

PRA 4.7

0-57/74

FORURENSNING I OVERVANN

20. august 1976

Saksbehandler: Lic.techn. Oddvar Lindholm, NIVA
Medarbeidere: Avd.sjef Peter Balmér, NIVA
Avd.ing. Jørn Glomnes,
Kloakkplankontoret, Bærum
Siv.ing. Arne Malme, NIVA
Avd.ing. Nils Saltveit, OV&K

Instituttetsjef Kjell Baalsrud

INNHOILDSFORTEGNELSE

	Side:
1. FORORD	5
2. SAMMENDRAG	6
3. ANBEFALINGER	9
4. INNLEDNING	11
5. MÅLEOPPLEGG OG FELTBESKRIVELSER	12
5.1 Opplegg og gjennomføring av feltene	12
5.2 Beskrivelse av feltene	14
5.2.1 Bislettbekkefeltet - Oslo	14
5.2.2 Rukklabekkefeltet - Sandefjord	15
5.2.3 Øyafeltet - Trondheim	16
5.2.4 Solvik, K - Bærum	17
5.2.5 Solvik, O - Bærum	17
5.2.6 Oppsal - Oslo	18
5.2.7 Vestli - Oslo	18
5.2.8 Vestre Vika - Oslo	19
5.2.9 Risvollan - Trondheim	20
6. MÅLERESULTATER	21
6.1 Tørrværsavrenningens kvalitet og kvantitet	21
6.2 Overvannets kvalitet	22
6.2.1 Årlige utspylte mengder - middel- konsentrasjoner	23
6.2.2 Faktorer som innvirker på det øyeblikkelige forurensningsnivået	27
6.3 Korrelasjon mellom de enkelte komponentene	45
7. KORRELASJON MELLOM FELTPARAMETRE OG ÅRLIGE UTSPYLTE MENGDER	47
8. SAMMENLIKNING MELLOM FELLESSYSTEMFELTER OG SEPARATSYSTEMFELTER - RØRAVLAGRINGER	54
9. REFERANSER	55

TABELLFORTEGNELSE

Tabell nr.:		Side:
1	Årlig stoffavstrømning i overvann	9
2	Oversikt over prøvefeltene	20
3	Tørrvørsavrenninger - Kvantitet/kvalitet	21
4	Tørrværstransporter	21
5	Midlere konsentrasjon i overvann	23
6	Årlig stoffavstrømning i overvann	24
7	Grunnlagsdata for feltene	25
8	Årlig stoffavstrømning i overvann kontra spillvannsbidraget i norske felter	26
9	Stoffandel i første halvdel av overvannet	32

FIGURFORTEGNELSE

Figur nr.:		
1	Bislettbekken, regnvær 23.10.1974 kl. 10	28
2	Nedbør - avløp Bislettbekken 21.9.1974	29
3	Bislettbekken 7.3.1975	31
4	KOF kontra vannføring - 16.6.1975, Bislettbekken - Oslo	33
5	Tungmetaller kontra vannføring - 16.6.1975 Bislettbekken - Oslo	34
6	Fenomener av betydning for konsentrasjon	36
7	Forholdet KOF/BOF ₇ vs. vannføring Bislettbekken	37
8	Solvik, K feltet, overvann Tot-P midlere konsentrasjon, nedbør	39
9	Solvik, K feltet, overvann Pb midlere konsentrasjon	39
10	Solvik, K feltet, overvann Tot-P midlere konsentrasjon tørrvær	40
11	Solvik, K feltet, overvann Pb midlere konsentrasjon tørrvær	40
12	Solvik, K feltet, overvann KOF midlere konsentrasjon, nedbør	41
13	Solvik, K feltet, overvann SS midlere konsentrasjon, nedbør	41

Figur nr.:		Side:
14	Solvik, K feltet, overvann KOF midlere konsentrasjon, tørrvær	42
15	Solvik, K feltet, overvann SS midlere konsentrasjon, tørrvær	42
16	Tørrværsperiode - midlere Tot-P innhold i overvann i Bislettbekken	43
17	Tørrværsperiode - midlere bly innhold i overvann i Bislettbekken	43
18	Tørrværsperiode - midlere KOF innhold i overvann i Bislettbekken	44
19	Tørrværsperiode - midlere SS innhold i overvann i Bislettbekken	44
20	Årlig mengde fosfor i overvann pr. hektar. Fellessystemet kontra separatsystemet	48
21	Årlig mengde nitrogen i overvann pr. hektar. Fellessystemet kontra separatsystemet	48
22	Årlig mengde KOF i overvann pr. hektar. Fellessystemet kontra separatsystemet	49
23	Årlig mengde bly i overvann pr. hektar. Fellessystemet kontra separatsystemet	50
24	Årlig mengde SS i overvann pr. hektar. Fellessystemet kontra separatsystemet	50
25	Årlig mengde stoffavstrømning i overvann kontra folketetthet (p.e./ha)	51
26	Årlige mengder stoffavstrømning i overvann kontra folketetthet (p.e./ha)	52
27	Årlig mengde stoffavstrømning i overvann kontra midlere helning i feltene	53

1. FORORD

Prosjektkomiteén for Rensing av Avløpsvann (PRA) gikk sommeren 1974 inn for å bevilge midler til en undersøkelse av overvannets forurensninger. I tillegg ble en ekstrabevilgning vedtatt våren 1975.

En rådgivende komité bestående av:

Avdelingssjef P. Balmér	Norsk institutt for vannforskning
Vannverkssjef K.S. Balstad	Oslo vann- og kloakkvesen
Dosent Å. Bøyum	Institutt for vassbygging, NTH
Professor T. Simensen	Institutt for vassbygging NTH

ble dannet høsten 1974.

Komiteéns oppgave har vært å delta i utformingen av prosjektets opplegg samt følge de resultater som etter hvert kom fram. Prosjektet startet september 1974 og ble avsluttet mars 1976.

Mesteparten av de resultater som rapporteres fra Øyafeltet og Risvollanfeltet i Trondheim er en bearbeiding av en hovedoppgave ved Institutt for vassbygging av Kåre Kalleberg og Arne Malme (1). Hovedoppgaven var en planlagt del av forskningsprosjektet PRA 4.7 "Undersøkelse av urbant avrenningsvann og forhold vedrørende overløp". Rukklabekkfeltet i Sandefjord ble valgt da Jørn Glomnes i 1974 tok sin hovedoppgave ved Institutt for vassbygging på dette feltets avløpsforhold (2).

Oslo vann- og kloakkvesen har hatt en betydelig aktivitet på overvannets kvalitet både før og under utførelsen av dette PRA-prosjekt.

Avd.ing. Nils Saltveit har ledet dette arbeid og har sørget for å koordinere dette med foreliggende PRA-prosjekt (3). Kloakkplankontoret i Bærum har hatt en liknende virksomhet i gang. Dette ble koordinert med PRA-prosjektet av avd.ing. Jørn Glomnes.

Norsk institutt for vannforskning's dataseksjon har i samarbeid med A/S COMPUTAS utarbeidet dataprogrammer for statistikk, databearbeiding og plottinger i diagrammer.

Oslo, 15. mars 1976

Oddvar Lindholm
Oddvar Lindholm

2. SAMMENDRAG

Forurensninger i overvannet er målt i fem felter med separatavløpssystem og i fire felter med fellesavløpssystem. Overvannet i fellessystemene er definert som tilleggsvannføringen som kommer som følge av nedbør. Forurensningene i overvannet i fellessystemer vil inneholde både avlagringer fra overflater og avlagringer fra rør med dårlig selvrensing. Overvannets forurensninger i separatsystemer stammer for det meste fra overflatene i feltet.

Prosjektet har hatt som målsetning å bestemme årlige utspylte mengder av de viktigste forurensningsparametre samt relatere disse mengder til befolkningstetthet, prosent tette flater og kloakkeringsystem. Denne del av undersøkelsen vil for øvrig si noe om hvor store deler av overvannets forurensninger i fellessystem som stammer fra overflater og fra røravlagringer. Prosjektets andre målsetning har vært å øke forståelsen for hvilke mekanismer som bestemmer det øyeblikkelige forurensningsnivået i overvannet under et nedbørtilfelle.

Undersøkelsene har pågått i 1 - 2 år. Det er derfor umulig å si noe om eventuelle variasjoner fra år til år.

Overvann karakteriseres av meget stor variabilitet i konsentrasjoner og mengder fra felt til felt og fra regn til regn i samme felt. Et variasjonsområde med en faktor på 10 fra regn til regn i samme felt er ikke uvanlig.

Høye konsentrasjoner av overvannsforurensninger kan generelt ventes (4) under følgende forhold:

- Tidlig i regnforløpet (first flush)
- I sterkt urbaniserte områder
- Ved høye regnintensiteter
- Etter lange tørkeperioder
- I områder med anleggsvirksomhet (uorganiske forurensninger).

Massetransport er representert ved produktet av konsentrasjon og vannføring. Lager og Smith (4) angir at en regnintensitet på ca. 7 l/s·ha vil gi i middel 5-10 ganger større overvannsføring enn tørrvørsavrenningen, og en ikke uvanlig regnintensitet på 70 l/s·ha gir en overvannsføring på 50-100 ganger tørrvørsavrenningen. Dette forteller oss umiddelbart at stofftransportene i våtvær er meget store. I målingene i de ni feltene i PRA 4.7 prosjektet har man erfart at vanligvis ble 1-10 ganger så mye organisk og suspendert stoff transportert ut med overvannet i regnvørsperiodene i forhold til det råkloakken fra samme felt transporterte i samme periode. Det var ikke uvanlig at 20-30 ganger så mye tungmetaller ble fraktet ut med overvannet i regnvørsperioden, sett i forhold til råkloakken i samme periode. (Tallene kan ikke benyttes generelt da befolkningstettheten i det aktuelle felt påvirker forholdstallet sterkt.)

Når det gjelder næringsstoffene fosfor og nitrogen, var forholdet mellom transport i overvann kontra spillvann $\frac{1}{2}$ -5 ganger. Dersom et renseanlegg renses spillvannet 90%, ville overvannets belastning på resipienten etter dette være 5-300 ganger større enn utslippet fra renseanlegget i den perioden regnet varte, avhengig av hvilken komponent som ble betraktet og regnskyllets størrelse og karakter.

Betrakter en forurensningstransporten på årsbasis, finner en imidlertid at forurensningene i overvannet vil være mindre enn i det urensede kloakkvann, som fremgår av nedenstående oppstilling.

Felt	Årlige transporter i kg/ha								Forholdet mellom årlig mengde stoff			
	Overvannsbidrag og overvann				Urenset spillvann				$\frac{\text{overvann}}{\text{Urenset spillvann}}$			
	KOF	SS	Tot-P	Bly	KOF	SS	Tot-P	Bly	KOF	SS	Tot-P	Bly
Bislettbekken	1373	1867	6,2	1,2	18004	7276	263	1,48	0,08	0,26	0,02	0,81
Rukklabekken	340	537	5,1	0,1	581	299	18	0,07	0,56	1,80	0,28	1,43
Øya	1210	1755	10,3	-	3405	1629	44	-	0,36	1,08	0,23	-
Solvik, K	498	922	5,1	0,2	180	90	9	0,018	2,77	11,02	0,57	11,11
Solvik, O	587	1468	5,6	0,6	1445	843	36	0,072	0,41	1,74	0,16	8,33
Vestli	108	543	0,7	0,15	5387	3142	135	0,27	0,02	0,17	0,005	0,56
Oppsal	117	159	1,6	0,1	6789	3960	170	0,34	0,02	0,04	0,01	0,29
Risvollan	127	1600	0,5	0,12	1314	767	33	0,066	0,10	2,09	0,015	1,82

Av oppstillingen fremgår også at hvis kloakkvannsforurensningene ble redusert til 1/10-del, vil overvannsforurensningene være i samme størrelsesorden som resterende kloakkvannsforurensning

Vannføringen har stor innflytelse på det øyeblikkelige forurensningsnivået under et regn. Dette har sammenheng med at medslepningskraften på en partikkel øker med vannets hastighet i kvadrat. Konsentrasjonen av organisk stoff og suspendert stoff øker med økende vannføring dersom det ikke umiddelbart før har vært et tidligere regn. Konsentrasjonen av næringsstoffer holder seg mer konstant, uavhengig av vannføringen. Stofftransporten av næringsstoffer vil følgelig være omtrent proporsjonal med vannføringen, mens suspendert stoff og organisk stoff viser en tendens til eksponensiell økning når vannføringen øker.

I de fleste regn er det en utvaskingstendens. Det vil si at konsentrasjonen minker med økende tid etter regnets start, selv om vannføringen holder seg konstant. Fenomenet betegnes også ofte "first flush prinsippet". Det vil si at den første delen av regnflommen inneholder mer stoffmengde enn den senere delen. I middel for alle felter og alle regn fant man følgende stoffmengder av den totale i regnflommen idet 50 prosent av vannet i flommen hadde passert.

		<u>Fellessystemfelter</u>	<u>Separatsystemfelter</u>
Suspendert stoff	%	57	53
KOF	%	56	55
Total fosfor	%	54	52
Bly	%	57	52
BOF ₇	%	59	52

Tiden fra foregående regn har innflytelse på den midlere konsentrasjon av en parameter i det regn som betraktes. For alle felter øker konsentrasjonen av de ulike parametre når tiden fra foregående regn øker. Det har også vist seg at den midlere konsentrasjon av de ulike parametre i et regn minker når antall mm nedbør forut for det aktuelle regnet øker.

De årlige avstrømningstall for ni ulike komponenter er vist i tabell 1. De årlige stoffavstrømninger synes å øke med økende prosentandel tette flater og befolkningstetthet.

For samme urbaniseringsgrad har fellessystemene høyere årlige stoffavstrømninger (bortsett fra tungmetaller) enn separatsystemene. Differansen antas å skyldes røravlagringer fra spillvannet under tørrværsperioder. Grovt sett kan man si at ca. 50 prosent av stoffmengden i fellessystemenes overvann skyldtes røravlagringer som spyles løs mens resten stammer fra overflatene i feltet.

Tabell 1. Årlig stoffavstrømning i overvann.

Felt	Årlig stoffavstrømning i overvann kg/ha.år									System
	BOF ₇	KOF	SS	FSS	Tot-P	Tot-N	Bly	Sink	Kobber	
Bislettbekken	518	1373	1867	487	6,2	21,2	1,2	2,8	0,44	FELLES
Rukklabekken	131	340	537	213	5,1	18,2	0,1	0,8	0,14	
Øya	-	1210	1755	665	10,3	-	-	-	-	
Solvik, K	-	498	992	-	5,1	-	0,21	0,48	0,54	
Solvik, O	-	587	1468	-	5,6	-	0,60	0,60	0,20	SEPARAT
Vika	-	1083	4609	839	5,3	18,6	3,6	7,7	2,31	
"- x)	186	710	1345	333	2,5	14,2	1,8	2,5	0,84	
Vestli	-	108	543	68	0,7	7,3	0,15	0,25	0,06	
Oppsal	-	117	159	61	1,6	10,9	0,1	0,59	0,24	
Risvollan	-	127	1600	123	0,5	4,0	0,12	0,2	0,05	

x) Ekskl. regnet 10.9.1975. Dette var et 10-års regn med svært stor stofftransport som trekker årlig avstrømning opp over normalt årsmiddel.

3. ANBEFALINGER

Større tettsteder bør vurdere sine lokale overvanns- og overløpsvannsproblemer samt sette opp målsetninger for behandling og kontroll med overløpsvann og overvann.

Rent skrivebordsarbeid har i denne forbindelse begrenset verdi, da et lokalt utviklet datagrunnlag er essensielt. Arbeidet med et datagrunnlag bør minst gå over ett år.

For å minke mengden forurensninger som går ut i overløp i eksisterende fellessystemer, bør følgende muligheter vurderes teknisk, økonomisk og forurensningsmessig:

- . Installere fordrøyningsbasseng ved overløpene.
- . Installere reguleringsmekanismer, slik at lagringskapasiteten i selve ledningsnettets kan utnyttes.
- . Spyle ledningsstrekninger hvor selvrensingen er dårlig, slik at mengden røravlagringer som spyles ut i regnvårsperioder, kan minskes.
- . Infiltrere mer av regnvannet til grunnen.
- . Endre på spyle- og feierrutiner av gater og fortauer.
- . Søke en optimal innstilling på overløpene.
- . Installere en form for avskilling eller rensing ved overløpet.

I overvannsledningsnettets i et separatsystem kan følgende tekniske tiltak vurderes:

- . Installere fordrøyningsbasseng eller annen form for fordrøying og overføre overvannet i små mengder til spillvannsrenseanlegget.
- . Overføre en begrenset del av overvannet til renseanlegget (f.eks. 2 x tørrvårsavrenningen) uten forutgående fordrøying.
- . Infiltrere mer regnvann til grunnen.
- . Endre på spyle- og feierrutinene av gater og fortauer.
- . Installere avskillings- eller rensetiltak for overvannsledningsnettets.

Ved bygging av nye avløpsanlegg bør forholdene legges til rette for en eventuell senere behandling eller temporær lagring av overløpsvann og overvann.

Dersom man ønsker å forbedre vannkvaliteten i en resipient, må alle utslipp sees i sammenheng. Disse utslipp kan være spillvann fra spillvannsledningsnettets, overvann fra overvannssystemer, lekkasjer og feilkoblinger av spillvann til overvannsledninger, overløpsvann fra overløp i fellessystemer, lekkasjer fra ledninger til bekker, ikke-punkt kilder som avrenning fra jordbruk osv. En systemanalyse bør i en slik situasjon gjennomføres for å finne et optimalt sett med tiltak som gir det største utbytte for lavest mulig kostnad.

Man bør med bakgrunn i de resultater som er fremkommet i PRA 4.7 "Forurensning i overvann og forhold vedrørende overløp", sette i gang en undersøkelse som vurderer bruken av fellessystem kontra separatsystem.

Dette er særlig aktuelt for de større byene hvor man i dag har fellessystem og har valget mellom å beholde dette eller legge om til separat-system.

4. INNLEDNING

I de senere år er man blitt mer oppmerksom på de forurensningskilder overvannet fra separatsystemer og overløpsvannet fra fellesavløpssystemer representerer. Særlig har forskningen i USA under Environmental Protection Agency (EPA) bidratt til å rette søkelyset på disse forurensningskilder.

Overvann medfører i hovedsak fire typer forurensningsutslipp:

- Overløpsvann fra fellessystemer.
- Overløpsvann fra separate spillvannsledninger (på grunn av ukontrollert infiltrasjon, feilkoblinger og lekkasjer).
- Overvann fra separate overvannsledninger.
- Overvann fra ikke-punktkilder (arealavrenning utenom ledninger).

De forurensninger som stammer fra de nevnte kilder, kan i seg selv føre til relativt store belastninger på resipientene. Særlig er dette tilfellet i svake resipienter, da forurensninger i overvannet og overløpsvannet kommer som intense sjokkbelastninger. I tid fordeles disse over kun 5-10 prosent av årets timer mens utløpet fra renseanlegget fordeles jevnt over hele året. Det blir ofte antatt at en forurensningsmengde tilsvarende ca. 5 prosent av årlig spillvannsproduksjon i et fellessystem avlastes i overløpene pr. år. Dersom feltet har et spillvanns-renseanlegg som renser spillvannet 90 prosent, tilsvarer overløpsutslippene 50 prosent av utslippet fra renseanlegget på årsbasis. I tillegg er overløpene ofte plassert i svakere resipienter enn renseanleggets utslipp.

Dersom man ønsker å vurdere virkningsgraden til et separatavløpssystem kontra et fellesavløpssystem, er forurensningen i overvannet en av de faktorer som har størst betydning. Ønsker man å øke den totale virkningsgraden i et fellesavløps-system, inklusiv renseanlegg, vil den optimale kombinasjon av tiltak ikke være mulig å finne dersom forurensningen i overvannet er ukjent.

Da det av mange årsaker er vanskelig å overføre måleresultater for overvannsforurensninger fra USA og andre land til Norge, ble det etter hvert klart at en relativt stor undersøkelse av denne type var nødvendig.

En del av vanskelighetene med å overføre resultater fra f.eks. USA er:

- Forskjellige nedbørforhold.
- Forskjellige drifts- og vedlikeholdsrutiner for veier og ledningsnett.
- Forskjellig boligstruktur og renovasjonsforhold.
- Forskjellig utforming av sandfang, sluk, ledninger o.l.

Kildene for forurensninger fra overvann i ledningsnettene vil kunne deles i to hovedgrupper:

- a) Overflate-avlagringer i feltet
- b) Røravlagringer i ledningene.

I separatavløpssystemer vil overflate-avlagringene være helt dominerende, da det i tørrvårsperioder er små muligheter for en oppbygging av røravlagringer. I fellesavløpssystemer hvor spillvannet går i samme ledning som overvannet, vil det derimot i mange tilfeller kunne bygges opp avlagringer i rørene under tørrvårsperioder. Disse avlagringer skylles ut med overvannet sammen med avlagringer fra overflatene.

5. MÅLEOPPLEGG OG FELTBESKRIVELSE

5.1 Opplegg og gjennomføring av målingene

Det er valgt ut ni nedbørfelt hvorav fire er kloakkert etter fellesavløpssystemet og fem etter separatavløpssystemet (dobbeltsystemet). Feltene er forsøkt valgt med en viss spredning i geografi, urbaniseringsgrad og feltstørrelse. I prøvefeltene måles nedbør og vannføring. Ved regn rykket en mann straks ut til målestasjonen i det aktuelle felt og tok 5-20 prøver av avløpet med visse tidsintervaller inntil regnet var slutt. Prøveflaskene ble sendt til et laboratorium for analyse.

De forureningsparametre som ble analysert regelmessig i alle feltene, var:

Organisk stoff uttrykt ved kjemisk oksygenforbruk med kaliumdikromat (KOF) og som flyktig suspendert stoff (FSS), total fosfor (TOT P), total nitrogen (TOT N), bly (PB) og suspendert stoff (SS). x)

x) Forkortelser brukt i bilagene.

Parametre som ble analysert med en lavere frekvens, var 7-døgns biologisk oksygenforbruk (BOF_7), olje, alkalitet, spesifikk ledningsevne, pH, kobber (CU), sink (ZN) og kadmium (CD).

(Se fotnote side 12.)

Det ble i tillegg tatt sporadiske målinger på ortofosfat. Vannføringen på det tidspunkt de enkelte prøver ble tatt, notertes på stedet, slik at forurensningstransporten under regnskyll kunne beregnes. I separatsystemfeltene ble vannføringen målt med V-overløp. I disse V-overløp sedimenterte ofte sand og slam som i større eller mindre grad ble spylt ut under regnskyll. Dette kan i noen grad påvirke resultatene av de øyeblikkelige konsentrasjoner for særlig de uorganiske stoffene, men svært lite de årlige utspylingstallene.

På tross av begrensede økonomiske midler har gjennomføringen av dette relativt store prosjekt blitt mulig ved å nytte ressurser som velvilligst er blitt stilt til disposisjon av en rekke institusjoner og PRA-prosjekter. Oslo, Bærum, Trondheim og Sandefjord kommuner har bidratt med arbeids-hjelp og med utlån av registrerende instrumenter, - det samme har Meteorologisk institutt, NTH og PRA-komiteéns prosjekt PRA 4.2

Mesteparten av de kjemiske analysene er foretatt av Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Laboratoriene til Oslo kommune og SINTEF i Trondheim har også utført en del av analysene.

En del data-forberedelser og -bearbeidelser fra feltene er utført av den respektive instans som har hatt ansvaret for feltarbeidet. For øvrig er korrelasjoner, plottinger, regresjoner, data-fremstillinger og summeringer utført ved NIVA ved hjelp av EDB-programmer.

5.2 Beskrivelse av feltene

Fellessystem felter

De fire feltene med fellessystem ligger relativt godt spredt geografisk idet Bislettbekken ligger i Oslo, Solvik i Bærum, Rukklabekken i Sandefjord og Øya i Trondheim. I areal varierer områdene fra 21 til 380 ha, i antall personekvivalenter pr. ha fra 17 til 342 og i prosent tette flater fra 10 prosent til 69 prosent.

5.2.1 Bislettbekkefeltet - Oslo

Feltets størrelse: 219 ha
Impermeable flater: 69%
Befolkningstetthet: 340 pe./ha.

Feltet har ca. 75.000 personekvivalenter, hvorav 30.740 er fysiske personer. De resterende belastninger utgjøres av ulike industribedrifter, kontorer, butikker, offentlige institusjoner o.l. Feltet omfatter området fra Ullevål sykehus via Bislett og nedover til Stortinget. Det finnes ingen overløp ovenfor prosjektets målestasjon som ligger like ved Stortinget. Feltet og målestasjonens beliggenhet er vist i Appendix A.

De fleste ledninger i feltet har relativt bra fall, mens den støpte firkant-kulvert som utgjør nedre del av avløpssystemet, får en del avsetninger i tørrvårsperioder. Midlere fall fra øverste punkt i ledningsnett til målestasjonen er 28 ‰. Målestasjonen er plassert i en underjordisk pumpestasjon ved Stortinget. Her er også overløpet plassert, slik at vannføringen i og forbi overløpet kan måles. Overløpslengden er 16 m. Vannprøvene tas umiddelbart nedstrøms overløpet. Nedbøren registreres på nedbørmålere ved Vika og på Blindern. Nedbørmålerne er av type Plumatic som registrerer hver 0,2 mm nedbør på magnetbånd. Vika-måleren drives av PRA-prosjekt 4.2: "Urbaniseringens innvirkning på avrenningen i små nedbørfelt", mens Blindern-måleren drives av Det norske meteorologiske institutt.

5.2.2 Rukklabekkefeltet - Sandefjord

Feltets størrelse: 380 ha
Impermeable flater: 10-15%
Befolknings tetthet: 25 pe./ha.

Ledningsnettets drenerer et område på 380 ha, hvorav 280 ha er boligområder med overveiende eneboliger, 30 ha er sentrumsområder, og 70 ha er dyrket mark.

I feltet bor ca. 9000 personer, men inkluderes forretninger og institusjoner, regner man med 9600 personekvivalenter.

De fleste hus har egen septiktank, og området har ordnede renovasjonsforhold. Hovedledningen gjennom nedbørfeltet er utført som en støpt kulvert med et firkant-tverrsnitt på 5 m^2 . I den nederste delen av denne kulvert, hvor fallet er ca. $5 \text{ }^\circ/\text{oo}$, vil stoff sedimentere i tørrvårsperioder og spyles ut i regnvårsperioder. Resten av ledningsnettets er av sirkulære betongrør med relativt godt fall. Midlere helning i ledningsnettets, dvs. fra øverste punkt i feltet til målestasjonen, er ca. $25 \text{ }^\circ/\text{oo}$.

En antar at de fleste ledningene ikke tilfredsstillers dagens krav til tetthet.

I nedre del av feltet er det plassert en flottør-pluviograf som drives av Sandefjord brannvesen. I utløpsledningen står en Parshallrenne med en skrivende limnigraf. Plasseringen av målestasjonen er vist på kartbilaget i appendix A. Parshallrennen har en bredde på 0,92 m i innsnevringen.

Det er et regnvannsoverløp 65 m oppstrøms limnigrafen, som trer i funksjon ved en vannføring på 292 l/s. Vannstanden registrert ved limnigrafen benyttes til beregning av vannføringen i overløpet og forbi målestasjonen.

5.2.3 Øyafeltet - Trondheim

Området kalles Øya og ligger like utenfor sentrum av byen mellom Elgeseter gate og Nidelva.

Feltet er flatt, og grunnen består av marine avsetninger med sand og silting leire. Området er et boligområde hvor bebyggelsen vesentlig består av eldre småhus-bebyggelse med en del større boligblokker langs Elgeseter gate. Av industri- og institusjonsbygg finnes det to bensinstasjoner med tilhørende verksteder, to små sykehus og ett aldershjem.

Midt i feltet ligger en ballplass på 2,5 da som sammen med parkeringsarealer og hagearealer rundt villabebyggelsen gir en stor prosent-andel permeable flater.

Feltets størrelse:	21,3 ha
Permeable flater:	63,2%
Impermeable flater,	36,8% hvorav:
Gater og fortau:	23,5%
Takflater:	<u>13,3%</u>
Befolkningstetthet:	84 pers/ha
Pers.-ekvivalenter:	93 pe./ha.

Avløpsledningene i feltet består av betongrør, og hovedstammen i ledningsnettets ble lagt i 1926. Bare 19% av ledningene har tilstrekkelig fall til å kunne gi selvrensing i rørene. (V max.time, min.døgn \geq 0,6 m/s). Midlere fall i ledningsnettets er ca. 11 ‰ fra øverste punkt i ledningsnettets til målestasjonen. En flottør-pluviograv ble satt opp i feltet i forbindelse med Kåre Kallebergs og Arne Malmes hovedoppgave ved Norges tekniske høgskole (NTH) (1).

På Øyafeltet fantes ikke egnede målekummer. Her måtte en eksisterende inspeksjonskum instrumenteres til formålet. Dette ble gjort ved at det på begge sider av en utstøpt renne i bunnen av kummen ble murt opp vertikale vegger. I en utsporing i den ene veggen ble det så nedsatt limnigraf. Ved å foreta vannføringsmålinger med mikroflygel i kanalprofilen ved ulike vannstands nivå, kunne det tegnes opp en kurve for vannføring som funksjon av vannstand avlest på limnigrafen.

5.2.4 Solvik, K - Bærum

Areal: 175 ha
Impermeable flater: 10%
Befolkningstetthet: 17 pe./ha.

Feltet er langstrakt, og hovedledningen som er en bekkelukking, er ca. 4,5 km lang, med en høydeforskjell på ca. 100 m. Feltet er delvis bebyggt, vesentlig med åpen villabebyggelse. Midlere fall i feltet er 22 ‰. Der bor ca. 2800 personer, og antall arbeidsplasser er ca. 400. Ervervsvirksomheten er lite spillvannsproduserende, en arbeidsplass er derfor satt lik $\frac{1}{2}$ pe. (personequivivalent), dvs. 3000 pe. i feltet, ca. 17 p.e./ha. Det er ikke gjort noen beregninger for å finne tette flater som har direkte forbindelse med ledningsnett, men det antas ca. 10%. Tørrværsavrenningen fra feltet er ca. 15 l/s, dvs. ca. 420 l/pe. døgn. Målinger sommer og høst 1975 viser at avrenning etter nedbør er forskjellig, avhengig av markfuktigheten. I "tørre" perioder får man avrenning nesten bare fra tette flater, mens det i "våte" perioder kommer store mengder drens- og infiltrasjonsvann til avløpsnett. Konsentrasjonene av de ulike kjemiske komponentene økte ved økende vannføring under tørrværsmålingene.

Separatsystem felter

De fem feltene ligger i Oslo, Bærum og Trondheim. I areal og folketetthet varierer feltene mellom 10 og 37 ha, og 30 og 155 pe./ha. Tette flater varierer mellom 20 og 97 %. I det etterfølgende beskrives forholdene i de fem separatsystem felter.

5.2.5 Solvik, O - Bærum

Areal: 33 ha
Impermeable flater: 20-30%
Befolkningstetthet: 33 pe./ha.

Overvannsledningen ligger parallelt med Drammensveien i ca. 1 km og tar bl.a. overflateavrenningen fra denne. Inn på overvannsledningen kommer en del spillvann via overløp, lekkasje og muligens feilkoblinger. Spillvannet øker i mengde ved nedbør, men det er vanskelig å finne forholdet mellom overflatevann og spillvann. Prosent tette flater i feltet er

relativt stort på grunn av stort trafikkareal og antas å ligge mellom 20 og 30%. Gjennomsnittlig fall i ledningsnett er 20 °/oo.

De prøvene som er tatt ved større vannføringer under tørrvær, har også i dette felt større forureningskonsentrasjoner enn ved lave vannføringer.

5.2.6 Oppsal - Oslo

Feltet ligger i de østre deler av Oslo mellom Østensjøvannet og Østmarka. Feltet har varierende grunnforhold fra fjell i dagen til betydelige mengder løsmasser. Vegetasjonen består av veletablerte grøntanlegg med en god del trær innimellom.

Feltet har blandet bebyggelse hvor man finner forretningsbygg, andre servicebygg og boligblokker, noen eneboliger finnes også i de sydøstre deler av feltet. Alle gater, gangveier og parkeringsplasser er asfaltert. Feltet ble utbygd omkring 1955 og er således et etablert felt. Se Appendix A.

<u>Arealbruk:</u>	Areal	37,2 ha	
	Permeable flater:		57,5%
	Impermeable flater:		42,5%
Herav:	Takflater:		15,8%
	Veier, gater inkl. fortau:		12,1%
	Spesielle parkeringsplasser:		3,0%
	Gangveier og annet:		11,6%
<u>Helning:</u>	Gjennomsnittlig fall:		41 °/oo
<u>Befolkning:</u>		155 pe./ha.	

5.2.7 Vestli - Oslo

Dette området ligger helt nordøst i Oslo inn mot Gjelleråsen. Bortsett fra en barneskole og en dagligvarebutikk er det et rent boligområde. Feltet er bebyggt med blokker og rekkehus. Bygningsarbeidet i feltet er avsluttet, men det gjenstår ennå en del parkmessig bearbeiding. Imidlertid er alle veier, parkeringsplasser, fortau og gangveier ferdig asfaltert.

I den østre del av feltet er jordsmonnet tynt med ofte fjell i dagen. Den vestre del ned mot avløpsstasjonen har ganske mektige løsmasser, vesentlig leire. Vegetasjonen i området består av parkmessige plener og private hager i tilknytning til rekkehusene. I tre områder av feltet er også den opprinnelige barskog beholdt som friarealer.

<u>Arealbruk:</u>	Areal	36,6 ha
	Permeable flater:	66,7%
	Impermeable flater:	33,3%
Herav:	Takflater:	12,7%
	Veier, gater inkl. fortau:	6,3%
	Spesielle parkerings- plasser:	2,2%
	Gangveier og annet:	12,1%

Helning: Gjennomsnittlig fall: 93 °/oo

Befolkning: 123 pe./ha.

5.2.8 Vestre Vika - Oslo

Dette er det minste av de tre Oslofeltene og er lokalisert umiddelbart vest for Oslo Rådhus. Det representerer et utpreget cityområde og består nesten utelukkende av ugjennomtrengelige flater. De permeable flater består bare av noen få grøntområder og blomsterrabatter.

Feltet er i sin helhet bebygd med forretnings- og andre servicebygg. Oslo konserthus er nå under bygging i de sentrale deler av feltet. Konserthusets tomt er regnet som ugjennomtrengelig flate. I oversikten er den regnet med i gruppen "takflater".

<u>Arealbruk:</u>	Areal	9,9 ha
	Permeable flater:	3,0%
	Impermeable flater:	97,0%
Herav:	Takflater:	39,5%
	Veier, gater inkl. fortau:	52,3%
	Spesielle parkerings- plasser:	1,3%
	Gangveier og annet	3,0%

Helning: Gjennomsnittlig fall 53 °/oo

Befolkning: Ukjent. (Cityområde.)

5.2.9 Risvollan - Trondheim

Risvollanfeltet ligger sydøst for Trondheim sentrum. Det er et nyanlagt rent boligområde. Bebyggelsen består av vertikaldelte boliger og noen eneboliger lengst øst i feltet. Feltet er ellers nokså spesielt idet store deler er friarealer hvor det er anlagt flere ball- og lekeplasser. Bebyggelsen er pr. desember 1974 ferdig, men det gjenstår ennå en del planering og parkmessig behandling.

Jordsmonnet består over hele feltet av mektige leirmasser. Vegetasjonen vil i den første tiden bli preget av store grøntarealer. I dag finnes ingen høytvoksende vegetasjon i feltet.

<u>Arealbruk:</u>	Areal	19,7 ha	
	Permeable flater:		81,7%
	Impermeable flater:		18,3%
Herav:	Takflater:		5,5%
	Veier, gater inkl. fortau:		4,4%
	Spesielle parkeringsplasser:		2,3%
	Gangveier og annet:		6,1%

Helning: Gjennomsnittlig fall: 53 ‰

Befolkning: 30 pe./ha.

Tabell 2. Oversikt over prøvefeltene.

Feltets navn	Avløps-system	Areal ha	Tette flater %	Antall fysiske personer pr. ha	Antall person- ekvival. pr. ha	Antall person- enheter pr. ha	Midlere fall i ledn.nettet o/oo	Type bebyggelse
Bislettbekken	Kombinert	219,3	69	140	202	342	28	Boliger, cityomr.
Rukklabekken	Kombinert	380,0	10-15	23	2	25	25	Boliger, spredt
Øya	Kombinert	21,3	37	84	9	93	11	Boliger, bystrøk
Solvik K	Kombinert	175,0	10	16	1	17	22	Boliger, spredt
Solvik O	Separat	23,0	20-30	6	0	6	20	Boliger, spredt
Vika	Separat	9,9	97	-	-	-	53	Forretn., cityomr.
Oppsal	Separat	37,2	43	147	8	155	41	Boliger, blokk
Vestli	Separat	36,6	33	120	3	123	93	Boliger, blandet
Risvollan	Separat	19,7	18	30	0	30	53	Boliger, blandet

Bortsett fra en ledningsstrekning i Vestre Vika ligger alle separat-system-feltene overvannsledning nederst i grøften. Med unntakelse av Oppsal hvor spillvanns- og overvannsledningene har felles kum, ligger overvanns- og vannledningen på de andre feltene i separate kummer.

I alle overvannsledningene har man en viss tørrvannsføring som kan skylles lekkasjevann fra vannledningen, infiltrert grunnvann, eller - for Oppsals vedkommende - spillvann som ved kloakkstopp flommer over den åpne spillvannsledningen og ned i overvannsledningen.

Dessuten vil det alltid være en mulighet for at spillvannsledningen er lekk (feil i skjøter, brudd på ledningen), og at spillvannet som lekker ut, infiltrerer overvannsledningen sammen med eventuelt grunnvann.

For alle feltene gjelder at maksimalverdiene inntreffer om høsten etter langvarige regnperioder, og at minimumsverdiene kommer i tørkeperioder om sommeren eller sent på våren. En høy maksimumsverdi for Oppsal har sammenheng med at overvannsledningen her ligger med åpne skjøter og derfor er meget sterkt utsatt for infiltrasjon av grunnvann.

Når målsettingen er å måle overvannets sammensetning, er det av stor betydning å få oversikt over mengden av eventuelt spillvann som lekker ut og infiltrerer overvannsledningen. I feltene på Oppsal og Vestli ble Institutt for atomenergi (IFA) engasjert til å måle hvor store spillvannsmengder en kunne finne igjen i overvannsledningen. På Oppsal ble 10-13% av spillvannet funnet igjen i overvannsledningen. I overvannsledningen på Vestli ble kun 0,1% av spillvannet funnet. Målingene ble foretatt ved at sporstoffer ble tilsatt spillvannet med en kjent mengde pr. tidsenhet, og ved prøvetaking av overvannet ble konsentrasjonen av sporstoff funnet ved analyser. Vannføringen i overvannsledningen ble bestemt med en annen type sporstoff.

6.2 Overvannets kvalitet

I det etterfølgende er kvalitetsmessige forhold angående overvann i separatsystemer og overvannsbidrag i fellessystemer beskrevet. Med overvannsbidrag menes tilleggsvannføringen som følge av et regn.

6.2.1 Årlige utspylte mengder - middelkonsentrasjoner

I tabell 5 er det vist de totale midlere konsentrasjoner av ulike komponenter i overvannet i separatsystemer og i overvannsbidraget i fellessystemer. Tallene er fremkommet ved å summere de totale utspylte masser av de forskjellige komponenter. Disse massene er dividert med den totale overvannsmengde oppsummert for den periode hvor komponentene er registrert. Som man ser av tabell 5, varierer middelkonsentrasjonene mye fra felt til felt. Hovedinntrykket er at fellessystemene har mer forurenset overvann enn separatsystemene. Dette beror, som før nevnt, på at røravlagringer også spyles ut med overvannet i fellessystemene. For øvrig ser man at forurensningsgraden med hensyn til organisk og suspendert stoff er stor i forhold til råkloakk, mens konsentrasjonen av næringsstoffer ligger lavere enn i råkloakk. Når det gjelder tungmetaller i overvannet, er mengden av dette meget større enn tilsvarende i råkloakk.

Tabell 5. Midlere konsentrasjon i overvann.

Felt	Konsentrasjon i mg/l									System
	BOF ₇	KOF	SS	FSS	Tot-P	Tot-N	Bly	Sink	Kobber	
Bislettbekken	200	530	721	188	2,4	8,2	0,45	1,07	0,17	FELLES
Rukklabekken	103	268	424	168	4,0	14,4	0,08	0,64	0,11	
Øya	-	352	510	193	3,0	-	-	-	-	
Solvik, K	-	166	331	-	1,7	-	0,07	0,16	0,18	
Solvik, O	-	153	383	-	1,4	-	0,15	0,15	0,05	SEPARAT
Vika x)	-	244	1038	189	1,2	4,2	0,82	1,73	0,52	
-"-	42	160	303	75	0,6	3,2	0,41	0,57	0,19	
Vestli	-	73	367	46	0,5	4,9	0,10	0,17	0,04	
Oppsal	16	63	86	33	0,8	5,9	0,05	0,32	0,13	
Risvollan	-	74	929	72	0,3	2,3	0,07	0,10	0,03	

Tabell 6. Årlig stoffavstrømning i overvann.

Felt	Årlig stoffavstrømning i overvann kg/ha.år									System
	BOF ₇	KOF	SS	FSS	Tot-P	Tot-N	Bly	Sink	Kobber	
Bislettbekken	518	1373	1867	487	6,2	21,2	1,2	2,8	0,44	FELLES
Rukklabekken	131	340	537	213	5,1	18,2	0,1	0,8	0,14	
Øya	-	1210	1755	665	10,3	-	-	-	-	
Solvik, K	-	498	992	-	5,1	-	0,21	0,48	0,54	
Solvik, O	-	587	1468	-	5,6	-	0,60	0,60	0,20	SEPARAT
Vika x)	-	1083	4609	839	5,3	18,6	3,6	7,7	2,31	
"-	186	710	1345	333	2,5	14,2	1,8	2,5	0,84	
Vestli	-	108	543	68	0,7	7,3	0,15	0,25	0,06	
Oppsal	-	117	159	61	1,6	10,9	0,1	0,59	0,24	
Risvollan	-	127	1600	123	0,5	4,0	0,12	0,2	0,05	

x) Inkl. regnet 10.9.1975. Dette var et 10-års regn som trekker den årlige mengden over normalt årsgjennomsnitt.

De årlige utspylte stoffmengder som følger overvannet i separatsystemene, og overvannsbidraget i fellessystemene er vist for 9 komponenter i tabell 6.

De årlige mengdene er funnet ved hjelp av middelkonsentrasjonene fra tabell 5 en midlere avrenningskoeffisient samt en midlere årlig nedbørhøyde. I tabell 7 er det vist grunnlagsdata fra feltene for å komme fram til de årlige overvannsmengder.

Tabell 7. Bakgrunnsdata for feltene.

Felt	Midlere avrenningskoeffisient	Årlig nedbør (m)	Avrent vannmengde pr. hektar og år m ³	Antall regn i målingene	Antall prøver i regn
Bislettbekken	0,35	0,74	2590	18	142
Rukklabekken	0,17	0,745	1267	9	88
Øya	0,40	0,857	3430	13	99
Solvik, K	0,43 x)	0,700	3020	33	222
Solvik, O	0,50 x)	0,700	3500	33	220
Vika	0,60	0,740	4440	6	51
Vestli	0,20	0,789	1480	9	52
Oppsal	0,25	0,748	1850	11	69
Risvollan	0,20	0,857	1714	14	82

x) Bærum har inkludert en del av det regn som infiltrerer grunnen og trenger inn i rørene i løpet av ca. 2 timer etter regnets stopp. Normalt er det vann inkludert som avrenner i løpet av en periode lik konsentrasjonstiden etter regnets slutt.

Det er forutsatt at smeltevann inneholder de samme middelkonsentrasjoner som vist i tabell 5. Lager og Smith ((4) side 83) antyder at vann fra snøsmelting inneholder omtrent like mye organisk stoff, uttrykt som BOF₅, som overløpsvann fra kombinertsystemer. Selv om denne forutsetning er noe usikker, vil utslaget bli lite på årsbasis for de totale utspylte masser. Avrenningskoeffisientene er for alle felter anslått ut fra målinger av nedbør og påfølgende avrenning.

I tabell 8 er de årlige stoffmengder i overvannet i separatsystemfeltene og i overvannsbidraget i fellessystemfeltene sammenliknet med tilsvarende mengder i det urensede spillvannet fra samme felt. Vika er utelatt, da pe./ha er en vanskelig og dårlig parameter å benytte for det feltet.

Tabell 8. Årlig stoffavstrømning i overvann kontra spillvannsbidraget i norske felter.

Felt	Årlige transporter i kg/ha								Forholdet mellom årlig mengde stoff			
	Overvannsbidrag og overvann				Urenset spillvann				<u>overvann</u> Urenset spillvann			
	KOF	SS	Tot-P	Bly	KOF	SS	Tot-P	Bly	KOF	SS	Tot-P	Bly
Bislettbekken	1373	1867	6,2	1,2	18004	7276	263	1,48	0,08	0,26	0,02	0,81
Rukklabekken	340	537	5,1	0,1	581	299	18	0,07	0,56	1,80	0,28	1,43
Øya	1210	1755	10,3	-	3405	1629	44	-	0,36	1,08	0,23	-
Solvik, K	498	922	5,1	0,2	180	90	9	0,018	2,77	11,02	0,57	11,11
Solvik, O	587	1468	5,6	0,6	1445	843	36	0,072	0,41	1,74	0,16	8,33
Vestli	108	543	0,7	0,15	5387	3142	135	0,27	0,02	0,17	0,005	0,56
Oppsal	117	159	1,6	0,1	6789	3960	170	0,34	0,02	0,04	0,01	0,29
Risvollan	127	1600	0,5	0,12	1314	767	33	0,066	0,10	2,09	0,015	1,82

For de fire første fellessystemfeltene er spillvannstransporten beregnet ut fra målinger, mens tilsvarende for de fire siste separatsystemfelter er beregnet ut fra følgende forutsetninger: KOF - 120 g/p.d., SS - 70 g/p.d., Tot-P - 3 g/p.d., Bly 0,006 g/p.d.

De fire siste kolonnene i tabellen viser forholdet mellom årlig avstrømmet stoffmengde i overvann (eller overvannsbidraget) og tilsvarende årlig mengde i det urensede spillvannet. Bly er den parameter der overvannets bidrag betyr mye i forhold til spillvannets. Mengde suspendert stoff (SS) i overvannet ligger også høyt i forhold til spillvannets bidrag. Overvannets fosforbidrag er relativt lite, mens det organiske stoff (KOF) inntar en mellomstilling. Overvannets bidrag ser man utgjør mer i fellessystemene enn i separatsystemene. En annen svært klar tendens er at dess færre antall personekvivalenter en har på hvert hektar overflate, dess mer betyr overvannets bidrag i forhold til spillvannets bidrag. Dersom en

sammenlikner overvannets bidrag med f.eks. utløpet fra et renseanlegg med 90% renseeffekt, må forholdstallene ti-dobles, hvilket gjør overvannets bidrag vesentlig også på årsbasis.

6.2.2 Faktorer som innvirker på det øyeblikkelige forurensningsnivået

I bilagene i appendix B er konsentrasjoner og stofftransporter plottet mot en rekke faktorer. Bilagene er tegnet ut direkte på data-maskin, hvilket gjør det nødvendig å forklare noen forkortelser som forekommer på tegningene.

SOFR	=	Solvik, separatsystem,	regnsituasjoner
SKFR	=	Solvik, fellessystem,	regnsituasjoner
(Ø)YAFR	=	Øya, fellessystem,	regnsituasjoner
BIFR	=	Bislettbekken, fellessystem,	regnsituasjoner
RUFR	=	Rukklabekken, fellessystem,	regnsituasjoner
RISR	=	Risvollan, separatsystem,	regnsituasjoner
VESR	=	Vestli, separatsystem,	regnsituasjoner
OPSR	=	Oppsal, separatsystem,	regnsituasjoner
VISR	=	Vika, separatsystem,	regnsituasjoner.

6.2.2.1 Nedbørens intensitet

Nedbørens intensitet er registrert i alle felter og i hele den aktuelle perioden. Det ble funnet lite hensiktsmessig å benytte nedbørens intensitet som en faktor. Den første årsaken til dette er at avrenningen som følge av ensartede regn er meget forskjellig fra felt til felt. Dessuten vil avrenningskoeffisienten selv i et bestemt felt variere svært mye fra regn til regn. Dette er illustrert i fig. 1 og fig. 2 som for regnet 23.10.1974 viser en avrenningskoeffisient på over 1,0, mens det for regnet 21.9.1974 er en avrenningskoeffisient på 0,2-0,4 (avhengig av hvordan den defineres). Den andre årsaken til at nedbør er en vanskelig faktor er at intensiteten varierer mye fra punkt til punkt i nedbørfeltet. På fig. 2 er vist den registrerte nedbør på Blindern og i Vika. Man ser f.eks. at nedbørintensiteten på Blindern kl. 10.27 var 17 l/s·ha mens den samtidig var 6 l/s·ha i Vika. Avstanden mellom disse to stasjoner er ca. 2 km. I tillegg varierer nedbøren svært raskt fra minutt til minutt i et bestemt punkt.

Fig. 1. Bislettbekken
Regnvær 23.10 1974 kl.10

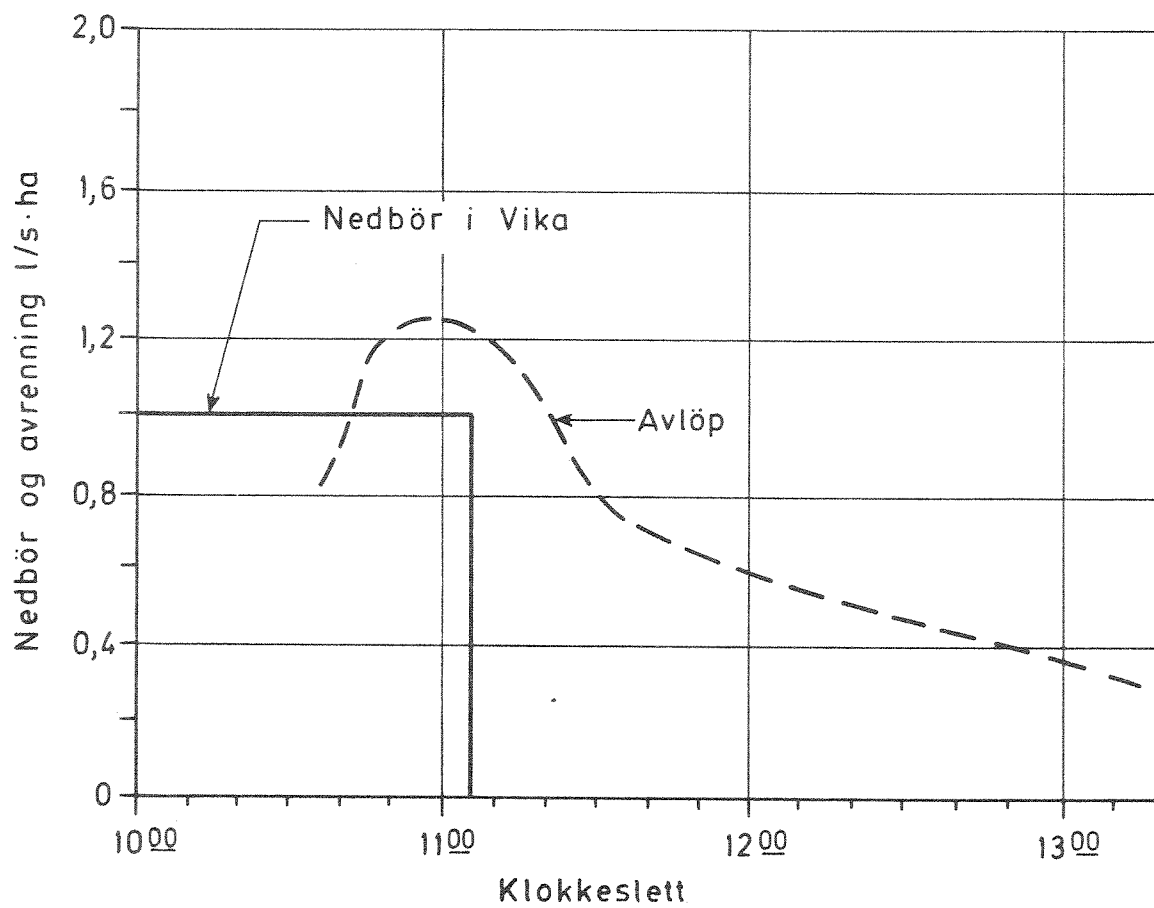
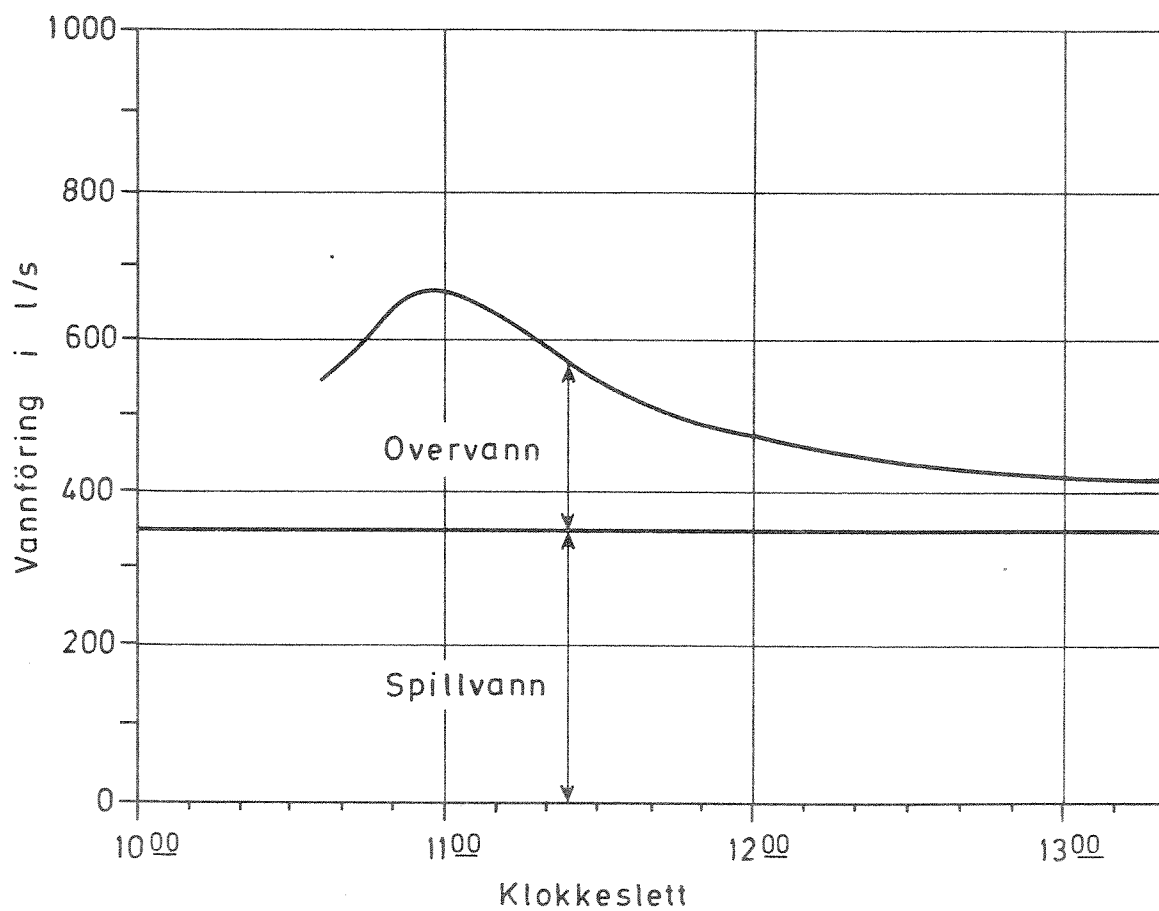
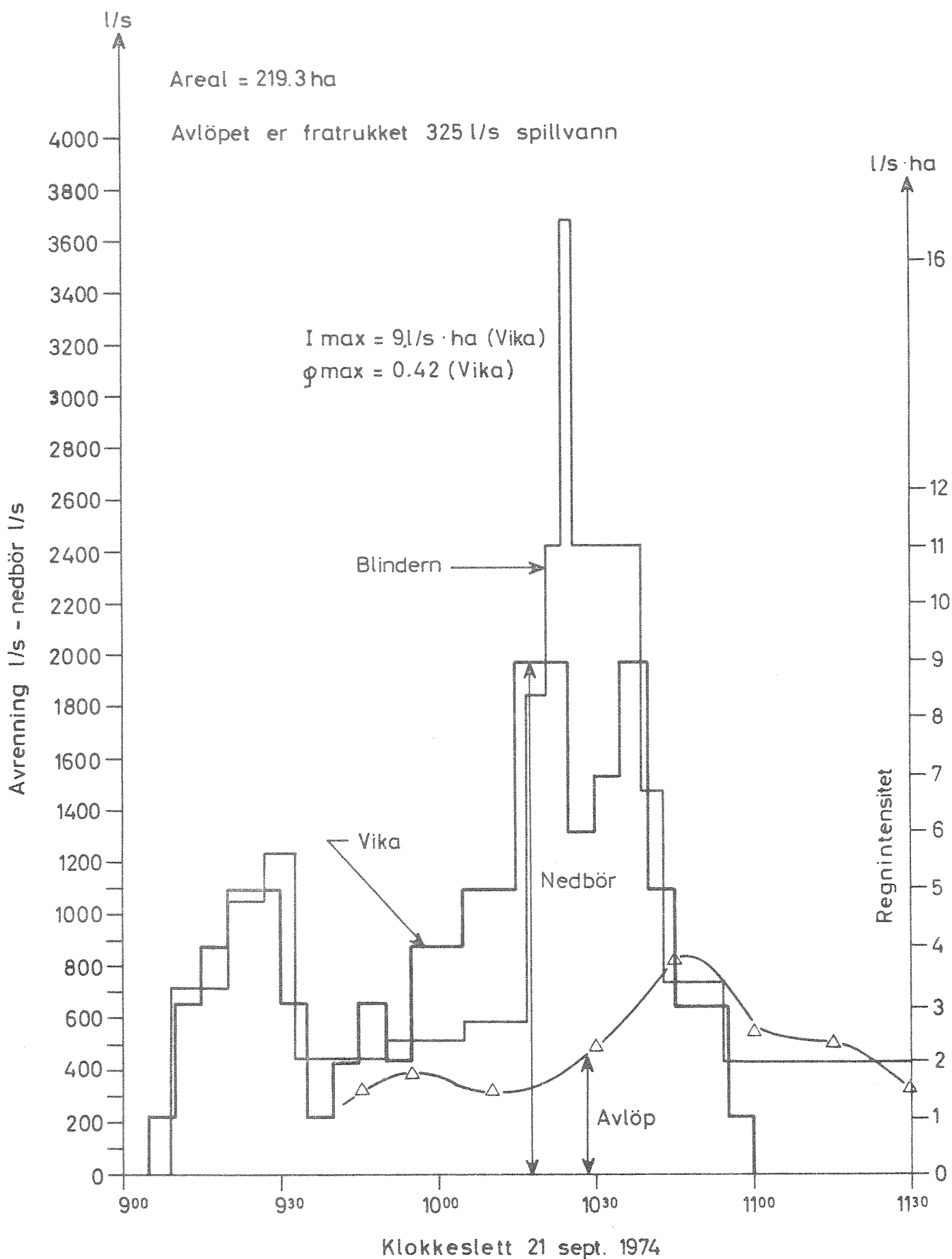


Fig. 2. Nedbör - avløp Bislettbekken 21.9 1974



6.2.2.2 Tid etter start av regn

Tid - konsentrasjon

På bilag 1 - 9 i appendix B er alle registrerte regntilfeller tegnet ut for målt konsentrasjon av SS, KOF, BOF, Tot-P, Tot-N, Cu, Zn og Pb samt vannføring. Vanligvis er konsentrasjonene lave i starten av et regn. De øker deretter relativt raskt, mens de på slutten av regnet synker tilbake til start-nivået. Dette mønsteret vil ikke alltid bli fulgt, og særlig ikke dersom den første delen av regnet ikke kom med i prøvetakingen. Denne konsentrasjonsminkingen skyldes

delvis en minkende vannføring og delvis at stoffavsetningene etter hvert er spylt bort. Man ser at konsentrasjonene forandrer seg meget raskt over relativt korte tidsperioder. Dette er svært karakteristisk for overvann. Ved høye vannføringstopper er disse forandringer størst og på den måte at kurveformen på konsentrasjonene ofte er lik kurveformen for vannføringen. Dette indikerer at høye vannføringer har tendens til å gi høye konsentrasjoner. (Piler i øverste kant på diagrammene forteller at konsentrasjonskurvene går utenfor diagrammets ramme.)

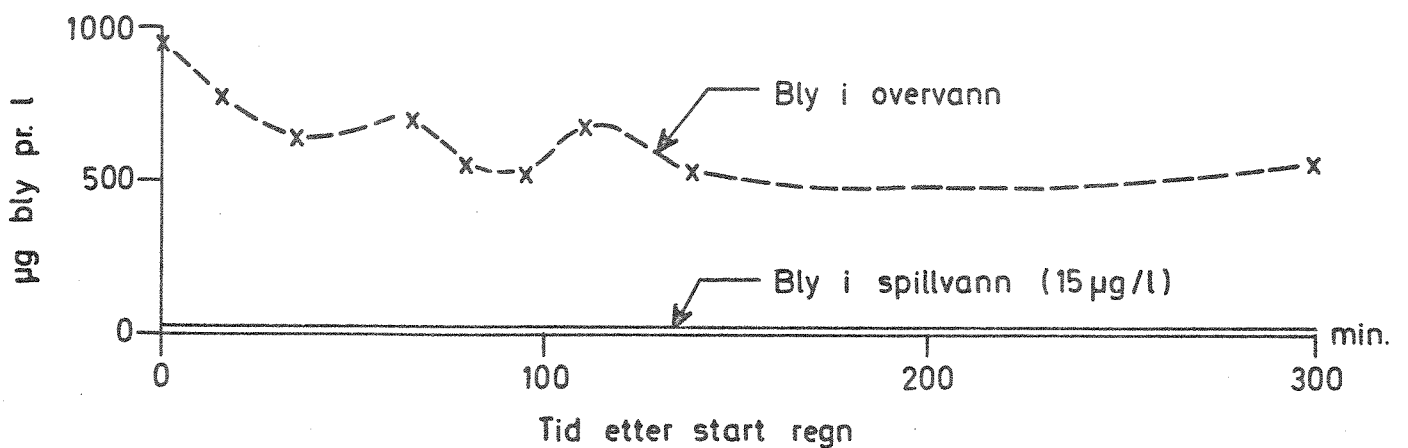
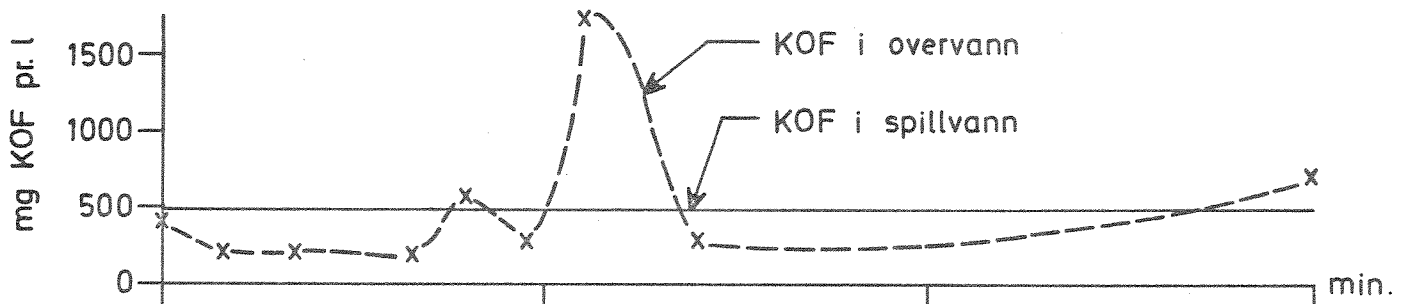
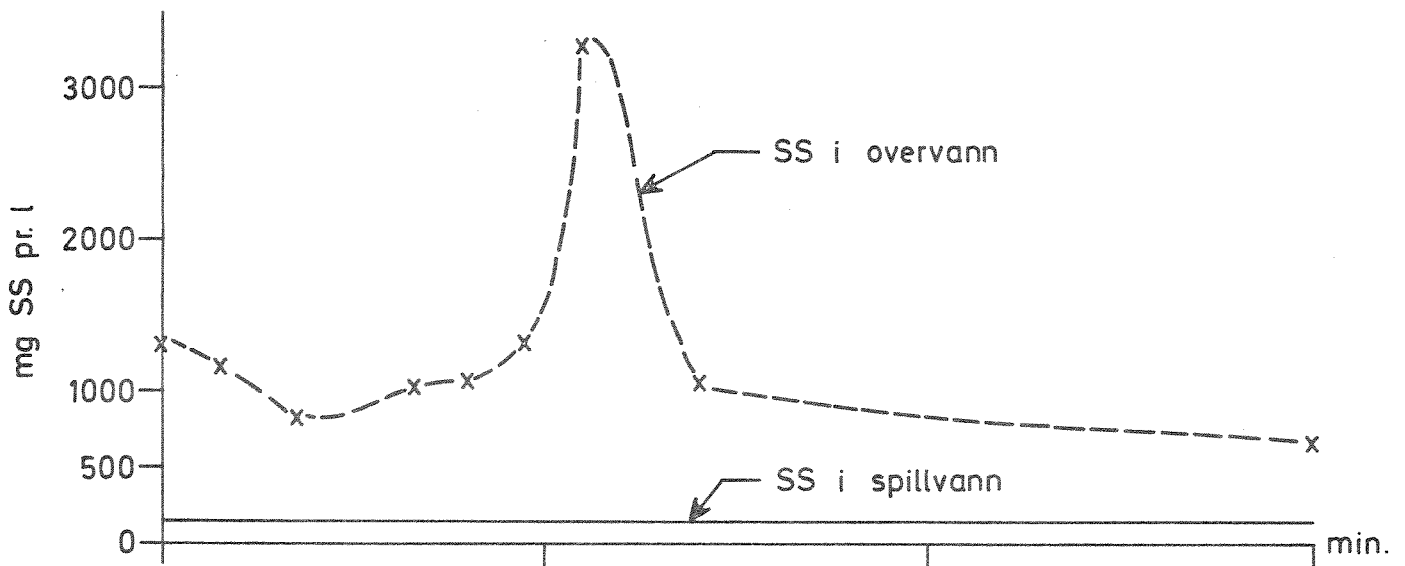
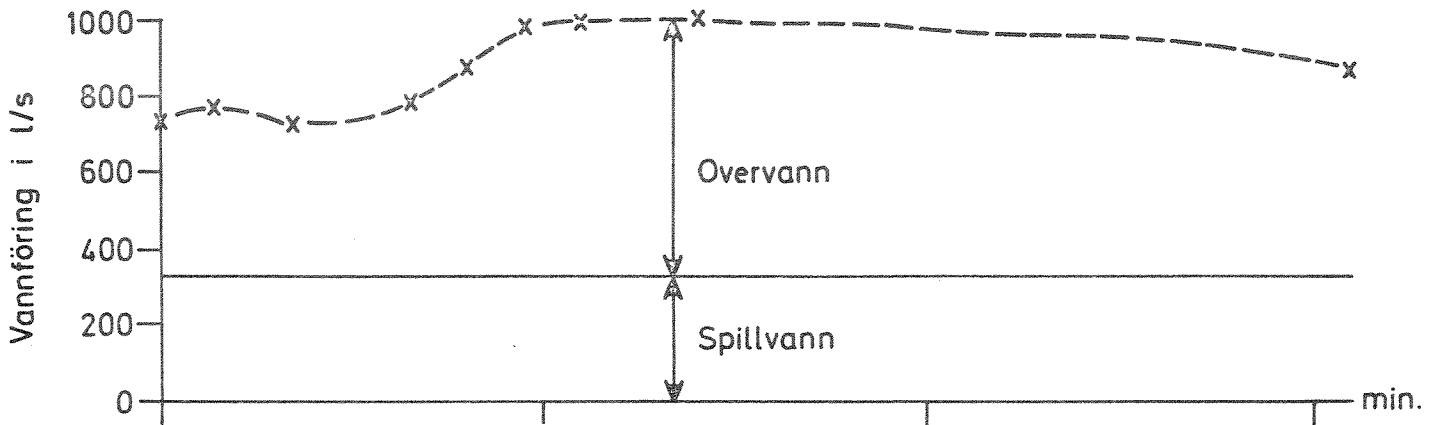
For øvrig legger man merke til at konsentrasjonskurvene for de ulike parametre ofte svinger i takt. Det vil si at en konsentrasjonsøkning for en parameter skjer samtidig med at konsentrasjonene for de andre parametre øker.

I fig. 3 er det sammenliknet konsentrasjoner i overvannsbidraget med konsentrasjoner i spillvannet for et regn 7. mars 1975 i Bislettbekkefeltet. Av figuren går det fram at overvannsbidragets konsentrasjoner for suspendert stoff og bly er svært store i forhold til spillvannets.

Tid - transport

På bilagene 10 - 18 er transporten av SS, KOF, BOF, Tot-P, Tot-N, Cu, Zn og Pb plottet mot tiden for alle felter og alle registrerte regn. Siden transporten fåes ved en multiplikasjon av vannføring og konsentrasjon, og da konsentrasjonen øker med økende vannføring, vil kurvene for transport få mer utpregede "topper og daler" enn det konsentrasjonskurvene

Fig.3. Bislettbekken 7 mars 1975



hadde. Man får for øvrig dokumentert hvilke store stofftransporter man har i regnperioder i forhold til under tørrværsperioder, ved å sammenlikne med start- og sluttverdiene i diagrammene og med tallene i tabell 4.

Tid - konsentrasjon/transport - vannføring

På fig. 4 og fig. 5 er konsentrasjon av KOF og transport av KOF, Pb, Cu og Zn i Bislettbekken vist som funksjon av vannføring og med kronologisk rekkefølge av prøvetakingen (markert med piler). Regnet som er valgt, falt den 16. juni 1975. Illustrasjonene viser at for samme vannføring er transport og konsentrasjon større tidlig i regnforløpet enn senere. I dette regnet har man dermed en tydelig utvaskingstendens. En utvaskingstendens kan man også påvise ved hjelp av summeringskurver for stofftransport kontra vannmengde som passerer utløpet. Dette er vist i bilagene 37 - 45.

I tabell 9 er vist de gjennomsnittlige stoffmengder i overvannet, som er passert når 50% av overvannet er passert.

Tabell 9. Stoffandel i første halvdel av overvannet.

Felt	% stoff passert når 50% vann er passert:							
	BOF ₇	KOF	SS	Tot-P	Tot-N	Bly	Sink	Kobber
Bislettbekken	65	54	55	52	50	60	50	48
Rukklabekken	57	56	60	57	53	61	50	47
Øya	-	65	63	56	55	50	-	-
Solvik, K	55	50	50	50	-	55	50	50
Solvik, O	55	56	55	55	-	55	50	50
Vika	-	58	55	49	55	52	44	45
Vestli	50	50	50	52	52	51	48	48
Oppsal	51	53	52	52	51	53	50	50
Risvollan	-	60	54	50	50	50	48	48
Σ midl. median fellessyst.	59	56	57	54	53	57	50	49
Σ midl. median separatsyst.	52	55	53	52	52	52	48	48

Fig. 4. KOF kontra vannføring - 16. juni 1975
Bislettbekken - Oslo

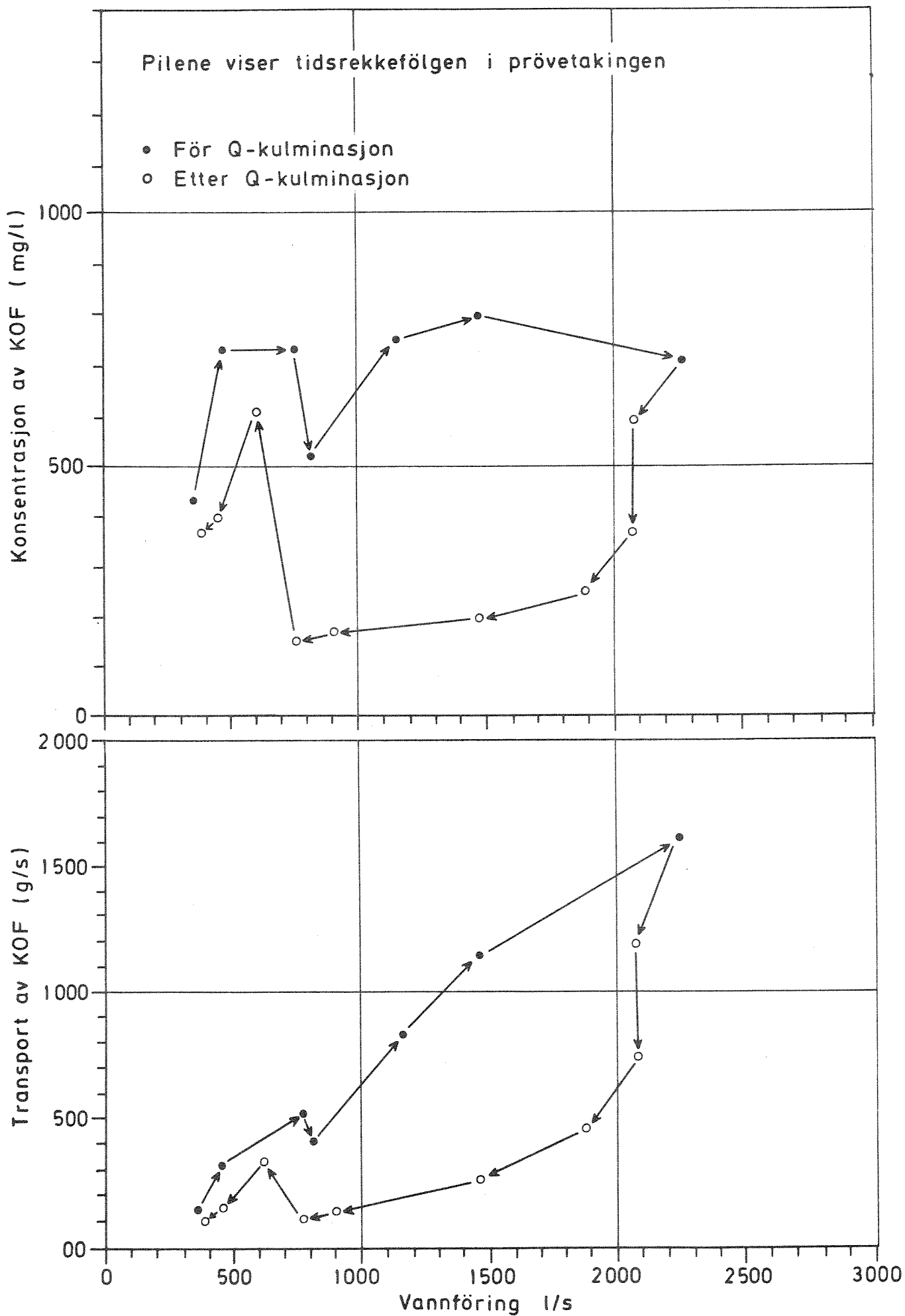
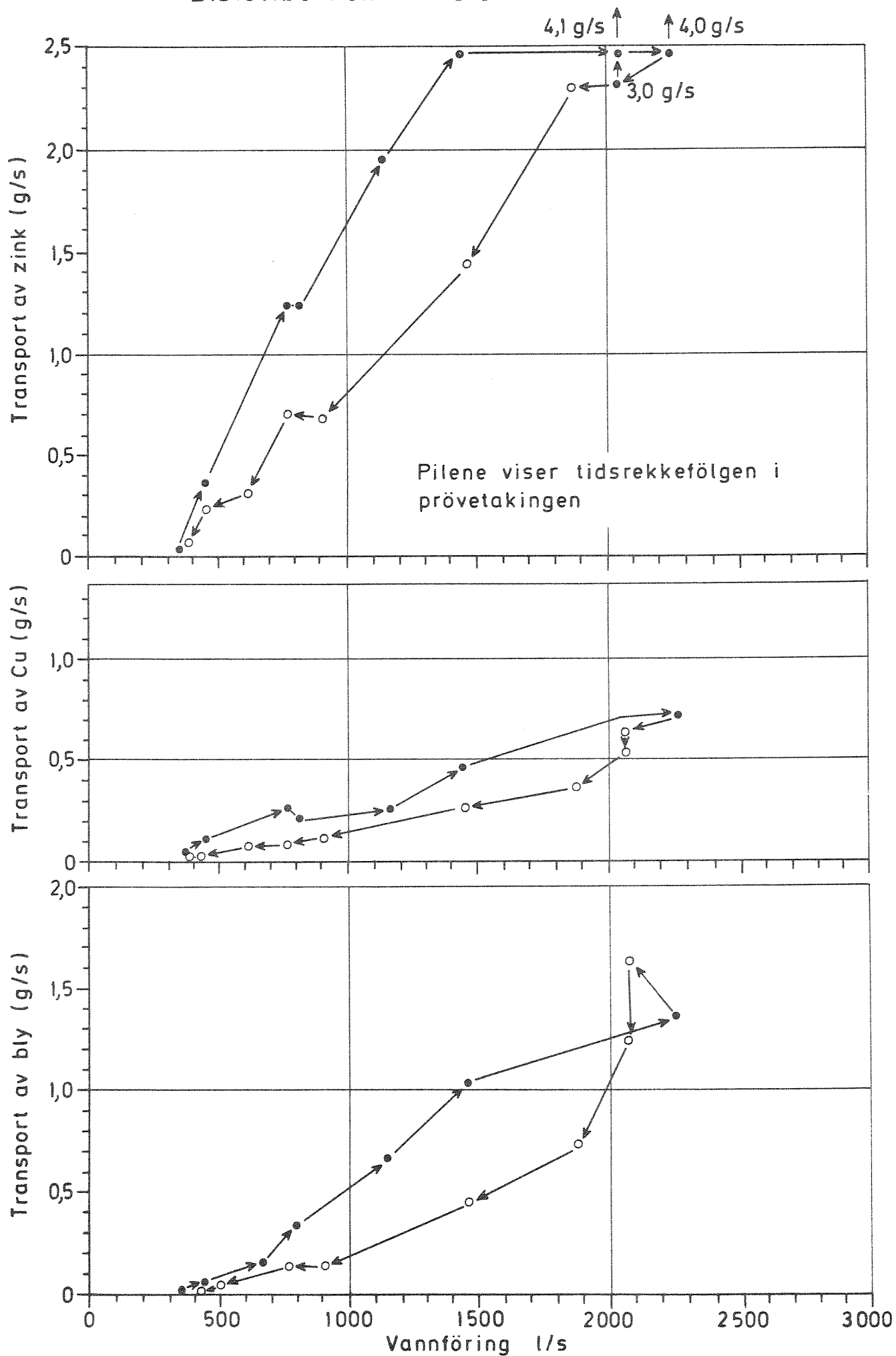


Fig. 5. Tungmetaller kontra vannføring - 16. juni 1975
Bislettbekken - Oslo



Som en konklusjon kan man si at en utvaskingstendens er til stede for de fleste parametres vedkommende, men mest utpreget for suspendert stoff, KOF og bly. Fellessystemet har dessuten større utvaskingstendens enn separatsystem. Som praktisk konsekvens betyr dette at den første delen av en overløpsmengde er av størst betydning å få lagret i fordrøyingsbasseng eller behandlet på annen måte, mens den siste delen av flommen kan gå til resipient dersom ikke hele flommen kan tas vare på.

6.2.2.3 Vannføring - konsentrasjon/transport

Allerede for tid-konsentrasjonskurvene beskrevet i avsnitt 6.2.2.2 ble det vist at konsentrasjoner og transporter av stoff til en viss grad var avhengig av vannføringen i det aktuelle tidspunkt. Dette forhold er nærmere utdypet og vist i bilagene 19 - 34 i appendix B. Hvert kryss i diagrammene markerer en enkeltstående prøvetaking.

Som man ser, er det relativt få data for stor vannføringer i forhold til data for små vannføringer. Data for alle de registrerte regn er plottet i diagrammene. Som et generelt inntrykk kan man si at sannsynligheten for en høyere konsentrasjon øker med økende vannføring. Fra denne regelen ser man likevel en rekke klare unntak. Dette gjelder særlig nitrogen som tvert om synes å følge en fortynningsfunksjon i de fleste feltene. Prinsipielt burde man ha et forløp som vist i fig. 6. For nitrogen virker det derfor som om utspylingseffekten er meget liten (bortsett fra feltet Vika). Dette burde kunne tolkes som om avlagringer av nitrogen på overflater og i rør er små i forhold til de andre komponentene. For fosfor ser det også ut til at fortynningsmekanismen er betydningsfull, men utspylingsmekanismen er her likevel mer tydelig enn for nitrogen. De parametre som oftest domineres av en utspylingsfunksjon, er suspendert stoff og bly.

Bilagene 35 og 36 viser transport av åtte komponenter plottet mot korresponderende vannføring for de ni feltene.

Hovedinntrykket er her en klar sannsynlighet for en økt stofftransport når vannføringen øker.

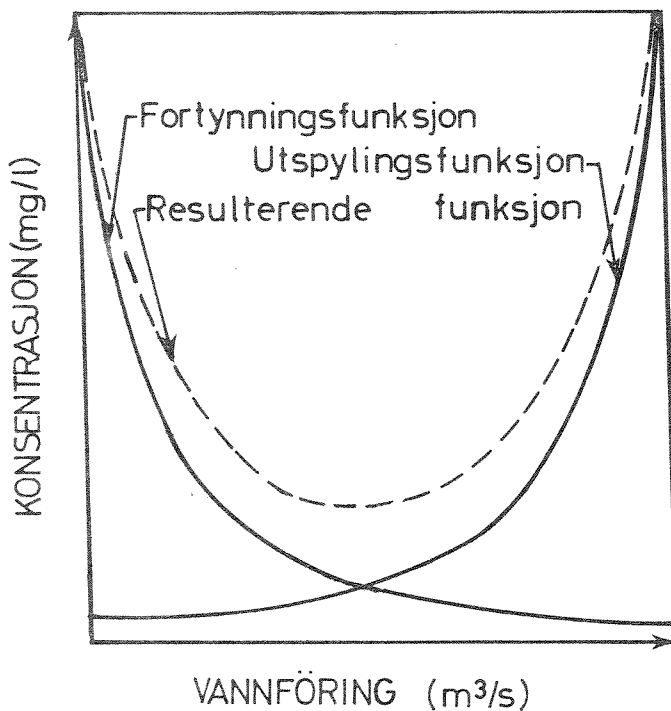
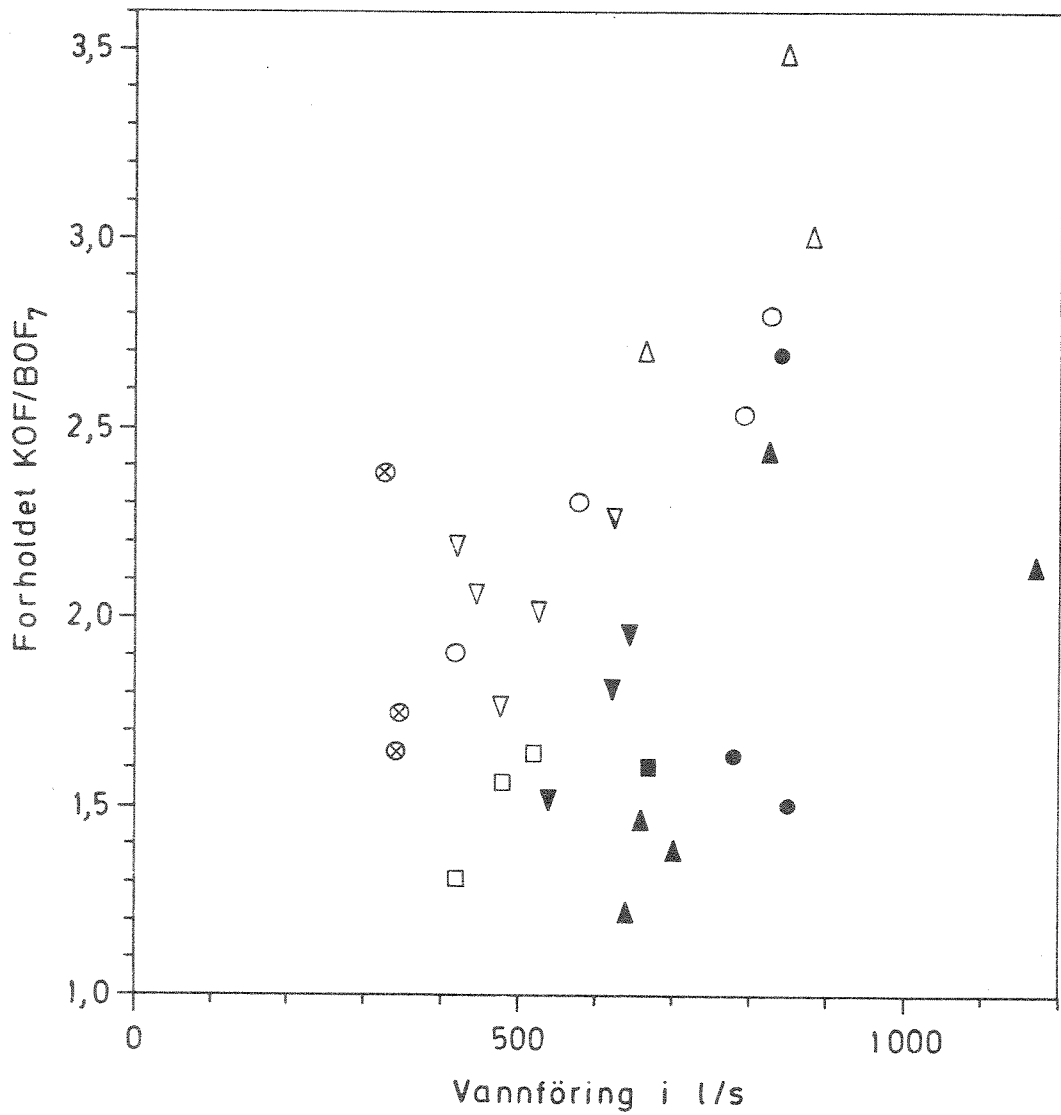


Fig. 6. Fenomener av betydning for konsentrasjon.

Forholdet mellom KOF og BOF_7 er plottet i fig. 7 mot vannføringen i Bislettbekken. Det er en tendens til et økende forholdstall med økende vannføring. Dette kan skyldes at de lettest nedbrytbare organiske stoffer vaskes lettere ut enn de mer tungt nedbrytbare.

De tyngre nedbrytbare fraksjoner ser dermed ut til å øke sin relative betydning ved økende vannføringer. Fra fig. 7 ser man dessuten at de fylte tegn stort sett ligger samlet i nedre høyre hjørne i diagrammet. Dette skulle tyde på at tidlig i utvaskingsforløpet, dvs. før kulminasjonen i vannføringen, er den relative mengden av de lettest nedbrytbare organiske stoffer større enn senere i utvaskingsforløpet selv om vannføringen i begge tilfeller er den samme. Konklusjonen på dette skulle bli at den største delen av de organiske stoffer som krever en rask oksygentilførsel i resipienten, vaskes ut i den første delen av en regnflom.

Fig. 7. Forholdet KOF/BOF₇ v.s. vannføring
Bislettbekken



△ 21.9 1974

○ 25.9 1974

▽ 23.10 1974

□ 22.4 1975

⊗ Törrværsavrenning

Fylte tegn: Før vannføringskulminasjon

Åpne tegn: Etter " " "

Spillvannsbidraget er inkludert

6.2.2.4 Tid fra foregående regntilfelle

Forholdene forut for det aktuelle regnet vil ha en innflytelse på forurensningsgraden i overvannet. Dette er vist i fig. 8 - 19 hvor midlere konsentrasjon av en parameter i overvannsbidraget er plottet dels mot tørrvårsperioden i dager forut for det aktuelle regn og dels mot antall mm nedbør fem døgn umiddelbart foran det aktuelle regntilfellet.

Sammenhengen er ikke like klar for alle kombinasjoner av parametre og felter. Dette gjelder f.eks. Bislettbekkefeltet med fig. 16-19.

Solvik-K er ett av de felt som har klareste sammenheng, fig. 8-15.

De øvrige feltene representerer tilfeller som faller mellom de to nevnte feltene. For øvrig ser en av fig. 8-15 at antall mm nedbør gir en sikrere korrelasjon med konsentrasjonen enn det antall tørrvårsdøgn gir.

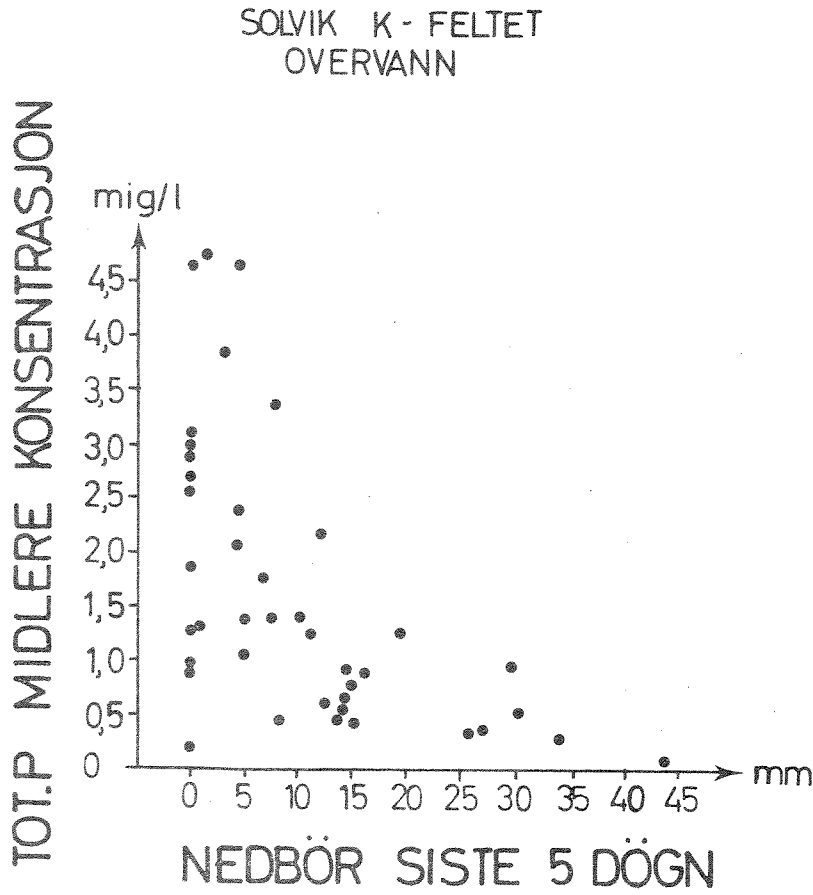


FIG 8

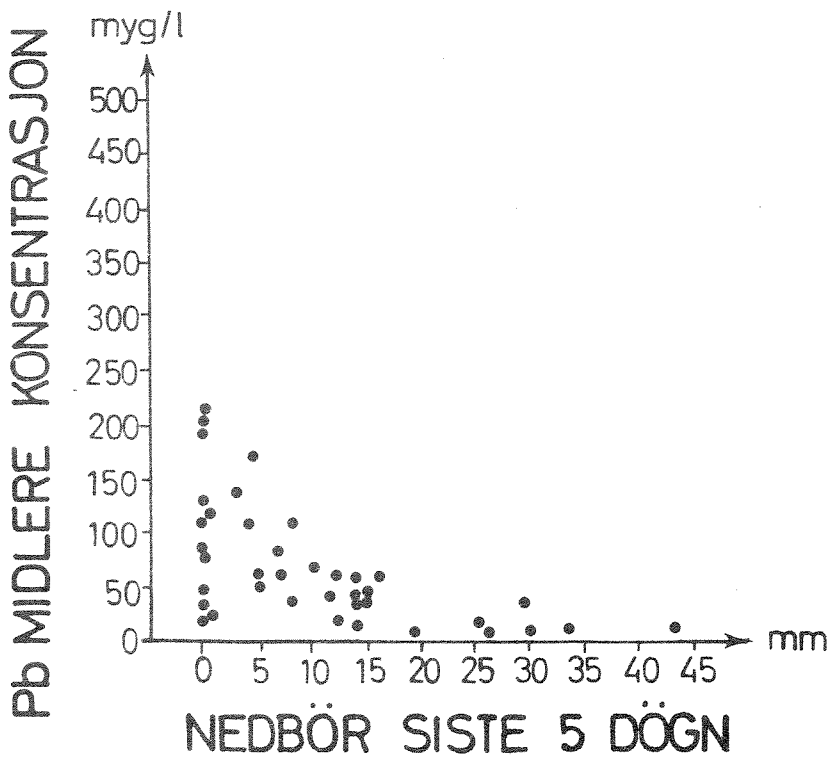


FIG 9

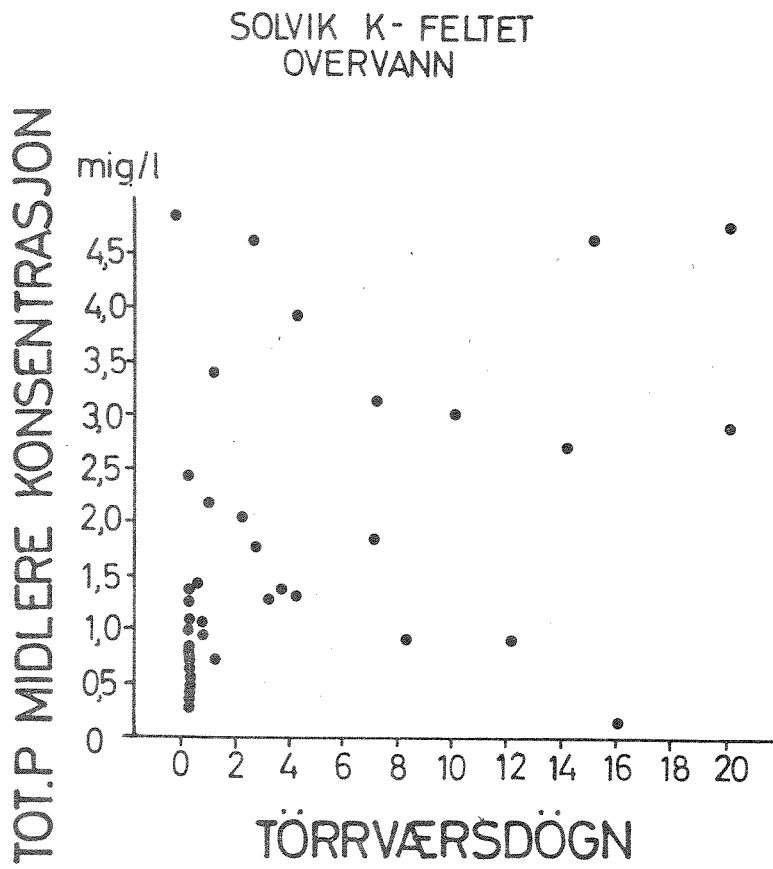


FIG 10

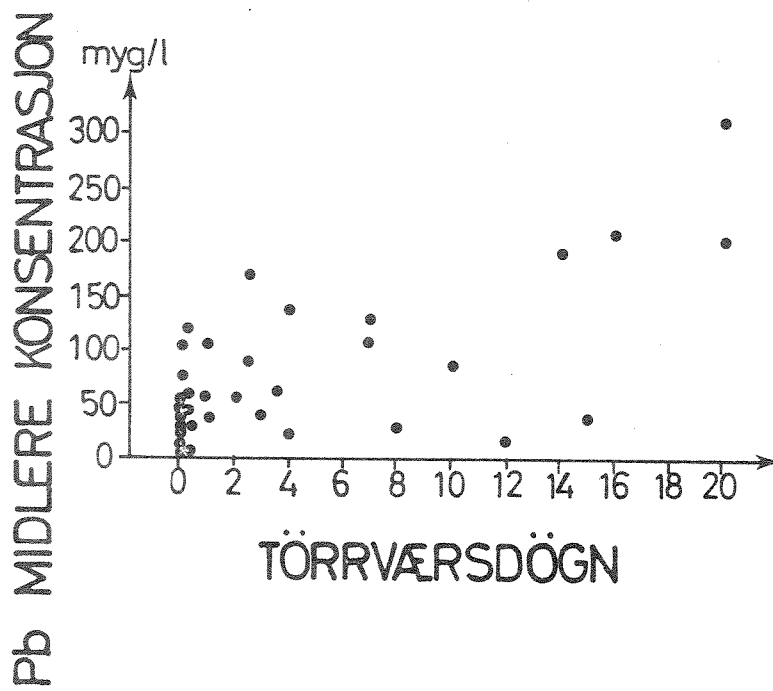


FIG 11

SOLVIK K-FELTET
OVERVANN

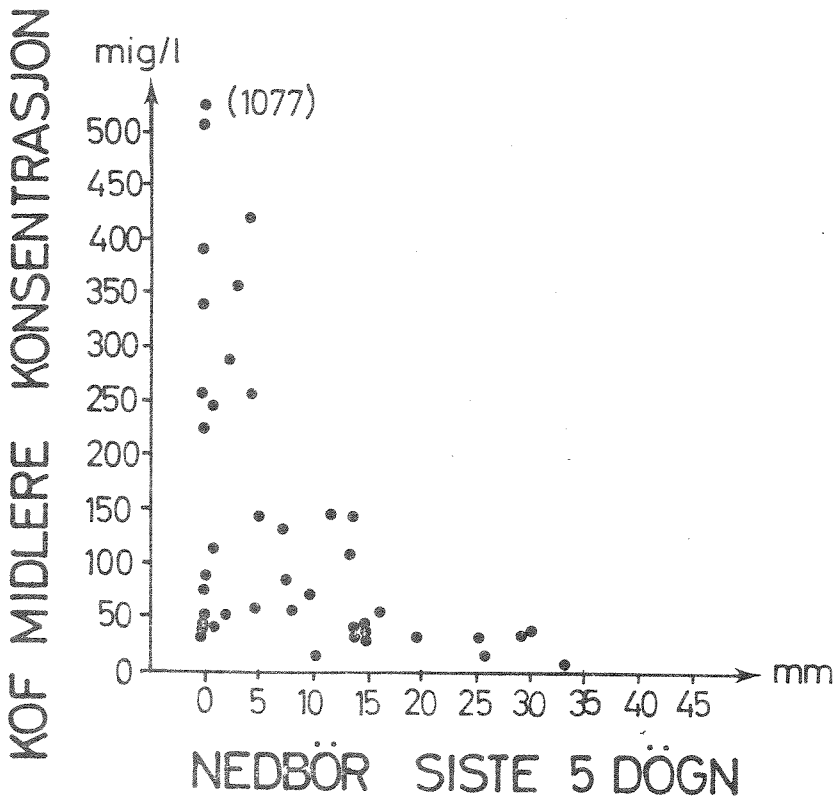


FIG 12

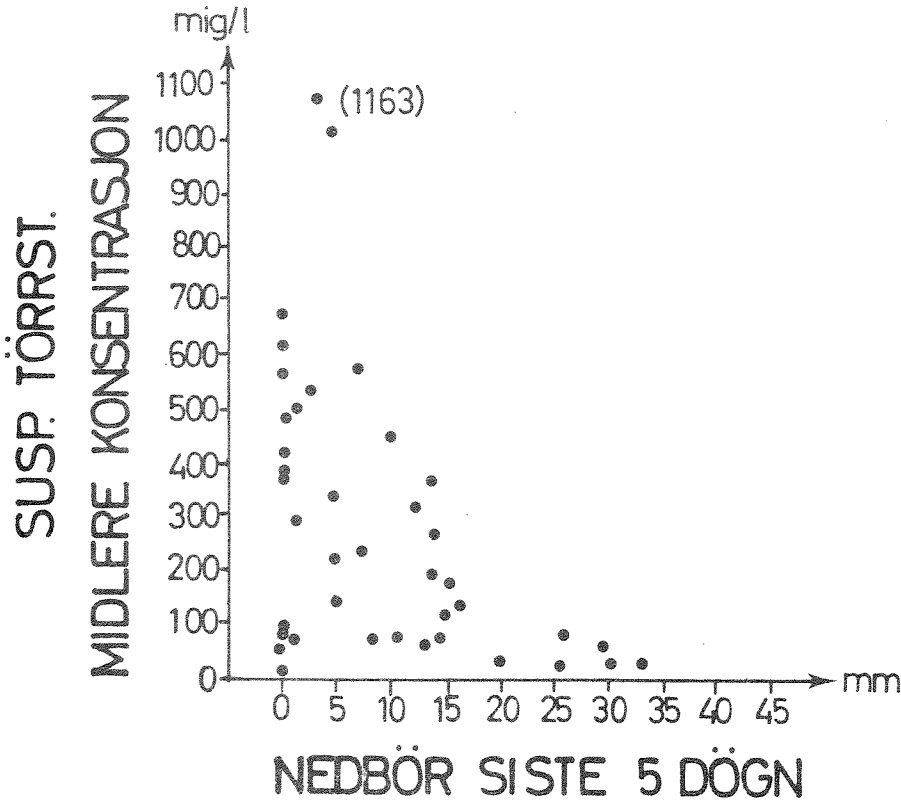


FIG 13

SOLVIK K-FELTET
OVERVANN

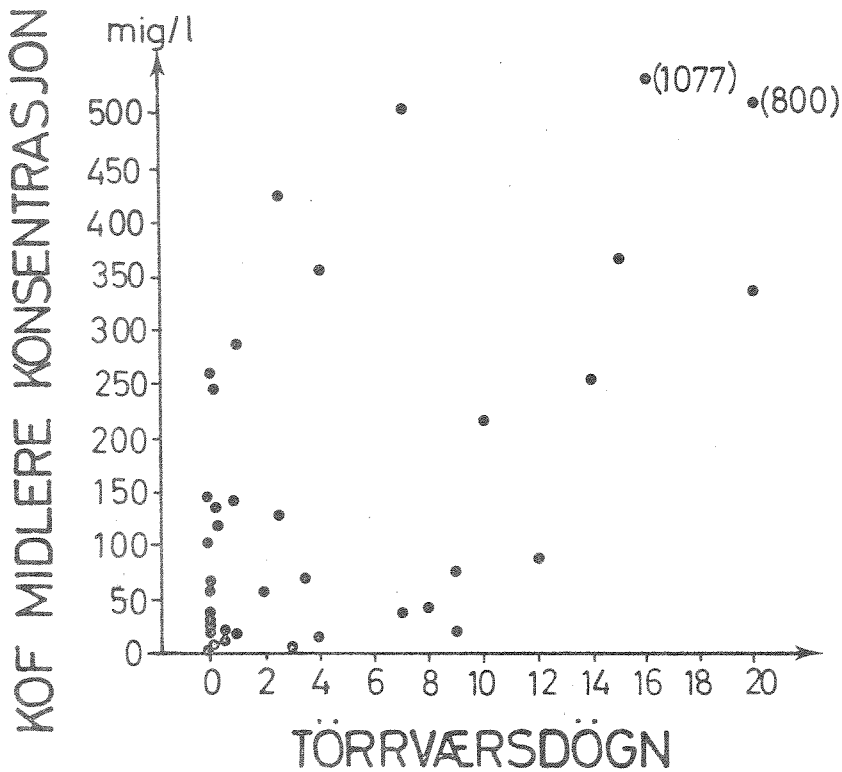


FIG 14

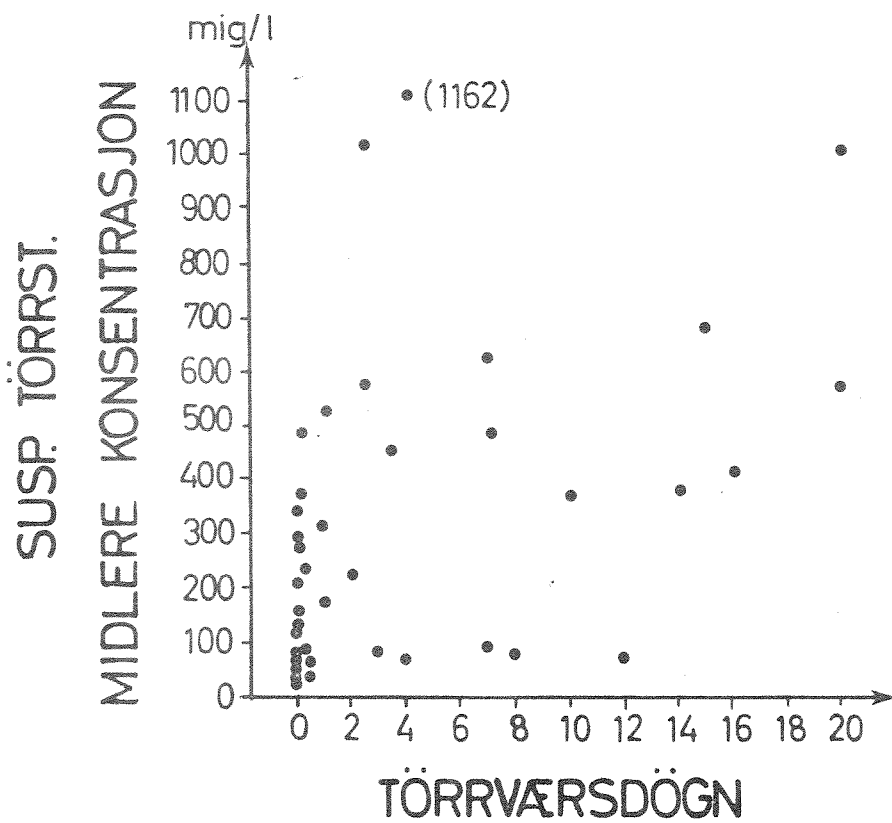


FIG 15

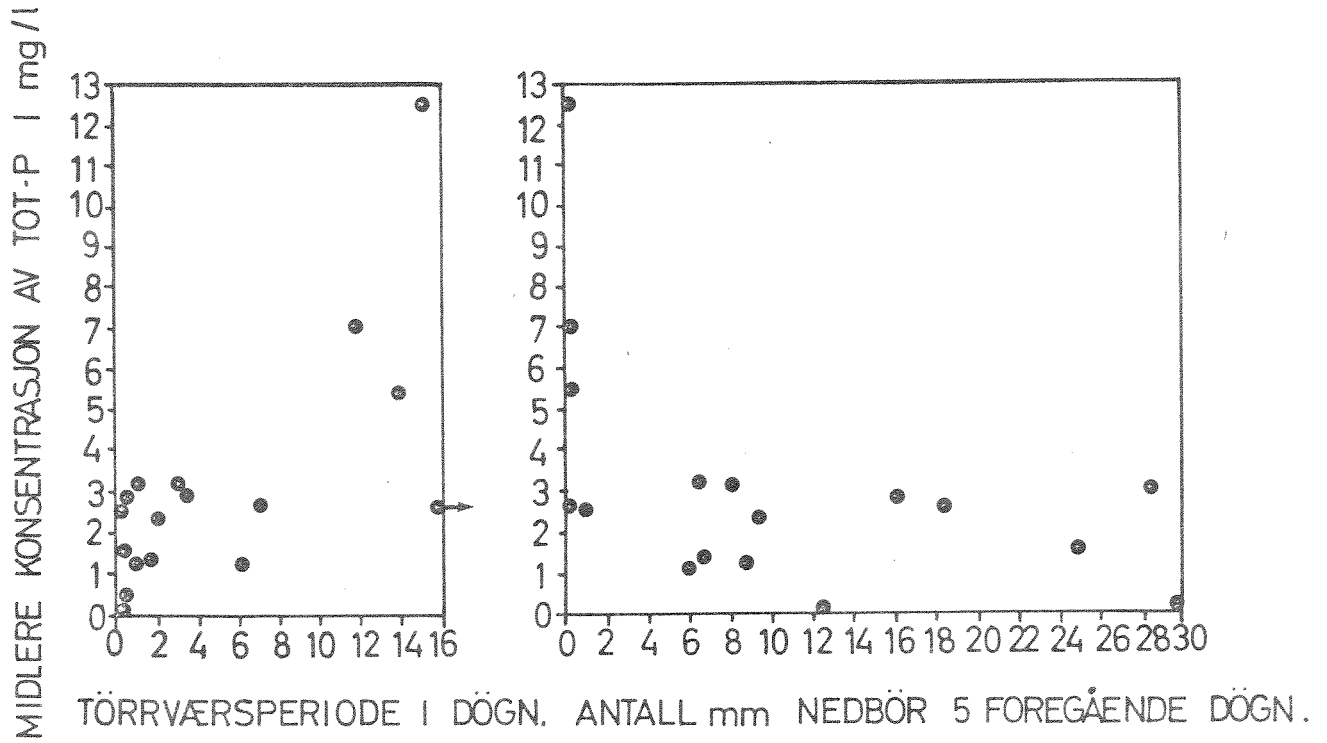


FIG 16 Törrværsperiode - midlere TOT-P innhold i overvann i Bislettbekken.

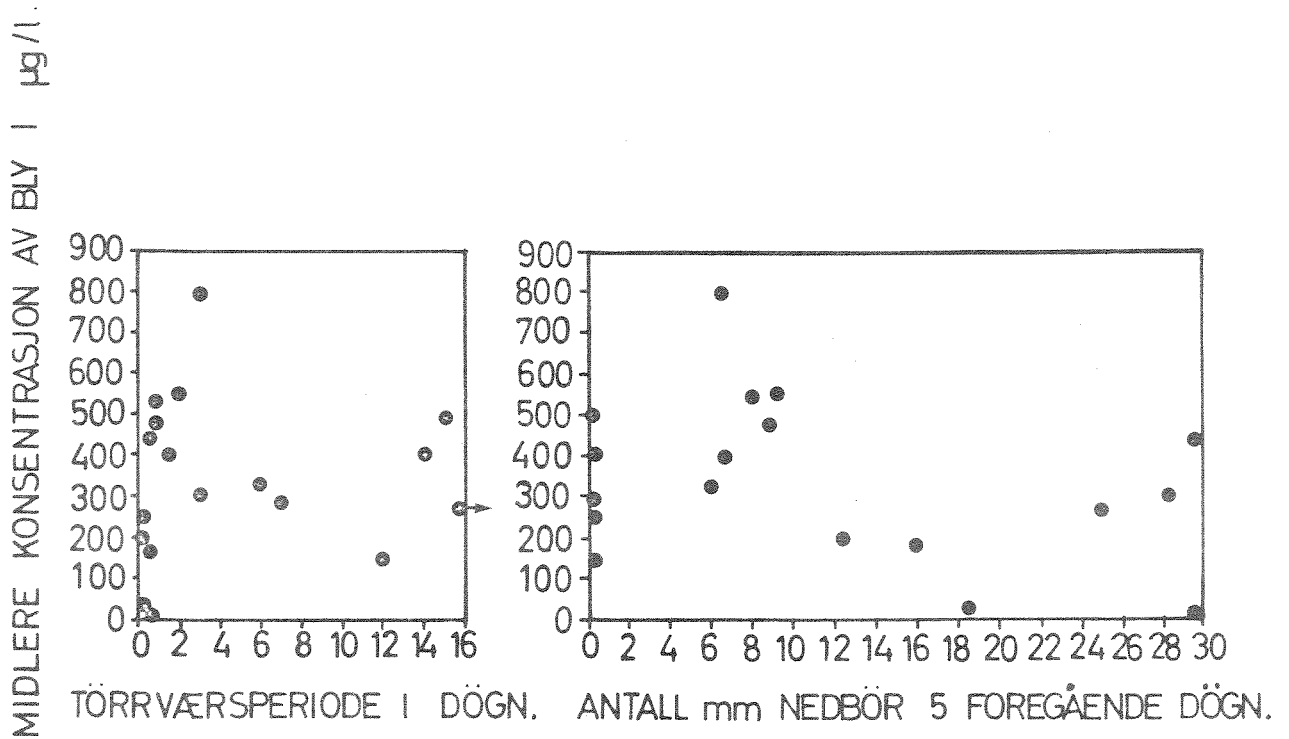
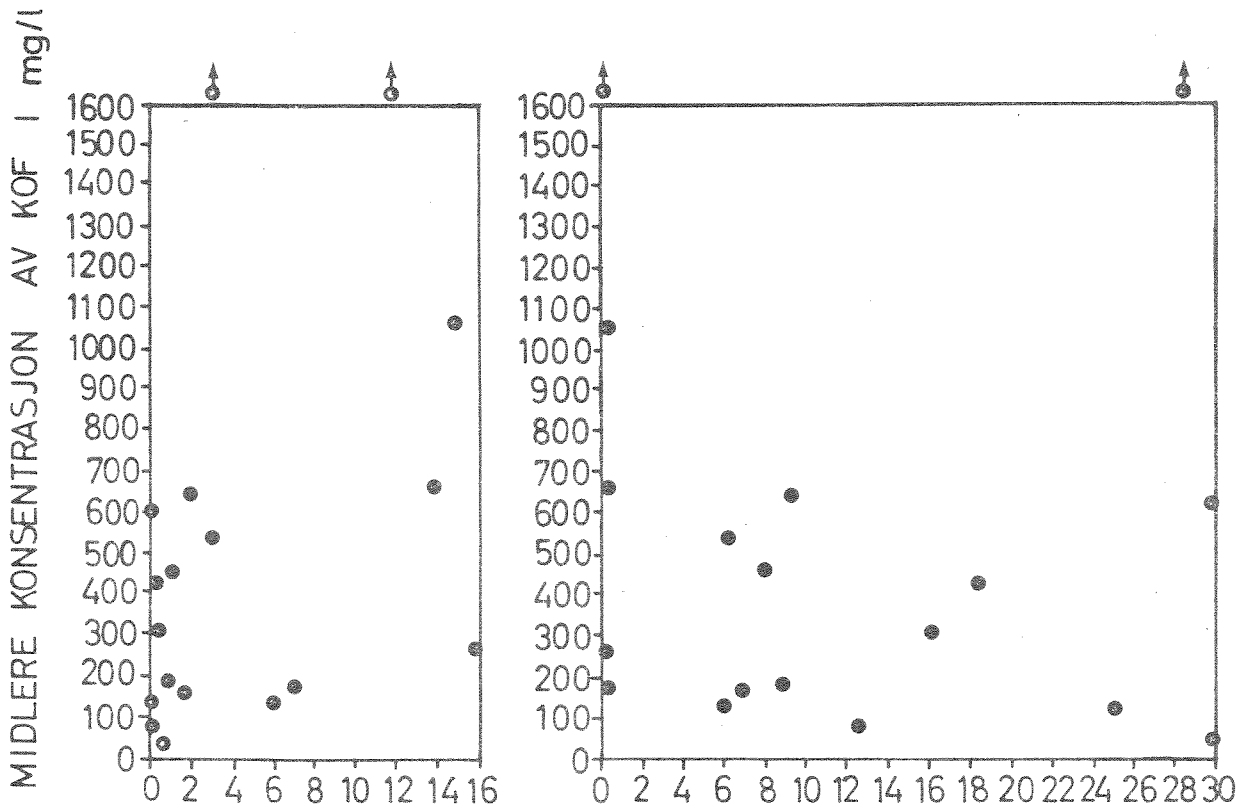
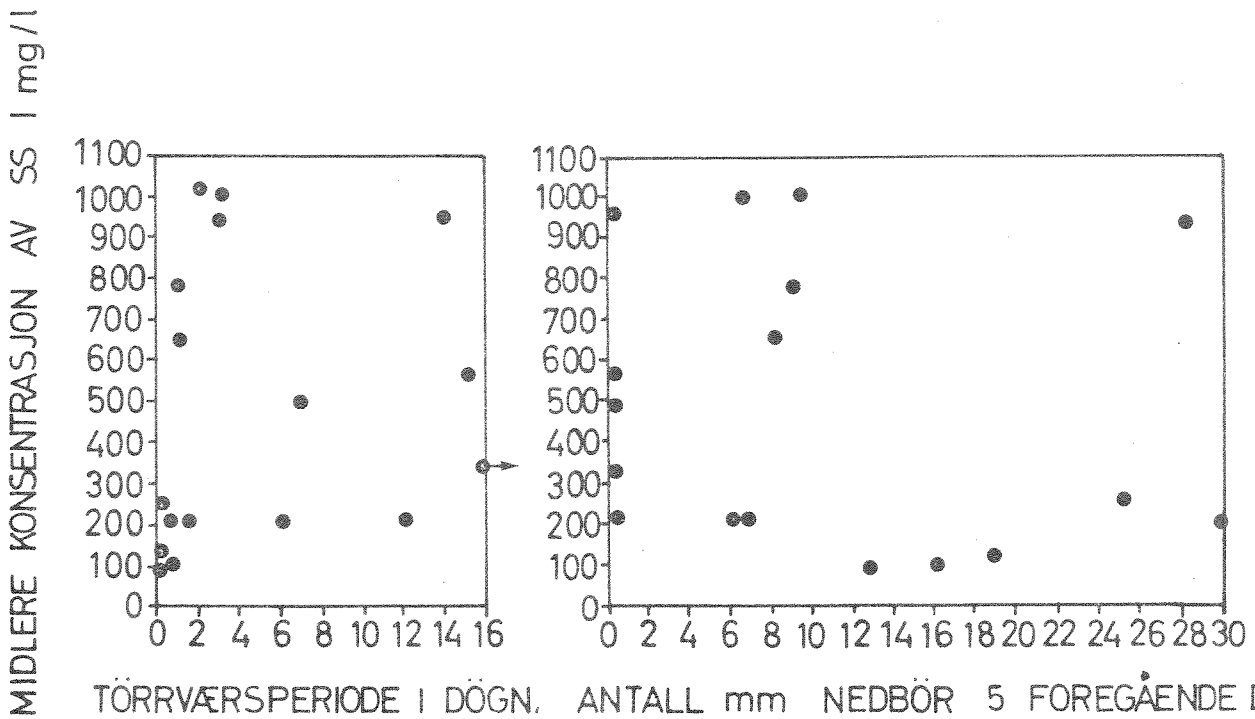


FIG 17 Törrværsperiode - midlere bly innhold i overvann i Bislettbekken.



TÖRRVÆRSPERIODE I DÖGN, ANTALL mm NEDBÖR 5 FOREGÅENDE DÖGN.

FIG 18 Törrværsperiode - midlere KOF innhold i overvann i Bislettbekken.



TÖRRVÆRSPERIODE I DÖGN, ANTALL mm NEDBÖR 5 FOREGÅENDE DÖGN.

FIG 19 Törrværsperiode - midlere SS innhold i overvann i Bislettbekken.

6.2.3 Korrelasjon mellom de enkelte komponenter

Det er foretatt korrelasjoner mellom alle kombinasjoner av parametre for vannføring, - BOF_7 , KOF, SS, Tot-N, Tot-P, bly sink og kobber, med hensyn til konsentrasjon og for alle ni felter. Det er korrelert i form av plottinger i diagrammer (ca. 580 diagrammer). Noen av plottingene er vist i bilagene 19 - 34 i appendix C.

Det etterfølgende er en kort visuell bedømmelse av i hvilken grad de ulike parametre er innbyrdes avhengig. Med "god korrelasjon" menes i det etterfølgende at når en parameters konsentrasjon øker, så øker også konsentrasjonen til den parameter som det er sammenliknet med.

Suspendert stoff (SS)

Bilag 19 og 20 viser konsentrasjonen av SS plottet mot kobber, sink, bly, vannføring, BOF_7 , KOF, Tot-N og Tot-P.

For de felter hvor man har relativt rikelig med observasjoner der vannføringen vesentlig overstiger tørrvørsavrenningen, ser man en klar sammenheng mellom økende konsentrasjon av de tre tungmetallene og suspendert stoff. En kombinasjon som viser en svært god sammenheng, er bly kontra SS for Vestli (VESR).

Undersøkelser under et regn 26.7.1974 i Sandefjord, Rukklabekken, som inkluderte ti stikkprøver, viste at 90% av blyet var knyttet til det partikulære materialet mens 10% var løst. Dette kan f.eks. ha den praktiske betydning at en utskillelse av partikulært stoff samtidig vil medføre en stor reduksjon i blyinnholdet.

Total nitrogen er en parameter som viser svært liten korrelasjon med SS, hvilket kan bety at mesteparten av nitrogenet ikke er knyttet til partiklene, men foreligger i løst form. Total fosfor viser også en meget liten korrelasjon med SS. (Fem stikkprøver 22.4.1975 fra Bislettbekkfeltet viste at forholdet mellom Tot-P og ortofosfat var 1,69.) Når det gjelder organisk stoff, uttrykt ved KOF, synes det å være en god sammenheng med SS for de fleste feltene.

Kjemisk oksygenforbruk (KOF)

På bilag 21 og 22 viser KOF en forholdsvis bra korrelasjon med bly, kobber og sink. Se f.eks. Øya (YAFR) på bilag 21 i diagrammet for bly korrelert med KOF.

I bilag 22 er KOF korrelert mot BOF_7 . Korrelasjonen mellom disse parametre er relativt god, hvilket synes naturlig da begge er et uttrykk for organisk stoff. Det er imidlertid påfallende at vinkelkoeffisienten for den mest sannsynlige regresjonslinjen mellom KOF og BOF_7 varierer sterkt fra felt til felt. Dette kan bety at andelen lett nedbrytbart organisk stoff i forhold til den totale mengde organisk stoff varierer fra felt til felt. Dette synes også å være tilfellet selv innen gruppen av felter med fellessystem.

Total fosfor synes å vise en relativt god korrelasjon med KOF.

Bislettbekken (BIFR) i bilag 22 synes å vise dette særlig godt.

Total nitrogen har en noe dårligere korrelasjon med KOF enn det fosfor har, men den er likevel klart til stede.

Biokjemisk oksygenforbruk (BOF_7)

Man har forholdsvis få analyser på BOF_7 . Av denne grunn har det liten hensikt å kommentere denne parameter ut over det som allerede er gjort.

Total nitrogen (Tot-N)

Total nitrogen viser liten eller ingen korrelasjon til de tre tungmetallene og SS. Som før nevnt, er det en relativt god korrelasjon mellom nitrogen og fosfor, som særlig kommer til uttrykk i Bislettbekkefeltet i Oslo og Rukklabekkefeltet i Sandefjord.

Nitrogen har en mindre god korrelasjon med KOF, men at det er en viss sammenheng, er klart.

Total fosfor (Tot-P)

Fosforinnholdet har en merkbar sammenheng med tungmetallinnholdene og suspendert stoff i enkelte av feltene, mens det i andre felter er liten eller ingen sammenheng.

Som før nevnt, er det god sammenheng mellom fosfor og nitrogen, samt fosfor og organisk stoffinnhold.

Tungmetallene

Nitrogen viser ingen eller liten korrelasjon med metallene, mens fosfor har antydning til dette i noen av feltene.

Mellom organisk stoff og metallene, og SS og metallene er det en relativt god sammenheng.

Mellom de tre tungmetallene er det innbyrdes god korrelasjon.

7. KORRELASJON MELLOM FELTPARAMETRE OG ÅRLIGE UTSPYLTE MENGDER

Mulighetene for å finne en entydig sammenheng ved å sammenlikne kun ni felter blir selvsagt liten. Det er likevel gjort forsøk på å sammenlikne årlige mengder av ulike komponenter i overvannet med forskjellige feltparametre, som prosent tette flater, midlere helning i feltet og befolkningstetthet. Den parameter som gav best korrelasjon, er prosent tette flater i feltet. På fig. 20-24 er fem ulike parametre plottet mot prosent tette flater i feltene. Hovedtendensen for begge systemene er at den årlige mengde av SS, KOF, Tot-P, Tot-N og bly øker med økende prosentandel tette flater i feltet. Avvik fra dette kan som regel forklares. SS-mengden for Risvollan, som er et separatsystemfelt med 18% tette flater, ligger høyere enn tilsvarende for de andre separatsystemfeltene. Dette kan delvis forklares ved at bygge- og anleggsvirksomhet foregikk i måleperioden. Dette forårsaker store mengder suspendert stoff i overvannet.

Punktet i fig. 24 som viser suspendert stoff i overvannet fra Vestlifeltet, som er et separatsystemfelt med 33% tette flater, ligger høyt i forhold til Oppsalfeltet med 43% tette flater. Dette kan også skyldes en viss anleggsvirksomhet i Vestlifeltet. I fig. 20 hvor P er plottet mot tette flater, ligger Solvik, 0 feltet unormalt høyt i forhold til andelen tette flater. Dette skyldes antakelig at Drammensveien passerer gjennom dette feltet, hvilket utgjør en stor forurensningsbelastning. Dette samme forhold gjør seg gjeldende for KOF i fig. 22.

I fig. 23 ligger Solvik, 0, Bislettbekken og Vika svært høyt i forhold til de øvrige felter med hensyn til blymengder. Dette skyldes at de tre nevnte felter har svært mye mer trafikk av biler enn de øvrige.

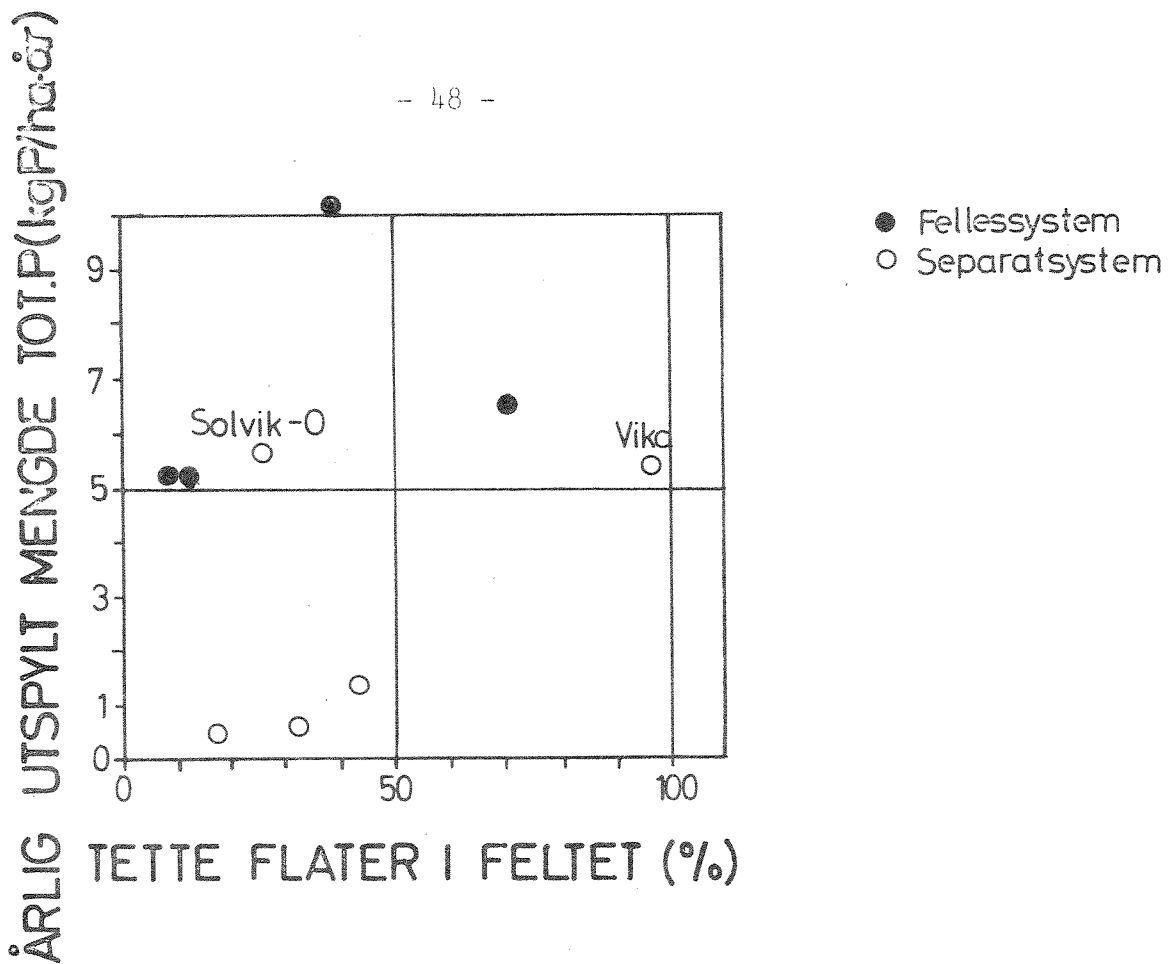


Fig. 20. Årlig mengde fosfor i overvann pr. hektar. Fellessystemet kontra separatsystemet.

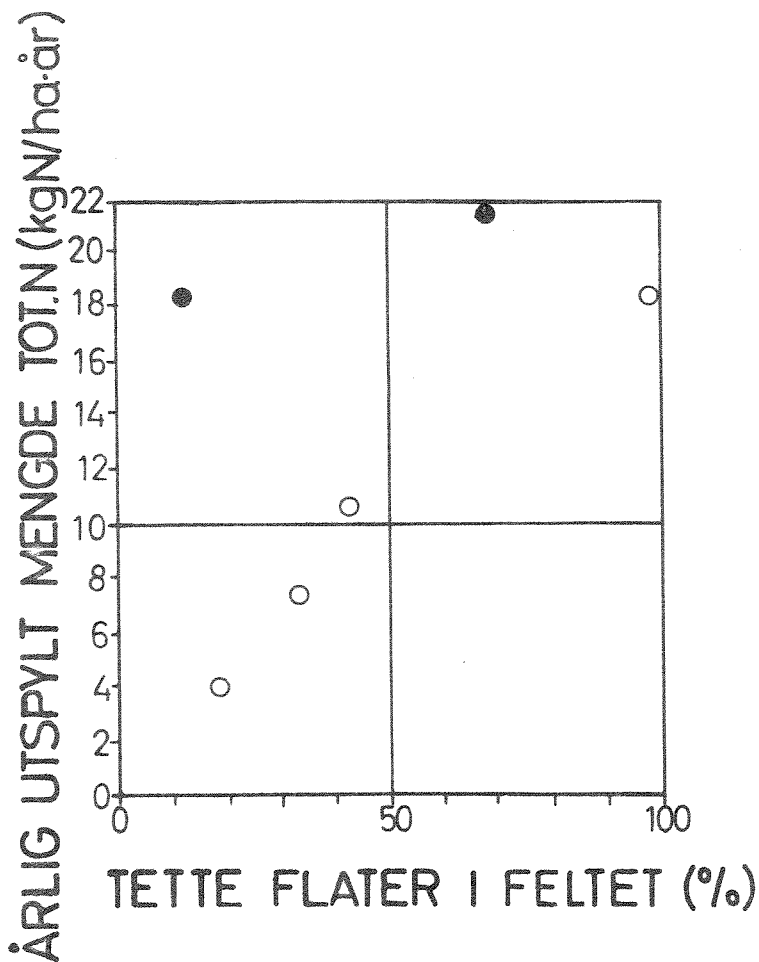


Fig. 21. Årlig mengde nitrogen i overvann pr. hektar. Fellessystemet kontra separatsystemet.

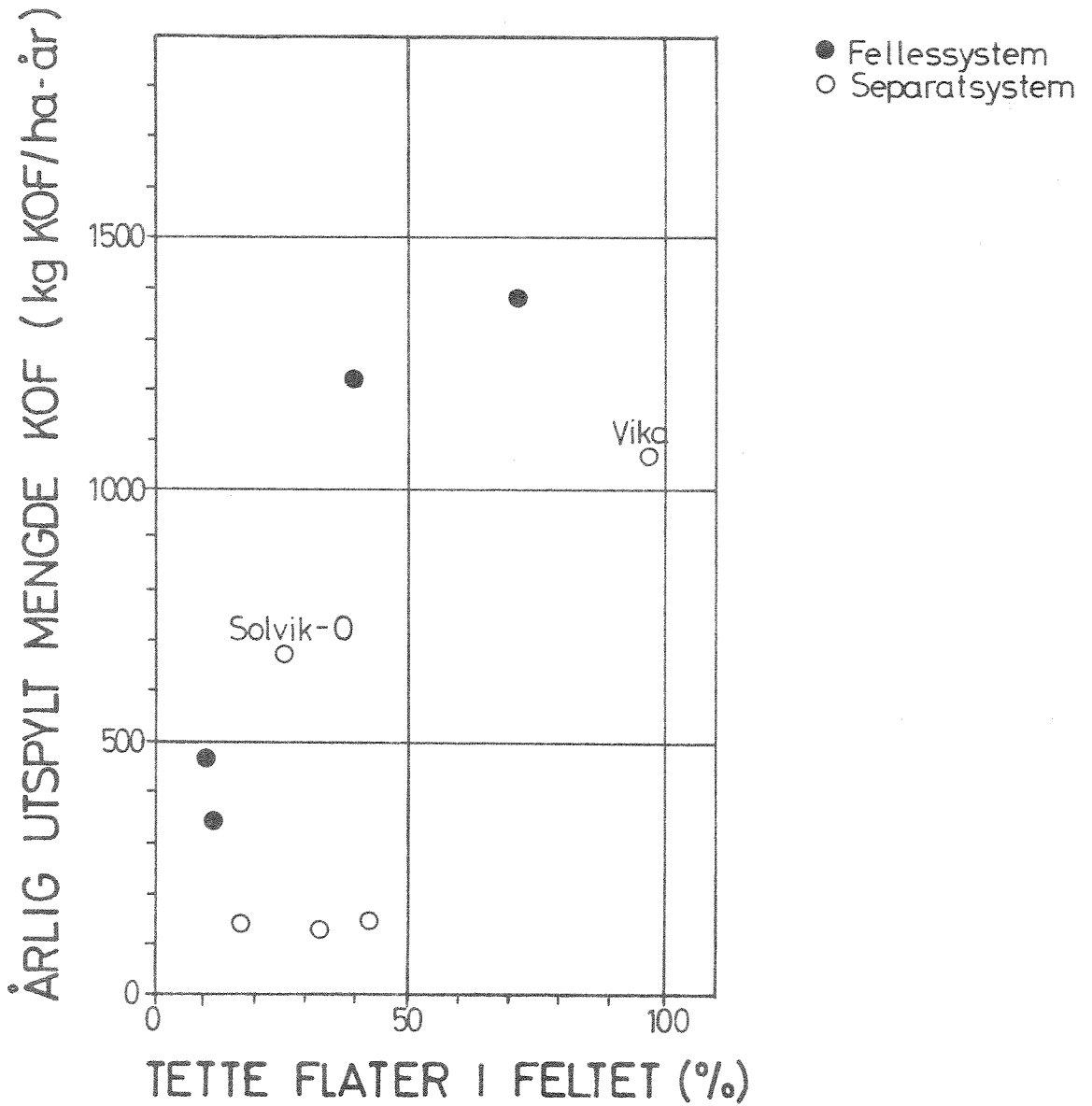


Fig. 22. Årlig mengde KOF i overvann pr. hektar. Fellessystemet kontra separatsystemet.

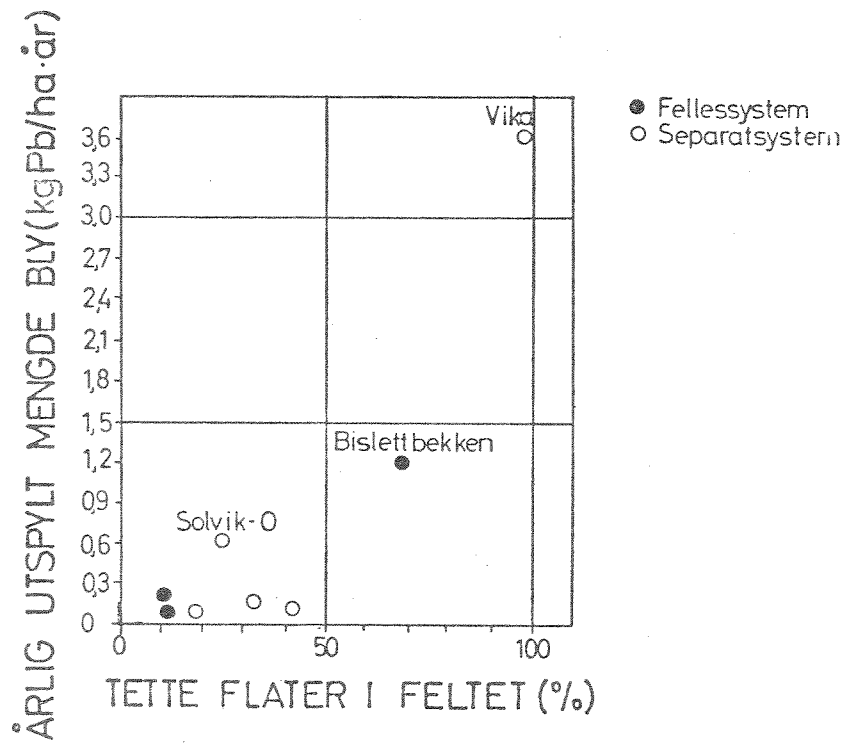


Fig. 23. Årlige mengder bly i overvann pr. hektar. Fellessystemet kontra separatsystemet.

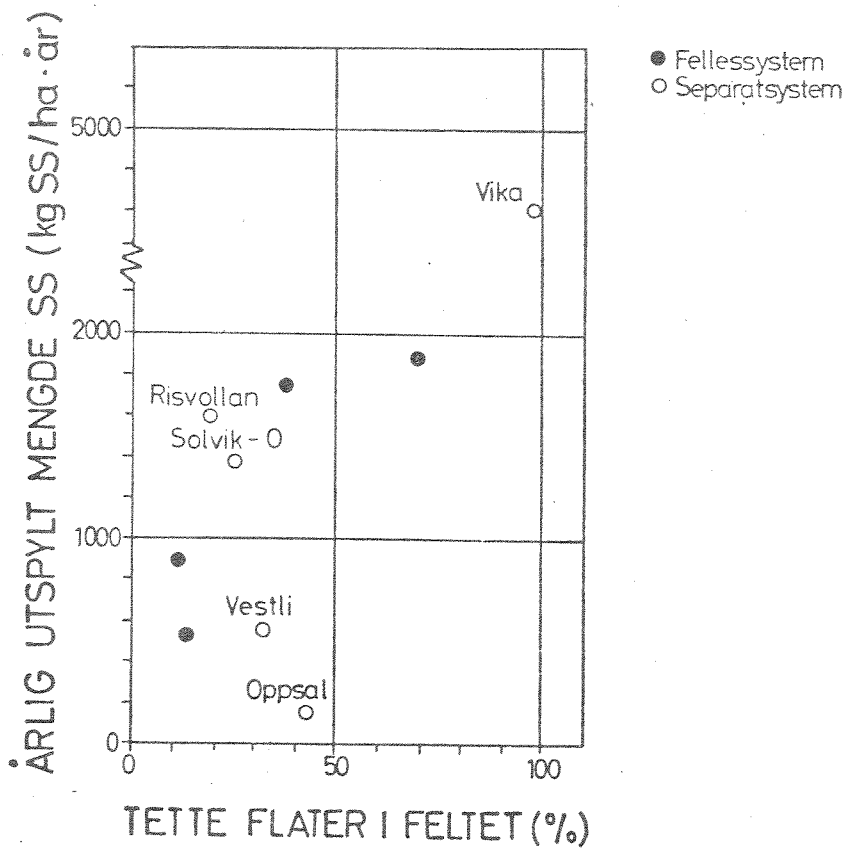


Fig. 24. Årlig mengde SS i overvann pr. hektar. Fellessystemet kontra separatsystemet.

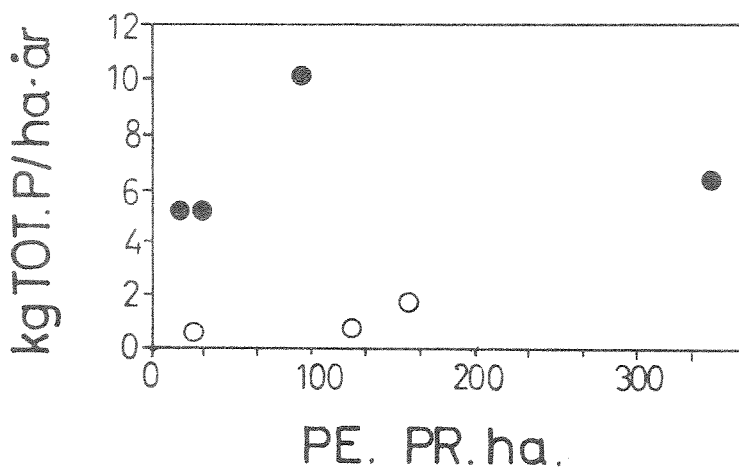
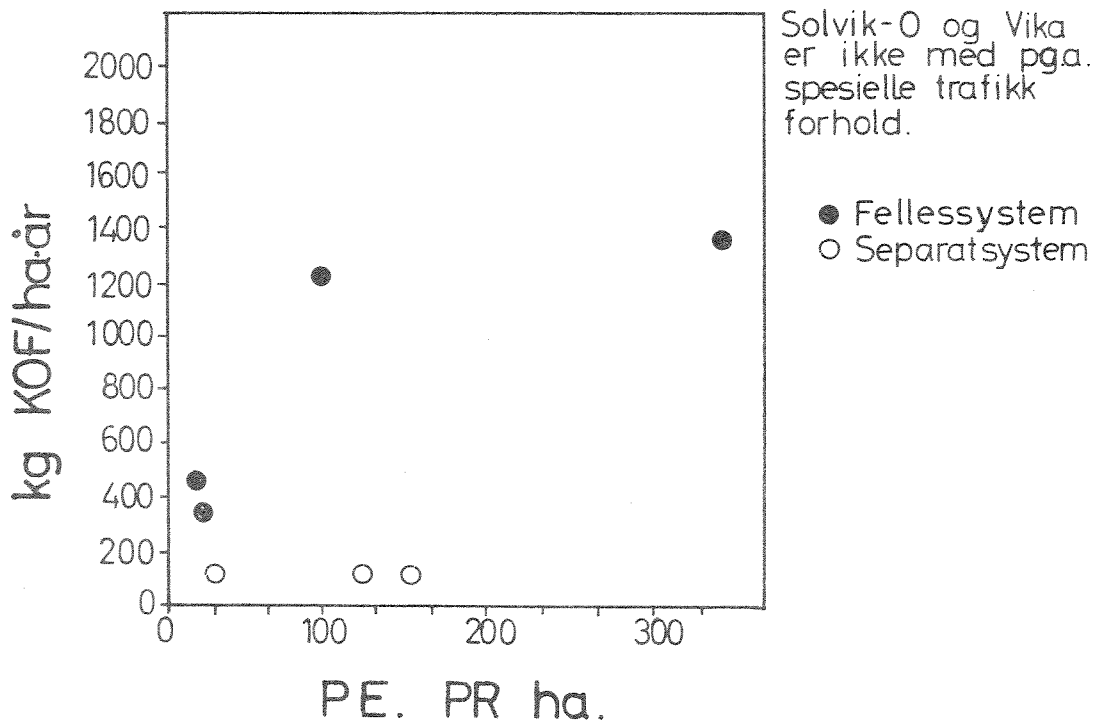


Fig. 25. Årlige mengder stoffstrømning i overvann kontra folketetthet (PE/ha).

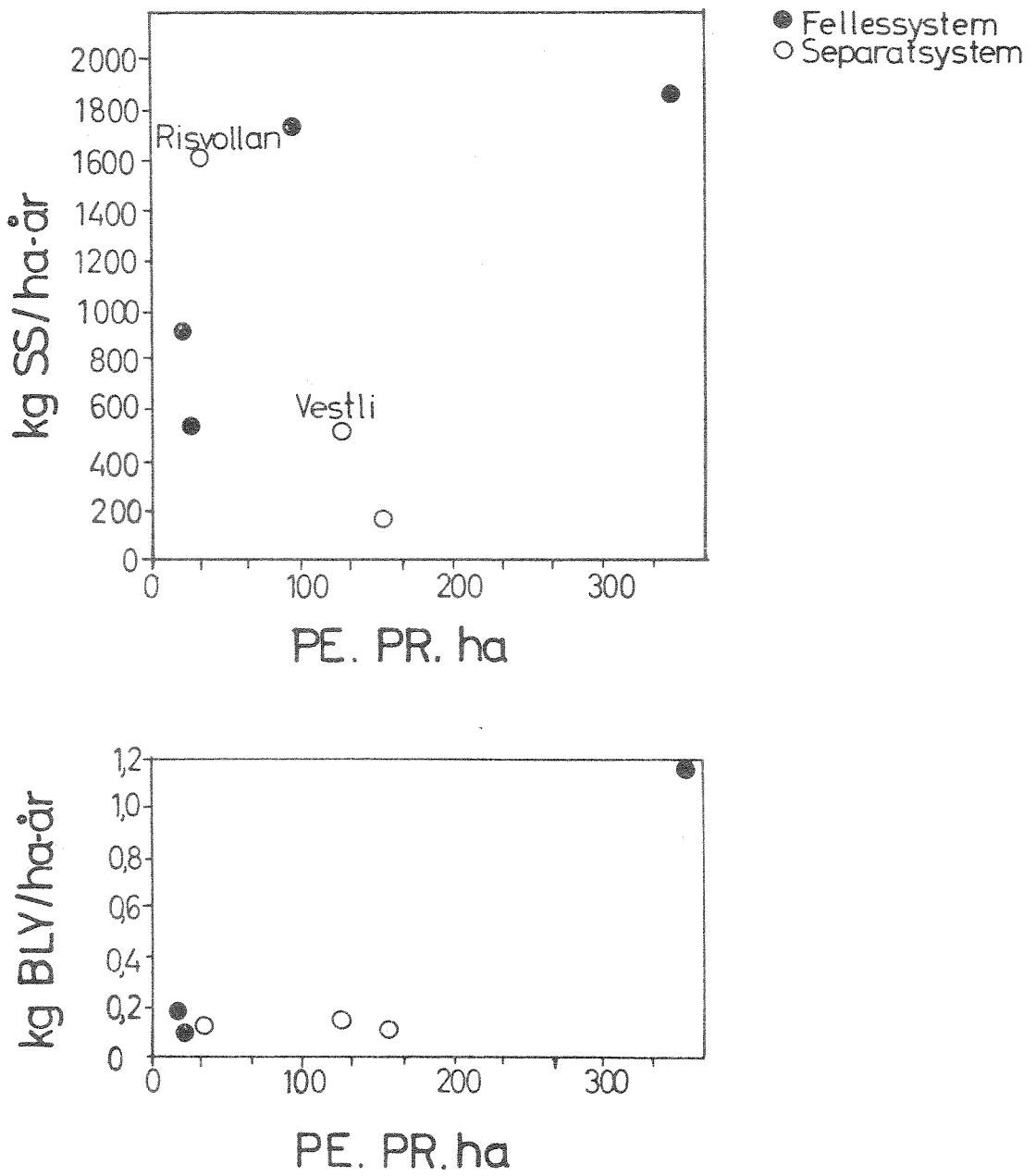


Fig. 26. Årlige mengder stoffstrømning i overvann kontra folketetthet (P.E./ha).

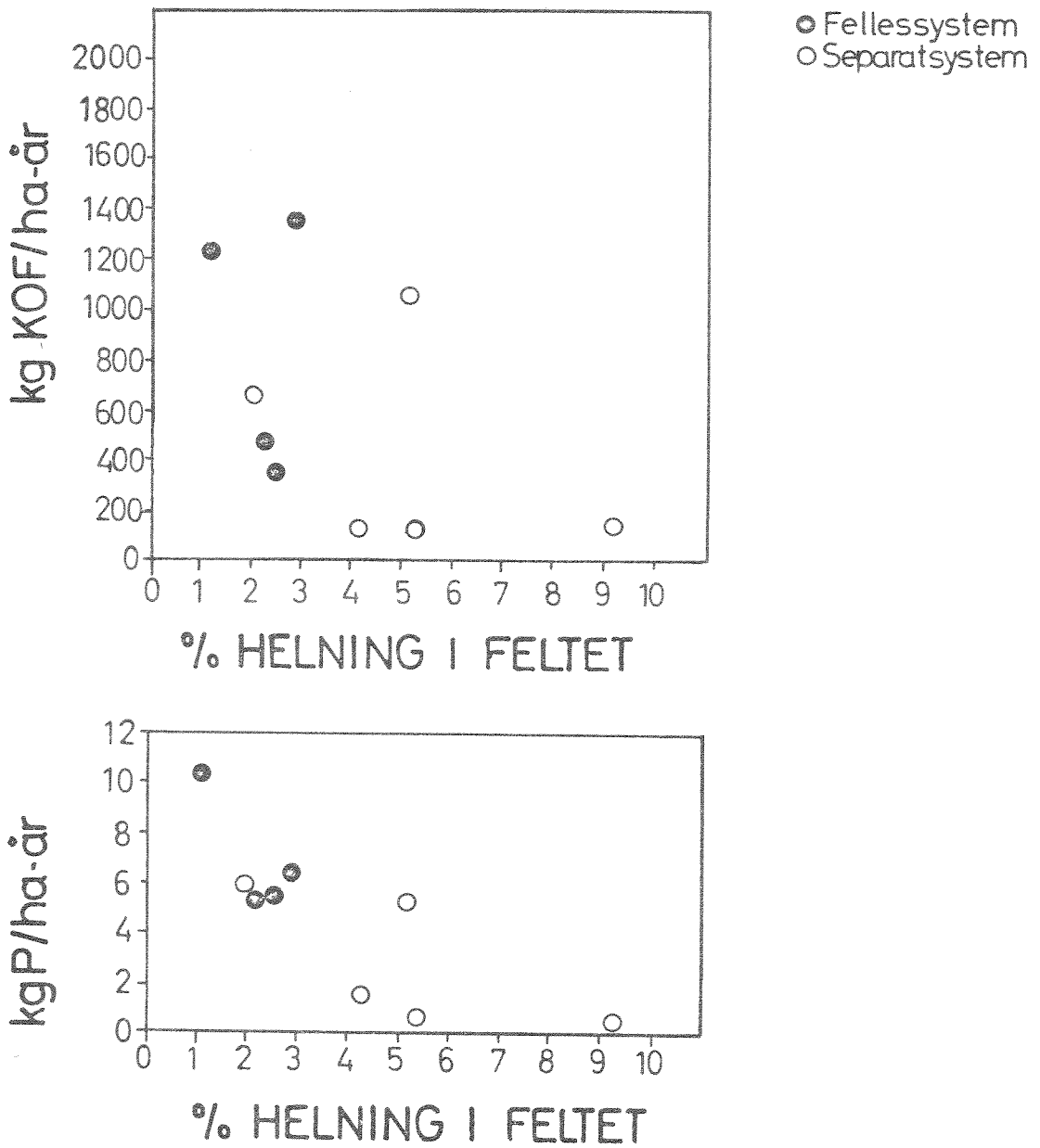


Fig. 27. Årlige mengder stoffstrømning i overvann kontra midlere helning i feltene.

I fig. 25 og 26 er årlige mengder av SS, KOF, Tot-P og bly plottet mot antall personekvivalenter pr. ha (pe./ha). Fellessystemfeltene viser en tendens til økning i årlige mengder for alle parametre når antall PE/ha øker. Punktene for separatsystemfeltene i Vika og Solvik, 0 er ikke plottet inn, da disse har en meget stor andel med trafikkarealer. Risvollanfeltet og Vestlifeltet har hatt noe anleggsvirksomhet, hvilket forklarer hvorfor punktene for separatsystemfeltene viser en dårlig korrelasjon for SS.

En korrelasjon mellom årlige utspylte mengder av de to komponentene KOF og Tot-P kontra midlere helning i feltet er vist på fig. 27. Helningen på et rør i fellessystemet virker slik at en større helning gir mindre avlagrede mengder i tørrvårsperioder. Denne faktor overlages imidlertid av andre faktorer som f.eks. tette flater i feltene. Dette kan være årsaken til at punktene i fellessystemfeltene ligger noe spredt. For øvrig er det en for liten forskjell i helning mellom de enkelte fellessystemfeltene til å kunne vente en korrelasjon. SS og bly viste liten eller ingen korrelasjon med helningen i feltet.

8. SAMMENLIKNING MELLOM FELLESSYSTEMFELTER OG SEPARATSYSTEMFELTER - RØRAVLAGRINGER

Overvannet fra separatsystemfelter holdes atskilt fra spillvannet og går i et eget rørrnett. Overvannets forurensninger vil i dette system hovedsakelig skrive seg fra overflater i feltet.

Overvannet i fellessystemer går i samme rørrnett som spillvannet. I fellessystemene finnes nesten alltid rør hvor man i tørrvårsperioder har dårlig selvrenging, og hvor man følgelig får avlagringer som bygges opp i tørrvårsperioder. Ved nedbør skyller overvannet i fellessystemene med seg både disse røravlagringer og forurensningene på overflaten i feltene. Dersom et fellessystemfelt og et separatsystemfelt har like forhold på overflaten, vil en forskjell i utspylt stoffmengde som følge av et regn, skyldes røravlagringer fra fellessystemet.

Den enkleste måten å karakterisere overflaten i feltene på er å benytte prosentandel tette flater eller antall personekvivalenter pr. ha i feltet. Fig. 20 - 26 i kapittel 7 viser årlig utspylt mengde av ulike komponenter kontra prosent tette flater og befolkningstetthet.

Det er en helt klar forskjell mellom sammenliknbare fellessystemfelter og separatsystemfelter. Differansen antas å skyldes rørutspylinger fra ledninger i fellessystemfeltene. Fig. 20 - 24 indikerer at andelen rørutspylinger i fellessystemene er relativt konstant, uavhengig av prosent tette flater. Dette virker logisk, da det er helningen på rørene som særlig bestemmer røravlagringene. Grovt sett ser det ut som om minst halvparten av forurensningene i overvannsbidraget i fellessystemfeltene, uttrykt som KOF, SS og Tot-P, stammer fra røravlagringer.

9. REFERANSER

1. Kalleberg, K. og Malme, A.: "Forurensninger i overvann basert på undersøkelser i Trondheim". Hovedoppgave. Institutt for vassbygging, NTH. Trondheim 1974.
2. Glomnes, J.: "Analyse av avløpsproblemene i Rukklabekken nedslagsfelt i Sandefjord". Hovedoppgave. Institutt for vassbygging, NTH. Trondheim 1974.
3. Saltveit, N.: "Overvannsforurensninger i separate avløpssystemer". VANN nr. 4 1975.
4. Lager, J. og Smith, W.: "Urban Stormwater Management and Technology - An Assessment". EPA-670/2-74-040. Cincinnati, Ohio. December 1974.