 4.1 finns också värden som uppmätts i X-riktningen. För avläsning 39 till 41 anges negativa värden, alltså tryck på trädetaljen, medan avläsning 42 och 43 visar positiva värden. Här byter således skärkrafterna riktning under varje skär. Detta framgår också av figur 4.12 där samma filter som tidigare använts för att ge tolkningsbara resultat. Man ser i figuren 4.12 att tryckkrafterna på



Figur 4.12: Skärkraftsmätning i bok. Kraft i  $X$ -led med aktivt filter.

trädetaljen är något större än de dragande. Det har spekulerats i att den första typen skulle resultera i att träytan sammanpressas under skäret och sedan ånyo "sväller" tillbaka, jämför med spåntyp III enligt figur 4.5. Detta skulle kunna ge upphov till ofullkomligheter i den färdighyvlade ytan. Av dragkrafterna skulle man istället erhålla urflisningar som också skulle kunna ge problem, framför allt om spånorna är av typ I, enligt figur 4.3, d.v.s. vid stora spånvinklar. Fenomenet är inte lätt att studera utan tillgång till datoriserad mätutrustning varför detta inte beskrivs alls i ex. vis [13]. Av figur 4.12 framgår att skärkrafterna i  $x$ -led varierar mellan c:a -25 N till 15 N eller 13 till 8 N/cm.

## 4.5 Maskiner

Inom träindustrin finns en mängd olika maskiner. Maskinparken hos ett företag, t. ex. en stolfabrik, skiljer sig ofta helt från fabriker med annan verksamhet, ex. vis där man tillverkar planmöbler. Dessutom finns många olika fabrikat av i stort sett samma maskiner.

### 4.5.1 Agenter

I Sverige säljs huvudelen av alla maskiner via några få företag, eller agenter, som här listats i slumpmässig ordning. Varje sådan agent har sin egen kader av underleverantörer. Notera att vi endast tagit med ett litet urval av dessa i listorna nedan.

**Thomas Frick AB i Vellinge**

Företaget bildades 1972 och har specialiserat sig på maskiner för plana detaljer inom träbearbetning, d.v.s. bokhyllor, hurtsar, skåp, dörrar, golv, m.m. Hemsidadress är <http://www.frick.se>. Man har ett tjugotal underleverantörer varav de mest kända kanske är:

- Homag Kantbearbetningsmaskiner
- Heesemann Bredbandputsar
- Barberan Ytbehandling
- BMV Limspridare
- Wemhöner Pressar

**Mared AB i Huskvarna**

Företaget startade, enligt hemsidan <http://www.mared.se>, 1967. Några produkter som ofta syns ute i träindustrin är:

- IMA CNC-fräsar, bormaskiner, kantlistmaskiner
- Giardina Ytbehandlingsmaskiner
- Torkutrustning
- A.P. Möller Spånsugssystem

**Jon Stenberg AB i Lindås**

Företaget grundades c:a 1920 och är beläget utanför Emmaboda i Småland, se <http://www.jonstenberg.se>, och de är agent för ett trettiotal olika fabrikat av träbearbetningsmaskiner m.m. De mest kända är kanske:

- Finnrose Lackeringsmaskiner
- Biesse CNC fräsmaskiner
- Burkle Ybehandlingsmaskiner
- Costa Bredbandputsar
- Superfici Ytbehandling
- Venjakob Sprutautomater
- Nardi Trätorkar

#### **Ejderstedts & Fröding AB i Tenhult**

Förteaget hette från början Sveriges Träindustrier Inköps AB och grundades runt 1950 i Stockholm, se <http://www.ejderstedts.se>. Sedemera flyttade man först till Jönköping och 1993 till Tenhult. Företaget är agenter för omkring 25 olika företag bl. a.:

- Weinig hyvlar
- Holz-Her Kantlistmaskiner
- Bacci Kopierfräsar, tappmaskiner m. fl.
- CMS Fräsmaskiner

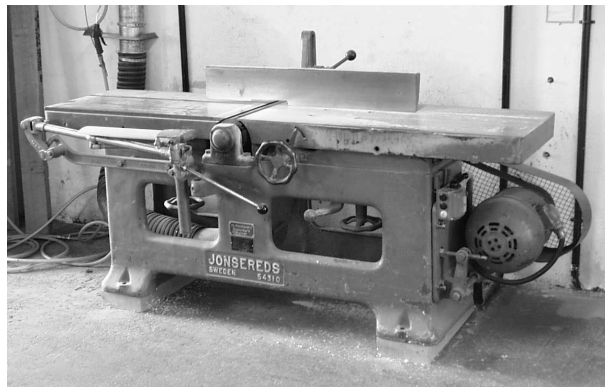
#### **Stenbergs AB i Nässjö**

Företaget startade 1919 av Sigfrid Stenberg. Till en början tillverkade man enkla träbearbetningsmaskiner men sedan c:a 1950 är man enbart ett handelsföretag. Maskinerna hämtas från Japan, Italien och Tyskland, se <http://www.stenbergs.se>. Företaget är agent för ett femtontal tillverkare varav de mest iögonfallande är:

- Cefla, Sorbini och Falcioni Ytbehandlingsmaskiner
- DMC Putsmaskiner
- SCM och Morbidelli Överfräsar
- Gabbiani Formatsågar
- Kuper Fanérfogmaskiner
- Josting Fanérklippmaskiner

### **4.5.2 Rikthyveln**

Rikthyveln hör till standardsortimentet i äldre tiders möbel- och snickerifabriker, se figur 4.13. Den används för att hyvla ”bräddor” absolut plana och kan dessutom åstadkomma att sidorna blir rätvinkliga. Maskinen består av ett främre och ett bakre bord. Mellan borden sitter själva hyveln, eller kuttern. Trädetaljen som ska hyvlas förs nu för hand från det främre bordet över till det bakre samtidigt som arbetsstycket trycks mot borden och hyveln. Kutterns skärcirkels tangent ska ligga precis i nivå med det bakre bordet. Genom att sänka, eller höja, det främre bordet reglerar hur mycket hyveln ska skära bort. När man hyvlat en sida vänds trädetaljen 90 grader och den färdighyvlade ytan trycks mot ett anhåll. På så sätt kan man åstadkomma plant och rätvinkligt virke till olika produkter. Det är mycket viktigt att använda det skydd som täcker kuttern vid sidan om träbiten som hyvlas.



Figur 4.13: Rikthyvel av typen Jonsereds vid Åfors Möbler AB i Blomstermåla. Foto: Stig-Inge Gustafsson.

### 4.5.3 Planhyveln

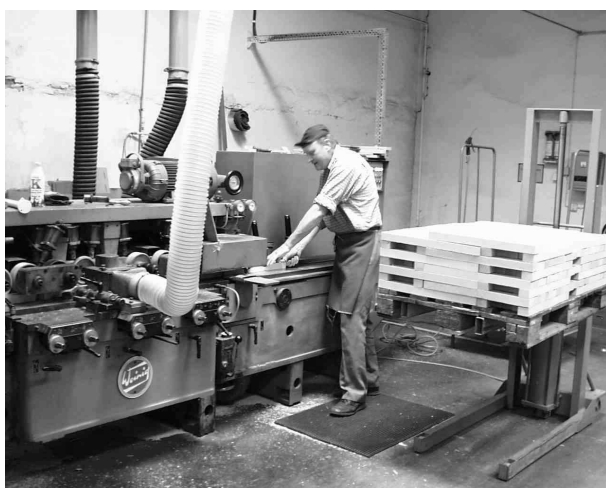
Planhyveln hör också till det äldre standardsortimentet. Den används för att hyvla trädetaljer till en viss tjocklek. I denna maskin sitter kuttern på ovansidan av trädetaljen. Maskinen är försedd med valsar som automatiskt matar igenom det som ska hyvlas. Det är viktigt att virket som hyvlas i denna maskin först har riktats upp på en sida i en rikthyvel.

### 4.5.4 Bordsfräsen

Den tredje standardmaskinen är den s.k. bordsfräsen. Med en sådan åstadkommer man olika profiler i trädetaljerna. Maskinens spindel är här orienterad vertikalt men kan också tippas i sidled. Man bearbetar således här på kanten av virket. Bordsfräsen är en mycket farlig maskin då kuttern ligger mer eller mindre öppen. Den förses därför ofta med mataranordningar så att man slipper hålla i trädetaljerna med händerna. Även här finns det skyddsutrustning som ska användas. En specialvariant utgörs av den s.k. kopierfräsen. Här trycks spindlarna mot arbetsstycket efter en mall vilket innebär att "krokiga" detaljer kan åstadkommas.

### 4.5.5 Universalhyvel

När man ska hyvla virke i större skala måste man tillgripa apparater som har fler spindlar. En "bräda" eller list kan då hyvlas på alla fyra sidor samtidigt. En äldre typ av sådan hyvel visas i figur 4.14. Det finns också speciella listhyvlar men enligt [30] s. 353, är gränserna mellan dessa maskiner svävande. Det finns t.o.m. riktlisthyvlar som riktar virket innan det går in i listhyveln. Universalhyvlar ser



Figur 4.14: Hyvel av typen Weing vid Mörlunda Stol- och Möbelfabrik AB. Foto: Stig-Inge Gustafsson.

man kanske främst på sågverk där man försöker att förädla virket ytterligare innan leverans till kunderna. Hyveln kan ibland bestå av ett antal sektioner som kan bytas ut, se figur 4.15.

#### 4.5.6 Tappmaskiner

I en tappmaskin bearbetas "kortsidorna" på ett arbetsstycke. Maskinerna är speciella så att virket matas in i maskinen "på tvären". I en dubbeltappmaskin bearbetas bägge ändarna samtidigt. Det är inte alltid smala detaljer som bearbetas här utan ex. vis innertakskivor som ska ha profilerade kanter kan också tillverkas i en s.k. dubbeltapp.

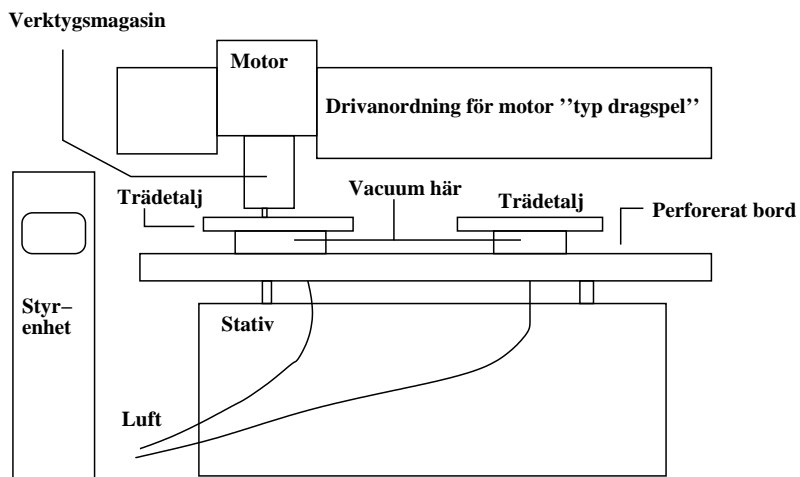
#### 4.5.7 Överfräsar

En överfräs har sina verktyg ovanför arbetsstycket. Vanliga uppgifter är t. ex att fräsa ut spår ur MDF-skivor så att mönster bildas på skåpluckor, dörrar o.s.v. Man kan också med fördel använda en överfräs för att bearbeta kanterna på olika skivor så att de får önskad form. Varje modern överfräs har ett antal verktyg som är adresserbara av ett datorprogram som körs i fräsmaskinens operativsystem. Det kan vara traditionella fräsverktyg men också sågar, borrar o.s.v. Större maskiner har ofta verktygen festsatta runt en stor axel. Genom att rotera axeln får man olika verktyg som bearbetar ytan eller kanterna på en trädetalj, jämför en revolver. Motorn sitter fast på en "travers" som kan skjuta motorn i sidled med



Figur 4.15: Sektionsuppbyggd hyvel av fabrikatet Waco vid sågverket Boo Hjortkvärv AB. Foto: Stig-Inge Gustafsson.

stor precision. Arbetsbordet kan sedan i sin tur skjutas vinkelrätt mot traversen. Verktygen kan givetvis också förflyttas i höjdlid, se figur 4.16. Trädetaljerna som ska bearbetas måste verkligen sitta fast ordentligt i maskinen då bearbetning ska ske. Genom att pumpa ut luften ur en ihålig ”mall” erhåller man ett vacuum och det omgivande lufttrycket ser således till att trädetaljen ligger still under bearbetningen. Mallarna är därför försedda med gummilister så att inte luft ska läcka in. Då bearbetning i många fall ska ske på kanterna kan inte mallarna vara för stora, men det är viktigt att de heller inte är för små. Mallarna är därför specialtillverkade för de typer av trädetaljer som finns i produktion. Det finns även andra konstruktioner som istället klämmer fast arbetsstyckena vid maskinens stativ. Ibland måste man även kunna ”tippa” på trädetaljerna för exempelvis kunna få fasade kanter. Ju flera sådana möjligheter som finns ju fler ”axlar” sägs maskinen ha. Som framgår av figur 4.17 ser man inte mycket av dessa verktyg då bearbetning sker. Detta då en mängd skyddsutrustning placerats framför verktygen. Om man jämför figurerna 4.16, 4.17, 4.18 och 4.19 ser man att principskissen kan skilja sig en hel del från hur maskinerna ser ut i verkligheten. Gemensamt för alla överfräsar är dock bearbetningen från ovan samt att en mängd olika verktyg kan väljas för olika bearbetningssätt. För att man ska få maskinerna att göra något måste de programmeras. Speciell mjukvara finns för detta ändamål men tyvärr är det så att alla maskintyper har olika system. En maskin av fabrikatet Rover kan därför inte använda samma program som en Morbidelli. Det är heller inte helt elementärt att lära sig hur man ska programmera maskinen ifråga. Därför har varje tillverkare tagit fram programvara så att



Figur 4.16: Principskiss av överfräsmaskin.

man direkt från olika CAD-program kan generera kod som operativsystemet kan exekvera. Det är dock möjligt att skriva koden själv i en vanlig textfil men även detta kräver speciell mjukvara från leverantören. Mindre överfräsar kallas ofta för Point-To-Point-maskiner vilket troligen beror på att de endast kunde arbeta "punktvis". De har under årens lopp blivit allt mer sofistikerade och gränserna är troligen flytande mellan olika system.





Figur 4.17: Överfräs av märket SCM hos Åfors Möbler AB i Blomstermåla. Foto: Stig-Inge Gustafsson.



Figur 4.18: Överfräs av märket CMS? hos Svensson & Linnér AB i Rörvik. Foto: Stig-Inge Gustafsson.



Figur 4.19: Överfräs av märket CMS? hos Svensson & Linnér AB i Rörvik. Foto: Stig-Inge Gustafsson.



# Kapitel 5

## Sågverk

De träd som används i trämanufakturindustrin måste sedan de avverkats sändas till ett sågverk. Sågverket kan vara mycket litet, t.o.m. portabla sågverk finns numera, eller mycket stort där sågning av timmer blivit en storindustri. I industriella sammanhang kan en sågverksanläggning delas in i ett antal mindre enheter:

- Timmerlager och vederlagsmätning
- Sågverk med eventuell klentimmerlinje
- Råsortering med ströläggning
- Virkestork
- Justerverk
- Eventuellt hyvleri och vidareförädling

### 5.1 Timmerlager

Normalt hamnar timret först i ett lager som kan omfatta tusentals stockar. Lagret används för att utjämna tillförseln så att sågverket kan vara igång kontinuerligt. Framför allt förr skedde i stort sett all avverkning i skogen vintertid och därför behövdes mycket stora lager. På många platser flottades timret på större vattendrag men nu har detta helt upphört. Andra transportsätt som långtradare, och ibland järnväg, har ersatt flottningen. Bilvägarna kan dock inte alltid användas året runt p.g.a. tjälproblem så lager behövs fortfarande även om behovet minskat.

Tyvär innebär lagringen att olika skador uppkommer på timret och för att minska dessa skador används ofta vatten som skydd. Vattnet kan i vissa fall sprutas över timmerlagret men åtminstone tidigare brukade timret lagras helt under vatten. En enkätundersökning som refereras i [30] sidan 123, visade att c:a 10 % lagrades utan vattenbegjutning, 51 % bevattnades och lagrades på land

medan 39 % lagrades under vatten. Under senare år har man dock försökt att minska lagringen under vatten, kanske främst p.g.a. de stora skador som lagringen medför på vattendragen. De trärester, bark m.m., som hamnar i vattnet måste ju brytas ner vilket innebär att syrehalten i vattnet sjunker, vilket i sin tur medför ett utarmat djurliv. Då lagring av virke dessutom kostar stora pengar i form av bundet kapital försöker man på alla sätt att hålla så små lager som möjligt utan att få virkesbrist.

De skador som uppkommer på virket under lagringen är bl.a. blånadsskador. Dessa uppkommer p.g.a. svampangrepp där barken skavts av, ex.vis vid kvistningen ute i skogen. Insektsangrepp och angrepp från s.k. bormusslor är andra lagringsskador. Det är alltså inte problemfritt att lagra timret under vatten eller att använda bevattning. Våtlagringen medför vidare att träet börjar brytas ned av bakterier vilket i sin tur innebär att permeabiliteten i virket ökar. Detta kan ställa till problem i snickeriindustrin, ex. vis vid betsnings. Betserna tas upp ojämnt av träet vilket orsakar en flammighet hos träytan, [30] sidan 125. Täckande ytbehandling påverkas inte av våtlagringsskador men långtidsbeständigheten för limmade produkter som används utomhus påverkas negativt. Dessutom ökar benägenheten för sprickbildning vid den senare i processen kommande virkestorkningen. En positiv egenskap av vattenlagringsskadorna finns också. Impregnering mot röta blir enklare då permeabiliteten hos virket ökar. Vissa rekommendationer finns för hur länge vattenlagring resp. bevattning är tillämplig. I det förstnämnda fallet anges 2 - 6 veckor, medan 8 - 17 veckor anges för det senare. Den kortare tiden anges då för barkat virke, [30] sidan 126. I bl. a. [10] sidorna 159 - 170 finns en mera omfattande redogörelse av virkesskador p.g.a. svampar, insekter m.m. Det finns också andra skador på timret bl.a. mekaniska skador orsakade av hanteringen i skogsmaskinerna, ex. vis klämskador som framträder när träytan laseras, spjälkskador, partiell barkning och dubbaskador, [30] sidan 121. I [31], sidan 34, finns en mera populär framställning av olika virkesfel.

Som nämndes ovan medför lagring av färskt virke flera problem. Många sågverk har därför regelbunden kontakt med de skogsägare som vill leverera timmer. Leveransen kan därför ske vid en tidpunkt så att inga större lager behövs. Av samma skäl kan sågverket köpa upp rotposter, d.v.s. träden avverkas inte förrän timmerlagret börjar sina. Ett annat problem är att timmerleveranserna många gånger är årstidsberoende p.g.a. skogsägarnas andra arbetsuppgifter. Stormar kan också ha skapat många vindfällen som måste tas om hand snarast. Det är således ogörligt att helt undvika lagring hos sågverket.

När timret kommer till sågverket ägs det normalt fortfarande av leverantören. Det är således viktigt att olika leveranser inte blandas utan att varje stock kan paras ihop med rätt ägare. På flera sågverk sker detta såsom visas i figur 5.1.



Figur 5.1: Timmertrave vid sågverket OLAB Timber AB i Järnforsen. Foto: Stig-Inge Gustafsson.

## 5.2 Vederlagsmätning

Tiden är nu kommen att bestämma hur mycket pengar som leverantören ska få för sina stockar, den s.k. vederlagsmätningen, se [30] sidan 101 - 120. Samtidigt sorterar man timret med hänsyn till träslag, dimension, felaktigheter och kvalitet, se [31], sidan 41 för mera detaljer om sorteringsprocessen. Stockarna lastas först upp på ett s.k. timmerbord, se figur 5.2 och de förs sedan en och en m.h.a. ett transportband genom en spiksökare, se figur 5.3. Spiksökaren känner av om



Figur 5.2: Timmerbord vid sågverket OLAB Timber AB i Järnforsen. Foto: Stig-Inge Gustafsson.

det finns något magnetiskt material inne i stocken. Sedan passerar stocken en mätram där diametern mäts upp, se figur 5.4. Tre olika mätrammar är vanliga,



Figur 5.3: Spikdetektor på Wilhelmsson Trävaru AB, Lingham. Foto: Stig-Inge Gustafsson



Figur 5.4: Mätram av typen Remalog, Wilhelmsson Trävaru AB, Lingham. Foto: Stig-Inge Gustafsson

Remalog, Optilog och Elmes. Samtliga bygger på principen att stocken skuggar en eller flera ljustrålar. På senare tid har dessutom en s.k. TINA kommit i bruk. Då stocken passerar denna apparat genomlyses den med gammastrålning. Gammastrålarna absorberas till viss del i stocken och detta ger ett mått på dess inre kvalitet. TINA:n ger ett bättre värde på stockens diameter under bark än de andra metoderna. Avläsningen som sker automatiskt i alla metoderna sker ungefär varannan cm på dess hela längd. Längden mäts upp m.h.a. en pulsgivare kopplad till transportbandet samt fotoceller som detekterar om ljustrålarna når cellerna eller ej. Omfattande forskning sker runt om i världen för att bättre kunna utröna stockarnas inre kvalitet. Till sin hjälp har man ex.vis tagit datortomografi, NMR (Nuclear Magnetic Resonance) och ultraljud. Samtliga dessa metoder kräver dock bearbetning av mycket stora datamängder i realtid varför de varit svåra att ta i bruk i verkligheten. Detta då en modern inmättningsanläggning har en kapacitet på c:a 2 000 stockar per skift om åtta timmar. Efter mätramen sitter

en auktoriserad timmermätare, av kött och blod, placerad i en mindre byggnad och gör en okulär besiktning av varje stock. Denna person är anställd av en virkesmätningförening, VMF. Tre sådana finns i landet, VMF Nord i Umeå, VMF Qbera i Falun och VMF Syd i Jönköping. Bolagen har ett samarbetsorgan, VMR, som formellt heter Rådet för virkesmätning och redovisning, eller Virkesmätningrådet. VMR har sedan infört fem olika sorteringsklasser för tall och fyra för gran, nämligen [32]:

- Klass 1 = Högklassigt snickerivirke
- Klass 2 = Virke med i huvudsak frisk kvist, till möbler, paneler och karmträ m.m.
- Klass 3 = Bärande stomvirke inkl. väggreglar
- Klass 4 = Regelvirke (Byggreglar och liknande), gäller endast tall
- Klass 5 = Emballagevirke ( = klass 4 för gran )

Enligt [33], sidorna 10 och 11, togs ett beslut redan vid årsskiftet 1993/1994 och reglerna började sedan att gälla från 1994-08-01. I augusti 1995 har dock endast distrikten norr om Sundsvall infört dessa regler till fullo och i Linköpingsregionen beslutade man att starta först 1996-08-01. Fortfarande kommer dessa klasser endast att gälla för tall och granvirke. Årsringstätheten får en större betydelse i det nya förslaget och dessa får vara högst tre mm breda för högklassigt snickerivirke. De nya reglerna kommer enligt referensen troligen att ge en ökad andel emballagevirke och det kommer att bli en prisfråga om detta virke istället används inom massaindustrin. VMR har också en instruktion för mätning av sågtimmer av björk, klibbal och asp. Stockarna delas där in i tre klasser A, B eller C, se [34] sidan 26-28. Regelverket kan hämtas i form av en s.k. pdf-fil på hemsidan [www.virkesmatning.se](http://www.virkesmatning.se).

Timmersorteringen resulterar förutom vederlagsmätningen, i att stockarna hamnar i olika travar allt efter dimension, trädslag och andra kriterier, se figur 5.5. Bl.a. är alla rotändar placerade åt samma håll. Det är också viktigt att klintimret ligger för sig för detta sågas upp i en speciell linje. Travarna utgör således ett mellanlager mellan sortering och sågverk. Ibland kan detta mellanlager bestå av en avsevärd mängd stockar innan dessa kan tas in i sågverket. Det är inte säkert att alla får plats precis vid banan utan mellanlagret kan ligga längre bort om det är nödvändigt.

### 5.3 Sågverket

Stockarna transporteras sedan till själva sågverket m.h.a. en stor truck. Omedelbart före själva sågningen måste stockarna jämnas till och barkas.





Figur 5.5: Timmersortering vid sågverket OLAB Timber AB i Järnforsen. Foto: Stig-Inge Gustafsson.

### 5.3.1 Rotreducering

De passerar därför, om så behövs, först en s.k. rotreducerare, [35] sidan 18. Detta är en apparat som jämnar till den tjocka och ofta oregelbundna rotänden på stocken. Två typer av reducerare finns; en typ som arbetar med kuttrar och en annan som kallas för rotorreducerare vilken hugger bort s.k. rotben och andra ojämnheter. Man ser genom detta till att stocken har en viss maximal diameter för annars kan det bli svårt att barka stocken. Rotreducerarna placeras därför lämpligen omedelbart före barkningsmaskinen. Ibland har det ansetts bättre att åstadkomma reduceringen redan före vederlagsmätningen. Så har skett bl. a. Boo-Hjortkvarn där anläggningen i figur 5.6 finns.

### 5.3.2 Barkning

Barkningen av stocken sker i barkningsmaskiner. Det finns fem typer, se referens [28] sidorna 63 - 65:

- Trumbarkning, där stockarna matas in i en stor roterande trumma. Stockarna tumlar då om och nöter mot varandra. Metoden används bara inom massaindustrin.
- Barkning med slagor; används ej i Sverige.
- Barkning med kuttrar. Ger stora vedförluster och används ej i Sverige, se [36] sidan 576 för ett exempel.



Figur 5.6: Rotreducerare vid sågverket Boo-Hjortkvarn AB. Foto: Stig-Inge Gustafsson

- Barkning genom skjuvning. Man trycker ett verktyg hårt mot stocken samtidigt som verktyget roterar runt stocken. Man erhåller då ett skjuvbrott i kambieskiktet. En liknande apparat, men med en något annorlunda barkningsprincip, finns beskriven i [37], sidan 307.
- Hydraulisk barkning. Man sprutar då vatten med högt tryck mot stockens mantelyta vilket medför att barken lossnar. Metoden används ej i Sverige, se [36] sidan 578 för ett exempel. Hydraulisk barkning används ofta för stora stockar av tropiska lövträd, se [37], sidan 310.

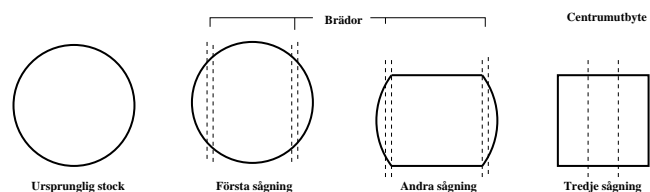
### 5.3.3 Sågning

Efter barkningen vidtar sedan själva sågningen. Idag är detta en nästan helt automatiserad process, åtminstone på de stora sågverken, se figur 5.7 som visar hur en person sköter hela den första såglinjen vid ett modernt sågverk. Processens olika delar övervakas med hjälp av ett antal TV-monitorer. Traditionellt hade man tidigare renodlade cirkelsågverk, bandsågverk eller ramsågverk men numera försöker man att kombinera de olika sågtyperna. En nackdel med en kombination av olika sågtyper är att virket får olika struktur på sidorna. Många olika layouter finns för sågverk idag. Gemensamt synes vara att stocken först passerar en s.k. kantsåg där två sidor på stocken sågas bort. Många gånger reduceras dock sidorna bort, d.v.s. de rundade delarna av stocken huggs upp till flis direkt. Stocken får då två plana och två runda sidor. Ofta kan man numera såga ”i krok” för att få mesta möjliga



Figur 5.7: Interiör vid sågverket OLAB Timber AB i Järnforsen. Foto: Stig-Inge Gustafsson.

utbyte. Efter detta vrids stocken 90 grader och passerar sedan igenom en ny uppsättning sågar, se figur 5.8. Metoden kallas fyrsågning. Brädornas, och plan-



Figur 5.8: Princip för s.k. fyrsågning.

kens dimensioner bestäms av den s.k. postningen d.v.s. avståndet mellan de olika sågsnitten. Priset på virket beror av kvalitet och dimensioner. Vid postningen avgörs således till stor del hur stort det ekonomiska utbytet blir för sågverket och mycket forskning pågår för att optimera detta förfarande. Vissa brädor kommer vid sågningen att erhålla rundade kanter, vankant, p.g.a. stockens ursprungliga cirkulära form, se [10] sidan 111. Dessa kanter sågas bort i ett s.k. kantverk. Det finns flera olika typer av kantverk. I klingkantverk används sågklingor då de rundade kanterna ska sågas bort. Det är också vanligt med s.k. planreducerare där kanterna avverkas med hjälp av koniska flishuggar och resultatet blir flis och

spån som kan säljas till massaindustrin. I [36] anges att terminologin inte är helt klar när det gäller finfördelning av trä till flis och spånor. Man föreslår därför att man använder en terminologi utarbetad av Johnsson (1956) där en s.k. primär reducering innebär upphuggning av träet till valnötsstora bitar, s.k. sekundär reducering till 6,5 x 19 till 32 mm, och flisning till en tjocklek om 0.06 till 0.4 mm. Sedan kommer efterreducering, eller defibrering. Planreducerare kan också användas istället för sågar redan i det första momentet, se figur 5.8 där stocken är helt cirkulär. Detta innebär en bättre lönsamhet då flis kan säljas till ett högre pris än sågspån. Profilreducerare används på samma sätt men där avverkas kanten istället med kuttrar. I moderna sågverk är maskinerna ofta sammanbyggda så att reducering och sågning sker i samma maskin, [28] sidorna 281 - 284. Vissa brädor får dessutom s.k. stjärtar eller bakar, d.v.s. mer eller mindre rundade kanter p.g.a. att stocken smalnar av mot toppen. Dessa stjärtar kapas bort och huggs vanligen upp till flis. Numera har det blivit vanligare att sågverken sågar upp virke direkt mot kundens specifikationer. Detta kräver mycket flexibla sågverk där det går snabbt att ställa in de olika sågklingorna, eller sågbladen, i förhållande till hur tjocka brädor som önskas. Den del av brädorna som innehåller mårgen vill man oftast såga bort då den innehåller s.k. ungdomsved med dålig kvalitet. Detta görs i en s.k. greensplitsåg eller råklyvsåg. Klentimmer sågas ibland i en separat såglinje som kan göras mycket enklare och oftast sågas inga brädor fram i en sådan. Resultatet blir istället två centrumbitar. Detta innebär också att kapaciteten på huvudlinjen kan ökas väsentligt, se [35] sidan 32. Under sågningen transporteras stockar och virke i längsriktningen.

Flera olika sågmetoder används. I figur 5.8 visas fyrsågning vilken är den vanligaste i Sverige. Kvarterssågning, se [10] sidan 147, användes tidigare för att få fram högklassigt snickerivirke p.g.a. fördelarna med stående årsringar, d.v.s. man erhåller endast radiell krympning på bredden och tangentiell krympning på tjockleken då virket torkar. På senare tid har man dessutom försökt med s.k. stjärnsågning för att få motsvarande fördelar. Metoden ger stående årsringar men också ett antal trekantiga ”brädor” som man ännu så länge har viss svårighet att avyttra. Produkter som utnyttjar dessa börjar dock återfinnas på marknaden.

Lövträd sågas ofta enligt metoden ”sawing around” d.v.s. man sågar bort brädor från en sida i taget tills man kommer in i lövträdets sämre del, se [25] sidan 19. Sedan vrids stocken 90° och förfarandet upprepas. De högkvalitativa ytterbrädorna används sedan inom möbelindustrin, medan mittdelarna används till emballage och inom byggnadssektorn. Sågverk ur ett mera internationellt perspektiv beskrivs förtjänstfullt bl.a. i [38].

## 5.4 Råsortering

Efter sågningen sker sortering av virket efter olika dimensioner, och ibland kvalitet. Här sker transporten i virkets tvärriktning. Upp till ett fyrtiotal olika fack

kan användas men innan de placeras där kapas skadade, och oönskade delar bort. Varje plank och bräda okulärbesiktigas därför. Efter denna sortering hamnar virke med samma dimensioner i ett och samma fack. Det är framför allt tvärsnittet som måste vara identiskt medan längden på virket kan variera. Ett av facken töms sedan på ett transportband där virket transporteras i tvärled. Virket ströläggs sedan automatiskt, d.v.s. ett lager brädor åtskiljs av ett annat lager med hjälp av smala s.k. läkt. Dessa läkt är sågat virke med ett relativt litet rektangulärt tvärsnitt, 12 - 38 mm. Anledningen till ströläggningen är att luft skall kunna passera mellan brädorna. Virket placeras sedan i en virkestork.

## 5.5 Virkestorkning

Efter sågningen måste virket torkas under kontrollerade former. Vid sågverken torkas virket ner till en fuktkvot om c:a 18 % enligt svensk standard. Detta är inte tillräckligt om virket skall användas till möbler. Torkprocessen beskrivs förhållandevis utförligt i [10] samt i ett separat kapitel i detta kompendium varför detta inte beskrivs närmare just här. Detta innebär att den luftström som torkar virket får fri passage mellan brädorna. Det är viktigt att placera dessa läkt på rätt ställe så att inte virket böjer sig, eller i värsta fall, går av. Se [39], sidan 77 och följande sidor, för mera detaljer om ströläkt, bärlinor m.m. vid virkestorkning och lagring. En uttömmande behandling av vätsketransport i trä finns i [40].

## 5.6 Justerverk

När virke torkar krymper det obönhörligen. Sker denna krympning ogynnsamt introducerar man ett antal olika fel på virket. Dessa felaktigheter kan ibland kapas bort, t. ex. ändsprickor. Från torkarna transporteras därför virket till en ytterligare byggnad där det s.k. justerverket är beläget. Ett nytorkat virkespaket "töms" där ut på ett tvärgående transportband. Samtidigt faller alla ströläkt ner genom en gaffelliknande anordning och transporteras tillbaka till råsorteringen. I justerverket okulärbesiktigas ånyo alla brädor innan de justeras och återigen sorteras i olika grupper. Detta för att virket i nästa steg skall göras färdigt för leverans. Varje "paket" med virke innehåller därför efter justerverket, brädor eller plank med samma dimensioner, längd och kvalitet.

## 5.7 Produktion och simulering

Av 2 m<sup>3</sup> stockar får man ut 1 m<sup>3</sup> sågat virke, 1.7 m<sup>3</sup> flis och 0.7 m<sup>3</sup> sågspån. I [41], från 1986, anges att sågat virke betalas med c:a 1 000 kr/m<sup>3</sup> medan flis och sågspån ger c:a 270 respektive 100 kr/m<sup>3</sup>. I referens [35] finns dessutom 51 referenser till ytterligare litteratur inom området.

Ett modernt sågverk är en omfattande industri med högt teknikinnehåll. Det kan därför vara svårt att omedelbart inse konsekvenserna av ett visst handlande i processen. Man har därför vid Oregon State University tagit fram ett datorprogram där ett sågverk kan simuleras, [42]. Värdet av en sådan simulering framgår av att en enprocentig ökning av produktiviteten resulterar i en förtjänst årligen på 500 000 US \$ för ett medelstort amerikanskt sågverk. Programmet är skrivet i ett språk som liknar Smalltalk vilket innebär att det kan hantera s.k. klasser. Varje klass behandlar en enhet i sågverket. Sådana enheter kan vara en stock, sågspån, bark osv. Varje klass har sedan vissa egenskaper, för klassen stock, ex. vis träslag, diameter, längd och avsmalning. Klassen timmer har egenskaper som längd, tjocklek m.m. Den logiska processen kan starta med att stocken kommer in i sågverket. Allteftersom processen går vidare skapar programmet sina enheter, objekt, och till slut förstörs dessa. Varje objekt har dessutom märkts med ett klockslag varför processen kan följas i tiden för vilken enhet som helst. Man har också byggt in vissa optimeringsrutiner i programmet för att man verkligen skall er hålla bästa möjliga utfall. Enheterna processas i programmets s.k. noder vilka kallas för abstrakta klasser. Dessa klasser kan sedan ärvas, och ärvas, av ytterligare klasser, ett förhållande som också återfinnes i C++. Noderna har delats in i sju stycken olika klasser ex. vis ursprungsklassen, samlingsklassen, köklassen och processorklassen. Enheterna ovan kan därvid fås att passera mellan de olika noderna precis på samma sätt som i ett riktigt sågverk. I noderna finns dessutom handlingar vilka består av laddning, positionering, sågning o.s.v. Man använder en slumpgenerator för att mata programmet med olika typer av stockar. Resultatet kommer sedan ut i filer som kan läsas av ett databasprogram, .dbf- filer. Efter det att programmet har startats kan det när som helst försättas i ett viloläge och man kan då gå in och studera hur många stockar som sågats, hur mycket sågspån som producerats m.m. Det programsystem som används innebar tyvärr att programmet blev onödigt långsamt. Man skall därför nu överföra det till C++ istället.

Ett problem som först på senare tid blivit uppmärksammat i vetenskapliga sammanhang är de spänningar som uppstår i trädstammen när trädet växer. Vid sågning av plankor och brädor kommer sådana spänningar att medföra att dessa böjer sig, framför allt kanske om trädet innehåller s.k. reaktionsved. En mera uttömmande behandling av ämnet återfinnes i [43].

## 5.8 Vidareförädling

Många sågverk försöker numera att själva vidareförädla sina sågade produkter. Det kan vara torkning till lägre fuktkvot, sågning till andra dimensioner, fingerskarvning m.m. Den största delen av förädlingen sker dock i hyvlerier. Se [10] sidan 116 för mer information om hyvlat virke. Vid fingerskarvning finns vissa regler om virket skall användas till konstruktionsvirke. Tanken med skarvmeto-

den är att i möjligaste mån överföra lasterna med skjuvspänningar. Ju längre fingrar varje bit har, desto högre andel av lasten förs över på detta sätt. För långa fingrar minskar dock virkesutbytet och dessutom blir ofta ytterfingrarna dåligt limmade då de inte står emot limtrycket på samma sätt som korta fingrar. Detta kan avhjälpas med hjälp av diagonalt stående fingrar eller genom att applicera ett sidotryck på dessa fingrar. Fingerskarvens utformning blir således alltid en avvägning mellan egenskaper och kostnader. Minsta ekonomiska längd för skarvning ligger kring 30 cm varför man kan ta tillvara det virke som tidigare kapats bort och använts till bränsle mm, se [35] sidan 232. Vissa sågverk tillverkar också s.k. limfog vilket är limmade skivor av lameller som sågats och hyvlats fram från vanliga plankor. Limfogsfabrikanterna har slutit sig samman i Träindustrins Allmänna Grupp, TAG, som gett ut kvalitetsregler, TAG 1985, [35] sidan 242. TAG har dock under 2003 gått in som en avdelning under Trä- och MöbelindustriFörbundet, TMF. För så gott som samtliga produkter från sågverken finns riktlinjer från svensk standard. I vidareförädlingen kan också ingå impregnering mot röta och i vissa fall färdigmålning av produkterna. I U.S.A, liksom i många andra länder finns också organisationer som gett ut kvalitetsregler för virke. Vad gäller lövträ har dessa regler getts ut av National Hardwood Lumber Association, (NHLA). För barrträ finns många standardiseringskommittéer, men gemensamt är att de måste uppfylla reglerna i PS20-70, utgiven av American Lumber Standards Committee. Se [37], sidan 317 och följande, för mera information om förhållandena i U.S..

## Kapitel 6

### Virkestorkning

När träden växer i skogen innehåller de ofta mera vatten än trä, d.v.s. fuktkvoten överstiger 100 %, se ex. vis [10] sidan 67 eller [38] sidorna 247 och följande. När trädet avverkats kan trämaterialiet bara innehålla en viss mängd vatten. Denna mängd utgörs av den s.k. jämviktsfuktkvoten som bestäms av den omgivande luftens relativa luftfuktighet,  $\phi$ , vilken i [44] sidan 446 definieras som förhållandet mellan partialtrycket hos vattenångan,  $P_v$ , och ångans mättnadstryck,  $P_g$ , vid samma temperatur.

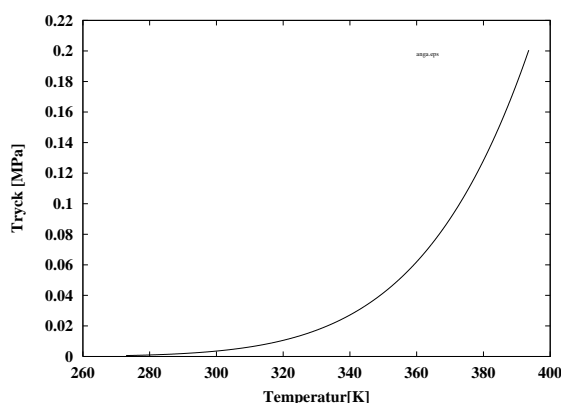
$$\phi = \frac{P_v}{P_g}$$

Den djupare innebörden av denna definition kan inte tas upp här i alla detaljer. Vanlig luft förmår dock att ta upp vatten i form av vattenånga. Kall luft kan dock inte innehålla lika mycket ånga som varm luft. Med terminologin ovan uttrycks detta som att  $P_g$  är 0.6113 kPa vid temperaturen 0 °C och 101.3 kPa vid 100 °C. Noteras bör att det senare värdet utgör det normala lufttrycket, vilket omräknat blir 760 mm Hg. Värdena ovan erhålles i s.k. ångtabeller, se [44] sidan 664. Ångtabellerna bygger på experiment men man har på senare år även försökt att beskriva ångans egenskaper med hjälp av matematiska uttryck. Detta gör det ju enkelt att använda en dator för att få fram värdena. I [45] anges ex. vis att den temperatur som motsvaras av mättnadstrycket kan beräknas som:

$$T_s = 42.6776 + \frac{-3892.7}{\ln(P_g) - 9.48654}$$

Sätts  $P_g = 0.1013$  MPa in i uttrycket erhålles temperaturen 373.73 K så uttrycket verkar stämma bra. Skillnaden i mättnadstryck vid olika temperaturer är således mycket stor, se även figur 6.1. Från ångtabellerna får man också att vattenångans specifika volym  $v_g$  är 206.132 respektive 1.6729 m<sup>3</sup>/kg. En m<sup>3</sup> nollgradig luft kan därför bara innehålla 1/206.132 d.v.s. omkring 5 g vatten medan c:a 598 g "får plats" om luftens temperatur är 100 °C d.v.s. 120 gånger mera. Om man värmer upp kall luft, som således bara kan innehålla en liten mängd vatten, får därför den varma luften en stor torkkapacitet.





Figur 6.1: Mättnadsångtryck vid olika temperaturer.

Det är givetvis viktigt att luften kan strömma fritt runt det virke som ska torkas och därför används s.k. ströläkt för att få ett visst avstånd mellan de olika virkesstyckena. Den varma luften används därför dels för att överföra värme till virket men också för att transportera bort vattnet. Om inget utbyte av luften sker med omgivningen kommer den att bli mättad med vattenånga och torkningen avstannar. Det är därför viktigt att se till att den relativa luftfuktigheten runt virket är sådan att vattnet kan transporteras bort. Man måste således kunna mäta vilken relativ luftfuktighet man har. Detta sker enklast med en s.k. psykrometer som består av två termometrar, se [44] sidan 456. Den ena av dessa omges av en fuktig strumpa och vatten avdunstar därför till den omgivande luften. Denna fuktiga termometer visar därför ett lägre värde än den som saknar fuktig strumpa. Skillnaden mellan den våta och torra temperaturen utgör därför ett mått på den relativa luftfuktigheten och ju lägre relativ luftfuktighet man har desto lägre blir våta temperaturen. Det är också viktigt att lufthastigheten runt den våta termometern är större än 2 m/s så att inga skyddande gränsskikt kan påverka mätningen. När man bestämt den torra och våta temperaturen måste man återigen ta hjälp av en tabell, eller ett diagram, för att få fram  $\phi$ . Skillnaden mellan den våta och torra temperaturen, den s.k. psykrometerskillnaden ger dock olika värden på  $\phi$  beroende på den torra temperaturens nivå. Antag att skillnaden är 10 grader. Vid en torr temperatur på 25 °C fås då en relativ luftfuktighet på 33 % medan samma skillnad ger 64 % vid en torr temperatur om 75 °C, se tabell 3.1 sidorna 61 - 71 i [46]. Jämviktsfuktkvoten varierar således också med temperaturen och i första fallet ligger den på 6.4 % medan den i det senare anges till 8.4 %. I [46] sidan 74 anges att jämviktsfuktkvoten är förhållandevis oberoende av träslag men i [38] sidan 250 nämns att arttillhörigheten kan ge avvikelser på  $\pm 3$  %.

I den refererade tabellen kan man också se att jämviktsfuktkvoten hos virke i alla fall ligger under c:a 30 % i ett svenskt utomhusklimat. En stor mängd vatten kommer alltså att avgå från trämaterialen vare sig man vill det eller ej. Rått virke angrips gärna av svampar och andra nedbrytande organismer varför man inte kan använda otorkat virke. Dessutom är det mycket dyrt att frakta vatten i onödan. Virket måste således torkas. Traditionellt har detta skett redan på sågverken. Som nämntes ovan ställer fuktkvoten i virket in sig efter den omgivande relativa luftfuktigheten. Det är därför många gånger meningslöst att torka virket till mycket låga fuktkvoter då det i så fall börjar ta upp vatten igen från luften. I stället har begreppet skeppningstorr kommit till användning, d.v.s. man torkar virket ned till c:a 20 %. Beroende på var virket skall användas torkas det sedan återigen ex. vis i en möbelindustri, och då kanske ner till omkring 5 % som bör användas om produkten ska användas inomhus. Anledningen till detta är att virket får avsevärda formförändringar när torkning, och återuppfuktning, sker under fibermättnadspunkten, d.v.s. lägre än c:a 30 % fuktkvot. Det gäller således att tillverka produkterna i en miljö som liknar den där dessa sedan stadigvarande ska användas.

## 6.1 Brädgårdstorkning

Detta är den traditionella torkmetoden för storskalig verksamhet. Efter det att virket sågats upp och strölagts får det ligga utomhus i ett antal veckor eller månader. I [38] sidan nämns att 25 mm tjocka brädor av amerikanska lövträd kräver torkning under 50 - 200 dagar men barrträd tar något kortare tid. Metoden är därför långsam och binder mycket kapital. Det går heller inte att komma ner i låga fuktkvoter, men å andra sidan torkar virket "av sig själv". En ytterligare nackdel är att torkförloppet inte på något sätt kan påverkas. Metoden kommer därför mer och mer ur bruk. Ibland används därför brädgården mera som lager innan ledig kapacitet finns i de riktiga virkestorkarna, se figur 6.2.

## 6.2 Längd- och tvärcirkulationstorkar

Dessa metoder är vanliga inom den storskaliga sågverksindustrin för träslagen gran och fur. Metoden går ut på att virket kontinuerligt vandrar genom torken, se [47] sidorna 296 - 339 för en mera detaljerad beskrivning. I tvärcirkulationstorken passerar torkluften vinkelrätt mot virkets transportriktning medan den trycks rakt emot transportriktningen i en längdcirkulationstork. Det råa virket tas i båggen fallen in genom en eller flera stora portar i byggnaden och tas ut genom motsvarande portar i den andra änden av lokalen. Tvärcirkulationstorken är ovanför virket indelad i zoner där torr och varm luft leds in men zonerna kan inte vidmakthållas där virket ska transporteras. Varje zon påverkas därför



Figur 6.2: Österbymo Trävaru AB, brädgård och friluftstorkning. Foto: Stig-Inge Gustafsson

av grannzonen. Frånluften tas ut i torkens längdriktning och den erhåller därför ett spiralformat flöde. Torktypen introducerades på 1940-talet men de är oftast mycket svårskötta. De har därför ersatts av längdcirkulationstorkar. I en sådan blåses varm och torr luft in i lokalen där virket tas ut ur torken. Allteftersom luften passerar virket har mer och mer vatten tagits upp och vid virkesintaget är luften i stort sett mättad med vattenånga. I början av virkesvandringen sker således torkningen långsamt medan den blir snabbare mot slutet.

### 6.3 Kammartorkning

Vid barrsågverk av mindre storlek och i senare led av träindustrin tillgrips s.k. kammartorkning. Anledningen till detta är att torkningen kan styras mycket bättre. Allteftersom sågverken har försökt anpassa sina produkter mera efter kundernas behov har därför satstorkning ökat och de andra torktyperna minskat. I en satstork har man mycket större möjligheter att påverka luftens torkningsegenskaper och dessutom står virket stilla under hela torkproceduren. Kammartorkar är därför vanliga vid lövsågverk och snickerifabriker, se figurerna 6.3 och 6.4. Det är mycket viktigt att den varma luftströmmen leds genom virkespaketen på ett likformigt sätt. I annat fall kan fuktkvoten på det torkade virket variera avsevärt. I varje tork måste också finnas en psykrometer som man kan lita på och ett system för att reglera temperatur och relativ luftfuktighet.

### 6.4 Några ytterligare torkmetoder

Ovan beskrevs ett antal vanliga torkmetoder som används i Sverige idag. Gemensamt för alla är att luften passerar brädorna vinkelrätt mot dessas längdriktning. Vid torkning av faner blåser man istället varm luft vinkelrätt mot fanerets yta med hjälp av s.k. jetmunstycken. Torkning enligt denna princip beskrivs i [48]



Figur 6.3: Virkestorkar vid Österbymo Trävaru AB. Foto: Stig-Inge Gustafsson

där man provat att torka ”brädor” av dimensionen  $0.3 \times 0.15 \times 0.05$  m av yellow poplar, *Liriodendron tulipifera*. I experimentet blåstes luft med en temperatur av 100 - 150 °C mot virket. Man använde således s.k. högtemperatortorkning. Författarna kunde då identifiera tre steg i torkprocessen. Det första steget innebär att mängden fukt som transporterades bort från virket hela tiden var konstant. Man jämförde avdunstningen med den som sker från en fri vattenyta och fukten i virket förmådde därför hela tiden att hålla ytskiktet på brädorna vid en konstant fuktkvot. Fukttransporten i virket ansågs därför ske med hjälp av kapillärkrafterna. Virket vägdes kontinuerligt under processen. Avdunstningens hastighet beräknades till värden inom intervallet 0.4 - 2.0 kg/sek per m<sup>2</sup> virke. Ju högre temperatur i torken ju högre avdunstningshastighet erhöles. I steg två kommer en torr yta att utbildas som vandrar längre och längre in i virket. Man jämförde detta fall med tre lager varav det mittersta var fuktigt medan de två yttre var torra. Man får nu en kraftig fuktkvotsgradient vilket innebär stora spänningar i de torkande detaljerna. Samtidigt måste nu fukten i form av ånga passera trä som torkats under fibermättnadspunkten och ju längre processen fortskrider, ju svårare sker denna passage. Avdunstningshastigheten kommer därför gradvis att avta. Till slut sker fukttransporten med diffusion i hela träbiten. Man lyckades också påvisa att avdunstningshastigheten nu varierar linjärt med kvadratroten av tiden, mellan 0.09 och 0.17 kg/sek<sup>0.5</sup> per m<sup>2</sup> virke.

Förångningstemperaturen för vatten beror till stor del på lufttrycket. Genom att torka virket under vacuum förångas därför vattnet vid en lägre temperatur. Samtidigt undviks en hel del virkesfel. Detta har undersökts bl.a. i [49] som dock huvudsakligen beskriver hur en matematisk modell byggs upp av en sådan torkprocess anpassad till ek. I en vacuumtork har man en pump som evakuerar luften. Dessutom tillförs värme genom elektriskt uppvärmda plattor som virket ligger på. På en annan plats i torken har man en kall yta där ångan kondenserar. Konstruktionen som beskrivs i [49] är inte helt densamma som i ”riktiga” torkar



Figur 6.4: Kammartork hos Bringholtz Möbelfabrik AB i Ruda, Foto: Stig-Inge Gustafsson

men författarna anser ändå att den väl motsvarar förhållandena i en verklig vacuumtork. I den modell som byggdes upp antas att vattnet transporteras genom kapillärkrafter över fibermättnadspunkten och via diffusion under denna. Fyra cm tjocka plankor kunde torkas från 70 till 5 % fuktkvot på c:a 200 timmar.

## 6.5 Fuktkvotsmätare

För att man skall få ett bra resultat vid torkning av trä måste man naturligtvis mäta hur torkprocessen fortskrider i virket. Traditionellt används resistansmätare, d.v.s. man mäter det elektriska motståndet i virket. Metoden har dock flera nackdelar. Dels mäts bara ett litet område i enskilda brädor vilket även vid många mätningar ger ett bristfälligt statistiskt underlag och dels är metoden känslig för temperaturvariationer och densitetsskillnader i virket. Ytterligare en nackdel är att metoden endast kan användas för fuktkvoter mellan 5 - 30 %. En annan metod mäter kapacitansen hos virket men denna verkar i dagsläget vara än mindre tillförlitlig. Den mest noggranna metoden går ut på att man tar ut provbitar ur torken vilka sedan torkas i en ugn med temperaturen 102 °C. Genom att väga träbiten före och efter torkning kan man få ett förhållandevis exakt värde på den mängd vatten som torkats bort. Det är av praktiska skäl dock bara möjligt att undersöka ett litet antal bitar varför det statistiska underlaget även här blir litet. På senare tid har en fjärde metod börjat undersökas, [50]. Denna

går ut på att man sänder neutroner genom virkeslasten. Ett visst antal av neutronerna kommer att reflekteras, andra stannar kvar i virket medan ytterligare ett antal passerar virket i sin helhet. Ju flera väteatomer som neutronerna skall passera desto högre antal neutroner reflekteras tillbaka. Antalet neutroner som träffar mätinstrumentet sjunker därför hastigt ju lägre fuktkvot virket har. Om man har mycket fuktigt virke deltar endast en mindre del av virket vid mätningen men då torkningen går mot sitt slut mäts en större del. Sändare och mottagare är placerade bredvid varandra och nedsänkta i torkens betonggolv för att minimera riskerna med det radioaktiva materialet. Metoden har visat sig ge ett bra medelvärde på fuktkvoten i hela virkeslasten i torken.

En metod som blivit kommersiell i USA går ut på att mäta fuktkvoten på ytan av en bräda m.h.a. laserljus medan andra applikationer använder infrarött ljus, [51].

## 6.6 Svällning och krympning hos trä

Då träet torkar kommer alltid en viss krympning att inträffa. Sker återfuktning sväller det sedan igen. Detta är en av de stora nackdelarna med trä som konstruktionsmaterial varför man under lång tid försökt att förklara hur processen i detalj fungerar. I [13] ägnas c:a 40 sidor åt förhållandet mellan trä och vätskor och fortfarande publiceras en ansevärd mängd forskningsresultat i ämnet. I ex.vis [52] har man undersökt hur trä sväller i vatten. Ett fast ämne sägs svälla om dimensionerna ökar när ämnet tar upp ett annat ämne av en annan fas. Samtidigt ska detta föranleda en värmeavgivning. Ämnet måste också bevara sin homogenitet och vidare skall den interna kohesionen minska i strukturen vilket innebär att ämnet mjuknar, jämför en tavelsvamp. Genom många undersökningar har man fastställt att svällningen är klart beroende av träets densitet. Lövträ sväller således ofta mera än barrträ. I [52] visas att lönn sväller mera än asp som i sin tur sväller mera än douglas- och sitkagran. Det påvisas också att svällningen går mycket snabbt i vatten och snabbare ju varmare vattnet är. För ex. vis asp erhöles en slutlig tangentiell svällning om 9% efter 8 timmar när 23-gradigt vatten användes medan svällningen blev 10% redan efter 40 minuter när man använde vatten som var 100 °C varmt. Då svällningsmekanismen var så utomordentligt temperaturberoende slog man vidare fast att man troligen har att göra med en kemisk process där vatten binds kemiskt i cellulosa- och ligninmolekylerna. Små molekyler, som vatten, hade också lättare att tränga in i trästrukturen än stora molekyler. Man visade också att halten extraktivämnen har stor betydelse för svällningshastigheten. Detta beror troligen på att vissa av dessa ämnen befinner sig inne i cellstrukturen på samma sätt som vattnet. I [46] nämns dock att forskningsresultaten från andra författare tyder på att så inte är fallet. Man undersökte också den s.k. aktiveringsenergin för att reaktionerna skulle komma igång. Denna uppgick till 47.6 kJ/mol för lönn och 32.2 kJ/mol för sitkagran.

Tyvär är det för oss i dagsläget oklart hur dessa siffror beräknats men troligen kan man inte jämföra dem med det sk svällningsvärmets som enligt [46], sidan 81, uppgår till c:a 70 kJ/kg träsubstans.

## 6.7 Torkning av lövträ

M4↓

Det finns ett stort ekonomiskt intresse för att torkning av trä sker både snabbt och utan virkesfel. Detta avspeglar sig naturligtvis också i den vetenskapliga litteraturen och hundratals uppsatser presenteras årligen i ämnet. Det är därför svårt att hela tiden hålla sig fullständigt informerad om forskningsläget. Detta har uppmärksammats bl.a. i USA och därför publiceras sammanställningar på de viktigaste forskningsrönen regelbundet. Vad vi känner till har tre sådana sammanställningar presenterats under senare år nämligen [51], [53] och [54]. Dessa tre publikationer ger en mycket kort sammanfattning av c:a 500 olika böcker, uppsatser och rapporter vilket gör dem till en guldgruva för den seriöse torkforskaren. Ytterligare flera bibliografier presenteras också i [51]. Inte mindre än 100 uppsatser om färgförändringar och skador på virke som härrör från biokemiska processer presenteras också i [55] men där finns bara en mycket kort sammanfattning av forskningsläget. Vi har speciellt intresserat oss för torkning av lövträ då detta varit mindre undersökt i Sverige.

### 6.7.1 Färgförändringar

Ett stort problem vid användningen av olika arter av lövträ är de färgförändringar som uppkommer ex.vis vid torkning. Vad vi förstått finns mycket få undersökningar i Sverige av detta. De uppsatser som publicerats internationellt behandlar framför allt hur färgen uppkommer och hur man mäter detta på ett objektiva sätt. Kombinationen torkning och färgförändringar vad gäller lövträ är mera sällsynt.

Just färgförändringar hos timmer har man undersökt länge och den första vetenskapliga publikationen verkar ha kommit redan 1878, [56]. Författarna till det refererade verket anser att man kan dela in färgförändringarnas orsaker i två delar, dels där biologiska faktorer inverkar d.v.s. svampar m.m. och dels där kemiska förändringar sker. De biologiska faktorerna har undersökts mera intensivt då det ansetts att dessa har störst ekonomisk betydelse. De färgförändringar som åstadkoms av kemisk påverkan kunde ofta hyvlas bort och opåverkat trä tas fram igen. Numera vill man ofta kunna leverera ämnen med färdiga mått och därför har intresset vaknat igen. I [56] nämns också att man inte riktigt har kommit fram till vad som händer vid denna kemiska påverkan och att felet ofta uppstår först vid torkning. Samma ståndpunkt intar författaren till [57]. Trots att kunnandet på området är bristfälligt delades orsakerna in i två grupper, en där färgförändringarna börjar redan i det levande trädet och en annan där dessa upp-

kommer efter avverkningen. I den första gruppen finns starka indicier på att skador på grenar, stam och rötter är inledningen till att färgförändringar uppträder. När skadan sker försöker trädet att skydda sig och ett antal kemiska och biologiska processer tar sin början. Detta skede kan vara mycket kort. Via skadorna invaderas trädet av bakterier och speciella svampar vilket ofta innebär att trädet producerar s.k. vattved. Denna ved är sedan mottaglig för sådana mikroorganismer som orsakar olika typer av röta. I den andra gruppen, där färgförändringarna uppkommer efter avverkningen, har man sedan länge ansett att oxidativa processer, ibland under inverkan av enzymer, är orsaken. Den tid som förflyter mellan avverkning, uppsågning och torkning avgör hur stor påverkan blir. Ju längre tid, desto allvarligare förändringar uppstår. På senare år har man också funnit att bakterier via sin ämnesomsättning orsakar en förändring av pH hos extraktivämnena i virket. Detta får till följd att olika kemiska reaktioner initieras som leder till förändrad färg. Ytterligare en orsak är inverkan av metaller, exempelvis spikar.

I exempelvis [58] har författarna undersökt färgförändringar hos ek beroende på trädets ålder och årsringsbredd. Det första problemet man stöter på vid sådana undersökningar är att kunna beskriva färgen på ett objektigt sätt. Därför användes en s.k. spektrocologimeter. Med en sådan apparat kan man få fram hur ljusa resp. mörka, hur röda resp. gröna, och hur gula resp. blå träslagen är. Författarna säger att systemet på ett utmärkt sätt svarar mot det sätt som människan uppfattar färgerna. Trädets ålder, åtminstone vad gäller ek, har stor betydelse för färgen. Man måste dock skilja på trädets biologiska ålder och åldern i förhållande till mårgen, d.v.s. det läge i trädet som man studerar. Färgen hos ek blir därför mörkare, och rödare, ju längre från kambiumet man kommer. Träytan blir också rödare ju äldre biologisk ålder trädet har. Däremot fann författarna inget enkelt samband mellan årsringarnas bredd och träytans färg. Detta berodde till en del på att man mätt på ytor från tangential- resp. radialsnitt. Om man mäter färgen på ändytan, d.v.s. i tvärsektion, har man dock funnit en stark korrelation mellan färg och årsringsbredd. Man borde därför inte bedöma färgen hos ett träslag just när det avverkat i skogen. Författarna undersökte två olika arter av ek, *Quercus robur* och *Q. petraea*, där den senare befanns ha en rödare färg. Man antog vidare att färgen hos ek huvudsakligen beror på mängden extraktivämnen och på innehållet av lignin.

Ett antal av dessa extraktivämnen i ek går under samlingsnamnet ellagitanniner. Till en viss del är dessa möjliga att lösa upp i vatten eller aceton. Ju äldre trädet blir ju mindre av extraktivämnena kan lösas upp. Detta har studerats i [59] med hjälp av hur ämnena sprids i en gel samt en chromatograf. I den yttre veden, nära kambium, återfann man s.k. monomerer, vescalagin, castalagin, grandinin och roburin E, som förhållandevis lätt löser sig i vatten. Ju närmare mårgen man kommer ju lägre halt monomerer återfanns medan s.k. dimerer, roburin A - D, och polymerer ökar i betydelse. Dessa är mera svårösliga och har dessutom en mörkare färg. Färgen har också betydelse vid lagring av konjak i ekfat. Man



fann också att torra växtplatser hade inverkan på färgen hos *Q. robur*, som blev mörkare ju våtare marken var på våren, men inte på *Q. petrea*, [60].

En annan uppsats som behandlar färgförändringar vid just torkning av ek är [61]. Man nämner här att förändringarna kan indelas i två grupper dels när eken gulnar och dels när den blir brunare. Den gula färgen antogs uppkomma p.g.a. svampar medan den bruna färgen antogs vara ett resultat av kemiska reaktioner. En fuktkvot mellan 30 och 60 %, en relativ luftfuktighet om 60 %, samt en torktemperatur över 30 °C visade sig ge de största problemen. Man har försökt att undvika dessa genom att först lufttorka ekvirket ner till en fuktkvot om c:a 25 % för att sedan placera det i en traditionell kammartork. Ett annat sätt uppges vara att utsätta det råa virket för en temperatur om 100 °C vilket förhindrar uppkomsten av de brunfärgande ämnena. I laboratoriet har man också testat en metod att torka virket i kvävgas för att undvika kontakten med luftens syre. Ytterligare en metod som beskrivs i [61] utnyttjar torkning i vacuum. Man provade här att torka ekvirket under lågt tryck, 150 mbar, samtidigt som man använde överhettad ånga, 70 °C. Samtidigt torkade man andra plankor i två traditionella kammartorkar i 35 - 45 graders värme. Vacuumtorkningen gick avsevärt mycket snabbare, två dagar mot 20 resp. 11 dagar för traditionell torkning. Anledningen till den snabbare processen i det senaste fallet var att man här hade en kraftigare ventilation. Den ökade ventilationen gav dock upphov till en kraftigare färgförändring. Exakt varför färgförändringarna uppkommer lyckades man inte utröna men en förklaring ansågs kunna vara en oxidation av de tanniner som finns i ek. Järn skulle också kunna verka som en katalysator. Vid vacuumtorkningen uppkom inga färgförändringar alls.

Gula och bruna färgförändringar hos ek rapporteras också i [62]. Man lyckades visa att de ämnen som åstadkom den gula färgen kunde lösas upp i vatten medan ämnen som resulterade i brun färg måste lösas upp i en natriumhydroxidlösning. De två färgförändringarna härrörde därför troligen från två olika processer. Vidare fann man att de bruna ämnena i huvudsak fanns i parenkymcellerna. Hur de gulfärgade ämnena uppkom klarades dock inte ut.

Detta har dock undersökts i [63] och man fann att den gula färgen uppkom genom inverkan av en svamp, *Paecilomyces variotii*, som hör till de s.k. *fungi imperfecti*. De ekarter som denna svamp trivs i hör till formerna *robur*, *petrea* och *albae*, d.v.s. stjälkek, bergkek och vitek. Konstigt nog uppkommer ingen gul färg i formen *rubrae*, rödek men svampen trivs även där. Svampen, som är oerhört vanlig, förekommer både i kärnan och i splinten men den gula färgen uppkommer endast i kärnveden. Man lyckades dessutom åstadkomma samma gula färg i *Castanea sativa*, d.v.s. kastanj, genom att överföra sporer till denna art. Framförallt uppkommer den gula färgen hos ek om man lagrar virket där ventilationen är bristfällig. Om avståndet mellan brädorna är mindre än 15 mm ökar problemen och väta mellan strö och bräda innebär ränder på det torkade virket. Svampen överlever inledningsvis i torken framför allt om man torkar under låga temperaturer. Man försökte också analysera exakt vilket ämne som åstadkom den gula

färgen men lyckades endast delvis. För att undvika gulafärgning måste därför ventilationen vara god och dessutom måste man torka virket snabbare. Ett ytterligare sätt är att behandla virket med propionsyra som bl.a. används inom livsmedelsindustrin. I [63] nämns också att färgförändringar hos virke under torkning kan delas in i fem grupper. Dessa är svampar, fysiologiska reaktioner till exempel tyllbildning som finns i *Fagus*, bok, biokemiska reaktioner som man hittar i *Alnus*, al, kemiska reaktioner ex.vis oxidation, samt inverkan av metalljoner.

Bruna färgförändringar hos ek har vidare undersökts i [64]. Återigen anges ellagitanninerna som orsak och man föreslog att färgförändringarna uppkommer vid dessas oxidation. Inverkan av enzymer hade tidigare föreslagits bidra men enligt författarna till [64] var sådana inte nödvändiga.

I [65] nämns en grå färgförändring hos ek. Denna lyckades man förhindra genom att behandla virket med natriumbisulfit. Man nämner också att vissa processer som ger färgförändringar kan ha att göra med årstiderna. Kiriträd, *Paulownia tomentosa*, skall därför inte avverkas under september och oktober, se även [66] där man samtidigt nämner att det är viktigt att barka stockar av kiri så fort som möjligt. Huvuddelen av den aktivitet som ger färgförändringar pågår nämligen i floemet. Grå färgförändringar på ek har också studerats i [67] och man nämner att det finns två olika typer. Den första typen tror man uppstår genom att vatten och extraktivämnen transporteras till ytan på virket där vattnet avdunstar. De extraktivämnen som blir kvar oxideras sedan med hjälp av ett enzym varvid den grå färgen uppkommer. Vid hyvling försvinner denna olägenhet. Den andra typen gråfärg dock splintveden i sin helhet vilket inte sker vid svampangrepp. Processen börjar i gränsskiktet mellan kärn och splintved och är fullt utvecklad efter c:a två veckor. Orsaken var inte helt utredd 1991 då uppsatsen skrevs. Problemen kunde undvikas om man placerade virket i en ugn och värmden upp det till c:a 100 °C under 30 minuter. Värmning med ånga gick också bra. Man fann vidare att problemen förvärrades om torkningen skedde mycket långsamt, t. ex. utomhus. Träslaget ask fick således grå färgförändringar just under ströläkten och troligen därför att torkningen försvåras just där. När man studerade de grå partierna i mikroskop fann man att färgen troligen uppkommit genom en enzymatisk process där stärkelse var en aktiv beståndsdel. Författarna till [68] har undersökt hur vattenlagring påverkar ek. Man fann att grå färgförändringar förekom oftare och var svårare att bli av med ju längre lagringen pågått.

Ek har också undersökts i [69]. I denna uppsats har man speciellt studerat mörka färgförändringar i *Q. rubra* och man kom fram till att de önskade förändringarna kunde delas in i tre grupper. Den första gruppen innehöll förändringar i splintveden, den andra avser förändringar i gränsskiktet mellan kärn och splintved medan den tredje avsåg förändringar i kärnveden. Felen i den första gruppen härrörde från skador på det växande trädet t.ex. om grenar brutits av eller p.g.a. insektsangrepp av en s.k. "snickarmask", *Prionoxystus*. Efter skadorna angreps splintveden ofta av svampar och bakterier. Färgförändringar i den andra gruppen hittade man ingen orsak till men man konstaterade att vare sig svampar

eller bakterier var inblandade. Man nämnde dock att träd som växt på fuktiga jordar hade mera sådana förändringar. Den sista gruppen innehöll färgförändringar orsakade av svampar och bl.a. nämndes *Stereum frustulatum* och *Fistulina hepatica*. Bägge orsakade svåra färgförändringar men svamparnas kemiska reaktioner var olika. Man visade också att normal ved inte fick sprickor m.m. vid vanlig torkning medan den färgförändrade veden fick många sådana virkesfel. Detta trodde man berodde på att trädet skyddar sig mot angrepp genom att generera s.k. tyllbildning. Detta innebär att cellernas hålrum täpps till och att därför inte fukten lika lätt kan avgå som i normal ved. Angreppen av svamparna gjorde också att cellerna lättare släppte från varandra vilket i sin tur genererade sprickor.

Träslaget lönn har undersökts i [70]. Då uppsatsen behandlar förhållanden i Kanada är det arten sugar maple, *Acer saccharum*, som avses här. Denna art får ofta en mörkare kärna som man helst inte vill ha. I just sockerlönn har man ingen "äkta" kärnved, d.v.s. det finns alltid levande celler även nära mårgen. Man har misstänkt att färgförändringarna kan bero på svampangrepp. Svampsporerna kommer ju lättare in i trädet om det finns skador på stam eller grenar och därför valdes 160 sådana skadade träd ut. Som jämförelsematerial valdes också 49, till synes, helt oskadade träd ut. Genom att ta ut små bitar,  $5 \times 1 \times 1$  mm, ur stammarna där både helt frisk, färgförändrad och skadad ved fanns, och sedan lägga dessa bitar ett provrör som innehöll 2 % malt agar fick man eventuella organismer att föröka sig. I ved som såg helt opåverkad ut var 98 % av proverna sterila d.v.s. inga mikroorganismer växte till. Den färgförändrade veden, utan stamskador, hade 31 % svampar och 7 % bakterier. I färgförändrad ved där skador fanns på stammarna var motsvarande värden 50 resp. 4 %. En svamp, *Trichocladium canadense*, hittades i hälften av de prover som hade färgförändringar. Andra typer som hittades var, *Nodulisporium sp*, *Phialophora melinii*, och *Corticium vellerum*. Dessutom fanns ett antal s.k. mikrosvampar som inte kunde identifieras. Tyvärr kunde man inte säkert avgöra om det var svamparna som orsakade färgförändringarna eller om det var färgförändringarna som gjorde att svamparna trivdes bättre men vissa tecken tydde på att det var det senare förhållandet som gällde. Som synes ovan hade inte skador på träden den allvarliga inverkan som man först trott. Svamparna förekom nästan lika frekvent i oskadade träd. En annan art av lönn, *Acer pseudoplatanus*, har undersökts i [71]. Främst är det de färgförändringar som uppkommer vid lagring av stockarna innan uppsågning som behandlas. Författaren menar att man kan dela in färgförändringarna i primära och sekundära angrepp. Till de primära hör bruna, gröna och gråa sådana medan till de sekundära räknades bruna, gröna och gula fläckar. Dessa sekundära angrepp var särskilt besvärliga då man inte kunde se dem förrän virket sågats upp och sedan hyvlats. Ett klart samband hittades mellan virkets lagringstid och antalet färgfel. Man rekommenderade därför att allt virke skulle sågas upp innan juni månad särskilt i de södra delarna av Tyskland. Två arter av bakterier samt fyra svampar, *Cylindrocarpon candidum*, *Cladosporium herbarum*, *Phialophora fastigiata* och *Phoma eupyrena* ansågs med stor säkerhet orsaka den bruna

färgen medan man inte säkert kunde säga något om orsakerna till de andra felen.

Bakterier kan således också angripa trä och dessa leder ibland till färgförändringar. I [72] redogörs för problematiken och framför allt bakterien *Pseudomonas fragi* har visat sig orsaka färgförändringar hos bl.a. Ilomba, *Pycnanthus angolensis*, lönn, *Acer pseudoplatanus*, bok, *Fagus sylvatica* och samba, *Triplochiton scleroxylon*. Vid torkning av Ilomba framträdde färgförändringen speciellt under ströläkten som rödbruna band. Träslaget samba har också visat sig mottagligt för angrepp av bakterien *Pseudomonas aeruginosa* som då gav röda och gröna fläckar på ytan av det sågade virket, [73]. Bakterier har också hittats i *Acer rubrum* och *saccharum*, *Betula papyrifera* och *alleganiensis* samt i *Fagus grandifolia*. *Bacillus subtilis* och *cereus*, ett antal ospecificerade arter av *Pseudomonas* samt *Aerobacter aerogenus* och ett antal typer som liknade *Xanthomonas* hittades i dessa träd, [74].

Arten limba, *Terminalia superba*, har också s.k. falsk kärna d.v.s. levande celler påträffas i veden ända in mot mörgen. I [75] har författarna beskrivit att den mörgnära veden ofta mörknar avsevärt och att detta beror på skador på grenarna hos det växande trädet. I den denna mörka ved hittade man bakterier medan svampar inte förekom alls. Förekomst av vattved tydde också på att bakterier var inblandade i processen.

Ytterligare ett träslag som angrips av bakterier och som då får oönskade färgförändringar är Ilomba, *Pycnanthus angolensis*. Färgen framträder snabbast vid virkets kortändor och sprider sig inåt i fiberriktningen. Även vid torkning av virket får man problem speciellt under ströläkten, [76]. Fyra bakteriesläkten identifierades, *Arthrobacter*, *Citrobacter*, *Erwinia* och *Pseudomonas* samt en jästtyp i trädets parenkymceller. Bakterieangreppen medförde ett förändrat pH-värde, från 5.9 till 8.8 vilket var det som utlöste färgförändringen. Man lyckades erhålla samma färgförändring genom att lösa ut extraktivämnena med hjälp av metanol och sedan tillsätta ammoniak.

Holz Zentralblatt har också publicerat ett antal artiklar om detta, ex.vis i september och december 1988 samt i maj 1991.

Ett kommersiellt intressant träslag, åtminstone internationellt, är valnöt, *Juglans nigra*. I [77] har man undersökt färgen hos olika faner som tillverkats av träd som vuxit på tre olika lokaler i U.S.A. Färgen hos faneret är först grönaktig men om man väntar med torkningen c:a 24 timmar erhåller det sin karaktäristiska bruna färg. Om man torkar direkt efter skärningen kvarstår den grönaktiga färgen. Man sorterade sedan faneret i olika grupper efter utseendet. Man fann då att variationerna i färg förekom i lika stor grad mellan olika träd som var dessa vuxit upp. Växtplatserna undersöktes med avseende på jorddjup, jorddensitet, stenförekomst, vattentillgång m.fl. faktorer. Även kemiska analyser av jorden runt träden gjordes. Då man inte kunde finna någon samvariation mellan fanerets kvalitet och växtplatsen bör man, enligt [77], istället inrikta sig på variationen mellan olika träd oavsett var de växt upp. I undersökningarna använde man sig av en spektrofotometer och man kom fram till att den s.k. luminansen var en av de

viktigaste parametrarna att mäta om man ville efterlikna det mänskliga ögats uppfattning av fanerets färg.

Två av författarna till [77] fortsatte sedan undersökningarna på mikronivå, d.v.s. man studerade färgvariationerna i cellerna och deras väggar, [78]. Fortfarande undersökte man valnöt men man nämner också att andra författare undersökt bl.a. eukalyptus. Genom att studera enskilda celler, samt dessas orientering lyckades man utröna att färgen hos valnöt främst berodde på ämnen som fanns inne i cellerna. Man nämner också att ljusare ved inte hade samma tydliga beteende. Där berodde färgen mera på hur cellerna var orienterade i fanerfet. Framförallt verkade den mörka färgen främst vara lokaliserad till innanmätet i parenkymcellerna i mörkstrålarna. Detta skulle vidare kunna innebära att spänningar i det växande trädet kan påverka färgen.

Valnöt har också undersökts i [79], där träd från Indiana och Missouri studerats. Träden från Indiana har av tradition ansetts mycket bättre än de som kommer från den andra staten. Tidigare undersökningar hade visat att egenskaperna på växtplatsen påverkar färgen på det färdiga fanerfet och man ville nu studera varför. Det visade sig att träden från Indiana hade mycket tunnare cellväggar, men också lägre procentuell andel kärl, (vessel lumen), samt smalare kärl än de träd som fanns i Missouri. Snabbväxande träd hade en lägre halt av gelatinartade fibrer vilket gav virket en sämre kvalitet. Man fann också att färgen berodde på halten extraktivämnena i trädet. Halten extraktivämnena påverkade också hur mycket träden krympte vid torkning.

I just träslaget valnöt önskar man att färgförändringarna skall gå snabbare och att färgen skall bli likartad i både splint och kärna. En uppsats som behandlar olika metoder för detta är [80] och bl.a. har man undersökt temperaturer vid basning och den tid som basningen pågått.

Vid stormfällning av skog står man inför problemet att man inte kan såga upp alla träd på en gång. I Tyskland är det främst bokskogar som berörs och ett sätt har varit att lagra timret under vatten tills sågverken hinner såga upp det till virke. Om man tar timret direkt från lagringsdammen, fuktkvot i virket c:a 90 %, och sågar upp det, får alla sågade ytor vid torkningen en djupt brunröd färg, [81]. Färgen anser författaren härröra från fenoler som transporteras från parenkymcellerna till intilliggande ved. Fenolerna följer sedan med den vätsketransport som sker vid torkningen till virkets yta. Då vattnet avdunstar blir fenolerna kvar på ytan i allt högre koncentration. Ett sätt att undvika detta nämns också. Genom att torka timret i rund form ner till 50 - 60 % och sedan såga upp det kunde problemen minskas en hel del. Han anser också att bakterier inte har med färgförändringarna att göra då man även gjort experiment med fryslagrat virke. Ju längre tid timret hade legat under vatten ju kraftigare brun färg erhöles. Dock verkade förhållandena stabiliseras efter c:a 3 års lagring. I just träslaget bok har man dock hittat ett antal olika bakterier främst av släktena *Pseudomonas* och *Bacillus*, [82], och man har dessutom kunnat påvisa att brunfärgning av virket beror på dessa. Bakteriernas ämnesomsättning innebar att pH-värdet ökade

och då detta översteg värdet 7.3 uppträdde en tydlig färgförändring hos bokens extraktivämnen.

Träslaget al, *Alnus rubra*, har undersökts av författarna till [83] och man nämner att just al innehåller ett ämne som färgar vaden orange redan efter några timmars kontakt med luftens syre. Efter ytterligare en tid, några veckor, mörknar färgen ytterligare. Man har länge ansett att denna färg härrör från ett extraktivämne i vaden som kallas oregonin. Genom inverkan av syre samt ett enzym erhålles brunfärgade polymerer. Den högsta halten oregonin återfinnes i innerbarken medan vaden endast innehåller c:a 0.1 % av ämnet ifråga. Då uppsatsen behandlar problem i samband med tillverkningen av pappersmassa passar tyvärr inte de metoder som nämns för att undvika röd och brunfärgning vid torkning av al i form av virke.

Även i Japan har man undersökt al. I [84] har *Alnus hirsuta* och *A. japonica* undersökts närmare. Uppsatsen är mycket kemiskt inriktad varför den inte är helt lättläst för en lekman på det träkemiska området. Man fann dock att den röda färgen berodde dels på ett ämne "hirsutoside" och enzymet "catechol oxidase". Det första ämnet synes kunna bildas av oregonin enligt [83]. Liknande ämnen finns också i björk, *Betula platyphylla*, var. *japonica*, men denna art rödfärgas inte p.g.a. att dessa förekom i en form av "glykoside". Man nämner också att björkarten *Betula papyrifera* får färgförändringar men de går mycket långsammare.

Al finns även i Kanada och i [65] har författarna undersökt färgförändringar hos *Alnus rubra*. Man nämner där att de levande cellerna i trädet troligen har en framträdande roll då färgförändringarna uppkommer. Genom att så snabbt som möjligt döda dessa skulle därför problemen kanske kunna undanröjas. Genom att placera nyligen sågat virke i en kammare med metylbromidånga, 300 g/m<sup>3</sup>, kunde man effektivt avliva cellerna. Det visade sig att denna behandling effektivt hindrade de röda och bruna färgförändringarna som normalt uppkommer efter någon veckas lagring. Man noterade också en orange färg på virket men denna kom från barken på virket och hade smetats ut vid sågningen. Färgen försvann således vid hyvling. Det obehandlade virket erhöll oönskade färgförändringar snabbare om det lagrades under presenningar. Vid andra studier har stora växlingar mellan dag- och nattemperaturer visat sig förvärra problemen. Man nämnde också att fritt vatten i cellernas hålrum var nödvändigt för att förändringarna skulle ske. Behandling med metylbromid och omedelbar torkning efter detta förhindrade således just denna typ av färgändringar. Om man inte torkade virket uppträdde rödblå fläckar framför allt där fukt inte kunde avledas från virket. Detta fenomen ansågs komma från ett svampangrepp. Svampen hade inte helt identifierats men liknade *Ophiostoma piceae*.

Träslaget *Afrormosia* mörknar under inverkan av ljus. Detta har behandlats i [85] och författarna anser att orsakerna står att finna i extraktivämnena. Sågspån som kokats i bl.a. aceton visade nämligen inte alls samma färgförändringar som obehandlat spån. Det ämne i *Afrormosia* som mörknade kunde visas vara s.k. stilben som finns i många olika träslag. Genom att pensla på sådana stilbener på

remsor av bok fick man fram motsvarande färgförändringar.

Bakterier kan också vara till hjälp då man vill undvika färgförändringar. I [86] har man visat att arten *Bacillus subtilis* på ett effektivt sätt hindrar svampen *Botryodiplodia theobromae*, som ger blånad på många indiska träslag, att växa. Undersökningen skedde i laboratoriemiljö men man skulle kunna tänka sig att doppa stockar i en "bakterielösning" innan de gick vidare i förädlingskedjan.

Ytterligare uppsatser som behandlar färgförändringar hos olika träd är bl.a. [87], [88], [89] och [90]. Nämnas bör också den doktorsavhandling om färgförändringar hos ek som publicerats i Frankrike, [91]. Tyvärr är avhandlingen på franska men i referenslistan finns många publikationer på engelska.

### 6.7.2 Formförändringar

Ett annat stort problem vid torkning av trä är de formförändringar som kan uppkomma. Vid lövträtorkning förekommer speciellt ofta sprickor i ändarna på virket. En uppsats som behandlar detta är [92], där man studerat torkning av röd lönn, *Acer rubrum*. Uppsatsen behandlar speciellt sk högtemperatortorkning, dvs då temperaturen i torken är högre än  $212\text{ °F} = 100\text{ °C}$ , och hur detta påverkar förekomsten av krokighet m.m. hos det färdigtorkade virket, vilket innebar en fuktkvot om 6 %. Anledningen till att detta är intressant är ju den att virket kan få en mycket snabbare omsättningshastighet, dvs sågverket slipper dels lagra virket så länge, men också att energianvändningen ansågs minska avsevärt. Följande torkmetoder användes:

- Fullständig torkning från en fuktkvot om 70 % med en temperatur om  $110\text{ °C}$
- Traditionell torkning ner till 45 % och sedan en temperatur om  $110\text{ °C}$
- Traditionell torkning ner till 30 % och sedan en temperatur om  $110\text{ °C}$
- Traditionell torkning ner till 20 % och sedan en temperatur om  $110\text{ °C}$
- Traditionell torkning hela tiden som en kontrollgrupp

Den första gruppen torkades färdig på 50 timmar medan den sista behandlades under 150 timmar. Av de 50 timmarna användes 26 för spänningsutjämning och rekonditionering. Inte oväntat hittade man flest sprickor i gruppen 1. Vad man däremot överraskades av var att de största och flesta sprickorna uppkom c:a 3 cm från ändarna. Sprickorna var också betydligt vanligare i närheten av kvistar och där färgförändringar uppträtt. Ingen skillnad uppkom i form av krokighet mm. Man bör notera att även vid traditionell torkning, med en temperatur om  $80\text{ °C}$  och lägre var endast 77 % av brädorna helt felfria. Genom att kapa ändarna på virket c:a 8 cm från kanten kunde man erhålla likvärdiga resultat som vid traditionell torkning men samtidigt minska torkprocessens längd med 60 %. Man

torkade då i enlighet med metod 2 ovan, dvs först traditionell torkning ner till en fuktkvot om 45 % och sedan högtemperaturtorkning ner till 6 % fuktkvot.

Vid torkning av virke erhålls således ofta sprickor, framför allt vid virkets ändtytor. I [93] har detta undersökts för två typer av ek, *Quercus rubra* och *Cyclobalanopsis longinux*. Den senare arten, som växer i Taiwan, har smalare blad att döma av det engelska namnet 'narrow-leaved oak'. I uppsatsen redogör författarna för hur man med hjälp av bl.a. ett svepelektronmikroskop studerat sprickor i smala skivor från de två träslagen. Man testade torktemperaturer mellan 40 till 80 °C och torktider mellan 1 och 6 timmar. Man försökte också beräkna spänningarna med hjälp av finita elementmetoden. Man kom fram till att man fick mikrosprickor i cellstrukturen redan vid torkning efter en timma i 40 °C. De tydligaste sprickorna hittades i mägstrålarnas parenkymceller speciellt där dessa var flerskiktade och man fann att S1- och S2-lagren skildes åt redan vid mycket mild torkning. Anledningen var att ytskiktet hos brädorna torkade snabbare än de längre in liggande delarna och ytan utsattes därvid för så stora dragspänningar att cellerna gick sönder eller delaminerade. Vid högre temperaturer blev sprickbildningen än mer accentuerad. Man påvisade också ett klart samband mellan draghållfastheten vinkelrätt mot fiberriktningen och torktemperaturen. Ju högre torktemperatur ju sämre hållfasthet fick man.

I [94] har författarna undersökt torkning av ek, *Quercus rubra*, och hur olika temperaturer och klimat i torken påverkar det färdiga resultatet. De nämner att man traditionellt torkar entumsplankor från grönt tillstånd, fuktkvot 80 %, till 8 % på 21 - 28 dagar. Sex olika torkexperiment utfördes varav några där man låtit virket passera mellan två stålrullar som komprimerade plankorna. Tjockleken tilläts dock inte minska mer än 7.5 % och dessutom pressade man inte så hårt vid stora kvistar och i ändarna då virket annars sprack. Torktiderna varierades mellan 20 och 14 dagar. Efter torkningen hyvlade man ner virket till 13/16 tum och studerade hur många plankor som då fick perfekt form. Minst problem hade man med kupighet där alla plankor klarade den mildare torkningen medan 17 % inte gick att åtgärda vid den hårdaste proceduren. För 'böj' var problemen större, siffrorna var där 14 resp 74 %. För vridning och krök låg siffrorna mellan dessa ytterligheter. Just ek är ju mycket känsligt för kollaps, s.k. honeycombing. Genom förkompression av virket kunde just detta torkfel nästan elimineras och man fick samma värden för det mildaste klimatet utan kompression som för det hårdaste med sådan behandling. Endast c:a 3 % av virket fick sådana fel att det inte kunde godkännas. Hårt klimat utan kompression resulterade i 21 % kasserade plankor.

M4↑





# Kapitel 7

## Hållfasthetslära för möbler

M4↓

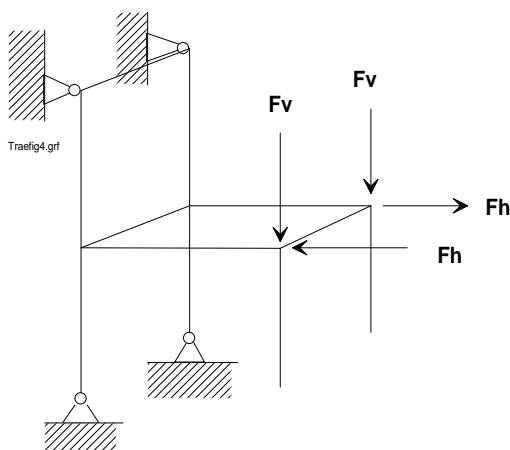
I den svenska möbelindustrin sker, vad vi förstår, ingen som helst beräkning av laster m.m. i vanliga möbelprodukter. Dimensioneringen sker i stället m.h.a. erfarenhet från tidigare produkter. De estetiska synpunkterna från designers m.fl. har oftast avgjort hur produkten kommer att se ut. Denna har sedan testas av ex. vis Möbelinstitutet och om produkten inte visat sig hålla måttet har man konstruerat om den. Det är dock vår övertygelse att moderna konstruktionsberäkningar skulle kunna användas i ett tidigt skede av utformningen och ge nya impulser till möbelkonstruktioner. Då detta kompendium är avsett för årskurs tre och fyra på maskinlinjen förutsätts att läsaren redan har en hel del förkunskaper om statiska beräkningar av bärverk m.m. Grunderna för sådana beräkningar går därför inte igenom här. Inte heller behandlas konstruktion av takstolar eller andra bärande detaljer i hus. Istället kommer förhållanden som speciellt avser konstruktioner av trä i 'möbelstorlek' att belysas mera ingående.

### 7.1 Möbellaster

Det första problemet man ställs inför vid dimensioneringen är vilka laster möbelen kommer att utsättas för. I [95] sidorna 43 och följande, finns ex viktuppgifter för amerikanska män. Där framgår att 95 % av den manliga befolkningen väger mindre än 217 pounds, c:a 97 kg. En stol som dimensioneras för en person vägande maximalt 100 kg skulle således hålla för de allra flesta, under förutsättning att denne sätter sig försiktigt. Undersökningar i samma referens visar dock att lasterna kan uppgå till det dubbla om detta inte är fallet. Författaren anger dessutom att ett antal andra källor visar att man borde dimensionera en stol för upp emot 150 - 250 kg. Lasten mot stolens ryggstöd är naturligtvis lägre. Under normala förhållanden belastas stolsryggen med c:a 300 N oavsett vilken vikt personen har. Om man avsiktligt lutar sig hårt bakåt stiger denna last till omkring 700 N. Man har också visat att en last om c:a 500 N uppkommer mot ryggstödet om

man väger på stolen. Dessutom belastas ju förbindningen mellan själva stolen och ryggstödet hårt vid ett sådant beteende. Man kan också tänka sig att en person sitter på ryggstödet och har fötterna på stolssitsen. Detta är vanligt, åtminstone i Amerika, vid möten då åhörarna vill se föreläsaren. Ibland förses stolarna dessutom med horisontella 'ribbor' som förbinder stolsbenen, det s.k. krysset. Dessa ribbor eller balkar används också till att stå på när man skall ta ner något från ex. vis en bokhylla. I referensen anges att dessa detaljer borde dimensioneras för en last om c:a 700 N. Det är också viktigt att tänka på att möbler används i olika miljöer. En stol i en offentlig lokal utsätts troligen för en avsevärt hårdare behandling än en stol i ett pensionärshem. Därför väljs lämpligen något högre värden för möbler i offentliga lokaler. Möbelinstitutet i Sverige har gett ut en rapport [96] där man gett ut riktlinjer för måttsättning av sittmöbler. Man kan där finna uppgifter om olika befolkningsgruppers kroppslängd, skulderbredd mm. Däremot finns inga viktuppgifter redovisade.

Även andra laster kan verka på en stol. Om man lutar sig bakåt och väger på stolens bakben kan ibland lasten angripa stolen osymmetriskt. Detta inducerar vridkrafter i det bärverk som stolen utgör. I [95], sidan 46, anges att man skall ansätta en last om c:a 800 N längst fram på stolssitsen i de främre benens riktning och samtidigt belasta stolssitsen med ett moment om c:a 100 Nm parallellt med sitsen. Samtidigt förutsättes att stolens framben inte stöds av underlaget utan hänger fritt i luften, se figur 7.1, där  $F_v = 400$  N och  $F_h = 100$  Nm dividerat med stolens bredd. Armstöd på stolar bör dimensioneras så att man även tar hänsyn



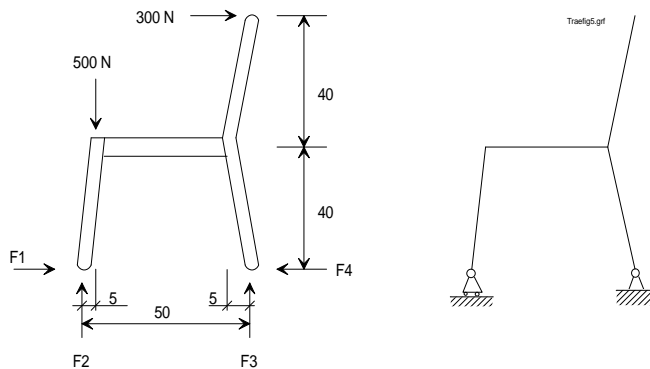
Figur 7.1: Applicerade torsionslaster på stol enligt [95].

till sidokrafter, exempelvis om man drar stolen i sidled när någon sitter i den. I [95] anges lasterna ligga mellan 300 - 1000 N i vart armstöd. Lasten i nerkanten på stolsbenen uppkommer ofta när man drar stolen längs golvet och någon sitter

i den. I referensen anges att man bör dimensionera för minst 250 - 800 N per ben. På motsvarande sätt analyseras fåtöljer och soffor. Sådana möbler måste ofta dimensioneras för dubbla personlasterna då man kanske ibland mer eller mindre kastar sig ner i möbeln istället för att sätta sig försiktigt. Undersökningar vad gäller laster för bokhyllor och bord finns också redovisade i [95].

## 7.2 Analys av bärverket

När man bestämt sig för vilka laster som verkar på möbeln måste man beräkna hur dessa laster bärs upp av konstruktionen. I detta kompendium är det inte möjligt att gå igenom hur beräkningarna kan utföras för samtliga typer av bärverk utan vi visar i stället ett exempel, se figur 7.2. Det vänstra stolsbenet tänkes upplagt



Figur 7.2: Exempel på stol som bärverk, mått i cm.

på ett s.k. rullager vilket innebär att den horisontella stödreaktionen  $F_1$  måste vara lika med noll. Stolen i figuren är då ett statiskt bestämt bärverk, d.v.s. man kan lösa ut alla krafter enbart med hjälp av moment och jämviktsekvationer. Följande ekvationer kan ställas upp:

$$\begin{cases} \downarrow: & 500 - F_2 - F_3 & = 0 \\ \rightarrow: & 300 + F_1 - F_4 & = 0 \\ \odot: & F_2 \times 50 - 500 \times 45 + 300 \times 80 & = 0 \end{cases}$$

Löses ekvationssystemet erhålles  $F_2$  till -30 N,  $F_3$  till 530 N och  $F_4$  till 300 N. Notera att analysen är en förenkling då bl.a. rullagret införts. Man kan därför göra om analysen med ett rullager under det högra stolsbenet i stället vilket innebär att  $F_4$  antas vara lika med noll som i sin tur innebär att  $F_1$  får ett värde om 300 N. Nu när stödreaktionerna beräknats kan de inre lasterna beräknas.

Lasten 300 N angriper i ryggstödet men är inte helt vinkelrät mot ryggstödet. Geometrin ger att tvärkraften i ryggstödet, ner till stolsitsen blir

297.7 N medan normalkraften, här en dragkraft, blir 37 N. Vidare införs ett moment som givetvis växer linjärt ner till sitsen med maxvärdet  $300 \times 0.40 = 120$  Nm. Med motsvarande beräkningar för det högra stolsbenet erhålles en normalkraft i benet om 563.1 N, en tvärkraft om 232 N och ett moment vid stolssitsen om 93.5 Nm. De bägge momenten verkar åt samma håll vilket innebär att momentet i sitsen, omedelbart i knutpunkten, måste bli  $93.5 + 120 = 213.5$  Nm riktat medurs. Lasten  $F_2$  ger en dragkraft i det främre benet om 29.8 N en tvärkraft om 3.7 N samt ett moment, moturs vid knutpunkten sits - ben, om 1.5 Nm.

Tvärkrafterna i bärverket medför att materialet kommer att utsättas för skjuvspänningar. Medelvärde på dessa erhålls helt enkelt genom att dividera tvärkraften med detaljens area. I vårt fall verkar det vara lämpligt att dimensionera detaljen så att brott inte uppstår och därför måste skjuvspänningens maximala värde användas. I [97], sidan 247, visas att maxvärdet är 1.5 gånger större än medelvärdet för ett rektangulärt tvärsnitt. Om man nu börjar med att dimensionera stolens ryggstöd måste dess översta punkt tåla en tvärkraft om  $297.7 \cdot 1.5 = 446$  N och en samtidig normalkraft om 37 N. Antag för enkelhets skull att vi använder rektangulära detaljer med bredden  $B$  och höjden, här tjockleken,  $B/2$ . Detaljens tvärsnittsarea är således  $0.5 \times B^2$ . Spänningen p.g.a. normalkraften blir därför  $74/B^2$  Pa. Om vi antar att tryckhållfastheten för bok används, 52 Mpa enligt [10] sidan 234 innebär detta att  $B$  endast skulle behöva vara c:a 1 mm. Tvärkraften ger en skjuvspänning om  $893/B^2$  Pa. När det gäller skjuvspänningar ges ingen uppgift i [10]. I [13] sidan 402, finns skjuvhållfastheten för bok angiven för 18 olika belastningsfall beroende på hur skjuvkraften angriper trädetaljen m.a.p. fiberriktning m.m. Här antages att skjuvkraften angriper vinkelrätt mot fiberriktningen vilket innebär en skjuvhållfasthet om c:a 370 kp/cm<sup>2</sup> eller 37 MPa. Detta skulle innebära att trädetaljens bredd endast skulle behöva vara c:a 5 mm. Egentligen borde man här använda ett flytvillkor eller brottkriterium. I [97], sidan 93, anges att effektivspänningen  $\sigma_e$  enligt Von Mises kan beräknas som:

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_x^2 + 3\tau_{xy}^2}$$

Då belastningen här är så låg bortses från detta. Det kan också diskuteras om Von Mises uttryck är tillämpligt på ett material som trä.

Dimensioneringen ovan gäller endast för den översta delen av ryggstödet. Momentet i ryggstödet är som störst där ryggstödet möter stolssitsen, enligt det ovanstående, 120 Nm. Drag-, eller tryckspänningen, i en rektangulär balk beräknas som:

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M \times z}{I}$$

där

$$I = \frac{B \times H^3}{12}$$

Om man provar sig fram med olika värden på bredden  $B$  får man att brottspänningen för tryck parallellt med fibrerna för bok, c:a 52 MPa enligt [10], uppnås då  $B$  är mindre än c:a 3 cm. Av [10] sidan 234 framgår också att draghållfastheten är mer än dubbelt så stor som tryckhållfastheten. Detta innebär att ett rektangulärt tvärsnitt inte är optimalt. Istället skulle mängden trä kunna minskas avsevärt på den dragna sidan utan att brott skulle ske. Man skulle också kunna tänka sig ett rektangulärt tvärsnitt med mindre area. Detta skulle innebära att brottgränsen skulle uppnås på den tryckta sidan men då materialet börjar 'flyta' kommer det s.k. neutrala lagret också att vandra mot den dragna sidan. Först när dragbrottsgränsen uppnås kommer detaljen att brista, se [10] sidan 131. Man bör också notera att skjivspänningen har sitt maximala värde i mitten av detaljen, där momentet oftast är noll, medan momentet har sitt maximala värde i detaljens kanter, där skjivspänningen är noll. Man kan också tänka sig att använda den s.k. böjhållfastheten för trä som i referensen anges ligga mitt emellan drag- och tryckhållfasthet.

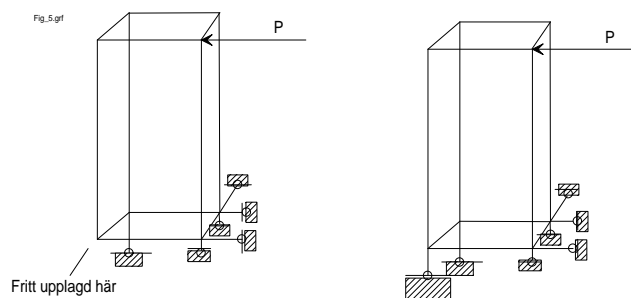
Av analysen ovan framgår att det är 'momentkrafterna' som blir avgörande för dimensioneringen. Det största momentet i stolen ovan erhålles i sitsen närmast ryggstödet. Här är normalkraften lika med noll, notera rullstödet under vänstra frambenet, varför beräkningen av detaljens tvärsnitt blir enklare. Momentet uppgår här till 213.5 Nm vilket innebär att  $B$  behöver vara c:a 3.7 cm för att inte brott på den tryckta sidan, här lika med undersidan, skall inträffa. Den maximala tvärkraften, 530 N vid det främre benets infästning i stolssitsen ger att  $B$  här kan vara mindre än en cm utan att brista.

Analysen ovan visar att man med förhållandevis enkla medel kan erhålla mycket information om hur en stol borde se ut från hållfasthetsperspektiv. Givetvis måste den laststruktur som antogs gälla i figur 7.2 förändras så att samtliga belastningsfall studeras. Detta kommer exempelvis att innebära normal- och momentlast i det främre benet som nu så gott som helt 'försvann'. I analysen ovan antogs dessutom att vi hade ett statiskt bestämt bärverk. Detta är ju så gott som aldrig fallet i verkligheten. Vidare bortsågs från att belastningarna i bärverket medför deformationer vilka förändrar stolens geometri. En optimal konstruktion ur hållfasthetssynpunkt kommer att svikta då den används, vilket i sin tur fordrar en helt annan beräkningsapparat än den som användes ovan. Ytterst få vetenskapliga artiklar har behandlat detta men en av dem vi trots allt hittat behandlar just dimensioneringen av en stol med hjälp av finita elementmetoden, [98].

### 7.3 Andra typer av bärverk

En mera omfattande procedur har använts i [99] där man studerat belastningar på garderober. I referensen anges att man har undersökt hur olika skåp m.m. deformerats då laster med olika angreppspunkter applicerats på konstruktionen. Tidigare har man antagit att skåpet varit upplagt på tre stöd men man har

nu beräknat skjuvspänningar i bakstycket med antagande om att strukturen är upplagd på fyra stöd, ett i varje hörn, se figur 7.3. Det för här för långt att



Figur 7.3: Skåp upplagt på tre resp fyra hörn [99].

fullständigt beskriva hur man gick tillväga men man lyckades att erhålla en god överensstämmelse mellan beräkningar och praktiska prov. Den kritiska lasten för  $P$ , i figur 7.3, uppgick till c:a 110 daN, innan de klamrar man använt för att fästa bakstycket i ramen drogs ut p.g.a. dettas buckling.

## 7.4 Några artiklar rörande hållfastheten hos trä

Det är viktigt att inse att de tillämpliga hållfasthetsparametrarna för olika träslag är storleksberoende. Stora trädetaljer, ex.vis bärande konstruktioner i byggnader, kan inte dimensioneras för samma höga påkänningar som små detaljer. För närvarande försöker man att fastställa hur detta förhållande kan se ut så att man kan utnyttja träets hållfasthet på bästa sätt. I [100] redovisas några metoder utgående från såväl linjär som icke linjär brottmekanik.

Ett faktum som kanske är av mindre intresse för möbelkonstruktioner är att träets hållfasthet sjunker om det utsätts för långvariga belastningar. Motsvarande fenomen kan iakttagas för ex. vis aluminium som utmattas då materialet belastas av dynamiska laster. Trä, däremot uppvisar samma fenomen men då även för en konstant last, se [101], [102], [103], [104] och [105] för mera detaljer om detta.

På senare år har man försökt att hitta metoder som utan att förstöra trädetaljen ändå avslöjar hållfastheten hos denna. I ex. vis [106] visar man på möjligheten att göra detta med ultraljud. Genom att dels sända ut en ultraljudssignal på ena sidan en trädetalj och sedan analysera den förändrade signal som tas emot på andra sidan trädetaljen, har man lyckats utröna vilken elasticitetsmodul som är tillämplig just för denna del av trä materialet. Metoden har utvecklats för att undersöka olika kompositmaterial men i referensen har man visat att detta går bra även för massivt trä. Sändare och mottagare måste dock vara utformade speciellt för detta och appliceras med ett visst tryck beroende på träslaget. I [107]

har man med i princip samma metod undersökt hur man kan påvisa rötangrepp, torkningsgrad, hållfasthet hos limförband m.m.

I litteraturen finns hållfasthetsparametrar för många olika träslag. Vanligen publiceras dock endast böjhållfastheten medan de andra värdena lyser med sin frånvaro, speciellt för lite mera udda träslag. Ibland ser man dock undersökningar där man gått mera grundligt tillväga. I [108] visas mätningar för 10 olika amerikanska lövträslag i 9 olika riktningar. Vidare publiceras Poissons tal samt E-moduler för dessa. För ex. vis amerikansk lind, *Tilia americana*, erhöles E-modulerna för tryckning parallellt med fibrerna till 13 GPa, radiellt till 0.86 GPa och tangentiellt till 0.33 GPa. Motsvarande värden för röd ek anges till 11.0, 1.7 och 0.9 GPa. Som jämförelse kan nämnas värden för bok och björk som visats vara 13.8 resp 15.9 GPa vid tryckning längs fibrerna, [109].

## 7.5 Förband

En mycket viktig faktor att ta hänsyn till vid möbeltillverkning är hur olika delar lämpligen skall fogas samman. I exemplet ovan visades att ett stort moment infördes mellan stolssits, ryggstöd och bakben. En vanlig metod för att lösa en sådan sammanbindning är att använda s.k. träpluggar eller centrumtappar. Man borrar då hål i karm och sits och limmar sedan fast en tapp mellan detaljerna. I Sverige tillverkas dessa vanligen av björk men i Tyskland skall de vara av rödbok. Enligt [10] har björk en draghållfasthet om c:a 140 MPa. Centrumtappar kan erhållas i olika diametrar från 5 till 12 mm. I det lastfall som studerades i figur 7.2 erhöles en dragspänning i ovansidan på stolssitsen. Antag att lasten tas upp i centrum av den tryckta sidan. Centrumtappen placeras så att 0.5 cm täckning erhålles av trä runt denna. Antag vidare att stolssitsens 'ram' har dimensionen 4 gånger 2 cm. Detta innebär att vi har en hävarm på omkring 2 cm att tillgå för att ta upp momentet som uppgick till 213.5 Nm. Dragkraften i pluggen kommer således att uppgå till 10.8 kN, vilket innebär en dragspänning om hela 550 MPa om diametern på pluggen är 5 mm. En större plugg måste således väljas och brottgränsen klaras nätt och jämnt för en diameter om 10 mm. Man måste också studera hur skjuvspänningarna tas upp i tapp och hål. Pluggen har en omkrets på 0.03 m. I björk är skjuvhållfastheten längs med fibrerna omkring 15 MPa. Här har värden för bok, [13] använts då vi inte hittat någon uppgift för björk. Längden på tappens infästning måste därför vara omkring 2.5 cm för att inte tappen skall skjuvas till brott. I sitsen är också skjuvspänningarna parallella med fiberriktningen medan de i ryggen tas upp vinkelrätt mot fibrerna vilket innebär att skjuvhållfastheten kan sättas högre för påverkan i ryggstödet. Det lim som används måste också ha förmågan att överföra krafterna. I [36], sidan 11, anges att en limfog som är tunn, mindre än 80  $\mu\text{m}$ , klarar en skjuvspänning om 210 kp/cm<sup>2</sup>, eller 21 MPa. Detta är ett högre värde än det omgivande träet har, varför hållfastheten hos limmet inte borde vara något problem. Det finns även



vissa empiriska undersökningar utförda för centrumtappars hållfasthet. I [95], sidan 107, finns bl.a. ett uttryck som kan användas för centrumtappar vinkelrätt fiberriktningen:

$$F = 0.834 \times D \times L^{0.89} \times (0.95 \times S_1 + S_2) \times a \times b \times c$$

där  $F$  är dragkraften i tappen i pounds,  $D$  är diametern på tappen i tum,  $L$  är tappens längd i förbindningen i tum,  $S_1$  är skjuvhållfastheten i det omgivande träet i psi,  $S_2$  är skjuvhållfastheten i tappen i psi,  $a$  är en konstant mellan 1.0 och 0.85 för diverse limtyper,  $b$  är en konstant för glapp mellan tapp och hål och  $c$  är en konstant mellan 1.0 och 0.9 för plana resp. spiralskurna tappar. Motsvarande uttryck finns redovisade för tappar i andra riktningar ex. vis last parallellt med fibrerna i de trädetaljer som skall sammanfogas.

Vi har nu inte räknat med att de hål som introducerats i bärverket kan försämra dettas hållfasthet. Detta bör också studeras närmare. Som framgår av det ovanstående gick det att klara momentet i konstruktionen med hjälp av centrumtappar. I andra fall kanske konstruktionslösningen av bärverket helt avgörs av de förband som måste till för att sammanbinda olika detaljer med varandra. I stället för centrumtappar kan man använda andra typer av förbindning, ex. vis sargtappning där tappen utgör en del av den trädetalj man vill sätta fast. Tapparna kan svarvas fram eller också kan man använda speciella tappfräsar. I [110] behandlas bl.a. dimensioneringen av slits- och centrumtappar mera i detalj och såväl numeriska beräkningar och experiment redovisas. Man visade också att centrumtapparna gav en något styvare fog än slitstapparna. Andra sammanfogningsmetoder är ex. vis fingerskarvar, slitsning och sinkning. I [95] sidorna 106 - 141 behandlas också dessa skarvtyper mera i detalj.

Skruvförband är dessutom mycket vanliga inom trämanufakturindustrin. Det är viktigt att man borrar upp ett lagom stort hål för skruven så att inte träet spricker när denna skruvas fast. Lagom hålstorlek är 70 % av skruvens rot diameter enligt [95]. I samma referens, sidan 143, anges vidare vilken kraft som krävs för att en skruv skall lossna från underlaget för olika typer av förband. Som exempel ges ett uttryck för massivt trä där skruven applicerats vinkelrätt mot fibrerna:

$$F = 3.202 \times D \times (L - D)^{0.75} \times S$$

där  $F$  är dragkraften i skruven i psi,  $D$  är skruvens diameter i tum,  $L$  är gängans längd i trädetaljen i tum och  $S$  är skjuvhållfastheten för träet vinkelrätt mot fibrerna i psi. På motsvarande sätt finns andra uttryck för skruvning i ändträ, spånskivor, plywood mm. Ibland används också häftklammer, 'staples' men då mest för att hålla trädetaljerna på plats vid limning. Spik används mera sällsynt i möbler men i referensen finns uttryck också för sådana förband.

Vi har hittat en nyligen publicerad vetenskaplig uppsats som speciellt behandlar förband i möbler, [111]. Trädetaljerna var tillverkade av limmad faneé. Man visade bl.a. att rektangulära tappar gav starkare förband än ovala tappar som

i sin tur var starkare än s.k. centrumtappar vilka var tillverkade av lönn, *Acer sp.* De träslag som undersöktes var japansk ceder, *Cryptomeria japonica*, och kinesisk tall, *Cunninghamia lanceolata*. Som exempel kan nämnas att ett förband med en rektangulär tapp om 1.27 x 5.0 x 2.0 cm höll för c:a 4500 N vid dragning. Spänningarna i förbandet uppgick då till omkring 2.3 MPa vilket verkar synnerligen lågt. Man undersökte dessutom förbandens uthållighet vad gällde böjande moment. Det beskrivna förbandet höll för c:a 150 Nm vilket också synes vara förhållandevis lågt. Fortsatta undersökningar får utvisa om så är fallet.

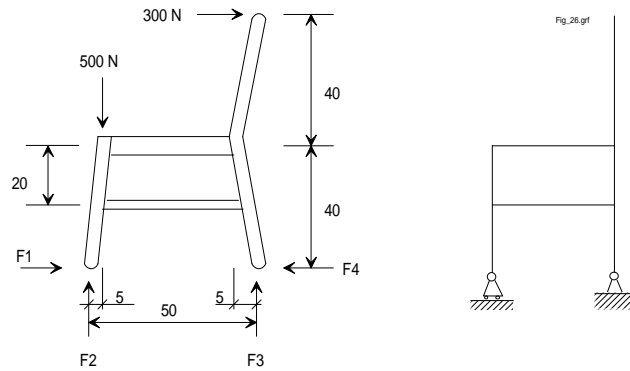
## 7.6 Inverkan av röta och svampar

Vid dimensioneringen av olika bärverk, ex. vis möbler, är det viktigt att välja korrekta värden på brotthållfastheten. Om träet är påverkat av olika svampar, ex. vis brun- eller vitröta, minskar dessa värden dramatiskt så fort ett svampangrepp inträtt även om detta inte kan studeras med blotta ögat. I [112] har detta undersökts närmare för Douglasgran och några olika sorters brunröta. (Notera att Douglasgranen inte botaniskt är en gran men väl liknar denna växtfamilj till det yttre, se [10], sidan 239.) I undersökningarna utsatte man trävirket för brunröta under varierande tidslängder. Det visade sig att viktförlusten hos träet varierade mellan 1 - 18 % medan hållfastheten minskade mellan 5 - 70 %. Man noterade också att nedsättningen av hållfastheten var nära förknippad med angreppen på träsens hemicellulosa. Vissa försök gjordes också med vitrötesvampar men man lyckades inte att erhålla tillräckligt stora kolonier av dessa på just Douglasgran.

Vissa träslag är mera motståndskraftiga än andra vad gäller olika svampangrepp. Detta demonstreras bl.a. i [113] där man jämfört ett träslag från Chiles regnskogar, *Aextoxicon punctatum* som har visst släktskap med våra törelväxter, med vanlig bok. Regnskogsträdet förlorade endast 0.7 % av sin vikt efter att i tolv månader varit utsatt för ett brunröteangrepp medan motsvarande värde för bok var 40 %. Exakt vad detta beror på vet man inte men i referensen spekuleras om att en orsak kan vara en speciell sammansättning av ligninet i detta regnskogsträslag.

## 7.7 Statiskt obestämda bärverk

Stolar är vanligen inte utformade så som visas i figur 7.2. Ytterligare detaljer tillkommer för att göra konstruktionen mera hållfast. Framför allt vill man minska momentet där stolsitsen är förbunden med ryggstödet. Detta kan man erhålla om man inför en 'balk' mellan stolbenen, se figur 7.4. Till höger i figur 7.4 visas en förenklad bild av stolen, detta för att göra framställningen nedan något lättare. När balken mellan stolbenen tillkommer innebär detta samtidigt att man inte kan beräkna påkänningarna lika enkelt som tidigare. Ytterligare villkor måste till

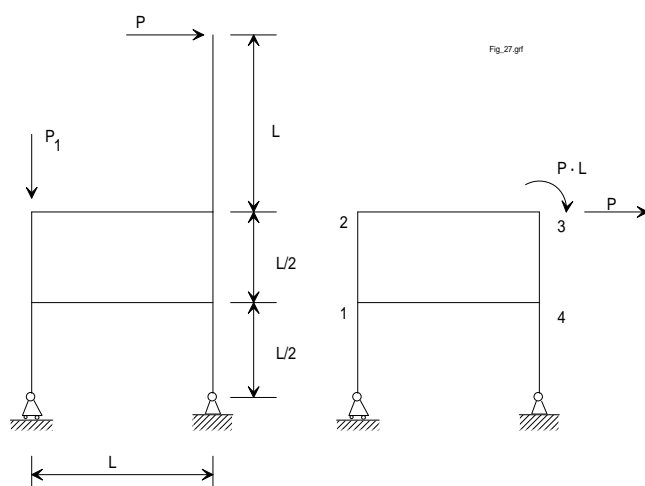


Figur 7.4: Exempel på stol som statiskt obestämt bärverk.

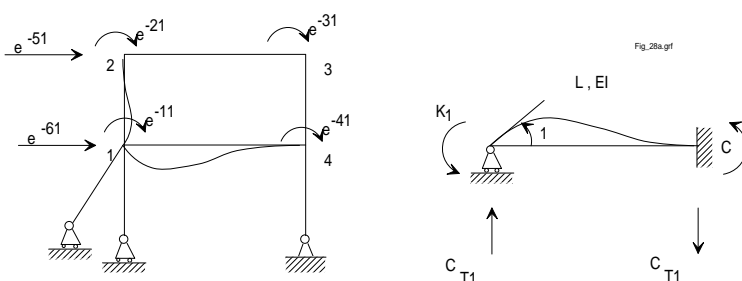
för att ekvationerna skall kunna lösas. Ett sådant villkor är att vinkeländringen i varje knutpunkt måste vara lika stor oavsett vilken detalj, på var sida om knuten, som studeras. Här kommer detta, och andra, villkor att utnyttjas, men i en mera matematisk procedur kallad förskjutningsmetoden. Denna tillgrips lämpligen då man har ramar med svaj, d.v.s. bärverket kan förskjutas i sidled. Meningen med avsnittet nedan är inte att beskriva metoden i alla detaljer utan i stället att ge ett exempel på hur man kan gå till väga. För teoretisk bakgrund m.m. hänvisas istället till [114]. Det första man bör göra är att undersöka om bärverket kan förenklas genom att man tar bort statiskt bestämda bitar. Så är fallet med ryggstödet vilket innebär att detta ersättes med ett moment, se figur 7.5. På samma sätt tar vi bort inverkan av  $P_1$  då denna last endast ger en normalkraft i de främre stolbenen, se den högra delen av figuren. Normalkrafterna och dithörande förskjutningar försummas nämligen i denna metod. För att kunna lösa ut de obekanta snittkrafterna är det lämpligt att tillgripa matrisalgebra. Sambandet mellan förskjutningar och laster framgår av den s.k. strukturstyvhetmatrisen vilken kan ställas upp direkt m.h.a. elementarfall. Principen grundas på att man låser alla knutar utom en vilken roteras eller förskjuts. Den bild man då får av bärverket jämföres sedan med de olika elementarfallen och sedan sätts lämpliga E-moduler och längder in. Förslagsvis börjar vi i punkt 1, se figur 7.6. Till höger i figuren återfinnes ett lämpligt elementarfall hämtat ur [115] sidan 12. Bokstäverna innebär:

$$K_1 = \frac{4EI}{L} \quad C_{T1} = \frac{6EI}{L^2} \quad C = \frac{2EI}{L}$$

I den vänstra sidan av figuren har en vinkeländring införts. Vi ser att knutpunkten antagits vara helt styv dvs vinklarna mellan balkarna är fortfarande räta. Det främre stolbenet vilar på ett rullager. Denna balk saknar således styvhet. Mellan punkten 1 och 2 erhålles en styvhet motsvarande  $K_1$  i elementarfallet vilket också är fallet mellan punkt 1 och 4. Längden mellan punkt 1 och 2 är dock endast  $L/2$



Figur 7.5: Förenklat bärverk i form av ram med svaj.



Figur 7.6: Vinkeländring i punkt 1 samt elementfall.

varför vi erhåller:

$$e^{-11} = 0 + \frac{4EI}{\frac{L}{2}} + \frac{4EI}{L} = \frac{12EI}{L}$$

Vi förflyttar oss nu till punkten 2 och ser vad vinkeländring i punkt 1 innebär. I elementfallet ser vi att C verkar lämpligt. Vi noterar igen att endast halva L skall användas varför vi erhåller:

$$e^{-21} = \frac{2EI}{\frac{L}{2}} = \frac{4EI}{L}$$

I punkten 3 erhålles ingen påverkan av rotationen i 1 medan knuten 4 på motsvarande sätt som i 2 erhåller:

$$e^{-41} = \frac{2EI}{L}$$

Styvheten för element  $e^{-51}$  ser vi motsvaras av  $C_{T1}$  vilket också är fallet för  $e^{-61}$ . Notera dock att 'kraften'  $e^{-51}$  är riktad åt andra hållet i elementarfallet vilket innebär att vårt element skall ha ett negativt värde. Vi erhåller således:

$$e^{-51} = \frac{-6EI}{(\frac{L}{2})^2} = \frac{-24EI}{L^2} \quad e^{-61} = \frac{6EI}{(\frac{L}{2})^2} = \frac{24EI}{L^2}$$

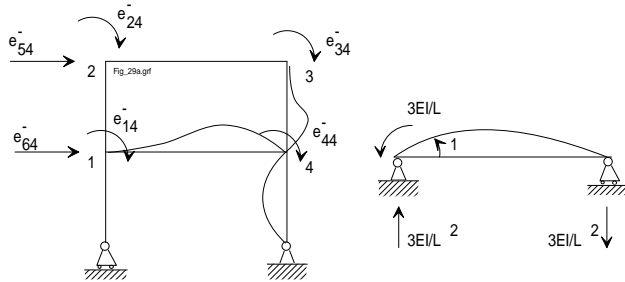
Man förflyttar sig sedan till punkten 2 och inför en medurs rotation där och förfar på exakt samma sätt. Detta innebär att följande värden erhålles i matrisen:

$$\begin{aligned} e^{-12} &= \frac{2EI}{\frac{L}{2}} = \frac{4EI}{L} & e^{-22} &= \frac{4EI}{\frac{L}{2}} + \frac{4EI}{L} = \frac{12EI}{L} \\ e^{-32} &= \frac{2EI}{L} & e^{-42} &= 0 \\ e^{-52} &= \frac{-6EI}{(\frac{L}{2})^2} = \frac{-24EI}{L^2} & e^{-62} &= \frac{6EI}{(\frac{L}{2})^2} = \frac{24EI}{L^2} \end{aligned}$$

Den tredje raden i matrisen blir:

$$\begin{aligned} e^{-13} &= 0 & e^{-23} &= \frac{2EI}{L} \\ e^{-33} &= \frac{4EI}{L} + \frac{4EI}{\frac{L}{2}} = \frac{12EI}{L} & e^{-43} &= \frac{2EI}{\frac{L}{2}} = \frac{4EI}{L} \\ e^{-53} &= \frac{-6EI}{(\frac{L}{2})^2} = \frac{-24EI}{L^2} & e^{-63} &= \frac{6EI}{(\frac{L}{2})^2} = \frac{24EI}{L^2} \end{aligned}$$

Vid den fjärde raden i matrisen måste ett nytt elementarfall tillgripas, nämligen ett som innehåller en led, se figur 7.7. Man ser att den styvhet som förknippas

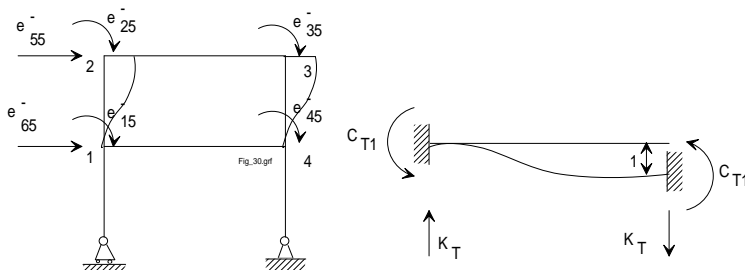


Figur 7.7: Vinkeländring i punkt 4 samt elementarfall.

med en vinkeländring uppgår till  $3EI/L$  medan motsvarande 'stödreaktion' är  $3EI/L^2$ . Således erhålles:

$$\begin{aligned} e^{-14} &= \frac{2EI}{L} & e^{-24} &= 0 \\ e^{-34} &= \frac{2EI}{\frac{L}{2}} = \frac{4EI}{L} & e^{-44} &= \frac{4EI}{\frac{L}{2}} + \frac{3EI}{\frac{L}{2}} + \frac{4EI}{L} = \frac{18EI}{L} \\ e^{-54} &= \frac{-6EI}{(\frac{L}{2})^2} = \frac{-24EI}{L^2} & e^{-64} &= \frac{6EI}{(\frac{L}{2})^2} - \frac{3EI}{(L/2)^2} = \frac{12EI}{L^2} \end{aligned}$$

Alla knutrotationer har nu behandlats och endast 'svajet' d.v.s. förskjutningen i kraftens riktning återstår. Återigen måste ett nytt elementarfall tillgripas vilket återfinnes i figur 7.8. I figur 7.8 motsvarar  $K_T$  värdet  $12EI/L^3$  vilket innebär att

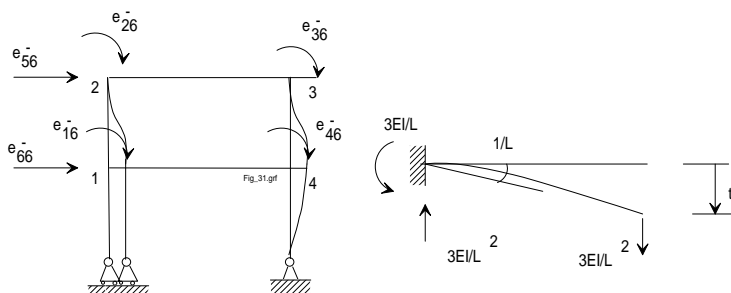


Figur 7.8: Förskjutning i punkt 2 och 3 samt tillämpligt elementarfall.

följande element kan tecknas:

$$\begin{aligned} e^{-15} &= \frac{-6EI}{(\frac{L}{2})^2} = \frac{-24EI}{L^2} & e^{-25} &= \frac{-6EI}{(\frac{L}{2})^2} = \frac{-24EI}{L^2} \\ e^{-35} &= \frac{-6EI}{(\frac{L}{2})^2} = \frac{-24EI}{L^2} & e^{-45} &= \frac{-6EI}{(\frac{L}{2})^2} = \frac{-24EI}{L^2} \\ e^{-55} &= \frac{2 \times 12EI}{(\frac{L}{2})^3} = \frac{192EI}{L^3} & e^{-65} &= \frac{-2 \times 12EI}{(\frac{L}{2})^3} = \frac{-192EI}{L^3} \end{aligned}$$

Det är nu endast en typ av förskjutning kvar nämligen en horisontell förskjutning av punkterna 1 och 4. Ytterligare ett elementarfall måste därför studeras då vi har en förskjutning i sidled samt en vinkeländring mellan punkt 4 och den 'fasta' leden, se figur 7.9



Figur 7.9: Förskjutning i sidled samt tillämpligt elementarfall.

Följande matriselement kan därför tecknas:

$$\begin{aligned} e^{-16} &= \frac{6EI}{(\frac{L}{2})^2} = \frac{24EI}{L^2} & e^{-26} &= \frac{6EI}{(\frac{L}{2})^2} = \frac{24EI}{L^2} \\ e^{-36} &= \frac{6EI}{(\frac{L}{2})^2} = \frac{24EI}{L^2} & e^{-46} &= \frac{6EI}{(\frac{L}{2})^2} - \frac{3EI}{(\frac{L}{2})^2} = \frac{12EI}{L^2} \\ e^{-56} &= \frac{-2 \times 12EI}{(\frac{L}{2})^3} = \frac{-192EI}{L^3} & e^{-66} &= \frac{2 \times 12EI}{(\frac{L}{2})^3} + \frac{3EI}{(\frac{L}{2})^3} = \frac{216EI}{L^3} \end{aligned}$$

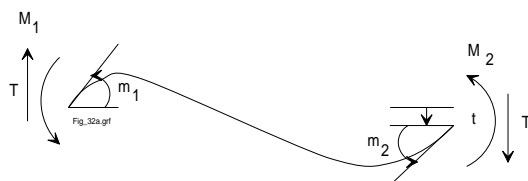
Detta innebär att nedanstående ekvationssystem måste lösas, notera lasterna i högerledet.

$$\begin{pmatrix} 12 & 4 & 0 & 2 & -\frac{24}{L} & \frac{24}{L} \\ 4 & 12 & 2 & 0 & -\frac{24}{L} & \frac{24}{L} \\ 0 & 2 & 12 & 4 & -\frac{24}{L} & \frac{24}{L} \\ 2 & 0 & 4 & 18 & -\frac{24}{L} & \frac{24}{L} \\ -\frac{24}{L} & -\frac{24}{L} & -\frac{24}{L} & -\frac{24}{L} & \frac{192}{L^2} & -\frac{192}{L^2} \\ \frac{24}{L} & \frac{24}{L} & \frac{24}{L} & \frac{12}{L} & -\frac{192}{L^2} & \frac{216}{L^2} \end{pmatrix} \left( \frac{EI}{L} \right) \begin{pmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \\ p_1 \\ p_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ PL \\ 0 \\ P \\ 0 \end{pmatrix}$$

Här visas inte hur ekvationssystemet löses utan endast resultatet. Som synes ovan är det rotationer och förskjutningar som är våra obekanta och efter en stunds räknande erhålles:

$$\begin{pmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \\ p_1 \\ p_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.065 \\ 0.048 \\ 0.144 \\ 0.077 \\ 0.127L \\ 0.080L \end{pmatrix} \left( \frac{PL^2}{EI} \right)$$

Nu måste man beräkna de obekanta snittkrafterna. Ramen måste då delas in i sina respektive element. I figur 7.10 återfinnes en allmän representation av en böjd balk.



Figur 7.10: Allmän representation av balk med teckenkonvention.

Enligt [115] kan nu moment och tvärkrafter beräknas som:

$$\begin{aligned}M_1 &= \frac{4m_1EI}{L} + \frac{2m_2EI}{L} + \frac{6tEI}{L^2} \\M_2 &= \frac{2m_1EI}{L} + \frac{4m_2EI}{L} + \frac{6tEI}{L^2} \\T_1 &= \frac{6m_1EI}{L^2} + \frac{6m_2EI}{L^2} + \frac{12tEI}{L^3}\end{aligned}$$

Sätts nu värdena ovan för rotationer och förskjutningar in, med hänsyn tagen till tecken, samt antas att  $P = 300 \text{ N}$  och  $L = 0.4 \text{ m}$  erhålles:

$$\begin{aligned}M_{14} &= -0.414PL = 49.7Nm(\text{dragen undersida}) \\M_{41} &= -0.438PL = 52.6Nm(\text{dragen översida}) \\M_{12} &= 0.416PL = 49.9Nm(\text{dragen utsida}) \\M_{21} &= 0.484PL = 58.1Nm(\text{dragen insida}) \\M_{23} &= -0.480PL = 57.6Nm(\text{dragen undersida}) \\M_{32} &= -0.672PL = 80.6Nm(\text{dragen översida}) \\M_{34} &= -0.332PL = 39.8Nm(\text{dragen insida}) \\M_{43} &= -0.064PL = 7.7Nm(\text{dragen utsida}) \\M_{45} &= 0.498PL = 59.8Nm(\text{dragen utsida}) \\T_{14} &= -0.85P = 255N \\T_{12} &= 1.8P = 540N \\T_{23} &= -1.15P = 345N \\T_{34} &= -0.792P = 237N\end{aligned}$$

Notera att minus- och plustecknen ovan härrör från uträkningarna ovan. Momentens riktning har sedan visats som dragen ut- resp insida. Man kan nu jämföra de moment som räknats fram för det statiskt obestämda bärverket med ett bestämt sådant, alltså utan den balk som finns mellan stolbenen.  $M_{32}$  skulle då bli 240 Nm och  $M_{34}$  bli 120 Nm. Genom att utforma stolen som en ram kunde därför momenten mer än halveras. Studeras momenten närmare ser man också att trädetaljernas dimensioner skulle kunna variera betydligt. Balken mellan punkt 3 och 4 har således mycket låga påkänningar och i punkten 4 skulle nästan inget material alls behövas.

Ovan framgår att det maximala momentet,  $M_{32}$ , uppgår till 80.6 Nm. Intressant är att se om detta kan sänkas genom att förändra ramens design. En tänkbar strategi vore att förändra styvheten hos några balkelement. Nedan visas styvhetsmatrisen då balken mellan punkt 2 och 3 gjorts dubbelt så styv. E-modulen kan inte lämpligen förändras om samma material skall användas. Likaså måste längden på balken vara densamma varför vi sätter tröghetsmomentet till



2I, istället för I, i de nya beräkningarna.

$$\begin{pmatrix} 12 & 4 & 0 & 2 & -\frac{24}{L} & \frac{24}{L} \\ 4 & 16 & 4 & 0 & -\frac{24}{L} & \frac{24}{L} \\ 0 & 4 & 16 & 4 & -\frac{24}{L} & \frac{24}{L} \\ 2 & 0 & 4 & 18 & -\frac{24}{L} & \frac{24}{L} \\ -\frac{24}{L} & -\frac{24}{L} & -\frac{24}{L} & -\frac{24}{L} & \frac{192}{L^2} & -\frac{192}{L^2} \\ \frac{24}{L} & \frac{24}{L} & \frac{24}{L} & \frac{12}{L} & -\frac{192}{L^2} & \frac{216}{L^2} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \\ p_1 \\ p_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ PL \\ 0 \\ P \\ 0 \end{pmatrix} \left( \frac{EI}{L} \right)$$

Man ser att det endast är raderna 2 och 3 som ändras. Löses ekvationssystemet erhålles följande rotationer och förskjutningar:

$$\begin{pmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \\ p_1 \\ p_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.051 \\ 0.015 \\ 0.092 \\ 0.070 \\ 0.110L \\ 0.076L \end{pmatrix} \left( \frac{PL^2}{EI} \right)$$

Jämförs dessa värden med de tidigare ser vi att alla värdena nu är lägre vilket ju är naturligt då bärverket blivit styvare. Momenten förändras givetvis också vilket framgår nedan:

$$\begin{aligned} M_{14} &= 41.0Nm(\text{dragen undersida}) & M_{41} &= 45.6Nm(\text{dragen översida}) \\ M_{12} &= 40.8Nm(\text{dragen utsida}) & M_{21} &= 57.6Nm(\text{dragen insida}) \\ M_{23} &= 58.2Nm(\text{dragen undersida}) & M_{32} &= 95.2Nm(\text{dragen översida}) \\ M_{34} &= 25.0Nm(\text{dragen insida}) & M_{43} &= 14.5Nm(\text{dragen utsida}) \\ M_{45} &= 60.0Nm(\text{dragen utsida}) \end{aligned}$$

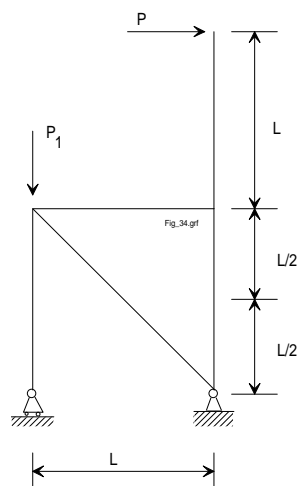
Det moment som var av störst intresse,  $M_{32}$ , visade sig nu bli större än tidigare d.v.s. strategin ovan visade sig vara felaktig. Det är dock viktigt att inse att då detaljen nu förmodligen är större resulterar detta i att spänningarna kommer att vara lägre.

Som synes är det förhållandevis besvärligt att beräkna moment m.m. i statiskt obestämda konstruktioner. Genom att analysera problemet med hjälp av datorer istället för att använda handräkningar kan dock arbetet göras avsevärt mycket snabbare. I tabell 7.1 visas hur momentet förändras sig då staget mellan stolbenen placeras på olika ställen. Koordinaterna framgår av övre raden och origo (0,0) har placerats i nedre vänstra hörnet. Den vänstra siffran avser det vertikala läget för punkten 1 medan den högra siffran anger läget för punkten 4. Den första kolumnen visar förhållandena då tvärstaget placerats horisontellt, se figur 7.5.

Mom	.20,.20	.24,.24	.16,.16	.20,.24	.20,.16	.24,.20	.24,.16	.16,.20	.16,.24
M14	48.7	49.7	47.6	52.7	44.2	44.2	38.7	51.0	53.7
M41	53.4	57.2	49.4	65.7	42.2	44.9	34.2	60.6	72.3
M12	48.7	49.7	47.6	52.7	44.2	44.2	38.7	51.0	53.7
M21	56.6	55.9	57.2	58.4	54.8	53.2	50.8	58.3	59.1
M23	56.6	55.9	57.2	58.4	54.8	53.2	50.8	58.3	59.1
M32	81.3	77.1	85.6	85.5	79.1	73.3	71.6	88.4	92.5
M34	38.7	42.8	34.8	34.5	40.9	46.7	48.4	31.6	27.5
M43	6.6	14.8	1.3	6.3	5.8	15.1	13.8	0.6	0.3
M45	60.0	72.0	48.0	72.0	48.0	60.0	48.0	60.0	72.0

Tabell 7.1: Moment i stolram beroende på tvärstagets placering [116]

Den andra kolumnen visar momenten då staget flyttats horisontellt 4 cm uppåt medan staget flyttats nedåt i kolumn 3. I kolumn 4 har endast den högra delen av staget flyttats osv. Det lägsta momentet i balkände 32 erhålles i kolumn 7 d.v.s. då den vänstra änden på staget flyttas uppåt och den högra nedåt. Detta resultat uppmuntrar oss att placera stagets vänstra sida i punkten 2 medan den högra änden placeras i punkten 5. Momentet i balkände 32 blir nu 61.5 Nm medan ände 34 erhåller 58.5 Nm eller tillhoppa 120 Nm. Stolen skulle därför ur byggnadsstatisk synpunkt se ut som visas i figur 7.11. Ett problem som inte närmare behandlas



Figur 7.11: Optimerad stolram enligt [116].

här är att man med en sådan konstruktion inför axiella krafter i tvärstaget vilket innebär risk för knäckning. Just i vårt exempel uppgick denna kraft till 628 N. Det finns naturligtvis ytterligare möjligheter att påverka de spänningar som uppkommer i en stol. Vidare är det naturligtvis av största vikt att även testa andra lastfall som kan förekomma. Med hjälp av moderna datorprogram och efter

hand vunnen erfarenhet skulle troligen mycket kunna vinnas på detta område.

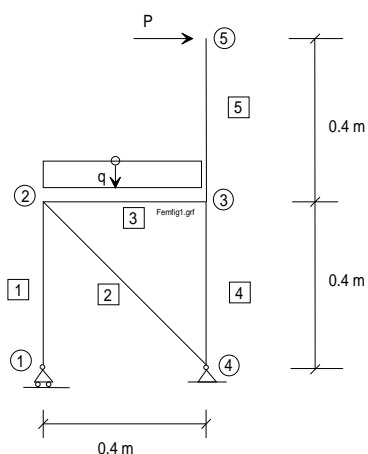
## 7.8 Datorbaserade FEM-beräkningar

Som synes av det ovanstående är det förhållandevis besvärligt att beräkna statiskt obestämda bärverk framför allt när antalet ingående detaljer i ramen ökar. Problemen blir än större när analysen skall ske för konstruktioner i tre dimensioner. Datorbaserade hjälpmedel är därför nödvändiga för att analyserna skall kunna ske inom rimlig tid. Nedan kommer ett exempel att presenteras där en stol analyseras med hjälp av datorprogrammet PCFEMP som ställts till förfogande av professor Larsgunnar Nilsson vid Tekniska högskolan i Linköping.

Programmet finns också tillgängligt för teknologerna. Meningen med avsnittet är att den enskilde teknologen skall kunna genomföra egna beräkningar efter att ha studerat metoden. Den teoretiska bakgrunden till Finita ElementMetoden, FEM, måste dock läras in på annat håll. Steg ett vid analysen är att bestämma geometrin för den struktur som skall studeras. Som exempel används även fortsättningsvis en stol.

### 7.8.1 Stolens geometri samt FEM-modell

Ovan visades att en stol borde konstrueras enligt principerna i figur 7.12. Samma



Figur 7.12: Grundprincip för stol som bärverk. Siffror inom ring anger nodnummer medan siffror inom fyrkant anger elementnummer.

idé har använts i ett antal uppsatser, [116], [117], [118] och [119] där olika detaljer i stolen analyserats mera ingående. Ett antal experimentstolar har också byggts

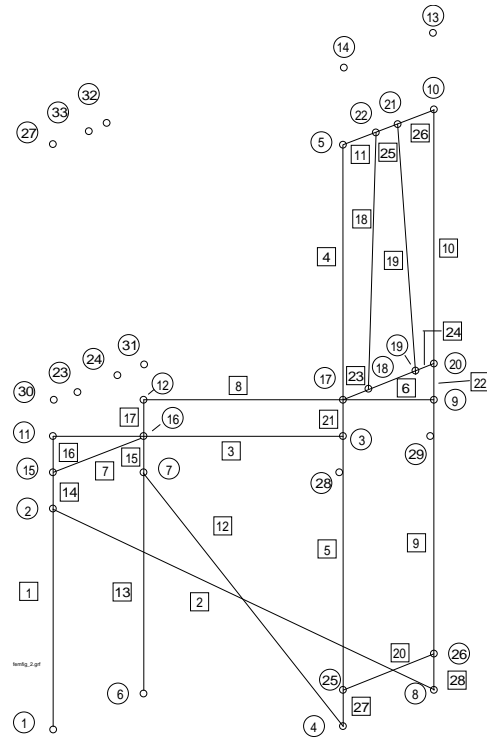
av möbelsnickarlinjen vid Ljungstedtska skolan i Linköping. Dessa 'riktiga' stolar har sedan använts för att se om teori och praktik överensstämmer. Vid tester på dessa visade det sig att det framför allt är i förbindningspunkterna mellan de olika trädetaljerna som konstruktionen havererar. I förbindningspunkt, eller nod, 3 måste man se till att inte för mycket material borrar bort ur ryggstödet, element nr. 4 och 5. Element nr. 3 måste därför vara så smalt som möjligt. I de senare konstruktionerna har därför element nr. 4 och 5 en tvärsnittsarea om 1.5 gånger 3 cm medan element nr. 3 har dimensionerna 0.5 gånger 2 cm. Element nr. 2 utsätts, vid lastfallet i figur 7.12, i stort sett enbart för tryckkrafter varför detaljen givits en area om 1 gånger 1 cm. Ändarna på detta element rundas så att de istället erhåller ett cirkulärt tvärsnitt vilket i sin tur innebär att de passar in i ett runt hål i element 4. Detta hål är ej genomgående för att förhindra att element 2 'stansas' igenom stolens bakben. Det kvadratiska tvärsnittet på element 2 har valts för att risken för knäckning ut ur planet då blir mindre. Element 1, dvs stolens framben kommer också att utsättas för tryckkrafter. En mycket slank konstruktion skulle kunna väljas men sammansättningen vid nod 2 gjorde att benet fick ett tvärsnitt om 1.5 gånger 1.5 cm. Konstruktionen i figur 7.12 undersöktes på så sätt att vikter om tillsammans 93.2 kg lades ovanpå sitsen medan ryggstödet belastades med 245 N.

Stolen höll för denna behandling men frambenet började vika sig ut ur planet p. g. a. den sneda belastningen varför försöket fick avbrytas. Stolen vred sig, då endast ett av ryggstöden utsattes för lasten ifråga. Frambenet, element 1, är också mycket känsligt för slag då det endast är fäst med ett limförband i nod 1. På samma ställe ansluter också element 3 vilket innebär svårigheter med att praktiskt åstadkomma förbandet. Det finns därför skäl till att undersöka vad som händer för ett bärverk i tre dimensioner. I figur 7.13 redovisas nästa försök. Stolen består nu av 33 noder, inom ringar, och 28 element, inom kvadrater. 'Balkarna' mellan fram- och bakben, se elementen 2 och 12, har nu flyttats ner 10 cm vid frambenen. Detta för att göra det enklare att utforma förbindningarna i noderna 2 och 7. Av samma anledning har elementen 6, 23 och 24 flyttats uppåt 5 cm. Notera att dessa element tillsammans utgör en enda detalj i 'verkligheten'. Elementen 18 och 19 har införts för att efterlikna ett ryggstöd. Vid belastning i enlighet med figur 7.12 kommer de bägge fram- och bakbenen att skjutas längre ifrån varandra varför elementen 7 och 20 satts in. De noder som inte placerats i själva bärverket, ex.vis nr. 27 - 33 är till för att de olika detaljerna skall kunna orienteras korrekt. Programmet PCFEMP redovisar alla moment m.m. för elementen i lokala koordinater.

PCFEMP är ett program som körs i traditionell DOS-miljö. Det första man måste göra är därför att skriva en indatafil, se nedan, i strikt enlighet med reglerna. Den första raden efter kodordet STAR beskriver problemet översiktligt:

STAR

33 28 10 3 6 3 0



Figur 7.13: Finit elementmodell av stol i tre dimensioner.

Detta betyder att antalet noder är 33 stycken, antalet element är 28, antalet material är 10, beräkningen sker för tre dimensioner med sex frihetsgrader och med maximalt tre noder per element. Nollan innebär att vi inte har några alternativa koordinatsystem. Härefter skall nodernas koordinater, kodord COOR, beskrivas. X-riktningen har antagits ligga i papperets plan med positiv riktning åt höger, y-riktningen i papperets plan med positiv riktning uppåt och z-riktningen vinkelrätt mot papperet med positiv riktning bort från läsaren. Nod 1 får därför koordinaterna 0.0, 0.0, 0.0 medan nod 10 får koordinaterna 0.4, 0.8, 0.4, jämför med figur 7.12. Nod 13 är en hjälpnod till element 2. Noden måste placeras så att en linje från nod 13 skär element 2 under rät vinkel. För enkelhets skull placerades noden i förlängningen på det borte bakbenet. Med hjälp av trigonometri fastställdes att koordinaterna blev 0.4, 1.368, 0.4 för nod 13 och 0.4, 1.368, 0.0 för nod 14 vilken är hjälpnod till element 12. I indatafilen anges först nodnummret, sedan ett s.k. inkrement för automatisk uppräknig och sist de tre koordinaterna i x, y resp z-led. I detta fall är inkrementet 0 dvs ingen automatisk generering sker. Elementen anges under kodordet ELEM. Det första värdet anger element-

numret, det andra värdet anger vilket material som avses, det tredje värdet anger inkrement medan de följande tre värdena anger nodnummer med hjälpnoden sist. För det hitre frambenet, element 1 i figur 7.13, anges material 1 som definieras längre ner i indatafilen, inkrementet 0, och att elementet går mellan noderna 2 och 1 samt att en vinkelrät linje till element 1 passerar genom noden 4. Nästa avsnitt i indatafilen anger hur randvillkoren, BOUN, ser ut. I vårt exempel har leder placerats i noderna 1, 4, 8 och 6. Inkrementet är återigen 0 medan de tre ettorna anger att noden inte kan röra sig i sidled vare sig i x-, y- eller z-riktningen. Däremot kan elementet rotera runt x-, y- och z-axeln varför de tre sista siffrorna är nollor.

Under raden MATE skall elementens egenskaper beskrivas. Först anges elementets typ som här är nr. 9. Sedan anges E-modulen, Poissons tal samt värden för densitet m.m. Endast de två första värdena behöver anges i vårt fall medan resten av raden kan bestå av nollor. Ytterligare några värden krävs, nämligen elementens tvärsektionsarea, här  $0.015 \times 0.015 = 0.000225 \text{ m}^2$ , polärt tröghetsmoment  $J = bh(b^2 + h^2) \div 12 = 8.438 \times 10^{-9} \text{ m}^4$ , och de två tröghetsmomenten för böjning runt lokal y- och z-axel. Dessutom finns en sk torsionskonstant  $W_v$  med. För en rektangulär sektion beräknas denna som  $W_v = ab^2 F_2 \div 4$ , där  $F_2$  beror på förhållandet  $a \div b$ . I vårt fall är  $a = b$  vilket innebär att  $F_2 = 0.833$  vilket i sin tur medför att  $W_v = 7.03 \times 10^{-7} \text{ m}^3$ , se [120] sidan 94. Övriga värden för material 1 sätts i exemplet till noll. Nästa omgång värden avser material 2 o.s.v. De olika elementens tvärsektioner har satts inom <> -tecken i indatafilen nedan. Några element har en utbredd last, ex. vis element 3 och 8. Här antas att en person som väger 93.2 kg sätter sig på stolen. Halva lasten förs ned i element 3 och den andra halvan i element 8. Den utbredda lasten blir således  $(93.2 \times 9.81 \div 2) \div 0.4 = 1142.9 \text{ N}$ . Att just 93.2 kg valdes beror på de vikter som finns tillgängliga i vårt laboratorium vilka senare skall användas vid testerna. På samma sätt har material nr. 8, som återfinnes i element 18 och 19, getts en utbredd last om 512.5 N. Lastens tecken visar i vilken riktning lasten verkar. Resten av indatafilen ger körkommandon till programmet. Nedan återfinnes indatafilen i sin helhet:

```
STAR
33 28 10 3 6 3 0
COOR
1 0 0.0 0.0 0.0
2 0 0.0 0.3 0.0
3 0 0.4 0.4 0.0
4 0 0.4 0.0 0.0
5 0 0.4 0.8 0.0
6 0 0.0 0.0 0.4
7 0 0.0 0.3 0.4
8 0 0.4 0.0 0.4
```

9 0 0.4 0.4 0.4  
10 0 0.4 0.8 0.4  
11 0 0.0 0.4 0.0  
12 0 0.0 0.4 0.4  
13 0 0.4 1.368 0.4  
14 0 0.4 1.368 0.0  
15 0 0.0 0.35 0.0  
16 0 0.0 0.35 0.4  
17 0 0.4 0.45 0.0  
18 0 0.4 0.45 0.05  
19 0 0.4 0.45 0.35  
20 0 0.4 0.45 0.4  
21 0 0.4 0.8 0.25  
22 0 0.4 0.8 0.15  
23 0 0.0 0.45 0.05  
24 0 0.0 0.45 0.35  
25 0 0.4 0.05 0.0  
26 0 0.4 0.05 0.4  
27 0 0.0 0.8 0.0  
28 0 0.4 0.3 0.0  
29 0 0.4 0.3 0.4  
30 0 0.0 0.45 0.0  
31 0 0.0 0.45 0.4  
32 0 0.0 0.8 0.25  
33 0 0.0 0.8 0.15

## ELEM

1 1 0 2 1 4  
2 3 0 2 8 13  
3 2 0 11 3 5  
4 10 0 5 17 30  
5 5 0 3 25 11  
6 4 0 19 18 23  
7 7 0 15 16 12  
8 2 0 12 9 10  
9 5 0 9 26 12  
10 5 0 10 20 31  
11 6 0 22 5 27  
12 3 0 7 4 14  
13 1 0 7 6 8  
14 1 0 15 2 28  
15 1 0 16 7 29  
16 1 0 11 15 3  
17 1 0 12 16 9

```
18 8 0 22 18 23
19 8 0 21 19 24
20 9 0 25 26 9
21 10 0 17 3 11
22 5 0 20 9 12
23 4 0 18 17 30
24 4 0 20 19 24
25 6 0 21 22 33
26 6 0 10 21 32
27 5 0 25 4 1
28 5 0 26 8 6
BOUN
1 0 1 1 1 0 0 0
4 0 1 1 1 0 0 0
6 0 1 1 1 0 0 0
8 0 1 1 1 0 0 0
MATE
9 <Material nr. 1, Framben, 0.015x0.015>
11470.0E+6 0.7 0. 0. 0
0.000225 0. 0. 8.438E-9 4.219E-9 4.219E-9 7.028e-7
0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0.
9 <Material nr. 2, Sitsbalk, 0.005x0.02>
11470.0E+6 0.7 0. 0. 0
0.0001 0. 0. 3.542e-9 2.083E-10 3.333E-9 1.406e-7
0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. -1142.9 0. 0. -1142.9 0.
9 <Material nr. 3, Diagonala strävor, 0.01x0.01>
11470.0E+6 0.7 0. 0. 0
0.0001 0. 0. 1.667e-9 8.333E-10 8.333E-10 4.92e-7
0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0.
9 <Material nr. 4, Mittsträva mellan ryggstöd, 0.005x0.01>
11470.0E+6 0.7 0. 0. 0
0.00005 0. 0. 5.208e-10 1.042E-10 4.167E-9 4.92e-7
0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0.
9 <Material nr. 5, Ryggstöd utan ev utbredd last, 0.015x0.03>
11470.0E+6 0.7 0. 0. 0
0.00045 0. 0. 4.219e-8 8.437E-9 3.375E-8 1.661e-6
0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0.
9 <Material nr. 6, Toppsträva mellan ryggstöd, 0.01x0.02>
```



```

11470.0E+6 0.7 0. 0. 0
0.0002 0. 0. 8.333e-9 6.667E-9 1.667E-9 4.920e-7
0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0.0 0.0 0. 0.0 0.0
9 <Material nr. 7, Sträva mellan framben, 0.005x0.01>
11470.0E+6 0.7 0. 0. 0
0.00005 0. 0. 5.208e-10 1.042E-10 4.167E-10 6.150e-8
0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0.
9 <Material nr. 8, Strävor inuti ryggstöd, 0.01x0.015>
11470.0E+6 0.7 0. 0. 0
0.00015 0. 0. 4.063e-9 1.25E-9 2.813E-9 3.465e-7
0. 0. 0. 0. 0. 0.
0.0 -512.5 0.0 0.0 -512.5 0.0
9 <Material nr. 9, Bottensträva mellan ryggstöd, 0.05x0.01>
11470.0E+6 0.7 0. 0. 0
0.00005 0. 0. 5.208e-10 1.042E-10 4.167E-10 6.150e-8
0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0.
9 <Material nr. 10, Ryggstöd med ev utbredd last>
11470.0E+6 0.7 0. 0. 0
0.00045 0. 0. 4.219e-8 8.437E-9 3.375e-8 1.661e-6
0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0. 0. 0. 0.
END
MACR
TANG
FORM
SOLV
REDB ON
PRIN ON
DISP
STRE
END
STOP

```

## 7.8.2 Beräkningsresultat och analys

PCFEMP består av tre olika program. Det första läser in geometri m.m., det andra utför beräkningarna, medan det tredje används för att presentera resultatet grafiskt. Man kan också begära att få resultatet på en fil som sedan kan studeras närmare. Filen kan på grund av dess omfattning inte presenteras i sin helhet. Därför återges bara normal- och tvärkrafter samt moment i tabell 7.2. Som sy-

Element nr.	Nod nr.	Normal N	Tvär-Y N	Tvär-Z N	Vridmom. Nm	Mom-Y Nm	Mom-Z Nm
1	1	62.9	46.4	30.8	0.3e-7	-9.3	-13.9
1	M					-4.6	-7.0
2	2					-0.6e-6	0.2e-6
2	1	-419.0	6.0	-3.0	0.2	0.6	-2.3
2	M					-0.4	-0.4
2	2					-1.3	1.5
3	1	211.0	-139.0	2.7	-0.6	-0.4	-5.3
3	M		90.0			0.1	-10.1
3	2		319.0			0.7	30.8
4	1	-0.5	97.5	-0.7	4.8	0.7	-2.8
4	M					-0.7	14.3
4	2					-0.2	31.3
5	1	-319.0	-24.5	-1.8	1.4	0.4	11.2
5	M					0.1	6.9
5	2					-0.2	2.6
6	1	1.5	-0.2e-3	-0.9e-6	-0.5e-5	0.4e-3	-7.9
6	M						
6	2						
7	1	228.0	0.4e-3	-0.1e-3	-0.5e-5	-0.3e-1	-0.5
7	M						
7	2						
8	1	211.0	-139.0	-2.7	0.6	0.4	-5.3
8	M		90.0			-0.1	-10.1
8	2		319.0			-0.7	30.8
9	1	-319.0	-24.5	1.8	-1.4	-0.4	11.2
9	M					-0.1	7.0
9	2					0.2	2.6
10	1	-0.5	97.5	0.8	-4.8	-0.1	-2.8
10	M					0.1	14.3
10	2					0.2	31.3
11	1	-0.8	97.5	0.5	2.8	-0.1e-1	-9.8
11	M					0.3e-1	-2.5
11	2					0.1e-1	4.8
12	1	-419.0	6.0	3.0	-0.2	-0.6	-2.3
12	M					0.4	-0.4
12	2					1.3	1.5
13	1	62.9	46.4	-30.8	0.6e-8	9.3	-13.9
13	M					4.6	-7.0
13	2					-0.5e-6	0.3e-6
14	1	-139.0	-211.0	-231.0	-0.5	1.0	-5.3
14	M					-4.8	-10.6
14	2					-10.6	-15.9
15	1	-139.0	-211.0	231.0	0.5	-1.0	-5.3
15	M					4.8	-10.6
15	2					10.6	-15.8
16	1	-139.0	-211.0	-2.7	-0.4	0.6	5.3
16	M					0.5	-0.2e-1
16	2					0.5	-5.3
17	1	-139.0	-211.0	2.7	0.4	-0.6	5.3
17	M					-0.5	-0.2e-1
17	2					-0.5	-5.3
18	1	0.6	-97.5	0.3e-1	0.3	-0.2e-2	3.0
18	M		-4.2			0.2e-2	-6.3
18	2		89.0			0.7e-2	1.5
19	1	0.6	-97.5	-0.3e-1	-0.3	0.2e-2	3.0
19	M		-4.2			-0.2e-2	-6.3
19	2		89.0			-0.7e-2	1.5
20	1	-8.6	-0.6e-4	0.2e-3	-0.1e-4	-0.2	0.9e-3
20	M						
20	2						
21	1	0.9e-4	187.0	0.9	2.1	-0.2	32.6
21	M					-0.2	37.3
21	2					-0.2	42.0
22	1	-0.1e-3	187.0	-0.9	-2.1	0.2	32.6
22	M					0.2	37.3
22	2					0.2	42.0
23	1	1.7	89.0	-0.5	-1.3	-0.7e-2	-7.2
23	M					-0.6e-2	-5.0
23	2					-0.2e-1	-2.8
24	1	1.7	-89.0	0.5	1.3	-0.2e-1	-2.8
24	M					-0.6e-2	-5.0
24	2					-0.7e-2	-7.2
25	1	-0.6 2	0.7e-4	-0.1e-3	-0.2e-1	-8.6	
25	M						
25	2						
26	1	-0.8	-97.5	-0.5	-2.8	0.7e-1	4.8
26	M					0.3e-1	-2.5
26	2					-0.1e-1	-9.8
27	1	-319.0	-24.5	-10.3	1.3	-0.2	2.6
27	M					-0.5	2.0
27	2					-0.7	1.4
28	1	-319.0	-24.5	10.3	-1.3	0.2	2.6
28	M					0.5	2.0
28	2					0.7	1.4

Tabell 7.2: Normal-, tvärkrafter och moment i en stol.

nes blir det en avsevärd mängd data som måste studeras. I tabellen återfinnes elementen i nummerordning. Varje element kan dessutom ha olika tvärkrafter m.m. beroende på vilken ände som skall studeras. För vissa element måste man dessutom studera moment m.m. på mitten, 'M' i tabellen. För enkelhets skull påbörjas analysen för element nr. 1. I tabellen ges alla värden för elementen i lokala koordinater. Element 1 börjar i noden 2, o.b.s. globala koordinater här, och slutar i noden 1 samt har en punkt vinkelrätt mot elementet i noden 4, se figur 7.13 och indatafilen ovan under ELEM. Detta betyder att den lokala noden 1 motsvaras av den globala noden 2 medan den lokala noden 2 befinner sig i den globala noden 1 samt att y-riktningen är positiv mot den globala noden 4. X-riktningen återfinnes i elementets längdriktning, från lokal nod 1 till lokal nod 2. Z-riktningen är sedan negativ mot den globala noden 7. Teckenkonventionen innebär vidare att normalkraften är positiv för dragning, d.v.s. i x-led, tvärkraften i y-led positiv i y-riktningen i lokal nod 2. Längst ned i element 1 har man således en tvärkraft om 46.4 N riktad mot den globala noden 4. Denna tvärkraft medför dessutom ett moment om  $0.3 \times 46.4 = 13.9$  Nm i den globala noden 2. Momentet är riktat så att den dragna sidan återfinnes på utsidan av element 1. Dessutom finns en tvärkraft i z-led om 30.8 N. Denna är i nederdelen av element 1 positiv i riktningen från nod 6. Momentet,  $0.3 \times 30.8 = 9.24$  Nm, är således riktat så att element 1 är draget på insidan av strukturen. Notera att inte alla värden skrivits ut i tabell 7.2. För element 1 är således tvärkraften i y-led 46.4 N i den lokala noden 1, men har också samma belopp i den lokala noden 2 samt i mitten. Då vi har en led längst ned i element 1 är vridmomentet här noll men PCFEMP ansätter i stället ett mycket litet värde  $0.274 \times 10^{-7}$  Nm. Notera också att element 1 är utsatt för en normalkraft om 62.9 N. Då värdet är positivt betyder detta att elementet har dragspänningar. I en verklig stol som inte 'sitter fast' i golvet skulle detta inte kunna inträffa. I stället tippar den bakåt.

Nästa del av frambenet utgörs av element 14, se figur 7.13. Elementet startar i nod 15, slutar i nod 2, samt y-riktningen är positiv mot nod 28. Normalkraften är här -139 N d.v.s. elementet är sammantryckt. I noden 2 är tvärkraften i y-led -211 N och således riktad från nod 29 medan tvärkraften i z-led är -231 N och alltså riktad mot nod 7. Man har vidare ett litet vridmoment om -0.4 Nm. Betraktas stolen uppifrån är således detta moment riktat moturs. Av tabell 7.2 framgår också att momentet kring y-axeln är 10.6 Nm samt kring z-axeln 15.9 Nm; detta i den globala noden 2. Anledningen till detta 'språng', jämför med element 1, i momentet är den diagonala strävan, element nr. 2. I den övre delen av detta senare element, lokal nod 1, noteras att momentet runt x-axeln är 0.2 Nm, momentet runt y-axeln är 0.6 Nm samt runt z-axeln lika med -2.3 Nm.

Av största intresse är nu att försöka utröna om konstruktionen i sin helhet håller eller ej. Det är troligen de detaljer som utsätts för stora moment som är mest intressanta. Stolens främre ben borde därför analyseras. Som synes av tabell 7.2 är här det maximala momentet 15.9 Nm i ena riktningen och 10.6 Nm i den andra. Spänningarna blir därför 28 resp 19 MPa. Med hjälp av Pythagoras sats

fås en effektivspänning om c:a 33 MPa. Det finns dessutom tvärkrafter som ger upphov till skjuvspänningar. De maximala skjuvspänningarna uppgår till c:a 2 MPa om man antar att:

$$\tau = \frac{T}{A} = \frac{211}{0.0152} = 0.93MPa$$

$$\tau_{max} = 1.5\tau = 1.39MPa$$

Tvärkraften åt andra hållet, 231 N ger på motsvarande sätt upphov till ett  $\tau_{max}$  om 1.54 MPa. Om man modifierar von Mises flytvillkor något fås, se [97] sidan 90 och 93:

$$\sigma_{eff} = \sqrt{\sigma_y^2 + \sigma_z^2 + 3\tau_1^2 + 3\tau_2^2} = \sqrt{282 + 192 + 3 \times 0.932 + 3 \times 1.392} = 34MPa$$

Det synes som om skjuvspänningarna inte har någon större betydelse i sammanhanget. Antas vidare att stolen tillverkas av träslaget al har man en maximal möjlig påkänning om c:a 83 MPa, se [18] sid 164. Detta kan synas vara en betryggande säkerhet men vid tillverkningen av fogen mellan framben och 'sträva' måste en hel del material tas bort ur benet ifråga.

Element nr. 2 är utsatt för en avsevärd 'tryckkraft', 419 N. Detta kan innebära problem med stabiliteten då det finns risk för knäckning. Elementet har dimensionerna  $0.01 \times 0.01$  m och längden, som beräknas m.h.a. Pythagoras sats i tre dimensioner blir:

$$l = \sqrt{(0.0 - 0.4)^2 + (0.3 - 0.0)^2 + (0.0 - 0.4)^2} = 0.64m$$

Genom att använda ett s.k. knäckfall, Euler II, erhålles den kritiska lasten  $P_{crit}$  till:

$$P_{crit} = \frac{4\pi^2 EI}{l^2} = \frac{4\pi^2 \times 11470 \times 10^6 \times \frac{0.01 \times 0.01^3}{12}}{0.64^2} = 921N$$

Det synes således inte finnas någon risk för knäckning här. Man måste dock också ta hänsyn till att vi inte har ett 'rent' Eulerknäckfall. I var ände finns moment, om än små, som förvärrar situationen. Detta kan analyseras med hjälp av s.k. Berryfunktioner som i så fall måste införas i FEM-analysen. Detta görs inte här men den intresserade kan studera [117] där detta beskrivits mera i detalj.

Element nr. 3, 'sitsbalken', är utsatt för en utbredd last. Detta betyder att momentdiagrammet får formen av en parabel. Momentet på mitten är dock så litet som 10.1 Nm p.g.a. att lasten på ryggstödet motverkar nedböjningen. Momentet på mitten under en utbredd last för en fritt upplagd balk är ju:

$$M = \frac{ql^2}{8} = \frac{1142.9 \times 0.42}{8} = 22.9Nm$$

Detta motsvarar en spänning om 68 MPa i över och underkanten på elementet. En person som väger c:a 90 kg kan därför inte sätta sig på endast den ena 'balken', vilket motsvarar en spänning på omkring 140 MPa, utan avsevärd risk för haveri.

Det största momentet som uppträder i stolen återfinnes omedelbart ovanför sitsen i ryggstödet, se element 21 nod 2 i tabell 7.2. Momentet uppgår till 42 Nm. I just denna punkt måste dessutom sitsen fogas samman med ryggstödet vilket i sin tur innebär att ett 'hål' måste åstadkommas i detta om  $0.005 \text{ times } 0.02 \text{ m}$ . Detta innebär att c:a  $0.01 \times 0.03 \text{ m}$  finns att tillgå i just ryggstödet. Spänningen här kommer att uppgå till 28 MPa vilket också verkar vara tillfyllest.

TVå element borde i huvudsak vara utsatta för dragkrafter, nr. 7 och nr. 20. Detta stämmer för element 7, där en kraft om 228 N beräknats. Element 20 har dock en liten tryckkraft vilket beror på att stolens bakben antagits vara förankrade med leder i golvet. I verkligheten är ju inte så fallet vilket innebär att dragspänningar torde uppträda även här. Dessa element skulle därför antagligen kunna ersättas med linor.

För elementen 18 och 19 har antagits en utbredd last som skall simulera personens 'kraft' mot ryggstödet. Momenten på mitten av elementen är dock mycket små varför dessa detaljer kanske har överdimensionerats. De element som förbinder de bägge ryggstöden, mellan noderna 17 och 20 samt 5 till 10 har ett maximalt moment om 8 Nm. Dimensionerna ovan har antagits vara  $0.005 \times 0.01 \text{ m}$  vilket skulle innebära en spänning om 96 MPa. Dessa är således underdimensionerade. Antag i stället att dimensionerna  $0.01 \times 0.02 \text{ m}$  används. Önskvärt vore att elementet är orienterat så att det är styvast i riktningen vinkelrätt mot elementen 18 och 19. Detta är dock äventyrligt då momentet i nod 17 är avsevärt. Så mycket material som möjligt behövs därför i ryggstödet. Mittenbalken mellan ryggstöden måste således placeras så att den är som vekast i x-riktningen. Nu erhålles i stället en spänning om 12 MPa vilket turligt nog verkar gå bra. Det synes således troligt att stolens dimensioner nu är tillräckliga för detta första lastfall som studerats.

Låt oss nu anta att personen istället belastar enbart element 4 och 21, dvs det ena ryggstödet, med den last som tidigare applicerades på både element 18 och 19. Det enda som måste ändras i indatafilen är nu att införa en utbredd last för material nr. 10.

Antag således att den utbredda lasten på ryggstödet fortsättningsvis är  $2 \times 512.5 = 1025 \text{ N/m}$ . Det är nu nödvändigt att studera de element där elementkrafterna ökar i jämförelse med lastfallet ovan, framför allt vad gäller momenten. För det symmetriska lastfallet ovan erhöles maximalt moment i nederkanten av elementen 21 och 22, 42 Nm, se tabell 7.2. Då nu element 4 och 21 erhållit all last på ryggstödet verkar det sannolikt att momentet i nederkanten på element 21 skulle bli än större. I stället visar det sig att momentet minskar i denna punkt men ökar avsevärt i nederkanten på element 22, dvs i ett till synes obelastat element. Momentet i z-led uppgår där till 47 Nm. Mera naturligt är att vridmomentet också ökar här, från 2 till 8 Nm. Samtidigt ökar momentet kring y-axeln från 0.2 till 11 Nm.

Det synes också naturligt att normalkraften ökar i element 12 och PCFEMP visar att så är fallet. Den nya tryckkraften blir nu 418 N men turligt nog ligger den

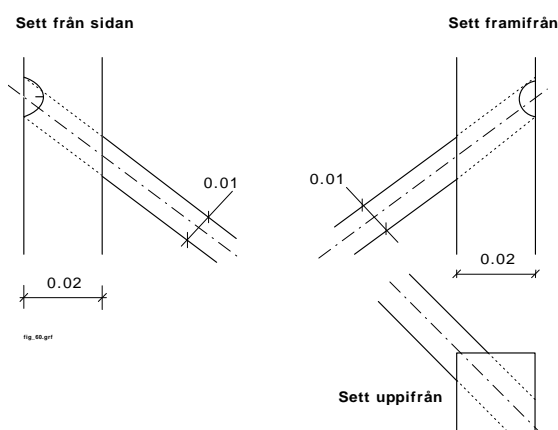
kritiska lasten p.g.a. knäckning fortfarande högre än detta belopp. Ett avsevärt mycket högre moment erhålles dessutom i ytterkanterna på elementen 26 och 11, 16 Nm. Tidigare var momenten här endast 9 Nm. Detta kan skapa problem vid fogen då man kan erhålla dragpåkänningar tvärs fiberriktningen. Trämaterialet har ju sämst hållfasthet för sådana belastningar.

Ytterligare ett lastfall som måste studeras är det fall där en person lutar sig så mycket bakåt att stolen tappar och ryggstödet stöder mot en vägg, se figur 7.1. I indatafilen till PCFEMP måste då först randvillkoren ändras, d.v.s. under raden BOUN. I noderna 5 och 10 införs därför leder medan noderna 1 och 6 får vara fria. Det verkar som om de besvärligaste momenten uppkommer om man liksom ovan låter lasten mot ryggstödet angripa endast mot elementen 4 och 21. Resultatet av denna nya PCFEMP-körning blir framför allt att momenten ökar avsevärt i element 3, dvs sitsbalken vid nod 3, till 34 Nm. Detta motsvarar en spänning om 102 MPa vilket innebär att brottgränsen för al överskrids. Väljs i stället björk här skulle dimensionerna på elementen kunna bevaras, se [18] sid 164 där MOR för björk uppges till 144 MPa. MOR är en förkortning för Modulus of Rupture som undersökts vid böjprovning. Även element 8 får ett högre moment vid nod 3. Normalkraften i strävan, element 2 och 12, minskar dock i förhållande till tidigare lastfall och nu är strävan tryckt med en kraft om c:a 230 N.

## 7.9 Sammanfogning av de olika elementen

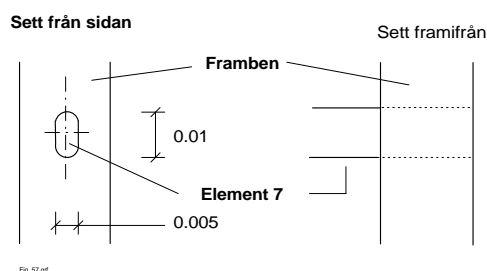
Beräkningarna ovan visar att elementens dimensioner borde vara tillräckliga för de lastfall som undersökts. Problemet är nu hur dessa element skall fogas samman så att inte konstruktionen ändå faller samman. Våra tidigare erfarenheter visar att det just är sammanfogningen som många gånger är den svaga länken i ett lyckosamt belastningsexperiment. Om vi börjar med stolens framben kommer vi först till nod 2. Strävan som i alla belastningsfall är tryckbelastad måste hindras från att stansas igenom benet. Den maximala tryckkraft som denna utsätts för är 418 N. Då den ibland även utsätts för moment är det viktigt att så lång del som möjligt kan förankras i benet. Det är således lämpligt att undersöka om det är tillfyllest att borra ett hål genom benet och där passa in strävan som endast rundas i hörnen. Tidigare har antagits att benets dimensioner skulle vara  $0.015 \times 0.015$  m men med tanke på de moment som trots allt ska överföras här bedöms att  $0.02 \times 0.02$  m istället bör användas. Konstruktionen framgår i detalj av figur 7.14. Det är viktigt att inte för mycket material tas bort ifrån vare sig strävan eller frambenet. För att förbandet skall bli så starkt som möjligt föreslås dessutom att ett fenolhartslim användes i stället för vanligt tapplim. För enkelhets skull antas att omslutningsarean för strävan är:

$$2\pi r \times 0.02 = 0.0006m^2$$



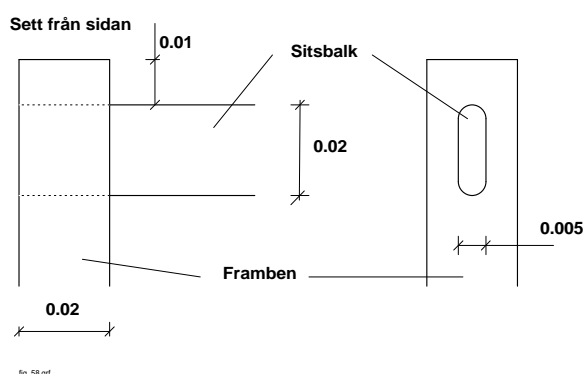
Figur 7.14: Konstruktion av sammanfogning mellan framben och sträva.

Skjuvspänningen blir således  $418 \div 0.0006 = 0.7 \text{ MPa}$  vilket innebär att förbandet bör hålla, i alla fall mot genomstansning. Limförbandets längd är dessutom längre än 0.02 m. Något högre upp på frambenet skall dessutom ytterligare en fog, nu med element 7, utföras. Detta element har dimensionerna  $0.005 \times 0.01 \text{ m}$ . Även här är det viktigt att hörnen på elementet endast rundas av så att så mycket material som möjligt blir kvar, se figur 7.15. Nästa fog utgörs av den där 'sitsbal-



Figur 7.15: Sammanfogning mellan framben och strävan 'element 7'.

ken' element 3, skall fästas i frambenet. Även här finns ett moment runt z-axeln som skall tas upp av fogen. Det är därför viktigt att det finns material på samtliga sidor av element 3. Då frambenen inte kan sticka upp alltför mycket ovanför sitsbalken måste detta mått begränsas till omkring en centimeter eller så mycket att den skiva som används som sits kommer i nivå med frambenens överkant. I övrigt utformas fogen så att endast hörnen rundas av på element 3 och sedan passas elementet in i ett avlångt hål i frambenet, se figur 7.16. På motsvarande sätt utförs fogen mellan sitsbalk och ryggstöd. Sammanfogningen mellan strävan,

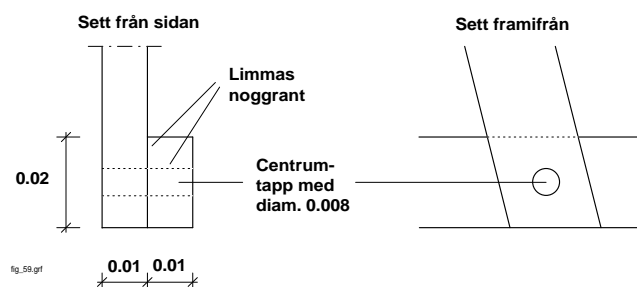


Figur 7.16: Sammanfogning av sitsbalk och framben.

element 2 respektive 12, och ryggstödet / bakbenen utförs i enlighet med figur 7.14. Även här är det lämpligt att strävorna inte placeras allra längst ner mot golvet utan istället omkring två till tre centimeter ovanför detta. Element 20 skall sedan fogas samman med de bägge bakbenen. Här utförs fogen på samma sätt som i figur 7.15. Den balk som är placerad något ovanför sitsbalkarna, har fått elementnumren 23, 6 och 24. Denna har dimensionerna  $0.01 \times 0.02$  m. P.g.a. momentet i nod 17 måste fogen mellan bakben och 'mellanbalk' utföras på samma sätt som i figur 7.15. Notera dock att elementen har andra dimensioner. Ett problem är knutpunkterna i noderna 18 och 19. Belastningen på elementen 18 och 19 sker i stolens x-riktning. Detta innebär att dessa skulle vara styva i samma riktning.

I fallet ovan med en belastning enbart på elementen 4 och 21 införs en normalkraft om 10 N. I det ena elementet fås tryckning, nr. 19, medan det andra erhåller en dragspänning. Det blir här svårt att ordna sammanfogningen på samma sätt som nämnts ovan då elementen har samma dimensioner och dessutom helst skulle vara vinkelräta mot varandra. I stället förordas en lösning i enlighet med figur 7.17. Centrumtappen kommer att belastas så gott som enbart i ren skjuvning vinkelrätt mot fiberriktningen och kommer därför att uthärda avsevärda laster. På motsvarande sätt ordnas sammanfogningen mellan element 18 och 19 i överdelen på ryggstödet. Nu återstår bara noderna 5 och 10. Här förfars på samma sätt som redovisats i figur 7.16, dvs elementen 4 och 10 görs något längre så att man kan utföra sammanfogningen med ett avlångt hål i stället för med en slits. Som synes ovan kommer sammanfogningsmetoderna att i flera fall bestämma dimensionen på elementen ifråga.





Figur 7.17: Sammanfogning av 'stråvor' i ryggstödet.

## 7.10 Justering av geometri hos 'krysset'

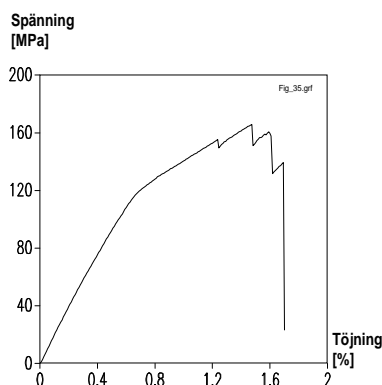
Ingen förbindning finns mellan elementen 2 och 12, dvs de element som återfinns diagonalt mellan fram och bakben. De måste därför förskjutas något i förhållande till varandra så att de kan korsa varandra utan problem. Nod 2 förskjuts därför nedåt 1.5 cm medan nod 7 förskjuts uppåt 1.5 cm. Detta torde innebära att ett mellanrum om 0.5 cm finns mellan de bågge elementens mitt.

## 7.11 FEM-analys för det justerade bärverket

Viktigt är nu att med en förnyad FEM-analys undersöka vad förändringarna medför i fråga om moment m.m. för de olika elementen. Konstruktionen skall dessutom provas i laboratoriet. Då det är svårt att anbringa en utbredd last på de vertikala elementen appliceras i stället en punktlast i nod 5 om 200 N. Vidare måste geometrin p.g.a. av det förändrade 'krysset' införas samt en förändring av tvärsektionerna för några av elementen. Sitsbalkarna är nu utförda av björk varför även E-modulen för detta material måste justeras. I enlighet med [18] sid 164 väljs 16 170 MPa. Analysen visar att momentet nu kommer att bli 45.6 Nm i sitsbalken vid nod 3. Detta motsvarar en spänning om 136 MPa vilket är nära brottgränsen för björk som anges till 144 MPa i [18]. Analysen visar också att frambenet, element 1, är utsatt för en positiv normalkraft. Som nämnts ovan kan inte detta inträffa i praktiken vilket innebär att lasten 200 N inte kan anbringas utan att stolen tippar. Det största momentet i stolen erhålles i ryggstödet omedelbart ovanför sitsen, 50 Nm, men då ryggstödet har kraftigare dimensioner blir spänningen här endast 33 MPa. Lastfallet enligt figur 7.1 visade sig tidigare vara besvärligt. I det modifierade bärverket, som analyserats i ytterligare en körning av PCFEMP, håller sig dock moment m.m. under farliga nivåer. Konstruktionen kommer därför troligen att hålla.

## 7.12 Provning av trä m.m.

Ett problem vid konstruktionsarbetet är att hitta relevanta hållfasthetsvärden för trä. Tidigare har nämnts de stora skillnaderna mellan drag- och tryckhållfasthet. Fiberriktningen är också av största vikt när man ska bestämma tillåtna spänningar. I exempelvis [13], sidan 321 och följande, finns problematiken redovisad mera i detalj. Här skall endast tas upp några av de erfarenheter som vunnits vid testning i IKP's egna laboratorier samt då för materialen björk och al, vilka användes i beräkningarna ovan. Vid dragprovning av trä används s.k. provstavar utformade med en klart markerad midja. Detta för att man vill säkerställa att provet går sönder just där denna midja är belägen. När det gäller dragprovning av trä har detta visat sig svårare än förväntat. Ofta erhålles brottet i de delar av provstaven som är bredast och där fastspänningsanordningarna anbringats. Fastlimmade trädetaljer i ändarna på provstaven minskar problemen men vad vi har funnit undviks de inte helt. I ett normalt diagram för dragprovning, se figur 7.18, redovisas spänningen som en funktion av provets töjning. Man ser att

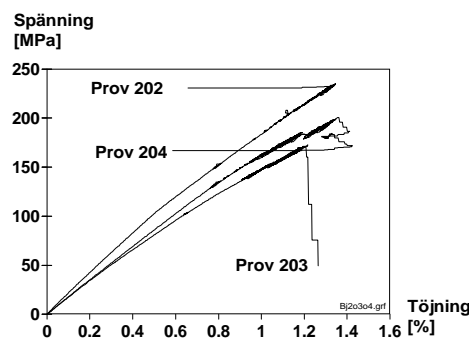


Figur 7.18: Dragprov av björk parallellt med fiberriktningen. Töjningsmätning med balk.

provet inledningsvis beter sig i enlighet med Hooke's lag d.v.s. sambandet mellan spänning och töjning är linjärt. Vid en spänning om 120 MPa ökar töjningen markant. Om ytterligare last anbringas börjar några fibrer i taget att gå av men ett fullständigt brott inträffar inte genast. I stället tar andra fibrer över lasten i provet men samtidigt har ju arean på provstaven blivit mindre varför den möjliga belastningen sjunker. Detta beteende synes med vår begränsade erfarenhet vara typiskt för just materialet björk. E-modulen varierar under provets gång. I början av belastningen har den beräknats till c:a 18 000 MPa, men då töjningen går över 0.8 % minskar den till omkring 6 000 i stället. En svårighet är också att bedöma vilken töjning som verkligen är för handen. Normalt beräknas töjningen så att

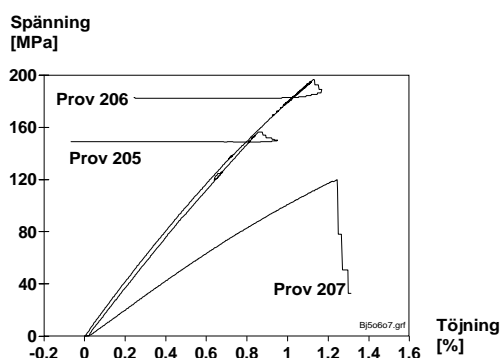
man dividerar provets förlängning med längden mellan provstavens kraftigare delar. Som nämndes ovan brister provet ofta under mätutrustningens gripdon vilket innebär att inspänningslängden inte enkelt kan fastslås varför inte töjningen och E-modulen heller låter sig beräknas. Detta problem kan ibland undvikas genom att man anbringar en s.k. extensiometer vars skänklar sätts fast vid den detalj som skall testas. Metoden är dock vanskelig för just mätningar hos björk. Det visar sig nämligen att skänklarna på apparaturen hastigt slår tillbaka vid de fiberbrott som inträffar. Kurvan ovan kommer därför att få ett mycket ryckigt utseende vilket gör att den ibland svårigen låter sig analyseras. I referens [13], sidan 295, anges att E-modulen för björk ligger på c:a 166 700 kp/cm<sup>2</sup> vilket innebär c:a 16,300 MPa. Värdet avser belastning längs fibrerna och med ett prov som har densiteten 0.62 g/cm<sup>3</sup> och en fuktkvot om 8.8 %. Vårt värde på E-modul enligt ovan avviker alltså inte helt från detta. Brottspänningen vid vårt prov beräknades till 165 MPa. Då dimensionerna på provstaven var 6.1 gånger 6.4 mm innebär detta en last på c:a 6 440 N. En tunn 'blomsterpinne' förmår således att bära lasten av en mindre bil.

Vi har även utfört andra dragprov på björk, se figurerna 7.19, 7.20 och 7.21, där en extensiometer använts. För lägre belastningar torde värdena då vara

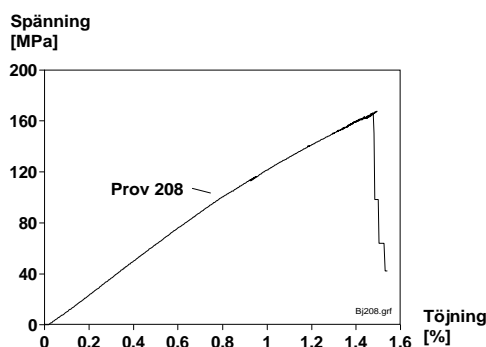


Figur 7.19: Dragprovning av björk. Töjningsmätning med extensiometer.

tillförlitliga. Testningen har skett i enlighet med det regelverk som tagits fram, se [121]. Antalet skannade värden på last och förlängning uppgår ofta till mer än 1000 st varför problemen med ryckighet då blir mindre. Ibland går fibrer sönder utanför extensiometers mätområde varvid provet i mätområdet kan förkortas. Då registreras lasten som ett negativt värde. Sådana värden negligeras men kurvorna i diagrammen avviker något från traditionen. När provet går av är det heller inte säkert att brottet sker just där extensiometern sitter. Denna kommer då att registrera en förkortning. Detta är anledningen till att kurvorna fått det något annorlunda utseendet efter brottet. I figur 7.20 ser man att provresultatet ligger förhållandevis väl samlat trots tre olika provstavar. Alla proven har en töjning



Figur 7.20: Dragprovning av björk. Töjningsmätning med extensiometer.



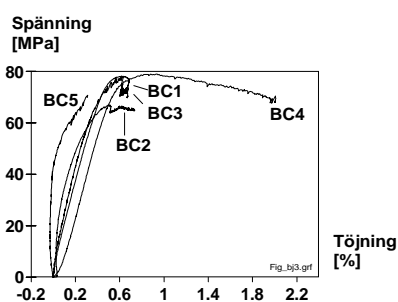
Figur 7.21: Dragprovning av björk. Töjningsmätning med extensiometer.

på mellan 1.2 - 1.4 %. Brottspänningen varierar dock en del, från 164 MPa för prov 203 till 225 MPa för prov 202. Större skillnader finns mellan proven 205 - 208 som återfinns i figurerna 7.20 och 7.21. I tabell 7.3 återfinns brottspänning, brotttöjning samt E-modul vid dragning för proverna 202-208 ovan. De lägsta värdena vad gäller E-modul erhöles för proverna 207 och 208 i tabell 7.3. Studeras provstavarna ser man att dessa kommer från mera märgnära ved. Prov 205 synes vara det starkaste men provet har spruckit längs med fibrerna och således har inte brottet här skett på samma sätt som för de andra stavarna. Fuktkvoten hos björkproverna var 5.4 % och densiteten 0.62 g/cm<sup>3</sup>. Den E-modul som anges i litteraturen, 16,300 MPa stämmer således väl överens med medelvärdet i tabell 7.3.

Man måste givetvis också undersöka tryckhållfastheten hos materialet. I figurerna 7.22 och 7.23 återfinns resultatet av ett antal tester för björk. Tyvärr kunde vi här inte följa regelverket i alla detaljer. Den lastcell som vi hade till

Prov nr	Brottspänning MPa	Brottöjning %	E-modul MPa
202	225	1.35	19630
203	164	1.22	14908
204	211	1.36	17854
205	166	0.87	20591
206	193	1.14	19097
207	121	1.23	11157
208	168	1.48	13169
Medelvärde	178	1.24	16629

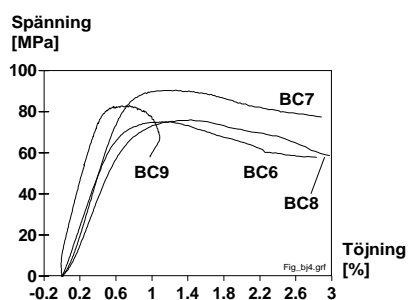
Tabell 7.3: Brottspänning, brottöjning och E-modul för björk vid dragning parallellt med fiberriktningen.



Figur 7.22: Tryckprov av björk parallellt med fiberriktningen.

förfogande klarade inte av de stora krafter som behövdes för att trycka sönder bitarna. Egentligen skall provstavarna se ut som parallelepipeder med tvärsnittsarean  $0.2 \times 0.2$  m men vi nödgades minska detta till  $0.015 \times 0.015$  m i stället. Ibland ledde detta till stabilitetsproblem vid tryckprovningen. Teststavarna började ibland att luta varför inte lasten anbringades helt parallellt med stavarnas centrumlinje. Detta visar sig också i figurerna 7.22 och 7.23 där testerna BC2, BC5 och BC9 fick underkännas. Ytterligare ett test, BC10, registrerades felaktigt och utslöts helt ur figurerna. I tabell 7.4 återfinnes beräknade och uppmätta värden. Om tabell 7.3 och 7.4 jämförs ser man att brottöjningen vid drag är mer än dubbelt så stor som vid tryck. Båda värdena är högre än de som återfinnes ex.vis i [18] sid 164 men detta kan bero på den låga fuktkvoten i våra prover. Skillnaden mellan E-modulerna är inte så stor att det går att avgöra om den är signifikant med vårt begränsade antal prover. Tryck-E-modulen är endast c:a 1600 MPa lägre än den för drag.

Vi behöver också göra prover för träslaget al. I figur 7.24 återfinnes fyra

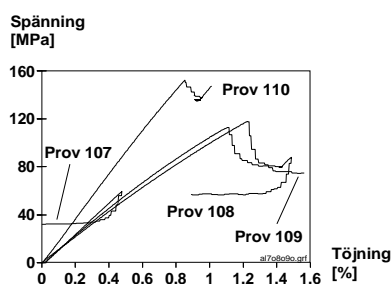


Figur 7.23: Tryckprov av björk parallellt med fiberriktningen.

Test nr.	Densitet g/cm <sup>3</sup>	Fuktkvot %	Brottspänning MPa	Brottöjning %	E-modul MPa
BC1	0.60	4.6	78	0.62	17,007
BC2	0.64	4.5	66	0.51	-
BC3	0.68	4.7	77	0.62	19,214
BC4	0.65	4.7	79	0.93	15,846
BC5	0.70	5.0	71	0.30	-
BC6	0.61	4.5	75	1.11	12,800
BC7	0.64	4.7	71	0.59	-
BC8	0.70	4.8	90	1.27	14,106
BC9	0.62	4.7	75	1.43	11,141
BC10	0.66	4.8	81	0.75	-
Medelvärde	0.65	4.7	78	0.81	15,019

Tabell 7.4: Spänning och töjning just före brott samt beräknade E-moduler för kompression av björk parallellt med fiberriktningen

spännings- töjningsdiagram för detta träslag. E-modulen för prov 107 har beräknats till 13,077 MPa, och brottspänningen endast till 59.1 MPa. Detta berodde dock på att provet hade en kvist som gjorde provet svagare än vad felfritt trä skulle vara. De andra tre kurvorna visar dock att al är ett svagare material än björk med endast en hälften så stor brottspänning, medan E-modulerna vid dragning skiljer avsevärt mindre. Vid mätningen har även här en extensiometer använts. I [18], sid 164 anges dragbrottspänningen för al vara 92 MPa vilket vidimerar detta antagande. Prov 108 i figur 7.24 har en dragbrotthållfasthet som beräknats till 112.4 MPa, medan E-modulen beräknats till 11 590 MPa. Provet har därför högre brotthållfasthet men lägre E-modul än nr. 107. Ytterligare två dragprov av al redovisas i figur 7.24. Prov 109 i figuren har en beräknad brottspänning på 119 MPa och en E- modul på 10 765 MPa medan de beräknade värdena för prov 110 var 154 respektive 19 273 MPa. Brottöjningen varierar mellan 0.8 och 1.2 %



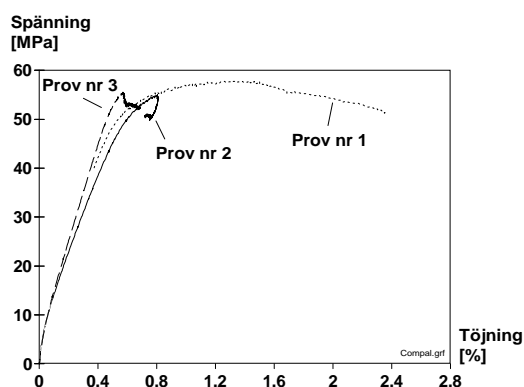
Figur 7.24: Dragprovning av al. Töjningsmätning med extensiometer.

Test nr.	Spänning MPa	Töjning %	E-modul MPa
106	108	0.61	17,663
107	-	-	-
108	112	1.09	11,310
109	119	1.23	10,518
110	154	0.86	19,106
Medelvärde	123	0.95	14,649

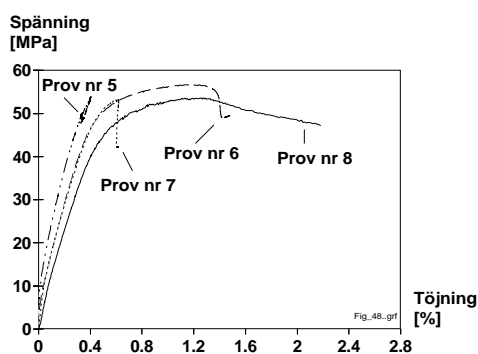
Tabell 7.5: Spänning och töjning just före brott för al samt beräknade E-moduler. Dragning parallellt med fiberriktningen.

för de tre prover som inte innehöll någon kvist. Fuktkvoten hos proven var som medelvärde 5.4 % och densiteten 0.52 g/cm<sup>3</sup>. Förhållandena har sammanställts i tabell 7.5. I figurerna 7.25, 7.26, 7.27 och 7.28 återfinnes på samma sätt 14 stycken tryckprover vad gäller al. I tabell 7.6 återfinnes en sammanställning över de resultat som erhållits för tryckprovning av al parallellt med fiberriktningen. Brottspänningen ligger i intervallet 47 - 64 MPa med ett medelvärde om 55.7 MPa. Detta stämmer bra med värden i [18] som anger 54 MPa. Elasticitetsmodulerna i tabell 7.6 ligger mellan 8.1 och 12.7 medan medelvärdet blir 11.0 GPa. I [18] finns inte E-modulen just för tryckning men den s.k. böj-E-modulen anges till 11.4 GPa. Våra värden synes därför överensstämma bra med de som anges i litteraturen. De högsta E-modulerna har uppmätts för proverna 6 och 7, se figur 7.26, men kurvorna är så likartade att de inte kan åtskiljas så lätt för lägre spänningar. Prov nummer 5 har en ännu brantare lutning men här uppträdde något fel varför inget värde anges i tabell 7.6. Så skedde också för prov nr. fyra som inte redovisats alls i figurerna och endast delvis i tabellen.

Den högsta brottlasten återfinnes för prov 14 men detta har en av de lägsta E-modulerna. Hållfasthetsvärdena sägs normalt öka ju lägre fuktkvot, och ju högre densitet, proven har men detta fenomen har inte iakttagits just i våra mätningar.



Figur 7.25: Tryckprovning av al.

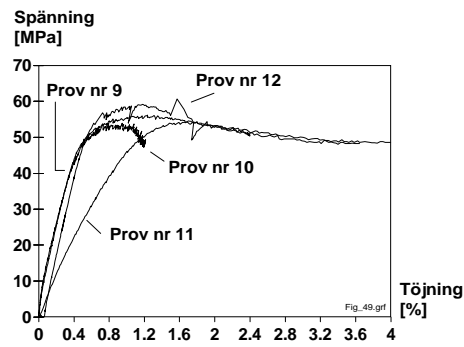


Figur 7.26: Tryckprovning av al.

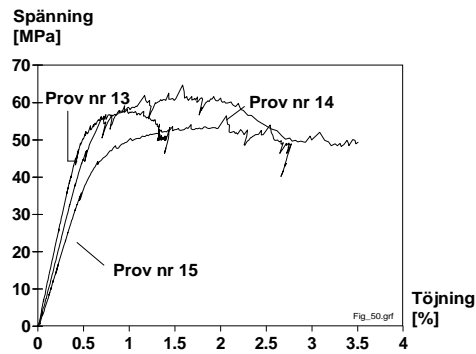
Variationerna i densitet och fuktkvot är också mycket små. Fuktkvoterna har mätts upp genom att väga proverna före och efter torkning i en ugn med temperaturen 102 °C. Torkningen avbröts då proverna inte längre minskade i vikt. Brottöjningen i tabell 7.6 har definieras som den töjning man erhållit för den högsta spänning provet förmått uthärda.

Vad gäller töjningen vid brott varierar den avsevärt mera. Prov 2 uthärdade endast 0.51 % töjning medan prov 15 töjde sig fyra gånger mera innan brott uppstod, 2.06 %. Medelvärdet uppgick till något över 1 %. Vid våra tryckprovningar har vi som nämnts använt en extensiometer med längden 25 mm. Ibland har själva brottet i trädetaljen skett utanför mätområdet vilket innebär att ingen längdförändring registreras. Det är således viktigt att studera vad som händer vid provningen så att inte resultaten misstolkas. Något enstaka prov knäcktes och böjde ut på mitten vilket också gav missvisande resultat. Så skedde för prov





Figur 7.27: Tryckprovning av al.



Figur 7.28: Tryckprovning av al.

nr. 11 i tabell 7.6 och figur 7.27 vilket kan förklara den avvikande lutningen på kurvan.

Böjning kan ses som ett mellanting mellan dragning och kompression, Undersidan på balken blir ju dragen medan översidan trycks samman. Vid 3-punkts böjtestning se figur 7.29, mäts lasten samt den därav följande nedböjningen upp. Böjspänningen vid brott, MOR, Modulus of Rupture, och E-modulen, MOE<sub>3</sub>, Modulus of Elasticity, får sedan beräknas fram med hjälp av uttrycken:

$$MOE_3 = \frac{PL^3}{4ywh^3}$$

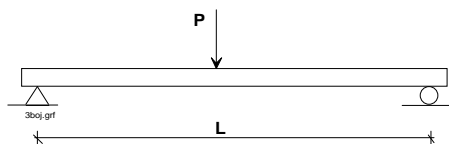
$$MOR = \frac{3PL}{2wh^2}$$

där P är lasten, L är längden, y är nedböjningen, w är bredden och h är höjden på staven. I figurerna 7.30 och 7.31 framgår ett antal böjtester för björk.

Det bör noteras att regelverket för träprovning anger att man skall använda s.k. fyrapunktsböjning då E-modulen beräknas. Uttrycket för detta beräkningssätt

Prov nr.	Densitet g/cm <sup>3</sup>	Fuktkvot %	Brottspänning MPa	E-modul GPa	Brottöjning %
1	0.513	4.02	57.90	10.9	1.43
2	0.506	3.97	55.18	12.0	0.51
3	0.510	3.81	54.73	11.7	0.72
4	0.519	3.98	-	-	-
5	0.510	3.99	53.16	-	0.41
6	0.509	3.98	56.41	12.2	1.18
7	0.488	3.86	52.67	12.7	0.62
8	0.506	3.47	53.06	10.4	1.28
9	0.502	3.66	55.37	11.0	1.23
10	0.509	3.80	52.79	11.1	0.8
11	0.498	4.18	55.46	-	1.67
12	0.488	4.49	60.18	11.0	1.57
13	0.488	4.67	58.64	11.4	0.95
14	0.503	4.25	63.79	9.6	1.59
15	0.501	4.48	56.98	8.1	2.06
Medelvärde	0.503	4.04	56.16	11.0	1.14

Tabell 7.6: Tryckprovning av al parallellt med fiberriktningen.



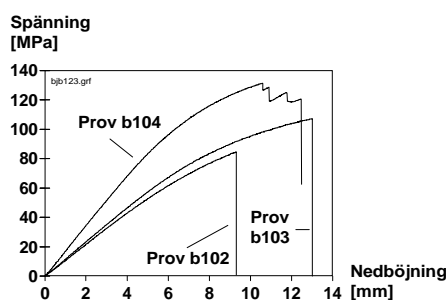
Figur 7.29: Trepunktsböjning av balk.

är:

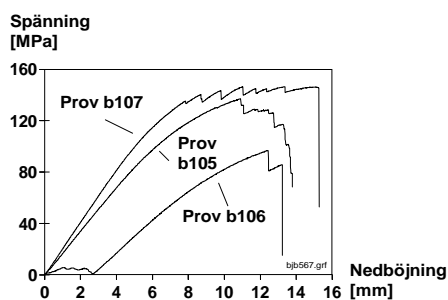
$$MOE_4 = \frac{PL^3}{36wh^3y}$$

Anledningen är att fyrpunktsböjning anses ge mera tillförlitliga värden just för E-modulen medan vanlig trepunktsböjning används för att hitta brottspänningen MOR. Vid fyrpunktsböjning är tvärkraften noll på mitten av balken och inverkar därför ej på nedböjningen i samma grad, se [13] sidan 362.

I tabell 7.7 har därför både  $MOE_3$  och  $MOE_4$  redovisats liksom brottlast och dithörande nedböjning. Av tabell 7.7 framgår att  $MOE_3$  ger avsevärt mycket lägre värden än  $MOE_4$ . Böjmodulen borde ju ligga mellan drag- och tryckmodulen men så är inte fallet.  $MOE_4$  närmar sig dock tryckmodulen som den uppmätts i tabell 7.4. Det bör noteras att kurvan ser något egendomlig ut för testet B106. Detta beror på att det ibland förekommer ett litet glapp mellan olika detaljer i provutrustningen. Innan detta eliminerats känner lastcellen av den friktion som



Figur 7.30: 3-punktsböjning för björk.



Figur 7.31: 3-punktsböjning för björk.

uppstår medan detaljerna pressas samman.

På samma sätt har tester gjorts för träslaget al, se figurerna 7.32 och 7.33. Värdena för testerna har ställts samman i tabell 7.8. Av undersökningarna ovan syns att variationerna kan vara stora mellan olika provstavar och testmetoder. Detta kan bero på många olika faktorer. Drag- tryck- och böjprover är med de testmetoder som anvisas olika till form och storlek. Provstavarna förstörs också i varje experiment så man kan inte göra tester på identiskt lika material. Minsta avvikelse i fiberriktning gör att hållfastheten förändras och det är inte lätt att uppskatta vilken inverkan detta får om snedfibrigheten inte är likartad ens inom samma provstav. I tabell 7.9 har resultaten sammanfattats. Jämförs dessa med värden i ex. vis [18] ser man att  $MOE_3$  ger för låga värden medan  $MOE_4$  bättre stämmer överens med gängse uppfattning för björk medan  $MOE_3$  i tabellen ger bäst överensstämmelse för al. I FEM-beräkningarna ovan hade använts en E-modul för al om 11 470 MPa. Våra egna tester på al visar att detta värde åtminstone är i rätt 'härad' även om det kan diskuteras vilken av de olika E-modulerna som skall användas.

M4↑

Test nr.	MOE <sub>3</sub> MPa	MOE <sub>4</sub> MPa	MOR MPa	Nedböjning mm
B102	8,113	13,220	84.8	9.3
B103	8,670	12,505	107.3	13.0
B104	12,837	17,626	131.4	10.6
B105	12,835	14,680	137.3	10.9
B106	9,562	11,824	97.0	12.4
B107	15,426	19,361	146.6	11.0
Medelvärde	11,241	14,869	117.4	11.2

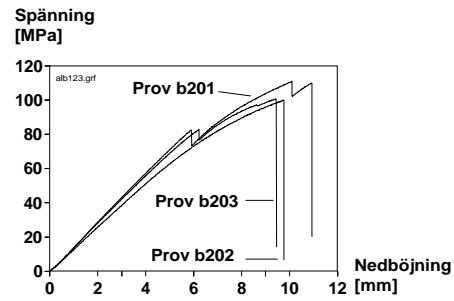
Tabell 7.7: Böjtester för björk

Test nr.	MOE <sub>3</sub> MPa	MOE <sub>4</sub> MPa	MOR MPa	Nedböjning mm
B201	10,957	13,161	111.0	10.0
B202	9,626	10,982	99.9	9.7
B203	10,573	11,887	100.7	9.4
B204	10,654	15,334	109.2	10.8
B205	9,863	12,873	97.3	9.2
B206	10,304	16,466	103.7	9.5
Medelvärde	10,330	13,451	103.6	9.8

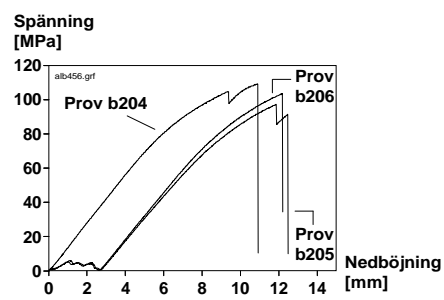
Tabell 7.8: Bøjtest för al.

Träslag	E-modul MPa		Bøjmodul MPa	
	Drag	Tryck	MOE <sub>3</sub>	MOE <sub>4</sub>
Björk	16,548	15,019	11,241	14,869
Al	14,649	11,007	10,330	13,451

Tabell 7.9: Elasticitetsmoduler för björk och al i MPa.



Figur 7.32: 3-punktsböjning för al.



Figur 7.33: 3-punktsböjning för al.

# Kapitel 8

## Limning

En av de vanligaste sammanbindningsmetoderna i trämanufakturbranschen är limning. I [10] behandlas problematiken mycket översiktligt, se ex. vis sidan 197, varför en något djupare behandling sker här. Texten nedan bygger i stor omfattning på [122] som förhållandevis populärt beskriver modern limteknik. Andra böcker som beskriver lim och limteknik för just trä på ett mera vetenskapligt sätt är exempelvis [123] och [124]. I [122] definieras limning som:

Sammanbindningen av två fasta kroppar med hjälp av ett material, limmet, som fyller ut mellanrummet mellan kropparna, och som är i stånd att föra över krafter mellan kropparna.

Konsten att limma är mycket gammal och redan på faraonernas tid användes lim som då tillverkades av djurhudar och ben. Först i början av 1900-talet påbörjades undersökningar om 'varför lim limmar'. Trots stora insatser har man inte tillfullo kunnat klargöra processen även om man kommit en bit på väg. Den traditionella förklaringen är att limmet, under sin vätskefas, tränger ner i porer och ojämnheter i materialet och då limmet stelnat har de två detaljerna 'hakat fast' vid varandra. Denna första modell brukar kallas mekanisk bindning. Det visar sig dock att man också kan limma helt glatta ytor där limmet inte kan tränga ner i några håligheter, ex. vis vid limning av glas. Detta har man förklarat med s.k. kemiska bindningar. Dessa kan vara av flera olika typer. Mellan atomerna i ett ämne kan elektronerna delvis vara gemensamma. Om sannolikheten för att dessa elektroner befinner sig hos den ena, eller den andra, atomen är lika stor, är den molekyl som bildas elektriskt neutral. Exempel på sådana bindningar finns hos paraffin, bensen eller polyetylen. Den andra typen av bindning mellan atomer innebär att elektronerna oftare befinner sig vid en av atomerna. Molekylen blir då elektriskt laddad, en s.k. dipol. Exempel är vatten, alkohol och cellulosa. Det finns också en tredje typ av bindningar, s.k. jonbindning, där en atom helt övertagit en eller flera elektroner. Dessa bindningar återfinnes i salter. De två första modellerna används vid limning av trä.

Limtyp	Ytspänning mN/m
Karbamidlim	70.6
Fenolresorcinollim	47.7
Kaseinlim	46.6
Resorcinollim	43.2
PVAc-lim	38.5
Nitrocellulosalim	26.0

Tabell 8.1: Ytspänning för några vanliga limmer, [122] sidan 14.

Mellan olika molekyler finns också sammanhållande s.k. kohesionskrafter. Molekylerna i limmet hålls då t.ex. samman på grund av olika polaritet, dvs molekylerna består av dipoler som attraherar varandra. Andra krafter är s.k. vätebindningar där en vätejon har förmågan att binda till sig inte endast en negativt laddad jon, ex. vis syre, utan dessutom flera andra joner. Ytterligare några typer av krafter, bl.a. dispersionskrafter, förekommer i förklaringsmodellerna, se [122] sidan 11 eller [36] sidan 5.

För att kunna utnyttja de elektriska krafterna i limmet är det viktigt att inse att limmet någon gång under processen måste vara i vätskeform. Detta innebär att de elektriskt laddade limmolekylerna kan hitta motsatt laddade molekyler att fästa fast vid i ex. vis två träbitar. Detta innebär samtidigt att limmet måste väta den yta man ska limma. Vätningen innebär att limmet flyter ut på trädetaljerna istället för att bilda runda droppar på ytan. Limmer som utnyttjar polära bindningar kan endast användas för att limma polära material, i annat fall finns ju inga molekyler att binda sig till. Polära limmer är bl.a. s.k. karbamid- och PVAc-limmer vilka beskrivs närmare nedan. Viktigt är också begreppet kritisk ytspänning, d.v.s. den högsta ytspänning som en vätska kan ha för att vätning skall ske. Karbamidlim har ex. vis en ytspänning om ca 70 mN/m medan en "gammal" yta av furu har en kritisk ytspänning om 45 mN/m, se tabellerna 8.1 och 8.2. Notera att spänningen här mäts i mN/m. Karbamidlimmerna väter då inte ytan om man inte hårt pressar ihop de två detaljerna med varandra. När väl vätning skett binder sig dock limmolekylerna hårdare till den fasta ytans molekyler än till de egna molekylerna varför limmer med hög ytspänning ändå ofta är att föredra även om de har sämre vätningsförmåga. Vid bearbetning av en trädetalj skadas ju ytan på denna. Det är därför viktigt att limmet kan tränga ner i oskadat trä så att det får bra fäste. Detta uppnås m.h.a. kapillärkrafterna men dessa innebär också att limmet i alltför hög grad riskeras att sugas upp, så att det blir för lite lim kvar i själva fogen. Vid fanéring finns dessutom risk för limgenomslag. I [122], sidan 15, anges också att de bästa trälimmerna tränger in i själva cellväggen och förankras där. Viktigt är också att känna till att en träytas polaritet sjunker med tiden, se tabell 8.2. Det är således av största vikt att lim-

Träslag	Kritisk ytspänning mN/m	
	'Gammal' yta	'Helt färsk' yta
Furu	45.1	66.1
Gran	44.3	83.2
Douglasgran	47.5	77.3
Bok	42.5	74.3
Ek	14.8	68.9
Teak	54.3	63.3

Tabell 8.2: Kritisk ytspänning för några olika trätytor, [122] sidan 14.

ningen sker omedelbart efter träbearbetningen. Limmet kan vidare 'förbättra' ytan så länge det är i vätskeform. Man ska därför inte använda snabbhärdande limmer på gamla trätytor.

Det finns en speciell test som används för att mäta vätbarheten på trätytor som skall limmas. I [125] talas om den s.k. APA - metoden vilken tagits fram av American Plywood Association. I denna metod droppas en droppe destillerat vatten om 26 ml på träytan och sedan mäts hur lång tid det tar för denna droppe att absorberas. Om denna tid är över 40 minuter anses träslaget mycket svårlimmat. Notera att man måste täcka droppen med en plastskål eller dylikt för att förhindra avdunstning. För träslaget *Liriodendron tulipifera*, visades att denna tid ofta översteg 45 minuter, framför allt när snabbtorkning tillämpats. För ex. vis en torkningstemperatur om 220 °C blev vätbarheten för dålig redan efter 26 minuter för samtliga prov.

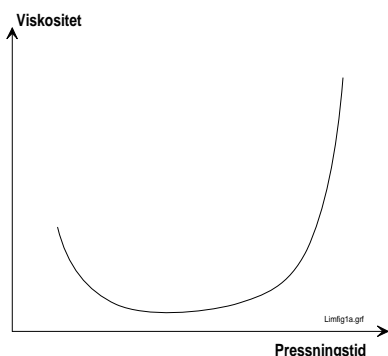
En hel del forskning pågår dessutom där man försöker att förändra ytan på trädetaljerna så att limmet väter ytan bättre. En metod man tagit fram är den s.k. coronametoden där man utsätter träytan för ett kraftigt elektriskt fält [126]. Detta innebär att träytans polymerer förändras vilket i sin tur visats påverka vätbarheten. Behandlingen påverkar främst de s.k. extraktivämnena i träet medan trätets övriga egenskaper synes opåverkade. Detta innebär att man kunde limma s.k. feta träslag med större framgång och med andra limtyper än tidigare. En uttömmande behandling av olika extraktivämnena i trä finns i [127].

Ovan nämndes att limmet för att fungera måste vara i vätskeform. Detta kan åstadkommas genom att det är smält, eller att det är i en lösning. En äkta lösning är en vätska som är helt klar men en sådan har ofta för små molekyler för att limningen skall fungera. Istället används en s.k. kolloidal lösning där större molekyler svävar omkring fritt. Ex. på sådana limmer är fenol- resorcinol- och epoxilimner. I den tredje formen, en kolloidal dispersion, svävar sammanslagna molekyler omkring i vätskan. Dispersionerna är grumliga och kan antingen bestå av s.k. emulsioner eller suspensioner. I det första fallet är det två vätskor som har blandats medan det i det andra fallet är en vätska och fasta partiklar.



Sådana blandningar har tendensen att separera, d.v.s. den tyngre fasen sedimenterar. För att motverka detta tillsätts emulgeringsmedel. Många limmer innehåller partiklar av varierande storlek. De små partiklarna fungerar då som ett sådant emulgeringsmedel men om limmet späds ut för mycket kan halten av dessa bli för låg vilket innebär att limmet separerar i sina två faser. Det är också viktigt att röra om emulsionslimmer så att de ingående partiklarna verkligen svävar i 'lösningsvätskan'.

För att få en fungerande limfog måste också limmet övergå från flytande till fast form. Smältlimmer stelnar när temperaturen sjunker och man erhåller därvid de önskvärda bindingarna mellan molekylerna. Någon kemisk reaktion förekommer ej. Vid lösta eller dispergerade limmer sker övergången till fast fas genom att lösningsmedlet avdunstar. Inte heller här sker någon kemisk reaktion. Epoxilimner stelnar däremot på kemisk väg liksom polyuretanlim. De flesta limmer inom träsektorn, ex. vis karbamidlimmerna härdar dock genom en kombination av kemiska reaktioner och genom avdunstning av lösningsmedel. Notera att limmets viskositet först avtar under uppvärmnings- och pressningstiden, se figur 8.1 Plötsligt börjar dock härdningen och då sker denna mycket snabbt. De lim-



Figur 8.1: Viskositet som funktion av pressningstid för ett karbamidlim som värmehärdas, [36] sidan 12.

made detaljerna kan därför hanteras omedelbart när de kommer ut från pressen. Limmer som utnyttjar kemiska reaktioner får en mycket hög mekanisk hållfasthet och tål dessutom värme, vatten och lösningsmedel bra. Limmet är dock oftast sprött. De andra limtyperna ger ett segare lim vilket ibland kan vara en fördel då späningskoncentrationer undviks, se [122] sidan 18.

## 8.1 Olika limtyper

Det är vanligt att dela in de olika limtyperna efter ursprungskomponenterna eller efter härdningsprincip. I [36] sker indelningen först i naturliga respektive syntetiska limmer.

- Naturliga:
  - Stärkelse, dextrin, kåda
  - Ben, hudar och senor
  - Kasein
  - Blodalbumin
  - Soyaböner, jordnötsmjöl
  - Shellack
  - Asfalt
  - Naturgummi
  - Cellulosaacetat och -estrar, natriumsilikat
- Syntetiska:
  - Kemiskt härdande
  - Fenol-formaldehyd
  - Resorcinol-formaldehyd
  - Urea-formaldehyd, UF
  - Melamin-formaldehyd, MF
  - Termoplastiska lim
  - Polyvinylacetat
  - Smältlim, EVA
  - Övriga
  - Epoxylimmer
  - Polyuretan

### 8.1.1 Naturliga limmer

Som nämndes ovan används inom träsektorn ibland animaliska limmer. Genom kokning av ben, hudar m.m. omvandlas ett äggviteämne, kollagen, till ett nytt ämne, glutin, vilket i sin tur är lösligt i varmt vatten. Limlösningen indunstas och avkyls varigenom man erhåller stora limplattor som sedan mals ner. Limmet

kan också säljas som s.k. limfilm. Den bästa kvaliteten erhålls från hudlim medan benlim är något sämre. De animaliska limmernas hållfasthet är beroende av torrhalten vid appliceringen. Hudlimmerna har en hög torrhalt men detta innebär också att viskositeten är hög, vilket gör limmet svårt att stryka ut. I praktiken används därför en blandning av hud- och benlim vid limning av trä, se [122] sidan 27 och följande. Limmet löses vanligen upp i vatten under uppvärmning. Temperaturen får inte överstiga 60 °C då limmet förstörs. Limmet skall därför värmas i ett vattenbad. Limmet får heller inte vara varmt alltför länge vilket innebär att man inte skall blanda till mera lim än vad som åtgår för en arbetsdag. När limmet påförs kommer vattnet att sugas in i träet samtidigt som limmet snabbt svalnar. Detta övergår då i geléform vilket ger en sämre inträngning. Man brukar därför värma upp de detaljer som ska limmas så att gelatineringen inte sätter igång före det att limfogen kommit under press. Enligt [122] sidan 31, är en lämplig limmängd c:a 200 - 350 g/m<sup>2</sup> och ett lämpligt presstryck omkring 0.2 - 0.5 MPa. Limfogen måste vara under press c:a 15 - 30 minuter vid limning av massivträ medan man vid fanérlimning, där man pressar fogen under varma plattor, måste vidmakthålla presstrycket under en eller två timmar. Animaliska lim är vare sig värme- eller fukttåliga varför dessa endast kan användas för detaljer inomhus. Fuktbeständigheten kan förbättras genom att tillsätta formaldehyd vilket gör att det tål kallt vatten bättre än tidigare. Notera dock att formaldehyd är hälsovådligt att hantera. De animaliska limmerna användes bl.a. till tapplimning och fanering. Speciellt lämpligt är limmet om man skall formförändra produkten efter limningen. Numera används inte animaliskt lim i någon större utsträckning.

Ett annat lim från djurriket är det s.k. kaseinlimmet. Detta tillverkas av ett ostämne som finns i mjölk, kalk och kaustik soda. Limtypen är inte längre särskilt vanlig men man kan träffa på det ibland. Vanliga handelsnamn är Casco laminlim eller Dynosin. Då kaseinlim innehåller kalk ger det ofta en omfattande verktygsförslitning då trädetaljerna bearbetas. En lämplig limmängd är c:a 200 - 300 g/m<sup>2</sup> vid en enkelsidig påföring. Man har sedan c:a 15 till 20 minuter på sig innan sammanpressningen måste ske. Vid dubbelsidig påföring kan man vänta ända upp till en timma vilket innebär att man har god tid på sig för justeringar vid komplicerade limningar. Presstiden är sedan mellan en till tolv timmar för olika typer av produkter. Lämpligt presstryck anges till 0.2 - 1 MPa. Kaseinlim tål i viss mån kallt vatten och har visat sig mycket bra att använda inomhus. Limmet är inte termoplastiskt och tål därför värme bra. Limmet är också hårt och segt varför limfogen inte spricker så lätt. En nackdel är att limmet kan missfärga träslag med hög halt av garvsyra, ex. vis ek och mahogny. Vissa kaseinlimmer ger inte denna missfärgning men de förlorar då sin vattenbeständighet. Limmet passar däremot bra till hartsrika barrträslag men skall inte användas till teak. Kaseinlim har använts till bärande träkonstruktioner inomhus där man ställer stora krav på hållfasthet och beständighet. Träfiberskivor limmades tidigare på ramverk med denna typ av lim.

Andra limmer från naturen är blodalbuminlim, fisklim, stärkelselim och so-

jamjöllim men dessa används endast i undantagsfall. I dagsläget har många av de naturliga limmerna kommit ur bruk. Ett ökat intresse för s.k. 'ekomöbler' och andra produkter med naturligt ursprung innebär troligen att naturlimmerna får ett uppsving igen.

### 8.1.2 Syntetiska limmer

I dag används huvudsakligen olika konsthartslimmer. Två olika typer används, dels s.k. härdande och dels termoplastiska lim.

#### Kemiskt härdande limmer

I härdande limmer tillsätts antingen en katalysator som sätter igång härdningen eller en reaktionskomponent som deltar i processen och förbrukas. Härdningen av limmerna startar redan hos tillverkaren men avbryts genom en tillsats av vissa kemiska medel. Vid användningen i träindustrin blandas ånyo i en komponent som gör att härdningen fortskrider. Fyllnadsmedel tillsätts ibland för att ge limmet s.k. fogfyllande egenskaper, ex. vis kokoskalmjöl. Man kan dessutom använda s.k. utdrygningsmedel för att göra limmet billigare och i Skandinavien används bl.a. vete- och rågmjöl till detta. Skillnaden mellan fyllnads- och utdrygningsmedel är inte helt klagjord men i [36] sidan 64, anges att fyllnadsmedel blandas i hos tillverkaren medan utdrygningsmedel blandas i hos användaren av limmet. Ibland färgas limmet så att man enklare skall kunna se att påstrykningen skett på avsett sätt. Vissa konsthartslimmer håller sig i årtal, ex. vis termoplastlimmerna, medan karbamidlim endast kan lagras c:a tre månader. Härdningen påverkas av temperaturen varför det är en fördel att lagra limmerna i t.ex. ett kylskåp.

Det första konsthartslim som togs i bruk inom träindustrin var karbamidlimmet, [122]. ( I [36] anses dock fenol-formaldehydlim ha utvecklats först. Den tidigast funna beskrivningen härrör från 1872). Karbamidlimmerna tillverkas av karbamid, vilket är det samma som urea eller urinämne, och formaldehyd och kallas därför ofta för UF-lim. Karbamidlimmet ger färglösa fogar och vanliga handelsnamn, enligt [122] sidan 39, är Cascorit, Dynorit, Kaurit eller Aerolite. Det härdade limmet är hårt och sprött. Karbamidlimmer finns både som värmehärdande, som används till fanéring, tillverkning av plywood, dörrar, köksinredningar och spånskivor, och kallhärdande som dock inte är lika vanligt förekommande. Karbamidlimmer tål kallt vatten bra men fogen förstörs vid temperaturer över 70 °C. En nackdel med limmet är att tjocka fogar ofta spricker efter en tid. Detta kan i viss mån förhindras genom att blanda i olika fyllnadsmedel, se ovan. En ytterligare nackdel är att limmet under lång tid avger formaldehyd. I [128] finns beskrivet hur man genom att sänka formaldehydhalten, och genom att tillsätta framför allt melamin, resorcinol, tannin m.m., kan minska detta problem. Man visar också att tillsatserna i vissa fall minskar möjligheterna att lagra limmet under längre tid. Problemen har också undersökts förhållandevis nyligen

och i [129] finns beskrivet hur man med hjälp av olika tillsatser kan göra limmet segare så att det bättre står emot upprepade krympning och svällning hos trädetaljerna.

Ett annat konsthartslim är melaminlimmet, vilket inte är så vanligt i Sverige. Anledningen är att det är dyrare än UF-lim och att det inte är lika beständigt som fenollimerna. Blandningar mellan UF och melaminlim förekommer också, MUF.

Fenollim, som tillverkas av fenol och formaldehyd, finns i ex.vis Casconol och Dynosol S 176. Även detta lim finns som värmehärdande eller kallhärdande. Vid värmehärdningen värms fogen upp ända till omkring 140 °C och resulterar då i ett av de mest beständiga lim som finns. Fogarna är mörka, nästan svarta, och tål till och med kokande vatten. Kallhärdande fenollim kan användas till oljerika träslag, ex. vis teak, som annars är svårlimmade. En nackdel med limmet är att den starka syra som används som härdare blir kvar i limfogen och då kan påverka träet vid denna. Limmet används till hobbylim, limning av småbåtar m.m. där man inte kan värma upp fogarna.

Resorcinollim består av resorcinol och formaldehyd och limtypen härdar redan vid temperaturer på +10 °C, men limningsresultatet blir bättre om man värmer åtminstone något. Man tillverkar också fenol-resorcinollim då fenol är billigare, och då under handelsnamnen, Cascosinol och Dynosol. Fogarna blir mycket beständiga och tål ex. vis kokning. Det viktigaste användningsområdet är bärande träkonstruktioner, limträbalkar och fingerskarvning av konstruktionsvirke.

### Termoplastiska lim

Den andra typen av konsthartslim, d.v.s. de termoplastiska, utgöres i huvudsak av s.k polyvinylacetatlim, PVAc. I [122] anses även smältlimmen höra hit. Vanligt är att limmet löses i ett lösningsmedel men ibland används rent lim som smälts med värme. Limmerna tål därför vanligen ej värme då fogen återigen smälter. PVAc, framställs av polyvinylacetat som blandas upp i vatten till en emulsion som ser ut ungefär som filmjolk. Det man i vanligt tal kallar trälim är just PVAc. Dessa limmer kan ofta skraddarsys, ex. vis för limning av teak eller ek. Vanliga handelsnamn är Cascol, Dynokoll, Hericoll och Standard Tapplim. Vanligen kan inte limmet användas vid för låg temperatur, inte lägre än +5 °C, då PVAc-partiklarna bildar små kulor istället för en sammanhängande film. Det finns dock s.k. frostlim som kan användas ner till -10 °C. Limningstiderna varierar mellan olika fabriker men de snabbaste limmen skall i pressen inom två minuter och binder sedan efter ungefär lika lång tid. Det är viktigt att trädetaljerna har en fuktkvot som är lägre än c:a 10 % då vattnet från limmet måste sugas upp i träet. Vid fuktkvoter högre än fibermättnadspunkten kan inte PVAc-lim användas. Värme påskyndar härdningen och 60 - 100 °C används industriellt. Limmet är svagt surt och kan reagera med järn så att det löses upp och ger missfärgningar. Fogarna är genomskinliga och färglösa. PVAc-lim används till al-

la typer av limning som inte behöver ge vattenfasta fogar. Limmet har många fördelar, det är miljövänligt och enkelt att använda men det har också några nackdelar bl.a. kryper det vid konstant last. Detta har man försökt att motverka med s.k. kemiskt härdande PVAc-lim. Härdarna är dock giftiga och måste därför behandlas med stor försiktighet.

Smältlim, EVA, är ett fast ämne vid rumstemperatur. Det innehåller inget lösningsmedel utan härdar genom att det återigen stelnar efter uppvärmningen. Limmet påförs med hjälp av s.k. limpistoler och arbetsstyckena måste läggas samman snabbt då härdningen påbörjas omedelbart efter appliceringen. Limmet har oftast en temperatur på 200 °C men får inte vara så varmt under någon längre tid då det förkolas. Ibland används s.k. limförvärmare där temperaturen är omkring 150 °C för att undvika detta. Vissa träslag, bl.a. teak, valnöt och palisander, kan vara svåra att limma med smältlim och dessa träslag måste därför förbehandlas för att man ska uppnå ett gott resultat, se [122] sidan 63.

### Övriga limmer

Epoxilimmer används vanligen för limning av metaller och då de är mycket dyra används de sällan inom träindustrin. Ett vanligt handelsnamn är Araldit.

Polyuretanlim, PU, finns av två typer, dels som 2-komponentlim och dels som 1-komponentlim. Dessa används när man skall limma trädetaljer mot ex. vis aluminium. Vanliga handelsnamn är Cascobond och Foss-Thau. Ytterligare två konsthartslimmer behandlas i [122], nämligen isocyanatlim med förkortningen EPI, och akrylatlim. Det förstnämnda limmet används till plywood, spånskivor m.m. och har god beständighet. Problem med formaldehyd förekommer ej men limmet är omkring fem gånger så dyrt som karbamidlim, [122] sidan 53. Akrylatlimmerna härdar mycket snabbt, två till tre minuter, och används för stora detaljer som man snabbt måste hantera.

Kontaktlimmerna består av gummi eller konstgummi som är upplöst i något organiskt lösningsmedel ex. vis triklorethan. De är därför ofta brandfarliga och hälsovådliga. Limmerna används mest i stoppmöbelindustrin och ett vanligt handelsnamn är Neopren. Kontaktlimmer appliceras alltid på bägge ytorna och skall torka tills de ser torra ut. Vid pressningen av detaljerna mot varandra fäster limmet omedelbart så någon efterjustering är inte möjlig. Full fogstyrka erhålles först efter omkring tre veckor och fogen är känslig för värme och kryper vid konstant last. Limmerna är också mycket dyra.

I tabell 8.3 återfinnes användningen av olika limtyper samt exempel på användningsområde i Sverige 1985, [130]. Som nämnts ovan är många limmer hälsovådliga. Om man skulle kunna utnyttja det lignin som redan i trädet tjänstgör som lim, för att sätta samman olika trädetaljer vore mycket vunnet. På senare år har man försökt att få fram sådana produkter och i bl.a. [131] beskrivs hur man skulle kunna tillverka trälim med lignin från lövträd vilket erhålles när man gör papper med sulfatmetoden eller den s.k. Kraftprocessen. Det synes dock som om

Karbamid- och melaminlim	120	Spånskivor
Karbamidlim	9	Fanéring, lamellgolv
Fenollim	9	Plywood 8.5, board 0.5
Resorcinollim	1	Limträ utomhus, ytterdörrar
Polyvinylacetat	3	Monteringslimning
Smältlim	0.25	Kantlistning
Kaseinlim	0.1	Limträ inomhus, board på ram
Kontaktlim	1	Monteringslimning utan press

Tabell 8.3: Användning, i tusen ton, av olika limmer i Sverige 1985, [130].

försöken ännu så länge endast nått laboratoriestadiet. Man har också visat att det är möjligt att utvinna råvaror för högkvalitativa limmer ur bark från *Pinus radiata*. Man använde natriumhydroxid upplöst i vatten samtidigt som man ledde ner ånga i barkblandningen för att få fram de aktiva ingredienserna. Tester med det färdiga limmet visade att plywood som limmats med detta tålde både kokning och vatten utan att lösas upp.[132]

## 8.2 Uppvärmningsmetoder

Som nämnts ovan måste limmet många gånger värmas för att det skall härda. Detta kan ske genom att man värmer upp hela trädetaljen med hjälp av varma pressplattor eller elektriska värmeelement. Värmen transporteras då via ledning genom trämaterialiet men då trä leder värme dåligt är det inte alltid en lämplig metod. Vanlig i träindustrin är också metoden med högfrekvensuppvärmning, HF. Här utnyttjar man förhållandet att limmerna ofta är polära.

Genom att lägga på ett elektriskt fält som snabbt ändrar riktning fås molekylerna att röra sig, varigenom de alstrar värme. Ju högre frekvensen är ju mer värme alstras och i de maskiner som används i träindustrin kan frekvensen uppgå till 180 MHz, se [122] sidan 90. Tyvärr kan dessa frekvenser störa vanliga radio och TV-sändningar vilket innebär att man tilldelat apparaterna speciella frekvensområden som måste användas. Sådana frekvenser erhöles förr via televerket. Värmeutvecklingen ökar också med ökad fältspänning men risken för överslag gör att c:a 60 V/mm är en övre gräns. HF-generatorerna ger också stora förluster av värme till omgivningen. En generator med elektroeffekten 4 kW kräver c:a 7 kW från elnätet. Anläggningarna måste därför ofta kylas med vatten eller luft. Även vattenmolekylerna i träet kommer att börja röra sig då HF-fältet anbringas. Detta kan ställa till problem med s.k. ångsprängning vid vissa träslag, ex. vis ask och alm, se [133] för en detaljerad genomgång av olika träslags dielektriska egenskaper. Kärnveden anges i [122] sidan 95, vara känsligare än splintveden. Temperaturen måste därför många gånger begränsas till 100 °C.

Speciella limtyper har utvecklats för att passa för HF- uppvärmning. Man bör notera att användningen av högfrekvensfält misstänks påverka människokroppen. Man måste därför se till att operatören inte vistas i omedelbar närhet av maskinen och speciella gränsvärden finns utformade av Arbetarskyddsstyrelsen. Limmerna i sig själva kan också vara hälsovådliga. Enligt Arbetarskyddsstyrelsens författningssamling, AFS, måste de vara märkta på svenska med en överskådlig och lättläst text samt vara försedda med en farosymbol. Limrester och annat avfall måste dessutom tas omhand på ett för samhället acceptabelt sätt. Miljöfarligt avfall måste sändas till Svensk Avfallskonvertering AB, SAKAB med speciellt godkända transportörer.





# Kapitel 9

## Träkompositer

M4↓

Inom snickeriindustrin förekommer många träkompositer, ex.vis spånskivor och plywood. I [10], sidan 183 och följande, beskrivs ett antal sådana kompositer varför grunderna inte återigen gås igenom här. Andra typer av kompositer förekommer också bl.a. massivträkompositer, där polymerer fås att tränga in i cellernas lumen eller i cellväggarna.

### 9.1 Massivträkompositer

I ex. vis [10], finns ett antal olika träkompositer beskrivna. Dessa kompositer har det gemensamt att de består av sönderdelat trä som sedan på något sätt 'limmats' samman igen, t.ex. spånskivor eller limträbalkar. På senare tid har man försökt att få fram andra typer av kompositer där man istället låter ett ämne, vanligen en polymer, sugas upp i massivt trä. Polymeren tränger på så sätt in i cellerna och ger hela trästrukturen förändrade egenskaper, jämför impregnering mot svampangrepp. I [134] finns beskrivet hur man undersöker egenskaperna hos sådana Whole Wood-Polymer Composites, WPC. Trä är ju ett hygroskopiskt material som krymper, resp. utvidgar sig, beroende på om vatten lämnar eller tas upp i fiberväggarna. Genom en impregnering med andra polymerer, i [134] används poly(EHMA), kan man få fiberväggarnas egenskaper att förändras så att de inte lika lätt tar upp vatten. Trästrukturens hårdhet förbättras också påtagligt, från 550 till 1435 %, för de olika träslag som testades, balsa, asp, ek och tall. Just balsa behandlas mer i detalj i [135] Att just balsa valdes berodde på att det växer otroligt fort, 5 till 8 meter per år, och är moget för avverkning efter endast 10 år. Det är dessutom det lättaste kommersiella träslaget med en densitet ända ner mot  $50 \text{ kg/m}^3$ . ( I [10] sidan 232 anges  $80 \text{ kg/m}^3$  som en nedre gräns.) Om träslaget skulle kunna fås att bli starkare skulle det således vara mycket lämpligt i många konstruktioner. Som nämndes ovan minskade dessutom upptagningen av vatten genom EHMA-behandlingen. I referensen anges bl.a. att obehandlat torrt

balsaträ har en volymökning med c:a 10 % efter att ha legat nedsänkt i vatten under 5 dagar. Det behandlade träet erhöll endast en svällning om 2.5 %. Genom behandlingen erhöll man dessutom bättre absoluta hållfasthetsegenskaper, främst p.g.a. att densiteten ökar på trästrukturen. Man redovisar vidare att man fick bättre specifika hållfasthetsegenskaper, dvs i förhållande till densiteten, för E-modul och slaghållfasthet. Alla andra specifika hållfasthetsparametrar blev lägre med behandlat trä.

Det är ju också av intresse att kunna mäta hur mycket av polymeren som sugits upp av trästrukturen. I referens [136] har man undersökt hur egenresonansen, mätt med en piezoelektrisk kristall, hos trädetaljerna förändras för olika uppsugningsgrad. Egenfrekvensen ökade starkt med ökad koncentration och densitet medan denna var förhållandevis konstant efter en tidsrymd om 2 timmar.

En utmärkt sammanställning av kunnandet på området massivträkompositer, som ofta förkortas WPC efter Wood Polymer Composites, återfinns i [137]. I referensen nämns bl.a. att man vanligen använder olika arter av lövträd vid tillverkningen. Detta då det är mycket svårt att få polymeren att tränga in i barrträdens kärnvirke, jämför impregnering. Bra träslag har visat sig vara:

- Al, *Alnus ssp.*
- Yellow poplar, *Liriodendron tulipifera*
- Ask, *Fraxinus ssp*
- Lönn, (*Acer ssp*
- Valnöt, *Juglans ssp*
- Björk, *Betula ssp*
- Lind, *Tilia americana*
- Poppel, *Poplar ssp*
- Körsbär, *Prunus ssp*
- Red gum, *Liquidambar styraciflua*
- Bok, *Fagus ssp*
- Röd och vit tall, *Pinus resinosa och strobus*

De mono- och polymerer man vanligen använder är styren och metylmetaacrylat vilka dessutom är de billigaste typerna. Det är också viktigt att de kemiska substanserna har en lämplig viskositet så att de verkligen tränger in i cellstrukturen. Vanligen använder man ungefär samma metoder som vid impregnering, ex. vis en något modifierad fullcellsprocess. Om trädetaljen inte sväller vid den

kemiska behandlingen har substanserna inte trängt in i cellväggarna. Till denna typ hör de ovan nämnda ämnena. Då polymererna pluggar igen cellerna kommer en sådan behandling att dramatiskt påverka fukttransport mm vilket åtminstone kortsiktigt innebär bättre dimensionsstabilitet. Man får dessutom en påverkan på många mekaniska egenskaper som elasticitetsmodul och hårdhet. Genom att färga polymeren kan man också erhålla annorlunda typer av ex. vis trägolv.

Det är dock inte alltid bara hålrummen i cellerna som fylls med mono- och polymerer. Om polymererna tränger in i cellväggarna erhåller man dramatiska förbättringar av dimensionsstabiliteten även på lång sikt. För att åstadkomma detta måste man använda kemiska ämnen med mycket små molekyler vilket innebär att de kan tränga in i cellväggarna. Just då detta sker får man en kraftig svällning men det innebär också att cellväggen därefter inte förändrar sig. Vid tillverkning av s.k. Impreg och Compreg används fenol och formaldehyd löst i vatten eller alkohol. Andra kemiska ämnen som har använts är polyetylenglykol och furfurylalkohol. Furfurylalkoholen färgar trästrukturen så att den blir mörk. Detta kan vara användbart om man vill efterlikna regnskogsarter med hjälp av vanliga ljusa träslag. En omfattande presentation av Impreg och Compreg återfinnes i [36], kapitel 2.

En annan typ av komposit har undersökts i [138]. Här har man behandlat sågspån med benzyklorid och natriumhydroxid vid en temperatur på 125 °C. Sågspånet blandades sedan med polystyren och pressades samman under högt tryck. Kompositen kan sedan pressas ut genom munstycken ungefär på samma sätt som man tillverkar aluminiumprofiler. Genom att variera inblandningen av polystyren och behandlat sågspån kan kompositens egenskaper skraddarsys för olika applikationer.

Ett snarlikt förfaringsätt beskrivs i [139]. Här har fibrer av asp och polypropylen blandats och pressats samman till skivor. Pressningen skedde under högt tryck, 10 MPa, vid en temperatur på 190 °C. Dock fick man problem med hålrum mellan träfibrerna och plasten vilket troligen berodde på att träfibrerna krympte vid avsvalningsprocessen. Detta innebar att man inte kunde uppnå de teoretiskt beräknade värden som man förväntat sig vad gällde hållfasthet och densitet.

## 9.2 Skivor

Runt om i världen försöker man utveckla nya och bättre skivor och i [140] beskrivs hur man genom att placera spånen listigare i OSB-skivor, Oriented Strand Board, kan utveckla egenskaperna hos denna produkt. OSB introducerades 1981 och hade inte mindre än 15 % av marknaden i Nordamerika 1985. Denna andel har sedan fortsatt att stiga vilket innebär att det finns stora kommersiella intressen att ytterligare förbättra skivorna. I referensen visas att man kan specialdesigna skivorna för olika lastfall och speciellt har studerats takskivor med en utbredd

last. I undersökningen kom man fram till att spånen i mitten av skivan, nära neutrala lagret, skulle vara riktade så att fiberriktningen överensstämde med skivans längsriktning. I ytterkanten av skivan skulle däremot spånens fiberriktning ligga i ungefär 45 graders vinkel mot längsriktningen. På detta sätt kunde man öka skivans E-modul med c:a 10 % vilket verifierades med experiment. Man ansåg det dessutom möjligt att ytterligare öka denna faktor. En svårighet var dock att få fram metoder som automatiskt kunde ordna spånen i enlighet med de optimala riktningarna. I OSB-skivor används, åtminstone i Nordamerika, träslaget asp eller närstående arter. En sådan art är balsampoppel som dessutom odlats i Sverige. I [141] har man undersökt varför man ibland får problem vid bearbetningen av skivor just uppbyggda på balsampoppel, och funnit att problemen beror på gelatinisering av cellväggarna. Man har dessutom uppmärksammat problem då trädet skall huggas sönder till lämpligt formade spån, varvid de eggförsedda verktygen beläggs av sådana gelatiniserade celler. De spån som var svåra att bearbeta innehöll s.k. vita ringar som oftast förekom på endast en sida av trädet. Man drog därför slutsatsen att det var någon form av reaktionsved som orsakade problemen.

I USA och en del andra länder har man med goda resultat använt asp som råmaterial i träfiberskivor. Även i Waferboard och Oriented Strand Board, OSB, använder man träslaget ifråga. Då asp är vårt näst vanligaste lövträslag skulle således detta kunna utnyttjas även här. I [142] redovisas en svensk undersökning där det framkom att även vår asp skulle kunna användas om man blandade in c:a 1 % vax i skivorna. Tillsammans med användning av 0.5 % fenollim innebar detta att aspskivorna klart uppfyllde fordringarna. Tyvärr känner vi i dagsläget inte till om någon tillverkning i större skala startats i Sverige.

En hel del forskning pågår runt om i världen vad gäller skivmaterial. I Kanada har man exempelvis försökt att utforma matematiska modeller som förklarar egenskaperna hos bl.a. spånskivor, [143]. Genom att i en dator låta spånor och flis slumpvis falla ner på en yta lyckades man utveckla en metod att beräkna geometriska egenskaper hos skivan. Varje lager antogs vara så tunt att alla spånor låg parallellt med horisontalplanet. Då en slumpvis fördelning, Poisson, användes utnyttjade man en metod som ursprungligen använts för studier av fibrer i papper. I programmet som var skrivet i FORTRAN simulerade man en slumpvis uppbyggd kvadratisk spånskiva med sidan 250 mm. Man utförde sedan också experiment där 80 stycken spånor av asp med storleken  $84 \times 9 \times 1$  mm slumpvis placerades och sedan noggrannt mättes in. Omkring 15 variabler identifierades på detta sätt som viktiga för att kunna utröna spånskivans egenskaper, bl.a. hur stor procent hålrum som erhöles och hur långt det var mellan olika spånor. Jämförelser mellan experiment och simuleringar visade att skillnaderna mellan modell och verklighet var mindre än 10 %.

I [144] visas på andra typer av träfiberskivor tillverkade av rishalm, pilträd, gräs och granbarr. Uppsatsen behandlar värmebehandlingen av de olika skivtyperna och den inverkan denna har på viktnedgång, risken för uppsugning av vatten, brotthållfasthet och draghållfasthet. Importen av träfiberskivor till Sve-

rige är mycket omfattande och det är därför troligt att man kommer i kontakt med skivor bestående av fibrer från både okända och kända källor.

Vid tillverkningen av träfiber- och spånskivor försöker man oftast undvika att få med bark i råmaterialet. I Japan har man studerat vad som händer om man istället blandar in bark i skivorna, [145], som tillverkades av japansk ceder *Cryptomeria japonica* och japansk cypress *Chamaecyparis obtusa*. Om man skulle kunna lösa de problem som normalt är förknippade med barkinblandning skulle man enklare kunna utnyttja grenar och virkesavfall vid tillverkningen. Man konstaterade att en tolerabel nivå på barkinnehållet var c:a 35 %. Det är i dagsläget oklart om man kan tillämpa resultaten även på svenska träslag.

### 9.3 Kemisk förändring av trä

Det är också möjligt att förändra själva trästrukturen genom att behandla trädetaljen med olika kemiska komponenter. I [146] har man t.ex. undersökt hur den dynamiska E-modulen förändras vid behandling med 15 olika ämnen. Bl.a. har man utsatt trädetaljer av gran, *Picea glehnii*, för formaldehyd, svaveldioxid, saltsyra m.m. och sedan studerat hur träets egenskaper förändrats. Detta har skett genom att efter den kemiska behandlingen utsätta trädetaljen för vibrationer och mäta ljudhastigheten och dämpningen av den signal som introducerats. I referensen anges att den specifika E-modulen, d.v.s. E-modulen dividerad med den specifika vikten, kan avgöras genom att studera ljudets hastighet i träet medan den interna friktionen i materialet kan studeras med hjälp av vibrationernas dämpning. Några av de ämnen som introducerades i cellstrukturen hade förmågan att kraftigt reducera träets innehåll av vatten vilket även medförde stora förändringar i träets vibrationsegenskaper.

Genom en kemisk behandling kan man dessutom få trä att bli mera motståndskraftigt mot brand. I [147] har man undersökt detta mera i detalj. Man behandlade små bitar av tall med s.k. diisocyanat och två olika fosforföreningar där de senare medför att de brännbara gaserna från uppvärmt trä minskar. Fosforföreningarna kan också medföra att träet förhindras att glöda vilket annars är vanligt när syretillförseln är låg. Isocyanaterna användes i denna studie för att förbättra egenskaperna vid torkning och dessutom som medel för att förhindra rötangrepp. I [13], sid 149 ff, finns ytterligare exempel på möjliga behandlingar av trä för att minska brandbenägenheten.

Flera forskare har också försökt att förbättra träets egenskaper genom s.k. acetylering. I [148] beskrivs hur man behandlar en typ av björk med olika ämnen så att egenskaperna hos trästrukturen förändras. Förändringarna innebär att träet bl.a. blir avsevärt mera motståndskraftigt mot svampar och termiter. Densiteten ökade också med upp till 35 %. Man har dessutom försökt att utröna hur cellosamolekylerna förändras med hjälp av s.k.  $^{13}\text{C}$ -NMR spektroskopi, Nuclear Magnetic Resonance. På senare år har man dessutom försökt att behandla trä

så att det skall gå att bygga välklingande musikinstrument utan att träet skall behöva åldras i flera hundra år, som är fallet med Stradivarii violiner. För att kunna göra detta måste man kunna påverka förhållandet mellan E-modul och skjuvmodul hos trästrukturen samt den dämpning som tonen utsätts för i träet. Genom att behandla sitkagran med en blandning av formaldehyd och saligenin, kunde man öka den s.k. specifika E-modulen med upp till 27 % och minska dämpningen med 50 % vilket ger goda förutsättningar för att få fram ett bättre tonträ, [149] och [13] sidan 274. Se vidare det speciella avsnittet om musikinstrument nedan.

M4↑

# Kapitel 10

## Ytbehandling

För att skydda konstruktioner av trä mot inverkan av väder och vind, åverkan o.s.v. har man i alla tider försökt att applicera olika oljor, lacker m.m. Genom detta kan man också erhålla estetiska fördelar t.ex. genom att blanda in färg i processen. Runt om i världen pågår forskning om detta problemområde och man försöker hela tiden hitta nya metoder för att behandla träet så att det håller längre. Det vetenskapliga samhället är i viss mån oense om hur dessa oljor m.m. skyddar trästrukturen och i vilken grad ämnena tränger in i den inre cellstrukturen. I [150] har man genom att behandla olika träslag med en blandning av bl.a. soyaolja och titandioxid försökt att utreda hur processen går till. Efter behandlingen och exponering i speciella apparater har man studerat träytan i bl.a. ett svepelektronmikroskop för att utröna hur denna egentligen ser ut. Man fann att oljan trängde in c:a 10 celler djupt i träet och att detta också berodde på vilket träslag som användes. Ytbehandlingen blev också mera djupgående i de större vårvedscellerna än i sommarveden. Åtminstone i en tallart fann man att ämnena till viss grad trängde in genom märkestrålarna. Genom att utsätta de behandlade träytorna för "konstgjort" väder kunde man också påvisa att just färg/olja-behandlingen inte degenererat i någon större omfattning ens efter c:a 3 000 timmar.

Ytbehandlingen är ju till för att skydda träytan. Vår kunskap om hur trä bryts ner, bl.a. av solljus, är fortfarande ofullständig men vissa försök pågår för att bättre kunna förklara vad som händer. I bl.a. [151] har man undersökt hur bearbetade ytor hos vissa tallarter, Southern yellow pine, påverkas av svaveldioxid och kvävedioxid under samtidig belysning av ultraviolett strålning. I uppsatsen visas att många av träytans olika molekyler starkt påverkades av den behandling den utsattes för, vilket innebär att ytfinheten försämrades liksom den mekaniska hållfastheten. Andra molekyler föreföll dock att påverkas i mindre grad.

Ett utmärkt referensverk om ytbehandling av trä finns i [152]. Nedanstående framställning bygger helt eller delvis på fakta som inhämtats där. Vanligen kallar man ett material som efter applicering och torkning på en trädetalj och som sedan bildar ett sammanhängande skikt för klarlack, färg eller lackfärg. En betsbildar

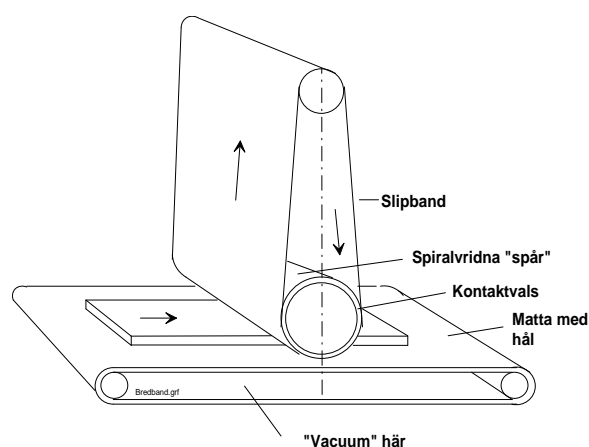


inte på samma sätt ett sammanhängande skikt utan suggs upp av träet, men det kan ibland vara svårt att avgöra gränsen mellan lack och bets. Vanligen sprutas färg och lacker på med hjälp av tryckluft. Pulverlackering som förekommer inom verkstadsindustrin används inte så mycket inom träsektorn då färgen måste fås att smälta vilket många gånger förstör eller skadar trädetaljen.

Underlaget är mycket viktigt för ett lyckat resultat. Kutterslag och slipskador är svåra att dölja enbart genom målning eller lackering. Vissa träslag innehåller en stor del hartser och andra extraktivämnen, bl.a. våra svenska barrträd. Dessa s.k. feta träslag gör arbetet svårare. Andra träslag är mycket grovporiga vilket innebär att slipdamm och annat fastnar i dessa porer och sedan framträder efter processen. Inom träindustrin används ofta fanér som tillverkats via knivskärning eller svarvning. I fanéret finns ofta sprickor som ger sig till känna efter exempelvis betsnings. Två mycket vanliga produkter i möbler är spånskivor och s.k. MDF, Medium Density Fibreboard. Då många lacker måste torka under värme kan man ibland få problem med gasavsläpp från skivorna vilket yttrar sig som blåsor i färgen. I referensen påpekas vikten av god slipning och rengöring från slipdamm. Man brukar skilja på slipning för att åstadkomma rätt dimension, rätt form och rätt ytfinhet. Kalibrering eller egalisering innebär slipning till rätt tjocklek. Den första termen kan användas även för krökta detaljer medan egalisering endast används för planslipning. Planslipning anger att detaljen efter bearbetningen är plan. Yttslipning definieras som en följsam operation som förbättrar ytans kvalitet utan att dimensionen förändras. Den sistnämnda metoden används ofta för att få bort s.k. fiberresning vid tidigare lackningar. Ofta används ett borstsliphjul, en s.k. fladder, vid denna typ av slipning.

Vid slipningen måste man ofta trycka slipverktyget mot trädetaljen. Då används ett s.k. kontaktelement som kan vara en dyna, ett stödband, kontaktvalsar eller en tryckplatta e.d. Dessa kontaktelements hårdhet mäts i s.k. °Shore A eller Durometer. Mjuka valsar har hårdheten c:a 40 - 50, medelhårda 60 - 70 medan hårda har omkring 90 °Shore A, se [153] sidan 13. Ju hårdare och ju mindre kontaktyta ju mer avverkas vid slipningen.

Det finns många olika slipverktyg, ex. vis rullar, ark, rondeller, ändlösa band, slipskivor m.m. Hur dessa verktyg arbetar är beroende av bl.a. beläggningens täthet, material och kornstorlek. Kornstorleken mäts enligt s.k. FEPA-standard. Ett lågt nummer innebär ett grovt, medan ett högt nummer anger ett fint "sandpapper". Numret anger antalet maskor per tum som använts då kornen siktas ner på ryggmaterialet. Detta senare kan bestå av papper i olika tjocklekar, duk eller väv, fibrer e. d. Slipmedlet består vanligen av aluminiumoxid, zirkoniumlegerad aluminiumoxid eller kiselkarbid, se [153] sid 4. Vid tillverkning av planmöbler används så gott som alltid s.k. bredbandsputsar. De vanligaste fabrikaten på marknaden synes vara Bogma, Heesemann, DMC, Boere och Tagliabue. I princip fungerar de så att ett brett slipband spänns fast mellan två valsar. Den undre valsen kan vara försedd med en kontaktvals med spiralvridna spår, se figur 10.1. De möbeldetaljer som skall slipas ligger på en perforerad gummimatta. Med hjälp av



Figur 10.1: Principskiss för bredbandslipmaskiner.

en kraftig fläkt skapas ett undertryck under denna varför slipgodset sugas fast mot underlaget. Bredbandsputsar används ofta för att slipa fanerade skivor innan de skall lackeras. Fanéret är många gånger bara 0.6 mm tjockt vilket innebär att risken alltid är överhängande för genomslipning. Genom att variera matarmattans och slipbandets hastigheter, kontaktvalsens hårdhet samt slipbandets kornfinhet kan processen hållas under kontroll. De flesta bredbandsputsar har flera slipband efter varandra. Det första bandet är då något grövre än de senare. Kontaktvalsens i det sista aggregatet ersätts ofta av en s.k. slipsko bestående av c:a 50 individuellt justerbara sektioner eller tryckstavar. Dessa sektioner påverkas med hjälp av tryckluft vilket innebär att man kan slipa detaljer som inte är fullständigt plana. En sådan sektionerad slipsko innebär också att man kan slipa flera detaljer som ligger bredvid varandra även om de inte har exakt samma tjocklek. Efter slipningen måste detaljen ofta spacklas och sedan kanske slipas återigen. Man har försökt att automatisera även spacklingen men ännu inte lyckats så bra.

## 10.1 Betsar

Enligt [152] är en betsa ett färgämne som är upplöst i vatten eller något annat lösningsmedel och kallas därför vatten- eller lösningsmedelsbetsar. Färgämnena är mycket färgstarka varför dessa ingår till en mycket liten andel i betsen. Det uppkommer ibland problem med att hålla färgämnena kvar i lösning utan att dessa klumpar sig och sedimenterar men detta kan undvikas genom att använda s.k. äkta lösningsmedel som etylglykol, butanol m.fl. Dessa vätskor är oftast utmärkta just som lösningsmedel men kan ofta ställa till problem i arbetsmiljön varför bl.a. etylglykolen numera används mera sällan. Grovt slipade ytor ger en kraftigare

färg och ibland kan man få oacceptabla kulörskillnader om inte slipningen sker rätt.

## 10.2 Lasyrer

En lasyr innehåller alltid en lack, d.v.s. färgen kommer efter torkning att utgöra ett sammanhängande skikt. Lasyren är dock genomsynlig och återger underlaget i en annan färg än det hade från början. Ofta innehåller lasyrer lacknafta som av många anses som tämligen harmlöst men i [152] anges att långvarig inandning, även i låga koncentrationer, kan medföra bestående skador. Lasyrer för utomhusbruk innehåller dessutom ofta träskyddsmedel mot insekter och svampar vilket gör problemen än större.

## 10.3 Klarlack

Som namnet anger är en klarlack helt transparent. Lacken består av bindemedel, lösningsmedel och s.k. tillsatsmedel för att lacken skall få ex. vis rätt utflytning och vidhäftning. En vätande lack tränger ner i underlaget medan motsatsen endast lägger sig som ett skikt ovanpå ytan. Lackens beteende avgör hur den färdiga ytan kommer att se ut. Ljusa träslag bevaras och förstärkes genom att använda lacker som inte väter ytan. Ibland blandar man in ämnen som absorberar UV-strålning vilket gör att träytans utseende inte förändras lika snabbt av solljus. Icke vätande lacker skall aldrig användas på mörka träslag. Ofta talar man om grundlacker och topplacker. Grundlacken skall helst vara lättslipad vilket är det samma som att den skall mjöla sig vid slipning. Dessutom skall den torka snabbt. Den utgör dessutom underlag för topplacken. En viktig egenskap hos alla lacker är den glans filmen får efter torkning. Glansen mäts med speciella glansmätare som finns standardiserade av SIS. Ibland används tvåkomponentlacker. Då kan man tala om lackblandningens brukstid, potlife, jämför med limmer.

Som nämndes ovan var vätningen av träytan en viktig egenskap. I [154] beskrivs en ny metod, där vätningsegenskaperna undersöks, som går ut på att mäta upp kontaktvinkeln mellan en vattendroppe och den plana ytan. Vanligen testar man en ytbehandling så att man mäter hur mycket vatten som tränger igenom den ytbehandlade ytan i  $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}^{0.5}$ , en procedur som kan ta avsevärd tid i anspråk. Genom att istället videofilma hur en droppe destillerat vatten väter ytan kunde man mycket snabbare erhålla motsvarande resultat.

## 10.4 Färger

Det man i dagligt tal menar med färger består av samma komponenter som klarlack. Till färgerna har man dessutom tillsatt ett pigment, som ofta utgöres

av oxider till olika metaller. Många av dessa pigment är hälsovådliga, bl.a. kan krompigment ge eksem. Färgerna innehåller dessutom ofta fyllnadsmedel vilket gör att de blir billigare och dessutom finns ämnen som ser till att pigmenten håller sig på ett visst avstånd ifrån varandra. Ibland talar man om grundfärg eller s.k. surfacer. Dessa skall ha samma egenskaper som en grundlack. Ett speciellt begrepp är färgens torrhalt. Detta värde anger hur stor del av färgen som stannar kvar då färgen torkat.

## 10.5 Förtunning

Förtunningen består av en blandning av olika lösningsmedel. De används för att se till att färgen får rätt viskositet vid ex. vis sprutmålning. Det är viktigt att veta att ett lösningsmedel inte kan lösa alla typer av bindemedel som finns i olika färger. Man kan därför få en utfällning av bindemedlet vilket ger lacken en grumling. Lösningsmedlet skall efter appliceringen avdunsta helt medan pigment, bindemedel och ev. tillsatser skall bli kvar på trädetaljen. Lösningsmedel är ofta mycket brandfarliga. Detta beskrivs av deras flampunkt som anger vid vilken temperatur vätskan avger en brännbar gas. Det finns speciella föreskrifter från Kommerskollegium som anger vilka flampunkter olika färger får ha. Det yrkeshygieniska luftbehovet, YL-talet, anger hur mycket luft i m<sup>3</sup> som åtgår för att späda ut ångorna från en liter av produkten så att inte det hygieniska gränsvärdet överskrids. Märkningen sker sedan 1987 inte generellt på alla färger vilket skedde tidigare.

## 10.6 Torkning

Olika typer av färger torkar på olika sätt. Vissa är fysikaliskt torkande vilket innebär att vatten och lösningsmedel helt enkelt avdunstar. Andra kan vara oxidativt torkande och härdande, ex. vis alkydlacker, som torkar genom dels avdunstning men också via en kemisk reaktion mellan luftens syre och bindemedlet. Processen kan också vara härdande vilket innebär att det sker en polymerisation. En härdare startar den kemiska reaktionen, jämför limmer. Man kan också erhålla torkningen genom att bestråla vissa färger med ultraviolett ljus eller annan typ av elektromagnetisk strålning.

## 10.7 Vanliga lacktyper

Fram till 1950-talet användes i huvudsak olika cellulosalacker för ytbehandling av möbler mm. Enligt [152] innebar önskemålet om fylligare, tåligare och mera snabbhärdande lacker att s.k. syrahärdande lacker utvecklades. Dessa har enligt referensen från 1990 en helt dominerande ställning med c:a 90 % av marknaden

men på senare år har de UV-härdande lackerna kommit starkt. Syrahärdande lacker har en bas av bindemedlen alkydharts, aminoharts och även nitrocellulosa. Aminoharts är samma sak som karbamid och/eller melaminharts. För att starta härdningen tillsätts s.k. paratoluensulfonsyra (PTS). Lösningen kan turligt nog förvaras flera dagar innan den är obrukbar framför allt om den förvaras i kylskåp. Lackerna härdar i rumstemperatur men tiden kan avsevärt förkortas om man tillsätter värme. För praktiskt bruk måste temperaturen överstiga 50 °C. Vid härdningen avspjälkas formaldehyd vilket ger stora arbetsmiljöproblem, jämför limmer. De syrahärdande lackerna har många produktionstekniska fördelar, bl.a.:

- Enkla att hantera och applicera. De är dessutom ofta lättslipade.
- De har lång brukstid vilket gör att de passar att använda i s.k. vals- och ridålackeringsmaskiner, se nedan.
- Överbliven lack kan förvaras länge, framför allt om den placeras i ett kylskåp
- De torkar och härdar under olika betingelser. De kan forcerhärdas vilket innebär att ytbehandlingslinjerna blir korta och därmed sparar utrymme i fabriken.
- Hög resistens mot vatten och hushållskemikalier. De tål dessutom repning bra och har god nötningshållfasthet.
- Lackerna är förhållandevis billiga.

Tyvärr har de också ett antal nackdelar. Den främsta är att de under härdningen avspaltar formaldehyd. På senare tid har denna avspaltning kunnat göras mindre men problemet kvarstår likafullt. Om lacken har applicerats i för tjocka skikt kan dessutom härdningen fortgå ute hos den som sedan köper möblerna.

De s.k. cellulosalackerna innehåller nitrocellulosa. Denna löses upp i olika aromatiska kolväten som xylen och olika alkoholer, t.ex. etanol och butanol. Etylglykol och butylacetat är andra ämnen som förekommer som lösningsmedel eller vid spädning. Lackerna torkar då dessa lösningsmedel avdunstar. För att skynda på processen värmer man ofta omgivningsluften samtidigt som man ser till att man har en hög luftväxling. Många gånger har man alltför hög mängd lösningsmedel i lacken. Detta kan undvikas genom s.k. varmsprutning. Bland fördelarna kan nämnas att de är lätta att applicera, de kan användas vid s.k. dopplackering och att de kan poleras. Några nackdelar är att de har låg torrhalt. De gulnar med åren och blir spröda. Ytan kan därför krakelera. De är också brandfarliga och får därför inte användas på möbler i offentlig miljö.

Polyuretanlacker används endast i liten omfattning och då endast då det ställs extra höga krav på resistens. Lackerna är av tvåkomponenttyp där härdare utgörs av s.k. isocyanatharts. Som lösningsmedel används bl.a. toluen, xylen, ketoner och olika estrar. Ett stort problem är att härdaren innehåller fri isocyanat vilket kan

ge upphov till allergier och lungförändringar. Användningen av isocyanater har särskilt reglerats i Arbetarskyddsstyrelsens Författningssamling, AFS. Känsliga personer får därför inte arbeta med dessa lacker. Lackerna används framför allt till bordsskivor men också till väderbeständiga dörrar och fönster. Lackerna klarar s.k. extra höga krav enligt möbelfakta. De innehåller inte formaldehyd. Några nackdelar är att de är dyrare än de syrahärdande lackerna och att de har lång tork och härdtid. De kan därför inte användas i moderna ytbehandlingslinjer. Brukstiden är kort och svinnet kan därför bli avsevärt.

Användningen av polyesterlacker är obetydlig medan s.k. epoxilack inte används alls i träindustrin.

Vattenburna lacker förekommer för utomhusbruk men dessa har hittills inte funnit användning för möbler och inredningar. Vanligen kan man inte i snickeriindustrin använda vanliga olje- eller alkydlack eftersom de torkar alldeles för långsamt.

En lacktyp som blivit vanligare är de s.k. UV-lackerna. Man använde ursprungligen polyesterlacker men dessa kunde inte härda i närvaro av luftens syre vilket innebar att man var tvungen att blanda in s.k. vaxpolyestrar som skyddade ytan. Detta innebar vidare att lacklinjerna blev mycket långa och vidare hade man problem med avspjälkning av styren. I början av 1970-talet utvecklades mera energitäta UV-lampor vilket innebar att problemen åtminstone minskade. Numera behöver inget lösningsmedel alls avdunsta vid härdningen och denna sker på mycket kort tid, någon sekund, men fortfarande är vad vi förstått styren med som en del i processen. För att härdningen skall ske används s.k. högtryckslampor med en effekt på c:a 80-100 W per cm. Genom att använda sådana sker härdningen mycket snabbt och linerna kan därför göras mycket korta. Någon avkylningszon behövs inte då godset inte hinner värmas upp. De UV-härdande lackerna består av bindemedel, monomerer, fotoaktiva ämnen, tillsatsmedel och pigment. Bindemedlet utgörs av s.k. prepolymerer eller oligomerer som är omättade hartser av polyester eller akrylat. Polyestrarna är billigare men härdar inte lika snabbt som akrylathartserna. Monomererna fungerar som lösningsmedel men tvärförnätar också prepolymeren. Monomeren avdunstar därför inte utan ingår i själva lackskiktet. Polyesterhartserna löses i ämnet styren. Den s.k. fotoinitiatorn skapar fria radikaler för att polymeriseringen skall komma igång. Det är viktigt att initiatorsystemet är anpassat efter UV-rörens våglängdsområde. I annat fall blir härdningen ofullständig. Tillsatsmedlen används för att ge lacken bättre vätbarhet medan pigmenten bl.a. förbättrar lackens slipbarhet. Det är viktigt att pigmenten inte hindrar UV-strålningen från att tränga ner i lackskiktet. Polyestersystemen förekommer knappast i Sverige men är vanliga på kontinenten. Systemet med styrenfri polyester har en förhållandevis lång härdningstid men ger inga allergiproblem. Akrylatsystemen härdar mycket snabbt men kan ge allergier. Priset per liter lack är högt.

På senare år har intresset ånyo inriktats mot s.k. naturmetoder vid lackning. Produkter som används är t.ex. shellack, oljor och vax. Framför allt i Danmark har sådana naturprodukter uppmärksammats. Tyvärr är metoderna för applicering

ring många gånger hantverksmässiga och ex. vis linolja måste ha en torktid på en vecka. Många gånger ”försvinner” också ytbehandlingen efter ett tag och måste påföras på nytt.

Man har också försökt att använda värmehärdande pulverfärger men då dessa kräver temperaturer på c:a 150 °C under omkring 15 minuter passar inte trä särskilt bra för en sådan process. MDF, björk- och bokträ klarar temperaturerna men man får ofta blåsbildning i lackskiktet.

## 10.8 Maskinell utrustning för lackering och målning

### 10.8.1 Beredning av färg och lack

Innan man kan applicera lacken måste den beredas d.v.s. man måste se till att ev. härdare eller lösningsmedel tillsätts. Det är viktigt att rätt mängd tillsätts. Lacken måste sedan röras om noggrannt helst med en mekanisk omrörare. Om man använder en bormaskin måste denna vara luftdriven. För större anläggningar har man speciella system med automatisk omrörning, dosering och blandning. Mycket viktigt är att lacken har rätt viskositet. Om temperaturen förändras i lokalen ändras också denna. En varmare lack har lägre viskositet. Då många av ämnena är farliga i lackerna måste man ha en ögonspolningsanläggning, liksom ett vanligt tvättställ, i närheten.

### 10.8.2 Sprutlackering

En av de vanligaste metoderna för lackering är sprutlackering. Vanligen sönderdelas lacken i små droppar med hjälp av tryckluft som också transporterar dessa till detaljerna. En annan metod är att använda högt tryck. I vissa fall utnyttjas också en elektrostatisk effekt så att man, i viss mån kan lackera även på baksidan av en detalj. Ytterligare ett system sönderdelar lacken med hjälp av en snabbt roterande skiva. Den första av dessa metoder är den traditionella och den kallas också för lågtrycksmetoden. Här formar luftflödet sprutfältet och man kan justera lackflöde, sönderdelningstryck och sprutfältets form under sprutprocessen. Lågtrycksmetoden ger ett bra resultat men mycket tryckluft går åt, c:a 400 l/min, och ljudnivån ligger ofta på 90 dB(A). Man får också en mycket kraftig sprutdimma vilket innebär att man ofta sprutar bredvid detaljen. Dessutom medför metoden att lackeraren utsätts för ångor och lösningsmedel.

Högtrycksmetoden innebär att sönderdelningen sker utan luft men i stället av ett högt tryck, upp till 400 bar används. De stora fördelarna är att man inte behöver ha så mycket lösningsmedel i lacken och att man därför får mindre ”lackrykning och återstuds”. Metoden ger ofta lägre lackförluster än traditionell

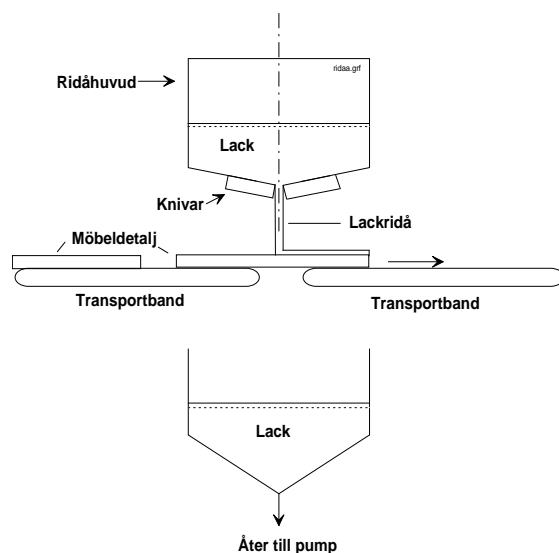
sprutmålning. En nackdel är att man måste byta munstycke för att förändra strålens form och lackmängd.

Det finns också en metod, kallad Air-mix, som kombinerar traditionell sprutning och högtrycksmetoden. Luftstrålen formar därvid sprutfältet medan sönderdelningen sker av det höga trycket.

Ett sätt att minska viskositeten, och på så sätt kunna minska användningen av lösningsmedel, hos lacken är att värma den men alla lacker tål inte detta. Inom träindustrin används metoden sällan.

### 10.8.3 Ridålackering

Detta är en mycket vanlig metod inom planmöbelindustrin som används när man skall "måla ytan med färg". Man måste då applicera ett relativt tjockt lager för att färgen skall täcka ytan helt. Metoden går ut på att man pumpar upp pigmenterad lack till ett avlångt tråg, det s.k. ridåhuvudet. I botten på detta finns två långa knivar eller läppar som bildar en smal spalt där lacken rinner ut, se figur 10.2. På



Figur 10.2: Principbild av ridålackmaskin.

var sida om ridåhuvudet finns transportmattor där godset transporteras. Den lack som inte fastnar på godset hamnar i en ränna som leder tillbaka till lackbehållaren och den pump som pumpar upp lacken till ridåhuvudet. Godset placeras ofta snett på transportbandet vilket innebär att man samtidigt även kan lackera två kanter, förutom översidan. I den underliggande behållaren finns ofta en uppfångningsplåt som hindra virvlar och luftbubblor i lacken. Det är viktigt att knivarna slipas då



och då så att man kan få en hög precision på lackfilmens tjocklek. Minsta mängd lack som kan appliceras är c:a 50 gram per  $m^2$  medan den maximala mängden är c:a 400  $g/m^2$ . Hastigheten på maskinens transportband är c:a 70 m per minut. Så fort kan ofta inte alla maskiner arbeta och därför måste man ibland ha s.k. accelerations- och retardationsbanor före och efter ridålackmaskinen. Det är också mycket viktigt att lacken hela tiden har samma viskositet, vilken mäts med en viskosimeter. Lösningemedlet i lacken avdunstar ju hela tiden vilket innebär att den blir mer och mer trögflytande. Mängden lack som appliceras mäts på så sätt att ett papper får passera maskinen. Genom att mäta vikten på papperet före och efter lackering får man reda på mängden i  $g/m^2$ . Man har även utvecklat ridålackmaskiner för lister m.m. samt sådana som kan lackera alla sidor utom undersidan. Sådana maskiner har en snedställd transportbana. Ibland vill man inte att någon lack alls skall hamna på kanterna av detaljen. Detta åstadkommes genom att maskinens inmatningssida höjs så att ridåfilmen "lutar". Ett annat sätt är att placera ett s.k. vacuumaggregat bakom filmen. Luftströmmen som bildas gör att ridån även här blir sned.

En nackdel med ridålackmaskiner är att de är mycket känsliga för drag. För kraftiga luft rörelser medför att ridån börjar fladdra vilket ger ett undermåligt slutresultat. Vanliga fabrikat på ridålackmaskiner är Bürkle, Barberan (Spanien) och Sorbini (Italien) vilka i sin tur har de svenska agenterna Jon Stenberg i Emmaboda, Thomas Frick AB i Vellinge och Sigfrid Stenberg AB i Nässjö.

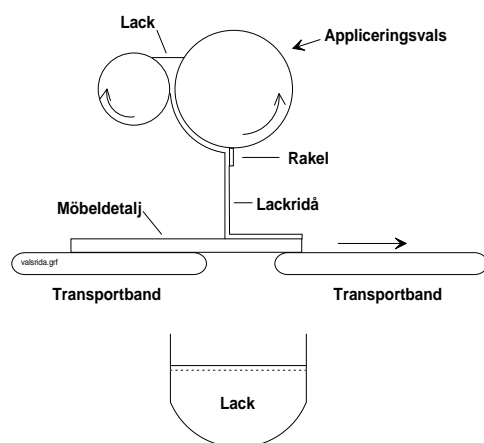
#### 10.8.4 Valsridåmaskiner

En ridålackmaskin fungerar endast om lacken är förhållandevis lättflytande, d.v.s. den måste innehålla mycket lösningemedel. Då dessa ofta är hälsovådliga vill man minska denna mängd. Ett sätt är att tillgripa en s.k. valsridåmaskin. Här ligger lacken först placerad ovanför två stålvalsar som ligger mycket nära varandra. Den s.k. appliceringsvalsens har en något större diameter och här finns en rakel anbringad som skrapar bort lacken från valsen ifråga. Lacken rinner sedan ner på detaljerna på samma sätt som i en ridålackmaskin, se figur 10.3. Det synes dock som om denna maskintyp är mycket ovanlig, åtminstone i Sverige.

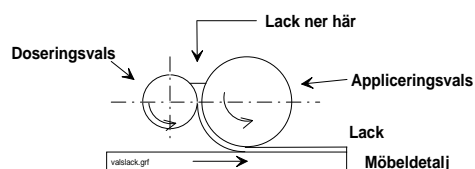
#### 10.8.5 Valslackeringsmaskiner

Denna maskintyp har blivit vanligare i och med att s.k. UV-lacklinor introducerats. Dessa lacker kan ha en hög torrhalt varför de inte lämpar sig för ridåmaskiner. I [152] finns ett flertal olika typer. Den enklaste typen har en medgående appliceringsvals vilket innebär att valsen roterar med samma hastighet som möbeldetaljen passerar, se figur 10.4.

Vanligen är periferihastigheten på appliceringsvalsens något högre än motsvarande hastighet på doseringsvalsens vilket innebär att lacken "smetas" ut bättre.



Figur 10.3: Valsridåmaskin, principskiss, [152].



Figur 10.4: Valslackeringsmaskin, [152].

Ibland kan man också applicera lack även på undersidan men då måste den efterkommande transportbanan bestå av s.k. taggvalsar eller knivrullar så att inte lackskiktet skadas.

Det finns också valslackmaskiner där appliceringsvalsens går något långsammare än godset och lackskiktet blir därför något glättat. Med denna metod kan tjockare lager föras på utan att s.k. rillmönster uppstår. Rillor är det mönster som finns ”inpräglad” på appliceringsvalsens.

Ytterligare en annan typ av valslackmaskin använder ett s.k. reversibelt förfarande där appliceringsvalsens snurrar åt motsatt håll i förhållande till godset. Här krävs största precision på detaljernas ytfinitet men fördelen är att tjocka lager kan läggas på, c:a 80 g/m<sup>2</sup>. Det finns också doservalsar som har små gropar inetsade i valsens. Endast den lack som finns i groparna kan då passera valsarna och appliceras på möbeldetaljen.

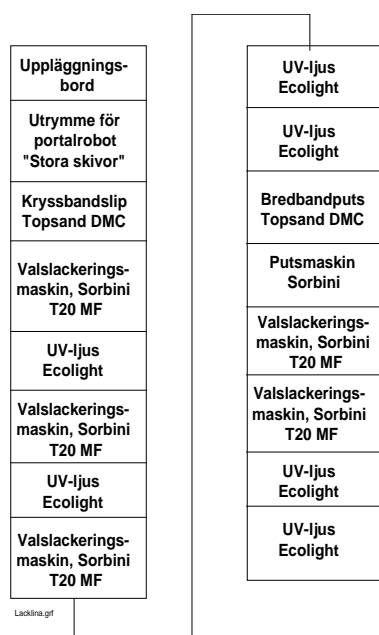
Med valslackeringsmaskiner kan man lägga på mycket tunna skikt c:a 25 g/m<sup>2</sup>. Om UV-härdande lacker används ger detta samma resultat som om 100-120 g/m<sup>2</sup> syrahärdande lack, och ridålackering, skulle användas. Detta beror på att UV-lackerna har högre torrhalt och viskositet samt att i stort sett all lack som appli-

ceras blir kvar på produkten. Vid ridålackering består ju en stor del av lacken av lösningsmedel som avdunstar.

Ytterligare en typ av valsackeringsmaskiner är den s.k. valsbetsmaskinen. Appliceringsvalsen är här försedd med s.k. svampgummi, eller mossgummi. En mjuk vals avger en stor mängd bets vilket ger mörka kulörer medan en hård vals används för hårda träslag och ljusa kulörer, se [152] sid 202.

### 10.8.6 Lacklinor

Vid industriell produktion av planmöbler sker lackeringen så gott som alltid i s.k. lacklinor. I figur 10.5 återfinnes en sådan där man använder UV-ljus för att härda lacken. Denna anläggning är levererad 1995 av AB Sigfrid Stenberg i



Figur 10.5: UV-lacklina vid AB Åtvidabergs Industrier, installerad 1996.

Nässjö. Detta innebär att endast vissa apparattillverkare finns representerade i anläggningen. Det har dock känts angeläget att visa i detalj hur linan är uppbyggd och därför förekommer produktnamn m.m. här. Andra leverantörer har ett annat produktsortiment. Linan börjar med en transportbana, Cefla, försedd med en matta med underliggande rullar som möbeldetaljerna vilar på. Denna fungerar som ett uppläggningsbord med magasininmatning och meningen är att man skall kunna stapla ämnen till en höjd av två till tre dm vilka sedan skjuts in

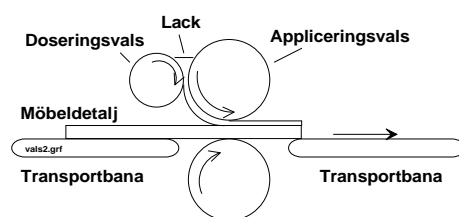
i linan av den underliggande mattan i en lämplig takt genom maskinerna. Efter uppläggningsbordet finns ett utrymme som skall användas för en s.k. portalrobot vilken används för att lyfta in stora skivor från ett mindre lager bredvid lacklinan.

Skivorna måste sedan slipas så att de får en lämplig ytfinhet och planhet. Detta utförs i en s.k. kryssbandslip vilken består av en horisontalbandslip, där bandet är tvärgående, och en bredbandputs, där banden är längsgående. Maskinerna är sammanbyggda till en enhet, Topsand 135/M3, vilken tillverkas i Italien. Horisontalbandslipen behöver inte alltid vara i funktion beroende på vilken typ av skivor som ska lackeras. Apparaten är försedd med s.k. tryckskor, typ Epics, indelade i 48 sektioner så att även inte helt plana detaljer kan slipas. Trycket på skorna regleras med hjälp av tryckluft och en mindre dator. Varje sko har bredden 27 mm. Härfter kommer ett av de två bredbandputsaggregaten, det första försett med en slipvals, typ RLT. Slipvalsens är spiralfräst i 45 graders vinkel och har en hårdhet om 45 Shore. Det andra bredbandputsaggregatet är också försett med slipskor av typen Epics. Maskinen har också en vacuummatta så att möbeldetaljerna ligger fast under slipningen. Slipbanden är avsedda för slipning av fanér. Det första brukar ha 100 korn per in<sup>2</sup>, det andra 120 och det tredje 150 korn per kvadrattum. Tre andra tillverkare av bredbandputsar är Heesemann (Tyskland) vilka säljs av Tomas Frick AB, Tagliabue (Italien) Jon Stenberg AB och Boere (Holland).

Efter slipningen måste viss rengöring ske varför en s.k. renborstningsenhet, borstkvalitet Tampico, och en turborenbörstningsenhet finns installerad.

Mellan maskinerna finns rullbanor placerade men dessa nämns inte fortsättningsvis. Efter putsning och rengöring kommer själva lackeringen. Det lackmaterial som används är en 100 % acrylat-UV, dvs inget lösningsmedel finns i lacken. Den innehåller endast monomerer och fotoinitatorer som binds samman till ett hårt lackskikt. Lacktypen i detta fall kommer från Beckers.

Här används en valsackeringsmaskin av typen Sorbini T-20-MF-1400, där talet 1400 anger bredden på apparaten. Apparaten har två valsar eller rullar som ligger mycket nära varandra. Den första valsens, som kallas doseringsvals har diametern 174 mm medan den andra valsens, appliceringsvalsens har en diameter om 250 mm. Modellbeteckningen "F" innebär att doseringsvalsens kan köras reversibelt. Mellan valsarna kan lack hällas i ovanifrån och ett tunt lacklager fastnar därvid på den senare valsens. Denna har dessutom kontakt med möbeldetaljen som skall lackeras varför lacken "smetar av sig" där. Varje vals är dessutom försedd med var sin rakel som skrapar av den lack som inte används. Raklarna smetar dessutom ut lacken på valsarna så att skikten blir tunna och jämna. Appliceringsvalsens har en hårdhet om 50 Shore varför den inte är helt stum. Doseringsvalsens roterar i detta fall åt samma håll som appliceringsvalsens men i andra maskiner kan riktningarna vara motsatta. Metoden innebär att lacken "rullas" på detaljerna, se figur 10.6. Lacken pumpas upp från en "lackhink" till maskinen med hjälp av en s.k. dubbel membranpump och överskottet mellan valsarna leds tillbaka ner till pumpen. En fördel med membranpumpar är att ingen luft piskas in i lacken vilket kan ge ett



Figur 10.6: Valsackeringsmaskin hos Åtvidabergs Industrier AB.

undermåligt slutresultat. De lackeringsmaskiner som säljs via Jon Stenberg AB heter Bürkle vilka tillverkas i Tyskland.

Lacken måste sedan härda. I detta fall används UV-härdande lack och därför belyses möbeldetaljen i en s.k. UV-ugn, typ Cefla Ecolight TLF-M-1-TTE 2500-RU, där 2500 anger apparatens längd. RU innebär att transportören är avskärmd så att UV-ljuset ej når golvet. Här används en UV-lampa med en effekt om 13.7 kW vilket ger en ljuseffekt om 100 W/cm<sup>2</sup>. Som synes produceras en avsevärd mängd värme här varför apparaten måste kylas med hjälp av en fläkt som blåser 900 m<sup>3</sup> luft per timma genom maskinen. UV-lamporna får inte bli för varma vilket även gäller fanären på skivorna som skall lackeras. Luftströmmen transporterar också bort det ozon som bildas. Superfici i Italien har motsvarande apparater.

En ny omgång lack skall nu appliceras varför möbeldetaljen passerar ytterligare en valsackeringsmaskin av samma typ som ovan. Detta lager härdas sedan i en UV-ugn med två lampor med en sammanlagd effekt om 27.4 kW. I många fall sker ingen fullständig härdning mellan valsackeringsmaskinerna. I stället talar man om att lacken gellar. Kylningen måste därför också förstärkas, nu till 1800 m<sup>3</sup> luft per timma. Detaljerna passerar sedan ytterligare en valsackeringsmaskin med efterföljande härdning i en UV-ugn av typen Cefla TLF MB3-TTE-3000. Denna har tre lampor med en sammanlagd effekt om 41.1 kW och ett kylbehov av 3300 m<sup>3</sup> luft per timma.

Nu vidtar slipning av lackskiktet och en bredbandputs av typen Topsand 135/M2 passeras. Här finns inget krysslipaggregat utan det första aggregatet, typ RSE, är utrustat med en mjuk slipvals med hårdheten 30 Shore. Maskinen har ett luftbehov av 5440 m<sup>3</sup>/timma vilket ger en lufthastighet om 22 m/s. Detta för att slipdamm m.m. skall kunna avlägsnas. Det andra aggregatet har en slipskoenhet, typ PE2, med 48 sektioner. Även här används luft för borttransport av slipdamm, 3420 m<sup>3</sup>/timma. Efter denna apparat kommer en s.k. borst- och joniseringsmaskin, typ Sorbini VS- 32-B. Apparaten tar bort den eventuella statiska elektricitet som ofta bildas vid lackslipning. Här sker renblåsning med hjälp av tryckluft. Slipbanden är här av typen 400 till 500 korn per in<sup>2</sup>. Det slipdamm som bildas transporterar till ett separat filter.

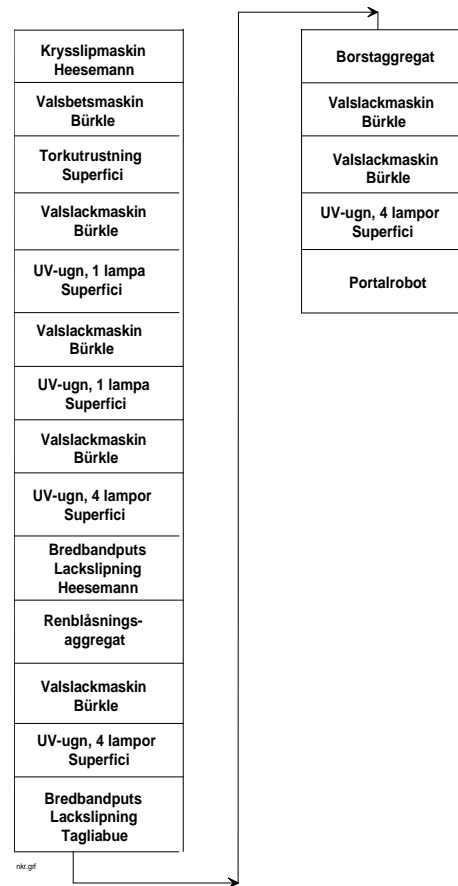
Efter slipning och putsning skall sedan ett dubbelt lager lack appliceras. Detta sker i en maskin med två valsmaskiner omedelbart efter varandra, typ Sorbini

T-20-2 MF. Då nu ett extra tjockt lager applicerats måste en UV-ugn med 4 lampor tillgripas. Ugnen har beteckningen Cefla TLF MB-4-TTE-3500-RE-SCL. Lampeffekten uppgår till 54.8 kW och kylningen kräver 4400 m<sup>3</sup> luft per timma. Härfter återstår endast en 5.4 m lång transportbana där godset kan plockas bort. Till anläggningen hör dessutom ett s.k. skruvfilter med en filteryta på 180 m<sup>2</sup> och en kapacitet om 25000 m<sup>3</sup> luft per timma. Fläktmotorns effekt är 37 kW.

Totalt för lacklinan åtgår en eleffekt av 219 kW, = 30 moderna villor, och c:a 60000 m<sup>3</sup> luft per timma. Effekten som krävs för att transportera denna luft är inte inkluderad. Dessutom används redan uppvärmd luft som transporteras genom de olika systemen. Till anläggningen hör dessutom värmeväxlare som överför värme från den utgående luftströmmen.

Den tryckluft som används är endast påkopplad då det behövs. När inget material finns i maskinerna stoppas därför renblåsningen.

Uppgifterna om lacklinan ovan kommer från Lars Melhager vid AB Sigfrid Stenberg samt material från maskintillverkarna. Ett annat exempel på en lacklinas från NKR i Tranås, som hör till European Furniture Group, EFG, se figur 10.7 Principen för själva ytlackeringen är här densamma men linan har kompletterats med utrustning för betsning.



Figur 10.7: Bets och lacklina på NKR i Tranås.

# Kapitel 11

## Energianvändning inom snickeriindustrin

M4↓

Energianvändningen inom sågverks-, snickeri- och trämanufaktursidan har länge varit ett försummat kapitel. Någon vetenskaplig litteratur inom området synes inte ha publicerats alls mellan januari 1993 och 1998 då vi började undersöka förhållandena inom trätekniken. En energisparhandbok publicerades dock 1982 ur vilken en del av nedanstående text är hämtad, [155]. Till trävaruindustrin räknades då följande näringsgrenar:

- Sågverk
- Hyvlerier
- Träimpregneringsverk
- Monteringsfärdiga hus
- Byggnads- och inredningssnickeri
- Fanér-, kryssfanér- och lamellindustri
- Spånskiveindustri
- Träförpackningsindustri
- Övrig trävaruindustri

Den totala energianvändningen i branschen är svår att uppskatta då ju företagen själva, i form av bark, spån o.s.v., producerar en stor del av de bränslen som används. Man bedömde dock nyttjandet till c:a 8.3 TWh per år vilket var 5 % av hela den tillverkande industrins energianvändning. Som en jämförelse kan nämnas att elanvändningen i småhussektorn uppgick till ungefär samma storlek, se [156]



Apparat, process	El	Bränsle
Satstork	1.8	23.1
Ventilation	2.6	16.8
Spåntransport	3.1	-
Belysning	1.5	-
Bearbetande maskiner	5.1	-
Övrigt	4.2	-
Pannförluster	-	25.7
Lokalkomfort	-	16.1
Summa	18.3	81.7

Tabell 11.1: Energianvändning för ett företag som tillverkar massivträ möbler, främst sängar. Total energianvändning c:a 1 835 MWh per år. Siffrorna i tabellen avser procentuell fördelning.

sidan 44. Av dessa 8.3 TWh var då 3.9 TWh köpt energi medan 4.4 TWh var eget bränsle. Inte mindre än 55 % av den inköpta energin och 68 % av det egna bränslet användes inom sektorn sågverk - hyvlerier. Bygg- och inredningssnickeri använde 315 GWh och trä Möbelvarusektorn 491 GWh per år av den inköpta energin, troligen då främst el. Av det egna bränslet var 70 - 90 % såg- och hyvelspån medan hack- och tuggflis svarade för c:a 20 % i dessa två sektorer.

I [155] undersöktes fyra företag närmare, varav ett tillverkade massivträ möbler och en annat planmöbler. Energianvändningen, uppspaltad på några processer, framgår av tabell 11.1, som avser tillverkning av c:a 23000 sängar med hjälp av 32 anställda, och tabell 11.2, som avser tillverkning av 250 000 hurtsar, byråer hyllor m.m. m.h.a. 60 anställda.

Utrustningen i företaget angavs som sju sågar, nio fräs- och bormaskiner, tre hyvlar, sex putsmaskiner, ridålackering, två sprutboxar samt två fastbränslepannor. Man noterade att 46 % av elanvändningen användes till olika fläktar. För planmöbeltillverkaren redovisades följande utrustning: Formatsåg, limpress, kantautomat, bormaskin, centrumtapp, bredbandputs, kantslip, betsmaskin och torklinje, ridålack och vagutork, tre sprutboxar samt diverse putsmaskiner för ytbehandlingen. Av den inköpta elenergin användes 45 % till maskiner och motorer, 24 % till fläktar och 9 % till belysning. I detta senare företag utgjorde oljeanvändningen 28.5 % av den totala energianvändningen. Troligen har oljeanvändningen minskat högst avsevärt under några år p.g.a. de kraftiga prisstegringar som skedde men då företagen idag, 1999, inte behöver betala någon energiskatt för oljan kan användningen av detta bränsle förväntas stiga igen. Oljan användes främst till lokalkomfort, torkning och limpressning.

Enligt [155] kan man betrakta träbränslen med en fuktkvot lägre än 25 % som torra. Detta innebär att de inte fryser samman eller 'bränner ihop' i lagringssilon.

Apparat, process	El	Bränsle
Limpres	0.6	6.3
Putsmaskiner	2.0	2.7
Spåntransport	2.6	1.0
Belysning	1.6	-
Luftkompressor	2.4	-
Torkar, ytbehandling	0.5	9.2
Övriga fläktar	1.3	-
Bearbetande maskiner	3.2	-
Oidentifierat	4.1	25.4
Pannförluster	-	16.0
Lokalkomfort	-	21.1
Summa	18.3	81.7

Tabell 11.2: Energianvändning för planmöbeltillverkare med en total energi-användning om 5 325 MWh/år. Siffrorna i tabellen avser %.

Man kan dessutom elda upp bränslet direkt utan ytterligare åtgärder. I silons botten har man ofta en s.k. karusellskruv som matar spånorna till silons mitt. Här tar en annan skruv vid, som i sin tur matar bränslet till stokerskruven på pannan. Den senare skruven matar in bränslet i eldstaden antingen i retorten, en gryta i slutet på stoken, eller på en rosteryta runt om denna. Retorten är försedd med lufthål som i sin tur är förbundna med en fläkt. Man tillför dessutom s.k. sekundärluft i mitten av flammen för att få en bättre förbränning. Mängden sekundärluft ställs vanligen in manuellt så att inte röken är svart, vilket vittnar om dålig förbränning. Äldre anläggningar har ingen rökgasfläkt vilket innebär att dessa oftast inte klarar de hårdare kraven på stoftutsläpp. För att rena rökgaserna används ofta s.k. cykloner där stoftpartiklarna kan separeras och ledas bort till en täckt container. Eldning av fuktigt bränsle, som måste ske i sågverk m.fl. industrier, kräver mera omfattande anläggningar. Dessa beskrivs dock inte här.

I trämanufakturindustrin utnyttjas endast en bråkdel av elenergin för egentlig tillverkning. Man har funnit att medeleffektuttaget endast ökar med 20% om något verkligen produceras i maskinerna. De flesta apparaterna går således på tomgång eller har intet med själva tillverkningen att göra. Många apparater är också kraftigt överdimensionerade d.v.s. man utnyttjar inte alls maskinen upp till dess märkeffekt. Detta för med sig stora olägenheter vad det gäller den s.k. effektfaktorn, se det följande, förutom att maskinerna kostar onödigt mycket pengar i inköp.

En stor del av energianvändningen åtgår vid torkning av virke. I trämanufakturindustrin används nästan enbart s.k. kammartorkar vilka också kallas satstorkar. Ungefär 300 kWh/m<sup>3</sup> åtgår vid sågverkstorkning medan 75 kWh per m<sup>3</sup>

virke används vid torkning av gran och furu inom snickeri- och möbelindustrin. De senare industrierna köper ju i regel redan i viss mån torkat virke. Totalt för hela Sverige används 3.0 TWh vid sågverkstorkning och ungefär 0.6 TWh vid torkning inom trämanufakturindustrin. Man talar också om specifik energianvändning i trätorkningssammanhang. Denna term är ett mått på hur många kWh energi som åtgår, inklusive fläktenergi, för att från ett virkesparti avdunsta en viss mängd vatten. Vid + 5 °C utetemperatur anges denna till c:a 1.2 och vid - 20 °C till 1.5 kWh/kg H<sub>2</sub>O under förutsättning att ingen värmeväxlare är installerad. Siffrorna gäller dessutom för sågverkstorkning från en medelfuktkvot på 85 % till en kvot på 18 %.

En annan stor post vad gäller energianvändningen är spåntransportsystemet. I [155] anges att spånbildningstiden är mycket kort jämfört med drifttiden för spånsugsutrustningen. C:a 85 % av tiden är därför luftflödet onyttigt. Man noterar också att fläkten oftast är placerad före filteranläggningen varför fläkten måste passeras av grova partiklar. Detta innebär samtidigt att ett fläkthjul med låg verkningsgrad måste väljas. Om fläkten placeras efter filtret skulle man således kunna välja en fläkt med högre verkningsgrad. Omkring 0.4 kg spån kan transporteras i varje m<sup>3</sup> luft. Det är ju dessutom viktigt att luften har en viss hastighet så att inte spånet 'sedimenterar' i rören. Omkring 25 m/s används i referensen. Några punkter att tänka på är:

- Spåntransportsystemet borde vara igång endast då spån behöver transporteras.
- Återföringen av filtrerad luft borde ske till den spånalstrande maskinens kapsling och inte till lokalen
- Huvarnas utformning kan innebära att klenare ledningar kan användas, vilket ger billigare och smidigare rördragnings och högre lufthastighet.

Ytbehandling med värmehärdande lacker, limning m.m. är också stora energianvändare. Genom att isolera apparaterna med mineralull eller bygga in dem helt och hållet kan man många gånger få ner energianvändningen avsevärt, se [155] för mera detaljerade exempel.

## 11.1 Några exempel från verkligheten

Vid Tekniska högskolan i Linköping, avdelning Energisystem, finns stor erfarenhet av olika industriella processer. Efter det att ämnesområdet Träteknik startade har därför intresset ökat för energianvändningen i just denna bransch. Genom finansiering från ARBIO, Länsstyrelsen i Kalmar och EU mål 5b, har ett antal projekt startats för att ge fördjupad kunskap om hur mycket, och till vad, energin används. Inte minst viktigt har varit att få vetskap om de kostnader som är

förknippade med denna energianvändning och framför allt hur dessa kostnader skall minskas. Nedan följer en redovisning av några sådana projekt.

### 11.1.1 Rydsnäs snickerifabrik AB

Under våren 1994 påbörjades ett mindre forskningsprojekt vid Rydsnäs snickerifabrik AB i Ydre kommun. Tidigare ägdes företaget av Borohus men i samband med dettas konkurs övertogs fabriken av två privatpersoner. Tyvärr kom även detta företag på obestånd och numera finns ett tredje företag, Rydsnäs Möbler AB, i lokalerna. Rydsnäs Snickerifabrik bestod av två delar. I en äldre del tillverkades trappor i trä vilka i huvudsak gick på export till Tyskland medan man i en nyare del tillverkade innertaksskivor till framför allt småhussektorn. Då denna bransch var i ett mycket ansträngt läge stod denna senare produktionsdel stilla stora delar av tiden. Forskningsprojektet gick ut på att studera energi-användningen i fabriken vilket i sin tur skulle kunna ge uppslag till åtgärder som sänkte fabrikörens totala kostnader. Då vi inte hade närmare kännedom om vare sig fabrik eller processer syntes det lämpligt att påbörja mätningarna med totalanvändningen av el. Detta då en elmätare redan fanns installerad av elleverantören. Det visade sig att elmätaren var förhållandevis modern vilket innebär att den var försedd med en s.k. pulsutgång. Detta är mycket praktiskt då mätvärdena lämpligen samlas in med hjälp av en mindre dator. För äldre elmätare kan man ibland optiskt lyckas avläsa den markering som finns på den skiva som roterar inuti elmätaren. Den apparat vi använt för mätvärdesinsamling är specialkonstruerad vid högskolan och används för att räkna antalet pulser under ett visst tidsintervall. Apparaten är i detalj beskriven i [157]. Kortast möjliga intervall är tio minuter varför detta avgör upplösningen på mätserien. Antalet pulser lagras sedan i minneskretsar i apparaten. Tyvärr kan inte hur många intervall som helst lagras vilket innebär att redan tidigare lagrade värden kan bli överskrivna om man inte tömmer apparaten med viss regelbundenhet. För denna tömning används lämpligen en bärbar persondator.

De första mätvärdena härrör från 1994-03-19 och inledningen på mätserien framgår av tabell 11.3. Av tabell 11.3 framgår att den aktiva effekten kl 00.10, alltså mitt i natten, var 8.7 kW. Den reaktiva effekten uppmättes samtidigt till 0.3 kW. Här kan det kanske vara på sin plats att nämna några ord om aktiv och reaktiv effekt. En växelström som belastar en helt resistiv last, t.ex. ett elektriskt värmeelement har ström och spänning i fas. Effekten kan då beräknas genom att multiplicera strömmens och spänningens effektivvärden med varandra. Om en induktiv, eller kapacitiv, last införs kommer spänningen att vara fasförskjuten en viss vinkel,  $\varphi$ , från strömmen. För att få rätt värde på den aktiva effekten måste man därför multiplicera värdet ovan med cosinus för denna vinkel:

$$P = U \times I \times \cos\varphi$$

Samtidigt kommer en s.k. reaktiv effekt att uppträda. Värdet på denna erhålles

Klockan	Aktiv	Reaktiv	Klockan	Aktiv	Reaktiv
00.10	8.7	0.3	01.40	9.9	0.3
00.20	7.5	0.0	01.50	11.4	1.5
00.30	11.1	0.9	02.00	8.4	0.0
00.40	7.5	0.0	02.10	7.8	0.0
00.50	9.3	1.5	02.20	8.4	0.0
01.00	10.5	1.2	02.30	8.7	0.3
01.10	8.1	0.0	02.40	10.8	1.5
01.20	9.9	0.6	02.50	8.10	0.0
01.30	7.8	0.0	03.00	8.7	0.0

Tabell 11.3: Mätvärden på den totala aktiva och reaktiva effekten i kW vid Rydsnäs snickerifabrik AB, 1994-03-19 kl 00.10 - 03.00.

genom att i stället multiplicera med sinus för vinkeln. Vanliga elmotorer innehåller ju lindad koppartråd i form av spolar. Dessa ger således en induktiv last och man kommer att erhålla både en aktiv och en reaktiv effekt. Den aktiva effekten är den man har nytta av medan den reaktiva endast belastar elnätet. Elleverantören måste bygga ut sina kablar så att den ström som behövs kan överföras, se [158], utan att kablar m.m. blir för varma. Den reaktiva effekten bidrar till denna ström varför elleverantören vill ha så låg reaktiv effekt som möjligt. I en vanlig elmätare för hushållsabonnemang mäts endast den aktiva effekten upp vilket ligger till grund för debiteringen men vid industrier kontrolleras också den reaktiva. Om abonnenten har en hög reaktiv effekt, vilket är fallet i många industrier, måste mera ström än vad som motsvarar den aktiva effekten föras över. Abonnenten betalar således inte för strömmen fullt ut vilket naturligtvis elleverantören tycker är oskäligt. Därför brukar leveransvillkoren innehålla en straffklausul som träder ikraft om den reaktiva effekten överstiger ett visst belopp. Den reaktiva effekten mäts därför upp kontinuerligt.

Tidigare hade varje elleverantör koncession på att leverera elkraft inom ett visst område. Elleverantören i Rydsnäs hette Smålands Kraft AB. Fabriken hade ett elabonnemang på 380 V med en maximal effekt om 200 kW för år 1993. Avgifterna bestod dels av en fast avgift om 8000 kr per år och dels av en effektagift på 430 kr per kW och år. Man hade sedan en differentierad energiavgift, som mellan oktober till april uppgick till 41.5 öre per kWh mellan kl 0600 - 2200 på vardagarna. På lördagar och söndagar samt mellan 2200-0600 hade man en avgift om 30.8 öre per kWh. Sommarmånaderna maj till september måste man betala 21.5 öre/kWh. Priset avser kostnaden exklusive elskatt och moms men de flesta industrikunderna betalar dock inte längre någon elskatt och moms men de får man ju 'dra av'. Effektagiften beräknades för medelvärdet av årets fyra högsta månadsvärden för uttagen medeleffekt per timma, dock lägst 60 % av den abon-

Klockan	Aktiv	Reaktiv	Klockan	Aktiv	Reaktiv
06.10	9.6	0.6	08.10	55.5	57.3
06.20	10.8	0.6	08.20	57.3	45.9
06.30	10.5	0.0	08.30	54.6	38.1
06.40	10.2	0.0	08.40	57.0	45.6
06.50	12.3	0.3	08.50	54.0	40.8
07.00	34.8	17.7	09.00	56.7	43.5
07.10	49.5	32.1	09.10	57.3	42.3
07.20	54.6	42.3	09.20	54.3	39.6
07.30	57.9	47.4	09.30	52.5	38.4
07.40	55.5	43.5	09.40	27.0	7.2
07.50	54.3	41.0	09.50	26.7	9.0
08.00	57.6	47.4	10.00	21.6	2.1

Tabell 11.4: Mätvärden på den totala aktiva och reaktiva effekten i kW vid Rydsnäs snickerifabrik AB, 1994-03-21 kl 06.10 - 10.00.

nerade effekten. Man fick högst ta med ett värde under maj till augusti. Om man dessutom översteg den abonnerade effekten måste man betala förhöjd avgift. Man fick vidare utan avgift ta ut en reaktiv effekt som uppgår till 50 % av medelvärdet av den aktiva effekten. Tog man ut mera måste man betala 100 kr/kVAr. Den reaktiva effekten beräknades som medelvärdet av årets fyra högsta uttag per timma.

I tabell 11.3 ser man att medeleffekten den första timman låg på 9.1 kW och således blev energimängden som användes 9.1 kWh vilket innebar en kostnad om c:a 2 kr och 80 öre. Detta kan synas vara ett försumbart belopp. Vi ser dock att kostnaden uppkommit mitt i natten en lördag. Om det är en apparat som står på helt i onödan under hela året får man en kostnad om kanske 30000 kr/år, elektriciteten är ju dyrare under vardagarna, vilken summa kanske kan användas bättre.

Än intressantare är kanske att studera elanvändningen under vardagarna. Detta innebär att morgonen den 21 mars är lämpligare som studieobjekt. I tabell 11.4 framgår elanvändningen fyra timmar från kl 0610. Man ser att elanvändningen är ungefär densamma som under helgen fram till c:a kl 0650 då den börjar stiga. Från klockan 0720 och fram till 0930 utnyttjas c:a 55 kW aktiv effekt. Samtidigt har den reaktiva effekten ökat än kraftigare, från 0 till ungefär 45 kW. Det reaktiva effektuttaget är således i stort sett lika högt som det aktiva vilket innebär en risk för ökade kostnader för elleveransen. Det skall nämnas här att fabriken var utrustad med ett sk kondensatorbatteri för faskompensering men detta har tydligen inte tillräcklig kapacitans. Vid 0930 sjunker återigen elanvändningen men alla apparater stängdes tydligen inte av, varför omkring 25 kW fortfarande utnyttja-

des. Den reaktiva effekten sjunker dock högst avsevärt vilket troligen innebär att andelen motorer som är igång sjunkit betydligt.

Det är ju naturligtvis också intressant att försöka få en mera detaljerad bild av vart elenergin egentligen används. Vi har därför också mätt upp en del dellaster bl.a. ett modulfilter till en sprutlackeringsanläggning, en spånsugsanläggning samt en äldre del av fabriken som matas för sig. Vid mätning av sådana elaster finns normalt inga elmätare redan anslutna. Den effekt som skall mätas kanske dessutom är för stor för vanliga elmätare. Man måste därför använda s.k. strömtransformatorer som levererar en lägre ström än den som passerar i den ledning som skall mätas. En strömtransformator är helt enkelt en ringformad transformator som placeras runt den ledare vars ström skall mätas. För trefasledare krävs därför tre stycken strömtransformatorer som sedan i sin tur kopplas till en elmätare. Det antal pulser som registreras måste sedan multipliceras med ett lämpligt värde för att avläsningarna på elmätaren skall bli rätt. En ytterligare fördel med strömtransformatorerna är att dessa inte behöver kopplas in på nätet direkt vilket minskar faran för olycksfall. Tyvärr måste dock ledaren passera igenom transformatorn vilket innebär att strömmen måste brytas åtminstone en kortare stund. Vid kortare strömmätningar kan man använda en s.k. tångamperemeter. Det finns även möjligheter att mäta effekten samt fasvridningen direkt m.h.a. tänger. **Notera att man som lekman måste ha med sig en behörig elektriker även för mindre ingrepp i elanläggningarna.**

I tabell 11.5 återfinnes elanvändningen 1994-04-12 kl 0510 - kl 1000. Där framgår liksom tidigare, att alla anläggningar inte är avstängda nattetid. Den reaktiva effekten under natten är dock noll vilket innebär att det borde vara rent resistiva laster. Den huvudsakliga elanvändningen kommer från den gamla snickerifabriken, se värdena från klockan 05.30. Vi ser också att de tre laster som mäts via strömtransformatorerna har en dålig upplösning, lasten ökar och minskar i stora steg. Under den angivna tiominutersperioden registrerades endast en puls. De transformatorer vi använt för modulfilter och spånsug transformerar ner strömmen 40 gånger. De elmätare vi använde snurrar 750 varv per kWh, men 50 pulser genereras för samma energimängd. En puls motsvarar därför 0.02 kWh eller med hänsyn tagen till transformatorerna 0.8 kWh. Mätningarna registrerar antalet pulser under en tiominutersperiod. Om lasten är helt konstant skulle vi således erhålla sex pulser under en timma eller 4.8 kWh. Lasten beräknas därför till 4.8 kW. När det gäller mätningarna av den gamla snickerifabriken var vi tvungna att använda större transformatorer p.g.a. kablarnas tjocklek. Dessa transformerar ner strömmen 60 gånger och varje puls motsvarar därför en energimängd om 1.2 kWh eller en effekt om 7.2 kW, se tabell 11.5. Vi ser att den reaktiva effekten är mycket låg nattetid men att den stiger kraftigt vid sextiden på morgonen då ett antal maskiner startas. Motsvarande ökning står dock inte att finna i vare sig den gamla snickerifabriken eller i modulfilter eller spånsug. I dagsläget är det därför oklart vad som orsakar det kraftiga reaktiva effektuttaget. Omkring kl 0900 stängs några maskiner av vilket ånyo gör att den reaktiva

Klockan	Aktiv	Reaktiv	Modulfilter	Snickerifabrik	Spånsug
05.10	15.0	0.0	0.0	14.4	0.0
05.20	10.8	0.0	0.0	7.2	4.8
05.30	14.7	0.0	0.0	14.4	0.0
05.40	15.0	0.0	0.0	14.4	0.0
05.50	19.5	4.5	0.0	14.4	0.0
06.00	39.9	20.4	0.0	21.6	0.0
06.10	50.4	39.0	4.8	36.0	0.0
06.20	53.4	35.4	4.8	36.0	0.0
06.30	48.6	29.4	4.8	28.8	0.0
06.40	53.7	35.4	4.8	43.2	0.0
06.50	50.7	33.0	4.8	28.8	0.0
07.00	48.6	29.4	4.8	36.0	4.8
07.10	50.4	29.7	4.8	36.0	9.6
07.20	49.2	35.1	0.0	36.0	14.4
07.30	53.4	35.4	4.8	36.0	14.4
07.40	49.8	39.3	4.8	28.8	14.4
07.50	54.0	37.5	4.8	43.2	28.8
08.00	46.8	29.1	4.8	28.8	14.4
08.10	60.3	29.7	4.8	50.4	14.4
08.20	56.7	33.0	4.8	43.2	14.4
08.30	58.5	26.7	4.8	50.4	9.6
08.40	34.5	10.5	4.8	14.4	14.4
08.50	34.8	0.6	4.8	28.8	14.4
09.00	28.8	1.5	0.0	14.4	14.4
09.10	29.7	0.3	0.0	28.8	14.4
09.20	33.9	1.8	0.0	21.6	14.4
09.30	36.3	5.1	0.0	28.8	14.4
09.40	65.1	36.9	4.8	50.4	0.0
09.50	59.7	34.2	4.8	43.2	0.0
10.00	57.3	26.7	4.8	50.4	0.0

Tabell 11.5: Mätvärden på den totala aktiva och reaktiva effekten samt några dellaster i kW vid Rydsnäs snickerifabrik AB, 1994-04-12 kl 05.10 - 10.00.

effekten sjunker. Vi ser också att modulfiltret har en förhållandevis begränsad elförbrukning medan spånfläkten åtminstone delvis under dygnet svarar för 25 %.

Det är också intressant att studera hur mycket elenergi man använder under längre perioder. Av tabell 11.6 framgår energianvändningen för en vecka våren 1994. Totalt under veckan användes 3 194 kWh till en kostnad om 1 233 Kr. Till detta kommer då de fasta avgifterna, effektavgifter samt avgift avseende för högt uttag av reaktiv effekt. Av intresse är också att se om energianvändningen varierar mellan olika veckor och i så fall i vilken grad. I tabell 11.7 redovisas förhållandena under vecka 15, 1994. Antalet använda kWh uppgår för denna senare vecka till 3 756 medan kostnaden blev 1 424 Kr. Av någon anledning var det främst under låglasttid lördag och söndag som siffrorna skiljde sig åt i någon större omfattning. Ovan har två veckor undersökts där energipriset varierar mellan höglast och låglasttid. Under månaderna maj till och med september var energipriset 21.5 öre per kWh. Dessa månader innehåller 22 veckor. Multipliceras detta energipris med medelvärdet av energianvändningen ovan erhålls en kostnad för sommarveckorna om 16 436 Kr. De övriga 30 veckorna skulle kostnaden uppgå till 39 855 Kr eller en årlig kostnad om 56 292 Kr. Vi har inte hunnit mäta upp den maximala effektåtgången under ett helt år ännu. Det synes dock som om denna ligger runt 70 kW. Enligt det ovanstående är kostnaden för denna post 430 Kr/kW eller 30 100 Kr.

Den reaktiva effekten under den undersökta perioden uppgår till som mest



Dag	Datum	Högpris		Lågpris	
		kWh	Kr	kWh	Kr
Lördag	03 19	-	-	213.25	65.68
Söndag	03 20	-	-	227.30	70.00
Måndag	03 21	491.05	203.78	83.25	25.64
Tisdag	03 22	401.60	166.66	84.95	26.17
Onsdag	03 23	527.15	218.76	77.80	23.96
Torsdag	03 24	541.00	224.51	84.55	26.04
Fredag	03 25	366.95	152.28	95.50	29.41
Summa		2 327.75	965.99	866.60	266.90

Tabell 11.6: Elenergianvändning under hög- resp lågpristid en vecka i mars 1994 samt därmed förknippade elenergikostnader.

Dag	Datum	Högpris		Lågpris	
		kWh	Kr	kWh	Kr
Lördag	04 09	-	-	321.35	98.98
Söndag	04 10	-	-	336.70	103.70
Måndag	04 11	500.10	207.54	145.85	44.92
Tisdag	04 12	565.40	234.64	116.0	35.73
Onsdag	04 13	519.00	215.39	131.75	40.60
Torsdag	04 14	518.75	215.28	114.50	35.27
Fredag	04 15	396.05	164.36	90.35	27.83
Summa		2 499.30	1 037.21	1 256.50	387.03

Tabell 11.7: Elenergianvändning under hög- resp lågpristid en vecka i april 1994 samt därmed förknippade elenergikostnader.

Energiavgift	56,292
Effektavgift	30,100
Reaktiv effekt	2,800
Fast avgift	8,000
Summa	97,192

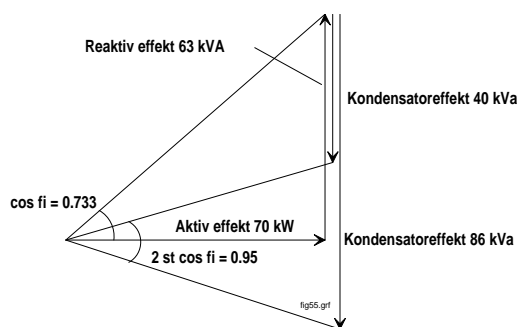
Tabell 11.8: Sammanställning av kostnader i Kr för elabonnemang, Rydsnäs Snickerifabrik AB.

63 kVAr. Då man måste betala 100 Kr/kVA för den effekt som överstiger halva den aktiva effekten, uppgår detta belopp till 2,800 Kr. Vidare tillkommer en fast avgift om 8,000 Kr per år. Följande sammanställning kan därför göras, se tabell 11.8. Jämförs tabell 11.8 med den verkliga kostnad som erlagts till Smålandskraft AB under 1993 är summan i tabellen 33,000 Kr lägre. Detta berodde på att fabriken hade ett alldeles för stort abonnemang jämfört med den kraft de verkligen gjorde av med. Effektavgiften uppgick för 1993 till inte mindre än 63 640 Kr. Ett annorlunda abonnemang skulle således spara mycket pengar. Enligt 1993 års elräkning användes 86,436 kWh elenergi för det högsta priset, 32,076 kWh för mellanpriset och 73,584 kWh för det billigaste priset. Energiavgifterna uppgick till totalt 58,836 Kr vilket kan jämföras med bedömningen i tabell 11.8.

Vi ser också att företaget skulle behöva betala 2,800 Kr för överuttag av reaktiv effekt. Genom att koppla in s.k. kondensatorbatterier kan den reaktiva effekten alstras närmare källan vilket innebär att elleverantörens ledningar inte behöver överföra denna. Ovan såg vi att den maximala effekten uppgick till c:a 70 kW medan den reaktiva effekten var omkring 63 kVAr. Detta innebär att  $\cos \varphi$  för lasten är c:a 0.74 medan man önskar att den skulle vara minst 0.95. Enligt [158], sidan 65, kan man beräkna den önskvärda kondensatoreffekten som:

$$0.95 = \frac{70.0}{\sqrt{(70.0)^2 + (63.0 + Q_c)^2}}$$

vilket innebär att  $Q_c$  skulle vara lika med 40 kVAr. För fullständighetens skull bör man notera att  $Q_c$  har två värden, - 40 och - 86. Det är dock bara värdet -40 som här är tillämpligt då man i annat fall levererar så mycket reaktiv effekt att ström och spänning byter ordningsföljd, se figur 11.1. Man bör också notera att kondensatorbatterier som kompenserar för en hel anläggning måste kopplas ur då ingen last är inkopplad. I annat fall erhålles en spänningstegring vilket innebär att den elektriska utrustningen kan gå sönder. I den undersökta snickerifabriken finns redan ett kondensatorbatteri men tydligt är att det under mätperioden var för litet. När fabriksägaren fick kännedom om förhållandena ovan beslutade han att kraftfullare kondensatorer skulle installeras. På förslag från tillverkaren, NOKIA, valdes en utökning av det befintliga batteriet med 20 kVAr vilket är något lägre än vi föreslagit ovan. Installation och batteri kostade tillsammans 5



Figur 11.1: Aktiv och reaktiv effekt vid installation av kondensatorbatteri.

Datum	Klockslag	Aktiv effekt i kW	Reaktiv effekt i kVAr
940818	07.00	20.0	9.5
	08.00	47.3	40.6
	09.00	46.9	36.8
	10.00	30.4	19.6
940819	07.00	14.5	10.9
	08.00	24.7	1.4
	09.00	43.8	23.7
	10.00	20.7	0.2

Tabell 11.9: Inverkan av extra kondensatorbatteri, Rydsnäs snickerifabrik AB.

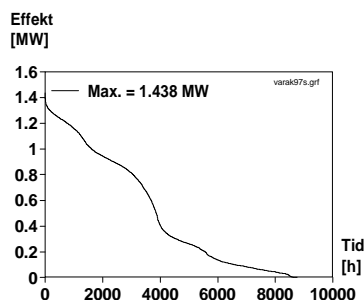
802 Kr, och betalade sig således på c:a ett och ett halvt år om bedömningarna ovan är korrekta. Den extra kapaciteten installerades den 18 augusti och enligt tabell 11.9 har åtgärden haft önskad effekt.  $\cos \varphi$  ligger därför numera, september 1994, kring 0.9 istället för som tidigare på 0.7.

### 11.1.2 Totebo AB

I exemplet från Rydsnäs Snickerifabrik AB var det tydligt att en stor del av kostnaderna för elleveranserna bestod av annat än rena energiavgifter. Om man skulle kunna minska kostnaderna måste man dels spara energi men också få ned behovet av abonnerad effekt. Svårigheten är att avgöra vilka apparater som kan stängas av under en kortare eller längre tid för att åstadkomma detta. Mycket större kunskap behövdes därför om tillverkningen vid en möbelindustri. Genom ett anslag från Länsstyrelsen i Kalmar fick vi de finansiella möjligheterna att undersöka förhållandena vid ett antal träindustrier i Kalmar län. Vårt andra exempel är därför hämtat från företaget Totebo AB som ligger i orten Totebo mellan Västervik och Vimmerby, se figur 11.2. Företaget är specialicerat på tillverkning



Figur 11.2: Totebo AB en vinterdag 1999. Foto: Stig-Inge Gustafsson.



Figur 11.3: Elanvändning vid Totebo AB under 1997.

av planmöbler och flera av vårt lands största möbelföretag är kunder där. För närvarande, april 1999, är elhandeln avreglerad vilket innebär att en träindustri kan köpa sin elenergi från många olika företag. Denna elenergi köper Totebo AB från företaget Sydkraft Elförsäljning AB. Man måste dock vara anslutet till ett kollektivt elnät och den som äger nätet är i detta fall Sydkraft Eldistribution AB. Det senare bolaget samlar in mätvärden från den elmätare som sitter i fabriken. Dessa mätvärden kan sedan företaget få ta del av. Sorteras elanvändningen upp i storleksordning erhålles ett s.k. varaktighetsdiagram, se figur 11.3, där den timvisa elanvändningen redovisas för år 1997. Man ser att den maximala effekten för år 1997 uppgått till c:a 1.4 MW. Ett sätt att spara pengar för företaget är att minska denna effektnivå. Det borde inte vara så svårt att komma under 1.3 MW, för antalet timmar som effekten överskrider denna nivå uppgår bara till kanske 25 stycken per år. Sydkraft Eldistribution AB debiterar under 1999 457 kr/kWh. Detta så länge effekten håller sig under abonnemangsgränsen och det dubbla beloppet om effekten överskrider denna. Om effekten skulle sjunka till 1.3 MW skulle således företaget spara c:a 60,000 Kr per år. Varje kWh kostar 'normalt' omkring 20 öre. Om precis rätt kWh sparas stiger beloppet till 457 kr men pro-

Månad	Högpris	Lågpris	Energi högp	Energi lågp
nr.	Kr	Kr	kWh	kWh
1	109951.7	34646.9	327237.0	120721.0
2	98654.0	28468.4	293613.0	99193.0
3	87059.9	32292.7	259107.0	112518.0
4	88074.6	34309.1	319111.0	139468.0
5	57646.3	21545.4	244264.0	91294.0
6	67757.0	22652.2	287106.0	95984.0
7	20181.3	5741.6	85514.0	24329.0
8	59865.7	20024.1	253668.0	84848.0
9	86269.3	26086.8	312570.0	106044.0
10	93995.7	29595.5	340564.0	120307.0
11	105040.6	34334.4	312621.0	119632.0
12	87889.5	31568.3	261576.0	109994.0
Summa	962,385.5	321,265.6	3,296,951.0	1,224,332.0

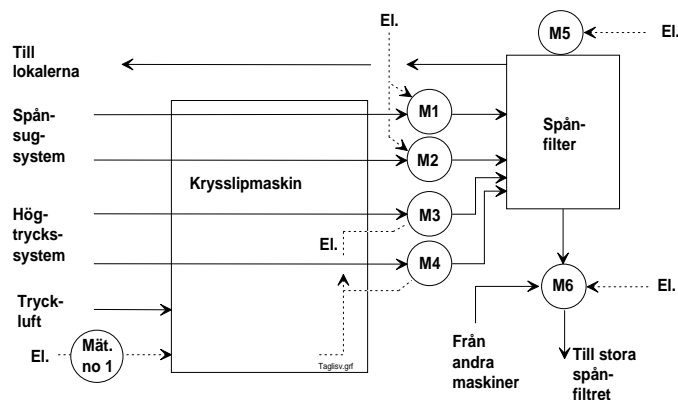
Tabell 11.10: Energimängder och kostnader i olika tidssegment för Totebo AB.

blemet är att veta när den maximala effekten kommer att uppnås och dessutom vilka apparater som man lämpligen skall stänga av för att förhindra denna toppbelastning. Eldrivna uppvärmningsprocesser går ofta att stänga av en kort stund exempelvis tappvarmvattenberedare eller virkestorkar. Svårare är att identifiera andra apparater i tillverkningen som lämpar sig att delta i en sådan laststyrningsprocess. Vid Totebo AB har vi koncentrerat oss på en av företagets processer, nämligen ytbehandlingen av sådana möbler, dvs bord, bokhyllor, hurtsar m.m. I tabell 11.10 återfinnes antalet kWh under hög- resp. lågpristid för 1997 samt de belopp som måste betalas för denna energi med den taxa som gällde 1998. Vissa förändringar har skett under 1999 vilket lett till att kostnaden minskat något. Lågpristid råder under helger samt vardagar mellan 22- 07.

Tabell 11.10 visar att ungefär 2.7 gånger så mycket energi förbrukas under högpristid som under lågpristid och att kostnaden är 3 gånger högre för den energi som förbrukas under högpristid. Detta beror till stor del på att arbetet vid Totebo sker i skift vilket innebär ett förhållandevis stort uttag av el under lågpristid. Totalt förbrukades 4,521.2 MWh. I tabell 11.11 återfinnes även de andra taxeelementen. Slår man ut den totala kostnaden på antalet kWh fås 42 öre/kWh. Totebo AB abonnerar på 1,500 kW men detta värde har inte överskridits under 1997. Det reaktiva effektuttaget får uppgå till halva detta värde innan straffavgifter tas ut men inte heller detta skedde under 1997.

Total energikostnad	1,283 kKr
Total effektkostnad, Sydkraft Elförsäljning AB	0.0 kKr
Abonnemangskostnad, vinter, Sydkraft Eldistribution AB	562.5 kKr
Abonnemangskostnad, helår, Sydkraft Eldistribution AB	48.0 kKr
Straffkostnad överuttag effekt	0.0 kKr
Avg för reaktiv effekt	0.0 kKr
Summa	1,893.5 kKr

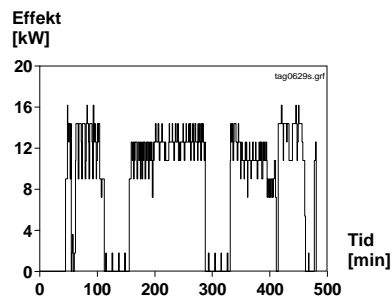
Tabell 11.11: Kostnader för Totebo AB med last enligt 1997 och taxa enligt 1998.



Figur 11.4: Schematisk bild av en krysslipmaskin, Totebo AB.

### Totebo AB, lacklina

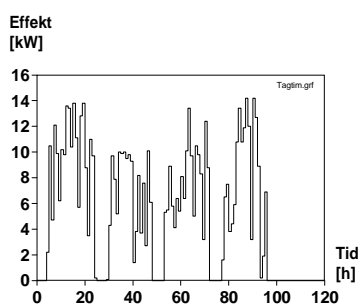
Totebo är en förhållandevis stor träindustri och därför har man två s.k. ytbehandlingslinor där driften i hög grad är automatiserad, se även kapitlet om ytbehandling. En av dessa linor har undersökts i detalj och den första maskin man stöter på är en Tagliabue krysslipmaskin, jämför med figur 10.7. I maskinen slipas skivor så att de blir plana samt så att alla skivor i en 'batch' får samma tjocklek. Slipningen innebär också att lacken fäster bättre på skivorna. I figur 11.4 återfinnes en schematisk skiss av maskinen. Elanvändningen i maskinen har uppmätts med en separat elmätare, Mät. no 1, i figur 11.4. Mätaren registrerar dock förbrukningen av el endast för själva slipmaskinen men för att allt skall fungera måste maskinen även vara kopplad till ett spånsugs- och ett tryckluftssystem. Spånsugssystemet består av plåtkanaler kopplade till ett filter. Med hjälp av två fläktar som drivs av motorerna M1 och M2 fås en kraftig luftström i kanalerna. Luftens hastighet måste vara högre än 25 m/s för att inte dammet skall 'sedimentera' i rören. Luftens hastighet måste vara högre än 25 m/s för att inte dammet skall 'sedimentera' i rören. Luftens hastighet måste vara högre än 25 m/s för att inte dammet skall 'sedimentera' i rören.



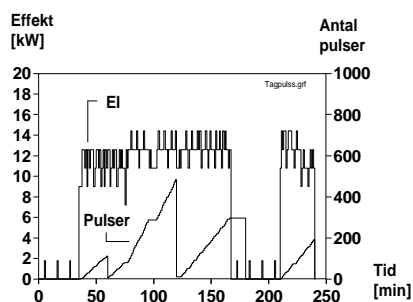
Figur 11.5: Elanvändning i en Tagliabue krysslipmaskin, 1998-06-29. Medeleffekt varje minut.

antal filterstrumpor varvid dammet frånskiljs och ramlar ner i botten på filtret. En spånkruv, som drivs av motorn M5, ser till att slipdammet transporteras till ytterligare en kanal där en fläkt, som drivs av motorn M6, finns installerad. Dammet kommer därvid att transporteras till ett stort centralt filter där ytterligare fläktar tar vid för att skicka dammet vidare till flispannan. Den filtrerade luften från första filtret förs sedan tillbaka in i fabriken för att spara värme. I och med att luften från början tas från lokalerna är den ju varm och den hinner inte kylas ned särskilt mycket under passagen av filtret även om detta består av plåt. Såväl filter som kanaler är helt oisolerade.

Motorerna M3 och M4 driver två s.k. högtrycksfläktar vilkas elanvändning ingår i mätningarna från elmätaren i figur 11.4. Fläktarna ser till att ett undertryck råder under det band som transporterar skivorna genom maskinen. Detta undertryck medför att skivorna ligger fast under slippprocessen. Den tryckluft som förbrukas används för att blåsa av damm från skivorna. Det är ju mycket viktigt att de är dammfria då de passerar lackeringsmaskinerna senare i kedjan. Tryckluften kommer från centralt placerade kompressorer men detta system har inte utretts närmare här. I figur 11.5 återfinnes mätvärden under ett antal timmar från elmätare nummer 1. Man ser av figur 11.5 att den maximala effekten uppgår till c:a 16 kW. Effekten varierar en hel del delvis beroende på belastning men även på hur vårt mätsystem registrerar användningen. Systemet lagrar elanvändningen på en dators hårddisk en gång varje minut. Ibland kanske maskinen endast har varit påslagen 10 sekunder av denna minut vilket innebär att det antal kWh som registreras blir litet även om effekten på maskinen i sig inte varierar så mycket. Det maximala effektbehovet är främst av intresse då man ska dimensionera kablar m.m. till maskinen. Notera dock att vi endast mätt upp den aktiva effekten i figur 11.5 men kablarna skall också överföra den reaktiva effekten. Det är också möjligt att studera medeleffekten under timmarna hos maskinen, se figur 11.6. Man ser då att effektnivån sjunker något från över 16 till 14 kW, jämför figur 11.5 och 11.6. Nivån varierar avsevärt mellan olika timmar och dagar vilket är



Figur 11.6: Timmedeleffekt i en Tagliabue krysslipmaskin vecka 27, 1998, Totebo AB.



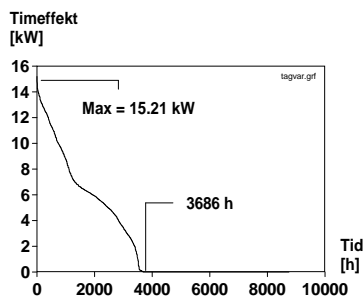
Figur 11.7: Elanvändning och samtidig registrering av arbetsstycken i en krysslipmaskin.

något förbryllande då ju maskinen trots allt är på under hela arbetsdagen. Detta föranledde oss att placera en sensor med vars hjälp vi kunde registrera antalet skivor som passerade maskinen. Det är således möjligt att undersöka vad som händer då maskinen går på tomgång och jämföra detta med värden då den är hårt belastad. I figur 11.7 visas förhållandena för den första måndagen då utrustningen började att registrera pulser, dvs 98-06-29. Figuren omfattar tiden från kl 06.00 till 10.00, medan figur 11.5 börjar redan vid midnatt. En puls registreras varje gång en ljusstråle bryts, d.v.s. varje gång en skiva passerat slipmaskinen. Om flera skivor ligger bredvid varandra kan dock antalet registreringar vara lägre än antalet skivor. Alla pulser registreras i ett minne som undersöks en gång per minut. Varje hel timma nollställs detta minne, se figuren för minut 60, 120 osv. Om kurvan är helt plan har inga registreringar skett, se minut 100 och 180. Maskinen har då troligen gått på tomgång. Det finns en 'akademisk' möjlighet att en mycket lång skiva har passerat men här antas att maskinen arbetar endast då kurvan har en markant lutning och att den går på tomgång då 'kurvan' är horisontell. Vid minut 100 finns en sådan horisontell del och en viss minskning



Motor nr.	Märkeffekt [kW]	Uppmätt effekt [kW]	$\cos\varphi$
1	22	20.0	0.87
2	22	19.9	0.91
3	9.0	5.0	0.74
4	9.0	3.4	0.61
5	1.0	0.3	0.26
6	37	15.2	0.41

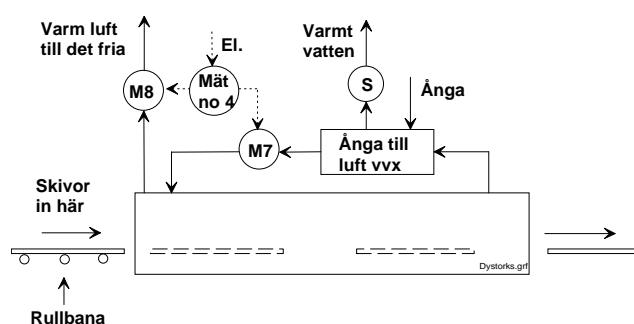
Tabell 11.12: Elanvändning hos viss kringutrustning till krysslipmaskin.



Figur 11.8: Varaktighetsdiagram för en Tagliabue krysslipmaskin.

av elförbrukningen i maskinen kan förmärkas, från c:a 12.6 till 10.8 kW. Det är således tydligt att maskinen använder i stort sett lika mycket effekt vare sig den bearbetar skivor eller ej.

I figur 11.4 finns fyra elmotorer vars elanvändning inte passerat via elmätaren. Detta beror främst på att matning sker via flera olika undercentraler. Istället har vi varit tvungna att nöja oss med ögonblicksbilder av situationen. Med hjälp av en handhållen effektmätare har förhållandena i tabell 11.12 uppmätts. Vi har också mätt upp momentaneffekten i maskinen, dvs samma som för elmätaren och fann att den var c:a 22 kW och hade ett  $\cos\varphi$  om 0.49. Mätningarna visar således att de flesta motorer som används av och kring maskinen är överdimensionerade. Den använda effekten uppgår således till 55.4 kW förutom den effekt som registreras i elmätaren. Under perioden 31 maj 1998 till 30 maj 1999 registrerades 24.3 MWh i elmätaren. I figur 11.8 återfinnes ett varaktighetsdiagram för perioden. Man ser där att maskinen varit i gång under 3686 timmar och att timmaxeffekten var 15.2 kW. Det är rimligt att anta att den övriga utrustningen kring slipmaskinen är igång samtidigt och därför likaledes används under 3686 timmar. Detta innebär att kringutrustningen använder 204 MWh per år dvs avsevärt mera än slipmaskinen själv. Totalt åtgår därför 228.5 MWh el per år för denna del av ytbehandlingen.



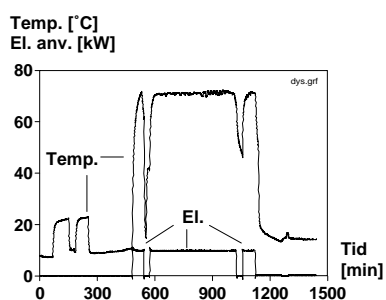
Figur 11.9: Dystork i ytbehandlingslina, Totebo AB.

En avsevärd mängd luft passerar också maskin och filter. Via fläktarna i spånsugsystemet passerar omkring  $30,000 \text{ m}^3/\text{h}$  medan högtrycksfläktarna bidrar med omkring  $2,000 \text{ m}^3/\text{h}$ . Den absoluta huvuddelen av denna luftmängd leds dock tillbaka in i fabriken igen för att spara värme. Luften, c:a  $1,700 \text{ m}^3/\text{h}$ , från filtret till den fläkt som drivs av motor nr. 6 tas utifrån, dvs här avses inte varm inomhusluft användas.

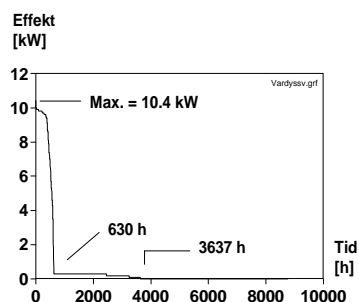
Som nämndes ovan är maskinen även ansluten till tryckluftsnätet. Mätningar ute vid varje enskild maskin är mycket svårt att genomföra varför detta inte låtit sig göras. I ett examensarbete, [159] sidan 61, har dock användningen beräknats för en annan slippmaskin. Beräkningen visade att man kunde befara en elanvändning om c:a 20 MWh per år enbart till detta ändamål. Total årlig elanvändning för krysslippmaskin med kringutrustning blir därför c:a 260 MWh.

När skivorna passerat slippmaskinen ska de ibland betsas. Detta utförs i en s.k. valsbetsmaskin. Två sådana maskiner finns placerade efter varandra, den ena för ljusa kulörer och den andra för mörka. Bägge maskinerna har tillverkats av Bürkle och de är av typerna CAL/B1300 och DAL/B1300. Mätningarna visar att elanvändningen i dessa maskiner är försumbar, endast omkring 1 MWh per år och maskin. Det finns även utsugskanaler kopplade till maskinerna men dessa var ej i bruk under vår mätperiod. Fläktarna till dessa drivs av en motor på 0.3 kW. Det kanske skall påpekas att maskinerna måste vara igång även om inga skivor betsas. I annat fall avstannar transporten genom linan. Mellan olika maskiner finns transportbanor. Alla dessa banor tillsammans har en uppmätt effekt på omkring 2 kW. Den årliga elanvändningen blir c:a 7 MWh.

Efter betsningsen måste skivorna torka. Detta måste ske snabbt varför man blåser varm luft på dem i en s.k. dystork, se figur 11.9. Luften drivs runt i torken med hjälp av en fläkt som drivs av motorn M7 i figuren. På vägen passerar den en värmeväxlare, VVX, där värme från ett ångbatteri förs över till luften. För att inte luften i torken skall bli helt mättad med vatten måste en viss mängd transporterats ut i det fria vilket sker med en fläkt driven av motorn M8. I ångbatteriet

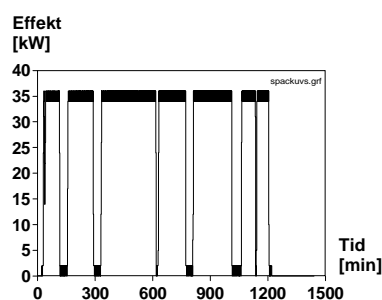


Figur 11.10: Lufttemperatur i utloppsrör från dystork samt elanvändning under en dag.



Figur 11.11: Varaktighetsdiagram för elanvändningen i en dystork.

tar man främst till vara det s.k. ångbildningsvärmets i ångan dvs ångan ska kondensera till vatten i apparaten. För att säkerställa detta har man en s.k. ångfälla, S, där vatten och luft kan passera men ångan hindras från att rusa rakt igenom värmeväxlaren. Elanvändningen i apparaten mäts av mätaren nr. 4. I figur 11.10 ser man att lufttemperaturen i torken är c:a 70 °C under full drift. När fläktarna stängs av sjunker temperaturen avsevärt i utloppsröret ibland ända ner till 10 °C. Detta beror nog på att kall uteluft kommer ner i röret 'baklänges'. Under morgontimmarna, se vänstra delen av figuren ökar temperaturen till omkring 20 °C vilket tyder på att varm inneluft passerar röret. Vad dessa strömningsförhållanden beror på känner man i dagsläget inte till. I figurerna 11.10 och 11.11 ser man att eleffekten uppgår till 10.4 kW som högst. Apparaten användes under 630 timmar som tork medan den tjänstgjorde som transportanläggning resten av drifttiden på totalt 3,637 h under ett år. Totalt under ett år användes 5,979 kWh el i torken eller c:a 6 MWh. Den stora energimängden kommer dock från ångan. Tyvärr är ångmätare besvärliga och dyra att installera i befintliga anläggningar. Någon central mätning finns inte vilket innebär att den totala användningen av ångvärme är okänd. Det fanns dock ett förhållandevis enkelt sätt att kontrol-

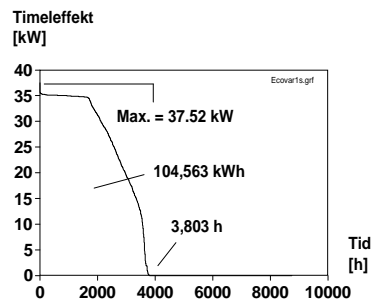


Figur 11.12: Elanvändning i tre UV-ugnar av typen Superfici.

lera energianvändningen under korta perioder just från dystorken. Turligt nog saknar röret där condensatet återleds till pannan under en lång sträcka ytterligare anslutna ångförbrukare. Detta innebär att så gott som all ånga kondenseras till vatten innan den punkt där röret anslutits till stamåterledningen. Omedelbart efter ångfällan återförångas en del av condensatet. Genom att koppla bort röret i anslutningspunkten och mäta hur mycket vatten som strömmade i röret kunde energianvändningen beräknas till c:a 33 kW. (Vattenflödet var 57 l/h och ångtemperaturen var c:a 150 °C). Tillverkaren hade angivit en effekt om c:a 70 kW så ungefär hälften av effekten utnyttjades. Årligen innebär detta att c:a 19 MWh ångvärme användes i torken.

Ytterligare en tork finns placerad efter dystorken. Det är en IRM-tork där el kan användas för att generera infrarött ljus med en våglängd om 2.3 till 3.4  $\mu\text{m}$ . Under den period som ytbehandlingslinan studerats var aldrig denna tork igång annat än som transportanläggning varför den inte behandlas utförligare här.

Skivorna passerar sedan en spackelmaskin, typ Bürkle SAS 1300. Denna maskin ser ut som en vanlig valsackeringsmaskin och har därför en i sammanhanget obetydlig elanvändning. Processen använder ett UV-härdande spackel vilket innebär att man måste bestråla skivorna med ett speciellt ultraviolett ljus. Detta åstadkoms i speciella rörformade UV-lampor med en ungefärlig elanvändning om 10 kW per meter. Till spacklingsprocessen används två sådana 1.3 m långa lampor. Den el som används kommer från en undercentral där ytterligare en sådan lampa förses med el. I figur 11.12 återfinnes därför elanvändningen i tre s.k. UV-ugnar. Figuren visar att elanvändningen är förhållandevis konstant då anläggningen är igång och att c:a 12 kW per ugn används. Ett varaktighetsdiagram för hela den studerade perioden visar att de tre ugnarna tillsammans använder 104.5 MWh el och att processen var igång under 3,803 timmar på ett år, se figur 11.13. Varje UV-ugn genererar också en avsevärd massa värme som måste kylas bort. Detta sker genom att man låter en luftström passera genom armaturen där den rörformiga lampan är installerad. Luften som används kommer från lokalerna och är därför c:a 24 °C varm. Efter ugnen är temperaturen

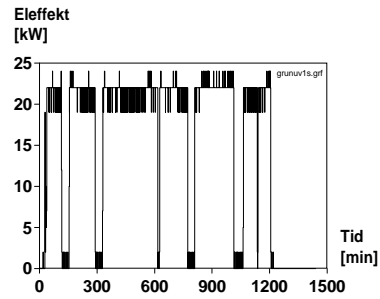


Figur 11.13: Elanvändning i tre st UV-ugnar under ett år.

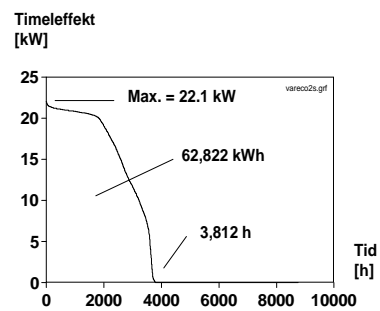
omkring 20 °C högre. Omkring 1,100 m<sup>3</sup> luft per timma leds genom varje lampa och sedan ut i det fria. Det bör noteras här att processen genererar den skadliga gasen ozon varför man inte får leda in kyl Luft i lokalerna. Omkring 70 MWh el per år används därför i spacklingsprocessen vad gäller lamporna medan c:a 8 MWh härrör från fläktarna. Varje år passerar också 8.2 Mm<sup>3</sup> varm luft som släpps ut i det fria.

Ytterligare en IRM-tork finns sedan installerad. Elbehovet är här omkring 21 kW men apparaten användes endast under 280 timmar och omkring 4.2 MWh registrerades i den anslutna elmätaren under ett år. Även denna apparat behöver kylas samtidigt som eventuella hälsovådliga ämnen måste ventileras bort. Mätningar visade att omkring 8,100 m<sup>3</sup> luft per timma leddes in i maskinen medan endast 3,200 leddes ut i det fria igen. En del av luften torde därför ledas ut i lokalerna, se trots att detta inte är meningen, se [160].

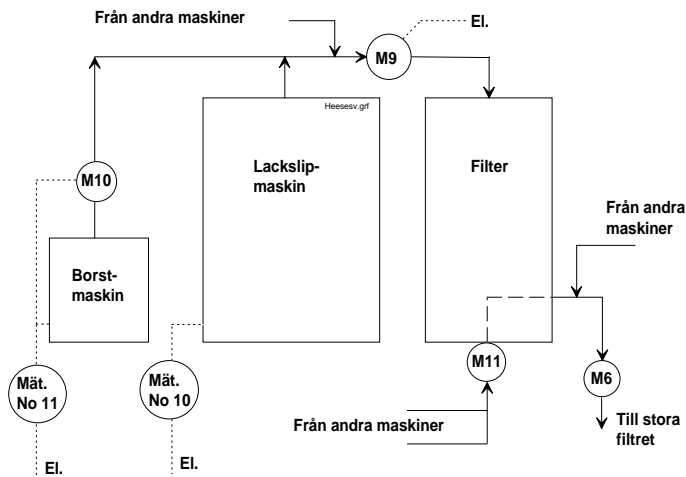
Nu vidtar den första egentliga lackeringen. Först skall grundlacken appliceras vilket sker i två steg. Man använder valsackeringsmaskiner av typen Bürkle DAL 1300 och efter den första maskinen skall lacken endast härda till en del, s.k. gelning. Gelningsen åstadkoms genom att skivorna passerar en UV-ugn. Nästa lager lack appliceras sedan som kommer att binda mycket hårt till det första och nu passerar skivorna tre UV-lampor av typen Cold Cure. UV-ljuset reflekteras här i en spegel som släpper igenom infrarött ljus. Skivorna värms därför inte upp lika mycket som skulle vara fallet utan denna spegel. Elanvändningen i dessa tre UV-ugnar framgår av figurerna 11.14 och 11.15. Elanvändningen här är inte lika hög som i de tidigare ugnarna. Det är inte klart om detta beror på att endast två ugnar användes eller om elbehovet i dessa lampor är lägre var för sig. Effekten baserad på minutvärden är omkring 25 kW medan timmedeleffekten är något lägre. Apparaterna användes 3,812 timmar under det år mätningarna pågick. Den registrerade elanvändningen uppgick till 62.8 MWh. Till processen grundlackering hör också den ugn som registrerats i figur 11.12. Tillsammans med el till fläktar samt valsackeringsmaskiner kräver metoden omkring 120 MWh per år.



Figur 11.14: Elanvändning i tre st s.k. Cold Cure UV-ugnar. Minutvärden.

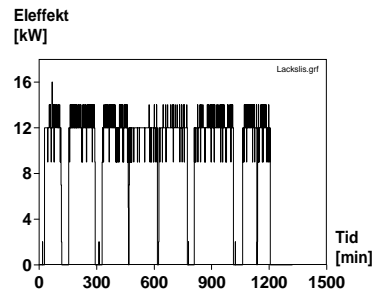


Figur 11.15: Varaktighetsdiagram för tre st s.k. Cold Cure UV-ugnar. Timvärden.

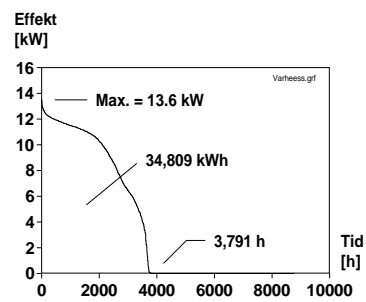


Figur 11.16: Lackslipmaskin med kringutrustning.

Efter grundlackeringen skall skivorna slipas i en lackslipmaskin, i detta fall en Heesemann LSM4. Liksom för den tidigare slipmaskinen är det endast en del av elanvändningen som sker i själva apparaten. Motorer till fläktar m.m. använder också avsevärda mängder el. Förhållandena framgår av figur 11.16. Elen till lackslipmaskinen mäts i mätare nr. 10. Luften till maskinen tas från lokalen och leds sedan ut till ett filter via en fläkt som drivs av motorn M9 med en uppmätt effekt om 27 kW. Denna fläkt används även till andra maskiner. Underst i filtret finns en skruv som drivs av motorn M11 med en effekt om 0.7 kW. Skruven tvingar ner slipdammet i ett rör som är anslutet till ett antal andra filter och som sedan leder till fläkten driven av motorn M6, se figur 11.4. Efter slipningen måste skivorna borstas samtidigt som statisk elektricitet avleds. Detta sker i en borstmaskin, typ Paul Ernst AB1. Det damm som härvid tas bort leds via en fläkt driven av motorn M10 till det rör som transporterar slipdamm från slipmaskinen till filtret. Elanvändningen i slipmaskinen framgår av figurerna 11.17 och 11.18. I det första diagrammet visas effekten baserad på minutvärden. Det högsta är c:a 16 kW. Används i stället timvärden sjunker effekten något och det högsta värdet då var 13.6 kW. Maskinen användes 3,791 timmar under det studerade året. Det bör noteras att mätvärdena från början av perioden har kompletterats med andra värden då elmätaren visade sig felaktig. I figur 11.18 har således flera justeringar behövt göras än för de andra diagrammen. Totalt bedöms därför 34.8 MWh el ha använts i maskinen. Motorn M9 antages ha samma utnyttjningstid som slipmaskinen. Detta innebär att elanvändningen där blir c:a 102.4 MWh under året. Fläkten som drivs av M9 används för att transportera slipdamm också från andra maskiner men här antas för enkelhets skull att hela

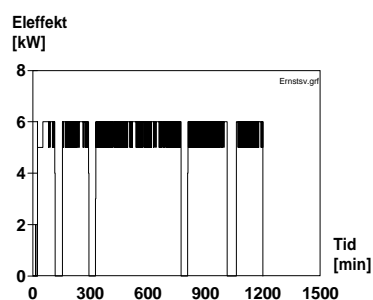


Figur 11.17: Eleffekt baserad på minutvärden i en Heesemann lackslipmaskin.

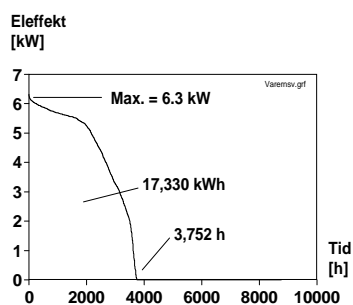


Figur 11.18: Varaktighetsdiagram baserad på timvärden för en Heesemann lackslipmaskin.





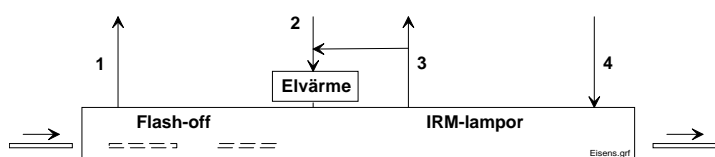
Figur 11.19: Eleffekt baserade på minutvärden för en Paul Ernst borstmaskin.



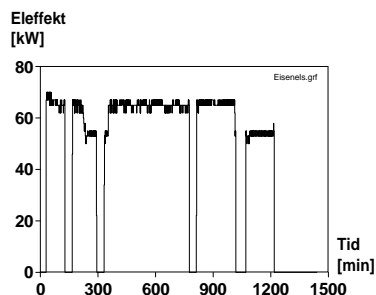
Figur 11.20: Varaktighetsdiagram för en Paul Ernst borstmaskin.

elenergin kan adderas till värdet från mätare nr. 10. Det finns ju dessutom andra motorer placerade efter M6 som inte tagits med här vilket kompenserar något för felet. Motsvarande diagram men för borstmaskinen återfinnes i figurerna 124 och 125. Den maximala effekten ligger på c:a 6.3 kW medan den totala använda elenergin uppgår till 17,3 MWh. Här är dessutom användningen i motorn M10, se figur 11.16, med i siffermaterialet.

Inte alla skivor skall lackas med klarlack. Ibland skall täckande pigmenterade färger användas vilket innebär att tjockare lackskikt ska anbringas. Detta utförs i en ridålackmaskin, typ VAV. I en sådan maskin kan omkring 450 g/m<sup>2</sup> appliceras på en gång. Valsridåmaskinen i sig har en i sammanhanget obetydlig energianvändning men processen kräver en fläkt som suger ut ångorna från färgens lösningsmedel. Fläkten åstadkommer ett luftflöde om c:a 2,000 m<sup>3</sup>/h med en motor på 2,7 kW. Det är inte möjligt att härda pigmenterade lacker av sådan tjocklek med UV-ljus. Istället måste en speciell tork användas, se figur 11.21. När skivorna rullar in i torken har de för några sekunder sedan passerat lackridån. Färgen har således knappast hunnit torka någonting. Om för kraftig värme nu appliceras kommer ett 'skinn' att bildas på lackskiktets ovansida. Detta gör att lösningsmedlet inte kan avdunsta så fort som krävs. Resultatet blir att lacken får

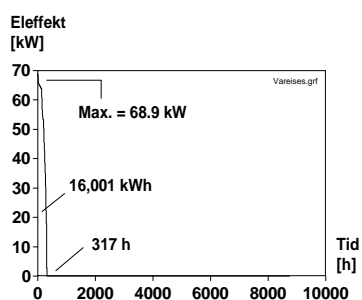


Figur 11.21: Eisenmanteltork för ridålackade skivor.

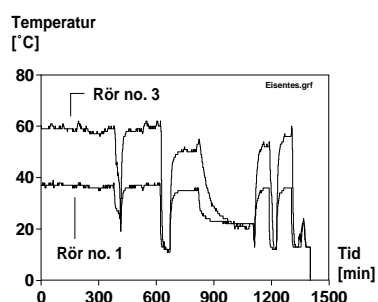


Figur 11.22: Eleffekt baserad på minutvärden i en Eisenmanteltork, typ 527.

blåsor m.m. som inte kan accepteras. I början av torken måste därför en lägre temperatur vara förhärskande så att lösningsmedlet hinner avdunsta, en s.k. flash-off. Temperaturen är där vanligen c:a 40 °C. Den lösningsmedelshaltiga torkluften måste ledas ut i det fria genom rör 1 i figuren. Frisk uteluft tas in i maskinen genom rör 2. Denna luft måste värmas vilket kan ske i ett elvärmebatteri på c:a 30 kW. Efter flash-offzonen ska lösningsmedlet ha försvunnit ur lacken. Härdningen sker nu med 27 st IRM-lampor som var och en har en effekt på 3,25 kW. Det är dock inte nödvändigt att alltid använda full effekt utan vissa av lamporna kan stängas av. Denna del av torken måste också ventileras vilket sker med uteluft via rör nr. 4. Luften leds sedan ut igen via rör nr. 3. För att spara en del energi kan ett spjäll öppnas mellan rör 2 och 3. Varm luft från IRM-zonen används då även för flash-offändamål. I figurerna 11.22 och 11.23 framgår elanvändningen i såväl det korta som det långa perspektivet. I figur 11.22 syns att den maximala effekten ligger kring 70 kW och att den är förhållandevis konstant för perioder om tre till fyra timmar. En något lägre effektnivå används också ibland, omkring 55 kW. Det är i dagsläget inte klarlagt exakt vad detta beror på. Denna tork används inte speciellt ofta. Under den uppmätta perioden på ett år var maskinen igång 317 timmar. Energianvändningen uppgick för samma tid till 16 MWh. Enär maskinen endast används då skivor ska lackeras mha ridålackmaskinen, och då den måste användas just då har det antagits att även ridålacken används 317 timmar liksom den fläkt som används just för dennas utsug. Man bör notera att elförsörjningen till transportbandet inte är med i figurerna. Vi har också mätt



Figur 11.23: Eleffekt baserad på timvärden i en Eisenmanttork, typ 527.



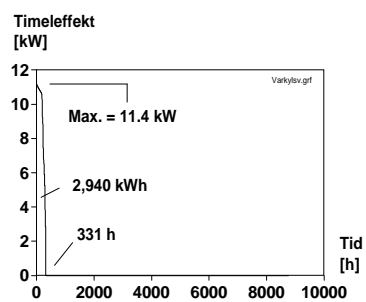
Figur 11.24: Temperaturer i avluft från en Eisenmanttork.

upp temperaturen i rör 1 och 3 för att få en uppfattning om den energimängd som leds ut i det fria, se figur 11.24. De rör som leder till och från torken har en diameter på c:a 0.5 m vilket innebär att stora luftmängder kan transporteras utan att lufthastigheten blir så stor. Detta är troligen bra för processen men det är sämre då man skall mäta luftens hastighet med ett s.k. Pitot-rör. Det var endast i rör 1 som det gick att mäta något luftflöde alls, c:a 6,300 m<sup>3</sup>/h. Troligen tas därför en hel del av maskinens tilluft från lokalerna istället för utifrån.

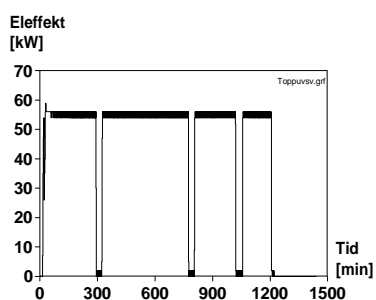
Då skivorna passerat torken är de varma, dock under förutsättning att denna använts. De måste därför kylas av vilket sker i en kylzon. Till denna senare apparat leder tre rör som levererar kall uteluft. Rören har en diameter om 0.6 m varför avsevärda mängder med luft kan transporteras. Motsvarande rör leder också från maskinen där den nu något varmare luften leds ut i det fria. I tabell 11.13 återfinnes våra uppmätta värden. C:a 24,000 m<sup>3</sup> kall luft leds därför från kylzonen ut i det fria per timma, medan omkring 20,100 m<sup>3</sup> leds in till maskinen. En hel del luft tas därför från lokalerna. Det bör noteras att stora fel kan finnas i dessa siffror då lufthastigheten i rören blir låg p.g.a. de stora rördimensionerna. Fläktarna drivs av sex motorer vars elanvändning framgår av figur 11.25. Man noterar omedelbart att kylzonen används förhållandevis sällan. Detta är naturligt

Rör nr.	Flöde [m <sup>3</sup> /h]	Riktning
1	5,900	In
2	-	Ut
3	7,100	In
4	15,300	Ut
5	7,100	In
6	8,700	Ut

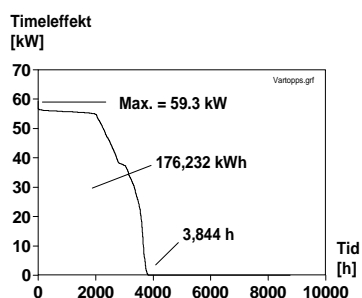
Tabell 11.13: Luftflöden i kylzon, Totebo AB.



Figur 11.25: Varaktighetsdiagram för elanvändning i kylzon, Totebo AB.



Figur 11.26: Elanvändning vid avslutande UV-lackering.



Figur 11.27: Varaktighetsdiagram för sista UV-steget.

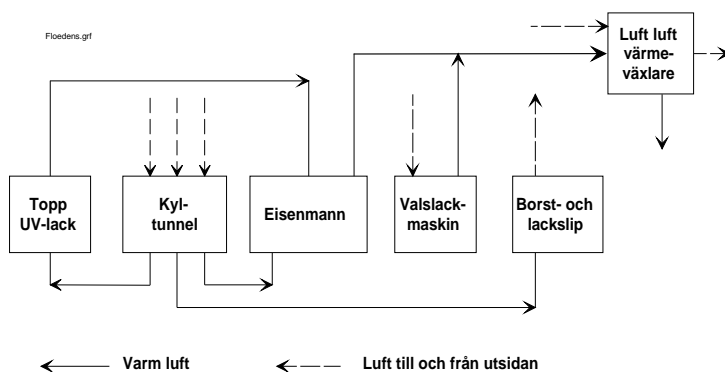
då skivorna endas behöver kylas om de värmts upp i Eisenmann-torken d.v.s. då de målats med pigmenterade lacker i ridålackmaskinen. Den maximala effekten uppgår till 11.4 kW medan 2,940 kWh använts under året.

Hela maskinserien avslutas sedan med utrustning för topplackering. Liksom tidigare används UV- härdande lacker och lackeringen sker i två steg med gelning i det första steget. Två UV-ugnar finns efter det första steget medan tre finns installerade efter den sista valsackeringsmaskinen. Under mätperioden användes dock en av dessa ugnar mera sällan. Elanvändningen framgår av figurerna 11.26 och 11.27. Notera liksom tidigare att den elanvändning som avser fläktmotorer och valsackeringsmaskiner inte ingår i figurerna ovan. Den maximala effekten uppgår således till omkring 60 kW och 176 MWh användes årligen av UV-ugnarna. Totalt för processen används c:a 190 MWh och 63 kW. Luftflödet i vart och ett av rören från ugnarna har uppmätts till omkring 1,500 m<sup>3</sup> per timma.

Följande sammanställning låter sig göras, se tabell 11.14. Omkring 20 % av elanvändningen vid Totebo AB härrör således från processen ytbehandling i en av de två nuvarande lacklinorna. Vidare finns traditionell sprutlackering och företaget överväger att bygga ytterligare en lina för planmöbler. Det är svårt att hitta energisparåtgärder i varje enskild maskin men studeras luftflödena ser man

Maskin	Effekt [kW]	Electricitet [MWh]	Ånga [MWh]	Luft >40 °C [m <sup>3</sup> /h]	Luft <40 °C [m <sup>3</sup> /h]	Källa
Putsmaskin 1	71	231	-	-	-	-
Betsmaskin 1	1	1	-	-	-	-
Betsmaskin 2	1	2	-	-	-	-
Transport, 'rullband'	2	7	-	-	-	-
Dystork ånguppvärmd	10	6	21	1,350	-	I
IRM-tork 1	7	1	-	-	-	-
Spacklingsmaskin	28	80	-	2,200	-	I
IRM-tork 2	21	4	-	8,100	-	O
UV-grund	43	120	-	2,000	-	I
Lackslip, putsmaskin 2	41	140	-	-	6,800	I
Borstmaskin	6	17	-	-	-	I
Ridålack	4	1	-	-	2,000	I
Flash-off och IRM-tork 3	70	16	-	6,300	-	O
Kylzon	11	3	-	-	20,100	O
UV-topp	63	192	-	6,000	-	I
Summa	379	821	20			

Tabell 11.14: Årlig energianvändning vid en ytbehandlingslina, Totebo AB.



Figur 11.28: Förslag till principlösning för luftflöden.

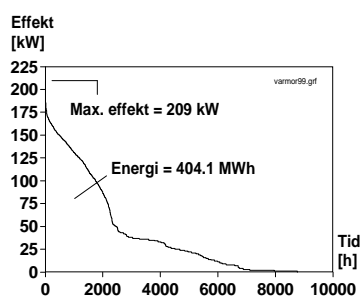
att ex.vis luften från kylzonen skulle kunna användas en gång till i Eisenmann-torken. Rördimensionerna m.m. är ungefär desamma. Alla varma luftflöden skulle kunna ledas till en gemensam värmeväxlare vilket torde innebära att man inte skulle behöva någon ytterligare uppvärmning i lokalerna. På detta sätt skulle ett flertal fläktar och motorer kunna tas ur bruk, se figur 11.28.

### Mörlunda stol- och möbelfabrik

Företaget startade i början av 1900-talet och har blivit utbyggt i många omgångar. Standard på lokaler och utrustning varierar därför från det mest moderna till mera gammalmodigt snitt, se figur 11.29. Företaget behärskar tillverkningen från rått virke och fram till färdiga produkter och man har egna virkestorkar, fanépressar för limning, tappmaskiner m.m., allt för att kunna tillverka möbler från råmaterial fram till färdiga stolar. På senare tid har det haft ett 20-tal anställda. För några år sedan pågick ett projekt där energianvändningen i fabri-

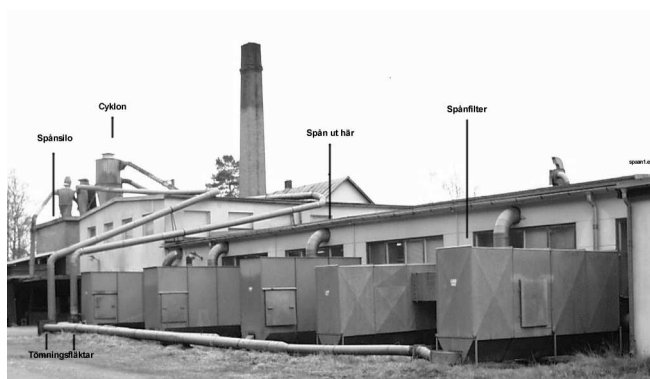


Figur 11.29: Mörlunda Stol & Möbelfabrik. Foto: Stig-Inge Gustafsson.



Figur 11.30: Varaktighetsdiagram för elanvändningen under 1999.

ken undersöktes i detalj. En lämplig start är därför att beskriva hur företagets elanvändning ser ut. Företaget köpte sin el från Sydkraft och via detta företag kan man med lätthet få tag i statistik som visar det timvisa elenergiuttaget med Sydkrafts elmätare som bas. Dessa timvisa värden har sedan sorterats upp i storleksordning och ett s.k. varaktighetsdiagram åstadkommit. De siffror vi har att tillgå härrör bl.a. från 1999 och därför används dessa i figur 11.30. Vi ser att den maximala effekten uppgick till 209 kW och att 404 MWh användes under året. Man bör ha i åtanke att företagets elabonnemang maximerats till 190 kW vilket innebär att man tvingades betala särskilda straffavgifter. Denna elkraft används till många maskiner och apparater men vissa är mera utmärkande än andra, bl.a. spåntransportsystemet, vilket därför beskrivs närmare nedan. Nedan beskrivs också ett antal andra system som finns representerade vid många snickerifabriker och därför också i Mörlunda. Vid nästan alla möbel- och snickeriindustrier finns exempelvis ångpannor installerade. Anledningen till detta är att de restprodukter som uppkommer vid tillverkningen består av sågspån och flis som med fördel kan eldas upp då det bearbetade virket ju redan är torkat. Efter bearbetningen transporteras spånet till pannorna i det s.k. spåntransportsystemet och det verkar därför lämpligt att börja med detta.

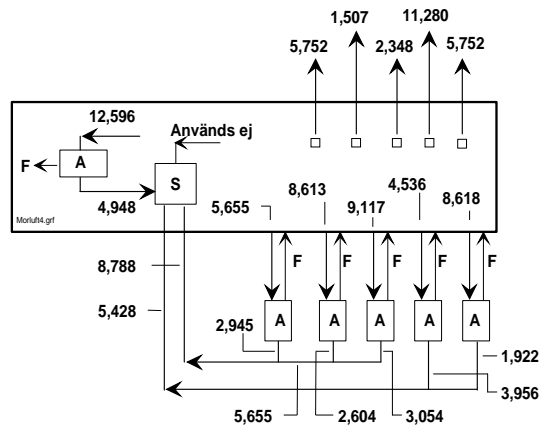


Figur 11.31: Spåntransportsystem vid Mörlunda stol- och möbelfabrik. Foto: Stig-Inge Gustafsson.

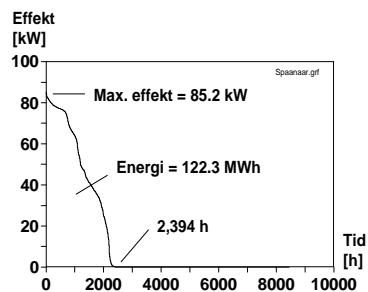
### Spåntransportsystem

I fabriken finns faktiskt två separata sådana system och det större av dessa skall närmare beskrivas här, se figurerna 11.31 och 11.32. Vid varje träbearbetningsmaskin uppkommer sågspån och flis m.m. som måste transporteras bort från maskinen. Spånsugsystemet består av ett antal rör kopplade till en eller flera fläktar. Fläktarna åstadkommer en kraftig luftström inne i dessa rör som går från maskinernas verktyg, via fläktarna, till ett antal spånfilter, se de fem filtren i figur 11.31 vilka dessutom markerats med 'A' i figur 11.32. Då sågspån och flis har ganska låg densitet kommer dessa att följa med luftströmmen ut till filtren som ofta består av en 'låda' av galvaniserad plåt. Inuti varje filter finns ett antal 'strumpor' där det transporterade spånet separeras från luften vilken sedan leds in i fabriken igen. Man vill gärna återföra så mycket luft som möjligt då denna ju är uppvärmd efter att ha varit inne i lokalerna. Det skulle bli alltför dyrt att bara släppa ut den i det fria. Till varje filter hör en fläkt med dithörande elmotor. Dessa fläktar svarar bara för att föra ut spånet från maskinerna och till filtren. Spånet måste dessutom transporteras bort från dessa. Detta åstadkommes med två tömningsfläktar, se figur 11.31, där den ena används till tre filter och den andra till två sådana. Luft och spån transporteras sedan till en s.k. cyklon som separerar spånet från luften. Detta spån ramlar sedan ner i spånslon. De två tömningsfläktarna svarar för en luftström om c:a  $14,2 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{h}$  enligt de mätningar som vi utfört. Luftmängderna har mätts upp med ett s.k. Prandtlrör. Egentligen mäter man då upp luftens hastighet inne i rören och sedan måste luftmängden beräknas m.h.a. bl.a. rörens tvärsnittsarea. Notera återigen att denna luft är uppvärmd till kanske  $25 \text{ }^\circ\text{C}$  och mycket värme släpps därför ut i det fria trots att viss värmeåtervinning sker vid filtren. Det är viktigt att luften har tillräcklig hastighet, c:a  $25 \text{ m/s}$  inne i rören för annars 'sedimenterar'



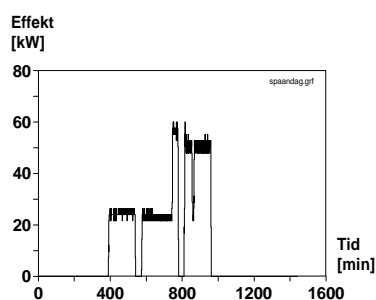


Figur 11.32: Spåntransportsystem samt ventilation i ytbehandlingsanläggningen. Luftmängder i  $\text{m}^3/\text{h}$ .

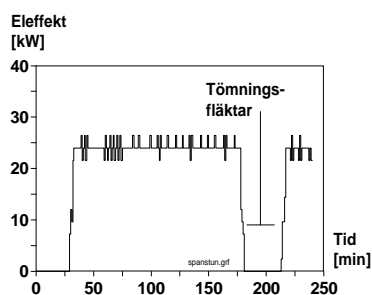


Figur 11.33: Varaktighetsdiagram för elanvändningen i spåntransportsystemet, 2000.

spånnet i systemet. Rördimensionerna måste därför anpassas så att så blir fallet. I spåntransportsystemet ingår således sju stycken fläktar med tillhörande motorer, fem fläktar till var sitt filter och två tömningsfläktar. Dessa motorer får sin ström från en separat del i elcentralen och vi har därför installerat en elmätare som mäter just denna krets, se figur 11.33, där elanvändningen varje timma under år 2000 sorterats upp i storleksordning. Den högsta effekten som uppmättes under året var 85.2 kW. Summeras alla värden erhåller man energimängden som uppgick till 122.3 MWh. Spåntransportsystemet användes under omkring 2 400 timmar. Det bör noteras att några avbrott i mätserien finns, c:a 400 timmar, varför elanvändningen torde vara ännu något högre. Under år 2000 användes totalt c:a 404 MWh, jämför med figur 11.30, i fabriken varför spåntransportsystemet svarar för 25 %, och en än större andel av utnyttjad effekt.



Figur 11.34: Elanvändning i spåntransportsystemet 2001-01-08. Aktiv effekt.



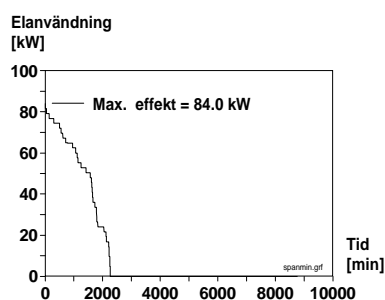
Figur 11.35: De första timmarnas elanvändning i spåntransportsystemet 2001-01-08.

Studeras elanvändningen lite närmare finner man att flera distinkta nivåer finns, se figur 11.34, där en kring 20 kW och en kring 55 kW återfinns. Ytterligare nivåer förekommer andra dagar. Det visar sig att även detta spåntransportsystem är indelat i två delvis separata system. Det ena systemet betjänar tre filter och en tömningsfläkt medan det andra systemet består av två filter och den andra tömningsfläkten. När motorerna till filterfläktarna är igång måste motsvarande tömningsfläkt vara igång och det är dessutom så att tömningsfläktarna måste vara igång tre minuter före och tre minuter efter det att filterfläktarna slås på, respektive av. Detta säkerställs av ett antal tidsinställda reläer i apparatskåpet. Figur 11.34 visar elanvändningen under den första vardagen 2001. Andra dagar ser användningen annorlunda ut och effekten kan, som sagts, uppgå till omkring 80 kW. Genom att studera mätvärdena mera i detalj kan man få en bra kännedom om hur systemet fungerar vid normal användning. Den första perioden i figur 11.34 återfinns i större upplösning i figur 11.35. Man ser att en tömningsfläkt först aktiverats vilket ger en effekt om c:a 10 kW. Denna är igång tre minuter innan några ytterligare motorer startar. Notera att det mätsystem som används har en minsta upplösning i tiden om en minut. Den elmätare vi

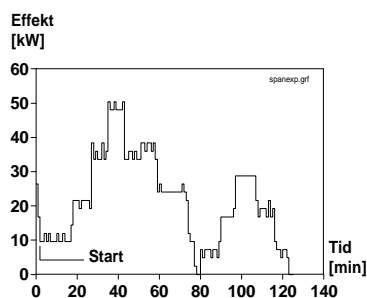
Tömningsfläkt nr.	Filterfläkt nr.	Nivå [kW]
1	-	11
2	-	7
1	1	24
1	1+2	37
1	1+2+3	50
2	4	20
2	4+5	33
1+2	1	31
1+2	1+2	47
1+2	1+2+3	60
1+2	1+2+3+4	73
1+2	1+2+3+4+5	86

Tabell 11.15: Effektnivåer på spånsugsystem vid Mörlunda Stol och Möbelfabrik.

använt levererar 1000 pulser för varje kWh men här används dessutom s.k. strömtransformatorer som ger ett 40 gånger lägre värde. Varje puls från elmätaren motsvarar således 40 Wh eller 2.4 kW vilket således är den lägsta upplösning som kan erhållas vad gäller effekten. Detta innebär också att diagrammet erhåller ett sågtandsliknande utseende. Så här i efterhand synes denna upplösning ha varit i lägsta laget då anläggningens prestanda ska analyseras. De motorer som används till tömningsfläktarna har märkströmmen 21 A resp 14.7 A vid 380 V. Detta borde innebära en effekt om c:a 11.1 respektive 7.7 kW om  $\cos \varphi$  antas vara 0.8. Vi mäter också på tömningsfläktarnas elmotorer separat varvid den stora motorn synes dra en effekt om 12 kW. Mätningarna för den mindre motorn är tyvärr mera osäkra. Osäkerheten beror på att mätningarna av praktiska skäl endast skett på delar av motorns kretsar. Tömningsfläkten måste arbeta om det övriga systemet skall vara igång vilket innebär att c:a 11 kW måste tas i anspråk av denna. Medelnivån i figur 11.34 ligger på c:a 24 kW så omkring 13 kW används till en eller flera andra motorer. Antag att alla fem motorer till filterfläktarna har samma effekt, 13 kW. Tillsammans med tömningsfläktarnas motorer erhålles då en total effekt om c:a 86 kW vilket stämmer bra med de förhållanden som redovisas i figur 11.33. I figur 11.34 är det troligen därför bara tömningsfläkten och en filterfläkt som arbetar. Följande sammanställning över effektnivåer låter sig göras, se tabell 11.15. Med hjälp av tabell 11.15 torde man nu kunna analysera i efterhand hur spånsugsystemet har använts under ett år. Tyvärr har ju upplösningen på mätvärdena varit sådan att full kännedom inte kan erhållas. Det går inte att avgöra om tömningsfläkt 2 och filterfläktarna 4 och 5 använts eller om det är tömningsfläkt 1 och 2 och filterfläkt 1. Mätvärdena ligger så nära varandra. Den senare kombinationen måste dock vara ovanlig. Mätvärden med högre



Figur 11.36: Varaktighetsdiagram för elanvändningen i spåntransportsystemet 2001-01-08 - 2001-01-13.



Figur 11.37: Experiment med spåntransportsystemet vid Mörlunda Stol & Möbelfabrik.

upplösning kanske skulle förtydliga situationen och i figur 11.36 återfinnes sådana i form av ett varaktighetsdiagram, från fem arbetsdagar för den första 'vanliga' arbetsveckan under år 2001. Indatafilen till figur 11.36 visar att den maximala effekten uppgick till 84.02 kW och att spåntransportsystemet användes under 2264 minuter. För att ytterligare klargöra förhållandena har dessutom ett mindre experiment utförts, se figur 11.37. Experimentet startar med att endast tömningsfläkt 1 är igång. Effekten som åtgår är då omkring 11 kW. Efter ett antal minuter startas dessutom filterfläkt 1 och effekten stiger därför till c:a 20 kW. Det går inte att, utan konstgrepp, köra filterfläktarna separat utan tömningsfläkten måste vara igång samtidigt. Därefter startas filterfläkt 2 och sedan nr. 3. Vid effekten 50 kW är således fyra fläktmotorer i drift. Sedan har filterfläkt 2 stängts av vilket ger en effekt om c:a 33 kW. En viss ökning, till 38 kW, fås om fläktmotor 2 och 3 är igång medan nr. 1 stängs av. Slutligen körs bara tömningsfläkt 1 och filterfläkt 2 vilket ger omkring 24 kW. Nu startas istället det mindre spåntransportsystemet. Tömningsfläkt 2 drar c:a 7 kW medan denna och filterfläkt 4 tillsammans använder 17 kW. Alla fläktarna drar tillsammans 29 kW

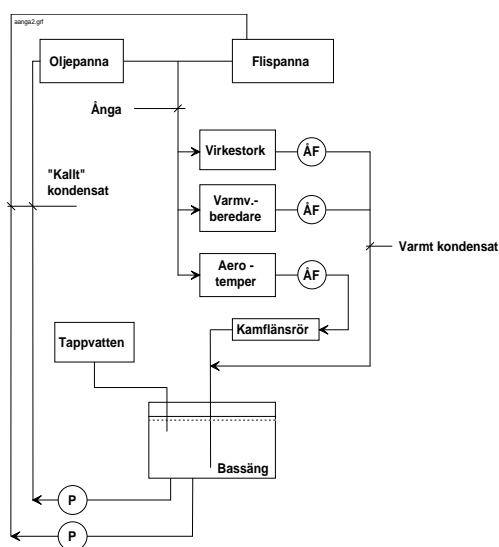
medan tömningsfläkt 2 tillsammans med filterfläkt 5 använder omkring 19 kW. Anledningen till denna något omständliga utredning är den att tömningsfläktarna skulle kunna användas som delar i ett s.k. laststyrningssystem d.v.s. man utnyttjar förhållandet att de skulle kunna stängas av en stund om det är risk för en eleffekttopp i fabriken, se figur 11.30.

### Ångsystemet

Från spåntransportsystemets filter förs spån och flis med hjälp av den kraftiga luftströmmen vidare till en s.k. cyklon varefter spånets av sin egen tyngd ramlar ner i spånstillon. I botten på denna silo finns en skruv som löper inne i ett rör. I detta fall har skruven, och insidan på röret, diametern 0.12 m och avståndet mellan skruvens gängor är c:a 0.15 m. Skruvens gängor sitter fast vid en stång varför den 'effektiva' diametern bedömts till 0.1 m. När skruvmotorn arbetar roterar skruven 10 varv på 41 sekunder eller omkring 15 varv per minut. Varje cell hos skruven rymmer c:a  $5.9 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ . Cellerna kan inte vara helt fyllda med spån och därför antas att varje varv hos skruven transporterar  $3 \times 10^{-4} \text{ m}^3$  spån per varv eller  $4.5 \times 10^{-4} \text{ m}^3$  per minut.

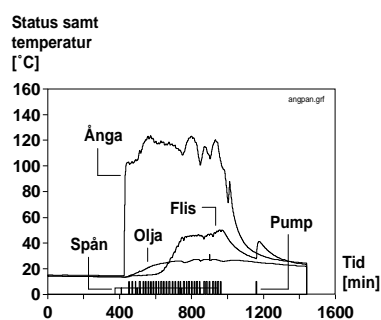
Absolut torrt trä avger vid förbränning 4,500 kcal/kg vilket motsvarar 5.23 kWh. Det trä som eldas innehåller en del vatten även om det torkats i företagets torkar. Dessutom förvaras ju bränslet i spånstillon som är i kontakt med omgivande klimat. Antas att fuktkvoten är c:a 10 % reduceras därför värmeinnehållet till omkring 4.5 kWh per kg, se [13] sidan 151. Det spån som eldas utgörs ju av spill från fabriken, men ibland måste företaget köpa flis från annat håll. I huvudsak torde dock lövträslagen dominera varför man kanske kan anta att spånets väger omkring 500 kg/m<sup>3</sup>. Pannan matas därför med omkring 10 kWh per minut när skruven roterar och pannan skulle då få en effekt på c:a 600 kW, vilket också stämmer ungefär med de 0.5 MW som anges i ett av pannans besiktningsprotokoll. Vedens värmeinnehåll kan ju heller inte helt tas tillvara utan man har en verkningsgrad som kanske uppgår till 0.75. Detta då pannan har några år på nacken. Detta skulle innebära att pannan förmår att leverera omkring 450 kW.

Till ånganläggningen, se figur 11.38 där principen för systemet återfinnes, hör även en oljepanna vilken kan användas tillsammans med flispannan. När man eldar i pannorna värms vattnet i dessa upp och förvandlas sedan till ånga. Då stiger även trycket i systemet och ångan börjar vandra ut i ångledningarna. När ångan kommer fram till en apparat där värmen behövs kondenserar den igen och det s.k. ångbildningsvärmets avges. En sådan apparat kan utgöras av ex. vis en aerotemper, eller luftvärmare. Efter värmaren måste en s.k. ångfälla, ÅF, placeras vilken förhindrar att ångan rusar igenom apparaten utan att kondensera. Genom ångfällan ska således bara vatten och luft kunna passera, men inte ånga. Vattnet, eller kondensatet, skulle sedan kunna ledas till ett lämpligt avlopp men då det fortfarande är mycket varmt låter man det, av ekonomiska skäl, rinna vidare med självfall till en bassäng. När vattnets nivå i ångpannan sjunkit till en viss



Figur 11.38: Principskiss över ångsystemet vid Mörlunda Stol & Möbelfabrik.

gräns pumpas, med pumparna markerade med 'P', sedan kondensatet i bassängen in i pannorna igen. Man ska således inte behöva leda in nytt kallt vatten in i pannorna utan utnyttjar det förhållandevis varma kondensatet. Man kan notera att pumparna måste kunna övervinna det förhållandevis höga trycket i pannorna och därför har man ofta s.k. kolvpumpar för detta ändamål. Kondensatbassängen står i förbindelse med det fria genom ett rör och därför är trycket precis efter ångfällan också detsamma som i det fria. Då trycket sjunker över fällan kan därför vattnet, som har en hög temperatur, återigen förångas och med anledning härav leder man ibland denna blandning av vatten och ånga till ett s.k. kamflänsrör där i alla fall en del av den kvarvarande värmen kan utnyttjas. I figur 11.39 återfinnes förhållandena under en del av 2001-01-08. Endast fiispannan används vilket innebär att den pump som ska mata kondensatet tillbaka till den oljeeldade ångpannan hela tiden stått still. Processen i figur 11.39 startar efter en helg vilket innebär att temperaturerna i systemet har samma nivåer som i pannrummet, c:a 18 °C. När pannan slås på börjar sedan spånskruven att mata in spån i pannan samtidigt som denna tänds. Spånskruvens status registreras varje minut m.h.a. vårt installerade mätsystem, Mintop. Om strömmen är tillslagen erhålls en etta medan en nolla registreras om ingen ström kan detekteras. För att kunna visa spånskruvens status i figur 11.39 har värdena multiplicerats med 5. Således har skruven varit i arbete i stort sett hela dagen. Det tar nu några minuter innan eldningen resulterar i att vattnet börjar koka i ångpannan. Mintop kan även användas för att registrera temperaturer bl.a. med hjälp av s.k. PT100-givare, se



Figur 11.39: Temperaturer m.m. i ånganläggningen vid Mörlunda Stol & Möbelfabrik, 2001-01-08.

figur 11.40. Ångtemperaturen mäts på den utgående stamledningen omedelbart



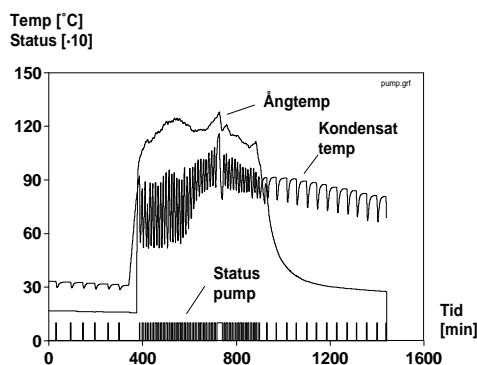
Figur 11.40: Temperaturgivare för datoriserade mätsystem. Foto: Stig-Inge Gustafsson.

efter den punkt där rören från olje- och flispannan kopplats ihop. Ytterligare två temperaturer återfinnes i figur 11.39 nämligen på de två rör som leder in kondensatet från bassängen till pannorna. Det rör som går till oljepannan blir varmare och varmare men detta speglar endast temperaturen i pannrummet. Flispannas rör är kallare vilket beror på att kallt vatten från bassängen då och då pumpas in i pannan. Efter några timmar stiger dock temperaturen på detta rör vilket i sin tur visar att bassängen i källaren fylls på med varmt kondensat. Notera att statusen på den pump som leder in kondensat i flispannan likaledes registreras som 0 eller 1 men att värdena här multiplicerats med 10 så de kan visas i diagrammet.

Ett närmare studium av registreringarna visar att spånskruven startade 06.16 och kondensatpumpen 07.31, temperaturen på ångröret översteg 100 °C första gången 07.16. Ångröret hade en maximal temperatur på 123.6 °C. Efter 15.45

användes inte spånskruben vilket troligen beror på att pannan slås av, och sedan tog det 24 minuter innan temperaturen på ångröret gått under 100 grader. Spånskruben hade då använts under 556 minuter medan pumpen gått 153 minuter. Med ledning av det ovanstående har omkring 5.5 MWh flisvärme producerats i pannan vilket är en avsevärd mängd med tanke på fabriken storlek. Pannan har under dagen varit på från 06.16 och till 15.45 vilket blir 569 minuter. Detta innebär att flis matats in i pannan så gott som oavbrutet, d.v.s. den har gått på maximal effekt nästan hela tiden. Märkligt är också att ångtemperaturen då varierar så kraftigt som den gör, från c:a 123 till bara straxt över 100 °C. Man kan notera att röret någon meter efter mätpunkten passerar ut genom en yttervägg. Om det börjat snöa eller regna kanske röret kylts av mera och lägre temperaturer därför registrerats. Temperaturgivaren har av praktiska skäl monterats utanpå röret och mätningen avser därför egentligen rörets och inte ångans temperatur. Skillnaden borde dock vara ganska liten.

För en icke initierad betraktare är det svårt att se om ångsystemet fungerar som det ska. Nedan ska visas några exempel på ofullkomligheter som vi funnit med hjälp av enkla temperaturmätningar. Projektets finansiella status innebar att inga regelrätta mätningar kunde utföras på ångmängder m.m. Redan de första dagarna efter det att vårt mätsystem installerats noterades att temperaturen på det rör som ledde kondensatet till ångpannan var mycket hög, se figur 11.41. Anledningen till att vi mätte temperaturen just där var att man med hjälp av

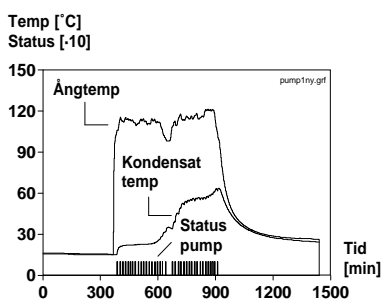


Figur 11.41: Temperaturer i ångsystemet vid mätningarnas början.

temperaturökningen i pannan och med kännedom om den vattenmängd som pumpades in i pannan skulle kunna beräkna hur mycket värme som producerats. När pannan sattes igång på morgonen steg temperaturen på kondensatröret avsevärt och ibland var temperaturen högre än 100 grader. Detta ska ju inte kunna vara möjligt enligt naturlagarna i och med att bassängen var i kontakt med det fria och trycket således lika med det omgivande atmosfärstrycket. Anmärkningsvärt

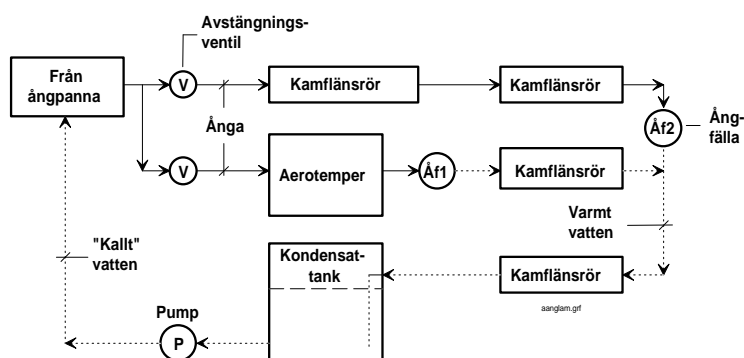


var också det faktum att temperaturen sjönk något på röret då pumpen arbetade och steg när denna var avstängd. Pumpen startade också många gånger under icke arbetstid varför nivån i ångpannan förändrades utan att någon ånga producerats. Motsvarande fenomen kunde inte iakttagas för det rör som ledde till oljepannan men däremot syntes detta om oljepannan användes och flispannan var avstängd. Tillsammans ledde detta till slutsatsen att en backventil var trasig i kondensatledningen. Så fort pumpen var avstängd började vatten och ånga därför att strömma baklänges i systemet varvid temperaturen höjdes. När pumpen satte igång rann vattnet rätt väg igen och temperaturen sjönk något. I och med att ånga och mycket hett vatten strömmade ner direkt i bassängen var ju naturligtvis vattentemperaturen avsevärd även där och den ånga som inte hann kondensera blåstes därför direkt ut i det fria. Genom att laga denna backventil fick man systemet att få de prestanda som återfinnes i figur 11.42. Ett stort

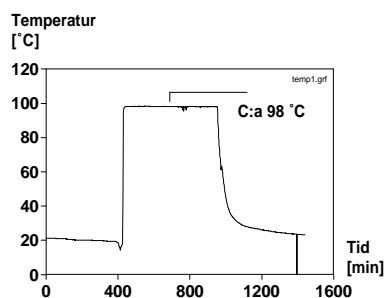


Figur 11.42: Ångtemperaturer och pumpstatus efter det att en backventil lagats.

problem i fabriken ångsystem är att se till att alla ångfällor är hela och fungerar. Om fällorna inte släpper igenom vare sig vatten, luft eller ånga märks detta ganska snart då det blir för kallt i lokalerna. Om å andra sidan fällorna släpper igenom luft, vatten och ånga blir apparaterna varma men tyvärr stiger temperaturen i kondensatbassängen så mycket att ångan släpps ut direkt i det fria med ett omfattande slöseri som följd. Det var av projektfinansiella skäl omöjligt att ta sig an hela fabriken men en delkrets av ångsystemet undersöktes, se figur 11.43. Ångan leds från ångpannan fram till två avstängningsventiler. Dessa är praktiska att ha om man skall göra åtgärder på ledningarna eller de apparater som är kopplade till dessa. I det ena fallet är sedan två kamflänsrör kopplade i serie efter varandra och därefter återfinnes en ångfälla, Åf2. I det andra fallet leds ångan till en aerotemper varefter ångfällan Åf1 finns monterad. Efter ångfällorna skall det bara rinna varmt vatten som dessutom skall svalna av ytterligare i de efterföljande kamflänsrören innan det efter ett trettiotal meter hamnar i kondensattanken. För att undersöka hur systemet fungerade placerades en temperaturgivare utanpå röret omedelbart före kondensattanken, se figur 11.44. Som framgår av figuren är temperaturen innan systemet startas c:a 20 °C eller samma



Figur 11.43: Delkrets av ångsystemet lokaliserad vid lamellsåg.



Figur 11.44: Temperatur utanpå det rör som leder kondensatet till bassängen.

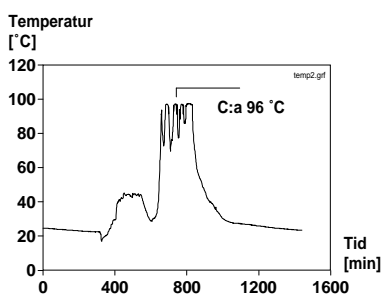
temperatur som råder i källaren där tanken är lokaliserad. När ånga börjar att produceras i ångpannan stiger trycket och en viss mängd kallt vatten passerar genom röret. Rørets temperatur sjunker något. Vattnet är kallt därför att röret, under ett antal meter, är lokaliserat utanför fabriksväggarna. Plötsligt kommer det mycket varmt vatten, 98 °C uppmäts utanpå röret, eller ånga som rusar ner i tanken. Detta pågår under hela dagen tills ångsystemet återigen stängs av och röret svalnar av. Fenomenet tolkades så att ångfällorna var trasiga och att de därför släppte igenom ångan utan någon som helst hindrande effekt. Bägge de befintliga ångfällorna var av typen termodynamiska avledare d.v.s. de innehåller en bricka som ska täppa till flödet då ånga passerar och öppnar då ledningen innehåller vatten och/eller luft. Under årens lopp bildas avlagringar inne i dessa avledare och ibland följer rostflagor o.d. med ångflödet ut i systemet. Om detta skräp inte då och då tas bort sluter brickan inte riktigt tätt och ångan passerar därför obehindrat. Fällorna innehåller ofta en sil som skall förhindra att detta sker men under årens lopp kan t.o.m. silen förstöras helt. Ångteknisk expertis konsulterades och det konstaterades att Åf1 skulle vara av typen termisk avleda-

re medan Åf2 skulle utgöras av en s.k. flottöravledare. I samband med att bytet skedde demonterades en av de befintliga avledarna, eller fällorna, och resultatet framgår av figur 11.45. Det finns i stort sett inget som kan gå sönder i en



Figur 11.45: Demonterad termodynamisk kondensatavledare, typ Spirax Sarco TD 50S. Foto: Stig-Inge Gustafsson.

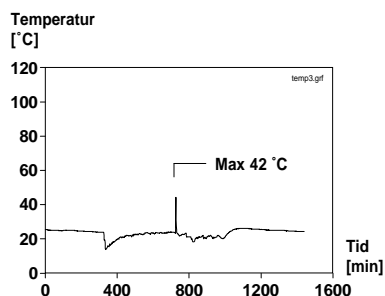
sådan avledare men ansamlingen av 'skräp', se undre vänstra delen i figur 11.45, inne i fällan medförde troligen att den inte fungerade som den skulle. Det är också mycket viktigt att strömningsförhållandena för ångan inne i avledaren är de riktiga för att denna ska fungera. En flottöravledare ger troligen en avsevärt säkrare funktion då den innehåller en flytande flottör som öppnar en ventil vid en viss vattennivå. Finns inget vatten, dvs kondensat, är ventilen stängd. En rent termisk avledare innehåller en bälg som utvidgar sig, eller drar sig samman, beroende på tryckskillnaden mellan ut- och insida på denna. Bälgen innehåller en blandning av alkohol och vatten vilket innebär att den utvidgar sig redan under vattnets normala kokpunkt. Dessa används då man vill erhålla en viss temperatur på den värmeavgivande apparaten, d.v.s. man säkerställer att elementet blir tillräckligt varmt. Efter bytet av avledare erhöles förhållanden som återfinnes i figur 11.46. Jämförs figurerna 11.45 och 11.46 ser man att förhållandena avsevärt



Figur 11.46: Kondensattemperatur efter byte av avledare.

förbättrats men temperaturen är fortfarande hög, framför allt under senare delen

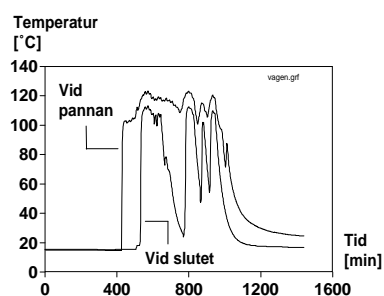
av dagen. Ett närmare studium av installationen visade att flottöravledaren, av praktiska skäl, monterats så att flottören rörde sig horisontellt i stället för vertikalt vilket dock samtidigt innebar att den inte kunde stänga ventilen. Genom att vrida avledaren 90 grader erhöles resultatet enligt figur 11.47, d.v.s. denna del av anläggningen fungerade plötsligt helt perfekt. En mycket kort temperaturstegring



Figur 11.47: Kondensattemperatur efter ytterligare justeringar.

noterades men denna berodde nog på att varmt vatten från andra delsystem ett ögonblick pressades baklänges genom röret. Tyvärr är flottöravledare dyrare än termodynamiska avledare varför den senare typen installeras mera frekvent. Ett ytterligare problem med ångsystemet beror på att ångan hela tiden kondenserar inne i rörsystemet och framför allt mot insidan på rören vilka ju har en lägre temperatur än ångan. En ångledning måste därför alltid installeras så att detta vatten kan rinna med självfall bakåt i systemet. Där ångledningen har en lågpunkt måste vattnet dräneras bort. Glöms denna dränering bort kommer det till slut att samlas en 'plugg' med vatten i ångledningen och denna kommer i sin tur att tryckas framåt med hög fart genom ledningen, detta då trycket bakom pluggen kommer att öka. När pluggen når en värmeavgivande apparat med efterföljande ångfälla blir det tvärstopp och pluggen kan då slå sönder installationerna. Detta fenomen kallas för hammarslag. Av energisparskäl är det naturligtvis mycket viktigt att den ångfälla som ska säkerställa dräneringen av ångröret verkligen fungerar, samt har tillräcklig kapacitet. Ånga får inte passera och vattnet måste rinna ut, eller rättare sagt ner till bassängen. För att minska kondensmängden inne i ångledningen är det också viktigt att denna är isolerad, däremot har det inte så stor betydelse om kondensatledningarna saknar isolering då ju värmen ändå kommer huset till del. Sommartid kan det dock skapa problem med alltför hög temperatur i lokalerna. Det är givetvis också viktigt att ångpannan förmår att leverera ånga ända fram till de mest avlägsna apparaterna. Om rören istället är fyllda med vatten kommer ju ingen kondensering att ske inne i dessa apparater och ångbildningsvärmets har förlorats på vägen. Apparaten kan då inte leverera avsedd effekt. Detta får ofta till följd att man installerar elektriska aerotemperaturer bredvid de ångdrivna istället för att se till att ångsystemet fungerar som det ska.

Med tanke på elleverantörens straffavgifter för överskridet abonnemang kan detta bli mycket dyra lösningar. I figur 11.48 visas temperaturerna på ångröret dels vid pannan och dels vid systemets mest avlägsna punkt. Man ser i figur 11.48 att

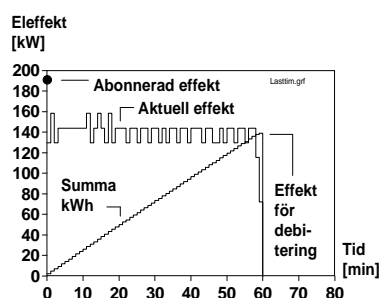


Figur 11.48: Temperaturer på ångröret nära och långt från pannan, 2001-01-08.

värmesystemet långt från pannan endast fungerar ibland. Dels tar det lång tid från det att värme börjar produceras i pannan tills den når ut och dels avstannar hela ångtransporten under timmar i sträck. Detta kan bero på att pluggar av kondensvatten täpper till systemet. När temperaturen av någon anledning ökar i pannan stiger också trycket och plötsligt kan en vattenplugg vandra iväg. Efter pluggen kommer ånga varvid röret blir varmt. Trycket i systemet kanske faller igen då inga vattenproppar täpper till rören varvid temperaturen i ångsystemet återigen faller, kondens täpper till rören o.s.v.

### Laststyrning

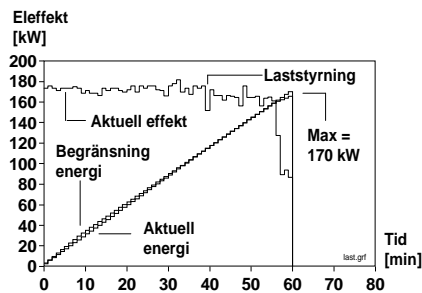
I figur 11.30 visas att företaget ibland överskrider sin abonnerade effekt. Detta kostar inklusive straffavgifter 908 Kr per kW. Som nämntes mäter elleverantören antalet levererade kWh under en timma vilket ligger till grund för debiteringen. En 'normal' kWh har ett pris på kanske 0.25 Kr medan de som används under den precisa topplasten kan vara värda 4000 gånger mera. Om man vill minska företagets energikostnader synes det därför lämpligt att inrikta åtgärderna på de dyraste kWh, d.v.s. de som bygger upp denna topplast. Det finns vid företaget ett antal apparater som använder el och som dessutom kan stängas av en kortare stund utan att det får stora konsekvenser. Sådant elanvändning sker ex. vis i torkar, aerotemperar för lokalvärme och elektriska tappvarmvattenberedare. Det nämnda Mintop-systemet kan också användas för att hålla reda på hur mängden kWh växer under en timma, se figur 11.49, där elanvändningen under den mest belastade timman under 2001-01-08 visats. Företagets abonnemang uppgår till 190 kW vilket innebär att några straffavgifter inte är aktuella just denna timma. Summa kWh uppgår under timman till endast 139.0 vilket således utgör grund för debitering. Man måste dock minst betala för den abonnerade nivån så



Figur 11.49: Elanvändning mellan kl 15-16, 2001-01-08, Mörlunda Stol och Möbelfabrik.

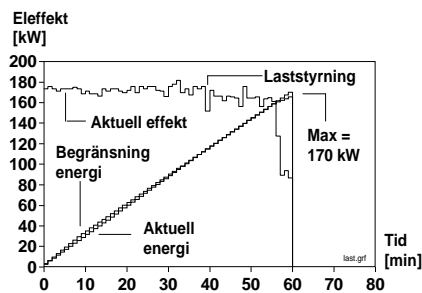
elanvändningen under denna timma är inte avgörande för effektavgifterna. Man måste givetvis också betala för de 139 kWh men dessa är ju normalt förhållandevis billiga. Notera att den använda energimängden växer språngvis med ett värde varje minut vilket beror på att Mintop avläser registren med detta tidsintervall. Om antalet kWh växer så snabbt att totalsumman under en timma riskerar att överskrida ett förinställt värde, ex. vis abonnemangets storlek, ser Mintop till att ex. vis en eldriven aerotemper slås av. Förhoppningsvis sjunker nu tillväxten av konsumerade kWh och om detta inte räcker måste flera apparater stängas av. Det är opraktiskt att vissa apparater är frånslagna hela tiden och därför kan man se till att de slås på igen efter en stund. För att få ett s.k. laststyrningssystem att fungera bra måste man därför ha många laster att styra. Genom att variera prioriteten på åtgärderna märks det inte så mycket i fabriken att systemet stänger av apparater då och då.

Det nämndes ovan att systemet måste ha ett antal ellaster att arbeta med för att det ekonomiska utfallet av laststyrningen ska bli lyckosamt. I fabriken finns bl.a. tre olika eldrivna aerotemperar, ett antal elvärmda radiatorer, några elvärmda tappvarmvattenberedare, två elvärmda virkestorkar, spåntransportsystemet, en flistugg m.m. Alla dessa apparater har det gemensamt att de inte måste vara igång oavbrutet även om produktion pågår i fabriken. I figur 11.50 visas hur laststyrningssystemet fungerat den 28 januari 1999, dvs strax efter det att det installerats. Systemet har här ställts in så att den maximala timeffekten ska begränsas till 170 kW d.v.s. energianvändningen under en timma skall vara lägre än 170 kWh. Detta är lägre än den abonnerade effekten men vi ville undersöka hur systemet fungerade varför en lägre tillåten effekt användes. Styrningen sker ju då mycket oftare. Denna gräns motsvarar en minutanvändning av 2.83 kWh men under de första 10 minuterna tillåts 15 % högre värden. Ett närmare studium av indatafilerna visar att den aktuella energimängden översteg den tillåtna först under minut 39 varför en styråtgärd tillgreps minut nr. 40. Först verkade detta vara tillfyllest men styrning sattes in också minuterna nr. 42, 46 och 50.



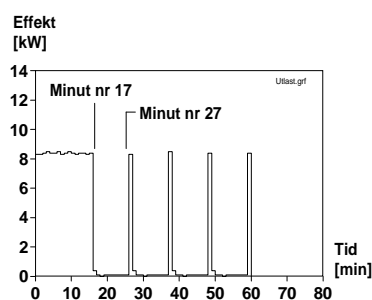
Figur 11.50: Laststyrning vid Mörlunda Stol och Möbelfabrik, 1999-01-28.

Mot slutet av timman stängdes många apparater av, se minut 57, detta då frukoststrasten närmade sig och den totala timeffekten hamnade därför på 165.4 kW. Figur 11.50 visar att även mycket kortvariga insatser kan vara verkningsfulla, de tre apparaterna, en aerotemper och två fläktar, var inte avstängda mer än fem minuter. Det finns dock också exempel då systemet inte klarade sina uppgifter, se figur 11.51 där förhållandena förhållandena den fjärde januari 2000 kl 10.00 - 11.00 återfinnes. Systemet var då inställt på 180 kW och som synes var effekten



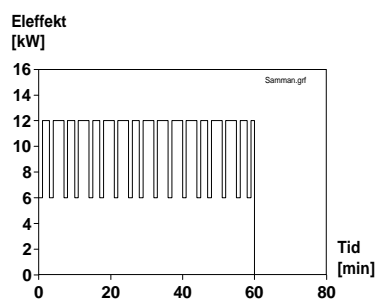
Figur 11.51: Laststyrning vid Mörlunda stol- och möbelfabrik.

hög, över 200 kW redan kl 10.00 på morgonen. Liksom tidigare var det tillåtet att överskrida effekten med 15 % de första 10 minuterna vilket innebar att laststyrningen verkställdes först efter 17 minuter och då stängdes en av elerotemprarna av, se figur 11.52. Ibland är det olämpligt att apparaten är avstängd under lång tid även om det skulle vara bra av laststyrningsskäl. Det finns därför en möjlighet att bestämma hur länge apparaten får vara fränslagen och dessutom hur länge man måste vänta innan den, efter påslag, får slås av igen. På så vis kan man se till att det inte blir allt för kallt i lokalerna även om apparaterna används till laststyrning. Varje ellast som kan påverkas av systemet har dessutom åsatts en viss prioritet. Då aerotemprar med fördel kan slås av utan alltför stora olägenheter



Figur 11.52: Elanvändning i eleroter nr. 1, 2000-01-04 kl 10-11.

har dessa fått prioritet ett. Om flera apparater har samma prioritet växlar systemet mellan dessa så att inte en och samma aeroter hela tiden slås av först. I detta fall var det inte tillräckligt att bara en aeroter slogs av och systemet försökte då att stänga av nästa apparat. Tyvärr visade det sig nu att personalen på företaget utnyttjat möjligheten att påverka prioritetsordningen. Genom en speciell strömbrytare kunde man nämligen se till att just den apparaten fick en så hög prioritet att den inte längre deltog bland de fränkopplingsbara lasterna. Vår avsikt var att denna möjlighet bara skulle utnyttjas i undantagsfall men hade man väl slagit om strömbrytaren fick den sedan vara kvar i detta läge. I figur 11.53 återfinnes elanvändningen i 'nästa' aeroter, och det framgår att ingen styrning skett. Ellasten i figur 11.53 har ett kamliknande utseende men detta



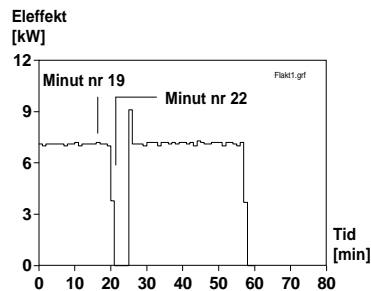
Figur 11.53: Elanvändning i eleroter nr. 2, 2000-01-04 kl 10-11.

beror på aerotemprens konstruktion och inte på laststyrningssystemet. Troligen använder apparaten en lägre effekt när temperaturen i lokalen är tillräckligt hög. Även de andra apparaterna för lokaluppvärmning hade getts högsta prioritet vilket innebar att endast en aeroter deltog i laststyrningen denna timma. I stället tillgrip systemet nästa åtgärd som hade getts en relativt hög prioritet, nämligen en fläktmotor i spånsugsystemet, se figurerna 11.32, 11.54 och 11.55.





Figur 11.54: De två tömningsfläktarna som leder spån från filtren till cyklonen.  
Foto: Stig-Inge Gustafsson



Figur 11.55: Elanvändning i tömningsfläktmotor nr. 1, 2000-01-04, kl 10-11.

När en tömningsfläkt slås av slutar spåntransporten att fungera mellan spånfilter och cyklon. Detta förhållande medförde att styrsystemet ställdes in så att antalet och längden på stoppen gjordes litet. Dessutom skall man ha i åtanke att från det att signalen om att stänga av motorn sänds ut från systemet det tar tre minuter innan motorn verkligen slutar att förbruka ström. Då det är en förhållandevis begränsad energimängd som undviks p.g.a. detta blir minskningen i timeffekt dessutom liten. Nästa tömningsfläktmotor slås därför också av. Det finns dessutom möjlighet att stänga av ett antal elldrivna virkestorkar men dessa var inte igång alls under denna timma varför systemet försökte att stänga av spånsugssystem nr. 2. Denna anläggning hade mycket hög prioritet vilket innebar att avbrott har skulle ske mycket sällan, kanske bara en eller två gånger om året. Så blev inte fallet genom att anläggningarna med lägre prioritet hade 'manipulerats' vilket i sin tur innebar att denna anläggning slogs ut relativt ofta. Resultatet blev att även denna apparats strömbrytare ställdes så att anläggningen inte kunde påverkas genom laststyrning. Som en sista utväg tändes en starkt blinkande lampa i lokalen för att personalen skulle uppmärksamma att systemet inte kunde lösa effektproblemet. Meningen var då att personalen skulle slå av någon maskin för hand men

så skedde ej varför timeffekten inte kunde hållas under den gräns som satts upp. Notera dock att abonnemanget inte överskreds så några straffavgifter blev inte följden trots allt. Som visats tidigare fanns det också möjlighet att värma upp lokalerna med ånga. Våra mätningar visade att ångledningens temperatur höll sig under 100 grader just under den här undersökta timman. Detta innebar samtidigt att de ångdrivna aerotemperarna inte gav full effekt, d.v.s. personalen hade ytterligare anledning att se till att laststyrningssystemet inte fungerade som tänkt. Exemplet visar att man måste ha personalen med sig när ett laststyrningssystem tas i bruk och att de är införstådda i hur det fungerar. Kanske skulle en del av den ekonomiska vinsten delats ut i form av trivselhöjande åtgärder. Här visade det sig att man av fri vilja, eller oförstånd, såg till att ett bra system slutade att fungera. Genom att justera systemet så att det hela tiden kunde vara i full drift skulle mycket pengar kunnat sparas. Tyvärr lyckades vi inte erhålla finansiering för ett fortsatt engagemang och dessutom gick företaget oturligt nog i konkurs under år 2001 varför projektet inte kunde fortsätta.

M4↑



## Kapitel 12

### Musikinstrument, båtar m.m.

M4↓

I kurslitteraturen [13] finns ett kortare avsnitt om akustiska egenskaper hos trä. Här skall därför endast några kortare kompletteringar göras. I [161] finns redovisat hur man med hjälp av fysikalisk mätapparatur kan undersöka vilka akustiska egenskaper ett träämne till ett instrument, t.ex. en luta, har. Man anger att man måste mäta upp fyra olika elasticitetsmoduler,  $D_1$  till  $D_4$  varav den första och tredje gäller för böjning längs och tvärs fiberriktningen, en för vridning  $D_4$  och en,  $D_2$ , för deformation vinkelrätt mot böjningsriktningen. Med varje sådan elasticitetsmodul kan man förknippa förluster av den energimängd som man introducerat när man slår an en ton på instrumentet. Dessa förluster kan man mäta upp som den s.k. kvalitetsfaktorn. Metoden som beskrivs beräknar dock inte  $D_2$  då den normalt är avsevärt mycket lägre än de andra. Genom att inducera svängningar i en rektangulär skiva,  $200 \times 150 \times 3$  mm, av trä materialet i fråga och sedan mäta resonansen av dessa lyckades man erhålla värden på de tre modulerna.  $D_1$  fick värden omkring 1000 MPa,  $D_3$  omkring 70 MPa och  $D_4$  cirka 350 MPa. Dessa värden skall sedan multipliceras med 12, under förutsättning att  $D_3$  är liten, för att erhålla 'vanliga' E-moduler. Man visade också att egenskaperna hos olika delar ur samma plankor varierade högst avsevärt varför det inte gick att garantera ett speciellt träds egenskaper. Lutbyggaren måste därför behandla varje ämne individuellt för att kunna utnyttja träet maximalt. Olika ytbehandlingar, shellack, testades också och man fann att framför allt  $D_3$  ökade med c:a 10 % vid lackering. För en mera uttömmande behandling av ämnet trä och musikinstrument hänvisas till [162].

M4↑



## Kapitel 13

### Artbestämning av träslag

M4↓

Mycket erfarenhet går åt för att säkert kunna bestämma olika träslag framförallt då virket är uppsågat och saknar bark. I [10], sidan 287, finns en kortare bestämningsnyckel och här skall endast några kompletterande synpunkter ges. Vidare skall vi visa på litteratur där den intresserade kan inhämta ytterligare kunskap. Nyckeln i [10] utgår från indelningen i barrträd och lövträd. Det synes som att detta skulle vara mycket lätt att avgöra då det är det första ställningstagandet som måste göras. Det avgörande kriteriet är om cellerna i träslaget är likformade, består av trakeider, vilket innebär att det är ett barrträd. Om man kan hitta kärli i trädet är det istället ett lövträd. En förutsättning för att detta skall kunna observeras är att man åtminstone har en lupp tillgänglig men många gånger måste mikroskop tillgripas. Motsvarande indelning finns i [163], sidan 63, som är ett utomordentligt omfattande verk på 800 sidor vilket dessutom endast innehåller europeiska träslag. I den första referensen anges sedan att man skall avgöra om träslaget har en tydlig kärna. Inte heller detta kanske kan avgöras enkelt om man endast har en liten bit av träslaget ifråga. Om man sedan hittar hartsgångar anges att man har att göra med ett lärkträd medan man om dessa saknas studerar en tall. I den andra referensen anges istället som andra punkt att man skall avgöra om märkestrålarnas öppningar är små eller stora. Som synes måste man studera kända träslag mycket länge för att man skall kunna erhålla en fullödig bild. Medan bestämningsnyckeln i [163] upptar två sidor för c:a 25 typer av barrträd åtgår inte mindre än c:a 40 sidor till nyckeln för lövträd. Inte bara vanliga träd tas upp utan även buskar m.m. Exempelvis kan två typer av murgröna studeras med hjälp av mikroskopiska karaktärer.

Två kompendier på svenska finns också publicerade, [164]. bl.a. finns i delen 1 grundläggande växtanatomi och dessutom har författaren tagit fram en bestämningsnyckel för lövträd i vinterskrud. Man behöver således inga löv eller blommor för att bestämma trädslaget. I den andra delen behandlas våra lövträd förhållandevis detaljrikt och som exempel kan nämnas att skogslönnen ges ett utrymme på två A4-sidor. För bestämning av olika barrträd finns också [165] att

tillgå. Verket upptar alla nu levande barrträd och inte mindre än 1,500 mikroskopiska bilder finns redovisade. Boken omfattar omkring 700 sidor. Inte mindre än 70 olika tallarter finns redovisade medan granarna är något färre, omkring 25 st, om endast släktet *Picea* tas med. Släktet *Abies* omfattar 32 arter. Motsvarande verk men för mellaneuropeiska lövträd finns också publicerat i Ungern, [166]. Ätminstone delar av detta imponerande verk finns även på engelska. Även buskar och mindre vedartade växter behandlas t.ex. ljung och tranbär. Det synes som om det skulle finnas ytterligare delar publicerade då den bok vi studerat har littera 1. Fortsatt forskning i ämnet får utvisa om så är fallet.

M4↑

# Kapitel 14

## Gamla tentamina

### Tentamen för kursen TMTR10, Träteknik grundkurs.

Lördagen den 19/10 2002, kl 08-12 i sal U3. Examinator Stig-Inge Gustafsson, mobiltel 0708 381156.

Resultatet anslås på de speciella web-sidorna för tentamina. Varje fråga som är rätt besvarad med många detaljer ger fyra poäng. Gränsen för godkänt går vid 30 poäng, 40 poäng ger en fyra medan 50 poäng krävs för betyget fem.

1. Du arbetar på ett hyvleri och har fått i uppgift att försöka minska dammalstringen från en av hyvlarna. Analysera problemet, beskriv de fenomen som föreligger samt föreslå åtgärder.
2. Beskriv hur en horisontalbandputs fungerar. Rita figur.
3. Till vad används ett s.k. pollendiagram? Visa med en figur hur det konstrueras.
4. Vilka svenska träslag avses med namnen Fraxinus, Picea, Pinus och Fagus?
5. Nämn några svenska träslag som är bandporiga. Vad avses med detta begrepp?
6. Nämn några termoplastiska limtyper. Vad innebär termen? I vilka sammanhang används de?



7. Beskriv hur uppsågningen av timmer går till i ett större sågverk.
8. Kammartorkning används ofta vid större trämanufakturindustrier. Beskriv denna process och hur den kontrolleras.
9. Hur tillverkar man fanér och var sker sådan tillverkning i Sverige?
10. MDF och OSB används i träindustriella sammanhang. Beskriv vad som åsyftas, hur tillverkningen går till och till vad dessa produkter används.
11. Nämn några svenska företag som säljer träbearbetningsmaskiner.
12. Nämn några stora trämanufakturindustrier, med fler än 100 anställda, samt beskriv vad de tillverkar.
13. Redogör för hållfastheten hos trä vid drag och tryck längs fiberriktningen. Ange också några värden samt sort.
14. UV-ljus används ofta i en träindustriell process. Förklara hur och varför man gör som man gör.
15. Rita en skiss över hur cellväggen hos ett träd är uppbyggd.

## Tentamen för kursen TMTR10, Träteknik grundkurs.

Torsdagen den 9/1 2003, kl 14-18 i sal U4, samt på CTD Stockholm.  
Examinator Stig-Inge Gustafsson, mobiltel 0708 381156.

Resultatet anslås på de speciella web-sidorna för tentamina. Varje fråga som är rätt besvarad med många detaljer ger fyra poäng. Gränsen för godkänt går vid 30 poäng, 40 poäng ger en fyra medan 50 poäng krävs för betyget fem.

1. Trämanufaktur företag kan indelas i tre nivåer speciellt med tanke på den maskinella utrustningen. Ange dessa tre nivåer samt ge några exempel på maskiner som räknas till respektive grupp.
2. Karakterisera de fyra träslagen ek, päron, ask och furu.
3. Beskriv innebörden av form som ett språk med en grammatik. (Skisser kan komplettera ord).
4. Hur fungerar en bredbandputs med krysslipaggregat?
5. När används s.k. fenol-resorcinollimner. Varför?
6. Beskriv processen i ett justerverk.
7. Skriv vad Du kan om träfiberskivor (board).
8. Beskriv ett antal olika färgtyper som används för ytbehandling av trä.
9. Skriv vad Du kan om s.k. brunröta.
10. Hur fungerar, och till vad används, en s.k. pendelapparat?
11. Hur mäter man den s.k. draghållfastheten hos trä? Ange nivån för något träslag.
12. Hur sker fuktavgivningen från en virkesyta över resp. under fibermättnadspunkten?
13. Beskriv svårigheterna med densitetsmätning av trä.
14. I vilka sammanhang talar man om begreppen torus och margo?
15. Beskriv hur en hartskanal fungerar. Var hittar man sådana?

## Tentamen för kursen TMTR10, Träteknik grundkurs.

Tisdagen den 19/8 2003, kl 14-18 i sal GARN. Examinator Stig-Inge Gustafsson, tel 013 281156, mobiltel 0708 381156.

Resultatet anslås på de speciella web-sidorna för tentamina. Varje fråga som är rätt besvarad med många detaljer ger fyra poäng. Gränsen för godkänt går vid 30 poäng, 40 poäng ger en fyra medan 50 poäng krävs för betyget fem.

1. Beskriv hur vattentransporten sker i ett träd.
2. Hur fungerar och till vad används en HF-maskin?
3. Vid torkning av virke förändras dimensionerna. Vad händer och när i torkprocessen händer det?
4. Hur fungerar en slagprovningmaskin? Vad mäter man?
5. Trä byggs upp av huvudsakligen tre olika kemiska substanser. Vilka är det? Hur är fördelningen i löv- resp. barrved?
6. Beskriv vilka fel som avses med flatböj, kantkrokighet, skevhet och kupighet.
7. I vilka sammanhang använder man den s.k. fullcellprocessen? Hur fungerar det?
8. Redogör för begreppen fuktkvot resp. fukthalt.
9. Nämn några olika celltyper i barr- resp. lövträd. Beskriv dessa.
10. När använder man s. k. mättramar och hur fungerar de i princip?
11. Vilka ingredienser finns i kaseinlim och vad medför detta för användningen?
12. Hur fungerar en ridålackmaskin? När använder man sådana och varför?
13. Ibland talar man om det rumänska äventyret. Vad är det? Finns fler exempel på sådana "äventyr"?
14. I vilka träindustriella sammanhang använder man smältlimmer?
15. Vad är Arbio, Träteknik, Tag och SLU?

## Tentamen för kursen TMTR10, Träteknik grundkurs.

Lördagen den 18/10 2003, kl 08-12 i salarna U11 och U14 samt vid CTD-Stockholm. Examinator Stig-Inge Gustafsson, tel 013 281156, mobil tel 0708 381156.

Resultatet anslås på de speciella web-sidorna för tentamina. Varje fråga som är rätt besvarad med många detaljer ger fyra poäng. Gränsen för godkänt går vid 30 poäng, 40 poäng ger en fyra medan 50 poäng krävs för betyget fem.

1. Vilka typer av resårer använder man i sängar? Hur ser de ut? Rita gärna en figur.
2. Beskriv vad som bör ingå i en s.k. designbrief. Vem gör den och vem använder den?
3. Hur fungerar en progressiv längdeirkulationstork? Rita gärna en figur. Hur varierar klimatet i en sådan?
4. Hur fungerar en dragprovningssmaskin? Vad mäter man egentligen?
5. Vilka träslag avses med de latinska benämningarna Fraxinus, Betula, Fagus och Quercus? Vad har de gemensamt?
6. Var hittar man s.k. miceller? Rita en figur över förhållandena.
7. Vad menar man med ett splinträd? Nämn några sådana.
8. Vad menas med begreppen xylem, floem och kambium. Hur fungerar det?
9. Vad menas med begreppen kärnspricka resp. ringspricka?
10. Skriv vad Du kan om s.k. vitröta.
11. Inom träindustrin används ofta s.k. UF-limner. Vad är det och till vad använder man sådana?
12. Hur fungerar en valsackeringsmaskin i princip. Varför, och till vad, använder man sådana?
13. I träindustrin talar man om TMF. Berätta vad Du kan.
14. Vad händer i ett s.k. justerverk?
15. Vad händer vid den s.k. Limes norrlandicus?

## Tentamen för kursen TMTR10, Träteknik grundkurs.

Fredagen den 9/1 2004, kl 14-18 i sal KÅRA samt vid CTD-Stockholm.  
Examinator Stig-Inge Gustafsson, tel 013-281156, mobil tel 0708-381156.

Resultatet anslås på de speciella web-sidorna för tentamina. Varje fråga som är rätt besvarad med många detaljer ger fyra poäng. Gränsen för godkänt går vid 30 poäng, 40 poäng ger en fyra medan 50 poäng krävs för betyget fem.

1. Skriv vad Du kan om limträ.
2. När använder man den s.k. fullcellprocessen? Beskriv hur den fungerar.
3. Hur fungerar en progressiv tvärcirkulationstork? Rita gärna en figur. Hur varierar klimatet i en sådan?
4. Hur fungerar en böjprovningssmaskin?
5. Vilka arter av björk används i träindustriella sammanhang?
6. Vilka skillnader finns mellan metoderna enligt Brinell och Janka?
7. Man talar om fyra typer av formförändringar hos virkestycken, Vilka är de och vad innebär dessa?
8. Vad anges med termen krympningsanisotropi? Vad gäller för trä?
9. Hur sker fukttransporten i trä? Vad har fibermättnadspunkten för betydelse i detta sammanhang?
10. Var återfinner man den sk mittlamellen? Rita gärna en figur.
11. Skriv vad Du kan om mägstrålar.
12. Hur fungerar en ridålackeringsmaskin? Varför, och till vad, använder man sådana?
13. Hur fungerar en överfräs? I vilka träindustriella sammanhang används den?
14. Vilka former av uppdrag finns för designers och formgivare? Vem betalar? Vem äger produkten o.s.v? Redogör för förhållandena i branschen.
15. Var återfinner man en s.k. balusterbricka?

## Tentamen för kursen TMTR10, Träteknik grundkurs.

Torsdagen den 12/8 2004, kl 14-18 i sal TER1. Examinator Stig-Inge Gustafsson, tel 013-281156, mobiltel 0708-381156.

Resultatet anslås på de speciella web-sidorna för tentamina. Varje fråga som är rätt besvarad med många detaljer ger fyra poäng. Gränsen för godkänt går vid 30 poäng, 40 poäng ger en fyra medan 50 poäng krävs för betyget fem.

1. Vad är s.k. Parallam. Till vad används det? Egenskaper?
2. Nämn några vedförstörande insekter och deras kännetecken.
3. Hur varierar draghållfastheten hos trä med fibervinkeln?
4. Nämn och förklara de fyra typerna av formförändringar som sker hos virkesstycken vid torkning.
5. Hur sker fuktavgivningen vid torkning under fibermättnadspunkten?
6. Vad är en s.k. ringpor?
7. Var återfinner man s.k. hartskanaler?
8. Vad är kännetecknande för trädens splint resp. kärna?
9. Man talar om trädets tre huvudriktningar. Vilka är dessa och varför används begreppet?
10. Ungefär hur stor är draghållfastheten vid brott hos cellulosa-fibrer och hur mycket tillåts vid konstruktion av byggnader?
11. När använder man en bredbandputs? Hur fungerar den i princip?
12. I vilka träsammanhang talas om s.k. trokoidkurvor. Vad är det?
13. Vad är, och varför används s.k. UV-lacker?
14. Hur konstrueras sängar? Vad heter de ingående komponenterna?
15. Skriv vad Du kan om olika typer av fanér.

## Tentamen i kursen TMTR05, Trätekniska material och maskiner

Lördagen den 16/3, 2002, kl 14-18 i sal T2 samt i Stockholm.

Examinator: Stig-Inge Gustafsson, mobiltel 0708 381156.

Resultat anslås på CTDs anslagstavlor i Stockholm och Linköping.

Varje fråga ger max 4 poäng. 16 poäng är gränsen för godkänt, 24 poäng ger en fyra och 32 poäng och bättre ger en femma.

1. Beskriv hur man med TaylorED skulle kunna simulera montering av en stol.
2. Ryggstödet på en enkel stol är 0.5 meter högt och belastas högst upp med en kraft om 500 N. Tvärsnittsarean vid sitsen är 2 x 3 cm. Använd ungefärliga värden från laborationer och/eller annan kunskap för att beräkna om ryggstödet håller. Beskriv hur Du gör!
3. Beskriv hur man går till väga vid böjprovning av trä. Vad mäter man egentligen och hur sker beräkningarna?
4. Beskriv hur cellens uppbyggnad i lager ser ut enligt Kollman. Varför är detta viktigt?
5. Beskriv principerna för hur ett torkschemata vid kammartorkning byggs upp. Förklara varför.
6. Förklara begreppen Klismos, kypert, rivning av fanér och kallsfum.
7. Beskriv ett antal fel, samt deras orsak, som kan uppkomma på virke vid torkning.
8. Vad utmärker möbler av David Röntgen?
9. I Kollmann talas om "bordered pits". Vad är det och vad är utmärkande exempel för löv- respektive barrträd?
10. Beskriv några principer för fuktkvotsmätning av trä. Förklara hur och varför det fungerar! För- och nackdelar!

## Tentamen i kursen TMTR05, Trätekniska material och maskiner

Torsdagen den 18/4, 2002, kl 14-18 i sal U7 samt i Stockholm.

Examinator: Stig-Inge Gustafsson, mobiltel 0708 381156.

Resultatet återfinnes via inloggning på den sk Studentportalen.

Varje fråga ger max 4 poäng. 16 poäng är gränsen för godkänt, 24 poäng ger en fyra och 32 poäng och bättre ger en femma.

1. Beskriv hur man industriellt tillverkar ett armstöd i formpressad fanér. Rita figurer!
2. Vid torkning av trä uppstår ibland oönskade färgförändringar. Vad beror detta på och hur åtgärdar man det?
3. Hur åstadkommer man sk dimensionsstabilisering av trä? Vad händer?
4. Var och hur hittar man sk axiella parenkymceller? Vad är det?
5. Beskriv metodiken vid dragprovning av trä. Hur sker beräkningarna baserade på de mätvärden som erhålls?
6. Vad är och hur fungerar den sk Jacquardtekniken?
7. I träindustriella sammanhang förekommer sk trokoid- eller cykloidkurvor. Vad är det och hur fungerar det?
8. Förekomsten av dragved kan undersökas i mikroskop. Hur gör man och vad letar man efter?
9. När tillgriper man Hankinsons formel?
10. Vid bestämning av fuktkvoten hos trä används ibland en ugn. Beskriv metoden och ange fördelar och nackdelar.



## Tentamen i kursen TMTR05, Trätekniska material och maskiner

Torsdagen den 29/8, 2002, kl 0800-1200 i Stockholm.  
Examinator: Stig-Inge Gustafsson, mobiltel 0708 381156.  
Resultat anslås via den s.k. studentportalen

Varje fråga ger max 4 poäng. 16 poäng är gränsen för godkänt, 24 poäng ger en fyra och 32 poäng och bättre ger en femma.

1. Var hittar man s.k. hartskanaler och hur ser dessa ut på mikronivå?
2. Cylindriska celler med hålrum mellan dessa kan återfinnas i vissa träslag. Var finns sådana och vad tyder fenomenet på?
3. Beskriv vad som händer vid dragprovning av trä. Vad är det man mäter och hur går beräkningarna till?
4. Vid produktionssimulering talar man ibland om atomer. Vad är det och hur används sådana. Ge exempel från ex. vis ett sågverk.
5. Vad är det som orsakar blånad hos ved och hur och varför påverkas vedens egenskaper.
6. Vid maskinell hyvling åstadkommer den skärande eggen ett visst geometriskt mönster. Beskriv vad som händer.
7. Torkning av lövträ är ett besvärligt kapitel. Vilka fel kan uppstå och vad gör man för att undvika dessa.
8. Träbearbetningsmaskiner delas ibland in i tre olika tekniknivåer. Exemplifiera detta vad gäller ytbearbetning.
9. Vad är en s.k. spånbrytare och vad innebar lanseringen av denna uppfinning?
10. Vad är celocrin, keder, gyllenläder och tuskaft?

## Tentamen i kursen TMTR06, Träindustrin och dess material

Måndagen den 16/12, 2002, kl 0800-1200 i sal U10.  
Examinator: Stig-Inge Gustafsson, tel 1156, mobil tel 0708 381156.  
Resultat anslås via den s.k. studentportalen

Varje fråga ger max 4 poäng. 16 poäng är gränsen för godkänt, 24 poäng ger en fyra och 32 poäng och bättre ger en femma.

1. Beskriv hur ett s.k. torkschemata för ex. vis bok byggs upp. Ange temperaturer m.m.
2. Varför har man infört termen "Modulus of Rupture" när man ska undersöka hållfastheten hos trä.
3. Hur varierar resistansen hos trä med fuktkvoten. Rita gärna ett diagram med skalor. Vad innebär detta beteende praktiskt?
4. Beskriv vad som menas med en massivträkomposit. Hur tillverkas en sådan?
5. Nämn några insekter som angriper möbler, parkettgolv m.m. Varför attackeras sällan ytbehandlade möbler av sådana?
6. Hur upptäcker man förekomsten av s.k. dragved i ett mikroskop.
7. Axiella parenkymceller kan användas för att identifiera olika träslag. Beskriv hur man går tillväga.
8. Nämn några företag som tillverkar formpressad fanér. Var återfinner man dem geografiskt?
9. Varför uppkommer ibland oönskade färgförändringar vid torkning av lövträ.
10. Skriv vad Du kan om polyeter och kallsaum. Hur mäts hårdhet m.m.

## Tentamen i kursen TMTR06, Träindustrin och dess material

Onsdagen den 12/2, 2003, kl 1315-1700 i sal Wood.

Examinator: Stig-Inge Gustafsson, tel 1156, mobil tel 0708 381156.

Resultat anslås via den s.k. studentportalen

Varje fråga ger max 4 poäng. 16 poäng är gränsen för godkänt, 24 poäng ger en fyra och 32 poäng och bättre ger en femma.

1. Beskriv vilka celltyper som man återfinner i lövträd. Hur ser de ut?
2. Hur undersöks den s.k. böjhållfastheten hos trä?
3. Beskriv några metoder för fuktkvotsmätning av trä.
4. Vad händer vid s.k. dimensionsstabilisering av trä?
5. I träsammanhang talar man om ett vårtigt lager. Vad avses?
6. Nämn några kemiska skillnader mellan löv- och barrträ.
7. Varför tillgrips ibland vacuumtorkning?
8. Nämn några företag som tillverkar parkettgolv.
9. Beskriv hur man använder den s.k. förskjutningsmetoden. När används den och varför?
10. Vilken inverkan kan ett angrepp av bakterier ha på trä.

## Tentamen i kursen TMTR06, Träindustrin och dess material

Onsdagen den 17/12, 2003, kl 08-13 i sal GARN.  
Examinator: Stig-Inge Gustafsson, tel 1156, mobil tel 0708 381156.  
Resultat anslås via den s.k. studentportalen

Varje fråga ger max 4 poäng. 16 poäng är gränsen för godkänt, 24 poäng ger en fyra och 32 poäng och bättre ger en femma.

1. Skriv vad Du kan om porer i vedens cellväggar.
2. Hur undersöks den s.k. draghållfastheten hos trä? Beskriv vad och hur man mäter och vad man beräknar.
3. Hur, när och varför fungerar fuktkvotsmätare av resistanstyp?
4. Inom hållfasthetsläran talar man om MOE3 resp. MOE4. Vad är det och när och varför används de?
5. Nämn några metoder vad gäller impregnering av trä mot rötangrepp.
6. Beskriv för- och nackdelar vid kammar- resp. tunneltorkning av trä.
7. Hur känner man igen s.k. tryckved i mikroskopet?
8. Nämn några företag som tillverkar skiktlimmad fanér.
9. Vad är krollsplint, tuskaft, latex och narv i möbelsammanhang?
10. I vilka sammanhang tillgriper man s.k. gaffelprov (prong test).

## Tentamen i kursen TMTR06, Träindustrin och dess material

Onsdagen den 21/4, 2004, kl 14-18 i sal T1 hus C.

Examinator: Stig-Inge Gustafsson, tel 1156, mobil tel 0708 381156.

Resultat anslås via den s.k. studentportalen

Varje fråga ger max 4 poäng. 16 poäng är gränsen för godkänt, 24 poäng ger en fyra och 32 poäng och bättre ger en femma.

1. Skriv vad Du kan om mikrofibrillernas orientering i cellväggen och vad dessas orientering innebär vid träindustriell verksamhet.
2. Hur undersöker man fuktkvoten i virke? Redogör för några olika metoder. Fördelar och nackdelar.
3. När uppkommer s.k. strömärken, "sticker stain enl. Kollmann". Hur ser det ut?
4. Hur uppkommer s.k. ythårdhet, "casehardening enl Kollmann". Hur undviker man sådan?
5. Skriv vad Du kan om färgförändringar på virke vid torkning.
6. Beskriv några olika typer av skinn till möbler.
7. När, i träsammanhang är det lämpligt att använda den s.k. förskjutningsmetoden? Beskriv översiktligt hur man gör.
8. Ibland blir ett träs celler mera cirkulära, cellväggarna spricker och dessutom ser man ofta hålrum mellan cellerna. Vad har hänt?
9. Vissa träslag innehåller s.k. hartskanaler. Hur ser sådana ut? I vilka träslag finns de?
10. Beskriv hur man undersöker trä i ett svepelektronmikroskop, hur ett sådant fungerar i princip, samt vilka detaljer man kan se.

# Litteraturförteckning

- [1] Lundegårdh P. H., Lundqvist J. och Lindström M. *Berg och jord i Sverige*. Almqvist & Wiksell Förlag AB, Tredje upplagan. Uppsala, 1970.
- [2] Bennet M. R. och Glasser N. F. *Glacial Geology. Ice Sheets and Landforms*. Wiley, ISBN 0-471-96345-3, 1999.
- [3] Lindström M., Lundqvist J. och Lundqvist T. *Sveriges geologi från urtid till nutid*. Studentlitteratur, ISBN 91-44-30381-5. Lund, 1991.
- [4] Magnusson N. H., Lundqvist G. och Regnéll G. *Sveriges geologi*. Svenska bokförlaget/Nordstedts, Fjärde upplagan. Stockholm, 1963.
- [5] Sjörs H. *Nordisk växtgeografi*. Svenska Bokförlaget Bonniers, Andra upplagan. Stockholm, 1956.
- [6] Lundmark J. E. *Skogsmarkens ekologi - Del 1 Grunder*. Skogsstyrelsen,, ISBN 91-85748-50-1. Jönköping, 1986.
- [7] Mitchell A. *Nordeuropas träd*. Albert Bonniers Förlag,, ISBN 91-0-041270-8. Stockholm, 1977.
- [8] Malmqvist C., Müller S. och Woxblom L. *Trädslag för beskogning av åkermark. - björk och lönn*. Rapport nr ISRN SLU-SIMS-UTR-8-SE, ISSN 0284-3803. Uppsala, 1991.
- [9] Malmqvist C. och Woxblom L. *Trädslag för beskogning av åkermark. - asp och fågelbär*. Rapport nr ISRN SLU-SIMS-UTR-10-SE, ISSN 0284-3803. Uppsala, 1991.
- [10] Saarman E. *Träkunskap*. Sveriges Skogsindustriförbund, ISBN 91-7322-726-9, 1992.
- [11] Malmqvist C. och Woxblom L. *Trädslag för beskogning av åkermark. - al och ask*. Rapport nr ISRN SLU-SIMS-UTR-7-SE, ISSN 0284-3803. Uppsala, 1991.

- [12] Andersson I. *Miljöanalys Skog och skogsmark*. Skrivelse från Skogsvårdsstyrelsen i Östergötlands län., Linköping, 1994.
- [13] Kollmann F. P. och Cote W. A. *Principles of Wood Science and Technology. Volym 1: Solid Wood*. Springer-Verlag., ISBN 3-540-04297-0. Berlin Heidelberg, 1984.
- [14] Eaton R. A., Hale M. D. C. *Wood. Decay, Pests and Protection*. Chapman and Hall, ISBN 0-412-53120-8. Cambridge, 1993.
- [15] Ursing B. *Svenska växter. Kryptogamer*. Nordisk Rotogravyr, 1949.
- [16] Tsujiyama S. et al. Degradation of Lignin-Carbohydrate Complex (LCC) by Wood- Rotting Fungi III. *Mokuzai Gakkaishi*, 39(7):807–813, 1993.
- [17] Okänd författare. *Okänd titel*. Okänd, 1965?
- [18] Tsuomis G. *Science and Technology of Wood*. Van Nostrand Reinhold, ISBN 0-442-23985-8. New York, 1991.
- [19] Liese W. Holzbakterien und Holzschutz. *Material und Organismen*, 27:191–202, 1992.
- [20] Hedqvist K.-J. et al. *Skogsinsekter*. Skogsstyrelsen, 1975.
- [21] Ehnström B., Axelsson R. *Insektsnag i bark och ved*. SLU, Artdatabanken, ISBN 91-88506-26-6, 2002.
- [22] Lindroth C. H. *Våra skalbaggar och hur man känner igen dem*. Fältbiologerna., ISBN 91-85094-722., 1993.
- [23] Trägårdh I. *Inomhus förekommande virkesförstörande insekter samt medlen att bekämpa desamma*. Kungliga Byggnadsstyrelsens Publikationer, 1949:1., 1949.
- [24] Hickin N. E. *The Insect Factor in Wood Decay*. Hutchinson of London., Okänt.
- [25] Hoadley B.R. *Understanding Wood*. The Taunton Press Inc., ISBN 0-918804-05-1. Newtown, U.S.A., 1981.
- [26] Hågeryd L., Björklund S., Lenner M. *Modern produktionsteknik*. Liber utbildning, Falköping, ISBN 91-634-0065-0, 1993.
- [27] Nutsch W. (Editor). *Holztechnik*. Verlag Europa-Lehrmittel, Haan-Gruiten, ISBN 3-8085-4017-6, 1999.

- [28] Grönlund A. *Träbearbetning*. TräteknikCentrum., Liber Tryck AB. ISBN 91 970513 2 2, 1986.
- [29] Palmqvist J., Lenner M., Gustafsson S.I. Cutter Head Forces and Load Cell Scanning. *Wood Science and Technology*, X(X):xxx–xxx, In press, 2003.
- [30] Grönlund A. *Sågverksteknik del I, råvaran*. Sveriges Skogsindustriförbund., Yrkesbok X-724. ISBN 91-7322-724-2., 1992.
- [31] Johansson C. och Härngren L. *Sågverkens råvara*. Sveriges Skogsindustriförbund., Yrkesbok Y-511. ISBN 91-7322-511-8., 1986.
- [32] Anonym. *Kompendium i virkesmätning, del IV, Mätning av barrsågstimmer*. Virkesmätningsrådet.1995-07-05, 1995.
- [33] Anonym. Ny timmermätning på gång: Slutprodukten bestämmer klassningen. *Aktivt Skogsbruk*, 5, 1993.
- [34] Anonym. *Mättningsinstruktioner, rekommenderade av Virkesmätningsrådet*. Virkesmätningsrådet, Nr 1-87, andra upplagan., 1987.
- [35] Grönlund A. *Sågverksteknik del II, processen*. Sveriges Skogsindustriförbund., ISBN 91-7322-150-2., 1992.
- [36] Kollmann F.F.P., Kuenzi E.W. och Stamm A.J. *Principles of Wood Science and Technology. Volym 2: Solid Wood*. Springer-Verlag., ISBN 3-540-06467-2. Berlin Heidelberg, 1975.
- [37] Haygreen J. G. och Bowyer J. L. *Forest Products and Wood Science. An introduction*. Iowa State University Press, ISBN 0-8138-1801-X. Ames, Iowa, U.S.A., 1989.
- [38] Walker J.C.F. *Primary Wood Processing, Principles and Practice*. Chapman & Hall, ISBN 0 412 54840 2. London, 1993.
- [39] Ternstedt E. *Trämateriellära*. SIFU Träteknik, Borås, 1986.
- [40] Siau J. F. *Transport Processes in Wood*. Springer-Verlag, ISBN 3-540-12574-4., 1984.
- [41] Johansson C. och Härngren L. *Vårda virkets värde*. Sveriges Skogsindustriförbund., Yrkesbok Y-532. ISBN 91-7322-532-8., 1986.
- [42] Randhawa S.U. et al. A Discrete-Event Object-Oriented Modeling Environment for Sawmill Simulation. *Simulation*, 64(2):119–130, 1994.



- [43] Archer R.R. *Growth Stresses and Strains in Trees*. Springer-Verlag, ISBN 3-540-16406-5., 1986.
- [44] Sonntag R. E., Borgnakke C. och van Wylen G.J. *Fundamentals of Thermodynamics*. John Wiley & Sons, Inc., 0-471-18361-X. New York, fifth edition, 1998.
- [45] Irvine T. F. och Liley P. E. *Steam and gas tables with computer equations*. Academic press Inc., 1984.
- [46] Esping B. *Trätorkning 1a - grunder i torkning*. Trätekt, 1992.
- [47] Esping B. *Trätorkning 1b - praktisk torkning*. Trätekt, 1996.
- [48] Adesanya B. A., Nanda A. K. och Beard J. N. Drying Rates During High Temperature Drying of Yellow Poplar. *Drying Technology*, 6(1):95–112, 1988.
- [49] Fohr J. P., Chakir A., Arnaud G. och du Peuty M. A. Vacuum Drying of Oak Wood. *Drying Technology*, 13(8&9):1675–1693, 1995.
- [50] Rosenberg E. och Schatvet J. In-Kiln Measurements of Moisture Content in Timber Using Nuclear Radiation Technique. *Holzforschung*, 51(3):268–272, 1997.
- [51] Milota M. R. och Wengert E. M. Applied Drying Technology 1988 to 1993. *Forest Products Journal*, 45(5), 1995.
- [52] Mantanis G. I. et al. Swelling of Wood. *Wood Science and Technology*, 28(2):119–134, 1994.
- [53] Arganbright D. G. Developments in Applied Drying Technology 1971-1977. *Forest Products Journal*, 29(12):14–20, 1979.
- [54] Quarles S. L. och Wengert E. M. Applied Drying Technology 1978 to 1988. *Forest Products Journal*, 39:25–38, 1989.
- [55] Shortle W. C. Biochemical Mechanisms of Discolouration, Decay, and Compartmentalisation of Decay in Trees. *IAWA Bulletin n.s.*, 5(2):100–104, 1984.
- [56] Kreber B. och Byrne A. Discolorations of Hem-Fir Wood: A Review of the Mechanisms. *Forest Products Journal*, 44(5):35–42, 1994.
- [57] Bauch J. Discolouration in the Wood of Living and Cut Trees. *IAWA Bulletin n.s.*, 5(2):92–98, 1984.

- [58] Klumpers J. och Janin G. Influence of Age and Annual Ring Width on the Colour of Oaks. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 50:167–171, 1992.
- [59] Klumpers J., Scalbert A. och Janin G. Ellagitannins in European Oak Wood: Polymerization During Wood Ageing. *Phytochemistry*, 36(5):1249–1252, 1994.
- [60] Klumpers J., Janin G., Becker M. och Lévy G. The Influence of Age, Extractive Content and Soil Water on Wood Color in Oak: the Possible Genetic Determination of Wood Color. *Annales des Sciences Forestières*, 50(Suppl. 1):403–409, 1993.
- [61] Charrier B., Haluk J. P. och Janin G. Prevention of Brown Discoloration in European Oakwood Occuring During Kiln Drying by a Vacuum Process. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 50:433–437, 1992.
- [62] Wegener G. och Fengel D. Investigations on Colour Changes Resulting from Drying of European Oak. In *Fourth International Symposium on Wood and Pulping Chemistry*, pages 121–123, Paris, 1987.
- [63] Bauch J., v. Hundt H., Weissmann G., Lange W. och Kubel H. On the Causes of Yellow Discolorations of Oak Heartwood (*Quercus Sect. robur*) During Drying. *Holzforschung*, 45(2):79–85, 1991.
- [64] Charrier B., Haluk J. P. och Metche M. Characterization of European Oakwood Constituents Acting in the Brown Discolouration During Kiln Drying. *Holzforschung*, 49(2):168–172, 1995.
- [65] Kreber B., Schmidt E. L. och Byrne T. Methyl Bromide Fumigation to Control Non-Microbial Discolorations in Western Hemlock and Red Alder. *Forest Products Journal*, 44(10):63–67, 1994.
- [66] Ota M., Onodera S., Ohira M. och Taneda K. The Chemistry of Color Changes in Kiri Wood, II. *Mokuzai Gakkaishi*, 37(3):254–260, 1991.
- [67] Forsyth P. G. och Amburgey T. L. Microscopic Characterization of Nonmicrobial Gray Sapstain in Southern Hardwood Lumber. *Wood and Fiber Science*, 23(3):376–383, 1991.
- [68] Forsyth P. G. och Amburgey T. L. Prevention of Non-Microbial Sapstains in Water-Stored Oak Logs. *Forest Products Journal*, 42(4):59–61, 1992.
- [69] Sachs I. B., Ward J. C. och Bulgrin E. H. Heartwood Stain in Red Oak. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 24(10):489–497, 1966.

- [70] Basham J. T. och Taylor D. L. The Occurrence of Fungi and Bacteria in Normal and Discolored Heartwood on Second-Growth Sugar Maple in Ontario. *Plant Disease Reporter*, 49(9):771–774, 1965.
- [71] Koltzenburg C. Zur Entstehung von Verfärbungen in gelagertem Bergahornholz (*Acer pseudoplatanus L.*). *Holz als Roh- und Werkstoff*, 33:420–426, 1975.
- [72] Schmidt O. och Liese W. Occurrence and Significance of Bacteria in Wood. *Holzforschung*, 48(4):271–277, 1994.
- [73] Hansen K. Bacterial Staining of Samba (*Triplochiton scleroxylon*). In *The International Research Group on Wood Preservation*, Madrid, 1988.
- [74] Cosenza B. J., McCreary M., Buck J. D. och Shigo A., L. Bacteria Associated with Discolored and Decayed Tissues in Beech and Birch and Maple. *Phytopathology*, 60(11):1547–1551, 1970.
- [75] Bauch J., Seehann G. och Endeward R. Characterization of Sapwood and Brown Heart in *Terminalia superba*. *Holzforschung*, 36(5):257–263, 1982.
- [76] Yasaki Y., Bauch J. och Endeward R. Extractive Components Responsible for the Discoloration of Ilomba Wood (*Pycnanthus angolensis Exell*). *Holz als Roh- und Werkstoff*, 43:359–363, 1985.
- [77] Phelps J. E., McGinnes E. A., Garrett H. E. och Cox G. S. Growth-Quality Evaluation of Black Walnut Wood. Part II-Color Analyses of Veneer Produced on Different Sites. *Wood and Fiber Science*, 15(2):177–185, 1983.
- [78] Phelps J. E. och McGinnes E. A. Growth-Quality Evaluation of Black Walnut Wood. Part III- An Anatomical Study of Color Characteristics of Black Walnut Veneer. *Wood and Fiber Science*, 15(3):212–218, 1983.
- [79] Hiller C. H., Freese F. och Smith D. M. Relationships in Black Walnut Heartwood Between Color and Other Physical and Anatomical Characteristics. *Wood and Fiber*, 4(1):38–42, 1972.
- [80] Brauner A. B. och Loos W. E. Color Changes in Black Walnut As a Function of Temperature, Time, and Two Moisture Conditions. *Forest Products Journal*, 18(5):29–34, 1968.
- [81] Höster H. R. Verfärbungen bei Buchenholz nach Wasserlagerung. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 32(270-277), 1974.

- [82] Schmidt O. och Mehlinger H. Bakterien im Stammholz von Buchen aus Waldschadensgebieten und ihre Bedeutung für Holzverfärbungen. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 47:285–290, 1989.
- [83] Hrutfiord B. F. och Luthi R. Chemistry of Oregonin. In *International Symposium on Wood and Pulping Chemistry Vol. I*, pages 95–98, Stockholm, 1981.
- [84] Terazawa M., Miyake M. och Okuyama H. Phenolic Compounds in Living Tissue of Woods V. *Mokuzai Gakkaishi*, 30(7):601–607, 1984.
- [85] Morgan J. W. W. och Orsler R. J. The Chemistry of Colour Changes in Wood I. *Holzforschung*, 22(1):11–16, 1968.
- [86] Florence E. J. M. och Sharma J. K. *Botrydiplodia theobromae* Associated with Blue Staining in Commercially Important Timbers of Kerala and its Possible Biological Control. *Material and Organisms*, 25:193–199, 1992.
- [87] Ota M., Azuma T., Onodera S. och Taneda K. The Chemistry of Color Changes in Kiri Wood, III, (*Paulownia tomentosa*). *Mokuzai Gakkaishi*, 30(4):479–485, 1993.
- [88] Nelson N. D. Extractives Produced During Heartwood Formation in Relation to Amounts of Parenchyma in *Juglans nigra* and *Quercus rubra*. *Canadian Journal of Forest Research*, 5(291-301), 1975.
- [89] Ebermann R. och Stich K. Distribution and Seasonal Variation of Wood Peroxidase Activity in Oak. (*Quercus robur*). *Wood and Fiber Science*, 17(3):391–396, 1985.
- [90] Nelson N. D., Maeglin R. R. och Wahlgren H. E. Relationship of Black Walnut Wood Color to Soil Properties and Site. *Wood and Fiber*, ??(??):29–37, 1970.
- [91] Klumpers J. *Le Déterminisme de la Couleur du Bois de Chêne*. PhD thesis, Ecole Nationale du Genie Rural, Nancy, 1994.
- [92] Boone S. R. High Temperature Kiln-Drying Red Maple Lumber - Some Options. *Forest Products Journal*, 36(9):19–25, 1986.
- [93] Wang H. H. och Youngs R. L. Drying Stress and Check Development in the Wood of Two Oaks. *IAWA Journal*, 17(1):15–30, 1996.
- [94] Cech M. Y. och Pfaff F. Kiln Drying of 1-Inch Red Oak. *Forest Products Journal*, 25(8):30–37, 1975.

- [95] Eckelman C. A. *Strength Design of Furniture*. Tim Tech Inc., 303 North 350 West Road West Lafayette Indiana 47906, U.S.A., 1978.
- [96] Berglund E. Sittmöblers mått. Technical Report 50, Möbelinstitutet, ISBN 91-85578-06-1, 1988.
- [97] Hult J. *Hållfasthetslära*. Almqvist & Wiksell / Gebers Förlag AB, Stockholm, 1968.
- [98] Smardzewski J. Methods of Numerical Furniture Design. In *Internationellt seminarium vid trätekniska fakulteten i Poznan, Polen*, 1993.
- [99] Smardzewski J. och Dziegielewski S. Stability of Cabinet Furniture Backing Boards. *Wood Science and Technology*, 28:35–44, 1993.
- [100] Aicher S. och Reinhardt H. W. Einfluss der Bauteilsgröße in der linearen und nichtlinearen (Holz)-Bruchmechanik. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 51:215–220, 1993.
- [101] Yao F. Z. och Foschi R. O. Duration of Load in Wood: Canadian Results and Implementation in Reliability-Based Design. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 20, 1993.
- [102] Hayashi K. et al. Wood Viscoelastic Compliance Determination with Special Attention to Measurement Problems. *Materials and Structures*, 26:370–376, 1993.
- [103] Ranta-Maunus A. Rheological Behaviour of Wood in Directions Perpendicular to the Grain. *Materials and Structures*, 26:362–369, 1993.
- [104] Foschi R. O. et al. Reliability-Based Design of Wood Structures: Background to CSA-086.1-M89. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 20:349–357, 1993.
- [105] Ebrahimzadeh P. R. och Kubát D. G. Effects of Humidity Changes on Damping and Stress Relaxation in Wood. *Journal of Materials Science*, 28:5668–5674, 1993.
- [106] Biernacki J. M. och Beall F. C. Development of an Acousto-Ultrasonic Scanning System for Nondestructive Evaluation of Wood and Wood Laminates. *Wood and Fiber Science*, 25(3):289–297, 1993.
- [107] Becker G. och Beall F. C. Verfahren der zerstörungsfreien Holzprüfung - Entwicklungstendenzen in Nordamerika und Folgerung für die Anwendung in Mitteleuropa. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 51:177–180, 1993.

- [108] Sliker A. et al. Orthotropic Elastic Constants for Eastern Hardwood Species. *Wood and Fiber Science*, 26(1):107–121, 1994.
- [109] Antic A. Hållfastheten hos tryckbelastade träbalkar tillverkade av bok och björk. Master's thesis, Examensarbete LiTH-IKP-Ex-1160, 1994.
- [110] Smardzewski J. och Dziegielewski S. Analysis of Stresses in Dowel and Stop Housed Joints Using the Method of Finite Elements. *Badania Dla Meblarstwa*. Technical report, Institutionen för möbeldesign vid Lantbruksuniversitetet i Poznan, Polen, 1994.
- [111] Wang S.-Y. och Juang H.-B. Structural Behaviour of Various Joints in Furniture Components Made of Softwood Laminated Veneer Lumber. *Mokuzai Gakkaishi*, 40(9):911–921, 1994.
- [112] Winandy J. E. och Morrell J. J. Relationship Between Incipient Decay, Strength, and Chemical Composition of Douglas-Fir Heartwood. *Wood and Fiber Science*, 25(3):278–288, 1993.
- [113] Perez V. et al. In Vitro decay of *Aeetoxicon punctuatum* and *Fagus Silvatica* Woods by White and Brown Rot Fungi. *Wood Science and Technology*, 27:295–307, 1993.
- [114] Wiberg N. et al. *Finita elementmetoden*. LiberLäromedel Lund, Gleerups, 1975.
- [115] Samuelsson A. Balk- och ytbärverk. Technical report, Skrift 73:19 Inst för byggnadsstatik, Chalmers Tekniska Högskola., 1973.
- [116] Gustafsson S.I. Furniture Design by use of the Finite Element Method. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 53:257–260, 1995.
- [117] Gustafsson S.I. Stability Problems in Optimized Chairs? *Wood Science and Technology*, 30:339–345, 1996.
- [118] Gustafsson S.I. Finite Element Modelling Versus Reality for Birch Chairs. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 54:355–359, 1996.
- [119] Gustafsson S.I. Optimising Ash Wood Chairs. *Wood Science and Technology*, 31:291–301, 1997.
- [120] Broberg et al. *Formelsamling i hållfasthetslära*. Publ 104, Inst för hållfasthetslära, KTH., nionde upplagan edition, 1986.
- [121] Kucera B. *Skandinaviske normer for testing av små feilfrie prøver av heltre*. Norwegian Research Institute, 1992.

- [122] Raknes E. *Trälimning*. Universitetsförlaget AS, Oslo 1971. I Sverige utgiven av Träteck, ISBN 91-970513-7-3, 1988.
- [123] Pizzi A. *Wood Adhesives, Chemistry and Technology*. Marcel Dekker Inc., New York, ISBN 0-8247-1579-9., 1983.
- [124] Marra A. *Technology of Wood Bonding, Principles in Practice*. Van Nostrand Reinhold, New York, ISBN 0-442-00797-3., 1992.
- [125] Christiansen A. W. Effect of Overdrying of Yellow-Poplar Veneer on Physical Properties and Bonding. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 52:139–149, 1994.
- [126] Sakata I. et al. Activation of Wood Surface by Corona Treatment to Improve Adhesive Bonding. *Journal of Applied Polymer Science*, 49:1251–1258, 1993.
- [127] Hillis W. E. *Heartwood and Tree Exudates*. Springer-Verlag, ISBN 3-540-17593- 8., 1987.
- [128] Kehr E. et al. Feuchtbeständigkeit und Hydrolysesistenz von Holz-zu-Holz Bindungen in Spanplatten, hergestellt mit formaldehydarmen modifizierten Harnstoff-Formaldehydharzen unter Einsatz verschiedener Härtungsbeschleunigersysteme. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 51:197–207, 1993.
- [129] River B. H. Failure Mechanisms in Wood Joints Bonded With Urea-Formaldehyde Adhesives. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 52:179–184, 1994.
- [130] Johansson I., Lindgren O. *Kompendium i kemisk träförädling, ytbehandling och limning*. Höskolan i Luleå, Inst för träteknik i Skellefteå, 1990.
- [131] Truter P. et al. Cold-Setting Wood Adhesives from Kraft Hardwood Lignin. *Journal of Applied Polymer Science*, 51:1319–1322, 1994.
- [132] Yazaki Y. och Collins P. J. Wood Adhesives from *Pinus radiata* Bark. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 52:185–190, 1994.
- [133] Torgovnikov G. I. *Dielectric Properties of Wood and Wood-Based Materials*. Springer-Verlag, ISBN 3-540-55394-0, 1993.
- [134] Wright J. R. och Mathias L. J. Physical Characterization of Wood and Wood-Polymer Composites: An Update. *Journal of Applied Polymer Science*, 48:2225–2239, 1993.

- [135] Wright J. R. och Mathias L. J. New Lightweight Materials: Balsa Wood-Polymer Composites Based on Ethyl  $\alpha$ -(Hydroxymethyl) acrylate. *Journal of Applied Polymer Science*, 48:2241–2247, 1993.
- [136] Fujimura T. et al. Improvement of the Durability of Wood with Acryl-High-Polymer VII. *Mokuzai Gakkaishi*, 40(1):36–43, 1994.
- [137] Schneider M.H. Wood Polymer Composites. *Wood and Fiber Science*, 26(1):142–151, 1994.
- [138] Hon D. N-S. och Chao W. Y. Composites from Benzylated Wood and Polystyrenes: Their Processability and Viscoelastic Properties. *Journal of Applied Polymer Science*, 50:7–11, 1993.
- [139] Geimer R. L. och Wood J. E. Density Range of Compression-Molded Polypropylene-Wood Composites. *Wood and Fiber Science*, 25(2):163–169, 1993.
- [140] Sharma V. och Sharon A. Optimal Orientation Of Flaces in Oriented Strand Board (OSB). *Experimental Mechanics*, 33(2):91–98, 1993.
- [141] Ritter D. C. Zones of Gelatinous Fibers in *Populus balsamifera*. *Wood and Fiber Science*, 25(2):198–208, 1993.
- [142] Mollek V. *Asp som råvara för träfiberskivor*. Träteknik rapport P920531, Stockholm, 1992.
- [143] Dai C. och Steiner P. R. Spatial Structure of Wood Composites in Relation to Processing and Performance Characteristics. Part 2. *Wood Science and Technology*, 28(2):135–146, 1994.
- [144] Negi J. S. och Chawla J. S. Heat Treatment of Fibreboards. *Research and Industry*, 38:248–253, 1993.
- [145] Suzuki S. et al. Properties of Bark-Wood Particle Composite Board. *Mokuzai Gakkaishi*, 40(3):287–292, 1994.
- [146] Akitsu H. et al. Effect of Humidity on Vibrational Properties of Chemically Modified Wood. *Wood and Fiber Science*, 25(3):250–260, 1993.
- [147] Ellis W. D. Pyrolysis, Leach Resistance, Hygroscopicity, and Decay Resistance of Wood Treated with Organophosphorus Esters in Combination with Isophorone Diisocyanate. *Wood and Fiber Science*, 25(3):236–241, 1993.
- [148] Ohkoshi M. och Kato A. Determination of Substituent Distribution of DMSO-Soluble Portion of Acetylated Wood Meal by C-NMR Spectroscopy. *Mokuzai Gakkaishi*, 39(7):849–854, 1993.



- [149] Yano H. och Minato K. Controlling the Timbre of Wooden Musical Instruments by Chemical Modification. *Wood Science and Technology*, 27:287–293, 1993.
- [150] Middleton T. M. Coating / Wood Substrate Behaviour in *Dacrydium cupressinum*, *Podocarpus dacrydioides* and *Pinus radiata* weatherboards. *Wood Science and Technology*, 27:357–371, 1993.
- [151] Hon D. N. S. och Feist W. C. Interaction of Sulfur Dioxide and Nitric Oxide with Photoradiated Wood Surfaces. *Wood and Fiber Science*, 25(2):136–141, 1993.
- [152] von Tell B. *Ytbehandling*. TräteknikCentrum, Göteborg. ISBN 91-88170-01-2, 1990.
- [153] Nordquist T. *Trä- och lackslipning*. TräteknikCentrum, Västervik. ISSN 0280-6789, 1984.
- [154] Hora G. The Dynamic Contact Angle- A Characteristic to Predict the Lifetime of a Wood Topcoat. *Journal of Coatings Technology*, 66(832):55–59, 1994.
- [155] Johansson T. et al. *Energisparhandbok trävaruindustrin*. Statens Industriverk, 1982.
- [156] Jönsson-Olofsdotter B. *Energi 85. Energianvändning i bebyggelse*. Byggeforskningsrådet, Rapport G26:1984, 1984.
- [157] Ottosson H. *Alfa-Log, Datorsystem för analys och styrning av energisystem*. LiU-TEK-LIC- 1985:03, ISBN 91-7372-895-0, 1985.
- [158] Lindahl P.E. *Elkraftteknik*. Studentlitteratur, Lund, ISBN 91-44-02172-0, 1983.
- [159] Bragsjö P. *Energibesparande åtgärder vid en möbelfabrik*. LiTH-IKP-EX-1511, 1998.
- [160] Gustafsson S. I. Energy Usage and Conservation in Surfacing Lines. *Energy Conversion and Management*, 41(15):1649–1669, 2000.
- [161] Caldersmith G. och Freeman E. Wood Properties from Sample Plate Measurements I. *Journal of Catgut Acoustic Society?*, 1(5 (Serie II)):8 – 12, 1990.
- [162] McIntyre M. E. och Woodhouse J. On Measuring Wood Properties. Part 1. *Journal of Catgut Acoustic Society?*, 42:11 – 15, 1985.

- [163] Sweingruber F. H. *Anatomy of European Woods*. Verlag Paul Haupt, Bern, ISBN 3-258-04258, 1990.
- [164] Lagerberg T. *Kompendium i Trädkännedom del 1 och 2*. Skogshögskolans kompendiekommitté, Stockholm, 1972.
- [165] Greguss P. *Xylotomische Bestimmung der Heute Lebenden Gymnospermen*. Akademiai Kiado, Budapest, 1955.
- [166] Greguss P. *Bestimmung der Mitteleuropäischen Laubhölzer und Strucher auf Xylotomische Grundlage*. Verlag des Ungarischen Naturwissenschaftlichen Museums, Budapest, 1945.