

## **Klimastyrt tømmervanning**

*Climate controlled sprinkling of timber*

*Saksbehandler:* Håkon Helgerud Myhra, Norsk Treteknisk Institutt

*Oppdragsgiver:* Norske Skog Trelast AS FoU Trelast, MøreTre ASA, Moelven Mjøsbruket AS, Ringsaker Almenning, Støren Trelast AS, Løvenskiold-Vækerø AS Fossum Bruk, Brandval Sag AS, Kirknesvaag Sagbruk & Høvleri AS, Borregaard Lignotech

*Prosjektnummer:* 369001

### **Sammendrag**

For å ivareta virkeskvaliteten på tømmeret ved sagbruk, er det vanlig å oversprøyte tømmerlagrene med vann i perioden mai til september. Målsettingen med prosjektet har vært å dokumentere effekten av klimastyrt tømmervanning med hensyn til virkeskvalitet og vannforbruk. Med klimastyrt tømmervanning menes at tømmerlagrene oversprøytes med en vannmengde som står i forhold til de rådende klimaforholdene til en hver tid.

Registreringer av klimadata benyttes til å beregne en teoretisk fordampning fra tømmerveltene. Fordampningen beregnes etter en generell fordampningsformel som er modifisert for å gjelde fordampning fra tømmervelter. I prosjektet ble det prøvet ut fire ulike vanningsintensiteter som tilsvarte beregnet fordampning multiplisert med sikkerhetsfaktorene 1,25, 1,5, 2,0 og 2,5.

Resultater fra forsøkene viser at det om våren er viktig å redusere lagringstiden fra avvirkning til start på vanning for å opprettholde en høy fuktighet i tømmeret. Klimastyrt tømmervanning med sikkerhetsfaktor lavere enn 2,0 synes ikke å være tilstrekkelig for å opprettholde fuktigheten i nylig avvirket tømmer. Lagringsskader som blåved og insektskader på tømmer vil i hovedsak kunne relateres til lagringsperioden før start på vanning, og furutømmer får betydelige permeabilitetskader ved lagring lengre enn 10 uker under vanning. Klimastyrt vanning reduserer vannforbruket betydelig i forhold til vanning med konstant vanningsintensitet. Avrenningsandelen avtar når vanningsintensiteten reduseres.

*Stikkord:* Klimastyrt tømmervanning, virkeskvalitet, vannforbruk

*Keywords:* Climate controlled sprinkling of timber, wood quality, water consumption

## Summary

To maintain the wood quality of timber in sawmills, it is customary to sprinkle the timber stock from May until September. The objective of this project has been to document the effect of climate controlled sprinkling of timber with respect to wood quality and water consumption. Climate controlled sprinkling of timber means sprinkling the timber stock with an amount of water related to the existing climate situations at any time.

Recording of climate data is used for calculating a theoretical evaporation from the timber piles. The evaporation is calculated after a general evaporation formula, which is modified to apply for evaporation from timber piles. In the project four different watering intensities were tested. They were equivalent to calculated evaporation multiplied by the safety coefficient 1,25, 1,5, 2,0 and 2,5. Results from the experiments show that in spring it is important to reduce the time of storage from harvesting to the start of sprinkling to maintain high moisture content in the timber.

Climate controlled sprinkling of timber with safety coefficient lower than 2,0, does not seem to be enough to maintain the moisture content in newly harvested timber. Damage from storage like blue stain fungus and insect pests on timber could mainly be related to the period of storage before sprinkling. Timber from pine gets considerable permeability damage with storage longer than 10 weeks during sprinkling. Climate controlled sprinkling reduces the water consumption considerably compared to sprinkling with constant watering intensity. The share of wastewater is decreased when the watering intensity is reduced.

## Forord

Denne rapporten utgjør én av tre rapporter fra prosjektet “Klimastyrt tømmervanning og endebeskyttelse av tømmer”. “Tømmervanning -96” er (ihht. samarbeidsavtale mellom deltakerbedriftene) en forkortelse for det samme prosjektet. Prosjektet har vært brukerstyrt med deltakelse fra trelast- og treforedlingsindustrien, og med en varighet fra januar 1996 til mars 1998.

Hovedmålet har vært å implementere og videreutvikle klimastyrt tømmervanning i norsk trelastindustri. Prosjektet har bestått av tre delprosjekter:

- Klimastyrt tømmervanning
- Avrenning fra tømmervanning
- Endebeskyttelse av tømmer

Prosjektet er finansiert av Norges forskningsråd og følgende bedrifter:

Norske Skog Trelast AS FoU Trelast (prosjektansvarlig)  
Borregaard Lignotech  
MøreTre ASA  
Moelven Mjøsbruket AS  
Ringsaker Almenning  
Støren Trelast AS  
Løvenskiold-Vækerø AS Fossum Bruk  
Brandval Sag AS  
Kirknesvaag Sagbruk & Høvleri AS

Prosjektet har vært ledet av et styre representert med tre personer fra deltakerbedriftene:

Peder Gjerdrum (styreleder)	Norske Skog Trelast AS FoU Trelast
Trond Rojahn	Borregaard Lignotech
Nils Berg	Moelven Mjøsbruket AS

Prosjektleder har vært Håkon Helgerud Myhra ved Norsk Treteknisk Institutt. Arbeidet med tilpasningen av fordampningsformelen til det klimastyrte tømmervanningsanlegget ble forestått av Arnt Oluf Eide, Norske Skog Trelast AS FoU Trelast.



# Innhold

Sammendrag .....	3
Summary .....	4
Forord .....	5
1. Innledning .....	8
2. Tidligere undersøkelser.....	8
2.1. Virkeskvalitet .....	8
2.1.1. Fuktighet.....	8
2.1.2. Blåvedskader.....	9
2.1.3. Insektskader .....	11
2.1.4. Permeabilitetsskader .....	12
2.2. Vannforbruk .....	13
3. Materialer og metoder .....	15
3.1. Klimastyrt tømmervanningsanlegg.....	15
3.1.1. System.....	15
3.1.2. Beregning av fordampning .....	16
3.1.3. Kostnader .....	17
3.2. Forsøksvelter .....	18
3.2.1. Forsøksvelter i 1996 .....	18
3.2.2. Forsøksvelter i 1997 .....	18
3.3 Virkeskvalitet .....	19
3.3.1. Virkeskvalitet i 1996.....	20
3.3.2. Virkeskvalitet i 1997.....	20
3.4. Vannforbruk .....	21
3.5. Statistiske beregninger .....	21
4. Resultater .....	22
4.1. Virkeskvalitet .....	22
4.1.1. Fuktighet.....	22
4.1.2. Blåvedskader.....	27
4.1.3. Insektskader .....	28
4.1.4. Permeabilitetsskader .....	28
4.2. Vanningsintensitet .....	30
4.2.1. Vanningsintensitet pr. døgn og time.....	30
4.2.2. Vanningsintensitet pr. måned .....	32
4.2.3. Tilført vannvolum .....	33
4.2.4. Avrent vannvolum.....	34
5. Diskusjon og konklusjoner .....	36
5.1. Fuktighet .....	36
5.2. Virkeskader.....	38
5.3. Vanningsintensitet .....	38
6. Litteratur .....	40
Vedlegg .....	42

## 1. Innledning

Målsettingen med dette delprosjektet har vært å dokumentere effekten av klimastyrt tømmervanning med hensyn til virkeskvalitet og forbruk av vann.

For å ivareta virkeskvaliteten på tømmeret ved sagbruk, blir tømmerlagrene oversprøytet med vann i perioden mai til september. Vanningen skal hindre uttørking av tømmeret. Tømmer som er uttørket krever mer energi for å bearbeides, vil få sprekker og vil ofte ha sopp- og insektskader som er uønsket i de ferdige produktene. Med klimastyrt tømmervanning menes at tømmerlagrene oversprøytes med en vannmengde som står i forhold til de rådende klimaforholdene til enhver tid.

## 2. Tidligere undersøkelser

Det er gjort en rekke undersøkelser som dokumenterer virkeskvaliteten på tømmer under ulike lagringsbetingelser. Når det gjelder vannforbruk ved tømmervanning, varierer opplysningene en del i de ulike undersøkelsene.

### 2.1. Virkeskvalitet

Effekten av tømmervanning kan verifiseres gjennom virkeskvaliteten. Lagringsskader som påvirker virkeskvaliteten kan deles i tekniske, biologiske og kjemiske skader. I de følgende underkapitlene vil noen av disse skadene belyses gjennom et litteraturstudium.

#### 2.1.1. Fuktighet

Sprekkdannelse som følge av uttørking vil være den vanligste tekniske skaden som forekommer på skurtømmer under lagring. Fuktighetsinnholdet i kjerneveden er lavere enn fuktigheten i yteveden. Fuktigheten i kjerneved av ferskt bartrevirke ligger vanligvis fra 30-60 %. For yteveden i samme tre vil fuktigheten vanligvis være mellom 120 og 140 %. Oppsprekningen skjer først når fuktigheten kommer under fibermetningspunktet, som vanligvis er omkring 30 % trefuktighet.

Wilhelmsen (1968) viste i sine forsøk at ved overrisling og vannlagring av grantømmer kan man hindre videre uttørking, men opptak av nytt vann synes å gå svært langsomt. Når tømmeret først har tørket ut til et visst nivå, vil oppfuktingen fra dette nivået være minimalt for tømmer som overrisles. For tømmer som lagres i vann, vil oppfuktingen være større.

I et forsøk med tømmervanning av furu fant Elowsson & Liukko (1995) fuktigheten til furu å være 133 % i yteveden ved avvirkning. I perioden fra avvirkning til start på tømmervanningen skjedde en markert uttørking av tømmeret. For tømmer hvor vanningen startet ei uke etter avvirkning, var fuktigheten 125 % etter tre ukers

vanning, og for tømmer hvor vanningen startet to uker etter avvirkning var fuktigheten 109 % etter tre ukers vanning.

I samme forsøk ble fuktigheten i tømmer som ble vannet etter tre ulike prinsipper sammenlignet. Det ene prinsippet var resirkulering av vannet som tilsvarte en vanningsintensitet som var større enn 150 mm/døgn, det andre prinsippet var såkalt "normal" vanning med "friskt" vann hvor vanningsintensiteten var 70 mm/døgn, og det tredje prinsippet var klimastyrte tømmervanning. I de første ti ukene med vanning var det et signifikant (ukjent signifikansnivå) høyere fuktighetsinnhold i furutømmeret fra anlegget med resirkulering i forhold til de to andre vanningsprinsippene. I løpet av vanningsperioden var det aldri noen signifikant forskjell i fuktighetsinnhold mellom tømmer som ble vannet "normalt" og tømmer som ble vannet med klimastyring.

Liukko & Elowsson (1995a) har undersøkt fuktigheten i 60 topp- og 60 rotstokker av furu som ble vannet med klimastyring. Fuktighetsprøvene ble tatt i yteveden, og ved avvirkning hadde toppstokkene en signifikant (0,1 %-nivå) høyere fuktighet (126 %) enn rotstokkene (107 %). Toppstokkene viste en større uttørking enn rotstokkene, og etter seks og ti uker hadde toppstokkene en signifikant (5 %-nivå) lavere fuktighet enn rotstokkene. Fuktigheten i toppstokkene var ved disse to lagringstidspunktene henholdsvis 68 % og 82 %, mens fuktigheten i rotstokkene var henholdsvis 109 % og 101 %. Den høye uttørkingen av toppstokkene skyldtes flere kvister og mer barkskader enn det som var tilfelle for rotstokkene.

Gjerdrum (1976) gjennomførte et forsøk med vanning av landlagret grantømmer. Fuktigheten ble verifisert ved å ta ut stammeskiver 30 cm inn fra endene. Tømmeret hadde en fuktighet på omkring 100 % ved hogst i januar, og ved start på vanningen i juni hadde tømmeret en fuktighet på omkring 60 %. Etter 3 1/2 måneders vanning hadde fuktigheten i tømmeret igjen økt til i underkant av 70 %.

### **2.1.2. Blåvedskader**

Sopper som angriper trevirke deles gjerne i råtesopper og fargeskadesopper. Råtesoppene bryter ned substans i celleveggene, mens fargeskadesoppene forsyner seg av celleinnholdet. Fargeskadesopper går gjerne under fellesbetegnelsen "blåved" etter den blåaktige fargen. Blåvedskader er de vanligste soppskadene som oppstår på skurtømmer under lagring. Tømmervanningen skal hindre sopp sporer å etablere seg, fordi tømmeret dekkes av en vannfilm. Videre skal tømmervanningen opprettholde en så høy fuktighet i tømmeret at oksygeninnholdet blir lavt, og muligheten for utvikling av sopper blir liten. Det er vanlig å regne at det optimale fuktighetsinnholdet for sopper varierer fra 40-100 % vanninnhold i veden, og i enkelte tilfeller opp til 120 %.

Henningsson og Lundström (1974) har gjennom kontrollerte laboratorieforsøk funnet at den optimale temperaturen for insektsbårne blåvedsopper er 25-30 °C, og at noen arter vokser under 5 °C, mens den øvre temperaturgrensen synes å være 35-40 °C. Videre ble det funnet at i temperaturområdet 15-30 °C hadde den

insektbårne blåvedsoppen en tilvekst på 10-15 mm/uke i radiell retning i veden, og en tilvekst på 50 mm/uke i lengderetning. Ved å legge de infiserte prøvebitene i vann, stoppet utbredelsen av blåvedsoppene umiddelbart.

Weslien (1992a) gjennomførte et forsøk med formål å kartlegge blåved- og permeabilitetskader på tømmer som lå under vanning fra mai og ut august. Tømmeret, som bestod av både gran og furu, ble vannet med gjennomsnittlig 90 mm/døgn over hele perioden. Et av målene med forsøket var å se om det var forskjeller i virkeskvalitet i ulike høydelag i de 8-9 m høye tømmerveltene. Registreringene viste at for granstokkene var i gjennomsnitt 0,9 % av trelastvolumet blåvedskadet, mens for furu var det tilsvarende tallet 3,8 %. For furustokkene var blåvedskadene i hovedsak konsentrert til endene på tømmeret. Det ble påvist signifikant forskjell (5 %-nivå) mellom blåvedandelen i endepartiene og for de midtre delene av stokkene. Det ble ikke funnet forskjeller i skadebildet for furu mellom de ulike høydelagene i tømmerveltene. Små furustokker hadde en høyere skadeandel enn store stokker. For granstokkene var det ingen signifikante forskjeller (5 %-nivå) mellom endepartiene og de midtre delene av stokkene.

Wilhelmsen & Foslie (1967) har undersøkt lagringsskader på ubarket skurtømmer av gran og furu med og uten behandling med insekt- og soppdrepende midler. Tømmeret var vinteravvirket, og ble lagret i skogen fra april til oktober. Ved tre tidspunkter ble det tatt ut tømmer som ble skåret, og lagringsskadene ble vurdert på trelasten. De tre tidspunktene for skuren var juni, august og oktober. For furu var blåved og lagringsråte de dominerende lagringsskadene. Konklusjonen var at for furutømmeret var blåvedskade dominerende fra våren og fram til juli/august hvor lagringsråte overtok som den dominerende lagringsskaden. For gran var skadebildet annerledes ved at lagringsråten hele tiden var den dominerende lagringsskaden.

Grönlund (1974) har registrert blåvedskader på furutømmer som ble kvistet maskinelt, altså avvirket med hogstmaskin, og på tømmer som ble kvistet med motorsag. Resultatene viste en betydelig høyere skadeandel av blåved for det maskinelt kvistede tømmeret. Dette skyldtes i hovedsak piggvalser på mateanordningen som påførte tømmeret mekanisk skade, og kvistekniver som ga økt barkavskaving. Etter fire ukers lagring var verditapet 15 % for tømmeret som var maskinkvistet, mot 0,3 % for tømmeret som var kvistet med motorsag. For det maskinkvistede tømmeret var fuktigheten i yteveden gjennomsnittlig 75-100 %, mens for tømmeret som var kvistet med motorsag var fuktigheten i samtlige tilfeller høyere enn 100 %.

I et fellesnordisk tømmer vanningsprosjekt i 1993 og 1994 ble det registrert blåvedskader på gran- og furutømmer som ble vannet. I 1993 var vanningsintensiteten omkring 40 mm/døgn, og i 1994 var vanningen fullstendig klimastyrert. Resultatene fra forsøkene (Edwardsen 1995) viste at blåvedskadene økte betydelig for grantømmer ved en økning i lagringstiden mellom hogst og start på vanning fra ei til tre uker. Videre viste resultatene betydelig større skadeandel for grantømmeret som ble vannet med fullstendig klimastyring (1994) i forhold til grantømmeret som ble vannet med en vanningsintensitet på 40 mm/døgn (1993).



Dette kan bety at vanningsintensiteten ved den klimastyrte tømmer vanningen i 1994 var for liten, men det kan også bero på ulike klimabetingelser fra år til år. For furutømmeret i forsøket ble det også registrert betydelig økning i blåvedskader da lagringstiden fra hogst til start på vanningen økte fra to til åtte uker. I prosjektet ble det gjennomført to parallelle forsøk, et i Heby i Sverige og et i Nidarå i Norge. Med samme vanningsintensitet på grantømmer ble det registrert en langt større skadeandel med blåved i Heby. Konklusjonen var at næringsrikt vann med høy pH-verdi ved Heby ga økte blåvedskader i tømmeret.

### 2.1.3. Insektskader

Ved tømmer vanning vil normalt den våte overflata forhindre at insekter greier å etablere seg på tømmeret, og insekter som allerede er i eller på tømmeret vil bli drept. Insekter skader tømmer og skog ved infisering av blåvedsopp og/eller ved å gnage hull og ganger i veden. Fordi om mange av insektene i tømmerveltene ikke gjør noen skade på det lagrede virket, kan de gjøre adskillig skade på stående skog omkring tømmerveltene. Tømmerveltene benyttes da som yngleplass. Schroeder (1995) har i et foredrag om insektskader ved lagring av bartrevirke gitt en oversikt over de viktigste skadegjørende insektene på bartrevirke. Disse insektene er gjengitt i tabell 1.

Tabell 1. De viktigste skadegjørende insektene på bartrevirke (Schroeder 1995).  
The most important insect pests on softwood.

Insektsart	Treslag	Tid for sverming	Blåved	Borehull
Granbarkbille ( <i>Ips typographus</i> )	gran	mai-juli	X	
Skarptannet barkbille ( <i>Ips acuminatus</i> )	furu	mai-juli	X	
Den lille margboreren ( <i>Tomicus minor</i> )	furu	april-mai	X	
Stripet vedborer ( <i>Trypodendron linatum</i> )	furu/gran	april-august	X	X
Furubukk ( <i>Monochamus sutor</i> )	furu/gran	juni-september		X
Treveps ( <i>Urocerus gigas</i> , <i>Sires juvenicus</i> )	furu/gran	juni-september		X

Björkhem et al. (1977) fant at etter åtte ukers overrisling av grantømmer med minst 50 mm/døgn, var 95 % av granbarkbillene døde og 78 % av de sekstannede barkbillene døde. For samme overrisling på furu var 76 % av margborerne døde.

#### 2.1.4. Permeabilitetskader

Når trevirke lagres i vann eller under overrisling, angripes veden av bakterier. Bakteriene finnes til å begynne med i parenkymcellene i yteveden og lever av celleinnholdet. Etter hvert brer de seg videre og bryter ned linseporene i fibrene. Når linseporene brytes ned, øker trevirkets evne til å ta opp vann. Bakterieaktiviteten er størst i stillestående, næringsrikt vann med høy middeltemperatur. Skadene er ikke synlige på skur- eller høvelflater, men vil framkomme ved beising av materialene. Permeabilitetskader vil synes som mørkfargede flekker som følge av at trevirket har trukket til seg mer beis enn hva som vil være normalt. Trevirke med permeabilitetskader vil lettere kunne ta til seg fuktighet, og er derfor mer utsatt for råteangrep. Permeabilitetskader vil lettere la seg impregnere som følge av økt væskeinntrengning.

Klem & Halvorsen (1963) har oppnådd fullstendig impregnering av yteveden hos synketømmer av gran som et resultat av permeabilitetskader. Boutelje & Jonsson (1976) har også funnet at ved vannlagring eller overrisling av tømmer økes impregnerbarheten betydelig for både gran og furu.

Boutelje, Ihlstedt & Jonsson (1979) gjennomførte et forsøk med vannlagring og overrisling av gran- og furutømmer for å se på permeabilitetsskadene. Resultatet viste at overrisling ga mindre skader enn vannlagring, og at skadene ble mindre på gran enn på furu. Det hevdes at ubarket furutømmer kan ligge omkring ti uker under overrisling uten alt for store skader, og grantømmer kan ligge dobbelt så lenge. Forsøket viste også at permeabilitetsskadene går langsommere i ubarket tømmer enn i barket tømmer.

Weslien (1992a) har i et forsøk med tømmervanning plukket ut et sidebord fra hver stokk for et bestemt antall furu- og granstokker og registrert permeabilitetsskadene på bordene. Permeabilitetsskadene ble bestemt ved at bordene ble høvlet og beiset på ytesiden. Tømmeret lå under vanning fra begynnelsen av mai til begynnelsen av september. Etter endt vanningsesong hadde 90 % av furubordene permeabilitetskader, mens 75 % av granbordene var skadet. Skadeandelen ble beregnet som skadet areal i forhold til beiset areal. For furu var skadeandelen 12 %, mens den for gran var 9,4 %. Forsøket viste også at skadeandelen var størst på de midtre partiene på stokken.

Weslien (1992b) har sammenlignet permeabilitetskader på tømmer som ble vannet med resirkulert vann og tømmer som ble vannet med friskt vann. Forsøket viste at andelen av permeabilitetskader for både furu og gran var signifikant større (2,5 %-nivå) for tømmer som var vannet med resirkulert vann enn tømmer som var vannet med friskt vann.

Edwardsen (1995) fant at permeabilitetskader oppstod allerede etter tre ukers vanning for både gran og furu. Etter seks ukers vanning var skadefrekvensen lik for både gran og furu, men ved lengre lagring under overrisling fikk furu betydelig høyere skadefrekvens.

Holappa (1990) har undersøkt permeabilitetskader på furutømmer ved start på tømmervanning, etter to uker, etter seks uker og etter ti uker. Ved start på vanningen og etter to uker ble det ikke registrert noen skader. Etter seks ukers lagring var 15 % av rotstokkene skadet, mens for mellom- og toppstokker var henholdsvis 36 % og 21 % skadet. Etter ti ukers lagring var omkring halvparten av antall stokker skadet.

## 2.2. Vannforbruk

Ved tømmervanning er det viktig at vannmengdene som benyttes er store nok til at fuktigheten i tømmeret opprettholdes. Samtidig er det ønskelig at man benytter minst mulig vann for at avrenning og utvasking av næringsstoffer fra tømmeret skal bli minst mulig, og for at energiforbruket til vannpumpene ikke skal bli for høyt. I tillegg er vann ofte en knapphetsressurs.

Johansson (1964) viste at en vanningsintensitet på ca. 25 mm/døgn, gitt ved intervallvanning på dagtid, var tilstrekkelig. Forsøkene viste at det ble registrert minimale verditap i tømmeret ved å redusere vanningsintensiteten fra 150 mm/døgn til 25 mm/døgn.

Gjerdrum (1975) har i en intervjuundersøkelse blant norske sagbruk funnet at gjennomsnittlig vanningsintensitet var ca. 50 mm/dag. Liese (1973) anbefaler 40-45 mm/dag som en tilstrekkelig vanningsintensitet.

På grunnlag av litteraturstudier konkluderer Nylinder (1976) med at vanningsintensiteten i praksis minst bør være 40-50 mm/døgn for tømmervelter med en høyde på 2-3 m. For høyere tømmervelter kreves økt vanningsintensitet. Boutelje (1987) anbefaler en vanningsintensitet på 60-75 mm/døgn for de nordiske landene.

Elowsson & Liukko (1995) har utviklet en modell for beregning av fordampning fra tømmervelter, bygget på Penman Monteiths (Monteith & Unsworth 1990) generelle fordampningsformel. Formålet med modellen er at man ved hjelp av fordampningsdata fra tømmerveltene, som tilsvarer tømmerets vannbehov, skal kunne vanne tømmeret med riktige vannmengder døgnet rundt. Elowsson & Liukko (1995) viste at klimastyrt tømmervanning etter den utviklede modellen, ga fullverdig beskyttelse av tømmeret samtidig som avrenningsvolumene ble redusert. I løpet av vanningsperioden varierte vanningsintensiteten for det klimastyrte anlegget fra 12-51 mm/døgn mot 70 mm/døgn som ble regnet som normalt. For vanningsintensitetene 12 mm/døgn og 51 mm/døgn var avrenningsvolumet henholdsvis 27 % og 61 % av de tilførte vannvolumene.

I et forsøk med klimastyrt tømmervanning i Heby i Sverige og Nidarå i Norge har Liukko & Elowsson (1995b) undersøkt hvor god sammenhengen var mellom den beregnede fordampningen etter Penman Monteiths fordampningsformel og den målte fordampningen fra tømmerveltene. Resultatet fra Norge viste signifikante sammenhenger (0,1 %-nivå) mellom den beregnede fordampningen og den reelle fordampningen for alle månedene i vannings sesongen. I Sverige var det

signifikante sammenhenger i juli og august (hhv. 1 %-nivå og 0,1 %-nivå), mens det i september ikke var signifikant sammenheng.

Elowsson & Liukko (1995) viste også at tømmerveltene hadde en svært liten evne til å holde på vannet, slik at det hadde ingen hensikt å vanne i perioder hvor fordampningen fra tømmerveltene var liten. Med andre ord var det ingen hensikt i å vanne om natta for å kompensere for fordampningen dagen derpå. Det førte bare til at vannet rant gjennom tømmerveltene og ut som spillvann.

Liukko & Elowsson (1995a) gjennomførte i 1994 et forsøk med klimastyrt tømmervanning av furu ved Heby i Sverige. For månedene juni, juli og august var den gjennomsnittlige vanningsintensiteten henholdsvis 21, 26 og 14 mm/døgn. Sammenlignet med "normal" vanningsintensitet på 70 mm/døgn, var dette en reduksjon i vannmengdene på 31-97 %. En vanningsintensitet på 70 mm/døgn gir 2,9 mm/time. Fra samme forsøket viste resultatene fra den klimastyrte tømmervanningen at vanningsintensiteten pr. time var større enn 2,9 mm/time ("normal") flere ganger i løpet av et døgn. De timene når fordampningen var størst i løpet av døgnet, var ikke "normal" vanningsintensitet på 2,9 mm/time (70 mm/døgn) nok til å kompensere for fordampningen.

### 3. Materialer og metoder

Forsøkene i delprosjektet ble gjennomført ved Norske Skog Trelast AS Soknabruket sommeren 1996 og 1997.

#### 3.1. Klimastyrt tømmervanningsanlegg

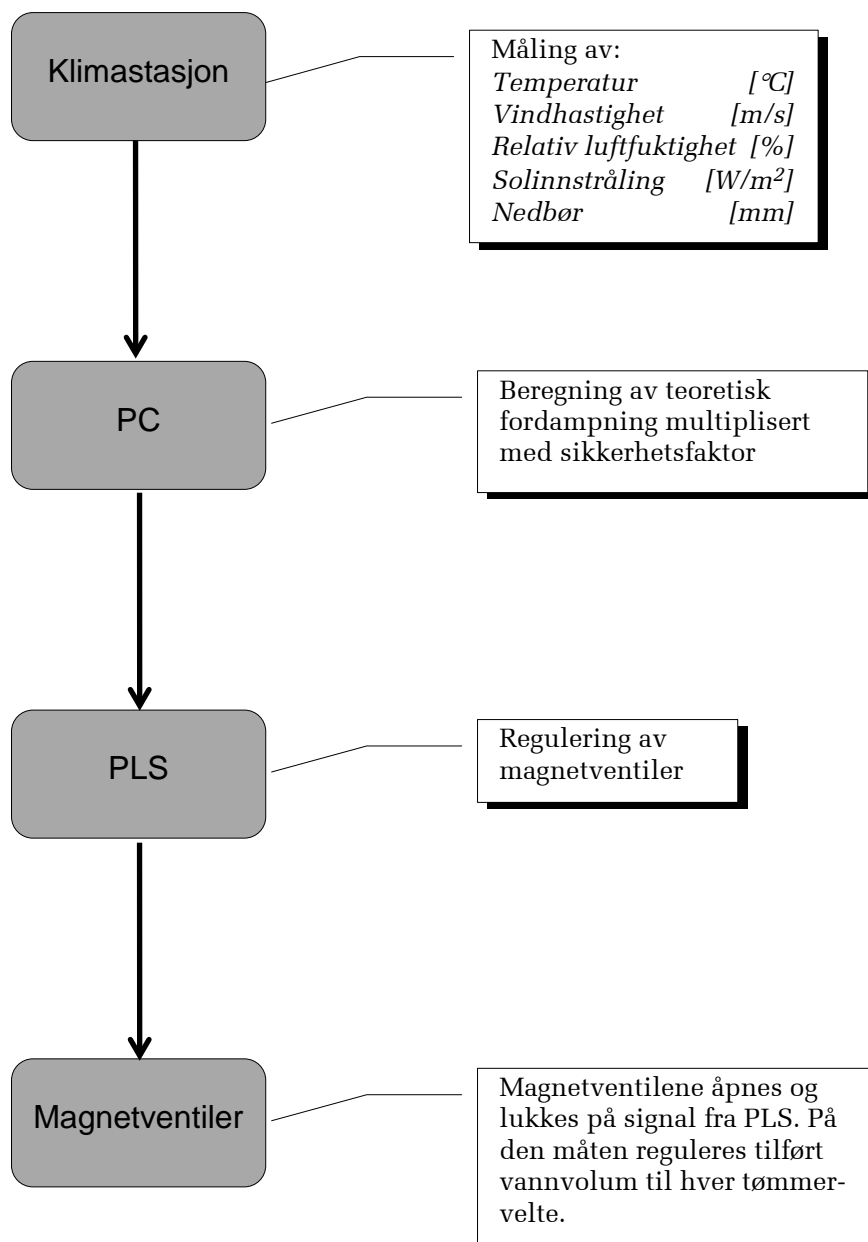
Det klimastyrte tømmervanningsanlegget som ble benyttet i prosjektet var utviklet ved Norske Skog Trelast AS Soknabruket.

##### 3.1.1. System

Vanningsanlegget bestod av en klimastasjon som målte temperatur, vindhastighet, relativ luftfuktighet, solinnstråling og nedbør. Klimastasjonen ble levert av firmaet Metcon AS, Fåberg. For hvert femte minutt sendte klimastasjonen data til en PC. I denne PC'en ble klimadataene lagret som gjennomsnittsverdier for hver time hele døgnet.

Fra programvaren tilknyttet klimastasjonen ble klimadataene sendt til et PC-program som ble utviklet på Soknabruket av to studenter ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU). Dette programmet benyttet klimadataene til å beregne den teoretiske fordampningen fra tømmerveltene. Fordampningen ble beregnet på grunnlag av gjennomsnittlige klimadata for siste time, og multiplisert med en ønsket sikkerhetsfaktor som igjen ga en beregnet vannmengde i mm/time. Denne vannmengden ble sprøytet ut over tømmerveltene den neste timen. Riktig vannmengde ble regulert med magnetventiler styrt av en programmerbar logisk styring (PLS) som fikk signaler fra PC'en. Figur 1 viser en prinsippskisse for det klimastyrte tømmervanningsanlegget.

Fra det tidligere fellesnordiske tømmervanningsprosjektet har Liukko & Elowsson (1995a) bestemt en empirisk bufferkapasitet for tømmervelter på 0,5 mm vann. Det betyr at dersom det vannes med mer enn 0,5 mm på en gang, vil vannmengdene som overstiger dette renne igjennom tømmervelta og rett ut som spillvann. PLS'en ble derfor programmert slik at den beregnede vannmengden i mm/time ble sprøytet ut i porsjoner på 0,5 mm. En beregnet vannmengde på 3,0 mm/time vil da bli sprøytet ut seks ganger i løpet av en time. Systemet vil da sprøyte ut 0,5 mm vann hvert tiende minutt i en time.



Figur 1. Prinsippkisse for det klimastyrte tømmervanningsanlegget.  
 Principle sketch for the climate controlled timber sprinkling installation.

Erfaringer fra det tidligere fellesnordiske tømmervanningsprosjektet viste også at å bruke en vannmengde som tilsvarte beregnet fordampning var for lite. Det ble derfor anbefalt å multiplisere beregnet fordampning med en sikkerhetsfaktor. I forsøket ved Soknabruket ble det prøvet med sikkerhetsfaktorene 1,25, 1,5, 2,0 og 2,5.

### 3.1.2. Beregning av fordampning

Fordampningen fra tømmerveltene bygger på en generell fordampningsformel etter Penman Monteith (Monteith & Unsworth 1990). Formelen er videre tatt i bruk av Liukko & Elowsson (1995b) og modifisert for å gjelde for fordampning fra

tømmervelver. Den teoretiske fordampningen ved det klimastyrte tømmervanningsanlegget ved Soknabruket ble beregnet etter formel 1, hvor  $E$  er den beregnede fordampningen fra ei tømmervelve i mm/time.

$$E = \frac{\frac{\Delta SVP \cdot R_n}{\lambda} + \frac{\rho \cdot C_p \cdot P_{dmt} \cdot (1 - RH)}{\lambda \cdot r_a}}{\Delta SVP \cdot \gamma} \quad (1)$$

$\Delta SVP$  [Pa/°C] angir stigningskurven til luftas metningstrykk.  $R_n$  [W/m<sup>2</sup>] er netto innstråling.  $\lambda$  [J/kg] er en konstant som viser fordampningsvarmen.  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] er luftas densitet, og  $C_p$  [J/kg °C] er luftas spesifikke varmekapasitet.  $P_{dmt}$  [Pa] er luftas metningstrykk og  $RH$  er luftas relative luftfuktighet målt av klimastasjonen.  $\gamma$  [Pa/°C] er en psykrometerkonstant og  $r_a$  [s/m] er et uttrykk for den aerodynamiske motstand. I formelen er korreksjon for nedbør utelukket.

Registrering av nedbør viste seg å være unødvendig, fordi når det var nedbør, var den relative luftfuktigheten så stor at det ikke ble beregnet noen fordampning fra tømmerveltene. Systemet sluttet derfor å vanne uavhengig av nedbørmålingene. En nærmere beskrivelse av formelen og beregning av de ulike parametrene er gitt i vedlegg bakerst i rapporten.

### 3.1.3. Kostnader

I følge Norske Skog Trelast AS FoU Trelast har kostnadene til utstyr og utvikling av klimastyringen til tømmervanningsanlegget vært totalt kr. 108.000. Kostnadene fordeler seg som gjengitt i tabell 2.

*Tabell 2. Kostnader til utstyr og utvikling av klimastyring til tømmervanningsanlegget ved Soknabruket.*

*Cost for equipment and developing of climate controlling for the timber sprinkling installation at Soknabruket.*

<b>Kostnadsart</b>	<b>kr. (NOK)</b>
Klimastasjon	60 000
PLS	12 000
PC	10 000
Utvikling av PC-program	13 000
Utvikling av PLS-program	3 000
Utvikling av kommunikasjonsprogram PC - PLS	6 000
Diverse elektrisk utstyr	2 000
Isolasjonstransformator	2 000
<b>Sum</b>	<b>108 000</b>

## 3.2. Forsøksvelter

Forsøksveltene som ble etablert var omkring 20 m lange, 6 m brede og 2-3 m høye. I hver tømmervelte lå det omkring 120 m<sup>3</sup> med tømmer.

### 3.2.1. Forsøksvelter i 1996

I forsøket i 1996 ble det etablert seks forsøksvelter, hvor det ble testet ut to ulike sikkerhetsfaktorer for den klimastyrt tømmervanningen. De to sikkerhetsfaktorene var 2,0 og 2,5, som betyr at tømmerveltene ble vannet med en vanningsintensitet som tilsvarte beregnet fordampning multiplisert med 2,0 og 2,5.

Den ene velte ble vannet "tradisjonelt" for å gi ei referansevelte. I forsøket ble denne velte vannet i 10 minutter, 30 minutters opphold, vanning i 10 minutter osv. Slik ble velte vannet gjennom hele døgnet. Dette tilsvarte en vannmengde på 1,75 mm/time eller 42 mm/døgn, som ble definert som *Tradisjonell* vanning i forsøket. Figur 2 viser en oversikt over forsøksveltene i 1996.

<b>Velte nr. 1</b>	<b>Velte nr. 2</b>	<b>Velte nr. 3</b>	<b>Velte nr. 4</b>	<b>Velte nr. 5</b>	<b>Velte nr. 6</b>
2.5 x ford.	2.5 x ford.	2.5 x ford.	2.0 x ford.	2.0 x ford.	Tradisjonell
gran	gran	gran	gran	furu	gran
(tømmerkl. 19)	(tømmerkl. 19)	(tømmerkl. 19)	(tømmerkl. 20)	(tømmerkl. 27)	(tømmerkl. 19)

Delprosjekt 2

*Figur 2. Forsøksvelter i 1996.  
Experimental piles in 1996.*

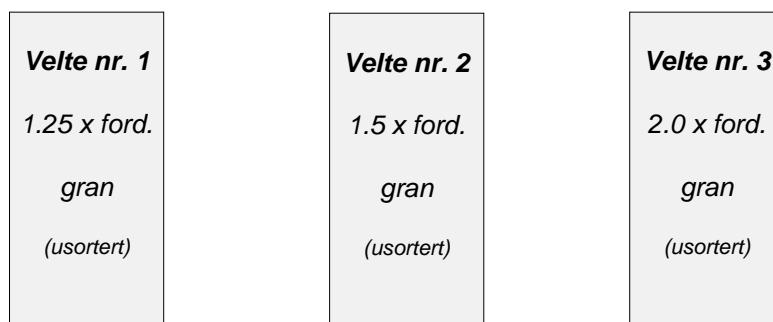
Tømmeret i veltene var avvirket i løpet av sen vinteren og våren 1996, og ble dimensjonsortert etter toppdiameter før det ble lagt i veltene. Velte nr. 5 bestod av furutømmer i tømmerklasse 27. De andre fem veltene var grantømmer i tømmerklasse 19, med unntak av velte nr. 4 som tilhørte tømmerklasse 20. Velte nr. 2 og 3 ble benyttet i delprosjekt 2 for å se på avrenningen fra ei velte med et grusfilter som underlag (velte nr. 3) og ei velte uten grusfilter som underlag (velte nr. 2). I delprosjekt 1 inngår velte nr. 2 og 3 i registreringer av tilført og avrent vannvolum.

### 3.2.2. Forsøksvelter i 1997

I 1997 ble det etablert tre forsøksvelter. Målet var å tilnærme seg en optimal sikkerhetsfaktor samtidig som man ønsket å undersøke betydningen av lagringstid for tømmeret før vanning. I forsøket ble det benyttet sikkerhetsfaktorene 1,25, 1,5

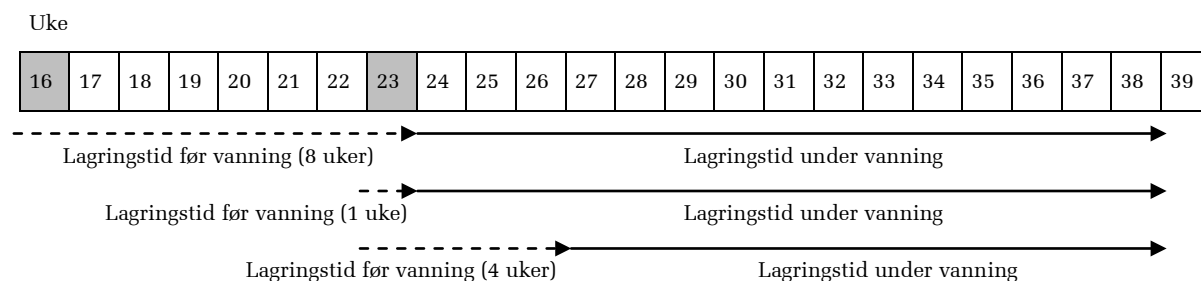


og 2,0, som betyr at vanningsintensiteten var beregnet fordampning multiplisert med 1,25, 1,5 og 2,0. Figur 3 viser en oversikt over forsøksveltene i 1997.



Figur 3. Forsøksvelter i 1997.  
Experimental piles in 1997.

Tømmeret i forsøksveltene var ikke dimensjonsortert på forhånd. Tømmeret som ble benyttet kom fra to ulike bestand fra samme område og tilnærmet samme vekstbetingelser. Det første bestandet ble avvirket i uke 16 og det andre i uke 23. En tredjedel av tømmeret ble lagret i åtte uker før det ble lagt under vanning, en tredjedel ble lagret i fire uker før det ble lagt under vanning, og en tredjedel ble lagret i ei uke etter avvirkning før det ble lagt under vanning. Lagringstid før vanning og lagringstid under vanning er vist i figur 4 for tømmeret fra de to bestandene.



Figur 4. Lagringstid før vanning og lagringstid under vanning for tømmeret fra de to bestandene.

Time of storage before sprinkling and time of storage during sprinkling for logs from the two stands.

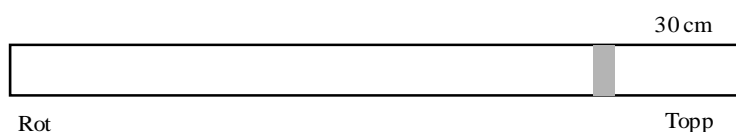
Ulikt avvirkningstidspunkt og forsinket start på vanning medførte at tømmeret fikk ulike lagringsperioder. Dette ga derfor usikkerhet i materialet med hensyn til sammenligninger mellom de ulike lagringstidene før vanning.

### 3.3 Virkeskvalitet

Virkeskvaliteten til tømmeret i forsøksveltene var et mål for hvorvidt vanningsintensiteten hadde vært tilstrekkelig i forsøkene.

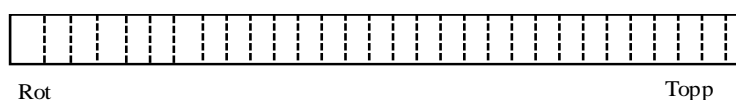
### 3.3.1. Virkeskvalitet i 1996

I 1996 ble det foretatt fire revisjoner. Ved hver revisjon ble det tatt ut 120 stokker fra fire av de seks forsøksveltene, altså 30 stokker fra hver forsøksvelte. Stokkene ble skåret med lik postning, og fra hver stokk ble det plukket ut ett sidebord til revisjon (30 bord pr. forsøksvelte) umiddelbart etter skur. I tillegg ble det plukket ut enda et sidebord for hver andre stokk (15 bord pr. forsøksvelte). Disse 15 sidebordene ble benyttet til å ta fuktighetsprøver fra. Fuktighetsprøvene ble tatt 30 cm inn fra toppenden til bordene, og var omkring 5 cm lange (figur 5). Fuktigheten ble bestemt ved tørke - veiemetoden.



*Figur 5. Uttak av fuktighetsprøve i sidebord.  
Selection of sample for moisture content in side boards.*

Bordene som ble tatt ut til revisjon, ble vurdert med hensyn til blåved- og insektskade. For hvert bord ble hvert lengdeavsnitt (1 dm) visuelt klassifisert som enten "rent" eller "skadet" (figur 6). Hvert lengdeavsnitt som inneholdt blåved- eller insektskade ble registrert som "skadet".



*Figur 6. Registrering av blåved-, insekt- og permeabilitetskader på sidebord for hvert lengdeavsnitt på 1 dm.  
Recording of blue stain fungus, insects and permeability damage on side boards for each length section on 1 dm.*

En del av bordene ble undersøkt for permeabilitetskader. Bordene ble først tørket og deretter høvlet på ytesiden. Den høvlede siden ble beiset med 96 % etanol iblandet fargepulver. Permeabilitetsskadene framkom som mørke flekker hvor trevirket hadde trukket til seg store mengder med beis. Hvert lengdeavsnitt ble også her klassifisert som "rent" eller "skadet" (figur 6).

### 3.3.2. Virkeskvalitet i 1997

I 1997 ble fuktigheten til tømmeret i forsøksveltene registrert ved sju revisjoner. Fra de tre forsøksveltene ble 135 stokker benyttet som prøvestokker hvor fuktigheten ble registrert ved hver revisjon. For hver forsøksvelte ble det tatt 45 fuktighetsprøver ved hver revisjon, altså fra 15 stokker fra hver av de tre ulike lagringstidene. For tømmeret med lagringstid ei uke og fire uker, ble det av praktiske årsaker ikke tatt fuktighetsprøver før tømmeret lå under vanning.

Fuktighetsprøvene ble tatt 30 cm inn fra toppenden, og ble boret ut med spunsefres montert på en elektrisk boremaskin. Fuktighetsprøvene hadde en størrelse på 15 mm i diameter og lengde 40 mm. For hver behandling (vanningsintensitet og lagringstid) ble det boret ut 10 fuktighetsprøver på østsiden av forsøksveltene og 5 fuktighetsprøver på vestsiden av forsøksveltene. Hullene etter prøveuttakene ble plagget igjen med treplugger for å hindre uttørking av prøvestokkene. Fuktighetsprøvene ble umiddelbart lagt i lukkede plastbeger som igjen ble lagt i en isolert kasse med tørris for å hindre uttørking av prøvene før veiing. Fuktigheten ble bestemt ved tørke - veiemetoden. Ved den siste revisjonen ble det tatt fuktighetsprøver 30 cm inn fra topp- og rotende til de samme stokkene, samt på midten av dem.

### **3.4. Vannforbruk**

Hovedhensikten med det klimastyrte tømmervanningsanlegget var å redusere vannmengdene.

Vanningsintensiteten i mm/t ble kontinuerlig beregnet av PC-programmet som var tilknyttet systemet, og ble videre lagret i filformat slik at informasjonen kunne hentes ut senere. Vanningsintensiteten ble omregnet til volum vann for gjeldende forsøksvelter. Beregningen ble gjort ut fra to vannspredere pr. forsøksvelte, og med et estimert spredeareal hver. Det virkelige forbruket av vann ble jevnlig avlest på vannmålere som var knyttet til den enkelte forsøksvelte.

Under forsøksveltene ble det lagt ut presenninger over et areal på 6×20 m. Underlaget var svakt hellende, slik at alt vannet som rant gjennom tømmerveltene ble samlet opp av presenningene og kanalisert til den ene enden av veltene hvor vannet ble ledet ned i vippekar som talte "antall vipp" som rant ut fra veltene. Hvert "vipp" utgjorde et visst antall liter vann, slik at avrenningen kunne beregnes for den enkelte velte. Hver forsøksvelte hadde to vannspredere som begge hadde et større spredeareal enn avrenningsarealet under hver tømmervelte. Avrenningsvolumene som er målt viser derfor ikke den totale avrenningen, men gir et bilde på den relative avrenningen mellom forsøksveltene.

### **3.5. Statistiske beregninger**

Resultatene gjengis hovedsakelig som gjennomsnittsverdier og prosentandeler, og presenteres grafisk som linje- eller stolpediagram, eller i tabeller.

Når det gjelder fuktigheten i trevirket, er det utført statistiske analyser for å dokumentere forskjeller mellom ulike vanningsintensiteter. Disse analysene er utført som enveis variansanalyser. Det er også utført statistiske analyser for å dokumentere forskjell i trefuktighet fra start på vanning til avslutning av vanning. Disse analysene er utført som toveis variansanalyser. I alle de statistiske analysene er det benyttet et signifikansnivå på 5 %.

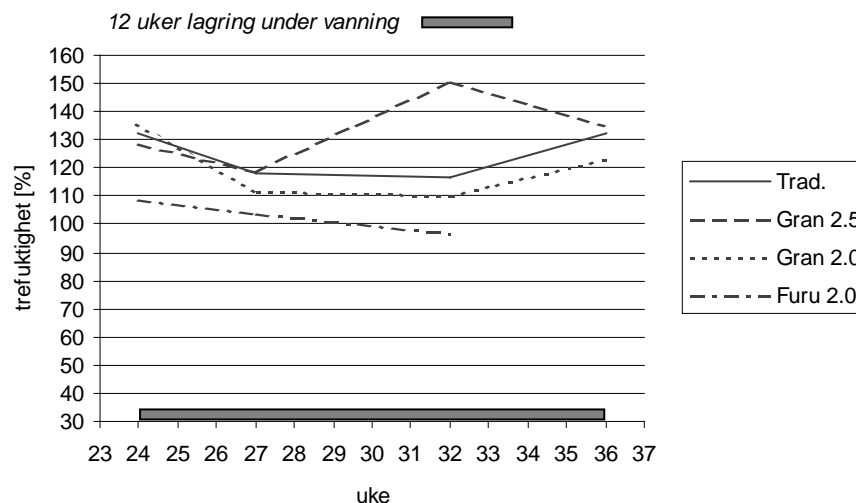
## 4. Resultater

De ulike vanningsintensitetene er betegnet som treslag og sikkerhetsfaktor. *Gran 2.0* viser for eksempel at grantømmer ble vannet med en vanningsintensitet som tilsvarte beregnet fordampning multiplisert med sikkerhetsfaktor 2,0. *Tradisjonell* betyr vanning av grantømmer med konstant vanningsintensitet (42 mm/døgn).

### 4.1. Virkeskvalitet

#### 4.1.1. Fuktighet

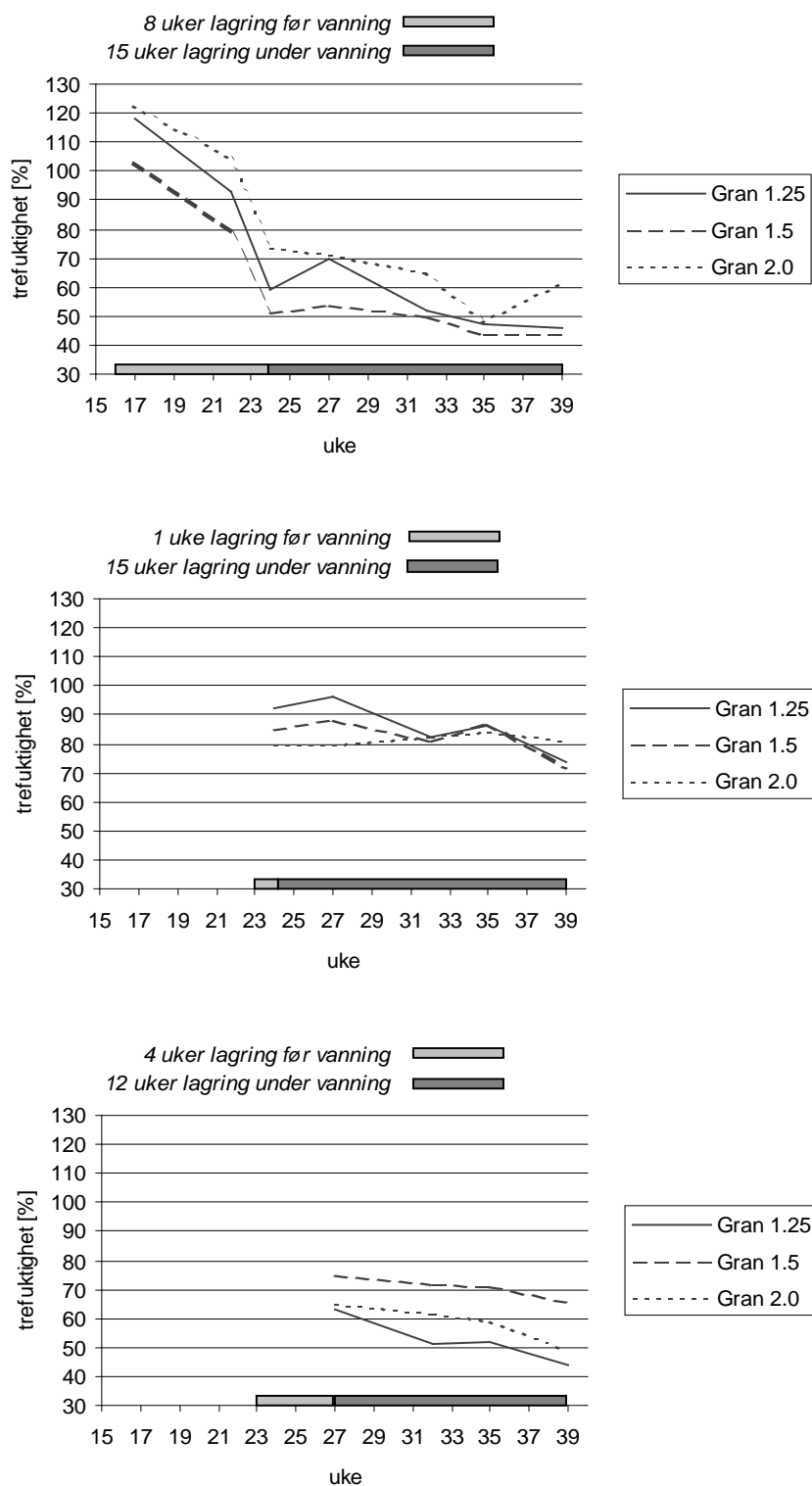
Figur 7 viser hvordan gjennomsnittlig fuktighet i tømmeret varierte for fire av forsøksveltene i 1996.



Figur 7. Gjennomsnittlig fuktighet i sidebord fra tømmer vannet med ulike vanningsintensiteter i 1996.

Mean moisture content in side boards from logs sprinkled with different sprinkling intensities in 1996.

Alle tre granveltene hadde en utgangsfuktighet på omkring 130 % ved start på vanning, mens furuvelta hadde en utgangsfuktighet på 109 %. *Gran 2.5* hadde ved den tredje revisjonen en fuktighet som lå langt over de andre forsøksveltene (151 %). *Gran 2.0* viser den laveste fuktigheten av granveltene ved andre, tredje og fjerde revisjon, men det er ikke signifikant forskjell i fuktighet mellom dem ved den fjerde revisjonen. Den fjerde revisjonen av furuvelta ga et annet borduttak enn de tre tidligere revisjonene, og resultatet fra denne revisjonen er derfor utelatt. Figur 8 viser gjennomsnittlig fuktighet for tømmer med tre ulike lagringstider før vanning i 1997.



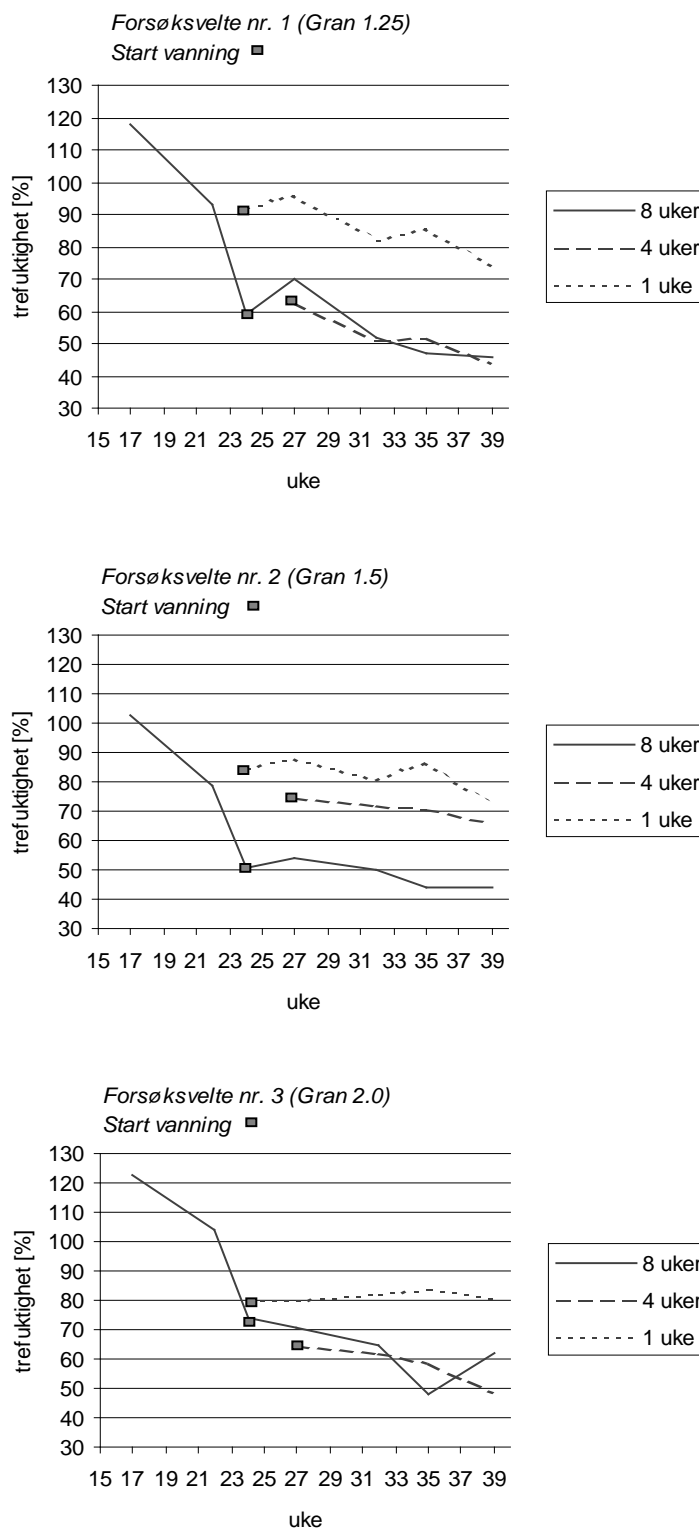
*Figur 8. Gjennomsnittlig fuktighet i 40 mm prøver for tømmer med tre ulike lagringstider før vanning i 1997.*  
*Mean moisture content in 40 mm samples for logs with three different times of storage before sprinkling in 1997.*

For tømmer med lagringstid åtte uker før vanning, viser figur 8 at når tømmeret ble lagt inn i de tre forsøksveltene etter avvirkning, var det en åpenbar forskjell i gjennomsnittlig fuktighet mellom de tre partiene fra samme bestand. En enveis variansanalyse viser at det nesten er signifikant forskjell mellom partiene ved første revisjon. Ved start på vanning er forskjellen signifikant ( $F=3,413$ ,  $\text{Prob}>F=0,042$ ,  $DF=2-82$ ), mens ved den sjuende og siste revisjonen er det ikke signifikant forskjell mellom vanningsintensitetene. Fra start på vanning (uke 24) til forsøkets slutt (uke 39) er det ingen signifikant forskjell i fuktighet i hver av de tre forsøksveltene med ulike vanningsintensiteter (toveis variansanalyse).

For tømmer med lagringstid ei uke før vanning (figur 8), var det en forskjell på 12 %-poeng mellom *Gran 1.25* og *Gran 2.0* når tømmeret ble lagt under vanning i uke 24. Forskjellen mellom de ulike vanningsintensitetene er imidlertid ikke signifikant, verken ved start på vanning i uke 24 eller ved forsøkets slutt i uke 39. For *Gran 1.25* er det signifikant lavere fuktighet ved forsøkets slutt enn ved start på vanning ( $F=9,779$ ,  $\text{Prob}>F=0,007$ ,  $DF=1-14$ ). For *Gran 1.5* er det også signifikant lavere fuktighet ved forsøkets slutt enn ved start på vanning ( $F=5,372$ ,  $\text{Prob}>F=0,036$ ,  $DF=1-14$ ). *Gran 2.0* viser ingen signifikante forskjeller i fuktighet.

For tømmer med lagringstid fire uker før vanning (figur 8), var det en forskjell på 12 %-poeng mellom *Gran 1.25* og *Gran 1.5* når tømmeret ble lagt under vanning i uke 24. Forskjellen i fuktighet mellom de tre forsøksveltene er ikke signifikant ved start på vanning, men ved forsøkets slutt er det signifikant forskjell i fuktighet ( $F=3,589$ ,  $\text{Prob}>F=0,036$ ,  $DF=2-82$ ). En multippel sammenligningsanalyse viser at fuktigheten for *Gran 1.25* og *Gran 2.0* er signifikant lavere enn for *Gran 1.5*. For *Gran 1.25* er det signifikant lavere fuktighet ved forsøkets slutt enn ved start på vanning ( $F=21,071$ ,  $\text{Prob}>F=0,0004$ ,  $DF=1-14$ ). For *Gran 1.5* er det ingen signifikant forskjell, mens det for *Gran 2.0* er signifikant lavere fuktighet ved forsøkets slutt enn ved start på vanning ( $F=10,264$ ,  $\text{Prob}>F=0,006$ ,  $DF=1-14$ ).

Figur 9 viser gjennomsnittlig fuktighet for tømmer med tre ulike vanningsintensiteter i 1997. Kurvene er de samme som i figur 8, men hvert diagram viser tømmeret i hver forsøksvelte. Tømmeret med lagringstid åtte uker før vanning ble avvirket i uke 16, mens tømmeret med lagringstid ei uke og fire uker før vanning ble avvirket i uke 23. Figuren viser, ikke uventet, at fuktigheten for tømmeret som var lagret i ei uke før vanning var høyest i alle tre forsøksveltene. For forsøksvelte nr. 1 (*Gran 1.25*) og forsøksvelte nr. 3 (*Gran 2.0*), var fuktigheten omtrent på samme nivå for tømmer lagret i åtte og fire uker før vanning. For forsøksvelte nr. 2 (*Gran 1.5*) hadde tømmeret med lagringstid fire uker før vanning en åpenbar høyere fuktighet enn tømmeret med lagringstid åtte uker før vanning. En må imidlertid være forsiktig med å sammenligne de ulike lagringstidene før vanning, fordi klimaet i lagringsperiodene ikke er de samme. Det er av den grunn utelatt å sammenligne dette statistisk.



*Figur 9. Gjennomsnittlig fuktighet i 40 mm prøver for tømmer med tre ulike vanningsintensiteter i 1997.*  
*Mean moisture content in 40 mm samples for logs with three different sprinkling intensities in 1997.*

I figur 9 er det (som beskrevet til figur 8) signifikant lavere fuktighet ved forsøkets slutt i forhold til start på vanning for *Gran 1.25* lagret i ei uke og fire uker, for *Gran 1.5* lagret i ei uke og for *Gran 2.0* lagret i fire uker. For tømmeret lagret i åtte uker før start på vanning, er det altså ingen signifikante forskjeller i fuktighet mellom start på vanning og ved forsøkets slutt.

Ved den siste revisjonen (uke 39) ble fuktigheten registrert i topp- og rotende og på midten av hver stokk. Disse resultatene vises i tabell 3. Det er utført toveis variansanalyser for å se om det var forskjell i fuktighet mellom toppende, midt og rotende for de ulike vanningsintensitetene og lagringstidene.

*Tabell 3. Gjennomsnittlig fuktighet i topp- og rotende og på midten av stokkene ved den siste revisjonen i uke 39 i 1997.*

*Mean moisture content at top and butt end and in the middle of the logs at the last revision, week 39 in 1997.*

Forsøksvelte	Lagringstid før vanning	Topp	Midt	Rot	Signifikant forskjell (5 %-nivå)
<b>Velte nr. 1</b> <b>Gran 1.25</b>	<b>1 uke</b>	71 %	78 %	73 %	Nei
	<b>4 uker</b>	46 %	53 %	44 %	Nei
	<b>8 uker</b>	46 %	86 %	61 %	Ja (F=13,091, Prob>F=0,0001, DF=2-26)
<b>Velte nr. 2</b> <b>Gran 1.5</b>	<b>1 uke</b>	73 %	85 %	74 %	Nei
	<b>4 uker</b>	69 %	79 %	67 %	Nei
	<b>8 uker</b>	44 %	71 %	63 %	Ja (F=6,832, Prob>F=0,003, DF=2-28)
<b>Velte nr. 3</b> <b>Gran 2.0</b>	<b>1 uke</b>	86 %	94 %	77 %	Nei
	<b>4 uker</b>	53 %	69 %	47 %	Ja (F=4,744, Prob>F=0,016, DF=2-28)
	<b>8 uker</b>	62 %	101 %	76 %	Ja (F=10,501, Prob>F=0,0004, DF=2-28)

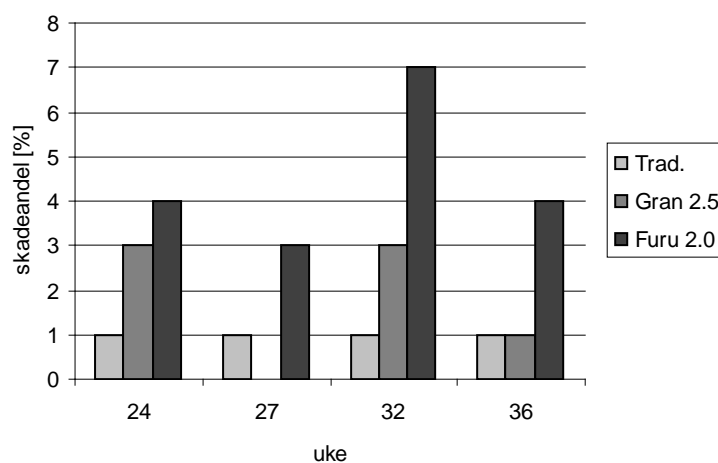
Tabellen viser, ikke uventet, at fuktigheten var høyest midt på stokkene. For tømmeret som var lagret åtte uker før start på vanning, er det signifikante forskjeller mellom toppende, midt og rotende for de tre vanningsintensitetene. Kontrastregning viser at for *Gran 1.25* lagret i åtte uker, er både topp- og rotende signifikant forskjellig fra midten (F=22,228, Prob>F=0,00007, DF=1-13). For *Gran 1.5* lagret i åtte uker, er det signifikant forskjell både mellom midten på stokkene og de to endene (F=7,437, Prob>F=0,011, DF=1-14), og mellom topp- og rotende (F=6,227, Prob>F=0,018, DF=1-14). For *Gran 2.0* lagret i åtte uker, er både topp- og rotende signifikant forskjellig fra midten på stokkene (F=18,356, Prob>0,0002, DF=1-14).



#### 4.1.2. Blåvedskader

Registreringen av blåved i 1996 viste at det var store forskjeller med hensyn til hvor blåveden var å finne i bordene. I granbordene var blåveden hovedsakelig knyttet til vankant og gikk noen millimeter ned i veden. Inngangsporten syntes å være der hvor veden ble blottlagt som følge av barkskader. Blåvedskadene på granbordene hadde svært liten eller ingen betydning for kvaliteten på de ferdige produktene. På furubordene var blåveden å finne også på kant- og flatsider, og skadene var her av en slik karakter at de ga forringede materialer.

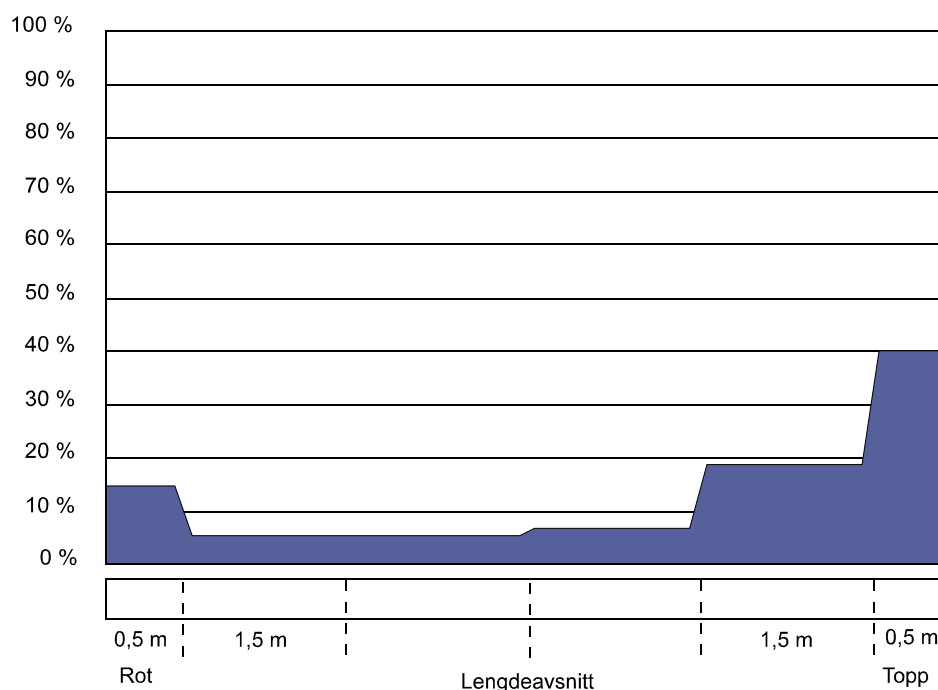
Figur 10 viser prosentvis volumandel med blåvedskade for sidebordene i 1996.



Figur 10. Prosentvis volumandel med blåvedskade for sidebord.  
Percentage of volume for side boards damaged by blue stain fungus.

Andelen av volumet som var blåvedskadet var fra 0-3 % for gran og fra 4-7 % for furu. Tradisjonell forsøksvelte viste 1 % skadeandel ved alle fire revisjonene. Gran 2.0 er utelatt i figur 10 fordi dette var en tømmerklasse større enn Gran 2.5. Med samme skuruttak ga dette en plassering av sidebordene lenger inn mot marginen for Gran 2.0. Dette ga igjen en lav skadeandel for Gran 2.0, som ble registrert som 0 % ved de tre første revisjonene, og 1 % ved den fjerde revisjonen. For furu var også tømmerklassen større, men her var skuruttaket optimalisert mot tømmerklassen.

Da blåvedskadene var mest omfattende for furu, vil det være naturlig å se nærmere på hvor blåveden opptrer, og hva som er inngangsporten for soppsporene. Furubordene ble derfor delt inn i ulike lengdeavsnitt, og antall skadde bord i hvert lengdeavsnitt ble talt opp. Resultatet er vist i figur 11.



*Figur 11. Prosentvis andel furubord med blåvedskade i ulike lengdeavsnitt.  
Percentage share of pine boards damaged by blue stain fungus in different length sections.*

Figuren viser at blåvedskadene opptrer hyppigst i endene av tømmeret, spesielt i toppenden.

#### 4.1.3. Insektskader

På furubordene ble det ikke funnet insektskader, mens det på granbordene ble funnet skader etter stripet vedborer. Stripet vedborer angriper først og fremst ferske stubber, ubarket virke i skyggefulle omgivelser eller svekkede trær. Det var ingen resultater som ga noen indikasjoner på økning av insektskader på tømmeret i forsøksveltene. Det er all grunn til å tro at insektskadene var kommet ved lagring av tømmeret i skogen eller på sagbrukstomt før start på vanning. Tømmeret med *Tradisjonell* vanning viste en skadeandel i prosent av volumet på 1 % ved tre av fire revisjoner. Ellers ble det bare sporadisk funnet insektskader.

#### 4.1.4. Permeabilitetskader

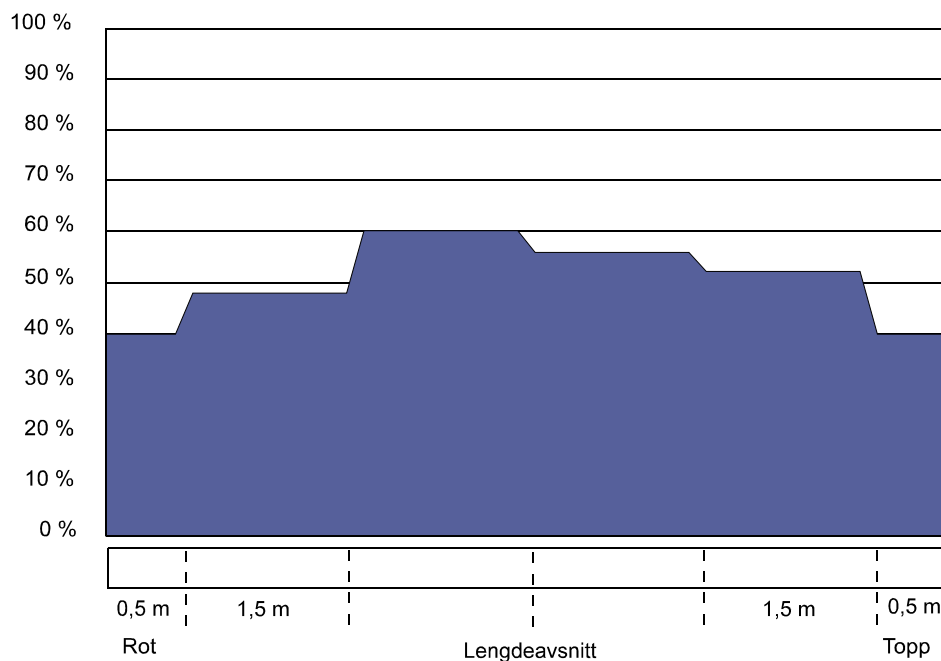
Permeabilitetsskadene er undersøkt for alle fire revisjonene fra furutømmeret, mens for grantømmeret er permeabilitetsskadene undersøkt for den fjerde og siste revisjonen. Tabell 4 viser prosentvis volumandel til sidebordene som var Permeabilitetsskadet for de ulike forsøksveltene i 1996.

Tabellen viser en dramatisk økning av permeabilitetsskadene for furubordene fra revisjon tre til revisjon fire. *Gran 2.0* er også her utelatt fra tabellen fordi det var en tømmerklasse større og dermed ikke sammenlignbare resultater.

Tabell 4. Prosentvis volumandel med permeabilitetskade for sidebord.  
Percentage of volume for side boards with permeability damage.

Revisjon nr.	1	2	3	4
Antall uker under vanning	1 uke	5 uker	10 uker	14 uker
Tradisjonell	-	-	-	17 %
Gran 2.5	-	-	-	14 %
Furu 2.0	0 %	0 %	3 %	28 %

For furubordene fra fjerde revisjon, er antall skadde bord i de ulike lengdeavsnittene talt opp og resultatene er vist i figur 12.



Figur 12. Prosentvis andel furubord med permeabilitetskade i ulike lengdeavsnitt ved revisjon nr. 4 i 1996.

Percentage share of pine boards with permeability damage in different length sections at revision no. 4 in 1996.

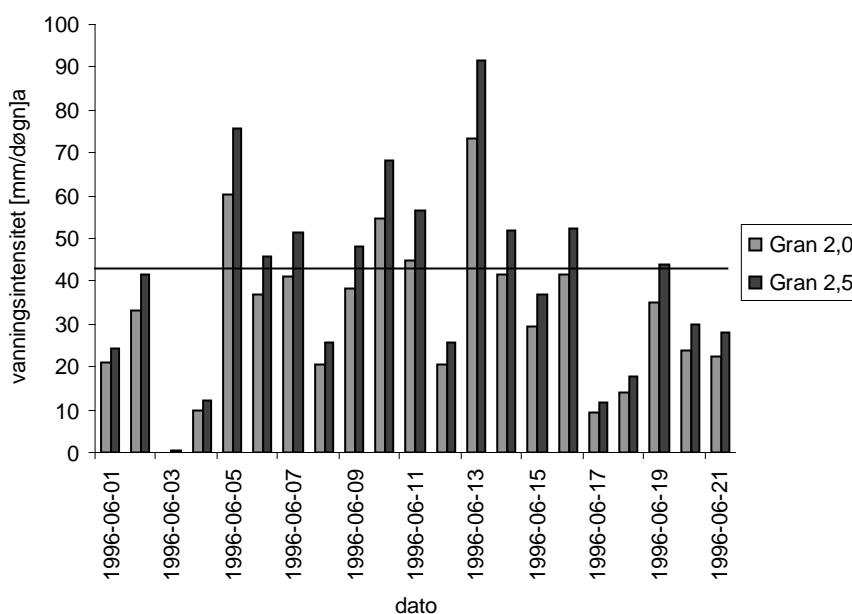
Figur 12 viser, i motsetning til blåvedskadene, at permeabilitetsskadene opptrer hyppigst på midten av bordene. Skadeandelen (antall skadde bord) i de ulike lengdeavsnittene varierte fra 40-60 %.

## 4.2. Vanningsintensitet

Teoretisk vil optimalt forbruk av vann ved tømmervanning være lik de vannmengdene som fordampes fra tømmerveltene. Resultatene viser de beregnede vanningsintensitetene og det reelle forbruket av vann i 1996 og 1997.

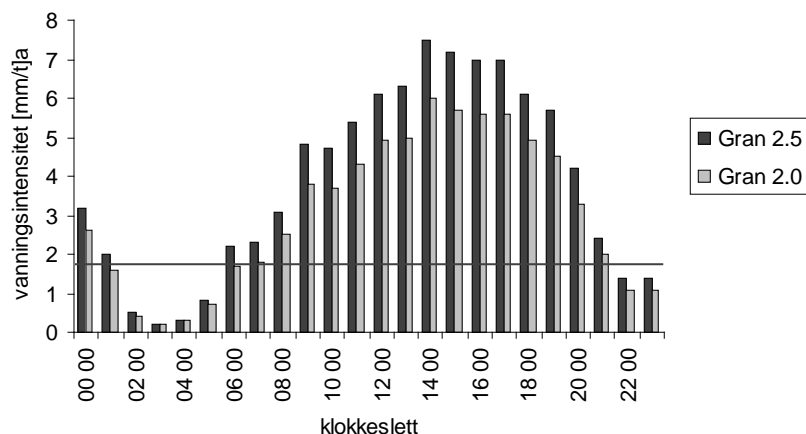
### 4.2.1. Vanningsintensitet pr. døgn og time

For å illustrere hvordan vanningsintensiteten kan variere fra døgn til døgn, vises som eksempel hvordan de beregnede vanningsintensitetene i mm/døgn for *Gran 2.0* og *Gran 2.5* varierte i juni 1996. Dette er vist i figur 13. Vanningsintensiteten for *Tradisjonell* forsøksvelte er angitt med en horisontal strek på 42 mm/døgn.



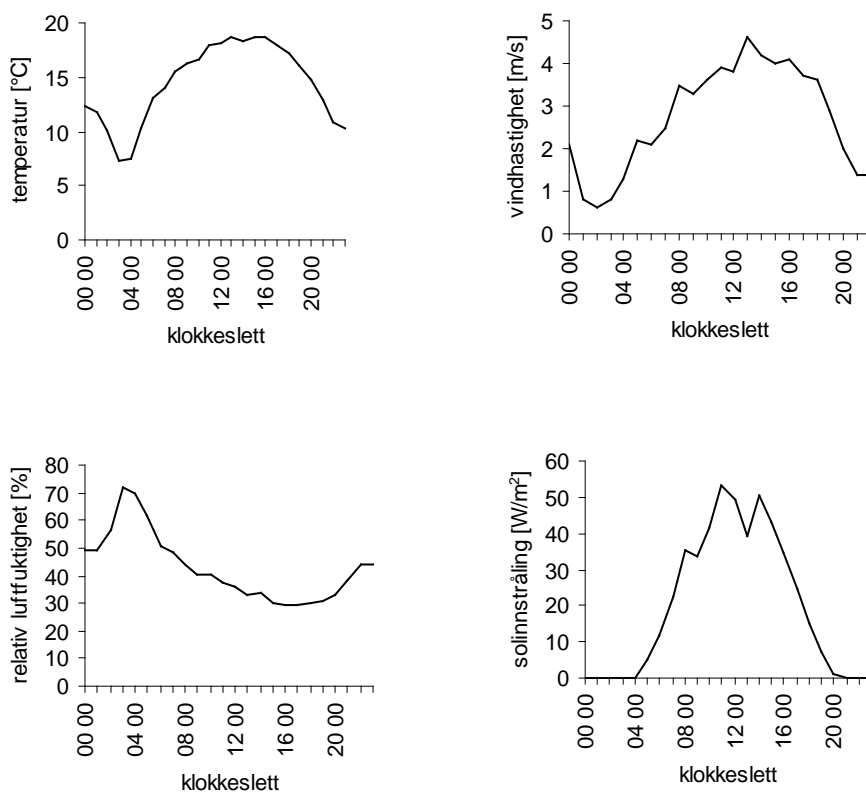
Figur 13. Beregnet vanningsintensitet i mm/døgn for juni 1996.  
Calculated sprinkling intensity in mm/24h for June 1996.

Det er også interessant å se hvordan den beregnede vanningsintensiteten varierer fra time til time gjennom et døgn. Som eksempel er valgt 13. juni 1996, som var det døgnet som viste høyeste vanningsintensitet i hele denne måneden. Dette er vist i figur 14. Vanningsintensiteten for *Tradisjonell* forsøksvelte er markert med en horisontal linje på 1,75 mm/time.



Figur 14. Beregnet vanningsintensitet i mm/t for ulike klokkeslett 13. juni 1996.  
Calculated sprinkling intensity in mm/h at different hours 13 June 1996.

Figur 15 illustrerer hvordan klimaparametrene varierte for det samme døgnet.

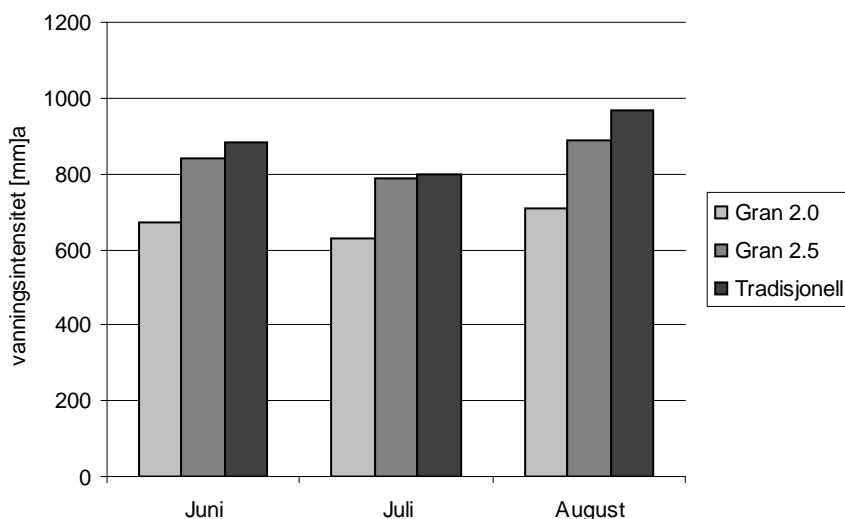


Figur 15. Temperatur, vindhastighet, relativ luftfuktighet og solinnstråling for ulike klokkeslett 13. juni 1996.  
Temperature, wind speed, relative humidity and sun radiation at different hours 13 June 1996.

Figur 15 viser at variasjonen i temperatur og vindhastighet gjennom døgnet har et likt forløp som den beregnede fordampningen, mens den relative luftfuktigheten har et omvendt forløp.

#### 4.2.2. Vanningsintensitet pr. måned

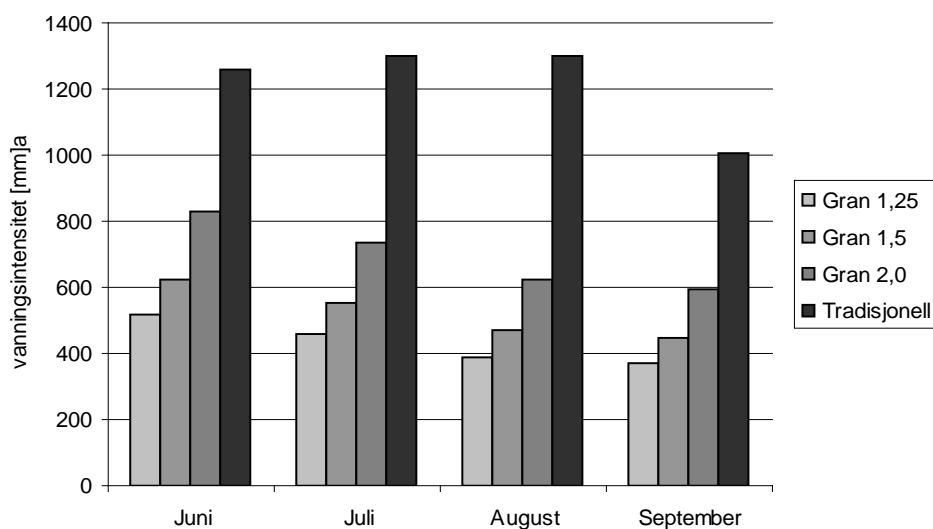
Figur 16 viser akkumulerte beregnede vanningsintensiteter pr. måned i 1996.



*Figur 16. Akkumulerte beregnede vanningsintensiteter i mm for juni, juli og august 1996.*

*Accumulated calculated sprinkling intensities in mm for June, July and August 1996.*

Figur 17 viser akkumulerte beregnede vanningsintensiteter pr. måned i 1997.



*Figur 17. Akkumulerte beregnede vanningsintensiteter i mm for juni, juli, august og september 1997.*

*Accumulated calculated sprinkling intensities in mm for June, July, August and September 1997.*

*Tradisjonell* forsøksvelte inngikk ikke i forsøket i 1997, men er satt inn i figur 17 for å illustrere denne vanningsintensiteten. Ulik vanningsintensitet for *Tradisjonell* forsøksvelte fra måned til måned skyldes ulikt antall driftsdøgn pr. måned. Antall driftsdøgn for *Tradisjonell* vanning er satt til antall driftsdøgn for den klimastyrt vanningen i hver måned.

#### 4.2.3. Tilført vannvolum

Tilført vannvolum til hver forsøksvelte er avlest på vannmålere. Tabell 5 viser tilført vannvolum i m<sup>3</sup> og % for de seks forsøksveltene i 1996. *Tradisjonell* forsøksvelte er satt til 100 % vannvolum.

Tabell 5. Tilført vannvolum pr. forsøksvelte og måned i m<sup>3</sup> og % i 1996.  
Volume of water supplied per experimental pile and month in m<sup>3</sup> and % in 1996.

Velte nr.	Juni	Juli	August	Juni	Juli	August
<b>6 Tradisjonell</b>	189 m <sup>3</sup>	138 m <sup>3</sup>	191 m <sup>3</sup>	100 %	100 %	100 %
<b>1 Gran 2.5</b>	154 m <sup>3</sup>	130 m <sup>3</sup>	165 m <sup>3</sup>	81 %	94 %	86 %
<b>2 Gran 2.5</b>	135 m <sup>3</sup>	127 m <sup>3</sup>	162 m <sup>3</sup>	71 %	92 %	85 %
<b>3 Gran 2.5</b>	139 m <sup>3</sup>	126 m <sup>3</sup>	162 m <sup>3</sup>	74 %	91 %	85 %
<b>4 Gran 2.0</b>	-	105 m <sup>3</sup>	140 m <sup>3</sup>	-	76 %	73 %
<b>5 Furu 2.0</b>	-	105 m <sup>3</sup>	142 m <sup>3</sup>	-	76 %	74 %

For *Gran 2.5* ble vannforbruket redusert med 6-29 %-poeng i forhold til *Tradisjonell* vanning. For *Gran 2.0* ble vannforbruket redusert med 24-27 %-poeng i forhold til *Tradisjonell* vanning.

Tabell 6 viser tilført vannvolum i m<sup>3</sup> og % for de tre forsøksveltene i 1997, samt for *Tradisjonell* vanning som er beregnet ut fra 42 mm/døgn og antall driftsdøgn til den klimastyrt vanningen.

Tabell 6. Tilført vannvolum pr. forsøksvelte og måned i m<sup>3</sup> og % i 1997.  
Volume of water supplied per experimental pile and month in m<sup>3</sup> and % in 1997.

Velte nr.	Juni	Juli	August	Sept.	Juni	Juli	August	Sept.
<b>Tradisjonell</b>	79 m <sup>3</sup>	217 m <sup>3</sup>	179 m <sup>3</sup>	48 m <sup>3</sup>	100 %	100 %	100 %	100 %
<b>1 Gran 1.25</b>	32 m <sup>3</sup>	75 m <sup>3</sup>	52 m <sup>3</sup>	16 m <sup>3</sup>	40 %	35 %	29 %	34 %
<b>2 Gran 1.5</b>	39 m <sup>3</sup>	92 m <sup>3</sup>	63 m <sup>3</sup>	22 m <sup>3</sup>	50 %	42 %	35 %	46 %
<b>3 Gran 2.0</b>	53 m <sup>3</sup>	126 m <sup>3</sup>	89 m <sup>3</sup>	29 m <sup>3</sup>	67 %	58 %	50 %	61 %

Tabell 6 viser at for *Gran 1.25* ble vannforbruket redusert med 60-71 %-poeng i forhold til *Tradisjonell* vanning, mens det for *Gran 1.5* ble redusert med 50-65 %-poeng, og for *Gran 2.0* ble redusert med 33-50 %-poeng.

#### 4.2.4. Avrent vannvolum

Avrent vannvolum fra tømmerveltene er beregnet ut fra avlest "antall vipp" fra vippekarene. Resultatene er ikke korrigert for vannet som ble sprøytet på utsiden av avrenningsarealene. Tabell 7 viser avrent vannvolum i m<sup>3</sup> og i % av tilført vannvolum for fire av forsøksveltene i 1996.

*Tabell 7. Avrent vannvolum pr. forsøksvelte og måned i m<sup>3</sup> og i % av tilført vannvolum i 1996.*

*Volume of waste water per experimental pile and month in m<sup>3</sup> and in % of supplied water in 1996.*

Velte nr.	Juni	Juli	August	Juni	Juli	August
<b>6 Tradisjonell</b>	112 m <sup>3</sup>	-	110 m <sup>3</sup>	59 %	-	58 %
<b>1 Gran 2.5</b>	61 m <sup>3</sup>	-	-	40 %	-	-
<b>2 Gran 2.5</b>	42 m <sup>3</sup>	58 m <sup>3</sup>	41 m <sup>3</sup>	31 %	46 %	25 %
<b>3 Gran 2.5</b>	49 m <sup>3</sup>	-	43 m <sup>3</sup>	35 %	-	27 %

Problemer med vippekarene førte til manglende registreringer for noen av forsøksveltene og månedene. Av tabell 7 framgår det at avrent vannvolum fra de klimastyrte forsøksveltene var betydelig mindre enn for forsøksvelta som ble vannet *Tradisjonelt*.

Tabell 8 viser avrent vannvolum i m<sup>3</sup> og i % av tilført vannvolum for de tre forsøksveltene i 1997.

*Tabell 8. Avrent vannvolum pr. forsøksvelte og måned i m<sup>3</sup> og i % av tilført vannvolum i 1997.*

*Volume of waste water per experimental pile and month in m<sup>3</sup> and in % of supplied water in 1997.*

Velte nr.	Juni	Juli	August	Sept.	Juni	Juli	August	Sept.
<b>1 Gran 1.25</b>	14 m <sup>3</sup>	16 m <sup>3</sup>	14 m <sup>3</sup>	7 m <sup>3</sup>	44 %	21 %	26 %	44 %
<b>2 Gran 1.5</b>	20 m <sup>3</sup>	19 m <sup>3</sup>	24 m <sup>3</sup>	14 m <sup>3</sup>	50 %	21 %	38 %	64 %
<b>3 Gran 2.0</b>	14 m <sup>3</sup>	22 m <sup>3</sup>	-	-	26 %	17 %	-	-



For velte nr. 3 er registreringene for august og september manglende på grunn av feil med vippekaret. For juni og juli viser avrenningen fra velte nr. 3 små volumer i forhold til hva en kan forvente fra forsøksvelta med den høyeste vanningsintensiteten. Dette forklares med at under velte nr. 3 var det et sandfilter på omkring 15-20 cm som holdt vannet tilbake slik at avrenningen ble redusert.

## 5. Diskusjon og konklusjoner

Hovedkonklusjonene fra forsøket er at det om våren er svært viktig å redusere lagringstiden fra avvirkning til start på vanning for å opprettholde en høy fuktighet i tømmeret. Klimastyrt vanning med sikkerhetsfaktor lavere enn 2,0 synes ikke å være tilstrekkelig for å opprettholde fuktigheten i tømmer lagret ei uke fra avvirkning til start på vanning. Lagringskader som blåved og insektskader på tømmeret vil i hovedsak kunne relateres til lagringsperioden før start på vanning, og furutømmer får betydelige permeabilitetskader ved lagring lengre enn 10 uker under vanning. Klimastyrt vanning reduserer vannforbruket betydelig i forhold til vanning med konstant vanningsintensitet, og avrent vannvolum reduseres i forhold til tilført vannvolum når vanningsintensitet reduseres.

Erfaringene etter to år med klimastyrt tømmervanning er positive når det gjelder virkeskvalitet og vannforbruk. Det klimastyrte tømmervanningsanlegget medførte derimot en rekke tekniske problemer som igjen forsinket starten for vanningssesongen både i 1996 og 1997. Det utviklede anlegget ved Soknabruket er en sammensetning av flere tekniske løsninger, som hver for seg fungerte tilfredsstillende, men ga en del problemer i grensesnittene mellom de ulike løsningene.

### 5.1. Fuktighet

Registreringen av fuktigheten i tømmeret i 1996 viste at grantømmeret beholdt en fuktighet på over 110 % gjennom hele vanningssesongen, hvilket skulle bety at de tre vanningsintensitetene (*Tradisjonell*, *Gran 2.0* og *Gran 2.5*) ga store nok vannmengder. *Gran 2.5* viste ved den tredje revisjonen 151 % fuktighet, noe som lå langt over de andre forsøksveltene og hva som ble registrert ved de andre revisjonene. Dette resultatet kan ikke forklares. *Tradisjonell* velte og *Gran 2.0* viser en økning i trefuktighet fra revisjon tre til revisjon fire som ikke er signifikant. En økning i trefuktighet på slutten av vanningssesongen kan være et resultat av permeabilitetskader. Fuktigheten for *Furu 2.0* viste en svak, men ikke signifikant reduksjon (109-97 %) fra revisjon én (13. juni) til revisjon tre (7. august), noe som skulle bety at vanningsintensitet med sikkerhetsfaktor 2,0 skulle være nok til å opprettholde fuktigheten i tømmeret.

Fuktigheten i tømmeret lagret i åtte uker før start på vanning i 1997 viser ingen signifikante forskjeller mellom de tre vanningsintensitetene på slutten av vanningssesongen. Det er heller ingen signifikante forskjeller i fuktighet ved start på vanning og på slutten av vanningssesongen for hver av de tre vanningsintensitetene. For dette tømmeret viser figur 8 en sterk uttørking i tømmeret fram til start på vanning. Deretter reduseres uttørkingen betydelig. Ut fra disse resultatene er det all grunn til å tro at vanningen har redusert uttørkingen fra tømmeret. En kjenner imidlertid ikke hvordan uttørkingsforløpet ville ha vært uten vanning. Ved start på vanning hadde tømmeret som var lagret i åtte uker en fuktighet fra 51-74 %. Optimal trefuktighet for blåvedsopper regnes å være mellom 40-100 %. Lagring i åtte uker fra avvirkning til start på vanning i den gitte

lagringsperioden, gir ingen tilfredsstillende fuktighet i tømmeret med hensyn til det optimale området for blåvedsopper.

For tømmeret lagret i ei uke før start på vanning, viser *Gran 1.25* og *Gran 1.5* signifikant lavere fuktighet på slutten av vanningsperioden enn ved start på vanning. *Gran 2.0* opprettholdt fuktigheten gjennom hele vanningsperioden. Resultatene viser imidlertid ingen signifikante forskjeller i fuktighet ved samme tidspunkt mellom de ulike vanningsintensitetene. For tømmeret lagret i ei uke før vanning i den gitte lagringsperioden, viser resultatene at en vanningsintensitet med sikkerhetsfaktor 1,25 og 1,5 ikke er tilstrekkelig for å opprettholde fuktigheten i tømmeret. Ved start på vanning hadde tømmeret som var lagret i ei uke en fuktighet fra 80-92 %. Disse fuktighetene er også innenfor det optimale området for blåvedsopp.

For tømmeret lagret i fire uker før start på vanning, er det ingen signifikante forskjeller i fuktighet mellom de ulike vanningsintensitetene ved start på vanning. På slutten av vanningsperioden viser imidlertid *Gran 1.25* og *Gran 2.0* signifikant lavere fuktighet enn *Gran 1.5*. *Gran 1.25* og *Gran 2.0* viser også en uttørring fra start på vanning til vanningsperiodens slutt som er signifikant. Disse resultatene er ikke i overensstemmelse med hva man forventer når vanningsintensiteten øker, og kan skyldes lokale forhold i den enkelte forsøksvelte. Ved start på vanning hadde tømmeret som var lagret i fire uker en fuktighet fra 63-75 %. Lagring i fire uker fra avvirkning til start på vanning i den gitte lagringsperioden gir heller ikke tilfredsstillende fuktighet i tømmeret med hensyn til det optimale området for blåvedsopper.

Resultatene fra 1997 viser at det er svært viktig å få tømmeret under vanning så raskt som mulig i månedene april, mai og juni. I alle de tre forsøksveltene hadde tømmeret med en lagringstid på ei uke før vanning det høyeste fuktighetsnivået gjennom hele vanningsperioden. Man må imidlertid være forsiktig med å sammenligne disse tre lagringstidene, da avvirkningstidspunktet for tømmeret var forskjellig, og dermed også klimaet i lagringsperioden. For tømmer lagret åtte uker før vanning, ser det ut til at de tre vanningsintensitetene gir tilstrekkelig vannmengde for å opprettholde fuktigheten gjennom vanningsperioden. For tømmer lagret ei uke før vanning ser det ut til at sikkerhetsfaktor 1,25 og 1,5 ikke gir tilstrekkelig vannmengde for å opprettholde fuktigheten.

Resultatene fra 1996 viste høyere fuktighet i tømmeret enn i 1997. I 1996 ble fuktighetsprøvene tatt fra sidebord i tømmerstokkene, mens i 1997 ble fuktighetsprøvene boret ut med spunsefres i tømmeret. For begge årene ble prøvene tatt 30 cm inn fra toppenden til bordene/stokkene. Lavere fuktighet i 1997 kan skyldes at prøvene ble tatt ut ytterst i tømmeret, det vil si ca. 40 mm i radiell retning inn fra tømmerets overflate under bark. Sidebordene i 1996 er tatt ut lenger inn i tømmeret. Det er uvisst om noen av fuktighetsprøvene i 1996 eller i 1997 inneholdt kjerneved. I så fall vil disse prøvene ha gitt en lavere fuktighet enn hva man finner i yteveden. Tømmeret i 1996 var avvirket på senvinteren og våren, slik at lagringstiden ikke var kortere for dette tømmeret enn hva det var for tømmeret i 1997. Forskjeller i fuktighetsnivå mellom de to årene kan derfor

skyldes ulikt uttak av fuktighetsprøvene og/eller større uttørking i 1997 enn i 1996.

For tømmeret lagret i åtte uker før vanning, er det grunn til å tro at fuktighetsprøvene ved siste revisjon er påvirket av endeuttørking. For alle tre vanningsintensitetene viser både topp- og rotende for dette tømmeret signifikant lavere fuktighet enn for midten av stokkene. For tømmeret med andre lagringstider, er det bare *Gran 2.0* lagret i fire uker før vanning som viser signifikant lavere fuktighet i endene enn på midten av stokkene.

## 5.2. Virkesskader

Det var ingen indikasjoner på at blåvedskadene økte gjennom vanningsperioden for noen av forsøksveltene i 1996. Blåvedskadene på granbordene var ubetydelige for kvaliteten på bordene. For furubordene var blåvedskadene av betydelig omfang, men resultatene tyder på at blåvedskadene hadde kommet før start på vanning. Furustokkene hadde også lavere fuktighet enn granstokkene. Blåvedskadene på furubordene var hyppigst i endene på bordene, og spesielt i toppenden. Dette betyr at inngangsporten for soppsporene først og fremst er endeflatene. At blåvedskadene er størst i toppenden, skyldes sannsynligvis tynnere bark og mer kvist i toppen av stokkene, og at bordene ligger lenger ut i yteveden i toppenden enn i rotenden.

I forsøket i 1996 ble det ikke funnet insektskader av betydning eller som kunne relateres til vanningsperioden.

Fra revisjon tre til fire (hhv. 10 og 14 uker under vanning) økte permeabilitetsskadene på furubordene fra 3-28 %. Dette resultatet stemmer bra med hva Boutelje, Ihlstedt & Jonsson (1979) konkluderte med i sin undersøkelse. De fant at ubarket furutømmer kunne ligge omkring 10 uker under vanning uten alt for store permeabilitetskader. Resultatene fra revisjon fire i 1996 viser også at skadeandelen er større for furu enn for gran. Dette bekreftes også i flere undersøkelser (Boutelje, Ihlstedt & Jonsson 1979, Weslien 1992a, Edvardsen 1995). I forsøket fra 1996 var skadeandelen størst på midten av furubordene, noe som også Weslien (1992a) fant i sine undersøkelser.

## 5.3. Vanningsintensitet

Vanningsintensiteten i mm/døgn og mm/time for den klimastyrte tømmervanningen viste store variasjoner fra døgn til døgn og fra time til time. Sammenlignet med tradisjonell tømmervanning som gir en konstant vanningsintensitet, gir klimastyringen vannmengder som står i forhold til det rådende klima til en hver tid. Akkumulerte beregnede vannmengder pr. måned viste at de klimastyrte forsøksveltene hadde lavere vannforbruk enn *Tradisjonell* vanning for alle månedene i de to vanningsperiodene.

Det reelle vannforbruket i hver forsøksvelte viste også åpenbare reduksjoner i forhold til *Tradisjonell* vanning. I 1996 ble vannforbruket til *Gran 2.5* redusert med 6-29 %-poeng i forhold til *Tradisjonell*, mens vannforbruket til *Gran 2.0* ble redusert med 24-27 %-poeng. I 1997 var reduksjonene for *Gran 2.0* 35-50 %-poeng, *Gran 1.5* 50-65 %-poeng og *Gran 1.25* 60-71 %-poeng. Når det gjelder tallene for 1997, er de i forhold til et beregnet vannforbruk for *Tradisjonell* vanning, slik at disse tallene vil være noe usikre.

Avrent vannvolum gir et bilde på hvor mye vann som ble samlet opp av presenningene under forsøksveltene og ikke den totale avrenningen fra forsøksveltene. Dette fordi spredearealet til vannsprederne var større enn arealet som ble dekket av presenningene under forsøksveltene. Avrenningsarealet samlet derimot opp alt vannet som rant gjennom forsøksveltene. Resultatene fra 1996 viser at avrent vannvolum i prosent av tilført vannvolum for *Tradisjonell* vanning var større enn for den klimastyrte tømmervanningen. Resultatene fra 1997 viste at *Gran 1.5* hadde større prosentvis avrenning enn *Gran 1.25* i juni, august og september, mens i juli var den prosentvise avrenningen lik for begge forsøksveltene. Disse resultatene indikerer at avrent vannvolum reduseres i forhold til tilført vannvolum når vanningsintensiteten går ned, noe som også bekreftes av Elowsson & Liukko (1995). Altså avtar avrenningsandelen når vanningsintensiteten reduseres.

## 6. Litteratur

- Boutelje, J. & Jonsson, U. 1976. Effekterna av våtlagring av timmer (Del4) – Inverkan på impregnering av sågat virke. STFI-meddelande Serie A nr. 376, Svenska Träforskningsinstitutet.
- Boutelje, J., Ihlstedt, B. & Jonsson, U. 1979. Effekterna av våtlagring av timmer (Del 1) – Inverkan på betsning och täckande målning. STFI-meddelande Serie A nr. 486, Svenska Träforskningsinstitutet.
- Boutelje, J.B. 1987. A survey on the storage of coniferous saw log. Proceedings of the IUFRO Wood Protection Subject Group, Honey Harbour, Ontario, Canada, May 1987.
- Björkhem, U., Dehlén, R., Lundin, L., Nilsson, S., Olsson, M., & Regnader, J. 1977. Lagring av massaved under vattenbegjutning – effekter på insekter och omgivande miljö. Rapport inst. Skogsteknik, Skoghögskolan.
- Edvarsen, K. 1995. Virkeskvalitet og tømmervanning. Nordisk timmerbevattningskonferens, Arlanda 28. Feb. 1995. Sveriges lantbruksuniversitet, Fakta skog konferens 1, Uppsala 1995.
- Elowsson, T. & Liukko, K. 1995. How to achieve effective wet storage of pine logs (*Pinus sylvestris*) with a minimum amount of water. Forest Products Journal, 1995, Vol. 45, No. 11/12.
- Gjerdrum, P. 1975. Overrisling og vannlagring ved sagbruk – en intervjuundersøkelse. Rapport 2/75, Norsk institutt for skogforskning, Ås.
- Gjerdrum, P. 1976. Overrisling av landlagret skurtømmer av gran. Del 1: Lagringsbetingelser og tømmerkvalitet. Rapport 2/76, Norsk institutt for skogforskning, Ås.
- Grönlund, A. 1974. Blånadsskador på maskinellt kvistat virke, sommarhalvåret 1974. Meddelande nr. 311, Svenska Träforskningsinstitutet.
- Henningsson, B. & Lundström, H. 1974. Insektsblånadens tillväxt och dess påverkan av vedens vattenläggning – Några laboratorieförsök. Skogshögskolan, Institutionen för virkeslära.
- Holappa, E-L. 1990. Lagring av talltimmer under bevattning. Rapport nr. 216, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen for virkeslära.
- Johansson, B. 1964. Intermittent bevattning av sågtimmer. Nr. R 46, Skogshögskolan, Institutionen för virkeslära.
- Klem. G.G. & Halvorsen, B. 1963. Undersøkelse av enkelte kvalitetsegenskaper hos bunntømmer. Meddr norske Skogfors Ves. 66:317-77.

- Liese, W. 1973. Zur Qualitätserhaltung von Sturmholz bei längerer Lagerung. Forstarchiv. 44: 149-53.
- Liukko, K. & Elowsson, T. 1995a. Climate controlled sprinkling of saw timber. Proceedings of the IUFRO XX World Congress Project 3.07 Meeting, Tampere, Finland, 6-12 august 1995, submitted for publication. The Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Products, Uppsala, Sweden. ISBN 91-576-5061-6.
- Liukko, K. & Elowsson, T. 1995b. Potential and measured evaporation in saw timber piles of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Possibilities of climate adapted sprinkling of saw timber. Manuscript submitted to Scandinavian Journal of Forest Research. The Swedish University of Agricultural Sciences, Department of Forest Products, Uppsala, Sweden. ISBN 91-576-5061-6.
- Monteith, J.L. & Unsworth, M.H. 1990. Environmental Physics. 2nd ed. Edward Arnold, London. ISBN 0-7131-2931-X.
- Nylinder, P. 1976. Bevattning som virkesvård. Föredrag vid Skogshögskolans höstkonferens 1975. I "Skogs- och virkesskydd". Sveriges Skogvårdsförbund, Djursholm.
- Schroeder, M. 1995. Insektskador i samband med lagring av barrträdvirke. Nordisk timmerbevattningsskonferens, Arlanda 28. Feb. 1995. Sveriges lantbruksuniversitet, Fakta skog konferens 1, Uppsala 1995.
- Weslien, H. 1992a. Blånads- och permeabilitetsskador vid bevattning av timmer i höga vältor. Uppsats nr. 168, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära.
- Weslien, H. 1992b. En jämförelse av permeabilitetsskador hos timmer bevattnat med recirkulerande och icke recirkulerande vatten. Uppsats nr. 169, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för virkeslära.
- Wilhelmsen, G. & Foslie, M. 1967. Lagringsskader på ubarket skurtømmer og effekten av sprøyting med insekt- og soppdrepende midler. Meddelelse nr. 35, Norsk Treteknisk Institutt.
- Wilhelmsen, G. 1968. Water storage of unbarked mechanical pulpwood of Norway spruce. Norsk Skogindustri 6/68: s. 207-211.

## Vedlegg

### 1.1. Variable data (registreringer fra klimastasjon)

$T$	[°C]	Temperatur
$RH$	[%]	Relativ luftfuktighet
$U$	[m/s]	Vindhastighet
$S_R$	[W/m <sup>2</sup> ]	Kortbølget solinnstråling

### 1.2. Beregning av teoretisk fordampning

$E$  er den teoretiske beregnede fordampningen gitt i mm/time (1).

$$E = \frac{\frac{\Delta SVP \cdot R_n}{\lambda} + \frac{\rho \cdot C_p \cdot P_{dmt} \cdot (1 - RH)}{\lambda \cdot r_a}}{\Delta SVP \cdot \gamma} \quad (1)$$

$\lambda$  [J/kg] er en konstant som viser fordampningsvarmen.  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] er luftas densitet og  $C_p$  [J/kg °C] er luftas spesifikke varmekapasitet.  $RH$  er luftas relative luftfuktighet målt av klimastasjonen.  $\gamma$  [Pa/°C] er en såkalt psykrometerkonstant.  $\Delta SVP$  [Pa/°C] angir stigningskurven til luftas metningstrykk, og er beregnet etter formel 2, hvor  $C_1$ ,  $C_2$  og  $C_3$  er konstanter (se *Konstante verdier*) og  $T$  [°C] er temperatur.

$$\Delta SVP = \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot C_3}{(C_3 + T)} \cdot e^{\left(\frac{C_2 T}{C_3 + T}\right)} \quad (2)$$

$R_n$  [W/m<sup>2</sup>] fra formel 1 er netto innstråling beregnet etter formel 3a,

$$R_n = (1 - \alpha) \cdot S_R + R_{LN_0} \left( 0,2 + 0,8 \cdot \frac{n}{N} \right) \quad (3a)$$

hvor  $\alpha$  [%] er energitapet ved stråling fra tømmervelta, og  $S_R$  [W/m<sup>2</sup>] er kortbølget solinnstråling målt fra klimastasjonen.  $n$  og  $N$  viser henholdsvis timer uten skyer og timer med dagslys, og er satt til å være konstant 12 timer for hver.  $R_{LN_0}$  [W/m<sup>2</sup>] er netto langbølget innstråling uten skyer beregnet etter formel 3b, hvor  $K$  [°K] er temperatur ( $K = T + 273,15$ ).  $a$ ,  $\sigma$  og  $\varepsilon$  er konstanter (se *Konstante verdier*).

$$R_{LN_0} = a \cdot \sigma \cdot K^4 \cdot \left(\frac{P}{K}\right)^{\frac{1}{7}} - \varepsilon \cdot \sigma \cdot K^4 \quad (3b)$$



$P_{dmt}$  [Pa] fra formel 1 er luftas metningstrykk, og er beregnet etter formel 4, hvor  $C_2$  og  $C_3$  er konstanter (se *Konstante verdier*) og  $T$  [°C] er temperatur.

$$P_{dmt} = 100 \cdot C_1 \cdot e^{\left(\frac{C_2 T}{C_3 + T}\right)} \quad (4)$$

$r_a$  [s/m] i formel 1 er et uttrykk for den aerodynamiske motstand, og er beregnet etter formel 5.

$$r_a = \frac{\ln\left(\frac{L - M}{V}\right)^2}{0,41^2 \cdot U} \quad (5)$$

$L$  [m] er en referansehøyde til tømmervelta,  $M$  [m] er tømmerveltas høyde,  $V$  [m] er såkalt "roughness length" for tømmervelta og  $U$  [m/s] er vindhastigheten målt av klimastasjonen.

### 1.3. Konstante verdier

$\lambda$	2.440.000 J/kg	Fordampningsvarme
$\rho$	1,2 kg/m <sup>3</sup>	Densitet til luft
$\gamma$	66 Pa/°C	Psykrometerkonstant
$\alpha$	13 %	Albedo (energitap ved stråling)
$\sigma$	5,67·10 <sup>-08</sup>	Stefan-Bolzmanns konstant
$\varepsilon$	0,91	Emisivitet
$C_p$	1001 J/kg °C	Luftas spesifikke varmekapasitet
$a$	1,28	
$V$	0,4 m	"Roughness length" til tømmervelta
$N$	12 t	Timer med dagslys
$n$	12 t	Timer uten skyer
$L$	6 m	Referansehøyde til tømmervelta
$M$	4 m	Høyde til tømmervelte
$C_1$	6,1078 hPa	
$C_2$	17,08085	
$C_3$	234,175 K	