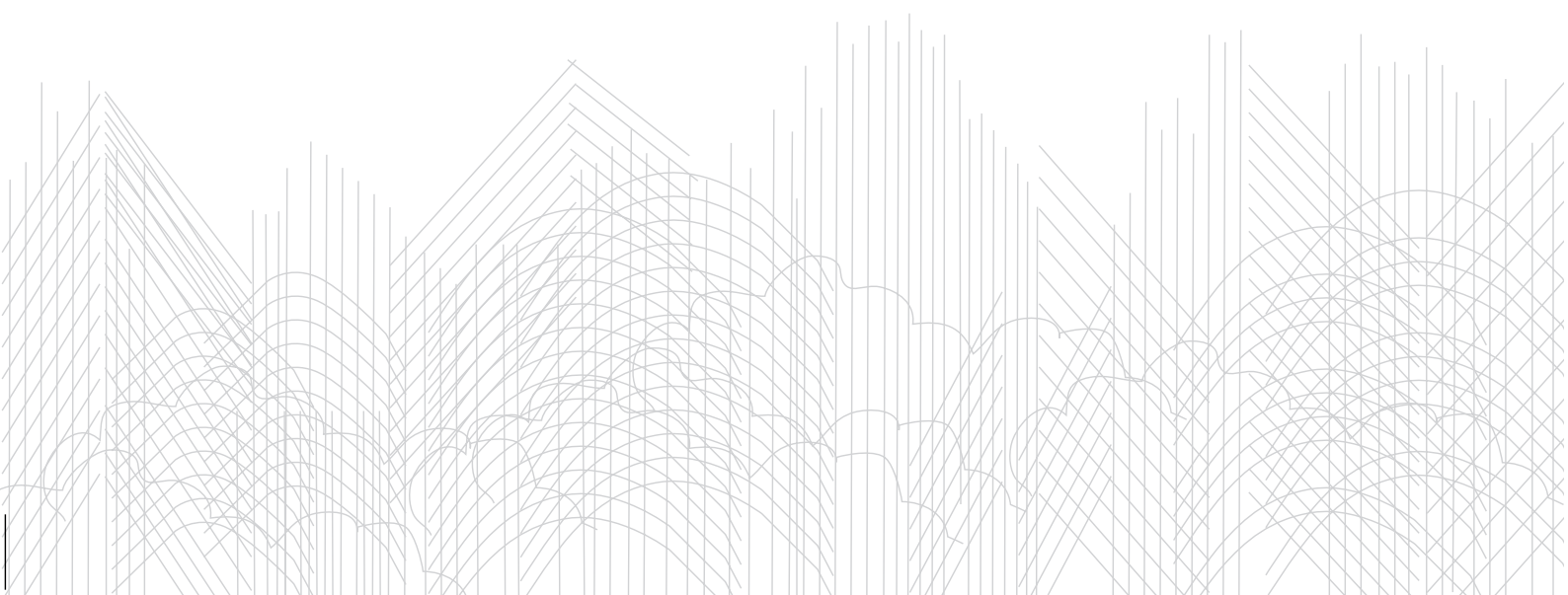
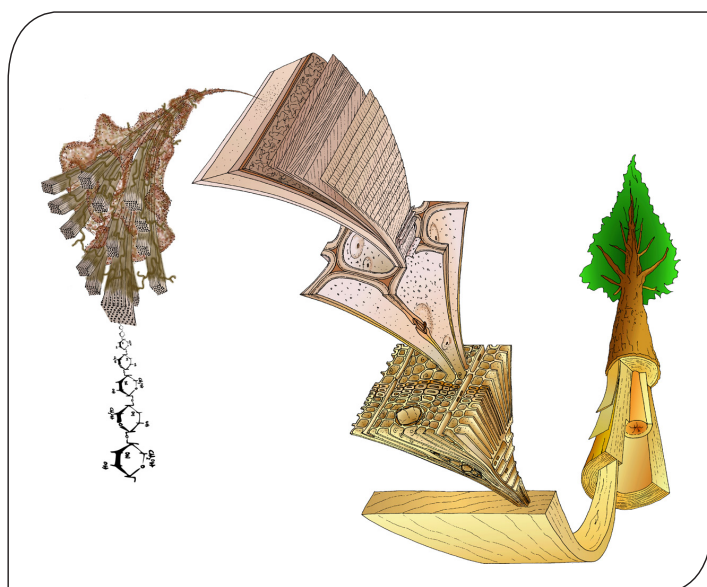


SKOGSBRUK, VIRKE OCH SKOGSINDUSTRIPRODUKTER



Skogsskötselserien är en sammanställning för publicering via internet av kunskap om skogsskötsel utan ställningstaganden eller värderingar.

Texterna har skrivits av forskare och har bearbetats redaktionellt både sakligt och språkligt. De är upphovsrättsligt skyddade och får inte användas för kommersiellt bruk utan medgivande.

I Skötselserien ingår:

1. Skogsskötselns grunder och samband
2. Produktion av frö och plantor
3. Plantering av barrträd
4. Naturlig föryngring av tall och gran
5. Sådd
6. Røjning
7. Gallring
8. Stamkvistning
9. Skötsel av björk, al och asp
10. Skötsel av ädellövskog
11. Blädningsbruk
12. Skador på skog
13. Skogsbruk – mark och vatten
14. Naturhänsyn
15. Skogsskötsel för rekreation och friluftsliv
16. Produktionshöjande åtgärder
17. Skogsbränsle
18. Skogsskötselns ekonomi
19. Skogsträdsförädling
20. Slutavverkning
21. Skogens kolbalans och klimatet
22. *Skogsbruk, virke och skogsindustriprodukter*

Skogsskötselserien har tagits fram med finansiering av Skogsstyrelsen, Skogsindustrierna, Sveriges lantbruksuniversitet och LRF Skogsägarna. Bidrag har även lämnats av Energimyndigheten för behandling av frågor som rör skogsbränsle och av Stiftelsen Skogssällskapet. Detta kapitel har fått särskilt stöd av Stiftelsen Skogssällskapet och Rundvirkestiftelsen.

Skogsskötselserien – Skogsbruk, virke och skogsindustriprodukter 2022

Författare:

Eric Agestam, docent, lärare och forskare vid institutionen för sydsvensk skogsvetenskap vid SLU i Alnarp
Harald Säll, forskare och lektor i virkeslära vid avdelningen Skog och Trä vid Linnéuniversitetet i Växjö
Lars Wilhelmsson, seniorforskare och chef för strategisk FoU-samverkan vid Skogforsk i Uppsala.

© Eric Agestam, Harald Säll, Lars Wilhelmsson, Skogsstyrelsen

Redaktör: Clas Fries, Skogsstyrelsen

Typografisk formgivning: Michael Ernst, Textassistans AB

Grafisk profil: Louise Elm, Skogsstyrelsen

Diagrambearbetning och illustrationer: Bo Persson, Skogsstyrelsen

Illustration omslag: © Mark Harrington

Utgivning: Skogsstyrelsens förlag, www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien

Innehåll

Förord.....	6
SKOGSBRUK, VIRKE OCH SKOGS-INDUSTRIPRODUKTER.....	8
Trä – ett viktigt material	10
Bränsle.....	11
Redskap	11
Hägnader och stängsel.....	12
Olika större träbyggnader	13
Båtar	14
Gruvning – tillmakning och träkol	15
Tjära och pottaska	16
Den första pappersindustrin	17
Sågat virke.....	18
Vilket virke sågades förr jämfört med nu?.....	20
Var virket som användes bättre förr?	21
Dagens och framtidens förädlingsindustri	22
Förädlingsvärden från hela och delar av skogssektorn.....	23
Solida träprodukter	24
Utveckling av solida träprodukter	27
Sågverk och sågade varor	30
Trä-, spån- och fiberskivor	32
Massa och papper	33
Produktionsvolym och export.....	34
Global efterfrågeutveckling och återvinning	36
Nya material från skogsråvara.....	40
Dagens trender och utsikter för skogsråvara	41
Vedens bildning och uppbyggnad.....	44
Ved består av olika typer av celler	44
Cellväggs uppbyggnad.....	46
Stammens tillväxt sker i kambiet.....	47
Vedegenskaper varierar mellan och inom träd.....	48
Barrträdens vedfibrer är längre och lite bredare än lövträdens.....	48
Årsringar	49
Bandporiga och ströporiga träslag	52
Ungdomsved	52
Splintved och kärnved	53
Vedens egenskaper påverkas av fiberns riktning	55
Trädets avsmalning	56
Kvistar	56
Formförändringar	57
Krökar och reaktionsved.....	57

Formbeständighet och fukthalt	59
Styvhet och elasticitetsmodul	60
Växtvridenhet – orsak och generellt mönster	60
Växtvridenhet i olika träslag	65
Virkesegenskaper och förädlingsindustrin – betydelse för processer och produkter	67
Stora flöden, komplex logistik och variation i råvaruegenskaper	67
Effektivare logistik	68
Råvaruegenskaper och tillverkningsprocesser	68
Samband mellan olika egenskaper i träden	69
Förutsättningar för att utnyttja trädens olika delar	69
Sågverksindustrin efterfrågar jämnhet och förutsägbarhet	72
Möjligheter att utnyttja variation i virkesegenskaper	73
Fysiska och mekaniska virkesegenskaper av betydelse för olika träanvändning	74
Egenskaper hos sågtimmer	74
Egenskaper hos vidareförädlade träprodukter	79
Egenskaper hos skivor gjorda av skogsråvara	83
Fiberegenskaper hos massaved för massa och papper	85
Energi och biprodukter från skogen	89
Ekonomi och virkespriser	90
Livscykelanalyser och hållbarhet är ytterligare kvalitetsegenskaper för skogsbaserade produkter	94
Hur skogsskötseln kan påverka virkets egenskaper	96
Föryngringsfasen	97
Täthet i föryngring – förband	99
Naturlig föryngring och sådd	104
Naturlig föryngring jämfört med plantering	104
Skärm	107
Röjning	107
Gallring	110
Undvik skador i gallringsfasen	110
Trädets påverkan av gallring	112
Urval vid gallring	117
Gödsling	119
Stamkvistning	119
Omloppstid	120
Något om andra träslag	120
Björk	120
Bok	121
Ek	123

Contortatall	125
Andra skogsskötselsystem och kvalitet.....	125
Möjligheter att mäta, beräkna och utnyttja virkets egenskaper vid planering och skörd	134
Skördaren en nyckelfunktion i skogsbruket	134
Beräkning av råvarans egenskaper före skörd – nya möjligheter med mätteknik, digitalisering, beräkningsmodeller och informationssystem	151
Karttjänsten Skoglilla grunddata	152
Högupplösta data om de stående träden – för planering och styrning	154
Beräknade medelvärden och variation för virkesegenskaper av gran och tall från skördemogen skog i Sverige	158
Skördarmätning och kvalitetsindex	160
Några erfarenheter om möjligheterna att beskriva egenskaper i den skördemogna skogen	161
Forestand – en standard för geografisk information och data om skog och brukande av skog.....	162
Dokumentation av beståndshistorik – digitaliseringen av informationssystem	164
Skördarinformation för högre precision i skogsvårdsarbetet	166
Litteratur	170

Förord

Det tjugooandra kapitlet i Skogsskötselserien har ambitionen att knyta samman det som görs i skogen i form av skogsbruk, med de produkter som skogsindustrin levererar. Bakgrunden är att det sätt på vilket skogsbruk planeras och genomförs har betydelse för hur skogsråvara (framför allt timmer och massaved) kan användas industriellt och det ekonomiska förädlingsvärde som kan uppnås. Det sker dessutom hela tiden en utveckling av industriprocesser och nya produkter från skogen, vilket i sig bör vara intressant att förstå bakgrund till och de skogliga förutsättningarna för.

Ofta används mer eller mindre slentrianmässigt begreppet kvalitet. Det kan vara missvisande eftersom kvalitet beror på användare, användning och vad som anses vara goda egenskaper. Vad som anses vara ”god kvalitet” varierar dessutom över tid. Begreppet egenskaper är bättre och den här delen av Skogsskötselserien handlar om träets egenskaper, hur vi kan påverka egenskaperna och hur de kan användas.

Temat för kapitlet är omfattande. Inledningsvis var tanken att det skulle begränsas till att beskriva vedbildning, vedens uppbyggnad och hur olika sätt att sköta skogen påverkar virkets egenskaper. Snart framkom att det finns mycket mer av vikt när det gäller möjligheterna att använda skogsråvara i olika industriprocesser och till olika produkter. Därför tar mer än hälften av kapitlet utgångspunkt i frågor som rör skogsindustrin, som till exempel hur tillverkning av olika skogsindustriprodukter går till och vilka förutsättningar skogsindustrin har att använda råvara med olika egenskaper.

Kapitlet inleds med ett kort historiskt avsnitt om träanvändning från förr till nu. Det har rubriken *Trä – ett viktigt material*. Där framförs att de egenskaper hos virke och trä som uppskattats vid olika tider beror på användning och möjligheterna att bearbeta virket. De egenskaper som idag uppskattas är i många fall helt andra än de som tidigare värdesattes.

I ett andra avsnitt beskrivs dagens skogsindustri, hur den är strukturerad och vilka produkter den levererar. Det vill säga som det ser ut idag. Med fokus på Sverige redovisas en del statistik på handel och produktionsvolymerna för olika länder. Där beskrivs också vilka nya material från skogsråvara som framtidens förädlingsindustri bedöms kunna ta fram och lite om dagens trender och utsikter för skogsråvara. En viktig del i avsnittet är beskrivningen av materialflödena mellan olika delar av skogsindustrin, inklusive energisektorn och återvinning av träbaserat material. Det framförs att livscykelanalyser för olika material och produkter bör bli allt viktigare underlag för hållbar produktion och hållbara produkter.

I ett grundläggande avsnitt som följer beskrivs hur ved bildas och är uppbyggd, från cellen till makrostrukturer som årsringar och kvistar. Vedens uppbyggnad har stor betydelse för hur trä kan användas för olika ändamål och vilka egenskaper de färdiga produkterna får, både vad gäller fiberprodukter som papper och kartong och solitt trä. Det finns betydande skillnader i virke mellan olika trädslag och inom ett enskilt träd, men också likheter.

Det fjärde avsnittet i kapitlet tar upp vilken betydelse virkets egenskaper har för förädlingsindustrins processer och produkter, framför allt för sågverks- och massa/pappersindustrin. Det konstateras att skogsråvara innehåller stor variation i många olika egenskaper och på olika nivåer, från obearbetat trä till molekylnivå. Industrin efterfrågar jämnhet och förutsägbarhet men får i stället i stor utsträckning leva med och anpassa sig till motsatsen.

Med skogsskötsel påverkas skogens struktur, tillväxt och produktion men också det skördade virkets egenskaper. Det har varit en viktig forskningsfråga under lång tid. Kunskaper och erfarenhet av hur skogsskötsel kan påverka virkets egenskaper, från beståndsanläggning, via röjning och gallring till tidpunkt och form för föryngringsavverkning och andra skogsskötselåtgärder beskrivs i avsnitt fem.

Det kan vara så att betydelsen av att ”sköta fram” vissa egenskaper, eller kvaliteter, är mindre idag än i tidigare. En orsak till det skulle då vara att kunskapen att prognosticera egenskaperna hos timmer och massaved har blivit allt bättre. Det har ökat möjligheterna att fördela skogsråvarans användning på olika processer och produkter så att det totala ekonomiska utbytet i förädlingsledet blir högre. I avsnitt sex beskrivs detta. Som avslutning beskrivs möjligheterna att idag och förhoppningarna att i framtiden mäta, beräkna och utnyttja virkets egenskaper vid planering och skörd med syfte att så effektivt och kunskapsbaserat som möjligt utnyttja skogsråvaran så långt möjligt.

Skogsbruk, virke och skogsindustriprodukter har tre författare:

- Eric Agestam, docent, lärare och forskare vid institutionen för sydsvensk skogsvetenskap vid SLU i Alnarp
- Harald Säll, forskare och lektor i virkeslära vid avdelningen Skog och Trä vid Linnéuniversitetet i Växjö
- Lars Wilhelmsson, seniorforskare och chef för strategisk FoU-samverkan vid Skogforsk i Uppsala.

Kapitlets sex avsnitt har en eller två författare, vilka anges under respektive avsnittsrubrik. Alla författarna har dock noggrant och med engagemang bidragit med synpunkter och förslag till förbättringar i hela kapitlet.

Tack riktas till professor Jimmy Johansson, Träteknik Linnéuniversitetet, nu Senior Researcher vid RISE, och docent Lars Björklund, Biometria, för värdefulla synpunkter till avsnitt fyra, *Virkesegenskaper och förädlingsindustrin – betydelse för processer och produkter*. Tack också till Johan J. Möller, specialist värdekedjor, och Jon Söderberg, doktorand värdekedjor, vid Skogforsk, för värdefulla diskussioner och bidrag från både publicerade och opublicerade underlag till avsnitt sex, *Möjligheter att mäta, beräkna och utnyttja virkets egenskaper vid planering och skörd*. Kontakt via Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens bibliotek med Per Eriksson och Ronny Pettersson har givit både nyttiga och stimulerande samtal.

De flesta figurerna och diagrammen har ritats av Bo Persson vid Skogsstyrelsen, men även författarna och andra har bidragit. Här vill vi rikta ett särskilt tack till Mathias Fridholm och Svenskt Trä för möjligheterna att använda och återge illustrationer från Svenskt Träs publikationer. Tack också till Skogsindustrierna, samt Trä- och Möbelföretagen för statistikuppgifter och diagram till avsnitt två, *Dagens och framtidens förädlingsindustri*. And finally, many thanks to Jonathan Joseph Harrington for welcoming us to use the excellent artwork of Mark Harrington, Copyright University of Canterbury, New Zealand.

God läsning!

Clas Fries, redaktör, Skogsstyrelsen

SKOGSBRUK, VIRKE OCH SKOGS- INDUSTRIPRODUKTER

Trä har alltid varit ett viktigt material för människan. Idag används trä främst till massa och papper, för att sågas till plankor och bräder samt till energi. Tillbaka i tiden har trä uppskattats och använts till många andra ändamål. Produkter från skog som tjära och gärdsgärdsvirke är idag inte lika viktiga, medan trä under lång tid har använts för energi och till konstruktioner. De senaste seklen har genom innovationer nya användningar tillkommit där papper hittills är den vanligaste.

Om virket var bättre förr än det virke som idag avverkas går inte att säga. Innan 1930-talet gjordes ingen systematisk bedömning av egenskaper kopplade till ”kvalitet” hos timmer och statistik om timrets egenskaper saknas. Å andra sidan är kvalitet inget entydigt begrepp. Det är bättre att tala om egenskaper hos trä och virke och beroende på användning är olika egenskaper värdefulla. En egenskap kan vara viktig för en viss användning men betydelselös eller till och med till nackdel vid annan användning.

Nästan överallt i vår vardag finns produkter, material och energiflöden som helt eller delvis baseras på skogsråvara. Den relativa fördelningen på olika sortiment (timmer, massaved och olika bränslesortiment) har varit likartad under många år. Ökade samhällskrav på fossilfria råmaterial och produktionsmetoder kommer sannolikt att ge plats för nya trä- och fiberprodukter och nya material baserade på skogsråvara. Det kan exempelvis vara kombinationer av fibrer, spån och polymerer. Biobaserade kemikalier, nanocellulosa, biobaserad grafen och genomskinliga byggmaterial är produkter från skogsråvara som på sikt kan få betydelse.

Virke från olika trädslag skiljer sig åt på flera sätt. I många fall går det att se med blotta ögat. Också egenskaper hos papper och sågade varor från olika trädslag skiljer sig åt. De mest uppenbara skillnaderna hos bräder och plankor är variation av tekniska egenskaper som styvhet, styrka, formstabilitet och beständighet. Men det finns också skillnader inom trädet. Virket i en rotstock har andra egenskaper än virke längre upp i stammen; virket nära trädets centrum skiljer sig från virke nära barken. För det enskilda trädet i ett bestånd påverkas virkesegenskaperna också av ståndortsförhållanden, det genetiska arvet, konkurrensen mellan träd, förekomst av skador och trädets ålder.

Kunskap om träets varierande egenskaper ligger till grund för hur det används i produkter och konstruktioner. Det gäller allt från träets mikrostruktur till sågat timmer och den färdiga produkten. Virkets egenskaper har också betydelse för återanvändning och återvinning.

Skogsråvara är biomassa från träd, och innehåller stor variation i många olika egenskaper. Det går att beskriva och utnyttja variationen i egenskaper på olika nivåer från obearbetat trä hela vägen ner till molekylnivå. För att utnyttja skogsråvara mer effektivt och värdeskapande behövs kunskap om hur olika egenskaper påverkar tillverkningsprocesser och slutprodukter. Vidare behövs kunskap om hur råvarans egenskaper varierar samt teknik och logistik för att redan i skogen identifiera, styra och hantera skogsråvaran med hänsyn till egenskaper.

Utvecklingen inom digitalisering, mätteknik, artificiell intelligens och beräkningsmodeller gör att ny mätteknik och beräkningsteknik i skogen kan integreras med ny mät- och processteknik vid industrin.

Det finns i huvudsak två möjligheter att med skogsskötsel påverka ett träds virkesegenskaper. Den första är genom urval. Den andra är att reglera den konkurrens trädet utsätts för genom att styra täthet och struktur i dess närhet. Störst möjligheter att påverka virkesegenskaperna under en omloppstid är i etableringsfasen. Föryngringsmetod och täthet i föryngringen grundlägger viktiga egenskaper som andel ungdomsved och grengrovlek.

Under den fortsatta beståndsutvecklingen minskar möjligheterna efter hand att påverka virket, men genom urval vid röjning och gallring kan träden med de bästa egenskaperna väljas för att växa vidare. Mot slutet av omloppstiden kan stigande diameter påverka stammens värde även om det redan bildade virket är detsamma.

När de växande träden efter många år börjar bli skördemogna är det viktigt att kunna "läsa" deras egenskaper för bästa möjliga värdeutnyttjande. Om råvaran kan beskrivas med hög precision kan alla inblandade parter i berörda värdekedjor gynnas, liksom både samhälle och miljö. Idag finns teknik för att med hjälp av produktionsdata från skördare och uppgifter om trädens ålder med relativt god precision beräkna de skördade stockarnas egenskaper.

De tekniska förutsättningarna för planering och genomförande av skogsbruk med mycket hög precision utvecklas starkt och pekar på goda framtida tillämpningsmöjligheter. Kostnaderna för tillämpning måste dock stå i proportion till de nyttor som kan erhållas (intäkter, miljöaspekter, med mera).

Trä – ett viktigt material

av Eric Agestam och Harald Säll

Trä har alltid varit ett viktigt material för människan. Idag används virke¹ främst till massa och papper för att sågas till plankor och brädor och till energi. Tillbaka i tiden har trä uppskattats och använts till många andra ändamål. Produkter från skog som tjära och gärdsgårdsvirke är idag inte viktiga, medan trä har använts för energi och till konstruktioner under lång tid. De senaste seklen har genom innovationer nya användningar tillkommit där papper hittills är den vanligaste.

Virke och trä uppskattas för olika egenskaper. Vad som uppskattas och vilka egenskaper som anses vara felaktigheter beror på användning och möjligheterna att bearbeta virket. När användningen av trä förändras kan andra egenskaper lyftas fram. Det som är goda egenskaper, kvalitet, för en användning kan vara betydelselösa eller anses som ett fel i ett annat sammanhang. Det är tydligt i ett historiskt perspektiv. Vår användning av trä och virke och de egenskaper som idag uppskattas är i många fall helt andra än de som tidigare värdesattes.

Ser vi tillbaka har människan använt och haft nytta av trä mycket länge, sedan ”urminnes tider”. Trä har använts till byggnader av många slag, till båtar, redskap och verktyg, stängsel och skydd, värme och till matlagning.

Till skillnad mot andra material som sten och keramik är trä inte beständigt. Det gör att kunskapen om hur människan använt trä i äldre tid är begränsad. I stor utsträckning får vi därför anta hur människan använde trä och vilka trädslag som användes till bränsle, redskap och konstruktioner. Flera författare och forskare har med de källor som finns beskrivit människans olika sätt att använda trä. Den som vill fördjupa sig inom området rekommenderas att ta del av *Svenskarna och skogen* i två delar av Lars Kardell^{2,3} och *Träd: en vandring i den svenska skogen* av Gunnar Wetterberg⁴. Båda skriver i första hand om skogens historia men historien knyts till användningen av trä, virke och andra produkter från skogen.

Historisk användning av trä beskrivs också i *Var virket bättre förr?* utgiven i samarbete mellan Nordiska museet och Riksantikvarieämbetet.⁵ Kungliga Skogs- och Lantbruksakademien (KSLA) tar upp skogshistoria

¹ Definitionen av virke är ”trämaterial för viss användning”. Där ingår bland annat timmer för sågning, de sågade produkterna, och massaved för framställning av massa, papper och annat.

² Kardell, L. 2003. *Svenskarna och skogen*. Del 1. Från ved till linjeskepp. Skogsstyrelsen, 296 s.

³ Kardell, L. 2004. *Svenskarna och skogen*. Del 2. Från baggböleri till naturvård. Skogsstyrelsen, 303 s.

⁴ Wetterberg, G. 2018. *Träd: en vandring i den svenska skogen*. Albert Bonniers förlag, 352 s.

⁵ Nordiska museet och Riksantikvarieämbetet. 1982. *Var virket bättre förr? En orientering om traditionellt svenskt virkeskunnande*. 75 s. Tillgänglig som pdf fil:

<http://urn.kb.se/resolve?urn=urn%3Anbn%3Ase%3Araa%3Adiva-3786> (Hämtad 2022-03-16.)

och användning av virke i några verk.^{6,7} Därutöver finns många författare som fördjupat kunskapen om någon aspekt på användning av virke. Skogshistoriska sällskapet⁸ är ytterligare en källa till historiska kunskaper om skogens och skogsindustrins utveckling fram till idag.

Bränsle

En viktig användning av trä har alltid varit som bränsle för uppvärmning och matlagning. Ved ska vara lätt att tillreda, ge värme och brinna lugnt. För den tidiga människan utan verktyg som sågar och yxor av stål måste en viktig egenskap varit dimensioner och möjligheten att avverka och tillreda veden. Att få ved från ett stort och grovt träd, som en stor ek, måste varit mer eller mindre ogörligt, medan klena skott av trädslag som hassel och al var enklare att använda.

Forntidsmänniskan valde säkert trädslag som gav mycket energi i förhållande till det arbete som krävdes för att tillreda och transportera veden. Ett kilogram helt torr ved har i stort samma energiinnehåll oberoende av trädslag men med varierande densitet och fukthalt blir energin per volymenhet olika.

För öppna eldar särskilt inomhus är en viktig egenskap, då som nu, att veden brinner lugnt och jämnt utan gnistor. Björk och flera andra lövträd har stort energivärde per volymenhet och brinner utan gnistor. Det är egenskaper som uppskattas än idag, vilket illustreras av att vedsäckarna som säljs på bensinstationer och i köpcentra innehåller just björk.

Redskap

De tidiga människorna i Skandinavien levde som jägare och samlare. Under årtusenden från det att inlandsisen smälte och landet höjdes varierade de naturliga förhållandena. De första trädslagen som vandrade in var pionjärträdslag som björk och sälg som klarade ett kyligt klimat. Senare, med ett varmare klimat, invandrade mer krävande trädslag som ek, lind alm. Därmed hade människan större möjligheter att hitta trädslag och träd med egenskaper som var lämpliga och uppskattade till bränsle, redskap och konstruktioner.

Redan forntidsmänniskan använde trä till redskap.⁹ Det var till skaft för yxor och hammare, till pilbågar, spjut och påkar, och till fällor för fångst. Alldeles säkert fanns tidigt kunskap om vad som var bra virke med goda egenskaper för olika användning. Totalt sett fanns få människor men stora

⁶ Sundberg, U., Lindegren, J., Odum, H.T., Doherty, S. & Steinlin, H. 1995. Skogens användning och roll under det svenska stormaktsväldet: perspektiv på energi och makt. 2:a utvidgade upplagan. KSLA:s bibliotek. Skogs- och lantbrukshistoriska meddelanden nr 8. 67 s. <https://www.ksla.se/wp-content/uploads/2021/03/SOLMED-nr-8-Skogens-anv%C3%A4ndning-och-roll-under-det-svenska-stormaktsv%C3%A4ldet.pdf> (Hämtad 2022-03-22.)

⁷ Björklund, J. & Östlund, L. (redaktörer). 1992. Norrländsk skogshistoria: människan, skogen och industrin. Redovisning av de skogshistoriska seminariedagarna vid Skogsvetenskapliga fakulteten i Umeå 8–9/4 1992. KSLA:s bibliotek. Skogs- och lantbrukshistoriska meddelanden nr 2. 120 s.

⁸ Se: <https://skogshistoria.se/> (Hämtad 2022-03-22.)

⁹ Kardell, L. 2003. Svenskarna och skogen. Del 1. Från ved till linjeskepp. Skogsstyrelsen, 296 s.

arealer skog och därmed goda möjligheter att hitta träd och virke med önskade egenskaper.

Än idag använder vi olika trädslag till särskilda ändamål som ask till skaft till hammare och yxor samt asp till tändstickor. Orsaken är att dessa trädslag har goda egenskaper för sådan användning.

Säkert har trä använts på många sätt som vi idag inte känner till. Kunskap och erfarenheter av virke har efter hand vunnits med användningen och därefter förlorats när andra material har kommit att ersätta trä.

Kalvträskskidan som 1924 hittades i en myr nära Kalvträsk i Skellefteå kommun är cirka 5000 år gammal.¹⁰ Det är långt ifrån den enda gamla skidan som hittats i Norden¹¹. Kalvträskskidan är gjord av tjurved av tall och virket är tillrett med stående årsringar. Tjurved gör skidan styv och slitstark, de stående årsringar minskar risken att skidan kupar sig på grund av ojämn torkning av virket. Fyndet visar att kunskap om olika egenskaper hos trä fanns för mycket länge sedan.

Olika trädslag har olika egenskaper som människan lärt sig att utnyttja. Några exempel:

- Bok tar inte upp smak och används därför till kärl och glasspinnar.
- Ek är hårt och slitstarkt och används till golv. Trädslaget har en kärna som är motståndskraftig mot röta och därför uppskattat till stolpar och pålar som utsätts för fukt och väta.
- Ask är starkt och elastiskt och används till olika skaft och redskap.
- Asp leder värme dåligt och är det traditionella virket till bastulavar.

Detta och mycket annat om egenskaper hos virke finns beskrivet av Bengt Andersson i *Gott virke*.¹² Fakta om lövträ finns också i Träcentrums publikation *Fakta om lövträ*¹³ och andra skrifter^{14,15,16}.

Hägnader och stängsel

Olika typer av hägnader eller stängsel har använts mycket länge. Gärdsgårdar bygges av naturmaterial som sten och trä. Stengärdsgårdar (stenmurar) finns kvar och särskilt i södra Sverige visar det på människans närvaro. Men ett mycket vanligt material var trä. Tätvuxen gran och en har egenskapen att vara relativt motståndskraftiga mot röta och användes därför ofta, men även tall förekom. Vid mitten av 1800-talet beräknas att det fanns

¹⁰ Wetterberg, G. 2018. Träd: en vandring i den svenska skogen. Albert Bonniers förlag. 352 s.

¹¹ Manker, E. 1971. Fennoskandias fornskidor: preliminär rapport från en inventering. Fornvännen 66: 77–91. http://kulturarvsdata.se/raa/fornvannen/html/1971_077 (Hämtad 2022-03-22.)

¹² Andersson, B. 1987. Gott virke. SLU. Examensarbete i virkeslära, nr 9.

¹³ Palm, J., Åhström, A., Wijk, G. & Johansson, S. 2005. Fakta om lövträ. Träcentrum Nässjö. 43 s. https://www.tracentrum.se/media/1147/fakta_om_lovtra.pdf (Hämtad 2022-03-22.)

¹⁴ Dahlgren, T., Wistrand, S. & Wiström, M., 1996. Nordiska träd och trädslag. Arkus. 210 s.

¹⁵ Nylander, M., Woxbom, L. & Fryk, H. 2006. Ädellöv. Virke och förädling. SLU, inst. för skogens produkter och marknader. 196 s.

¹⁶ Nylander, M., Pape, R. & Fryk, H. 2001. Björktimmer. Förädling, egenskaper och skador. SLU, inst. för skogens produkter och marknader. 112 s.

1 000 000 km gärdsgårdar av trä. Trä är inte beständigt och gärdsgårdarna måste därför repareras eller förnyas succesivt. Drygt 4 miljoner kubikmeter årligen beräknas ha använts till att bygga och reparera gärdsgårdar. Det motsvarar cirka 20 % av allt husbehovsvirke.¹⁷

Olika större träbyggnader

I Skandinavien utvecklas träbyggnadskonsten avsevärt under 1100- och 1200-talen. En förutsättning för att kunna bygga större träkonstruktioner är lösningen med en stark och stabil bottensyll. Ek som är rötbeständigt kunde användas i sydligaste Sverige. Tall var annars vanligt eftersom tall jämfört med gran har högre beständighet mot röta.

För att bottenramen eller syllen inte ska röra sig låses stockarna i varandra. Hörnen får någon form av laxknutar eller enklare knuttimring. Metoden med knuttimring har säkerligen funnits länge i form av enkla rännknutar. Denna form av sammanfogning med knuttimring utvecklas sedan till en mängd varianter som både låser knuten och håller knuten och väggen tät mot väder och vind. Tekniken med liggande timmer utnyttjar timmerstockarnas egen tyngd för att väggen ska hållas tät då veden krymper och stockarna vrider sig då fuktkvoten förändras under året. Beskrivning av äldre byggnadsteknik finns i till exempel August Holmbergs byggnadslära.¹⁸

Sveriges allra äldsta timmerhus är kyrkor. Ett exempel är kyrkan i Granhult strax nordost om Växjö som byggdes på 1220-talet. Det äldsta kända svenska profana timmerhuset finns betydligt längre norrut. På 1280-talet byggdes ett kyrkhärbre i Älvdalen i Dalarna som bevarats in i vår tid. Detta är ett av det äldsta kända allmogehuset i Sverige.

Då man i äldre tider valde byggnadsvirke sökte man vissa egenskaper bland de trädslag man hade tillgång till. För att hitta virke med önskade egenskaper bedömde man trädets yttre. Hur man för några hundra år sedan valde ut bra furutimmer kan vi ana genom ett citat från Blekinge som bygger på Nordiska museets frågelista från 1930 redovisad i *Var virket bättre förr*:¹⁹

Vad först furan beträffar bör stammen vara jämn, slät och utan upphöjda bulor (barkens sprickor och ojämnheter tillhör växtsättet). Finnes bulor, även obetydliga, tillkännager detta att friska grenar brutits av vid snöfall, åskslag eller av kullstörtande träd. Dessa har sedan av kommande årsringars ved blivit övertäckta, så att när allt är övervuxet endast ett ärr är synligt (som i de flesta fall ej upptäcks av ett ovanligt öga). Har hackspetten påbörjat eller upphuggit något hål på stammen finns i de flesta fall någon skada inuti själva kärnan, antingen en rutnad övervuxen gren eller en fröspricka. ... Endast när skarp frost befriat trädets inre lager från

¹⁷ Kardell, Ö. 2005. Hägnadernas roll för jordbruk och byalaget 1640–1900. SLU, Agraria nr 445. 277 s.

¹⁸ Palmqvist, L. & Sjömar, P. (redaktörer). 2006. August Holmbergs byggnadslära. Nordiska museets förlag. 236 s.

https://gupea.ub.gu.se/bitstream/handle/2077/31449/gupea_2077_31449_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y (Hämtad 2022-03-16.)

¹⁹ Nordiska museet och Riksantikvarieämbetet. 1982. Var virket bättre förr? En orientering om traditionellt svenskt virkeskunnande. 75 s. Tillgänglig som pdf fil: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn%3Anbn%3Ase%3Araa%3Adiva-3786> (Hämtad 2022-03-16.)

all fuktighet, och det uppstod hård blåst kunde en vaken iakttagare urskilja ett svagt gnisslande ljud när trädet böjde sig för blåsten. Tillkännagivande att sprickor fanns inuti stammen. Den grova, gråa, med otaliga sprickor försedda barken å en fura borde ej räcka högre från marken än sådär 10 fot = 3 meter. Der ovanför borde barken vara ljusgul samt försedd med tunna spindelvävsliknande flagor som vid minsta vindfläkt sattes i rörelse och som när en solstråle snuddade vid dem, frambrakte ett underbart vackert färgspel! Sådana träd kallades "Timmerträd" och innehöll kärna av yppersta beskaffenhet.

Båtar

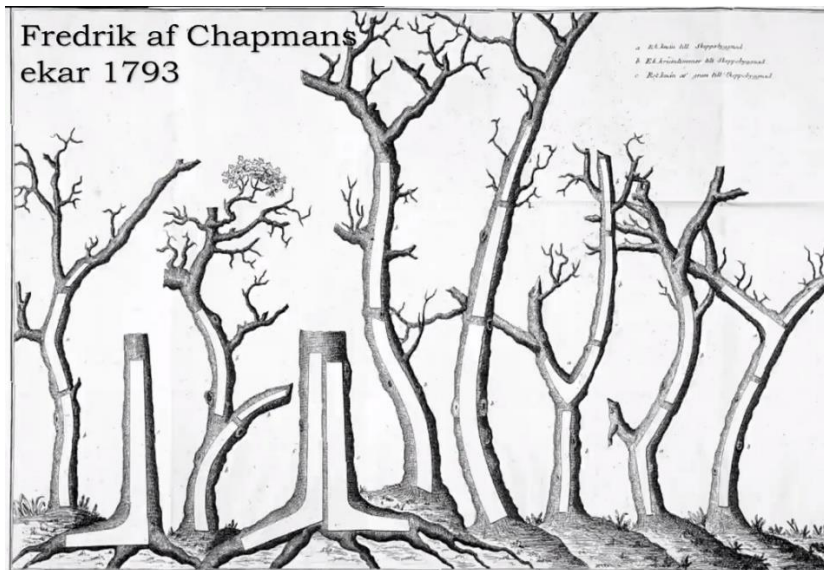
Trä har använts till allt från små ekor till stora krigsfartyg. Ek föredrogs eftersom dess virke är hårt, starkt och motståndskraftigt mot röta. Behovet av ek till krigsfartyg var stort. Att ha ekvirke till flottans fartyg var så viktig att all ek tillhörde kungen eller kronan. Detta så kallade *regale* gällde till 1830 då bönderna fick friköpa ekarna. För svenska kyrkan gällde det kungliga regalet så långt fram som till 1934 då kyrkan återtog ägandet av ekarna på kyrklig mark.²⁰

Ett stort örlogsfartyg kunde kräva tusen kubikmeter ek eller mer vilket innebar att minst tusen stora ekar avverkades. Till några delar behövdes stora dimensioner, för till exempel en roderstock till ett linjeskepp behövdes en ekstock som fyrkantshuggen hade dimensionerna 70 cm × 70 cm och 12 meters längd.²¹ Därtill kom behov av virke till handelsfartyg och andra båtar av olika storlekar.

Idag önskar industrin ekstockar utan krökar och böjar. Till ett fartyg behövdes mängder av virke som var långt ifrån rakt (figur V1). Det är egenskaper vi idag inte kopplar till god kvalitet men vid den tiden och till den användningen var det egenskaper som var mycket eftertraktade för att bygga skepp.

²⁰ Eliason, P. 2002. Skog makt och människor. En miljöhistoria om svensk skog 1800–1875. Kungliga Skogs och Lantbruks Akademien. 455 s.

²¹ Kardell, L. 2003. Svenskarna och skogen. Del 1. Från ved till linjeskepp. Skogsstyrelsen, 296 s.



Figur VI Illustration från af Ströms *Handbok för skogshushållare*²² som visar hur ekar kan utnyttjas för skeppsbyggnad. Förlagan är gjord av af Chapman och användes i utbildning av fartygskonstruktörer. Den kommer från ett franskt verk från 1780-talet. I den svenska upplagan har man lagt in granstubbarna som visar hur ”knän” av ek, vilka de tunga artilleridäcken vilade på, kunde ersättas med liknande virkesdetaljer av gran när ek var svårt att få tag på. Från Eliasson (2002).²³

Växtvridenhet²⁴ är en egenskap som oftast är ett kvalitetsfel. Men i några sammanhang kan det vare en bra egenskap. Kraftig vänster- eller högervridenhet kan vara bra vid båtbyggeri. Borden i för och akter krävde skeva bord för att passa in i båtens form.

Gruvnäring – tillmakning och träkol

Innan krut och senare dynamit introducerades i gruvdrift användes ved för att hetta upp malmen och på så sätt få loss den från berget. För bearbetning i masugnar och i smedjor användes stora mängder träkol. Klent barkat rundvirke av gran och tall användes som stöttor i gruvor, så kallade gruvstöttor eller pitprops. Framställning av träkol utvecklades genom användning av olika typer av milor (figur V2). Alla tillgängliga trädslag användes. Under 1600-talet beräknas att bortåt 2 miljoner kubikmeter årligen användes till träkol och tillmakning,²⁵ för att stiga till 4 miljoner kubikmeter per år kring sekelskiftet år 1900.²⁶

²² af Ström, I.A. 1830. *Handbok för skogshushållare*. Nordström, Stockholm. 321 s.
<https://digital.ub.umu.se/node/151526?fulltext-query=> (Hämtad 2202-03-16.)

²³ Eliason, P. 2002. *Skog makt och människor. En miljöhistoria om svensk skog 1800–1875*. Kungliga Skogs och Lantbruks Akademien. 455 s.

²⁴ Växtvridenhet hos trä beskrivs närmare i avsnittet *Vedens bildning och uppbyggnad*.

²⁵ Sundberg, U., Lindegren, J., Odum, H.T., Doherty, S. & Steinlin, H. 1995. Skogens användning och roll under det svenska stormaktsväldet: perspektiv på energi och makt. 2:a utvidgade upplagan. KSLA:s bibliotek. Skogs- och lantbrukshistoriska meddelanden nr 8.

²⁶ Arpi, G. 1959. *Sveriges skogar under 100 år: en sammanfattande redogörelse över det svenska skogsbruket 1859–1959*. Del 1. Domänverket, Stockholm. 237 s.



Figur V2 Träkol var länge en mycket viktig produkt från skogen. Kolmilor var vanliga och spåren kan fortfarande ses i skogen som så kallade kolbottnar. Kolning i kolmila i Bjurfors, Västmanland, 1916. Skogshistoriska bilder, SLU-biblioteket Umeå.

Träkol kan tyckas vara en enkel produkt. Men vid tillverkning av kvalitetsjärn var ett krav att bränslet hade låg fosforhalt. Lövvirke har fyra gånger mer fosfor än barrved, bark hos tall och gran har högre fosforhalt än veden och splintveden innehåller mer fosfor än kärnveden. Träkol med låg fosforhalt kunde fås om bakar och ribbor från sågverk användes, särskilt om stockarna hade flottats eftersom fosfor delvis urlakas i vatten. Bäst träkol för järnframställning erhöles från barkade grova stockar som flottats.²⁷ Saknades flottleder för sågtimmer kunde grovt virke komma att användas till träkol. Sågverks- och senare massaindustrins expansion och behov av virke medförde att träkol efter hand främst framställdes av kläna dimensioner.

Tjära och pottaska

Under lång tid var tjära en viktig produkt från skogen.²⁸ Tjära utvinns från kådrikt tallvirke. Tall har egenskapen att öka andelen kåda efter skador och för att öka utbytet av tjära skadades tallar flera år innan avverkning genom så kallad katning. När värdet på tallvirke steg ökade användningen av tallstubbar för att utvinna tjära.

Pottaska var en annan produkt från skogen som användes till såpa, glas, krut, färgning av textil och läkemedel. Alla träslag kan användas för att utvinna kaliumkarbonat (K_2CO_3) men utbytet blir störst om lövträd används. Pottaska utvinns genom att, som namnet antyder, elda virke och i lerpottor laka ut och utvinna kaliumkarbonat genom indunstning av

²⁷ Arpi, G. 1959. Sveriges skogar under 100 år: en sammanfattande redogörelse över det svenska skogsbruket 1859–1959. Del 1. Domänverket, Stockholm. 237 s.

²⁸ Borgegård, L.-E. 1973. Tjärhanteringen i Västerbottens län under 1800-talets senare hälft: en studie av produktion och transporter med särskild hänsyn till Ume- och Vindelälvens dalgångar. Umeå universitet. Avhandling. 279 s.

vattnet²⁹. För ett kilogram pottaska åtgår mer än 5 kubikmeter virke.³⁰ Under 1800-talets mitt uppgick den årliga produktionen i landet som mest till nära 400 ton, vilket skulle medföra en årlig virkesförbrukning på 2,5 miljoner kubikmeter.³¹

Den första pappersindustrin

Länge tillverkades paper av textillump, men i mitten av 1800-talet började paper tillverkas av trä. Till en början genom att med slipning sönderdela virket. Slipning ger stort utbyte, mycket paper per träd, men ger å andra sidan ett paper som inte är starkt och vitt. Metoden används ännu idag till tidningspaper där kraven på styrka och vithet inte är så stora.

Med sulfit- och sulfatmetoderna kan cellulosafibrerna friläggas och lignin avlägsnas. Därigenom erhålls ett starkare och vitare paper. Tall och gran har långa fibrer som ger starkt paper och kartong. Det var orsaken till att den tidiga massaindustrin använde barrvirke i sulfit- och sulfatprocesserna.

Det dröjde långt in på 1900 talet innan lövvirke började användas i massa- och pappersindustrin. Lövträdslag som björk och asp har ljusare virke och kortare fibrer som ger ett ljus paper med jämn yta, egenskaper som uppskattas i pappersindustrin (figur V3). Därmed har björk fått större ekonomiskt värde medan trädslaget tidigare betraktades som oönskat i ett ekonomiskt skogsbruk.



Figur V3 Hantering av massaved, pappersbruket i Grycksbo 1936.
Skogshistoriska bilder, SLU-biblioteket Umeå.

²⁹ Kardell, L. 2003. Svenskarna och skogen. Del 1. Från ved till linjeskepp. Skogsstyrelsen, 296 s.

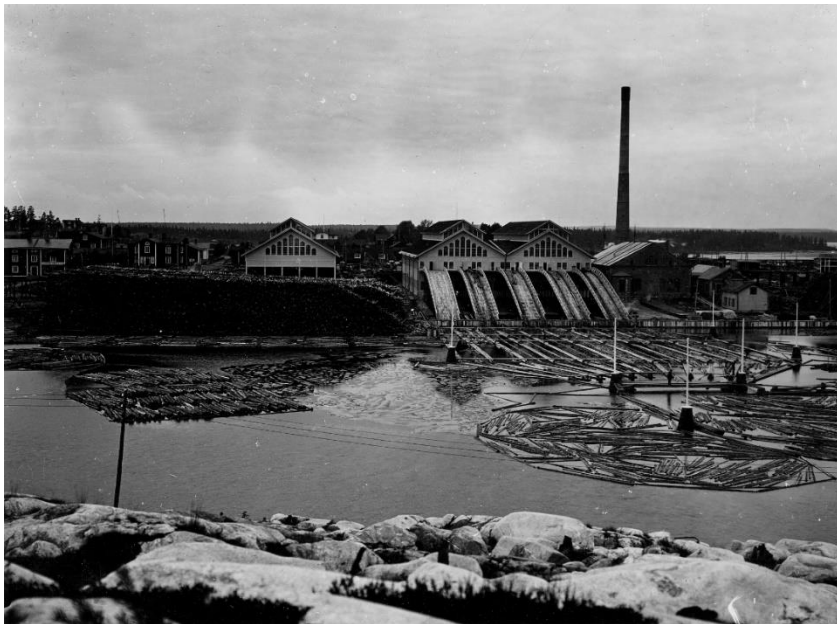
³⁰ Sundberg, U., Lindegren, J., Odum, H.T., Doherty, S. & Steinlin, H. 1995. Skogens användning och roll under det svenska stormaktsväldet: perspektiv på energi och makt. 2:a utvidgade upplagan. KSLA:s bibliotek. Skogs- och lantbrukshistoriska meddelanden nr 8.

³¹ Östlund, L., Zackrisson, O. & Strotz, H. 1998. Potash Production in Northern Sweden: History and Ecological Effects of a Pre-industrial Forest Exploitation. *Environment and History* 4(3): 345–358.

Vid 1900-talets början använde massaindustrin cirka 2 miljoner kubikmeter virke per år för att öka till cirka 12 miljoner kubikmeter per år under 1930-talet.³² År 2020 användes cirka 32 miljoner m³sub massaved i svensk skogsindustri (se figur V6).

Sågat virke

Stockar har länge sönderdelats för att få fram bräder, bjälkar, plank med mera. Fortfarande används idag stundtals yxa för att bila timret till timrade hus. Klyvning och så kallad kransågning är andra gamla metoder för att sönderdela en timmerstock. Med vattenkraft kunde små sågar anläggas och med ångmaskinen kunde sågverken bli större och lokaliseringen inte längre bunden till strömmande vatten (figur V4).



Figur V4 Ångsågverk med timmerlager i vatten. Virket har flottats i Umeälven där det lagrades och sorterades innan det togs upp till sågning. Sandviks ångsåg, Holmsund, Västerbotten 1916. Skogshistoriska bilder, SLU-biblioteket Umeå/skogsmuseet i Lycksele.

Sågverkens framväxt under 1800-talet betydde mycket för den ekonomiska utvecklingen i Sverige. Sågverksnäringen expanderade snabbt. År 1850 beräknas exporten av sågat virke ha varit 0,4 miljoner kubikmeter för att stiga till 6 miljoner kubikmeter år 1900. Det beräknade virkesuttaget för export och inhemsk användning av sågat virke steg samma period från cirka 1,4 miljoner till cirka 13 miljoner kubikmeter.³³ 1970 var det cirka 23 miljoner kubikmeter³⁴ och 2020 cirka 37 miljoner m³sub (se figur V6).

³² Arpi, G. 1959. Sveriges skogar under 100 år: en sammanfattande redogörelse över det svenska skogsbruket 1859–1959. Del 1. Domänverket, Stockholm. 237 s.

³³ Arpi, G. 1959. Sveriges skogar under 100 år: en sammanfattande redogörelse över det svenska skogsbruket 1859–1959. Del 1. Domänverket, Stockholm. 237 s.

³⁴ Nylinder, M., Törnmarck, J., 1985. Sågtimrets kvalitet förr och nu. Sid 63–69. I: Kvalitet behöver vi det? Skogshögskolans höstkongress 4–6 december 1984. SLU, Skogsfakta, kongress nr 6. 167 s.

För sågverk i Sundsvallstrakten finns uppgifter som visar att dimensionerna på sågtimmer successivt sjönk. Under 1860-talet var minsta dimensioner som sågades 10 engelsk tum, det vill säga cirka 25 cm. Det sjönk för att under 1870-talet vara 8–9 tum. Omkring 1880 sågades även 7 tums stockar och vid sekelskiftet var 6 tum (15 cm) en vanlig minimidimension.^{35,36} Det kan tolkas som att det blev brist på grov skog men också på att marknaden mot 1800-talets slut även efterfrågade klenare dimensioner. I dag är minsta diameter för virke som sågas 10–12 cm.

Mätning av virke har utvecklats under lång tid, vilket finns utförligt beskrivet.³⁷ Virkesmätningssällskap bildades på slutet av 1800-talet av köparna för att skapa enhetlig virkesmätning. Första lagen om virkesmätning kom 1935 och virkesmätningssällskaperna omorganiserades så att köpare och säljare fick samma representation i styrelserna. Från 1943 övervakar Skogsstyrelsen virkesmätningen i Sverige.

Länge rörde sig virkesmätning om volym och dimensioner. Någon egentlig klassning i olika kvalitet gjordes inte. Ett tidigt exempel är *Instruktion för timmertummare Ångermanälvens ådal* från 1888. Där framgår att timmer skulle vara rakt och friskt, om inte gjordes avdrag på längd och diameter.³⁸

Sågverken sorterade den färdiga produkten, det sågade virket, i kvalitetsklasser. En gammal bevarad beskrivning av kvalitetskrav på sågat virke är från 1880-talet.³⁹ Virket klassades i *mixed* av 1:a och 2:a klass, i *terta*, *quarta*, *quinta* och *skeppningsvrak*. Svårighet att bedöma egenskaperna inne i en stock är stor och det dröjde till 1930-talet innan sågtimmer klassades i olika kvaliteter.

System och bestämmelser för kvalitetsklassning av sågtimmer introducerades 1932 i övre Norrland och från 1944 i mellersta och södra Sverige.⁴⁰ Klassningen av timmer omarbetades 1953 till att gälla hela Sverige 1953. Klassningen liknade den som redan användes i Norrland. Benämningarna som tidigare användes för den sågade produkten kom att användas för sågtimmer fram till 1990-talet, *O/S* (osorterat, 1–4 klass), *kvinta* och *utskott* och finns beskrivna i den så kallade *Gröna boken*.⁴¹

³⁵ Pettersson, R. 2015. Sågat virke för välbefinnande. Den svenska sågverksindustrins historia 1850–2010. Skogs- och lantbrukshistoriska meddelanden nr 70. Supplement till Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift (KSLAT) nr 70. 591 s.

³⁶ Arpi, G. 1959. Sveriges skogar under 100 år: en sammanfattande redogörelse över det svenska skogsbruket 1859–1959. Del 1. Domänverket, Stockholm. 237 s.

³⁷ Pettersson, R. (redaktör). 2011. Mitt emellan virkesintressen. Virkesmätningens historia i Sverige. Skogs- och Lantbrukshistoriska meddelanden nr 55. Supplement till Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift (KSLAT). 656 s.

³⁸ Pettersson, R. 2015. Sågat virke för välbefinnande. Den svenska sågverksindustrins historia 1850–2010. Skogs- och lantbrukshistoriska meddelanden nr 70. Supplement till Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift (KSLAT) nr 70. 591 s.

³⁹ Sandberg, D. 2015. Sågverkens vidareförädling 1850–2010. I: Pettersson, R. 2015. Sågat virke för välbefinnande. Den svenska sågverksindustrins historia 1850–2010. Skogs- och lantbrukshistoriska meddelanden nr 70. Supplement till Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift (KSLAT) nr 70. 591 s.

⁴⁰ Pettersson, R. (redaktör). 2011. Mitt emellan virkesintressen. Virkesmätningens historia i Sverige. Skogs- och Lantbrukshistoriska meddelanden nr 55. Supplement till Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift (KSLAT). 656 s.

⁴¹ Föreningen svenska sågverksmän. 1958 års virkessorteringskommitté. 1960. Sortering av sågat exportvirke: anvisningar utarbetade av 1958 års virkessorteringskommitté. Esselte, Stockholm. 43 s.

Att utifrån bedöma egenskaper och kvalitet på det sågade virkets inne i en stock är svårt och det tog flera decennier att utreda och utveckla nya klassningsreglerna för sågtimmer. Från 1994 gällde ny instruktion i Ljungans virkesfångstområde och norrut och från 1999 i hela Sverige. För tall introducerades fem klasser, 1–5, och för gran fyra klasser. De bygger på vad som syns på stockens mantelyta men framför allt i ändytorna. Utvecklingen har fortsatt och antalet klasser minskat och i dag sorteras ofta tall i tre klasser och gran i en enda.

Vilket virke sågades förr jämfört med nu?

Om timmer till sågverken var bättre förr än nu går inte att avgöra. Någon bedömning av egenskaper kopplade till ”kvalitet” hos timmer gjordes inte organiserat och systematiskt innan 1930-talet och statistik om timrets egenskaper saknas. För en betydligt senare period finns dock sådana bedömningar redovisade.⁴² Från 1967/1968 till 1982/83 var andelen talltimmer som klassades som O/S (bästa kvaliteten) relativt konstant, medan det sjönk för grantimmer. Skillnaderna mellan olika områden i Sverige var dock stor. Men inte bara egenskaper hos träden och skogen påverkar hur kvaliteten på timmer bedöms. Vilka dimensioner som apteras till sågtimmer påverkar också kvalitetsklassningen. Avverkning och transport av virket kan ge skador som också påverkar virkets egenskaper (figur V5).



Figur V5 Aptering av tall. Vid aptering avgörs hur ett träd ska delas upp, kapas, i olika längder och sortiment. Förr gällde att efter att ett träd fällt märkte apteraren ut hur det skulle delas i timmer och andra sortiment och hur långa stockarna ska vara. Många faktorer inverkar på apteringen: trädets egenskaper synliga på mantelytan, fel och skador, stammens avsmalning och priset på olika sortiment. Boxholm 1925. Skogshistoriska bilder, SLU-biblioteket Umeå.

⁴² Nylinder, M., Törnmarck, J., 1985. Sågtimrets kvalitet förr och nu. Sid 63–69. I: Kvalitet behöver vi det? Skogshögskolans höstkongress 4–6 december 1984. SLU, Skogsfakta, kongress nr 6. 167 s.

Det man kan säga är att variationen i egenskaper, eller kvalitet, minskat över tid eftersom skogen efter hand skötts mer och mer likartat. I södra Sverige har andelen sågtimmer från riktigt frodvuxna ängsgranar med riktigt grova grenar minskat. Detsamma gäller granar med margranskärna, det vill säga granar med extremt smala årsringar i rotstockens centrum.⁴³

Den tidiga sågverksindustrin i norra Sverige hade tillgång till skogar som inte exploaterats tidigare. Där borde funnits en stor variation mellan trädens egenskaper, exempelvis avseende ålder, årsringsbredd, kvistighet och dimension. Eftersom betydligt mindre volymer då avverkades fanns större möjlighet än idag att välja träd med de bästa egenskaperna för sågverksindustrin. Å andra sidan var möjligheterna att transportera virke sämre än idag och många områden med träd med goda egenskaper var därför inte tillgängliga för avverkning.

Det mesta av virket som sågas idag kommer från anlagda och genom röjning och gallring skötta skogar. De har uppkommit på annat sätt än de skogar som exploaterades när sågverksindustrin växte upp i Norrland för mer än 150 år sedan. Variationen i dagens ofta mer jämnåriga skogar är mindre än i de äldre, skiktade och olikåldriga skogarna. Ju jämnare uppväxtförhållanden och mer begränsade konkurrens mellan träden desto mer likartade egenskaper får virket. På grund av skillnader i trädindividernas genetik och närmiljö kommer skillnaderna i virkets slutliga egenskaper ändå att bli ganska stora mellan stockar i en till synes jämn skog.

I ett exploaterande skogsbruk går det att välja träd för avverkning, men dessförinnan har inga åtgärder gjorts som kan påverka virkets slutliga egenskaper. I dagens skogsbruk kan träden och dess egenskaper påverkas med skogsskötsel och genetisk förädling (se avsnittet *Hur skogsskötseln kan påverka virkets egenskaper*).

Var virket som användes bättre förr?

Idag kan vi se de goda resultaten där bra virke använts på rätt sätt, till exempel i många äldre byggnader. Gott hantverk, goda kunskaper samt tid och möjlighet att välja rätt virke till olika användning ger goda förutsättningar till ett bra resultat och bestående produkter. Sådant virke och hantverksskicklighet kan vi se idag och beundra. Det kan antyda att virket var bättre förr. Men sannolikt fanns även förr dåligt virke som dessutom kan ha används felaktigt i dåliga konstruktioner. Sådana exempel ser vi inte, för dessa finns helt enkelt inte kvar då de har de ruttnat eller bytts ut. Därför är det inte möjligt att säga om virket generellt var bättre förr.

I norra Sverige återfinns fler gamla träkonstruktioner jämfört med södra Sverige. Ganska säkert beror det på att ett kyligare klimat gör att trä bryts ner långsammare i norra Sverige och endast till mindre del eller inte alls på virkets egenskaper i olika delar av Sverige.

Kvalitet är inget entydigt begrepp. Det är bättre att tala om egenskaper hos trä och virke. Beroende på användning är olika egenskaper värdefulla. En egenskap kan vara viktig för en viss användning men betydelselös eller till och med till nackdel vid en annan användning. Vad som är bra kvalitet för en användare och användning behöver inte vara bra kvalitet för en annan användare eller användning.

⁴³ Personligt meddelande. Harald Säll. Linneuniversitetet, Växjö.

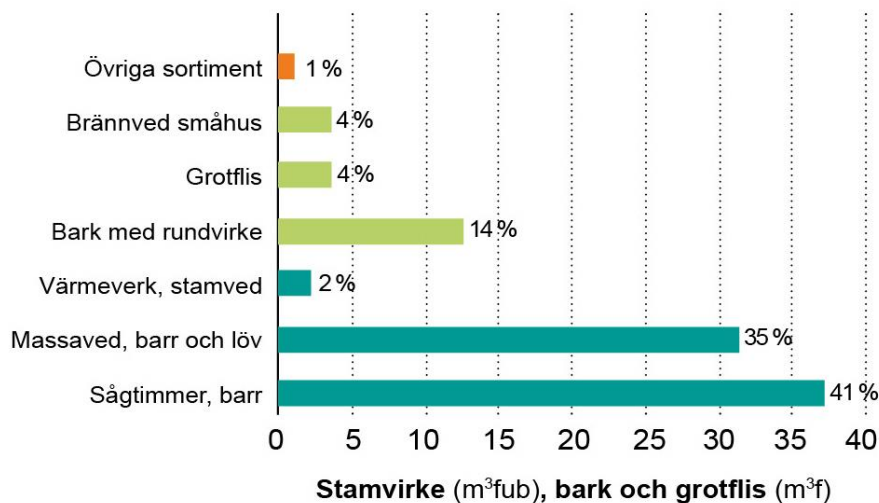
Dagens och framtidens förädlingsindustri

av Lars Wilhelmsson

Nästan överallt i vår vardag finns produkter, material och energiflöden som helt eller delvis baseras på skogsråvara. Leveransen av skogsråvara till skogsindustrin sker i form av stockar, grenar, toppar eller huggen flis. Ökade samhällskrav på fossilfria råmaterial och produktionsmetoder ger sannolikt plats för nya trä- och fiberprodukter och nya material baserade på skogsråvara.

Den skogsbaserade förädlingsindustri kan delas in i tre större produktområden: (1) solida träprodukter, (2) fiberprodukter (massa, papper, kartong, skivor, textil, kemi) och (3) primär bioenergi.

Inom varje produktområde framställs flera olika produkter. Både det totala uttaget (skörden från skogen) och den relativa fördelningen av råvaran på olika delsortiment (figur V6) har varit likartad under många år. Även om mängd och fördelning av grundläggande råvarusortiment inte har förändrats, har efterfrågan på trädens stamvirke till flera olika produkter ökat. Fortfarande finns dock ett överskott av biomassa från framför allt grenar, toppar och stubbar.



Figur V6 Procentuell volymfördelning av skördad råvara från skogsbruket år 2020, fördelad på stamvedssortimenten (sågtimmer barr, massaved och stamved till värmeverk, uttryckt i fastkubikmeter under bark (m^3fub)) och bränslesortimenten (bark från rundvirke, grot-flis och brännved för småhus, uttryckt i fastkubikmeter (m^3f)). Därutöver tillkommer sågtimmer av löv, övrigt virke, trädflis samt park- och trädgårdsrester, totalt cirka 1 %. Fördelningen på huvudsortimenten har varit likartad under många år. Siffrorna vid staplarna anger procent av total skördad råvara 2020. Statistik baserad på Skogsstyrelsen JO031201 ”01 Brutto- och nettoavverkad volym efter år och sortiment av stamved”, samt Energimyndighetens ENO122_3 Energi Produktion av sönderdelade oförädlade primära skogsbränslen av inhemskt ursprung med fördelning på sortiment 2013–2020. Bearbetning: Lars Wilhelmsson.

Samspelet mellan industrienheters logistik, tillverkningsprocesser och produkter effektiviseras ständigt. Vid tillverkning av skogsindustriprodukter går det att komma längre i optimering av ekonomi, miljö och social hänsyn genom ökad digitalisering och utvecklad användning av mät- och modelleringssteknik. Det ger i sin tur förutsättningar för ökad användning av artificiell intelligens och utveckling av stödjande affärssystem.

Många skogsindustriprodukter säljs på en hårt konkurrensutsatt världsmarknad. I takt med ökat fokus på hållbarhet blir även effektiva återvinningsprocesser och blandningar av återvunnen och färsk råvara allt viktigare.

Sedan många år pågår forskning och utveckling om egenskaper hos olika vedkomponenter och hur egenskaperna inverkar på tillverkningsprocesser, material och produkter. Ett exempel är kombinationer av fibrer, spån och polymerer⁴⁴ för specialiserade processer eller nya blandningar som kan ge helt nya material och produkter. Detta förändrar successivt vad som ligger i begreppet virkeskvalitet. Det påverkar också marknadspriser och flöden på råvarumarknaden.

Mer om råvaruegenskapernas inverkan på olika produkter finns i avsnittet *Virkesegenskaper och förädlingsindustrin – betydelse för processer och produkter*.

Förädlingsvärden från hela och delar av skogssektorn

För att illustrera skogsbranschens olika delar och sammanlagda bidrag till bruttonationalprodukten kan man använda måttet förädlingsvärde.

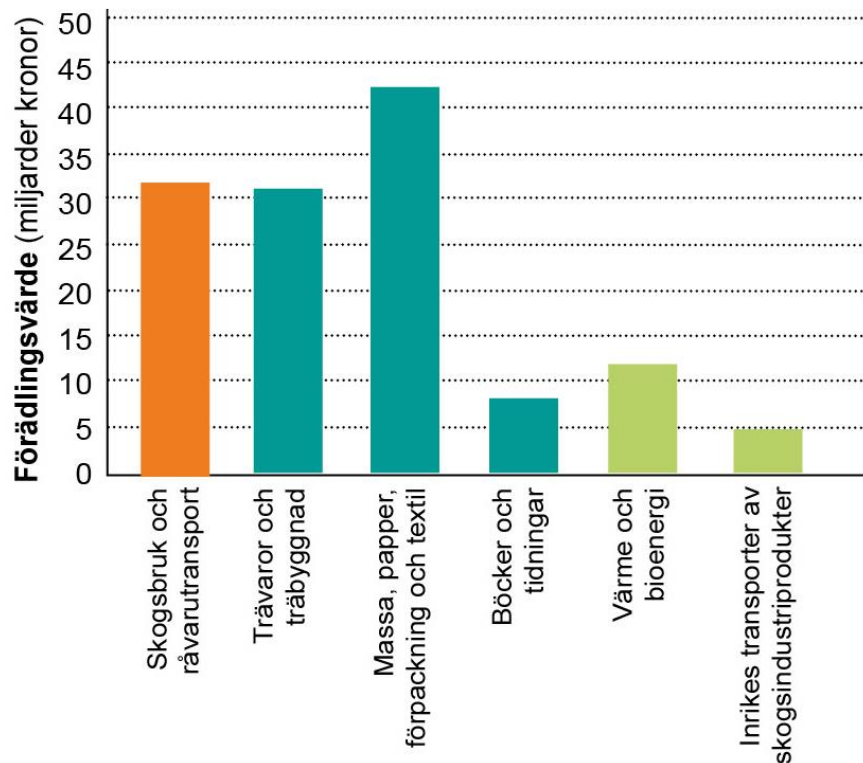
Förädlingsvärde för en sektor, eller bransch, definieras av Statistiska Centralbyrån (SCB) som ”sektorns/branschens produktionsvärde minus sektorns/branschens insatsförbrukning”. Förädlingsvärdet beräknas som totala försäljningsintäkter minus totala inköpskostnader för externt tillverkade insatsvaror och tjänster.

Förädlingsvärdet för ett företag ska alltså täcka kostnaderna för egen personal, egna maskiner, byggnader, mark och en skälig vinst. Förädlingsvärden används för att kunna räkna samman de olika delarna i en värdekedja, till exempel från skog till slutkund utan att räkna ett skapat värde mer än en gång.

Figur V7 visar en sammanställning av förädlingsvärden från olika delar av skogsbranschen och närmast sammankopplade delar av tillverkningsindustrin. Det totala förädlingsvärdet cirka 130 miljarder (2019) erhålls genom att ställa de olika staplarna på varandra. Produktgruppen massa/papper, förpackningar, textil och en liten mängd andra fiberbaserade produkter genererade år 2019, liksom under flera år tillbaka, högst förädlingsvärde (cirka en tredjedel av branschens totala förädlingsvärde), medan förädlingsvärdena från skogsbruk och råvarutransporter summerade till cirka en fjärdedel (se kommentar i figurtexten), liksom trävaror och byggprodukter av trä (cirka en fjärdedel). Det har inte skett några större förändringar i hur förädlingsvärdena fördelar sig mellan de olika delarna av skogssektorn under 2000-talet.

⁴⁴ Polymerer är kemiska föreningar som består av mycket långa kedjor uppbyggda av upprepade mindre enheter, monomerer. Polymerer i form av konstruktionsmaterial kallas i dagligt tal för plaster.

Ökat träbyggande med träbaserade byggelement kan leda till att förädlingsvärdet för trä och träbyggande ökar. Men alla delar av skogssektorn har produkter som kan öka sina förädlingsvärden. Det i sin kan leda till ökad efterfrågan och konkurrens om skogsråvara.



Figur V7 Skattning av förädlingsvärden år 2019, uppdelat på olika delar av den svenska skogsnäringen. Det totala förädlingsvärdet var det året cirka 130 miljarder kronor, motsvarande 12 % av förädlingsvärdet för svensk tillverkningsindustri. Notera att i "Skogsbruk och råvarutransport" har förädlingsvärden för alla delar av skogsbruket från plantering till skörd samt råvarutransport till industrin räknats ihop. Data från SCB, Skogsindustrierna, Trä- och möbelföretagen och Skogforsk. Bearbetning: Lars Wilhelmsson.

Solida träprodukter

Av all stamved inklusive bark som skördades i det svenska skogsbruket år 2018 blev 53 % av torrsubstansen (ts)⁴⁵ sågtimmer, 38 % massaved och 9 % bränsleved.⁴⁶ Det motsvarar omkring 18 (16+2), 13 (12+1) respektive 3 miljoner ton torr biomassa (figur V8). Utöver stamved skördades 2 miljoner ton skogsbränsle i form av grot (grenar och toppar) som sönderdelades till bränsle i värmeverk. Figur V8 beskriver också en bedömd

⁴⁵ Torrsubstans (förkortas ts) är den mängd torrt material som återstår efter fullständig torkning av materialet.

⁴⁶ Bränsleved är stamvedsvirke som normalt inte uppnår sågverkens eller massaindustrins kvalitetskrav, vanligen på grund av röt- eller insektsskadaskador, ibland på grund av att det torkat för länge, missfärgats, eller på annat sätt inte uppfyller produkt- eller processkritiska krav för sågning eller massatillverkning och därmed passar bättre som bränsle. Om prisskillnaden mellan brännved och ett bättre betalt virkessortiment är liten samtidigt som drivnings- och transportkostnaderna gör att nettobetalingen till skogsägaren blir högre kan det leda till att en mindre del virke som klarar andra sortimentsgränser läggs till bränsleveden.

ekologiskt uttagbar⁴⁷ kvantitet skogsbränsle (grot och stubbar) som inte skördades, främst på grund av ekonomiskt otillgänglighet, det vill säga att skörda, transportera och förädla det till bränsle var för dyrt i förhållande till dess ekonomiska värde.

Timmer och massaved från skogen går vidare till produktion av massa, papper och sågade trävaror (figur V9).

Av timmerstockarna blir ungefär 45 % sågade varor. Återstående cirka 55 % är biprodukter, varav hälften i form av flis går till massa/pappersbruk för produktion av massa för avsalu, kartong, papper, hygienprodukter med mera. Den andra hälften biprodukter från sågverken är bioenergi i form av spån och bark som till ungefär en femtedel används i sågverken till virkestorkning, uppvärmning och elproduktion⁴⁸. Det mesta av spånet används (2020) till andra energiprodukter som pellets och drivmedel (figur V10).

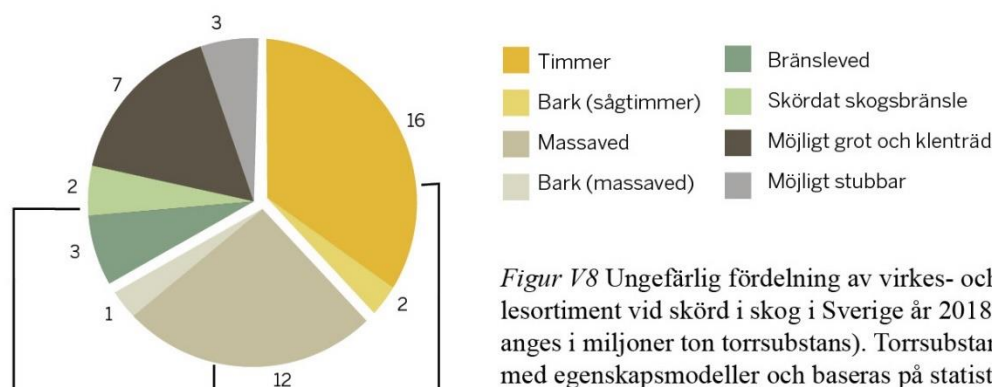
Av massaveden används ungefär 60 % i massa/pappersbruk samt en liten del till textiltillverkning (figur V9). I massa/pappersbruken är andelen biprodukter mindre än i sågverken, ungefär 35 %. Den dominerande delen är de ligninrika svartlutarna från kemisk massaframställning. Den används (2020) till stor del för massa- och pappersindustrins interna behov av värme och elkraft.

Industriernas energieffektivisering och modifierade processer gör att mer av biprodukterna kan komma att användas till förädlade biobränslen och utveckling av nya produkter.

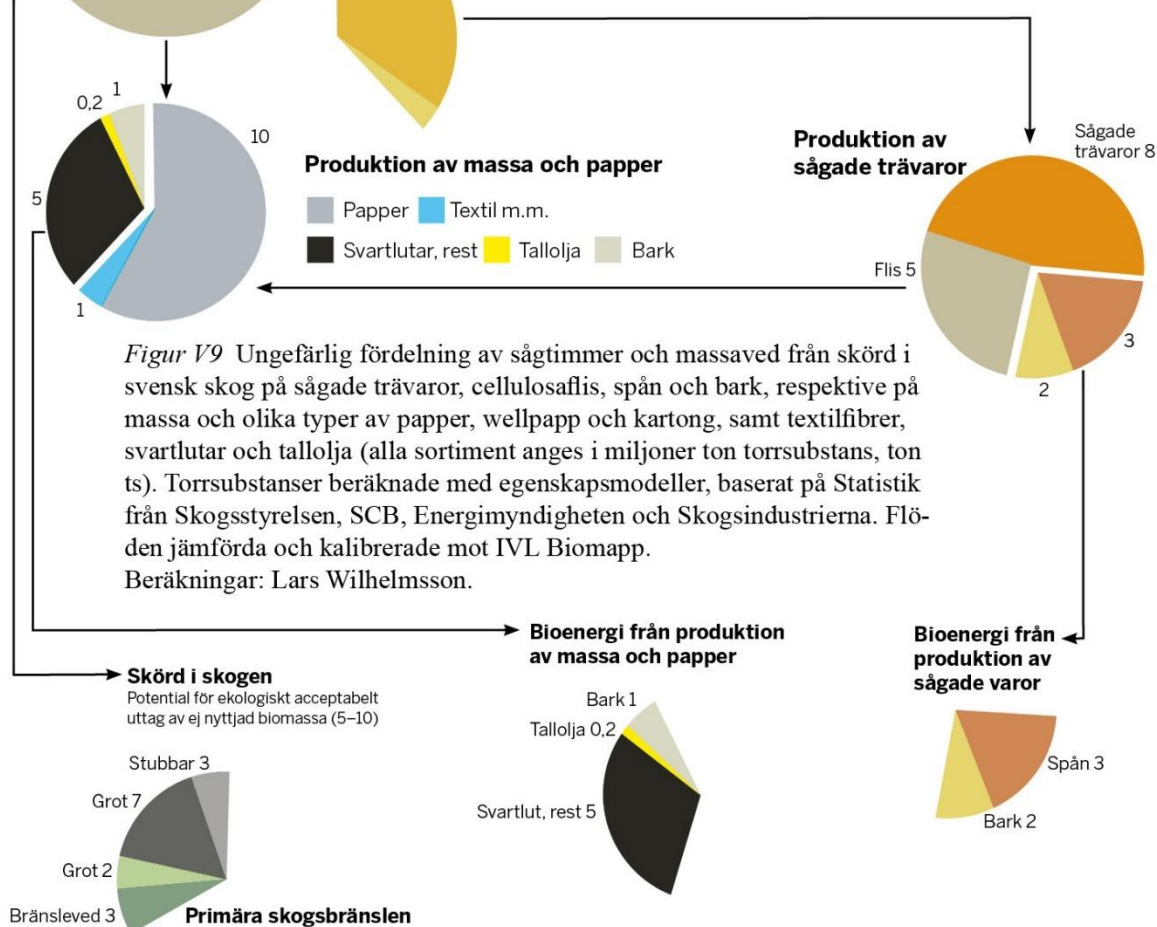
⁴⁷ Drott, A., Andersson, S. & Eriksson, H. 2019. Regler och rekommendationer för skogsbränsleuttag och kompensationsåtgärder. Skogsstyrelsen. Rapport 14–2019. 27 s.

⁴⁸ Andersson, J.-E., Lycken, A., Nordman, R., Olsson, M., Räftegård, O. & Wamming, T. 2011. State of the art – Energianvändning i den svenska sågverksindustrin. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. Bygg och Mekanik Energiteknik. SP Rapport 2011:42. 87 s.

Skörd i skogen



Figur V8 Ungefärlig fördelning av virkes- och skogsbränslesortiment vid skörd i skog i Sverige år 2018 (alla sortiment anges i miljoner ton torrsubbstans). Torrsubbstanter beräknade med egenskapsmodeller och baseras på statistik från Skogsstyrelsen, SCB, Energimyndigheten och Skogsindustrierna. Flöden jämförda och kalibrerade mot IVL Biomapp. Beräkningar: Lars Wilhelmsson. Grafik: Bo Persson.



Figur V10 Utfall av primära skogsbränslen från skogen och biprodukter (konsekvensprodukter) från produktion av sågade trävaror respektive produktion av massa (2018) (alla sortiment anges i miljoner ton torrsubbstans, ton ts). Torrsubbstanter beräknade med egenskapsmodeller, baserat på Statistik från Skogsstyrelsen, SCB, Energimyndigheten och Skogsindustrierna. Flöden jämförda och kalibrerade mot IVL Biomapp. Beräkningar Lars Wilhelmsson.

Utveckling av solida träprodukter

Inom området solida träprodukter har efterfrågan på olika typer av *träbaserade konstruktionselement* (Engineered Wood Products (EWP)) ökat under senare år. Det gäller till exempel *korslimmat trä* (KLT eller på engelska CLT) som förenar hög formstabilitet och jämna styrkeegenskaper. Den ökade efterfrågan på korslimmat trä beror bland annat på det tilltagande intresset för effektivt byggande av flervåningshus.

Limträbalkar är exempel på träbaserade konstruktionselement med lång och framgångsrik tradition. Här limmas skikten inte i kors, utan i samma fiberriktning till balkar som kan göras i specificerade dimensioner. Inverkan av svagare punkter runt kvistar och tvärs skarvar av de enskilda lamellerna/sågutbytena minimeras genom att fördela de svagare punkterna så de sammanfogade skikten uppnår avsedd styrka. Limträ ger också hög brandsäkerhet.⁴⁹

Förutom vid industriell tillverkning av stora byggelement som KLT och limträbalkar används fingerskarvning även för framställning av kvistfria fönster och dörrkarmar. Andra exempel på träbaserade konstruktions-element är *laminerat fanérträ* (Laminated Veneer Lumber, ofta förkortat LVL), som normalt byggs upp i flera skikt med samma fiberriktning. Det ger ökad styrka jämfört med enkla sågade trävaror och gör det möjligt att använda lättare byggelement jämfört med traditionellt konstruktionsvirke.

Olika typer av träbaserade konstruktionselement beskrivs närmare i avsnittet *Virkesegenskaper och förädlingsindustrin – betydelse för processer och produkter*.

Gemensamt för de träbaserade konstruktionselementen är att de kostar mer att tillverka än vanliga sågade trävaror. Ofta uppväger kostnaderna mer än väl konstruktionselementens positiva egenskaper. Jämfört med vanliga sågade trävaror innebär de oftast även lägre kostnader och lägre miljöbelastning genom effektiva tillverknings- och byggprocesser.

I många fall är en del träbaserade konstruktionselement (KLT och limträbalkar) en förutsättning för att kunna bygga större och högre trähus (figur V11), som därmed lagrar biogent kol under lång tid i stället för att som vid betongbyggnad avge stora mängder fossil CO₂. Sammantaget ger trähus och andra träkonstruktioner avsevärt lägre klimatpåverkan (minskade CO₂-emissioner), än jämförbara betong- och stålkonstruktioner.^{50,51}

⁴⁹ Östman, B. A-L. 2017. Fire performance of wood products and timber structures, International Wood Products Journal 8(2): 74–79. <https://doi.org/10.1080/20426445.2017.1320851>

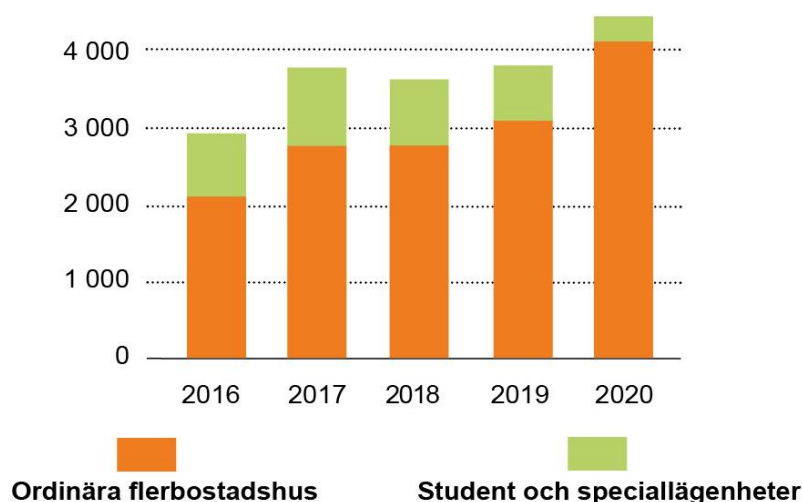
⁵⁰ Peñaloza, D., Erlandsson, M. & Falk, A. 2016. Exploring the Climate Impact Effects of Increased Use of Bio-Based Materials in Buildings. Construction Building Materials 125: 219–226. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.041>

⁵¹ Andersen, C.E., Rasmussen, F.N., Habert, G. & Birgisdóttir, H. 2021. Embodied GHG Emissions of Wooden Buildings – Challenges of Biogenic Carbon Accounting in Current LCA Methods. Frontiers in Built Environment 7: 1–15. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2021.729096>

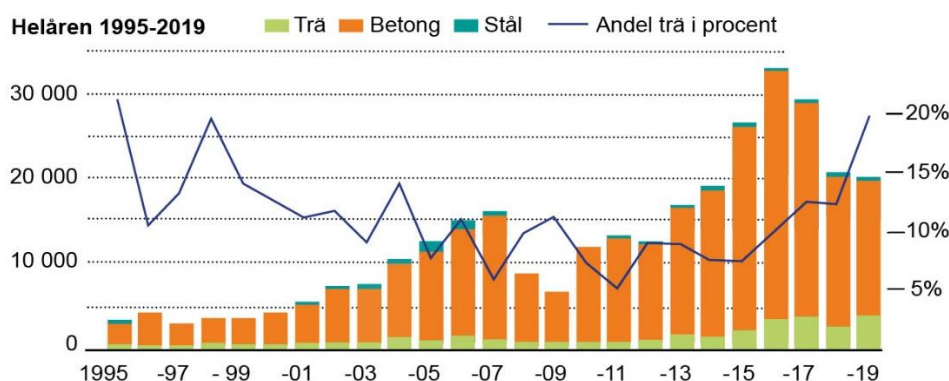


Figur VII Ökad efterfrågan på effektivt och miljövänligt producerade flervångshus i trä har lett till en kraftig ökning av träbaserade konstruktionselement som limträbalkar (överst och i taket nere till vänster) och korslimmade väggelement (KLT) (nere till höger). Foto: Sara kulturhus i Skellefteå och Martinsons Trä.

Antalet byggda flerbostadshus med trästomme har ökat under senare tid, från cirka 3000 färdiga lägenheter år 2016 till cirka 4500 år 2020 (figur V12). Andelen påbörjade lägenheter i flerbostadshus med trästomme har varierat mellan ungefär 5 och 20 % sedan 1990-talet men har varit ökande från omkring 2010 (figur V13). Det helt dominerande stommaterialet har varit och är fortfarande betong. En liten andel flerbostadshus byggs med stålstomme.



Figur VI2 Flerbostadshus med stomme av trä. Antal levererade lägenheter i flerbostadshus, fördelat på ordinära respektive student- och speciallägenheter 2016–2020. Källa: TMF (2021).⁵²



Figur VI3 Andel påbörjade lägenheter i flerbostadshus med stomme av trä, betong eller stål 1995–2019. Källa SCB och TMF (2021).⁵³

Olika delar av de träbaserade konstruktionselementen ställer olika krav på vad som är godtagbara virkesegenskaper jämfört med vanligt konstruktionsvirke. När kunskap om varierande egenskapskrav kombineras med bättre råvarukaraktärisering (se *Möjligheter att mäta, beräkna och utnyttja virkets egenskaper vid planering och skörd*) kan en ökande andel av det skördade virket användas för träbyggnad. Tack vare lägre produktionskostnader, enkelhet, flexibilitet och mängder av olika användningsområden förväntas dock fortsatt efterfrågan på vanliga plank och bräder av ändamålsenlig kvalitet.

Om utvecklingen av nya trämaterial leder till genomsnittligt lägre råvarukrav kommer industrier med tillgång på billig råvara utan höga krav på traditionellt värderad kvalitet troligen att få konkurrensfördelar. För

⁵² Trä- och Möbelindustriförbundet (TMF). 2021. TMF i Siffror. Statistik om den svenska trä- och möbelindustrin. Nr 1, april 2021. 10 s.

⁵³ Trä- och Möbelindustriförbundet (TMF). 2021. TMF i Siffror. Statistik om den svenska trä- och möbelindustrin. Nr 1, april 2021. 10 s.

svensk trämekanisk industri kan detta innebära att bättre konkurrenskraft kräver tydligare inriktning mot högre produktivitet, lägre miljöpåverkan och minskade kostnader hela vägen från råvaruproduktion till färdiga produkter.

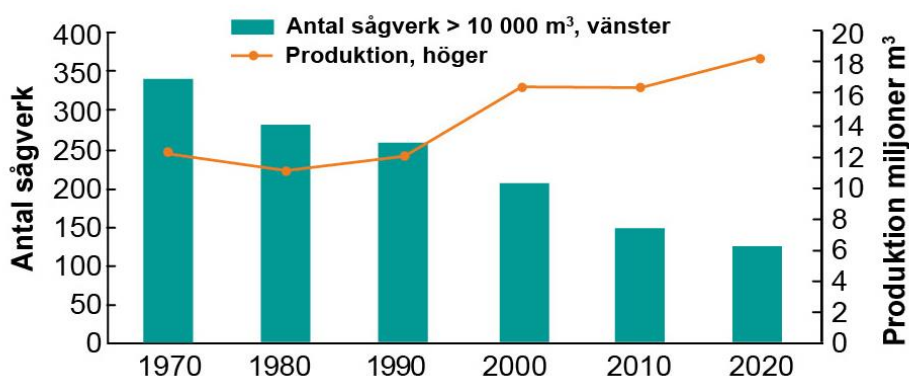
Men utvecklingen kan också drivas mot mer utvecklade träbaserade konstruktionsmaterial. Där kan detaljerade råvarukunskaper och mer differentierad råvaruanvändning ge förutsättningar för att utveckla konkurrenskraftiga och materialoptimerade produkter av hög kvalitet.

Sågverk och sågade varor

I Sverige fanns år 2021 ungefär 130 sågverk som producerade minst 10 000 kubikmeter sågad trävara per år. Produktionen har koncentrerats till allt färre företag där de enskilda sågverken specialiserat sig avseende träslag och produktgrupp. Specialisering motverkas dock om det leder till avsevärt längre timmertransporter.

Den totala produktionen sågad trävara i Sverige ökade från cirka 12 miljoner kubikmeter under 1990-talet till cirka 18 miljoner kubikmeter år 2020 (figur V14). Denna utveckling har skett samtidigt som antalet stora sågverk blivit färre men större. År 2020 svarade de tio största företagen för cirka 60 procent och de tjugo största företagen för cirka 80 procent av produktionen.

Vid sidan om de ungefär 130 industriella sågverken sker en mindre produktion för lokalt ändamål och husbehovsändamål vid ett antal mindre sågar.



Figur V14 Strukturutveckling i svensk sågverksindustri från 1970 till 2020. Utvecklingen har gått mot färre, men större sågverk. 1970 producerade cirka 340 sågverk, med en produktion mer än 10 000 m³ sågad vara per år, i medeltal 35 000 m³ per enhet. Motsvarande uppgifter år 2020 var totalt cirka 130 enheter som producerade i medeltal närmare 150 000 m³ sågad vara per enhet. Källa: SCB och Skogsindustrierna.⁵⁴

Olika sågteknik används inom sågverksindustrin. De minsta sågarna är oftast cirkelsågar, medan de större domineras av reducerbandsågar och reducerklingsågar. Reducering innebär att timrets ytterkanter fräses bort för att forma ett fyrkantat sågblock. Reducerflisen levereras normalt som

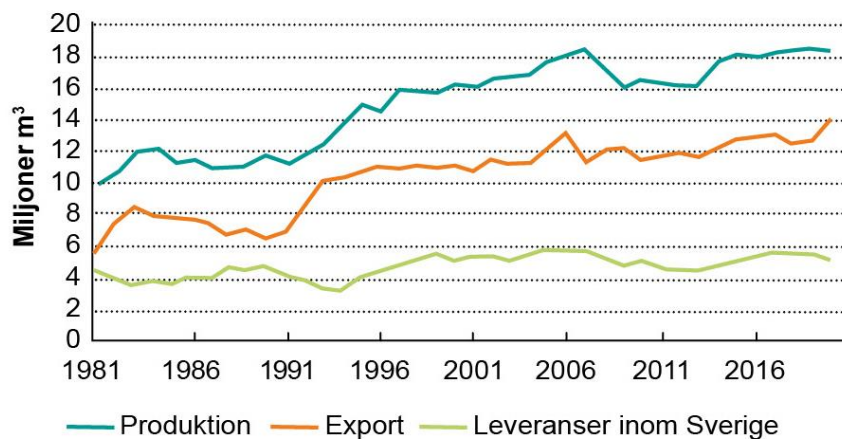
⁵⁴ Skogsindustrierna. 2022. Sågade trävaror - produktion och handel.
<https://www.skogsindustrierna.se/om-skogsindustrin/branschstatistik/sagade-travaror-produktion-och-handel/> (Hämtad 2022-03-28.)

cellulosafällis till massa/pappersindustrin. Sågblocket delas sedan upp i plank och brädor med band- eller cirkelsågar. En annan variant utgörs av profileringsågarna. Där fräses en profil ut i stamtvärnsnittet, varefter cirkelsågar delar upp profilen i sågutbyten med olika tvärsnittsmått. Andelen profileringsågar ökar.

Export och inhemsk konsumtion

Av de cirka 18 miljoner kubikmeter sågad vara, som producerats i Sverige de senaste åren exporterades ungefär två tredjedelar (figur V15). Grovt räknat har exporten fördubblats sedan 1981, medan inhemsk användning varit ungefär konstant under samma period.

Den globalt största producenten av sågade trävaror är USA med 60 miljoner kubikmeter år 2019. Därefter följde Kanada, Ryssland⁵⁵ och Kina med en produktion på vardera ungefär 40 miljoner kubikmeter. Efter de länderna kom Tyskland med 23, Sverige med 18, Finland med 12 och Österrike med 10 miljoner kubikmeter.⁵⁶



Figur V15 Produktion, export och leveranser inom Sverige av sågade barrträvaror 1981–2020. Källor: SCB och Skogsindustrierna.⁵⁷

Europa är svensk sågverksindustris viktigaste marknad med ungefär 60 % av exportandelen (figur V16). Störst är exporten till Storbritannien. Andra stora europeiska exportländer är Norge, Danmark, Nederländerna och Tyskland. Nordafrika är en viktig exportregion, liksom Asien, främst Kina och Japan, dit exporten ökat mest de senaste åren. En betydande export av sågade trävaror går också till USA.

Av exporten var något mer än hälften av volymen gran, varav den hyvlade volmen var något större än det ej hyvlade (figur V16). Hyvlad tall utgjorde en mycket liten del jämfört med ohyvlad tall.

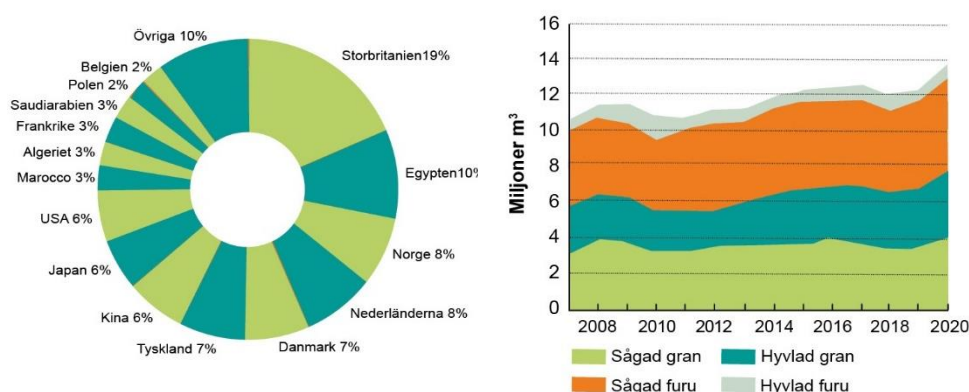
⁵⁵ Observera att sifferuppgifter rörande Ryssland i detta kapitel i Skogsskötselserien gäller innan Ryssland inledde anfallskriget mot Ukraina den 24 februari 2022.

⁵⁶ Skogsindustrierna. 2022. Sågade trävaror - produktion och handel.

<https://www.skogsindustrierna.se/om-skogsindustrin/branschstatistik/sagade-travaror-produktion-och-handel/> (Hämtad 2022-03-28.)

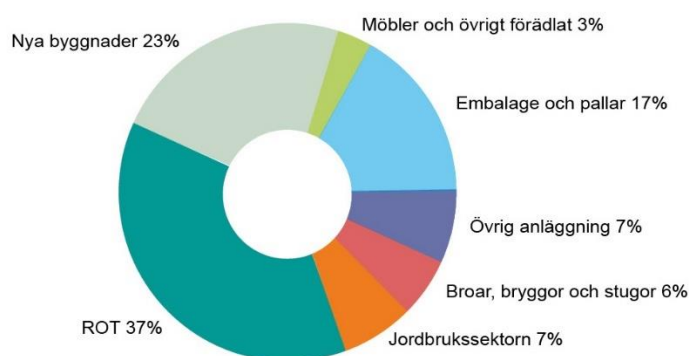
⁵⁷ Skogsindustrierna. 2022. Sågade trävaror - produktion och handel.

<https://www.skogsindustrierna.se/om-skogsindustrin/branschstatistik/sagade-travaror-produktion-och-handel/> (Hämtad 2022-03-28.)



Figur V16 Sveriges export av sågade barrträvaror år 2020. Fördelning på exportmarknader (vänster) och huvudprodukter (höger). Källor: SCB och Skogsindustrierna.⁵⁸

Den inhemska användningen av sågade barrträvaror fördelas på nya byggnader och reparationer, ombyggnad och tillbyggnad (ROT) (figur V17). Av den totala försäljningen av trävaror i Sverige gick drygt 3 miljoner kubikmeter (55 %) via bygghandeln, varav 13 procentenheter eller 0,7 miljoner kubikmeter var impregnerat.



Figur V17 Fördelningen av den uppskattade totala konsumtionen av sågade barrträvaror i Sverige år 2018 (5,7 miljoner m³) på olika användningsområden. ROT avser Reparationer, Ombyggnad, Tillbyggnad. Källa: Svenskt Trä (2020).⁵⁹

Trä-, spån- och fiberskivor

Ungefär 2 % av den skördade stamveden i Sverige användes för tillverkning av trä- och spånskivor (andel torrs substans, år 2018). Världsmarknaden för olika typer av skivor och kompositmaterial har vuxit kraftigt de senaste 20 åren. Under perioden 2000–2019 ökade produktionen av MDF-skivor (Medium Density Fiberboards)⁶⁰, HDF-skivor (High Density Fiberboards,

⁵⁸ Skogsindustrierna. 2022. Sågade trävaror - produktion och handel.

<https://www.skogsindustrierna.se/om-skogsindustrierna/branschstatistik/sagade-travaror-produktion-och-handel/> (Hämtad 2022-03-28.)

⁵⁹ Svenskt Trä. 2020. Skogsindustri. <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/skogsbruk/skogsbruk/skogsindustri/> (Hämtad 2022-03-28.)

⁶⁰ En MDF-skiva är en träfiberskiva som tillverkas i en torr process och innehåller syntetiskt lim. Den är slät på båda sidor och lämpar sig för inredning.

populärt kallad masonit) och OSB (Oriented Strand Board) ⁶¹för hela Europa inklusive Ryssland med 200 %. Typisk användning av MDF hittar man i köksinredningar, dörrar och lister. OSB-skivor används bland annat till innerväggar, tak och balksystem, men även till gjutformar. Produktionen av sågade trävaror i samma område ökade från 130 miljoner kubikmeter 2000 till 172 miljoner kubikmeter 2019, eller med 33 %.^{62,63}

I dagsläget (2021) tillverkas dock inga MDF-, HDF- eller OSB-skivor i Sverige, men användningen av skivor till bland annat byggkomponenter, inredningar, möbler, med mera, är omfattande. Hård konkurrens från effektiva fabriker nära befolkningstäta områden i Europa och jämförelsevis låga krav på råvaruegenskaperna har sannolikt varit starkt bidragande orsaker. Ökat intresse för klimatnytta genom produkter som binder vedfibrens kol under lång tid kan leda till ökat intresse för skivproduktion baserad på svensk skogsråvara.

I Sverige fanns (2021) tre skivproducenter. En fabrik för plywood av gran och furu i Västra Götalands län. Den har en årskapacitet på cirka 90 000 m³ (motsvarande cirka 6 miljoner m²) plywood till den skandinaviska marknaden. Vidare fanns (2021) två industrier för tillverkning av totalt cirka 600 000 m³ spånskivor av olika typ, den ena i Småland och den andra i Jämtland.

Massa och papper

Massa- och pappersindustrin är den största användaren av svensk vedfiber och dominerar skogsindustrins förädlingsvärden. 2018 användes ungefär en tredjedel av den skördade biomassan (ton torrsubstans stamved) till massa, papper och textilfiber (figur V8). Olika massaprocesser och fiberråvaror lämpar sig bäst för olika pappersprodukter.

Vanligt tidningspapper, liksom en del mellanskikt i förpackningar med lägre krav på styrka, och vissa hygienprodukter framställs från mekanisk, termomekanisk eller halvkemisk massa. Här är råvaran normalt granfiber, men även asp används för mekanisk lövmassa och blandmassa från gran och asp. Mekaniska massa-/pappersbruk efterfrågar rensorterad, rötfri och färsk massaved från gran. För sådant ved har mekaniska massa-/pappersindustrin i Sverige definierat sortimentet granmassaved. För att kunna få fram granmassaved i områden där industrin efterfrågar det sortimentet sätts priset normalt något högre än för sortimentet barrmassaved (sulfatved).

Starkare papper, kartong, vätskekartong, säckar och finare tryckpapper är exempel på produkter som huvudsakligen baseras på kemisk massa enligt sulfatmetoden. Råvaran för sulfatmassa är främst barrfiber (gran, tall och contortatall), men även lövfiber från till exempel björk, asp och bok används till en del produkter.

Kemiska massor framställs även genom sulfitmetoden som används till produkter som kräver särskilt ren cellulosa. Dissolvingmassa av ren cellu-

⁶¹ En OSB-skiva är en träfiberskiva som består av större träflisor och lim som är sammanpressade under högt tryck. Den används bland annat till emballage och som underlag bakom gipsskivor.

⁶² FAO. 2021. FAOSTAT. Forestry Production and Trade Database: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO> . Aktuell statistik för 2021: <https://www.fao.org/forestry/statistics/80938/en/> (Hämtade 2022-03-28.)

⁶³ Barbu, M.C. & Paulitsch, M. 2015. Development of Wood-Based Products Worldwide. Pro Ligno 11(4): 104–109.

losa (renad från både lignin och hemicellulosa) används till exempel för olika textilprodukter. En ökad efterfrågan på textiltfibrer för substituering av bomull och fossila syntetmaterial kan medföra en framtida ökad efterfrågan på dissolvingmassa och därmed ved från främst löv-, men även barråvara.

Nya möjligheter att minska miljöbelastningen från massatillverkningen och öka utbytet av biprodukter från både hemicellulosa och lignin kommer sammantaget att påverka utvecklingen och konkurrenskraften för dissolvingmassa på världsmarknaden.⁶⁴

Produktionsvolymer och export

Den svenska produktionen av massa uppgick till 12 miljoner ton år 2020, varav 4,8 miljoner ton var marknadsmassa.^{65,66} Av den totala massaproduktionen exporterade 4,3 miljoner ton.

Under de fyrtio åren mellan 1980 och 2020 har Sveriges kapacitet och produktion av massa ökat med ungefär 30 % (tabell V1). Där framgår också att antal fabriker nästan halverats och att kapaciteten per fabrik mer än fördubblats. Produktionen och exportvolymen har under perioden ökat med cirka 40 %, medan det nominella årliga värdet har ökat ungefär fyra gånger. Justerat med KPI (konsumtprisindex) motsvarar värdeökningen drygt 15 %. Idag är Kina det största köparlandet, men den mesta exporten går till Europa, framför allt till Tyskland, Italien, Frankrike och Storbritannien.

Tabell V1 Strukturutveckling inom området papper och kartong 1980–2020. Källa: Skogsindustrierna.⁶⁷

	1980	1990	2000	2010	2020
Antal fabriker	72	48	45	41	40
Total kapacitet, miljoner ton	10,5	10,9	11,7	13,1	13,7
Kapacitet per fabrik, 1000 ton	145	225	253	319	344
Produktion, miljoner ton	8,7	9,9	11,5	11,9	12,0
Export, miljoner ton	3,0	2,7	3,1	3,2	4,3
Exportvärde, miljarder kr (nominellt)	6	12	17	17	23
Största köparländer, miljoner ton					
Kina	24	11	40	200	750
Tyskland	600	900	946	900	600
Italien	300	300	310	310	335
Frankrike	400	300	350	235	275
Storbritannien	400	205	255	200	260

Den massa som inte exporteras används till inhemsk produktion av olika pappers- och kartongprodukter, totalt 9,3 miljoner ton (2020) (tabell V2). Av denna inhemska produktion utgjorde ungefär två tredjedelar förpackningsmaterial, cirka 30 % grafiskt papper och cirka 4 % mjukpapper (till stor del hygienprodukter).

⁶⁴ Kumar, H. & Christopher, L.P. 2017. Recent trends and developments in dissolving pulp production and application. Review paper. Cellulose 24: 2347–2365.

⁶⁵ Marknadsmassa produceras av massabruk och säljs till pappersföretag över hela världen.

⁶⁶ Skogsindustrierna. 2022. Massa – produktion och handel.

<https://www.skogsindustrierna.se/om-skogsindustrin/branschstatistik/massa-produktion-och-handel/> (Hämtad 2022-03-28.)

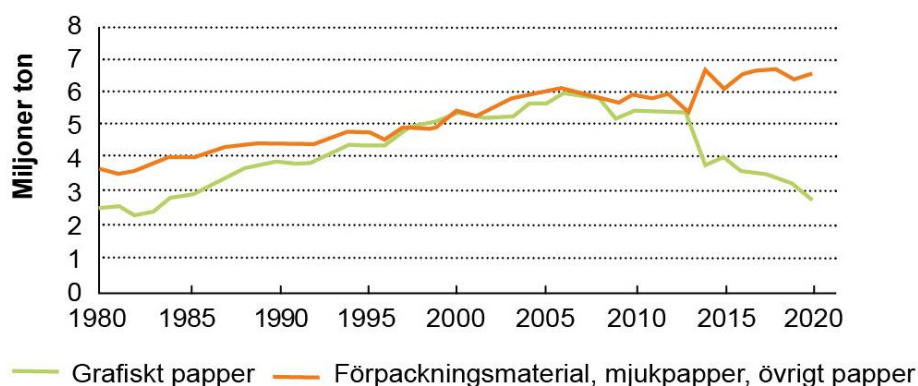
⁶⁷ Skogsindustrierna 2022. Massa – produktion och handel.

<https://www.skogsindustrierna.se/om-skogsindustrin/branschstatistik/massa-produktion-och-handel/> (Hämtad 2022-03-28.)

Tabell V2 Svensk inhemsk produktion av olika pappers- och kartongprodukter 2020. Källa: Skogsindustrierna.⁶⁸

	Producerad volym (tusen ton)	Procent (avrundat)
Grafiskt papper	2786	30
Tidningspapper	707	8
Trähaltigt tryckpapper	1409	15
Träfritt tryckpapper	670	7
Mjukpapper	356	4
Förpackningsmaterial	6137	66
Förpackningspapper	924	10
Wellpappmaterial	2179	23
Kartong och förpackningar	3034	33
Övrigt papper och kartong	54	1
Totalt papper och kartong	9333	100

När det gäller senare tids förändringar i produktion av produkter baserade på träfiber har förpackningsmaterial vuxit medan grafiskt papper minskat (figur V18). Särskilt påtaglig är minskningen i pappersproduktion sedan omkring 2013 då flera pappersmaskiner lades ner i Sverige.



Figur V18 Produktion av grafiskt papper respektive förpackningsmaterial, mjukpapper och övrigt papper i svensk skogsindustri från 1980 till 2020. Källa: Skogsindustrierna.⁶⁹

Under de fyrtio åren mellan 1980 och 2020 har Sveriges kapacitet och produktion av papper och kartong ökat med ungefär 50 % (tabell V3). Där framgår också att antal fabriker nära nog halverats och att kapaciteten per fabrik nästan tredubblats. Exportvolymen har fördubblats under perioden, medan värdet har ökat från 11 till 81 miljarder kronor per år. Justerat med KPI är värdeökningen cirka 2,2 gånger. Värdet av exporten av papper och kartong är cirka 3,5 gånger högre än värdet av massaexporten. Liksom för massa går den mesta exporten till Europa. De fem största köparländerna är Tyskland, Storbritannien, Kina, Italien och Frankrike.

⁶⁸ Skogsindustrierna 2022. Papper – produktion och handel.

<https://www.skogsindustrierna.se/om-skogsindustrin/branschstatistik/papper-produktion-och-handel/> (Hämtad 2022-03-28.)

⁶⁹ Skogsindustrierna 2022. Papper – produktion och handel.

<https://www.skogsindustrierna.se/om-skogsindustrin/branschstatistik/papper-produktion-och-handel/> (Hämtad 2022-03-28.)

Tabell V3 Strukturutveckling inom området papper och kartong 1980–2020. Källa: Skogsindustrierna.⁷⁰

	1980	1990	2000	2010	2020
Antal fabriker	62	51	48	40	38
Total kapacitet, miljoner ton	7,2	9,5	11,1	12,1	11,6
Kapacitet per fabrik, 1000 ton	115	185	232	304	305
Produktion, miljoner ton	6,2	8,4	10,8	11,4	9,3
Export, miljoner ton	4,5	6,7	8,9	10,1	8,6
Exportvärde, miljarder kr (nominellt)	11	33	57	70	81
Största köparländer, miljoner ton					
Tyskland	800	1300	1785	2025	1600
Storbritannien	750	1400	1530	1320	775
Kina	15	50	80	290	555
Italien	235	455	565	655	550
Frankrike	500	650	750	545	445

Svensk massa- och pappersindustri exporterar alltså den största delen av sin produktion, omkring 70 %. Framtida globala förändringar i efterfrågan och kapacitetsutveckling blir därmed av stor vikt för landets industri. Samhällsutvecklingen, krav på ökad cirkuläret och förändrade konsumtionsmönster kan leda till industriella kapacitetsförändringar både i Sverige och globalt. Prognoser från FAO indikerar dock bara små förväntade förändringar i utvecklingen av den globala industrins kapacitet för perioden 2020–2025.⁷¹ FAO-statistiken baseras på rapporter från 35 länder och bedöms täcka omkring 86 % av världsproduktionen. Sveriges andel av den globala industrikapaciteten är ungefär 6 %.

Rapporteringen tyder på att en något större andel av den totala produktionen kan komma att användas för produktion av marknadsmassa, det vill säga massa som säljs globalt till olika pappersföretag.

Global efterfrågeutveckling och återvinning

Den sammanlagda efterfrågan på produkter baserade på träfiber och därmed på råvara i form av massaved och sågverksflis har varit jämn under många år. Test- och analysföretaget Smithers räknade fram ett totalt globalt värde för färdiga förpackningar för 2019 på 917 miljarder US\$.⁷² Fördelningen på olika förpackningsmaterial var 34 % kartong/papper baserat på träfiber, 12 % träförpackningar och annan fiberråvara än trä, 35 % plast (fossilt), 13 % metall och 6 % glas. Vidare bedömer Smithers två år senare att värdet av hela förpackningsområdet stadigt kommer fortsätta att växa med nära 3 % per år.⁷³

⁷⁰ Skogsindustrierna 2022. Papper – produktion och handel.
<https://www.skogsindustrierna.se/om-skogsindustrin/branschstatistik/papper-produktion-och-handel/> (Hämtad 2022-03-28.)

⁷¹ FAO. 2021. Pulp and paper capacities, survey 2020–2025. Rom. 215 p.
<https://doi.org/10.4060/cb7300t> (Hämtad 2022-03-28.)

⁷² Smithers. 2019. The Future of Global Packaging to 2024.
<https://www.smithers.com/services/market-reports/packaging/future-of-global-packaging-to-2024>. (Hämtad 2022-03-28.)

⁷³ Smithers. 2021. The Future of Global Packaging to 2024.
<https://www.smithers.com/services/market-reports/packaging/future-of-global-packaging-to-2024> (Hämtad 2022-03-28.)

Ökande miljökrav från samhälle och konsumenter leder troligen till en betydande minskning av andelen av fossilbaserad plast, men även av metall och glas som förpackningsmaterial. Om skogsråvara ska ersätta en större del av de andra förpackningsmaterialen innebär det en kraftigt ökad global och troligen även inhemsk svensk efterfrågan på massaved och flis. Samtidigt ökar kraven på högre andelar materialåtervinning och högre energieffektivitet för alla produkter, inte minst för kortlivade pappersprodukter.

Andelen återvunnen fiber varierar med produkter, men också med närhet till färsk fiberråvara och returfiber. Generellt och traditionellt sett är återvinningsgraden hög för pappersprodukter som tidningar och förpackningar, som till exempel wellpapp.

Andelarna returfibrer med olika egenskaper påverkas av typen och andelarna av olika återvunna pappersprodukter. Svenska Förpacknings- och tidningsinsamlingen redovisade 2020 en materialåtervinning enligt EU:s nya norm 94/62/EC på 79 % för pappersprodukter, men bara 28 % för plast.⁷⁴ Nivån skiljer sig något från Naturvårdsverkets officiella statistik, men är av samma storleksordning (tabell V4). Inklusiv PET-flaskor med pant har plast en låg återvinningsgrad. Observera att den låga siffran för trä inte avser återvinning, utan återanvändning av reparerade träförpackningar och därför inte ska jämföras med övriga siffror i tabellen. Motsvarande global statistik finns inte redovisad, men Paper Industry World har genomfört undersökningar som år 2021 visar generellt hög återvinningsgrad för pappersprodukter.⁷⁵

All tillverkning av förpackningar inom EU lyder idag under EU:s avfalls- och förpackningsdirektiv med producentansvar. Kravnivån inom EU på återvinning av papper, papp, kartong och wellpapp kommer enligt det nya avfallsdirektivet att öka från 75 % 2025 till 85 % 2030 (tabell V5). För återanvändning av träförpackningar kommer motsvarande ökning att vara från 25 % till 30 %.⁷⁶

I sin tillämpning kommer information om tillverkarnas import, export, produktion, reparation, återvinning och återanvändning att samlas in och räknas om i ton. Den summerade mängden återvunnet och återanvänt material divideras med den mängd som satts på marknaden i Sverige.

Av tabellen framgår att för vissa materialslag har Sverige satt högre nationella mål än EU.

⁷⁴ Förpacknings- och tidningsinsamlingen. 2020. Återvinningsgrad (materialåtervinning enligt EU:s nya definition, 94/62/EC, energiåtervinning exkluderad) <https://www.ftiab.se/3520.html> respektive Insamlingsgrad <https://www.ftiab.se/180.html> (Hämtade 2022-01-12.)

⁷⁵ Paper Industry World Magazine. 2021. <https://www.paperindustryworld.com/page/9/?pid> (Hämtad 2022-01-10.)

⁷⁶ Svenskt Trä. 2021. Träemballage och miljö. <https://www.svenskttra.se/hallbarhet/traemballage-och-miljo/> (Hämtad 2022-03-28.)

Tabell V4 Materialåtervinning i Sverige. Total tillförd och återvunnen mängd förpackningar uppdelat efter förpackningsslag år 2020, enligt EU:s norm 94/62/EC. Sveriges officiella statistik. Källa: Naturvårdsverket (2021).⁷⁷

Materialkategori	Tillförd mängd (ton)	Material- återvinning (ton)	Material- återvinning (%)
Glas	233 000	217 900	94
Plast, inklusive PET-flaskor med pant	248 800	84 500	34
PET-flaskor med pant	27 800	23 900	86
Papper, papp, kartong och wellpapp	604 200	471 100	78
Järnbaserad metall (stål)	28 600	23 700	83
Aluminium, inklusive pantburkar	31 200	25 300	81
Pantburkar av aluminium	23 500	20 400	87
Trä ¹⁾	207 800	22 900	11

¹⁾ Materialåtervinning för trä avser reparerade träförpackningar vilket innebär återanvändning. Målet för detta är också betydligt lägre än för materialåtervinning. Utöver återanvändning kan träfibern i träförpackningar även återvinnas, vilket dock inte anges i avfallsdirektivet.

Tabell V5 Svenska och EU-gemensamma mål för materialåtervinning av förpackningar i procent av tillförd mängd, fördelad på förpackningsslag. Källa: Naturvårdsverket (2021).⁷⁸

Förpackningsslag	Mål till 2029 (%), Sverige	Mål från 2030 (%), Sverige	Mål till 2025 (%), EU	Mål till 2030 (%), EU
Glas	90	90	70	75
Plast (inkl. PET-flaskor med pant)	50	55	50	55
PET-flaskor med pant	90	90	-	-
Papper, papp, kartong, wellpapp	85	85	75	85
Järnbaserad metall (stål)	70	80	70	80
Aluminium (inkl. pantburkar)	50	60	50	60
Pantburkar av aluminium	90	90	-	-
Trä	25	30	25	30
Allt förpacknings-material	65	70	65	70

Det finns betydande utmaningar för ökad återvinning av alla typer av förpackningar och råmaterial. Det gäller till exempel komplexa förpackningar, blandade papperskvaliteter, processer för separation, sortering och rening, samt logistik. Behovet av att använda återvunnen och färsk fiber på ett miljömässigt och ekonomiskt optimalt sätt, ökar kraven på möjligheten att karakterisera fibrer och att utveckla förpackningslösningar.

Det som kommer att avgöra utvecklingen är livscykelanalyser av olika förpackningstyper och förpackningsmaterial, ekonomisk konkurrenskraft,

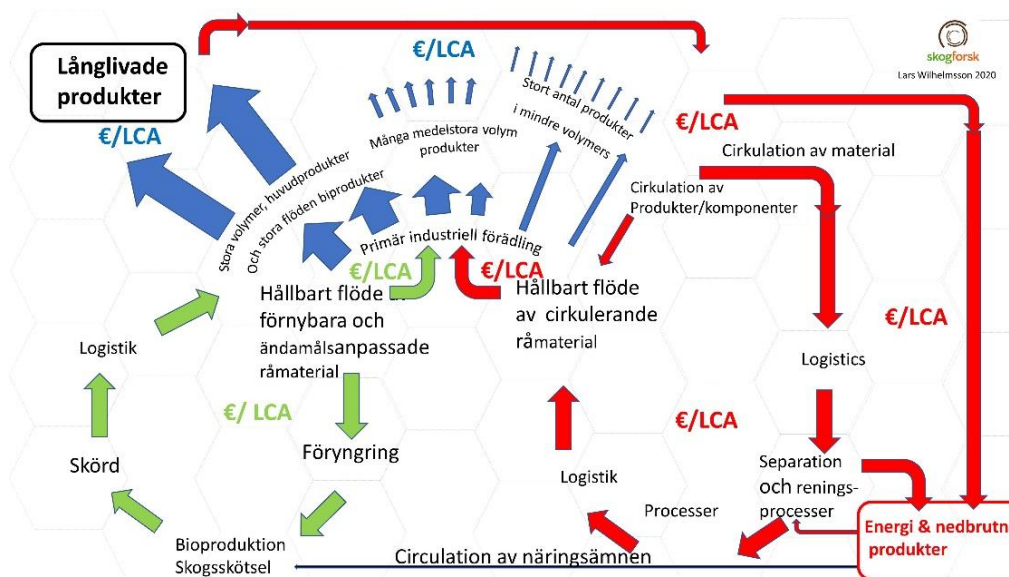
⁷⁷ Danielsson, S. 2020. Sammanställning av nuvarande och planerad kapacitet för bioraffinaderier i Norden. Mistra Digital Forest. Deliverable 0.6.1. Skogsindustrierna, Stockholm. 16 s.

⁷⁷ Danielsson, S. 2020. Sammanställning av nuvarande och planerad kapacitet för bioraffinaderier i Norden. Mistra Digital Forest. Deliverable 0.6.1. Skogsindustrierna, Stockholm. 16 s.

⁷⁸ Naturvårdsverket. 2021. Sveriges återvinning av förpackningar och tidningar. Uppföljning av producentansvar för förpackningar och tidningar 2020. 30 s. Tillgänglig på: https://www.naturvardsverket.se/contentassets/568ba7678ce94e25b99cfc1b02ad7e2a/forpackningsrapport_2020_211027.pdf (Hämtad 2022-03-28.)

ekologiska hänsyn och begränsningar för produktion av ändamålsenlig råvara (figur V19). Också politisk styrning, stimulanser och beskattningsregler på nationell och EU-nivå, samt globala överenskommelser få stor inverkan på utvecklingen inom förpackningsområdet.

Cirkulär råvaruanvändning är centralt i EU:s gemensamma strategier för att bygga ett mer hållbart samhälle. I de biobaserade näringarna (jordbruk, skogsbruk och vattenbruk) går det att tillföra förnybara material som råvara, till skillnad från i näringar som inte är biobaserade. I den cirkulära biobaserade ekonomin gäller det att förena de bästa kombinationerna av förnybara, cirkulerade och återanvända komponenter och avslutade livscyklar genom konvertering till råvara för energiproduktion (figur V19).



Figur V19 Schematisk bild över alternativa flöden i en cirkulär biobaserad ekonomi. Material och produkter baserade på skogsråvara kan antingen återvinnas (högra halvan, röda pilar) eller förnyas genom biologisk produktion (gröna pilar). Biologiskt material möjliggör även cirkulär energiåtervinning. Genom att analysera och jämföra såväl miljöbelastning (LCA), som kostnader och intäkter för olika alternativ (€) kan miljömässig och ekonomisk hållbarhet optimeras. Bilden illustrerar analysbehov för olika produkter (blå pilar) med varierande livslängd och förutsättningar där produktspecifika analyser behövs för att avgöra när materialåtervinning eller energiåtervinning följt av förnyat (växande) biomaterial är det miljömässigt och ekonomiskt bästa alternativet. Bild: Lars Wilhelmsson.

Nya material från skogsråvara

Inom området ”nya material” från skogsråvara ingår också tekniker för att utnyttja vedens komponenter. Det kan göras till exempel genom defibrillering eller extraktion av olika kemiska substanser på molekylnivå. Defibrillering bygger på att vedfibrernas olika lager av spunna fibriller (se avsnittet *Vedens bildning och uppbyggnad*) kan friläggas, späs ut, formas och anrikas till nya material.

Forsknings- och utvecklingsframsteg kommer leda till att nya material och produkter kommer ut på marknaden. I vilken takt och i vilken omfattning avgörs av ekonomi och miljöeffekter, inklusive livscykelanalyser, och konkurrensen med andra material och produkter baserade på såväl vedråvara som andra råmaterial.

Baserat på data från en sammanställning av befintliga, påbörjade och planerade bioraffinaderier i Sverige^{79,80} uppskattas en ökad efterfrågan på vedråvara motsvarande cirka 2 miljoner ton torrsustans. Vidare finns önskemål om att extrahera avsevärt mer tallolja än vad som finns tillgängligt från kemisk massaproduktion i Sverige. Biobaserade kemikalier, nanocellulosa, biobaserad grafen och genomskinliga byggmaterial är några exempel på nya produkter från skogsråvara som kan få betydelse på längre sikt. Möjligheter att utnyttja lignin för nya typer av batterier är exempel på nya tillämpningar som kan få stor betydelse för storskalig lagring av elenergi.

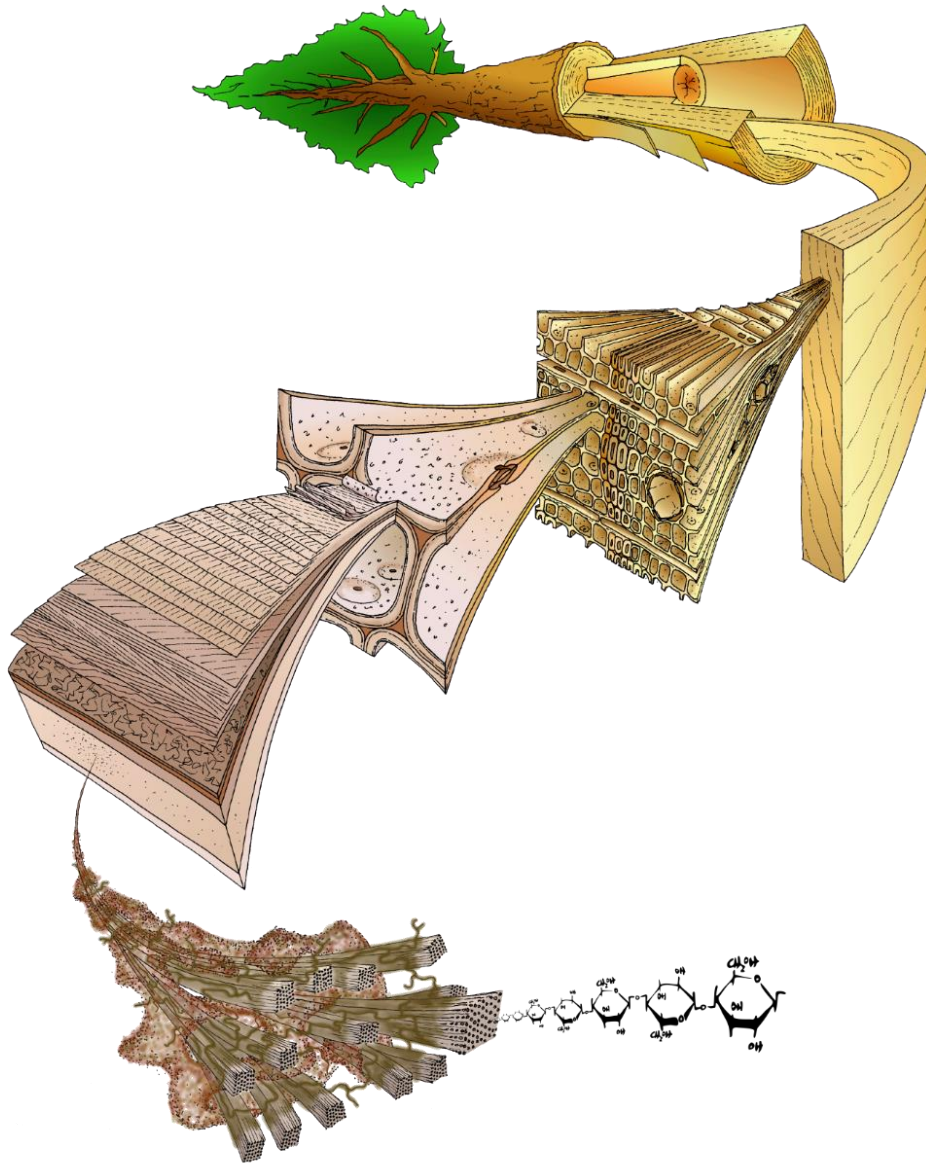
Biomassan från skogens träd är i grunden uppbyggd på olika kolföreningar (organiska föreningar), som cellulosa, hemicellulosa, lignin och extraktivämnen (figur V20). Men det förekommer betydande variation i struktur. Andelarna av de olika föreningarna varierar också med genetik (mellan och inom arter), växtförhållanden, position (i höjd och bredd) och funktion i träden.

På nivån ovanför de enskilda molekylerna fortsätter variation i ultrastruktur, där uppbyggnaden av cellvävnader med fibriller, cellmembran, med mera, också varierar. På nästa nivå kommer variation i celltyper, cellstorlekar och ovanför den variation i vedens strukturella uppbyggnad från märg och utåt, inklusive variation och förekomst av porstruktur, årsringar med eller utan tydlig differentiering på vår- och sommarved, reaktionsved, med mera.

De solida trämaterialen är uppbyggda på all denna variation plus tillkommande variation i mängd och sammansättning av olika extraktivämnen. I avsnittet *Vedens bildning och uppbyggnad* finns mer detaljer om detta. Med rätt kunskap och tillgång till relevant information finns förutsättningarna att välja, utveckla och kombinera råvara och processteknik (ekonomi och miljö) för effektivare och mindre miljöbelastande tillverkning av många nya och befintliga produkter.

⁷⁹ Termen bioraffinaderi används normalt för anläggningar som inriktas på att raffinera skogsråvara till produkter utöver de traditionella som sågade trävaror, massa, papper och kartong. I ett bioraffinaderi kan komponenter i nya material, kemikalier eller drivmedel tillverkas, ofta med råvara från restströmmar från den traditionella skogsindustrin.

⁸⁰ Danielsson, S. 2020. Sammanställning av nuvarande och planerad kapacitet för bioraffinaderier i Norden. Mistra Digital Forest. Deliverable 0.6.1. Skogsindustrierna, Stockholm. 16 s.



Figur V20 Resan genom ett helt träd ner till enskilda molekyler indikerar mängder av möjligheter att utvinna olika bio-produkter från makro till mikronivå. Artwork by Mark Harrington, Copyright University of Canterbury, New Zealand 1996.

Dagens trender och utsikter för skogsråvara

Nya produkter av trä och fibrer och nya material baserade på skogsråvara kommer åtminstone delvis att ersätta de traditionella. Ökade samhällskrav på fossilfria råmaterial och produktionsmetoder, liksom behovet att minska användningen av fossila och energikrävande produkter kommer antagligen att leda till ökad efterfrågan på skogsråvara.⁸¹ Parallellt med detta ökar efterfrågan på andra värden från skogen och skogsekosystemen än trä och träfibrer. Det skapar ökat tryck på effektiv materialanvändning genom materialsnåla och långlivade produkter, effektiv produktionsteknik och genomtänkta system för återvinning.

⁸¹ Nordström, P.O., Pastila, S., Pihlajamäki, P. & Ojanen, E. 2021. Marknaden för skogsråvara och skogsnäringens utveckling. Analys 2021-01-25. Skogsstyrelsen. Rapport 2021–3. 24 s.

Trätekniska lösningar som limträ och korslimmat trä (KLT) mildrar betydelsen av egenskaper som normalt kan vara kritiska i enkla sågade trävaror, till exempel kvist och fiberstörningar. Samtidigt kan bättre karakterisering och tillvaratagande av råvara med höga värden på nyckelegenskaper utnyttjas bättre, om de kan anrikas och tillredas på ett effektivt sätt.

Tillräcklig kvalitet för visst ändamål, låg miljöbelastning och konkurrenskraftigt pris kommer sannolikt bli nyckelord för utvecklingen av nya och traditionella träprodukter. Mycket talar för att detta kan öka den totala efterfrågan på råmaterial från skogen. Det kan också förändra värderingen av enskilda egenskaper beroende på förändrade produktkrav och nya tillverkningsprocesser.

Ökad återvinning av skogsråvara och ändrade konsumtionsmönster påverkar också utsikterna för olika produkter och användning av olika råvaror. Det finns flera scenarier för framtiden. Ju tydligare skogsbranschen kan erbjuda varor och tjänster med hållbar konkurrenskraft (ekonomiska, ekologiska/miljömässiga och sociala aspekter), desto större kommer efterfrågan på skogsindustrins och skogens produkter sannolikt att kunna bli.

Mer om industrins råvarukrav och råvaruegenskapernas potentiell betydelse för utveckling av olika produkter finns i avsnittet *Virkesegenskaper och förädlingsindustrin – betydelse för processer och produkter*.

I Skogsnäringens forskningsagenda belyses prioriterade forskningsbehov för utveckling av befintliga och nya produkter och processer baserade på skogsråvara.⁸² En grundläggande tes är att i princip allt som går att göra med fossila oljetillgångar också är möjliga att göra från skogsråvara. Att få konkurrenskraftig ekonomi och tillräcklig kvalitet vid substituering av fossilbaserade produkter kan dock ofta vara en utmaning.

Betydelsen av att minimera fossila emissioner av koldioxid och hur detta kommer att påverka samhällets och konsumenternas vilja att byta ut fossilbaserat till biobaserat är också avgörande för hur råvara från skogen kommer att användas framöver.

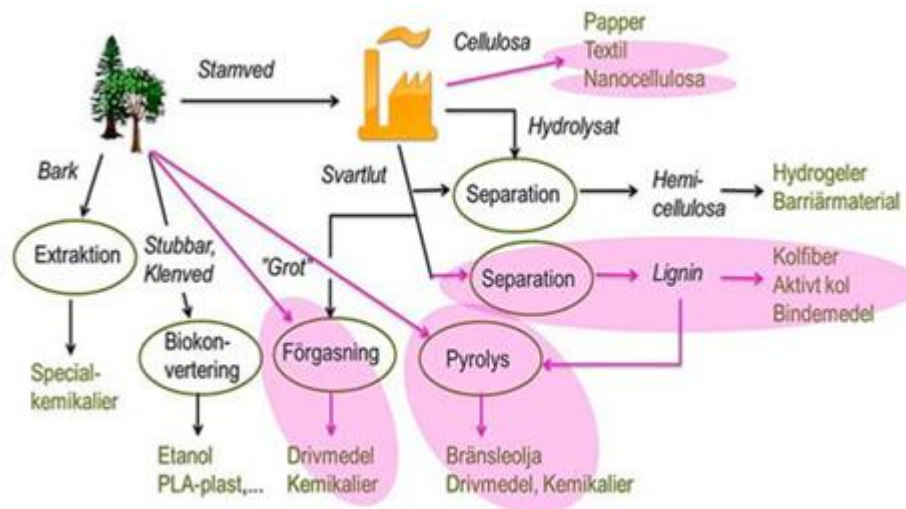
Förändringar av tillgång och efterfrågan på hållbart producerad skogsråvara kan också påverka utvecklingen och därmed även marknadspriserna på skogsråvara av olika typ och egenskaper. Det finns översikter av grundläggande förutsättningar för att ta fram nya produkter från skogen⁸³ (figur V21) och om biopolymerer och biokompositer⁸⁴. Vad som kommer realiseras framöver avgörs av den ekonomiska och miljörelaterade konkurrenskraften för olika produkter och råvarubaser. I detta spelar konsumenternas och samhällets preferenser, politiska beslut och de långsiktiga förutsättningarna avgörande roller.

⁸² Anon. 2018. Skogsnäringens forskningsagenda 4.0. För tillväxt i världens bioekonomi. Skogsindustrierna. Stockholm. 60 s.

<https://www.skogsindustrierna.se/siteassets/dokument/forskningsagendan/skogsnaringens-forskningsagendan4.0.pdf>. (Hämtad 2022-03-28.)

⁸³ Backlund, B. & Nordström, M. 2014. Nya produkter från skogsråvara – en översikt av läget 2014. Skogforsk. Arbetsrapport 854. Innventia. Rapport 577. 62 s.

⁸⁴ Iliyas, R.A. & Sapuan, S.M. 2020. Biopolymers and Biocomposites: Chemistry and Technology. Current Analytical Chemistry 16(5): 500–503.



Figur V21 Översikt av potentiella nya skogsbaserade produkter. Källa: Backlund & Nordström (2014).⁸⁵

Biomaterialens betydelse för att binda kol och ersätta fossila råmaterial är viktiga argument för utveckling på området, något som får ökad betydelse i en växande biobaserad cirkulär ekonomi.

Det går inte att i detalj förutse framtidens användning, behov och värdering av olika skogsråvara. Men genom att följa och analysera globala trender och försöka lära av historien kan vi åtminstone föra en insiktsfull diskussion om hur efterfrågan på stamvirke med olika egenskaper liksom annan trädbiomassa, som grenar, bark, barr och stubbar kan komma att se ut om 10 år. Det kan även bidra till att ge oss en mer underbyggd uppfattning om vad vi tror och önskar även på längre sikt.

⁸⁵ Backlund, B. & Nordström, M. 2014. Nya produkter från skogsråvara – en översikt av läget 2014. Skogforsk. Arbetsrapport 854. Innventia. Rapport 577. 62 s.

Vedens bildning och uppbyggnad

av Harald Säll och Eric Agestam

I detta avsnitt beskrivs hur ved bildas, från cellen till makrostrukturer som årsringar och kvistar. Det finns betydande skillnader mellan olika trädslag och inom ett enskilt träd, men också likheter. Hur veden är uppbyggd har stor betydelse för hur trä kan användas för olika ändamål.

Virke från olika trädslag skiljer sig åt på flera sätt. I många fall kan vi se det med blotta ögat. Egenskaper hos papper och sågade varor från olika trädslag skiljer sig också åt. De mest uppenbara skillnaderna hos bräder och plankor är variation av tekniska egenskaper som styvhet, styrka, formstabilitet och beständighet.

För det enskilda trädet i ett bestånd påverkar även ståndortsförhållanden, det genetiska arvet, konkurrensen mellan träd, förekomst av skador och trädets ålder olika vedsegenskaper. En utbredd praktisk erfarenhet är att de tekniska egenskaperna hos sågade trävaror också skiljer sig åt om virket kommer från olika individer av en art i samma bestånd, beroende på om de tillhör de största, mellanstora eller de mindre träden.⁸⁶

Det finns också skillnader inom trädet. Virket i en rotstock har andra egenskaper än virke längre upp i stammen. Virke nära trädets centrum skiljer sig också från virke nära barken. Tillsammans med mänsklig aktivitet i form av skogsskötsel påverkar dessa faktorer trämateriallets egenskaper.^{87,88}

Kunskap om träets varierande egenskaper ligger till grund för hur det används i produkter och konstruktioner. Det gäller allt från träets mikrostruktur till sågat timmer och den färdiga produkten.^{89,90} Virkets egenskaper har också betydelse för återanvändning och återvinning.

Ved består av olika typer av celler

En trädstam består i huvudsak av det vi kallar ved eller trä. Ved eller trä är i botanisk mening xylem och består av olika typer av celler (figur V22). Utanför xylemet finns bark, floem och kambium. Mitt inne i stammen finns mörken. De olika typerna av celler i xylem hos barrträd är trakeider, parenkymceller och epitelceller.⁹¹

Trakeider är uppbyggda av cellulosa, lignin och hemicellulosa och är den beståndsdel i trä som används för att göra massa och papper. Ofta används, lite förenklat, fibrer eller vedceller synonymt med begreppet trakeider.

⁸⁶ Bendtsen, A.B. 1978. Properties of wood from improved and intensively managed trees. Forest Product Journal 28: 61–72.

⁸⁷ Nylinder, M., Woxblom, L. & Fryk, H. 2007. Ädellöv – virke och förädling. 3:e upplagan. SLU, inst. för skogens produkter. 193 s.

⁸⁸ Bowyer, J.L., Shmulsky, R. & Haygreen, J.G. 2007. Forest Products and Wood Science: An Introduction. 5:e upplagan. Blackwell Publishing.

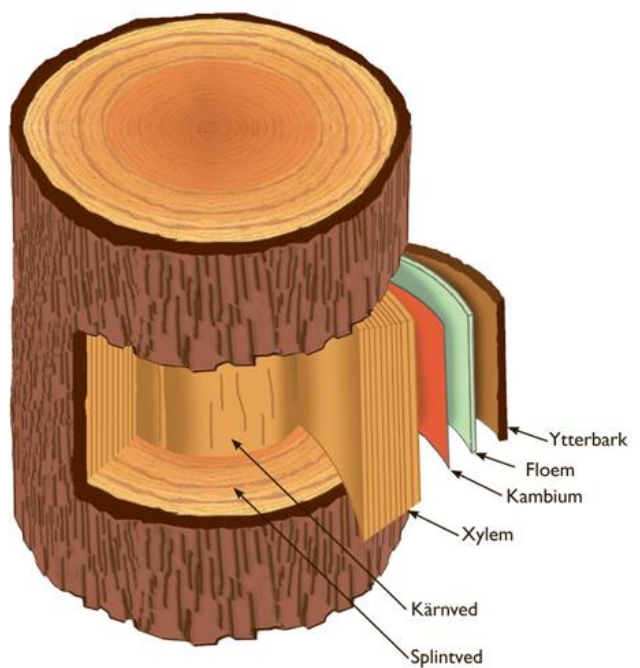
⁸⁹ Petersson, H. 1996. Fracture Mechanics – an integral view from micro-to-macro-structure. Proceedings of the 1996 International Conference on Wood Mechanics. Otto Graf Institute of Germany (FMPA) and Department of Building Materials, University Stuttgart, 14–16 maj 1996.

⁹⁰ Shmulsky, R. & Jones, P.D. 2019. Forest products and wood science: an introduction. 7:e upplagan. Wiley-Blackwell. 504 s.

⁹¹ Inom skogsindustrin används i allmänhet benämningen fibrer för vedceller eller trakeider.

Cellulosamolekylerna är mycket långa vilket ger dem styrka. Trakeider utgör omkring 95 % av cellerna i barrved och ungefär 60 % av cellerna i lövved. De bygger upp stammen och är stödjande. Trakeiderna i yttre delen av stammen leder vatten.

Lignin fyller ut och kan liknas vid cement, medan cellulosa är armeringen. Ungefär hälften av det vi kallar ved är cellulosa, 20–30 % är lignin och återstående är i huvudsak hemicellulosa. Hemicellulosa påminner om cellulosa och är uppbyggd av olika sockerarter men molekylerna är kortare och grenade.



Figur V22 När ett träd växer avdelar kambiet floemceller utåt och xylemceller inåt stammens mitt. I floemet transporteras socker från bladen till rötter och andra av trädets vävnader. I xylemet (splintveden) transporteras vatten och näring från rötterna uppåt i trädet. Illustration Bo Persson.

Kolinnehåll i virke varierar mellan 45 och 55 % av torrvikten.⁹² Med tanke på frågan om skogens och skogsråvarornas inverkan på skogens kolbalans och klimatet kan det vara värt att notera att olika vedkomponenter har olika kolinnehåll. Cellulosa innehåller 42 % kol, hemicellulosor drygt 44 %, ligniner drygt 63 % och extraktivämnen som fenoler och resinsyra 75–80 %.

Dessutom innehåller ved cirka 0,4 % oorganiska föreningar (aska) och 3–6 % extraktivämnen som till exempel fetter, terpenier och fenoler.

I detta kapitel av Skogsskötselserien görs ingen ytterligare fördjupning om vedens kemi. För den som vill läsa mer om den kemiska sammansättningen i ved hänvisas till.⁹³ För dem som vill läsa mer om

⁹² Lamblom, S.H. & Savage, R.A. 2003. A reassessment of carbon content in wood: variation within and between 41 North American species. *Biomass and Bioenergy* 25(4): 381–388.

⁹³ Dinwoodie, J.M. 2000. *Timber, its nature and behaviour*. 2:a upplagan. Spon Press, London.

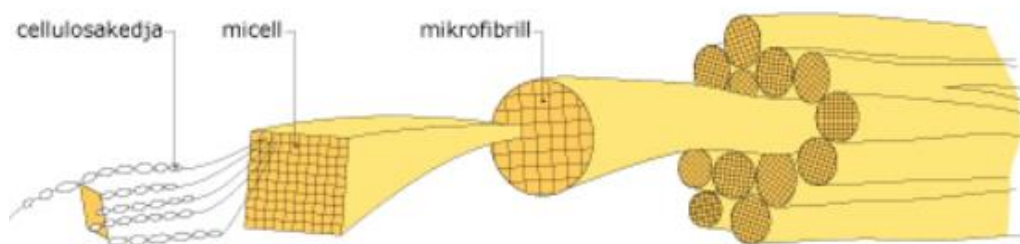
variation av olika vedegenskaper hos gran^{94,95} och granvedens ultrastruktur⁹⁶ hänvisas till föreslagen litteratur.

Extraktivämnena ökar träets beständighet mot röta. Skillnaderna i mängden extraktivämnen mellan olika trädslag och olika individer av samma trädslag kan vara stora och har stor betydelse för virkets utseende och motståndskraft mot röta. Den kemiska sammansättningen i ett träd varierar bland annat med höjd i trädet, förhållandet mellan kärnved och splintved och mellan vårved och sommarved.

Lövträd har ytterligare två typer av celler: kärl (även kallat porer) och olika typer av fibrer. De kan ses som vidareutvecklade trakeider. Kärlen är stora och transporterar vatten i trädet medan vedcellerna är smala och ger trädet ytterligare styrka. Kärlen hos lövträd har stor betydelse för virkets utseende. Lövvirke har något mindre andel cellulosa och jämfört med barrträden mer hemicellulosa och mindre lignin.⁹⁷

Cellväggens uppbyggnad

Trakeiden, eller vedcellen, består av tre delar: mittlamellen, cellväggen och cellens hålrum (lumen) i cellens centrum. Mittlamellen är det gemensamma skiktet mellan cellerna och består huvudsakligen av lignin och pektin. Cellväggen består av cellulosakedjor som är sammanfogade. Buntar av cellulosakedjor bildar miceller, som i sin tur bildar mikrofibriller. Mikrofibrillerna ligger inbäddade i hemicellulosa och lignin.⁹⁸ De bygger upp cellväggen och ger cellen dess mekaniska egenskaper (figur V23).



Figur V23 En principbild av hur fiberväggen är uppbyggd. Strukturen för cellulosa, miceller och mikrofibriller. Källa: Svenskt Trä (2003).⁹⁹

Cellväggen består av primärvägg, sekundärvägg och hos till exempel tall och contortatall också av ett vårtlager¹⁰⁰ (figur V24). Primärväggen har

⁹⁴ Hannrup, B. m.fl. 2004. Genetic Parameters of Growth and Wood Quality Traits in *Picea abies*. *Scand. J. For. Res.* 19: 14–29.

⁹⁵ Funda, T., Fundova, I., Fries, A. & Wu, H.X. 2020. Genetic improvement of the chemical composition of Scots pine (*Pinus sylvestris*) juvenile wood for bioenergy production. *GCB Bioenergy* 2020:12, 848–863. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12723>

⁹⁶ Brändström, J. 2001. Micro- and ultrastructural aspects of Norway spruce tracheids: A Review. *IAWA Journal* 22(4): 333–353.

⁹⁷ Nylinder, M., Woxblom, L. & Fryk, H. 2007. Ädellöv – virke och förädling. 3:e upplagan. SLU, inst. för skogens produkter. ISBN: 91-576-7192-3. 193 s.

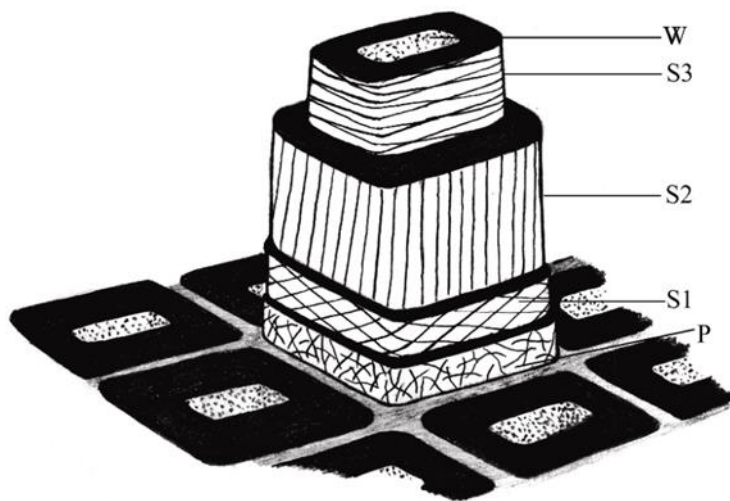
⁹⁸ Dinwoodie, J.M. 2000. *Timber, its nature and behaviour*. 2:a upplagan. Spon Press, London.

⁹⁹ Svenskt Trä. 2003. Träguiden. Cellstruktur. Tillgänglig på: <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-uppbyggnad/traets-uppbyggnad/cellstruktur/> (Hämtad 2021-03-03.)

¹⁰⁰ Liese, W. 1963. Tertiary wall and warty layer in wood cells. *Journal of Polymer Science: Part C*, nr 2, s. 213–219.

mikrofibriller i ett oregelbundet mönster, vilket ger cellen elasticitet under tillväxt och cellsträckningen. Sekundärväggen består i sin tur av tre lager, benämnda S1, S2 och S3. Mikrofibrillerna i dessa tre skikt är orienterade i parallella lager, i olika vinklar jämfört med vedcellens längsgående axel. Den sekundära väggen bildas efter att cellen har avslutat sin tillväxt och ger cellen dess strukturella styvhet och styrka.¹⁰¹

S1-skiktets mikrofibriller lutar i en vinkel av 50–70 grader i två riktningarna och bildar därmed ett nätverk. Nästa lager i cellväggen, S2-skiktet, är tjockast och bildar nästan 90 % av cellväggens totala massa. Alla mikrofibrillerna i S2-skiktet lutar i samma riktning. Sett från trädets utsida lutar de alltid åt höger. Lutningsvinkeln för mikrofibrillerna i detta skikt är mestadels ganska låg i mogen ved, men varierar mellan vårveden och sommarveden i årsringen.



Figur V24 De olika delarna av en mogen cellvägg hos ett träd: Primär vägg (P), de tre S-skikten i den sekundära väggen (S1, S2 och S3) och innerst ett tunt lager kallat vårtlagret (W). Källa: Säll (2002).¹⁰²

Mikrofibrillvinkelns lutning i S2-skiktet varierar i vårveden mellan 10 och 45 grader och i sommarveden mellan 0 och 30 grader. Märknära ved och tjurved har alltid en större mikrofibrillvinkel. S2-skiktet ger cellen dess styrka samt egenskaper som krympning och svällning, främst i längsriktning. De stora mikrofibrillvinklarna nära mörken ger smala och unga trädstammar hög elasticitet och flexibilitet om de utsätts för vind, snö och andra påfrestningar.

Mikrofibrillerna i det tredje och innersta skiktet, S3-skiktet, bildar ett nätverk med lutningsvinkel mellan 60 och 90 grader i förhållande till stammens fiberriktning.

Stammens tillväxt sker i kambiet

En trädstam ökar i diameter då nya celler bildas genom celldelning i kambieskiktet. Kambiet är en tunn cellvävnad mellan bark och ved

¹⁰¹ Dinwoodie, J.M. 2000. Timber, its nature and behaviour. 2:a upplagan. Spon Press, London.

¹⁰² Säll, H. 2002. Spiral Grain in Norway Spruce. Avhandling. Växjö, Växjö University Press. 171 s.

(xylemet)(figur V22). Celldelningar producerar xylemceller, xylem, det vill säga trakeider inåt stammen, mot mitten av trädet, och floemceller (floem, bast) utåt.

I floemet transporteras näringsämnen från trädets krona ner till rotsystemet. I de yttre delarna av xylemet, det vi benämner splintved, sker transport av vatten och i vatten lösta ämnen.

I ett levande träd finns både levande och döda celler. De flesta celler lignifieras och dör strax efter de bildats i kambiesiktet. Det innebär att de förvedade trakeidcellerna i levande barrträd är döda. Men det är de döda trakeiderna som ger trädstammen och grenarna deras styvhet och bärande förmåga liksom splintvedens vattenledande funktion.

I radiell riktning i stammen finns så kallade kambiestrålar eller mörkstrålar. Dessa består av parenkymceller och epitelceller. Tillsammans med parenkymcellerna transporterar epitelcellerna vätska och olika ämnen radiellt i den levande splintveden. De transporterade substanserna lagras sedan i veden. Parenkymceller finns också i stammens längdriktning och medverkar till transport av näring mellan trädets olika delar som rötter och barr eller löv.

Hos barrträd finns hartskanaler i mörkstrålarna. Hartser produceras i epitelcellerna. Hartser har betydelse för kärnvedsbildningen som i takt med att träden blir äldre succesivt fyller och stänger trakeidernas vattenledande förmåga med början från stammen och de äldre grenarnas centrum. Hos en del lövträdslag är mörkstrålarna tjocka och därmed lätta att se, till exempel hos ek och bok. Hos barrträd går de inte att se med blotta ögat. Mörkstrålarna har betydelse vid tryckimpregnering. Hos en del trädslag, som till exempel hos tall, men inte hos gran, kan impregneringsvätskan tränga in genom att det finns öppna porer mellan cellerna.

Vedegenskaper varierar mellan och inom träd

Barrträdens vedfibrer är längre och lite bredare än lövträdens

Trakeidernas, eller vedfibrernas, längd och tjocklek varierar mellan trädslag. Generellt har barrträd längre trakeider än lövträd. Trakeiderna hos tall och gran är mellan 0,5 och 4 mm långa. Hos gran finns de längsta fibrerna då årsringsbredden är 1–2 mm.¹⁰³ Lövträden har fibrer som är omkring 1 mm eller kortare. Även trakeidernas bredd skiljer sig åt mellan arter, men skillnaden är mindre än skillnaden i längd. Barrträd har generellt något bredare trakeider än lövträd. Hos tall och gran är trakeiderna mellan 0,015 och 0,040 mm breda. Det är något tunnare än ett människohår, vilket är cirka 0,050 mm brett.

Kortast och smalast är trakeiderna i ungdomsveden¹⁰⁴ nära mörken. Deras längd påverkas också av läget i trädstammen, det enskilda trädets genetik,

¹⁰³ Nylinder, P. & Hägglund, E. 1954. Ståndorts- och trädegenskapers inverkan på utbytet och kvaliteten vid framställning av sulfitmassa av gran. Meddelande statens skogsförsöksinstitut 44:11.

¹⁰⁴ Ungdomsved (även juvenilved eller mörknära ved) kallas veden i de innersta årsringarna.

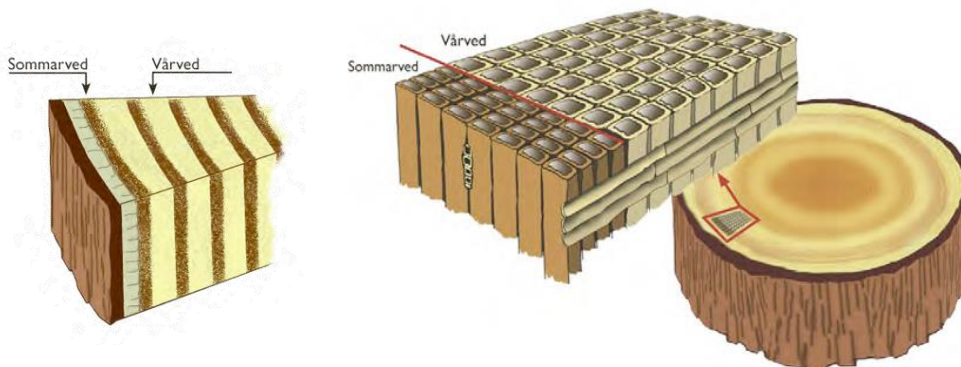
konkurrensförhållanden med mera.^{105,106} De kortaste fibrerna hos barrträd finns i stubbhöjd nära märm. Vertikalt och uppåt i trädet ökar längden på fibrerna tills den levande kronan närmar sig, därefter minskar fiberlängden. Enskilda trakeider är som längst, närmare 4 mm, och bredast i de yttersta årsringarna där de gröna grenarna i trädets krona börjar, det vill säga vid krongränshöjd vilken flyttar sig uppåt i ett bestånd då träden åldras.

I radiell riktning ökar fiberlängden snabbt i de första femton till tjugo årsringarna räknat från märm. Därefter planar ökningstakten ut i den mogna veden.¹⁰⁷

Årsringar

Träd som växer i ett klimat med tydlig skillnad mellan sommar och vinter, som i Sverige, eller tydliga torr- och regnsäsonger i varma länder, bildar distinkta årsringar.¹⁰⁸ En årsring består av två välvgränsade delar, den ljusa vårveden och den tunnare och mörkare sommarveden. (figur V25).

Årsringar uppstår genom att trakeider som bildas i början av tillväxtsåsongen skiljer sig åt jämfört med de trakeider som bildas senare under tillväxtsåsongen. Övergången mellan vårved och sommarved är mer eller mindre tydlig och kallas ibland övergångsved. Cellväggarna blir successivt tjockare och cellerna något smalare än i vårveden. Gränsen mellan sommarved och vårved som bildas det kommande året är däremot tydlig. Barrträdens årsringar är betydligt lättare att urskilja än årsringarna hos lövträd. Hos lövträd som till exempel björk och asp, är det svårt att urskilja årsringar.



Figur V25 Hos barrträd framträder tydliga årsringar som består av ett ljusare lager celler som bildar vårved och ett mörkare lager celler som bildar sommarved. Vårveden är mer porös än sommarveden. Illustration Bo Persson.

Främsta skillnaden i virkesegenskaper mellan vårved och sommarved är att sommarveden har betydligt högre densitet. Högre andel sommarved ger därmed även trämaterial med högre hållfasthetsegenskaper (hårdare och

¹⁰⁵ Lindström, H. 1997. Fiber length, tracheid diameter and latewood percentage in Norway spruce: development from pith outwards. *Wood and Fiber Science* 29: 21–34.

¹⁰⁶ Ekenstedt, F., Grahn, T., Hedenberg, Ö., Lundqvist, S., O. Arlinger, J. & Wilhelmsson, L. 2003. Variations in fiber dimensions of Norway spruce and Scots pine – Graphs and prediction models. STFI Report PUB Vol. 13. 37 s.

¹⁰⁷ Duchesne, I., Wilhelmsson, L. & Spångberg, K. 1997. Effects of in-forest sorting of Norway spruce (*Picea abies*) and Scots pine (*Pinus sylvestris*) on wood and fibre properties. *Can. J. For. Res.* 27(5): 790–795.

¹⁰⁸ Träd som växer i andra klimatzoner kan också ha färgskillnader i veden som årsringar men de bildas inte regelbundet en ring per år.

starkare). Det beror på att vårveden består av tunnväggiga och breda fibrer, medan sommarveden har tjockare cellväggar med en liten lumen, det vill säga ett litet hålrum i cellen.

Inom samma årsring är fiberlängden lite kortare i vårveden än i sommarveden. En ökad andel sommarved i årsringen leder därför till en ökning av fibrernas genomsnittliga längd.

Trädens löpande produktion av assimilater genom fotosyntesen och hur assimilaten fördelar sig till nya knoppar och skott, i förhållande till celldelningsaktiviteten i kambiet, ger också effekter på de nybildade vedcellernas längd, bredd och cellväggtjocklek. Denna fördelning av assimilater medför att träd som är mer vitala och konkurrenskraftiga i ett bestånd producerar längre och bredare celler inom både vårveds- och sommarvedsbanden, än träd som är undertryckta och svaga i konkurrensen. Det finns dessutom genetiska skillnader mellan enskilda träd som påverkar fiberdimensionerna.¹⁰⁹

Vårvedens bredd är starkt kopplad till tillväxthastighet. När trädet växer fort är det vårveden som ökar i bredd och gör att årsringen blir bred.

Sommarvedens bredd har en svagare koppling till trädets tillväxt. Den påverkas mer av klimatiska och genetiska faktorer än av väderförhållanden enskilda år. Därmed är variationen i sommarvedens bredd liten. När diametertillväxt ökar kommer framför allt vårveden att öka och därmed kommer densiteten att minska.

Sommarveden är generellt smalare i ungdomsved än i mogenved. Ungdomsved har därför generellt sett lägre densitet än mogenved även om årsringsbredden är densamma.

För barrträdsarter är densiteten i sommarveden ungefär tre gånger högre än för vårveden. För gran är torr-rådensiteten¹¹⁰ 250–320 kg/m³ för vårved och 800–900 kg/m³ för sommarved. Som ett medelvärde för svensk gran brukar torr-rådensiteten anges till 400 kg/m³ men variationen är stor, 300 till 500 kg/m³. För tall är medelvärdet 430 kg/m³ och minsta och största värde från 350 till 550 kg/m³.¹¹¹ Den solida cellväggens genomsnittliga densitet, det vill säga utan lumen, är ca 1500 kg/m³.¹¹²

Densiteten varierar också mellan olika delar av ett träd. Därför är densiteten högre hos sågtimmer jämfört med massaved. Vidare finns skillnad mellan olika delar av landet där densiteten för tall och gran i genomsnitt är högre i söder än i norr (tabell V6).

En viss årsringsbredd hos ett träd behöver relateras till vegetationsperiodens längd för att kunna klassas som mer eller mindre snabbvuxet. Eftersom vegetationsperioden i Sverige är längre i söder och på låg höjd, än i norr och på hög höjd, finns det olika mycket tid för trädens celldelning.¹¹³

¹⁰⁹ Hannrup, B. m.fl. 2004. Genetic Parameters of Growth and Wood Quality Traits in *Picea abies*. Scand. J. For. Res. 19: 14–29.

¹¹⁰ Torr-rådensitet avser vikten utan vatten (torr) i relation till volymen med vatten, rått tillstånd. Torr-rådensiteten är det vanligaste sättet att uttrycka densitet för trä och virke.

¹¹¹ Thörnqvist, T. 1990. Ungdomsved i barrträd. SLU, inst. för skog-industri-marknad studier. Rapport 10. 149 s.

¹¹² Kollmann, F.F.P. & Côté, W.A. 1968. Principles of wood science and technology, del 1. Springer-Verlag. 592 s.

¹¹³ Wilhelmsson, L., Arlinger, J., Spångberg, K., Lundqvist, S.-O., Grahn, T., Hedenberg, Ö. & Olsson, L. 2002. Models for Predicting Wood Properties in Stems of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* in Sweden. Scand. J. For. Res. 17(4): 330–350.

Ju fler celldelningar som sker under skottsträckningen desto bredare blir vårveden i årsringen. Om vegetationsperioden är lång hinner skottsreckningen avslutas så tidigt att bildningen av sommarvedsceller kan pågå under längre tid innan vegetationsperioden är slut. Det leder i genomsnitt till en högre andel sommarved och därmed högre densitet.

Förutom skillnader mellan vår- och sommarved finns dessutom betydande miljöpåverkade, fysiologiska och genetiska skillnader i tillväxtförloppen.^{114,115} Det leder till variation i cellstorlek, cellväggstjocklek med mera även inom respektive vår- och sommarved.

Tabell V6 Uppskattade medelvärden för torr-rådensitet (kg/m³fub) efter trädslag, landsdel, sågtimmer- och massavedsdimensioner. Densitet uttrycks i kg/m³fub (fast under bark). Källor: Moberg & Wilhelmsson (2003), Wilhelmsson m.fl. (2002), Tamminen (1970) (björk, lövträd), Ågren m.fl. (2021).^{116,117,118,119}

		Norra Norrländ	Södra Norrländ	Svealand	Götaland
Tall	Timmer	410	419	431	433
Gran	Timmer	380	382	387	388
Björk, lövträd	Timmer	480	480	480	480
Tall	Massaved	376	384	391	409
Gran	Massaved	366	381	388	389
Björk, lövträd	Massaved	480	480	480	480

Vedens densitet används ibland som ett mått på en önskad egenskap för trä, såsom massautbyte och egenskaper hos sågat virke som beständighet eller hållfasthet. Sådana samband skiljer sig åt mellan olika trädslag och i olika positioner i stammen. Vedens densitet styrs av faktorer som fiberväggens bredd och densitet, andelen håligheter i cellen och mängden extraktivämnen i veden.¹²⁰

Hos en del trädslag finner man en liten uppgång i densitet nära mörken. I planterad gran med normal höjdtutveckling minskar densiteten från mörk till omkring den tionde årsringen. Därefter ökar densiteten till ungefär den tjugonde årsringen räknat från mörken, för att om skogen gallras och sköts

¹¹⁴ Larson, P.R. 1969. Wood Formation and the Concept of Wood Quality. Yale School of Forestry & Environmental Studies. Bulletin Series. 69. Volym 74, 54 s.
https://elischolar.library.yale.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1085&context=yale_fes_bulletin (Hämtad 2022-03-28.)

¹¹⁵ Larson, P.R. 1994. The Vascular Cambium Development and Structure. Springer Series in Wood Science. Berlin, Heidelberg. 725 s.

¹¹⁶ Moberg, L. & Wilhelmsson, L. 2003. Nya beräkningsmodeller för vedegenskaper – ett verktyg för bättre utnyttjande av massaveden. Skogforsk. Resultat 3. 4 s.

¹¹⁷ Wilhelmsson, L., Arlinger, J., Spångberg, K., Lundqvist, S.-O., Grahn, T., Hedenberg, Ö. & Olsson, L. 2002. Models for Predicting Wood Properties in Stems of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* in Sweden. Scand. J. For. Res. 17(4): 330–350.

¹¹⁸ Tamminen, Z. 1970. Fuktighet, volymvikt m.m. hos ved och bark. 3, Björk. Skogshögskolan, institutionen för virkeslära. Rapporter 63.

¹¹⁹ Ågren, K., Högbom, L., Johansson, M. & Wilhelmsson, L. 2021. Datainsamling till underlag för livscykelanalys (LCA) av det svenska skogsbruket. Beräkningar, erfarenheter och antaganden. Skogforsk. Arbetsrapport 1086. 38 s.

¹²⁰ Thörnqvist, T. 1990. Ungdomsved i barrträd. SLU, inst. för skog-industri-marknad studier. Rapport 10. 149 s.

på traditionellt sätt sedan ligga kvar på liknande nivåer ända ut till kambiet.¹²¹

En högre andel extraktivämnen i kärnveden ökar densiteten men påverkar inte träets mekaniska egenskaper.

Bandporiga och ströporiga trädslag

För lövträd så påverkas de mekaniska egenskaperna i stor utsträckning av hur många kärl eller porer som finns i en årsring. I något mindre grad påverkas de också av skillnaden mellan vår- och sommarved. Lövträden kan vara bandporiga eller ströporiga. Hos ströporiga trädslag är kärlen spridda ungefär jämnt över hela årsringen. Det kan då vara svårt att urskilja årsringen. Eftersom kärlen är jämnt fördelade är det små eller inga skillnader i densitet och hårdhet mellan vår och sommarved. Hur fort trädet växer påverkar därför inte virkets densitet och hårdhet. Exempel på ströporiga trädslag är al, asp, avenbok, björk, bok, lind, lönn och sälg.

Hos de bandporiga trädslagen är kärlen koncentrerade till vårveden som är den tidigt bildade veden i en årsring. Sommarveden innehåller få eller inga kärl och är därför tyngre och hårdare än vårveden. Om trädet växer fort blir sommarveden bredare och virket blir därmed tyngre och hårdare. Hos barrträd är det tvärtom, hög tillväxt medför lättare och mjukare virke. Bandporiga trädslag är till exempel alm, ask och ek. Där är kärlen och årsringarna lätta och se.¹²²

Ungdomsved

Ungdomsved (även juvenilved) kallas veden i de innersta årsringarna.^{123,124} Ibland används också begreppet mörknära ved eftersom den bildas nära mörken. Ungdomsveden skiljer sig från den ved som bildas längre ut från mörk och som kallas mogenved. En skillnad är att ungdomsvedens vedceller är kortare och smalare samt har tunnare cellväggar än den mogna veden. Andelen sommarved är mindre, mikrofibrillvinklarna är större, andelen cellulosa är mindre och andelen lignin större jämfört med mogen ved.

Ungdomsveden har i flera avseenden sämre virkesegenskaper jämfört med mogenved. Det är också stora skillnader i ungdomsvedens egenskaper som är närmast mörk jämfört med ungdomsveden längre ut från mörken. Längdkrympningen i ungdomsved är betydligt större än i mogenved. Om fuktkvoten i veden förändras kan det medföra stora formförändringar hos sågat virke. Dessutom har ungdomsveden ofta lägre densitet och elasticitetsmodul, det vill säga lägre styvhet. Det medför vanligen lägre hållfasthet.

Ungdomsved förekommer även hos lövträd men variationen i egenskaper är sällan lika stora som hos barrträd. Genom att ungdomsveden normalt betyder mindre hos lövträd än hos barrträd finns mindre forskning och kunskap om lövträdens ungdomsved.

¹²¹ Atmer, B. & Thörnqvist, T. 1982. Fiberegenskaper i gran (*Picea abies* Karst.) och tall (*Pinus silvestris* L.). SLU, inst. för virkeslära. Rapport 134. 16 s.

¹²² Nylinder, M., Woxblom, L. & Fryk, H. 2017. Ädellöv – virke och förädling. 3:e upplagan. SLU, inst. för skogens produkter. 193 s.

¹²³ Thörnqvist, T. 1990. Ungdomsved i barrträd. SLU, inst. för skog-industri-marknad studier. Rapport 10. 149 s.

¹²⁴ Shmulsky, R. & Jones, P.D. 2019. Forest products and wood science: an introduction. 7:e upplagan. Wiley-Blackwell. 504 s.

Det är inte helt klarlagt hur bildningen av ungdomsved i träd styrs. Miljöfaktorer har påvisats ha stor betydelse, men även genetiska faktorer påverkar bildningen av ungdomsved.¹²⁵

Trots dess betydelse för virkesegenskaper finns ingen entydig definition av vad som är ungdomsved och vad som är mogenved. En orsak är att ungdomsveden kännetecknas av flera olika egenskaper som inte helt samvarierar med varandra. Dessutom innehåller ungdomsveden många egenskaper som normalt utvecklas snabbt från mycket juvenila närmast märgen, för att beroende på egenskap och tillväxtförhållanden successivt plana ut till fullt utvecklade egenskaper som kännetecknar mogen ved.

Ungdomsveden anges ofta bestå av de 5 till 20 innersta årsringarna. Att antalet årsringar används beror på att det finns en starkare koppling mellan variationen i juvenila egenskaper och antal årsringar till märg än avståndet uttryckt i millimeter eller centimeter.¹²⁶

Snabb ungdomstillväxt, antingen som resultat av glesa förband eller god näringstillgång, gör att antalet år med juvenila egenskaper ofta ökar markant. Träd med snabb ungdomstillväxt får stor volym ungdomsved eftersom det innebär både breda årsringar och fler årsringar med ungdomsved. Det motsatta gäller för träd med en långsammare diameter-tillväxt i ungdomen. Diametern och därmed mängden ungdomsved kan därför i viss mån regleras med olika skötselåtgärder som reglerar tätheten vid föryngring, röjning och gallring.

Förekomsten av ungdomsved varierar mycket mellan olika trädarter, men variationen mellan träd inom samma trädart kan också vara stor. De juvenila egenskaperna avtar generellt med ökad höjd i stammen och antalet årsringar med ungdomsved avtar därmed vanligen med ökad höjd i trädet.

Splintved och kärnved

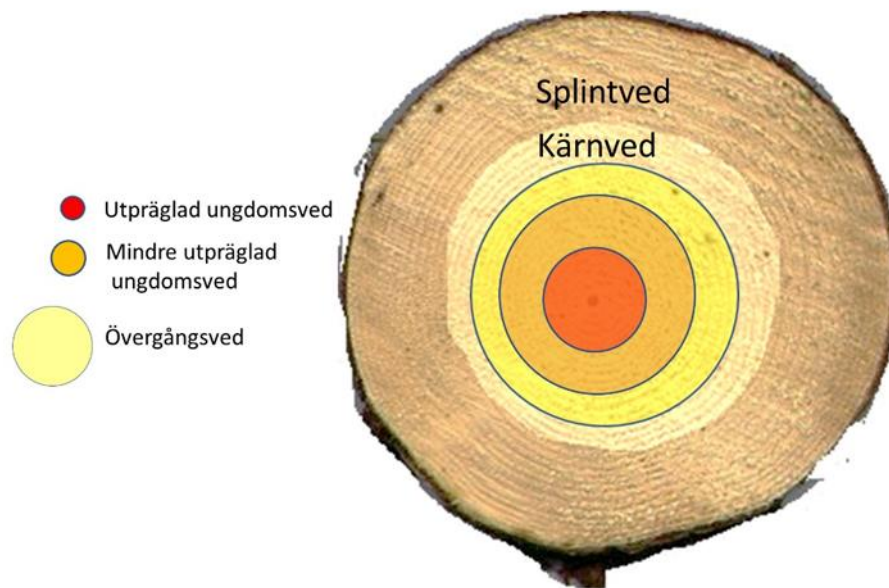
De yttersta årsringarna i en stam utgörs av splintved. Den inre och ofta mer beständiga delen av stammen är kärnved (figur V26). I ett ungt träd består veden enbart av splintved. I huvudsak består splintveden av trakeidceller och till en mindre del av levande parenkymceller. Vid en viss ålder, beroende på art, övergår splintveden till kärnved.^{127,128}

¹²⁵ Zobel, B.J. & Sprague, J.R. 1998. Juvenile Wood in Forest Trees. Springer series in wood science. Springer Verlag. 300 s.

¹²⁶ Zobel, B.J. & Sprague, J.R. 1998. Juvenile Wood in Forest Trees. Springer series in wood science. Springer Verlag. 300 s.

¹²⁷ Gjerdrum, P. 2003. Heartwood in relation to age and growth rate in *Pinus sylvestris* L. in Scandinavia. *Forestry* 76(4): 413–424.

¹²⁸ Blom, H. & Arnström, C. 2014. Årsringsutvecklingens betydelse för produktion av granvirke av kärnved. Linnéuniversitetet, inst. för Skog och träteknik. Examensarbete i skogs- och träteknik. 46 s.



Figur V26 En stamtrissa från gran som visar splintved och kärnved. Delarna med utpräglad ungdomsved närmast mörken, ungdomsved och övergången till mogen ved syns inte i en stamtrissa men är indikerade med färgade zoner. Illustration Lars Wilhelmsson

Bildandet av kärnved börjar med att extraktivämnena utsöndras från den levande parenkymvävnaden och att hartser utsöndras från hartskanalerna. Därefter stängs cellporerna mellan cellerna och parenkymcellerna dör av brist på vatten. När kärnveden bildas försvinner också det fria vatten som finns i lumen, cellens hålrum. Ingen transport av vatten sker i kärnveden. Extraktivämnena anrikas och lagras i cellväggarna, vilket får till resultat att mindre mängd vatten binds i cellväggarna. Allt detta sammantaget gör att fukthalten i kärnveden är mycket lägre än i splintveden. Kärnveden i träd utvidgas i stort sett årligen, årsring för årsring men utvidgningen kan också ske oregelbundet.¹²⁹

För vissa trädslag syns en tydlig gräns mellan splintved och kärnved. Det gäller till exempel för tall, lärk, douglasgran och ek. För gran och många lövträd däremot framträder ingen tydlig gräns mot kärnveden.

Kärnbildning varierar mellan trädslag. Extraktivämnena som lagras i kärnan ger ett skydd mot olika rötsvampar. Tall har mer utpräglad kärnved med extraktivämnena än gran, men gran har också kärnved som bland annat utmärker sig genom att inte ta upp fukt.

Halterna av extraktivämnena är högre i tallens kärnved än i dess splintved, medan det motsatta gäller för gran.¹³⁰ Ek har en stor inlagring av extraktivämnena och motståndskraften mot röta är stor. Mängden extraktivämnena i kärnveden stiger med ökande ålder men påverkas också av hur snabbt trädet växer.¹³¹

Hos tall och lärk är beständigheten påtaglig, vilket den också är hos gran, men i något mindre grad, medan bok och björk har obefintligt skydd. När

¹²⁹ Bowyer, J.L., Shmulsky, R. & Haygreen, J.G. 2007. Forest Products and Wood Science: An Introduction. 5:e upplagan. Blackwell Publishing.

¹³⁰ Sjöström, E. 1992. Wood chemistry. Academic Press. Inc, San Diego.

¹³¹ Bowyer, J.L., Shmulsky, R. & Haygreen, J.G. 2007. Forest Products and Wood Science: An Introduction. 5:e upplagan. Blackwell Publishing.

det gäller gran klassificeras den i den lägsta beständighetsklassen då användning i markkontakt avses. Men tack vare att gran, vars kärna inte visuellt kan skiljas från splint i torrt tillstånd, är mindre hygroskopisk och därför tar upp fukt långsammare än furusplint, kan granens naturliga beständighet anses som något bättre än den vedertagna klassificeringen, vid användning av gran ovan mark. Gran är därför lämplig för vissa användningsområden, som till exempel i utvändiga panelbrädor och fasaddetaljer.^{132,133}

Det visar sig att mikrobiell påväxt på målat splintvirke av gran är större jämfört med målat kärnvirke.¹³⁴ Det har också visats att gransplintved med låg densitet får mer påväxt. Frodvuxen splintved målad med alkydfärg och slamfärg får mer mikrobiell påväxt än på akrylatfärg. Med en mörkare nyans på färgen blir ytan varmare av solen, den torkar snabbare, vilket missgynnar påväxt av olika mikroorganismer.¹³⁵

Vedens egenskaper påverkas av fiberns riktning

Trädets inre struktur kännetecknas av fibrer (trakeider) och hos lövträd också av kärl som huvudsakligen är orienterade i trädets längsgående riktning. Fiberstrukturen resulterar i att trä har olika egenskaper beroende på riktning¹³⁶. Träets styvhet, och drag- och tryckhållfasthet är betydligt större i fiberns riktning än vinkelrät mot den. Styvheten, ett mått på hur virkesstycket sviktar vid belastning, är upp till 40 gånger högre i fiberriktningen (trädets längsriktning) än tvärs årsringarna i tangentiell fiberriktning (figur V27). I radiell riktningen är styvheten ungefär dubbelt så stor som tangentiell riktning.

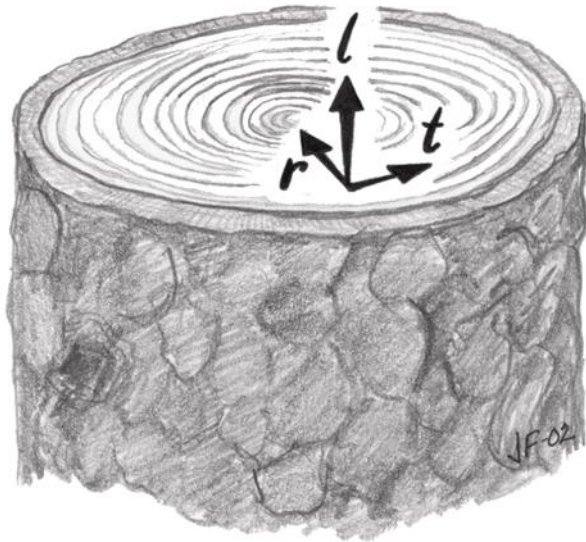
¹³² Sandberg, K. 2009. Norway spruce heartwood: properties related to outdoor use. Luleå tekniska universitet, inst. för teknikvetenskap och matematik, Träteknik. Avhandling. 50 s.

¹³³ Svenskt trä. 2022. Beständighetsegenskaper. <https://www.svenskttra.se/trafakta/allmant-om-tra/fran-timmer-till-planka/bestandighetsegenskaper/> (Hämtad 2022-03-03.)

¹³⁴ Sandberg, K. 2008. Degradation of Norway spruce (*Picea abies*) heartwood and sapwood during 5.5 years' above-ground exposure. Wood Materials Science and Engineering 3: 83–93.

¹³⁵ Sjökvist, T. & Blom, Å. 2017. Utomhusexponering av ytbehandlat trä: undersökning av trämateriallets påverkan på beständigheten hos en målad granpanel. Linnéuniversitetet, fakulteten för teknik. Rapport 50. 46 s.

¹³⁶ Trä är ett material med anisotropiska egenskaper. Anisotropisk är en fysikalisk term för material med olika fysikaliska egenskaper i olika riktningar.



Figur V27 Huvudsakliga riktningar i trä: l = longitudinell i stammens riktning, r = radiell från märke mot bark och t = tangentiell riktning utmed årsringen. Illustration från Säll (2002).¹³⁷

Normalt avviker fiberriktningen något från trädets eller stammens riktning eller längsgående axel. Denna snedfibrighet eller avvikelse har flera orsaker. Det kan vara lokala fiberstörningar vid kvistar, men oftast är orsaken växtvridenhet.

Krympning och svällning hos virke är ungefärligt 20–30 gånger större i tangentiell riktningen än i trädets längsriktning.¹³⁸ Jämfört med i tangentiell riktning är krympning och svällning ungefär hälften radiellt.

Trädets avsmalning

Ett träd är mer eller mindre konformat. Det innebär att stockar från ett träd är smalare i den ena änden än i den andra. Avsmalningen hos en stock mäts i millimeter per meter (mm/m). Höjden i trädet påverkar graden av konicitet, avsmalning per meter.

Nära stubben, på en höjd av 0,5 till 1,5 m, kan avsmalningen vara större än 30 mm/m. Mellan 1,5 meters höjd och upp till den levande kronan är vanligen avsmalningen mellan 5 och 15 mm/m. Avsmalningen ökar igen i trädets krona där den normalt är 15 till 30 mm/m.

Liten avsmalning innebär att en större andel av en stock kan bli bräder och plankor. Är avsmalningen stor blir en större andel av volymen inte sågad vara utan blir bakar eller flis som ofta går till massaindustrin.

Kvistar

För virke som ska sågas och användas som plank och bräder betraktas kvistar som en oönskad egenskap. Kvistar orsakar de riktigt stora fiberstörningarna i sågade produkter. Fibrernas struktur och riktning ändras

¹³⁷ Säll, H., 2002. Spiral Grain in Norway Spruce. Avhandling. Växjö, Växjö University Press. 171 s.

¹³⁸ Dinwoodie, J.M. 2000. Timber, its nature and behaviour. 2:a upplagan. Spon Press, London.

i ett tredimensionellt mönster runt kvistarna.^{139,140} Kvistarna kan ge ett försämrat synintryck och störande mönster då vi betraktar virket. Kvistarna ger också negativa effekter på vedegenskaper som styrka och styvhet på bärande virke.¹⁴¹

Om det sågade virket innehåller förhållandevis mycket kvist och stora kvistar jämfört med det sågade ämnets tjocklek och bredd, leder detta oftast till att virket får lägre styvhet och styrka. Ju grövre dimension som sågas fram ur en stock desto mer kvist och fiberstörningar tål det sågade ämnet utan att brista.

Förekomst av kvistar kan också betraktas som en önskad egenskap då de ger virket ett helt annat utseende än kvistfritt virke. Synliga kvistar i ”lagom” proportioner och mönster kan också uppfattas estetiskt tilltalande och stärka känslan av ”levande trä”.¹⁴² Vad som uppfattas estetiskt tilltalande varierar dock mellan betraktare. Uppfattningar om hur trä ska se ut, vilka trädslag som uppfattas som vackra, med mera, förändras med design, mode och trender.

Hur mycket och hur stora kvistar som förekommer har länge varit egenskaper som är avgörande för klassning av en stocks värde. Barkdragande kvistar, där barken på något sätt ”dragits in” i stammen ger en större störning av virket.

Sprötkvistar är andra typer av kvistar som även de är mindre önskvärda i virke. De växer med spetsig vinkel mot stammen. Det kan vara kvistar som helt enkelt har en spetsig vinkel i förhållande till stammen, men ofta är sprötkvistar följden av skador som stambrott eller betesskador. I de fallen har flera grenar konkurrerat om att bilda ny topp. En gren har så småningom bildat den nya stammen och andra växt vidare med en spetsig vinkel. Sprötkvistar är en större störning i virket än andra kvistar genom att de har en större utbredning i stammen och leder därför att ett större område får fiberstörningar. Ofta är sprötkvistar grövre än andra kvistar.

Mycket kvist i massaveden är ett överkomligt problem men kan minska utbytet något och försvåra barkningen, samtidigt som kvistmassa innehåller avvikande och ofta oönskade fiberfraktioner.

Formförändringar

Krökar och reaktionsved

Av stor betydelse för värdet hos en stock är att den är rak. För produktion av massa och papper har krökar normalt ingen stor teknisk betydelse så länge transporter, hantering, barkning och flisning inte blir svårare och dyrare. Reaktionsved och fiberstörningar i krokig ved är dock inte önskvärd, men normalt acceptabelt så länge volymandelen är marginell.

¹³⁹ Hu, M. 2018. Studies of the fibre direction and local bending stiffness of Norway spruce timber. Linnaeus University Dissertations 307. 51 s.

¹⁴⁰ Briggert, A. 2020. Modelling and strength grading of structural timber and glulam lamellae on the basis of optical scanning and dynamic excitation. Linnaeus University Dissertations 380. 68 s.

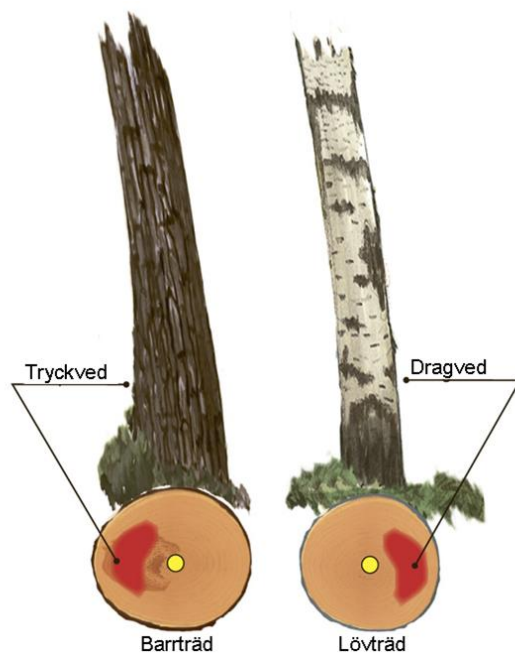
¹⁴¹ Foley, C. 2001. A three-dimensional paradigm of fiber orientation in timber. Wood Science and Technology 35: 435–465.

¹⁴² Broman, N.O. 2001. Aesthetic properties in knotty wood surfaces and their connection with people's preferences. Journal of Wood Science 47: 192–198.

Men för sågat virke är krokighet av stor betydelse. Det blir helt enkelt mindre sågat virke från en krokig stock.

Krökar och böjar påverkar också virkets inre egenskaper. Då ett träd lutar reagerar det med att bilda reaktionsved för att kompensera för snedbelastningen. Barrträd och lövträd är olika i detta fall. Barrträdens reaktionsved kallas tryckved eller tjurved (figur V28). Den utvecklas på den sida av stammen där det uppstår tryckkrafter. Om en del av barrträdets stam av någon anledning börjar luta bildas tryckveden på nedsidan, den sida som är mot marken, för att stammen skall räta upp sig. Barrträdet försöker trycka tillbaka stammen så att den blir lodrät. Tryckveden är hårdare och mörkare än vanlig ved. Den innehåller mer lignin och hartser. Spänningar i veden särskilt vid övergång mot normal ved gör att sågat virke med tryckved kan förändra formen eller spricka.

Lövträdens reaktionsved eller tjurved kallas dragved. Då ett lövträd lutar bildas dragved på ovensidan av stammen för att trädet skall räta upp sig. Det innebär att lövträden rätar upp sig genom att dra tillbaka stammen så att den blir lodrät igen. (figur V28). Där är fibrerna längre, de har mer cellulosa och mindre lignin än normala celler. Dragveden är därför ljusare än annan ved.¹⁴³



Figur V28 Träd som lutar bildar reaktionsved för att stammen ska räta upp sig. Reaktionsved hos gran och tall benämns tryckved eller tjurved och bildas där det uppstår tryckkrafter på undersidan av grenar och lutande träd. Den är mörkare än trädets ved i övrigt. Reaktionsveden hos lövträd kallas dragved och bildas på ovensidan av grenar och lutande träd där det finns dragkrafter. Den är inte mörkfärgad som hos barrträden. Illustration Bo Persson.

Reaktionsveden hos barrträd (tryckved, tjurved) är relativt lätt att observera. Årsringarna är mörkare och ser ut som breda band som i extrema fall enbart

¹⁴³ Dahlgren, T., Wistrand, S. & Wiström, M. 1996. Nordiska träd och trädslag. Arkus. 210 s.

består av sommarved. Reaktionsved är vanligare i ungdomsved nära märe än i den yttre mogna veden.

Reaktionsved hos barrträd kännetecknas av höga halter av lignin och låga nivåer av cellulosa. Cellväggarna är tjockare och mikrofibrillvinkeln i S2-skiktet är mycket stor, mellan 30 och 50 grader. Det gör att reaktionsved är känslig för förändringar i fukthalt. Då virke med reaktionsved torkar krymper det mer än tio gånger så mycket i fiberriktningen jämfört med normalt trä. Reaktionsved innehåller inte något S3-skikt i cellväggen. Krympningen i tangentiell respektive radiell riktning är å andra sidan mindre än i normalt trä.

De tekniska egenskaperna hos tryckved kännetecknas av låg styvhet och låg draghållfasthet medan tryckhållfastheten å andra sidan är hög. Densiteten är högre och permeabiliteten för vatten är lägre än för normalt trä. Reaktionsved orsakar ibland problem vid sågning, eftersom spänningar frigörs som resulterar i krokiga bräder och sprickbildning.¹⁴⁴

Formbeständighet och fukthalt

Förekomsten av ungdomsved eller reaktionsved påverkar formbeständigheten hos virke. Förändringar i fukthalt påverkar virket genom att det krymper eller sväller. Årsringarnas orientering i det sågade virket har också stor betydelse (figur V29).

Vatten finns i virket dels som ”fritt vatten” i lumen, det vill säga i cellernas (trakeidernas) hålrum, dels bundet i cellväggarna. När allt vatten i lumen har avdunstat uppnås den så kallade fibermättnadspunkten. Då är fuktkvoten¹⁴⁵ mellan cirka 25 och 30 %. När vatten avgår ner till fibermättnadspunkten förändras inte virkets form eller volym. När resterande vatten avgår från cellväggarna förändras formen och virket krymper.

Hos trä avgår vatten snabbast i fiberriktningen, till exempel från en ändyta på en stock och långsammare i radiell och tangentiell riktning. Trä krymper även olika mycket i olika riktningar, ungefär en tiondel så mycket i längdled i förhållande till radiell riktning (från märe mot bark) och ungefär en tjugondel i längdled i förhållande till tangentiell riktning (utmed årsringarna)¹⁴⁶ (figur V29). Krympningen i fiberriktningen kan vara mer än tre gånger så stor i den märe nära ungdomsveden som i mogen ved längre från mären.¹⁴⁷

Årsringarnas krökning gör att virket kommer att kupa sig och slå sig olika beroende på var i stocken virkesstycket tagits.¹⁴⁸

¹⁴⁴ Kyrkjeeide, P.-A. & Thörnqvist, T. 1993. Tryckved : en litteraturstudie med reflexioner. SLU, inst. för skog-industri-marknad studier. Rapport 35. 90 s.

¹⁴⁵ Fuktkvot avser vattnets vikt i förhållande till det torra virkets vikt. Räknas ut som vikt före torkning minus vikt efter torkning, dividerat med vikt efter torkning.

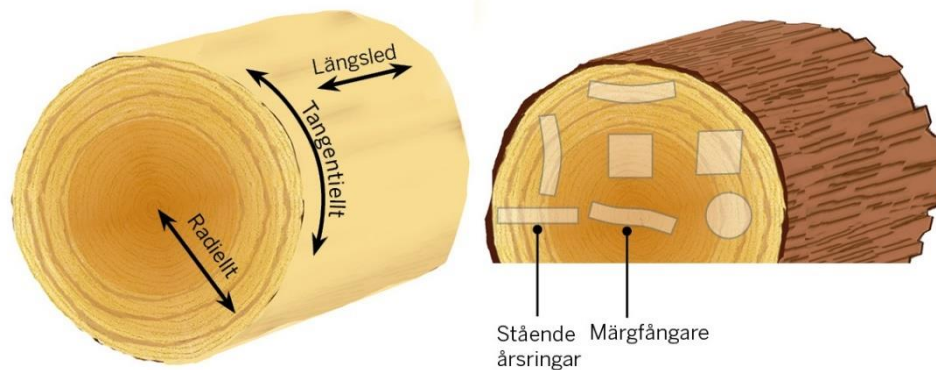
¹⁴⁶ Morén, T. & Sehlstedt-Persson, M. 2007. Virkestorkningens grunder: en bok för personer verksamma inom träindustrin samt för områdets utbildningar. Valutec, Skellefteå. 97 s.

¹⁴⁷ Dahlblom, O., Ormarsson, S. & Petersson, H. 1996. Simulation of wood deformation in drying and other types of environmental loading. Annales des Sciences Forestières, 53: 857–866.

¹⁴⁸ Svenskt Trä. 2020. Att välja trä, En faktskrift om svenskt trä. 2020.

<https://www.svensktra.se/publikationer-start/publikationer/att-valja-tra/> (Hämtad 2021-03-03.)

Trädslag som krymper relativt lite i olika riktning är gran och tall. Andra trädslag som björk och inte minst bok krymper och sväller betydligt mer. Träets krympningsegenskaper har stor betydelse när det utsätts för förändringar i luftfuktighet som till exempel då det torkar i en färdig konstruktion. Att använda virke med reaktionsved eller ungdomsved kan därför orsaka oönskade formförändringar som kan få allvarliga konsekvenser i en färdig konstruktion. Att tänka på är att ett sågat virkestycke med mörgen i centrum, en mörgfångare, blir oftast skev (vrider sig) då den torkar under fibermättnadspunkten.



Figur V29 Trä krymper eller sväller olika mycket beroende på hur årsringarna är placerade i ett virkestycke (i längsled ca 0,3 %, radiellt ca 4% och tangentiellt ca 8 %) (vänster). Några exempel som visar att beroende på var ett virkestycke tas ut i en stock kommer det att påverkas olika i sin form på grund av krympning (höger). Förlaga till illustrationer: Svenskt Trä (2020).¹⁴⁹ Illustration: Bo Persson.

Styvhet och elasticitetsmodul

Elasticitetsmodulen hos ett virkestycke är ett mått på virkestyckets styvhet och kvantifierar graden av deformation, ”böjning”, vid en given belastning. Parametern anger hur mycket en träbalk eller en regel kommer att böja sig då den belastas och är ofta ett indirekt mått på virkets styrka.

I konstruktioner önskas ofta virke med hög styvhet. I exempelvis golvbjälklag är det önskvärt med hög elasticitetsmodul. Det gör att golvet inte sviktar då man går på det. För träkonstruktioner i byggnader kan virke med en låg elasticitetsmodul användas i delar som inte utsätts för stor belastning. Reglar i en innervägg i ett hus behöver inte vara särskilt styva utan kan ha en lägre elasticitetsmodul. Orsaken är att reglarna oftast har mycket liten last och har i första hand till uppgift att hålla isär två skivor och dämpa ljud. Elasticitetsmodulen kan vara mer än dubbelt så hög i mogen ved jämfört med i ungdomsved.¹⁵⁰

Växtvridenhet – orsak och generellt mönster

När ett träd växer anlägger det sina fibrer i stam, grenar och rötter i någon form av vinkel i förhållande till respektive trädledars riktning. Detta

¹⁴⁹ Svenskt Trä. 2020. Att välja trä, En faktskrift om svenskt trä. 2020.
<https://www.svensktra.se/publikationer-start/publikationer/att-valja-tra/> (Hämtad 2021-03-03.)

¹⁵⁰ Ormarsson, S. 1999. Numerical analysis of moisture-related distortions in sawn timber. Doktorsavhandlingar vid Chalmers tekniska högskola.

fenomen benämns växtvridenhet och är helt naturligt för alla trädslag. Samtidigt varierar eller förändras fibervinkeln i trädets olika delar för varje årsring.

Växtvridenheten underlättar vatten- och näringstransporten till trädets olika delar. Om ledningsbanorna skulle vara helt parallella i stammen skulle det försvåra fördelningen av vatten och näring inom stammen.

Växtvridenhet gör att grenar på en sida av trädets kan försörjas även om rötter på den sidan skadas eller inte kan växa där på grund av naturliga skäl. Märgstrålar bidrar också till att öka förbindelserna inom stammen.¹⁵¹

De trädslag som sprider vätska och näring mer i tangentiell riktning, utmed årsringarna, som exempelvis björk har oftast mindre utvecklad växtvridenhet.

Växtvridenhet gör att träd kan stå emot vind och snölast bättre. Stor fibervinkel gör att grenar och stam blir mindre styva och böjer sig vid belastningar.^{152,153,154} Beroende på avstånd från märg varierar växtvridenhet både i riktning och storlek på ett i huvudsak art-typiskt sätt.¹⁵⁵

I stort sett alla barrträdslag har en vänstervriden fiberspiral i årsringarna nära märgen, det vill säga i ungdomsveden (figur V30). Det kallas medurs vriden, vänstervriden eller solvind. Solvind syftar på att vridningen följer solens vandring på himlen. Några årsringar från märgen börjar växtvridenheten normalt avta. Vid höga årsringsnummer räknat från märgen lutar fibervinkeln åt höger. Ett äldre träd innehåller alltså vänstervriden ved innerst och höger vriden ytterst i den nedre delen av stammen.

Övergången från vänstervridning till höger vridning sker succesivt hos våra svenska trädslag. En stor variation finns både i vinkelns storlek och vid vilken ålder träd går från att anlägga årsringar med vänstervridning till höger vridning. Vissa trädindivider fortsätter att vara vänstervridna med stigande ålder. Ett riktvärde är att vid årsring 50 till 80 är fibervinkel noll grader och längre ut lutar den åt höger (figur V31).

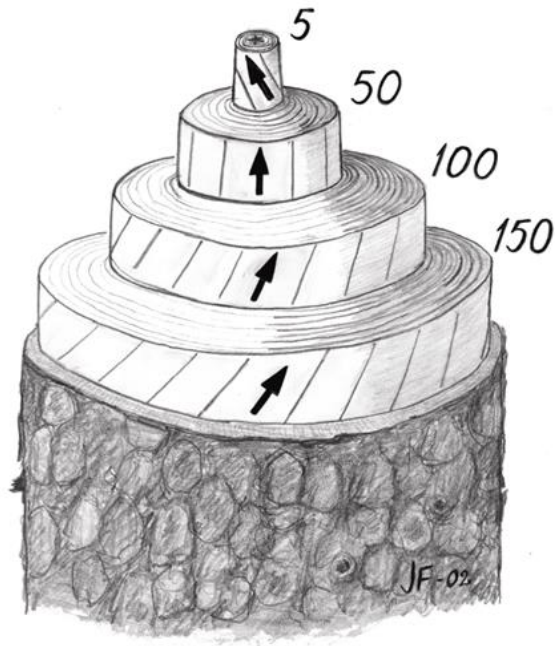
¹⁵¹ Vit , J.P. & Rudinsky, J.A. 1959. The water conducting systems in conifers and their importance to the distribution of trunk injected chemicals. Contr. Boyce Thompson Inst. 20: 27–38.

¹⁵² Rouvinen, S. & Kuuluvinen, T. 1997. Structure and asymmetry of tree crowns in relation to local competition in a natural mature Scots pine forest. Can. J. For. Res. 27: 890–902.

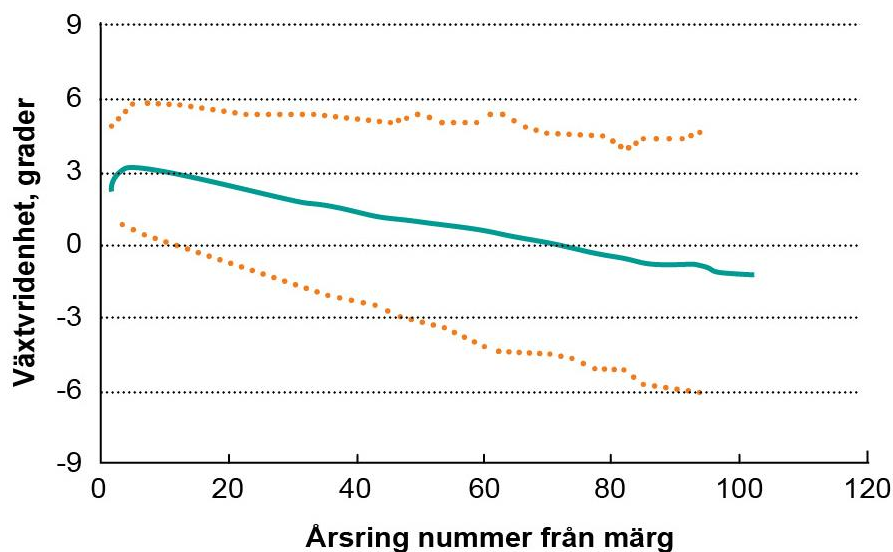
¹⁵³ Skatter, S. & Kucera, B. 1997. Spiral grain – an adaptation of trees to withstand stem breakage caused by wind-induced torsion. Holz als Roh- und Werkstoff 55: 207–213.

¹⁵⁴ Skatter, S. & Kucera, B. 1998. The cause of the prevalent directions of the spiral grain patterns in conifers. Trees 12: 265–273.

¹⁵⁵ Harris, J.M. 1989. Spiral grain and wave phenomena in wood formation. Springer-Verlag, Berlin. 214 s.



Figur V30 Exempel på hur fiberriktningen förändras i en gammal gran vid olika ålder (5, 50, 100 och 150 år). Källa: Säll (2002).¹⁵⁶



Figur V31 Den generella utvecklingen för växtvridenheten hos gran uttryckt som fibervinkel, vid stigande årsringsnummer från märke till bark. Vänstervridning betecknas med positiv vinkel, högeravridning med negativ vinkel. Mellan den övre och undre linjen finns 90 % av samtliga värden för gran. Diagrammet bygger på 390 granstockar och 7023 observationer. Källa: Säll (2002).¹⁵⁷

¹⁵⁶ Säll, H. 2002. Spiral Grain in Norway Spruce. Avhandling. Växjö, Växjö University Press. 171 s.

¹⁵⁷ Säll, H. 2002. Spiral Grain in Norway Spruce. Avhandling. Växjö, Växjö University Press. 171 s.

Även om alla träd är mer eller mindre växtvridna innebär det sällan något stort problem. Men om fibervinkeln under bark överstiger 4 grader åt vänster eller åt höger påverkas både formstabilitet och hållfasthet negativt.

Den allvarligaste typen av växtvridenhet uppkommer om trädet inte ändrar riktning på fibervinkeln utan har en ökande vänsterlutande vinkel med stigande ålder. Vänstervridna eller solvinda träd beskrivs i både äldre och nyare forskningslitteratur som problematisk. I äldre svensk litteratur betraktades träd med vänstervridning som oanvändbara i husbyggnation. Vänstervridna stockar vrider sig mycket då de torkar och återfuktas under årets växlingar. Detta ledde till att väggarna blev otäta och knutarna i timmerväggarna vreds sönder. Om detta skriver Christopher Polhem i sitt litterära verk *Tankar om husbyggnad* från början av 1700-talet.^{158,159}

Stolpar och stockar som har en vänsterlutande fibervinkel som är mellan 5 och 7 grader har hälften så hög styvhet och böjhållfasthet som en högervriden stolpe med samma fiberlutning åt höger. En högervriden stolpe med upp till 5–7 graders fibervinkel under bark har i stort samma hållfasthet som en normalt växtvriden stock eller stolpe.¹⁶⁰ Det beror på att i den mogna veden finns ett brett område med i stort sett rakfibrig ved som tar upp krafterna vilket det inte finns i en stock eller stolpe som är vänstervriden ända ut till ytan under bark.

Skevhet på sågat och torrt virke förklaras bäst med fibervinkelns förändring per millimeter i radiell riktning samt hur krökta årsringarna är. Den normala vinkelförändringen med fem hundra grader per årsring (figur V31) ger ett rakt och formstabil sågat virke från mogen ved om årsringsbredden är större än 1 mm.

Om ett träd eller virkesstycke har en årsringsbredd som är en halv millimeter eller mindre och för övrigt en normal förändring av fibervinkelns lutning, blir det sågade virket oftast mycket skevt och vrider sig åt höger. Denna typ av virke får vi från mycket långsamvuxna träd eller i rotstockar från träd som vuxit i ojämna och flerskiktade bestånd.

Kunskapen om att det är fibervinkelns förändring/mm som påverkar skevheten är mycket gammal och kan härledas till medeltida normer. I de klassningsregler för sågtimmer som tillämpades fram 1990-talet bedömdes växtvridenheten genom att uppskatta hur stor del av ett varv fibervinkeln utgjorde på en stocklängd av 4,5 m längd. Det som indirekt då bedöms är hur mycket fibervinkeln förändras per millimeter i radiell riktning i stockens mogna ved.^{161,162,163}

¹⁵⁸ Polhem, C. 1740. *Tankar om husbyggnad*. Kong. Swenska Wetenskaps Academiens, s. 344.

¹⁵⁹ Sjömar, P. 1988. *Byggnadsteknik och timmermanskonst : en studie med exempel från några medeltida knuttimrade kyrkor och allmogehus*. Arkitekturens teori och historia 1988:1.

¹⁶⁰ Lowery, D.P. & Erickson, E.C.O. 1967. The effect of spiral grain in pole twist and bending strength. US For Serv Res Pap INT-35. 16 s.

¹⁶¹ Ormarsson, S. 1999. Numerical analysis of moisture-related distortions in sawn timber. Doktorsavhandlingar vid Chalmers tekniska högskola.

¹⁶² Johansson, M., Perstorper, M., Kliger, I.R. & Johansson, G. 2001. Distortion of Norway spruce timber – part 2. Modelling of twist. *Holtz als Roh- und Werkstoff*, 59(3): 155–162.

¹⁶³ Säll, H. 2002. *Spiral Grain in Norway Spruce*. Avhandling. Växjö, Växjö University Press. 171 s.

Virke som är sågat nära mörgen eller, ännu värre, ett sågat ämne med mörgen i mitten och som har någon till några millimeter breda årsringar vrider sig i stället åt vänster. Reglar som sågas från ett kraftigt vänstervridet träd blir vridna åt vänster då de torkar. Figur V32 visar i de sex undre lagren sågade regler från normalt växtvridna träd medan reglarna i det övre lagret är sågat från ett kraftigt vänstervridet träd.



Figur V32 Ett virkespaket med regler som torkats i en konventionell kammartork under hög belastning. Reglarna i alla lager har haft samma förhållanden under torkning och lagring. Det övre lagret utgörs av regler sågade från en gran med extremt stor växtvridenhet. De övriga sex lagren innehåller regler från fyra normalt växtvridna granar. Foto Harald Säll.

Det är väl dokumenterat att ojämna bestånd, bestånd på hållmark och träd med ensidiga rotsystem har betydligt större andel träd som är vänstervridna och med stor fibervinkel.¹⁶⁴ Träd som växer i glesa bestånd och med oregelbundet avstånd utsätts för liknande miljö som kanträd mot öppen mark. Kanträd är ofta dominerande, har bredare årsringar samt stor grön krona jämfört med de genomsnittliga träden i inne i samma bestånd. Enligt flera rapporter får kanträd ofta en kvarstående vänstervriden fibervinkel än träd inne i beståndet.^{165,166}

Träd och timmerstockar med stor vänstervriden fibervinkel ger påtagligt skeva regler och brädor som vrider sig åt vänster då de torkats oavsett var de sågas med hänsyn till avstånd från mörge. En timmerstock som har en normal fiberbervinkelförändring och någon millimeters årsringsbredd ger något skeva regler som vrider sig åt vänster av det som sågas nära mörge, medan brädor som sågas i samma stock i den mogna veden längre ut från mörgen ger formstabila raka brädor. En stock som är starkt högervriden kan däremot ge formstabila regler av det som sågas nära mörge medan de sågade ämnena i den mogna veden skevar åt höger då de torkat.¹⁶⁷

¹⁶⁴ Wellner, C.A. & Lowery, D.P. 1967. Spiral Grain: A Cause of Pole Twisting. U.S. Forest Service Research Paper INT. 38.

¹⁶⁵ Rouvinen, S. & Kuuluvinen, T. 1997. Structure and asymmetry of tree crowns in relation to local competition in a natural mature Scots pine forest. Can. J. For. Res. 27: 890–902.

¹⁶⁶ Skatter, S. & Kucera, B. 1998. The cause of the prevalent directions of the spiral grain patterns in conifers. Trees 12: 265–273.

¹⁶⁷ Säll, H. 2002. Spiral Grain in Norway Spruce. Avhandling. Växjö, Växjö University Press. 171 s.

Växtvridenhet i olika trädslag

I gran lutar fibervinkeln oftast mest åt vänster i den fjärde till tionde årsringen räknat från märg. Därefter minskar fibervinkeln i de flesta fall, och granen blir normalt rakfibrig någonstans mellan årsring 50 och 80 räknat från märg. Det normala är att fibervinkeln därefter successivt blir mer och mer högerlutande när trädet fortsätter att växa (figur V30).¹⁶⁸

Efter ungefär hundra årsringar räknat från mären lutar granens fibrer vanligen 2 grader mot höger efter att ha lutat 3 grader mot vänster vid femte årsringen från mären. Detta generella mönster gäller för alla arter inom familjerna *Picea*, *Abies* och *Larix* och för nästan alla arter inom familjen *Pinus*.¹⁶⁹ Det gäller alltså för de arter av tall, contortatall och gran som växer i Sverige.

Skillnaden mellan olika barrträdslag är i huvudsak hur mycket fibervinkeln förändras mellan varje årsring. För gran är förändringen mellan varje årsring fem hundra grader per årsring i rotstockar medan högre upp i stammen blir fibervinkelförändringen mellan årsringarna något större.¹⁷⁰

Våra vanligaste lövträd, glasbjörk, vårtbjörk och asp, kan vara högervridna nära mären för att sedan bli något vänstervridna med stigande årsringsnummer räknat från märg. Aspens ved har en mycket liten fibervinkel och lämpar sig därför också till tändstickor. En snedfibrig tändsticka bryts lätt. Klibbal har högervridna fibrer nära mären och får ofta en tydligt vänsterlutande fibervinkel i den yttre mogna delen av stammen.¹⁷¹

Ett annat mönster i vissa trädslag är att fibervinkeln varierar och ändrar riktning mellan årsringarna (växelvis höger- och vänsterlutande). Douglasgran (*Pseudotsuga menziesii*) är ett sådant trädslag som har växelvis vänster- och högerlutande fibrer. Detta gör att Douglasgranens virke blir mycket formstabil vid fuktförändringar och därmed mycket uppskattat av användare av olika slag.¹⁷²

Tillväxthastigheten kan påverka fibervinkelns utveckling i Douglasgran där ett samband finns mellan långsam tillväxt och ökad fibervinkel.¹⁷³ I sitkagran (*Picea sitchensis*) å andra sidan verkar hög tillväxt korrelera med

¹⁶⁸ Säll, H. 2002. Spiral Grain in Norway Spruce. Avhandling. Växjö, Växjö University Press. 171 s.

¹⁶⁹ Harris, J.M. 1989. Spiral grain and wave phenomena in wood formation. Springer-Verlag, Berlin. 214 s.

¹⁷⁰ Säll, H. 2002. Spiral Grain in Norway Spruce. Avhandling. Växjö, Växjö University Press. 171 s.

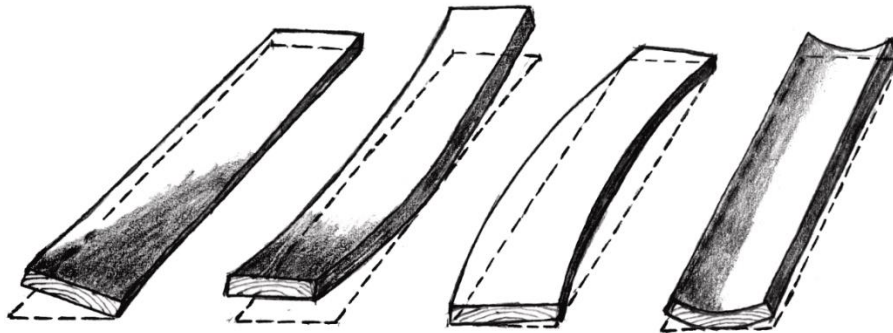
¹⁷¹ Enquist, B. & Petersson, H. 2000. Materialegenskaper för några olika lövträd. Department of Structural Mechanics. Chalmers tekniska högskola. Report 00:3.

¹⁷² Harris, J.M. 1989. Spiral grain and wave phenomena in wood formation. Springer-Verlag, Berlin. 214 s.

¹⁷³ Elliot, G.K. 1958. Spiral grain in second-growth Douglas fir and Western Hemlock. Forest Prod. J. 8: 205–211.

ökad fibervinkel.¹⁷⁴ I flera studier av barrträd kan dock inget samband mellan fibervinkelns förändring och ökad tillväxt urskiljas.^{175,176}

Vid användning av sågat virke är skevt och kantkrokigt virke de två allvarligaste formfelen (figur V33). Skevhet på sågat virke är orsakat av växtvridenheten och att årsringarna är krökta. Skevhet och kupighet uppstår då virket torkas under fibermättnadspunkten. Skevhet och kupning ökar ju torrare virket blir. Andra deformationer som kantkrok och flatböj orsakas av spänningar i veden och ojämna längsskrumpning på olika sidor av virkesstycket och kan visa sig direkt efter uppsågningen.



Figur V33 Olika formfel på sågat och torkat virke: skevhet (a), flatböj (b), kantkrok (c) och kupighet (d). Källa: Säll (2002).¹⁷⁷

¹⁷⁴ Brazier, J.D. 1967. Timber improvement. 1. A study of the variation in wood characteristics in young Sitka spruce. *Forestry* 40: 117–128.

¹⁷⁵ Nicholls, J.W.P. 1971. The effect of environmental factors on wood characteristics. 2. The effect of thinning and fertilizer treatment on the wood of *Pinus pinaster*. *Silvae Genetica* 20: 67–73.

¹⁷⁶ Cown, D.J. & McConchie, D.L. 1981. Effects of thinning and fertiliser application on wood properties of *Pinus radiata*. *N.Z. J. For. Sci.* 11: 79–91.

¹⁷⁷ Säll, H. 2002. Spiral Grain in Norway Spruce. Avhandling. Växjö, Växjö University Press. 171 s.

Virkesegenskaper och förädlingsindustrin – betydelse för processer och produkter

av Lars Wilhelmsson

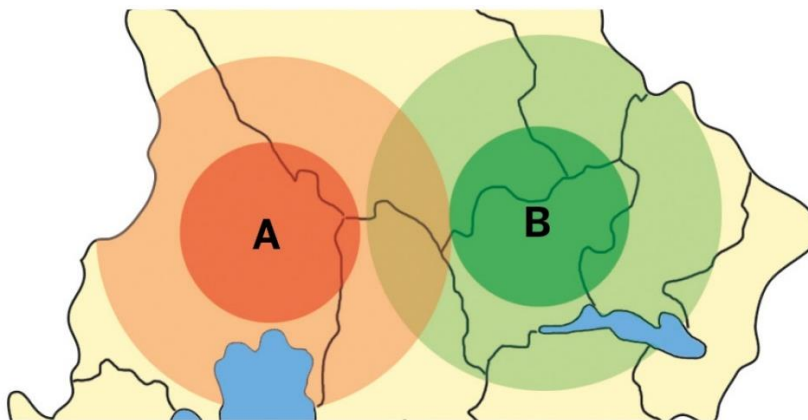
Skogsråvara är biomassa från träd, och innehåller stor variation i många olika egenskaper. Det går att beskriva och utnyttja variationen i egenskaper på olika nivåer från obearbetat trä hela vägen ner till molekylnivå. Med detaljerad kunskap om inverkan av olika råvaruegenskaper på industrins olika tillverkningsprocesser och slutprodukter kan hållbara värden (ekonomi och miljö) utvecklas för både skogssektorn och samhället.

Stora flöden, komplex logistik och variation i råvaruegenskaper

Industrins stora produktvolymen inom trä, fiber, kemi och energi bygger oftast på robust och storskalig teknik. Grundkraven på råvaror sätts genom gränsvärden som är lätta att mäta eller bedöma, till exempel stockdimensioner, trädslag eller rötfrihet. Dessa benämns sortimentskrav.

Tillverkningstekniken är anpassad för att kunna fungera även om råvaran har stor variation i egenskaper. De egenskaper det gäller är sådana som kan påverka processeffektivitet, råvaruåtgång, energiåtgång per enhet tillverkad produkt eller produkternas kvalitet.

Inom skogsindustrin finns flera skalfördelar och goda möjligheter att integrera produktionen av trävaror, massa/papper/fiber, delar av fibrer (fiberkomponenter), kemiprodukter och energi. Möjligheterna till integration har lett till en utveckling mot större skogsindustrienheter. Beroende på råvarutillgångar och konkurrensförutsättningar har utvecklingen även gått mot växande områden för virkesfångst (figur V34).



Figur V34 Skogsindustrienheter (fiktiva A och B) har blivit större och färre. Det kan leda till större fångstområden för virke. I de mörka zonerna motiverar lägre transportkostnader att all råvara som uppfyller minimikraven är intressant för den närbelägna industrin. De ljusa zonerna illustrerar områden där råvara som ger bättre utbyte kan väga upp högre transportkostnader. När de olika industrierna har

delvis olika krav på råvaran kan kunskapen om egenskaperna användas för bättre fördelning av råvaran mellan A och B. Efter Moberg & Wilhelmsson (2003).¹⁷⁸

Effektivare logistik

Effektivare logistik har blivit en allt viktigare del i ansträngningarna för att optimera råvaruflöden. Både transportkostnader och variationen i ved- och fiberegenskaper ökar med utvidgade fångstområden. Men enligt jämförande statistik för skogsindustrin mellan 2010 och 2016 hade utvecklingen mot färre och större industrienheter inte ökat medeltransportavståndet för vägtransporter från skogen till terminal eller industri.^{179,180} En del av förklaringen ligger i större möjligheter för färre, stora industrier att anskaffa mer råvara i närområdet när konkurrerande industrier lagt ner. Fler järnvägstransporter och terminaler har också möjliggjort effektivare och miljövänligare fjärrtransporter av råvara.

Byten av producerat virke mellan olika företag i syfte att minska transportavstånd, liksom mellanlagring på terminaler och industri ökar dock svårigheterna att klara spårbarhet, styrning och kontroll av detaljerade råvaruegenskaper från skörd till industriprocess.

Råvaruegenskaper och tillverkningsprocesser

Den digitala, tekniska och logistiska utvecklingen i skogsbruk och industri ökar möjligheterna att beskriva och hantera variation i skogsråvarans inre egenskaper. Detta är viktigt eftersom råvarans egenskaper påverkar effektiviteten i tillverkningsprocesser. Egenskaperna påverkar också fördelningen mellan utfallet av prioriterade huvudprodukter, alternativa produkter och avfall. Trots det är det oftast bara minimikraven för kvalitet inom ett sortiment som ligger till grund för betalning. En orsak är att det saknas teknik för att mäta, beräkna eller bedöma trädstammarnas inre ved- och fiberegenskaper redan i skogen. Idag mäter skördaraggregaten endast diameter och längd hos stammar och stockar, men med allt högre noggrannhet.

Klassning av trädslag och eventuell nedklassning, på grund av krökar, synliga skador och fel bedöms dock tills vidare av skördarföraren (2021).

Virkesaffärer kan innehålla olika former av prisjusteringar. De kan grundas på virkesköparnas bedömningar av trädens egenskaper och förväntade lämplighet för den köpande industrins processer och produkter. De grundas också på logistikkostnader samt på tillgång och efterfrågan.

För att utnyttja skogsråvara mer effektivt och värdeskapande behövs kunskap om hur olika egenskaper påverkar tillverkningsprocesser och slutprodukter. Vidare behövs kunskap om hur råvarans egenskaper varierar. Det behövs också teknik och logistik för att redan i skogen identifiera, styra och hantera skogsråvaran med hänsyn till egenskaper.

¹⁷⁸ Moberg, L. & Wilhelmsson, L. 2003. Nya beräkningsmodeller för vedegenskaper – ett verktyg för bättre utnyttjande av massaveden. Skogforsk. Resultat 3. 4 s.

¹⁷⁹ Andersson, G. & Frisk, M. 2013. Skogsbrukets transporter 2010. Skogforsk. Arbetsrapport 791. 39 s.

¹⁸⁰ Davidsson, A. & Asmoarp, V. 2019. Skogsbrukets vägtransporter 2016. En nulägesbeskrivning av flöden av biomassa från skog till industri. Skogforsk. Arbetsrapport 1007. 24 s.

Utvecklingen inom digitalisering, mätteknik, artificiell intelligens (AI) och beräkningsmodeller gör att ny mätteknik och beräkningsteknik i skogen kan integreras med ny mät- och processteknik vid industrin. På det sättet kan systemanalyser av både ekonomiska värden och miljöeffekter göras, från skörd och tillredning i skogen, via olika industriprocesser till berörda slutprodukter.

Mer om ny teknik för karakterisering, urval, tillredning och sortering beskrivs i avsnittet *Möjligheter att mäta, beräkna och utnyttja råvarans egenskaper vid planering och skörd*.

Var och hur i olika värdekedjor, från skörd till slutprodukter, som variation i råvaruegenskaper kan tas tillvara eller utjämnas beror på flera faktorer. Efterfrågan på traditionella och nya produkter, ekonomi, livscykelanalyser (LCA) och annan miljövärdering kommer att avgöra utvecklingen på längre sikt.

Samband mellan olika egenskaper i träden

Träd består av flera olika delar (stam, bark, grenar, barr/löv, skott, stubbar och rötter), var och en med variation i uppbyggnad och egenskaper. En del egenskaper är tydligt positivt eller negativt korrelerade (samvarierande), medan andra är i stort sett oberoende av varandra.

Exempel på starkt positivt korrelerade egenskaper hos både barr- och lövträd är torr-rådensitet¹⁸¹ och cellväggstjocklek. En annan starkt positiv korrelation är totala antalet årsringar i ett stamtvärnsnitt och antalet årsringar med kärnved. Låg densitet nära märm har samband med grova grenar och hög andel ungdomsved. Densitet korrelerar även positivt med böjstyvhet och brotthållfasthet hos trävaror. Kärnved hos tall har större beständighet mot biologisk nedbrytning än splintved. Kärnved hos gran har jämfört med splintved minskad benägenhet att ta upp fukt.

För massa/papper korrelerar densiteten och cellväggstjockleken positivt med rivstyrka och porositet, men negativt med fiberkollaps, dragstyrka och ytjämnhet. Hög densitet innebär också högt massautbyte per kubikmeter ved. Samma sak gäller energivärdet per kubikmeter vedmaterial.

Förutsättningar för att utnyttja trädens olika delar

Inom skogsnäringen finns en välutvecklad tradition, teknik och erfarenhet av hur trädstammar och restprodukter som bark, grenar och nedklassat virke kan separeras, transporteras och processas till skogsindustriprodukter. Det finns många länkar och samverkande processer hela vägen från skogen till industrin. Ett sågverk producerar till exempel olika trävaror, men samtidigt cellulosaflis till massa/pappersindustrin och spån till energi.

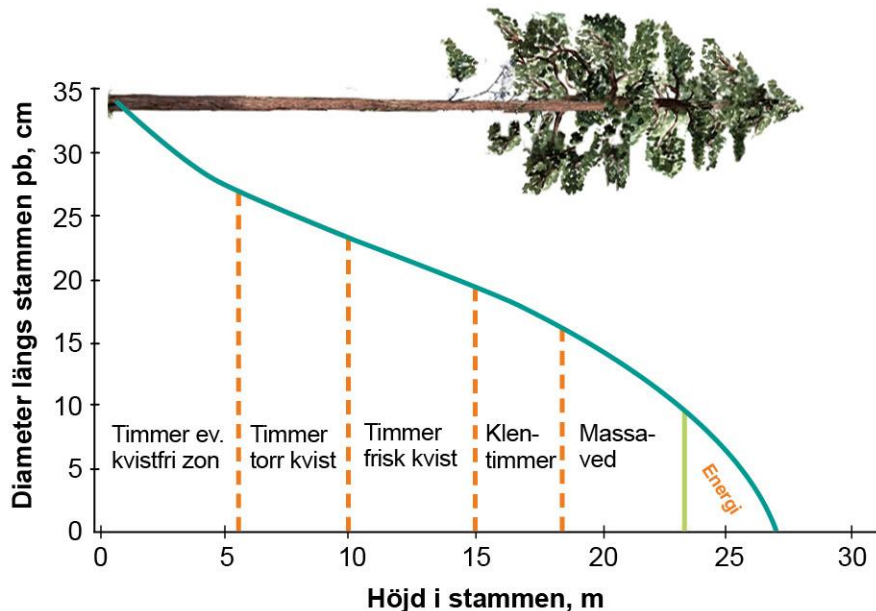
Om efterfrågade produkter, tillverkningsprocesser, industrilokalisering, samt tillgång och efterfrågan på råvara inte förändras, upplever aktörerna att systemet fungerar väl. Industriföreträdare talar om att det skogsindustriella ekosystemet (där även virkeskörd i skogen ingår) är moget och intrimmat.

¹⁸¹ Torr-rådensitet avser vikten utan vatten (torr) i relation till volymen med vatten, rått tillstånd. Torr-rådensiteten är det vanligaste sättet att uttrycka densitet för trä och virke. I texten används även uttrycket densitet för torr-rådensitet.

Bibehålls nuläget i stort kommer utvecklingen att inriktas på att effektivisera detaljer, delprocesser, digitalisering och automation. Fokus sätts då på att optimera utbytet (ekonomi och emissioner) av alla berörda värdekedjor och processer från råvaruproduktion till sålda slutprodukter.

Systemet med samverkande industriprocesser och logistik inom skogsnäringen har länge varit ganska likartat. Trots det kan man räkna med att det kommer ske förändringar i hur skogsråvara kommer att användas framöver. Kunskap om råvarans egenskaper, men också om processteknik, ekonomi, logistik, miljö, politik och marknad gör det möjligt att bättre svara mot nya krav och möjligheter att utveckla användning och förädling av skogsråvara. Det gäller både de stora linjerna och många små men viktiga detaljer.

Nyttjandet av trädets olika delar är ett omfattande område. Det här avsnittet tar upp en del aspekter, där grundläggande är hur en stam delas upp i olika typer av timmer, i massaved och energisortiment (figur V35).



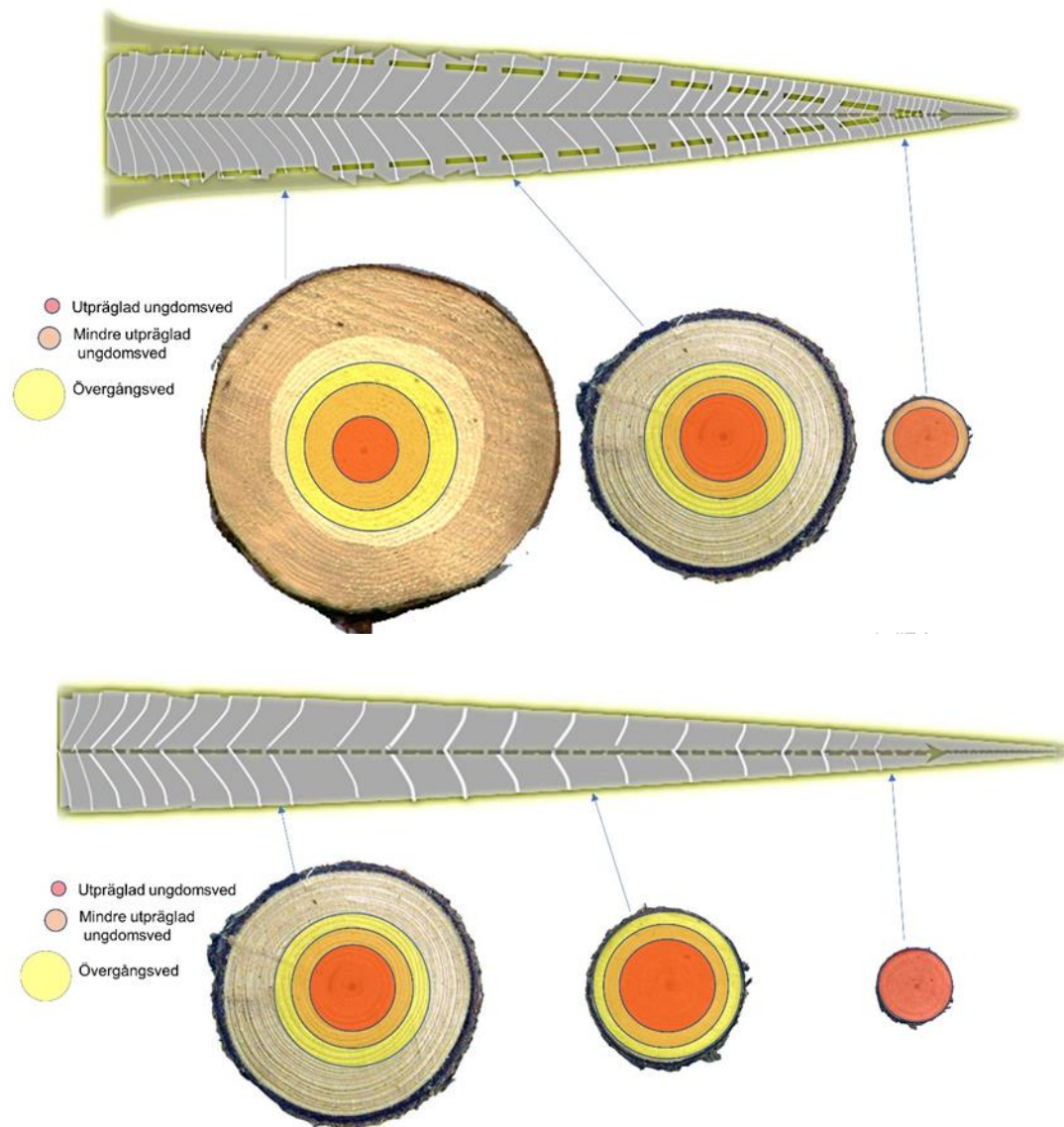
Figur V35 Uppdelning av en tallstam från rot till topp. Exempel på stamprofil från en grov tall utan synliga stamskador och aptering till timmer (virke anpassat för sågverksprocesser), massaved (anpassat för flisning och massaprocesser) och energived (anpassad för förbränning eller annan energiutvinning). Utöver stamveden tillkommer biomassa från grenar och eventuellt stubbar, till energi eller nya produkter och processer. Illustration: Bo Persson. Förlaga: Peter & Lars Wilhelmsson.

Variationer i både arv och miljö gör att träd som skördas i skogsbruket inte är likformiga. De är olika stora, har olika form, är olika gamla, har växt olika fort, och så vidare. Ett exempel är att ett trädets avsmalning mot toppen har betydelse för de geometriska och ekonomiska förutsättningarna att såga ut trävaror av olika dimensioner. I ett sågverk har sågteknik och postningsmönster¹⁸² betydelse för sågutbytet och egenskaperna hos de

¹⁸² Postning innebär att bestämma det geometriska mönster som en stock ska sågas upp efter, men också att ställa in avstånden mellan verktygen som ska sönderdela stocken.

producerade trävarorna. Av samma skäl påverkas mängd och egenskaper hos den sågverksflis som normalt produceras från splintveden närmast bark.

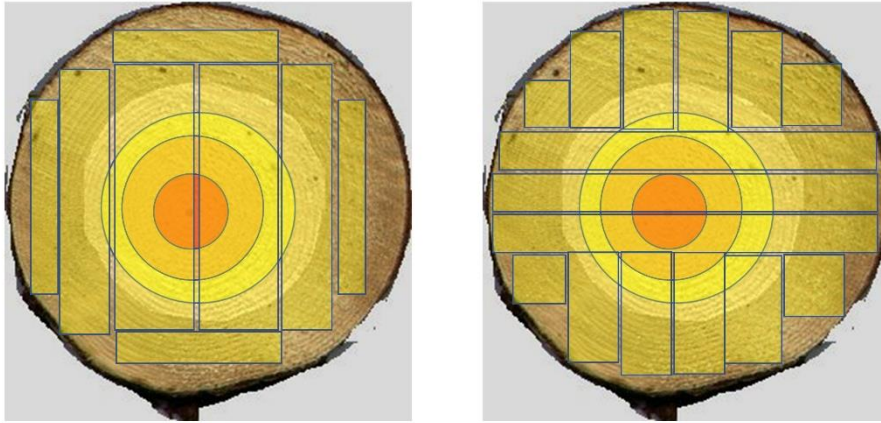
Hur stort och gammalt ett träd är har betydelse för hur det kan nyttjas på bästa ekonomiska sätt. Två ungefär lika stora träd kan ha mycket olika virkesegenskaper, avseende till exempel andel ungdomsved och kvistighet (figur V36).



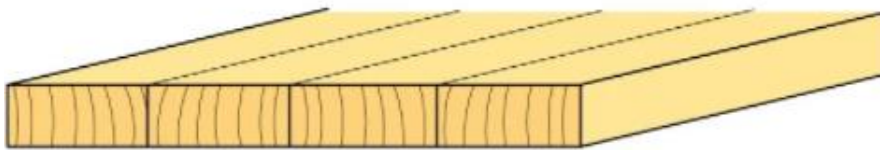
Figur V36 Två exempel på stamprofiler, en från en äldre (övre bilden) och en från en yngre gran som vuxit snabbare (nedre bilden). Variationen i egenskaper (här illustrerat med ungdomsvedsutvecklingen och kviststruktur) är stor både mellan och inom trädstammarna, från märke till bark och från rot till topp. En del av detta utnyttjas i industriprocesserna genom erfarenhet, urval av dimensioner, samt stock- och beståndstyper. En tydligare beskrivning av variationen i olika stammars och trädslags inre egenskaper ger nya förutsättningar att utnyttja virket bättre. Det mörknära virket, ungdomsveden, avviker mest närmast märken och sedan med progressiv utveckling alltmer likt egenskaperna i den mogna veden. Principerna för avvikelser i vedegenskaper närmast märken är likartade även för tall och andra barrträd. Lövträden har också avvikande egenskaper i den mörknära veden, men effekterna i egenskaper varierar med trädslagets vedanatomi. Illustration: Lars Wilhelmsson.

För bästa ekonomiska utbyte gäller att kombinera god kunskap om sågtimrets egenskaper från märke till bark och från rot till toppände, med kunskap om processteknik och geometri. Med olika postning går det att sönderdela en stock på flera sätt, vilket framgår av exempel i figur V37.

Mer om råvarans och sågteknikens betydelse beskrivs i avsnittet *Egenskaper hos sågtimmer*.



Figur V37 En stock kan sönderdelas på flera sätt. Till vänster ett exempel på vanlig så kallad fyråkning. Till höger ett sågmönster för att maximera sågutbytet och få fram trä där så kallade stående årsringar prioriterats (se figur V38). Illustration: Lars Wilhelmsson.¹⁸³



Figur V38 Exempel på sågutbyten med stående årsringar. Stående årsringar ger bra kontroll på formförändringar vid krympning och svällning och på materialets styrkeegenskaper. För gran och tall är böjstyvheten ungefär dubbelt så hög tvärs årsringarna (från märke till bark, horisontellt i bilden) som parallellt med årsringarna (parallellt årsringarna, vertikalt i bilden). Illustration: Svenskt Trä (2021).¹⁸⁴

Sågverksindustrin efterfrågar jämnhet och förutsägbarhet

Sågverkens krav på råvaruleverantörerna brukar inriktas på skadefrihet och tidsbestämda leveranser av antal stockar per diameter- och längdklass. Men eftersom träd är olika stora behöver trävaruproducenter planera för olika dimensioner av trävaror och för möjligheter att utveckla även de delar av sågtimret som inte kan ge plank, bräder eller andra solida trävaror, så kallade konsekvensprodukter.

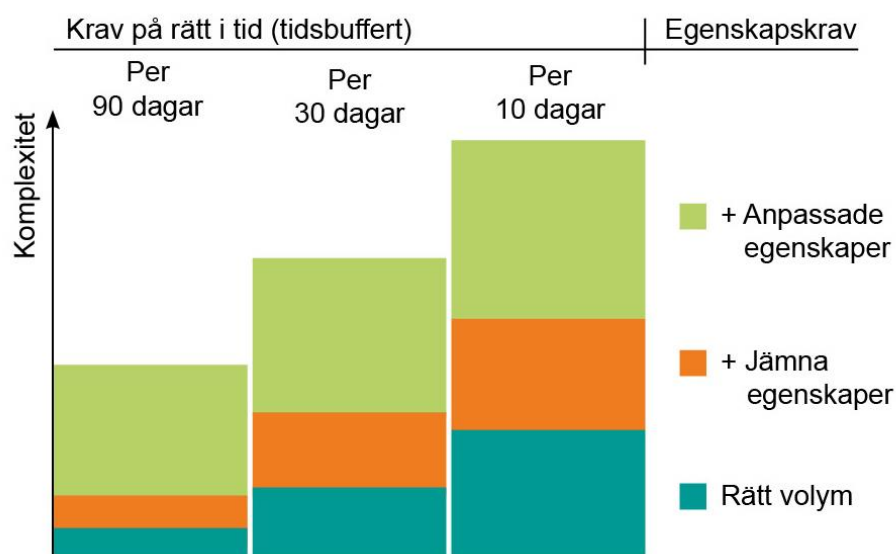
Om det löpande timmerflödet uppfyller ställda minimikrav och håller en jämn, förutsägbar fördelning på diameter- och längdklasser kan sågverket

¹⁸³ Efter förlaga från: Nylinder, M. & Fryk, H. 2017. Timmer. 4:e upplagan. SLU, inst. för skogens produkter. ISBN: 978-91-576-9030-2. 221 s.

¹⁸⁴ Svenskt Trä. 2021. Träguiden. Åtgärder. <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-egenskaper-och-kvalitet/formforandringar-och-atgarder/atgarder/> (Hämtad 2022-03-04.)

anpassa och trimma sin produktion, marknadsföring och försäljning. Det ger högre processeffektivitet och lönsamhet, minskat spill och lägre miljöbelastning.

Ju mindre timmerlager och ju mer detaljerade krav på timmerflödet desto svårare blir uppgiften att matcha leveranserna av råvara mot efterfrågade sågade produkter (figur V39). Detta är ett välkänt faktum som logistikorganisationer och råvaruansvariga vid träindustrin brottas med dagligen. Varken produktionssystem, virkesmarknad eller slutkunderna klarar av att fullt ut identifiera och utnyttja varierande råvaruegenskaper. Det medför också svårigheter att differentiera betalningen för råvara med olika, men inte identifierade egenskaper. Men det innebär inte att sådana egenskaper och egenskaper utöver uppställda minimikrav behöver sakna betydelse för tillverkningsprocesser och produktutfall.



Figur V39 Principskiss som illustrerar hur högre krav från kund ökar komplexiteten för logistikorganisationer och leverantörer i skogsbruket.¹⁸⁵ Lägsta kravnivån från till exempel ett sågverk, en massaindustri eller en energiproducent är rätt volym per 90 dagar. Högsta nivån på kraven uppkommer då kunden vill ha anpassade (utvalda eller sorterade) egenskaper med kort leveranstid. En utdragen tidsaxel innebär normalt att det finns lager vid industri och bilväg, eventuellt också terminaler, som kan buffra fluktuationer vid behov. Om lagret minskar ökar behovet av precisare avverkningsplanering för att nå rätt leveranser i rätt tid. Ökar kundens krav på att kunna producera med anpassade egenskaper kräver detta antingen bättre planeringsverktyg och operationella rutiner, som inkluderar egenskaper hos råvaran, och/eller större buffertlager och/eller större färdigvarulager.

Möjligheter att utnyttja variation i virkesegenskaper

Många industrieföreträdare framhåller att deras investeringsvilja i svenska industriprojekt bygger på att skogsbruket kan förväntas leverera råvara med stabila, förutsägbara egenskaper i tillräcklig mängd. Vidare ökar kraven på

¹⁸⁵ Andersson, G. & Wilhelmsson, L. 2014. Skogens erbjudande till industrikunder. I: Rådström, L. & Thor, M. (red). Skogsnäringens värdekedjor. Definition, dagsläge och angelägna utvecklingsområden. KSLAT nr 1–2014, s. 16–24.

att skogsbruket kan visa att råvaran producerats genom hållbart brukande, till exempel genom certifiering och livscykelanalyser.

Kan skogsbruket erbjuda sortiment med mer specificerade och ändamålsanpassade egenskaper än idag kan det medföra nya förutsättningar för råvaruanvändning. Där ingår möjligheter för ökad samverkan mellan enskilda industrier och skogsbruket liksom utvecklad produktionssamverkan mellan olika industrisegment. Men det kan också innebära ökad konkurrens om en del av råvaran.

Nya mät- och beräkningstekniker kan kombineras med utvecklingen inom digitalisering. Kopplingar och analyser av stora datamängder, liksom artificiell intelligens kan öppna flera nya möjligheter till mer långtgående råvarukarakterisering. Det ger nya förutsättningar för process- och produktanpassat urval samt tillredning av rundvirke och biomassa för specifika processer och produkter redan i skogen. Löpande analyser av ekonomi och miljöeffekter från skörd i skogen till färdiga slutprodukter kommer att avgöra hur de nya möjligheterna kan komma till användning.

Om en produkt eller tillverkningsprocess kräver höga värden för flera nyckelegenskaper som är starkt negativt korrelerade till varandra, kan det bli svårt att hitta stora mängder råvara med rätt kombination av nyckelegenskaperna. Då ökar behovet av ingenjörsmässiga lösningar för att uppnå önskade egenskaper hos slutprodukten.

Möjligheterna att ta tillvara, utjämna eller kombinera variation i råvaruegenskaper blir frågor för både skogen och industrin, där kostnader och intäkter, livscykelanalyser och andra miljökonsekvenser är avgörande.

Mer om skogsbrukets förutsättningar och att utveckla möjligheterna till kundanpassad råvara från skördemogna träd tas upp i avsnittet *Möjligheter att mäta, beräkna och utnyttja råvarans egenskaper vid planering och skörd*.

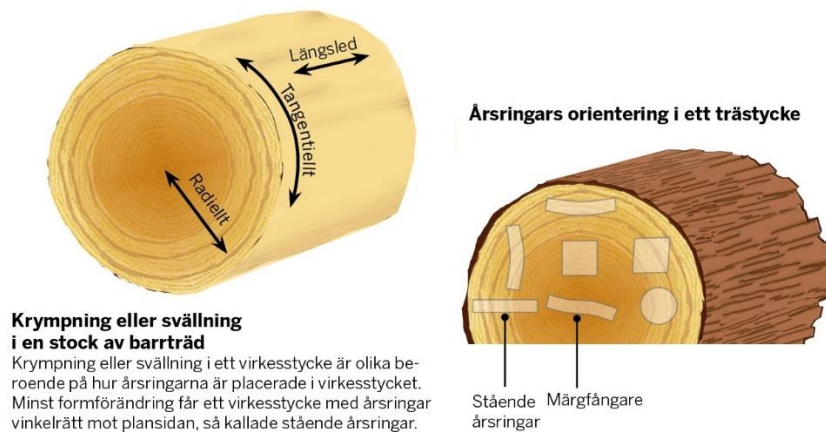
Fysiska och mekaniska virkesegenskaper av betydelse för olika träanvändning

Egenskaper hos virke för användning till olika träprodukter kan delas upp i fysiska och mekaniska egenskaper. Många av egenskaperna påverkar både tillverkningsprocesser och utfallet av godkända slutprodukter.¹⁸⁶ En del egenskaper kan även påverka möjligheterna att tillverka nya produkter med förbättrade egenskaper eller effektiviteten hos nya tillverkningsprocesser.

Egenskaper hos sågtimmer

I figur V40 och faktarutan nedan beskrivs fysiska egenskaper hos sågtimmer för träprodukter respektive mekaniska egenskaper hos solida träprodukter. I beskrivningarna används uttrycket "tvärs stammen" synonymt med radiell variation och "längs stammen" för longitudinell variation.

¹⁸⁶ Wilhelmsson, L. 2005. Characterisation of stem, wood and fiber properties – industrial relevance. Skogforsk. Arbetsrapport 590. 29 s.



Figur V40 Trä har inte samma fysikaliska och tekniska egenskaper i olika riktningar (anisotropi). Anisotropin varierar med geometrin i en stock, årsringsutveckling och andra virkesegenskaper. Detta är viktig kunskap eftersom det har betydelse för möjligheterna att göra produkter med önskade egenskaper. Förlaga: Svenskt Trä (2020).¹⁸⁷ Illustration: Bo Persson.

Fysiska egenskaper hos sågtimmer för träprodukter:

Stammarnas och stockarnas dimensioner. Längd, diameter utmed stammen, rakhet och rundhet (ovalitet) avgör vilka fysiska sågutbyten som är möjliga att producera effektivt.

Torr-rådensitet (torr vikt delad med rå volym; används normalt för beskrivning av veddensitet hos rundvirke) beror av vedcellernas storlek, hålrum, cellväggstjocklek och andra cellstrukturer. Torr-rådensiteten varierar mellan och inom trädslag (radiellt från märg till bark och mellan vår- och sommarved) samt längs med trädstammar. Tvärsnitt från tallstammar beräknas variera mellan 330 och 500 kg/m³, och från granstammar mellan 300 och 450 kg/m³.^{188,189} För björk varierar veddensiteten mellan 430 och 540 kg/m³.¹⁹⁰ Veddensiteten påverkar flertalet mekaniska och fysiska egenskaper hos trävaror och inverkar även på olika tillverkningsprocesser.

Rå-densitet (rå vikt delat med rå volym). Påverkar transportvikter, lagring, såg- och torkprocesser. Enbart rå-densitet har inga eller mycket svaga samband med torr-rådensiteten för hela stockar eller tvärsnitt eftersom den består av både ved och varierande andelar vatten.¹⁹¹

¹⁸⁷ Svenskt Trä. 2020. Att välja trä. En faktskrift om trä. Utgåva 10:2020. 164 s. <https://www.svenskttra.se/siteassets/5-publikationer/pdf/avt-2020-72ppi.pdf> (Hämtad 2022-03-04.)

¹⁸⁸ Wilhelmsson, L., Arlinger, J., Spångberg, K., Lundqvist, S.-O., Hedenberg, Ö., Olsson, L. & Grahn, T. 2002. Models for predicting wood properties in stems of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* in Sweden. *Scand. J. For. Res.* 17: 330–350.

¹⁸⁹ Wilhelmsson, L. Skogforsk. Opublicerat.

¹⁹⁰ Tamminen, Z. 1970. Fuktighet, volymvikt m.m. hos ved och bark. 3, Björk. Skogshögskolan, institutionen för virkeslära. Rapporter 63.

¹⁹¹ Wilhelmsson, L. & Moberg, L. 2004. Viktsutredning – Råvolymvikter. Prognos för medelvärden och spridningsmått med hjälp av beräkningsmodeller och vägning vid mätstationer. Skogforsk. Arbetsrapport 569. 37 s.

Fuktvariation radiellt (från märm till bark) längs stammen. Fukthalten (vattnets andel av råvikten) varierar för både gran och tall tydligt mellan kärnved (25–35%) och splintved (50–70%). Variationen mellan splintved från enskilda träd inom ett bestånd är normalt betydligt större än för kärnveden.^{192,193}

Volymkrympning vid torkning (från 30 % till 12 % fuktkvot)¹⁹⁴

- Radiellt (tvärs stammen/årsringarna), tall och gran ~ 2 %, björk ~ 2,5 %
- Tangentiellt (längs med årsringarna i tvärsnitt), tall, gran, björk ~ 4 %
- Longitudinellt (längs stammen, med fiberriktningen), ~ 0,1–0,35 %.

Olika träslag krymper delvis olika. Inom träslag ger virke med högre torr-rådensitet normalt något ökad krympning jämfört med virke med lägre densitet.

Den longitudinella volymkrympningen är obetydlig eftersom fiberriktning sammanfaller med sågutbytets längdriktning, men ger formfel om fibervinkeln förändras mycket i radiell riktning. Volymkrympningen skiljer stort mellan olika träslag och påverkar därmed både virkets behandling och användande i produkter.

Beständighet mot biologisk nedbrytning. Påverkas genom förekomst av kärnved och extraktivämnen samt av cellstruktur och fuktabsorption.

Frisk, torr, urfallande eller rötad kvist. Påverkar ytegenskaper, bearbetbarhet och utseende på synligt trä, skivor, reglar, golv, lister och möbler. Stor påverkan på kritisk brotthållfasthet för vanliga sågade trävaror, men ett betydligt mindre problem för tillverkade byggelement som limträbalk och korslimmat trä (KL-trä) (se nedan).

Fibervinklar och mikrofibrillvinklar (fibervinkel relativt sågutbytets längdriktning, och mikrofibrillvinkeln relativt fibervinkeln). Har stor betydelse för mekaniska egenskaper i vedens olika riktningar liksom konsekvenserna av krympning och svällning på grund av fukt.

Fiberriktningar, fiberstörningar och årsringsmönster. Har betydelse för estetiska egenskaper hos synligt trä, bearbetbarhet och för mekaniska egenskaper.

Termiska egenskaper. Har betydelse för värmeisolering och värmeledning, samt mekaniska egenskaper vid temperaturförändringar.

Eftersom egenskaper hos virket i olika delar av en stam skiljer sig åt är det viktigt att veta var och hur trämateriallet sågas ut. Till exempel skiljer sig egenskaperna hos märmnära virke på många sätt från egenskaperna i den

¹⁹² Wilhelmsson, L. & Moberg, L. 2004. Viktsutredning – Råvolymvikter. Prognos för medelvärden och spridningsmått med hjälp av beräkningsmodeller och vägning vid mätstationer. Skogforsk. Arbetsrapport 569. 37 s.

¹⁹³ Wilhelmsson, L. Skogforsk. Opublicerat.

¹⁹⁴ Esping, B. 1985. Handbok i virkestorkning. Förkortad skolupplaga. Träteknikcentrum. Rapport serie P nr 35. 285 s.

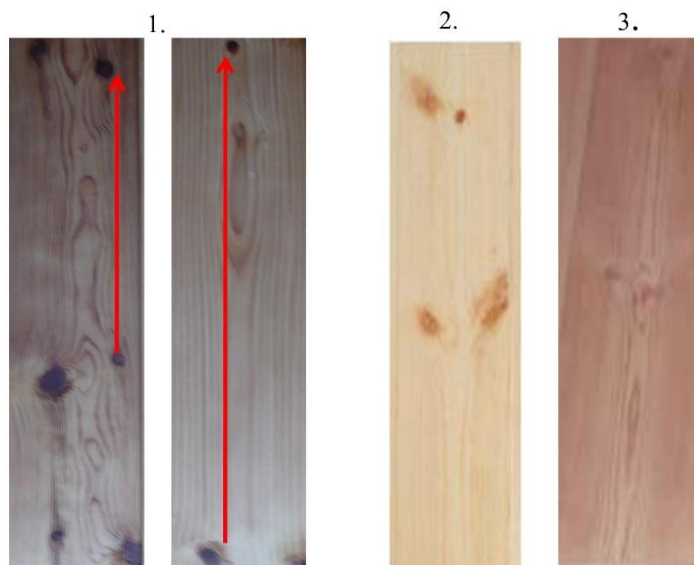
yttre delen av en stamprofil. Samtidigt finns det en betydande variation mellan stockar med samma yttre dimensioner. Bättre information om stockarnas inre egenskaper kan därför påverka egenskaperna hos de plank och bräder som sågas för olika användning och vidareförädling.

För utomhuskonstruktioner eller vid annan risk för fuktproblem behöver även skillnader i virkets beständighet och möjligheter till olika former av ytbehandlingar eller impregnering av träet beaktas. Vid tillverkning av träbaserade konstruktionselement (EWP, Engineered Wood Products) kan skillnader i träkomponenternas fuktkvot göra att de krymper eller sväller olika mycket. Det kan leda till problem vid limning och ge oönskade spänningar i slutprodukterna.

Mekaniska egenskaper hos vidareförädlade träprodukter beskrivs med olika hållfasthetsmått och styvhetsmått för böjning dragning, tryck och skjuvning i olika riktningar. Beständighet i olika egenskaper påverkas av förekomsten av fukt, i synnerhet i kombination med värme eftersom värme gynnar mikrobiell nedbrytning av veden.

Fuktvariation i virke leder till svällning och krympning, spänningar, sprickbildning och forminstabilitet. Med högre fuktkvot (upp till 30 %, det vill säga fibermättnadspunkten) och högre temperatur påverkas även styvhet och brotthållfasthet negativt.

Hög kontinuerlig belastning förändrar också virkets styrkeegenskaper. Fenomenet kallas för krypning. Solens UV-ljus påverkar med tiden ytan på oskyddat trä, till exempel estetiska och akustiska egenskaper. Betydelsen av egenskaperna hos vidareförädlade träprodukter varierar med egenskapernas funktion för produkten. Funktionen hos en träprodukt skiljer sig åt för till exempel en takstol, en väggregel, ett korslimmat träelement (KL-trä), ett fönster eller en dörrkarm. I figur V41 ges exempel på några egenskaper hos sågade trävaror som kan vara intressanta att utnyttja bland annat för effektivare tillverkning av vidareförädlade träprodukter.



Figur V41 Exempel på några egenskaper hos virke som påverkar lämplig användning på ett tydligt sätt. Avstånd mellan grenvarv (1) har stor betydelse för ekonomin vid produktion av kvistfria ämnen som fingerskarvas till exempelvis fönsterkarmar och dörrkarmar. Kviststorlek och antal kvistar (2) liksom veddensitet är avgörande för brotthållfasthet och ytegenskaper hos sågade trävaror, medan kvisten får liten eller ingen betydelse för hållfastheten hos limträbalkar och korslimmat trä. Kvistar och formfel kan dock ge oönskade problem i tillverkningen. Kvisttyp (2) (frisk, torr eller rötad), antal kvistar och deras fördelning påverkar det visuella intrycket, bearbetbarhet och ytfinish, vilket kan ha stor betydelse för synligt trä. Kärnveden med extraktivämnen (3, tallplanka) ökar beständigheten mot mikrobiell nedbrytning. Ytans utseende (färgton, med mera) påverkas också. Kärnveden hos gran har mindre benägenhet att ta upp fukt, något som också kan öka beständigheten. Bild: Lars Wilhelmsson.

För klassning av hållfasthet och styvhet hos konstruktionsvirke finns en europeisk standard (EN338). Med utgångspunkt i standardiserad testmetodik tilldelas det sågade virket C-klasser med definierade egenskaper enligt tabell V7. Dessa är normgivande för bärande träkonstruktioner och motsvarande klasser gäller (2021) även för limträbalkar och KL-trä. Notera att C-klasserna benämns utifrån hållfastheten vid böjning parallellt med fibrerna och att vanligt konstruktionsvirke har väldigt olika styrkeegenskaper vid belastning i olika riktningar. Styrkeegenskaperna korrelerar med vedens densitet som i standarden avser densitet vid 12 % fuktkvot (se förklaring i noteringen under tabellen). Längst ner i tabellen anges medelvärden och så kallade karakteristiska gränsvärden för densitet och C-klass.

Hållfasthetsegenskaper hos trä ändras när fuktkvoten ändras upp till fibermättnadspunkten (tabell V8).

Tabell V7 Densitet vid 12 % fuktkvot (kg/m^3) för konstruktionsvirke, här exemplifierat av hållfasthetsklasserna C14, C24 och C30. Baserad på värden från SS-EN 338:2016 och motsvarande tabell 3.3. Standarden anger hållfasthets- och styvhetsvärden i olika riktningar samt de beteckningar som dessa anges/förkortas med. Tolv olika C-klasser finns definierade från C14 till C50. Egenskaper för olika C-klasser anges för virke med 12 % fuktkvot. Källa: Svenskt Trä (2019).¹⁹⁵

Egenskaper	C14	C24	C30
Hållfasthet i olika riktningar			
Böjning parallellt med fibrerna $f_{m,k}$	14	24	30
Dragning parallellt med fibrerna $f_{t,0,k}$	7,2	14,5	19
Dragning vinkelrätt mot fibrerna $f_{t,90,k}$	0,4	0,4	0,4
Tryck parallellt med fibrerna $f_{c,0,k}$	16	21	24
Tryck vinkelrätt mot fibrerna $f_{c,90,k}$	2,0	2,5	2,7
Längsskjuvning $f_{v,k}$	3,0	4,0	4,0
Styvhetsvärden för analys av bärförmåga			
Elasticitetsmodul $E_{0,05}$	4 700	7 400	8 000
Styvhet för deformationsberäkningar, medelvärden			
Elasticitetsmodul parallellt med fibrerna $E_{0, \text{mean}}$	7 000	11 000	12 000
Elasticitetsmodul vinkelrätt mot fibrerna $E_{90, \text{mean}}$	230	370	400
Skjuvmodul G_{mean}	440	690	750
Densitet, 12 % fuktkvot (för omräkning till torr-rådensitet se Notera nedan)			
Densitet ρ_k karakteristiskt värde ¹⁾	290	350	380
Densitet ρ_{mean} ²⁾	350	420	460

¹⁾ ρ_k motsvarar 0,05-percentilen. ²⁾ ρ_{mean} motsvarar klassens mittvärde (0,50-percentilen).

Notera: Torr-rådensiteten motsvarar ca $0,83 \times$ densiteten vid 12 % fuktkvot. Beräkningen baseras på effekter av volymkrympning från 30 % till 12 % fuktkvot och viktnedgång för vattnet vid 12 % fuktkvot till absolut torr ved.

Tabell V8 Ungefärlig ändring av hållfasthetsegenskaper hos felfritt trä när fuktkvoten ändras med en procentenhet upp till fibermättnadspunkten (fuktkvoten då maximal mängd bunden fukt finns i träet; är ca 30 % vatten av den absolut torra vikten). Källa: Svenskt Trä (2017).¹⁹⁶

Egenskap	Ändring (%)
Tryckhållfasthet i fiberriktningen	5
Tryckhållfasthet tvärs fiberriktningen	5
Böjhållfasthet	4
Draghållfasthet i fiberriktningen	2,5
Draghållfasthet tvärs fiberriktningen	2
Elasticitetsmodul i fiberriktningen	1,5

Egenskaper hos vidareförädlade träprodukter

Träbaserade konstruktionselement (Engineered Wood Products, EWP) är samlingsnamnet för en stor grupp ingenjörsmässigt tillverkade träprodukter med förbättrade mekaniska och/eller fysiska egenskaper jämfört med vanliga solida träprodukter som plank och brädor. Precis som för andra

¹⁹⁵ Svenskt Trä. 2019. Dimensionering av träkonstruktioner. Regler och formler enligt Eurokod 5. Del 2. Projektledare Johan Fröbel. <https://www.svenskttra.se/publikationer-start/publikationer/dimensionering-av-trakonstruktioner/> (Hämtad 2022-03-04.) 58 s.

¹⁹⁶ Svenskt Trä. 2017. Trä och fukt. <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-egenskaper-och-kvalitet/fuktegenskaper1/tra-och-fukt/> (Hämtad 2022-03-04.)

material är beständigheten för träbaserade konstruktionselement också beroende av att inte felaktigt exponeras för fukt och mögel.^{197,198} Det är därför viktigt att byggkonstruktioner utförs så att risken för fukt- och mögelskador minimeras.

Det ökade industriella byggandet med bland annat större och högre byggnader i trä har ökat marknaden för vidareförädlade byggelement (figur V42).^{199,200,201,202} Den här utvecklingen förändrar betydelsen av olika egenskaper hos råvaran. Till exempel minskar de direkta effekterna av kvist i de ingående solida träelementen medan vedmaterialets densitet, fiber- och fibrillriktningar har fortsatt stor betydelse. Formstabilitet och processbarhet vid tillverkning av byggelement blir allt viktigare, liksom möjligheterna att kombinera högre och lägre virkeskvaliteter efter varierande krav. Dessutom förändrar förädlade byggelement produktionsprocesserna för byggande.



Figur V42 Korslimmat trä (KL-trä) ger möjligheter att tillverka stora monteringsfärdiga träelement effektivt i fabrik samtidigt som det möjliggör högre konstruktioner av flerfamiljshus och effektiviserar byggprocessen. Foto vänster: Martinsons /Jonas Westling. Foto höger: Lars Wilhelmsson.

¹⁹⁷ Ringhofer, A. & Schickhofer, G. 2014. Multi-Storey Residential Buildings I: CLT – Interdisciplinary Principles of Design and Construction. World Conference on Timber Engineering, Quebec City. 7 s.

¹⁹⁸ Singh, T., Page, D. & Simpson, I. 2019. Manufactured structural timber building materials and their durability. *Construction and Building Materials* 217: 84–92.

¹⁹⁹ Hildebrandt, J., Hagemann, N. & Thrän, D. 2017. The contribution of wood-based construction materials for leveraging a low carbon building sector in Europe. *Sustainable Cities and Society* 34: 405–418.

²⁰⁰ Albee, R.R. 2019. Global Overview of the Cross-Laminated Timber Industry. Oregon State University. Master Degree thesis.

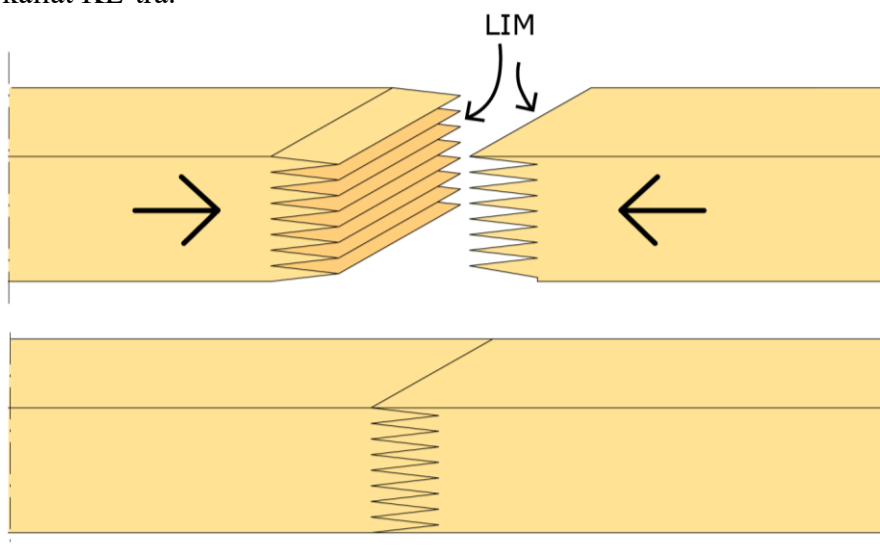
²⁰¹ Sandak, A., Brzezicki, M. & Sandak, J. 2020. Trends and perspectives in the use of timber and derived products in building façades. I: *New Materials in Civil Engineering*. s. 333–374.

²⁰² Trähusbarometern. 2021. Statistik för Trähusbranschen (Sverige) Nr 1, Trä och möbelföretagen. 5 s. <https://www.tmf.se/siteassets/statistik/statistiska-publikationer/trahusbarometern/trahusbarometern-1-2021.pdf> (Hämtad 2022-03-04.)

Fingerskarvning för att erhålla kvistfria ämnen är en beprövad teknik som har vidareutvecklats under senare år (figur V43). Långa avstånd mellan kvistvarven (figur V41), inte för breda kvistvarv och tillräckligt hög densitet hos insatsvaran (primära sågutbyten) ökar utbytet vid framställning av exempelvis kvistfria fönster- och dörrämnen samt reglar.

Vid fingerskarvning börjar produktionen med val av lämpliga sågutbyten. Därefter skannas kvistvarven i sågutbytena. Resultatet styr en kapsåg där kvistvarven kan kapas bort samtidigt som de helt eller delvis kvistfria ämnena fräses för fingerskarvning. Detaljerade studier av effektivitet och kvalitet i produktion av fingerskarvade ämnen visar att råvarans egenskaper har stor inverkan.²⁰³ I nästa steg limmas ämnena till olika produkter eller kravspecifikationer.

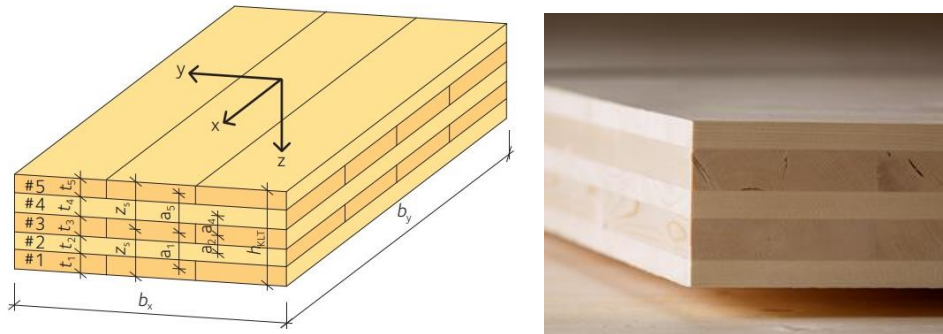
Fingerskarvning utan utsågning av kvistvarven används även för hållfast skarvning av sågutbyten till exempelvis limträbalkar och korslimmat trä, så kallat KL-trä.



Figur V43 Fingerskarvning är en beprövad och generellt användbar metod för hållfast skarvning av trä, genom fingerfräsning av ändytor som limbetryks och sammanfogas. Vid framställning av kvistfritt karmvirke skannas först ytorna på utvalda partier av dimensions- och kvalitetsanpassade sågutbyten för identifiering av kvistvarv. Varje skannat sågutbyte körs sedan genom en integrerad, högpresterande, kombination av kapsåg och fingerskarvsfräs. De utsågade ”fingrarna” limbetryks och ämnena sammanpressas sedan till önskade längder. Illustration: Svenskt Trä.

Korslimmat trä (KL-trä, CLT på engelska). Korslimmat trä byggs upp av tre, fem eller sju lager hållfasthetsklassade, korslimmade och i längdriktningen fingerskarvade sågutbyten (figur V44). Normalt ställs högre krav på densitet, formstabilitet och ytegenskaper på de yttre lagren än på de inre.

²⁰³ Broman, O. & Fredriksson, M. 2012. Wood material features and technical defects that affect yield in a finger joint production process. Wood Material Science & Engineering 7: 167–175.



Figur V44 Korslimmade träelement (KL-trä) byggs normalt upp av 3, 5 eller 7 korslimmade lager av lameller/sågutbyten med varierande dimensioner. Beroende på ändamålet byggs elementen upp i olika huvudriktningar för att ge högsta styvhet och brotthållfasthet i ytskiktens längdriktning (x-led i bilden, det vill säga längs ytskiktens fiberriktning). Om elementet utsätts för samtidig belastning i y- och z-led uppkommer så kallad rullskjuvning, vilket är viktigt att undvika i både byggnadskonstruktioner och designen av träelementen. Illustration: Svenskt Trä (vänster). Foto: Martinsons Trä, Pressbildbanken (beskuren, höger).

Korslimmat trä kan ta upp och fördela laster i alla tre bärriktningar: längsled, tvärlädd och vinkelrätt mot skivans plan. Tekniken med korslimning gör det möjligt att jämna ut styrkeegenskaperna längs och tvärs (90°), och även diagonalt (45°) i byggelementen.

Korslimning i flera skikt och riktningar med många ingående skiktvis fingerskarvade trälameller utjämnar de enskilda lamellernas variation i mekaniska egenskaper så att till exempel kvistar inte blir kritiska för brotthållfastheten. Riktningen på de korslimmade sågutbytena i skikten och antalet skikt utformas för att optimera styrkeegenskaperna för viss användning. I många fall kan kraven på de inre lamellernas styrkeegenskaper ställas lägre än på de yttre.

Så kallad rullskjuvning är normalt den mest kritiska styrkeegenskapen vid dimensionering av korslimmade träelement i bärande konstruktioner. Om träelementen är oskyddade och obehandlade är det viktigt att de inte utsätts för fukt eftersom korslimningen i sig inte ökar beständigheten hos de ingående lamellerna.

I kombination med fingerskarvning kan mycket stora väggelement eller andra konstruktioner byggas och hanteras redan vid industri. För närvarande (2021) är största storleken cirka $3 \text{ m} \times 16 \text{ m}$. Elementen designas med färdig utsågning av alla detaljer som till exempel plats för fönster och dörrar eller andra utskärningar. I fabriken görs detta från ritning via CNC (Computer Numerical Control), vilket gör det möjligt att automatiskt detaljstyra processen till färdigproducerade block. Vid designen av blocken ingår lösningar för effektiv frakt och montering på byggarbetsplatsen.²⁰⁴

Utsågningen av plats för fönster och dörrar i de solida elementen ger betydande spill. Värdeskapande tillvaratagande av detta spill är ett viktigt utvecklingsområde för korslimmade träelement.

²⁰⁴ Filmer som visar hur korslimmade träelement tillverkas och används i byggnader kan ses på Youtube. Exempel på sökord: CLT, youtube.

Limträbalkar. Limträ är liksom korslimmat trä en vidareförädlad träprodukt med stabiliserade styrkeegenskaper. Det uppnås liksom för korslimmat trä genom statistisk utjämning av kvistansamlingar och eventuella svagare punkter hos de enskilda ingående vanliga sågutbytena, vilka benämns lameller. Till skillnad från korslimmat trä byggs dock limträbalkar med alla lameller i samma riktning. På det sättet maximeras hållfastheten hos en limträbalk i den kritiska riktningen. Även i limträ används fingerskarvning och flera skikt. Det gör att balkar med stora spann tål hög och kontinuerlig långtidsbelastning (figur V45).

Tekniken med limträ är över 100 år gammal och finns i mängder av bärande träkonstruktioner över hela världen.



Figur V45 Limträbalkar består av fingerskarvade lameller (brädor) som limmas ihop till balkar i olika dimensioner och hållfasthetsklasser. Till skillnad från KL-trä orienteras alla lamellerna (torkat, sorterat, sågat och hyvlat virke) i samma riktning. Fingerskarvar, kvistvarv, med mera, fördelas så att eventuella brottanvisningar i enskilda lameller inte sammanfaller i vertikalled och därmed utjämnar styrkeegenskaperna.²⁰⁵ Ibland tillverkas limträ med lameller av samma hållfasthet men det är vanligt att starkare virke används till de yttre delarna i balkarna som får större belastning enligt samma princip som en I-balk i stål. En rad ytterligare detaljer kan tillkomma beroende på användning. Längder upp till 35 meter och höjder på upp till drygt 1,7 m förekommer på svenska marknaden. Foto: Martinsons/Jonas Westling.

Egenskaper hos skivor gjorda av skogsråvara

Världsmarknaden för olika typer av skivor²⁰⁶ (figur V46) och kompositmaterial har vuxit kraftigt. Under perioden 2000–2019 ökade produktion av MDF-skivor (Medium Density Fiberboards), HDF-skivor (High Density Fiberboards) och OSB (Oriented Strand Board) för hela Europa inklusive

²⁰⁵ Oja, J. & Häggström, U. 2009. Inverkan från kvist i närheten av fingerskarvar. Träcentrum norr. SP Rapport 2009:37. Skellefteå. 26 s.

²⁰⁶ Se till exempel: Svenskt Trä. 2021. Bra att veta om träskivor. <https://www.byggbeskrivningar.se/allmant/bra-att-veta-om-traskivor/> (Hämtad 2021-03-04.)

Ryssland med 200 % mellan 2000 och 2019. Samtidigt ökade produktionen av sågade trävaror i samma område med 33 %.^{207,208}



Figur V46 Från vänster: 1. En hårdpressad boardskiva (fram och baksida; typen av skiva är känd i Sverige under varumärket Masonit). 2. En spånskiva uppifrån och i två olika tvärsnitt. 3. OSB-skivor som gjutformar. 4. MDF-skiva fräst och målad yta, respektive omålade genomskärning. Generellt för de olika typerna av skivor är att vedens ursprungliga egenskaper har mindre betydelse än i solida trävaror. Däremot är lim, fyllnadsmaterial, värmebehandling, kompression, med mera, i tillverkningsprocesserna desto viktigare. Eftersom behandling mot bland annat fukt och mögel utgör miljöproblem (till exempel formaldehyd) kan både råvarans egenskaper och biobaserade lim, fyllnadsmaterial med mera få ökad betydelse framöver. Foton: Lars Wilhelmsson.

²⁰⁷ Barbu, M.C. & Paulitsch, M. 2015. Development of Wood-Based Products Worldwide. *Pro Ligno* 11(4): 104–109.

²⁰⁸ FAO. 2021. FAOSTAT. Forestry Production and Trade.
<https://www.fao.org/forestry/statistics/en/> (Hämtad 2022-03-04.)

Generellt sett har vedkomponenternas egenskaper i skivor inte samma betydelse som i solida träprodukter eller i träbaserade konstruktionselement (EWP).²⁰⁹ Ju mer sönderdelad fiberråvaran är och ju mer av andra stabiliserande komponenter och ytbehandlingar som till exempel plaster och formaldehyder (med negativa miljöeffekter) som ingår, desto mindre betydelse får själva biomaterialets egenskaper.

Forskning och utveckling för att ersätta formaldehyder med biobaserade lim för produktion av MDF och OSB har gjort framsteg, men motståndskraft mot fukt utgör fortfarande ett problem för de biobaserade alternativen²¹⁰. Det finns positiva effekter av att använda kärnved från tall, men också identifierade skillnader mellan kärnved i yngre (40-åriga) och äldre (cirka 120-åriga) träd. I en jämförande studie av kärnved från yngre och äldre tallar visades flera positiva miljö- och styrkeegenskaper hos de producerade skivorna från yngre tallar än från äldre.²¹¹ Resultaten kan dock variera med olika tillverkningsprocesser och optimerade kombinationer av råmaterial och tillverkningsprocesser. Även andra biobaserade komponenter som halm kan användas vid tillverkning av skivor som exempelvis MDF.²¹²

Ytegenskaper som hårdhet, slittålighet och fuktavvisning kan vara mycket goda i träbaserade skivor. Däremot är mått på hållfasthet som elasticitetsmodul²¹³ och brotthållfasthet tvärs och längs med skivorna betydligt lägre än i till exempel plywoodskivor som har stora likheter med korslimmat trä, KL-trä. Plywood, eller kryssfanér, byggs liksom KL-trä upp med korsvis limmade, men med tunnare, knivskurna eller svarvade fanérsikt. Det ger skivor med hög styrka, formbarhet och slutlig formstabilitet. Liksom för andra skivtyper kan beständighet och känslighet för fukt förbättras genom limtyper och ytbehandlingar.

Fiberegenskaper hos massaved för massa och papper

Vid produktion av pappersmassa friläggs normalt de enskilda fibrerna efter att veden först barkats och huggits till flis. Det gäller kemisk massa (sulfat och sulfit), termomekanisk massa (TMP, thermo-mechanical pulp) eller halvkemisk massa (CTMP, chemical-thermo mechanical pulp). Vid tillverkning av slipmassa sönderdelas veden mekaniskt.

Sättet att hugga och sålla veden till flis, eller hur den slipas, påverkar utgångsläget för massatillverkningen genom att olika andelar fibrer klyfts i olika riktningar före friläggningen. Eftersom de enskilda fibrerna friläggs kommer egenskaperna hos den framställda massan att bero på samspelet

²⁰⁹ Nuryawan, A., Massijaya, M.Y. & Hadi, Y.S. 2008. Physical and Mechanical Properties of Oriented Strands Board (OSB) Made of Small Diameter Akasia (*Acacia mangium* Willd.), Ekaliptus (*Eucalyptus* sp.) and Gmelina (*Gmelina arborea* Roxb.): Influence of Wood Species and Adhesive Bonded Type. *Jurnal Ilmu Teknologi Hasil Hutan* 1(2): 60–66.

²¹⁰ Antov, P., Savov, V. & Neykov, N. 2020. Sustainable bio-based adhesives for eco-friendly wood composites. A review. *Wood Research* 65(1): 12.

²¹¹ Dix, B. & Roffael, E. 1997. Influence of heartwood and the age of tree on the properties of particleboards from pine (*Pinus sylvestris*). Pt. 2: Physical-technical properties and formaldehyde release of particleboards made from sap- and heartwood of pine. *FAO Agris* 55(2): 103–109. (På tyska.)

²¹² Mirski, R., Dziurka, D. & Banaszak, A. 2018. Properties of particleboards produced from various lignocellulosic particles. *Bioresources* 13(4): 7758–7765.

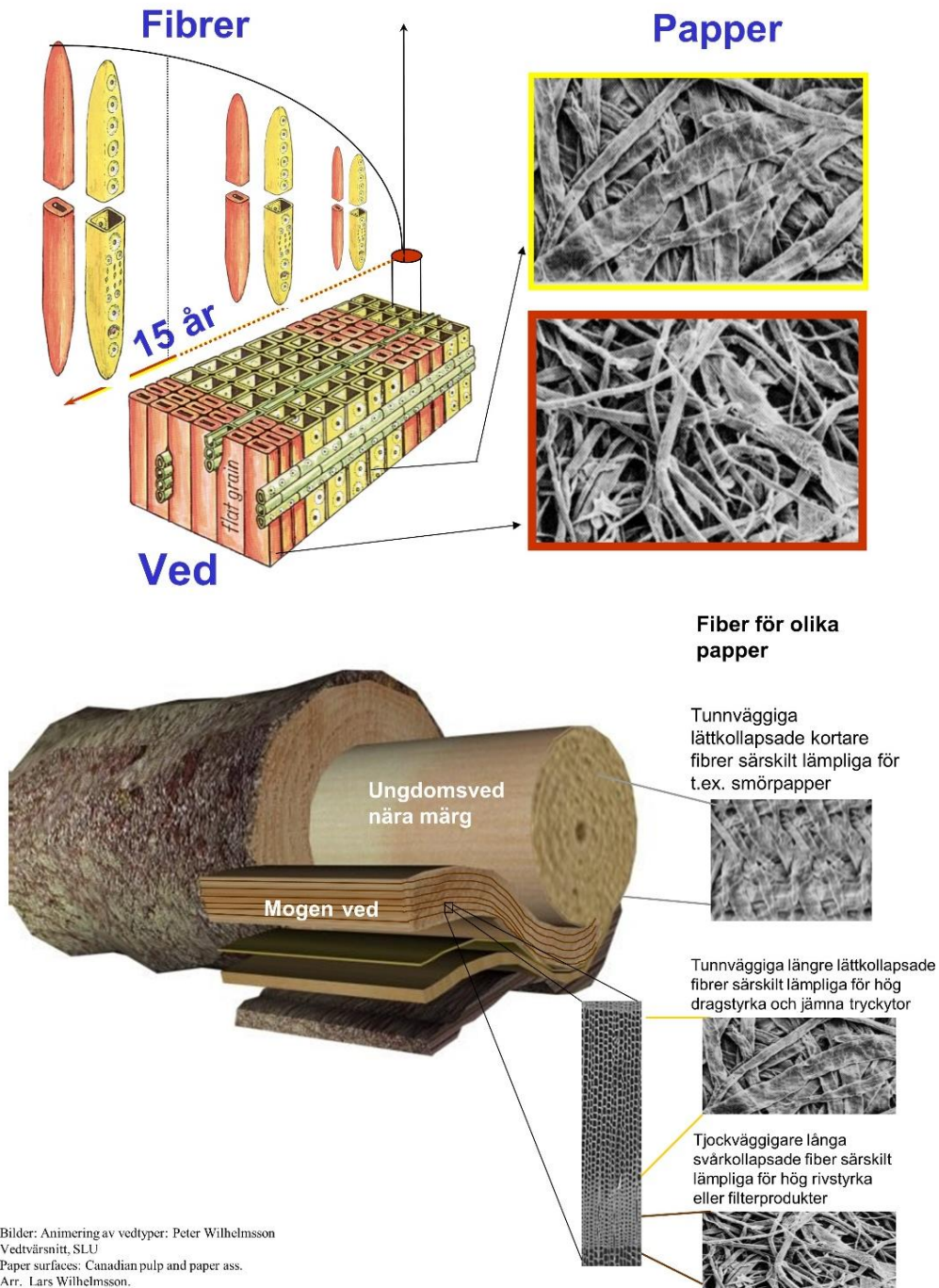
²¹³ Elasticitetsmodul (modulus of elasticity, MOE) är en materialberoende parameter som beskriver förhållandet mellan mekanisk spänning och deformation.

mellan fibrernas egenskaper och de följande processtegen. Med kunskap om flisens fiberfördelning och möjligheten att styra den kan tillverkningsprocesserna effektiviseras. Sådan kunskap gör det också möjligt att höja och differentiera kvaliteten på massa för olika användning.

Vedens inverkan på egenskaperna hos den färdiga pappersprodukten beror av utbytet av mängden fibrer (vedceller) samt mängden cellulosa och lignin per kubikmeter vedsubstans.^{214,215} Den beror dessutom på fördelningen av fibrer med olika egenskaper. Cellväggarnas tjocklek och förhållandena mellan längd och bredd samt vinkeln mot längdriktningen för cellväggarnas mikrofibriller varierar i olika vedmaterial. Det påverkar en rad egenskaper hos tillverkade pappers- och kartongprodukter. Några exempel på denna variation illustreras och beskrivs i figur V47.

²¹⁴ Wilhelmsson, L., Arlinger, J., Brunberg, T., Rehnberg, O., Jönsson, A., Miller, J., Nylinder, M., Duchesne, I. & Spångberg, K. 2000. Vedsortering för bättre pappers- och kartongprodukter. Skogforsk. Redogörelse 4. 105 s.

²¹⁵ Kibblewhite, P. & Evans, R. 2001. Dimensional relationships among radiata pine wood tracheid and chemical and TMP pulp fibres. *Appita Journal* 54(3): 297–303.



© Bilder: Animering av vedtyper: Peter Wilhelmsson
 Vedtvärsnitt, SLU
 Paper surfaces: Canadian pulp and paper ass.
 Arr. Lars Wilhelmsson.

Figur V47 Vårvedsfibrer (gula) och sommarvedsfibrer (röda) har olika cellväggstjocklek. Närmast märm (ungdomsved) är fibrerna annorlunda jämfört med längre från märm, för att utvecklas till ”mogna” fibrer 10–20 årsringar ut från märm. Olika typer av fibrer har olika egenskaper. De statistiska fördelningarna av olika cellväggstjocklekar, fibrillvinklar och fiberstorlekar (längd och bredd) blir därmed olika för olika typer av massaved. Sågverksflis är till exempel normalt endast sammansatt av mogna fibrer. (Mer om detta finns i avsnittet *Vedens bildning och uppbyggnad*). Illustrationer: Ovan vänster Les Jozsa, Forintek Can. Corp. Ovan och nedan höger foton från Canadian Pulp & Paper Ass. Nedan vänster Peter Wilhelmsson. Arrangemang och text: Lars Wilhelmsson.

Vedcellernas (fibrernas) egenskaper (figur V47) har stor inverkan på pappersegenskaperna. För att nå bästa möjliga resultat och utbyte vid tillverkningen av ett pappersmaterial behöver därför både de obearbetade fibrernas och eventuella returfibrernas egenskaper vara kända. Då kan möjligheterna att kombinera råvaruegenskaper för en specifik process eller industri optimeras. Typen av massaprocess och styrningsmöjligheterna i olika steg i tillverkningsprocessen ger olika möjligheter. Kunskap om fibrer och processer ger alltså förutsättningar att framställa pappers- eller fiberprodukter med eftersträlvade kvaliteter och högt utbyte per enhet insatt råvara.

Det finns flera mer principiella samband mellan fibrernas egenskaper och egenskaper hos massa och pappersprodukter. Tjocka cellväggar ger produkter med högre rivstyrka och högre porositet. Med tunna cellväggar och långa fibrer ökar möjligheterna att genom malning och sammanpressning erhålla högre dragstyrka, lägre porositet och jämnare pappersytor. Det sker delvis genom så kallad fiberkollaps som kan öka lamineringen mellan fibrerna.

Sprängstyrka, töjbarhet, opacitet (genomskinlighet) och ljusreflexion är andra egenskaper som påverkas av fiberegenskaperna. Mindre fibrer kan användas för att öka ytjämnhet. Malning, silning och annan bearbetning av fibrerna påverkar också slutresultatet. Användning av blekning och fyllmedel, som till exempel lera, liksom kombinationer av fiber, fyllmedel och fibrernas orientering i pappret spelar också roll för slutresultatet. Mer detaljer om inverkan från olika ved- och fiberegenskaper på massautbyte och massa/pappersegenskaper för olika trädslag och processer finns beskrivet i ett flertal publikationer.²¹⁶

En övergripande bedömning av olika faktorerers betydelse för variationen i egenskaper vid tillverkning av tryckpapper är att inverkan av vedegenskaper utgör 30–40 %. Det som i övrigt har betydelse är olika steg i tillverkningsprocessen (tabell V9).²¹⁷

Det finns nya möjligheter att beräkna fiberegenskaperna redan i den växande skogen eller i samband med avverkning då trädstammarna tillreds, mäts och kapas (apteras) av skördare. Det beskrivs närmare i avsnittet *Möjligheter att mäta, beräkna och utnyttja virkets egenskaper vid planering och skörd*. Bättre kännedom om skogsråvarans fiberegenskaper kan få betydelse

-
- ²¹⁶ Nylinder, P. & Hägglund, E. 1954. Ståndorts- och trädegenskapers inverkan på utbyte och kvalitet vid framställning av sulfitmassa av gran. Statens skogsforskningsinstitut, band 44. 184 s.
- Ericson, B., Persson, A., Stockman, L., Hartler, N., Johnsson, T., Nylinder, P. & Carbonnier, C. 1970. Ved- och massaegenskaper hos björk. En orienterande undersökning. Skogshögskolan, inst. för skogsproduktion. Rapporter och Uppsatser 18. 55 s.
 - Ericson, B., Johnson, T. & Persson, A. 1973. Ved och sulfatmassa från tall och gran i orörda bestånd. Skogshögskolan, inst. för skogsproduktion. Rapporter och uppsatser 25. 143 s.
 - Duchesne, I., Wilhelmsson, L. & Spångberg, K. 1997. Effects of in-forest sorting of Norway spruce (*Picea abies*) and Scots pine (*Pinus sylvestris*) on wood and fibre properties. Can. J. For. Res. 27: 790–795.
 - Wilhelmsson, L., Arlinger, J., Brunberg, T., Rehnberg, O., Jönsson, A., Miller, J., Nylinder, M., Duchesne, I. & Spångberg, K. 2000. Vedsortering för bättre pappers- och kartongprodukter. Skogforsk. Redogörelse 4. 105 s.
 - Jonasson, J. (redaktör), Arlinger, J., Spångberg, K., Wilhelmsson, L., Ekenstedt, F., Grahn, T., Hedenberg, Ö., Lundqvist, S.-O., Jansson, U., Jonasson, J. & Oskarsson, R. 2001. Skog-Massa-Papper Sydsvensk utvidgning. Nutek och Södras forskningsstiftelse, Södra Cell, Mörrum. 44 s. + 6 bilagor.
- ²¹⁷ Mohlin, U.-B. Opublicerat. STFI-Packforsk AB, numera Innventia AB.

för vilken råvara som industrin vill använda för olika typer av fiberprodukter. Det kan förbättra lönsamheten för både industri och skogsbruk.

Tabell V9 Bedömd relativ effekt (procent) av egenskaper hos massaved och olika steg i tillverkningsprocessen på egenskaperna hos ett färdigt obestruket tryckpapper. Källa: Mohlin (opublicerat).²¹⁸

	Papper av mekanisk massa	Papper av kemisk massa
Ved	30	40
Massatillverkning	40	10
Mäldberedning ¹	10	30
Papperstillverkning	20	20

¹ Mäldberedning innebär att produktanpassade fibrer och kemikalier blandas med vatten (normalt ≤ 1 % torrsustans) och mals (mekanisk massa) eller raffinerar (kemisk massa). Denna så kallade mäld processas sedan vidare till avsedd slutprodukt.

Både vedens fiberegenskaper och den kemiska sammansättningen hos ved och andra delar av trädet, är intressanta områden för utveckling av nya produkter eller effektivare utvinning av befintliga produkter. Utvinning av cellulosa, ligniner, hemicellulosor och olika extraktivämnen från skogsråvara leder till många möjligheter att ersätta fossila alternativ.

Energi och biprodukter från skogen

Träd som avverkas bidrar med storleksordningen hälften av sin biomassa till energiproduktion.²¹⁹ Till exempel blir inte allt sågtimmer träbaserade produkter. Sågprocessen ger mycket högvärdig flis (25–40 % av vedvolymen under bark) som biprodukt vilken i huvudsak går till massa- och pappersbruk för fortsatt förädling. Dessutom produceras sågspån, bark och flis för direkt energiutnyttjande i till exempel kraftvärmeverk eller för tillverkning av förädlade biobränslen.

Klenare stamvedsdimensioner och timmerdimensioner som inte uppfyller sortimentskraven blir normalt massaved. Men även där kan sortimentskraven medföra nedklassning, då till bränsleved.

Från skogen skördas också grenar- och toppar (grot) men även småträd och nedklassad massaved. De sortimenten saknar idag direkt nytta för vidare förädling utan används ofta för primär bränsleproduktion efter sönderdelning.

Värmevärdet per volymenhet skogsråvara avgörs av densiteten, materialets kemiska sammansättning och askhalten från obrännbart material som sand och grus. För effektiviteten vid förbränning av primära skogsbränslen som huggen skogsflis och brännved spelar även fukthalten roll. Effektiviteten beror också på förbränningsteknik och möjligheter till rök-gaskondensering.²²⁰

²¹⁸ Mohlin, U.-B. Opublished. STFI-Packforsk AB, numera Innventia AB.

²¹⁹ Egnell, G. 2015. Skogsbränsle. Skogsskötselserien, kapitel 17.

www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien. (Hämtad 2022-03-04.)

²²⁰ Lehtikangas, P. 1999. Lagringshandbok för trädbränslen. 2:a upplagan ISBN 91-576-5564-2. SLU, Uppsala. 116 s.

Bioraffinaderier för förädlade energisortiment

Utvecklingen av bioraffinaderier²²¹ har hittills (2021) i hög grad handlat om förädlade biobränslen.²²² Vid raffinering av skogsråvara har beräknade utbyten för olika produkter beräknats:

- Pyrolysolja från vedråvara. Leverantörer uppger 60–70 % massutbyte från torrs substans i råvaran till oljeprodukten.²²³
- Etanol från vedråvara. 20–25 % massutbyte från torrs substans i råvaran till etanol.²²⁴
- HVO från råttololja. Utbytet beror till största delen på andelen fettsyror i råttololjan. Tåttololja från skandinavisk barrved innehåller typiskt 65–70 % fettsyror. Utbytet av tåttololja är 1,5–2 % av torr vikten för kemisk barrmassa.
- Ligninseparation från svartlut. Typiskt möjligt att avskilja 60–80 % av lignininnehållet i svartluten.²²⁵ För att sodapannans funktion för kemikalieåtervinning ska fungera får dock energiuttaget inte bli för stort. För närvarande planeras för ligninseparation runt 20 % av ligninet i svartluten.²²⁶
- Hydrotermisk förvätskning av vedråvara. Ger ett utbyte på 40–45 % av vedens torr vikt till en bioolja.²²⁷

Ekonomi och virkespriser

Priserna för skogsråvara kan även i fortsåttningen förväntas utvecklas på en marknad där tillgång och efterfrågan på olika råvaror och kvaliteter samt eventuella politiska styrmedel är grundläggande komponenter. Men för att utbudet ska tillgodose industrins behov behöver industrin erbjuda råvarupriser som ger skogsågaren tillräcklig skillnad mellan kostnader och intåcter. De direkta skogsbrukskostnaderna utgörs främst av kostnader för drivning (fållning, tillredning och terrångtransport av stockar uppdelade på sortiment), planering och skogsvård.

Åven om priset för skogsråvara normalt såtts vid bilvåg kommer transportkostnaderna från bilvåg till industri att påverka industrikundens betalningsförmåga. Ju lågre transportkostnader desto högre betalningsförmåga, allt annat lika (figur V48). Om inte intåcter från

²²¹ Ett bioraffinaderi är en anläggning för produktion av produkter (kemikalier, material, brånsle och energi) från en biobaserad råvara.

²²² Danielsson, S. 2020. Sammanstållning av nuvarande och planerad kapacitet för bioraffinaderier i Norden. Mistra Digital Forest 0.6.1. Skogsindustrierna. 16 s.

²²³ Benjaminsson, G., Benjaminsson, J. & Bengtsson, N. 2013. Decentraliserad produktion av pyrolysolja för transport till storskaliga kraftvärmeverk och förgasningsanläggningar. Rapport från Energimyndigheten brånsleprogram.

²²⁴ Energimyndigheten. 2012. Slutrapport Programmet Etanol från cellulosa, ET2012:52.

²²⁵ Zhu W. & Theliander, H 2015. Precipitation of lignin from softwood black liquor: An investigation of the equilibrium and molecular properties of lignin. BioResources 10(1): 1696–1714.

²²⁶ Danielsson, S. Skogsindustrierna. Muntlig uppgift.

²²⁷ Toms, P. 2017. Hydrofaction™ Oil: A Solution for Decarbonizing Long-haul Transport. Presentation vid: From biomass to advanced biofuels, combining Canada's Forestry and Oil & Gas strengths. Juli 2017.

<https://www.bio.org/sites/default/files/legacy/bioorg/docs/0830AM-Perry%20Toms.pdf>
(Håmtad 2022-03-04.)

försäljning av skogsråvara är högre än de direkta skogsbrukskostnaderna kommer mycket lite virke att skördas.

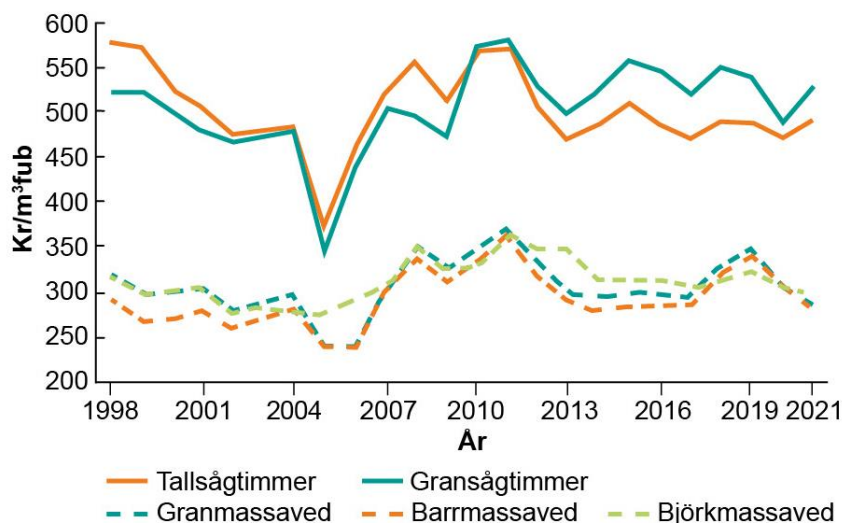
För ett ekonomiskt hållbart skogsbruk krävs även marknadsmässig ersättning för kapitalkostnader och andra fastighetskostnader.



Figur V48 Transportkostnaderna från bilväg till industri påverkar industrikundens betalningsförmåga för ett sortiment från ett objekt. När variationen i egenskaper inom ett sortiment kan mätas eller beräknas och därefter värderas kommer egenskaperna att påverka industrins betalningsförmåga. Foto Kerstin Ström.

Om råvarans egenskaper kan anpassas bättre till olika industrikunders tillverkningsprocesser och produkter, kommer industrikundernas betalningsförmåga att öka. På en fungerande marknad gäller sannolikt samma sak också för betalningsviljan.

Sedan millennieskiftet har priserna för olika rundvirkessortiment varierat, men huvudsortimenten är fortfarande desamma (figur V49). Om utvecklingen av befintliga och nya produkter på världsmarknaden leder till stora förändringar i tillgång och efterfrågan på olika råvarusortiment kan prisbilden förändras. Kostnaderna för att producera, skörda, tillreda och transportera råvaran till industrin kommer emellertid alltid att utgöra ett absolut minimum för vad en köpare måste betala för råvaran.



Figur V49 Utvecklingen av genomsnittspriser för leverensvirke av sågtimmer och massaved från tall, gran och björk enligt Skogsstyrelsen och SCB 1998–2021. Alla priser har justerats med konsumentprisindex enligt SCB (2020=100). Priser för 2021 är medelvärden för januari till september. Källa virkespriser: Skogsstyrelsens statistikdatabas.²²⁸

Skogsbruket och skogsindustrin har en lång tradition av urval, tillverkning och användning av produkter från skogsråvara. Erfarenheter, utveckling av processteknik och traditioner har därmed format självhushållens, de framväxande industriernas och skogsbrukarnas syn på vad som är kvalitet hos skogsråvara.

Jämförande fältförsök med olika skogsskötselprogram har ökat kunskapen om olika effekter på klassiska kvalitetsegenskaper som till exempel kvistgrovlek, kvisttyper och veddensitet. Dessa och andra mät- eller beräkningsbara egenskaper tas upp i avsnitten *Vedens bildning och uppbyggnad* och *Hur skogsskötseln kan påverka virkets egenskaper*.

Men vad som är tillräcklig kvalitet hos råvaran för viss användning har förändrats i takt med att nya produkter och processer fått ökad betydelse. Det har inneburit sänkta eller förändrade krav på råvaran. Detta har i sin tur lett till att värderingen och definitioner av olika kvalitetsklasser²²⁹ förändrats och ifrågasatts.

Mot bakgrund av den förändrade synen på kvalitetsklasser undersökte tidningen *Skogen* sina webb-läsares syn på kvalitetsvirke (begreppet definierades inte närmare) genom att ställa frågan *Är kvalitetsvirke lönsamt?* Av svaren att döma finns olika uppfattningar om det liksom om skälen till den olika lönsamheten (figur V50).

²²⁸ Skogsstyrelsens statistikdatabas.

<https://pxweb.skogsstyrelsen.se/pxweb/sv/Skogsstyrelsens%20statistikdatabas> (Hämtad 2022-03-04.)

²²⁹ Biometria. 2021a. Kvalitetsbestämning av sågtimmer av tall och gran. Nationella bestämmelser för virkesmätning. Uppsala 2021-04-01. 36 s.

- Biometria. 2021b. Kvalitetsbestämning av massaved. Nationella bestämmelser för virkesmätning. Uppsala 2021-04-01. 22 s.

NEJ. Trodde det
För 25 år sedan fick vi 1900 kronor kubiken toppmått för svarvtimmer, nu 900 kronor. För barrmassaved i Gästrikland samma som då: 230 kronor kub.

JA. Billig bulk
Bulkprodukterna får vi aldrig bra betalt för.

JA. Eller borde ...
Kommer i alla fall bli med dagens obefintliga kvalitetstänk som att leverera rätt virke till rätt ändamål. Fråga mig - jag vet.

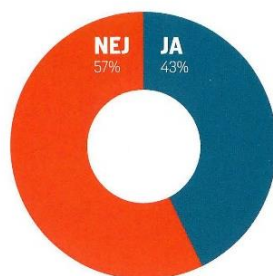
NEJ. Nya tider
Limträ och fiber blir viktigare i framtiden.

JA. Rikskönhet
Det är vackert att gå i en sådan skog, men ökade inkomster blir det inte.

NEJ. Kort omloppstid och hög produktionsvolym slår alla kalkyler.

JA. Men vad är kvalitet?
Kvistrent och senvuxet fungerade i går. I morgon kanske vi ska satsa på långt mellan kvistvarven, hög kärnvedsandel och hållbar produktion. Vem vet?

NEJ. Volym säkrare
Klimatförändringarna gör sannolikt att riskerna med volymproduktion är mindre än med traditionell kvalitetsproduktion.



Är kvalitetsvirke lönsamt?

Meningarna går isär bland de 137 läsarna som har svarat på månadens fråga. En viss majoritet tror inte på att kvalitet lönar sig. Nya produkter som limträ blir mer efterfrågade, tro många.

Månadens fråga publiceras på skogen.se och i nyhetsbrevet eSkogen.

JA. Om alla springer åthöger, spring åt vänster!

NEJ. I stort sett ingen skillnad i ersättning för virke som är 80 eller 150 år.

NEJ. Liten efterfrågan
Efterfrågan minskar från slutkonsumenten som inte är beredd att betala för kvalitet.

NEJ. Ge till naturen
Med dagens prisläge är det bättre att ge skogen tillbaka till naturen och bli glad av livet i den.

NEJ. Inte för mig
Jag får aldrig betalt för extraarbetet, men däremot lönsamt för ett par generationer framåt.

JA. Som kylskåp
Det ena utesluter inte det andra. Jag vill ha delikatesser och bulkvara i min skog precis som i mitt kylskåp.

JA. Alltid köpare
Oavsett om pappersbruk försvinner eller inte så kommer det alltid att vara lätt att hitta betalningsvilliga köpare av kvalitetsvirke.

NEJ. Inte för skogsägaren
Tyvärr inte lönsamt för skogsägaren, sannolikt har senare steg i värdekedjan gynnats.

JA. Ny teknik
Ju mer möjligheter att mäta kvalitet redan i skogen, desto bättre pris borde man få för kvalitet.

NEJ. Färre klasser
Kolla prislistornas utveckling, snart bara kvalitetsklasserna tall- och grantimmer kvar.

JA. Med hyggesfritt
Vartefter arbetskostnaden stiger desto bättre lönsamhet att sköta skogen hyggesfritt. Ger tunna årsringar och kvistar och liten andel ungdomsved.

NEJ. Borde vara annorlunda
Samma betalning för gärdesplantering från 60-talet som för mer än hundraårig gran.

Figur V50 Är kvalitetsvirke lönsamt? Resultat av tidningen Skogens ”Månadens fråga”, publicerat i Skogen nr 11, 2020. Figuren redovisar ett urval av 137 registrerade svar från besökare på www.skogen.se som svarat Ja eller Nej på frågan. De som svarat gavs möjlighet att kommentera svaren. Kommentarer är ett urval av 20 ungefärligen representativa svar (11 Nej och 9 Ja). Namnen på de som svarat är borttagna.

Ju mer vi vet om orsakerna till att skogsråvarans egenskaper varierar och hur de olika egenskaperna kan påverka tillverkningsprocesser och slutprodukter, desto intressantare blir det att kunna förutse variationen, beräkna och mäta den, för att sedan kunna utnyttja den. Framtiden får avgöra på vilket sätt variationen i olika egenskaper kan hanteras med tillgänglig kunskap, teknik, kostnader och intäkter.

Ändamålsenliga egenskaper hos råvaran kan också ge flera positiva miljöeffekter, hela vägen från råvaruproduktionen i skogen till användningen och nyttan av färdiga produkter. Rätt egenskaper för en viss process och produkt kan ge högre utbyte av den önskade produkten, mindre spill samt mindre material- och energiåtgång per levererad enhet. Eventuellt kan det också ge högre kvalitet och ökad livslängd eller återvinningspotential hos slutprodukterna.

Livscykelanalyser och hållbarhet är ytterligare kvalitetsegenskaper för skogsbaserade produkter

Genom att analysera och redovisa produkters miljöpåverkan med standardiserade livscykelanalyser (LCA) kan producenter hjälpa samhället och konsumenter att göra bättre miljöval. Parallellt med detta behöver den ekonomiska hållbarheten följas upp, analyseras och redovisas. Viktiga begrepp i sammanhanget är produktionsvärden, produktivitet, förädlingsvärden, rörelsemarginaler och investeringar. Effektiv logistik för den samlade produktionen är också avgörande för en hållbar utveckling av både skogsindustri och skogsbruk.

Livscykelanalyser för bedömning av social hållbarhet görs genom analys av råvarans och de tillverkade produkternas nytta för människor och samhälle. Här ingår även effekter på utvecklande jobb och bra arbetsmiljö.

Kvalitetsdeklarationen för en tillverkad produkt bör innehålla egenskaper för produkten och en miljödeklaration av hela produktionskedjan. Livscykelanalyser är en viktig del i en miljödeklaration och ger underlag för beräkning av klimatpåverkan, användning av fossil energi, bekämpningsmedel och andra skadliga kemikalier samt för beräkning av exploatering av ändliga resurser, med mera.

För skogsråvarubaserade produkter innebär det att livscykelanalyser av hela skogsbruksledet²³⁰ får mycket stor betydelse. Det beror bland annat på skillnaden i klimatpåverkan mellan hållbar produktion, ackumulering och cirkulation av biogent kol i skogsprodukter, jämfört med utnyttjande av fossila råvaror som olja, kol och kalkbaserade byggmaterial som cement och betong.

Skogsskötsel som ger ökad hållbar tillväxt (ton biomassa per hektar) av råvara för jämförelsevis energieffektivt framställda produkter ger potentiellt ökad klimatnytta. Nyttan blir störst och tydligast för material och produkter som lagrar kol under lång tid, men även substituering av råvara med fossilt kolinnehåll ger stor klimatnytta.²³¹

Den stående skogen utgör ett lager av bundet kol som, om det inte nyttjas, på sikt når ett stadium då tillväxten per arealenhet går ner och lika mycket biomassa skadas, dör, brinner eller bryts ner biologiskt. Resultat blir att kollagret inte ökar utan istället bryts ner biologiskt (oxideras) utan nytta för

²³⁰ Ågren, K., Högbom, L., Johansson, M. & Wilhelmsson, L. 2021. Datainsamling till underlag för livscykelanalyser (LCA) av det svenska skogsbruket. Beräkningar, erfarenheter och antaganden. Skogforsk. Arbetsrapport 1086. 37 s.

²³¹ Bergh, J., Egnell, G. & Lundmark, T. 2020. Skogens kolbalans och klimatet. Skogsskötselserien, kapitel 21. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien. (Hämtad 2022-03-04.)

människan och utan klimatnytta genom substitution av fossila och mer energikrävande material och energikällor.^{232,233,234} En viss mängd död ved och orörd skog motiveras av hänsyn till störningskänsliga arter och biologisk mångfald.

Högupplösta ingångsdata för detaljerad analys och löpande utveckling av hållbarhet i skogsbruket tas upp i avsnittet *Möjligheter att mäta, beräkna och utnyttja råvarans egenskaper vid planering och skörd*. Mer om data för livscykelanalyser av svenskt skogsbruk finns i Ågren m.fl. (2021).²³⁵

²³² Högberg, P. m.fl. 2021. Sustainable boreal forest management – challenges and opportunities for climate change mitigation Report from an Insight Process conducted by a team appointed by the International Boreal Forest Research Association (IBFRA). Skogsstyrelsen. Report 2021/11. 57 s. <https://www.skogsstyrelsen.se/om-oss/rapporter-bocker-och-broschyrrer/rapporter-fran-2021-och-tidigare/> (Hämtad 2022-03-04.)

²³³ Ryan, M.G., Binkley, D. & Fownes, J.H. 1997. Age-related decline in forest productivity: pattern and process. *Advances in Ecological Research* 27: 213–262.

²³⁴ Kashian, D.M., Romme, W.H., Tinker, D.B., Turner, M.G. & Ryan, M.G. 2013. Postfire changes in forest carbon storage over a 300-year chronosequence of *Pinus contorta*-dominated forests. *Ecological Monographs* 83(1): 49–66.

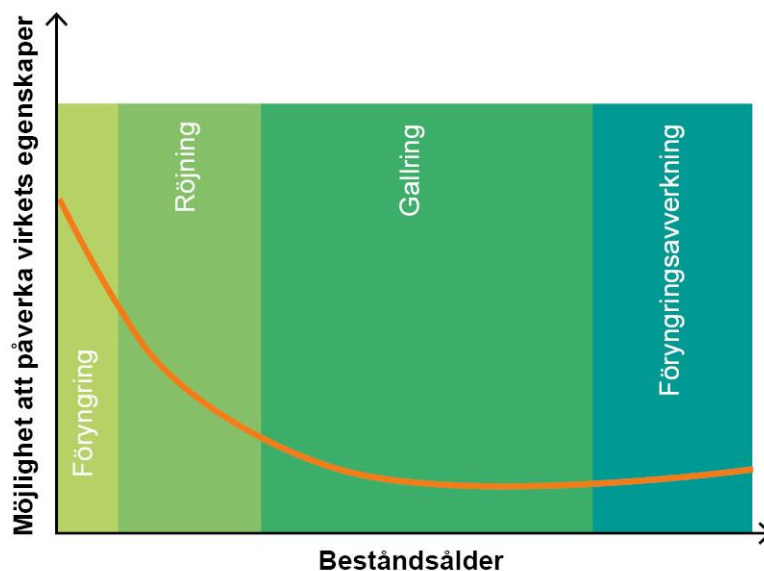
²³⁵ Ågren, K., Högbom, L., Johansson, M. & Wilhelmsson, L. 2021. Datainsamling till underlag för livscykelanalyser (LCA) av det svenska skogsbruket. Beräkningar, erfarenheter och antaganden. Skogforsk. Arbetsrapport 1086. 37 s.

Hur skogsskötseln kan påverka virkets egenskaper

Av Eric Agestam

Det finns i huvudsak två möjligheter att med skogsskötsel påverka ett träds virkesegenskaper. Den första är genom urval. Den andra är att reglera den konkurrens trädet utsätts för genom att styra täthet och struktur i dess närhet.

Störst möjligheter att påverka virkesegenskaperna under en omloppstid är i etableringsfasen. Under den fortsatta beståndsutvecklingen minskar möjligheterna efter hand. Med tiden finns alltmer virke i stammen som förutom kärnvadsbildningen inte förändras så länge trädet inte skadas. Successivt blir antalet stammar lägre och effekterna av fortsatt urval minskar. Mot slutet av omloppstiden kan stigande diameter påverka stammens värde även om det redan bildade virket är detsamma (figur V51).



Figur V51 Möjligheten att påverka virkets egenskaper är störst i början av omloppstiden och minskar successivt mot slutet av omloppstiden. Modifierad figur, efter Klang (2000).²³⁶

Möjligheterna att påverka de växande trädens egenskaper i beståndet är i huvudsak genom urval av lämpliga stammar och reglering av täthet och konkurrens. Ju fler plantor vid föryngring eller stammar i röjnings- och gallringsfas desto större möjlighet till urval. Lyckade självföryngringar eller sådder med höga plantantal ger större möjligheter att välja bland de etablerade småträden än om 2000 à 2500 plantor per hektar har planterats. Vid plantering eller sådd kan plant- eller frömaterial användas som har positiva genetiska egenskaper för till exempel stamraket, grenvinkel och densitet. Olika täta bestånd skapar varierande närmiljöer för en enskild planta eller ett enskilt träd. Plantan eller trädet utsätts för olika grader av konkurrens,

²³⁶ Klang, F. 2000. The influence of silvicultural practices on tree properties in Norway spruce. SLU. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria 128.

vilket påverkar de egenskaper virket får. Konkurrens bromsar tillväxten och ger smalare årsringar och klenare kvistar, egenskaper som ofta är viktiga för vad vi idag kallar god kvalitet.

Glesa bestånd ger varje träd större möjlighet att växa och öka diametern, vilket i sin tur kan öka värdet på virket. I närmiljön till ett träd kan även finnas andra trädslag eller överskärmande träd som påverkar trädets tillväxt och virkesegenskaper.

Totalt sett finns många möjligheter att påverka virkets egenskaper, bland annat genom att:

1. Välja trädslag.
2. Välja lämpligt genetiskt material vid plantering och sådd.
3. Välja förband vid plantering och sådd.
4. Välja föryngringsmetod (plantering, naturlig föryngring eller sådd²³⁷).
5. Stimulera naturlig föryngring av andra trädslag som kan bidra till att forma kvalitet hos huvudträdslaget.
6. Med skärmträd och fröträd bromsa tillväxten hos den nya trädgenerationen.
7. Undvika skador som sätter ner kvaliteten.
8. Reglera tätheten, struktur och trädslagsblandning vid röjning och gallring.
9. Göra urval och lämna ”bra” träd vid röjning och gallring.
10. Stamkvista.
11. Anpassa omloppstiden.
12. Gödsla i slutskedet av omloppstiden, vilket kan ge extra produktion av värdefullt virke.

Effekterna av olika åtgärder att påverka virkets egenskaper varierar beroende på en mängd faktorer. Fältförsök som anlagts för att studera möjligheterna att påverka viktiga egenskaper är dyra och tidskrävande och kan inte fånga upp alla möjliga kombinationer av behandlingar, ståndorter och trädslag. I texten nedan beskrivs viktiga samband och de illustreras med resultat från fältförsök. De absoluta skillnaderna i till exempel grengrovlek och densitet kan dock vara andra på en annan ståndort eller med ett annat plantmaterial.

Föryngringsfasen

Den största möjligheten till påverkan på skogen, träden och virkets egenskaper är i föryngringsfasen. Valet av trädslag är helt avgörande för möjligheterna att producera värdefullt virke. Det är skillnad mellan trädslag

²³⁷ Några trädslag kan föröka sig vegetativt, med rot och stubbskott, men det är inte en vanlig föryngringsmetod i Sverige idag.

och virket som kommer att produceras och beslutet kommer att vara avgörande för en omloppstid framåt.

Val av trädslag för en given ståndort har inte bara betydelse för tillväxten utan också för det framtida virkets egenskaper. För en del trädslag, till exempel tall, medför bördiga ståndorter hög tillväxt med breda årsringar och grova grenar. Därmed minskar möjligheterna att producera sågtimmer av god kvalitet. För andra trädslag som till exempel ek är bördiga ståndorter en förutsättning för kvalitetsproduktion.²³⁸

Hur ny skog anläggs har stor betydelse för möjligheterna att producera virke med goda egenskaper. Plantering, sådd eller naturlig föryngring påverkar direkt föryngringsresultatet och ger också skilda möjligheter att i fortsättningen påverka träden och virket.

Med plantering är valfriheten stor vad gäller trädslag men det finns ofta begränsningar för vad som är möjligt att odla på ståndorten, beroende på dess egenskaper och inte minst klimatläge.

Plantering ger också möjlighet att välja plantmaterial och på så sätt dra nytta av skogsträdsförädlingen. I förädlingen försöker man förbättra trädens genetiska egenskaper både avseende hög volymtillväxt, god kvalitet och vitalitet.²³⁹ Volymtillväxten beror mycket på miljö och skogsskötsel. Samma sak är det med egenskaper som grengrovlek. Andra kvalitetsegenskaper som till exempel grenvinkel har relativt hög ärvbarhet.²⁴⁰ Olika skogsodlingsmaterial, i de flesta fall betyder det ursprung i olika fröplantager, kan därför ge träd med bättre eller sämre kvalitetsegenskaper. Men hur skogen anläggs och sköts har fortfarande mycket stor betydelse för virkets egenskaper.

Med val av markberedningsmetod och planttyp kan förutsättningarna att lyckas öka även där problemen med till exempel frost eller konkurrerande vegetation är stora. Plantering upplevs som säkrare och möjlig på fler ståndorter än naturlig föryngring och sådd.²⁴¹

Vid naturlig föryngring och sådd kan täta föryngringar erhållas till låg kostnad som ger goda möjligheter till urval vid kommande röjning. Vid naturlig föryngring kan det uppstå en åldersskillnad mellan träden och därmed en höjdspridning i beståndet. Förväxande, klart större träd än andra kan utvecklas till grovkvistiga så kallade vargar. Naturligt föryngrade bestånd får liknande genetiska egenskaper som fröträden (dock kommer en del pollen från andra träd än fröträden). Vid sådd kan förädlad material/frö användas.

²³⁸ Almgren, G., Jarnemo, L., Rydberg, D. & Mossberg, B. 2003. Våra ädla lövträd. Skogsstyrelsen. 319 s.

²³⁹ Wilhelmsson, L. & Palmér, C.H. 1988. Skogsträdsförädling och tallkvalitet. Institutet för Skogsförbättring. Årsbok 1987. s. 38–45.

²⁴⁰ Jansson, G. & Berlin, M. 2014. Genetiska korrelationer mellan tillväxt och kvalitetsegenskaper. Skogforsk. Arbetsrapporter nr 852.

²⁴¹ Karlsson, C., Sikström, U., Örlander, Ö., Hannerz, M., Hånell, B & Fries, C. 2017. Naturlig föryngring av tall och gran. Skogsskötselserien, kapitel 4. 2:a uppl.

Hallsby, G. 2017. Plantering av barrträd. Skogsskötselserien, kapitel 3. 2:a uppl.
Bergsten, U. & Sahlén, K. 2013 Sådd. Skogsskötselserien, kapitel 5. 2:a uppl. Alla tillgängliga på: www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien. (Hämtade 2022-03-28.)

Täthet i föryngring – förband

Idag är plantering det vanligaste sättet att anlägga skog i Sverige.²⁴² Det ger möjlighet att välja trädslag och plantor från frö med förbättrade genetiska egenskaper. Vidare kan föryngringsresultatet påverkas genom till exempel markberedning och val av planttyp.

Ett viktigt val är hur många plantor som ska planteras per hektar. Ofta uttrycks tätheten i planteringsförband, det vill säga genomsnittligt avstånd mellan plantor. Om plantor planteras i kvadratförband, till exempel 2 m × 2 m motsvarar det 2500 plantor per hektar.

Antalet plantor per hektar påverkar skogsproduktionens storlek. Med få plantor utnyttjas inte markens hela produktionsförmåga. I praktiken planteras idag vanligen runt 2000 å 2500 plantor per hektar. Volymproduktionen ökar med fler plantor men effekten av att öka antalet plantor avtar över cirka 1500 plantor per hektar.²⁴³ Motiv till att plantera fler plantor per hektar är huvudsakligen att ha reservstammar vid avgång och för att ha möjligheter att skapa kvalitet genom urval och konkurrens. En annan viktig faktor vid val av antal plantor är kostnaden.

Tall

Förbandets inverkan på framtida virkeskvalitet var redan tidigt en viktig fråga för skogsforskningen i Sverige. Ett fältförsök med tall anlades 1931 i Granvik invid Vättern i Västergötland. Resultat från bland annat kvistmätningar och provsågningar har presenterats vid flera tillfällen.^{244,245} För att komplettera de äldre förbandsförsöken anlades nya förbandsförsök kring 1950. Variabler kopplade till kvalitet mättes i början av 1970-talet.^{246,247}

Genomgående är den tydliga kopplingen mellan förband och den grövsta grenens diameter (figur V52). Grengrovlek är en viktig kvalitetsegenskap i sig men den har också samband med årsringsbredd som också är en viktig egenskap. Med stigande förband, det vill säga minskande antal plantor per hektar, blir den grövsta grenen grövre vilket indikerar lägre virkeskvalitet.

²⁴² Sedan omkring 2015 har mer än 80 % av hyggesarealen planterats, enligt Skogsstyrelsens statistikdatabas.

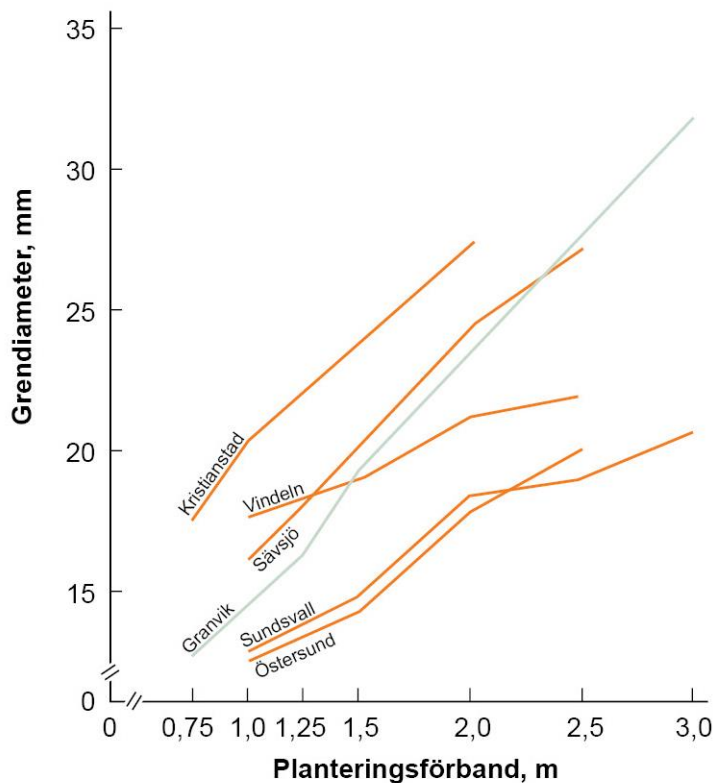
²⁴³ Se: Pettersson, N., Fahlvik, N. & Karlsson, A. 2012. Rönjning. Skogsskötselserien, kapitel 6. 2:a uppl. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien. (Hämtad 2022-03-28.)

²⁴⁴ Persson, A. 1976. Förbandets inverkan på tallens sågtimmerkvalitet. Skogshögskolan, inst. för skogsproduktion. Rapporter & Uppsatser nr 42.

²⁴⁵ Björklund, L. & Hörnfeldt, R. 1996. Tall på bördig mark – nya rön från Granvik. SLU. Fakta Skog nr 12–1996.

²⁴⁶ Persson, A. 1976. Förbandets inverkan på tallens sågtimmerkvalitet. Skogshögskolan, inst. för skogsproduktion. Rapporter & Uppsatser nr 42.

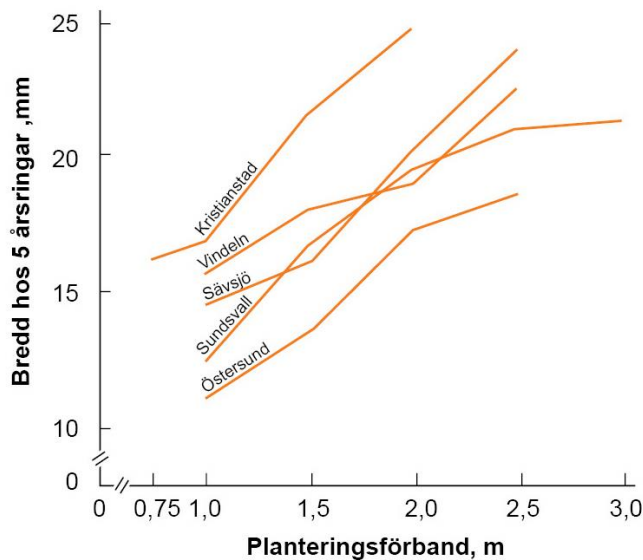
²⁴⁷ Persson, A. 1975. Ved och pappersmassa från gran och tall i olika förband. Skogshögskolan, inst. för skogsproduktion. Rapporter & Uppsatser nr 37.



Figur V52 Den grövsta grenens diameter under bark i det äldre fältförsöket i Granvik och fem yngre försök. Plantering utfördes i kvadratförband mellan 0,75 m (17 778 plantor/ha) och 3 m (1111 plantor/ha). De yngre försöken anlades från Norrbotten till Skåne och täcker ståndortsindex från T20 till T28. Här visas ett urval av försök. Mätningarna har gjorts 1–2 meter ovan mark bland 500 utvalda framtidsstammar per hektar. Efter Persson (1976).²⁴⁸

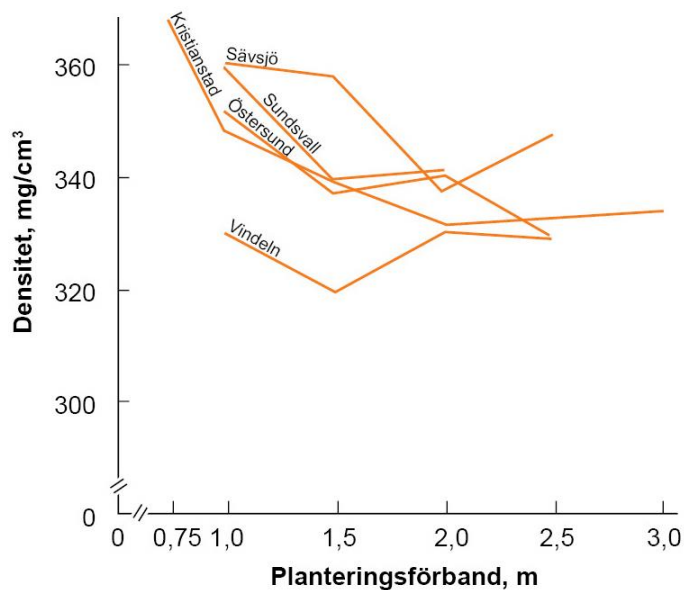
Planteringsförbandet påverkar också andra viktiga egenskaper hos träd. Med tätare förband blir trädens diameter tillväxt långsammare medan höjdtillväxten inte påverkas eller påverkas mycket marginellt. Förutom att grenarna då blir klenare blir också årsringarna smalare. Betydelsen av det är särskilt stor i centrum på trädet. Täta årsringar ger mindre mängd ungdomsved. Figur V53 visar den totala bredden av de fem årsringarna närmast utanför 2 cm från märe i förbandsförsök med tall i Sverige. Dessa fem årsringar är signifikant grövre ju större förbandet är. Tallarna i försöket i södra Sverige har växt fortare och har större bredd på dessa fem årsringar än tallarna i norra Sverige.

²⁴⁸ Persson, A. 1976. Förbandets inverkan på tallens sågtimmerkvalitet. Skogshögskolan, inst. för skogsproduktion. Rapporter & Uppsatser nr 42.



Figur V53 Den totala bredden av fem årsringarna närmast utanför 2 cm från märke i brösthöjd (1,3 m över mark) för kvadratförband från 0,75 m till 3 m i fem förbandsförsök i tall.²⁴⁹ (samma fältförsök som i bild Vbb). Mätningarna har gjorts bland 500 framtidsstammar per hektar. Efter Persson (1977).

Förbandet i tall har endast liten påverkan på vedens densitet. Ståndorten och tallens härkomst förefaller ha större inflytande och skillnaden i densitet mellan olika förband är mycket liten (figur V54).



Figur V54 Vedens densitet i brösthöjd (1,3 m över mark) uttryckt som torr-rådensitet²⁵⁰ för förband från 0,75 m till 3 m i fem förbandsförsök i tall.²⁵¹ Mätningarna har bland 500 framtidsstammar per hektar (samma fältförsök som i figurerna V52 och V53). Efter Persson (1977).

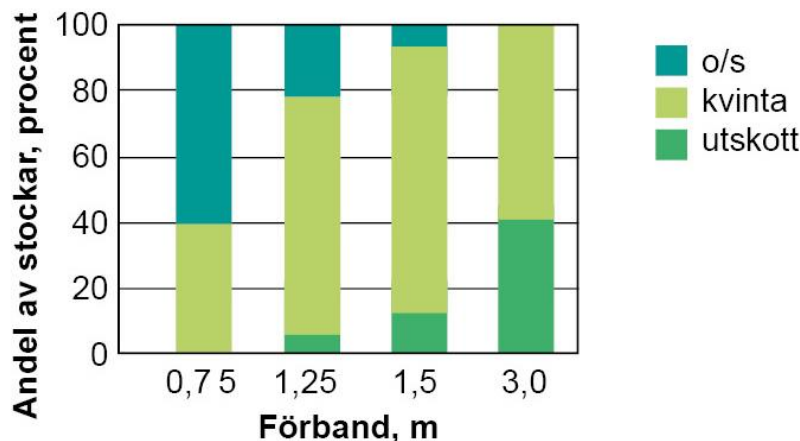
²⁴⁹ Persson, A. 1977. Kvalitetsutveckling inom yngre förbandsförsök med tall. Skogshögskolan, inst. för skogsproduktion. Rapporter & Uppsatser nr 45.

²⁵⁰ Torr-rådensitet definieras som kvoten av det torra virkesstyckets massa och virkesstyckets fullsvällda (råa) volym.

²⁵¹ Persson, A. 1977. Kvalitetsutveckling inom yngre förbandsförsök med tall. Skogshögskolan, inst. för skogsproduktion. Rapporter & Uppsatser nr 45.

Från det äldre förbandsförsöket i Granvik har stammar tagits för provsågning 1976 respektive 1993.^{252,253} Virket sorterades enligt de då gällande reglerna i så kallad exportsortering av sågad vara (O/S, kvinta och utskott). Provsågningarna visade att mycket lite av den bättre kvaliteten O/S erhöles för något av planteringsförbanden.

Vid provsågningen 1993 var utfallet bättre än 1976, en trolig effekt av gallring. Succesivt har de sämre träden gallrats ut och de kvarvarande har då i genomsnitt fått allt bättre kvalitet. Tyvärr har försöksytan med 2 meters förband (2500 st/ha) förstörts på grund av vägbygge men i de kvarvarande 1,5 m och 3 m förbanden (4444 respektive 1111 st/ha) var vid provsågningen 1993 mindre än 10 % av rotstockarna av O/S- kvalitet (figur V55).



Figur V55 Fördelning på kvalitetsklasser för sågat virke från rotstockar från olika förband i förbandsförsöket med tall i Granvik (belägget invid Vättern, norr om Karlsborg). Provsågning gjordes när träden var 88 år gamla. Virket sorterades enligt den då gällande reglerna i så kallad exportsortering av sågad vara (O/S, kvinta och utskott, där O/S är högst kvalitet). Efter Björklund & Hörmfeldt 1996).²⁵⁴

Gran

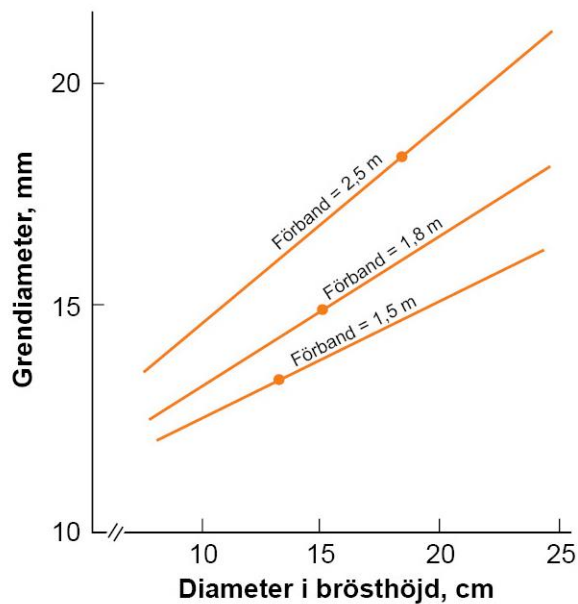
Utvärdering av förbandsförsök med gran visar liknande resultat som för tall. Den grövsta grenens diameter i rotstocken påverkas mycket av utgångsförbandet (figur V56).²⁵⁵ Virkets densitet påverkas dock mer av årsringens bredd än av förbandet men variationen är stor beroende på bland annat läge i stammen. Och naturligtvis finns ett samband mellan förband och årsringbredd så att årsringarna generellt är bredare i glesare förband.

²⁵² Persson, A. 1976. Förbandets inverkan på tallens sågtimmerkvalitet. Skogshögskolan, inst. för skogsproduktion. Rapporter & Uppsatser nr 42.

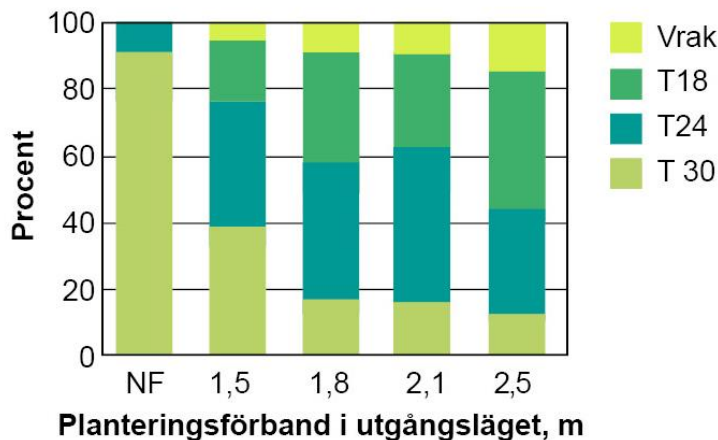
²⁵³ Björklund, L. & Hörmfeldt, R. 1996. Tall på bördig mark – nya rön från Granvik. SLU. Fakta Skog nr 12–1996.

²⁵⁴ Björklund, L. & Hörmfeldt, R. 1996. Tall på bördig mark – nya rön från Granvik. SLU. Fakta Skog nr 12–1996.

²⁵⁵ Johansson, K. 1992. Effect of Initial Spacing on the Stem and Branch Properties and Graded Quality of *Picea abies*. Scand. J. For. Res. 7: 503–514.



Figur V56 Den grövsta grenens diameter vid plantering i kvadratsförband mellan 1,5 och 2,5 m (4444 resp 1600 plantor/ha) i ett fältförsök med gran på Tönnersjöhedens försökspark i södra Halland. Mätningarna har gjorts 1–2 m ovan mark på slumpvis utvalda träd. Ståndortsindex cirka G32. Medeldiameter för de olika förbanden är markerat på respektive kurva. Efter Johansson (1992).²⁵⁶



Figur V57 Hållfasthetsklasser för sågat virke (dimension 38 mm × 75 mm) från rotstock av gran vid olika planteringsförband i utgångsläget, kvadratförband från 1,5 till 2,5 m (4444 till 1600 plantor per hektar) och efter naturlig föryngring (NF, 76000 pl/ha). Tönnersjöheden, södra Halland, slumpvis urval av träd för provsågning. Maskinell T-virkessortering med utrustning från 1990-talet och där T30 har högst hållfasthet. Efter Johansson (1992).²⁵⁷

²⁵⁶ Johansson, K. 1992. Effect of Initial Spacing on the Stem and Branch Properties and Graded Quality of *Picea abies*. Scand. J. For. Res. 7: 503–514.

²⁵⁷ Johansson, K. 1997. Effect of Early Competition on Wood Properties of Norway spruce. SLU, Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Silvestria 19.

Också för sågat granvirke kan man se skillnader i virkesegenskaper beroende på planteringsförband. Genomgående är att de stora planteringsförbanden ger mindre andel av vad som uppfattas som bättre kvalitetsklasser. Ett exempel med gran på bördig mark i södra Sverige visas i figur V57 där virket klassats efter hållfasthet, så kallad T-virkessortering. Sorteringen är gjord maskinellt med den utrustning som fanns tillgänglig på 1990-talet. Skillnaderna mellan förband kan vara mer eller mindre stora på andra ståndorter och i andra delar av Sverige.

Naturlig föryngring och sådd

Naturlig föryngring och sådd kan ge stora uppslag av plantor. Det kan vara fördelaktigt eftersom tätheten påverkar många egenskaper i stammen i positiv riktning. Många plantor ger även större möjligheter till urval senare under omloppstiden. Vid sådd kan bra genetiskt material väljas men vid naturlig föryngring förblir det genetiska material likartat det som i föregående trädgeneration.

Vid naturlig föryngring påverkar fröträden det framtida beståndet genom sin konkurrens. Fröträden kan också minska risken för frostsador vilket naturligtvis är positivt, men avverkning och uttransport av fröträd kan å andra sidan ge skador på möjliga framtida huvudstammar i det nya beståndet.

Naturlig föryngring jämfört med plantering

Naturlig föryngring ger i allmänhet betydligt fler plantor och ger ett mer heterogent resultat än plantering. Det kan förväntas vara stor variation mellan trädindividerna i en naturlig föryngring. Det kommer att finnas täta grupper och glesa grupper, plantor som växer upp nära fröträd och plantor som växer upp med stor och med liten konkurrens. Det kommer vidare att finnas skillnader i höjd och ålder mellan plantor och träd, beroende på att några plantor startar snabbare än andra eller härrör från olika årgångar fröfall²⁵⁸.

Sammantaget kommer det att finnas många olika typer av träd i naturliga föryngringar. Det kan då finnas möjligheter att genom urval skapa bestånd med träd med goda egenskaper som till exempel klen kvist och raka stammar. Men finns det på grund av till exempel skador inte några ”bra” träd går det inte att med urval få fram sådana.

I en plantering sätts lika stora plantor samtidigt på mer eller mindre regelbundna avstånd. Om det inträffar få allvarliga skador eller avgångar kommer träden i en plantering att få likartade egenskaper och möjligheterna att genom urval förbättra kvalitetsegenskaperna är ganska små.

Naturligt föryngrade plantor kommer inte att störas genom till exempel rotbeskärning, omskolning eller upptagning vid plantskolan eller vid plantering. Därmed minskar risken för att krökar i nedre delen av stammen ska uppstå.²⁵⁹

²⁵⁸ Agestam, E., Ekö, P.M., Johansson, U. & Klang, F. 1998. Tall på bördig mark. Virkeskvalitet och volymproduktion. SLU, Fakta Skog 1998–1.

²⁵⁹ Rune, G. 2003. Instability in plantations of container-grown Scots pine and consequences on stem form and wood properties. SLU, Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. Silvestria 281.

Det finns dock flera skäl till att resultatet kan bli dåligt med naturlig för-
yngning.²⁶⁰ I en mindre lyckad naturlig för-
yngning kan möjligheterna att få
träd med god kvalitet vara sämre än i en lyckad plantering. I glesa partier
kan snabbväxande grovkvistiga träd, vargar, bli vanliga.

Det är framför allt för tall som naturlig för-
yngning är ett alternativ. Det
finns exempel på naturlig för-
yngning med gran men risken att frö- och
skärmträd ska blåsa omkull är betydligt större än för tall och bland annat
därför används metoden sällan.²⁶¹

Nedan följer en redovisning av fältförsök med tall respektive gran där
kvalitetsegenskaper kvantifieras för plantering respektive naturlig för-
yngning av de båda trädslagen.

Tall. Naturlig för-
yngning av tall kan avsevärt förbättra virkets egenskaper
jämfört med plantering. Effekterna på flera viktiga egenskaper framgår
tydligt i två storskaliga långtidsförsök, i Tönnersjöheden i södra Halland
och i Linnebjörke i centrala Småland. I slutet av avsnittet finns två fakta-
rutor med fördjupade beskrivningar av fältförsöken och deras resultat.
Genomgående är mätningarna gjorda på cirka 500 tänkta framtidstammar
eller huvudstammar per hektar, väl spridda över arealen.

Kvaliteten på tallarna var genomgående bättre med naturlig för-
yngning.²⁶² Andelen raka träd var större, grövsta kvisten var klenare och förekomst av
sprötkvist var lägre jämfört med plantering. Skillnaderna var stora.

Ungefär 3–4 gånger så många träd i den naturligt för-
yngrade skogen var
helt raka jämfört med planterade tallar i de olika förbanden. Den grövsta
kvisten mellan stubbe och 2 m höjd var mellan 18 och 26 mm för plantering
och i medeltal 15 mm för de naturligt för-
yngrade tallarna. Sprötkvist var
vanligare bland planterade tallar, men eftersom sprötkvist är ett allvarligt
kvalitetsfel utsågs inte sådana träd som huvudstammar och mycket få
huvudstammar hade därmed sprötkvist.

Den bättre kvaliteten vid naturlig för-
yngning har ett pris. Omloppstiden blir
längre med naturlig för-
yngning om målet är att erhålla virke med liknande
dimensioner. Volymproduktionen blir lägre med naturlig för-
yngning även
om fröträdens tillväxt är medräknad. Förlusten i volymproduktion för en
omloppstid beräknades till cirka 10 %, jämfört med en plantering med 3000
å 4000 plantor per hektar, men mindre eller ingen förlust alls jämfört med
glesa planteringar (se även faktaruta i slutet av avsnittet).

Det bör noteras att om skogsodlingsmaterial med dagens förädlingsgrad
hade använts vid plantering, skulle tillväxtskillnaderna vara ännu större
jämfört med naturlig för-
yngning och genomgående till planteringen fördel.
Även kvalitetsegenskaper som stamrakhets- och grengrovlek hade sannolikt

²⁶⁰ Karlsson, C., Sikström, U., Örlander, Ö., Hannerz, M., Hånell, B & Fries, C. 2017.
Naturlig för-
yngning av tall och gran. Skogsskötselserien, kapitel 4. 2:a uppl.
www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien. (Hämtat 2022-03-28.)

²⁶¹ Gemmel, P. & Hannerz, M. 1994. Granför-
yngning under skärm, en litteraturstudie med
kommentarer. Skogforsk. Redogörelse 1994:4. 51 s.

²⁶² Agestam, E., Ekö, P.M. & Johansson, U. 1998. Timber quality and volume growth in
natural regenerated and planted Scots pine stands in S.W. Sweden. Studia Forestalia Suecica
nr 204.

också varit bättre hos planterade träd eftersom skogsträdsförädlingen även har inriktningen att förbättra sådana egenskaper.²⁶³

Gran. Till och från har det funnits intresse för naturlig föryngring av gran. Men risken för stormskador på frö- och skärmträd av gran har begränsat intresset och möjligheterna att använda metoden. Sedan stormen Gudrun 2005 är intresset i stort sett bortblåst. Det finns få studier som jämför virkets egenskaper i naturligt föryngrad och planterad gran. Några studier på bördiga marker i Halland visar att granen påverkas på liknande sätt som tall men att effekterna är mindre.^{264,265}

I studierna jämförs plantering av gran med förband från 1,5 m (4444 st/ha) till 2,5 m (1600 st/ha) med lyckade naturliga föryngringar av gran. Stamantalet i de lyckade föryngringarna var upp till 76 000 plantor/ha. Vid cirka 1 m höjd hade de röjts till samma stamantal per hektar som i den planterade jämförelsen.

Det var relativt små skillnader för flera egenskaper som är kopplade till virkets värde. Men genomgående tyder de på att naturlig föryngring kan ge virke med bättre egenskaper än planterad gran. Det var färre grenar per grenvarv i granarna som var uppkomna genom naturlig föryngring. Men avståndet mellan grenvarv var mindre och antalet grenar per meter stam därför likartat. Den grövsta grenens diameter mellan 1 och 2 m höjd på stammen var någon millimeter grövre i genomsnitt för planterade granar jämfört med naturligt föryngrade.

Naturlig föryngrade granskogar är ovanliga eftersom föryngringen är så riskfylld. Men detta enda försök visat att den sammantagna effekterna på virkets egenskaper kan bli stora. Mer än 90 % av rotstockarna från naturlig föryngring klassades som bästa kvalitet (O/S) jämfört med cirka 30 % av rotstockarna från de planterade. Se också figur V57.

Allvarliga skador, som sprötkvistar, slängkrökar och dubbelstammar var vanligare bland de planterade granarna. Den typen av skador kan ha uppkommit av frost och det kan antas att vid naturlig föryngring har fröträden gett en skärmeffekt som minskat frostskaorna. Det fanns ingen skillnad i frekvens av andra typer av skador eller stamkrökar.

Sett i helhet ger naturlig föryngring av gran möjlighet att få ett virke som i flera avseenden har bättre egenskaper än planterad gran. Men det är till priset av långsammare dimensionsutveckling, något som kan motivera förlängd omloppstid. Studierna indikerar också en liten förlust i volymproduktion vid naturlig föryngring. En betydande nackdel med naturlig föryngring av gran är den stora risken att frö- och skärmträd skadas av storm.

²⁶³ Rosvall, O., Andersson Gull, B., Berlin, M., Högborg, K.-A., Stener, L.-G., Jansson, G., Almqvist, G. & Westin, J. 2016. Skogsträdsförädling. Skogsskötselserien, kapitel 19. 2:a uppl. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien. (Hämtad 2022-03-28.)

²⁶⁴ Johansson, K. & Persson, A. 1997. Wood properties of natural regenerated and planted Norway spruce on a productive site in southwest Sweden. *Forest and Landscape Res.* 1: 399–414.

²⁶⁵ Klang, F. 2000. The influence of silvicultural practices on tree properties in Norway spruce. SLU. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria* 128.

Skärm

En skärm, ibland också kallat skärmställning eller högskärm, består av kvarstående stammar från det gamla beståndet. Jämfört med stamantalet i en fröträdsställning av tall består en skärm av många fler stammar, oftast det dubbla antalet stammar per hektar eller fler.

Tall. Virke från naturligt föryngrad tall har andra egenskaper än planterad tall. Som beskrevs ovan antar vi att det beror på det större plantantalet (i lyckade naturliga föryngringar) som ger en trängseleffekt och möjlighet till urval. Men själva frö- och skärmträden påverkar också den nya generationen och därmed virkets egenskaper. De bromsar tillväxten, något som ger smalare årsringar och klenare grenar som ofta anses vara positivt för virkets egenskaper och värde. Om flera träd lämnas så att det bildar en tät skärm blir effekten större.

I försöket i Tönnersjöheden, se ovan, var volymproduktion 5–10 % lägre med naturlig föryngring jämfört med en tät plantering. Med en skärm, det vill säga många fröträd som får stå kvar länge, blir effekten större både på trädens egenskaper och volymproduktionen. I en studie i nordöstra Skåne bromsade skärmträden tillväxten hos den nya generationen. Med skärmträdens tillväxt inräknad beräknas beståndet föryngrad under skärm få en medeltillväxt under en omloppstid som blir cirka 20 % mindre än det planterade beståndet.²⁶⁶

Gran. Skärmar påverkar också egenskaper hos gran. I en studie²⁶⁷ där gran etablerats med och utan skärm jämfördes bland annat grövsta kvistens diameter, antal grenar, årsringsbred och virkets densitet. Skärmarna var både lågskärmar av björk och högskärmar av tall och björk.

Skärmarna hade en liten effekt på grövsta grenens diameter, cirka 20 %. När resultaten jämfördes med förbandsförsöken i gran som beskrevs ovan, motsvarar minskningen i grövsta genens diameter en ökning av planteringsförbandet på kalmark från 2500 granar per hektar till cirka 4500 granar per hektar.

Det var fler grenar per grenvarv i plantering på kalmark men samtidigt längre mellan grenvarven och det resulterade, som i många andra studier, i samma antal grenar per meter stam. Det var en lägre frekvens sprötkvistar under skärm, troligen beroende på mindre frostsador. Årsringarna var tunnare i granar under skärmen men virkets densitet trots det lika.

Röjning

Röjning är en kraftfull åtgärd för att forma skogen och trädens egenskaper.²⁶⁸ Möjligheterna att påverka beror på utgångsläget. I en föryngring med stort stamantal, till exempel en lyckad naturlig föryngring av tall, är förhållandena oftast goda för att producera timmer med goda och önskade

²⁶⁶ Ekö, P.M. & Agestam, E. 1994. A comparison of Naturally generated and planted Scots Pine (*Pinus sylvestris*) on a fertile site in southern Sweden. *Forest & Landscape Research* 1: 111–126.

²⁶⁷ Klang, F. & Ekö, P.M. 1999. Tree properties and yield of *Picea abies* planted in shelterwoods. *Scand. J. For. Res.* 14: 262–269.

²⁶⁸ Pettersson, N., Fahlvik, N. & Karlsson, A. 2012. Röjning. Skogsskötselserien, kapitel 6. 2:a uppl. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien. (Hämtad 2022-03-8.)

virkesegenskaper. I en gles föryngring, kanske med inslag av mindre önskvärda trädslag och med skador på träden, är däremot möjligheterna sämre, hur väl röjning än genomförs.

Påverkan i ungskogsfasen beror på två olika faktorer, urval och täthet. Röjning innebär att en del träd tas bort för att gynna andra. Genom att välja vilka träd som avverkas och vilka som ska lämnas kan kvalitetsegenskaper påverkas. Tätheten bromsar tillväxten hos enskilda träd. Hög täthet ger smala årsringar och klena grenar.

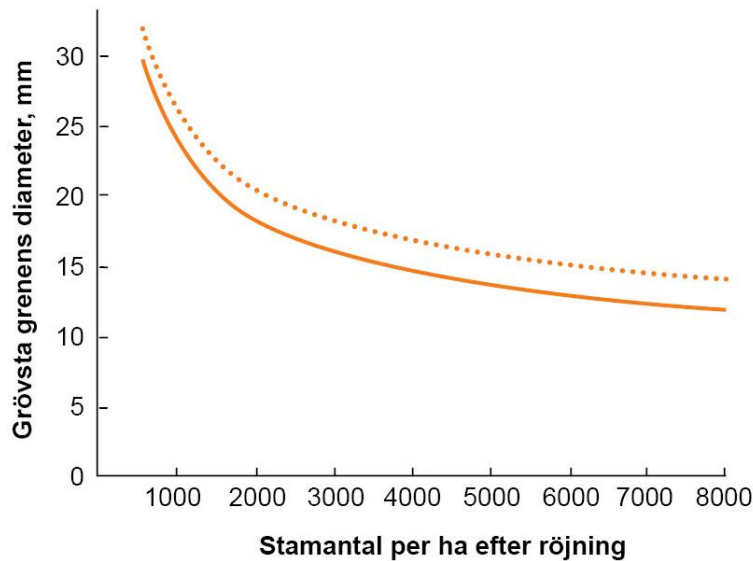
Andra effekter av tätheten är hur fort grenar dör och den gröna kronan flyttas uppåt. När grenar dör kan de inte växa sig grövre, när de ramlar av kan övervallning börja och kvistfritt virke bildas. Dock betraktas döda kvistar i virket ibland som en sämre egenskap än friska kvistar.

Vid hög beståndstäthet är totala volymtillväxten högre än vid låg täthet. Men konkurrensen kan bli så stor att en del bra träd, eller kandidater till att bli kvalitetsmässigt bra träd, tappar i tillväxt och i synnerhet diametertillväxt. Går detta långt kommer träd att bli så hårt trängda att de förlorar vitalitet och inte längre är lämpliga att lämna vid en röjning. De kan så småningom dö av konkurrens, en utveckling som är snabbare för ljuskrävande trädslag. Att bara några år lämna ett ungt bestånd av ljuskrävande trädslag, som tall eller björk, tätt kan innebära att kandidater till framtidsstammar trängs så hårt att de inte längre är lämpliga att lämna. På magra marker tar sådana processer länge tid.

Gran är tåligare för trängsel än tall. Trängselproblemen uppstår inte lika tidigt hos gran och får heller inte samma konsekvenser för produktion av virke med goda egenskaper.

Urvalet vid röjning handlar förutom att reglera täthet och trädslagsfördelning också om att lämna bra träd väl fördelade över arealen. Med bra träd avses här träd med önskade egenskaper och goda tillväxtmöjligheter. Ofta går det inte att lämna alla bra träd. De kan förekomma gruppvis och helt saknas i andra delar av beståndet. Då måste en del bra träd röjas bort och i andra områden lämnas kvalitetsmässigt sämre träd.

Tidpunkt för röjning och röjningens utförande är en avvägning mellan önskemål om tillväxt och blivande virkesegenskaper. Vid tidig röjning blir effekterna av hög täthet på egenskaper som grengrovlek begränsad (figur V58), men samtidigt får de utvalda träden längre tid för att växa och bli grova. Vid sen röjning kan kvalitet ha danats av trängsel under lång tid, men med risken att bra träd genom hård konkurrens tappar i tillväxt och vitalitet.



Figur V58 Diametern hos den grövsta grenen på tallstammars nedersta 4 m sedan beståndet har röjts olika hårt vid 2 m (övre kurvan) respektive 4 m beståndshöjd (nedre kurvan). Källa: Pettersson m.fl. (2012).²⁶⁹

Vid tidig röjning kan endast en liten del av den blivande stammen bedömas. Skador och kvalitetsfel högre upp i stammen går att ta hänsyn till om röjningen görs senare. Det är ett skäl till den vanliga rekommendationen att röja sent om risken för viltskador är stor. Vid sen röjning kan skadade träd tas bort till förmån för bättre. Det är billigare att röja tidigt, men det kan också innebära att beståndet måste röjas ytterligare en gång.

Liknande resonemang kan föras om röjningsstyrka. Vid hård röjning till låg täthet avstannar kvalitetsdaningen men de kvarvarande träden växer sig grova snabbare. Vid svag röjning påverkas inte enskilda träd tillväxt lika mycket men kvalitetsdaningen på grund av täthet fortsätter.

Röjningens påverkan på virkets egenskaper har studerats i fältförsök både i Sverige^{270,271} och Finland^{272,273}. Efter röjning ökar diametertillväxten och årsringarnas bredd. Den grövsta grenens diameter och krongränshöjden påverkas så att röjda bestånd får en grövre grövsta gren och en lägre krongrän. Det beror på att tätheten minskat efter röjning. Däremot påverkas inte till exempel antal grenar och grenvinklar av röjning.

²⁶⁹ Pettersson, N., Fahlvik, N. & Karlsson, A. 2012. Röjning. Skogsskötselserien, kapitel 6. 2:a uppl. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien. (Hämtad 2022-03-28.)

²⁷⁰ Andersson S.-O. 1985. Röjning och virkeskvalitet. I: Kvalitet behöver vi det? Skogsfakta konferens nr 7: 88–95. SLU.

²⁷¹ Ahnlund Ulvcróna, K., Claesson, S., Sahlén, K. & Lundmark, T. 2007. The effects of timing of pre-commercial thinning and stand density on stem form and branch characteristics of *Pinus sylvestris*. *Forestry* 80(3): 323–335.

²⁷² Valkonen, S. & Ruska, J. 2003. Effect of *Betula pendula* admixture on tree growth and branch diameter in young *Pinus sylvestris* stands in southern Finland. *Scand. J. For. Res.* 18: 416–426.

²⁷³ Varmola, M. & Salminen, H. 2004. Thinning and intensity of precommercial thinning in *Pinus sylvestris* stands. *Scand. J. For. Res.* 19: 142–151.

Flera egenskaper påverkas alltså av röjning. Men effekterna på egenskaper som densitet är relativt små²⁷⁴. Påverkan är också begränsad till virke som bildas åren mellan röjning och första gallring.

I det perspektivet är urvalet vid röjning mycket viktigare än tätheten. Att det verkligen görs en röjning och därmed ett val av trädslag och att skadade, krokiga och på annat sätt olämpliga träd tas bort har mycket större betydelse för virket än om beståndets täthet efter röjning varierar med flera hundra stammar mer eller mindre.

Röjningsstudierna är i allmänhet utförda i relativt homogena bestånd. Men röjningen har kanske störst effekt i ojämna bestånd med stor skillnad mellan individer och med flera trädslag, till exempel självföryngrad björk tillsammans med planterad tall eller gran. Att i heterogena bestånd genom urval lämna kvar och gynna bra individer av lämpligt trädslag kan ha stor effekt på beståndet, träden och virket som produceras.

För att skapa kvalitetsmässigt bra bestånd kan det vara lämpligt med mer än en röjning.²⁷⁵ En första röjning görs då tidigt, kanske vid 1 meters höjd och inriktas på att reglera trädslagsblandningen. Den andra röjningen kan lämpligen göras vid 4–5 meters höjd och stamantalet reduceras till cirka 2000–3000 stammar per hektar.

Gallring

Gallringens påverkan på virkets egenskaper har stora likheter med röjningens effekter. Det handlar om täthet och urval. Möjligheterna att påverka virkets egenskaper är mindre i gallringsfasen eftersom stamantalet redan är reducerat och möjligheterna till urval därmed mindre. Mycket av kvaliteten i trädets nedre delar, som är de mest värdefulla, är till stor del redan anlagd och finns i stammen när första gallringen utförs. En vanlig övre höjd vid första gallringen är 12–13 meter. Det betyder att allt virke ovanför den höjden bildas under andra förhållanden än virket i den nedre delen av trädet. Eftersom mycket av virket i ett träd bildas efter den första gallringen blir det en mycket viktig period under ett bestånds omloppstid.

Undvik skador i gallringsfasen

Det kanske viktigaste för att få fram hög virkeskvalitet är att undvika att skada träden. Skador som är kopplade till gallring och har påverkan på virkesegenskaper är i huvudsak tre:

- röta
- stormskador
- körskador

²⁷⁴ Ulvcróna, T. & Ahnlund Ulvcróna, K. 2011. The effects of pre-commercial thinning and fertilization on characteristics of juvenile clearwood of Scots pine. *Forestry* 84(3): 207–219.

²⁷⁵ Pettersson, N., Fahlvik, N. & Karlsson, A. 2012. Röjning. Skogsskötselserien, kapitel 6. 2:a uppl. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien. (Hämtad 2022-03-28.)

Röta. Olika svampar kan förorsaka mycket skada i ett bestånd men det är särskilt rottickan, *Heterobasidion spp.*, som ger skador på virket hos gran.²⁷⁶ De färska granstubbarna i en gallring är en inkörsport för rottickan. Svampen växer vidare genom rotsystemet och genom rotkontakt kan den nå nya friska träd. Rottickan bryter ned cellulosa och lignin i veden. Först syns missfärgning men om angreppet fortsätter bryts mer och mer cellulosa och lignin ned och veden blir lösare. När nedbrytningen har pågått länge uppstår så kallad hålröta (figur V59). Rötskadat virke ger därför både sämre och mindre timmer och massaved.

Risken för rötangrepp minskar om gallring utförs under vintern eller om stubbarna behandlas vid gallring när det är varmare än ett par plusgrader, det vill säga under sommaren men beroende på landsdel också under delar av vår och höst.²⁷⁷



Figur V59 Röta hos gran. Flera stadier, från färgförändring till lösröta och hålröta. Foto Eric Agestam.

Stormskador. Gallring medför ökad risk för stormskador, särskilt under åren närmast efter åtgärden. Genom att låta bli att gallra och istället lämna ett bestånd orört minskas skaderisken. Detta är dock sällan ett bra alternativ bland annat eftersom det håller tillbaka diameterutvecklingen och den kvalitetshöjande effekten av urval uteblir. Tidig gallring medför mindre risk för stormskador än sen gallring och svag gallring mindre risk än stark. Att gallra tidigt och hårt minskar fortsatt kvalitetsdaning genom trängsel och möjligheterna att göra urval senare.²⁷⁸

Körskador. I stort sett all gallring sker idag med maskiner som oftast kör i stickvägar i beståndet. Både fällning, upparbetning och uttransport av virke kan skada kvarvarande träd. Träden är känsligast för körskador på våren då tillväxten startar. Vid den tiden skadas och lossnar barken lättast (figur V60).

²⁷⁶ Se till exempel: Agestam, E. 2015. Gallring. Skogsskötselserien, kapitel 7. 2:a uppl. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien. (Hämtad 2022-03-28.)

²⁷⁷ Berglund, M. & Rönnberg, J. 2017. Rotröta. I: Skador på skog, del 1, Skogsskötselserien, kapitel 12. 2:a uppl. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien. s. 16–18. (Hämtad 2022-03-28.)

²⁷⁸ Agestam, E. 2015. Gallring. Skogsskötselserien, kapitel 7. 2:a uppl. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien. (Hämtad 2022-03-28.)

De svåraste körskadorna förorsakas ofta av skotaren som transporterar ut virket ur skogen.²⁷⁹ Orsaken är att dess stora tyngd kan skada rötter och stammar vid stickvägen. Skador på stammar sätter ner virkesvärdet och kan liksom rotskador vara inkörsport för olika rötsvampar.

Körskadorna blir i allmänhet mindre om stickvägarna är breda och avståndet mellan dem är kort. Skogsmaskinerna har då mer utrymme att operera på och kranarna med aggregaten behöver inte sträckas så långt in i beståndet vilket gör att risken att skada träd är mindre. Men det innebär att arealen där ett aktivt urval görs blir mindre och större andel träd fälls som så kallade tvingande uttag för att skapa stickvägar.



Figur V60 Skador som uppkommer vid gallring sätter ner värdet på virket. Särskilt utsatta är träd invid en stickväg. Ofta går de inte att avverka utan att stickvägen blir onödigt bred. Att ta bort kanträd kan också öka risken för stormskador. Dessutom får kanträden goda tillväxtmöjligheter med liten konkurrens och kan växa sig grova och värdefulla om de inte skadas. Bogesund. Foto Eric Agestam.

Trädets påverkan av gallring

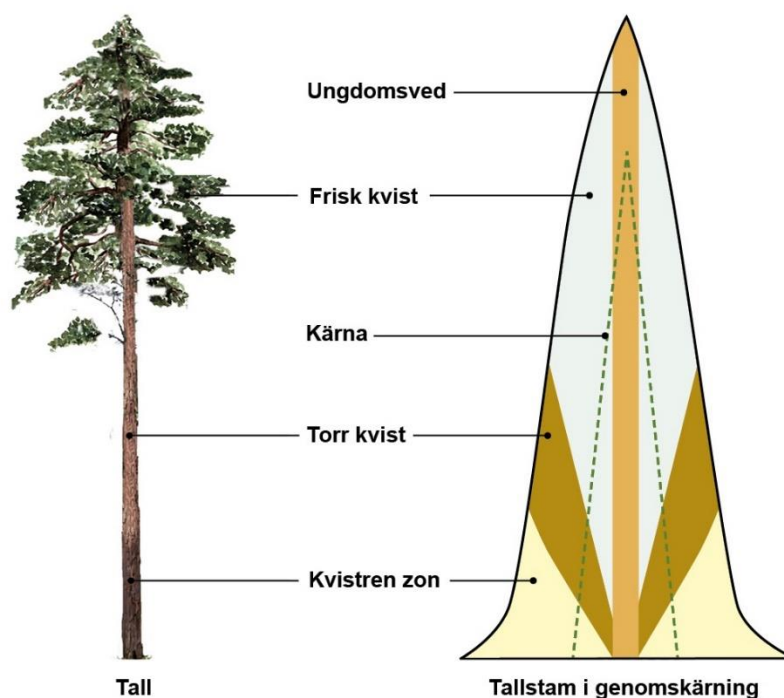
Gallring påverkar egenskaper hos virket i träd på flera sätt. Dels genom att åtgärden gynnar bildning eller tillbakabildning av vissa av trädets delar, dels genom att den förändrar proportionerna mellan delar av trädets som har olika egenskaper.

²⁷⁹ Johansson, K., Agestam, E., Johansson, U. & Nilsson, U. 2002. Skador i samband med gallring i granskogen litteraturstudie.
https://www.researchgate.net/publication/242779080_Skador_i_samband_med_gallring_i_granskog-en_litteraturstudie (Hämtad 2022-03-28.)

Kärnvedsbildning. En pågående process i träd är förändringar av veden i centrum av stammen. Den beskrivs mer ingående i avsnitt *Vedens bildning och uppbyggnad*.

För trädslag som tall och ek är kärnveden värdefull och ökar trädets värde. Men för vissa trädslag är förändringar av kärnveden ett påtagligt problem. Hos till exempel bok och ask sänker en mörk kärna värdet på virket. Oavsett om förändring av veden i trädets kärna är önskvärd eller inte, är det svårt att påverka utvecklingen. Genom utformning av gallringsprogram och val av omloppstid kan dock diametertillväxten, diametern och därmed andelen kärnved påverkas.

Övre delen av trädet bildas under gallringsfasen, men de värdefullaste sortimenten finns i allmänhet i rotstocken som bildats tidigare. Är kvaliteten bra i rotstocken kan hög diametertillväxt och lång omloppstid öka andelen bra virke som anläggs utanför rå och torr kvist (figur V61).



Figur V61 Principbild av ett träd med kvistfritt virke, virke med torr kvist och virke med frisk, grön kvist. I centrum finns ungdomsveden, de 10–15 innersta årsringarna och kärnved. Kärnvedens och ungdomsvedens utbredning är generaliserad. Beroende på årsringarnas bredd på olika nivåer i trädets kärnvedens och ungdomsvedens utbredning variera. Illustration Bo Persson.

Krongräns. Många egenskaper av betydelse för virkets kvalitet har redan bildats innan första gallringen. Mängden kvistar och deras diameter i rotstocken är exempel på sådana egenskaper.

Däremot påverkas krongränshöjden, det vill säga höjd från mark till lägsta levande (gröna) kvist, av gallring. Efter en hård gallring står träden glest och krongränsen kommer inte att förflytta sig eller förflytta sig endast långsamt uppåt. Relationen mellan andelen stam med torr respektive frisk kvist förändras med krongränsen. Beroende på trädslag och kvalitetsklassning av virke kan det vara till fördel eller nackdel. Levande grenar kan växa sig grövre till skillnad från döda grenar.

Ungdomsved. Ungdomsved bildas närmast märe och brukar vanligtvis anses bestå av de cirka 5–15 innersta årsringarna (se avsnitt *Veden bildning och uppbyggnad*). Årsringarna som bildar ungdomsved kommer att vara breda om trädet växer fort, till exempel efter röjning eller gallring. Högre upp i stammen är konkurrensen mindre efter gallring än när veden i rotstockarna anlades. Därför är både mängden och andelen ungdomsved större längre upp i trädet. För det ekonomiska värdet av trädet spelar detta sannolikt inte så stor roll eftersom det grövsta och mest värdefulla virket finns längst ner i trädet. Men för massavedens och den klenare timrets egenskaper har det betydelse.

I bestånd som hålls täta eller ogallrade blir andelen ungdomsved stor. Om beståndet gallras ökar diametertillväxten och därmed diametern och andelen ungdomsved blir därför mindre i gallrad jämfört med i ogallrad skog även om den absoluta volymen ungdomsved är oförändrad. Om omloppstiden förlängs och diametern ökar kommer på samma sätt andelen ungdomsved i trädet att minska..

Vid höggallring lämnas små träd som växt långsamt när ungdomsveden bildades. Den absoluta mängden juvenilverd är därför liten men proportionerna blir ungefär desamma som vid låggallring eftersom virket är klenare än efter höggallring.²⁸⁰

Virkets densitet. Årsringsbredden påverkar virkets densitet. Effekten är större om tillväxten är låg, det vill säga om årsringen är smal. En ökning från en redan bred årsring har liten påverkan på densiteten (figur V62).

Frågan om samband mellan årsringsbredd och densitet har länge varit av intresse. En viktig orsak är att virkets densitet har betydelse för utbytet i massaindustrin och om årsringsbredden har stor påverkan på densiteten kan det i sin tur ha betydelse för skogsskötseln. En stor genomgång av dåvarande Skogshögskolans gallringsförsök presenterades 1966.²⁸¹ Redovisningen är fascinerande detaljerad:

Hos tall påverkades densiteten endast lite av gallring. I stammar från aktivt gallrade försöksytor var densiteten 2 % lägre jämfört med i stammar från ej gallrade försöksytor. Gallring påverkade densiteten något mer för gran. Den var 5–8 % lägre på gallrade jämfört med på ogallrade försöksytor.

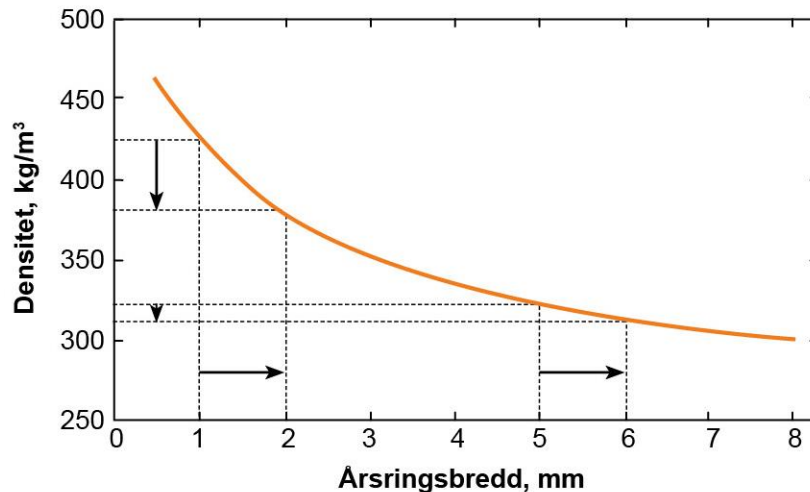
Det var mycket små skillnader i halt av sommarved i årsringar mellan stammar från ogallrade och gallrade delar av försöken. Det gäller för både tall och gran. Senare studier har givit liknande resultat.^{282,283}

²⁸⁰ Pape, R. 1999. Effects of thinning on wood properties of Norway spruce on highly productive sites. SLU. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria 88.

²⁸¹ Ericsson, B. 1966. Gallringens inverkan på vedens torr-råvolymvikt, höstvedhalt och kärnved hos tall och gran. Skogshögskolan, inst. för skogsproduktion. Rapport nr 10.

²⁸² Mörling T. 1999. Effects of nitrogen fertilisation and thinning on growth and clear wood properties in Scots pine. SLU. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria 84.

²⁸³ Pape, R. 1999. Effects of thinning on wood properties of Norway spruce on highly productive sites. SLU. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria 88.



Figur V62 Förhållandet mellan densitet och årsringsbredd hos gran. Är tillväxten hög (som till exempel på en bördig mark) påverkas densiteten mycket lite. En ökning av årsringsbredden från 5 till 6 mm medför mycket liten effekt på densiteten. Är årsringen smal före gallring (som till exempel på en mager mark eller om tätheten före gallring är hög) påverkas densiteten mer av ökad årsringsbredd. Årsringar så smala som 1 mm eller så breda som 5 à 6 mm är dock ovanligt, se till exempel figur V63 nedan. Efter Pape (1999).²⁸⁴

I tabell V10 redovisas hur en mängd träd- och vedegenskaper påverkas av gallring hos gran. Ingen enstaka effekt är påfallande stor. Det intressanta är hur utfallet sågat virke blir, vilket beskrivs i det följande avsnittet.

Årsringsbredd och det sågade virkets egenskaper. Gallringsprogram påverkar trädens tillväxt som resulterar i skillnader i årsringsbredd. I mogen ved, från cirka den 20:e årsringen och utåt, är årsringsbredden i allmänhet några millimeter bred. Endast vid mycket hårda gallringar bildas årsringar som är bredare än 4 à 5 mm (figur V63, övre delen). Om gallringen utförs som en hård gallring blir det också stora skillnader i årsringsbredd inom samma träd. Men trots de stora skillnaderna i årsringsbredd är det små skillnader i det sågade virket vad gäller egenskaper som böjning, styrka och skevhet. I figur V63, nedre delen, visas skevhet hos sågat virke av gran, men resultaten är liknande även för böjning, styrka och skevhet²⁸⁵.

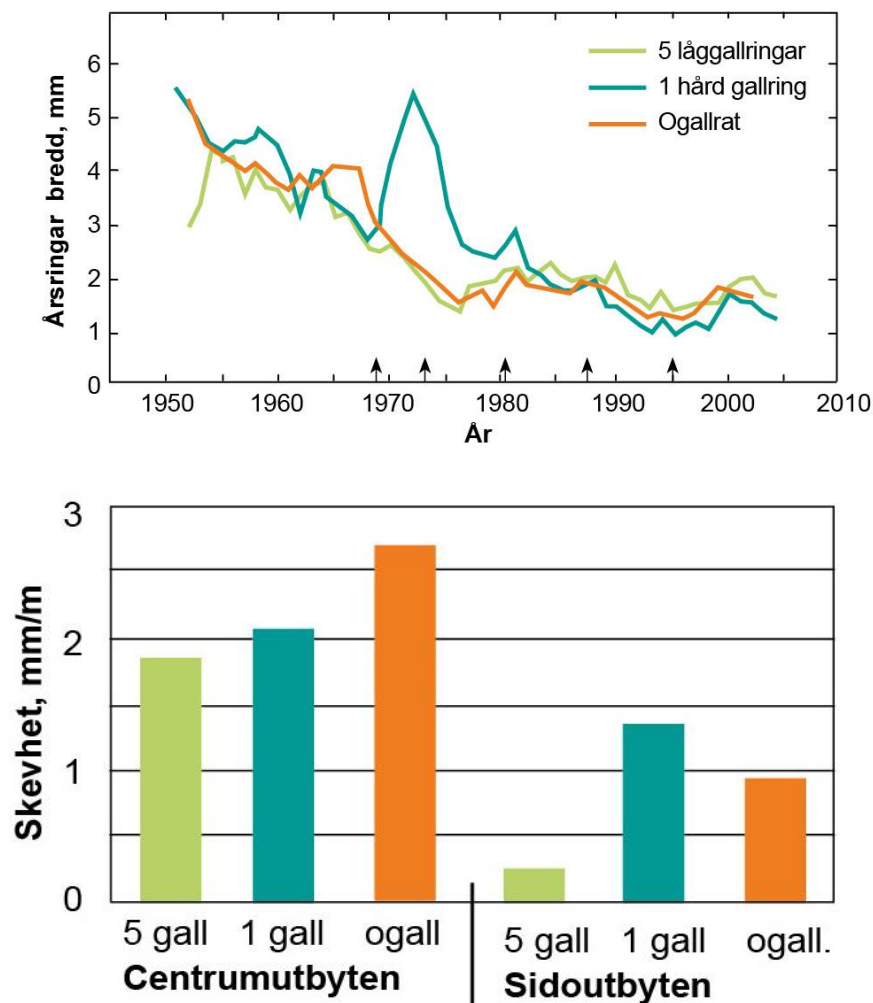
²⁸⁴ Pape, R. 1999. Effects of thinning on wood properties of Norway spruce on highly productive sites. SLU. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria 88.

²⁸⁵ Pfister, O. 2009. Influence of spacing and thinning on tree and wood characteristics in planted Norway spruce in southern Sweden. SLU. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria 2009:61.

Tabell V10 En sammanfattning av gallringens effekter på virkets inre egenskaper hos gran. I tabellen jämförs fyra gallringsprogram och ingen gallring (ogallrat). Låggallring: 4 ggr, grundyta i medeltal cirka 28 m²/ha efter gallring (4:28L). Höggallring: samma antal och samma genomsnittlig grundyta efter gallring (4:28Hög). Hård gallring: grundyta i medeltal efter gallring 23 m²/ha (2:23L). En hård gallring: uttag cirka 70 % och grundyta efter gallring cirka 12 m²/ha (1:12L). Efter Pape (1999).²⁸⁶

	Låg- gallring (4:28L)	Hög- gallring (4:28 Hög)	Hård gall- ring (2:23L)	En hård gallring 70 % (1:12L)	Ogall- rat
Virkesegenskaper					
Årsringsbredd	0		+ (0)	++	–
Veddensitet	0	+ (0)	– (0)	–	0
Diameter juvenilverd	0	–	0	+	0
Juvenilvedsandel	0	0 (–)	0	0	++
Yttre egenskaper					
Grövsta kvistens diameter (1–2 m höjd)	0	0	0	+ (0)	0
Förhållandet kvist/stam- diameter	0	+	0	0	+
Proportion grön krona	0	0	+	+	–
Avsmalning mellan 1,3 och 4 m	0	– (0)	0	+	–
Inre egenskaper					
Växtvridenhet	0	–	0 (+)	+	–
Cellväggarnas tjocklek	0	+	0	0	+
Trakeid, radiell diameter	0	0	0	0	0
Trakeid, tangentiell diam.	0	0	0	0	0
Höstvedsandel i årsringen	0	+	0	0	+

²⁸⁶ Pape, R. 1999. Effects of thinning on wood properties of Norway spruce on highly productive sites. SLU. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria 88.



Figur V63 Årsringsbredd vid 4 m höjd för fyra olika gallringsprogram i gran (övre bilden), och skevhet hos sågat virke (45 mm × 95 mm) från stockar 4–9 m upp i stammen från samma träd. Gallringsprogrammen var: 5 låggallringar, en mycket hård gallring och ingen gallring (ogallrat). Pilarna indikerar gallringstillfällen. Cirka 10 träd analyserades från varje gallringsprogram och ogallrat. Planterad gran, Götaland. Ståndortsindex G32. Från Pfister (2009).²⁸⁷

Urval vid gallring

Vid gallring väljs de träd ut som ska lämnas för att växa vidare. Sättet att välja träd kallas gallringsform. Hur urvalet görs påverkar de framtida virkesegenskaperna i ett bestånd. Vid första gallringen är det vanligt att det finns omkring 2000 träd per hektar. Inför slutavverkning har stamantalet reducerats till omkring 500 per hektar. Då har i storleksordningen tre träd av fyra gallrats ut. Med tätare utgångsförband ökar möjligheterna till urval så att så många som fem träd av sex gallrats ut.

Möjligheterna till urval vid gallring är dock begränsat. Oberoende av gallringsform är det lämpligt att ta bort undertryckta eller försvagade träd.

²⁸⁷ Pfister, O. 2009. Influence of spacing and thinning on tree and wood characteristics in planted Norway spruce in southern Sweden. SLU. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvustria 2009:61.

Därefter tas träd med skador och stora kvalitetsfel bort. Krökar och böjar brukar vara de allvarligaste felen.

Trädens fördelning i ett bestånd som ska gallras kan ytterligare försvåra möjligheterna att göra ett urval. I delar av beståndet kan bra träd stå så nära varandra att något eller några av dem bör gallras ut. I andra delar kan det vara nödvändigt att lämna mindre bra träd för att inte skapa luckor vid gallringen. Vid första gallringen tas en del av virket ut för att skapa stickvägar för skördare och skotare att köra i, och där sker inget urval. Även bra träd kan komma att avverkas för stickvägar.

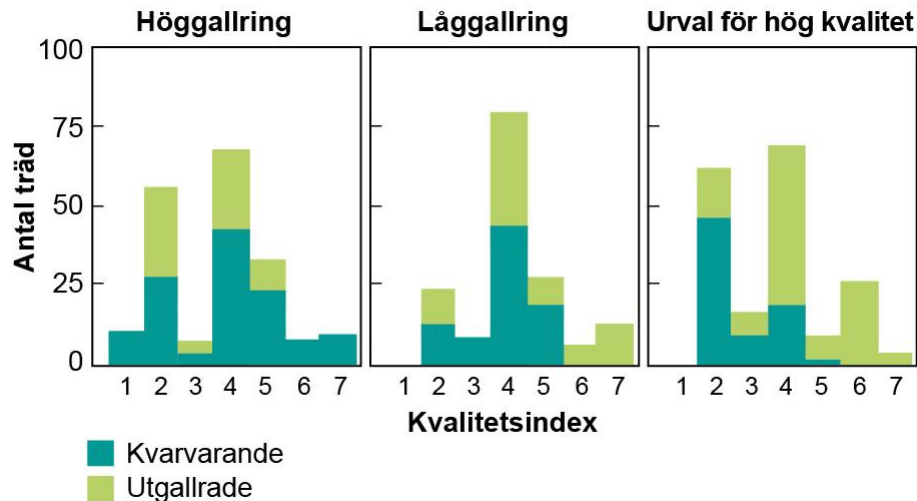
Utgångsläget inför gallring bestämmer möjligheterna att i gallringsfasen påverka virkesegenskaperna hos kvarvarande träd. Utgångsläget beror på hur beståndet anlagts, om skador uppstått och hur ungskogsröjningen genomförts. Från ett dåligt utgångsläge går det inte att med gallring skapa bra träd.

I några fältförsök med tall och gran har utfallet av olika gallringsstrategier studerats.^{288,289} Den vanliga gallringsformen låggallring har jämförts med gallring som strävar mot stor areell jämnhet utan att ta hänsyn till trädens egenskaper och med gallring som utförs som höggallring samt med ytterligheter där hänsyn inte tagits till trädens storlek utan där bara de ”finaste” respektive ”fulaste” träden lämnats. Dock togs hänsyn till jämnheten så inte delar av beståndet skulle kalhuggas eller lämnas ogallrade. Gallringen gjordes till samma grundyta efter gallring.

I de beskrivna försöken gav höggallring och låggallring någorlunda lika resultat avseende kvalitetsegenskaper hos kvarvarande träd (figur V64). Det tyder på att stora träd som tas ut i höggallring inte nödvändigtvis har andra virkesegenskaper än mindre träd. Att bara se på diameter och ta ut stora träd förbättrar inte automatiskt beståndets kvalitet. När gallring inriktats på att lämna ”bra” träd har alla riktigt dåliga träd tagits bort, men alla träd som är kvar tillhör inte den bästa kvalitetsklassen. Resonemanget och resultaten gäller för både tall och gran. Samtidigt är det viktigt att påpeka att alla bestånd är olika med varierande förutsättningar att erhålla träd med bra egenskaper.

²⁸⁸ Klang, F. 2000. The influence of silvicultural practices on tree properties in Norway spruce. SLU. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria 128.

²⁸⁹ Liziniewicz, M. 2014. Influence of spacing and thinning on wood properties in conifer plantations. SLU. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria 2013:6.



Figur V64 Figuren illustrerar svårigheten att med gallring öka andelen träd med god kvalitet. I ett fältförsök med gran på Asa försökspark i Småland mättes egenskaper som krokar, grengrovlek och antal grenar. Skador som sprötkvist noterades. Därpå klassades träden i 7 kvalitetsklasser, från 1, den bästa (raka, utan skador, få och kläna grenar), till 7 som är den lägsta, (krokiga, sprötkvist, mycket och grova grenar). Gallring har utförts vid två tillfällen och till samma grundyta. I låg- och höggallring togs kläna respektive grova träd ut oberoende av kvalitet. I det tredje försöksledet grundades urvalet endast på trädets kvalitet. I alla gallringar fanns krav på någorlunda jämn fördelning över arealen. Efter Liziniewicz (2014).²⁹⁰

Gödsling

Gödsling med kväve är den enda skogsbruksåtgärd som på relativt kort sikt kan höja skogsproduktionen. En gödselgiva om 100–150 kg kväve per hektar ökar tillväxten under en 10-årsperiod och ger trädet större dimensioner. Det ökar i allmänhet värdet på trädet eftersom prislistorna premierar grova dimensioner. Den extra volymen kan dessutom vara än mer värdefull om det bildas kvistfritt virke ytterst på stammen. Den ökande årsringsbredden ger små förändringar av virkets egenskaper.

För tall har noterats mindre än 10 % förändring av densitet, förhållande mellan vår- och sommarved, tjocklek hos cellväggarna samt mindre än 5 % förändring av trakeidernas diameter och längd.²⁹¹

Stamkvistning

Målet med stamkvistning är oftast att förbättra värdet på trädets rotstockar vid tiden för slutavverkning. Ju tidigare åtgärden utförs desto mer kvistrent virke och mindre kvistmärken kan stocken innehålla vid skörd.

²⁹⁰ Liziniewicz, M. 2014. Influence of spacing and thinning on wood properties in conifer plantations. SLU. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria 2013:6.

²⁹¹ Mäkinen, H. & Hynynen, J. 2014. Wood density and tracheid properties of Scots pine: response to repeated fertilization and timing of the first commercial thinning. Forestry 87: 437–447.

Mer om stamkvistning kan läsas i Skogsskötselseriens kapitel Stamkvistning²⁹², Skötsel av björk, al och asp²⁹³ samt Skötsel av ädellövskog.²⁹⁴

Omloppstid

Mot slutet av omloppstiden finns mycket virke i stammarna.

Kärnvedsbildning förändrar egenskaperna hos redan bildat virke. Hos till exempel ek anses det värdefullt men för många trädslag är kärnvedsbildning varken värdefullt eller synlig.

Förutom kärnvedsbildning förändras inte redan bildat virke inne i stammen om inte trädet skadas. Densiteten och kvistgrovlek är lika om inte trädet skadas. Röta kan angripa virket och yttre mekanisk påverkan kan medföra till exempel sprickbildning.

Nya årsringar bildas ytterst i stammen. På kvistfria stamdelar kan de ge värdefullt kvistfritt virke. Dessutom betalas grova stockar ofta mer och avverkningskostnaden är lägre per kubikmeter för stora träd än för små.

I allmänhet finns dock en övre diameter där priset kulminerar och en högsta diameter där industrin inte tar emot virke över huvud taget. Den övre diametern varierar beroende på trädslag och marknad. Val av omloppstid tas upp i Skogsskötselseriens kapitel om slutavverkning.²⁹⁵

Något om andra trädslag

Intresset bland skogsägare för lövträd har ökat de senaste decennierna, men marknaden för andra sortiment än massaved eller energived är begränsad. Trots det ökade skogsägarintresset upplever köpare av lövvirke att de får virke med alltför dåliga egenskaper. Det leder till att priserna sjunker, vilket i sin tur leder till att intresset att producera lövvirke av god kvalitet minskar.

Ett annat problem är att det ofta är små volymer lövvirke i en avverkning. Transporten av det virkessortimentet blir därför förhållandevis dyr. Slutligen finns betydligt mindre erfarenhet av skötsel av lövträd än av barrträd hos skogsägare, förvaltare, med flera.

Björk

Skillnaderna i kvalitet mellan olika genetiska material av björk är stora. Den naturliga förekommande björken i södra Sverige och särskilt i sydväst har sämre virkesegenskaper än den i norra Sverige.²⁹⁶ För bra virkeskvalitet i framför allt sydvästra Sverige bör björk inte föryngras naturligt utan i stället

²⁹² Falck, J. 2014. Stamkvistning. Skogsskötselserien, kapitel 8. 2:a uppl. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien. (Hämtad 2022-03-28.)

²⁹³ Rytter, L., Karlsson, A., Karlsson, M. & Stener, L.-G. 2014. Skötsel av björk, al och asp. Skogsskötselserien, kapitel 9. 2:a uppl. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien. (Hämtad 2022-03-28.)

²⁹⁴ Löf, M., Möller-Madsen, E. & Rytter, L. 2015. Skötsel av ädel lövskog. Skogsskötselserien, kapitel 10. 2:a uppl. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien. (Hämtad 2022-03-28.)

²⁹⁵ Lundqvist, L., Lindroos, O., Hallsby, G. & Fries, C. 2014. Slutavverkning. Skogsskötselserien, kapitel 20. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien. (Hämtad 2022-03-28.)

²⁹⁶ Almgren, G. 1990. Lövskog: björk, asp, al i skogsbruk och naturvård. Skogsstyrelsen. 261 s.

bör förädlad plantmaterial användas. Virkeskvaliteten blir bättre och tillväxten är högre.

Björk är eftertraktad av vilt. Det kan därför vara lämpligt att hägna föryngringar med planterade förädlade plantor eller skydda dem med viltrepellenter. Men kostnaden är hög. Viltskador kan förorsaka toppbrott krökar, dubbelstammar och andra nedsättande skador.

Björk kan ge bra kvalitet utan särskild trängselverkan. Tvärtom kan ett hårt gallringsprogram vara bra för att få grova stockar.

Vid plantering med förädlade plantor kan 3 m förband, motsvarande drygt 1000 stammar per hektar, räcka för att erhålla bra virkesegenskaper. Men ofta behövs betydligt fler stammar eftersom björk är begärligt att beta och avgången kan blir stor. En vanlig rekommendation är 2000–3000 stammar per hektar.

Vid plantering och självföryngring är det viktigt att röja fram bra träd med raka stammar och utan dubbelstammar eller klykor, för att tidigt ge dem möjlighet att utvecklas (figur V65).²⁹⁷ Första gallring bör göras när krongränshöjden är 4–6 meter vilket inträffar när trädhöjden är 10 meter eller mer, beroende på beståndets täthet. Gallring i björk bör inriktas på att ta bort till exempel träd med klykor och ge bra träd utrymme. Gallringsformen får ett inslag av krongallring.²⁹⁸



Figur V65 Naturligt föryngrat björkbestånd i södra Dalarna som röjts till cirka 1500 stammar per hektar. Nästa åtgärd är första gallring vid 10–12 m övre höjd. Foto Clas Fries.

Bok

Bok är ett trädslag där möjligheterna att erhålla värdefulla virkesegenskaper gynnas av ståndortens bördighet. På bättre ståndorter är det lättare att få fram virke av god kvalitet än på sämre ståndorter. Kvalitet i bok är kopplat till två fenomen: klykor och rödkärna.

Klykor är mycket vanliga i bok. Det beror på att bokens toppskott inte är lika dominerande som hos många andra trädslag. Det är vanligt att grenar bildar ny topp och trädet får en klyka med två stammar och toppar. Fenomenet är resultatet av svag apikal dominans. Det finns inget att göra åt det. Klykor förekommer mer eller mindre i alla bokar.

²⁹⁷ Andersson, R. & Andersson, M. 2005. Björk, asp och al: föryngring, skötsel och naturvård. Skogsstyrelsen. 76 s.

²⁹⁸ Krongallring innebär att träd som har goda förutsättningar att utvecklas till värdefulla träd gynnas genom att träd med kronor som konkurrerar med de utvalda träden tas bort.

För att möta problemet med klykbildning gäller det att ha ett stort antal individer att välja mellan, röja och gallra ut bokar som har klykor och spara de med en lång kvistfri stam. Klykor uppe i kronan där virket kommer att användas till energived eller massaved har liten betydelse. En nackdel med klykor är att träden kan spjälkas vid fällning.

Rödkärna är ett annat fenomen kopplat till bok.²⁹⁹ Det är inte helt klarlagt vad som orsakar färgförändringen av virket. När trädet blir äldre slutar cellerna och kärnen i centrum av trädet att leda vatten från rötterna. Förbindelsen mellan cellerna minskar, cellerna förändras och cellinnehållet färgas. Färgen kan variera från grått till brunt eller rött (figur V66). Kärnbildningen startar inifrån centrum av trädet men är inte alltid symmetrisk.

Rödkärna hos bok medför inte att virket blir svagare men färgförändringen anses vara ett allvarligt kvalitetsfel. Förekomsten ökar med stigande ålder. Hos bok är det därför viktigt att driva på tillväxten för att snabbt erhålla grova diametrar och inte tillämpa långa omloppstider. Rödkärna verkar vara vanligare i en del bestånd eller på en del ståndorter.³⁰⁰



Figur V66 Rödkärna anses vara ett allvarligt kvalitetsfel som uppträder hos äldre bok och är ett skäl till att det är fördelaktigt att driva på tillväxten för att snabbt erhålla grova diametrar och inte tillämpa långa omloppstider. Foto Eric Agestam.

Det finns goda exempel på planterad bokskog både i trädslagsrena bestånd och i blandningar, men i allmänhet anläggs bok genom självföryngring.³⁰¹ Det är viktigt att få ett stort plantuppslag som ger stamrika bestånd för kvalitetsdaning men framför allt urval. Tidigare var det vanligt att från 2–4 meters höjd genomföra flera och arbetskrävande och därmed dyra röjningar.³⁰² Men det har visat sig möjligt att vänta med en utglesning till 5–6 meters höjd utan att möjligheterna att få bra kvalitet i beståndet försämras. Förväxande grovgreniga träd, så kallade vargar, och träd av andra trädslag bör dock röjas bort tidigt. Genom trängsel kommer stamantalet att minska men vid 5–6 meters höjd finns tillräckligt många framtidsstammar för att bilda ett bra bestånd.³⁰³

²⁹⁹ Nylinder, M., Woxbom, L. & Fryk, H. 2017. Ädellöv. Virke och förädling. 3:e uppl. SLU, inst. för skogens produkter och marknader. 196 s.

³⁰⁰ Almgren, G., Jarnemo, L., Rydberg, D. & Mossberg, B. 2003. Våra ädla lövträd. Skogsstyrelsen. 319 s.

³⁰¹ Löf, M., Möller-Madsen, E. & Rytter, L. 2015. Skötsel av ädellövskog. Skogsskötselserien, kapitel 10. 2:a uppl. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien. (Hämtad 2022-03-28.)

³⁰² Carbonnier, C. 1979. Att sköta bok, II. Beståndsvård. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 77: 38–64.

³⁰³ Ekö, P.-M. & Pettersson, N. 1992. Ett röjningsförsök i bok – volym och kvalitet vid 35 års ålder. SLU, inst. för skogsproduktion. Rapport 32.

Röjning i bok handlar om att ta bort träd med skador och inte att enkelställa träd. Ett träds egenskaper kan snabbt förändras genom klykbildning. Bok klarar också att växa gruppställt så grupper med fina träd kan sparas och stamvalet göras senare.

Idag finns i Sverige en mycket liten marknad för boktimmer. Det allra mesta går till massaved. Grova stammar som tidigare apterades som timmer handlas idag ofta som ”bokkubb” eller ”grov massaved” och betalas lite bättre än massaved. Men båda sortimenten används till massa och papper. Boken har korta fibrer som passar bra till finpapper.³⁰⁴

Skogsägaren måste ta ställning till om bokens egenskaper som timmer kommer att bli intressant och efterfrågat igen. Bok är ett skuggtåligt trädslag och reagerar bra på gallring så volymtillväxten är mer eller mindre opåverkad av gallringsstyrkan. Skogsägaren förlorar alltså ingen eller liten volymproduktion på att gallra för god timmerkvalitet.

Ek

Ek har ett hårt och slitstarkt virke som därför är mycket uppskattat till möbler och golv. Bra stockar kan ha ett mycket högt värde jämfört med alla andra trädslag i Sverige. Kärnvedens motståndskraft mot röta gör att ek också används utomhus till bland annat stolpar.

Kvaliteten bestäms främst av rakhets, förekomst av kvistar och kvistmärken samt av fel som sprickor. Det mest värdefulla och eftertraktade virket hos ek finns i kärnveden medan splintveden är mindre intressant.

Ektimmer ska ha grova dimensioner för att betalas bra. Orsaken är att virket ska innehålla mycket kärnved (figur V67). Dessutom är den allra innersta delen av stammen ofta sämre än den yttre. Den kan vara ”slingrig” och innehålla småkvist och kan ofta inte användas.³⁰⁵ En intressant egenskap hos ek är att densiteten och hårdheten blir större med bredare årsring. Det beror på att ek är ett bandporigt trädslag och vid snabb tillväxt blir den senare anlagda, tyngre och hårdare delen av årsringen bredare.

Ek används idag inte till massaframställning. De stora kärnen i ekveden kan ge fläckar på papperet där tryckfärg fäster dåligt och ek kräver en justering av massaprocessen för att utbytet ska bli bra.³⁰⁶ Det kläna virket används istället för energiändamål.

³⁰⁴ Nylinder, M., Woxblom, L. & Fryk, H. 2017. Ädellöv: virke och förädling. 3:e uppl. SLU, inst. för skogens produkter och marknader. 196 s.

³⁰⁵ Nylinder, M., Woxblom, L. & Fryk, H. 2017. Ädellöv: virke och förädling. 3:e uppl. SLU, inst. för skogens produkter och marknader. 196 s.

³⁰⁶ Nylinder, M., Woxblom, L. & Fryk, H. 2017. Ädellöv: virke och förädling. 3:e uppl. SLU, inst. för skogens produkter och marknader. 196 s.



Figur V67 Hos ek är kärnbildning något positivt. Det är kärnvirket som används till möbler, golv, med mera. Kärnveden har en mörk färg som vi förknippar med ek. Den är motståndskraftig mot röta och därför används ek också till utomhuskonstruktioner, stolpar, med mera. Foto Eric Agestam.

I Sverige finns idag (2021) få köpare av ektimmer och det mesta virket går till en industri som främst tillverkar golv. Lägsta dimension på ektimmer är (2021) 18 cm och priset ökar snabbt med stigande dimensioner. De bästa kvaliteterna ("diamantstock") ska hålla 40 cm i topp och högsta pris gäller från 80 cm. Kraven på en sådan stock är mycket höga och i realiteten är sådana stockar ovanliga. En likhet med bok är att de bästa virkeskvaliteterna hos ek förekommer på de riktigt bra ståndorterna.

Eken är ett ljuskrävande trädslag och behöver därför en annan skötsel än bok. Vid förnygring av ek i Sverige är plantering eller sådd vanligast.³⁰⁷ Tidigare användes mycket stora plantantal men på grund av höga kostnader har antalet reducerats till 3000–4000 per hektar, kanske till och med färre.

Ett vanligt problem för att få fram god kvalitet på ek är vattskott.³⁰⁸ Många trädslag skjuter vattskott men hos ek förekommer det ofta och kan försämra kvaliteten. Anlagen för vattskott finns i den yttersta årsringen. När ett vattskott börjar växa bildas en allt grövre gren som påverkar allt virke från den årsring där det började växa, däremot inte virket in mot centrum. Vattskott förekommer på de flesta ekar i ett bestånd men det verkar finnas genetiska skillnader mellan individer.³⁰⁹ Trängda träd skjuter ofta vattskott, särskilt om de genom gallring får mer ljus och andra resurser.

Röjningar och gallringar i ek görs för att gynna bra individer genom att ta bort konkurrerande mindre eller kvalitetsmässigt sämre träd. Ek bör gallras med korta intervall, kanske vart femte år i början av gallringsfasen och vart tionde år mot slutet av omloppstiden. Ofta utses huvudstammar tidigt och gallring görs för att gynna dessa så att tillväxten blir hög och grova dimensioner erhålls.

Omloppstiden kan röra sig om 100–120 år eller mer på bördiga marker och då kan beståndet bestå av 50–75 stora och grova ekar per hektar. Kraven på riktigt bra och välbetalt ektimmer är högt och kräver god skötsel

³⁰⁷ Löf, M., Möller-Madsen, E. & Rytter, L. 2015. Skötsel av ädellövskog. Skogsskötselserien, kapitel 10. 2:a uppl. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien. (Hämtad 2022-03-28.)

³⁰⁸ Ståål, E. 1986. Eken i skogen och landskapet. Södra skogsägarna, Växjö. 127 s.

³⁰⁹ Almgren, G. 1984. Ädellövskog: ekologi och skötsel Skogsstyrelsen. 136 s.

under mycket lång tid.³¹⁰ Ekens volymproduktion sänks av de hårda gallringarna men det är inte ett alternativ att odla ek gallringsfritt för att erhålla hög volymproduktion. Energivärdet är högt men produktionen per hektar låg.

Contortatall

Contortatallen (*Pinus contorta*) introducerades i skogsbruket i Sverige i större skala i början av 1970-talet. Då var virkets egenskaper ett viktigt argument vid sidan om hårdighet och produktion. Contortans virke har i de flesta viktiga egenskaper lika egenskaper som den svenska tallen.³¹¹ Det gäller sågat virke och massaegenskaper.

Sågtimret hos contortatallen har vid provsågningar visat sig vara likt den svenska tallens sågtimmer vid samma årsringsbredd. Men eftersom contortatallen växer fortare än svensk tall blir årsringarna bredare och kvistarna större och fler. Med fler grenar per grenvarv, ofta fler klykträd och krokiga träd är det tveksamt om contortabestånd kommer att ge samma utbyte av sågtimmer som svensk tall^{312,313,314}.

Skogsskötselprogram för tall kan mer eller mindre användas för contortatall. En erfarenhet är att en stor andel krokiga stammar kan förekomma. Första ingreppen, röjning, men oftare första gallring inriktas därför på att ta bort sådana dåliga stammar.

Andra skogsskötelsystem och kvalitet

Det helt dominerande sättet att bruka skog i Sverige är sedan många decennier trakthyggesbruk. Det ger likåldriga skogar som också är mer eller mindre enskiktade. Intresset ökar för alternativ till trakthyggesbruk; termen hyggesfritt skogsbruk används. Begreppet inkluderar bland annat olika former av blädning, skärmställningar och luckhuggning. Kunskapen och erfarenheterna av sådana metoder är liten och det gäller också kunskaper om virkeskvalitet och virkesegenskaper³¹⁵.

Tall är ett ljuskrävande trädslag. De hyggesfria metoder som är möjliga att tillämpa med tall påminner mycket om de tidigare beskrivna skärm-metoderna. Som redovisats ovan om skärmar, kan skiktade och olikåldriga skogar av tall ge virke med goda egenskaper. Med naturlig förnygring finns förutsättning för ett stort antal plantor. Eftersom skärmträd håller tillbaka tillväxten blir årsringarna täta och kvistarna klena, förhållanden som är

³¹⁰ Ekö, P.M. & Johansson, U. 2022. Produktion och skötsel av ek – resultat baserade på SLU:s fasta försöksytor. SLU Fakta Skog nr 1–2022. 6 s.

³¹¹ Persson, A. 1993. Wood properties of *Pinus contorta*. I: Lindgren, D. (redaktör). 1993. *Pinus contorta* from untamed forests to domesticated crop. SLU, inst. för skoglig genetik och växtfysiologi. Rapport 11. s. 38–59.

³¹² Persson, A. 1982. Contortatallens kvalitet i jämförelse med tall och gran. Massa, papper och sågad vara. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift nr 1–2, s. 37–42.

³¹³ Nilsson, R. 2004. *Pinus contorta* och *Pinus sylvestris* – en jämförelse av stamkvalitet och tillväxt hos förstagallringsbestånd i Norrbotten. SLU, inst. för skogsskötsel. Examensarbete 2004–10.

³¹⁴ Persson, C. 2008. Tillväxt och potentiell sågtimmerkvalitet i gallringsmogna jämförelseplanteringar med *Pinus contorta* och *P. sylvestris*. SLU, inst. för ekologi och skötsel. Examensarbete 2008–11.

³¹⁵ Hannerz, M., Nordin, A. & Saksa, T. (redaktörer). 2017. Hyggesfritt skogsbruk. Erfarenheter från Sverige och Finland. SLU, Future Forests Rapportserie 2017:1.

gynnsamma för att erhålla virke med goda egenskaper³¹⁶. Figur V68 visar ett sådant skogsbruk vid Gualöv, nordöstra Skåne. Skärmen är ursprungligen tät med mer än 200 tallar per hektar och är utglesad i flera steg. Skärmen har behållits länge, cirka 25 å 30 år och hållit tillbaka tillväxten i den nya generationen. Därmed finns förutsättningar att få virke med klen kvist och täta årsringar, Marken är aldrig kal och metoden kan betraktas som en hyggesfri metod men den nya generationen kommer att bli mer eller mindre likåldrig när de sista skärmträden är avverkade.



Figur V68
Skärmställning
med naturlig
föryngring av tall.
Ett exempel på
kalhyggesfri
metod som kan
ge träd med goda
egenskaper.
Gualöv, nordöstra
Skåne. Foto Eric
Agestam.

Gran som är mer skuggtålig än tall kan växa bra i skiktade och olikåldriga bestånd som skiljer sig från bestånd i ett traditionellt trakthyggesbruk. I ett skiktat bestånd kommer träd att växa under stor konkurrens under många år i ungdomen. Det kommer att finnas både undertryckta och stora, härskande träd. Variationen i årsringsbredd kommer att vara stor både i träd och mellan träd i en skiktad granskog. Det påverkar densitet och grengrovlek eftersom de är kopplade till årsringsbredd. De varierande förutsättningarna som råder i en skiktad granskog gör att det kommer att finnas träd med både bra och mindre bra egenskaper som sågtimmer (figur V69).³¹⁷

³¹⁶ Agestam, E., Ekö, P.-M., Johansson, U. & Klang, F. 1998. Tall på bördig mark. Virkeskvalitet och volymproduktion. SLU. Fakta Skog 1998-1.

³¹⁷ Piispanen, R. & Valkonen, S. 2017. Virkeskvalitet i flerskiktade skogar, s. 33-37. I: Hannerz, M., Nordin, A. & Saksa, T. (redaktörer). 2017. Hyggesfritt skogsbruk. Erfarenheter från Sverige och Finland. SLU, Future Forests Rapportserie 2017:1.



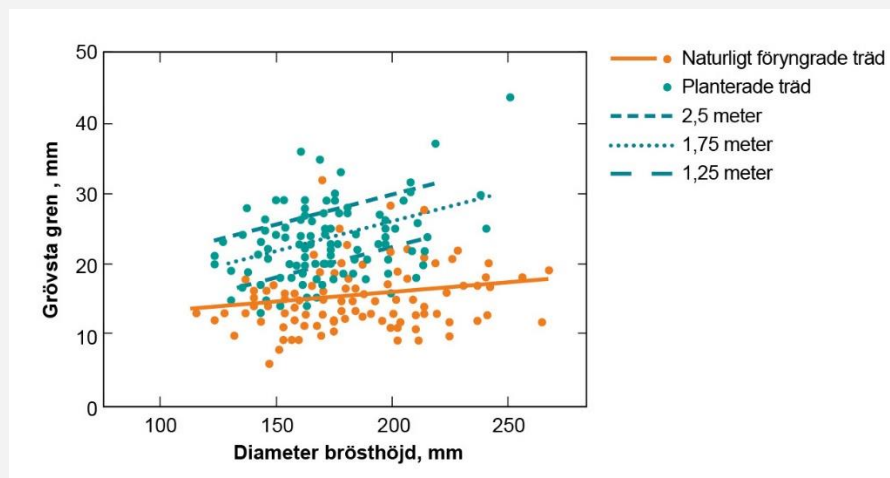
Figur V69
Variationen i
virkesegen-
skaperna är stor
inom träd och
mellan träden i
bläddad
granskog. Foto
Johan Nitare.

FAKTARUTA Virkesegenskaper hos planterad och naturligt föryngrad tall i ett fältförsök på Tönnersjöhedens försökspark, södra Halland

För att jämföra virkesegenskaperna hos planterad och naturligt föryngrad tall under sydsvenska förhållanden anlades ett fältförsök på Tönnersjöhedens försökspark i södra Halland.^{318,319} Kottar plockades i det naturligt föryngrade bestånden och användes till att dra upp plantor. Genetiken är alltså lika för planterade och naturligt föryngrade träd.

Plantering gjordes i flera förband, från kvadratförband på 1,25 m × 1,25 m (6400 pl/ha) till 2,5 m × 2,5 m (1600 pl/ha). Naturligt föryngrade ytor delades i två delar där det ena röjdes till cirka 4500 st/ha. Fröträden avverkades i två steg och de nya bestånden gallrades flera gånger; första gången vid 20 års ålder i de planterade bestånden och vid 31 års ålder i de naturligt föryngrade. Mätningar av diameter och höjd gjordes på härskande och medhärskande träd samt på tänkta huvudstammar. Mätningarna av kvalitetsegenskaper gjordes på 180 stående träd och 41 fällda träd.

Av de naturligt föryngrade tallarna var 86 % raka jämfört med 25 % bland de planterade. Andelen krokiga träd var störst på de glest planterade försöksytorna. Grenarna hos naturligt föryngrade träd var klenare än hos planterade (figur V70). Det var små skillnader mellan antal grenar per grenvarv (något fler för planterad tall) och grenar per meter stam (något fler hos naturligt föryngrad tall, då avståndet mellan grenvarv var kortare). Andelen sprötkvistar var 20 % hos naturligt föryngrad träd jämfört med 40 % hos planterade tallar.



Figur V70 Den grövsta grenens diameter 0–2 meter ovan mark, för planterade och naturligt föryngrade tallar i fältförsöket på Tönnersjöhedens försökspark. Mätningarna är gjorda på huvudstammar samt härskande och medhärskande stammar. Blå prickar visar planterade träd och orangea prickar visar naturligt föryngrade träd. Streckade blå linjer illustrerar olika planteringsförband (uppifrån: 2,5 m, 1,75 m respektive 1,25 m kvadratförband). Heldragna orangea linjen visar naturligt föryngrade träd.³²⁰

³¹⁸ Agestam, E., Ekö, P.-M., Johansson, U. & Klang, F. 1998. Tall på bördig mark – virkeskvalitet och volymproduktion. SLU. Fakta Skog 1–1998.

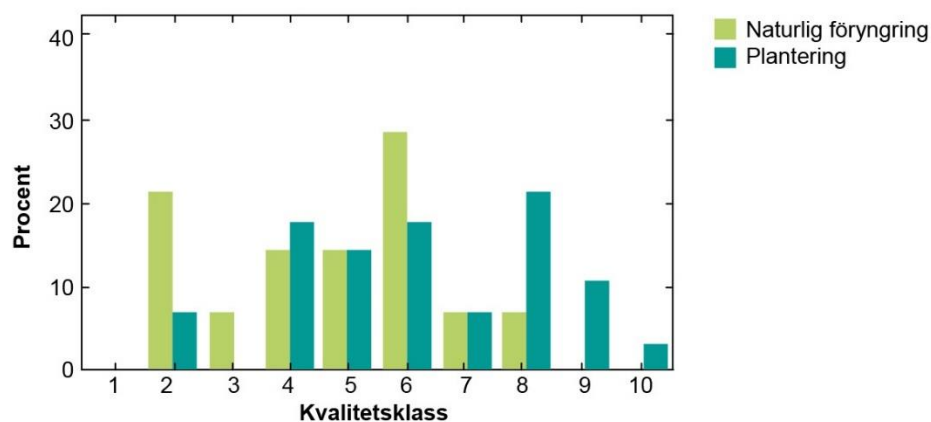
³¹⁹ Agestam, E., Ekö, P.M. & Johansson, U. 1998. Timber quality and volume growth in natural regenerated and planted Scots pine stands in S.W. Sweden. Studia Forestalia Suecia nr 204.

³²⁰ Agestam, E., Ekö, P.M. & Johansson, U. 1998. Timber quality and volume growth in natural regenerated and planted Scots pine stands in S.W. Sweden. Studia Forestalia Suecia nr 204.

Tallarna i försöket delades in i kvalitetsklasser med utgångspunkt från rakhet, förekomst av sprötkvistar och grövsta genens diameter. I den naturligt föryngrade skogen finns i stort sett inga träd i de sämre kvalitetsklasserna, samtidigt som en stor andel träd finns i de bästa klasserna (figur V71).

Hos planterade bestånd i ”normala” och idag vanliga förband (t.ex. 2 m × 2 m, motsvarande 2500 pl/ha) finns få träd i de bättre kvalitetsklasserna. Från bestånd planterade i 2,5 m × 2,5 m förband var bästa träd av kvalitetsklass 5, alla andra klassades i 8, 9 eller 10.

I försöket på Tönnersjöheden behövs minst 4500 plantor per ha (t.ex. 1,5 m × 1,5 m förband) för att planterad tall ska kunna jämföras med naturligt föryngrad tall. Försöket visar alltså på en tydlig effekt av föryngringsmetod på flera egenskaper hos träden och virket.



Figur V71 Andel tallar i kvalitetsklasser, där 1 är bästa klassen och 10 sämsta. Grönt naturligt föryngrad, blått planterad (alla förband; 1,25 m, 1,75 m, 2,0 m och 2,5 m kvadratförband). Mätningar på motsvarande 500 huvudstammar per hektar. Källa: Agestam m.fl. 1998.³²¹

Effekterna på virkets egenskaper har ett pris i form av lägre volymtillväxt. Vid cirka 40 års ålder var medeltillväxten i den naturligt föryngrade skogen 7,1 m³/sk/ha. Alla planteringsförband utom det glesaste (1600 st/ha) hade vid samma tidpunkt en högre medeltillväxt (tabell V11).

Volymtillväxten för en omloppstid beräknades med hjälp av en produktionsmodell.³²² De täta planteringarna (1,5 m förband; 4444 st/ha) hade då en medeltillväxt som var cirka 12 % högre än efter naturlig föryngring, inklusive fröträdens tillväxt. Med 2,0 m förband var medeltillväxten lika, men vid gles plantering (2,5 m kvadratförband; 1600 st/ha) var medeltillväxten lite större för naturlig föryngrad tall.

³²¹ Agestam, E., Ekö, P.M. & Johansson, U. 1998. Timber quality and volume growth in natural regenerated and planted Scots pine stands in S.W. Sweden. *Studia Forestalia Suecia* nr 204.

³²² Ekö, P.M. 1985. A growth simulator for Swedish forests, based on data from the national forest survey. SLU, inst. för skogsskötsel. Rapport nr 15 (doktorsavhandling).

Tabell VII Medeltillväxt och relativ medeltillväxt för en 80 årig omloppstid, efter plantering av tall med olika antal plantor per hektar och naturlig föryngring av tall. För den naturligt föryngrade skogen är fröträdens tillväxt medräknad.

	Medeltillväxt till 40 år (m ³ sk/ha, år)	Relativ medeltillväxt för en om- loppstid (naturlig föryngring = 100)
Plantering		
1,25 m (6400 pl/ha)	9,7	112
1,5 m (4444 pl/ha)	8,5	108
1,75 m (3265 pl/ha)	8,4	104
2 m (2500 pl/ha)	7,4	99
2,5 m (1600pl/ha)	6,8	96
Naturlig föryngring	7,1	100

FAKTARUTA Virkesegenskaper hos planterad och naturligt föryngrad tall under skärm, Linnebjörke, centrala Småland

Egenskaperna hos planterad och naturligt föryngrad tall med en lång skärmperiod jämförs i ett fältförsök i Linnebjörke, centrala Småland. Syftet med försöket är att studera tillväxt och virkesegenskaper vid olika metoder för anläggning av tallskog på en ganska vanlig ståndort i södra Sverige. Innan avverkning dominerades beståndet av tall, sannolikt uppkommen efter sådd med importerat frö. Då försöket anlades var beståndet cirka 70 år gammalt, övre höjden ungefär 24 meter och tallens diameter cirka 30 cm. Marken var frisk, dominerad av blåbärsris.

Området delades i tre delar med tre olika behandlingar (figur V72):

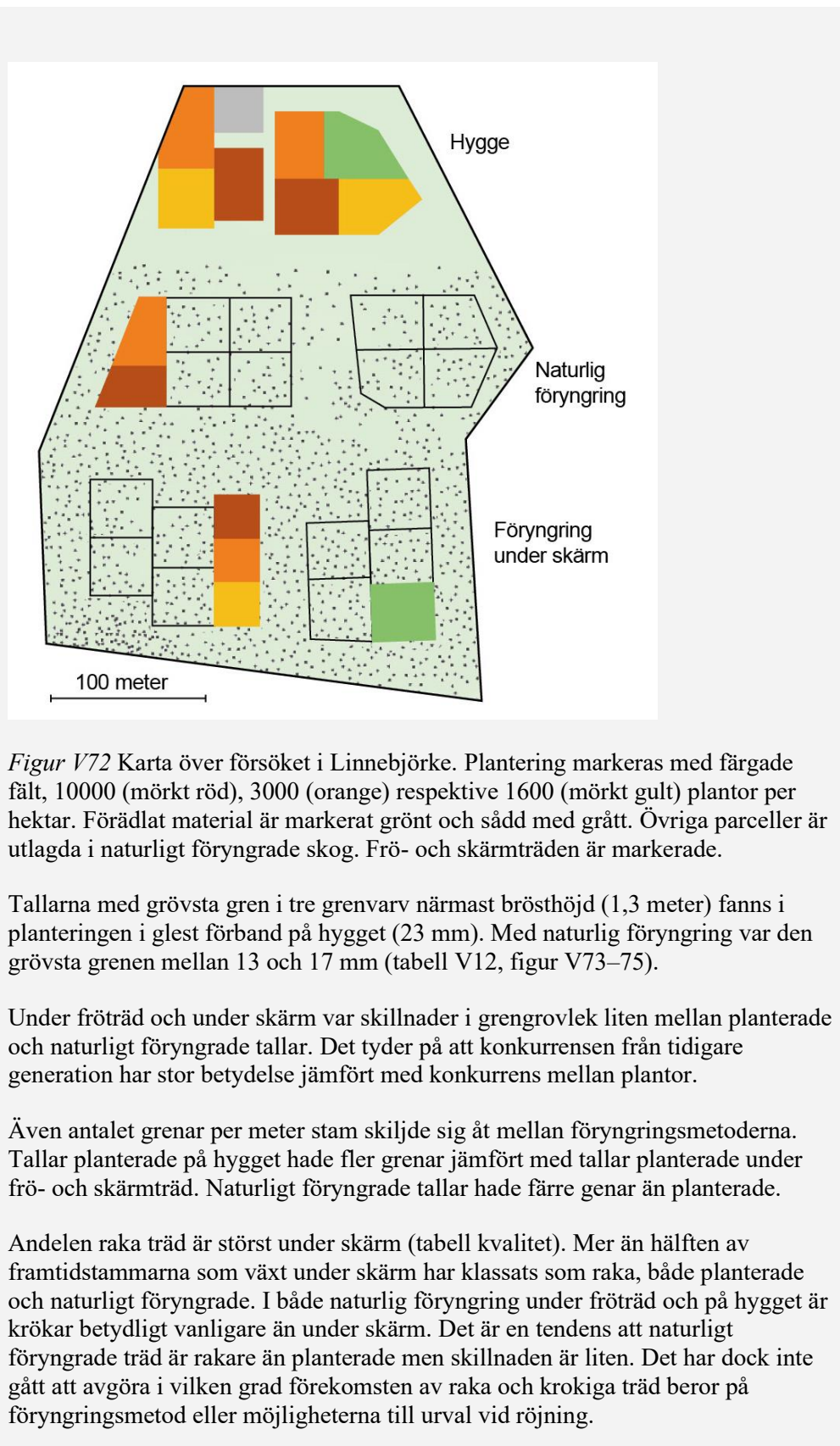
- kalhuggning och plantering
- traditionell naturlig föryngring med fröträd (150 st/ha)
- föryngring med tätare skärm (200 st/ha)

Försöksytorna avverkades 1992. Vintern 1998/1999 avverkades alla fröträd och reducerades antalet skärmträd från 200 till 75 per hektar. De kvarvarande skärmträden avverkades 2015 (några lämnades som evighetsträd). Några fröträd och skärmträd stormfölls under försöksperioden.

Plantering på hygget gjordes med 10 000, 3000 och 1600 plantor per hektar. Dessutom planterades under fröträden med 10 000 och 3000 plantor per hektar, samt under skärmträden med 10 000, 3000 och 1600 plantor per hektar. Förutom två parceller med förädlad tall var det använda genetiska materialet lika då frö till plantorna togs från beståndet.

Resultat från försöket baseras på kvalitetsegenskaper hos cirka 500 utvalda framtidsstammar per hektar.

Den uppväxande ungskogen lövröjdes två gånger. Det tätaste planteringsförbandet (10 000 pl/ha) och de naturligt föryngrade parcellerna röjdes 2008. Stamantalen efter röjning var i genomsnitt 1000 respektive 2200 per hektar. Avgång, av bland annat tallskytte och senare viltbete gjorde det omöjligt att lämna fler stammar.



Figur V72 Karta över försöket i Linnebjörke. Plantering markeras med färgade fält, 10000 (mörkt röd), 3000 (orange) respektive 1600 (mörkt gult) planter per hektar. Förädlat material är markerat grönt och sådd med grått. Övriga parceller är utlagda i naturligt föryngrade skog. Frö- och skärmträden är markerade.

Tallarna med grövsta gren i tre grenvarv närmast brösthöjd (1,3 meter) fanns i planteringen i glesst förband på hygget (23 mm). Med naturlig föryngring var den grövsta grenen mellan 13 och 17 mm (tabell V12, figur V73–75).

Under fröträd och under skärm var skillnader i grengrovlek liten mellan planterade och naturligt föryngrade tallar. Det tyder på att konkurrensen från tidigare generation har stor betydelse jämfört med konkurrens mellan planter.

Även antalet grenar per meter stam skiljde sig åt mellan föryngringsmetoderna. Tallar planterade på hygget hade fler grenar jämfört med tallar planterade under frö- och skärmträd. Naturligt föryngrade tallar hade färre grenar än planterade.

Andelen raka träd är störst under skärm (tabell kvalitet). Mer än hälften av framtidstammarna som växt under skärm har klassats som raka, både planterade och naturligt föryngrade. I både naturlig föryngring under fröträd och på hygget är krökar betydligt vanligare än under skärm. Det är en tendens att naturligt föryngrade träd är rakare än planterade men skillnaden är liten. Det har dock inte gått att avgöra i vilken grad förekomsten av raka och krokiga träd beror på föryngringsmetod eller möjligheterna till urval vid röjning.

Tabell V12 Resultat av mätningar i Linnebjörke 24 år efter försökets anläggning. Mätningar av grengrovlek och rakhet har gjorts på utvalda huvudstammar, motsvarande 500 st/ha. Rönjning utfördes efter 16 år i delarna med naturlig förnygring. Samtidigt rönjades planteringen med 1 m förband till 3000 st/ha. Volym avser den nya generationen.

	Täthet (st/ha)	Medel- diameter (brh, cm)	Medel- höjd (dm)	Volym (m ³ sk per ha)	Diameter grövsta gren (mm)	Andel raka träd (%)
Hygge						
Plantering	1600	16,0	123	149	23	20
Plantering	3000	14,6	121	197	20	20
Plantering	10000	10,9	121	186	13	50
Naturlig förnygring med fröträd, ca 150 fröträd/ha avvecklade efter 6 år						
Plantering	3000	13,2	105	131	15	25
Plantering	10000	10,9	107	120	13	30
Naturlig förnygring	Röjt till 1600/ha	12,0	88	62	15	34
Naturlig förnygring	Röjt till 4444/ha	9,4	88	73	17	36
Naturlig förnygring, ca 200 skärmträd/ha. Efter 6 år reducerat till 75/ha. Efter 24 år avvecklades skärmen helt						
Plantering	1600	11,8	107	79	15	55
Plantering	3000	11,4	113	115	15	55
Plantering	10000	9,5	103	100	12	55
Naturlig förnygring	Röjt till 1600/ha	8,2	73	20	12	63
Naturlig förnygring	Röjt till 4444/ha	6,9	78	37	14	57



Figur V73 Naturligt förnygrad tall genom traditionell självförnygring, 28 år gammal. Fröträden avverkade efter 6 år. Rönjning vid 16 års ålder. Här finns en variation med luckor, tätare delar, klena och grova tallar. Linnebjörke april 2021. Foto Eric Agestam.



Figur V74 Plantering 10 000 pl/ha på hygge. Ålder 28 år. Röjt med inriktning att ta bort förväxande träd, så kallade vargar. Gallrat vid 26 års ålder. Linnebjörke april 2021. Foto Eric Agestam.



Figur V75 Plantering med 1600 pl/ ha. Ålder 28 år. Här finns många krokiga träd men möjligheterna att genom urval förbättra kvaliteten är mycket lägre än vid 10 000 plantor per ha. Linnebjörke, april 2021. Foto Eric Agestam.

Liksom i fältförsöket i Tönnersjöheden har förändringarna i trädens egenskaper ett pris i form av betydligt lägre volymtillväxt för naturlig föryngring jämfört med plantering. Fröträden och ännu mer skärmträden har satt ner diameter, hölj och volymtillväxt hos både planterade och naturligt föryngrade träd. Den högsta volymproduktionen för den nya generationen de första 24 åren uppmättes hos planterade träd på hygget, 175 m³sk/ha (genomsnitt för alla planteringsförband), och den lägsta produktionen uppmättes för naturligt föryngrade under skärm, 28 m³sk/ha

Det är stor skillnad i produktion mellan planterade och naturligt föryngrade tallar. Under fröträd växte de planterade 86 % mer än de naturligt föryngrade och under täta skärmen 245 % mer.

Även frö- och skärmträden växer, både i värde och volym. Men de riskerar också att blåsa omkull. I Linnebjörke blåste 15 % av fröträden omkull. När fröträden avverkades efter 6 år hade volymen ökat med 6 m³sk/ha, tillväxten var 20 m³sk/ha men 14 m³sk/ha hade blåst omkull. I den täta skärmen som glesades ut och slutligen avverkades efter 25 år var tillväxten 35 m³sk/ha men av dessa hade 29 m³sk/ha blåst omkull.

Möjligheter att mäta, beräkna och utnyttja virkets egenskaper vid planering och skörd

av Lars Wilhelmsson

När de växande träden efter många år uppnår skördemogen utveckling är det viktigt att kunna ”läsa” deras egenskaper för bästa möjliga värdeutnyttjande. Högre precision i råvarubeskrivningen kan gynna alla inblandade parter i berörda värdekedjor, liksom både samhället och miljön.

I de föregående avsnitten presenteras *Dagens och framtidens förädlingsindustri, Vedens bildning och uppbyggnad, Virkesegenskaper och förädlingsindustrin – betydelse för processer och produkter*, samt *Hur skogsskötseln kan påverka virkets egenskaper*.

I det här avsnittet beskrivs möjligheterna att beräkna de skördade stockarnas egenskaper med produktionsdata från skördare och uppgifter om trädens ålder. I avsnittet beskrivs också hur motsvarande beräkningar kan göras genom att kombinera mätdata från luft, mark och från skördare för att på så sätt göra prognoser med samma typ av beskrivningar av stockarnas egenskaper som från skördarnas produktionsfiler. Då handlar det om att i planeringssyfte simulera skördarproduktionen, eller att med hjälp av en databas med beståndsdata kopplade till skördarproduktionsfiler hitta objekt och produktionsresultat som speglar de aktuella ännu inte skördade objekten, så kallad imputering.

Syftet med arbetssätten är att kunna beskriva och utnyttja trädens egenskaper för bästa möjliga integration mellan skog och industri. Målen är att i ett första steg öka kunskapen om variation i råvaran mellan och inom olika bestånd. I ett andra steg analyseras möjligheterna att identifiera, tillreda, fördela och transportera ”rätt anpassad råvara från skogen till rätt industriprocess och rätt produkt” i kommunikation med industrikunderna.

Skogsbruket och skogsägaren kan på så sätt ge ett tydligare erbjudande om vilka råvaruegenskaper som kan levereras från skördemogen skog. Det ger en bättre grund för utvecklade affärsuppgörelser, effektivare produktionsstyrning och ökat värdeutnyttjande till berörda, delvis samverkande eller konkurrerande produktionskedjor.³²³

Skördaren en nyckelfunktion i skogsbruket

Nästan allt virke som skördas och levereras till svensk skogsindustri tillreds (fälls, diameter- och längdmäts, kvistas och kapas) av skördare till olika sortiment (figur V76). Ungefär 1800 skördarlag (förare + maskin)³²⁴ fäller, mäter, kvistar, matar och kapar trädstammarna till mått- och stocktypbeställda sortiment. De allra flesta av dessa rapportera sin produktion enligt standarden för kommunikation med skogsmaskiner,

³²³ Andersson, G. & Wilhelmsson, L. 2014. Skogens erbjudande till industrikunder. I: Rådström, L. & Thor, M. (redaktörer). Skogsnäringens värdekedjor. Definition, dagsläge och angelägna utvecklingsområden. KSLAT nr 1–2014, s. 16–24.

³²⁴ Andersson, G., Davidsson, A., Jonsson, R., Möller J.J. & Thor, M. 2022. Inga skogliga åtgärder under häckningsperioden? Skogforsk. Arbetsrapport 1109. 29 s.

StanForD 2010.³²⁵ Produktionsstyrningen är ett samspel mellan föraren, diameter- och längdmätningssystemen, samt automatiska och förarkontrollerade styr- och reglerfunktioner.

Kortvirkesskördarna kan ses som ”skogens bioraffinaderi”, ett första och avgörande steg som start på en rad parallella och delvis samverkande eller konkurrerande tillverkningskedjor. Resultatet av skördarlagens arbete blir produkter som måttbeställda timmerstockar för träprodukter, massaved för pappers- och kartongprodukter eller textil, samt energived, grenar och toppar.



Figur V76 Kortvirkesskördaren fungerar som skogens bioraffinaderi. Den faller, kvistar och mäter löpande stamlängd och stamdiameter, samt beräknar volym från stubbe. Skördaren registrerar varje kap och stocknummer upp till toppen. Mätinformationen från de skördade stockarna, sortiment, förarens klassning av trädslag, samt förarens beslut att korta, nedgradera, eller i vissa fall lumpa¹ lagras sedan i skördarens standardiserade produktionsfil (StanForD 2010). Dessutom lagras en beräkning av baktjocklek för beräkning av diameter och virkesvolym under bark. I StanForD 2010 registreras även sortimentskod (från skördardatorn, plus eventuell manuell korrigering). Därutöver registreras tillämpad pristräkning och positionsdata. Planering av skörden, produktionsstyrningen samt skördarens och skördarförarens arbete är avgörande för att dela upp stamvirket i optimala sortiment. Det underlättar också för effektiv och skonsam skotning av olika sortiment inklusive beslutade uttag av grenar och toppar. Foto Sven Tegelman.

¹ Till exempel att kapa bort stamdel med rotröta i syfte att kunna öka timmerandelen.

I skördaraggregatet (figur V77) sitter kapsåg, matarvalsar, kvistknivar, längd och diametermätare. Mätssystemet, skördardatorns optimeringsprogram och förarens visuella klassning av trädslag och bedömning av skador och fel utgör underlaget för kapning av stockar och sortering av rundvirket.

³²⁵ Arlinger, J., Nordström, M. & Möller, J.J. 2012. StanForD 2010. Modern kommunikation med skogsmaskiner. – StanForD 2010. Skogforsk. Arbetsrapport 784. 15 s.

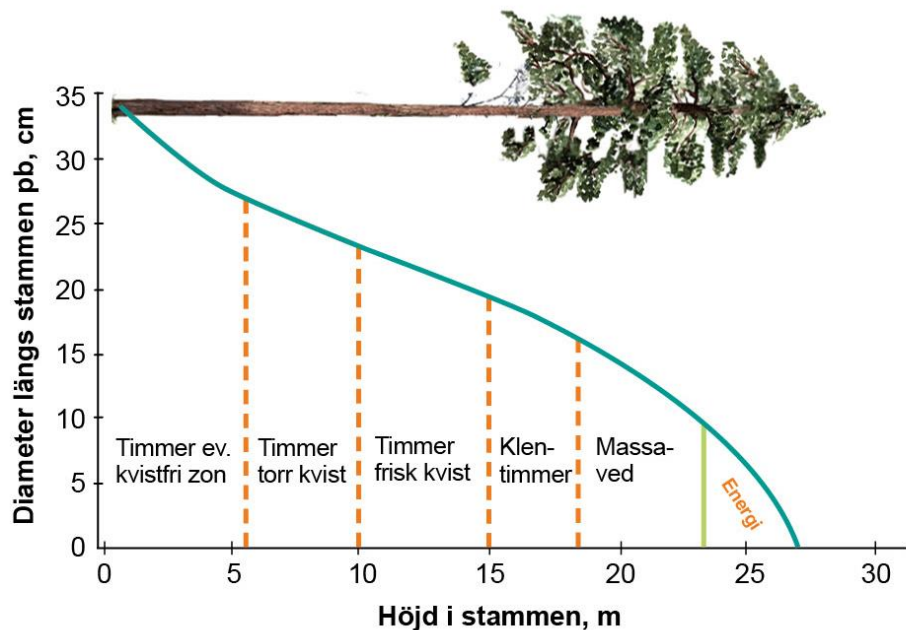


Figur V77 Möjligheterna att beskriva virkets yttre och beräknade inre egenskaper som standard i virkesflödena bygger på mättekniken i aggregaten, skördardatorerna och informationsstandarden (StanForD 2010). Bilder: Skogforsk.

Idag (2022) optimeras skördarens processtyrning baserat på specifikation från köpande industrier och affärsuppgörelse mellan inblandade parter. Tekniskt hanteras detta genom prismatriser, som antingen styr skördaren utifrån avtalade prislistor per diameter och längdklass, så kallad värdeaptering, eller genom så kallad fördelningsaptering (styrprislista/antal önskade timmerstockar per toppdiameter och längdklass). Ett typiskt lagrat resultat från tillredningen av ett träd (2022) illustreras i figur V78.

Logistiken kan vara komplex. Skogsägaren är mest intresserad av nettovärdet (nettobetalingen) för råvaran upplagd vid bilväg ("pris fritt bilväg"). Industrikunderna är inriktade på det sammanlagda nettovärdet för råvaran i slutprodukterna, efter avdrag för råvarubetalning, hanterings- och transportkostnader samt processkostnaderna till färdiga slutprodukter. Dessutom eftersträvar alla parter att minimera sin miljöbelastning.

Då skördarna fungerar som primära bioraffinaderier har kopplingar och samband mellan skördarens arbete och effekter längre fram i produktionskedjorna stor utvecklingspotential. För att en sådan utveckling ska bli möjlig krävs informationsstöd och beslutsstöd för hantering av variation hos råvaran och betydelsen av variationen för olika produkter och kunder.



Figur V78 Exempel på uppdelning av en tallstam från rot till topp. Sedan länge lagras informationen om vilka stockar som har producerats ur varje trädstam i skördarproduktionsfiler. Med ny teknik för beräkning av ved- och fiberegenskaper kan varje stock dessutom förses med en rad inre egenskaper (se vidare figur V80 och tabell V13). Illustration: Peter & Lars Wilhelmsson.

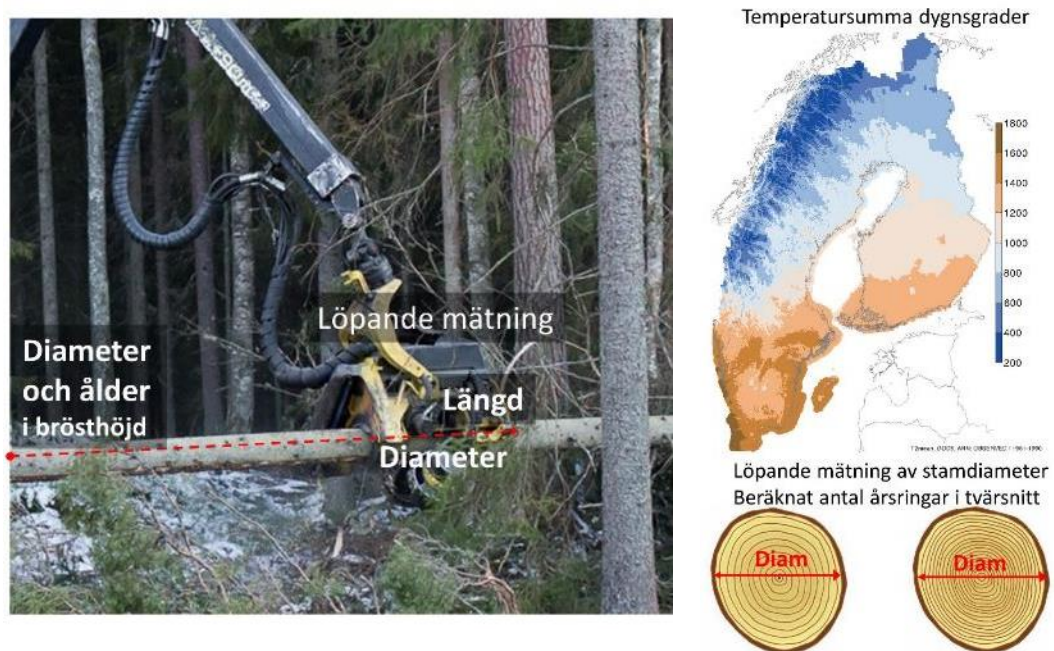
Ett avverkningsobjekt innehåller olika sortiment som skördas och tillreds för vidare transport till olika destinationer. Möjligheterna att producera och hantera stockar med egenskaper som kan öka effektiviteten i kunders tillverkningsprocesser har tidigare varit svåra att belägga och att spåra från industrin tillbaka till skogen.

Numera går det emellertid att beskriva stockegenskaper redan i skogen (figurerna V79–82) och att utveckla spårbarheten från industrins produktionsuppföljning tillbaka till skogen. Det gör att sammansättning och fördelning av råvaran till olika produkter och kunder kan göras effektivare. Mer information om råvarans egenskaper, bättre underlag för kommunikation med industrikunderna om krav samt analyser av hur råvaran bäst hanteras, bör ge underlag till ökade sammanlagda nettovärden och minskad miljöbelastning för hela branschen.

Förbättrade system för uppföljning, analys och utveckling som kan länka samman skogsnäringens värdekedjor bedöms kunna ge stor nytta. De dataflöden som används för detta kan också användas för precision i hanteringen av hållbarhetsfrågor, livscykelanalyser (LCA) och beräkningar av klimatnyttan för skogsbruk och skogsbaserade produkter. Jämförbarhet, transparens och kvalitetssäkrade indata är viktigt för få förtroende för livscykelanalyser av olika råvarusortiment från skogsbruket.³²⁶ Kan skogsbruket beskriva egenskaper som densitet och kolinnehåll i sortiment från skogen, kan industrin ta informationen vidare genom

³²⁶ Ågren, K., Högbom, L., Johansson, M. & Wilhelmsson, L. 2021. Datainsamling till underlag för livscykelanalyser (LCA) av det svenska skogsbruket. Beräkningar, erfarenheter och antaganden. Skogforsk. Arbetsrapport 1086. 37 s.

tillverkningsprocesser, produktutfall och till slutanvändning. Det har sannolikt stor betydelse för att få samhällets och konsumenters stöd och preferenser för biobaserade produkter från skogen, jämfört med andra råvaror och tillverkningskedjor.



Figur V79 Med modeller för beräkning av ved- och fibregenskaper kan en rad egenskaper hos producerat virke beskrivas (se exempel i tabell V13). Modellerna baseras på tvärsnittsdiаметrar (brösthöjd+löpande), antal årsringar och temperatursumma. Om industriellt efterfrågade ved- och fibregenskaper kan beräknas med tillräcklig noggrannhet direkt vid skörd, kan en skördares apteringslogik (kapställan, sortiment, med mera) kompletteras med detta. Operativ aptering av stockar med frisk kvist har provats.³²⁷ Aptering efter beräknad kärnväddsdiameter har också diskuterats.³²⁸ För egenskaper som inte kan beskrivas med tillräcklig precision för en enskild stock kan egenskapsmodeller ändå användas för styrning av till exempel en enskild diameterklass på objektsnivå eller destinerings av ett helt parti virke. Foto: Skogforsk, Sven Tegelman. Karta temperatursumma: Från Barring m.fl. (2016).³²⁹ Övrig bild och text Lars Wilhelmsson.

³²⁷ Möller, J.J., Arlinger, J., Wilhelmsson, L., Sondell, J. & Moberg, L. 2007. Modell för automatisk kvalitetsbestämning vid virkesmätning med skördare. Skogforsk. Arbetsrapport 642. 24 s.

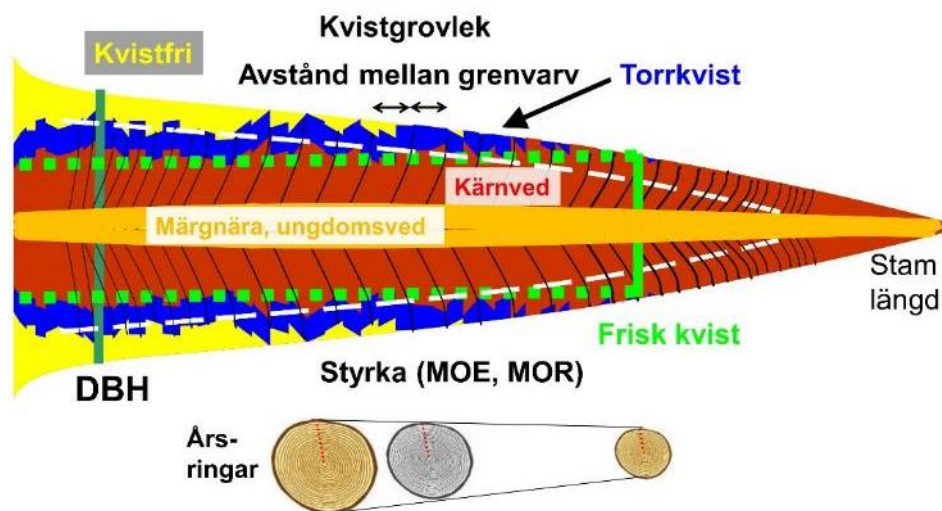
³²⁸ Holappa Jonsson S. 2018. Evaluation of the increased pre-harvest forecasting precision of sawlog supply by use of historical harvester data and wood properties models. A case study on Scots pine in northern Sweden. SLU, inst. för skogens biomaterial och teknologi. Examensarbete, Rapport 2018–9. 65 s.

³²⁹ Barring, L., Berlin, M. & Andersson Gull, B. 2016. Tailored climate indices for climate-proofing operational forestry applications in Sweden and Finland. International J. of Climatology. <https://doi.org/10.1002/joc.4691>. 20 s.

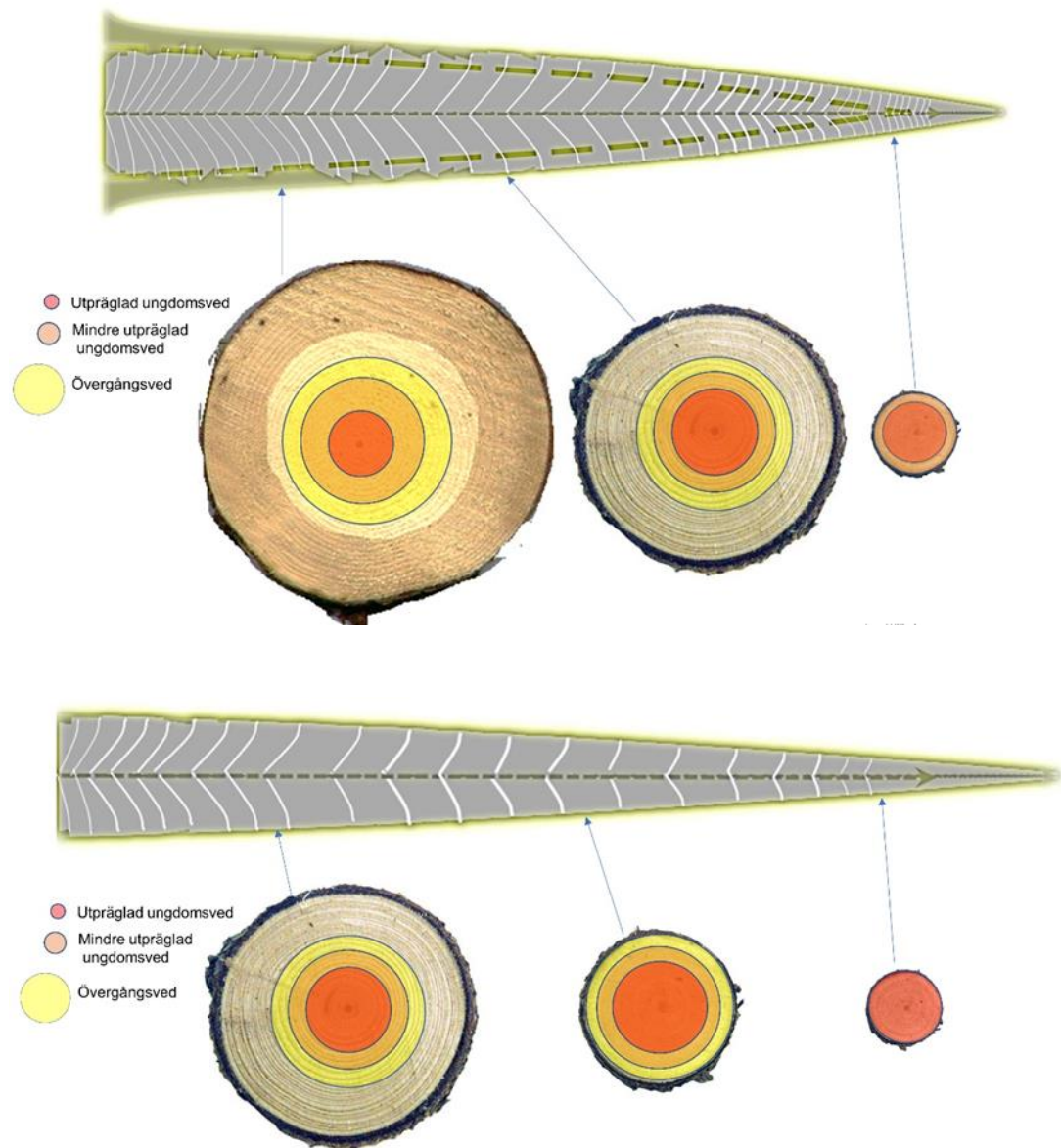


- **Trädslag**
- Dimension, diameter, längd, volym
- *Densitet, rå, torr-rå, fukthalt*
- *Kärnved, % & diameter*
- *Kvisttyper och grovlek*
- *Ungdomsvedszon, % & diameter*
- *Elasticitet och brotthållfasthet*
- *Sommarvedsandel*
- *Fiberlängd*
- *Fiberbredd*
- *Fiberväggstjocklek*
- *Antal årsringar i tvärsnitt*
 efter angiven brösthöjdsålder
- *Avstånd mellan grenvarv*
- *Barktjocklek och volym*
- *Torrsubstans från grenar och toppar*

Figur V80 Exempel på egenskaper som mäts eller *kan beräknas* vid verklig eller simulerad skörd. I likåldriga bestånd kan skogsbruksplanens beståndsålder (brh), efter stickprovskontroll, användas som indata till trädens **brösthöjdsålder** (per trädslag). Vid skörd klassar skördarföraren **trädslaget** för varje fälld stam. Vid utbytesberäkning (före skörd) kan inventeringsdata och skogsbruksplan användas för att skapa trädlister med diameter-/ höjdfördelningar och trädålder per trädslag. (Detta beskrivs närmare i avsnittet *Beräkning av råvarans egenskaper före skörd.*)



Figur V81 Exempel på beskrivning av egenskaper i en tallstam baserat på skördarinformation (löpande mätning av diameter och längd), uppgift om antal årsringar och diameter i brösthöjd (dbh) och egenskapsmodeller (tabell V13). Vedegenskaperna kan även beskrivas med olika, delvis överlappande zoner vars beräknade storlek och medelvärden kan kopplas till lämplighet för olika användning. Det kan exempelvis handla om produktionsstyrning vid sågverk och bättre uppdelning på olika sortiment. Informationen från diameter/längdklasser på objektsnivå kan sedan kopplas samman med motsvarande mätinformation från sågverkens röntgenmätningar och mätning av egenskaper och utfall i slutprodukterna. MOE är elasticitetsmodul (styvhet) och MOR är brotthållfasthetsmodul (styrka).



Figur V82 Två ytterligare exempel på beräknade stamprofiler, en från en äldre gran (övre bilden) och en från en yngre gran som vuxit snabbare (nedre bilden). Jämför avsnittet *Virkesegenskaper och förädlingsindustrin – betydelse för processer och produkter*. Genom skördarens mätning av stammarnas yttre form i kombination med indata om trädålder i brösthöjd kan ungefärligt årsringsmönster, förväntad ungdomsvedsbredd och genomsnittliga ved-, kvist och fiberegenskaper beräknas. Med detta som grund kan sågtimrets egenskaper beräknas (tabell V13) för sågblock respektive sågverksflis, före eller i samband med leverans till industrin. Beräkningsmetodiken för en sådan uppdelning beskrivs i Nordström m.fl. (2020)³³⁰. Illustration: Lars Wilhelmsson.

³³⁰ Nordström, M., Arlinger, J., Grahn, T., Hägg, L., Jägbrant, S., Lycken, A., Möller, J.J., Ohlström, A., Runosson, D., Wallbäcks, L., Wilhelmsson, L. & Willén, E. 2020. Ökad integration skog-industri med digitala egenskapsdeklarationer av rundved och flis. Slutrapport för projektet "Förbättrade processer och produkter genom digitalisering av skogliga värdekedjor" (Digichain). Skogforsk. Arbetsrapport 1057. 55 s.

Tabell V13 Exempel på modeller som används för beräkning av egenskaper hos enskilda stockar baserat på faktiska (produktion) eller simulerade (planering) skördardata inklusive beståndskoordinater (latitud, altitud) och trädålder (beståndsålder i jämnårig skog). Egenskapsmodellerna har nu även implementerats i verktyget Propps som Skogforsk utvecklat på uppdrag av Biometria (Keisu m.fl. 2021)³³¹.

Egenskap	Enhet	Beräknat medelfel ¹ för enskilt stocktvärsnitt	Referens ²
Vedens torr-rådensitet	kg/m ³ f ub	Tall ± 26 Gran ± 26	Wilhelmsson m.fl. (2002)
Rådensitet (färskt virke) vid skörd	kg/m ³ f ub	Tall ± 50, Gran ± 70	Wilhelmsson & Moberg (2004)
Barktjocklek	mm	Tall, gran, björk	Hannrup (2004) Hannrup m.fl. (2020)
Kärnvedsdiameter Kärnvedsandel av volym	mm %	Tall ± 17 mm Gran ± 20 mm	Wilhelmsson m.fl. (2002)
Ungdomsved, mörkningszon med avvikande ved- och fiberegenskaper	mm %	Tall ± 11 mm Gran ± 13 mm	Wilhelmsson m.fl. (2002)
Elasticitetsmodul (MOE)	MPa	Gran ±1670 Tall ± 1730	Hannrup m.fl. i Wilhelmsson m.fl. (2011) Bruechert m.fl. (manus)
Brothållfasthetsmodul (MOR)	MPa	Gran ± 11	Hannrup m.fl. i Wilhelmsson m.fl. (2011)
Antal årsringar i valfritt tvärsnitt utmed stammen	Antal	Tall ± 8 Gran ± 6	Wilhelmsson (2006)
Medelårsringsbredd i tvärsnitt utmed stammen	mm	Från diameter och antal årsringar i brösthöjd	Mätdata + Wilhelmsson (2006)
Avstånd mellan grenvarv (endast ovanför brh, 1,3 m höjd från mark)	cm	-	Avstånd längs stammen och differens mellan tvärsnittsåldrar Wilhelmsson (2006)
Grövsta medel-kvistdiameter per grenvarv vid mantelytan	mm	Tall och gran ± 6	Moberg (2006)
Kvistmedeldiameter vid mantelytan	mm	Tall och gran ± 5	Moberg (2006)
Antal kvistar per kvistvarv	Antal		Gran: Moberg (2001) Tall: Moberg (2006)
Friskkvistcylinder / frisk grenlängd från märg	mm		Moberg m.fl. (2006) Moberg 2006
Fiberlängd	mm	Tall 0,15 mm Gran 0,18 mm	Ekenstedt m.fl. (2003)
Fiberbredd	µm	Tall 1,28 µm Gran 1,44 µm	Ekenstedt m.fl. (2003)
Cellväggstjocklek (dubbel)	µm	Tall 0,23 µm Gran 0,23 µm	Ekenstedt m.fl. (2003)
Grenar och toppar biomassa	ton TS	Beräknat medelfel för helt objekt (tall, gran, björk)	Marklund (1988) Hannrup m.fl. (2009) Repola m.fl. (2007) Petersson (1999) Toppar ovanför sista kap: Kiljunen (2002)

¹ Medelfelen är från vedundersökningar och provträdsmaterial som redovisas i angivna publikationer.

² Litteraturreferenserna i tabellen anges inte i fotnoter utan återfinns sist i kapitlet.

Kännedom om fibervinkelns avvikelser från stammens längdriktning och den radiella utvecklingen från märke till bark är av stor vikt för att kunna producera sågutbyten som inte vrider sig vid torkning.³³² Informationen om stocktyp och relativ trädstorlek från skördarens produktionsfiler kan ge viss vägledning. Men det är framför allt 5–10 % stockar med avvikande, konstant vänstervriden fibervinkel från märke till bark som ger upphov till formproblem efter sågning och torkning.³³³ Dessa kan för närvarande inte identifieras med skördarmätning och beräkningsteknik utan är åtminstone till en del styrt av genetik.³³⁴

Mer om växtvridenhet och fibervinkel finns i avsnitt 3 *Vedens bildning och uppbyggnad*.

De angivna medelfelen för egenskapsmodellerna i tabell V13 är beräknade på de material som ingått i de publicerade undersökningarna. Felen kan bli större till exempel på grund av systematiska avvikelser för brösthöjdsålder, löpande stamdiameter, tydligt avvikande genetiska egenskaper, extrema skötselregimer, effekter av olika skadegörare och väderhändelser, samt avvikande lokalklimat. Beräknade indata (som t.ex. antal årsringar) utgör också en källa till ökat medelfel för enskilda stockar/tvärssnitt.

För många egenskaper blir felen vid prediktion av enskilda stockmedelvärden för stora för att användas till produktspecifika apteringsbeslut om absoluta tröskelvärden måste uppnås för att produktionstekniken ska bli lönsam. Om det däremot kan ge produktionstekniska fördelar att anrika stockar med högre sannolikhet att uppfylla sådana egenskapskrav kan predikterade värden för enskilda stockar ändå användas för effektivare produktionsstyrning. Det förutsätter antagligen att alternativvärdet för stockar som inte visar sig uppfylla ställda egenskapskrav inte reduceras för mycket.

Skördarinformation och trädålder kan ge en detaljerad bild av råvarans egenskaper och markförhållanden

I det följande ges ett fördjupat exempel på hur standardiserade produktionsfiler från skördare (StanForD 2010), grundläggande beståndsuppgifter och beräkningsmodeller kan användas för att förutsäga olika egenskaper hos tillredda stockar, mängden bark, grenar och toppar. Tidig kännedom om virkesegenskaper ökar möjligheterna att göra rätt från början. Det ger bättre förutsättningar att effektivisera industriprocesserna och öka det sammanlagda värdet på slutprodukterna.

Med en serie kartor och diagram (figur V83–101) följer här exempel på den information om egenskaper hos stamvirkessortiment, grenar, toppar och stubbar som kan tas fram genom att kombinera skördarproduktionsfiler (StanForD 2010), trädålder och egenskapsmodeller (tabell V13). Exempelen är från en avverknings-

³³¹ Keisu, T., Jägbrant, S., Fahlén, P., Nordqvist, M., Lundgren, J., Norström, M., Willén, E., Arlinger, J., Hyll, K., Möller, J.J., Ohlström, A., Wilhelmsson, L. & Eriksson, I. 2021. Skogligt datalabb – ökad innovation genom branschsamverkan. Biometria, Uppsala. 23 s. https://www.biometria.se/media/i5dnel4v/skogligt-datalabb_web.pdf (Hämtad 2022-04-06.)

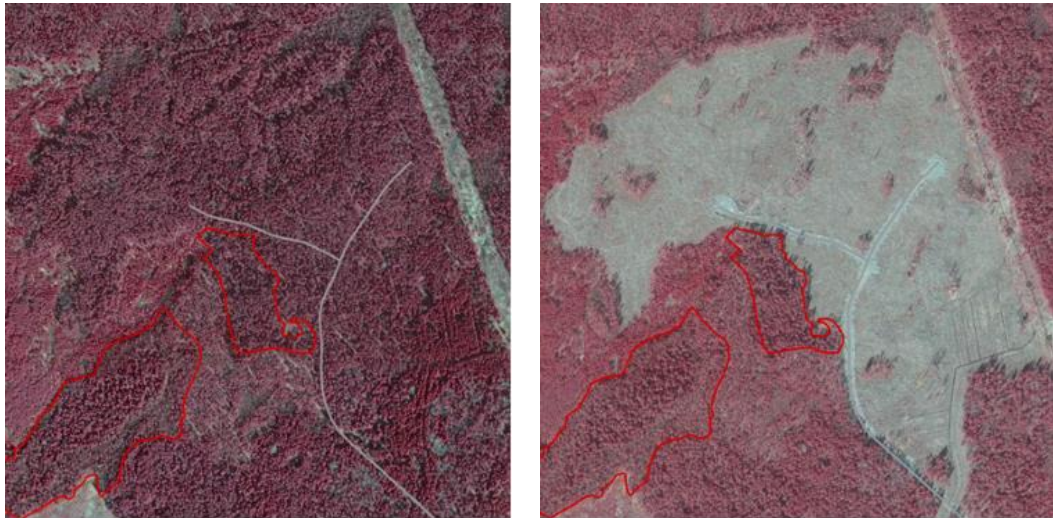
³³² Säll, H. 2002. Spiral Grain in Norway Spruce. Avhandling. Växjö, Växjö University Press. 171 s.

³³³ Kliger, R. & Säll, H. 2000. Prediction of twist and industrial validation. Chalmers tekniska högskola, inst. för konstruktionsteknik, stål- och träbyggnad. S. 0534–0411, 2000:3.

³³⁴ Hannrup, B. m.fl. 2004. Genetic Parameters of Growth and Wood Quality Traits in *Picea abies*. Scand. J. For. Res. 19: 14–29.

trakt i Labbo i norra Uppland med en sammanlagd areal på 29 hektar. Exemplet bygger på den informationsstandard och de aktuella programversioner som anges i här omnämnda referenser, i samtliga fall fortfarande funktionellt aktuella 2022 (uppdaterade versioner kan dock förekomma).

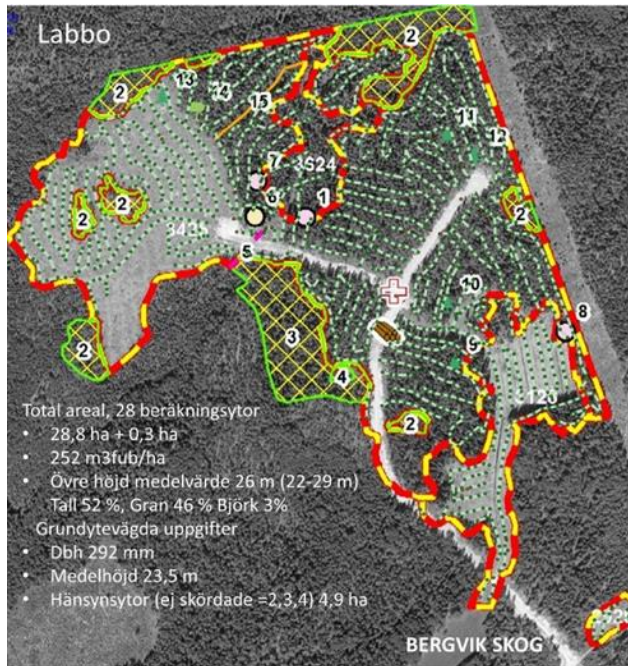
De skördade stockarnas volym och egenskaper per arealenhet ger också information om bestånden och marken. Till exempel kan beståndets övre höjd och faktiska produktion beräknas och förarens beslut om nedklassning på grund av skador sammanställas, allt fördelat på trädslag. Informationen är geografisk knuten. Den kan därför ge underlag för planering av nästa trädgeneration som val av föröngningsmetod, markberedningsmetod, val av trädslag och detaljerad naturhänsyn.



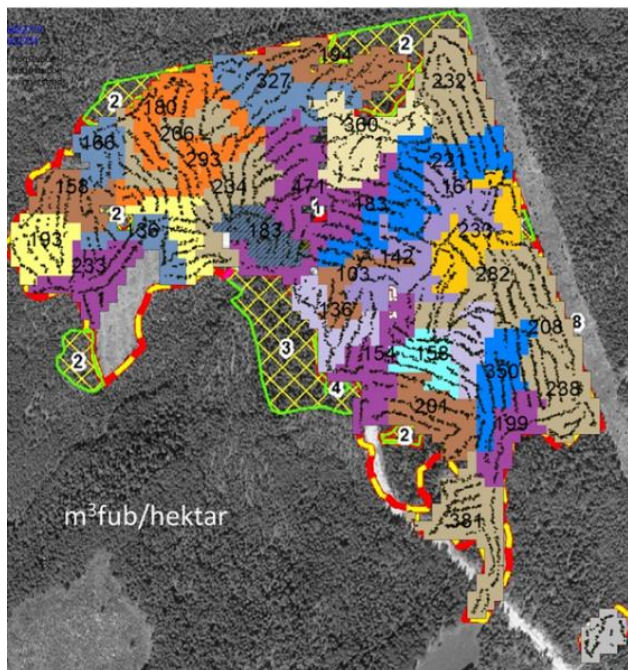
Figur V83 Avverkningstrakt i Labbo, Norduppland. Flygbild över objektet före och efter skörd (Lantmäteriet 2013, 2017). De med rött avgränsade områdena är nyckelbiotoper som avsatts för naturhänsyn.



Figur V84
Drönarfoto
från på-
gående skörd
(2016).
Labbo,
Norduppland.
Foto Johan
Heurgren.



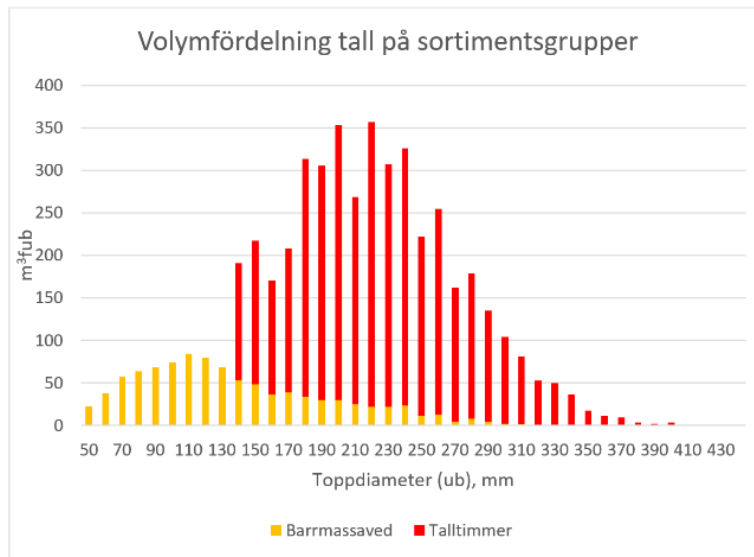
Figur V85 Övergripande statistik för objektet Labbo, baserat på planeringsunderlag och skördarens produktionsfil. Maskinens uppställningsplatser illustreras med gröna punkter. Kartunderlag från Bergvik Skog AB (tidigare ägare) och Skogforsk.



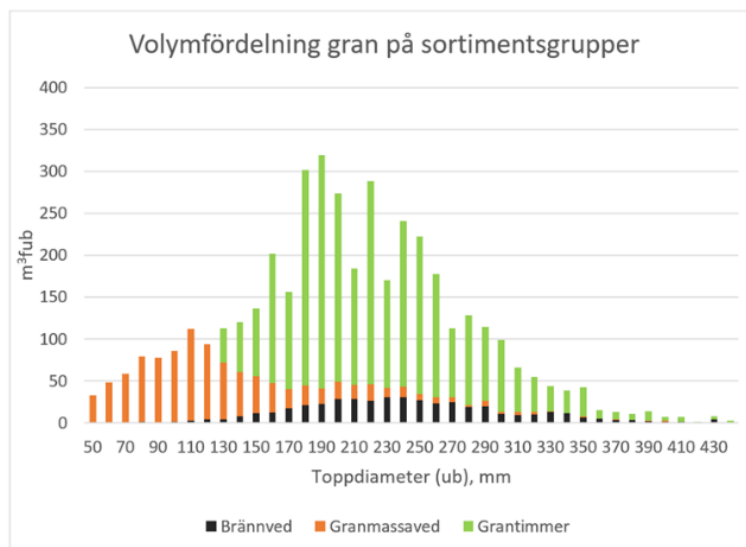
Figur V86 Faktiska uttag av gagnvirke (m³fub/ha) från alla sortiment per beräkningsyta (markerade med olika färger), enligt skördarens produktionsfiler. Kartan utskrift från programmet hprAnalys. Källa: Möller m.fl. (2011).³³⁵

Produktionsfiler från skördare kan också ge detaljerad information om fördelning av enskilda stockar och stammar på trädslag, sortiment och dimension (toppdiameter). Figurerna V87 och V88 illustrerar detta och bygger på bearbetning av produktionsfiler (hpr, harvester production, StanForD 2010) med särskild programvara. De visar utfallet för tall respektive gran i exemplet från avverkningstrakten i Labbo.

³³⁵ Möller, J.J., Arlinger, J., Barth, A., Bhuiyan, N. & Hannrup, B. 2011. Ett system för beräkning och återföring av skördarbaserad information till skogliga register- och planeringssystem. Skogforsk. Arbetsrapport 756. 38 s.



Figur V87 Total volymfördelning av producerade tallsortiment efter stockarnas toppdiameterklasser.



Figur V88 Total volymfördelning av producerade gransortiment efter stockarnas toppdiameterklasser.

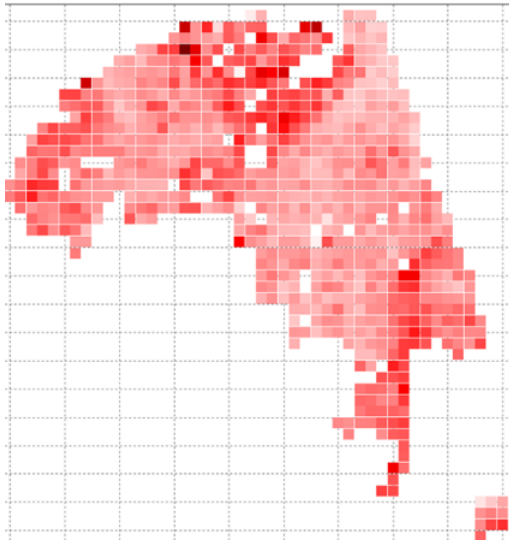
Kartorna (figur V89–90) med virkesvolym per träd (medelstam) och övre höjd kommer från körning med datorprogrammet hprYield³³⁶. Programmet Skogforsk - hprProp^{337,338} har använts till alla beräknade egenskaper inklusive volymer och diameterfördelningar per sortiment. Programmet är en förlaga till programmet Props som nyligen implementerats hos Biometria Labs.³³⁹

³³⁶ Bhuiyan, N., Möller, J.J., Arlinger, J. & Eriksson, I. hprYield – beräkningsmodul för generering av geografiskt uppdelade nyckeltal baserat på skördardata. Skogforsk. Manuskript.

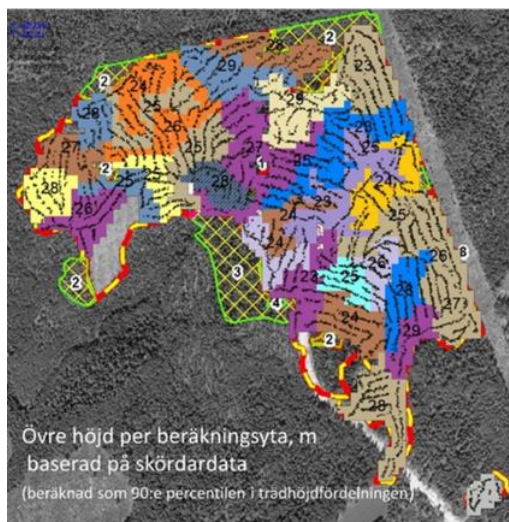
³³⁷ Arlinger, J. & Wilhelmsson, L. hprProp a calculation module for characterising wood and fiber properties by StanForD, CTL-harvester production files (.hpr), prediction models and tree ages. Skogforsk. Manuskript.

³³⁸ Wilhelmsson, L. 2019. Paragraph 3.8 Detailed forest yield prediction previous and during harvesting. s. 21–26 i: Väättäinen, K. m.fl. 2019. Deliverable 4.5 – Validation of developed tools for operational planning. EFFORTE EU project BBI-JU Horizon 2020. Grant agreement No 720712.

³³⁹ Keisu, T. m.fl. 2021. Skogligt datalabb – ökad innovation genom branschsamverkan. Biometria, Uppsala. 23 s. https://www.biometria.se/media/i5dnel4v/skogligt-datalabb_web.pdf (Hämtad 2022-04-06.)



Figur V89 Visualisering av variation i medelstamvolymen enligt skördarens produktionsfil, beräknade för 20 m × 20 m ytor med programvara hprYield. Ju mörkare nyans desto större medelstam.



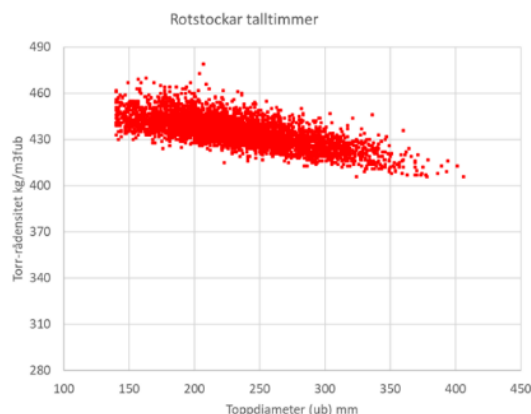
Figur V90 Från skördarens produktionsfil kan till exempel det avverkade beståndets övre höjd beräknas och redovisas som medelvärden för 0,5–2 ha stora beräkningsytor.^{340,341}

För beräkningar av inre egenskaper hos skördat virke behövs även uppgifter om trädåldrar (ålder i brösthöjd). Dessa kan normalt hämtas från beståndregister, men kan behöva kontrolleras i fält. I detta exempel var beståndsåldern 86 år i brösthöjd (1,3 m ovan mark), med undantag för en yngre granplantering i avdelningens nedre högra hörn som var 56 år i brösthöjd.

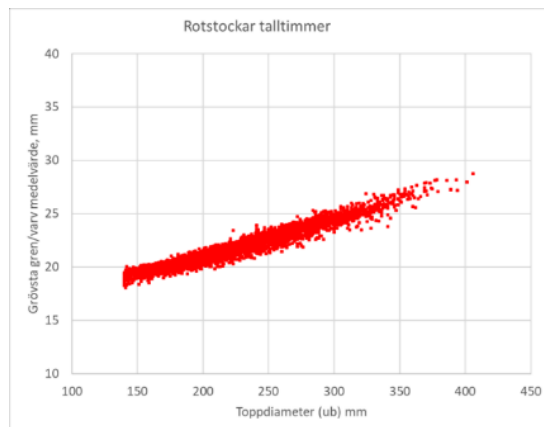
I figurerna V91–100 redovisas beräkningar av olika inre egenskaper hos det virke som skördades i Labbo. Exemplet avser egenskaper som densitet, grengrovlek, kärnvedsdiameter och cellväggstjocklek för olika stocktyper och diameterklasser. De modeller och funktioner som använts anges i tabell V13. I exemplet finns en även en detaljerad beskrivning på beräknade tillgängliga respektive uttagna mängder grot, samt beräknade mängder brytbara men ej uttagna stubbar (figur V101).

³⁴⁰ Bhuiyan, N., Möller, J.J., Hannrup, B. & Arlinger, J. 2016. Automatisk gallringsuppföljning - Arealberäkning samt registrering av kranvinkel för identifiering av stickvägsträd och beräkning av gallringskvot. Skogforsk. Arbetsrapport 899. 51 s.

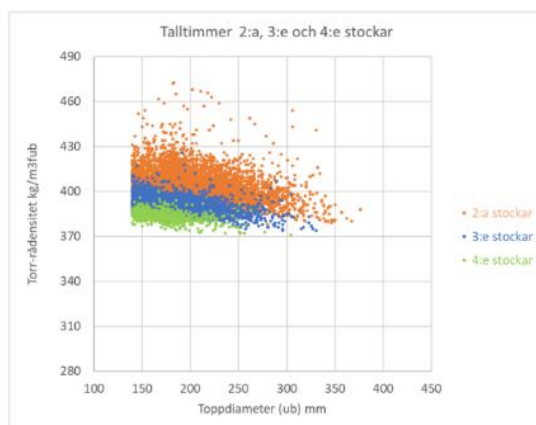
³⁴¹ Möller, J.J., Bhuiyan, N., Arlinger, J. & Willén, E. 2019. Harvester information for micro compartments. Deliverable 3.7. EU BBI-JU-project EFFORTE, Efficient forestry by precision planning and management for sustainable environment and cost-competitive bio-based industry. 19 s.



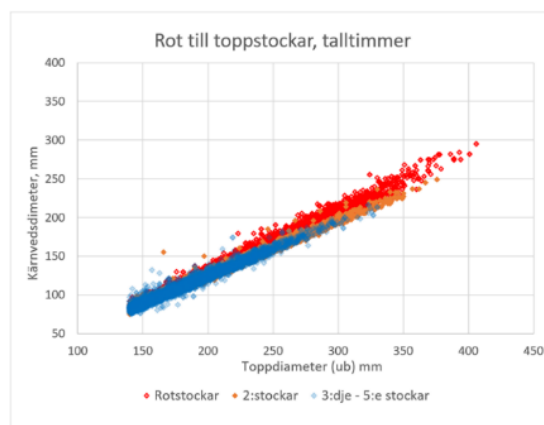
Figur V91 Beräknad torr-rådensitet (kg/m³fub) för rotstockar av tall efter toppdiameter under bark.



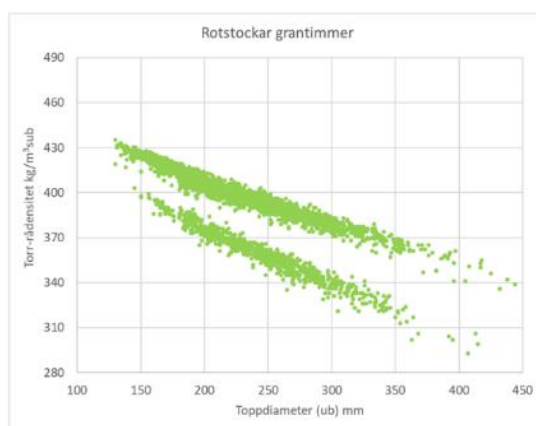
Figur V92 Talltimmer. Beräknad grövsta gren (mm) per grenvarv, fördelat över stockarnas toppdiameter under bark.



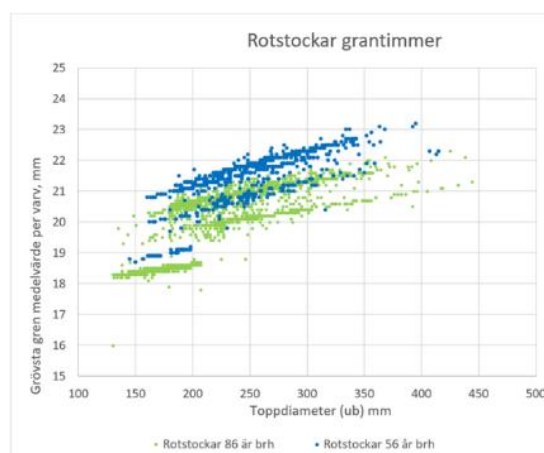
Figur V93 Talltimmer. Beräknad torr-rådensitet för tall, 2:a-, 3:e- och 4:de-stockar (räknat från stubbe) fördelade över stockarnas toppdiameter under bark.



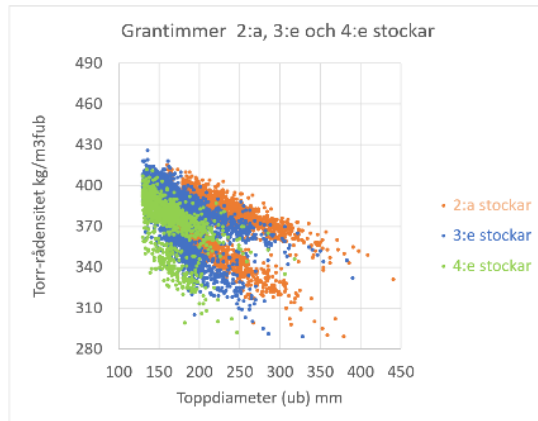
Figur V94 Beräknad kärnvedsdiameter i talltimmer från olika stocktyper fördelade på toppdiameterklasser under bark.



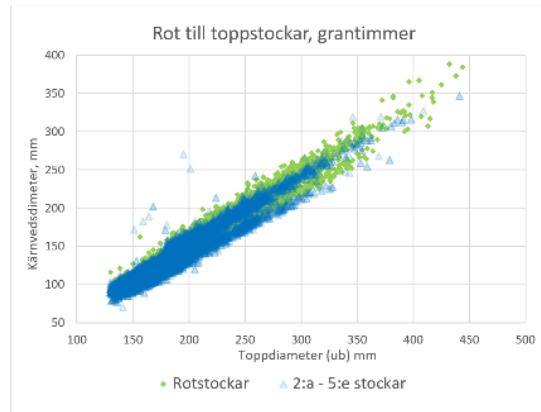
Figur V95 Beräknad torr-rådensitet, grantimmer fördelade på toppdiameterklasser. Observera att nivån är högre från den äldre (86 år brh, övre bandet) än från den yngre delen (56 år brh, nedre bandet).



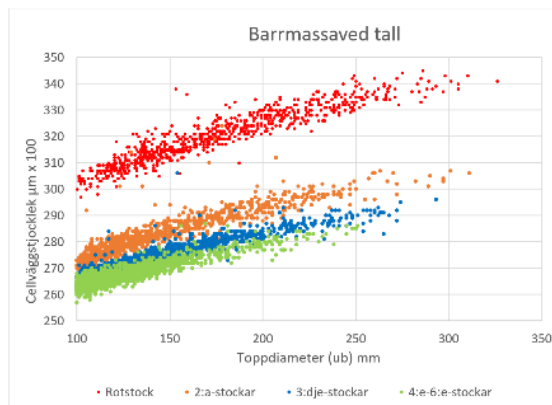
Figur V96 Beräknad grövsta gren för grantimmer från rotstockar fördelade efter toppdiameter och 86 år respektive 56 år i brösthöjd.



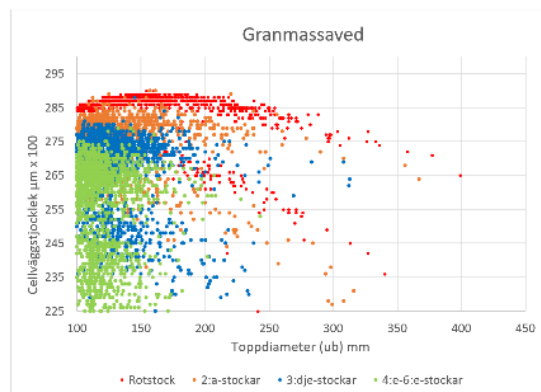
Figur V97 Beräknad torr-rådensitet. Grantimmer från 2:a- till 4:e-stockar, fördelade på toppdiameterklasser. Nivån är högre från den äldre (86 år i brh, övre tre banden), än från den yngre delen (56 år i brh, nedre tre banden), men stocktypen (stock nummer från rot) spelar också stor roll.



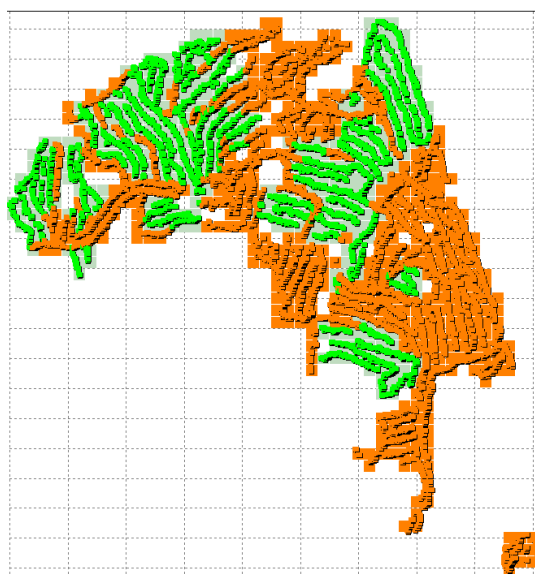
Figur V98 Beräknad kärnvedsdiameter (mm) för grantimmer från alla stocktyper fördelade på toppdiameterklasser. Vid en noggrann studie av bilden går det att se två parallella fördelningar med olika mittvärden för respektive stocktyper. Detta beror på att kärnvedsbildningen, liksom torr-rådensiteten är starkt beroende av antal årsringar i tvärsnitten och därmed även trädåldern.



Figur V99 Beräknad cellväggstjocklek för barrmassaved som i detta objekt är enbart tallmassaved från olika stocktyper (från rot till topp) efter toppdiameter.



Figur V100 Beräknad grövsta gren för granmassaved från olika stocktyper (från rot till topp) fördelade efter toppdiameter och 86 år respektive 56 år i brösthöjd.



Figur V101 Redovisning av beräknad mängd bränsleanpassad (lagd i högar) grot (grenar och toppar) från avverkningstrakten Labbo. Uttaget gjordes inom de gröna områdena på kartan och motsvarade 36 % av hela den beräknade grotmängden från objektet (850 ton TS). Detaljer om den skördade groten framgår av tabellen nedan. Mängden brytbara, men ej skördade stubbar och grovrötter från träd ≥ 250 mm brösthöjdsdiameter uppgick till 666 ton TS.

	Total	Tall	Gran	Bjök/Asp	Övrigt löv
Torrvikt (ton)	309 (36 %)	138	160	11	0
Fukthalt (%)	50	50	50	50	50
Råvikt (ton)	618	277	319	22	0,1
Volym (m ³ s) ^a	1887	877	955	55	0,2
Volym (m ³ fub)	755	351	382	22	0,1
Energi, torr (MWh)	1650	740	852	58	0,2
Energi, fuktig (MWh)	1439	645	743	51	0,2

^a Stjälpt mått.

Gallringsuppföljning och virkesinformation från skördardata

När träd avverkas och tillreds till stockar genom gallring eller slutavverkning lagras standardiserade produktionsdata för träden och stockarna. Dessutom lagras maskinens eller skördaraggregatets position med så kallade GNSS-koordinater³⁴² för varje fälld och enskilt tillredd stam, med undantag för flerträdsskördade småträd. Detta sker enligt StanForD 2010.³⁴³

Med stöd av de gallrade träden och skillnaderna mellan uttagen i och mellan stickvägarna (figur V102) kan de skördade stammarnas egenskaper beskrivas. Men det går även att beräkna de kvarstående trädens diameter och höjdfördelning per trädslag.³⁴⁴

Genom standarden för stående skog, Forestand, kan skördarinformationen från gallringen användas som detaljerade indata för att beskriva den kvarvarande skogen och skogsmarken efter gallring.³⁴⁵ Information om frekvenser av skador och fel i den gallrade skogen kan ge vägledning om förväntade kvalitetsnivåer i den kvarstående skogen.

³⁴² GNSS (Global Navigation Satellite Systems) är ett samlingsnamn för satellitbaserade navigations- och positionsbestämningssystem.

³⁴³ Arlinger, J., Nordström, M. & Möller, J.J. 2012. StanForD 2010. Modern kommunikation med skogsmaskiner. – StanForD 2010. Skogforsk. Arbetsrapport 784. 15 s.

³⁴⁴ Hannrup, B., Möller J.J., Arlinger, J. & Eriksson, I. 2021. Förbättrad styrning av gallringsarbetet för ökad tillväxt i yngre och medelålders skog. Skogforsk. Arbetsrapport 1085. 37 s.

³⁴⁵ Arlinger, J., Möller, J.J., Eriksson, I. & Bhuiyan, N. 2017. Forestand – Skördardata. Standardisering av: Skördardatabaserade beskrivningar av uttag och kvarvarande skog efter gallring. Skogforsk. Arbetsrapport 929. 19 s.

Ett område som behöver vidareutvecklas är egenskapsberäkning vid skörd av skiktad olikåldrig skog.³⁴⁶ Kan åldersfördelningen på träden beskrivas med acceptabel noggrannhet bör egenskaper kunna beräknas utgående från de modeller som redovisas i tabell V13.



Figur V102 Skördare i första gallring. Med uppgifter om de utgallrade träden i och mellan stickvägar kan diameter och höjdfördelning hos kvarstående träd samt trädslagsfördelning beräknas. Foto Lars Wilhelmsson.

Systemet för automatisk gallringsuppföljning³⁴⁷ bygger på bearbetning och analys av produktionsdata från skördare. I systemet lagras trädslag, diameter, höjd, producerat sortiment, manuella kap på grund av virkesfel samt positionsdata i standardiserade hpr-filer (harvested production) enligt StanForD 2010. Positioneringens noggrannhet varierar med uppnådd mottagningskvalitet för GNSS-signalerna, samt möjligheterna att identifiera uttag i stickväg respektive bestånd genom kranens vinkel och aggregatets position i förhållande till skördarens uppställning.³⁴⁸

Gallringsuppföljningen ger löpande stöd till skördarföraren om de skördade trädens, storlek, antal, positioner och fördelning på trädslag. Dessutom erhålls information per beräkningsyta omfattande 0,5–2 ha (ytornas storlek utgår från de skördade trädens beräknade övre höjd).

Baserat på produktionsfilerna och jämförelse mellan bland annat stickvägsuttag och beståndsuttag är det möjligt att göra goda skattningar av det kvarvarande beståndets diameter- och höjdfördelning per trädslag, stamantal, grundyta och frekvens nedklassande skador och fel. Uppgifterna kan sedan föras vidare för lagring i planeringssystemen (se *Forestand – en standard för geografisk information och data om skog och brukande av skog*) och för ökad noggrannhet i framtida utbytesberäkningar.

³⁴⁶ Sonesson, J., Eliasson, L., Jacobsson, S., Wallgren, M., Weslien, J. & Wilhelmsson, L. 2017. Hyggesfritt skogsbruk på landskapsnivå. Skogforsk. Arbetsrapport 926. 57 s.

³⁴⁷ Möller, J.J., Bhuiyan, N. & Hannrup, B. 2015. Utveckling och test av beslutsstöd vid automatiserad gallringsuppföljning. Skogforsk. Arbetsrapport 862. 42 s.

³⁴⁸ Bhuiyan, N., Möller, J.J., Hannrup, B. & Arlinger, J. 2016. Automatisk gallringsuppföljning - Arealberäkning samt registrering av kranvinkel för identifiering av stickvägsträd och beräkning av gallringskvot. Skogforsk. Arbetsrapport 899. 51 s.

Beräkning av råvarans egenskaper före skörd – nya möjligheter med mätteknik, digitalisering, beräkningsmodeller och informationssystem

När ett skogsbestånd ska skördas utgör de enskilda trädens art, antal, diameter, höjd och avsmalning, samt skador och fel grundläggande information för att göra bra utbytesberäkningar. Utbytesberäkningen görs för att skapa en bild av det förväntade sortimentsutfallet från det planerade virkesuttaget.

I praktiken görs ofta övergripande utbytesberäkningar utifrån bedömd eller beräknad stående volym, fördelad på trädslag, medeldiameter och uttagsandel (avverkningsform, miljöhänsyn), samt timmer- och massavedsandelar per trädslag.

Ibland utförs detaljerade utbytesberäkningar där avverkningsplanerade bestånd beskrivs med enskilda träd. Trädstammarna delas sedan till stockar med ett datorprogram för apteringssimulering. Med stöd av tekniker och metoder som möjliggörs av skogsbrukets digitalisering kan laser- och andra inventeringsdata från planerade skördeobjekt jämföras med motsvarande indata från likartade redan skördade beräkningsytor (se till exempel figur V86) från bestånd som lagrats i en databas.

De likartade beräkningsytorna väljs ut genom statistiska så kallade imputeringsmetoder som till exempel Random forest³⁴⁹ eller Most similar neighbor^{350,351}. På det sättet kan det lagrade skörderesultatet (produktionsfiler enligt StanForD 2010) från de avverkade objekten användas (imputeras) till en detaljerad utbytesberäkning för de planerade, ännu inte skördade objekten.

När ett skogsbestånd närmar sig tidpunkten för skörd (genom gallring, slutavverkning eller hyggesfria metoder) finns teknik och metoder för att prognostisera virkesvolym, dimensionsfördelning, möjliga sortiment, förväntade skador med mera, uppdelat på aktuella trädslag. Grunderna utgörs av mätinformation från luften, referensmätning från marken och beräkningsmetoder som ger de enskilda trädens diameter- och höjdfördelningar. För de flesta virkesegenskaper behövs även trädåldrar (antal årsringar i brösthöjd, 1,3 m över mark, brh) samt växtplatsens klimatläge.

I jämnårig skog kan beståndens genomsnittsålder ofta hämtas från beståndsregister, men dessa uppgifter kan behöva kontrolleras genom stickprov i fält. Klimatläget kan beräknas med funktioner för temperatursumma (summan av dygnsmedeltemperaturerna under vegetationsperioden) baserade på latitud och höjd över havet.³⁵²

³⁴⁹ Yu, X., Hyypä, J., Vastaranta, M., Holopainen, M. & Viitala, R. 2011. Predicting individual tree attributes from airborne laser point clouds based on the random forests technique. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 66(1): 28–37.

³⁵⁰ Granqvist-Pahlén, T., Nilsson, M., Egberth, M., Hagner, O. & Olsson, H. 2004. kNN-Sverige: Aktuella kartdata över skogsmarken. SLU. Fakta Skog nr 12. 4 s.

³⁵¹ Reese, H., Granqvist-Pahlén, T., Egberth, M., Nilsson, M. & Olsson, H. 2005.

Automated estimation of forest parameters for Sweden using Landsat data and the kNN algorithm. Swedish research program Remote Sensing for the Environment (RESE). 5 s.

³⁵² Enligt till exempel: Morén, A. & Perttu, K. 1994. Regional temperature and radiation indices and their adjustment to horizontal and inclined forest land. *Studia Forestalia Suecica* 194. 18 s.

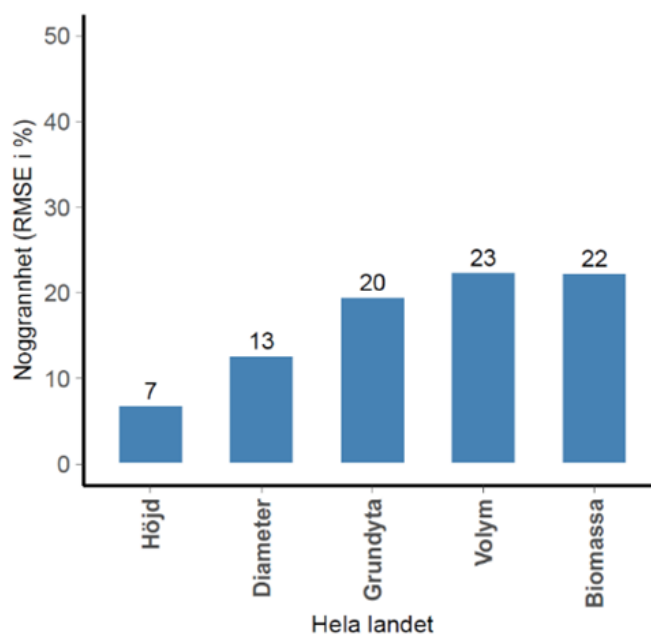
Med hjälp av beräkningsmodeller och/eller imputering (figur V105) kan dessa indata utnyttjas för prognostisering av stammarnas form och inre virkesegenskaper, grengrovlek och total mängd skördat skogsbränsle med hjälp av beräkningsmodeller.

I det följande beskrivs lite djupare både planering och simulering av skörd för utbytesberäkningar och produktionsstyrning.

Karttjänsten Skogliga grunddata

Skogliga grunddata ger övergripande information om medelhöjd och virkesvolym i den stående skogen.³⁵³ Tjänsten baseras på ett samarbete mellan Lantmäteriet, SLU och Skogsstyrelsen och kan komma att utvecklas i takt med teknikutveckling och digitalisering. I dagsläget (2022) ingår bland annat möjligheter att beskriva trädskiktets höjd, medeldiameter, grundyta, virkesvolym ($\text{m}^3\text{sk/ha}$) och biomassa (torrsubstans/ha). För närvarande kan dock inte trädslag tas fram med verktyget.

Tillförlitligheten i resultaten (ej uppdelat på trädslag) beskrivs i figurerna V103 och V104 nedan.

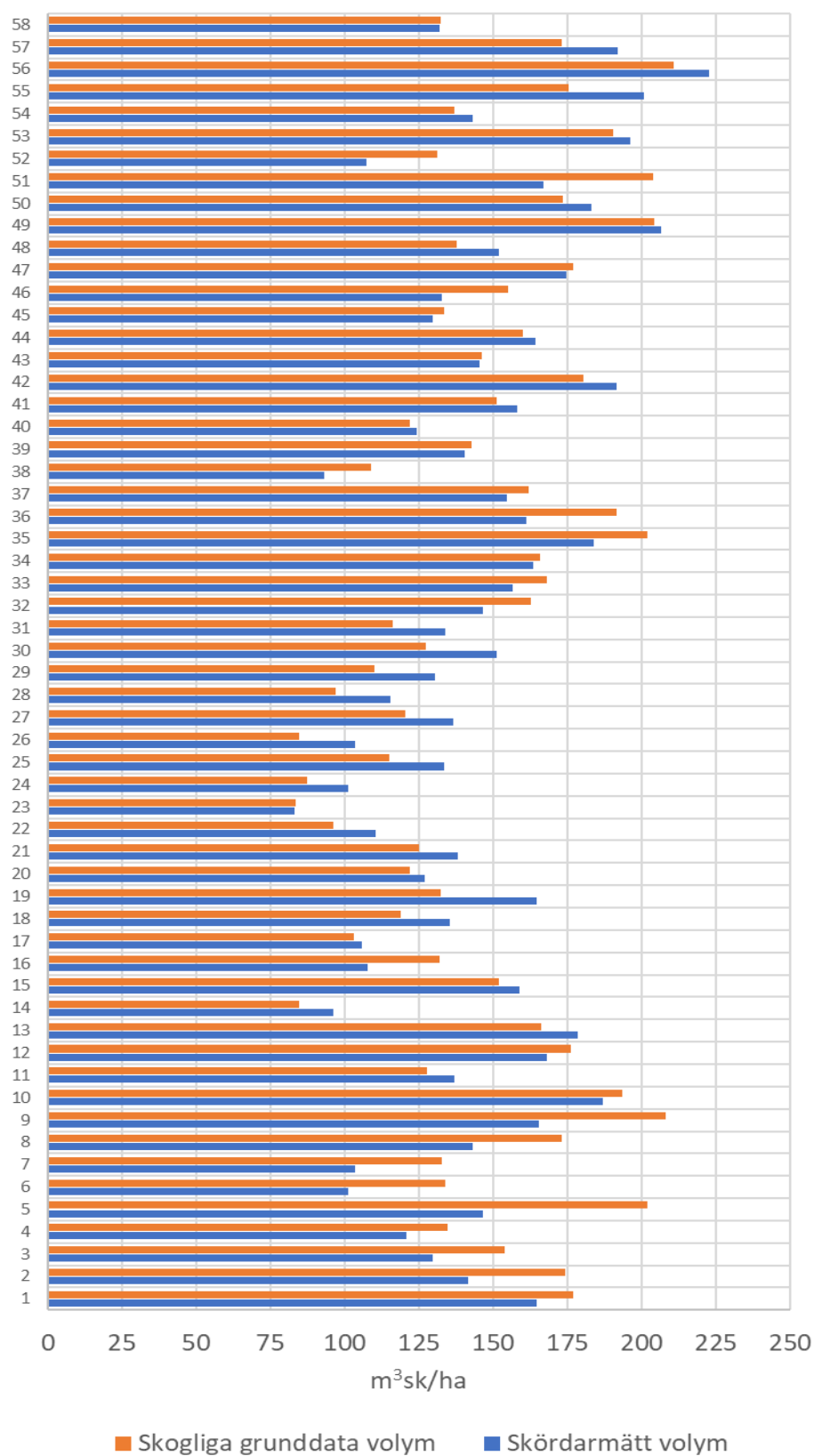


Figur V103 Noggrannheten i skogliga grunddata för medelhöjd (Hgv, dm), medeldiameter (Dgv, cm), grundyta (m^2/ha), volym ($\text{m}^3\text{sk/ha}$) och biomassa (ton torrsubstans/ha), uttryckta som medelfel "Root Mean Square Error" (RMSE)³⁵⁴ i procent av medelvärdet från inventeringen. Resultaten avser data för "hela landet" och är beräknade från 546 objektivt inventerade avdelningar från Sveaskogs företagstaxering år 2017. Källa: SLU 2021).³⁵⁵

³⁵³ Jonzén, J., Nilsson, M., Olsson, H., Larsson, S., Nilsson, L. & Persson, A. 2016. Skogliga grunddata – Digitala kartor för skogsbruket. SLU. Fakta Skog. Nr 8 2016. https://www.slu.se/globalassets/ew/ew-centrala/forskn/popvet-dok/faktaskog/faktaskog16/faktaskog_08_2016.pdf (Hämtad 2022-04-25.)

³⁵⁴ Root mean square error (RMSE) är ett mått på spridningen av avvikelserna, till exempel när en jämförelse görs mot ett givet värde, eller ett mått på medelvärdet av standardavvikelse eller standardfelen.

³⁵⁵ SLU. 2021. Kvalitetsbeskrivning - skogliga skattningar från laserdata. Dokument daterat 2021-06-30. <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/om-oss/regeringsuppdrag/uppdatering-av-skogliga-grunddata/kvalitetsbeskrivning-skogliga-skattningar-fran-laserdata-210702.pdf>. (Hämtat 2022-04-25.)



Figur V104 Jämförelse mellan skördarmätt volym och volym från skogliga grunddata (kNN från 2010-2011) från 58 skördade beräkningsytor med arealen 0,5–1 ha fördelade på 6 olika skördade objekt i Västerbotten 2015. Skogliga

grunddata från 2010 och 2011. Medelfelet för alla ytorna var 13 % (RMSE) och det systematiska felet 1,4 % (från Jon Söderberg, opublicerat).

Högupplösta data om de stående träden – för planering och styrning

Idag ger tekniker som laserskanning (ALS, Airborne Laser Scanning) och stereokameror från luften, kombinerade med markbundna mättekniker och olika former av mobila sensorer nya möjligheter att generera högupplösta bilder av de stående träden. Laserskanning ger ett punktmoln av laserstrålar som träffat både trädskronorna och marken. Det ger goda möjligheter att bestämma höjden från mark till krontaket i ett bestånd.

Med högupplöst skanning och utvecklad beräkningsteknik kan även höjderna på de större enskilda trädstammarna bestämmas med ett medelfel för enskild stam på drygt en meter.^{356,357} Genom att kombinera olika datakällor, som skördardata^{358,359}, markbundna provytedata, formfunktioner^{360,361} och/eller imputering, kan stammarnas höjd- och diameterfördelning (brh) samt form i ett bestånd beräknas före skörd.

Imputering innebär att tillgängliga beståndsdata (genom laserskanning eller provytor från marken) och motsvarande data från redan skördade objekt jämförs i syfte att först välja ut maximalt likartade objekt som redan skördats (figur V105). Det kan göras effektivt om de tidigare skördade och mätta stammarna från de aktuella objekten lagras i en databas. Med detta som grund går det att på statistisk väg välja ut en trädlista för det planerade objektet. Detaljerade trädldata ur databasen, inklusive stamskador och nedgraderande fel kan sedan användas för att prognostisera produktionsresultatet, volymer och stockdimensioner för olika sortiment och produktionsstyrningsalternativ.^{362,363}

³⁵⁶ Mielcarek, M., Kaminska, A. & Sterenczak, K. 2020. Digital Aerial Photogrammetry (DAP) and Airborne Laser Scanning (ALS) as Sources of Information about Tree Height: Comparisons of the Accuracy of Remote Sensing Methods for Tree Height Estimation. Remote sensing 12:1808. 22 s. <https://doi.org/10.3390/rs12111808>.

³⁵⁷ Persson, H.J., Olofsson, K. & Holmgren, J. 2022. Two-phase forest inventory using very-high-resolution laser scanning. Remote Sensing of Environment 271:112909. 14 s. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.112909>

³⁵⁸ Holmgren, J., Barth, A., Larsson, H. & Olsson, H. 2012. Prediction of stem attributes by combining airborne laser scanning and measurements from harvesters. Silva Fennica 46(2). <https://doi.org/10.14214/sf.56>

³⁵⁹ Barth, A., Möller, J.J., Wilhelmsson, L., Arlinger, J., Hedberg, R. & Söderman, U. 2015. A Swedish case study on the prediction of detailed product recovery from individual stem profiles based on airborne laser scanning. Annals of Forest Science 72(1): 47–56. <https://doi.org/10.1007/s13595-014-0400-6>.

³⁶⁰ Edgren, V. & Nylinder, P. 1949. Funktioner och tabeller för bestämning av avsmalning och formkvot under bark för tall och gran i norra respektive södra Sverige. Meddelanden från Statens skogsforskningsinstitut. Stockholm 38(7). 25 s.

³⁶¹ Ågren, A., Larson, J., Siddhartha, P., Laudon, H. & Lidberg, W. 2021. Use of multiple LIDAR-derived digital terrain indices and machine learning for high-resolution national-scale soil moisture mapping of the Swedish forest landscape. Geoderma. 404. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115280>

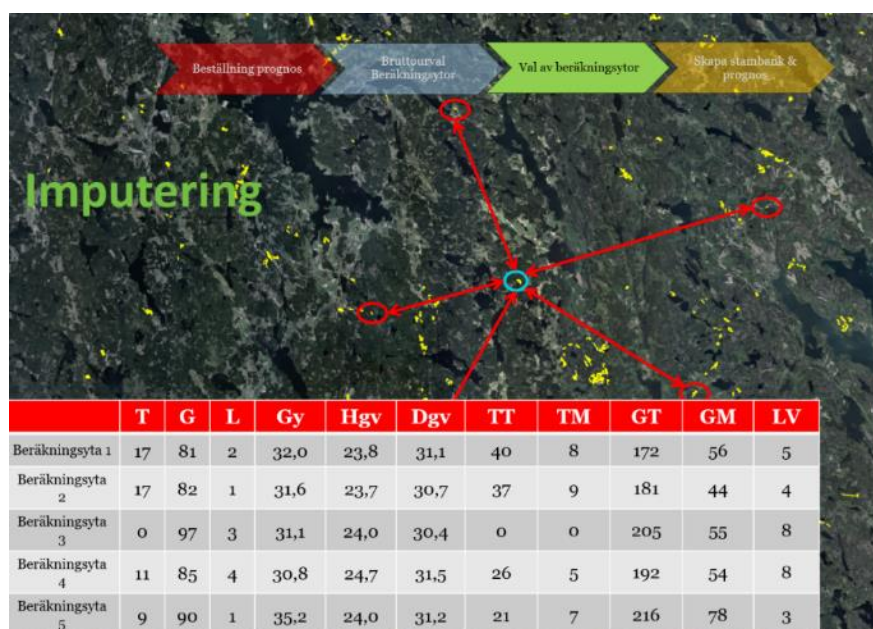
³⁶² Möller, J.J., Arlinger, J., Bhuiyan, N., Eriksson, I. & Söderberg, J. 2017.

Utbytesprognoser baserade på skogs- och skördardata. - Modell- och systembeskrivning för skapande av stambanker och imputerat utbyte. Skogforsk. Arbetsrapport 961. 34 s.

³⁶³ Söderberg, J., Möller, J.J. & Willén, E. 2018. Utvärdering av utbytesprognoser med skördardata. Skogforsk. Arbetsrapport 981. 28 s.

Om trädurvalet och egenskapsberäkningar medger det (t.ex. att trädåldrar, klimatläge, andelen sortimentspåverkande skador med mera, är representativa) kan även inre virkesegenskaper prognostiseras och vägas in i produktionsstyrningen för planerade objekt och för råvaruflöden till olika industrikunder.

Vid laserskanning från luften utan beståndsvisa referenser på marken har bestämningen av trädslag utgjort ett problem. Osäkerheten har minskats genom användning av multispektral laserskanning.³⁶⁴ Genom att kombinera högupplöst laserskanning och hyperspektral flygfotografering har goda resultat för både trädslag och stamvolym kunnat erhållas.³⁶⁵ Baserat på relativt högupplöst laserskanning från flygplan (9 punkter per m²) kombinerad med provytetaxering från marken kan en god genomsnittlig överensstämmelse mellan prognos och utfall erhållas för både tall- och grantimmersortimentens fördelning på diameterklasser (figur V106 och V107).³⁶⁶ I tabell V14 finns en översikt av variabler och deras inverkan på resultatet av utbytesprognoser.



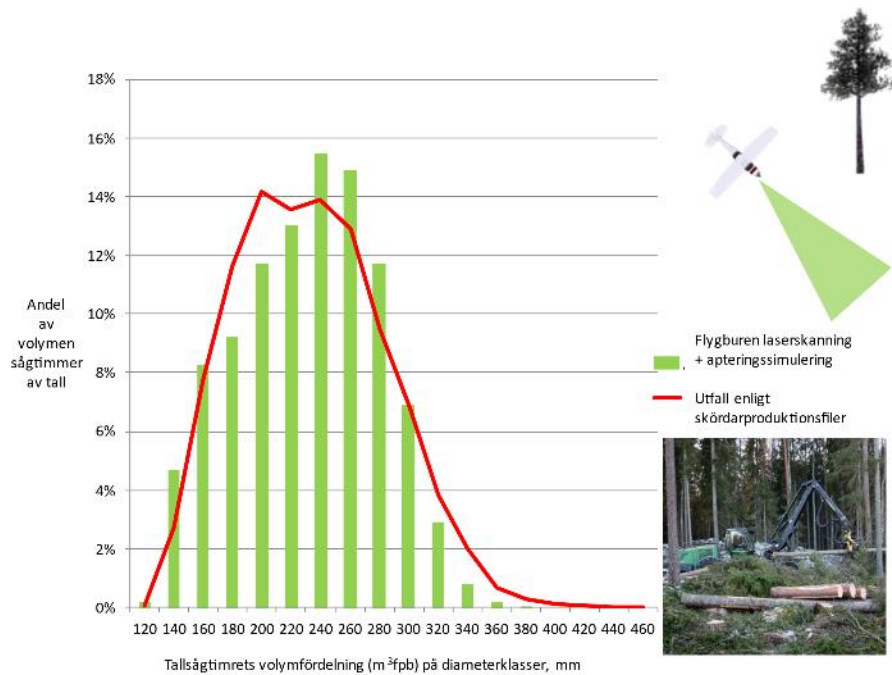
Figur V105 Imputering innebär att tillgängliga beståndsdata (genom laserskanning eller provytor från marken) och motsvarande data från redan skördade objekt jämförs i syfte att först välja ut maximalt väliknande objekt som de som redan skördats. Med detta som grund går det att på statistisk väg välja ut en trädlista för det planerade objektet. Teknik och bilder från Möller m.fl. (2017).³⁶⁷

³⁶⁴ Yu, X., Hyypä, J., Litkey, P., Kaartinen, H., Vastaranta, M. & Holopainen, M. 2017. Single-Sensor Solution to Tree Species Classification Using Multispectral Airborne Laser Scanning. Remote sensing 9(2): 108. <https://doi.org/10.3390/rs9020108>

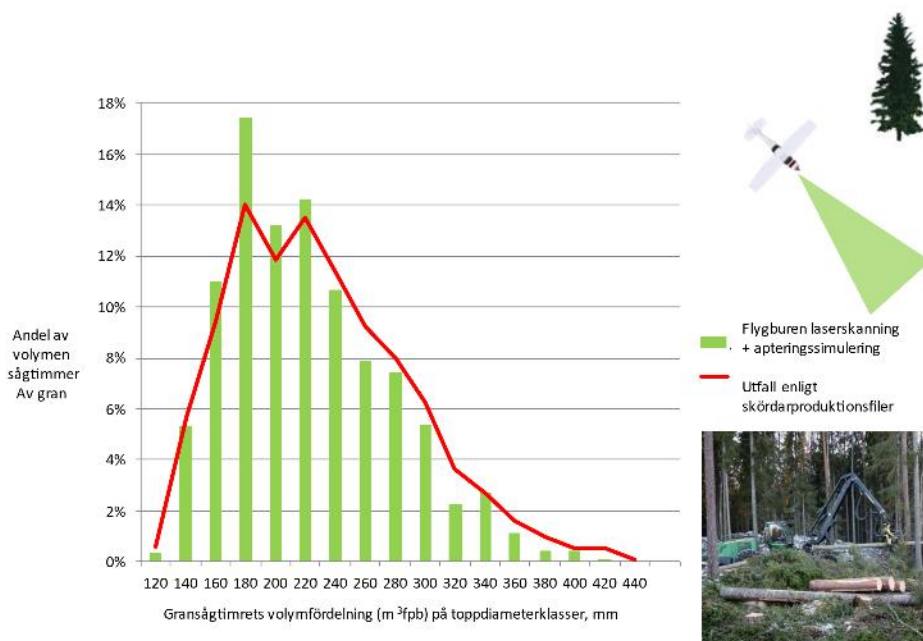
³⁶⁵ Dalponte, M., Frizzera, L. Ørka, H O., Gobakken, T., Næsset, E. & Gianelle, D. 2018. Predicting stem diameters and aboveground biomass of individual trees using remote sensing data. Ecological indicators 85: 367–376.

³⁶⁶ Barth, A., Möller, J.J., Wilhelmsson, L., Arlinger, J., Hedberg, R. & Söderman, U. 2015. A Swedish case study on the prediction of detailed product recovery from individual stem profiles based on airborne laser scanning. Annals of Forest Science 72(1): 47–56. <https://doi.org/10.1007/s13595-014-0400-6>.

³⁶⁷ Möller, J.J., Arlinger, J., Bhuiyan, N., Eriksson, I. & Söderberg, J. 2017. Utbytesprognoser baserade på skogs- och skördardata. - Modell- och systembeskrivning för skapande av stambanker och imputerat utbyte. Skogforsk. Arbetsrapport 961. 34 s.



Figur VI06 Simulerat flöde av tallsågtimmer från 12 olika bestånd jämfört med verkligt utfall, baserat på produktionsrapporter från skördarna. (Figur Lars Wilhelmsson, baserad på data från Barth m.fl. (2015)³⁶⁸. Foto Sven Tegelmano.)



Figur VI07 Simulerat flöde av gransågtimmer från 12 olika bestånd jämfört med verkligt utfall, baserat på produktionsrapporter från skördarna. (Bild Lars Wilhelmsson, baserat på data från Barth m.fl. (2015)³⁶⁹. Foto Sven Tegelmano.)

³⁶⁸ Barth, A., Möller, J.J., Wilhelmsson, L., Arlinger, J., Hedberg, R. & Söderman, U. 2015. A Swedish case study on the prediction of detailed product recovery from individual stem profiles based on airborne laser scanning. *Annals of Forest Science* 72(1): 47–56. <https://doi.org/10.1007/s13595-014-0400-6>.

³⁶⁹ Barth, A., Möller, J.J., Wilhelmsson, L., Arlinger, J., Hedberg, R. & Söderman, U. 2015. A Swedish case study on the prediction of detailed product recovery from individual stem profiles based on airborne laser scanning. *Annals of Forest Science* 72(1): 47–56. <https://doi.org/10.1007/s13595-014-0400-6>.

Tabell V14 Olika variablers inverkan på produktionsutfallet (utbytet). Efter Möller m.fl. (2017).³⁷⁰

Variabel	Inverkan på produktionsutfallet (utbytet)
Trädslag	Grunden för vilka produkter som kan produceras.
Trädens brösthöjdsdiameter (DBH)	Beskriver trädens storlek, vilket har stark koppling till stockars diameter som i sin tur påverkar vilka produkter som kan produceras.
Trädhöjd	Stamvolym, sortimentsutfall och längdutfall påverkas av trädhöjd (hög skog ger normalt högre timmerandel och längre stockar än låg skog).
Formkvot ^a	Stamvolym, sortimentsutfall och längdutfall (liten avsmalning ger möjlighet till mer och längre timmer än stor avsmalning).
Stamfelsved (virkesfel som medför nedklassning)	Sortimentsutfall (hög vedsandel med stamfel ger låg timmerandel och hög andel massaved).
Stamfel i rotstock av gran (vanligen röta)	Sortimentsutfall (hög andel stamfel ger mindre timmervolym och mer, barmassa eller rötvedssortiment än låg andel stamfel).
Manuell kapfrekvens timmer	Längdfördelning (mer manuella kap (skador) ger normalt kortare timmer).
Toppdiameter vid sista kap/sista timmerkap	Volymutfall/sortimentsutfall (grova toppar ger lägre volymutfall). Minimidiameter för timmer påverkar också.

^a Edgren, V. & Nylinder, P. 1949. Funktioner och tabeller för bestämning av avsmalning och formkvot under bark för tall och gran i norra respektive södra Sverige. Meddelanden från Statens skogsforskningsinstitut. Stockholm 38(7). 25 s.

Ågren, A., Larson, J., Siddhartha, P., Laudon, H. & Lidberg, W. 2021. Use of multiple LIDAR-derived digital terrain indices and machine learning for high-resolution national-scale soil moisture mapping of the Swedish forest landscape. *Geoderma*. 404. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115280>

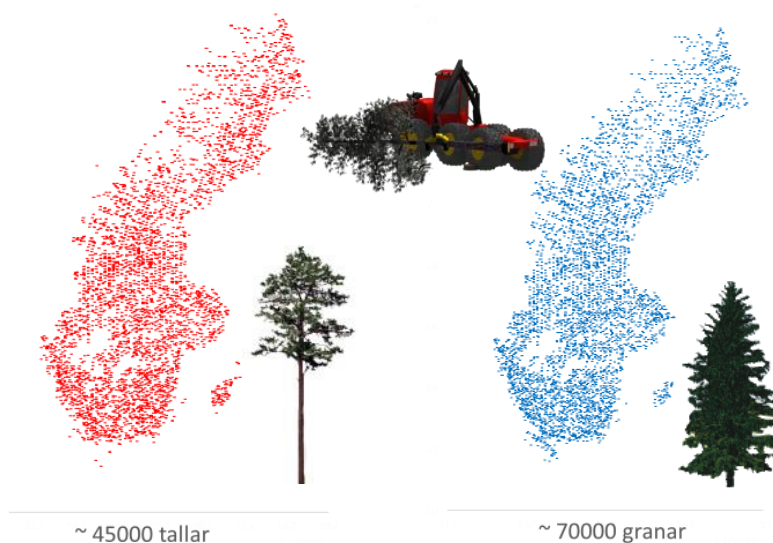
³⁷⁰ Möller, J.J., Arlinger, J., Bhuiyan, N., Eriksson, I. & Söderberg, J. 2017.

Utbytesprognoser baserade på skogs- och skördardata. - Modell- och systembeskrivning för skapande av stambanker och imputerat utbyte. Skogforsk. Arbetsrapport 961. 34 s.

Beräknade medelvärden och variation för virkesegenskaper av gran och tall från skördemogen skog i Sverige

Baserat på indata från fem årgångar enskilda provträd ur Riksskogstaxeringens landsomfattande provyteinventeringar 2005–2009 (figur V108) simulerades avverkning och tillredning av timmer och massaved från skördemogen skog (slutavverkning).³⁷¹ Provträdens trädslag, diameter och ålder i brösthöjd samt totalhöjd hämtades från Riksskogstaxeringens databas. Samtliga träd kördes genom skördarsimulator³⁷² styrd av en standardprislista för normala timmer och massavedsdimensioner. Baserat på de simulerade skördarproduktionsfilerna beräknades sedan virkesegenskaperna för samtliga enskilda stockar med beräkningsmodellerna enligt tabell V13.

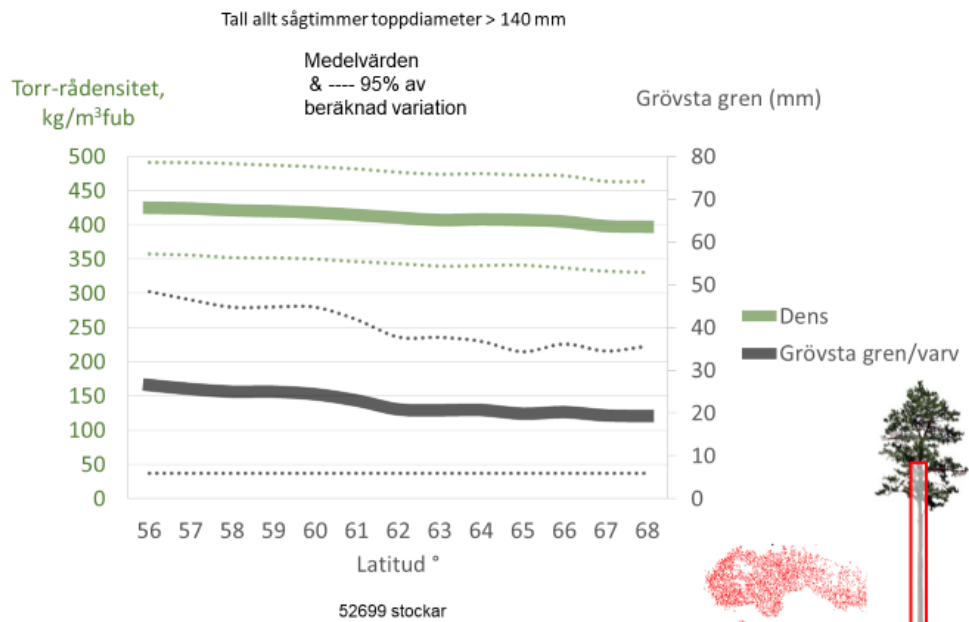
Figurerna V109-111 visar något fallande genomsnittliga värden för torr-rådensitet (vedens torra vikt delad med dess råa volym) från söder mot norr och något högre värden för rotstockar än för övriga stockar. För grengrovlek sjunker värdena något från söder mot norr vilket innebär genomsnittligt klenare grenar i norr än i söder, men också här en stor variation inom breddgrad. Av figurerna framgår också att variationen i olika egenskaper är stor även inom avgränsade stocktyper och breddgrad. Motsvarande resultat för torr-rådensitet, grengrovlek och kärnved för gran är generellt likt de redovisade resultaten för tall.



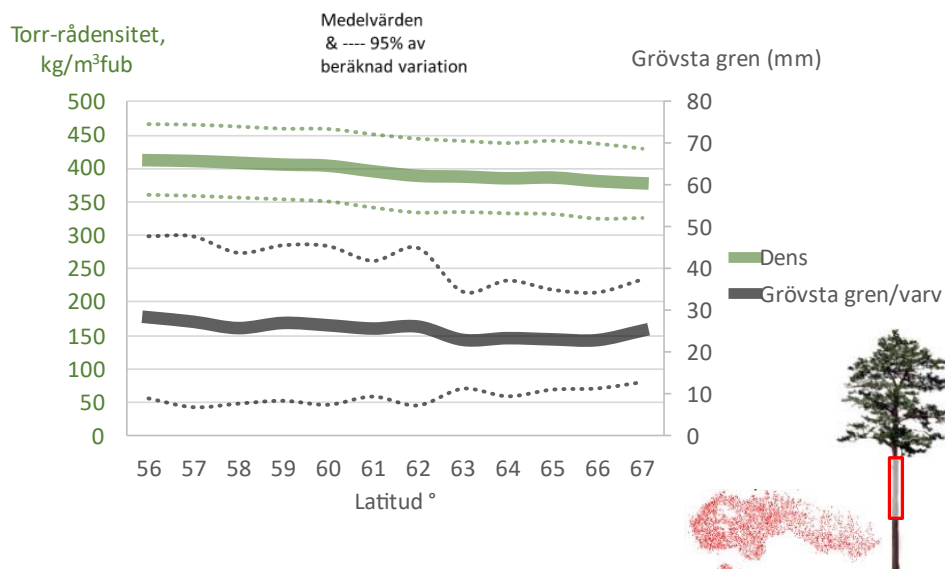
Figur V108 Alla Riksskogstaxeringen provträd av tall och gran som inventerades under perioden 2005–2009 simulatorskördades varefter de apterade stockarnas egenskaper beräknades med modeller enligt tabell V13 (se resultaten i efterföljande figurer).

³⁷¹ Wilhelmsson, L. & Arlinger, J. 2017. New values to the bio-based industry by precision wood characterization and delivery. I: Proceedings of the 4th Precision Forestry Symposium (Ackerman, P.A., Norihiro, J., Ham, H. & Brewer, J.C. redaktörer), 28 februari till 2 mars, Stellenbosch University, Sydafrika. s. 54–57.

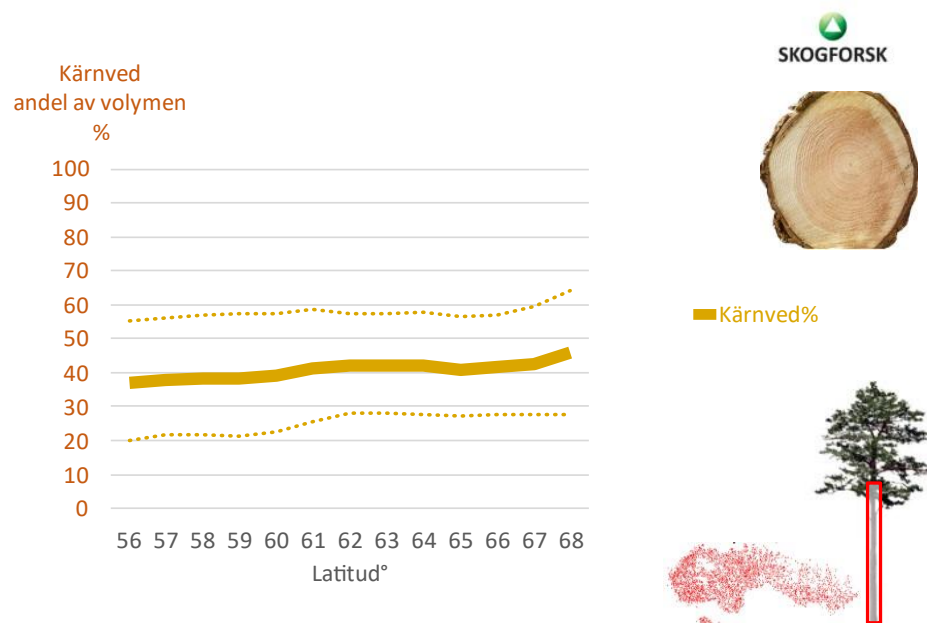
³⁷² Wilhelmsson, L., Arlinger, J., Hannrup, B., Nordström, M., Øvrup, A. & Gjerdrum, P. 2011. D3.5 Methods and models for relating wood properties and storage conditions to process efficiency and product quality. Skogforsk. Arbetsrapport 750. 67 s.



Figur VI09 Torr-rådensitet och genomsnittligt grövsta gren per grenvarv för talltimmer > 140 mm i topp (ub), samt beräknad max- och minvariation (prickade linjer) för 95 % fördelningarna över breddgrad 56 till 68°, Från simulerad avverkning av Riksskogstaxeringens landsomfattande provytor under åren 2005–2009. (Bild baserad på resultat från Wilhelmsson & Arlinger (2017)³⁷³.)



Figur VI10 Exempel på torr-rådensitet och genomsnittligt grövsta gren per grenvarv för talltimmer från andrastockar i diameterintervallet 220–239 mm i topp (ub), samt beräknad max- och minvariation (streckade linjer) för 95 % fördelningarna över breddgrad (latitud, °N) 56 till 68°, De lite ojämna gränsvärdena för grengrovlek kan bero på det begränsade antalet provträd för avgränsning till enskild diameterklass. Från simulerad avverkning av Riksskogstaxeringens landsomfattande provytor under åren 2005–2009. (Bild baserad på resultat från Wilhelmsson & Arlinger (2017)³⁷⁴.)



Figur V111 Beräknad kärnvedsandel för sågtimmer av tall. Eftersom kärnvedsbildning hos både tall och gran är starkt korrelerad med antal årsringar är trenden stigande kärnvedsandel från söder mot norr eftersom skogen blir skördemogen lite senare i norr än i söder. Observera även den stora spridningen runt medelvärdena som i hög grad beror på skillnader i ålder och tillväxtmönster inom samma breddgrad (latitud, °N).

Skördarmätning och kvalitetsindex

Betalningsgrundande skördarmätning är en mätmetod som kan kombinera kvalitetssäkrade och certifierade skördares volym- och dimensionsmätning med produktionsstyrning^{375,376} och predikterade virkesegenskaper (kvalitetsindex³⁷⁷) som kan utnyttjas för prisdifferentiering (figur V112). Dessutom kan den totala respektive uttagna kvantiteten av skördade grenar, barr, toppar och stubbar beräknas med metoden.

Överenskomna krav för kvalitetssäkring och certifiering av skördare och skördarlag beskrivs av Biometria.³⁷⁸ I mars 2022 var 820 svenska skördare registrerade som godkända för betalningsgrundande skördarmätning.³⁷⁹

³⁷³ Wilhelmsson, L. & Arlinger, J. 2017. New values to the bio-based industry by precision wood characterization and delivery. I: Proceedings of the 4th Precision Forestry Symposium (Ackerman, P.A., Norihiro, J., Ham, H. & Brewer, J.C. redaktörer), 28 februari till 2 mars, Stellenbosch University, Sydafrika. s. 54–57.

³⁷⁴ Wilhelmsson, L. & Arlinger, J. 2017. New values to the bio-based industry by precision wood characterization and delivery. I: Proceedings of the 4th Precision Forestry Symposium (Ackerman, P.A., Norihiro, J., Ham, H. & Brewer, J.C. redaktörer), 28 februari till 2 mars, Stellenbosch University, Sydafrika. s. 54–57.

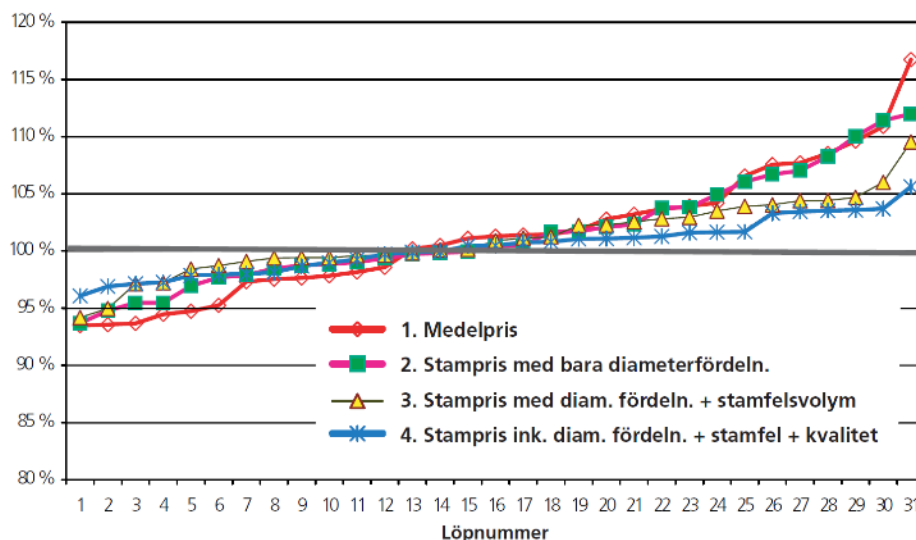
³⁷⁵ Möller, J.J., Arlinger, J., Wilhelmsson, L., Sondell, J. & Moberg, L. 2007. Modell för automatisk kvalitetsbestämning vid virkesmätning med skördare. Skogforsk. Arbetsrapport 642. 24 s.

³⁷⁶ Wilhelmsson, L., Möller, J.J. & Arlinger, J. 2019. Betalningsgrundande eller betalningsstödande virkesmätning med skördare. Skogforsk. Arbetsrapport 1032. 92 s.

³⁷⁷ Kvalitetsindex beskrivs närmare i: Möller, J.J., Arlinger, J., Wilhelmsson, L., Sondell, J. & Moberg, L. 2007. Modell för automatisk kvalitetsbestämning vid virkesmätning med skördare. Skogforsk. Arbetsrapport 642. 24 s.

³⁷⁸ Biometria. 2021c. Kvalitetssäkrad mätning med skördare. Biometria, Uppsala. 21 s.

³⁷⁹ Personligt meddelande. Harald Säll. Linneuniversitetet, Växjö.



Figur VI12 Stampris (även Trädpris) är en metod som gör det möjligt att använda certifierade skördare och kvalitetsindex som bygger på egenskapsmodeller. Diagrammet visar resultatet av ekonomisk värdering av 31 tallobjekt i Götaland och Svealand med fyra olika beräkningssätt. Punkterna visar det beräknade det relativa värdet jämfört med inmätning enligt Biometria (tidigare VMR, Virkesmätningsrådet) och värdering enligt konventionell prislista (här satt till värdet 100, den horisontella grå linjen). Stamprismodellen enligt alternativ 4, diameterfördelning + stamfelsesved + kvalitetsindex gav minst avvikelse i förhållande till konventionell inmätning. Observera dock att stamprismodellen genom kvalitetsindexet ger goda möjligheter för industrikunderna att värdera önskvärda och mindre önskvärda egenskaper efter aktuella behov, specifika processer och specifika produktkrav.³⁸⁰

Några erfarenheter om möjligheterna att beskriva egenskaper i den skördemogna skogen

Forskning, utveckling och praktisk tillämpning visar att det finns goda möjligheter att använda skördarinformation, laserskanning, markbaserade mätmetoder, egenskapsmodeller och olika former av imputering både för planering i skogen och för lärande system hela vägen till industrimätning och industriproduktion.

Råvaran från mogna eller gallringsbara träd innehåller en stor variation som ibland är svår att förutsäga. I en översikt finns beskrivet olika virkesfel och vedtyper samt när, hur och var dessa uppkommer.³⁸¹ Vid klassning och visuell besiktning av rundvirke, liksom solida sågade trävaror är fokus på skador och fel.^{382,383,384} Samtidigt kan egenskaperna i ett sågutbyte med en

³⁸⁰ Möller, J.J., Arlinger, J., Moberg, L. & Wilhelmsson, L. 2005. Automatisk kvalitetsklassning och stampris – framtidens affärsform? Skogforsk. Resultat 22–2005. 4 s.

³⁸¹ Nylinder, M. & Fryk, H. 2017. Timmer. Fjärde upplagan. SLU, inst. för skogens produkter. ISBN: 978-91-576-9030-2. 221 s.

³⁸² Biometria. 2021a. Kvalitetsbestämning av sågtimmer av tall och gran Nationella bestämmelser för virkesmätning. Uppsala 2021-04-01. 36 s.

³⁸³ Biometria. 2021b. Kvalitetsbestämning av massaved. Nationella bestämmelser för virkesmätning. Uppsala 2021-04-01. 22 s.

³⁸⁴ Brundin, J., Eriksson, G., Fröbel, J., Ivarsson, T., Joki, J., Knuuttila, M. & Lehmonen, M. 2020. Handelssortering av trävaror. Utgåva 1.

skada som leder till nedklassning ofta ha goda virkesegenskaper i alla andra delar av den nedklassade trävaran. Om delarna i ett sågutbyte som har fel eller lett till nedklassning kan avlägsnas och/eller hanteras så att felen inte påverkar den slutliga träprodukten, kan förädlingsvärdet för sådant virke höjas.

Vid denna typ av hantering av fel behöver dock kostnaderna för den teknik som används och det lägre råvaruutbyte beaktas. Limträbalkar, korslimmat trä (KL-trä) och kvistfri ämnestillverkning är exempel på trätekniska lösningar där fel och kvist kan neutraliseras, men där andra egenskaper som till exempel veddensiteten fortsatt kan ha stor betydelse.

Liksom bättre kännedom om egenskaper som påverkar produktion och kvalitet för träprodukter, kan bättre kunskap om olika fibertyper i olika skogsråvara utnyttjas för effektivare produktion av både befintliga och nya fiberbaserade produkter. Det motiverar att skogsbruket utvecklar och tar tillvara möjligheterna att mäta, beräkna, beskriva och kommunicera den producerade råvarans egenskaper till industrikunderna. Det skulle öka värdeutnyttjandet och skogsbrukets roll som leverantör av efterfrågad råvara.

Vid skörd kan skördarförarens registreringar för nedklassning av virke på grund av skador användas för att uppskatta skadornas utbredning i ett bestånd och därmed konsekvenser för sortimentsutfallet vid fortsatt avverkning. Informationen kan dessutom användas för effektivare utformning av den framtåtriktade skogsskötseln. Rotröta hos gran är exempel på en vanlig skadeorsak som kan påverka både omloppstid och kommande trädslagsval. Här kan jämförelser mellan beräknade genomsnittliga skadenivåer för olika trädåldrar, trädstorlekar och beståndstyper jämföras med det aktuella utfallet vid gallring eller slutavverkning.³⁸⁵

Forestand – en standard för geografisk information och data om skog och brukande av skog

Skogforsk har tillsammans med svenskt skogsbruk och SIS (Svenska institutet för standarder) etablerat en nationell standard, populärt benämnd Forestand³⁸⁶ för data om skog och brukande av skog. Syftet är att standardisera begrepp och informationstyper om den stående skogen och underlätta kommunikation och utveckling av information och kommunikationssystem i skogsbruket. Standarden syftar till att ge skogsbruket en gemensam grund för uppbyggnad av databaser och lagring av mer högupplöst och geografiskt positionerade data och information av olika typ.

³⁸⁵ Thor, M., Ståhl, G. & Stenlid, J. 2005. Modelling root rot incidence in Sweden using tree, site and stand variables. Scand. J. For. Res. 20: 165–176.

<https://doi.org/10.1080/02827580510008347>

³⁸⁶ Arlinger, J., Möller, J.J., Eriksson, I. & Bhuiyan, N. 2017. Forestand – Skördardata. Standardisering av: Skördardatabaserade beskrivningar av uttag och kvarvarande skog efter gallring. Skogforsk. Arbetsrapport 929. 19 s.

Forestand har utformats för att kunna fungera tillsammans med standarder för kommunikation med skogsmaskiner (StanForD³⁸⁷) och standarder för virkesförsörjning och logistik, samt produktion av trävaror och massa/papper.³⁸⁸ Dessutom underlättar standarden integration med andra databaser och strukturerade dataflöden mellan skog och industri.

De ökade möjligheter som numera finns att mäta och beräkna virkets olika egenskaper före skörd, gör att skogsbruket kan erbjuda, diskutera och planera för att i ökad omfattning kunna möta industrikundernas krav. Med kunskap om trädens egenskaper och anpassad aptering och sortering av virke finns därför goda förutsättningar att styra skörden till optimalt värdeutbyte. ”Rätt från början” innebär att skogsbrukaren kan bidra till att optimera de samlade intäkterna och kostnaderna (i både pengar och miljöenheter) för de tillverkningskedjor som startar med råvarusortimenten från skogen. Aktörer från hela skogsbranschens visar nu (2022) ett ökat intresse för att utveckla integrationen mellan skog och industri, bland annat med stöd av de tekniska framsteg som beskrivits ovan. Det är en utveckling som kan ge alla samverkande aktörer i värdekedjorna både ekonomisk nytta och miljövinster.

Data från inventering i fält inför en kommande avverkning som beskriver trädslagens diameterfördelning och höjdfördelning, ålder, virkesskador och skogens geografiska läge, ger ytterligare information som kan öka tillförlitligheten i prognoser. Exempel på variationsorsaker som påverkar trädens egenskaper är:

- Genetik. Variation mellan trädslag och variation mellan individer inom trädslag.
- Lokalklimat, ståndortsförhållanden, topografi.
- Väder. Variation mellan och inom år i nederbörd (främst torka), soltimmar och temperatur under vegetationsperioden (främst froster). Vind (hela året), snöförhållanden och tjäle vintertid.
- Skogsskötsel, inklusive gödsling.
- Skador av vilt, insekter och svamp.

Det går att ta fram ytterligare kunskap som ökar möjligheterna att göra än mer tillförlitliga egenskapsprognoser före och under skörd. Detta genom att detaljerad information om skogsbestånd kombineras med analys av produktionsfiler från skördarna (inklusive nedklassningsorsaker vid virkestillredning) och återkoppling från industriell mätteknik genom digital spårbarhet.

³⁸⁷ Arlinger, J., Nordström, M. & Möller, J.J. 2012. StanForD 2010. Modern kommunikation med skogsmaskiner. - StanForD 2010. Skogforsk. Arbetsrapport 784.15 s.

³⁸⁸ papiNet. 2022. papiNet User Groups. <http://www.papinet.org/#/user-groups/ajax.html>. (Hämtad 2022-04-25.)

Dokumentation av beståndshistorik – digitaliseringen av informationssystem

I avsnittet *Hur skogsskötseln kan påverka virkets egenskaper* beskrivs betydelsen av etableringsfasen och den tidiga utvecklingen i ett skogsbestånd för i synnerhet den märknära veden, kvistegenskaper och andelen huvudstammar utan kvalitetsnedsättande skador och fel. En del av beståndshistoriken för ett skördemoget skogsbestånd kan fås genom mätning på befintliga träd och observationer i beståndet. Finns lagrad information från automatiserad gallringsuppföljning kan den bidra med värdefull kunskap om beståndshistoriken.

På sikt kan även digitalt spårbara resultat från industrins tillverkningsprocesser och produktionsresultat kombineras med den skogliga informationen. Möjligheterna att beskriva virkets inre egenskaper kan dock öka ytterligare om även den tidiga beståndshistoriken finns dokumenterad.

Det är många faktorer som avgör virkesvolym, torrsvikt och egenskaper hos ved, fibrer och kvist hos virket i trädstammarna vid tillfället för skörd av ett bestånd. Utöver stammvirke tillkommer även olika utbyte från grenar, bark, stubbar och rötter. Variation i grundläggande naturgivna ståndortsfaktorer som klimat, jordart, topografi, blockighet och andra terrängförhållanden kan inte ändras med skogsskötsel.

Däremot kan en anpassad skogsskötsel sikta mot att optimera de ekonomi och miljörelaterade värden som följer de gällande förutsättningarna. Det innefattar även effekter av extrema väderhändelser som stormar, snötryck, torka och översvämningar. Angrepp från insekter, svampar och vilt kan också bli betydande. Som beskrivits i föregående avsnitt påverkas riskerna för olika typer av skador, av odlingsmaterial, föryngringsmetod och den därefter följande skogsskötseln.

En objektiv dokumentation av utförda åtgärder och uppnådda resultat ökar möjligheterna att bedöma eller beräkna stammvirkets inre egenskaper när träden nått mogen ålder. Följande faktorer bör om möjligt ingå i en sådan dokumentation:

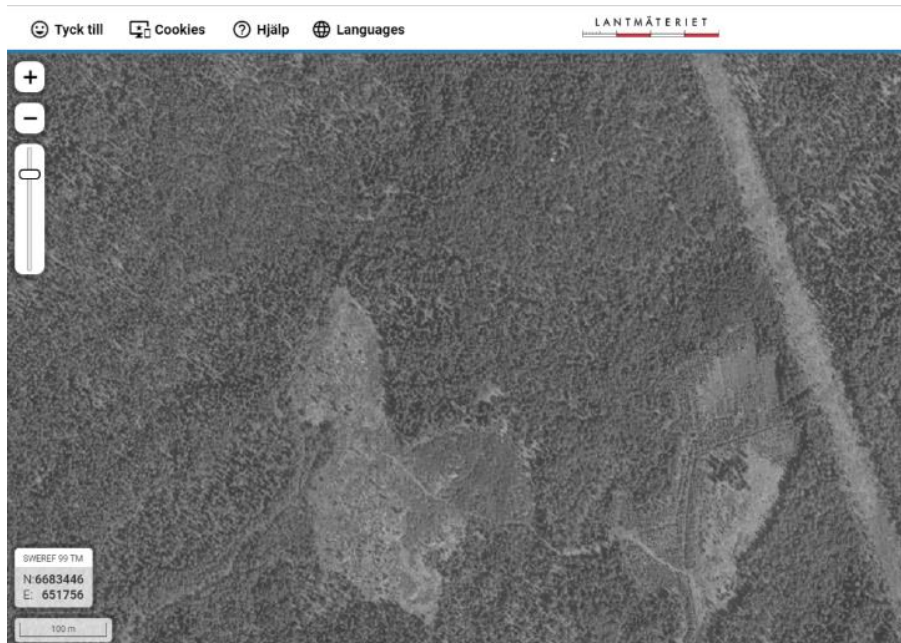
- Beståndsålder.
- Föryngringsmetod och odlingsmaterialets sort och genetik (vid skogsodling).
- Trädslagsfördelning, stamantal, diameter och höjdfördelning efter röjning.
- Eventuella skador: skadeorsaker av större betydelse, om möjligt tidpunkter, ungefärliga trädstorlekar och skadehöjder då skador inträffat, samt eventuella bekämpnings- eller saneringsåtgärder.
- Utförlig dokumentation av eventuell stamkvistning.

Digitaliseringen av de skogliga informationssystemen och vidareutveckling av temakartor med detaljerade kombinerbara informationsskikt ökar möjligheterna att lagra och bearbeta data om skogen. Utöver de exempel på temakartor som beskrivits kan historiska flygbilder bli en växande källa till information i takt med utvecklingen av upplösningen och informationsvärdet i bilderna (figur V113 och V114).

De tekniska förutsättningarna för planering och genomförande av skogsbruk med mycket hög precision är under stark utveckling. Kostnaderna för tillämpning av den tillgängliga tekniken måste dock stå i proportion till de nyttor som kan erhållas (intäkter, miljöpåverkan och andra värden från skogen).



Figur VI13 Historiska flygbilder kan bidra till att analysera skogens utveckling, möjlig variation i trädåldrar, med mera. Labbo, Norduppland, cirka 1960.



Figur VI14 Flygbild från Labbo, Norduppland, cirka 1975.

Skördarinformation för högre precision i skogsvårdsarbetet

Produktionsfiler från skördare innehåller som beskrivits ovan detaljerad information om de skördade träden. Dessutom fås uppgifter om de avgränsade beräkningsytornas stamantal, volym, trädslagsfördelning, ålder, förekomst av skador (t.ex. rotröta), lämnad hänsyn och naturvärden. Allt detta är värdefull information vid planering av föryngringsåtgärder, föryngringsintensitet, val av skogsodlingsmaterial och planering av miljöhänsyn. Systemet med beräkningsytor baserade på skördarproduktionsfiler (se till exempel figur V86) är exempel på hur information av detta slag kan tas fram och presenteras.

Plantval optimal³⁸⁹ är exempel på ett verktyg som kan utvecklas ytterligare genom precisionskartläggning av markens produktionsförutsättningar.³⁹⁰

Detaljkunskap om skogsmarken möjliggör precisionsskogsbruk. I precisionsskogsbruk är ambitionen att utnyttja så högupplöst information som är tekniskt/ekonomiskt möjligt till planering, styrning och uppföljning av olika skogsbruksåtgärder. Det kan användas till träffsäkrare prognoser för virkesegenskaper och möjliga skogsbränsleuttag vid framtida skörd och bättre tillväxtprognoser med mer detaljerade ståndortsförhållanden. De rumsligt fördelade prognoserna och ståndortsinformationen är också viktiga underlag för planering av åtgärder som effektiv och skonsam skörd, terrängtransport, föryngring och beståndsvård, men även detaljerad och mer utvecklad hänsyn.

Rumsligt fördelad kartläggning av skördad volym och övre höjd från skördarnas produktionsfiler enligt StanForD 2010 är exempel på värdefull skördarinformation (se figurerna V86 och V90). Skördarens produktionsfiler kan också leverera information om trädslagsblandning (figur V115) och nedklassning av rotstockar med timmerdimension till massaved och brännved (figur V116), vilket i exemplet och normalt för gran domineras helt av rotröta. Information om rotröta i vissa beräkningsytor är viktig för till exempel tidigarelagd slutavverkning eller trädslagsval vid föryngring efter slutavverkning. Om skördarinformation kombineras med befintliga kartor om jorddjup (figur V117) och SLU:s markfuktighetskartor (figur V118) förbättras underlaget ytterligare.

Efter återbeskogning av ett hygge kan den nya skogsgenerationens utveckling följas upp och jämföras med den skördarinformation som erhöles vid slutavverkningen och annan digital information. På det sättet kan precisionsskogsbruk bidra till ett kontinuerligt lärande och utveckling av än mer hållbart skogsbruk. (figur V119).

³⁸⁹ Davidsson, A., Berlin, M. & Jönsson, P. 2018. PlantvalOptmal – Effektivare och bättre användning av plantmaterial för större skogsinnehav. Skogforsk. Arbetsrapport 996. 34 s. <https://www.skogforsk.se/produkter-och-evenemang/verktyg/plantval-optimal---gran/> (Hämtad 2022-04-2.)

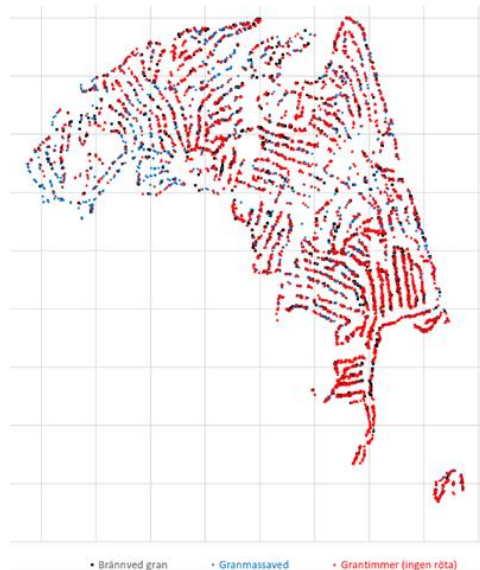
³⁹⁰ Se även: Möller, J.J., Bhuiyan, N., Arlinger, J. & Willén, E. 2019. Harvester information for micro compartments. Deliverable 3.7. EU BBI-JU-project EFFORTE, Efficient forestry by precision planning and management for sustainable environment and cost-competitive bio-based industry. 19 s, och: Willén, E., Berlin, M., Sorensen, R., Möller, J.J., Bhuiyan, N. & Wilhelmsson, L. 2019. Pilot software for improved silviculture operations. Deliverable 3.8. EU BBI-JU-project EFFORTE – Efficient forestry by precision planning and management for sustainable environment and cost-competitive bio-based industry. 19 s.

Sammantaget ger en kombination av skördarinformation och digitala kartor som beskriver ståndortsförhållanden ett underlag som med hög precision visar förutsättningarna för differentiering av skötselåtgärder för hög tillväxt och med möjlighet till effektiv natur- och kulturmiljöhänsyn.

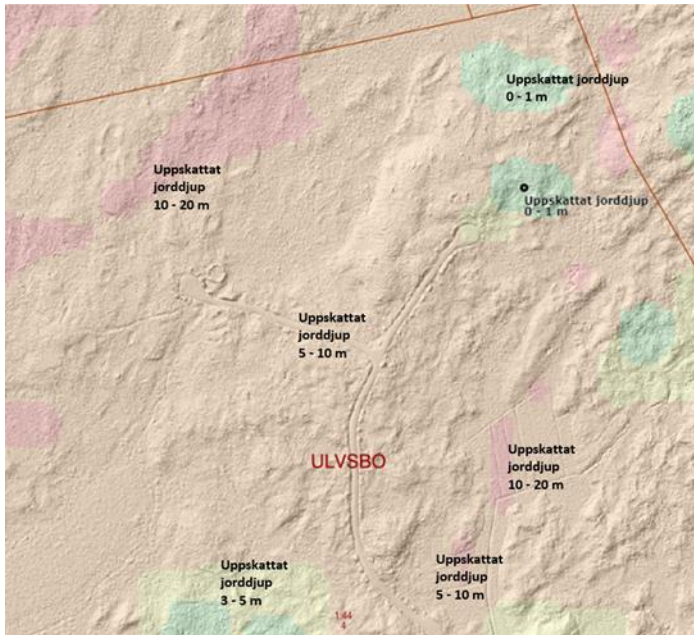
Hela området med användning av skördarinformation och olika mättekniker från luft och mark för precisionsskogsskötsel är liksom virkesinformationen under stark utveckling. Digitaliseringen, standardiserade begrepp, säkerställd informationskvalitet, databashantering och tillgänglighet är viktiga förutsättningar för denna utveckling. Där ingår artificiell intelligens och automation, något som sannolikt kommer öka möjligheterna att driva hållbar utveckling genom att kombinera teknik och skogsskötsel som kan inriktas mot flera mål.



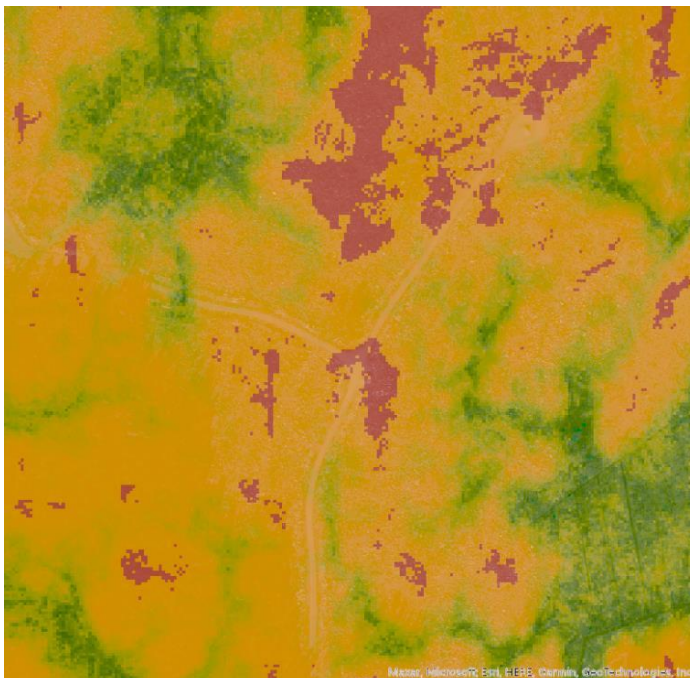
Figur VII15 Karta visande skördarens uppställning och sortimentstillredning från rotstockar fördelade på trädslag och sortimentsgrupper. Andelen rotstockar av gran som nedgraderats till brännved på grund av rotröta och vid lindriga rötangrepp till granmassaved syns tydligare i figur Sort-Röt (avverkningstrakt i Labbo, Norduppland, skörd 2016). Bild Lars Wilhelmsson.



Figur VII16 Karta visande skördarens uppställning och sortimentstilldelning filterad till enbart gran. Andelen rotstockar som nedgraderats till brännved på grund av rotröta var 18 % och till granmassaved 9 % i den nedre högra yngre planteringen (56 år i brösthöjd) med 100 % gran. I övriga delar med medelålder 86 år (brh) var granandelen 40 % varav 20 % av rotstockarna blev brännved och 15 % blev granmassaved. (avverkningstrakt i Labbo, Norduppland, skörd 2016). Bild Lars Wilhelmsson.



Figur VII7 Geokartan (SGU) kombinerar markmodellen ([Min Karta \(lantmateriet.se\)](http://MinKarta.lantmateriet.se)) från nationella laserskanningen och uppskattade jorddjup (rött djupast, grönt grundast [Geokartan \(sgu.se\)](http://Geokartan.sgu.se)). Lägg märke till vägarna i bildens mitt och dikessystemet i högra nederkanten. De syns även på flygbilden (figur Hist 1 och Hist 2), men med laserskanningen mäts höjden i markplanet med en noggrannhet runt 10 cm.



Figur VII8 Markfuktighetskarta (SLU). Röda områden visar torr mark, gula områden frisk mark, gröna områden frisk-fuktig mark. Källa: SLU:s Markfuktighetskarta, institutionen för skogens ekologi och skötsel.



Figur VII9 Foto från avverkningstrakten i Labbo, Norduppland, efter skörd och nyplantering. Tillväxt, artsammansättning och effekterna av lämnad hänsyn kan så småningom jämföras med kartunderlagen och informationen från skörden 2016. Foto Lars Wilhelmsson.

Litteratur

- Agestam, E. 2015. Gallring. Skogsskötselserien, kapitel 7. 2:a uppl.
www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien. (Hämtad 2022-03-28.)
- Agestam, E., Ekö, P.M. & Johansson, U. 1998. Timber quality and volume growth in natural regenerated and planted Scots pine stands in S.W. Sweden. *Studia Forestalia Suecia* nr 204.
- Agestam, E., Ekö, P.M., Johansson, U. & Klang, F. 1998. Tall på bördig mark. Virkeskvalitet och volymproduktion. SLU, Fakta Skog 1998–1.
- Ahnlund Ulvcróna, K., Claesson, S., Sahlén, K. & Lundmark, T. 2007. The effects of timing of pre-commercial thinning and stand density on stem form and branch characteristics of *Pinus sylvestris*. *Forestry* 80(3): 323–335.
- Albee, R.R. 2019. Global Overview of the Cross-Laminated Timber Industry. Oregon State University. Master Degree thesis.
- Almgren, G. 1990. Lövskog: björk, asp, al i skogsbruk och naturvård. Skogsstyrelsen. 261 s.
- Almgren, G., Jarnemo, L., Rydberg, D. & Mossberg, B. 2003. Våra ädla lövträd. Skogsstyrelsen. 319 s.
- Andersen, C.E., Rasmussen, F.N., Habert, G. & Birgisdóttir, H. 2021. Embodied GHG Emissions of Wooden Buildings – Challenges of Biogenic Carbon Accounting in Current LCA Methods. *Frontiers in Built Environment* 7: 1–15.
<https://doi.org/10.3389/fbuil.2021.729096>
- Andersson, G., Davidsson, A., Jonsson, R., Möller J.J. & Thor, M. 2022. Inga skogliga åt-gärder under häckningsperioden? Skogforsk. Arbetsrapport 1109. 29 s.
- Andersson, G. & Frisk, M. 2013. Skogsbrukets transporter 2010. Skogforsk. Arbetsrapport 791. 39 s.
- Andersson, G. & Wilhelmsson, L. 2014. Skogens erbjudande till industrikunder. I: Rådström, L. & Thor, M. (red). Skogsnäringens värdekedjor. Definition, dagsläge och angelägna utvecklingsområden. KSLAT nr 1–2014, s. 16–24.
- Andersson, J.-E., Lycken, A., Nordman, R., Olsson, M., Räftegård, O. & Wamming, T. 2011. State of the art – Energianvändning i den svenska sågverksindustrin. SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. Bygg och Mekanik Energiteknik. SP Rapport 2011:42. 87 s.
- Andersson, R. & Andersson, M. 2005. Björk, asp och al: föryngring, skötsel och naturvård. Skogsstyrelsen. 76 s.
- Andersson S.-O. 1985. Rönjning och virkeskvalitet. I: Kvalitet behöver vi det? Skogsfakta konferens nr 7: 88–95. SLU.
- Anon. 2018. Skogsnäringens forskningsagenda 4.0. För tillväxt i världens bioekonomi. Skogsindustrierna. Stockholm. 60 s.
<https://www.skogsindustrierna.se/siteassets/dokument/forskningsagendan/skogsnaringens-forskningsagendan4.0.pdf>. (Hämtad 2022-03-28.)
- Antov, P., Savov, V. & Neykov, N. 2020. Sustainable bio-based adhesives for eco-friendly wood composites. A review. *Wood Research* 65(1): 12.
- Arlinger, J., Möller, J.J., Eriksson, I. & Bhuiyan, N. 2017. Forestand – Skördardata. Standardisering av: Skördardatabaserade beskrivningar av uttag och kvarvarande skog efter gallring. Skogforsk. Arbetsrapport 929. 19 s.
- Arlinger, J., Nordström, M. & Möller, J.J. 2012. StanForD 2010. Modern kommunikation med skogsmaskiner. - StanForD 2010. Skogforsk. Arbetsrapport 784. 15 s.
- Arlinger, J. & Wilhelmsson, L. hprProp a calculation module for characterising wood and fiber properties by StanForD, CTL-harvester production files (.hpr), prediction models and tree ages. Skogforsk. Manuskript.
- Arpi, G. 1959. Sveriges skogar under 100 år: en sammanfattande redogörelse över det svenska skogsbruket 1859–1959. Del 1. Domänverket, Stockholm. 237 s.
- Atmer, B. & Thörnqvist, T. 1982. Fiberegenskaper i gran (*Picea abies* Karst.) och tall (*Pinus sylvestris* L.). SLU, inst. för virkeslära. Rapport 134. 16 s.
- Backlund, B. & Nordström, M. 2014. Nya produkter från skogsråvara – en översikt av läget 2014. Skogforsk. Arbetsrapport 854. Innventia. Rapport 577. 62 s.
- Barbu, M.C. & Paulitsch, M. 2015. Development of Wood-Based Products Worldwide. *Pro Ligno* 11(4): 104–109.

- Barth, A., Möller, J.J., Wilhelmsson, L., Arlinger, J., Hedberg, R. & Söderman, U. 2015. A Swedish case study on the prediction of detailed product recovery from individual stem profiles based on airborne laser scanning. *Annals of Forest Science* 72(1): 47–56. <https://doi.org/10.1007/s13595-014-0400-6>.
- Bendtsen, A.B. 1978. Properties of wood from improved and intensively managed trees. *Forest Product Journal* 28: 61–72.
- Benjaminsson, G. Benjaminsson, J. & Bengtsson, N. 2013. Decentraliserad produktion av pyrolysolja för transport till storskaliga kraftvärmeverk och förgasningsanläggningar. Rapport från Energimyndighetens bränsleprogram.
- Bergh, J., Egnell, G. & Lundmark, T. 2015. Skogens kolbalans och klimatet. Skogsskötselserien, kapitel 21. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien. (Hämtad 2022-03-04.)
- Berglund, M. & Rönnberg, J. 2017. Rotröta. I: Skador på skog, del 1, Skogsskötselserien, kapitel 12. 2:a uppl. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien. s. 16–18. (Hämtad 2022-03-28.)
- Bergsten, U. & Sahlén, K. 2013 Södd. Skogsskötselserien, kapitel 5. 2:a uppl. Alla tillgängliga på: www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien. (Hämtad 2022-03-28.)
- Bhuiyan, N., Möller, J.J., Hannrup, B. & Arlinger, J. 2016. Automatisk gallringsuppföljning - Arealberäkning samt registrering av kranvinkel för identifiering av stickvägsträd och beräkning av gallringskvot. Skogforsk. Arbetsrapport 899. 51 s.
- Bhuiyan, N., Möller, J.J., Arlinger, J. & Eriksson, I. hprYield – beräkningsmodul för generering av geografiskt uppdelade nyckeltal baserat på skördardata. Skogforsk. Manuskript.
- Biometria. 2021a. Kvalitetsbestämning av sågtimmer av tall och gran. Nationella bestämmelser för virkesmätning. Uppsala 2021-04-01. 36 s.
- Biometria. 2021b. Kvalitetsbestämning av massaved. Nationella bestämmelser för virkesmätning. Uppsala 2021-04-01. 22 s.
- Biometria. 2021c. Kvalitetssäkrad mätning med skördare. Biometria, Uppsala. 21 s.
- Björklund, J. & Östlund, L. (redaktörer). 1992. Norrländsk skogshistoria: människan, skogen och industrin. Redovisning av de skogshistoriska seminariedagarna vid Skogsvetenskapliga fakulteten i Umeå 8–9/4 1992. Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens bibliotek. Skogs- och lantbrukshistoriska meddelanden nr 2. 120 s.
- Björklund, L. & Hörnfeldt, R. 1996. Tall på bördig mark – nya rön från Granvik. SLU. Fakta Skog nr 12–1996.
- Blom, H. & Arnström, C. 2014. Årsringsutvecklingens betydelse för produktion av granvirke av kärnved. Linnéuniversitetet, inst. för Skog och träteknik. Examensarbete i skogs- och träteknik. 46 s.
- Borgegård, L.-E. 1973. Tjärhanteringen i Västerbottens län under 1800-talets senare hälft: en studie av produktion och transporter med särskild hänsyn till Ume- och Vindelälvens dalgångar. Umeå universitet. Avhandling. 279 s.
- Bowyer, J.L., Shmulsky, R. & Haygreen, J.G. 2007. *Forest Products and Wood Science: An Introduction*. 5:e upplagan. Blackwell Publishing.
- Brazier, J.D. 1967. Timber improvement. 1. A study of the variation in wood characteristics in young Sitka spruce. *Forestry* 40: 117–128.
- Briggert, A. 2020. Modelling and strength grading of structural timber and glulam lamellae on the basis of optical scanning and dynamic excitation. *Linnaeus University Dissertations* 380. 68 s.
- Broman, N.O. 2001. Aesthetic properties in knotty wood surfaces and their connection with people's preferences. *Journal of Wood Science* 47: 192–198.
- Broman, O. & Fredriksson, M. 2012. Wood material features and technical defects that affect yield in a finger joint production process. *Wood Material Science & Engineering* 7: 167–175.
- Bruechert, F., Wilhelmsson, L., Mochan, S. & Sauter, U. An integrated approach for stiffness prediction for structural products from standing tree to sawn timber. Results from Wood Wisdom Net Project Wood value. Manuskript.
- Brundin, J., Eriksson, G., Fröbel, J., Ivarsson, T., Joki, J., Knuuttila, M. & Lehmonen, M. 2020. Handelssortering av trävaror. Utgåva 1.

- Brändström, J. 2001. Micro- and ultrastructural aspects of Norway spruce tracheids: A Review. *IAWA Journal* 22(4): 333–353.
- Bärring, L., Berlin, M. & Andersson Gull, B. 2016. Tailored climate indices for climate-proofing operational forestry applications in Sweden and Finland. *International J. of Cli-matology*. <https://doi.org/10.1002/joc.4691>. 20 s.
- Carbonnier, C. 1979. Att sköta bok, II. Beståndsvård. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift 77: 38–64.
- Cown, D.J. & McConchie, D.L. 1981. Effects of thinning and fertiliser application on wood properties of *Pinus radiata*. *N.Z. J. For. Sci.* 11: 79–91.
- Dahlblom, O., Ormarsson, S. & Petersson, H. 1996. Simulation of wood deformation in drying and other types of environmental loading. *Annales des Sciences Forestières*, 53: 857–866.
- Dahlgren, T., Wistrand, S. & Wiström, M. 1996. Nordiska träd och trädslag. Arkus. 210 s.
- Dalpono, M., Frizzera, L., Ørka, H O., Gobakken, T., Næsset, E. & Gianelle, D. 2018. Predicting stem diameters and aboveground biomass of individual trees using remote sensing data. *Ecological indicators* 85: 367–376.
- Danielsson, S. 2020. Sammanställning av nuvarande och planerad kapacitet för bioraffinaderier i Norden. Mistar deliverables 0.6.1. Skogsindustrierna, Stockholm, 16 s.
- Davidsson, A. & Asmoarp, V. 2019. Skogsbrukets vägtransporter 2016. En nulägesbeskrivning av flöden av biomassa från skog till industri. Skogforsk. Arbetsrapport 1007. 24 s.
- Davidsson, A., Berlin, M. & Jönsson, P. 2018. PlantvalOptimal – Effektivare och bättre användning av plantmaterial för större skogsinnehav. Skogforsk. Arbetsrapport 996. 34 s. <https://www.skogforsk.se/produkter-och-evenemang/verktyg/plantval-optimal---gran/> (Hämtad 2022-04-2.)
- Dinwoodie, J.M. 2000. Timber, its nature and behaviour. 2:a upplagan. Spon Press, London.
- Dix, B. & Roffael, E. 1997. Influence of heartwood and the age of tree on the properties of particleboards from pine (*Pinus sylvestris*). Pt. 2: Physical-technical properties and formaldehyde release of particleboards made from sap- and heartwood of pine. *FAO Agris* 55(2): 103–109. (På tyska.)
- Drott, A., Andersson, S. & Eriksson, H. 2019. Regler och rekommendationer för skogsbränsleuttag och kompensationsåtgärder. Skogsstyrelsen. Rapport 14–2019. 27 s.
- Duchesne, I., Wilhelmsson, L. & Spångberg, K. 1997. Effects of in-forest sorting of Norway spruce (*Picea abies*) and Scots pine (*Pinus sylvestris*) on wood and fibre properties. *Can. J. For. Res.* 27(5): 790–795.
- Egnell, G. 2015. Skogsbränsle. Skogsskötselserien, kapitel 17. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien. (Hämtad 2022-03-04.)
- Ekenstedt, F., Grahn, T., Hedenberg, Ö., Lundqvist, S.O., Arlinger, J. & Wilhelmsson, L. 2003. Variations in fiber dimensions of Norway spruce and Scots pine – Graphs and prediction models. STFI Report PUB 13. STFI, Stockholm. 37 s.
- Ekö, P.M. 1985. A growth simulator for Swedish forests, based on data from the national forest survey. SLU, inst. för skogsskötsel. Rapport nr 15 (doktorsavhandling).
- Ekö, P.M. & Agestam, E. 1994. A comparison of Naturally generated and planted Scots Pine (*Pinus sylvestris*) on a fertile site in southern Sweden. *Forest & Landscape Research* 1: 111–126.
- Ekö, P.M. & Johansson, U. 2022. Produktion och skötsel av ek – resultat baserade på SLU:s fasta försöksytor. SLU Fakta Skog nr 1–2022. 6 s.
- Ekö, P.-M. & Pettersson, N. 1992. Ett röjningsförsök i bok – volym och kvalitet vid 35 års ålder. SLU, inst. för skogsproduktion. Rapport 32.
- Eliason, P. 2002. Skog makt och människor. En miljöhistoria om svensk skog 1800–1875. Kungliga Skogs och Lantbruks Akademien. 455 s.
- Elliot, G.K. 1958. Spiral grain in second-growth Douglas fir and Western Hemlock. *Forest Prod. J.* 8: 205–211.
- Energimyndigheten 2012. Slutrapport Programmet Etanol från cellulosa”, ET2012:52.

- Enquist, B. & Petersson, H. 2000. Materialegenskaper för några olika lövträd. Department of Structural Mechanics. Chalmers tekniska högskola. Report 00:3.
- Ericson, B., Johnson, T. & Persson, A. 1973. Ved och sulfatmassa från tall och gran i orörda bestånd. Skogshögskolan, inst. för skogsproduktion. Rapporter och uppsatser 25. 143 s.
- Ericson, B., Persson, A., Stockman, L., Hartler, N., Johnsson, T., Nylinder, P. & Carbonnier, C. 1970. Ved- och massaegenskaper hos björk. En orienterande undersökning. Skogshögskolan, inst. för skogsproduktion. Rapporter och Uppsatser 18. 55 s.
- Esping, B. 1985. Handbok i virkestorkning. Förkortad skolupplaga. Träteknikcentrum. Rapport serie P nr 35. 285 s.
- Falck, J. 2014. Stamkvistning. Skogsskötselserien, kapitel 8. 2:a uppl. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien. (Hämtad 2022-03-28.)
- FAO. 2021. FAOSTAT. Forestry Production and Trade. <https://www.fao.org/forestry/statistics/en/> (Hämtad 2022-03-04.)
- FAO. 2021. FAOSTAT. Forestry Production and Trade Database: <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>. Aktuell statistik för 2021 <https://www.fao.org/forestry/statistics/80938/en/> (Hämtad 2022-03-28.)
- FAO. 2021. Pulp and paper capacities, survey 2020–2025. Rom. 215 p. <https://doi.org/10.4060/cb7300t> (Hämtad 2022-03-28.)
- Foley, C. 2001. A three-dimensional paradigm of fiber orientation in timber. Wood Science and Technology 35: 435–465.
- Funda, T., Fundova, I., Fries, A. & Wu, H.X. 2020. Genetic improvement of the chemical composition of Scots pine (*Pinus sylvestris*) juvenile wood for bioenergy production. GCB Bioenergy 2020:12, 848–863. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12723>
- Föreningen svenska sågverksmän. 1958 års virkessorteringskommitté. 1960. Sortering av sågat exportvirke: anvisningar utarbetade av 1958 års virkessorteringskommitté. Esselte, Stockholm. 43 s.
- Förpacknings- och tidningsinsamlingen. 2020. Återvinningsgrad (materialåtervinning enligt EU:s nya definition, 94/62/EC, energiåtervinning exkluderad) <https://www.ftiab.se/3520.html> respektive Insamlingsgrad <https://www.ftiab.se/180.html> (Hämtade 2022-03-28.)
- Gammel, P. & Hannerz, M. 1994. Granföryngring under skärm, en litteraturstudie med kommentarer. Skogforsk. Redogörelse 1994:4. 51 s.
- Gjerdrum, P. 2003. Heartwood in relation to age and growth rate in *Pinus sylvestris* L. in Scandinavia. Forestry 76(4): 413–424.
- Granqvist-Pahlén, T., Nilsson, M., Egberth, M., Hagner, O. & Olsson, H. 2004. kNN-Sverige: Aktuella kartdata över skogsmarken. SLU. Fakta Skog nr 12. 4 s.
- Hallsby, G. 2017. Plantering av barrträd. Skogsskötselserien, kapitel 3. 2:a uppl. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien. (Hämtad 2022-03-28.)
- Hannerz, M., Nordin, A. & Saksa, T. (redaktörer). 2017. Hyggesfritt skogsbruk. Erfarenheter från Sverige och Finland. SLU, Future Forests Rapportserie 2017:1.
- Hannrup, B. 2004. Funktioner för skattning av barkens tjocklek hos tall och gran vid avverkning med skördare. Skogforsk. Arbetsrapport 575. 33 s.
- Hannrup, B., Arlinger, J. Ene, L. Norström, M. Strömgren, M. 2020. Utveckling av ny barkfunktion och utvärdering av mätprecision för björk i södra och mellersta Sverige. Skogforsk, Arbetsrapport 1035, 30 s.
- Hannrup, B., Cahalan, C., Chantre, G., Grabner, M., Karlsson, B., Le Bayon, I., Lloyd Jones, G., Muller, U., Pereira, H., Rodrigue, J.C., Rosner, S., Rozenberg, P., Wilhelmsson L. & Wimmer, R. 2004. Genetic Parameters of Growth and Wood Quality Traits in *Picea abies*. Scand. J. For. Res. 19: 14–29.
- Hannrup, B., Möller J.J., Arlinger, J. & Eriksson, I. 2021. Förbättrad styrning av gallringsarbetet för ökad tillväxt i yngre och medelålders skog. Skogforsk. Arbetsrapport 1085. 37 s.
- Hannrup, B., Möller, J.J., Larsson, W., Malm, J. & Wilhelmsson, L. 2009. Utvärdering av ett system för beräkning och geografisk visualisering av avverkade kvantiteter skogsbränsle. Skogforsk. Arbetsrapport 694. 39 s.
- Harris, J.M. 1989. Spiral grain and wave phenomena in wood formation. Springer-Verlag, Berlin. 214 s.

- Hildebrandt, J., Hagemann, N. & Thrän, D. 2017. The contribution of wood-based construction materials for leveraging a low carbon building sector in Europe. *Sustainable Cities and Society* 34: 405–418.
- Hu, M. 2018. Studies of the fibre direction and local bending stiffness of Norway spruce timber. *Linnaeus University Dissertations* 307. 51 s.
- Holappa Jonsson S. 2018. Evaluation of the increased pre-harvest forecasting precision of sawlog supply by use of historical harvester data and wood properties models. A case study on Scots pine in northern Sweden. SLU, inst. för skogens biomaterial och teknologi. Examensarbete, Rapport 2018–9. 65 s.
- Holmgren, J., Barth, A., Larsson, H. & Olsson, H. 2012. Prediction of stem attributes by combining airborne laser scanning and measurements from harvesters. *Silva Fennica* 46(2). <https://doi.org/10.14214/sf.56>
- Högborg, P., Arnesson Ceder, L., Astrup, R., Binkley, D., Bright, R., Dalsgaard, L., Egnell, G., Filipchuk, A., Genet, H., Ilintsev, A., Kurz, W.A., Laganière, J., Lemprière, T., Lundblad, M., Lundmark, T., Mäkipää, R., Malysheva, N., Mohr, C.W., Nordin, A., Petersson, H., Repo, A., Schepaschenko, D., Shvidenko, A., Soegaard, G. & Kraxner, F. 2021. Sustainable boreal forest management – challenges and opportunities for climate change mitigation Report from an Insight Process conducted by a team appointed by the International Boreal Forest Research Association (IBFRA). Skogsstyrelsen. Report 2021/11. <https://www.skogsstyrelsen.se/om-oss/rapporter-bocker-och-broschyurer/rapporter-fran-2021-och-tidigare/> (Hämtad 2022-03-04.)
- Iliyas, R.A. & Sapuan, S.M. 2020. Biopolymers and Biocomposites: Chemistry and Technology. *Current Analytical Chemistry* 16(5): 500–503.
- Jansson, G. & Berlin, M. 2014. Genetiska korrelationer mellan tillväxt och kvalitetsegenskaper. Skogforsk. Arbetsrapporter nr 852.
- Johansson, K. 1992. Effect of Initial Spacing on the Stem and Branch Properties and Graded Quality of *Picea abies*. *Scand. J. For. Res.* 7: 503–514.
- Johansson, K., Agestam, E., Johansson, U. & Nilsson, U. 2002. Skador i samband med gallring i granskogen litteraturstudie. https://www.researchgate.net/publication/242779080_Skador_i_samband_med_gallring_i_granskog-en_litteraturstudie (Hämtad 2022-03-28.)
- Johansson, K. & Persson, A. 1997. Wood properties of natural regenerated and planted Norway spruce on a productive site in southwest Sweden. *Forest and Landscape Res.* 1: 399–414.
- Johansson, K. 1997. Effect of Early Competition on Wood Properties of Norway spruce. SLU, Acta Universitatis Agriculturae Sueciae. *Silvestria* 19.
- Johansson, M., Perstorper, M., Kliger, I.R. & Johansson, G. 2001. Distortion of Norway spruce timber – part 2. Modelling of twist. *Holtz als Roh- und Werkstoff*, 59(3): 155–162.
- Jonasson, J. (redaktör), Arlinger, J., Spångberg, K., Wilhelmsson, L., Ekenstedt, F., Grahn, T., Hedenberg, Ö., Lundqvist, S.-O., Jansson, U., Jonasson, J. & Oskarsson, R. 2001. Skog-Massa-Papper Sydsvensk utvidgning. Nutek och Södras forskningsstiftelse, Södra Cell, Mörrum. 44 s. + 6 bilagor.
- Jonzén, J., Nilsson, M., Olsson, H., Larsson, S., Nilsson, L. & Persson, A. 2016. Skogliga grunddata – Digitala kartor för skogsbruket. SLU. Fakta Skog. Nr 8 2016. https://www.slu.se/globalassets/ew/ew-centrala/forskn/popvet-dok/faktaskog/faktaskog16/faktaskog_08_2016.pdf (Hämtad 2022-04-25.)
- Kardell, L. 2003. Svenskarna och skogen. Del 1. Från ved till linjeskepp. Skogsstyrelsen. 296 s.
- Kardell, L. 2004. Svenskarna och skogen. Del 2. Från baggböleri till naturvård. Skogsstyrelsen. 303 s.
- Karlsson, C., Sikström, U., Örlander, Ö., Hannerz, M., Hånell, B & Fries, C. 2017. Naturlig föryngring av tall och gran. Skogsskötselserien, kapitel 4. 2:a uppl. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien. (Hämtat 2022-03-28.)
- Kashian, D.M., Romme, W.H., Tinker, D.B., Turner, M.G. & Ryan, M.G. 2013. Postfire changes in forest carbon storage over a 300-year chronosequence of *Pinus contorta*-dominated forests. *Ecological Monographs* 83(1): 49–66.

- Keisu, T., Jägbrant, S., Fahlén, P., Nordqvist, M., Lundgren, J., Norström, M., Willén, E., Arlinger, J., Hyll, K., Möller, J.J., Ohlström, A., Wilhelmsson, L. & Eriksson, I. 2021. Skogligt datalabb – ökad innovation genom branschsamverkan. Biometria, Uppsala. 23 s. https://www.biometria.se/media/i5dnel4v/skogligt-datalabb_web.pdf (Hämtad 2022-04-06.)
- Kibblewhite, P. & Evans, R. 2001. Dimensional relationships among radiata pine wood tracheid and chemical and TMP pulp fibres. *Appita Journal* 54(3): 297–303.
- Kiljunen, N. 2002. Estimating dry mass of logging residues from final cuttings using a harvester data management system. *Int. J. of Forest Engineering* 13(1): 17–25.
- Klang, F. 2000. The influence of silvicultural practices on tree properties in Norway spruce. SLU. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria* 128.
- Klang, F. & Ekö, P.M. 1999. Tree properties and yield of *Picea abies* planted in shelterwoods. *Scand. J. For. Res.* 14: 262–269.
- Kliger, R. & Säll, H. 2000. Prediction of twist and industrial validation. Chalmers tekniska högskola, inst. för konstruktionsteknik, stål- och träbyggnad. S. 0534–0411, 2000:3.
- Kollmann, F.F.P. & Côté, W.A. 1968. Principles of wood science and technology, del 1. Springer-Verlag. 592 s.
- Kumar, H. & Christopher, L.P. 2017. Recent trends and developments in dissolving pulp production and application. Review paper. *Cellulose* 24: 2347–2365.
- Kyrkjeeide, P.-A. & Thörnqvist, T. 1993. Tryckved : en litteraturstudie med reflexioner. SLU, inst. för skog-industri-marknad studier. Rapport 35. 90 s.
- Lamlom, S.H. & Savage, R.A. 2003. A reassessment of carbon content in wood: variation within and between 41 North American species. *Biomass and Bioenergy* 25(4): 381–388.
- Larson, P.R. 1969. Wood Formation and the Concept of Wood Quality. Yale School of Forestry & Environmental Studies. Bulletin Series. 69. Volym 74, 54 s. https://elischolar.library.yale.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1085&context=yale_fes_bulletin (Hämtad 2022-03-28.)
- Larson, P.R. 1994. The Vascular Cambium Development and Structure. Springer Series in Wood Science. Berlin, Heidelberg. 725 s.
- Lehtikangas, P. 1999. Lagringshandbok för trädbränslen. 2:a upplagan. ISBN 91-576-5564-2. SLU, Uppsala. 116 s.
- Liese, W. 1963. Tertiary wall and warty layer in wood cells. *Journal of Polymer Science: Part C, nr 2*, s. 213–219.
- Lindström, H. 1997. Fiber length, tracheid diameter and latewood percentage in Norway spruce: development from pith outwards. *Wood and Fiber Science* 29: 21–34.
- Liziniwicz, M. 2014. Influence of spacing and thinning on wood properties in conifer plantations. SLU. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria* 2013:6.
- Lowery, D.P. & Erickson, E.C.O. 1967. The effect of spiral grain in pole twist and bending strength. *US For Serv Res Pap INT-35*. 16 s.
- Lundqvist, L., Lindroos, O., Hallsby, G. & Fries, C. 2014. Slutavverkning. Skogsskötselserien, kapitel 20. 2:a upplagan. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien. (Hämtad 2022-03-28.)
- Löf, M., Möller-Madsen, E. & Rytter, L. 2015. Skötsel av ädellövskog. Skogsskötselserien, kapitel 10. 2:a uppl. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien. (Hämtad 2022-03-28.)
- Manker, E. 1971. Fennoskandias fornsidor: preliminär rapport från en inventering. *Fornvännen* 66: 77–91. http://kulturarvsdata.se/raa/fornvannen/html/1971_077 (Hämtad 2022-03-22.)
- Marklund, L.G. 1988. Biomassafunktioner för tall, gran och björk i Sverige. SLU, inst. för skogstaxering. Rapport 45. 73 s.
- Mielcarek, M., Kaminska, A. & Sterenczak, K. 2020. Digital Aerial Photogrammetry (DAP) and Airborne Laser Scanning (ALS) as Sources of Information about Tree Height: Comparisons of the Accuracy of Remote Sensing Methods for Tree Height Estimation. *Remote sensing* 12:1808. 22 s. <https://doi.org/10.3390/rs12111808>
- Mirski, R., Dziurka, D. & Banaszak, A. 2018. Properties of particleboards produced from various lignocellulosic particles. *Bioresources* 13(4): 7758–7765.

- Moberg, L. 2001. Models of internal knot properties for Norway spruce. *Forest Ecology and Management* 147: 123–138.
- Moberg L. 2006. Predicting knot properties of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* from generic tree descriptors. *Scand. J. For. Res.* 21. Supplement 7: 48–61.
- Moberg, L. & Wilhelmsson, L. 2003. Nya beräkningsmodeller för vedegenskaper – ett verktyg för bättre utnyttjande av massaveden. *Skogforsk. Resultat* 3. 4 s.
- Mohlin, U.-B. Opublicerat. STFI-Packforsk AB, numera Innventia AB.
- Morén, A. & Perttu, K. 1994. Regional temperature and radiation indices and their adjustment to horizontal and inclined forest land. *Studia Forestalia Suecica* 194. 18 s.
- Morén, T. & Sehlstedt-Persson, M. 2007. Virkestorkningens grunder: en bok för personer verksamma inom träindustrin samt för områdets utbildningar. Valutec, Skellefteå. 97 s.
- Mäkinen, H. & Hynynen, J. 2014. Wood density and tracheid properties of Scots pine: response to repeated fertilization and timing of the first commercial thinning. *Forestry* 87: 437–447.
- Möller, J.J., Arlinger, J., Barth, A., Bhuiyan, N. & Hannrup, B. 2011. Ett system för beräkning och återföring av skördarbaserad information till skogliga register- och planeringssystem. *Skogforsk. Arbetsrapport* 756. 38 s.
- Möller, J.J., Arlinger, J., Bhuiyan, N., Eriksson, I. & Söderberg, J. 2017. Utbytesprognoser baserade på skogs- och skördardata. - Modell- och systembeskrivning för skapande av stambanker och imputerat utbyte. *Skogforsk. Arbetsrapport* 961. 34 s.
- Möller, J.J., Arlinger, J., Moberg, L. & Wilhelmsson, L. 2005. Automatisk kvalitetsklassning och stampris – framtidens affärsform? *Skogforsk. Resultat* 22–2005. 4 s.
- Möller, J.J., Arlinger, J., Wilhelmsson, L., Sondell, J. & Moberg, L. 2007. Modell för automatisk kvalitetsbestämning vid virkesmätning med skördare. *Skogforsk. Arbetsrapport* 642. 24 s.
- Möller, J.J., Bhuiyan, N., Arlinger, J. & Willén, E. 2019. Harvester information for micro compartments. Deliverable 3.7. EU BBI-JU-project EFFORTE, Efficient forestry by precision planning and management for sustainable environment and cost-competitive bio-based industry. 19 s.
- Möller, J.J., Bhuiyan, N. & Hannrup, B. 2015. Utveckling och test av beslutsstöd vid automatiserad gallringsuppföljning. *Skogforsk. Arbetsrapport* 862. 42 s.
- Mörling T. 1999. Effects of nitrogen fertilisation and thinning on growth and clear wood properties in Scots pine. SLU. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria* 84.
- Naturvårdsverket. 2021. Sveriges återvinning av förpackningar och tidningar. Uppföljning av producentansvar för förpackningar och tidningar 2020. 30 s. https://www.naturvardsverket.se/contentassets/568ba7678ce94e25b99cfc1b02ad7e2a/forpackningsrapport_2020_211027.pdf (Hämtad 2022-03-28.)
- Nicholls, J.W.P. 1971. The effect of environmental factors on wood characteristics. 2. The effect of thinning and fertilizer treatment on the wood of *Pinus pinaster*. *Silvae Genetica* 20: 67–73.
- Nilsson, R. 2004. *Pinus contorta* och *Pinus sylvestris* – en jämförelse av stamkvalitet och tillväxt hos förstagallringsbestånd i Norrbotten. SLU, inst. för skogsskötsel. Examensarbete 2004–10.
- Nordiska museet och Riksantikvarieämbetet. 1982. Var virket bättre förr? En orientering om traditionellt svenskt virkeskunnande. 75 s. Tillgänglig som pdf fil: <http://urn.kb.se/resolve?urn=urn%3Anbn%3Ase%3Araa%3Adiva-3786>. (Hämtad 2022-03-16.)
- Nordström, M., Arlinger, J., Grahn, T., Hägg, L., Jägbrant, S., Lycken, A., Möller, J.J., Ohlström, A., Runosson, D., Wallbäcks, L., Wilhelmsson, L. & Willén, E. 2020. Ökad integration skog-industri med digitala egenskapsdeklarationer av rundved och flis. Slutrapport för projektet ”Förbättrade processer och produkter genom digitalisering av skogliga värdekedjor” (Digichain). *Skogforsk. Arbetsrapport* 1057. 55 s.

- Nordström, P.O., Pastila, S., Pihlajamäki, P. & Ojanen, E. 2021. Marknaden för skogsråvara och skogsnäringsens utveckling. Analys 2021-01-25. Skogsstyrelsen. Rapport 2021-3. 24 s.
- Nuryawan, A., Massijaya, M.Y. & Hadi, Y.S. 2008. Physical and Mechanical Properties of Oriented Strands Board (OSB) Made of Small Diameter Akasia (*Acacia mangium* Willd.), Ekaliptus (*Eucalyptus* sp.) and Gmelina (*Gmelina arborea* Roxb.): Influence of Wood Species and Adhesive Bonded Type. *Jurnal Ilmu Teknologi Hasil Hutan* 1(2): 60–66.
- Nylinder, M. & Fryk, H. 2017. *Timmer. 4:e upplagan*. SLU, inst. för skogens produkter. ISBN: 978-91-576-9030-2. 221 s.
- Nylinder, M., Pape, R. & Fryk, H. 2001. Björktimmer. Förädling, egenskaper och skador. SLU, inst. för skogens produkter och marknader. 112 s.
- Nylinder, M., Törnmarck, J., 1985. Sågtimmerets kvalitet förr och nu. Sid 63–69. I: *Kvalitet behöver vi det? Skogshögskolans höstkonferens 4–6 december 1984*. SLU, Skogsfakta, konferens nr 6 167 s.
- Nylinder, M., Woxbom, L. & Fryk, H. 2006. Ädellöv. Virke och förädling. SLU, inst. för skogens produkter och marknader. 196 s.
- Nylinder, P. & Hägglund, E. 1954. Ståndorts- och trädegenskapers inverkan på utbytet och kvaliteten vid framställning av sulfitmassa av gran. *Meddelande statens skogsförsöksinstitut* 44: 11.
- Oja, J. & Häggström, U. 2009. Inverkan från kvist i närheten av fingerskarvar. *Träcentrum norr. SP Rapport 2009:37*. Skellefteå. 26 s.
- Ormarsson, S. 1999. Numerical analysis of moisture-related distortions in sawn timber. *Doktorsavhandlingar vid Chalmers tekniska högskola*.
- Palm, J., Åhström, A., Wijk, G. & Johansson, S. 2005. Fakta om lövträ. *Träcentrum Nässjö*. 43 s. https://www.tracentrum.se/media/1147/fakta_om_lovtra.pdf (Hämtad 2022-03-22.)
- Palmqvist, L. & Sjömar, P. (redaktörer). 2006. *August Holmbergs byggnadslära*. Nordiska museets förlag. 236 s. https://gupea.ub.gu.se/bitstream/handle/2077/31449/gupea_2077_31449_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y (Hämtad 2022-03-16.)
- Pape, R. 1999. Effects of thinning on wood properties of Norway spruce on highly productive sites. SLU. *Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvustria* 88.
- Paper Industry World Magazine. 2021. <https://www.paperindustryworld.com/page/9/?pid> (Hämtad 2022-03-28.)
- papiNet. 2022. papiNet User Groups. <http://www.papinet.org/#/user-groups/ajax.html>. (Hämtad 2022-04-25.)
- Peñaloza, D., Erlandsson, M. & Falk, A. 2016. Exploring the Climate Impact Effects of Increased Use of Bio-Based Materials in Buildings. *Construction Building Materials* 125: 219–226. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.041>
- Persson, A. 1975. Ved och pappersmassa från gran och tall i olika förband. Skogshögskolan, inst. för skogsproduktion. *Rapporter & Uppsatser* nr 37.
- Persson, A. 1976. Förbandets inverkan på tallens sågtimmerkvalitet. Skogshögskolan, inst. för skogsproduktion. *Rapporter & Uppsatser* nr 42.
- Persson, A. 1977. Kvalitetsutveckling inom yngre förbandsförsök med tall. Skogshögskolan, inst. för skogsproduktion. *Rapporter & Uppsatser* nr 45.
- Persson, A. 1982. Contortatallens kvalitet i jämförelse med tall och gran. *Massa, papper och sågad vara. Sveriges Skogsvårdsförbunds Tidskrift* nr 1–2, s. 37–42.
- Persson, A. 1993. Wood properties of *Pinus contorta*. I: Lindgren, D. (redaktör). 1993. *Pinus contorta from untamed forests to domesticated crop*. SLU, inst. för skoglig genetik och växtfysiologi. Rapport 11. s. 38–59.
- Persson, C. 2008. Tillväxt och potentiell sågtimmerkvalitet i gallringsmogna jämförelseplanteringar med *Pinus contorta* och *P. sylvestris*. SLU, inst. för ekologi och skötsel. Examensarbete 2008–11.
- Persson, H.J., Olofsson, K. & Holmgren, J. 2022. Two-phase forest inventory using very-high-resolution laser scanning. *Remote Sensing of Environment* 271:112909. 14 s. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.112909>

- Petersson, H. 1996. Fracture Mechanics – an integral view from micro-to-macro-structure. Proceedings of the 1996 International Conference on Wood Mechanics. Otto Graf Institute of Germany (FMPA) and Department of Building Materials, University Stuttgart, 14–16 maj 1996.
- Petersson, H. 1999. Biomassfunktioner för trädfraktioner av tall, gran och björk. SLU, inst. för skoglig resurshushållning. Arbetsrapport 59. 29 s.
- Petersson, N., Fahlvik, N. & Karlsson, A. 2012. Rörning. Skogsskötselserien, kapitel 6. 2:a uppl. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien. (Hämtad 2022-03-28.)
- Petersson, R. (redaktör). 2011. Mitt emellan virkesintressen. Virkesmätningens historia i Sverige. Skogs- och Lantbrukshistoriska meddelanden nr 55. Supplement till Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift (KSLAT). 656 s.
- Petersson, R. 2015. Sågat virke för välstånd. Den svenska sågverksindustrins historia 1850–2010. Skogs- och lantbrukshistoriska meddelanden nr 70. Supplement till Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift (KSLAT) nr 70. 591 s.
- Pfister, O. 2009. Influence of spacing and thinning on tree and wood characteristics in planted Norway spruce in southern Sweden. SLU. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, Silvestria 2009:61.
- Piispanen, R. & Valkonen, S. 2017. Virkeskvalitet i flerskiktade skogar, s. 33–37. I: Hannerz, M., Nordin, A. & Saksa, T. (redaktörer). 2017. Hyggesfritt skogsbruk. Erfarenheter från Sverige och Finland. SLU, Future Forests Rapportserie 2017:1.
- Polhem, C. 1740. Tankar om husbyggnad. Kong. Svenska Wetenskaps Academiens, s. 344.
- Reese, H., Granqvist-Pahlén, T., Egberth, M., Nilsson, M. & Olsson, H. 2005. Automated estimation of forest parameters for Sweden using Landsat data and the kNN algorithm. Swedish research program Remote Sensing for the Environment (RESE). 5 s.
- Repola, J., Ojansuu, R. & Kukkola, M. 2007. Biomass functions for Scots pine, Norway spruce and birch in Finland. Finnish Forest Research Institute. Working Papers 53. 27 s.
- Riksantikvarieämbetet och Nordiska museet (utgivare). 1982. Var virket bättre förr? : en orientering om traditionellt svenskt virkeskunnande : uppgifterna är hämtade ur Nordiska museets frågelista "Virke och virkesbehandling" samt ur äldre byggnadsläror. Nordiska museet, Stockholm. 75 s.
- Ringhofer, A. & Schickhofer, G. 2014. Multi-Storey Residential Buildings I: CLT – Interdisciplinary Principles of Design and Construction. World Conference on Timber Engineering, Quebec City. 7 s.
- Rosvall, O., Andersson Gull, B., Berlin, M., Högborg, K.-A., Stener, L.-G., Jansson, G., Almqvist, G. & Westin, J. 2016. Skogsträdsförädling. Skogsskötselserien, kapitel 19. 2:a uppl. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien. (Hämtad 2022-03-28.)
- Rouvinen, S. & Kuuluvinen, T. 1997. Structure and asymmetry of tree crowns in relation to local competition in a natural mature Scots pine forest. Can. J. For. Res. 27: 890–902.
- Rune, G. 2003. Instability in plantations of container-grown Scots pine and consequences on stem form and wood properties. SLU, Acta Universitatis agriculturae Sueciae. Silvestria 281.
- Ryan, M.G., Binkley, D. & Fownes, J.H. 1997. Age-related decline in forest productivity: pattern and process. Advances in Ecological Research 27: 213–262.
- Rytter, L., Karlsson, A., Karlsson, M. & Stener, L.-G. 2014. Skötsel av björk, al och asp. Skogsskötselserien, kapitel 9. 2:a uppl. www.skogsstyrelsen.se/skogsskotselserien. (Hämtad 2022-03-28.)
- Sandak, A., Brzezicki, M. & Sandak, J. 2020. Trends and perspectives in the use of timber and derived products in building façades. I: New Materials in Civil Engineering. s. 333–374.
- Sandberg, D. 2015. Sågverkens vidareförädling 1850–2010. I: Petersson, R. 2015. Sågat virke för välstånd. Den svenska sågverksindustrins historia 1850–2010. Skogs- och lantbrukshistoriska meddelanden nr 70. Supplement till Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift (KSLAT) nr 70. 591 s.
- Sandberg, K. 2008. Degradation of Norway spruce (*Picea abies*) heartwood and sapwood during 5.5 years' above-ground exposure. Wood Materials Science and Engineering 3: 83–93.

- Sandberg, K. 2009. Norway spruce heartwood: properties related to outdoor use. Luleå tekniska universitet, inst. för teknikvetenskap och matematik, Träteknik. Avhandling. 50 s.
- Shmulsky, R. & Jones, P.D. 2019. Forest products and wood science: an introduction. 7:e upplagan. Wiley-Blackwell. 504 s.
- Singh, T., Page, D. & Simpson, I. 2019. Manufactured structural timber building materials and their durability. *Construction and Building Materials* 217: 84–92.
- Sjömar, P. 1988. Byggnadsteknik och timmermanskonst : en studie med exempel från några medeltida knuttimrade kyrkor och allmogehus. *Arkitekturens teori och historia* 1988:1.
- Sjökvis, T. & Blom, Å. 2017. Utomhusexponering av ytbehandlat trä: undersökning av trämaterialens påverkan på beständigheten hos en målad granpanel. Linnéuniversitetet, fakulteten för teknik. Rapport 50. 46 s.
- Sjöström, E. 1992. Wood chemistry. Academic Press. Inc, San Diego.
- Skatter, S. & Kucera, B. 1997. Spiral grain – an adaptation of trees to withstand stem breakage caused by wind-induced torsion. *Holz als Roh- und Werkstoff* 55: 207–213.
- Skatter, S. & Kucera, B. 1998. The cause of the prevalent directions of the spiral grain patterns in conifers. *Trees* 12: 265–273.
- Skogens användning och roll under det svenska stormaktsväldet: perspektiv på energi och makt. 2:a utvidgade upplagan. Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens bibliotek. Skogs- och lantbrukshistoriska meddelanden nr 8. 67 s.
- Skogsindustrierna 2022. Massa – produktion och handel. <https://www.skogsindustrierna.se/om-skogsindustrin/branschstatistik/massa-produktion-och-handel/> (Hämtad 2022-03-28.)
- Skogsindustrierna 2022. Papper – produktion och handel. <https://www.skogsindustrierna.se/om-skogsindustrin/branschstatistik/papper-produktion-och-handel/> (Hämtad 2022-03-28.)
- Skogsindustrierna. 2022. Sågade trävaror - produktion och handel. <https://www.skogsindustrierna.se/om-skogsindustrin/branschstatistik/sagade-travaror-produktion-och-handel/> (Hämtad 2022-03-28.)
- Skogs- och lantbrukshistoriska meddelanden nr 70. Supplement till Kungl. Skogs- och Lantbruksakademiens Tidskrift (KSLAT).
- Skogsstyrelsens statistikdatabas. <https://pxweb.skogsstyrelsen.se/pxweb/sv/Skogsstyrelsens%20statistikdatabas> (Hämtad 2022-03-04.)
- SLU. 2021. Kvalitetsbeskrivning - skogliga skattningar från laserdata. Dokument daterat 2021-06-30. <https://www.skogsstyrelsen.se/globalassets/om-oss/regeringsuppdrag/uppdatering-av-skogliga-grunddata/kvalitetsbeskrivning-skogliga-skattningar-fran-laserdata-210702.pdf>. (Hämtat 2022-04-25.)
- Smithers. 2021. The Future of Global Packaging to 2024. <https://www.smithers.com/services/market-reports/packaging/future-of-global-packaging-to-2024> (Hämtad 2022-03-28.)
- Sonesson, J., Eliasson, L., Jacobsson, S., Wallgren, M., Weslien, J. & Wilhelmsson, L. 2017. Hyggesfritt skogsbruk på landskapsnivå. Skogforsk. Arbetsrapport 926. 57 s.
- Staffas, L., Hansen, K., Sidvall, A. & Munthe, J. 2015. Råvaruströmmar från skogen – tillgång och samband. Rapport Nr C 116. IVL, Stockholm. 18 s.
- af Ström, I.A. 1830. Handbok för skogshushållare. Nordström, Stockholm. 321 s. <https://digital.ub.umu.se/node/151526?fulltext-query=> (Hämtad 2202-03-16.)
- Ståål, E. 1986. Eken i skogen och landskapet. Södra skogsägarna, Växjö. 127 s.
- Sundberg, U., Lindegren, J., Odum, H.T., Doherty, S. & Steinlin, H. 1995. Skogens användning och roll under det svenska stormaktsväldet: perspektiv på energi och makt. 2:a utvidgade upplagan. KSLA:s bibliotek. Skogs- och lantbrukshistoriska meddelanden nr 8. 67 s. <https://www.ksla.se/wp-content/uploads/2021/03/SOLMED-nr-8-Skogens-anv%C3%A4ndning-och-roll-under-det-svenska-stormaktsv%C3%A4ldet.pdf> (Hämtad 2022-03-22.)
- Svenskt Trä. 2003. Träguiden. Cellstruktur. <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-uppbyggnad/traets-uppbyggnad/cellstruktur/> (Hämtad 2021-03-03.)

- Svenskt Trä. 2017. Trä och fukt. <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-egenskaper-och-kvalitet/fuktegenskaper1/tra-och-fukt/> (Hämtad 2022-03-04.)
- Svenskt Trä. 2019. Dimensionering av träkonstruktioner. Regler och formler enligt Eurokod 5. Del 2. Projektledare Johan Fröbel. <https://www.svenskttra.se/publikationer-start/publikationer/dimensionering-av-trakonstruktioner/> (Hämtad 2022-03-04.) 58 s.
- Svenskt Trä. 2020. Att välja trä, En faktskrift om svenskt trä. 2020. <https://www.svenskttra.se/publikationer-start/publikationer/att-valja-tra/> (Hämtad 2021-03-03.)
- Svenskt Trä. 2020. Skogsindustri. <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/skogsbruk/skogsbruk/skogsindustri/> (Hämtad 2022-03-28.)
- Svenskt Trä. 2021. Bra att veta om träskivor. <https://www.byggbeskrivningar.se/allmant/bra-att-veta-om-traskivor/> (Hämtad 2022-03-04.)
- Svenskt Trä. 2021. Träemballage och miljö. <https://www.svenskttra.se/bygg-med-tra/traforpackningar/traemballage-och-miljo/> (Hämtad 2022-03-28.)
- Svenskt trä. 2022. Beständighetsegenskaper. <https://www.svenskttra.se/trafakta/allmant-om-tra/fran-timmer-till-planka/bestandighetsegenskaper/> (Hämtad 2022-03-03.)
- Svenskt Trä. 2021. Träguiden. Åtgärder. <https://www.traguiden.se/om-tra/materialet-tra/traets-egenskaper-och-kvalitet/formforandringar-och-atgarder/atgarder/> (Hämtad 2022-03-24.)
- Säll, H. 2002. Spiral Grain in Norway Spruce. Avhandling. Växjö, Växjö University Press. 171 s.
- Söderberg, J., Möller, J.J. & Willén, E. 2018. Utvärdering av utbytesprognoser med skördardata. Skogforsk. Arbetsrapport 981. 28 s.
- Tamminen, Z. 1970. Fuktighet, volymvikt m.m. hos ved och bark. 3, Björk. Skogshögskolan, institutionen för virkeslära. Rapporter 63.
- Thor, M., Ståhl, G. & Stenlid, J. 2005. Modelling root rot incidence in Sweden using tree, site and stand variables. Scand. J. For. Res. 20: 165–176. <https://doi.org/10.1080/02827580510008347>
- Thörnqvist, T. 1990. Ungdomsved i barrträd. SLU, inst. för skog-industri-marknad studier. Rapport 10. 149 s.
- Toms, P. 2017. Hydrofaction™ Oil: A Solution for Decarbonizing Long-haul Transport. Presentation vid: From biomass to advanced biofuels, combining Canada's Forestry and Oil & Gas strengths. Juli 2017. <https://www.bio.org/sites/default/files/legacy/bioorg/docs/0830AM-Perry%20Toms.pdf> (hämtad 2022-05-31.)
- Trähusbarometern. 2021. Statistik för Trähusbranschen (Sverige) Nr 1, Trä och möbelföretagen. 5 s. <https://www.tmf.se/siteassets/statistik/statistiska-publikationer/trahusbarometern/trahusbarometern-1-2021.pdf> (Hämtad 2022-03-04.)
- Trä- och Möbelindustriförbundet (TMF). 2020. Den svenska möbel- och inredningsbranschen. Statistik och analys av värdekedjan. Projektgrupp Wikberg, E. Nielsén, T. Volante research, personal vid TMF. Trä- och möbelföretagen, 157–9585 Mediaspjuht. 36 s.
- Trä- och Möbelindustriförbundet (TMF). 2021. TMF i Siffror. Statistik om den svenska trä- och möbelindustrin. Nr 1, april 2021. 10 s.
- Ulvcróna, T. & Ahnlund Ulfcrona, K. 2011. The effects of pre-commercial thinning and fertilization on characteristics of juvenile clearwood of Scots pine. Forestry 84(3): 207–219.
- Valkonen, S. & Ruska, J. 2003. Effect of Betula pendula admixture on tree growth and branch diameter in young Pinus sylvestris stands in southern Finland. Scand. J. For. Res. 18: 416–426.
- Varmola, M. & Salminen, H. 2004. Thinning and intensity of precommercial thinning in Pinus sylvestris stands. Scand. J. For. Res. 19: 142–151.
- Vité, J.P. & Rudinsky, J.A. 1959. The water conducting systems in conifers and their importance to the distribution of trunk injected chemicals. Contr. Boyce Thompson Inst. 20: 27–38.
- Wellner, C.A. & Lowery, D.P. 1967. Spiral Grain: A Cause of Pole Twisting. U.S. Forest Service Research Paper INT. 38.

- Wetterberg, G. 2018. Träd: en vandring i den svenska skogen. Albert Bonniers Förlag. 351 s.
- Wilhelmsson, L. 2006. Two models for predicting the number of annual rings in cross-sections of tree stems. *Scand. J. For. Res.* 21. Supplement 7, s. 37–47.
- Wilhelmsson, L. 2019. Paragraph 3.8 Detailed forest yield prediction previous and during harvesting. s. 21–26 I: Väättäinen, K. m.fl. 2019. Deliverable 4.5 – Validation of developed tools for operational planning. EFFORTE EU project BBI-JU Horizon 2020. Grant agreement No 720712.
- Wilhelmsson, L. & Arlinger, J. 2017. New values to the bio-based industry by precision wood characterization and delivery. I: Proceedings of the 4th Precision Forestry Symposium (Ackerman, P.A., Norihiro, J., Ham, H. & Brewer, J.C. redaktörer), 28 februari till 2 mars, Stellenbosch University, Sydafrika. s. 54–57.
- Wilhelmsson, L., Arlinger, J., Brunberg, T., Rehnberg, O., Jönsson, A., Miller, J., Nylinder, M., Duchesne, I. & Spångberg, K. 2000. Vedsortering för bättre pappers- och kartongprodukter. Skogforsk. Redogörelse 4. 105 s.
- Wilhelmsson, L., Arlinger, J., Hannrup, B., Nordström, M., Øvrup, A. & Gjerdrum, P. 2011. D3.5 Methods and models for relating wood properties and storage conditions to process efficiency and product quality. Skogforsk. Arbetsrapport 750. 67 s.
- Wilhelmsson, L., Arlinger, J., Spångberg, K., Lundqvist, S.-O., Grahn, T., Hedenberg, Ö. & Olsson, L. 2002. Models for Predicting Wood Properties in Stems of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* in Sweden. *Scand. J. For. Res.* 17(4): 330–350.
- Wilhelmsson, L. & Moberg, L. 2004. Viktsutredning – Råvolymvikter. Prognos för medelvärden och spridningsmått med hjälp av beräkningsmodeller och vägning vid mätstationer. Skogforsk. Arbetsrapport 569. 37 s.
- Wilhelmsson, L., Möller, J.J. & Arlinger, J. 2019. Betalningsgrundande eller betalningsstödande virkesmätning med skördare. Skogforsk. Arbetsrapport 1032. 92 s.
- Wilhelmsson, L. & Palmér, C.H. 1988. Skogsträdsförädling och tallkvalitet. Institutet för Skogsförbättring. Årsbok 1987. s. 38–45.
- Willén, E., Berlin, M., Sorensen, R., Möller, J.J., Bhuiyan, N. & Wilhelmsson, L. 2019. Pilot software for improved silviculture operations. Deliverable 3.8. EU BBI-JU-project EFFORTE – Efficient forestry by precision planning and management for sustainable environment and cost-competitive bio-based industry. 19 s.
- Yu, X., Hyypä, J., Litkey, P., Kaartinen, H., Vastaranta, M. & Holopainen, M. 2017. Single-Sensor Solution to Tree Species Classification Using Multispectral Airborne Laser Scanning. *Remote sensing* 9(2): 108.
<https://doi.org/10.3390/rs9020108>
- Yu, X., Hyypä, J., Vastaranta, M., Holopainen, M. & Viitala, R. 2011. Predicting individual tree attributes from airborne laser point clouds based on the random forests technique. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 66(1): 28–37.
- Zhu W. & Theliander, H 2015. Precipitation of lignin from softwood black liquor: An investigation of the equilibrium and molecular properties of lignin. *BioResources* 10(1): 1696–1714.
- Zobel, B.J. & Sprague, J.R. 1998. Juvenile Wood in Forest Trees. Springer series in wood science. Springer Verlag. 300 s.
- Ågren, K., Högbom, L., Johansson, M. & Wilhelmsson, L. 2021. Databasinsamling till underlag för livscykelanalyser (LCA) av det svenska skogsbruket. Beräkningar, erfarenheter och antaganden. Skogforsk. Arbetsrapport 1086. 38 s.
- Ågren, A., Larson, J., Siddhartha, P., Laudon, H. & Lidberg, W. 2021. Use of multiple LIDAR-derived digital terrain indices and machine learning for high-resolution national-scale soil moisture mapping of the Swedish forest landscape. *Geoderma*. 404. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115280>
- Östlund, L., Zackrisson, O. & Strotz, H. 1998. Potash Production in Northern Sweden: History and Ecological Effects of a Pre-industrial Forest Exploitation. *Environment and History* 4(3): 345–358.
- Östman, B. A-L. 2017. Fire performance of wood products and timber structures. *International Wood Products Journal* 8(2): 74–79.
<https://doi.org/10.1080/20426445.2017.1320851>