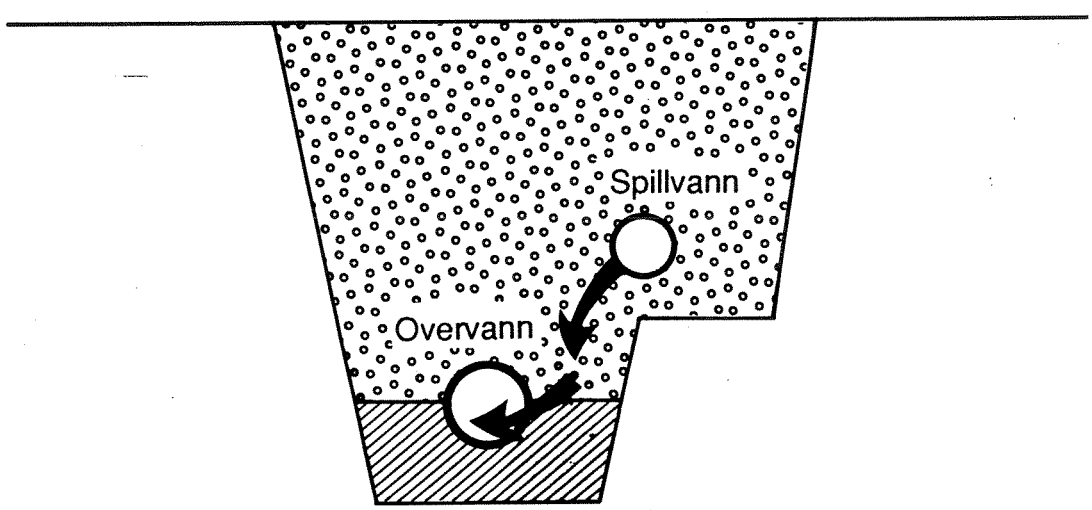
NIVARAPPORT

Vann- og avløpsteknologi

O-93071

Forurensningstransport i overvannsledninger - utlekking fra spillvannsledninger



NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning NIVA

Prosjektnr.:	Undernr:
O-93071	
Løpenr:	Begr. distrib.:
3046	

Hovedkontor
Postboks 69, Korsvoll
0808 Oslo 8
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00

Sørlandsavdelingen
Televeien 1
4890 Grimstad
Telefon (47) 37 04 30 33
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen
Rute 866
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 64 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen
Thormøhlensgt 55
5008 Bergen
Telefon (47) 55 32 56 40
Telefax (47) 55 32 88 33

Akvaplan-NIVA A/S
Søndre Tollbugate 3
9000 Tromsø
Telefon (47) 77 68 52 80
Telefax (47) 77 68 05 09

Rapportens tittel:	Dato: Trykket:
Forurensningstransport i overvannsledninger- utlekking fra spillvannsledninger	NIVA 1994
	Faggruppe: Vann- og avløpsteknologi
Forfatter(e): Kjersti Dagestad, Gunnar Fr. Aasgaard	Geografisk område: Norge
	Antall sider: 25 Opplag:

Oppdragsgiver:	Oppdragsg. ref.:
Fylkesmannen i Vestfold;Miljøvernavdelingen	949/93/KFE

Ekstrakt:

SFT vil bidra til å optimalisere tiltak i forbindelse med Nordsjøavtalen. Et potensielt tiltak er reduksjon av forurensningstap fra spillvannsledninger til overvannsledninger. Tidligere undersøkelser har konkludert med at forurensningstapet i overvannsledninger i tørrvær gjennomgående er lavt. For å få verifisert eventuelt korrigert resultatene fra disse undersøkelsene, er nye målinger av fosfor- og nitrogentransport i overvannsledninger gjennomført. I tillegg er utlekking fra tilhørende spillvannsledninger målt v.h.a sporstoff. Resultatene kan oppsummeres i følgende punkter:

1. Forurensningstapet via overvannsledninger er gjennomgående lavt, men lokalt kan det oppstå problemer.
2. Det er relativt mye mer nitrogen enn fosfor i overvannet sammenlignet med i urenset spillvann.
3. Forurensningstransporten i overvannsledninger er lavere enn utlekkingen fra tilhørende spillvannsledning.
4. Lekkasjemåling v.h.a sporstoffer er egnet for kvantifisering av utlekking fra spillvannsledninger, men flere enn to måleserier må gjennomføres.
5. Det var ingen entydig sammenheng mellom nedbør og utlekking, men grunnvannsstanden kan påvirke forurensningstransporten fra spillvanns- til overvannsledning.

4 emneord, norske

1. Kommunalt avløpsvann
2. Separatsystem
3. Overvannsledning
4. Forurensningstap

4 emneord, engelske

1. Domestic wastewater
2. Separate sewer system
3. Storm sewer
4. Pollution by leakage

Prosjektleder

.....Gunnar Fr. Aasgaard.....

ISBN-82-577-2443-2

For administrasjonen

.....Merete Johannessen.....

Forord

Norge har i henhold til Nordsjøavtalen forpliktet seg til å halvere utslippene av næringssalter til Nordsjøen i perioden 1985 til 1995. Et potensielt tiltak er reduksjon av forurensningstap fra spillvannsledninger til overvannsledninger. I 1991 ble det gjennomført en undersøkelse som konkluderte med at forurensningstapet i overvannsledninger i tørrvær gjennnomgående er lavt.

Fylkesmannen i Vestfold v/Miljøvernavdelingen ønsker gjennom dette prosjektet å verifisere, eventuelt korrigere resultatene fra ovennevnte undersøkelser under mer representative nedbørforhold.

Prosjektet har vært utført av følgende prosjektgruppe ved Norsk institutt for vannforskning (NIVA):

- *Forskningsleder Gunnar Fr Aasgaard ; prosjektleder*
- *Forsker Kjersti Dagestad; databearbeiding og rapportering*
- *Leder for instrumentsentral Arne Veidel; ansvarlig for prøvetaking ved sporstoffmålinger*
- *Instrumentingeniør Johan Ahlfors; prøvetaking og tilrettelegging ved sporstoffmålinger*
- *Instrumentingeniør Morten Willbergh; prøvetaking og tilrettelegging ved sporstoffmålinger*
- *Medarbeidere på NIVAs laboratorie; analyser*

Opplegg og resultater er evaluert av seksjonsleder Werner Olsen og konsulent Kjetil Fevik ved Fylkesmannen i Vestfold, Miljøvernavdelingen.

Prosjektet har vært finansiert av SFT og kommuner som har deltatt i undersøkelsen. NIVA har ønsket å komme frem til en pålitelig og anvendelig metode for lekkasjemåling på ledningsnett, og har finansiert denne delen av prosjektet.

NIVA vil rette en takk til pesonalet i de deltagende kommuner og til Fylkesmannen i Vestfold for godt samarbeid i forbindelse med prosjektet.

Oslo, 20 desember 1993

Gunnar Fr. Aasgaard

Innhold

Forord 1
Innhold 2
Sammendrag, konklusjoner og anbefalinger 3
1. Innledning 6
2. Feltundersøkelser 6
    2.1 Omfang 6
    2.2 Metodikk 7
3. Resultater 8
    3.1 Utlekking fra spillvannsledninger 8
    3.2 Forurensningstap via overvannsledninger 9
    3.3 Sammenheng mellom utlekking og forurensningstransport i overvannsledninger 11
4. Diskusjon 12
    4.1 Sporstoffmålinger 12
    4.2 Forurensningstap i overvannsledninger 13
5. Referanser 15
Vedlegg 1: Metode for lekkasjemåling på ledningsnett v.h.a sporstoff 16
Vedlegg 2: Resultater fra sporstoffmålinger 18
Vedlegg 3: Forurensningstransport i overvannsledninger 22

Sammendrag, konklusjoner og anbefalinger

SFT vil bidra til å optimalisere tiltak i forbindelse med Nordsjøavtalen. Et potensielt tiltak er reduksjon av forurensningstap fra spillvannsledninger til overvannsledninger. Tidligere undersøkelser har konkludert med at forurensningstapet i overvannsledninger i tørrvær gjennomgående er lavt. Målet med dette prosjektet har vært å få verifisert, eventuelt korrigert resultatene fra de tidligere undersøkelsene under mer representative nedbørforhold.

Prosjektet har vært gjennomført på oppdrag fra Fylkesmannen i Vestfold v/Miljøvernavdelingen og i samarbeid med deltakende kommuner.

Det var totalt seks kommuner (9 felt) som deltok i undersøkelsen. Fosfor- og nitrogentransporten i overvannsledninger ble målt. I tillegg ble sporstoff benyttet for å måle utlekking fra tilhørende spillvannsledning, og for å bestemme hvor mye av spillvannet som overføres til overvannsledning. Det ble innhentet informasjon om grunnvannsstand og nedbør i prøveperioden.

I tabell 1 er medianverdien for alle fosfor- og nitrogenmålinger fra hvert felt presentert. Tabellen viser også medianverdien for totalt antall målinger, og utlekking basert på sporstoffundersøkelser. Fosfor og nitrogenmålingene i overvannsledningen gir en indikasjon på utlekking fra spillvannsledningene i feltet som drenerer til denne ledningen (også via andre overvannsledninger) mens sporstoffmålingene viser utlekking fra én bestemt spillvannsledning i feltet. Vi har antatt at denne spillvannsledningen også er representativ for øvrige spillvannsledninger i feltet. Disse forholdene innebærer imidlertid at resultatene fra hhv fosfor/nitrogenmålingene og sporstoffmålingene ikke er direkte sammenlignbare.

Tabell 1: Resultater fra feltmålinger

FELT			**FOSFOR (Median)**	**NITROGEN (Median)**	**SPORSTOFF MÅLINGER**
Nr.	**Antall Pe**	**Alder**	**% Utlekking**	**% Utlekking**	**% Utlekking**
1.1	240	1969-1970	0.1	7.4	0
1.2[1)]	612	1969-1970	5.7	17.7	
2.1	908	1969-1976	0.1	1.8	0-10
2.2	1515	1969-1976	0.1	1.4	ikke målt
3[2)]	4442	Før 1970	10.1	19.1	100
4	580	1970-1971	2.9	57.8	15-35
5	300	1971	1.5	3.5	0-20
6	300	1965	ikke målt	ikke målt	40-50
7	3390	1950	ikke målt	ikke målt	0-20
8	900	1960	ikke målt	ikke målt	0
9	1290	1950	ikke målt	ikke målt	0
Totalt	-	**1950-1976**	**0.7**[3)]	**8.7**[3)]	-

[1)] Høye bakgrunnskonsentrasjoner som det ikke er korrigert for .

[2)] Feilkobling i spillvannsledning,

[3)]Medianverdi for samtlige målinger

På forhånd ble det gjennomført forsøk for å teste ut metode for lekkasjemåling på ledningsnett v.h.a sporstoff.

Resultatet av prosjektet kan oppsummeres i følgende punkter:

* Undersøkelsen bekrefter resultater fra tidligere målinger om at forurensningstapet via overvannsledninger gjennomgående er lavt, men at enkelte felt kan ha betydelige forurensningstap. Feilkobling og jordbrukstilsig fra landbruksområder er årsak til stor forurensningtransport i to av de undersøkte overvannsledningene.

* Det er sammenheng mellom utlekking fra spillvannsledning og forurensningstransport i overvannsledning, kfr. tabell 1. Forurensningstapet via overvannsledninger, beregnet på grunnlag av fosfor- og nitrogenmålinger og spesifikk forurensningsproduksjon, er imidlertid mye lavere enn beregnet utlekking fra tilhørende spillvannsledning, basert på sporstoffmålinger.

* Det er relativt mye mer nitrogen enn fosfor i overvannet sammenlignet med urenset spillvann. Dette kan skyldes tidspunkt for målingene, selvrensing i ledningenes omfyllingsmasser og avrenning spesielt fra jord- og skogbruk. Dette er nærmere drøftet i den forige prosjektrapporten (Aasgaard, 1991).

* Lekkasjemåling på ledningsnett kan gjøres v.h.a sporstoff, men metoden ga for noen felt varierende resultat. Metoden kan være egnet til å "friskmelde" områder. Dersom kvantifisering av utlekking ønskes, må det gjennomføres flere enn to måleserier.

* Det ble ikke registrert sporstoff i overvannsledning selv om utlekking fra tilhørende spillvannsledning var stor, og selv om nitrogen- og fosformålingene i samme overvannsledning var høy. Dette kan skyldes at tidsforsinkelsen mellom utlekking fra spillvannsledning og innlekking i overvannsledning var større enn prøvetakingsperioden (3-4 timer).

* Det er ingen entydig sammenheng mellom nedbør og utlekking, men grunnvannsstanden kan påvirke forurensningstransporten fra spillvanns- til overvannsledning.

* Resultatene er beheftet med noe usikkerhet (k.f.r kap 4.1 og 4.2). Ved sporstoffmålingene er antall prøver som analyseres og antall prøveserier av størst betydning. Med to måleserier er ikke metoden egnet til å anslå utlekkingen nøyaktig. Det er også vanskelig å trekke sikre konklusjoner m.h.t. utlekking fra spillvannsledninger basert på målinger av forurensningstransport i overvannsledninger. Spillvannet som lekker ut kan blant annet ta andre veier eller holdes tilbake i ledningenes omfyllingsmasser. Det er i tillegg usikkerhet knyttet til beregningene som baserer seg på spesifikk forurensningsproduksjon, og forutsetningen om at spillvannsproduksjonen er antatt jevnt fordelt over døgnet.

Ovennevnte resultater, sammenholdt med resultatene fra 1991 gir grunnlag for følgende anbefalinger:

* De lave forurensningstapene via overvannsledninger, spesielt med hensyn på fosfor, indikerer at det ikke vil være kostnadseffektivt å gjennomføre omfattende rehabilitering av avløpsledninger lagt som to-rørs separatsystem. Lokale tiltak kan være påkrevet.

* Målinger i overvannet kan benyttes for å måle forurensningstransport, men er utilstrekkelig for å beregne lekkasje fra tilhørende spillvannsledning.

* Sporstoffundersøkelser anbefales benyttet for å bestemme utlekking fra spillvansledninger. Avhengig av krav til nøyaktighet bør det gjennomføres to eller flere målinger. Antall prøver som analyseres må være tilstrekkelig for å kunne beregne massetransport.

1. Innledning

SFT vil bidra til å optimalisere tiltak i forbindelse med Nordsjøavtalen. Et potensielt tiltak er reduksjon av forurensningstap fra spillvannsledninger til overvannsledninger. Med dette utgangspunktet ble det i 1991 gjennomført feltundersøkelser i 24 kommuner (totalt 51 felt). Undersøkelsen konkluderte med at forurensningstapet i overvannsledninger i tørrvær er gjennomgående lavt. Uvanlig lite nedbør i prøvetakingsperioden gjorde konklusjonen noe usikker (Aasgaard, 1991).

Målet med dette prosjektet er å få verifisert, eventuelt korrigert resultatene fra tidligere undersøkelser.

Forurensningstransport i overvannsledninger er målt i 5 representative felt totalt 20 ganger (4 dager pr. måned i perioden mars-oktober). I tillegg er utlekking fra 9 spillvannsledninger målt ved tilsats av sporstoffer. Målingene er utført uavhengig av nedbør før prøvetaking, dvs både i "tørre" og "våte" perioder.

Denne rapporten beskriver de metoder som er benyttet for å bestemme utlekking, hvor stor utlekkingen er i de respektive felt og hvor mye av utlekket spillvann som overføres til overvannsledningen.

2. Feltundersøkelser

2.1 Omfang

Det ble valgt ut tre representative felt (lagt før 1980). Datagrunnlaget ble ytterligere supplert av kommuner som deltok i det tidligere prosjektet, og som også ønsket å delta i dette prosjektet .

Det var totalt 9 felt som ble undersøkt, hvor noen felt ble delt inn i flere mindre delfelt.
Spillvannsledninger i de respektive feltene er hovedsakelig lagt på slutten av 60-tallet og begynnelsen av 70-tallet.

I felt 1-5 ble fosfor og nitrogentransporten i overvannsledning registrert, og i tillegg ble sporstoffer benyttet for å måle utlekking fra tilhørende spillvannsledning. I felt 1-4 ble det også målt hvor mye sporstoff som ble overført til tilhørende overvannsledning. I felt 6-9 ble det kun foretatt utlekkingsmålinger i spillvannsledning ved hjelp av sporstoff.

Tabell 2: Omfang av undersøkelsen

	1.1[4]	1.2[4]	2.1[4]	2.2[4]	3	4	5	6	7	8	9
Forurensningstap i overvannsledning [1]	x	x	x	x	x	x	x				
Utlekking fra spillvannsledning [2]	x		x		x	x	x	x	x	x	x
Utlekking fra sp.ledning til ov. ledning[3]	x		x		x	x					

[1] Forurensningstransport i overvannsledning og utlekking fra spillvannsledning til overvannsledning målt v.h.a fosfor og nitrogentransport i overvannsledning

[2] Utlekking fra spillvannsledning målt v.h.a sporstoffer

[3] Utlekking fra spillvannsledning til overvannsledning målt v.h.a sporstoff i overvannsledning (som ble tilsatt i spillvannsledningen

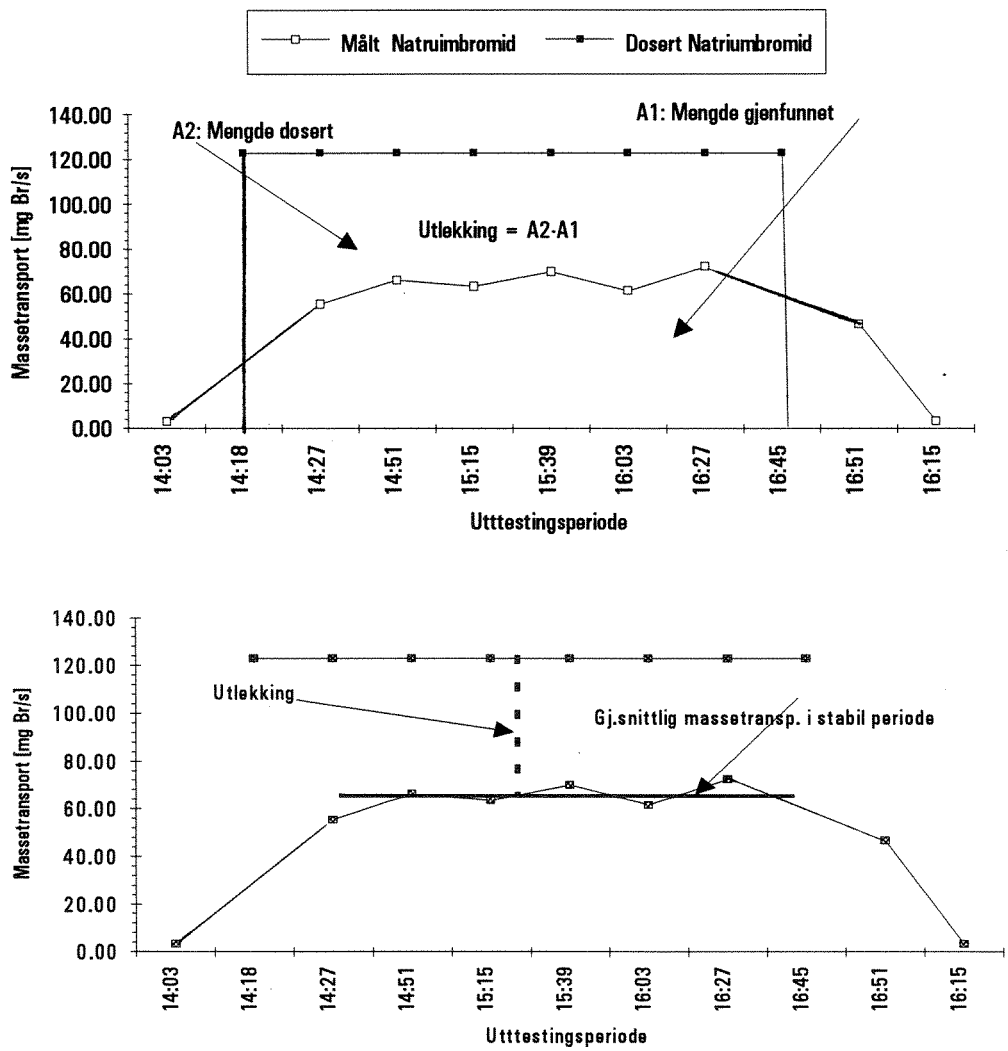
[4] Felt 1 og 2 er delt inn i to delstrekninger

2.2 Metodikk

Utlekking fra spillvannsledning bestemt v.h.a. sporstoffer

Det ble gjennomført forsøk for å teste ut metode for lekkasjemåling på ledningsnett v.h.a sporstoffer (litiumklorid og natriumbromid). Det ene sporstoffet ble benyttet for å beregne vannføringen, fordi mekaniske vannmengdemålere ga usikre resultat ved små ledningsdimensjoner. Det andre sporstoffet ble benyttet for å beregne utlekking. For å begrense usikkerhetene, ble det gjennomført to uavhengige målinger med noen timers varighet. Prøvene som ble tatt ut for analyse skulle gi et representativt bilde på konsentrasjonsforløpet. Metodikken er beskrevet nærmere i vedlegg 1.

Utlekkingsprosenten er beregnet v.h.a to metoder; "arealmetoden" og "punktmetoden". Arealmetoden baserer seg på massebalanse, dvs mengde som er dosert i forhold til mengde som er passert prøvepunktet. "Punktmetoden" baserer seg på sammenligning av gjennomsnittlig massetransport og masse dosert pr tidsenhet i en definert stabil periode av prøvetakingen. Metodene er vist skjematisk i figur1.



Figur 1. Beregning av utlekking ved "arealmetoden" og "punktmetoden" (figuren viser verdier i prøvetakingspunkt. Start og slutt for dosert natriumbromid er derfor tidsforskjøvet med gjennomstrømningstiden).

Forurensningstransporten til overvannsledning ble bestemt ved å ta ut et representativt utvalg prøver i overvannsledningen som ble analysert på brom. Vannmengden i overvannsledningen ble registrert ved mekaniske vannmengdemålere.

Forurensningstap i overvannsledning

I tillegg til å studere innlekking i overvannsledning v.h.a sporstoff, ble det over en fem måneders periode tatt regelmessige prøver i overvannsledning som ble analysert på fosfor og nitrogen.

Prøvene ble tatt på formiddagen over en fire dagers periode i en valgt uke i måneden. Det vil si totalt 20 prøver for hvert felt. Hver enkelt prøve ble tatt som en blandprøve representert av 5 prøver med ett minutts mellomrom. Kommunen skulle forsøke å få et representativt utvalg av våte og tørre perioder.

Prøvetakingen ble utført av kommunens personell etter veiledning fra NIVA. Prøvene ble analysert m.h.t Tot-P og Tot-N på NIVAs laboratorium i Oslo eller via kommunens egne kanaler.

Forurensningstransporten i overvannsledning ble beregnet ut fra vannføringsmålinger i prøvetidspunket, og innlekking fra spillvannsledning ble kvantifisert ved å sammenstille fosfor- og nitrogentransport med beregnet fosfor- og nitrogen produksjon i tilhørende spillvannsledning.

Peiling av grunnvannsstand/nedbørdata

Innlekking i overvannsledningen kan påvirkes av grunnvannsstanden dersom grunnvannsnivået er høyere enn bunn overvannsledning. Kommunene ble derfor bedt om å vurdere grunnvannsstanden. Etablering av peilebrønner viste seg å være mer komplisert enn antatt, og det var kun én kommune som etablerte peilebrønner i forbindelse med prosjektet.

Det ble også innhentet nedbørdata fra nærliggende nedbørmålestasjoner for å studere eventuelle sammenhenger.

3. Resultater

3.1 Utlekking fra spillvannsledninger

I tabell 3 fremgår resultater fra sporstoffmålingene. Det ble gjennomført to serier i hvert felt, og utlekking ble beregnet v.h.a "arealmetoden" og "punktmetoden".

Resultatene fra de enkelte felt varierte, og det er ikke mulig å kvantifisere utlekking nøyaktig. Resultatene kan benyttes til å "friskmelde" områder eventuelt peke ut områder som bør undersøkes nærmere. Resultatene bekrefter at det bør gjennomføres minst to måleserier med en viss varighet, og at ytterligere måleserie(r) kan være nødvendig for å avgrense måleusikkerheten.

I tre av de 9 feltene ble det ikke påvist utlekking. Utlekkingen lå mellom 0-10% for ett felt, mellom 0-20% for to felt og mellom 15-50% for to felt. Resultatene er vist i tabell 2 og forøvrig i vedlegg 2.

Tabell 2. Resultater fra sporstoffmålinger i 9 spillvannsledninger

	Serie 1 (utlekking i %)		Serie 2 (utlekking i %)		Konklusjon
	"Arealmetoden"	"Punktmetoden"	"Arealmetoden"	"Punktmetoden"	
1	0*	0*	0*	0*	0 %
2	3	0	12	4	0-10%
3	100	100	100	100	100%[1)]
4	26	31	0*	0*	15-35%[2)]
5	17	17	0*	0*	0-20%
6	48	49	42	46	40-50%
7	0*	11	8	0*	0-20%
8	0*	0*	0*	0*	0%
9	0*	0*	0*	0*	0%

* Mengde gjenfunnet er større enn mengde tilsatt (innlekking). Negative verdier opptrer p.g.a usikkerhet i sporstoffmålingene (den totale usikkerherheten kan være betydelig).

1) Feilkobling

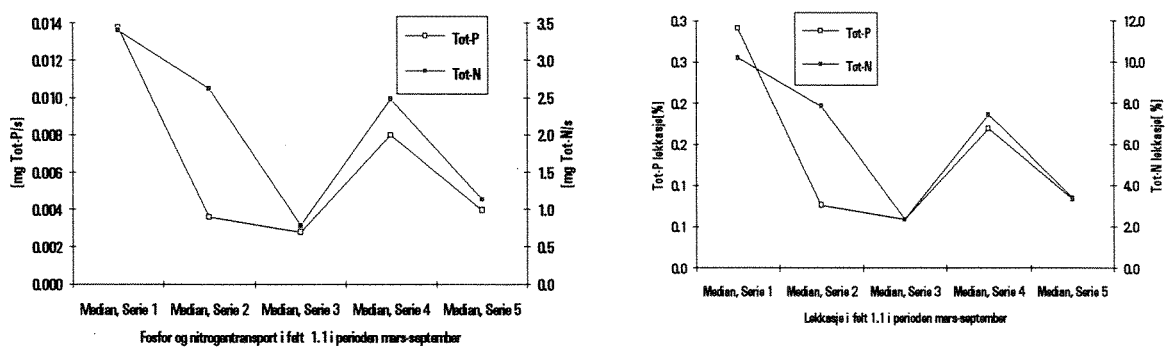
2) Pumpestans for doseringspumpe for NaBr . Resultatene er beheftet med større usikkerhet enn øvrige prøveserier.

3.2 Forurensningstap via overvannsledninger

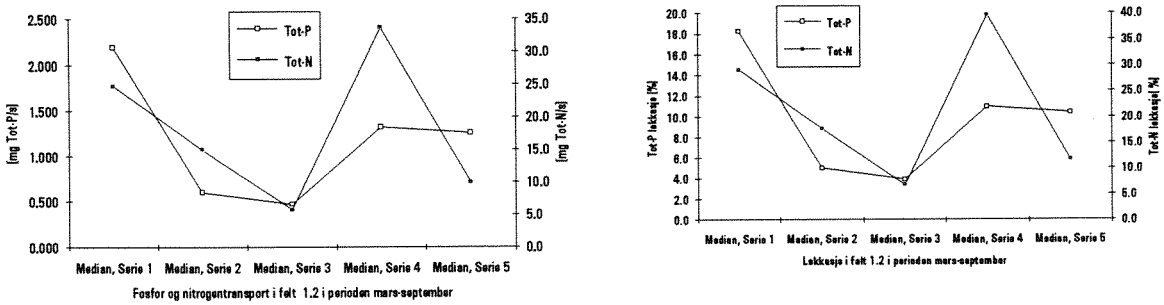
Forurensningstransport i overvannsledning (angitt som mg Tot-P/s og mg Tot-N/s) og herav beregnet lekkasje fra spillvannsledning (angitt som % lekkasje for Tot-N og Tot-P) er vist for felt 1-5 i figurene 2-8. Oversikt over enkeltmålinger er vist i vedlegg 3. Lekkasje fra spillvannsledning er beregnet ved å sammenstille teoretisk transport av fosfor og nitrogen i spillvannsledning med forurensingstransport i overvannsledningen.

Nitrogen- og fosformålingene viser store variasjoner avhengig av prøvetidspunkt. Det er også store variasjoner fra område til område, hvor enkelte felt har betydelig utlekking. Høye verdier i enkelte felt vet vi skyldes tilførsel av jordbruksvann og feilkobling.

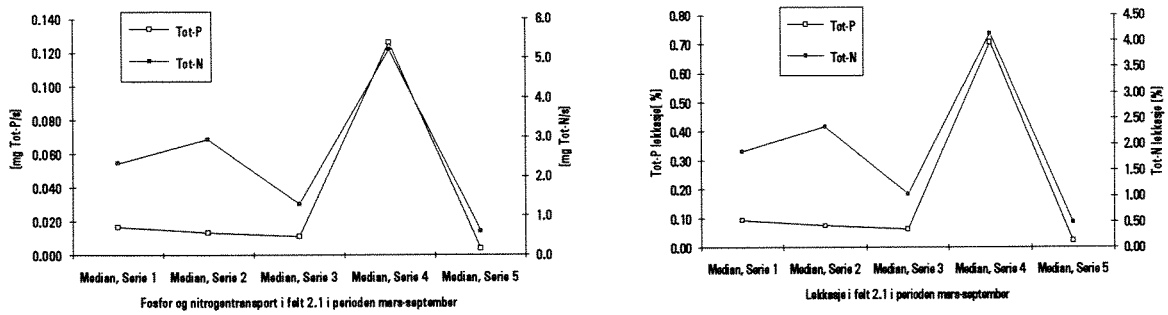
I figurene er medianverdien for 4 enkeltmålinger for hver av de fem seriene presentert. Medianverdien (den midterste verdien i tallrekken) er også benyttet i rapport "Forurensningstransport i overvannsledninger i tørrvær" (Aasgaard, 1991) for å begrense effekten av store avvik.



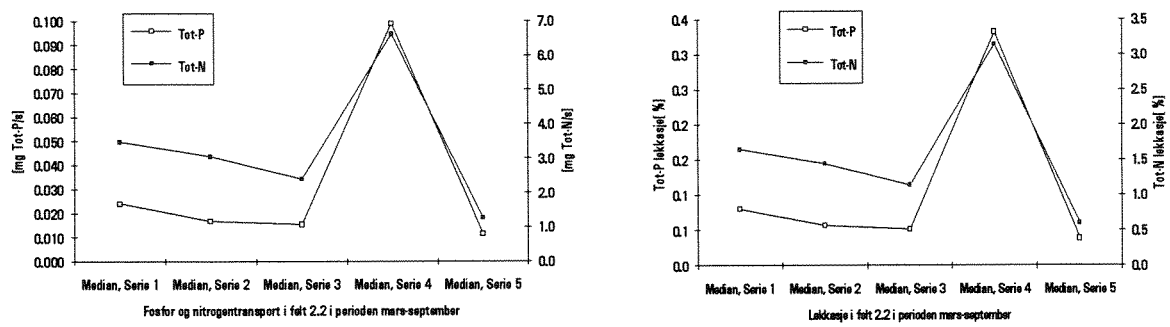
Figur 2: Forurensningstransport i OV-ledning og beregnet lekkasje fra Sp-ledninger i felt 1.1
(Jordbruksvann tilføres overvannsledning, målingene er korrigert for disse høye bakgrunnskonsentrasjonene)



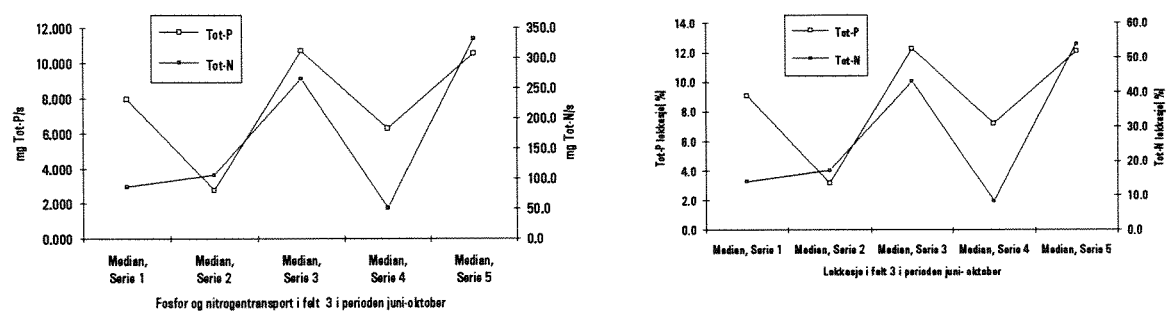
Figur 3: Forurensningstransport i OV-ledning og beregnet lekkasje fra Sp-ledninger i felt 1.2
(Målingene er ikke korrigert for antatt tilrenning av jordbruksvann)



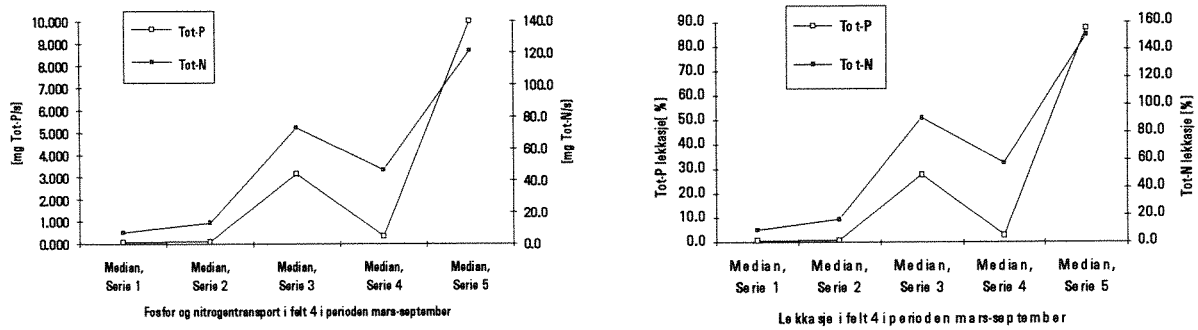
Figur 4: Forurensningstransport i OV-ledning og beregnet lekkasje fra Sp- ledninger i felt 2.1



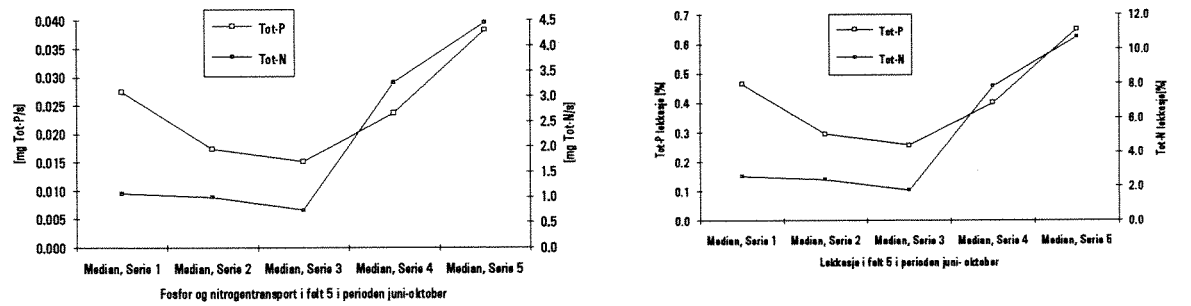
Figur 5: Forurensningstransport i OV-ledning og beregnet lekkasje fra Sp-ledninger i felt 2.2



Figur 6: Forurensningstransport i OV-ledning og beregnet lekkasje fra Sp-ledninger i felt 3
(Det ble påvist feilkobling på spillvannsnett)



Figur 7: Forurensningstransport i OV-ledning og beregnet lekkasje fra Sp-ledninger i felt 4



Figur 8: Forurensningstransport i OV-ledning og beregnet lekkasje fra Sp-ledninger i felt 5

3.3 Sammenheng mellom utlekking og forurensningstransport i overvannsledninger

I tabell 4 er medianverdien for alle fosfor- og nitrogenmålinger fra hvert felt presentert. Tabellen viser også medianverdien for totalt antall målinger, og utlekking basert på sporstoffundersøkelser. Resultatene fra sporstoffmålingene er ikke direkte sammenlignbare med fosfor- og nitrogenmålingene. Fosfor- og nitrogenmålingene i overvannsledningen gir en indikasjon på utlekking fra spillvannsledningene i feltet som drenerer til denne ledningen (også via andre overvannsledninger), mens sporstoffmålingene viser utlekking fra én bestemt spillvannsledning i feltet. Vi har antatt at denne spillvannsledningen også er representativ for øvrige spillvannsledninger i feltet.

Tabell 5 viser resultatene fra rapport "Forurensningstransport i overvannsledninger i tørrvær" (Aasgaard, 1991). Sammenligner vi med disse resultatene (60-70 tallet), er det fortsatt relativt mye mer nitrogen enn fosfor i overvannet enn hva som er normalt i urenset spillvann. Forurensningstapet m.h.t fosfor er i denne undersøkelsen fortsatt lavt, men vesentlig høyere for nitrogen. Variasjonene fra område til område er stort.

Ser en bort fra de felt hvor en har høye bakgrunnskonsentrasjoner og feilkoblinger, blir resultatene fra denne undersøkelsen mer sammenlignbar med tidligere undersøkelser også for nitrogen.
Forurensningstapet i overvannsledninger er høyere i felt 3 og 4 enn i øvrige felt. Sporstoffmålinger for disse feltene viste også stor utlekking fra tilhørende spillvannsledning. Lekkasjeprosenten basert på nitrogen- og fosformålingene er imidlertid mye mindre enn lekkasjeprosenten beregnet med sporstoff. Spesielt gjelder dette for fosfor.

Sporstoffmålinger i overvannsledningen viste ingen tegn til innlekking fra spillvannsledning selv om utlekking fra tilhørende spillvannsledning var høy, og selv om nitrogen- og fosformålingene i samme overvannsledning var høy.

Tabell 4: Forurensningstransport i OV-ledning, utlekking fra Sp-ledning i forhold til beregnet nitrogen- og fosforproduksjon og utlekking fra spillvannsledning målt ved sporstoff.

FELT	FOSFOR (Medianverdi)		NITROGEN (Medianverdi)		SPORSTOFFMÅLINGER
	[mg Tot-P/s]	[%]	[mg Tot-N/s]	[%]	[%]
1.1	0.004	0.1	2.5	7.4	0
1.2[1)]	0.688	5.7	15.0	17.7	
2.1	0.013	0.1	2.3	1.8	0-10
2.2	0.018	0.1	3.0	1.4	
3[2)]	8.819	10.1	121.2	19.1	100
4	0.329	2.9	46.6	57.8	15-35
5	0.027	1.5	0.5	3.5	0-20
6	-	-	-	-	40-50
7	-	-	-	-	0-20
8	-	-	-	-	0
9	-	-	-	-	0
Totalt	**0.079**	**0.7**	**6.1**	**8.7**	-

1) Høye bakgrunnskonsentrasjoner som det ikke er korrigert for

2) Feilkobling i spillvannsledning

Tabell 5: Forurensningstap målt i forhold til beregnet produksjon (Kilde: Aasgaard,1991)

	1960-årene	1970-årene	1980-årene
Fosfor	0.6%	0.3%	0.1%
Nitrogen	2.5%	1.9%	1.2%

4. Diskusjon

Ved tolkning av resultater fra sporstoffmålingene og målinger som er foretatt for å bestemme forurensningstap i overvannlsedninger, er det viktig å ta hensyn til flere forhold og feilkilder som kan ha påvirket resultatene.

4.1 Sporstoffmålinger

Det er flere faktorer som påvirker påliteligheten av sporstoffmålinger og beregning av utlekkingsprosent. I enkelte av feltene hvor det er foretatt sporstoffmålinger er ikke alle disse forhold optimalt ivaretatt, og det vil derfor være tildels betydelig usikkerhet knyttet til resultatene.

De viktigste forhold som kan påvirke resultatet er:

- antall måleserier
- uttestingsperiode pr serie i forhold til gjennomstrømningstid
- vannføring
- vedlikehold av ledningsnett
- instrumenter for dosering; doseringshastighet
- utvalg av prøver for analyse
- analyseusikkerhet

Det er foretatt to måleserier pr spillvannsledning for å bestemme utlekking. I enkelte felt er det stort avvik mellom resultatene. Minimum tre måleserier bør gjennomføres for å kunne tallfeste utlekkingen med akseptabel nøyaktighet.

Med hensyn til de betydelige variasjoner, bør sporstoffet doseres over en periode på flere timer (det anbefales min. 3 timer pluss gjennomstrømningstid).

For å sikre god innblanding av sporstoff må det være tilstrekkelig vannføring i avløpsledningen, eventuelt må god turbulens skapes rett nedstrøms doseringen.

Det er viktig at avløpsledningen blir spylt og rengjort før prøvetaking, slik at fremmedlegemer/avsetninger ikke forstyrrer målingene.

For til en hver tid å kunne beregne dosert mengde sporstoff, er det selvfølgelig viktig at doseringspumpen har en jevn doseringshastighet. Som en sikkerhet, bør dosert volum beregnes ved å måle volum på doseringstank før og etter dosering.

Analysekostnadene kan bli store ved bruk av sporstoff til vannføringsmåling. For å sikre tilfredstillende representativitet, anbefales det at prøver blir tatt ut med 20 minutts mellomrom. Første prøve bør tas ved start dosering. Siste prøve tas etter slutt dosering, men med en forsinkelse på minimum gjennomstrømningstiden.

Dosert mengde sporstoff må være tilstrekkelig til at prøvene får et sporstoffinnhold som ligger klart over deteksjonsgrensen. Dette reduserer analyseusikkerheten. Deteksjonsgrensen for litium er 0.005 mg/liter og deteksjonsgrensen for bromid er 1 mg/liter ved de analysemetoder som ble benyttet i dette prosjektet.

4.2 Forurensningstap i overvannsledninger

Ved beregning av utlekking fra tilhørende spillvannsledninger basert på prøvetaking i overvannsledning, er det flere forhold som kan påvirke resultatene:

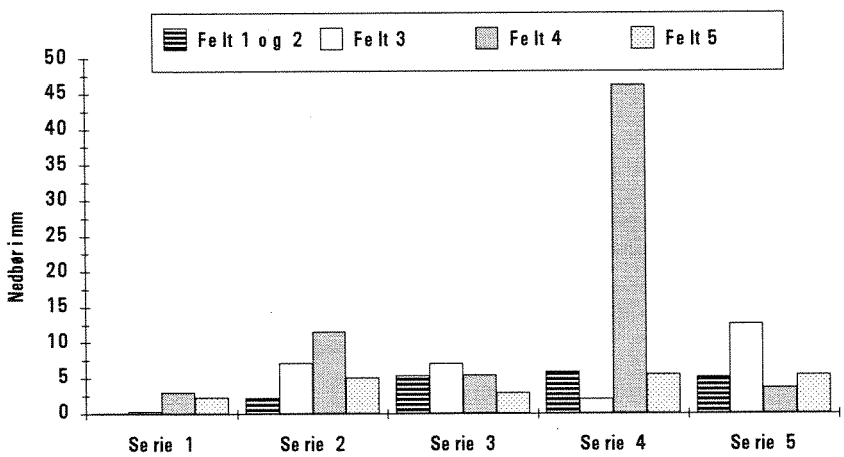
- Stedlige forhold
- Variasjoner i avløpsvannet mengde og sammensetning
- Nedbør og grunnvannsstand

Ettersporing av spillvann i tilhørende overvannsledning vil påvirkes av stedlige forhold som arealutnyttelse, befolkningstetthet, terrengforhold, grunnforhold, omfyllingsmasser, rørmateriell, skjøtemetode, anleggsutførelse, alder etc.

Ved beregning av utlekking fra spillvannsledning er teoretisk produksjon av forurensning til spillvann benyttet (1.7 gTot-P/pe og døgn og 12 g Tot-N/pe og døgn). Dette er gjennomsnittstall, og avløpsvannets mengde og sammensetning vil variere betydelig i tid og sted. Beregningene forutsetter i tillegg at alt som lekker ut fra spillvannsledningen kan gjenfinnes i overvannsledning. Det må korrigeres for at noe spillvann vil ta andre veier, og at en i tillegg har tilførsel fra andre kilder (skog, jordbruk og annen naturlig avrenning).

N/P forholdet i de undersøkte overvannsledningene er betydelig høyere sammenlignet med urenset spillvann, og bekrefter at nevnte forhold påvirker resultatene. Valgt måletidspunkt (formiddagen) fører til at avløpsvannet inneholder relativt mer nitrogen enn fosfor (urea fra morgenstellet) .
Naturlig rensing gjennom rørledningenes omfyllingsmasser og ekstern tilførsel av næringssalter fra skog og jordbruk kan også være en årsak til høyere N/P forhold (Aasgaard, 1991). Hovedmengden av nitrogenet i avløpsvannet foreligger som ammonium som kan oksyderes til nitrat. Nitrat er lett løselig i vann og vil kunne følge vannstrømmen gjennom omfyllingsmassene. En del av fosforet foreligger som partikulært bundet fosfor, og vil derfor kunne avsettes i omfyllingsmassene.
Målinger fra felt 1.2 bekrefter at avrenning fra jordbruk spiller en stor rolle.

Vi har forsøkt å belyse om klimatiske forhold kan påvirke forurensninsgtapet i overvannsledningen. Meterologisk institutt har oppgitt døgnnedbør ved målestasjoner som er representative for felt 1-5. I figur 9 er gjennomsnittlig døgnedbør i den uken prøvene er tatt beregnet (dvs gjennomsnittet av registrerte verdier 3 dager før målingene og i løpet av de 4 dagene prøvene er tatt).



Figur 9: Gjennomsnittlig døgnnedbør i uken som de respektive prøver er tatt.

I felt 1 er også grunnvannsstanden registrert for prøveserie 4 og 5. I prøveserie 4 lå grunnvannstanden over bunn overvannsledning og under bunn sp.vannsledning. I måleserie 5 lå grunnvannsstanden både over bunn overvannsledning og over bunn spillvannsledning. Det er foretatt for få målinger til å kunne si noe om grunnvannsstanden påvirker forurensningstapet i overvannsledningen. Resultater fra prøveserie 4 viser imidlertid høy utlekking (se figur 2 og 3), og dette kan indikere at forurensningstransporten til overvannsledningen er større når grunnvannstanden ligger mellom bunn overvannsledning og bunn spillvannsledning. Nedbøren for prøveserie 4 er imidlertid som for serie serie 3 og 5. Det er heller ingen entydig sammenheng mellom nedbør og utlekking fra de øvrige feltene.

5. Referanser

Aasgaard, G. Fr., (1991): Forurensningstap i overvannsledninger i tørrvær, NIVA-rapport, 0-91055, ISBN 82-577-2060-7, 38 sider

Vedlegg 1: Metode for lekkasjemåling på ledningsnett v.h.a sporstoff

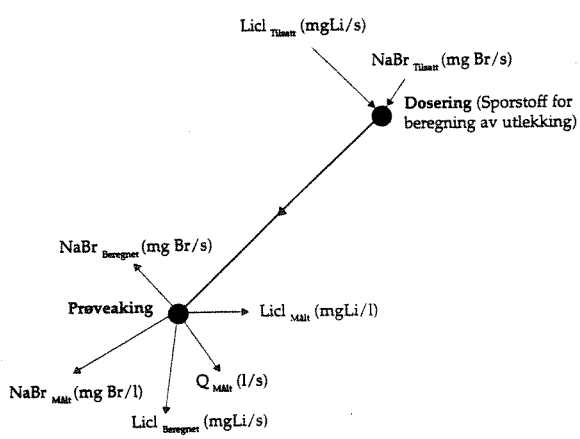
Metode for lekkasjemåling på ledningsnett v.h.a sporstoff ble testet i en antatt tett spillvannsledning.

Det ble først gjennomført forsøk ved å tilsette sporstoffene litiumklorid og natriumbromid øverst i ledningen som skulle undersøkes. Forsøket skulle gi grunnlag for valg mellom de to sporstoffene. Vannmengden nederst i ledningen ble registrert v.h.a mekanisk vannmengdemåler. Prinsippskisse for forsøk 1 er vist i figur 10.

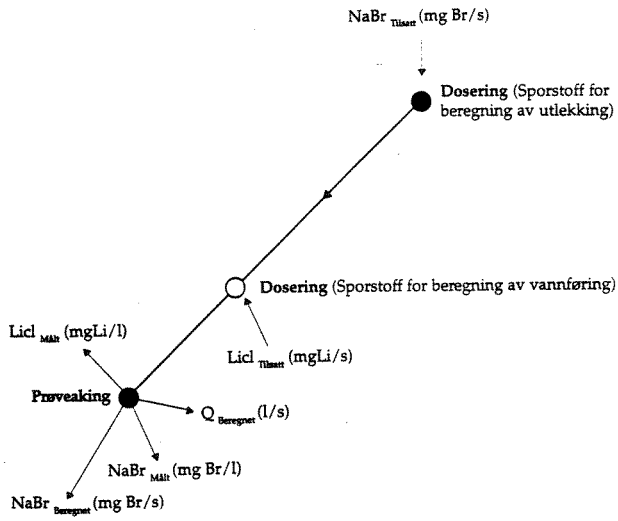
Resultatene viste at metoden ikke er egnet til å beregne utlekking fra spillvannsledning, pga usikkerhet i vannføringsmålingene. Mekaniske vannmengdemålere synes å være uegnet ved små ledningsdimensjoner. I forsøk 2 ble derfor litiumklorid benyttet til å beregne vannføringen, mens natriumbromid ble benyttet for å beregne utlekkingsprosenten. Prinsippskisse for forsøk 2 er vist i figur 11.

Det ble gjennomført 2 uavhengig måleserier med varighet på henholdsvis 3 og 1,8 timer. Det ble tatt ut et representativt utvalg prøver, og analysert på brom og litium. Resultatene fra forsøket viste at metoden er egnet for å beregne utlekking, men at prøvetakingsperioden minimum bør være ca 3 timer. Mengde sporstoff tilsatt ble gjenfunnet i prøvepunktet. Se figur 12.

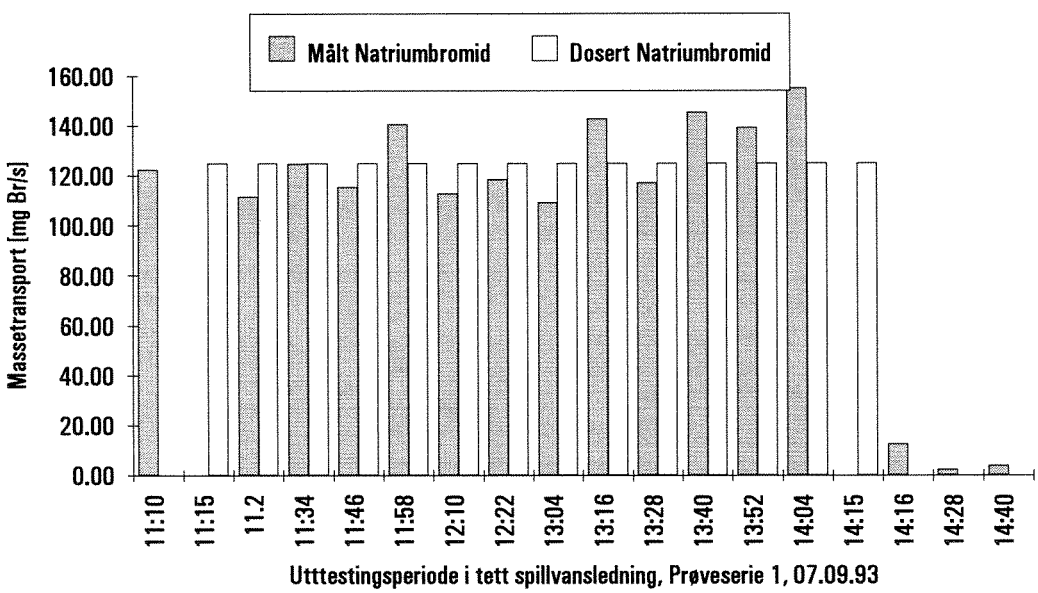
Utlekkingsprosenten ble beregnet ved to metoder. Mengde sporstoff som passerte prøvepunktet i prøveperioden ble sammenlignet med mengde sporstoff som ble dosert, d.v.s ved massebalanse ("arealmetoden"). Utlekkingen kan også beregnes ved å sammenligne enkeltverdier. Forskjellen i masse dosert pr. tidsenhet (doseringshastigheten er konstant) og massetransport i prøvetakingspunktet gir utlekking. Ideelt sett vil massetransporten i prøvepunktet anta en maksimalverdi etter en viss tid fra start dosering. Massetransporten vil holde seg på dette nivået så lenge sporstoff blir dosert oppstrøms i ledningen. Sporstoffet vil imidlertid ikke følge et ideelt strømningsbilde, og vi har derfor valgt å ikke sammenligne enkeltverdier. Vi har istedenfor sammenlignet gjennomsnittlig massetransport, etter å ha oppnådd en stabil periode, med masse dosert pr. tidsenhet i den stabile perioden ("punktmetoden").



Figur 10: Prinsippskisse for forsøk 1; uttesting av metode for lekkasjemåling på ledningsnett



Figur 11: Prinsippskisse for forsøk 2, uttesting av metode for lekkasjemåling på ledningsnett



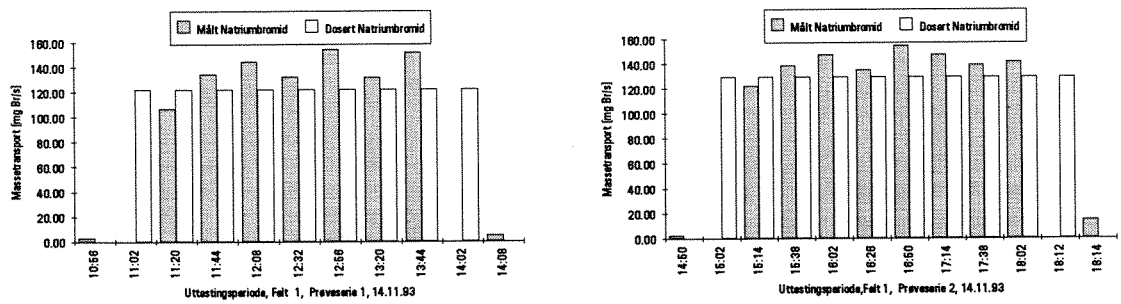
Figur 12: Resultat fra uttesting av metode for utlekking (figuren viser verdier i prøvetakingspunkt. Start og slutt for dosert natriumbromid er derfor tidsforskjøvet med gjennomstrømningstiden).

For å beregne forurensningstransport fra spillvannsledning til tilhørende overvannsledning, ble det tatt ut representative prøver i overvannsledningen og analysert på brom. Vannmengden i overvannsledning ble registrert ved mekanisk vannmengdemåler.

Vedlegg 2: Resultater fra sporstoffmålinger

Felt 1

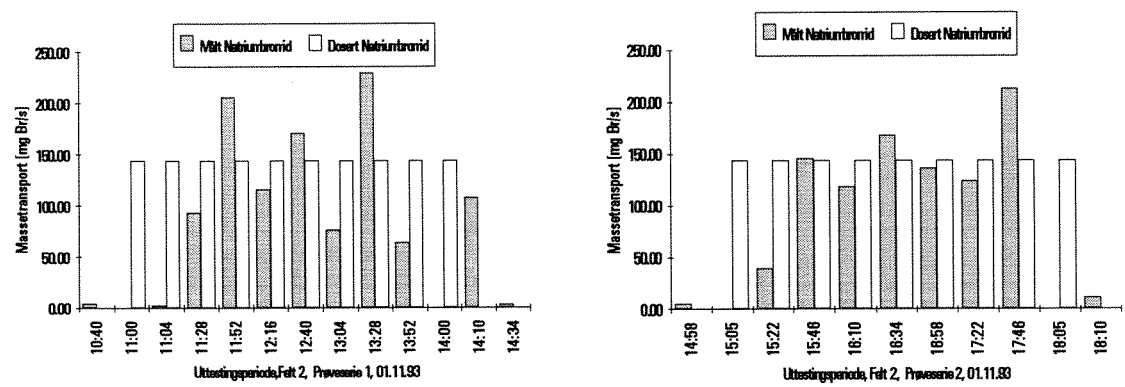
Resultater fra prøveserie 1 og 2 i felt 1 viste null utlekking (mengde gjenfunnet var noe større enn dosert mengde). Sporstoffmålinger tatt i tilhørende overvannsledning ga heller ingen indikasjoner på utlekking fra spillvannsledning (se også resultater fra fosfor- og nitrogentransport i overvannsledning).



Figur 13: Sporstoffmålinger i felt 1(figuren viser verdier i prøvetakingspunkt. Start og slutt for dosert natriumbromid er derfor tidsforskjøvet med gjennomstrømningstiden).

Felt 2

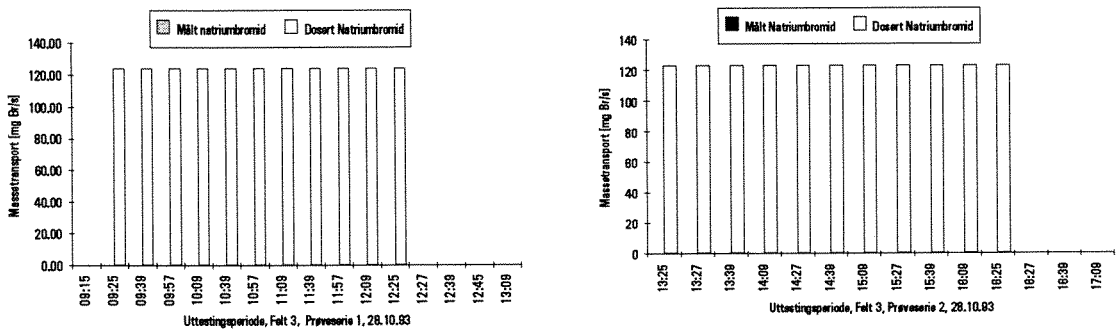
Resultatene fra prøveserie 1 og 2 viste at utlekkingen sannsynligvis er i området 0-10%. Sporstoffprøver tatt i overvannsledning ga ingen indikasjon på utlekking fra spillvansledning (se også resultater fra fosfor- og nitrogentransport i overvannsledning).



Figur 14: Sporstoffmålinger i felt 2 (figuren viser verdier i prøvetakingspunkt. Start og slutt for dosert natriumbromid er derfor tidsforskjøvet med gjennomstrømningstiden).

Felt 3

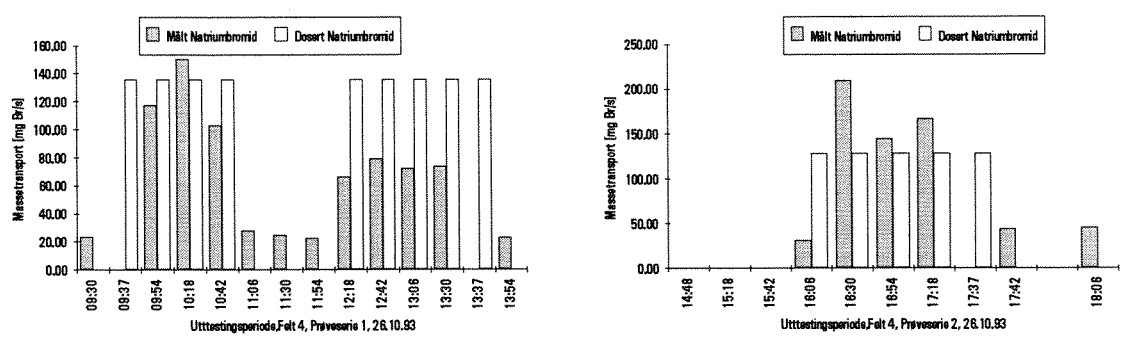
Resultatene fra prøveseriene viste at det er 100% utlekking, dvs en sannsynlig feilkobling av spillvannsledningen. Dette ble også bekreftet kommunen. Sporstoffanalyser tatt i overvannsledning indikerer også at det er forbindelse til spillvannsledningen. Det var ikke mulig å si hvor mye som ble overført fra spillvann til overvannsledning (se også resultater fra fosfor- og nitrogenmålinger i overvannsledning).



Figur 15: Sporstoffmålinger i felt 3 (figuren viser verdier i prøvetakingspunkt. Start og slutt for dosert natriumbromid er derfor tidsforskjøvet med gjennomstrømningstiden).

Felt 4

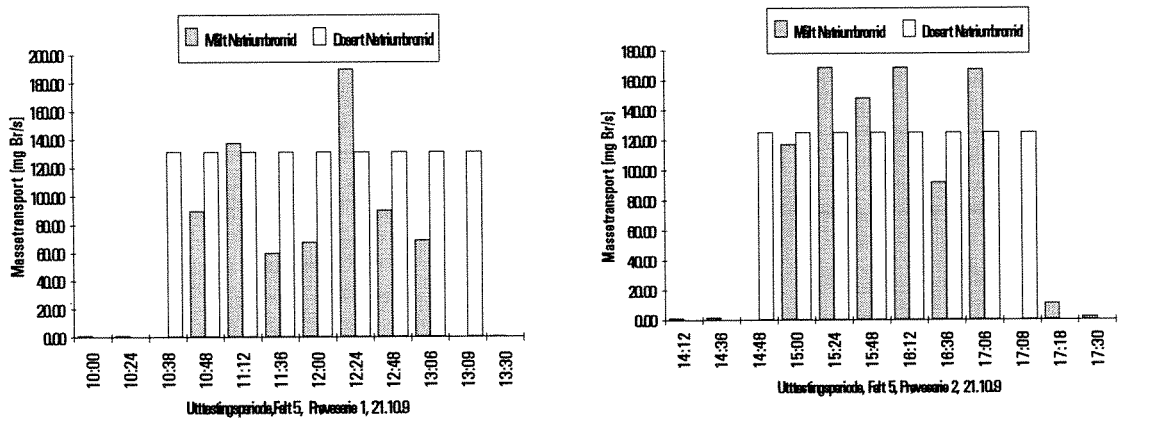
Resultatene fra felt 4 er beheftet med større usikkerhet enn øvrige felt. Doseringspumpe for natriumbromid sviktet for begge serier, og serie 2 må utelukkes. Vi har derfor valgt å legge på en ekstra sikkerhet for å anslå utlekkingsprosenten. Serie 1 viser at utlekkingen kan være i området 15-35%. Analyser av brom i overvannsledning indikerer imidlertid at det ikke er forbindelse mellom spillvannsledning og overvannsledning (se også resultater fra fosfor- og nitrogenmålinger i overvannsledning).



Figur 16: Sporstoffmålinger i felt 4(figuren viser verdier i prøvetakingspunkt. Start og slutt for dosert natriumbromid er derfor tidsforskjøvet med gjennomstrømningstiden).

Felt 5

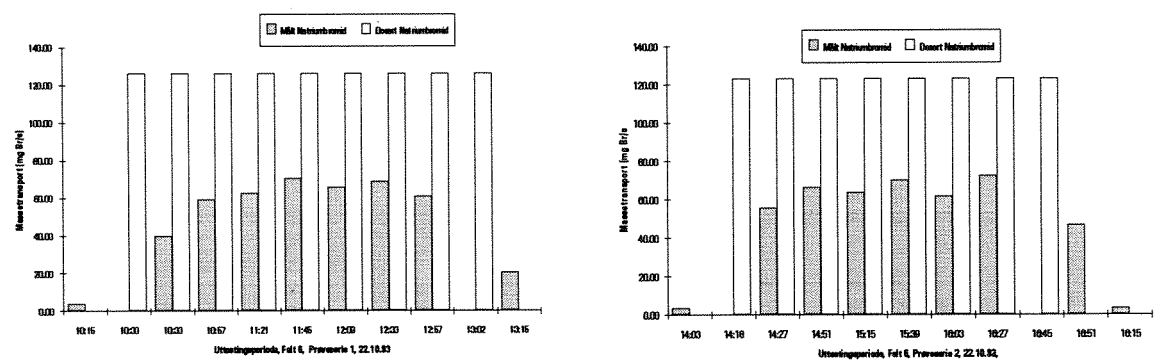
Resultater fra prøveserie 1 og 2 viste varierende resultat. Utlekkingen kan være i området 0-20% (se også resultater fra nitrogen- og fosformålinger).



Figur 17: Sporstoffmålinger i felt 5 (figuren viser verdier i prøvetakingspunkt. Start og slutt for dosert natriumbromid er derfor tidsforskjøvet med gjennomstrømningstiden).

Felt 6

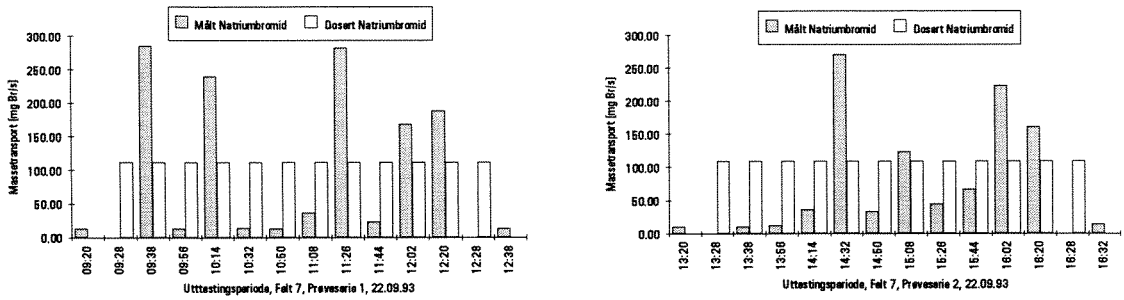
Resultater fra serie 1 og 2 er sammenfallende og viser en utlekking i området 40-50%. Det er ikke foretatt målinger i overvannsledning.



Figur 18: Sporstoffmålinger i felt 6 (figuren viser verdier i prøvetakingspunkt. Start og slutt for dosert natriumbromid er derfor tidsforskjøvet med gjennomstrømningstiden).

Felt 7

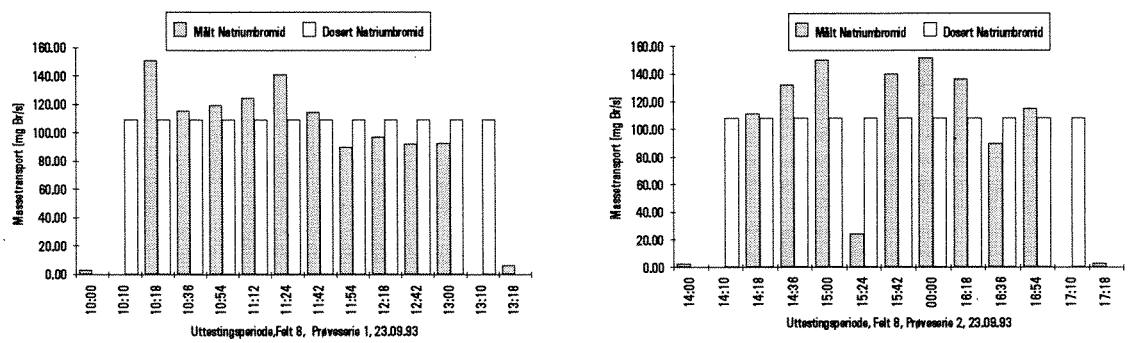
Resultatene fra prøveserie 1 og 2 viste et unormalt forløp sammenlignet med andre serier. Det festes størst tiltro til serie 2. Målingene indikerer at utlekking fra spillvannsledningen er i området 0-20%. Det ble ikke foretatt målinger i overvannsledning.



Figur 19: Sporstoffmålinger i felt 7 (figuren viser verdier i prøvetakingspunkt. Start og slutt for dosert natriumbromid er derfor tidsforskjøvet med gjennomstrømningstiden).

Felt 8

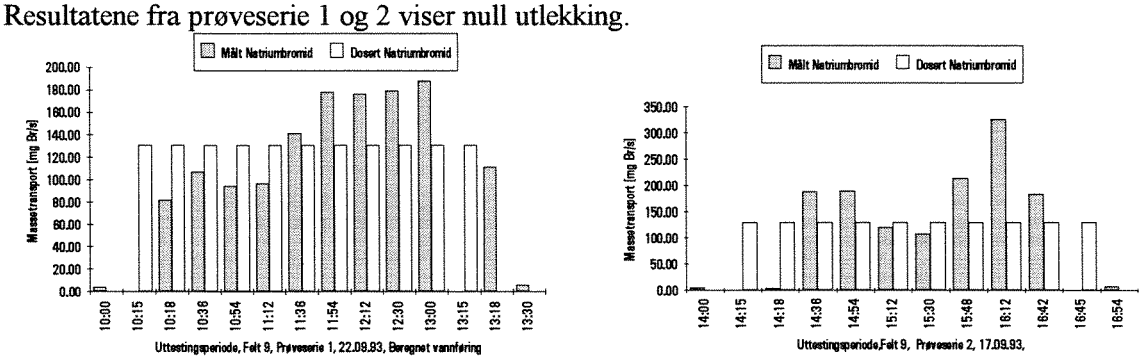
Resultatene fra prøveserie 1 og 2 viser null utlekking. Det er ikke foretatt målinger i overvannsledning.



Figur 20: Sporstoffmålinger i felt 8 (figuren viser verdier i prøvetakingspunkt. Start og slutt for dosert natriumbromid er derfor tidsforskjøvet med gjennomstrømningstiden).

Felt 9

Resultatene fra prøveserie 1 og 2 viser null utlekking.



Figur 21: Sporstoffmålinger i felt 9 (figuren viser verdier i prøvetakingspunkt. Start og slutt for dosert natriumbromid er derfor tidsforskjøvet med gjennomstrømningstiden).

Vedlegg 3: Forurensningstransport i overvannsledninger

Tabell 6: Forurensningstransport i overvannsledning i felt 1.1
(Målingene er korrigert for bakgrunnskonsentrasjoner, Jordbrukstilsig)

PRØVETAKING, FELT 1			VANNFØRING	MASSETRANSP., FOSFOR		MASSETRANSP., NITROGE		FOSFORPRODUKSJON		NITROGENPRODUKSJON		M-kons./F-kons.		LEKKASJE %	
P.nr	Dag	Tid	Q (l/s)	P (mg/l)	M (mg/s)	N (mg/l)	M (mg/s)	Antall pe	M(mg/s)	Antall pe	M(mg/s)	Målt	Teoret.	Fosfor	Nitrogen
1	29.03.9	10.15			0.028		3.5	240	4.722	240	33.333	137.5	7.1	0.5	10.5
2	31.03.9	10.25			0.002		4.3	240	4.722	240	33.333	2137.5	7.1	0.0	12.8
3	01.04.9	10.25			0.131		3.3	240	4.722	240	33.333	25.3	7.1	2.8	9.9
4	02.04.9	10.15			-0.050		3.0	240	4.722	240	33.333	-60.3	7.1	-1.0	9.0
Median, Serie 1					**0.014**		**3.4**	**240**	**4.722**	**240**	**33.333**	**81.37**	**7.08**	**0.3**	**10.2**
5	27.04.9	10.00			0.007		2.6	240	4.722	240	33.333	397.2	7.1	0.1	7.7
6	28.04.9	9.50			-0.001		2.7	240	4.722	240	33.333	-2980.0	7.1	0.0	8.0
7	29.04.9	10.00			0.003		2.5	240	4.722	240	33.333	837.0	7.1	0.1	7.5
8	30.04.9	9.55			0.004		2.9	240	4.722	240	33.333	689.0	7.1	0.1	8.7
Median, Serie 2					**0.004**		**2.8**	**240**	**4.722**	**240**	**33.333**	**543.14**	**7.08**	**0.1**	**7.9**
9	29.06.9	9.50			0.003		0.6	240	4.722	240	33.333	224.2	7.1	0.1	1.7
10	30.06.9	9.50			0.002		0.9	240	4.722	240	33.333	430.9	7.1	0.0	2.6
11	01.07.9	9.50			0.008		0.8	240	4.722	240	33.333	146.7	7.1	0.1	2.4
12	02.07.9	9.50			0.003		0.8	240	4.722	240	33.333	259.1	7.1	0.1	2.3
Median, Serie 3					**0.003**		**0.8**	**240**	**4.722**	**240**	**33.333**	**241.85**	**7.08**	**0.1**	**2.4**
13	11.08.9	9.50			0.004		2.9	240	4.722	240	33.333	730.0	7.1	0.1	8.8
14	12.08.9	9.45			0.082		-2.6	240	4.722	240	33.333	-42.8	7.1	1.3	-7.8
15	13.08.9	10.00			0.008		2.5	240	4.722	240	33.333	310.0	7.1	0.2	7.4
Median, Serie 4					**0.008**		**2.5**	**240**	**4.722**	**240**	**33.333**	**310.00**	**7.08**	**0.2**	**7.4**
16	20.09.9	10.30			0.181		1.1	240	4.722	240	33.333	6.3	7.1	3.8	3.4
17	21.09.9	9.45			0.004		1.1	240	4.722	240	33.333	310.1	7.1	0.1	3.3
18	22.09.9	10.00			0.004		1.1	240	4.722	240	33.333	266.9	7.1	0.1	3.4
19	23.09.9	9.55			0.004		1.4	240	4.722	240	33.333	385.4	7.1	0.1	4.3
Median, Serie 5					**0.004**		**1.1**	**240**	**4.722**	**240**	**33.333**	**288.52**	**7.09**	**0.1**	**3.4**
MEDIAN, TOTALT					**0.004**		**2.5**	**240**	**4.722**	**240**	**33.333**	**288.80**	**7.08**	**0.1**	**7.4**

Tabell 7: Forurensningstransport i overvansledning i felt 1.2 (Målingene er ikke korrigert for jordbrukstilsig)

PRØVETAKING, FELT 1			VANNFØRING	MASSETRANSP., FOSFOR		MASSETRANSP., NITROGE		FOSFORPRODUKSJON		NITROGENPRODUKSJON		M-kons./F-kons.		LEKKASJE %	
P.nr	Dag	Tid	Q (l/s)	P (mg/l)	M (mg/s)	N (mg/l)	M (mg/s)	Antall pe	M(mg/s)	Antall pe	M(mg/s)	Målt	Teoret.	Fosfor	Nitrogen
1	29.03.9	10.30	6.0	0.174	1.044	4.5	26.7	612	12.042	612	85.000	25.8	7.1	8.7	31.4
2	31.03.9	10.40	6.0	0.410	2.460	3.7	22.2	612	12.042	612	85.000	9.0	7.1	20.4	26.1
3	01.04.9	10.35	6.0	0.322	1.932	3.8	22.9	612	12.042	612	85.000	11.8	7.1	16.0	26.9
4	02.04.9	10.30	6.0	0.638	3.828	6.6	39.4	612	12.042	612	85.000	10.3	7.1	31.8	46.4
Median, Serie 1			**6.0**	**0.37**	**2.196**	**4.1**	**24.8**	**612**	**12.042**	**612**	**85.000**	**11.07**	**7.08**	**18.2**	**29.2**
5	27.04.9	9.40	6.0	1.240	7.440	3.9	23.5	612	12.042	612	85.000	3.2	7.1	61.8	27.7
6	28.04.9	9.35	4.3	0.120	0.516	3.5	15.0	612	12.042	612	85.000	29.1	7.1	4.3	17.7
7	29.04.9	9.50	4.3	0.116	0.499	3.5	15.1	612	12.042	612	85.000	30.3	7.1	4.1	17.8
8	30.04.9	9.45	4.3	0.160	0.688	3.2	13.8	612	12.042	612	85.000	20.1	7.1	5.7	16.2
Median, Serie 2			**4.3**	**0.14**	**0.602**	**3.5**	**15.1**	**612**	**12.042**	**612**	**85.000**	**24.57**	**7.08**	**5.0**	**17.7**
9	29.06.9	9.35	1.4	0.455	0.637	3.0	4.2	612	12.042	612	85.000	6.7	7.1	5.3	5.0
10	30.06.9	9.40	1.4	0.114	0.160	2.7	3.8	612	12.042	612	85.000	23.7	7.1	1.3	4.4
11	01.07.9	9.40	1.4	0.274	0.384	5.1	7.2	612	12.042	612	85.000	18.8	7.1	3.2	8.5
12	02.07.9	9.40	1.4	0.398	0.557	6.2	8.7	612	12.042	612	85.000	15.5	7.1	4.6	10.2
Median, Serie 3			**1.4**	**0.34**	**0.470**	**4.1**	**5.7**	**612**	**12.042**	**612**	**85.000**	**17.14**	**7.08**	**3.9**	**6.7**
13	11.08.9	9.35	5.0	0.130	0.650	5.1	25.6	612	12.042	612	85.000	39.3	7.1	5.4	30.1
14	12.08.9	9.35	25.0	0.068	1.700	1.6	40.5	612	12.042	612	85.000	23.8	7.1	14.1	47.6
15	13.08.9	9.40	6.0	0.220	1.320	5.6	33.7	612	12.042	612	85.000	25.5	7.1	11.0	39.7
Median, Serie 4			**6.0**	**0.13**	**1.320**	**5.1**	**33.7**	**612**	**12.042**	**612**	**85.000**	**25.55**	**7.08**	**11.0**	**39.7**
16	20.09.9	10.25	3.1	0.206	0.639	4.7	14.4	612	12.042	612	85.000	22.6	7.1	5.3	17.0
17	21.09.9	9.30	3.1	0.220	0.682	3.2	10.0	612	12.042	612	85.000	14.7	7.1	5.7	11.8
18	22.09.9	9.50	3.0	0.760	2.280	3.3	9.9	612	12.042	612	85.000	4.3	7.1	18.9	11.6
19	23.09.9	9.45	3.0	0.810	1.830	3.0	9.1	612	12.042	612	85.000	5.0	7.1	15.2	10.7
Median, Serie 5			**3.1**	**0.42**	**1.256**	**3.3**	**10.0**	**612**	**12.042**	**612**	**85.000**	**9.86**	**7.08**	**10.4**	**11.7**
MEDIAN, TOTALT			**4.3**	**0.22**	**0.888**	**3.7**	**15.0**	**612**	**12.042**	**612**	**85.000**	**18.76**	**7.08**	**5.7**	**17.7**

Tabell 8: Forurensningstransport i overvannsledning i felt 2.1

PRØVETAKING, FELT 2			VANNFØRING	MASSETRANSP., FOSFOR		MASSETRANSP., NITROGE		FOSFORPRODUKSJON		NITROGENPRODUKSJON		N-kons./F-kons.		LEKKASJE %	
P.nr	Dag	Tid	Q (l/s)	P (mg/l)	M (mg/s)	N (mg/l)	M (mg/s)	Antall pe	M(mg/s)	Antall pe	M(mg/s)	Målt	Teoret.	Fosfor	Nitrogen
1	29.03.9	10.55	2.1	0.017	0.036	1.1	2.4	908	17.866	908	126.111	66.5	7.1	0.2	1.9
2	31.03.9	11.30	2.1	0.006	0.013	1.3	2.7	908	17.866	908	126.111	213.3	7.1	0.1	2.1
3	01.04.9	10.55	2.1	0.006	0.013	1.1	2.2	908	17.866	908	126.111	175.0	7.1	0.1	1.7
4	02.04.9	10.55	2.1	0.010	0.021	1.1	2.3	908	17.866	908	126.111	110.0	7.1	0.1	1.8
Median, Serie 1			**2.1**	**0.01**	**0.017**	**1.1**	**2.3**	**908**	**17.866**	**908**	**126.111**	**142.50**	**7.06**	**0.1**	**1.9**
5	27.04.9	10.50	2.7	0.010	0.027	1.2	3.2	908	17.866	908	126.111	117.0	7.1	0.2	2.5
6	28.04.9	10.40	2.7	0.006	0.016	1.1	2.9	908	17.866	908	126.111	178.3	7.1	0.1	2.3
7	29.04.9	11.05	2.1	0.005	0.011	1.1	2.2	908	17.866	908	126.111	214.0	7.1	0.1	1.8
8	30.04.9	10.40	2.1	0.005	0.011	1.4	3.0	908	17.866	908	126.111	288.0	7.1	0.1	2.4
Median, Serie 2			**2.4**	**0.01**	**0.013**	**1.1**	**3.0**	**908**	**17.866**	**908**	**126.111**	**196.17**	**7.06**	**0.1**	**2.3**
9	29.06.9	10.40	1.1	0.014	0.015	1.7	1.9	908	17.866	908	126.111	123.6	7.1	0.1	1.5
10	30.06.9	10.30	1.0	0.010	0.010	1.3	1.3	908	17.866	908	126.111	133.0	7.1	0.1	1.1
11	01.07.9	10.30	0.7	0.017	0.012	1.8	1.3	908	17.866	908	126.111	106.5	7.1	0.1	1.0
12	02.07.9	10.20	0.7	0.015	0.011	1.8	1.3	908	17.866	908	126.111	120.7	7.1	0.1	1.0
Median, Serie 3			**0.9**	**0.01**	**0.011**	**1.8**	**1.3**	**908**	**17.866**	**908**	**126.111**	**122.12**	**7.06**	**0.1**	**1.0**
13	11.08.9	10.25	3.5	0.018	0.063	1.4	5.0	908	17.866	908	126.111	79.4	7.1	0.4	4.0
14	12.08.9	10.30	11.0	0.077	0.847	1.1	12.3	908	17.866	908	126.111	14.5	7.1	4.7	9.8
15	13.08.9	10.30	3.5	0.036	0.126	1.5	5.2	908	17.866	908	126.111	41.4	7.1	0.7	4.1
Median, Serie 4			**3.5**	**0.04**	**0.126**	**1.4**	**5.2**	**908**	**17.866**	**908**	**126.111**	**41.39**	**7.06**	**0.7**	**4.1**
16	20.09.9	11.00	0.3	0.008	0.002	1.6	0.5	908	17.866	908	126.111	205.0	7.1	0.0	0.4
17	21.09.9	10.25	0.3	0.012	0.004	1.9	0.6	908	17.866	908	126.111	160.8	7.1	0.0	0.5
18	22.09.9	11.30	0.5	0.016	0.008	1.7	0.9	908	17.866	908	126.111	106.9	7.1	0.0	0.7
19	23.09.9	10.25	0.4	0.011	0.004	1.6	0.6	908	17.866	908	126.111	146.4	7.1	0.0	0.5
Median, Serie 5			**0.4**	**0.01**	**0.004**	**1.7**	**0.6**	**908**	**17.866**	**908**	**126.111**	**153.60**	**7.06**	**0.0**	**0.6**
MEDIAN, TOTALT			**2.1**	**0.01**	**0.013**	**1.4**	**2.2**	**908**	**17.866**	**908**	**126.111**	**123.57**	**7.06**	**0.1**	**1.8**

Tabell 9 Forurensningstransport i overvannsledning i felt 2.2

PRØVETAKING, FELT 2			VANNFØRING	MASSETRANSP., FOSFOR		MASSETRANSP., NITROGE		FOSFORPRODUKSJON		NITROGENPRODUKSJON		N-kons./F-kons.		LEKKASJE %	
P.nr	Dag	Tid	Q (l/s)	P (mg/l)	M (mg/s)	N (mg/l)	M (mg/s)	Antall pe	M(mg/s)	Antall pe	M(mg/s)	Målt	Teoret.	Fosfor	Nitrogen
1	31.03.9	11.15	3.0	0.009	0.027	1.3	4.0	1515	29.809	1515	210.417	148.9	7.1	0.1	1.9
2	01.04.9	11.10	3.0	0.006	0.018	1.1	3.2	1515	29.809	1515	210.417	180.0	7.1	0.1	1.5
3	02.04.9	10.50	3.0	0.008	0.024	1.2	3.5	1515	29.809	1515	210.417	145.0	7.1	0.1	1.7
Median, Serie 1			**3.0**	**0.01**	**0.024**	**1.2**	**3.5**	**1515**	**29.809**	**1515**	**210.417**	**148.89**	**7.06**	**0.1**	**1.7**
4	27.04.9	11.00	3.3	0.007	0.023	1.2	4.0	1515	29.809	1515	210.417	172.9	7.1	0.1	1.9
5	28.04.9	10.50	3.0	0.006	0.018	1.1	3.3	1515	29.809	1515	210.417	183.3	7.1	0.1	1.6
6	29.04.9	11.15	2.6	0.005	0.013	1.1	2.8	1515	29.809	1515	210.417	216.0	7.1	0.0	1.3
7	30.04.9	10.50	2.6	0.006	0.016	1.0	2.6	1515	29.809	1515	210.417	168.3	7.1	0.1	1.2
Median, Serie 2			**2.8**	**0.01**	**0.017**	**1.1**	**3.1**	**1515**	**29.809**	**1515**	**210.417**	**176.10**	**7.06**	**0.1**	**1.5**
8	29.06.9	10.45	1.5	0.034	0.050	1.6	2.4	1515	29.809	1515	210.417	47.4	7.1	0.2	1.1
9	30.06.9	10.40	1.2	0.008	0.010	139.0	168.2	1515	29.809	1515	210.417	17375.0	7.1	0.0	79.9
10	01.07.9	10.40	1.1	0.013	0.015	2.2	2.5	1515	29.809	1515	210.417	168.5	7.1	0.0	1.2
11	02.07.9	10.30	1.1	0.015	0.016	1.6	1.7	1515	29.809	1515	210.417	107.3	7.1	0.1	0.8
Median, Serie 3			**1.2**	**0.01**	**0.015**	**1.9**	**2.4**	**1515**	**29.809**	**1515**	**210.417**	**137.90**	**7.06**	**0.1**	**1.1**
12	11.08.9	10.40	4.5	0.018	0.081	1.5	6.6	1515	29.809	1515	210.417	81.7	7.1	0.3	3.1
13	12.08.9	10.40	13.5	0.075	1.013	1.3	17.6	1515	29.809	1515	210.417	17.3	7.1	3.4	8.3
14	13.08.9	10.40	4.5	0.022	0.099	1.3	5.7	1515	29.809	1515	210.417	57.7	7.1	0.3	2.7
Median, Serie 4			**4.5**	**0.02**	**0.099**	**1.3**	**6.6**	**1515**	**29.809**	**1515**	**210.417**	**57.73**	**7.06**	**0.3**	**3.1**
15	20.09.9	11.10	0.6	0.076	0.046	1.6	1.0	1515	29.809	1515	210.417	20.9	7.1	0.2	0.5
16	21.09.9	10.35	0.6	0.010	0.006	2.1	1.3	1515	29.809	1515	210.417	213.0	7.1	0.0	0.6
17	21.09.9	10.40	1.0	0.014	0.014	1.5	1.5	1515	29.809	1515	210.417	110.0	7.1	0.0	0.7
18	22.09.9	10.35	0.8	0.011	0.009	1.6	1.2	1515	29.809	1515	210.417	141.8	7.1	0.0	0.6
Median, Serie 5			**0.7**	**0.01**	**0.011**	**1.6**	**1.3**	**1515**	**29.809**	**1515**	**210.417**	**125.91**	**7.06**	**0.0**	**0.6**
MEDIAN, TOTALT			**2.0**	**0.01**	**0.018**	**1.4**	**3.0**	**1515**	**29.809**	**1515**	**210.417**	**148.94**	**7.06**	**0.1**	**1.4**

Tabell 10: Forurensningstransport i overvannsledning i felt 3

PRØVETAKING, FELT 3			VANNFØRING	MASSETRANSP., FOSFOR		MASSETRANSP., NITROGEN		FOSFORPRODUKSJON		NITROGENPRODUKSJON		N-kons./F-kons.		LEKKASJE %	
P.nr	Dag	Tid	Q (l/s)	P (mg/l)	M (mg/s)	N (mg/l)	M (mg/s)	Antall pe	M(mg/s)	Antall pe	M(mg/s)	Målt	Teoret.	Fosfor	Nitrogen
1	24.06.93	12.00	6.9	1.600	11.088	13.1	90.8	4442	87.400	4442	616.944	8.2	7.1	12.7	14.7
2	25.06.93	13.30	12.8	1.760	22.440	13.7	174.7	4442	87.400	4442	616.944	7.8	7.1	25.7	28.3
3	28.06.93	12.30	14.1	0.344	4.837	5.8	81.5	4442	87.400	4442	616.944	16.9	7.1	5.5	13.2
4	29.06.93	12.00	16.3	0.271	4.423	4.7	76.7	4442	87.400	4442	616.944	17.3	7.1	5.1	12.4
Median, Serie 1			**13.4**	**0.97**	**7.962**	**9.5**	**86.2**	**4442**	**87.400**	**4442**	**616.944**	**12.52**	**7.08**	**9.1**	**14.0**
5	12.07.93	13.50	62.8	0.237	14.890	3.2	201.0	4442	87.400	4442	616.944	13.5	7.1	17.0	32.6
6	13.07.93	14.00	15.4	0.185	2.857	6.2	95.8	4442	87.400	4442	616.944	33.5	7.1	3.3	15.5
7	14.07.93	11.45	9.9	0.250	2.475	11.8	116.8	4442	87.400	4442	616.944	47.2	7.1	2.8	18.9
8	15.07.93	10.25	12.0	0.223	2.676	7.1	85.2	4442	87.400	4442	616.944	31.8	7.1	3.1	13.8
Median, Serie 2			**13.7**	**0.23**	**2.767**	**6.7**	**106.3**	**4442**	**87.400**	**4442**	**616.944**	**32.68**	**7.08**	**3.2**	**17.2**
9	02.08.93	13.40	9.2	0.403	3.724	6.6	61.0	4442	87.400	4442	616.944	16.4	7.1	4.3	9.9
10	03.08.93	13.20	294.8	0.522	153.906	2.0	589.7	4442	87.400	4442	616.944	3.8	7.1	176.1	95.6
11	04.08.93	12.15	31.9	0.419	13.363	9.3	296.6	4442	87.400	4442	616.944	22.2	7.1	15.3	48.1
12	05.08.93	12.40	16.5	0.481	8.080	14.3	235.3	4442	87.400	4442	616.944	29.1	7.1	9.2	38.1
Median, Serie 3			**24.2**	**0.46**	**10.721**	**8.0**	**266.8**	**4442**	**87.400**	**4442**	**616.944**	**19.29**	**7.08**	**12.3**	**43.1**
13	06.09.93	12.30	12.1	1.430	17.260	10.4	125.5	4442	87.400	4442	616.944	7.3	7.1	19.7	20.3
14	07.09.93	13.00	9.7	0.462	4.458	5.2	50.2	4442	87.400	4442	616.944	11.3	7.1	5.1	8.1
15	08.09.93	13.55	8.5	0.958	8.114	6.2	52.5	4442	87.400	4442	616.944	6.5	7.1	9.3	8.5
16	09.09.93	11.55	7.3	0.422	3.068	5.1	37.1	4442	87.400	4442	616.944	12.1	7.1	3.5	6.0
Median, Serie 4			**9.1**	**0.71**	**6.286**	**5.7**	**51.3**	**4442**	**87.400**	**4442**	**616.944**	**9.26**	**7.08**	**7.2**	**8.3**
17	11.10.93	10.40	65.0	0.178	11.570	5.9	383.5	4442	87.400	4442	616.944	33.1	7.1	13.2	62.2
18	12.10.93	10.30	52.8	0.181	9.557	5.1	269.3	4442	87.400	4442	616.944	28.2	7.1	10.9	43.6
19	13.10.93	10.20	91.6	0.208	19.061	5.6	513.2	4442	87.400	4442	616.944	26.9	7.1	21.8	83.2
20	14.10.93	11.30	50.4	0.189	9.524	5.6	282.2	4442	87.400	4442	616.944	29.6	7.1	10.9	45.7
Median, Serie 5			**58.9**	**0.19**	**10.563**	**5.6**	**332.8**	**4442**	**87.400**	**4442**	**616.944**	**28.90**	**7.08**	**12.1**	**54.0**
MEDIAN, TOTALT			**14.8**	**0.37**	**8.819**	**6.1**	**121.2**	**4442**	**87.400**	**4442**	**616.944**	**17.10**	**7.08**	**10.1**	**19.6**

Tabell 11: Forurensningstransport i overvannsledning i felt 4

PRØVETAKING, FELT 4			VANNFØRING	MASSETRANSP., FOSFOR		MASSETRANSP., NITROGE		FOSFORPRODUKSJON		NITROGENPRODUKSJON		N-kons./F-kons.		LEKKASJE %	
P.nr	Dag	Tid	Q (l/s)	P (mg/l)	M (mg/s)	N (mg/l)	M (mg/s)	Antall pe	M(mg/s)	Antall pe	M(mg/s)	Målt	Teoret.	Fosfor	Nitrogen
1	29.03.9	11.40	4.5	0.017	0.077	1.8	8.2	580	11.412	580	80.556	105.9	7.1	0.7	10.2
2	30.03.9	11.24	4.7	0.015	0.070	1.5	7.0	580	11.412	580	80.556	100.0	7.1	0.6	8.7
3	31.03.9	10.50	4.8	0.016	0.078	1.5	7.3	580	11.412	580	80.556	93.8	7.1	0.7	9.0
4	01.04.9	11.00	4.6	0.016	0.073	1.4	6.4	580	11.412	580	80.556	87.5	7.1	0.6	8.0
Median, Serie 1			**4.6**	**0.02**	**0.075**	**1.5**	**7.1**	**580**	**11.412**	**580**	**80.556**	**96.88**	**7.08**	**0.7**	**8.9**
5	26.04.9	10.35	5.8	0.020	0.116	3.3	19.2	580	11.412	580	80.556	165.0	7.1	1.0	23.8
6	27.04.9	10.10	4.9	0.021	0.102	2.9	14.1	580	11.412	580	80.556	138.1	7.1	0.9	17.5
7	28.04.9	12.35	4.9	0.020	0.098	2.6	12.7	580	11.412	580	80.556	130.0	7.1	0.9	15.8
8	29.04.9	10.40	3.8	0.018	0.085	2.5	9.0	580	11.412	580	80.556	138.9	7.1	0.8	11.2
Median, Serie 2			**4.8**	**0.02**	**0.100**	**2.8**	**13.4**	**580**	**11.412**	**580**	**80.556**	**138.48**	**7.08**	**0.9**	**16.7**
9	07.06.9	12.46	4.0	0.805	3.212	15.7	62.6	580	11.412	580	80.556	19.5	7.1	28.1	77.8
10	08.06.9	11.32	4.5	0.895	3.992	26.6	118.6	580	11.412	580	80.556	29.7	7.1	35.0	147.3
11	09.06.9	10.56	4.2	0.745	3.114	18.7	78.2	580	11.412	580	80.556	25.1	7.1	27.3	97.0
12	10.06.9	10.13	6.4	0.419	2.694	10.6	68.2	580	11.412	580	80.556	25.3	7.1	23.6	84.6
Median, Serie 3			**4.3**	**0.78**	**3.103**	**17.2**	**73.2**	**580**	**11.412**	**580**	**80.556**	**25.20**	**7.08**	**27.7**	**90.8**
13	23.08.9	11.08	7.7	0.037	0.285	5.9	45.4	580	11.412	580	80.556	159.5	7.1	2.5	56.3
14	24.08.9	11.04	9.0	0.029	0.262	5.3	47.8	580	11.412	580	80.556	182.8	7.1	2.3	59.3
15	25.08.9	11.42	10.4	0.036	0.374	5.1	52.9	580	11.412	580	80.556	141.7	7.1	3.3	65.7
16	26.08.9	11.12	4.9	0.158	0.781	3.8	18.8	580	11.412	580	80.556	24.1	7.1	6.8	23.3
Median, Serie 4			**8.4**	**0.04**	**0.328**	**5.2**	**46.6**	**580**	**11.412**	**580**	**80.556**	**150.56**	**7.08**	**2.9**	**57.9**
17	13.09.9	10.48	27.1	0.038	1.030	4.1	111.1	580	11.412	580	80.556	107.9	7.1	9.0	137.9
18	14.09.9	11.21	23.3	0.032	0.744	4.9	113.9	580	11.412	580	80.556	153.1	7.1	6.5	141.4
19	15.09.9	10.56	3.6	5.280	18.955	35.9	128.9	580	11.412	580	80.556	6.8	7.1	166.1	160.0
20	16.09.9	10.45	8.4	3.720	31.285	29.7	249.8	580	11.412	580	80.556	8.0	7.1	274.1	310.1
Median, Serie 5			**15.8**	**1.86**	**9.893**	**17.3**	**121.4**	**580**	**11.412**	**580**	**80.556**	**57.84**	**7.08**	**87.8**	**150.7**
MEDIAN, TOTALT			**4.8**	**0.03**	**0.329**	**4.5**	**46.8**	**580**	**11.412**	**580**	**80.556**	**102.84**	**7.08**	**2.9**	**57.9**

Tabell 12 Forurensningstransport i overvannsledning i felt 5

PRØVETAKING, FELT 5			VANNFØRING	MASSETRANSP., FOSFOR		MASSETRANSP., NITROGEN		FOSFORPRODUKSJON		NITROGENPRODUKSJON		N-kons./P-kons.		LEKKASJE %	
P.nr	Dag	Tid	Q (l/s)	P (mg/l)	M (mg/s)	N (mg/l)	M (mg/s)	Antall pe	M(mg/s)	Antall pe	M(mg/s)	Målt	Teoret.	Fosfor	Nitrogen
1	29.06.93	13.35	0.7	0.117	0.082	2.0	1.4	300	5.903	300	41.667	17.1	7.1	1.4	3.4
2	30.06.93	13.00	0.5	0.053	0.027	1.3	0.7	300	5.903	300	41.667	24.5	7.1	0.4	1.6
3	01.07.93	11.15	0.4	0.071	0.028	2.8	1.1	300	5.903	300	41.667	39.4	7.1	0.5	2.7
4	02.07.93	10.30	0.2	0.101	0.020	5.1	1.0	300	5.903	300	41.667	50.5	7.1	0.3	2.4
Median, Serie 1			**0.5**	**0.09**	**0.027**	**2.4**	**1.1**	**300**	**5.903**	**300**	**41.667**	**31.98**	**7.06**	**0.6**	**2.6**
5	28.07.93	13.10	0.3	0.056	0.017	3.2	1.0	300	5.903	300	41.667	57.1	7.1	0.3	2.3
6	29.07.93	12.50	0.3	0.058	0.017	5.1	1.5	300	5.903	300	41.667	87.9	7.1	0.3	3.7
7	30.07.93	12.50	0.5	0.074	0.037	2.0	1.0	300	5.903	300	41.667	27.0	7.1	0.6	2.4
Median, Serie 2			**0.3**	**0.06**	**0.017**	**3.2**	**1.0**	**300**	**5.903**	**300**	**41.667**	**57.14**	**7.06**	**0.3**	**2.4**
8	23.08.93	10.30	0.4	0.219	0.077	3.2	1.1	300	5.903	300	41.667	14.6	7.1	1.3	2.7
9	24.08.93	10.20	0.3	0.054	0.015	1.7	0.5	300	5.903	300	41.667	31.5	7.1	0.3	1.1
10	25.08.93	11.15	0.4	0.039	0.014	2.1	0.7	300	5.903	300	41.667	53.8	7.1	0.2	1.8
Median, Serie 3			**0.4**	**0.05**	**0.015**	**2.1**	**0.7**	**300**	**5.903**	**300**	**41.667**	**31.48**	**7.06**	**0.3**	**1.8**
11	27.09.93	10.40	0.6	0.026	0.014	5.2	2.9	300	5.903	300	41.667	200.0	7.1	0.2	6.9
12	28.09.93	10.50	0.6	0.316	0.190	7.4	4.4	300	5.903	300	41.667	23.4	7.1	3.2	10.7
13	29.09.93	11.00	0.8	0.029	0.022	4.1	3.1	300	5.903	300	41.667	141.4	7.1	0.4	7.4
14	30.09.93	10.15	0.8	0.034	0.026	4.6	3.5	300	5.903	300	41.667	135.3	7.1	0.4	8.3
Median, Serie 4			**0.7**	**0.03**	**0.024**	**4.9**	**3.3**	**300**	**5.903**	**300**	**41.667**	**138.34**	**7.06**	**0.4**	**7.8**
15	11.10.93	10.40	1.0	0.081	0.081	5.1	5.1	300	5.903	300	41.667	63.0	7.1	1.4	12.2
16	12.10.93	13.30	0.9	0.034	0.031	4.9	4.4	300	5.903	300	41.667	144.1	7.1	0.5	10.6
17	13.10.93	10.20	1.0	0.046	0.046	4.5	4.5	300	5.903	300	41.667	97.8	7.1	0.8	10.8
18	14.10.93	11.30	1.0	0.028	0.028	4.2	4.2	300	5.903	300	41.667	150.0	7.1	0.5	10.1
Median, Serie 5			**1.0**	**0.04**	**0.038**	**4.7**	**4.5**	**300**	**5.903**	**300**	**41.667**	**120.97**	**7.06**	**0.6**	**10.7**
MEDIAN, TOTALT			**0.6**	**0.06**	**0.027**	**4.2**	**1.5**	**300**	**5.903**	**300**	**41.667**	**66.49**	**7.06**	**0.5**	**3.5**

Norsk institutt for vannforskning
Postboks 173 Kjelsås, 0411 Oslo
Telefon: 22 18 51 00 Fax: 22 18 52 00

ISBN 82-577-2443-2