

## Avrenning fra tømmervanning

*Waste water from timber sprinkling*

*Saksbehandler:* Håkon Helgerud Myhra, Norsk Treteknisk Institutt  
Elin Gjengedal, Norges landbrukshøgskole, Laboratorium  
for analytisk kjemi

*Dato:* 1998-03-23

*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, blir tømmerlagrene overrislet med vann i perioden mai til september. Avrenningsvann fra overrislet tømmer inneholder organiske og uorganiske stoffer som er vasket ut fra barken og trevirket. Prosjektet har hatt tre mål: Undersøke om det er forskjeller i vannkvalitet på avrenning fra klimastyrt tømmervanning i forhold til tradisjonell tømmervanning, undersøke effekten av et sandfilter under ei tømmervelte, og undersøke vannkvaliteten på avrenningsvannet fra ei tømmeromt. Det ble gjennomført et forsøk med fire ulike forsøksvelter ved Soknabruket i 1996. I 1997 ble det tatt vannprøver fra tømmeromta ved Brandval Sag.

Resultater fra forsøkene viste høye konsentrasjoner av organisk stoff (KOF og DOC), total fosfor og kalium i avrenningsvannet de første to ukene etter start på vanning. Sammenligning av klimastyrt og tradisjonell tømmervanning viser generelt ingen markerte forskjeller. Sammenligning av forsøksvelte med og uten sandfilter som underlag, viste at sandfilteret holdt tilbake nitrogen og fosfor. Sandfilteret viste en lekkasje av kalsium, jern, kalium, magnesium og mangan mot slutten av forsøksperioden. I avrenningsvannet fra tømmeromta, viste analysene store konsentrasjoner av karbon bundet til partikler i vannet. Dette karbonet er lite biologisk tilgjengelig, og vil sannsynligvis ha en liten påvirkning på miljøet.

*Stikkord:* Tømmervanning, avrenning, vannkvalitet

*Keywords:* Sprinkling of timber, waste water, water quality

## Summary

To maintain the wood quality of timber in sawmills, the timber stock is sprinkled in the period from May to September. The sprinkling results in a scouring off of organic and inorganic substances from the bark and the wood into the wastewater from the timber yard. The project had three objectives: Investigate if there is a difference in the quality of waste water from climate controlled sprinkling compared to traditional sprinkling of timber; to investigate the effect of a sand filter under a timber pile, and to investigate the quality of the waste water from a timber yard. An experiment with four different experimental piles was made at Soknabruket in 1996, and in 1997 water samples were collected from the timber yard at Brandval Sag.

The results from the experiments showed high concentrations of organic substances (COD and DOC), total phosphorus and potassium, in the wastewater the first two weeks after the sprinkling started. Comparison of climate controlled and traditional sprinkling of timber generally shows no marked difference. Comparison of the timber pile with and without sand filter as an underlayer, showed that the sand filter retained nitrogen and phosphorus. The sand filter showed a leakage of calcium, iron, potassium, magnesium and manganese at the end of the experimental period. In the wastewater from the timber yard, the analysis showed high concentrations of carbon bound to particles in the water. This carbon is less biologically available, and will probably have insignificant influence on the environment.

## 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 av 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.



# Innhold

Sammendrag .....	3
Summary.....	4
Forord .....	5
Innhold .....	7
1. Innledning .....	8
2. Tidligere undersøkelser.....	8
2.1. Utvasking fra tømmer.....	8
2.2. Vannkvalitet.....	10
2.3. Miljøbelastninger .....	11
3. Materiale og metoder.....	13
3.1. Forsøksvelter og vanningsystem .....	13
3.2. Prøvetaking og analyseparametre .....	14
3.3. Statistisk behandling.....	15
4. Resultater .....	16
4.1. Korrelasjon mellom analyseparametrene .....	16
4.2. Avrenning fra klimastyrt og tradisjonell tømmervanning .....	17
4.3. Avrenning fra tømmervelte med og uten sandfilter.....	20
4.4. Avrenning fra tømmertomt .....	22
5. Diskusjon og konklusjon .....	26
5.1. Avrenning fra klimastyrt og tradisjonell tømmervanning .....	26
5.2. Avrenning fra tømmervelte med og uten sandfilter.....	27
5.3. Avrenning fra tømmertomt .....	28
6. Litteratur .....	30
Vedlegg.....	32

## 1. Innledning

For å ivareta kvaliteten på tømmeret ved sagbruk, blir tømmerlagrene overrislet med vann i perioden mai til september. Vanningen skal hindre uttørking av tømmeret, samt hindre sopp- og insektangrep. Vannet som brukes tas vanligvis fra nærmeste vassdrag, og vanningen fører til en avrenning fra tømmertomta. Avrenningsvannet fører med seg stoffer fra tømmeret. I dette delprosjektet ble det definert tre mål:

- Dokumentere vannkvaliteten på avrenningen fra klimastyrt tømmervanning i forhold til avrenningen fra tradisjonell tømmervanning.
- Dokumentere vannkvaliteten på avrenningen fra ei tømmervelte med og uten sandfilter som underlag.
- Dokumentere vannkvaliteten på avrenningen fra ei fullskala tømmertomt.

## 2. Tidligere undersøkelser

Det er gjort en rekke undersøkelser som dokumenterer hvilke stoffer som vaskes ut fra tømmeret ved tømmervanning. Konsentrasjonen av de ulike stoffene i avrenningsvannet viser store variasjoner. Når det gjelder forurensningseffekten på det omkringliggende miljøet, ser det ut til at det er vanskelig å dokumentere noen miljøbelastninger fra tømmervanning.

### 2.1. Utvasking fra tømmer

Gjerdrum (1976a) skriver i en litteraturoversikt at omkring 10% av granbarkens masse regnes å være løselig i vann, men at sannsynligvis bare brøkdeler av dette vasket ut når tømmeret vannes. De løselige stoffene er vesentlig mineraler, tannin (garvestoff) og karbohydrater som vil være næringselementer for mikroorganismer. Tilførselene kan være en fordel i næringsfattig vann, men de blir vanligvis betraktet som en ulempe (forurensing).

Vanning av tømmer medfører utvasking av organiske og uorganiske stoffer hovedsakelig fra barken, men også fra selve trevirket. De viktigste organiske stoffene er garvesyrer, tanniner, ligniner og polyfenoler, som alle er tungt nedbrytbare, samt en del lett nedbrytbare karbohydrater (Robertsen 1993).

Vannekstrakt fra bark inneholder utvasket organisk substans, bl.a. fenoliske forbindelser, hvorav flere oksideres og gir vannet en brun farge. Videre forekommer små mengder enkle fenoliske forbindelser, som selv i meget uttynnede vannløsninger kan reagere med klor og danne klorfenoler med en gjennomtrengende lukt og smak. Barkens vannløselige fenoler er imidlertid

naturlig forekommende fenoler, og overveiende av en annen sammensetning enn industrifenoler. (Björkhem et al. 1977)

Eriksson & Halldin (1978) fant ved undersøkelse av enkeltstokker lagret i vanntanker at utløsning av både organiske forbindelser, total fosfor og total nitrogen var større for gran enn for furu. For de fleste parametrene skjedde det en rask konsentrasjonsøkning de første 6-8 ukene, og deretter en gradvis nedgang. Tabell 1 viser tall for en såkalt "normalstokk" av gran og furu (Eriksson & Halldin 1978). Videre viser tabell 1 utløst stoff pr. m<sup>3</sup> tømmer og for et tømmerlager på 20.000 m<sup>3</sup>, som er beregnet av Løvik (1991) med bakgrunn i tallene til Eriksson & Halldin (1978).

*Tabell 1. Utløst stoff fra en "normalstokk" (Eriksson & Halldin 1978), og beregnet mengde utløst stoff pr. m<sup>3</sup> tømmer og for et tømmerlager på 20.000 m<sup>3</sup> (Løvik 1991).*

*Released substance from a "normal log" (Eriksson & Halldin 1978), and calculated amount of released substance pr. m<sup>3</sup> timber and for a timber stock of 20.000 m<sup>3</sup> (Løvik 1991).*

Parameter	Utløst stoff pr. normalstokk (25 cm / 4,0 m)	Utløst stoff pr. m <sup>3</sup> tømmer	Utløst stoff fra tømmerlager på 20.000 m <sup>3</sup>
KOF <sub>Cr</sub> *	60 - 130 g	0,3 - 0,7 kg	6 - 14 tonn
BOF <sub>7</sub> **	15 - 35 g	0,08 - 0,18 kg	1,6 - 3,6 tonn
BOF <sub>20</sub> ***	18 - 45 g	0,09 - 0,23 kg	1,8 - 4,6 tonn
Farge	30 - 160 g Pt		
Total fosfor	200 - 370 mg	1,0 - 1,9 g	20 - 38 kg
Total nitrogen	0,8 - 1,4 g	4,1 - 7,1 g	82 - 142 kg
Fenol	10 - 60 mg		
* KOF <sub>Cr</sub>	Kjemisk oksygenforbruk, dikromatmetoden		
** BOF <sub>7</sub>	Biokjemisk oksygenforbruk, fortynningsmetoden, 7 døgn		
*** BOF <sub>20</sub>	Biokjemisk oksygenforbruk, fortynningsmetoden, 20 døgn		

Borgå (1994) viste at mengden av utvaskede stoffer fra tømmeret er relatert til vanningsintensiteten. Ved tømmerrensing vil konsentrasjonen av ulike stoffer være større i avløpsvannet enn i tilførselsvannet. Dette skyldes dels at det foregår en utvasking av stoffer fra tømmeret, og dels at det foregår en fordampning av det tilførte vannet, slik at det naturlig nok vil skje en oppkonsentrering av stoffer i avløpsvannet. Borgå (1994) viste at ved å korrigere for denne fordampningen, foregikk det til tider et netto opptak av næringsstoffer i tømmerveita. Altså var den totale mengden av næringsstoffer i avløpsvannet mindre enn den totale mengden i tilførselsvannet. Dette forklares ved en økende vekst av bakteriell biomasse som holder tilbake næringsstoffer fra tømmer og vann.

## 2.2. Vannkvalitet

Det vannet som samles opp under, og i umiddelbar nærhet, av overrislingslageret, er mørkfarget og lukter vondt. Forurensingen består hovedsakelig av organisk materiale (barkrester), som igjen medfører et stort oksygenforbruk. I dette vannet vil man finne relativt store mengder fosfor og dels kalium samt en del fenoler som naturlig finnes i bark. Vannet er relativt surt (lav pH). (Vadla og Wilhelmsen 1982)

Utvaskingen er størst den første tiden etter at overrislingen settes i gang, og synker deretter raskt og jevnt utover sommeren og høsten (Gjerdrum 1976b). Björkhem et al. (1977) fant at KOF, BOF<sub>7</sub> og farge i grunnvannet økte i konsentrasjon etter overrislingen ble satt i gang, men denne økningen kulminerte etter 2-4 uker. I en undersøkelse av tømmervann fra tre sagbruk (Gjerdrum 1976a) ble det registrert høyt innhold av BOF<sub>7</sub> og KOF<sub>Cr</sub> i begynnelsen av vanningsperioden. Ved to av de tre sagbrukene synker innholdet av BOF<sub>7</sub> fra 40 til 15 mg/l mot slutten av vanningsperioden, og KOF<sub>Cr</sub> fra 300 til 75 mg/l. Ved det tredje sagbruket øker KOF<sub>Cr</sub>-innholdet fra 150 til 400 mg/l, og holder seg stabilt på dette nivået. På bakgrunn av en svensk undersøkelse (Beyer 1983) har Robertsen (1993) beregnet gjennomsnittlig vannkvalitet på vann fra overrislingen brukt en gang og resirkulert vann. Resultatene er vist i tabell 2.

*Tabell 2. Gjennomsnittlig vannkvalitet for avrenning fra tre svenske sagbruk etter Beyer (1983). Grå felt angir resirkulert vann, hvite felt angir ikke-resirkulert vann. Mean water quality for waste water from three Swedish sawmills after Beyer (1983). Grey sections indicate recycled water, white sections indicate non recycled water.*

Dato	2/6	15/6	29/6	5/8	31/8	28/9
BOF <sub>7</sub> [mg/l]	26	36	32	27	21	17
	66	44	58	56	33	35
KOF <sub>Cr</sub> [mg/l]	124	133	170	144	109	118
	325	254	343	365	373	282
Total fosfor [mg/l]	0,4	0,4	0,6	0,4	0,3	0,3
	0,8	0,7	1,0	1,2	1,2	0,8
Total nitrogen [mg/l]	0,8	0,8	0,9	2,0	1,0	1,7
	2,1	1,6	1,7	2,7	3,5	3,3
Suspendert stoff [mg/l]	-	-	36	76	16	91
	-	49	40	106	556	238
Farge [mg Pt/l]	163	153	134	123	172	152
	318	399	346	366	478	368

Tabell 2 viser at resirkulert vann fra overrislingen har nær dobbelt så høy konsentrasjon av organisk materiale, fosfor, nitrogen og suspendert stoff som vann brukt én gang. Tabellen viser også at utvasking av organisk materiale (BOF<sub>7</sub>) er størst i første halvdel av vanningsperioden.



### 2.3. Miljøbelastninger

Gjerdrum (1976b) kunne i sine undersøkelser ikke påvise statistisk at vassdragene var blitt tilført organisk materiale eller kalium, fosfor og nitrogen. Peek & Liese (1977) konkluderer på basis av KOF-verdier at man ikke kan påvise forurensingsfare etter tømmervanning. Schaumburg (1973) konkluderer etter en undersøkelse i USA med at i de fleste tilfellene synes ikke mengder av utvasket stoff etter tømmervanning og vannlagring å representere noe problem for vannkvaliteten.

Berge & Källqvist (1990) har for et sagbruk undersøkt avrenningsvann fra tømmervanningen som slippes ut i to elver. Følgende er funnet: Begge elvene ble visuelt sett tydelig påvirket av utslippene av returvann fra tømmervanningen. Returvannet fra tømmervanningen inneholdt betydelige mengder fosfor og organisk materiale. Sammenlignet med f.eks. det organiske materialet i kloakk, hadde imidlertid avrenningsvannet et lavt oksygenforbruk. Ved normal vannføring vil ikke avrenningsvannet kunne skape oksygenproblemer i noen av elvene. Avrenningsvannet ble ikke funnet å være giftig for testalgen *Selenastrum capricornutum* og krepsdyret *Daphnia magna*, og det anses som nokså sikkert at det ikke inneholder toksiske forbindelser.

I en undersøkelse av forurensingseffektene fra en barkfylling i Aust-Agder (Hindar & Rørslett 1989), ble det ikke funnet noen forskjell av betydning på vannkvaliteten i innløp og utløp av vannet som var berørt av barkfyllingen. I den samme undersøkelsen ble det imidlertid påvist en klart frodigere vegetasjon samt blågrønnalger i vannet nær barkfyllingen. Dette viste at det var lokalt næringstilsig fra barkfyllingen.

Hindar & Grande (1988) har undersøkt avrenningen fra barkfyllinger i nedre del av Nidelva i Aust-Agder. Undersøkelsen viste at avrenningen fra barkfyllingene var sterkt forurenset med svært høyt jern- og manganinnhold. I tillegg hadde avrenningen høy konsentrasjon av løste organiske syrer. Til tross for dette, hadde avrenningen ingen merkbar effekt på vannkvaliteten i Nidelva. Dette skyldes at mengden av forurensete stoffer er liten i forhold til vannmengdene i Nidelva.

I en undersøkelse av forurensingseffektene fra et sagbruk i Nord-Odal kommune, har Løvik & Kjellberg (1993) bl.a. konkludert med følgende: Større forurensingseffekter med markert heterotrof begroing og skadeeffekter på flora og fauna forekommer i kortere perioder ved lav vannføring kombinert med tømmervanning. Ved "normal" vannføring og flom er påvirkningen liten, og noen direkte skadeeffekt foreligger da ikke.

Beyer (1983) har undersøkt grunnvannet under tømmerlagre som vannes. Det ble funnet at grunnvannsnivået steg fra 1,5-2 m under markoverflaten før start på vanningen, til 0,7 m under markoverflaten en måned etter start på vanning. Deretter sank grunnvannsnivået gradvis til 1,5 m under markoverflaten ved slutt på vanningen. Det ble benyttet resirkulert vann til vanningen. I grunnvannet ble det registrert økte konsentrasjoner av organisk materiale, fosfor, nitrogen, bakterier og høyere verdier for fargetall. Ved å sammenligne vannkvaliteten på

resirkulasjonsvannet og grunnvannet, indikeres det at store deler av de beskrevne stoffene holdes tilbake i løsmassene under tømmerlagrene. Stoffene viser en prosentvis tilbakeholdelse i løsmassene som vist i tabell 3.

*Tabell 3. Tilbakeholdelse av stoffer i løsmasser (Beyer 1983).  
Detaining of substances in uncompacted material (Beyer 1983).*

<b>Parameter</b>	<b>%-vis tilbakeholdelse</b>
BOF <sub>7</sub>	90 %
KOF <sub>Cr</sub>	70 - 80 %
Fosfor	90 - 95 %
Nitrogen	70 %
Farge	95 %
Bakterier	90 - 99%

Undersøkelsen viser at organisk materiale, næringsalter og bakterier holdes svært godt tilbake ved filtrering gjennom løsmasser.

Ledin (1991) har undersøkt grunnvannet ved et sagbruk hvor tømmeret vannes. Undersøkelsen konkluderer med at grunnvannet i svært liten grad er påvirket av avrenningsvann fra tømmervanningen. Det ble ikke påvist noen økning i organisk materiale, fenol, nitrogen eller farge. Fosforinnholdet viste en svak økning.

Robertsen (1993) har tatt vannanalyser av avrenningsvann og jordprøver under tømmerlagre for tre forskjellige sagbruk. Undersøkelsen viser at forurensingsbelastningen er svært forskjellig for de ulike sagbrukene. Forurensingsbelastningen kan relateres til vannforbruk og vanningsareal. Først og fremst er det organisk materiale som har størst betydning for forurensing, men ved bruk av store vannmengder, kan fosformengdene bli betydelige. Vannanalysene indikerer at en stor andel av organisk materiale og fosfor er løst i vannet, og derfor ikke vil sedimentere i dammer. Løsmassene under tømmerlagringsplasser er tydelig påvirket av tømmervann, men innholdet av organisk materiale og fosfor i jorda er svært lavt dypere enn 30-40 cm under overflaten.

Borgå (1994) viste at ved klimastyrte tømmervanning greide man å redusere den initielle lekkasjen av næringsstoffer (8-12 første dagene etter start på vanningen). Den viktigste faktoren for å redusere konsentrasjonene i avløpsvannet, er å etablere en bakteriell biomasse i tømmervelta som binder næringsstoffene. For å etablere en bakteriell biomasse i tømmervelta er det viktig at vanningsintensiteten ikke er for høy. Ved den klimastyrte tømmervanningen ble vannmengdene redusert sammenlignet med tradisjonell tømmervanning, og man greide å etablere en bakteriell biomasse raskere.

### 3. Materiale og metoder

Forsøkene ble gjennomført hos Norske Skog Trelast AS Soknabruket i 1996 og hos Brandval Sag AS i 1997.

#### 3.1. Forsøksvelter og vanningsystem

Ved Soknabruket ble det etablert fire tømmervelter med grantømmer. Tømmerveltene var 17 m lange, og hadde hver et tømmervolum på omkring 100 m<sup>3</sup>. Figur 1 viser en oversikt over forsøksveltene.



*Figur 1. Oversikt over forsøksveltene ved Soknabruket 1996.  
Outline of the experimental piles at Soknabruket 1996.*

De fire tømmerveltene lå på en tomt med svak helling, og under hver av dem var det lagt presenninger som samlet opp avrenningsvann. Avrenningsarealet under hver velte var ca. 6 m × 18 m. Spreddearealet til vannsprederne var større enn avrenningsarealet, slik at avrenningsarealet kun samlet opp vann som rant gjennom tømmerveltene. For hver velte ble avrenningsvannet kanalisert til et rør som rant ut i et vippekar hvor avrenningsvolumet ble registrert som antall “vipp”. Ved forsøksvelte nr. 4 ble det lagt et sandfilter mellom tømmeret og presenningene. Sandfilteret hadde en tykkelse på ca. 20 cm, og ble hentet fra stedege masser fra tømmeromt som ligger på en moreneavsetning. Ved de andre forsøksveltene ble det lagt to langsgående underlag av kantede tømmerstokker. Vannet som ble benyttet, ble pumpet opp fra ei nærliggende elv.

Forsøksvelte nr. 2, 3 og 4 ble vannet ved hjelp av et klimastyrte tømmervanningsanlegg som bestod av en klimastasjon som målte temperatur, vindhastighet, relativ luftfuktighet og solinnstråling. Disse parametrene ble benyttet til å beregne en teoretisk fordampning fra tømmerveltene. Forsøksveltene ble deretter vannet med en vannmengde som tilsvarte den teoretiske fordampningen for hver time multiplisert med 2,5. Tidligere erfaringer hadde vist at bare å vanne med en vannmengde som tilsvarte den teoretiske fordampningen, ble for lite. Forsøksvelte nr. 1 ble vannet tradisjonelt, det vil si intervallvanning

med en konstant vannmengde pr. døgn uavhengig av de rådende klimaforhold, noe som vanligvis fører til økt vannforbruk og dermed økt avrenning fra tømmervanningen.

Ved Brandval Sag i 1997 ble det ikke etablert noen forsøksvelter. Formålet var å dokumentere vannkvaliteten til avrenningen fra hele tømmertomta. Hele tømmertomta er asfaltert, og alt avrenningsvannet ble samlet opp i kummer som kanaliserte avrenningsvannet til et rør som ledet vannet ut i Glomma. Vannet som ble benyttet til tømmervanningen, ble også pumpet opp fra Glomma. Tømmerlageret ble vannet tradisjonelt.

### **3.2. Prøvetaking og analyseparametre**

Ved forsøket på Soknabruket i 1996 ble det tatt vannprøver ukentlig fra start på vanningen (uke 24), og åtte uker framover. Vannprøvene ble tatt fra avrenningsvannet før det rant ned i vippekarene. For hvert prøvetidspunkt ble det tatt vannprøver fra avrenningsvannet til de fire tømmerveltene og fra tilførselsvannet, altså til sammen fem vannprøver.

Ved forsøket på Brandval Sag i 1997 ble det tatt vannprøver ukentlig fra start på vanningen (uke 22), og i seks uker framover. For hvert prøvetidspunkt ble det tatt én vannprøve fra en sentral avrenningskum og fra tilførselsvannet.

For begge årene ble vannprøvene tatt mellom kl. 09.00 og 12.00 på dagen ved hver av bedriftene. Umiddelbart etterpå ble prøveflaskene lagt i en kjølecontainer med kjøleelementer i, og sendt til analyse hos Norges landbrukshøgskole, Laboratorium for analytisk kjemi. Tabell 4 viser en oversikt over de kjemiske analysene av vannprøvene ved de to forsøkene.

*Tabell 4. Kjemiske analyser av vannprøver i 1996 og 1997.  
Chemical analyses of water samples in 1996 and 1997.*

Analyse	Metode	Beskrivelse	Sokna 1996	Brandval 1997
pH	NS 4720 (modifisert)	pH, potensiometrisk.	X	X
KOF	NS 4748 (modifisert)	Kjemisk oksygenforbruk, dikromatmetoden. (Chemical Oxygen Demand)	X	X
DOC-filtrat	Intern	Løst organisk karbon i vann m/partikler. (Dissolved Organic Carbon)	X	X
TC-filter	Intern	Total karbon på filter målt på CHN analysator. (Total Carbon)	X	X
DC	Intern	Løst karbon. (Dissolved Carbon)		X
DIC	Intern	Løst uorganisk karbon. (Dissolved Inorganic Carbon)		X
Total-P	NS 4725 (modifisert)	Bestemmelse av totalfosfor etter oppslutning med peroksidisulfat.	X	X
Total-N	NS 4743 (modifisert)	Bestemmelse av nitrogen etter oppslutning med peroksidisulfat.	X	X
Elementanalyse	ICP- analyse	K Kalium Na Natrium Ca Calsium Mg Magnesium Fe Jern (total-Fe) Mn Mangan	X	

### 3.3. Statistisk behandling

For hver tømmervelte og for tilførselsvannet (1996) er det utført en statistisk behandling kalt Spearman-test. Denne testen viser hvordan de ulike analyseparametrene korrelerer med hverandre. Dette er en såkalt ikke-parametrisk test hvor man ikke forutsetter normalfordeling for de ulike analyseparametrene. Spearmans korrelasjonskoeffisient ( $r_s$ ) kan anta verdi fra og med - 1 til og med + 1. Er korrelasjonskoeffisienten nær + 1, indikerer dette at en høy verdi til den ene parameteren vil være assosiert med en høy verdi til den andre parameteren. Er korrelasjonskoeffisienten nær -1, indikerer dette at en høy verdi til den ene parameteren assosieres med en lav verdi til den andre parameteren.

## 4. Resultater

### 4.1. Korrelasjon mellom analyseparametrene

Tabell 5 viser bare de analyseparametrene som korrelerer positivt med hverandre og med signifikansnivå 1 % gjennom forsøksperioden ved Soknabruket i 1996. Når Spearman korrelasjonskoeffisient er høy, indikerer dette en god samvariasjon mellom analyseparametrene.

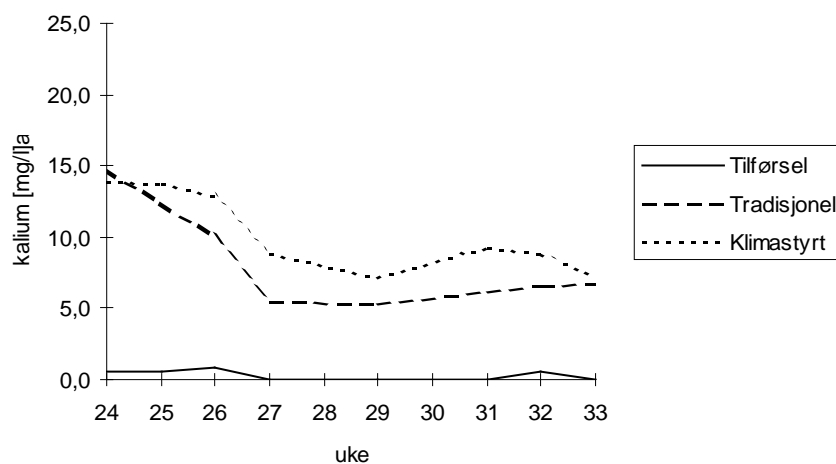
*Tabell 5. Spearman korrelasjonskoeffisient for analyseparametrene målt i tilførsels- og avrenningsvannet i forsøket ved Soknabruket 1996.  
Spearman correlation coefficient for the analysis parameters measured in the inlet and waste water in the experiment at Soknabruket 1996.*

Spearman korrelasjonskoeffisient (signifikansnivå 1 %)					
Analyseparametre  * Ingen korrelasjon (1 %-nivå)	Tilførsels- vann	Avrenningsvann			
		Tradi- sjonell	Klimastyrt	Velte u/ filter	Velte m/filter
tot P-KOF	*	0.93	0.95	*	*
DOC-KOF	*	0.99	0.98	1.00	0.93
DOC-tot P	*	0.95	0.98	0.88	*
K-KOF	*	0.93	0.91	1.00	*
K-tot P	*	0.95	0.95	0.88	*
K-DOC	*	0.95	0.91	1.00	*
Ca-KOF	*	0.94	0.84	0.95	*
Ca-tot P	*	0.96	0.93	0.92	*
Ca-DOC	*	0.95	0.88	0.95	*
Ca-K	*	0.99	0.91	0.95	*
Ca-Na	0.95	*	*	*	*
Mg-KOF	*	0.98	0.84	0.86	*
Mg-tot P	*	0.96	0.93	*	*
Mg-DOC	*	0.99	0.88	0.86	*
Mg-K	*	0.99	0.91	0.86	*
Mg-Ca	0.90	0.98	1.00	0.95	0.98
Fe-pH	0.87	*	*	*	*
Mn-KOF	*	0.95	0.87	0.92	*
Mn-tot P	*	0.97	0.98	0.90	*
Mn-DOC	*	0.96	0.93	0.92	*
Mn-K	*	0.97	0.93	0.92	*
Mn-Ca	*	0.99	0.95	0.99	*
Mn-Mg	*	0.98	0.95	0.97	*

Korrelasjoner mellom analyserte parametre i tømmervanningsforsøket ved Soknabruket i 1996 viser at magnesium (Mg) og kalsium (Ca) korrelerer signifikant positivt i tilførselsvannet og i avrenningsvannet fra alle forsøksveltene. Løst organisk karbon (DOC) og kjemisk oksygenforbruk (KOF) korrelerer positivt i avrenningsvannet fra alle forsøksveltene, men ikke i tilførselsvannet. I avrenningsvannet fra forsøksvelta med sandfilter, var det altså bare signifikante korrelasjoner mellom løst organisk karbon (DOC) og kjemisk oksygenforbruk (KOF), og mellom magnesium (Mg) og kalsium (Ca). I avrenningsvannet fra klimastyrte og tradisjonell forsøksvelte og fra forsøksvelta uten sandfilter, er det en signifikant positiv korrelasjon mellom nesten alle analyseparametrene. Tilførselsvannet viser signifikant positiv korrelasjon kun for samvariasjon mellom kalsium (Ca) og natrium (Na), magnesium (Mg) og kalsium (Ca) og mellom jern (Fe) og pH. Total nitrogen vises ikke i tabellen, fordi det ikke korrelerer med noen av de andre parametrene.

## 4.2. Avrenning fra klimastyrte og tradisjonell tømmervanning

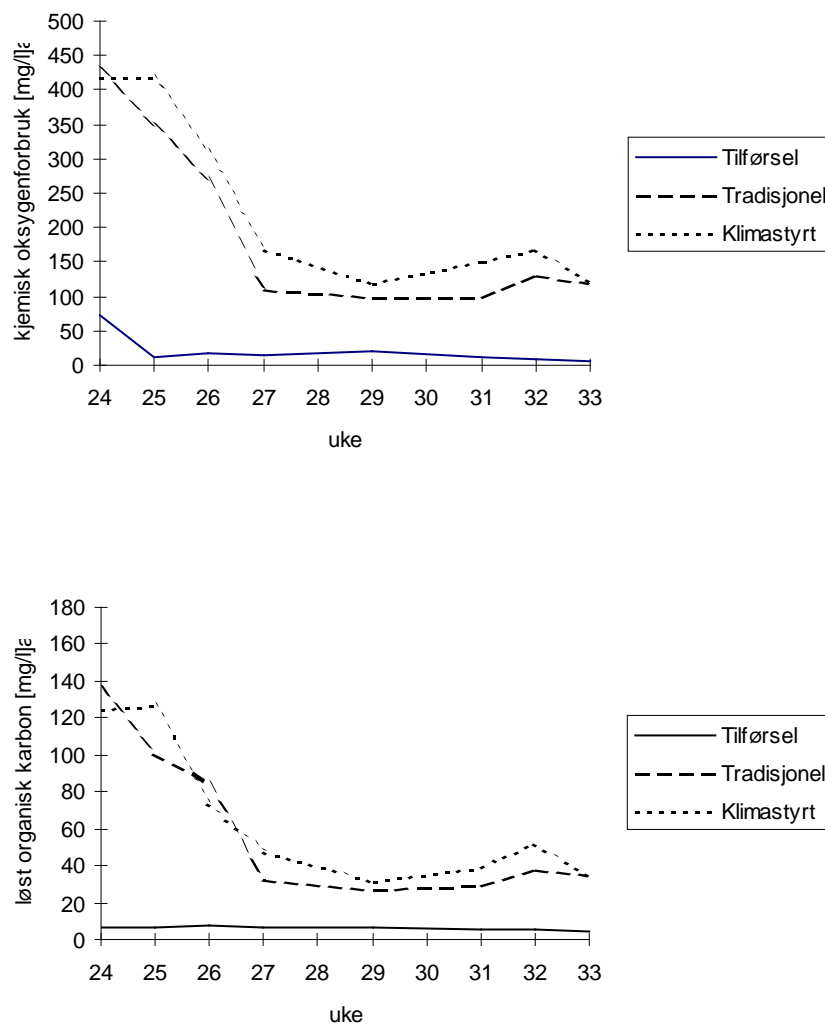
De første prøvene som ble tatt av avrenningsvannet fra forsøksveltene, viste en dramatisk økning i konsentrasjonene av enkelte parametre (KOF, DOC, tot P, K og Mn). Figur 2 viser utviklingen for kalium i tilførsels- og avrenningsvannet fra klimastyrte og tradisjonell forsøksvelte.



*Figur 2. Kalium (K) i tilførsels- og avrenningsvannet i klimastyrte og tradisjonell forsøksvelte.*

*Potassium (K) in the inlet and waste water from climate controlled and traditional experimental pile.*

Figur 3 viser utviklingen for kjemisk oksygenforbruk og løst organisk karbon.

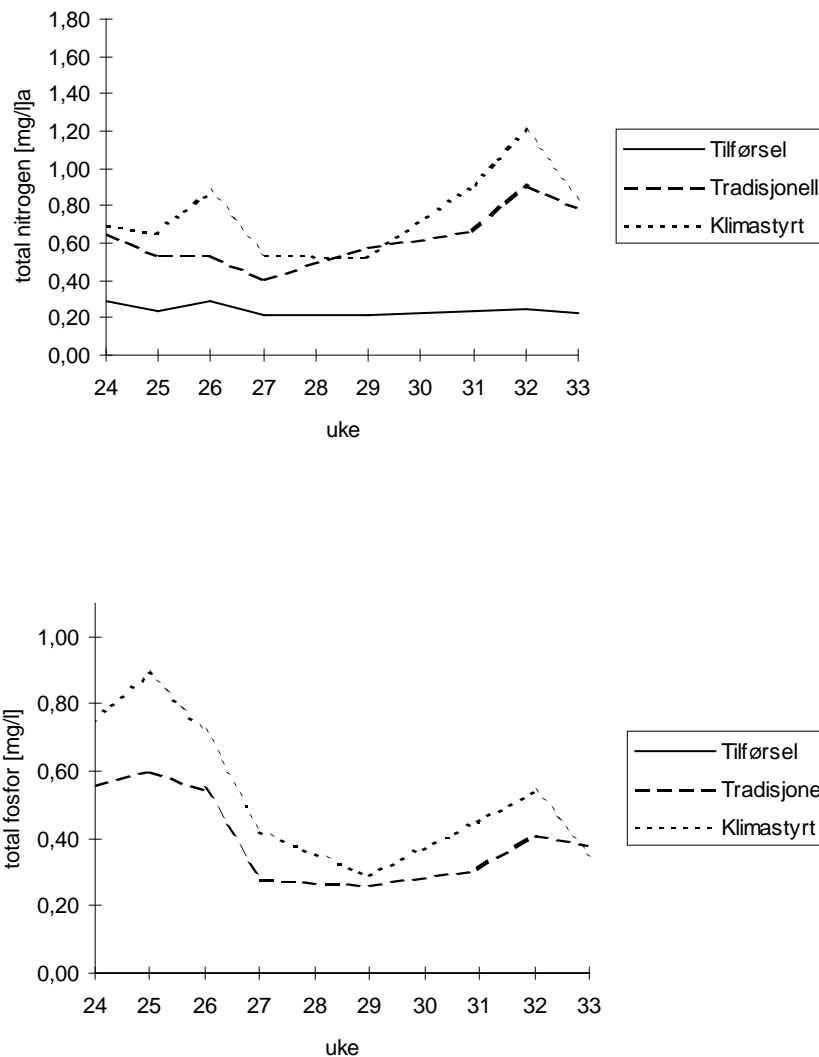


Figur 3. Kjemisk oksygenforbruk (KOF) og løst organisk karbon (DOC) i tilførsels- og avrenningsvannet i klimastyrte og tradisjonell forsøksvelte.  
 Chemical oxygen demand (COD) and dissolved organic carbon (DOC) in the inlet and waste water from climate controlled and traditional experimental pile.

Figuren viser en høy konsentrasjon i avrenningsvannet ved start på vanning, fulgt av en rask reduksjon gjennom de første ukene etterpå. Flere forbindelser viste bare mindre konsentrasjonsforskjeller i tilførselsvannet og avrenningsvannet (Na, Ca, Mg og Fe).

Total nitrogen viser en svak konsentrasjonsøkning i avrenningsvannet i forsøksperioden. Konsentrasjonen er noe høyere for klimastyrte vanning enn for tradisjonell vanning. Total fosfor i avrenningsvannet fra de to viser et parallelt kurveforløp, og med en økt konsentrasjon i avrenningsvannet kort tid etter start på vanningen. Utviklingsforløpet til total nitrogen og total fosfor i forsøksperioden er vist i figur 4.



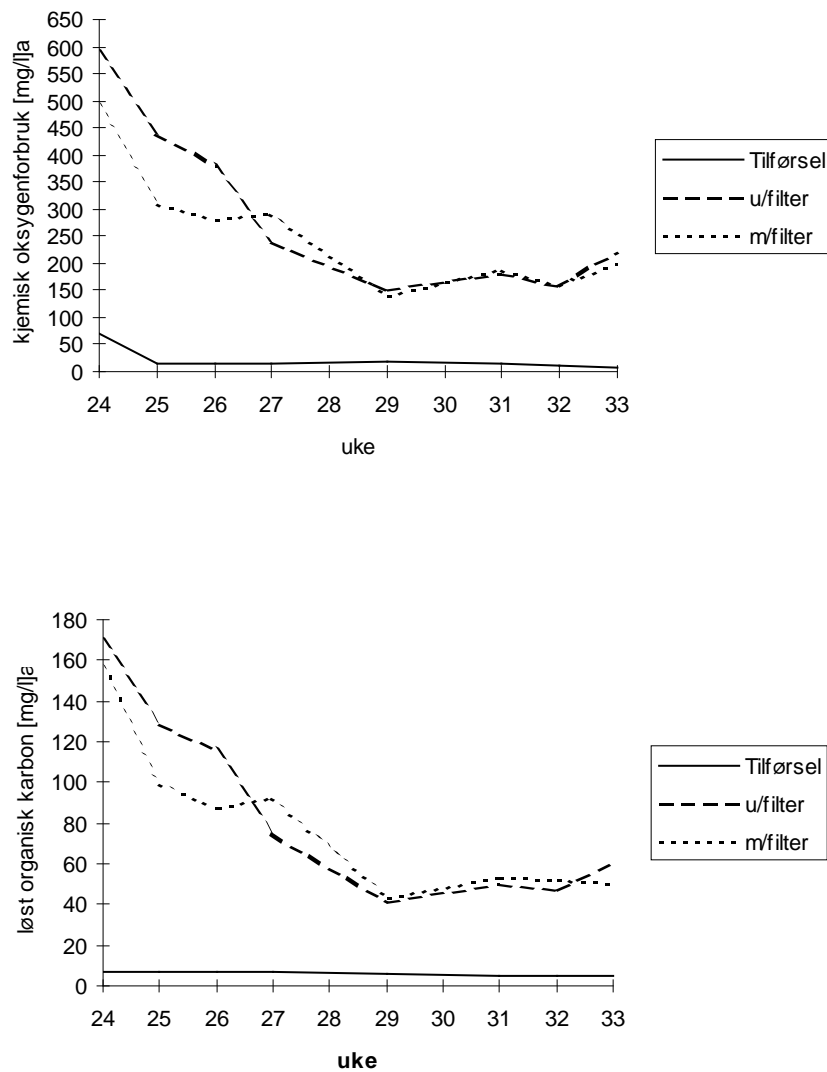


*Figur 4. Total nitrogen (tot N) og total fosfor (tot P) i tilførsels- og avrenningsvannet i klimastyrte og tradisjonell forsøksvelte. Total nitrogen (tot N) and total phosphorus (tot P) in the inlet and waste water from traditional and climate controlled experimental pile.*

Det ble ikke funnet konsentrasjon av fosfor i tilførselsvannet (deteksjonsgrense lik 0,010 mg/l). pH i avrenningsvannet var klart surere enn tilførselsvannet de første ukene, men differansen ble senere ubetydelig. Fullstendig oversikt over analyseresultatene er gitt som vedlegg.

### 4.3. Avrenning fra tømmervelte med og uten sandfilter

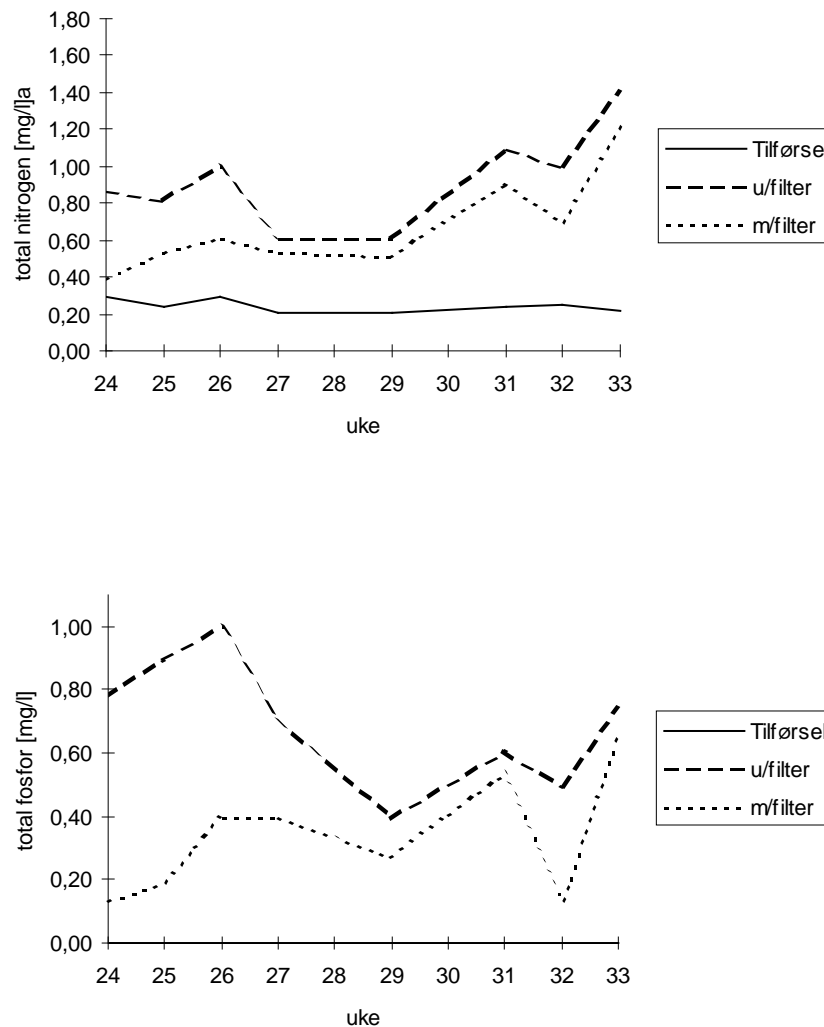
Figur 5 viser utviklingsforløpet for kjemisk oksygenforbruk og løst organisk karbon i forsøksveltene med og uten sandfilter.



Figur 5. Kjemisk oksygenforbruk (KOF) og løst organisk karbon (DOC) i tilførsels- og avrenningsvannet i forsøksvelte med og uten sandfilter.  
Chemical oxygen demand (COD) and dissolved organic carbon (DOC) in the inlet and waste water from the experimental piles with and without sand filter.

Figur 5 viser at sandfilteret reduserer kjemisk oksygenforbruk og løst organisk karbon i avrenningsvannet de første tre ukene sammenlignet med forsøksvelta uten sandfilter. Utviklingen er for øvrig lik som for klimastyrt og tradisjonell forsøksvelte.

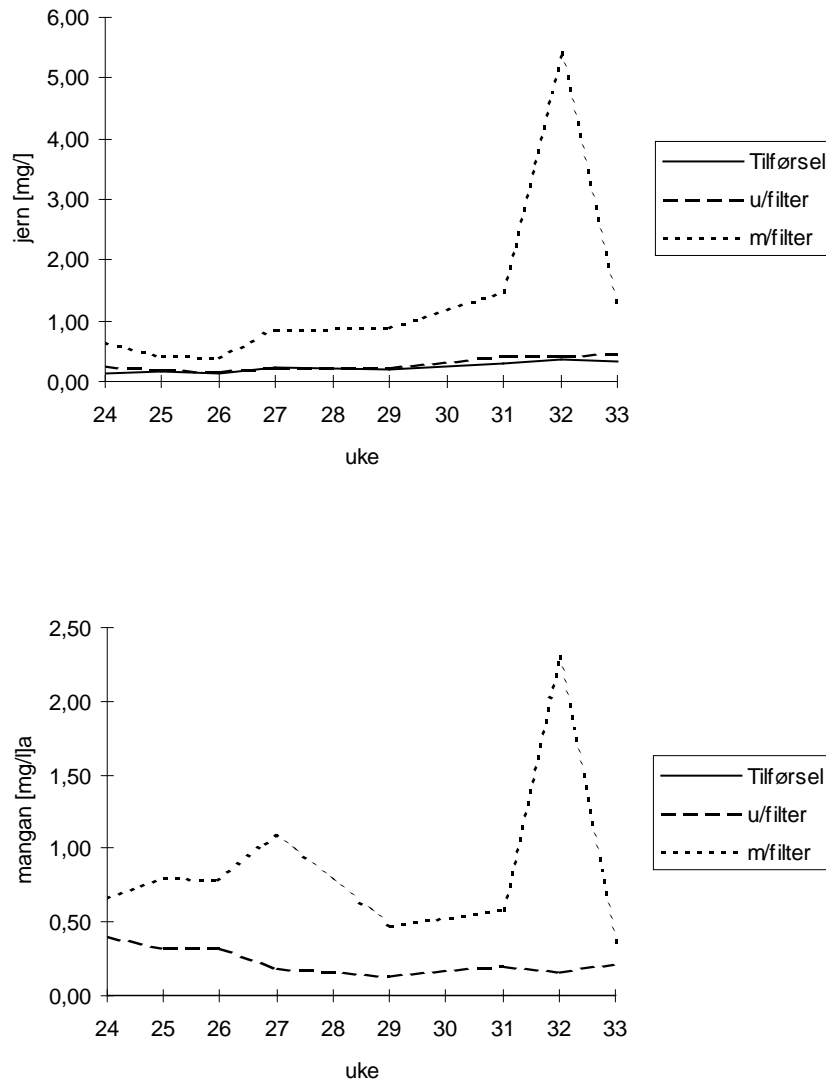
Figur 6 viser utviklingen for total nitrogen og total fosfor i forsøksveltene med og uten sandfilter.



*Figur 6. Total nitrogen (tot N) og total fosfor (tot P) i tilførsels- og avrenningsvannet i forsøksvelte med og uten sandfilter.  
Total nitrogen (tot N) and total phosphorus (tot P) in the inlet and waste water from the experimental piles with and without sand filter.*

Figur 6 viser at sandfilteret under den ene forsøksvelta holder tilbake nitrogen og fosfor. Det ble ikke funnet konsentrasjon av fosfor i tilførselsvannet (deteksjonsgrense lik 0,010 mg/l).

Resultatene viser også en lekkasje fra sandfilteret av kalsium, jern, kalium, magnesium og mangan mot slutten av forsøksperioden. For jern og mangan er dette vist i figur 7.



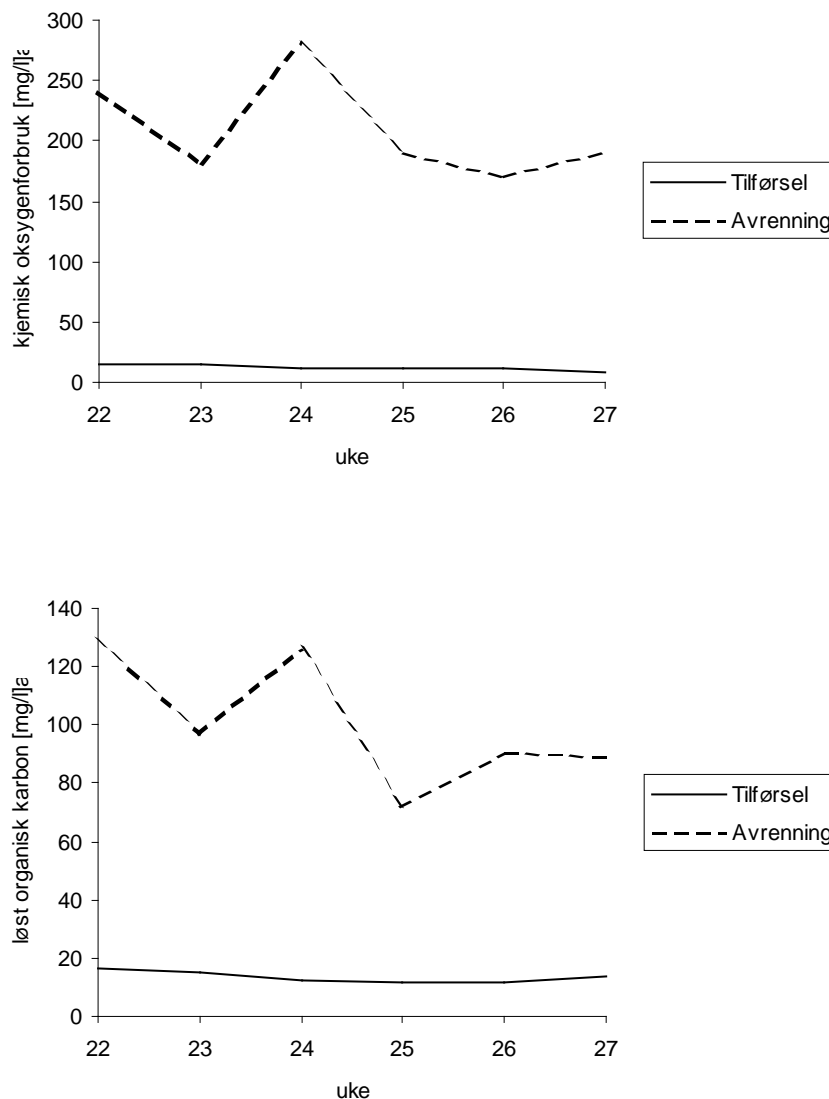
Figur 7. Jern (Fe) og mangan (Mn) i tilførsels- og avrenningsvannet i forsøksvelte med og uten sandfilter.

Iron (Fe) and manganese (Mn) in the inlet and waste water from the experimental piles with and without sand filter.

Fullstendig oversikt over analyseresultatene er gitt som vedlegg.

#### 4.4. Avrenning fra tømmertomt

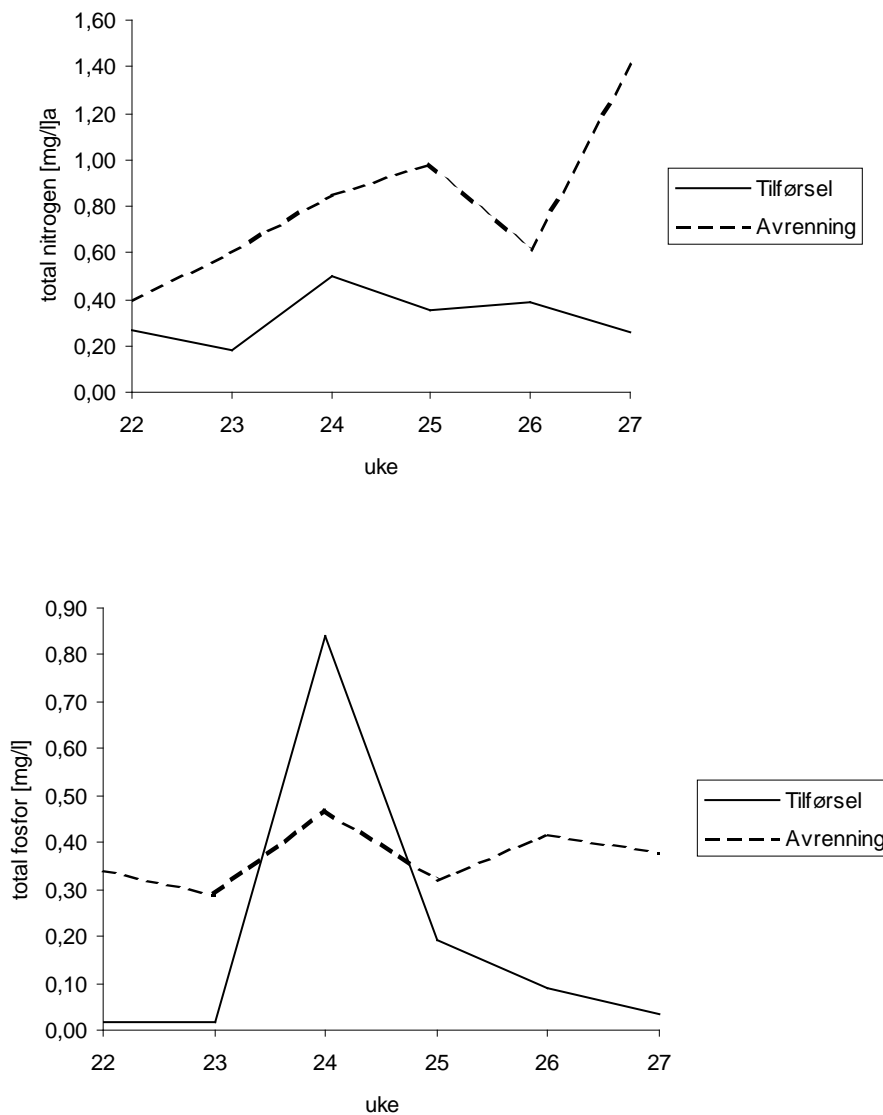
Figur 8 viser utviklingsforløpet for kjemisk oksygenforbruk og løst organisk karbon i tilførselsvannet og avrenningsvannet fra tømmertomta til Brandval Sag i 1997.



*Figur 8. Kjemisk oksygenforbruk (KOF) og løst organisk karbon (DOC) i tilførsels- og avrenningsvannet fra tømmeromt.*  
*Chemical oxygen demand (COD) and dissolved organic carbon (DOC) in the inlet and waste water from the timber yard.*

Figuren viser at konsentrasjonen av kjemisk oksygenforbruk i avrenningsvannet var stor i begynnelsen av forsøksperioden, og med en topp i uke 24. Deretter ble den redusert fram mot slutten av forsøksperioden. Konsentrasjonen av løst organisk karbon viser en lignende utvikling.

Figur 9 viser konsentrasjonene av total nitrogen og total fosfor ved de ulike prøvetidspunktene i 1997.

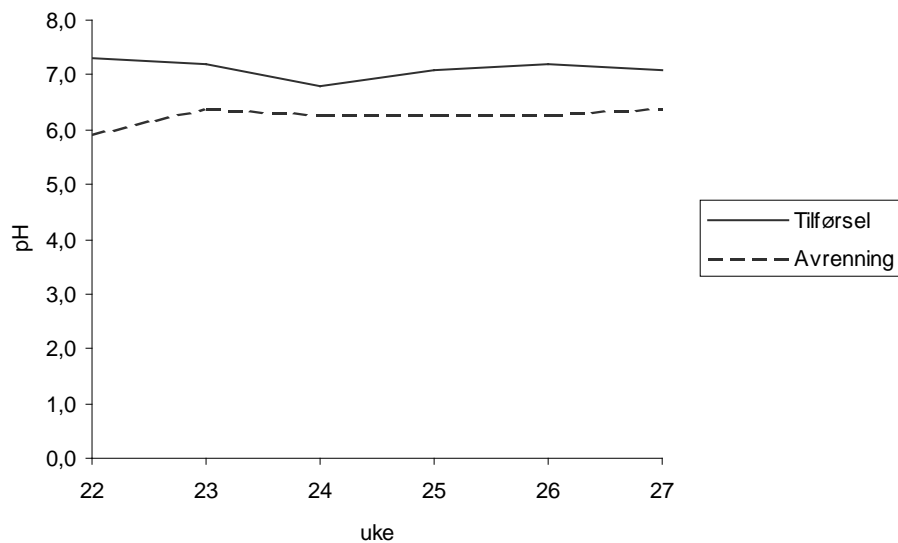


*Figur 9. Total nitrogen (tot N) og total fosfor (tot P) i tilførsels- og avrenningsvannet fra tømmertomta.*

*Total nitrogen (tot N) and total phosphorus (tot P) in the inlet and waste water from the timber yard.*

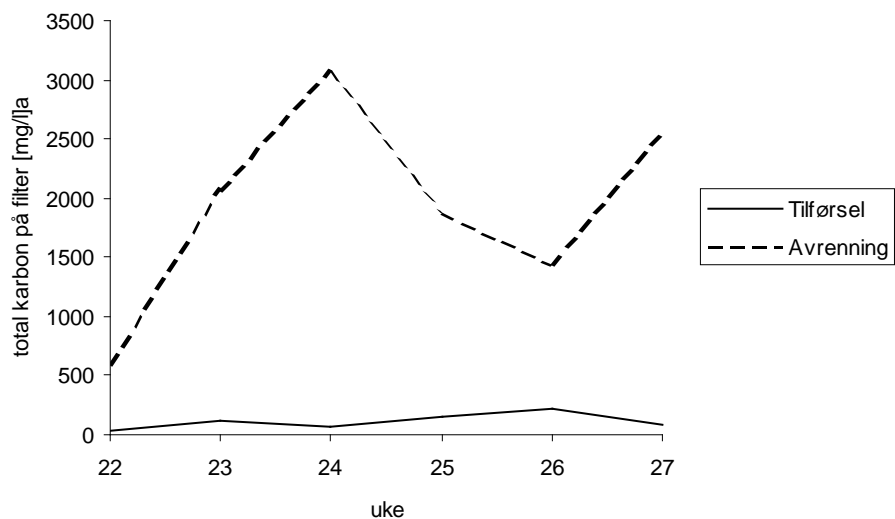
For både total nitrogen og total fosfor viser figur 9 en markert topp i tilførselsvannet i uke 24. En tilsvarende topp for avrenningsvannet finner en for total fosfor i samme uke.

Resultatene fra pH-analysene viser at avrenningsvannet har en pH som omtrent ligger én enhet under tilførselsvannet. Det vil si at avrenningsvannet er surere enn tilførselsvannet. Dette er vist i figur 10.



Figur 10. pH i tilførsels- og avrenningsvannet fra tømmeromt.  
*pH in the inlet and waste water from the timber yard.*

Analysene fra Brandval Sag viste store mengder total karbon på filter (TC). Det vil si organisk karbon som er bundet til partikler i vannet. Konsentrasjonen av partikulært bundet karbon bestemmes ved filtrering av vannprøvene. Konsentrasjonen av total karbon på filter i tilførsels- og avrenningsvannet er vist i figur 11.



Figur 11. Total karbon på filter (TC) i tilførsels- og avrenningsvannet fra tømmeromt.  
*Total carbon on filter (TC) in the inlet and waste water from the timber yard.*

Figuren viser at det er store mengder karbon bundet til partikler i avrenningsvannet. Fullstendig oversikt over analyseresultatene er gitt som vedlegg.

## 5. Diskusjon og konklusjon

En kort tid etter at overrislingen av tømmeret starter, er utvaskingen av stoffer fra barken og trevirket stort. Resultater fra forsøkene viser høye konsentrasjoner av organisk stoff (KOF og DOC), total fosfor og kalium i avrenningsvannet fra forsøksveltene de første to ukene.

Ved en sammenligning av konsentrasjoner av forbindelser i avrenning fra tradisjonelt vannet tømmervelte med en klimastyrte vannet velte, er det i denne undersøkelsen generelt ingen markerte forskjeller. Konsentrasjonene av organisk stoff (KOF og DOC), total fosfor, total nitrogen og kalium ser imidlertid ut til å være noe høyere for klimastyrte forsøksvelte enn for tradisjonell forsøksvelte i forsøksperioden (fig. 2, 3 og 4). Dette kan ha sammenheng med en lavere vanningsintensitet for klimastyrte tømmervanning.

Sammenligning av forsøksvelte med og uten sandfilter som underlag, viste at sandfilteret holdt tilbake nitrogen og fosfor. Mot slutten av forsøksperioden hadde sandfilteret en lekkasje av kalsium, jern, kalium, magnesium og mangan. Resultatene tyder på at det er en biologisk aktivitet i sandfilteret. Optimale vekstforhold for biologisk aktivitet vil være avgjørende for filterets kapasitet til å holde tilbake stoffer.

I en resipient vil stoffenes biologiske tilgjengelighet være avgjørende for miljøbelastningen. Lavmolekylære fraksjoner som ioner og molekyler, er mer biologisk tilgjengelige enn høymolekylære fraksjoner som kolloider og partikler. Løst organisk karbon er et mål for lavmolekylære fraksjoner av organiske karbonforbindelser. Det har derfor stor biologisk tilgjengelighet, og oksiderer lett og forbruker oksygen i vannet (KOF). Spearman korrelasjonskoeffisient viser at løst organisk karbon og kjemisk oksygenforbruk korrelerer signifikant positivt i avrenningsvannet fra alle forsøksveltene. Denne sammenhengen mellom løst organisk karbon og kjemisk oksygenforbruk forklares ved at løst organisk karbon er den mest biologisk tilgjengelige tilstandsformen.

Organiske karbonforbindelser i avrenningsvannet fra Brandval Sag var hovedsakelig partikulært bundet. Det vil si at det organiske materialet er lite biologisk tilgjengelig, og vil nødvendigvis ikke representere noen stor miljøbelastning.

### 5.1. Avrenning fra klimastyrte og tradisjonell tømmervanning

Sammenligning av konsentrasjoner av ulike bestanddeler i avrenningsvannet fra tradisjonell og klimastyrte forsøksvelte, viser at konsentrasjonen av kalium, kjemisk oksygenforbruk, løst organisk karbon og total fosfor er noe høyere for klimastyrte forsøksvelte. Dette kan være et resultat av at vannmengden var mindre ved den klimastyrte forsøksvelta enn ved den tradisjonelle forsøksvelta, slik at konsentrasjonen av de ulike bestanddelene i avrenningsvannet derfor ble høyere.



Figurene viser en tilnærmet lik utvikling for klimastyrt og tradisjonell tømmervanning gjennom forsøksperioden.

For analyseparametre som viser store initielle konsentrasjoner i avrenningsvannet, som for eksempel løst organisk karbon, viste undersøkelsene til Borgå (1994) en markert konsentrasjonsreduksjon i den første kritiske perioden (8-12 dager) ved klimastyrt tømmervanning sammenlignet med tradisjonell tømmervanning. Resultatene fra Soknabruket i 1996 viser en konsentrasjonsreduksjon (KOF og DOC) for både klimastyrt forsøksvelte og tradisjonell forsøksvelte de første to ukene. For Brandval Sag (tradisjonell tømmervanning) er det ingen tilsvarende markert reduksjon for de samme parametrene.

For total fosfor viser avrenningsvannet fra klimastyrt forsøksvelte en høyere konsentrasjon enn avrenningsvannet fra tradisjonell forsøksvelte. Konsentrasjonen reduseres de første ukene, for så å stige mot en ny topp åtte uker etter start på vanning. I følge Borgå (1994) kan en forsinket utlekking av fosfor fra trevirket forklare med at når celler dør og blir nedbrutt, vil membranlipider desintegre og fosfatgrupper raskt hydrolysere. Fosfor finnes som energirike fosforforbindelser, fosfolipid (ATP), i cellemembranen. Membranen kan imidlertid være intakt i perioder fra uker til flere måneder etter avvirkning av tømmeret, avhengig av lagringsbetingelsene, noe som kan forklare en sen fosfortopp i avrenningen.

## 5.2. Avrenning fra tømmervelte med og uten sandfilter

Mikrobiell mineralisering av karbon krever tilgang på elektronakseptorer. Overrislingsvannet er rikt på oksygen som er den energetisk mest gunstige elektronakseptoren. Tilgjengelig oksygen kan imidlertid raskt bli brukt opp i det øverste laget av mikroorganismer i det biologiske filteret i sanden. Under det øverste laget vil det da skje en anaerob respirasjon. I et åpent system (ikke resirkulert vann) vil en også ha en kontinuerlig tilførsel av alternative elektronakseptorer fra vannet, som for eksempel Mn(IV), NO<sub>3</sub>-N, Fe(III) eller sulfat. Når reduserte jern- og manganforbindelser oksideres, vil det produseres hydrogenioner (Stumm & Morgan 1981). Dette kan føre til forsurening av avrenningsvannet. Samtidig inneholder avrenningsvannet en rekke salter, deriblant store mengder kalium. Resultatene fra Soknabruket viser en betydelig konsentrasjonsøkning av kalium i avrenningsvannet (figur 2). Kalium bidrar til å øke bufferkapasiteten mot surt vann, slik at økt konsentrasjon av kalium i avrenningsvannet gir en positiv miljøeffekt.

En sammenligning av avrenningsvannet fra forsøksveltene med og uten sandfilter viser en lekkasje fra sandfilteret av kalsium, jern, kalium, magnesium og mangan mot slutten av forsøksperioden. Borgå (1994) viste at lignende toppe i konsentrasjon av enkelte stoffer i avrenningsvannet, kunne skyldes en rask økning i vanntilførsel, som for eksempel regn. En forklaring kan være at den mikrobielle nedbrytingen er mindre effektiv ved lav vanningsintensitet siden redusert vanning også reduserer tilgjengeligheten av vann, mineraler og alternative

elektronakseptorer. Dette vil igjen ved en rask økning i vanntilførsel gi en utilstrekkelig nedbrytningskapasitet.

En episodisk utlekking av jern og mangan i uke 32 kan forklares med en anaerob respirasjon i det biologiske filteret. Jern(III)- og mangan(IV)oksid brukt som elektronakseptorer, vil ved anaerob respirasjon lekke ut som jern(II) og mangan(II) i avrenningsvannet. Når avrenningsvannet etter hvert blandes med oksygen, vil redusert jern og mangan oksidere, og det skjer en utfelling i form av rustrødt bunnfall.

Som vist i figur 6, holdt sandfilteret tilbake nitrogen og fosfor. Dette tyder på at det er biologisk aktivitet i sandfilteret, og at metaller blir oppkonsentrert i filteret. Chelatering (kompleks binding) mellom organisk materiale og metall vil kunne endre mobiliteten av metallene. Ved utilstrekkelig biologisk aktivitet (høyere vanntilførsel) eller anaerob respirasjon i filteret, vil metallene igjen bli mobilisert.

Å finne optimale forhold for vekst av et biologisk filter i ulike typer omgivelser krever bedre kunnskap om faktorer som kontrollerer mikrobiell metabolisme i den økologiske nisjen, definert av et sandfilter under ei tømmervelte og dens omgivelser. Vi vet fra litteraturen at resipientens pH er av betydning for mikrobiell aktivitet. Nedbrytningskapasiteten er trolig hemmet alt ved pH 7 (Borgå 1994). Kombinasjon av sur nedbør og jordsmonn med lav bufferkapasitet har bidratt til sure vassdrag flere steder i Sør-Norge. Tømmervelter som overrisles med vann fra næringsfattige og sure vassdrag vil ikke gi optimale vekstforhold for et biologisk filter. I et åpent vanningsystem vil nedbryting av organisk materiale mellom tømmervelta og resipienten være avhengig av størrelsen og nedbrytningskapasiteten av mikrobiell biomasse i det biologiske filteret.

### 5.3. Avrenning fra tømmertomt

Ved avrenning fra et sagbruk vil graden av forurensning være avhengig av forhold som for eksempel infiltrasjon i grunnen, dybde ned til grunnvannsspeilet og størrelse på resipienten. Eventuelle effekter på vannkvaliteten er avhengig av fortykning. Ved avrenning fra Brandval Sag har vannet ingen mulighet til infiltrasjon i grunnen, da vannet kanaliseres over asfaltert grunn til oppsamlingskummer med avløp til Glomma. Avrenningsvannet fra tømmertomta viser en økning i total nitrogen over forsøksperioden (figur 9). Løste nitrogenforbindelser ble ikke bestemt i denne undersøkelsen. Tidligere undersøkelser (Løvik & Kjellberg 1993) har vist at avrenning som inneholder store mengder total nitrogen, ikke viste noen merkbar økning av de løste forbindelsene nitrat og ammonium. Dette skyldes at de løste nitrogenforbindelsene raskt blir tatt opp av alger og bakterier, og blir bundet i organismer.

Total organisk karbon (TOC) i avrenningsvannet fra Brandval Sag er summen av løst organisk karbon (DOC) og karbon på filter (TC). Verdiene for TOC er til sammenligning betydelig høyere enn hva som ble funnet ved Haslestad Bruk i 1990 (Berge & Källqvist 1990). Dette er vist i tabell 6.

Utslipp av organiske karbonforbindelser fra Brandval Sag er hovedsakelig partikulært bundet, med i overkant av 3.000 mg/l total karbon på filter som høyeste målte verdi i forsøksperioden. Lavmolekylære fraksjoner som ioner og molekyler er mer biologisk tilgjengelige enn høymolekylære fraksjoner som kolloider og partikler. Et høyt innhold av organisk materiale i avløpsvannet fra Brandval Sag er derfor ikke nødvendigvis en indikasjon på høy miljøbelastning siden det organiske materialet hovedsakelig finnes i en mindre biologisk tilgjengelig tilstandsform.

*Tabell 6. Sammenligning av kjemiske analyser av avrenningsvann fra to sagbruk, Haslestad Bruk (Berge & Källqvist 1990) og Brandval sag.  
Comparison of chemical analyses of waste water from two different sawmills, Haslestad Bruk (Berge & Källqvist 1990) and Brandval Sag.*

	Haslestad Bruk (20.07.90, kl. 20.00)		Brandval Sag (01.07.97, dagtid)	
	Avrenning	Tilførsel	Avrenning	Tilførsel
KOFCr [mg/l]	120	19	190	9
TOC [mg/l]	27.70	2.59	2626*	101*
Total fosfor [mg/l]	0.30	0.003	0.38	0.04
pH	6.88	7.28	6.4	7.1

\*DOC-filtrat + TC-filter.

Sammenligner en resultatene fra Brandval Sag med resultater fra gjennomsnittlig vannkvalitet på tømmervann fra tre svenske sagbruk (Beyer 1983, tabell 2) ligger kjemisk oksygenforbruk i avrenningsvannet fra Brandval Sag i størrelsesorden 170-280 mg/l, det vil si gjennomgående høyere enn gjennomsnittet for de svenske sagbrukene (ikke resirkulert vann). Total fosfor i avrenningsvannet fra Brandval Sag viser en variasjon mellom 0,29-0,47 mg/l, som er et nivå tilsvarende gjennomsnittet for de svenske sagbrukene. Total nitrogen i avrenningsvannet fra Brandval Sag viser en økning fra 0,40 til 1,40 mg/l. Resultatene for total nitrogen sammenfaller med sesongvariasjonen for de svenske sagbrukene, som viser en økning fra 0,8 til 1,7 mg/l over vannings sesongen.

Det er vanskelig å si om utslippene fra Brandval Sag kan forårsake oksygen svikt i resipienten. Risikoen for dette er i så fall størst i den første perioden etter start på vanning, da konsentrasjonen av løste organiske karbonforbindelser er størst, og i kombinasjon med en eventuell lav vannføring i resipienten.

## 6. Litteratur

- Berge, D. & Källqvist, T. 1990. En enkel undersøkelse av utslipp fra tømmervanning. Norsk institutt for vannforskning, Oslo.
- Beyer, G. 1983. Timmerbevattning - utforming, funktion och vattenkvalitet vid några olika bevattningsanläggningar. Svenska träforskningsinstitutet. STF-meddelande serie A nr 854, TTC-rapport nr 37.
- Björkhem, U., Dehlen, R., Lundin, L., Nilsson, S., Olsson, M. & Regnader, J. 1977. Lagring av massaved under vattenbegjutting - effekter på insekter och omgivande miljø. Rapp. inst. Skogsteknik, Skogshögskl 107.
- Borgå, P. 1994. Chemical and microbial interactions in environmental degradation processes - Implications on water storage of timber and decomposition of peat. Swedish University of Agricultural Science, Department of Chemistry, Uppsala.
- Eriksson, R. & Halldin, A. 1978. Föroreningsutlaking ur ved. Ett försök avseende lagring av timmer i vattentankar. Naturvårdsverket. Rapport SNV PM 1033.
- Gjerdrum, P. 1976a. Overrisling av tømmer - en litteraturoversikt. NISK, Skogtekn. avd. rapp. 1/76.
- Gjerdrum, P. 1976b. Overrisling av landlagret skurtømmer av gran II. En undersøkelse av vannkvaliteten. NISK, Skogtekn. avd. rapp. 3/76.
- Hindar, A. & Grande, M. 1988. Avrenning fra barkfyllinger ved Rygene i nedre del av Nidelva, Aust-Agder. Norsk institutt for vannforskning. Rapport o-86149.
- Hindar, A. & Rørslett, B. 1989. Forurensingseffekter av en barkfylling nederst i Gjerstadvassdraget i Aust-Agder. Norsk institutt for vannforskning. Rapport o-88105.
- Ledin, B. 1991. Elva Gårdans påverkan från virkesbevattning, Malungs kommun. Grundvattenteknik.
- Løvik, J. E. 1991. Forurensing fra sagbruksvirksomheter i Hedmark. En oversikt basert på litteraturstudie og en intervjuundersøkelse. Norsk institutt for vannforskning. Rapport o-90222.
- Løvik, J. E. & Kjellberg, G. 1993. Juråa i Nord-Odal kommune. En undersøkelse i forbindelse med avrenning fra sagbruksvirksomhet. Norsk institutt for vannforskning. Rapport o-91188.
- NS 4720, 1979. Vannundersøkelse - Måling av pH. 2. utg., Norges Standardiseringsforbund.

- NS 4725, 1984. Vannundersøkelse - Bestemmelse av totalfosfor - Oppslutning med peroksoedisulfat. 3. utg., Norges Standardiseringsforbund.
- NS 4743, 1993. Vannundersøkelse - Bestemmelse av nitrogen etter oksidasjon med peroksoedisulfat. 2. utg., Norges Standardiseringsforbund.
- NS 4748, 1991. Vannundersøkelse - Bestemmelse av kjemisk oksygenforbruk - Oksidasjon med dikromat - (COD<sub>Cr</sub>). 2. utg., Norges Standardiseringsforbund.
- Peek, R. D. & Liese, W. 1977. Die Auswirkung der Vasslagrunng von Sturmholz und die Qualität des Ablauf Wassers. Forstwiss. CentBl. 96: 348-57.
- Schaumburg, F. D. 1973. The influence of log handling on water quality. Office of Research and Monitoring. U.S. Envir. Protect. Agency, Washington.
- Stumm, W. & Morgan, J. J. 1981. Aquatic Chemistry. An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters. 2nd Ed. John Wiley & Sons, N.Y.
- Robertsen, K. 1993. Forurensing fra tømmervanning ved sagbruk. Vurdering av metoder for behandling av avløpsvann fra tømmervanning. Geofuturum, Ås.
- Vadla, K. og Wilhelmsen, G. 1982. Virkesbehandling. Landbruksforlaget, Oslo.

# Vedlegg

## Vannanalyser Soknabruket 1996

uke	prøve	pH	KOF	tot N	tot P	DOC	TC	K	Na	Ca	Mg	Fe	Mn
[mg/l]													
24	Tilførsel	6,4	72	0,29	< 0,01	6,5	1,0	0,5	0,94	1,5	0,22	0,12	< 0,02
24	Tradisjonell	4,9	430	0,65	0,56	136,6	9,4	14,7	0,95	2,6	0,68	0,18	0,32
24	Klimastyrt	5,4	420	0,70	0,75	125,0	11,5	13,9	1,00	3,2	0,77	0,21	0,30
24	u/filter	5,2	590	0,87	0,78	170,6	15,3	20,9	0,78	3,1	0,76	0,28	0,41
24	m/filter	6,0	490	0,39	0,13	156,4	5,3	8,2	1,90	8,0	1,10	0,66	0,66
25	Tilførsel	6,6	13	0,24	< 0,01	6,6	1,9	0,5	0,99	1,5	0,22	0,15	< 0,02
25	Tradisjonell	5,2	350	0,54	0,60	101,3	11,3	12,4	1,00	2,0	0,52	0,19	0,25
25	Klimastyrt	5,4	420	0,65	0,89	126,8	12,4	13,7	1,10	2,9	0,75	0,21	0,32
25	u/filter	5,3	440	0,81	0,90	128,7	15,5	17,1	0,95	2,5	0,65	0,19	0,33
25	m/filter	6,6	310	0,53	0,19	99,6	6,2	12,8	0,98	3,7	0,51	0,44	0,80
26	Tilførsel	6,3	16	0,29	< 0,01	7,3	0,5	0,9	0,90	1,4	0,22	0,12	< 0,02
26	Tradisjonell	5,5	270	0,54	0,55	84,7	3,4	10,1	0,84	1,6	0,44	0,14	0,20
26	Klimastyrt	5,5	310	0,88	0,72	73,4	8,2	12,9	0,84	2,0	0,53	0,21	0,23
26	u/filter	5,4	380	1,00	1,00	116,4	9,0	16,2	0,86	2,5	0,64	0,18	0,33
26	m/filter	6,4	280	0,61	0,40	87,3	5,4	13,5	0,88	3,1	0,54	0,38	0,79
27	Tilførsel	6,5	14	0,21	< 0,01	6,6	1,4	< 0,5	0,93	1,4	0,22	0,22	< 0,02
27	Tradisjonell	6,2	110	0,41	0,28	32,2	6,8	5,5	0,85	1,1	0,32	0,38	0,11
27	Klimastyrt	6,9	170	0,54	0,42	47,6	18,7	8,8	0,89	1,2	0,32	0,25	0,13
27	u/filter	6,3	240	0,61	0,71	75,0	12,5	13,0	0,84	1,5	0,39	0,23	0,19
27	m/filter	6,4	290	0,53	0,40	92,7	11,8	14,0	0,73	3,0	0,50	0,85	1,10
29	Tilførsel	6,6	20	0,21	< 0,01	6,1	0,6	< 0,5	0,93	1,4	0,21	0,21	< 0,02
29	Tradisjonell	6,3	100	0,58	0,26	27,4	7,8	5,3	0,97	1,1	0,28	0,24	0,11
29	Klimastyrt	6,3	120	0,53	0,29	31,9	2,8	7,2	0,88	1,1	0,30	0,24	0,11
29	u/filter	6,2	150	0,61	0,39	41,5	7,3	8,4	0,84	1,0	0,29	0,24	0,14
29	m/filter	6,3	140	0,51	0,27	43,1	4,8	8,3	0,85	1,6	0,31	0,90	0,47
31	Tilførsel	6,6	13	0,24	< 0,01	5,4	0,6	< 0,5	1,10	1,6	0,26	0,31	< 0,02
31	Tradisjonell	6,2	100	0,66	0,31	28,9	5,6	6,2	1,10	1,2	0,32	0,34	0,12
31	Klimastyrt	6,4	150	0,91	0,45	39,5	9,8	9,2	1,10	1,6	0,45	0,38	0,17
31	u/filter	6,2	180	1,10	0,61	50,0	12,3	11,0	1,10	1,5	0,42	0,43	0,20
31	m/filter	6,5	190	0,91	0,54	53,0	10,8	12,0	1,10	2,1	0,45	1,50	0,58
32	Tilførsel	6,8	10	0,25	< 0,01	5,0	0,4	0,6	1,10	1,8	0,30	0,35	< 0,02
32	Tradisjonell	6,5	130	0,91	0,41	38,1	9,3	6,6	1,10	1,5	0,40	0,44	0,15
32	Klimastyrt	6,7	170	1,20	0,54	52,4	9,3	8,9	1,20	2,1	0,55	0,40	0,20
32	u/filter	6,2	160	1,00	0,49	47,0	9,3	9,4	1,20	1,4	0,40	0,43	0,16
32	m/filter	6,6	160	0,69	0,13	51,8	5,3	14,0	1,30	5,4	0,87	5,40	2,30
33	Tilførsel	6,7	6	0,22	< 0,01	4,8	1,9	< 0,5	1,10	1,7	0,27	0,33	< 0,02
33	Tradisjonell	6,6	120	0,79	0,38	34,7	11,5	6,8	1,10	1,5	0,40	0,41	0,14
33	Klimastyrt	6,5	120	0,84	0,35	33,1	14,0	7,3	1,00	1,5	0,40	0,40	0,14
33	u/filter	6,3	220	1,40	0,74	59,6	20,7	12,0	1,30	1,7	0,49	0,47	0,22
33	m/filter	6,4	200	1,20	0,66	50,6	21,7	12,0	1,10	1,9	0,43	1,20	0,37

## Vannanalyser Brandval Sag 1997

uke	prøve	pH	KOF	tot-N	tot-P	TC	DOC	DC	DIC
						[mg/l]			
22	Tilførsel	7,3	15	0,27	0,02	28,6	16,13	21,25	5,11
22	Avrenning	5,9	240	0,40	0,34	594,4	129,90	137,50	7,52
23	Tilførsel	7,2	15	0,18	0,02	113,1	15,37	21,83	6,45
23	Avrenning	6,4	180	0,60	0,29	2058,7	96,54	106,20	9,66
24	Tilførsel	6,8	11	0,50	0,84	72,2	12,42	18,95	6,53
24	Avrenning	6,3	280	0,85	0,47	3055,2	126,60	137,10	10,42
25	Tilførsel	7,1	11	0,35	0,19	158,0	11,33	18,04	6,71
25	Avrenning	6,3	190	0,98	0,32	1874,4	71,79	83,34	11,55
26	Tilførsel	7,2	11	0,39	0,09	215,1	11,81	19,88	8,07
26	Avrenning	6,3	170	0,61	0,42	1443,1	90,76	102,20	11,44
27	Tilførsel	7,1	9	0,26	0,04	86,6	13,89	20,81	6,92
27	Avrenning	6,4	190	1,40	0,38	2536,7	89,54	101,00	11,46