



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R14:1986

Hur vedegenskaperna påverkas av "skogsdöden"

Thomas Thörnqvist

K
AWA

INSTITUTET FÖR
BYGGDOKUMENTATION

Accnr

Plac

Byggeforskningsrådet

R14:1986

HUR VEDEGENSKAPERNA PÅVERKAS AV
"SKOGSDÖDEN"

Thomas Thörnqvist

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 840576-1
från Statens råd för byggnadsforskning till Sveriges
Lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära,
Uppsala.

REFERAT

De anatomiska, fysikaliska och tekniska egenskaperna hos en frisk och en av luftföroreningar skadad gran (*Picea abies* Karst.) har jämförts.

Det skadade trädets andel kärna var avsevärt större än det friska trädets, upp till 25% av trädhöjden. Någon större skillnad i andel sommarved kunde inte konstateras mellan de två undersökta granarna. Sommarvedens vägg-tjocklek ökade från märgen till 1965-75, varefter en markant väggförtunning noterades till 1984 hos båda granarna. Mängden bly, fosfor och svavel var högre i skadade träd än i friska. Böjhållfasthet och böjelasticitetsmodul var ungefär lika i de båda granarna medan draghållfastheten var signifikant lägre i den skadade granen.

I Bygghörsningsrådet rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R14:1986

ISBN 91-540-4526-6
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck AB Stockholm 1986

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	<u>Sid</u>
FÖRORD	1
SAMMANFATTNING	2
SUMMARY	5
1. BAKGRUND	9
2. SYFTE	10
3. LITTERATURSTUDIE	10
3.1 Årsringsanalys	10
3.2 Kärnvedsandel	13
3.3 Vattved	14
3.4 Andel sommarved	15
3.5 Trakeidväggstjocklek	15
3.6 Trakeidlängd	15
3.7 Trakeidbredd	17
3.8 Vedkemiska analyser	18
3.9 Hållfasthetsegenskaper	18
3.10 Svampangrepp	18
3.11 Permeabilitet	19
4. MATERIAL	19
5. METOD	20
5.1 Årsringsanalys	21
5.2 Andel kärna	21
5.3 Andel sommarved	21
5.4 Trakeidväggstjocklek	21
5.5 Trakeidlängd	22
5.6 Trakeidbredd	22
5.7 Kemiska analyser	22
5.8 Torr-rådensitet	22
5.9 Hållfasthetsegenskaper	23
6. RESULTAT	23

	<u>sid</u>
6.1 Årsringsanalys	23
6.2 Andelen kärna	26
6.3 Andel sommarved	27
6.4 Trakeidväggstjocklek	28
6.5 Trakeidlängd	31
6.6 Trakeidbredd	35
6.7 Kemiska analyser	38
6.8 Torr-rådensitet	40
6.9 Hållfasthetsegenskaper	41
7. DISKUSSION	47
7.1 Årsringsanalys	47
7.2 Andel kärna	48
7.3 Andel sommarved	48
7.4 Trakeidväggstjocklek	49
7.5 Trakeidlängd	49
7.6 Trakeidbredd	50
7.7 Kemiska analyser	51
7.8 Torr-rådensitet	52
7.9 Hållfasthetsegenskaper	52
8. SLUTSATSER	53
LITTERATURFÖRTECKNING	55

FÖRORD

Sedan mitten av 70-talet har skogen i mellaneuropa i allt större omfattning dött. Skador av liknande slag har även noterats i södra Sverige. Vad skadorna orsakats av är inte helt klarlagt, men man anser att luftföroreningarna utgör den primära skadeorsaken och att torka är en sekundär skadeorsak.

Det är inte enbart ekologer och skogsfolk som oroas av de tilltagande skadorna utan även statens råd för byggnadsforskning (BFR) har reagerat. Därför har rådet ställt medel till förfogande för en orienterande studie över skadornas inverkan på virkets egenskaper.

Arbetet omfattar en litteraturstudie samt en undersökning av ett friskt och ett skadat träd från syd-Tyskland. Vid insamling och analys av provträden har följande personer medverkat

- Professor Zachris Tamminen och jägmästare Göran Klementson, inst. för virkeslära, SLU, Uppsala, försöksuppläggning och provtagning.
- Ingenjör Susanna Thörnqvist, inst. för virkeslära, SLU, Uppsala, analys av årsringar, kärna, densitet och hållfasthetsegenskaper.
- Fk Cecilia Möller, inst. för virkeslära, SLU, Uppsala, analys av cellväggstjocklek och andel sommarved.
- Jägmästare Ludvik Nagoda och Bohumil Kucera, Norsk lantbrukshögskole, inst. för träteknologi, Ås, Norge, analys av trakeidlängd och trakeidbredd.
- Civilingenjör Sonny Jönsson, KTH, Ytkemiska institutet, Stockholm samt Miljöanalytiska laboratoriet AB, Vällingby, kemiska analyser.

Till samtliga dessa och till Bayerische Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt i München, som bistått med personal vid insamling av provträden, samt till sekreterare Maj-Britt Andersson, som renskrivit manus, och jägmästare Michael Spahr, som översatt den engelska texten, riktas ett varmt tack.

SAMMANFATTNING

Föreliggande arbete har syftat till att genom litteraturstudier, samt genom en mindre undersökning av en frisk och en av luftföroreningar skadad gran, studera hur luftföroreningar inverkar på virkets egenskaper.

Begreppen "skogsdöd" och träd som skadats av luftföroreningar har använts för träd som för ögat inte sett friska ut genom att de förlorat viss del av barrmassan. Om begreppen är en sjukdom eller enbart ett begrepp, samt om det beror på luftföroreningar eller inte att träd förlorar barrmassa och i vissa fall dör, tar föreliggande arbete inte ställning till.

Ett bra mått på hur ett träd mår är tillväxten. Flera undersökningar har visat att årsringsbredden i skadade träd är mindre än i friska träd. Ofta har årsringsbredden börjat minska i slutet av 1940-talet och i vissa fall redan i slutet av 1930-talet (figur 1).

Av de två undersökta träden var årsringsbredden störst hos det skadade trädet fram till 1960, därefter var årsringsbredden mindre än i det friska trädet (figur 5).

Man har allmänt noterat större andel kärna i skadade träd än i friska. Ofta har kärnvedsandelar på över 60 % noterats vid fällskäret i skadade silvergranar, mot ca 40 % i friska silvergranar. I de undersökta träden noterades följande procentuella andelar kärna av stamtrissans area.

	Brösthöjd	Procent av trädhöjden		
		25	50	75
		<u>Kärnvedsandel i procent</u>		
Friskt träd	35	32	32	15
Skadat träd	55	48	33	13

I äldre friska silvergranar är vattved allmänt förekommande i stammens kärna. Hos skadade silvergranar är det dock vanligt att vattved även förekommer i splintveden. Hos friska granar är det mindre vanligt med vattved,

men hos skadade granar har man i Västtyskland noterat en ökad andel träd med vattved.

Andelen sommarved ökade kontinuerligt i de båda undersökta träden från ca 4 % i det friska och 12 % i det skadade till 27 % respektive 31 % under åren 1930 till 1980. Från 1980 till 1984 minskade dock sommarvedsandelen till 14,9 % respektive 12,3 %. Detta kan vara ett tecken på att bägge trädens kondition var nedsatt trots att barrmassan endast minskat hos det ena trädet (figur 6).

Någon skillnad i cellväggstjocklek mellan friska och skadade träd har inte kunnat noteras i de två undersökta träden. Däremot visade det sig att sommarvedens cellväggstjocklek ökat fram till omkring 1970, varefter markant tunnare cellväggar konstaterats i de båda träden (figur 7). I Västtyskland har man inte heller kunnat notera någon skillnad i cellväggstjocklek mellan friska och skadade träd.

I den friska granen var vårvedstrakeiderna längre än sommarvedstrakeiderna, vilket möjligen kan förklaras med att trädet förmodligen skadats i ungdomsåren eftersom traumatiska hartskanaler registrerades i den femte årsringen. Trakeidernas medellängd ökade dock något från mårgen och ut mot kambiet (figur 9). I det skadade trädet följde trakeidlängden den rådande uppfattningen att sommarvedstrakeiderna är längre än vårvedstrakeiderna samt att längden ökar från mårgen mot kambiet. Noterbart är dock att vårvedstrakeiderna var längre än sommarvedstrakeiderna i de två årsringarna närmast kambiet (figur 10). Västtyska undersökningar har i några fall noterat avtagande trakeidlängd i de senaste årsringarna mot kambiet hos skadade träd, medan andra undersökningar inte funnit någon skillnad.

Trakeidbredden minskade i det friska trädet från 1925 till 1960 för både vår- och sommarvedstrakeider. Därefter ökade trakeidbredden fram till 1984 (figur 12). Hos det skadade trädet ökade trakeidbredden ända från trädets ungdomsår till avverkningen 1984 (figur 13). I båda träden var vårvedstrakeiderna bredare än sommarvedstrakeiderna.

De kemiska analyserna, som utfördes på borrhärnor från 30 friska och 30 skadade granar, visade att de skadade träden i medeltal innehöll ca 107 % mer bly, 41 % mer fosfor och 13 % mer svavel än de friska träden. Den

större mängden bly var signifikant på 99-procentsnivån (tabell 6-8).

För torr-rådensiteten noterads en normal utveckling för bägge träden med ökande torr-rådensitet från märgen och ut mot kambiet.

Böjhållfastheten och böjelasticitetsmodulen var i medeltal 91 N/mm^2 respektive 9875 N/mm^2 i det friska och 90 N/mm^2 respektive 9740 N/mm^2 i det skadade trädet. De små variationerna tyder på att böjhållfastheten och böjelasticiteten inte påverkats av luftföroreningarna. Medelvärdet för draghållfastheten noterades till 46 N/mm^2 för det friska trädet och 39 N/mm^2 för det skadade trädet. Denna skillnad är statistiskt signifikant på 95-procentsnivån, vilket kan tydas till att luftföroreningarna påverkat vedens draghållfasthet.

SUMMARY

The purpose of this study was to investigate how air pollution influences the properties of wood. Included are a literature study, plus a small investigation of a healthy spruce and a spruce damaged by air pollution.

The concepts "forest death" and trees which are damaged by air pollution have been applied to trees that do not appear sound, because they have lost a certain portion of their needle mass. If these concepts are disease or only a concept, plus if it is dependent on air pollution or not that a tree loses its needle mass and in certain cases dies, this investigation takes no stand to.

A good measure of how a tree fares is the growth rate. Several investigations have shown that growth ring width in damaged trees is less than in sound trees. Often the growth ring width had begun to diminish in the late 1940's and in some cases even at the conclusion of the 1930's (fig. 1).

With the two investigated trees, the growth ring width was greatest with the damaged tree until 1960, afterwards the ring width was less than in the undamaged tree (fig 5).

One has generally noticed a greater portion of heartwood in damaged trees than in healthy trees. Heartwood portions of more than 60 % have often been noted in the undercuts of silver fir, compared to about 40 % in healthy silver firs, in the studied trees the following percentages of stem cross-sectional areas in heartwood were noted.

		% of tree height		
DBH		25	50	75
		% heartwood area		
Healthy trees	35	32	32	15
Damaged trees	55	48	33	13

In older healthy silver firs wet wood in general occurs in the stem's heart wood with damaged silver firs it is also common with wet wood in the stem's sapwood. In healthy spruce it is not common with wet wood, however

with damaged spruce in West Germany an increased number of trees with wet wood has been noted.

The amount of late wood increase continuously in both of the studied trees, from about 4 % in the healthy ones and 12 % in the damaged up to 27 % and 31 % respectively during the period 1930 to 1980. However from 1980 until 1984 the portion of late wood diminished to 14.9 % and 12.3 % respectively. This can be a sign that both trees were in poor health despite the fact that needle mass decreased only with one of the trees (figure 6).

No difference could be noted in the cell wall thickness of the healthy and the damaged study trees, on the other hand, late wood cell wall thickness was shown to increase up until 1970. Afterwards a marked thin cell wall was observed in both trees (fig 7). Not either in West Germany could a difference be noted in cell wall thickness between healthy and damaged trees.

In the healthy fir the early wood tracheids were longer than the late wood, possible this can be explained by damage the tree probably suffered when young, since traumatic resin canals were registered in the 5th years growth ring. The tracheids average length increased somewhat, however, from the pith and out towards the cambium (fig 9). The damaged tree's tracheid length follows the prevailing view that late wood tracheids are longer than the early wood tracheids, plus that the length increases from the pith towards the cambium. However it is noticeable that the early wood tracheids were longer than the late wood tracheids in the two growth rings nearest the cambium (fig 10). West German studies have, in some case noted decreasing tracheid lengths in the more recent growth rings toward the cambium in damaged trees. Other studies have found no differences.

Tracheid width decreased in the healthy tree during the period 1925-1960, for both early and late wood tracheids. Afterwards tracheid width increased up until 1984 (fig 12) with the damaged tree, tracheid width increased from the tree's early years until it was cut down in 1984 (fig 13). In both trees, early wood tracheids were wider than late wood tracheids.

Chemical analysis showed that the damaged trees contained on an average approximately 107 % more lead, 41 % more phosphorus and 13 % more sulfur than the healthy trees. The greater amount of lead was significant at the 99 % level (table 5-7).

For basic density a normal development was noted for both trees. Basic density increased from the center out towards the cambium.

Bending strength and bending modulus of elasticity were on an average 91 N/mm² and 9875 N/mm² respectively in the healthy tree. In the damaged tree it was 90 N/mm² and 9740 N/mm² respectively. These small variations mean that bending strength and bending modulus of elasticity are not influenced by air pollution.

The average for tensile strength was noted at 46 N/mm² for the healthy tree and 39 N/mm² for the damaged tree. This difference was statistically significant at the 95 % level, which can indicate that air pollution affects wood's tensile strength.

CONCLUSIONS

- Trees damaged by air pollution have a reduced growth rate and thus, tighter growth rings.
- The amount of heart wood is greater and more irregular in damaged than in healthy trees.
- The risk for wet wood increases in damaged trees.
- There does not appear to be any difference in the portion of late wood between healthy and damaged trees. But, a reduction in the amount of late wood in the most recently deposited growth rings can not be ruled out in damaged trees.
- It is likely that the tracheids wall thickness is reduced as a result of the tree being exposed to air pollution.
- It is also likely that tracheid length reduces in connection with the tree's exposure to air pollution.
- There is nothing to indicate that the amount of holocellulose or ligning is changed in a tree damaged by air pollution.

- There are indications that the amounts of lead and phosphorus are higher in damaged trees than in those that are healthy.
- There is nothing to indicate that the wood bending strength is appreciably changed in trees damaged by air pollution. But the wood tensile strength can be lower in wood from damaged trees than from healthy trees.
- Damaged trees are not considered to be infected by blue stain or rot fungi to a greater degree than in healthy trees.
- Wood from damaged trees cannot be stored as long as wood from healthy trees since blue stain and rot fungi attack after a shorter time than is wood from healthy trees.
- From the standpoint of sawmilling, wood from damaged trees compares qualitywise with that from healthy trees, if it is free from wet wood and has not been infected by blue stain and rot fungi during handling between forest and saw mill.

1. BAKGRUND

Under mitten av 70-talet rapporterades ett allt större antal barrträd i syd-Tyskland vara döda eller svårt skadade. Till största delen var det äldre silvergranar (Abies alba Mill.) i höjdlägen som drabbades. Skadorna har med åren tilltagit i styrka och angrepp på både gran (Picea abies Karst.) och tall (Pinus silvestris L.), även i yngre bestånd, har blivit allt vanligare. Eftersom ett stort antal träd skadats och i en del fall dött, har man i Mellanuropa myntat begreppet "skogsdöden".

De senaste 200 åren har man i Tyskland observerat och dokumenterat att silvergranen periodvis dött i större eller mindre omfattning. Detta har medfört att man talar om silvergransdöden (Tannensterben). Man har även observerat att silvergransdöden uppträder i samband med extremt torra år, som t.ex. åren 1864, 1894, 1922/23, 1971, 1973, 1976 och 1979. I Tyskland anses det dock vetenskapligt bevisat att luftföroreningar är den viktigaste faktorn i samband med den nu observerade "skogsdöden". Luftföroreningarna är sammansatta av ett stort antal skadliga ämnen av vilka de viktigaste är svaveldioxid, kväveoxid, fotooxidation, fluor och tungmetaller. Den primära sjukdomsorsaken anses vara luftföroreningar, medan torka bedöms vara en sekundär sjukdomsorsak (Walderkrankung und Immissionseinflüsse 1984).

Det bör dock poängteras att sjukdomsorsaken anses vara mycket komplex, där ett flertal skadeorsaker griper in i varandra. Man bör därför utgå från att inverkan av enskilda faktorer på olika ståndorter skiljer sig markant. Det är därför viktigt att försöka dela upp orsakerna i primära och sekundära skador (Walderkrankung und Immissionseinflüsse 1984).

I föreliggande arbete används begreppen "skogsdöd" och träd som skadats av luftföroreningar för träd som för ögat inte sett friska ut genom att de förlorat större eller mindre del av barmmassan. Om "skogsdöden" är en sjukdom eller enbart ett begrepp, samt om det beror på luftföroreningar eller inte att träd förlorar barmmassa och i vissa fall dör, tar föreliggande arbete inte ställning till.

Under senare år har skogsskador av liknande slag även observerats i södra Sverige. Hur dessa skador påverkar veden i trädet samt om skadorna har någon inverkan på den sågade varan och då speciellt på dess beständighet mot svampangrepp är idag inte utrett.

2. SYFTE

Syftet med föreliggande studie har dels varit att genomföra en litteraturstudie och dels analysera olika metoder som kan vara lämpliga att använda vid jämförande studier av vedanatomiska, vedfysikaliska och vedtekniska egenskaper hos friska och av luftföroreningar skadade barrträd. Metoderna har testats på en frisk och en skadad gran från Västtyskland. Dessutom har kemiska analyser utförts på borkkärnor från 30 friska och 30 skadade granar.

3. LITTERATURSTUDIE

I samband med "skogsdödens" utbredning i Sydtykland startades flera forskningsprojekt med målsättning att undersöka hur skogsskadorna påverkade vedegenskaperna. I det följande kommer erhållna resultat och erfarenheter att sammanfattas.

3.1 Årsringsanalys

Flera undersökningar visar att tillväxten minskat hos skadade träd för såväl silvergran som gran. I figur 1 redovisas resultaten från en undersökning av tillväxten hos två friska, tre skadade och fyra svårt skadade silvergranar från ett 64-årigt bestånd i Schwarzwald.

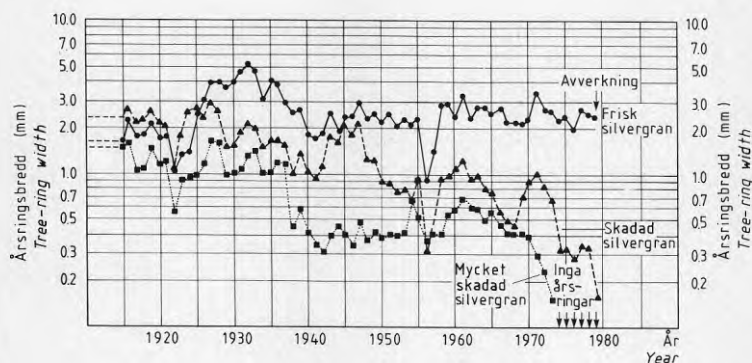
Årsringsanalys visade att tillväxten i de friska träden varierade mellan 0,9 och 5,2 mm per år. Den högsta tillväxten noterades vid trädåldern 10 till 25 år (1925-1940), medan den lägsta tillväxten noterades åren 1922 och 1956/57. Frånsett åren 1956 och 1957 varierade tillväxten, från 1940 till avverkningsåret 1979, mellan 2,0 och 3,4 mm per år.

Tillväxten i de skadade träden var de första tio åren något större än i de friska träden för att därefter vara lägre. Efter 1947 då tillväxten var 2,0 mm sjönk den kontinuerligt till 0,3 mm 1956, för att därefter pendla mellan 0,2 mm och 1,2 mm per år till 1979. Från 1971 till 1979 sjönk dock tillväxten mer eller mindre kontinuerligt från 1,0 till under 0,2 mm per år.

De mycket skadade silvergranarnas tillväxt var genomgående lägre än de mindre skadade trädens. En markant tillväxtminskning kunde noteras under

åren 1938 till 1970, då tillväxten varierade mellan 0,3 och 0,7 mm per år. Från 1970 till 1973 sjönk tillväxten kontinuerligt från 0,4 till 0,0 mm per år. Under trädens sex sista levnadsår kunde inte någon tillväxt noteras. (Bauch & Frühwald 1983).

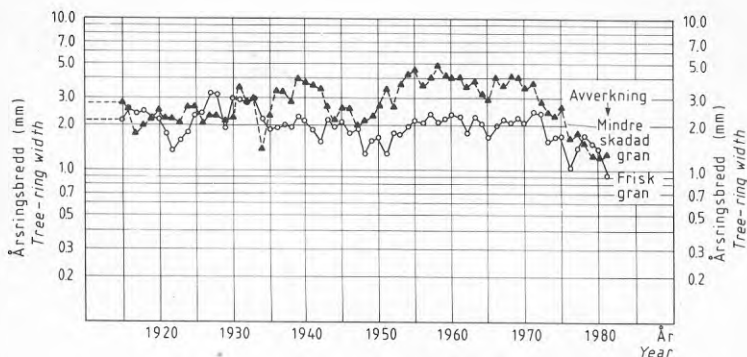
Även andra undersökningar visar att tillväxten hos skadade silvergranar, i relation till friska silvergranar i samma bestånd, började minska redan före 1950 (Bauch m.fl. 1979, Walderkrankung und Immissionseinflüsse 1984).



Figur 1. Årsringsanalys av silvergran från ett bestånd i Schwarzwald. De tre årsringskurvorna är medelvärden vid stubbskäret för två friska, tre skadade och fyra svårt skadade silvergranar (efter Bauch & Frühwald 1983).

Analysis of silver fir from a stand in Schwarzwald (Germany). The three growth ring curves are average values at the stump for two healthy, three damaged and four badly damaged firs. (From Bauch & Frühwald 1983).

Från samma bestånd som de av Bauch & Frühwald (1983) analyserade silvergranarna tagits, avverkades även tre friska och fem mindre skadade granar. I figur 2 redovisas medelvärdet av den årliga tillväxten för medelvärdet av de friska och skadade granarna. De tjugo första åren, fram till 1935, var tillväxten ungefär densamma för både friska och skadade träd. Därefter var den årliga tillväxtökningen större för de skadade träden fram till 1977 då den åter sammanföll och var ungefär lika stor till avverkningsåret 1982.

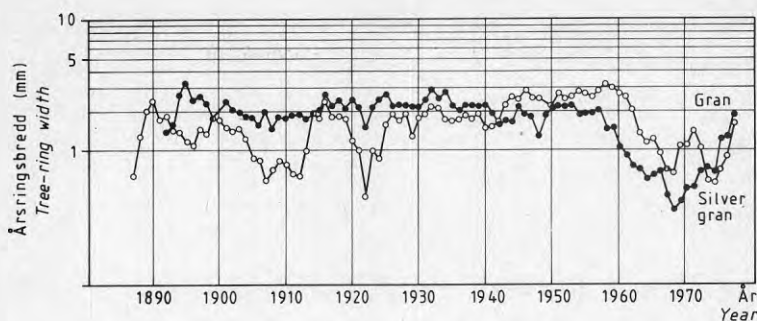


Figur 2. Årsringsanalys av gran från ett bestånd i Schwarzwald. De två årsringskurvorna är medelvärden vid stubbskäret för tre friska och fem skadade granar (Efter Bauch & Frühwald 1983).

Growth ring analysis of spruce from a stand in Schwarzwald (Germany). The two growth ring curves are average values at the stump for three healthy and five damaged spruces. (From Bauch & Frühwald 1983.)

Eckstein m.fl. (1981) har påvisat att utsläpp av mineralstoff och svaveldioxid från en magnesitfabrik påverkat tillväxten hos en silvergran och en gran (figur 3). Hos bägge trädslagen låg tillväxten omkring 1,0 till 3,0 mm per år (med några få undantag för silvergranen) fram till år 1960, då magnesitfabriken startade sin produktion. Därefter sjönk tillväxten mer eller mindre konstant till långt under 1,0 mm per år för båda trädslagen. I samband med att en anläggning för rening av utsläppen togs i bruk 1975, ökade tillväxten och var 1977 ca 2 mm per år.

I ett examensarbete, som utförts i Blekinge av Hermansson & Säll (1985), har större tillväxtminskningar konstaterats i skadade granar än i friska. Materialet uppvisade stora skillnader i tid när tillväxtminskningen kunde konstateras för de skadade träden. Detta beror förmodligen på att undersökningen är utförd i tre bestånd där träden på provytorna klassats i sex skadegrupper från friska till döda. Från 1970 till 1983 har man konstaterat att de skadade granarna haft en betydligt sämre tillväxt än de friska granarna.



Figur 3. Årsringsanalys av en gran och en silvergran, som under åren 1960 till 1975 blivit exponerade för mineralstoff och svaveldioxid från en magnesitfabrik i Hochfilzen, Österrike (Efter Eckstein m.fl. 1981).

Growth ring analysis of a spruce and a silver fir, which during the years from 1960 until 1975, were exposed to mineral material and sulphur dioxide from a magnesite factory in Hochfilzen, Austria. (From Eckstein et.al., 1981.)

3.2 Kärnvedsandel

När en gran uppnår 30-40 års ålder börjar normalt de levande parenkymcellerna i märengens omedelbara närhet i stammens nedre del att dö, samtidigt som epitelcellerna täpper till hartskanalerna. Detta medför att vedens vattenledande förmåga upphör och så kallad kärnved bildas. I takt med att trädet växer ökar också storleken på kärnan både radiellt och vertikalt. I en 100-årig silvergran är kärnandelen i stambasen ca 40 % (Bauch m.fl. 1978). Hur stor andel av stammen som utgörs av kärnved anses bero på trädets kronstorlek och därmed trädets behov av vattenförsörjning. I samband med att trädens barrmassa minskar hos skadade träd ökar således kärnvedsandelen. Enligt Bauch m.fl. (1978) ökar kärnvedsandelen till mer än 60 % i träd som skadats av luftföroreningar. I träd med nästan torr krona var kärnvedsandelen större än 75 %.

Hermansson & Säll (1985) har analyserat kärnvedsandelen hos borrhävar från 70 friska och 101 skadade granar i södra Sverige. Resultaten visade att de friska träden hade en mindre kärnandel än de skadade träden. I medeltal var andelen kärna 54,8 % för de friska träden och 59,0 % för de skadade. Standardavvikelsen var större för de skadade träden än för de friska, vilket

visar att variationen i kärnvedsandel var större bland skadade träd än bland friska. Detta kan bl a förklaras med att träden har klassats som skadade när de tappat mer än 20 % av barrmassan.

Hermansson & Säll (1985) noterade även större oregelbundheter i kärnan hos skadade träd än hos friska.

3.3 Vattved

Vattved är en sjuklig förändring i trädens kärna, som beror på att bakterier tränger in i veden genom sår på rötterna. Härifrån sprider sig bakterierna genom stubben och vidare upp i stammens kärna (Brill m.fl. 1981). Enligt Bauch m.fl (1975) kan bakterier även tränga in i stamvedens kärna genom avbrutna grenar. Till största delen återfinns bakterierna i trakeidernas lumen, men de förekommer även i trakeidernas ringporer där pormembranet (margo) bryts ned, vilket medför att vedens permeabilitet ökar (Bauch m.fl. 1978, Bauch & Frühwald 1983). I samband med bakteriernas metabolism avges syror, av vilka ättiks-, propion-, och smörsyra hittills är funna i kapillärsvatten från angripna silvergranar. Syrorna medför att kapillärsvattnets pH sänks. I en studie har Brill m.fl. (1981) funnit att pH-värdet sjönk från ca 6, som är normalt för friska träd, till mellan 4,2 och 4,4 i vattved från skadade silvergranar. Då bakterierna inte märkbart bryter ned holocellulosa eller lignin har de inget inflytande på vedens hållfasthetsegenskaper (Bauch & Frühwald 1983).

Fuktkvoten i silvergranens splintved ligger vanligen mellan 150-200 % och i kärnveden mellan 30-50 %. I vattvedsangripen kärnved kan fuktkvoten vara så hög som 220 % (Klein m.fl. 1979).

Vattved, som är vanligt förekommande i kärnan hos äldre silvergranar, påverkar inte märkbart trädets vitalitet (Klein m.fl. 1979). Hos silvergranar som skadats av luftföroreningar har vattved även spridit sig ut i splintveden varvid parenkymcellerna skadats av det sura kapillärsvattnet. Vidare har man konstaterat att vattvedens spridning är mer oregelbunden i stammens radiella led än vad som är vanligt hos friska träd (Bauch m.fl. 1979, Bauch & Frühwald 1983, Brill m.fl. 1981 och Klein m.fl. 1979).

I de fåtal tyska undersökningar som är utförda på gran har i några fall vattvedsbildning noterats hos skadade granar (Schmidt & Kebernik 1985). Hermansson & Säll (1985) har även funnit vattvedsbildning i stambasen hos skadade granar i södra Sverige.

3.4 Andel sommarved

Sommarvedsandelen är av betydelse för virkets densitet. Som ett medelvärde för Sverige anges vanligen granstammens torr-rådensitet till ca 400 kg/m^3 fast volym (Praktisk skogshandbok 1977). Cellväggens densitet, den så kallade kompaktdensiteten, anger Nylinder (1954) till ca 1500 kg/m^3 . Eftersom andelen cellvägg är större i sommarved än i vårved ökar således torr-rådensiteten med ökad andel sommarved.

Eckstein m.fl. (1981) har undersökt sommarvedsandelen i en silvergran och en gran, vilkas tillväxt varit nedsatt sedan 1960 p.g.a luftföroreningar från ett magnesitverk. I den del av veden som anlagts före magnesitverkets tillkomst, varierade sommarvedsandelen något mellan olika år. Medelvärdet för åren från 1895 respektive 1891 till 1959 var 28 % sommarved för granen respektive 33 % för silvergranen. Motsvarande medelvärden för åren 1960 till 1974, då trädens tillväxt var nedsatt, noterades till 26 % för granen och 44 % för silvergranen. Granens sommarvedsandel hade således minskat något medan silvergranens ökat markant. I den del av silvergranens ved, som anlagts under tiden då tillväxten varit nedsatt, avtog sommarvedsandelen vid ökande årsringsbredd. I den tidigare anlagda veden kunde inte någon liknande tendens urskiljas.

3.5 Trakeidväggstjocklek

Enligt Bauch & Frühwald (1983) har man inte funnit någon skillnad i trakeidväggstjocklek mellan skadade och friska granar eller silvergranar.

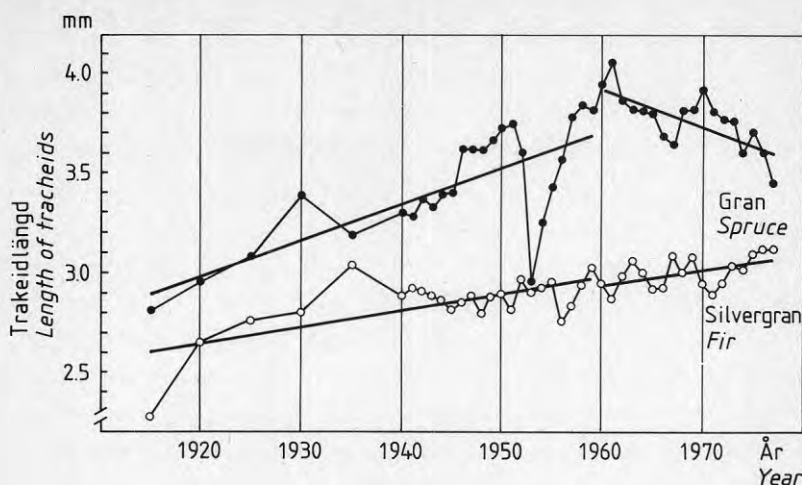
3.6 Trakeidlängd

I friska granar ökar trakeidlängden från mörgen mot kambiet. Ökningen är störst de 15-20 årsringarna närmast mörgen, därefter avtar ökningen (Atmer

& Thörnqvist 1982). Vad gäller skillnaden i längd mellan vår- och sommarveds trakeider anger Eckstein m.fl (1981) att en studie visat att sommarvedstrakeiderna är 1,8 % längre än vårvedstrakeiderna hos friska granar.

Eckstein m.fl. (1981) har undersökt trakeidlängden hos en gran och en silvergran, som under åren 1960 till 1975 utsatts för luftföroreningar. I vardera träd mättes 200 trakeider i var femte årsring mellan 1915 till 1940, därefter i varje årsring fram till 1977 då träden avverkades. I figur 4 redovisas medelvärdet för varje mätt årsring. Som figuren visar ökade trakeidlängden hos granen från 1915 till 1961, med undantag för 1953, vilket inte kan förklaras. Från 1962 till 1977, då trädet utsattes för luftföroreningar, minskade trakeidlängden däremot kontinuerligt. För silvergranen ökade trakeidlängden från 1915 till 1977. Luftföroreningarna hade således påverkat granens trakeidlängd men inte silvergranens.

Bauch m.fl. (1979) har undersökt trakeidlängden i en av luftföroreningar skadad silvergran. Vårvedens medeltrakeidlängd för åren 1920 till 1940 varierade mellan 2,80 och 2,86 mm. Från 1950-talet noterades en tendens till minskning av vårvedens medelfiberlängd. För åren 1976 och 1977 var vårvedens medeltrakeidlängd endast 2,36 mm. Bauch m.fl. (1979) har således noterat en minskning av medeltrakeidens längd i en skadad silvergran, vilket inte Eckstein m.fl. (1981) kunde göra.



Figur 4. Medellängden av 200 trakeider i var femte årsring mellan åren 1915 till 1940, därefter från varje årsring till 1977. Analysen är utförd på en gran och en silvergran som exponerats för luftföroreningar under åren 1960 till 1975. (Efter Eckstein m.fl. 1981).

Average length of 200 tracheids in every 5th growth ring from 1915 to 1940, and every growth ring afterwards until 1977. The analysis is carried out on a spruce and a silver fir exposed to air pollution between 1960-1975. (From Eckstein et.al. 1981.)

3.7 Trakeidbredd

Enligt Atmer & Thörnqvist (1982) gäller, för friska granar, ett generellt positivt samband mellan ökad medelbredd och ökad medellängd hos trakeider. Detta trots att motsatta förhållandet gäller inom årsringen, d.v.s korta breda trakeider i vårveden och långa smala trakeider i sommarveden.

I den av Bauch m.fl. (1979) redovisade undersökningen minskade trakeidens medelbredd från 39-30 μm till mellan 32-27 μm då trakeidens medellängd minskade från 2,80-2,86 till 2,36 mm i frisk respektive skadad ved (se avsnitt 3.6). Det generella sambandet som Atmer & Thörnqvist (1982) redovisat, gäller således även för ved som skadats av luftföroreningar.

3.8 Vedkemiska analyser

Enligt Bauch & Frühwald (1983) har man inte kunnat konstatera någon förändring av trakeidväggarnas lignininnehåll hos träd som skadats av luftföroreningar.

Eckstein m.fl. (1981) har med röntgenspektrumteknik beskrivit vedens kemiska sammansättning för tre årsringar från vardera en gran och en silvergran, som utsatts för luftföroreningar från ett magnesitverk. För år 1932 kunde man endast påvisa förekomst av bromspektrat. Däremot visade årsringarna i den yttre vedmanteln, för silvergran 1973 och 1977 samt för gran 1975 och 1977, karaktäristiska röntgenspektra för aluminium, kisel, fosfor, svavel, klor, kalium och kalcium. Svavlet såväl som kisel, fosfor och kalcium kommer troligen från magnesitverkets avgaser. Då ingen noggrann avgasanalys gjordes, kunde inget sägas om de andra ämnenas ursprung.

3.9 Hållfasthetsegenskaper

Ett flertal tyska studier har utförts avseende böjhållfasthet, böjelasticitetsmodul, tryckhållfasthet och slaghållfasthet för både silvergran och gran, som i olika grad varit skadade av luftföroreningar. Samtliga studier visar att de skadade trädens hållfasthetsegenskaper till större delen varierar med densitet och årsringsbredd och till mindre del med trädets skadegrad. Inte i någon studie har man kunnat visa på statistiskt signifikanta skillnader mellan friska och skadade träd. Detta gäller i de fall då veden inte angripits av svampar eller insekter (Bauch m.fl. 1979, Bauch & Frühwald 1983, Eckstein m.fl. 1981, Frühwald m.fl. 1981, Klein m.fl. 1979 och Schulz 1983).

3.10 Svampangrepp

I nyfällda skadade barrträd har man inte i någon större utsträckning kunnat registrera angrepp av röt- eller blånadssvampar. Det har dock visat sig att rundvirke från skadade träd angripits av blånads- och rötsvampar efter kortare tids lagring än rundvirke från friska träd (Schulz 1984, Bauch & Frühwald 1983).

3.11 Permeabilitet

Undersökningar av vedens permeabilitet hos nyfällda skadade träd visar att det longitudinella vattenflödet är reducerat i den yttre splintveden, vid jämförelse med splintveden hos friska träd. Detta torde vara orsakat av att splintvedens fuktkvot är lägre i skadade träd än i friska (Brill m.fl. 1980). Som exempel kan nämnas att Bauch m.fl. (1979) uppmätt kapillärflödet ca 60 cm/h i en frisk silvergran med ca 60 % splintvedsandel, medan kapillärflödet var ca 30 cm/h i en skadad silvergran med ca 40 % splintvedsandel. I en silvergran, som vid fällningstidpunkten hade torkat, kunde inget kapillärflöde uppmätas.

Till skillnad från normal kärnvedsbildning är kärna med vattved tämligen permeabel, vilket beror på att ringporernas margo är penetrerad av bakterier (Klein m.fl. 1979).

4. MATERIAL

Analysen har utförts på två granar (tabell 1) från ett bestånd ca 4 mil OSO om München i Västtyskland (tabell 2). En gran klassades av två tyska jägmästare som frisk och en som skadad av luftföroreningar. Från vardera av de två träden sågades sektioner om 1 m ut vid brösthöjd samt vid 25 %, 50 % och 75 % av trädhöjden. Stamsektionerna transporterades med bil till laboratoriet vid inst. för virkeslära för analys. Borrkärnor togs även i brösthöjd från 30 friska och 30 skadade granar för kemisk analys.

Tabell 1. De två analyserade granarnas höjd och brösthöjdsdiameter.
The two analysed tree's height and diameter in breast height.

	Frisk gran Healthy spruce	Skadad gran Damaged spruce
Trädhöjd (m) Tree height (m)	31	33
Brösthöjdsdiameter (cm) Diameter breast height (cm)	24,4	25,6

Tabell 2. Följande data var uppmätta av Skogsvetenskapliga fakulteten vid Münchens universitet samt Bayerns skogliga försöks- och forskningsanstalt.

The following data was measured by the Forestry Science Faculty at Munich University and the Bavarian Forestry test and Research Station.

Nederbörd per år (mm) Rainfall per year (mm)	1279	
Nederbörd under vegetationsperioden (mm) Rainfall during vegetation period (mm)	694	
Antal dagar per år med dimma Total days per year with fog	34	
Huvudvindriktning Main wind direction	N till NNO N to NNE	
Höjd över havet (m) Elevation above sea level (m)	574	
Beståndsålder (år) Stand age (years)	77	
Stamantal per ha Stems per ha	1240	
Slutenhet Density	0.8	
Berggrund Bedrock	lågterras makadam lowterrace macadam	
Jordart Soil class	övre skiktet upper layer	mjällig sand silty sand
	undre skiktet lower layer	lerig sand clayey sand
Jordtyp Soil type		brunjord brown earth
Vattenhushållning Water relations		medeltorr till medelfrisk average dry to fresh

5. METOD

Följande metoder har använts vid analysarbetet.

5.1 Årsringsanalys

En stamtrissa om ca 2-3 cm kapades från varje stamsektion. Ena sidan av stamtrissan slipades blank. Med ett skjutmått, med en upplösning av 1/100-dels mm, mättes årsringsbredden i de fyra väderstrecken N, V, O och S för samtliga stamtrissor. Medelvärdet av tillväxten i de fyra väderstrecken har angetts som den årliga tillväxten.

5.2 Andel kärna

Kärnans andel av stammen bestämdes vid brösthöjd, 25 %, 50 % och 75 % av trädens höjd. För samtliga stamtrissor bestämdes kärnandelen enligt tre metoder:

- Medelvärdet av antalet årsringar, i de fyra vädersträcken N, V, O och S, som omfattades av kärnved.
- Medelvärdet av kvoten mellan kärnans radie och stamtrissans totala radie i de fyra vädersträcken.
- Kvoten mellan kärnans yta och stamtrissans totala yta. Ytorna bestämdes med planimeter.

5.3 Andel sommarved

Andelen sommarved i procent av årsringen definierades som den andel av årsringen som hade trakeider med 2 x dubbla trakeidväggstjockleken som var större än eller lika med lumen, enl. Mork 1966. Mätningarna utfördes på prov från stamsektionerna som tagits vid 25 % av trädhöjden.

5.4 Trakeidväggstjocklek

Trakeidväggstjockleken mättes i både radiell och tangentiell riktning hos 30 trakeider för varje undersökt årsring. Femton av trakeiderna mättes i vårveden och femton i sommarveden. Mätningarna utfördes på prov från stamsektionerna som tagits vid 25 % av trädhöjden.

5.5 Trakeidlängd

Trakeidernas längd bestämdes som medelvärdet av 15 vårveds- respektive 15 sommarvedstrakeider för de två senast anlagda årsringarna, samt för var 5-6 årsring mot mårgen t.o.m. årsring 26, därefter för var 10-11 årsring mot mårgen. Dessutom bestämdes trakeidlängden för årsring 4 och 5 räknat från mårgen. Mätningarna utfördes på prov från stamsektionerna som tagits vid 25 % av trådhöjden.

5.6 Trakeidbredd

Trakeidernas bredd bestämdes som medelvärdet av den bredaste delen av de 15 trakeider, för samma läge i stamtvärnsnittet, som redovisas under punkt 5.5 trakeidlängd.

5.7 Kemiska analyser

Från samma bestånd, som de två analyserade granarna togs, borrades 30 friska och 30 skadade granar i brösthöjd med tillväxtborr. Borrkärnorna slogs samman till sex grupper om tio friska och tio skadade i varje grupp. Borrkärnorna delades upp i bitar med fem årsringar i varje. Varannan bit, med början vid kambiet, maldes tillsammans med övriga nio bitar i gruppen med samma årsringsnummer. Mängden bly, fosfor och svavel analyserades därefter med atomabsorbtionsspektrometri.

5.8 Torr-rådensitet

Torr-rådensiteten bestämdes enligt Arkimedes princip på provklotsar med 20 mm sida, tagna i ett tvärsnitt av stammen vid brösthöjd. I det friska trädet bestämdes torr-rådensiteten som medelvärdet av två provklotsar vid mårgen och därefter som medelvärdet av fyra provklotsar från tre punkter mellan mårgen och kambiet. Det skadade trädets diameter var något större, varför det var möjligt att bestämma densiteten vid fyra punkter mellan mårgen och kambiet.

5.9 Hållfasthetsegenskaper

De fyra stamsektionerna från vardera träd genomsågades och märkeklövs så att två 30 mm tjocka "brädor" erhöles från varje stamsektion. "Brädorna" delades därefter upp i 20 x 20 mm stora ämnen. Två ämnen från varje sektion representerar veden närmast mörken, därefter representeras varje provpunkt av fyra ämnen. Endast ämnen fria från kvistar och skador accepterades, varför varje provpunkt inte alltid representeras av fyra ämnen. Efter att ämnena konditionerats, hyvlades och sågades ämnena upp i provstavar enligt gällande ISO-normer för:

böjhållfasthet	ISO nr 3133
draghållfasthet	ISO nr 3345
böjelasticitetsmodul	ISO nr 3349

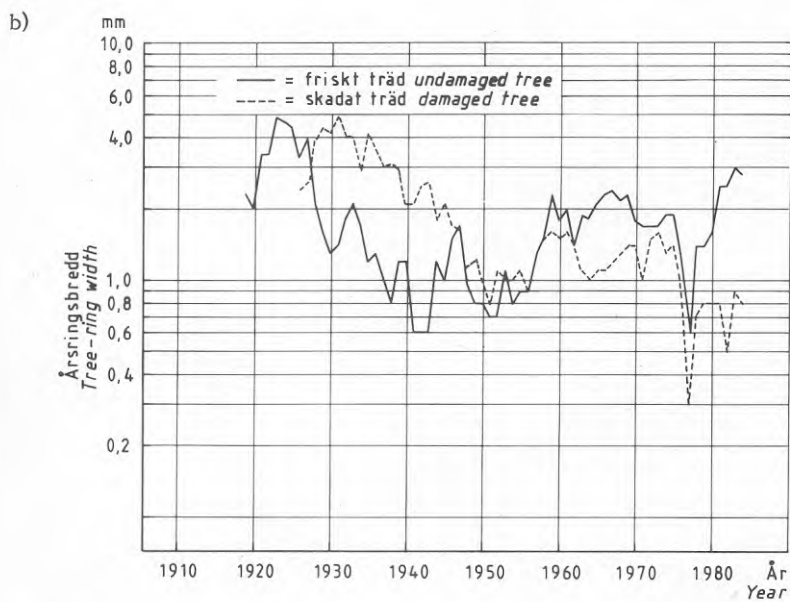
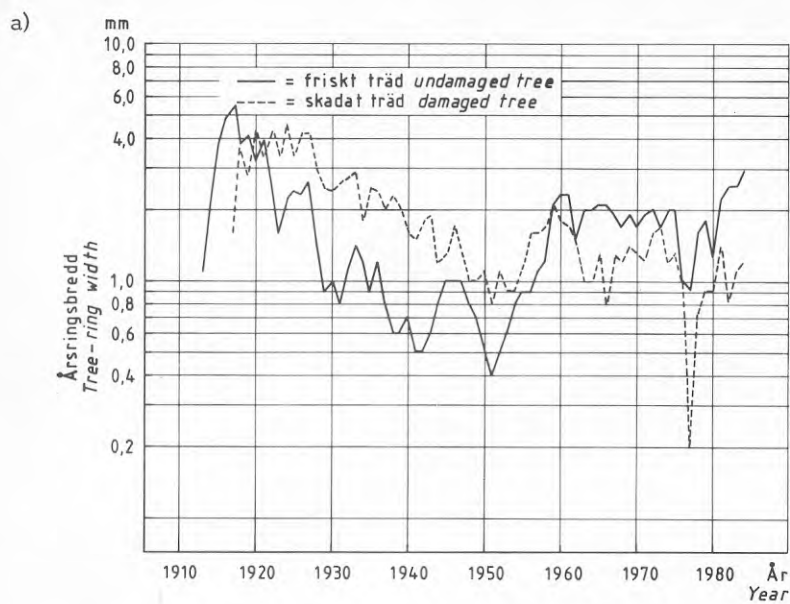
6. RESULTAT

6.1 Årsringsanalys

Som figur 5 visar ökade årsringsbredden de första åren från mörken mot kambiet på samtliga fyra undersökta höjder i de två provträden. Största tillväxten 5,5 mm noterades fyra år efter att den friska granen nått bröst-höjd. Det finns en trend till att största årsringsbredden minskar med ökande höjd i träden.

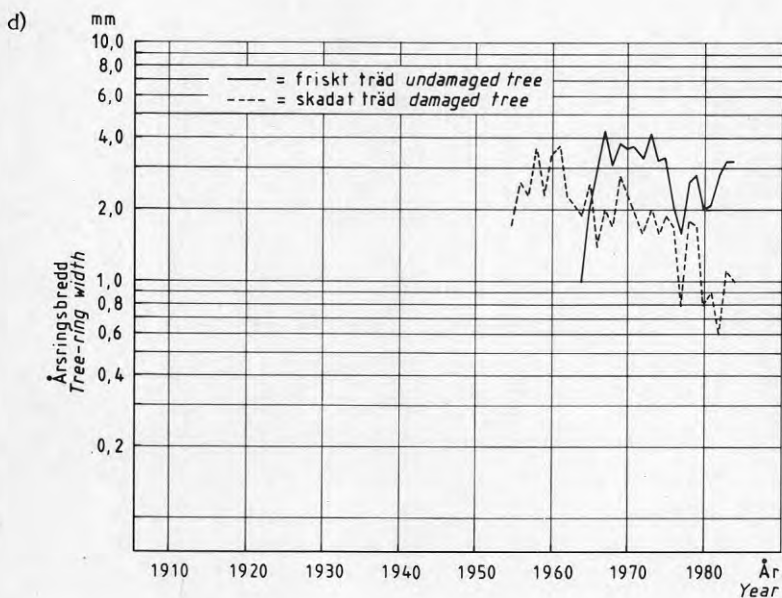
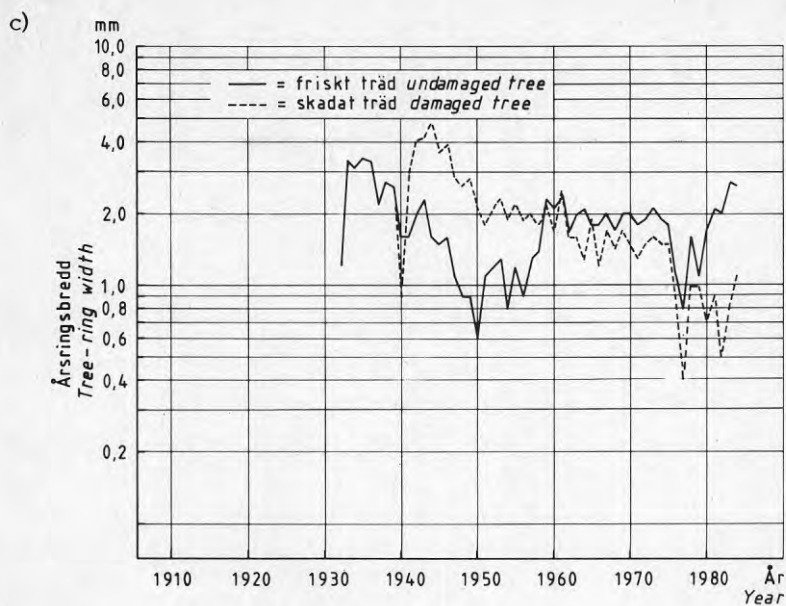
Tillväxten vid de två trädens bröst-höjd sjönk kontinuerligt fram till början av 1950-talet. I den friska granen minskade årsringsbredden från 5,5 mm till 0,4 mm under åren 1917 till 1951. Minskningen för den skadade granen var från 4,6 mm 1924 till 0,8 mm 1951. Därefter ökade åter tillväxten för bägge träden och var ca 2 mm 1960. Under tiden fram till 1960 var den årliga tillväxten störst hos den skadade granen, därefter var tillväxten störst hos den friska.

Från 1960 till 1975 var den friska granens tillväxt ca 2,0 mm om året, medan den skadade granens tillväxt varierade mellan 0,8 och 1,8 mm. Under det extremt torra året 1976 sjönk den skadade granens tillväxt till endast



Figur 5. Tillväxtutvecklingen för de två undersökta granarna, vid a=brösthöjd, b=25 %, c=50 % och d=75 % av trädhöjden.

Growth development for the two investigated spruce, at a = breastheight, b = 25 %, c = 50 % and d = 75 % of tree height.



Figur 5. Tillväxtutvecklingen för de två undersökta granarna, vid a=brösthöjd, b=25 %, c=50 % och d=75 % av trädhöjden.

Growth development for the two investigated spruce, at a = breast height, b = 25 %, c = 50 % and d = 75 % of tree height.

0,2 mm medan tillväxten i den friska granen var 0,9 mm. Därefter ökade åter tillväxten i den friska granen till 3,0 mm och i den skadade till 1,2 mm vid avverkningstidpunkten 1984. Liknande tillväxttrend som vid trädens brösthöjd noteras även i bägge trädens tre övriga undersökta nivåer.

6.2 Andelen kärna

Antalet årsringar räknat från mörgen som omfattades av kärnved var 44 vid brösthöjd i den friska granen och 40 i den skadade. Som tabell 3 visar ökar skillnaden mellan den friska och den skadade granen vid 25 och 50 % av trädhöjden. Vid 75 % av trädhöjden är däremot skillnaden i antal årsringar som omfattas av kärnveden endast en årsring.

Tabell 3. Antalet årsringar, räknat från mörgen, som omfattas av kärnved.
Number of annual rings, from the pith, as included of heart wood.

	Brösthöjd Breast height	Procent av trädhöjden Percent of tree height		
		25	50	75
Frisk gran Healthy spruce	44	39	30	7
Skadad gran Damaged spruce	40	29	18	8

Kärnans andel av stamtrissan kan beräknas som procent av radien eller som procent av arean. I tabell 4 redovisas kärnans procentuella andel av stamtrissornas radie medan tabell 5 redovisar kärnans procentuella andel av stamtrissornas area.

Som båda tabellerna visar är den friska granens kärna, i stammens nedre del, avsevärt mindre än den skadade granens. Vid 50 och 75 % av stamhöjden är kärnandelen dock ungefär lika stor för de båda träden.

I den skadade granen var kärnans utbredning mycket oregelbunden vid brösthöjd och 25 % av trädhöjden jämfört med den friska granen och i trädets två övre provtrissor.

Tabell 4. Kärnans procentuella andel av stamtrissans radie.
Heart wood percentage portion of stem cross-sectional radius.

	Brösthöjd Breast height	Procent av trädhöjden Percent of tree height		
		25	50	75
Frisk gran Healthy spruce	58,2	55,7	56,0	34,0
Skadad gran Damaged spruce	72,2	70,5	56,2	38,1

Tabell 5. Kärnans procentuella andel av stamtrissans area.
Heartwood percentage portion of stem cross-sectional area.

	Brösthöjd Breast height	Procent av trädhöjden Percent of tree height		
		25	50	75
Frisk gran Healthy spruce	34,6	31,8	31,7	15,0
Skadad gran Damaged spruce	54,8	48,4	32,9	12,7

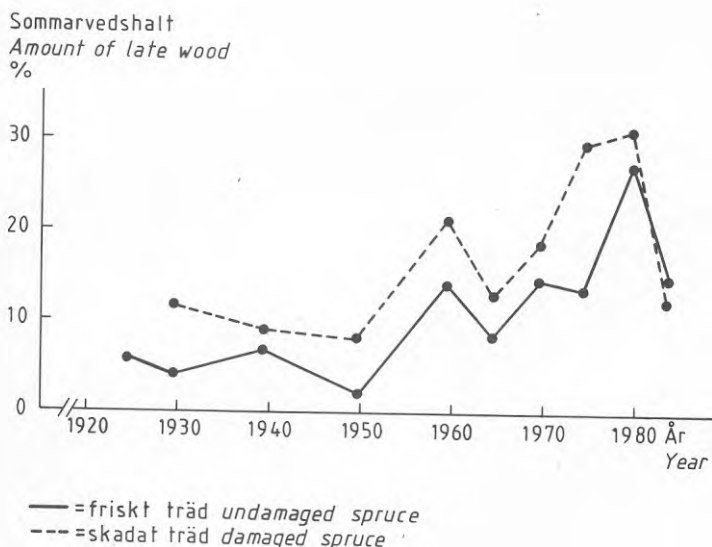
6.3 Andel sommarved

I den friska granen ökade andelen sommarved från 4,4 % till 27,0 % under åren från 1930 till 1980 (figur 6). Några sommarvedstrakeider kunde dock inte noteras i årsringarna 4 och 55 (år 1924 och 1970). I flera andra årsringar noterades endast en eller två trakeidrader med sommarved, vilket får anses som mycket anmärkningsvärt. Dessutom noterades traumatiska hartskanaler i årsring 5.

Även i den skadade granen ökade sommarvedshalten från 1930 till 1980. Ökningen var från 11,5 % till 31,0 %.

Under hela perioden från 1930 till 1980 noterades högre andel sommarved i den skadade granen än i den friska granen.

Från 1980 till 1984 sjönk sommarvedsandelen i både den friska och den skadade granen till 14,9 respektive 12,3 %.



Figur 6. Andel sommarved vid 25 % av trädhöjden.
Portion late wood at 25 % of tree height.

6.4 Trakeidväggstjocklek

I figurerna 7 och 8 kan man se att trakeidväggen är tjockare i den tangentiella riktningen än i den radiella, för både vår- och sommarvedstrakeider. I den friska granens sommarved förekom dock vissa variationer. För den friska granens vårved och för både vår- och sommarved i den skadade granen är skillnaden i väggstjocklek mellan tangentiell och radiell riktning statistiskt säkerställd på 95-procentsnivån.

Att vårvedens väggar är tunnare än sommarvedens är även statistiskt säkerställt på 95-procentsnivån, i alla årsringar utom för årsring 1984 i den friska granen, för både den skadade och friska granen samt i radiell såväl som i tangentiell riktning.

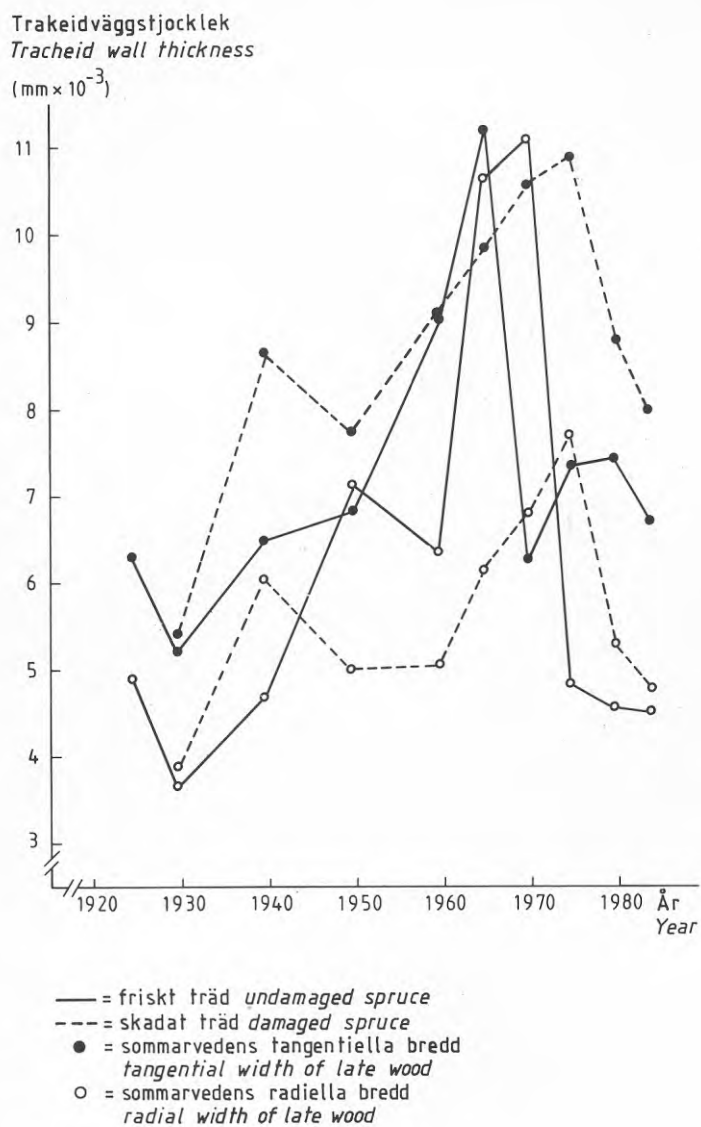
Trakeidväggstjockleken i den friska granens vårved ökade i både tangentiell och radiell riktning fram till 1965-70, varefter en markant sänkning kunde

noteras till 1984. I den skadade granen ökade trakeidväggstjockleken fram till 1974 för att därefter minska. Från trädets ungdomsstadium till 1965-75 var ökningarna i trakeidväggstjocklek ca 100 %, för att fram till 1984 sjunka till nästan samma nivå som i ungdomsstadiet.

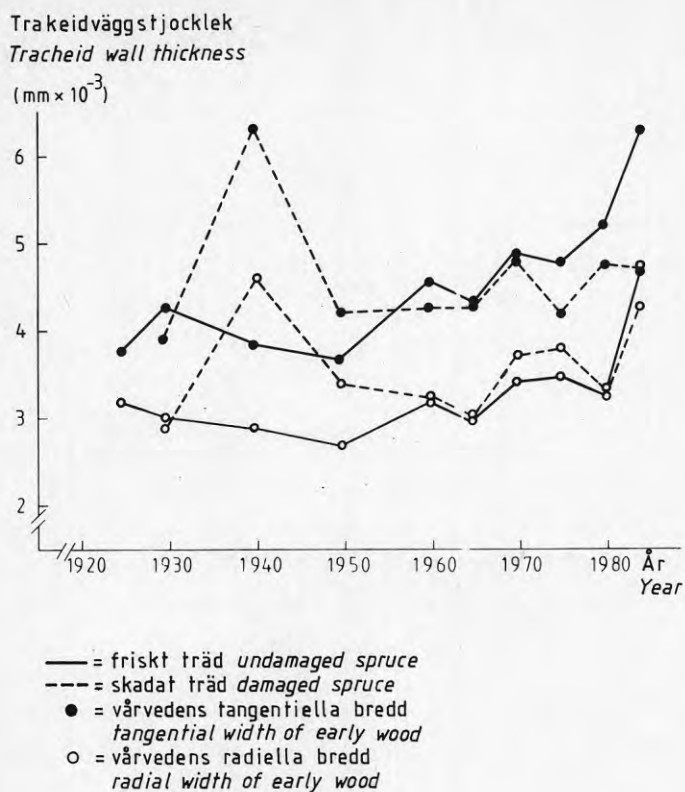
Det finns en tendens till att vårvedens trakeidväggstjocklek till viss mån följer årsringsbredden. Detta avspeglar sig i att den friska granens trakeidväggstjocklek minskade i både tangentiell och radiell riktning till 1950, varefter den ökade till 1984, vilket även årsringsbredden gjorde. I den skadade granen ökade vårvedstrakeidernas väggstjocklek till 1940, för att därefter minska till 1950 och sedan åter öka något till 1984.

En intressant iakttagelse är att vårvedens trakeidväggstjocklek ökade markant mellan åren 1980 och 1984, medan sommarvedens trakeidväggstjocklek fortsatte att minska under samma tidsperiod.

Sedan 1960 har ringporerna i de trakeidrader som ligger intill mörgrådlarna i den skadade granen varit extremt stora. Dessutom har ett stort antal sommarvedstrakeider i det skadade trädet mer eller mindre saknat cellumen. Dessa fenomen har inte kunnat noteras i den friska granen.



Figur 7. Sommarvedstrakeidernas väggstjocklek vid 25 % av trädhöjden.
The wall thickness of late wood tracheids at 25 % of tree height.



Figur 8. Vårvedstrakeidernas väggstjocklek vid 25 % av trädhöjden.

The wall thickness of early wood tracheids at 25 % of tree height.

6.5 Trakeidlängd

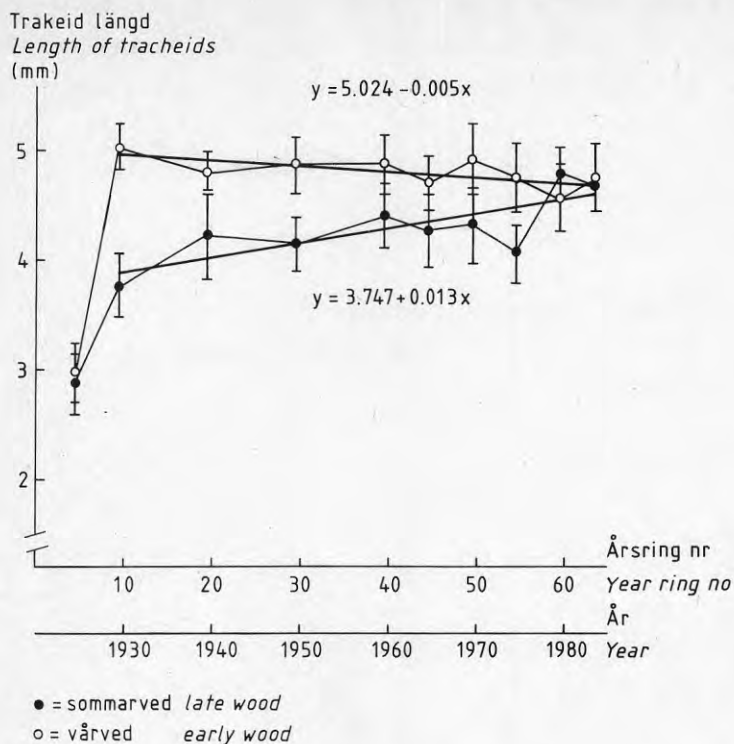
I den friska granen ökade vårvedstrakeidernas längd från 3,0 mm till 5,0 mm mellan årsringarna 4-5 och 9-10, vid 25 % av trädhöjden. Ökningen var signifikant på 99,9 %-nivån. Från den 9-10:de årsringen och ut mot kambiet varierade längden hos vårvedstrakeiderna mellan 4,5 och 5,0 mm. En svag men ej signifikant minskning av trakeidlängden kunde dock noteras (figur 9).

Längden hos den friska granens sommarvedstrakeider ökade från 2,8 mm till 4,2 mm mellan årsringarna 4-5 och 19-20. Ökningen var signifikant på 99,9 %-nivån. Från den 19-20:de årsringen och ut mot kambiet varierade längden hos sommarvedstrakeiderna mellan 4,1 och 4,8 mm. Det är en klar om ej signifikant ökning av längden (figur 9).

Bildas medellängden av vår- och sommarvedstrakeiderna visar det sig att medellängden ökar starkt de tio åren närmast mörgen, för att därefter öka svagare ut mot kambiet. Från årsring 44-45 till 54-55 noterades dock en mindre sänkning av medeltrakeidlängden. Vid de två mätpunkterna närmast kambiet noterades dock den största medeltrakeidlängden.

Från årsring 9-10 till årsring 29-30 var vårvedstrakeiderna signifikant längre än sommarvedstrakeiderna på 95-procentsnivån. Därefter minskade skillnaden och någon signifikant skillnad i längd mellan vår- och sommarvedstrakeider kunde inte noteras från årsring 54-55. Noterbart är dock att medelvärdet av sommarvedstrakeiderna var längre än vårvedstrakeiderna för årsring 59-60 och lika för årsring 63-64.

En regressionsanalys visade att medellängden av den friska granens vår- och sommarvedstrakeider ökade från 4,4 mm vid årsring 9-10 till 4,6 mm vid kambiet (figur 11).



Figur 9. Den friska granens trakeidlängd, med ett 95 procentigt konfidensintervall inlagt, för olika år vid 25 % av trädhöjden.

The healthy tree's tracheid length (at a 95 % confidence interval) for different years at 25 % of tree height.

Som figurerna 9 och 10 visar är det stor skillnad i utvecklingen av trakeidernas längd i den friska och den skadade granen. I den skadade granen är det till skillnad från den friska granen, sommarvedstrakeiderna som är längst från årsring 14-15 till årsring 54-55. För årsring 59-60, (närmast kambiet) var vårvedstrakeiderna dock längre än sommarvedstrakeiderna.

För att kunna fånga upp eventuella skillnader i trakeidlängd från 1960 till avverkningsstidpunkten räknades årsringarna från kambiet. Därför överensstämmer inte provtagningsåren i figurerna 9 och 10, eftersom det noterades 64 årsringar vid 25 % av trädhöjden i den friska granen men endast 60 årsringar i den skadade granen.

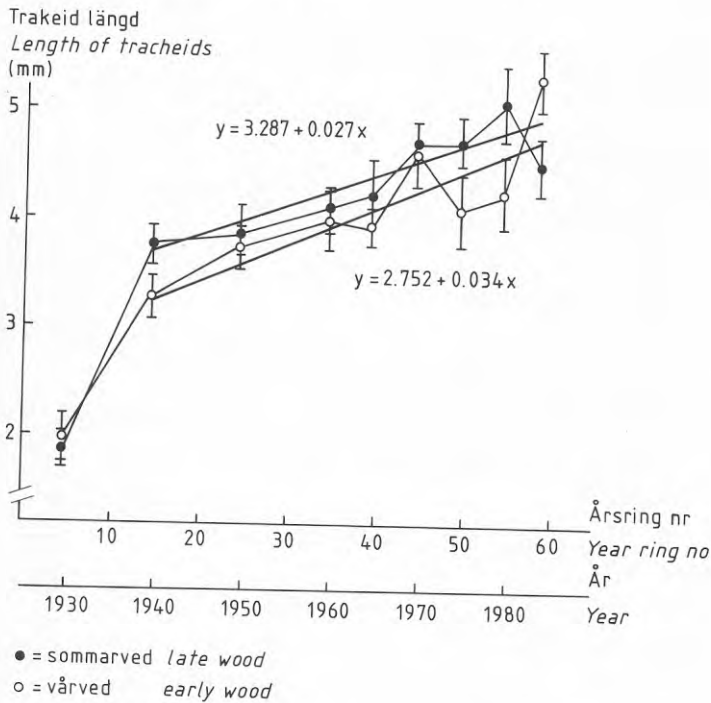
Både i den friska och i den skadade granens ungdomsstadium konstaterades en signifikant skillnad i trakeidlängd mellan vår och sommarved. Skillnaden i

trakeidlängd är dock mindre i den skadade granen, där signifikans på 95 %-nivån endast registrerats för årsring 14-15. Till skillnad från den skadade granen finner man dock att trakeidlängden hos den friska granens vår- och

sommarved är signifikant skilda på 95 %-nivån, för tre provtagningspunkter i ungdomsåren.

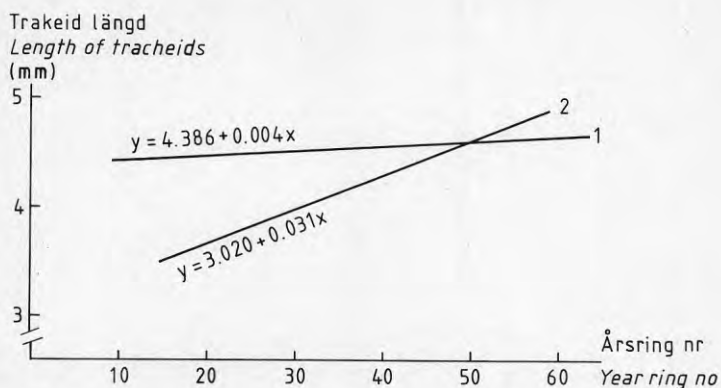
En regressionsanalys visade att medellängden av den skadade granens vår- respektive sommarvedstrakeider ökade från 3,4 mm vid årsring 14-15 till 4,8 mm vid kambiet (figur 11).

Den skadade granens trakeider var således kortare än den friska granens, under större delen av trädens livstid. De senaste åren var dock den skadade granens trakeider längre än den friska granens.



Figur 10. Den skadade granens trakeidlängd, med ett 95-procentigt konfidensintervall inlagt, för olika år vid 25 % av trädhöjden.

The damaged tree's tracheid length (at 95 % confidence interval) for different years at 25 % of tree height.



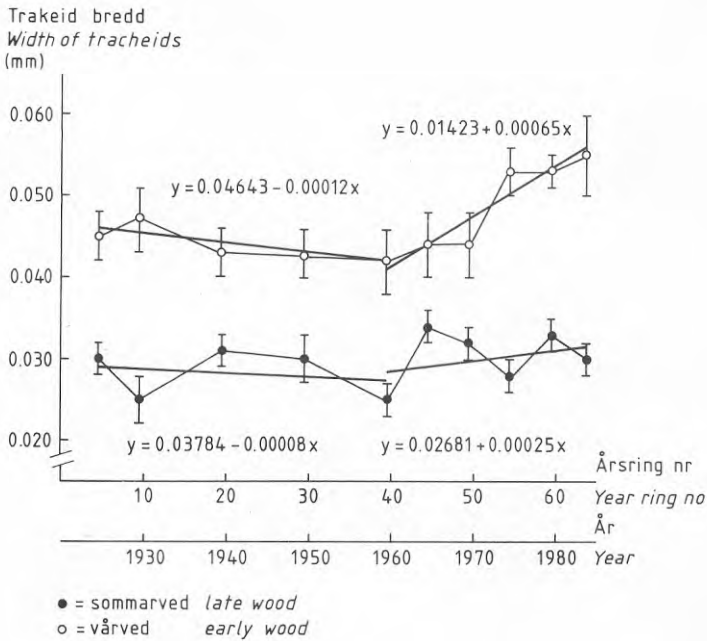
Figur 11. Regressionslinjen $y = a + bx$ för medellängden av vår- och sommarvedstrakeider för 1 = den friska granen och 2 = den skadade granen.

Regression curves for $y = a + bx$ for the average length of early- and late wood tracheids. 1 = healthy tree, 2 = damaged tree.

6.6 Trakeidbredd

Den friska granens vårvedstrakeider minskade kontinuerligt i bredd, från 0,045 mm till 0,042 mm under åren från årsring 4-5 till årsring 39-40. Minskningen i bredd var dock inte signifikant på 95-procentsnivån. Därefter ökade trakeidbredden kontinuerligt till 0,055 mm vid kambiet. Denna ökning var däremot signifikant på 95-procentsnivån (figur 12). En beräknad regressionslinje för samtliga mätpunkter visar att vårvedens medeltrakeidbredd ökade från 0,043 mm vid årsring 4-5 till 0,051 mm vid kambiet.

Även sommarvedstrakeiderna minskade i bredd de första åren, om än inte så markant som vårvedstrakeiderna. Från årsring 4-5 till årsring 39-40 minskade bredden från 0,030 mm till 0,025 mm, vilket var signifikant på 95-procentsnivån. Liksom för vårveden ökade sommarvedens trakeidbredd från årsring 39-40 och ut mot kambiet. Ökningen var från 0,025 mm till 0,030 mm, vilket även var signifikant på 95-procentsnivån. Ökningen var dock inte kontinuerlig som i vårveden (figur 12). En beräknad regressionslinje, för samtliga mätpunkter visar en positiv korrelation, vilket tyder på en kontinuerlig ökning av trakeidbredden från 0,028 mm vid årsring 4-5 till 0,031 mm vid kambiet.

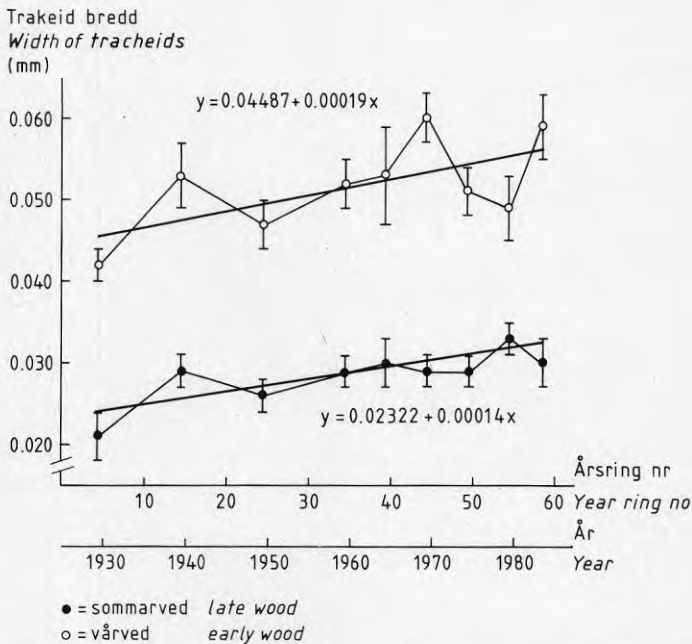


Figur 12. Den friska granens trakeidbredd, med ett 95-procentigt konfidensintervall samt regressionslinjer inlagda, för olika år vid 25 % av trädhöjden.

The healthy tree's tracheid width, with a 95 % confidence interval plus regression curves included, for different years at 25 % of tree height.

I den skadade granen noterades, till skillnad från den friska granen, en i stort sett kontinuerlig ökning av trakeidbredden från årsring 4-5 och ut mot kambiet i både vår- och sommarved. Vid årsring 4-5 var trakeidbredden i vårveden 0,042 mm och vid kambiet 0,059 mm. Ökningen var signifikant på 99,9-procentsnivån (figur 13). En beräknad regressionslinje visar att vårvedens medeltrakeidbredd ökade från 0,046 mm vid årsring 4-5 till 0,056 mm vid kambiet.

I sommarveden ökade trakeidbredden från 0,021 mm vid årsring 4-5 till 0,030 mm vid kambiet. Ökningen var signifikant på 95-procentsnivån (figur 13). Regressionslinjen visar att sommarvedstrakeidens bredd ökade från 0,024 mm vid årsring 4-5 till 0,032 mm vid kambiet.

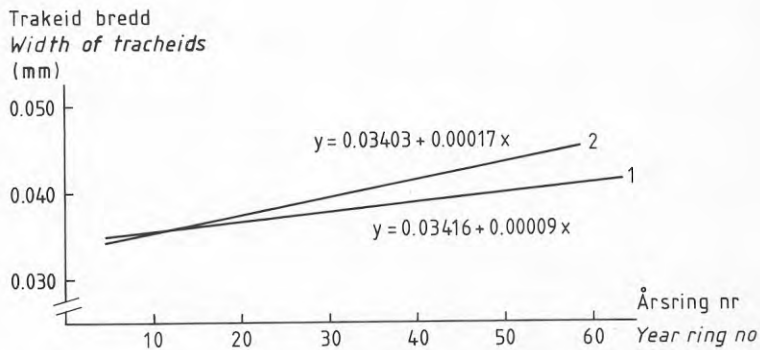


Figur 13. Den skadade granens trakeidbredd med ett 95-procentigt konfidensintervall samt regressionslinje inlagd, för olika år vid 25 % av trädhöjden.

The damaged tree's tracheid width, with a 95 % confidence level plus regression curves included, for different years at 25 % of tree height.

De beräknade regressionslinjerna, för det bildade medelvärde av vår- och sommarvedstrakeidernas bredd, visar att trakeidbredden i den friska granen ökade från 0,035 mm vid årsring 4-5 till 0,042 mm vid kambiet, medan trakeidbredden i den skadade granen ökade från 0,028 mm vid årsring 4-5 till 0,045 mm vid kambiet. Trakeidbredden i den skadade granen ökade således

avsevärt mer från årsring 4-5 till kambiet än vad som var fallet i den friska granen (figur 14).



Figur 14. Regressionslinjen $y = a + bx$ för medelbredden av vår- och sommarvedstrakeider för 1 = den friska granen och 2 = den skadade granen.

Regression curves $y = a + bx$ for the average width of early and late wood tracheids. 1 = healthy tree and 2 = damaged tree.

6.7 Kemiska analyser

I tabellerna 6-8 redovisas analysresultaten av mängden bly, fosfor och svavel i trädens radialsnitt. Det går inte att utläsa någon tendens till huruvida mängderna ökar eller minskar från mörgen mot kambiet.

Medelvärdena av samtliga friska respektive skadade granar visar däremot att de skadade granarna innehöll 107 % mer bly, 41 % mer fosfor och 13 % mer svavel än de friska granarna. Standardavvikelserna är dock stora vilket medfört att de högre mängderna fosfor och svavel inte är signifikant säkerställda på 95-procentsnivån. Den större mängden bly i de skadade granarna är däremot signifikant skillt från de friska granarna på 99-procentsnivån.

Tabell 6. Mängden bly i mg/kg torr ved för 30 friska och 30 skadade granar. Varje värde utgörs av en blandning av prov från 10 träd.

Amount of lead in mg/kg dry wood for 30 healthy and 30 damaged trees. Each value is made up of a mix of samples from 10 trees.

Årsring nr (räknat från kambiet) Annual ring No (counting from the cambium)	Friska granar Healthy trees			Skadade granar Damaged trees		
	1	2	3	4	5	6
1-5	21	23	48	59	39	46
10-15	28	20	36	42	65	61
20-25	16	20	44	44	120	61
30-35	20	16	25	42	42	44
40-45	12	20	35	45	54	47
50-55	12	31	18	21	42	47
\bar{x}		24.7			51.2	
s		10.4			20.0	

Tabell 7. Mängden fosfor i mg/kg torr ved för 30 friska och 30 skadade granar. Varje värde utgörs av en blandning av prov från 10 träd.

Amount phosphorus in mg/kg dry wood for 30 healthy and 30 damaged trees. Each value is made up of a mix of samples from 10 trees.

Årsring nr (räknat från kambiet) Annual ring No (counting from the cambium)	Friska granar Healthy trees			Skadade granar Damaged trees		
	1	2	3	4	5	6
1-5	200	170	190	290	180	320
10-15	120	68	99	110	210	110
20-25	61	90	45	100	290	110
30-35	59	51	61	67	130	77
40-45	95	34	71	78	150	90
50-55	130	260	68	180	60	94
\bar{x}		104			147	
s		62.3			82	

Tabell 8. Den procentuella andelen svavel för 30 friska och 30 skadade granar. Varje värde utgörs av en blandning av prov från 10 träd.

The percent portion of sulfur for 30 healthy and 30 damaged trees. Each value is made up of a mix of samples from 10 trees.

Årsring nr (räknat från kambiet) Annual ring No (counting from the cambium)	Friska granar <u>Healthy trees</u>			Skadade granar <u>Damaged trees</u>		
	1	2	3	4	5	6
1-5	0.10	0.04	0.10	0.17	0.10	0.08
10-15	0.11	0.01	0.17	0.08	0.12	0.07
20-25	0.11	0.03	0.10	0.05	0.01	0.09
30-35	0.14	0.04	0.09	0.11	0.06	0.12
40-45	0.15	0.01	0.13	0.08	0.09	0.15
50-55	0.10	0.01	0.08	0.09	0.06	0.18
\bar{x}		0.084			0.095	
s		0.050			0.042	

6.8 Torr-rådensitet

Som tabell 9 visar ökade torr-rådensiteten i den friska granen från 344 kg/m³ fast volym vid mörgen till 429 kg/m³ vid de två provpunkterna närmast kambiet.

Vid mörgen i den skadade granen var torr-rådensiteten ca 10 kg/m³ högre än i den friska granen. Torr-rådensiteten ökade kontinuerligt från mörgen och utåt och var vid kambiet ca 45 kg/m³ högre än i den friska granen.

Tabell 9. Torr-rådensiteten i stamtvårsnittet vid bröst höjd.
Basic density in a stem cross-section at breast height.

	Frisk gran Undamaged spruce (kg/m ³)	Skadad gran Damaged spruce (kg/m ³)
Märg	344	352
Pith	382	353
	429	434
	429	472
Kambium Cambium		474

6.9 Hållfasthetsegenskaper

Böjhållfastheten har testats på 39 provstavar från den friska och 29 från den skadade granen. Medelvärde noterades till 91 N/mm² för den friska och 90 N/mm² för den skadade granen. För bägge träden varierade värdena mellan 64 och 105 N/mm².

Böjhållfastheten visade för bägge träden en tendens till att öka från bröst höjd till 25-50 % av trädhöjden för att därefter avta mot toppen. Antalet provstavar är dock för litet för att dra några säkra slutsatser om resultatet (tabell 10). Böjhållfastheten visade likaså tendens att öka från märgen till stammens halva radie för att därefter avta i den friska granen medan den fortsatte att öka mot kambiet i den skadade granen (tabell 11).

Tabell 10. Böjhållfasthet vid olika trädhöjd i de två undersökta granarna.

Bending strength at different tree height in the two investigated spruces.

	Höjd av trädet Height of the tree	Antal prov- stavar Number of test pieces	σ_b (N/mm ²)			Standard- avvikelse Standard deviation
			min	medel	max	
Frisk gran Healthy spruce	Dbh	13	75	91	99	7.4
	25 %	13	64	94	105	12.0
	50 %	10	87	98	101	5.4
	75 %	3	74	81	84	5.6
	medelvärde mean value	39		91		7.3
Skadad gran Damaged spruce	Dbh	13	64	93	102	11.4
	25 %	6	85	102	105	8.8
	50 %	7	80	88	98	5.8
	75 %	3	68	76	86	9.2
	medelvärde mean value	29		90		10.8

Tabell 11. Böjhållfasthet i stammens radie från märgen till kambiet i de två undersökta granarna.

Bending strength in trunk radius from pith to cambium in the two investigated spruces.

	Prov-stavarnas position Testpieces position	Antal prov-stavar Number of test pieces	σ_b (N/mm ²)			Standard-avvikelse Standard deviation
			min	medel	max	
Frisk gran Healthy spruce	märg	3	64	82	106	22.0
	pith	10	74	86	101	8.6
		17	85	98	105	5.6
	kambium cambium	6	89	97	101	4.6
		3	91	94	96	3.2
Skadad gran Damaged spruce	märg	2	73	76	80	5.0
	pith	11	64	85	99	10.6
		10	83	97	109	8.8
		4	102	102	102	0.4
	kambium cambium	2	102	102	103	1.1

Böjelasticitetsmodulen var liksom böjhållfastheten något högre i den friska granen (9875 N/mm²) än i den skadade (9740 N/mm²). För båda träden ökade böjelasticiteten från brösthöjd till 25 % av trädhöjden för att därefter avta mot trädets topp (tabell 12). I den skadade granens radie ökade böjelasticitetsmodulen från märgen ut mot kambiet. I den friska granen var tendensen densamma utom i veden närmast kambiet där böjelasticitetsmodulen var avsevärt lägre än vid halva radien (tabell 13). Några statistiskt säkerställda skillnader mellan elasticitetsmodulen i den friska och den skadade granen stod ej att finna.

Tabell 12 Böjelasticitetsmodulen vid olika trädhöjd i de två undersökta granarna.

The bending modulus of elasticity at different tree height in the two investigated spruces.

	Höjd av trädet Height of the tree	Antal provstavar Numbers of test-pieces	E (N/mm ²)			Standardavvikelse Standard deviation
			min	medel	max	
Frisk gran Healthy spruce	Dbh	13	6610	9170	12530	1710
	25 %	13	6240	11650	14510	2320
	50 %	10	8270	10250	13330	1570
	75 %	3	7700	8430	9100	700
	medelvärde mean value	39		9875		1400
Skadad gran Damaged spruce	Dbh	13	5840	9490	12230	2300
	25 %	6	10200	12430	16340	2180
	50 %	7	8450	9410	11840	1270
	75 %	3	6690	7630	8900	1140
	medelvärde mean value	29		9740		1990

Tabell 13 Bøjelasticitetsmodulen i stammens radie från märgen till kambiet i de två undersökta granarna.

The bending modulus of elasticity in trunk radius from pith to cambium in the two investigated spruces.

	Prov-stavarnas position Testpieces position	Antal prov-stavar Number of testpieces	E (N/mm ²)			Standard-avvikelse Standard deviation
			min	medel	max	
Frisk gran Healthy spruce	märg	3	6240	7960	9590	1680
	pith	11	6610	9370	13330	2300
		17	8480	10900	14510	1700
		5	9260	12150	14380	1850
	kambium cambium	3	8260	8680	9050	400
Skadad gran Damaged spruce	märg	2	6690	8840	10980	3030
	pith	11	5840	8880	11840	1900
		10	6160	10040	16340	2840
		4	9840	11850	13290	1450
	kambium cambium	2	11970	12100	1223	180

Till skillnad mot böjhållfasthet och bøjelasticitetsmodul var skillnaden i draghållfasthet signifikant högre på 95-procentsnivån i den friska än i den skadade granen. Medelvärde för den friska granen noterades till 46 N/mm² medan det noterades till 39 N/mm² för den skadade granen. I trädets höjded visade draghållfastheten samma tendens som böjhållfastheten, dvs att hållfastheten ökade från brösthöjd till 25-50 % av trädhöjden för att därefter avta mot trädets topp (tabell 14). I trädets radie uppvisar draghållfastheten dock ett annat mönster än böjhållfastheten. Draghållfastheten i den friska granen ökade från märgen till andra provstavens position för att därefter minska mot kambiet. I den skadade granen ökade draghållfastheten till tredje provstavens position för att därefter minska för att ånyo öka närmast kambiet (tabell 15).

Tabell 14. Draghållfasthet vid olika trädhöjd i de två undersökta granarna.

Tensile strength at different tree height in the two investigated spruces.

	Höjd av trädets Height of tree	Antal provstavar Number of test pieces	σ_d (N/mm ²)			Standardavvikelse Standard deviation
			min	medel	max	
Frisk gran Healthy spruce	Dbh	9	24	41	80	17.1
	25 %	8	29	46	81	16.1
	50 %	9	26	59	98	27.4
	75 %	7	27	38	64	13.6
	medelvärde mean value	33		46		9.3
Skadad gran Damaged spruce	Dbh	9	23	44	93	20.7
	25 %	9	35	49	87	17.8
	50 %	8	23	38	68	17.2
	75 %	5	21	25	30	3.5
	medelvärde mean value	31		39		10.4

Tabell 15 Draghållfasthet i stammens radie från märgen till kambiet i de två undersökta granarna.

Tensile strength in trunk radius from pith to cambium in the two investigated spruces.

	Prov-stavarnas position Test pieces position	Antal prov-stavar Number of test pieces	σ_d (N/mm ²)			Standard-avvikelse Standard deviation
			min	medel	max	
Frisk gran Healthy spruce	märg pith	7	24	29	41	5.5
		16	29	54	87	20.7
	kambium cambium	8	29	50	81	21.3
		2	34	35	35	1.1
Skadad gran Damaged spruce	märg pith	4	23	28	33	4.3
		12	23	34	47	9.3
	kambium cambium	11	26	53	93	23.8
		2	23	25	36	12.6
		2	41	48	54	8.6

7. DISKUSSION

7.1 Årsringsanalys

Till skillnad mot resultaten som Bauch & Frühwald (1983) och Bauch m.fl. (1979) redovisat har den skadade granens tillväxt varit större än den friska granens fram till 1960 i föreliggande undersökning. Därefter avtog tillväxten kraftigare för den skadade granen än för den friska.

Att tillväxten var förhållandevis låg under det torra året 1976 har även Bauch & Frühwald (1983) och Bauch m.fl. (1979) kunnat konstatera.

Årsringsbreddens kraftiga minskning från 1920-talet till 1950, varefter den åter ökade, är svår att förklara. En möjlig förklaring är beståndsbehandlingen, vilken dock är svår att analysera då eventuella röjnings- och gallringstidpunkter inte finns dokumenterade. Detsamma gäller för uttagens storlek.

Liknande brister finns även i övrig refererad litteratur. De analyserade trädens tillväxt kan med andra ord ha varit beroende av konkurrensen från omgivande trädindivider.

7.2 Andel kärna

Det kan tyckas märkligt att den friska granens kärna omfattat flera årsringar än den skadade granens, trots att kärnvedsandelen var mindre. Detta beror dock på att den friska granens tillväxt varit lägre än den skadade granens, under trädens ungdomsår.

Jämförs den registrerade andelen kärna vid brösthöjd för den friska granen med de resultat som redovisas av Hermansson & Säll (1985) är skillnaden ca 3,5 procentenheter (58,2 % respektive 54,8 %). Differensen får anses vara liten vid jämförelse med skillnaden 13,2 procentenheter (72,2 % respektive 59,0 %) för den skadade granen.

Differensen i kärnvedsandel mellan den friska och skadade granen ligger dock i samma storleksordning som Bauch m.fl. (1978) redovisat för silvergran.

Resultaten från den friska granen tyder på att kärnandelen är relativt konstant upp till ca 50 % av trädhöjden. Därefter minskar kärnandelen med ökande höjd i trädet. Likaså tyder resultaten på att det skadade trädets kärnandel börjar att öka vid stambasen.

Inte i något av de två provträden kunde vattved observeras i kärnan.

7.3 Andel sommarved

I de båda undersökta träden noterades en ökning av sommarvedsandelen från mörgen till år 1980. Någon liknande tendens har inte Eckstein m fl (1981) noterat vid undersökning av en gran och en silvergran. Anledningen till skillnaden i sommarvedsutveckling mellan de två undersökningarna kan stå att finna i olika beståndsbehandling.

Att sommarvedsandelen minskat i både den friska och den skadade granen från 1980 till 1984 kan bero på att den friska granen såg friskt ut, men att den redan var skadad av luftföroreningar. Det torde vara rimligt att anta att träden inte faller barr vid en liten skada, men att barrfällningen startar när en viss skadenivå uppnåtts.

7.4 Trakeidväggstjocklek

I föreliggande studie har sommarvedens trakeidväggstjocklek minskat för båda träden de senaste 10-20 åren. Bauch & Frühwald (1983) noterade inte heller någon skillnad i trakeidväggstjocklek mellan skadade och friska träd. De har dock inte redovisat hur trakeidväggstjockleken varierat under trädens livstid.

Att trakeidväggstjockleken de senaste åren minskat i sommarveden och att den ökat i vårveden, samtidigt som sommarvedsandelen minskat, kan tyda på att de två undersökta träden börjat bilda hungerved. Detta tyder på näringsbrist med försämrad livskraft som följd.

7.5 Trakeidlängd

I de båda undersökta träden följer utvecklingen av medeltrakeidlängden i stammens radie den gängse uppfattningen att trakeidernas längd ökar kraftigt de 10-20 årsringarna närmast mörgen, därefter ökar trakeidernas längd allt långsammare ut mot kambiet. Ökningen i trakeidlängd de första 10-20 åren var dock inte så markant i den skadade granen som i den friska. Däremot var medeltrakeidlängden ungefär lika de sista 15 årsringarna mot kambiet. Detta torde bero på att årsringsbredden var större i den skadade granen under de första 20 årsringarna närmast mörgen. Därefter var årsringsbredden ungefär lika för båda träden, fränsett de sista 7-8 åren närmast kambiet där den friska granen hade avsevärt bredare årsringar än den skadade granen. Bisset m.fl. (1951) liksom Resch & Arganbright (1968) har visat att en bredare årsring har kortare trakeider och en smalare årsring längre trakeider.

Det anses allmänt, t.ex. Eckstein m.fl. (1981), att sommarvedstrakeiderna är längre än vårvedstrakeiderna. Att vårvedstrakeiderna var längre än sommar-

vedstrakeiderna i den friska granen är därför svårt att förklara. Det finns dock några möjliga förklaringar.

Dadswell & Wardrop (1949), Bisset & Dadswell (1950) och Jones (1957) har visat att trakeidlängden i tryckved är betydligt kortare än i normal ved. Detta kan vara en förklaring. Det torde dock vara högst osannolikt att det var tryckved i hela den undersökta stamtrissans radie.

Stevens (1959) menar att sommarvedstrakeiderna visserligen som regel är längst, men att det finns så många oförklarliga variationer, att ett blandat prov från hela årsringen är bäst vid undersökningar av trakeiddimensioner.

I den friska granen noterades traumatiska hartskanaler i årsring 4, vilket tyder på att trädet skadats i ungdomsåren. Detta kan således vara orsaken till att vårvedstrakeiderna var längre än sommarvedstrakeiderna i den friska granen.

Det går heller inte att utesluta möjligheten att trädets placering i beståndet, liksom betåndsbehandlingen, kan ha påverkat trakeidernas längdutveckling i den friska granen. För denna tes talar att längdskillnaden mellan vår- och sommarvedstrakeider i den friska granen minskade med tiden och att sommarvedens trakeider var längre än vårvedens vid de två provpunkterna närmast kambiet. I den skadade granen noterades det omvända förhållandet, dvs att det inte var någon större skillnad mellan vår- och sommarvedstrakeider under de 45 åren närmast mårgen, men att skillnaden ökade de sista tio åren närmast kambiet.

Den skadade granens trakeidlängd hade således inte påverkats av luftföreningarna.

7.6 Trakeidbredd

Att trakeidbredden ökar från mårgen mot kambiet redovisade Saino redan 1872. Denna observation har sedan verifierats bl.a. av Atmer & Thörnqvist 1982. I den skadade granen är denna trend tydlig för trakeiderna i både vår- och sommarved. I sommarveden kan dock en tendens till minskning av trakeidbredden urskiljas de senaste 15 åren. Dessa år minskade även trakeidlängden. Om minskningen är inom den naturliga variationen eller om orsaken är någon

annan är svårt att avgöra. Det bör dock noteras att trakeidernas längd och bredd ökade i mätpunkten vid kambiet, vilket tyder på att minskningen var tillfällig och således kan ligga inom den naturliga variationen.

I det friska trädet minskade trakeidbredden i både vår- och sommarved de första 40 åren, därefter ökade bredden mot kambiet. En orsak till att trakeidbredden minskade kan vara att trädet blivit skadat i ungdomsåren av vilt eller sork, eller genom att trädet varit behärskat och grenar från andra träd skadat den friska granens topp. Detta verifieras av de traumatiska hartskanalerna som noterades i årsring fyra. Att trakeidbredden i framförallt vårveden ökade de senaste 20-25 åren kan eventuellt bero på att trädet friställts efter en gallring.

Resonemanget stödjer sig på att trädets tillväxt minskade fram till 1950-talet varefter tillväxten ökade. Dessutom var den friska granens tillväxt lägre än den skadade granens till mitten av 50-talet. Därefter var den skadade granens tillväxt lägre än den friska granens.

Utjämnas medelvärden av vår- och sommartrakeidernas bredd visar en regressionslinje att trakeidbredden ökar från mörgen mot kambiet för bägge träden. I den skadade granen kan en avsevärt större ökning noteras än i det friska trädet. Den skadade granens trakeider har således ökat mer i både bredd och längd, än vad den friska granens trakeider gjort.

Trakeidbredden i den skadade granen har således inte nämnvärt påverkats av luftföroreningarna.

7.7 Kemiska analyser

I de skadade granarna var mängden bly ungefär dubbelt så stor invid mörgen som i de friska granarna. Detta är svårt att förklara med ökade luftföroreningar under senare år eftersom träden redan för ca 40 år sedan bildade kärnved invid mörgen. I kärnveden sker ingen transport av vätska eller näringsämnen, varför den större mängden bly i de skadade granarna torde ha fixerats före kärnvedsbildningen, dvs för mer än 40 år sedan. Detsamma gäller även för fosfor, medan tendensen är mera svag för svavel.

Eckstein m fl (1981) har dock med röntgenspektrumteknik konstaterat en ökad mängd fosfor och svavel i de yttre årsringarna hos en gran och en silvergran som utsatts för luftföroreningar under ca 20 år.

7.8 Torr-rådensitet

I ett tvärsnitt av gran har Nylinder (1953) funnit att torr-rådensiteten ökar från den femte årsringen och ut mot kambiet. Enligt Spurr & Hsiung (1954) finns det dock en stark korrelation mellan andelen sommarved och torr-rådensitet. Detta kan medföra att torr-rådensiteten minskar närmast kambiet i gamla granar.

I både den friska och den skadade granen ökade torr-rådensiteten från mörgen och ut mot kambiet. I de två provpunkterna närmast kambiet noterades dock ungefär samma torr-rådensitet. Det är således tydligt att torr-rådensiteten i de båda undersökta träden följer ett normalt förlopp och att luftföroreningarna inte påverkat trädens torr-rådensitet i någon registrerbar grad.

7.9 Hållfasthetsegenskaper

Det är allmänt känt att hållfasthetsegenskaperna ökar när torr-rådensiteten ökar (Kollman 1951, Kufner 1985). Med några få undantag var så även fallet i föreliggande undersökning för böjhållfasthet och böjelasticitetsmodulen. Vad gäller draghållfastheten ökade den för båda träden från mörgen till halva stamradien för att därefter minska mot kambiet, medan torr-rådensiteten ökade hela vägen från mörgen till kambiet.

Den skadade granens torr-rådensitet var 3-10 % högre än den friska granens, sett från mörgen mot kambiet. Böjhållfastheten och böjelasticitetsmodulen var dock ungefär lika stora för båda träden, detta kan tyda på att den skadade granens hållfasthet varit försvagad. Variationen mellan trädindivider är dock så stor att skillnaden troligen ligger inom felmarginalen. Vad som talar för denna teori är att man i tyska undersökningar inte funnit någon skillnad i böjhållfasthet eller böjelasticitetsmodul mellan friska och skadade träd (Bauch & Frühwald; Bauch m fl, 1979).

Inte i någon av den funna litteraturen där skadade träd studerats har draghållfastheten undersökts. Varför draghållfastheten i föreliggande undersökning minskat från halva trädens radie mot kambiet trots att torr-rådensiteten ökat kan inte förklaras med annat än att båda träden i större eller mindre grad skadats av luftföroreningar. Den gran som för ögat såg skadad ut har då troligen påverkats mer än den som såg frisk ut eftersom draghållfastheten var signifikant lägre för den skadade granen samtidigt som blyhalten var signifikant högre.

De erhållna värdena bygger dock på ett litet material och alltför långtgående slutsatser bör därför inte dras på här redovisade resultat. Resultaten tyder dock på att mer djupgående studier bör genomföras.

8. SLUTSATSER

- Träd som skadats av luftföroreningar får sänkt tillväxt och därmed tätare årsringar.
- Andelen kärnved är större och mer oregelbunden i skadade än i friska träd.
- Risken för vattved ökar i skadade träd.
- Det tycks inte vara någon skillnad i andelen sommarved mellan friska och skadade träd, men en minskning av andelen sommarved i de senast anlagda årsringarna kan inte uteslutas i skadade träd.
- Det är troligt att trakeidernas väggtjocklek minskar i samband med att träd utsätts för luftföroreningar.
- Det är även troligt att trakeidlängden minskar i samband med att träd utsätts för luftföroreningar.
- Det finns inget som tyder på att andelen holocellulosa eller lignin förändras i träd som skadats av luftföroreningar.

- Det finns tecken som tyder på att andelen bly och fosfor är högre i skadade träd än i friska.
- Det finns inget som tyder på att virkets böj-, slag- eller tryckhållfasthet förändras i träd som skadats av luftföroreningar. Draghållfastheten tycks dock vara lägre i ved från skadade träd än från friska träd.
- Skadade träd anses inte vara infekterade av blånads- eller rötsvampar i högre grad än friska träd.
- Timmer från skadade träd kan inte lagras lika länge som timmer från friska träd eftersom blånads- och rötsvampar angriper timret efter kortare tid än timret från friska träd.
- Ur sågverkens synpunkt är timmer från skadade träd kvalitetsmässigt att jämföra med timmer från friska träd, om det är fritt från vattved och inte blivit infekterat av blånads- och rötsvampar vid hanteringen från skogen till sågverket.

LITTERATURFÖRTECKNING

- Atmer, B. & Thörnqvist, T., 1982. Fiberegenskaper i gran (*Picea abies* Karst.) och tall (*Pinus silvestris* L.) (Summary: The properties of tracheids in spruce and pine). Rapport nr 134. Uppsala, Sveriges lantbruksuniversitet, institutionen för virkeslära.
- Bauch, J., Höll, W. & Endeward, R., 1975. Some Aspects of Wetwood Formation in Fir. *Holzforschung*, 29 (1975), p. 198-205.
- Bauch, J., Klein, P., Frühwald, A. & Brill, H., 1978. Veränderungen der Holzeigenschaften von Weisstanne (*Abies alba* Mill.) durch das "Tannensterben". *Allgemeine Forstzeitschrift*, 33 (1978), p. 1448-1449.
- Bauch, J., Klein, P., Frühwald, A. & Brill, H., 1979. Alterations of wood characteristics in *Abies alba* Mill. due to "fir-dying" and considerations concerning its origin. *European Journal of Forest Pathology*, Bd. 9 (1979), Heft 6, s. 321-331.
- Bauch, J. & Frühwald, A., 1983. Waldschäden und Holzqualität. *Holz-Zentralblatt* 109 (1983) Nr. 152, s. 2161-2162.
- Bisset, I.J.W. & Dadswell, H.E., 1950. The variation in cell length within one growth ring of certain angiosperms and gymnosperms. *Avst. For.* 14 (1950).
- Bisset, I.J.W., Dadswell, H.E. & Wardrop, A.B., 1951. Factors influencing tracheid length in Conifer stems. *Aust. For.* 15 (1951).
- Brill, H., Bock, E. & Bauch, J., 1981. über die Bedeutung von Mikroorganismen in Holz von *Abies alba* Mill. für das Tannensterben. *Forest. Cbl.* 100 (1981), s. 195-206.
- Dadswell, H.E. & Wardrop, A.B., 1949. What is reaction wood? *Aust. For.* XIII. (22-23).
- Eckstein, D., Greve, U. & Frühwald, A., 1981. Anatomische und mechanisch-technologische Untersuchungen am Holz einer SO₂-geschädigten Fichte und Tanne. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 39 (1981) 477-487.
- Hermansson, A. & Säll, H., 1985. Examensarbete vid institutionen för biometri och skogsindelning, Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå. Opublicerat.
- Jones, N., 1957. Compression wood. *Y Coedwigrory* III (1).
- Klein, P., Bauch, J. & Frühwald, A., 1979. Nassherneigenschaften von Tannenholz. *Holz-Zentralblatt*, 105, (1979), s. 1465-1466.
- Kollmann, K., 1951. *Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe*. Erste Band. Springer-Verlag, Berlin.
- Kufner, M., 1985. Verteilung von Eigenschaftswerten in einem Fichten-Stammabschnitt. *Holz als Roh- und Werkstoff* 43 (1985) 123-129.
- Mork, E., 1966. *Vedanatomi*. 2:a upplagan, Oslo.
- Nylinder, P., 1953. Volymviktsvariationer hos planterad gran. *Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut*, Stockholm, Band 43, nr 3.

- Nylinder, P. & Hägglund, E., 1954. Ståndorts- och trädegenskapers inverkan på utbyte och kvalitet vid framställning av sulfitmassa av gran. Meddelanden från Statens Skogsforskningsinstitut, Stockholm. Band 44, nr 11.
- Praktisk Skogshandbok, 1977. Sveriges Skogsvårdsförbund, Djursholm.
- Resch, H. & Arganbright, D., 1968. Variation of specific gravity, extractive content and tracheid length in redwood trees. Forest Science, vol. 14, no 2.
- Saino, K., 1872. Über die Grösse der Holzzellen bei der gemeinen Kiefer (*Pinus silvestris*), Jahrbücher für Wissenschaftlicher Botanik 8.
- Schmidt, O. & Kebernik, U., 1985. Characterization of Microorganisms from Spruce Trees from Polluted Sites. Material und Organismen 19/2 (1985), s. 81-93.
- Schulz, H., 1983. Immissionen - Waldschäden und Holzqualität. Holz-Zentralblatt, 110, (1984) s. 1493-1494.
- Stevens, S. H. I., 1959. Tracheid length in *Pinus caribea* Morokt. Rep. Imp. For. Inst. Oxford, 1958/1959.
- Spurr, S.H. & Hsiung, W.Y., 1954. Growth rate and specific gravity in Conifers. Journal of Forestry 52, p. 191-200.
- Walderkrankung und Immisionseinflüsse, 1984. Stuttgart, Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten.





**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 840576-1
från Statens råd för byggnadsforskning till Sveriges
Lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära,
Uppsala.**

R14: 1986

ISBN 91-540-4526-6

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6706014

**Abonnemangsgrupp:
Z. Konstruktioner och material**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirkapris: 30 kr exkl moms