

NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning  NIVA

Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Forskningsråd

Postadresse: Brekke 23 52 80
Postboks 333, Blindern Gaustadalleen 46 69 60
Oslo 3 Kjeller 71 47 59

Rapportnummer: 0-82124
Undernummer:
Løpenummer: 1456
Begrenset distribusjon:

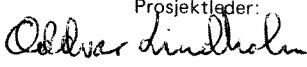
Rapportens tittel: Samlet optimalisering av avløpsrenseanlegg og avløps- ledningsnett VA 3/83	Dato: 21. 2. 1983
Forfatter(e): Oddvar Lindholm	Prosjektnummer: 0-82124
	Faggruppe: Urban hydrologi
	Geografisk område: Norge
	Antall sider (inkl. bilag): 47

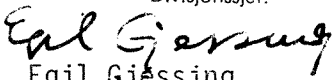
Oppdragsgiver: Statens forurensningstilsyn (SFT) og NIVA	Oppdragsg. ref. (evt. NTNf-nr.):
---	----------------------------------

Ekstrakt:
Kost/nytte beregninger for et bestemt felt har vist at tiltak i ledningsnett
kan være gunstigere enn tiltak for å bedre renseseffekten i avløpsrenseanlegget.
Unøyaktigheten i kost/nytte beregninger er svært stor som følge av dårlig
kjennskap til tiltakenes funksjon og materialstrømmenes størrelse.
Selv med dagens kunnskapsnivå er likevel kost/nytte beregninger hensiktsmessige
da de dårligste tiltakene lett kan skilles fra de beste. Ved å utføre bereg-
ningene får dessuten planleggeren verdifull innsikt i problemet.

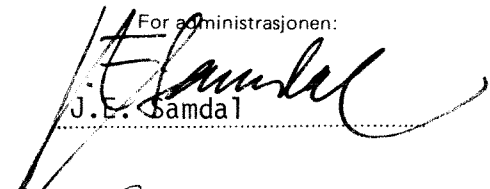

4 emneord, norske:
1. Kost/nytte beregninger
2. Optimalisering
3. Kommunale avløpsanlegg
4. Avløpsnett
VA- 3/83

4 emneord, engelske:
1. Cost/benefit analysis
2. Optimization
3. Sewerage systems
4. Sewer networks

Prosjektleder:

Oddvar Lindholm

Divisjonssjef:

Egil Gjessing

ISBN 82-577-0589-6

For administrasjonen:

J. E. Samdal

Lars N. Overrein

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING
OSLO

0-82124

SAMLET OPTIMALISERING AV AVLØPSRENSSEANLEGG
OG
AVLØPSLEDNINGSNETT

Del A

Oslo, 1. februar 1983

Prosjektleder: Oddvar Lindholm

For administrasjonen:

John Erik Samdal

Lars N. Overrein

INNHALDSFORTEGNELSE

	Side
FORORD	3
1. SAMMENDRAG	4
2. INNLEDNING - PROBLEMORIENTERING	6
3. DATAGRUNNLAG FRA FELTET ØYA I TRONDHEIM	8
4. KOST/NYTTE ANALYSE AV MULIGE TILTAK MOT UTSLIPP AV FOSFOR OG ORGANISK STOFF	16
5. FØLSOMHETSANALYSE PÅ USIKRE DATA	32
6. LITTERATUR	46

FORORD

Prosjektet "Samlet optimalisering av avløpsnett og avløpsrenseanlegg" er finansiert av Statens forurensningstilsyn (SFT) og Norsk institutt for vannforskning (NIVA). Prosjektet er delt i fire deler:

- A) Kost/nytte-beregninger for tiltak i ledningsnett og renseanlegg i Øyafeltet. Foreliggende rapport viser resultatet av disse beregningene.
- B) Tiltak for å bedre vannkvaliteten i Kolbotnvann.

Arbeidet i forbindelse med dette punktet rapporteres sammen med prosjektet "Restaurering av Kolbotnvann". Dette er også et NIVA-prosjekt delvis finansiert av SFT.

- C) Betydningen for forurensningssituasjonen av tørrværsavsetninger i avløpsrør.

Fase II av prosjektet "Tørrværsavsetninger i fellessystemrør" vil blant annet ta for seg et avløpsfelt i Oslo hvor man dels vil måle rørutspylinger under regnskyll og dels beregne den forurensningsmessige betydningen av dette.

Dette arbeidet vil bli beskrevet i egen rapport fra det nevnte prosjektets fase II.

- D) I den grad ressurser og midler strekker til vil man ajourføre og forbedre NIVA's matematiske modell for avløpsrenseanlegg. Dette er et viktig verktøy for å kunne analysere kost/nytte av tiltak på ledningsnettet kontra enhetsprosesser i avløpsrenseanlegget. Dette arbeidet rapporteres separat.

Oddvar Lindholm
Brekke, februar 1983

1. SAMMENDRAG

Det er behov for å redusere utslippene til en rekke av våre vannforekomster. Utslippene kan skrive seg fra naturlig tilrenning, industri, landbruk og fra kommunale kilder. For å få mest mulig igjen for investeringene må man beregne kost/nytte-faktorer for alle aktuelle tiltak. Man må således sammenligne alle enkelttiltak innenfor alle hovedtypene av utslipp. I enkelte tilfeller vil det være tilstrekkelig å vurdere tiltak innenfor kommunal-sektoren alene.

Denne utredningen viser en sammenligning av tiltak i et avløpsfelt, i dettes ledningsnett og på avløprensesanlegget. Det feltet som er valgt kalles for Øya og ligger i Trondheim. Dette er valgt da kjennskapet til materialbalansen, feltet og ledningsnettets er meget godt i forhold til mange andre avløpsfelt.

Konklusjoner i utredningene viser blant annet:

- Kunnskapene om den kvalitative sammensetting av de ulike delstrømmene i et avløpsfelt er vanligvis såpass mangelfull at store unøyaktigheter i kost/nytte beregningene innføres.
- Kunnskapsnivået om funksjonen og ytelsesevnen til de forskjellige tiltakene er også relativt lavt. Dette medfører også relativt store usikkerheter i kost/nytte-beregningene.
- På tross av usikkerhetene i kost/nytte-beregningene vil man likevel vanligvis med god sikkerhetsmargin kunne skille de beste tiltakene fra de dårligste.
- Ved å utføre slike kost/nytte-beregninger får planleggeren verdifull innsikt i samspillet mellom tiltakene og deres innvirkning på målet, samt over betydningen av svake punkter i beslutningsgrunnlaget.
- Det kan være riktig å velge et tiltak med noe ugunstigere kost/nytte-faktor dersom dette har et vesentlig mindre spenn i

usikkerheten enn tiltak med teoretisk beregnet gunstigere kost/nytte-faktor og stor usikkerhet i beregningene.

- Store innsparinger kan gjøres ved å velge de mest kost/effektive tiltak i riktig rekkefølge. Ved å bedre kunnskapene om tiltakenes funksjon og om materialstrømmene, vil også betydelige innsparinger kunne gjøres ved at utvelgelsen av de mest gunstige tiltakene gjøres på en sikrere måte.

Kunnskapene kan best økes ved å satse på målrettede FoU-prosjekter.

- Beregningene for Øya viste at tiltak i ledningsnettene som f.eks. hvirveloverløp, fordrøyningsvolum og spyling av tørrværsavsetninger til rensanlegg kan være mer effektive tiltak enn f.eks. forbedringer på et primærfellingsanlegg.
- Av spesielt stor betydning for resultatene i kost/nytte-beregningene er de standardtallene som anvendes for spesifikk forureningsproduksjon pr. person. Usikkerheter på ± 20 prosent gjør utslag i kost/nytte-beregningene på over 100 prosent. Det er derfor av særlig betydning å skaffe frem mer kunnskap om spesifikk kommunal forureningsproduksjon.

2. INNLEDNING - PROBLEMORIENTERING

Når man ønsker å begrense utslipp av kommunale forurensninger fra et avløpsdistrikt, er første relevante tiltak å installere et renseanlegg. Et av de enkleste rensetiltak som fjerner relativt store mengder med både organisk stoff og fosfor er primærfelling. Dersom forurensnings-situasjonen i resipientene ikke er tilfredsstillende selv etter at et slikt rensetiltak er innført, eller vurdert innført, bør en "samlet optimalisering" for alle relevante tiltak utføres.

Da vil for eksempel følgende tiltak være mulige alternativer:

- Ytterligere forbedring av renseanleggets renseseffekt ved å supplere med nye enhetsprosesser, eller ved utvidelse eller forbedring av eksisterende enhetsprosesser i "utgangs"-renseanlegget.
- Forbedring av tilføringsgrad for spillvann i tørrvær ved rehabilitering av dårlige rør, eliminasjon av feilkoblinger, ulovlige utløp etc.
- Minskning av utslipp via overløp ved installering av fordrøyningsvolumer, forsinkelse av overvannstilførsel, infiltrasjon av overvann i grunnen, utspyling av røravlagringer under kontrollerte forhold, installering av hvirveloverløp eller andre renseninretninger i regnvannsoverløpene.
- Valg av en overløpsinnstilling og en maksimalt videreført vannmengde fra eventuelle fordrøyningsbasseng, som er slik at det totale utslippet fra overløpet og renseanlegget minimaliseres.
- Reduksjon av forurensningsmengdene ved kildene, som f.eks. rutinemessig feiing av gater og fortauer, eliminasjon av muligheter for slamavlagring i ledningene, m.m.

Alle disse tiltakene vil bedre forurensningssituasjonen, men de vil ha ulik kost/nytte-faktor og de vil ha ulik grad av mulighet til å begrense

utslippene så det monner. Det er derfor viktig å gjøre en kost/nytte-analyse av i hvilken rekkefølge de ulike tiltakene bør gjennomføres.

Det er likeledes viktig å beregne kost/nytte-faktorer for tiltakenes effekt på alle relevante forurensningsparametere, da et bestemt tiltak kan gi f.eks. stor effekt med hensyn til fosfor, men liten effekt på organisk stoff.

I denne utredningen er det vist kost/nytte-analyser for et felt i Trondheim kalt Øya. Dette feltet har ikke eget renseanlegg, men transporterer sitt avløp til et mekanisk anlegg på Høvringen.

Feltet er likevel valgt da man for dette har en meget god oversikt over materialbalansen for organisk stoff (KOF) og fosfor. Likeledes er tilstanden for avløpsledningsnett og data fra feltet for øvrig godt kjent.

Det er meget skjelden at man kjenner både kvantiteten og kvaliteten av spillvannet, av overvannet og av tørrværsavlagringen i rørsystemet i samme felt. Da det er meget kostbart og tidkrevende og samle et slikt materiale, har man valgt å bruke Øya-feltets basisdata, selv om dette ikke har, eller vil få, et eget høygradig renseanlegg. Som demonstrasjonsobjekt er det imidlertid velegnet, da denne utredningen har som mål å vise prinsippene i en kost/nytte-analyse.

3. DATAGRUNNLAG FRA FELTET ØYA I TRONDHEIM

Øya-feltet ligger sentralt i Trondheim og er kloakkert etter fellessystemet. Avløpsvannet i området skal samles og ledes til renseanlegget på Høvringen.

Feltet er flatt, og grunnen består av marine avsetninger med sand og siltig leire. Området er boligområde hvor bebyggelsen vesentlig består av eldre småhus med en del større boligblokker langs Elgeseter gate. Av industri- og institusjonsbygg fins 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.

Det ble i 1974 utført vannkvalitets- og avløpsmengdemålinger i forbindelse med et hovedarbeide ved NTH (2), og i samarbeid med PRA-prosjektet "Forurensninger i overvann" (3).

Data fra feltet (1974):

Areal:	21,3 ha
Takflater:	2,8 ha - 13%
Gater m/fortau:	5,1 ha - 24%
Parker/plener:	13,4 ha - 63%

Midlere fall på feltets overflate	ca. 11 ‰
Midlere veiet fall på hovedledningene	ca. 8 ‰
Midlere veiet rørdiameter	ca. 206 mm
Total lengde på hovedledningene	2946 m

Antall fysiske personer	= 1789 P.
Antall personenheter	= 1981 P.E.
Befolkningstetthet	= 93 P.E./ha
Målt midlere tørrværsavrenning	= 14,1 l/s
Målt midlere tørrværsavrenning	= 615 l/P.E. x dag
Anslått mengde infiltrasjonsvann	= ca. 10 l/s

Midlere konsentrasjon av fosfor (Tot.P)	
i tørrvørsavrenning	= 2,2 mg P/l
Midlere konsentrasjon av organisk stoff	
(KOF) i tørrvørsavrenning	= 166 mg KOF/l

En ny studie av feltet ble utført i 1977 som en hovedoppgave (1):

Data fra feltet i (1977)

Antall fysiske personer	=	1209
Antall personenheter	=	ca. 1521
Målt midlere tørrvørsavrenning	=	ca. 11,6 l/s
Målt midlere tørrvørsavrenning	=	ca. 659 l/P.E. x dag
Anslått/målt mengde infiltrasjonsvann	=	7,9 l/s
Anslått/målt mengde spillvann	=	3,7 l/s
Anslått/målt mengde vannforsyning	=	5,0 l/s
Målt konsentrasjon i tørrvær kl. 15.00	=	3,3 mg P/l
Beregnet midlere konsentrasjon over et middeldøgn = $3,3 \times 0,75$	=	2,5 mg P/l

(Basert på målinger for konsentrasjonsvariasjoner over døgnet i andre felter antas 75 prosent av døgnmiddel kl. 15.00).

Fysisk tilstand i nettet

Ved undersøkelsen utført av Aaberge (1) i 1977 ble det konstatert "ofte sedimentert slam og grus i rør med liten vannføring". Imidlertid har man ikke registrert spesielle driftsproblemer, hvilket tilsier at det sedimenterte slamm sannsynligvis spyles ut under regnskyll i slik grad at gjentetting ikke skjer.

Grunnvannsstanden (GV) i området varierer med årstider og lokalitet, samt fra år til år, og ligger i området 0,4-6 meter under terreng (1). Avløpsnettets dybde i terrenget varierer mellom 2,5 m og ca. 5 m. Noe av avløpsnettets vil derfor tidvis ligge under GV. Dette tilsier at spillvann vil lekke ut av nettet, samtidig som grunnvann vil kunne komme inn i deler av nettet på samme tid.

Avløpsnettene er undersøkt visuelt og med TV (1) og viser at ledningene og kummene har en standard som gjør inn- og utlekking til et problem. Undersøkelsene indikerte at lekkasjevann fra vannledningsnettene tar veien ned i avløpsledningene.

En kulvert går sentralt gjennom området. Denne er stort sett en eggformet kulvert lagt i 1912/26, og dels en kulvert med støpt bunn med ca. 1 m høye sider murt i naturstein og mørtel. For øvrig er ledningene stort sett av betong med skjøtemateriale av tjæredrev og mørtel. Utførelsesår var i perioden 1912-1950, med "middel" nærmere 1920.

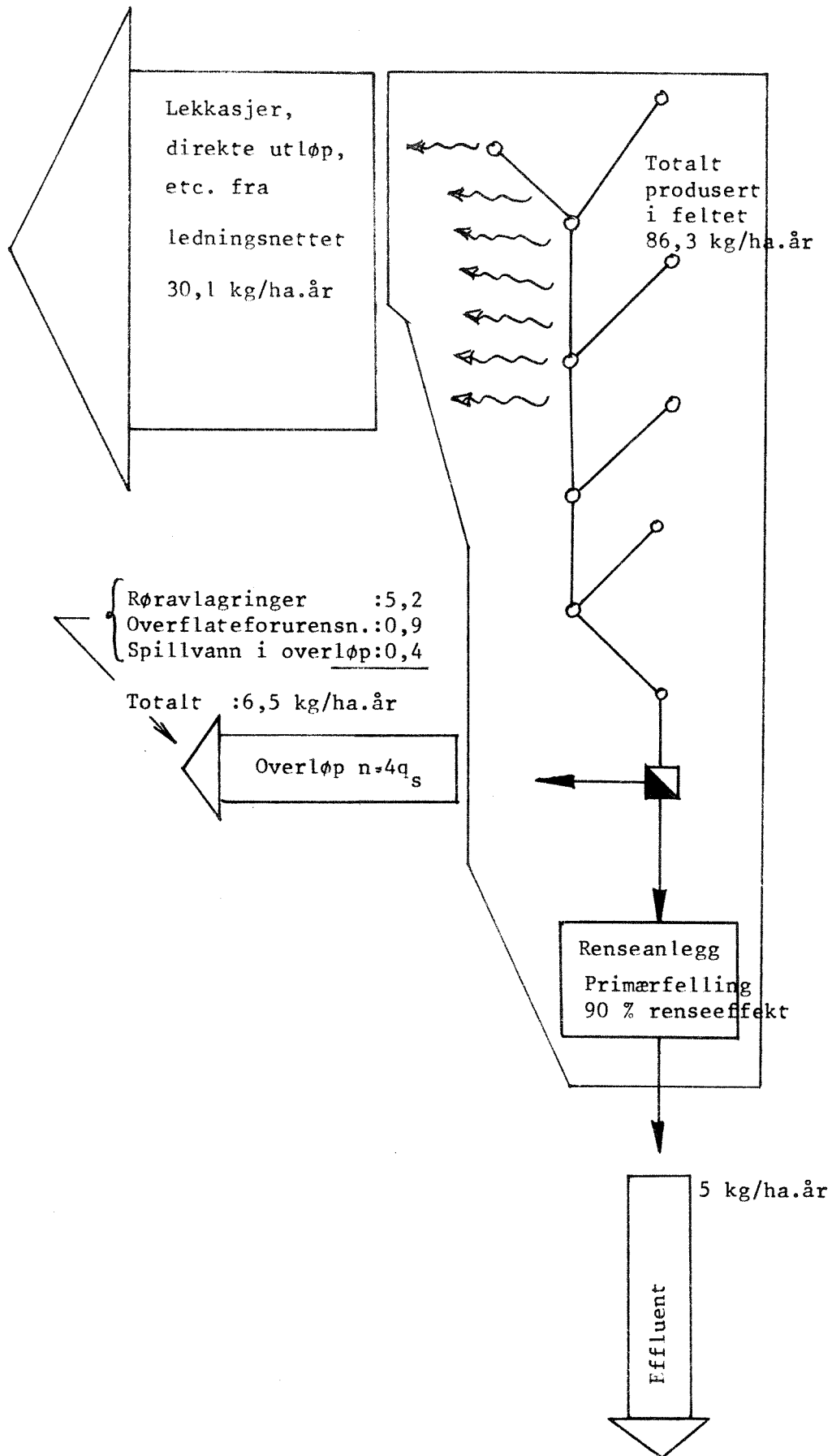
Materialbalanse i avløpsfeltet

Basert på arbeidene til Kalleberg og Malme (2) og PRA-rapport nr. 7 (3) har en beregnet årlige sedimenterte mengder av total fosfor (Tot.P) og organisk stoff (KOF) i rørene i Øya-feltet (4).

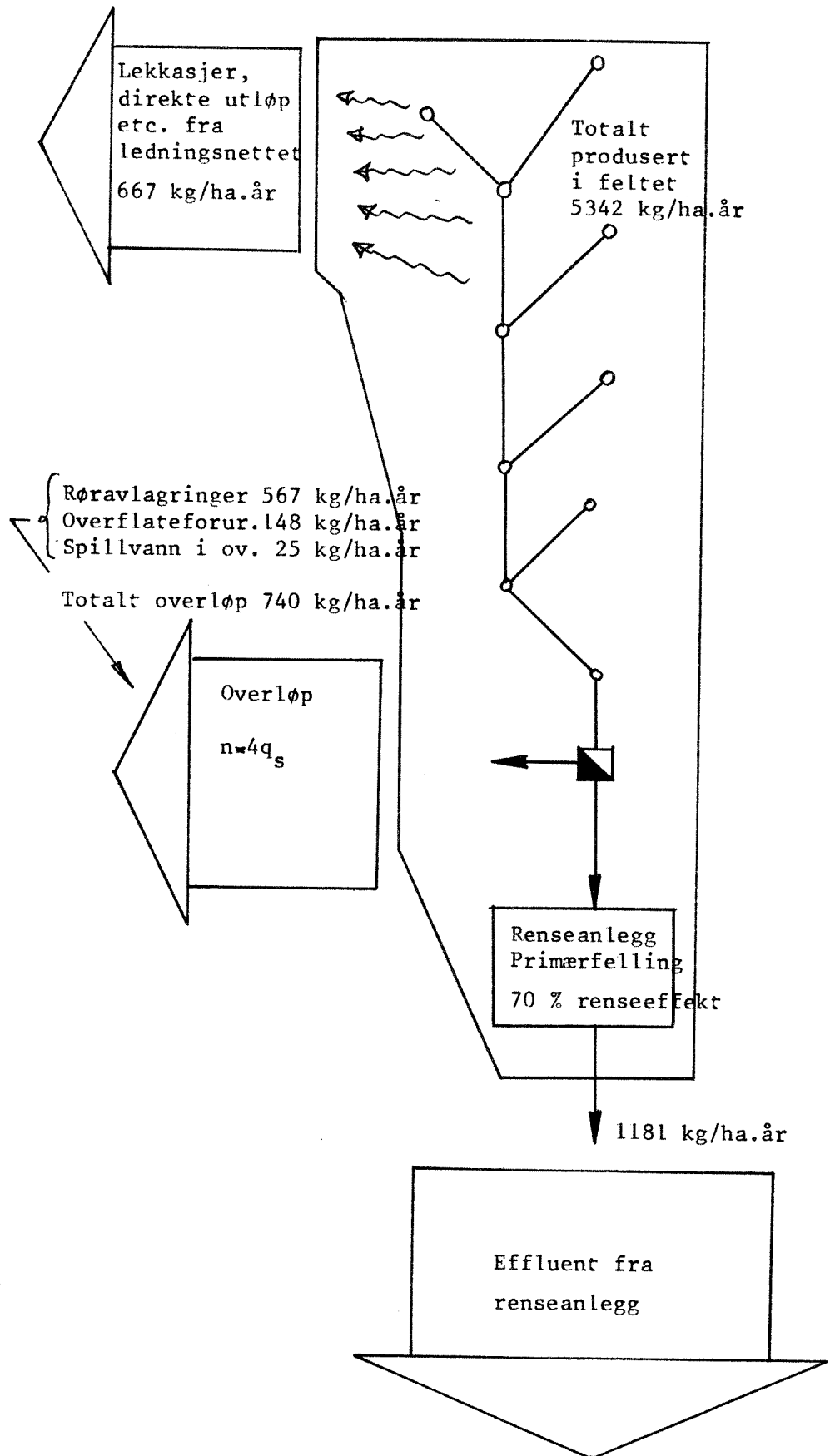
Disse årlige mengdene røravlagringer er sett i forhold til totalproduksjonen i feltet. Totalproduksjonen er beregnet som produktet av antall P.E. (i 1974) og de standard spesifikke produksjonstall 2,5 g P/p.d. og 150 g KOF/p.d. Tabell 1, figur 1 og 2 er satt opp på basis av beregningene i ref. (4).

Tabell 1. Materialbalanse i feltet, Øya i 1974.

Materialstrøm	Tot.P		KOF	
	kg/ha x år	% av sp.v. årsprod.	kg/ha x år	% av sp.v. årsprod.
Årlig totalproduksjon i spillvann	84,8	100,0	5092	100,0
Overflateforurens.	1,5	1,8	250	4,9
Røravlagringer	8,8	10,4	960	18,8
Målt midlere tørrværs- avrenning (1974)	45,9	54,2	3465	68,0
Lekkasjer og mangl. tilknytn. til avløps- nettlet av spillvann	30,1	35,4	667	13,2
Røravlagringer i overløp (n = 4 x qs)	5,2	6,1	567	11,1
Overflateforurensn. i overløp (n = 4 x qs)	0,9	1,0	148	2,9
Spillvann i overløp (n = 4 x qs)	0,4	0,5	25	0,5
Total mengde i overløp (n = 4 x qs)	6,5	7,7	740	14,5
Årlig mengde til renseanlegg	49,7	58,6	3935	77,3
Årlig mengde fra renseanlegg (P-90% og KOF-70%)	5,0	5,9	1181	23,2



Figur 1. Materialbalanse for fosfor i Øya feltet, 1974.



Figur 2. Materialbalanse for organisk stoff (KOF) i Øya feltet, 1974

Ser man på tabell 1, vil man oppdage at prosent lekkasjer og manglende tilknytning etc. for Tot.P og KOF er ganske forskjellige. Dette skyldes primært forskjellig andel av årlige røravlagringer for de to stoffene. Organisk stoff er mer knyttet til sedimenterbare partikler enn fosfor og dette fører til at fosfor i større grad lekker ut gjennom skjøter, sprekker etc.

Andre feilkilder kan være utspyling av stoff fra gatesandfang til ledningsnett, og dessuten feil anslag på spesifikk forurensningsproduksjon for KOF i forhold til Tot.P.

For øvrig vil det alltid være store usikkerheter i kvalitetsmålingene og de antagelsene som danner basis for tabell 1.

Figurene 1 og 2 viser materialbalansen for de to parameterene. Det er antatt at et primærfellings-reneanlegg med renseeffekt 90 prosent for fosfor og 70 prosent for KOF fins nedstrøms avløpsfeltet. Dette for å illustrere en typisk situasjon for avløpsfelt som befinner seg ved sårbare resipienter.

Spillvannslekkasjer målt i 1977

Aaberge (1) gjorde en del målinger i 1977 som kan si noe om lekkasjen av spillvann fra Øya's avløpsnett på det tidspunktet (okt. 1977).

Det er målt et vannforbruk på 5 l/s mens spillvannsavløpet er målt til 3,7 l/s. Dette kan tyde på at ca. 25 prosent av spillvannet lekker ut av ledningsnettets skjøter, sprekker, o.l.

Det er videre målt en konsentrasjon på 3,3 mg P/l ca. kl. 15.00 (29. okt: 3,25 mg/l, 30. okt: 3,25 mg/l og 31. okt: 3,35 mg/l). Ut fra tidligere målinger i tilsvarende felter kan man grovt anslå at konsentrasjonen av Tot.P i kloakk kl. 15.00 er ca. 25 prosent høyere enn middelkonsentrasjonen over døgnet. Antar man videre en spesifikk produksjon på 2,5 g P/p.e.x dag og 559 l/p.d.x dag (målt av Aaberge), vil man finne en "målt" middelkonsentrasjon på 2,5 mg P/l, mens teoretisk beregnet skulle være 3,8 mg P/l. Dette vil si at 34,2 prosent fosfor "mangler".

Trekker man fra den målte røravlagring på 10,4 prosent, vil man kunne anta at ca. 24 prosent av spillvannets fosfor lekker ut via skjøter, sprekker etc. (Dette viser at både spillvannsmengde- og fosforbalansebetraktningen indikerer ca. 25 prosent tap via skjøter etc.) De tilsvarende målingene i 1974 viste 35 prosent tap av fosfor og ca. 13 prosent tap av organisk stoff.

Siden hovedtyngden av målingene av vannkvalitet er utført i 1974, velger man i denne rapporten å benytte dataene fra 1974-situasjonen.

4. KOST/NYTTE-ANALYSE AV MULIGE TILTAK MOT UTSLIPP AV FOSFOR OG ORGANISK STOFF

A. Rehabilitering av ledningsnett

Aaberge (1) har gjennomgått hele avløpsnettets på Øya med tanke på rehabilitering, og har i sin hovedoppgave antatt at hele hovedledningsnettets rehabiliteres. Ved bruk av lekkasjesøkningssteknikk med f.eks. sporstoffer ville man sannsynligvis ha kunnet finne store deler av ledningsnettets i god stand og dermed redusert rehabiliteringsutgiftene.

Aaberges forslag gir imidlertid følgende kostnader, når SFT's kostnads-kurve fra 1980 (5) benyttes. Det er antatt 15 prosent prisstigning pr. år fra utgivelsen av kurvene.

- Hovedledn. fra kum 1 til 28 (1):
Polyesterstrømpe 9 mm, D = 700 mm
Kostnad = 471 m x 1500 kr/m x 1,3 = 918 450 kr
- Ledn. 28 til ledn. 38:
Polyesterstrømpe 6 mm, D = 450 mm
Kostnad = 162 m x 950 kr/m x 1,3 = 200 070 kr
- Ledn. 38 til ledn. 49:
Polyesterstrømpe 6 mm, D = 300 mm
Kostnad = 86 m x 700 kr/m x 1,3 = 78 260 kr
- Ledn. 12 til ledn. 13
Polyesterstrømpe 3 mm, D = 225 mm
Kostnad = 105 m x 490 kr/m x 1,3 = 66 885 kr
- Ledn. 12-14
Polyesterstrømpe 6 mm, D = 300 mm
Kostnad = 92 m x 700 kr/m x 1,3 = 84 630 kr

Resten av nettet er foreslått utbedret ved injisering av rørskjøtene.

- Diameter 300 mm
Kostnad = 129 m x 450 kr/m x 1,3 = 75 465 kr

- Diameter 225 mm
Kostnad = 1709 x 400 kr/m x 1,3 = 888 680 kr

- Diameter 150 mm
Kostnad = 50 m x 360 kr/m x 1,3 = 23 400 kr

Total lengde rør rehabilitert = 2805 m.

Totale rehabiliteringskostnader for ledninger = 2,34 mill kr.

19 kummer må skiftes ut.

Anslått kostnad (1):

19 x 20 000 kr/stk = 380 000 kr

33 kummer tettes ved injisering

Anslått kostnad:

33 x 2000 kr/stk = 66 000 kr

Totale rehabiliteringskostnader = 2,78 mill. kr.

Det antas at 90 prosent av lekkasjene fra ledningene kan reduseres ved fullstendig rehabilitering av hovedledningene.

Følgende kost/nytte-faktorer vil da fremkomme:

Fosfor:

Minsket utslipp = $30,1 \times 0,9 - (30,1 \times 0,9 \times 0,1) = 24,38 \text{ kg/ha.år}$

Kost/nytte = $2,78 \text{ mill kr} / 24,38 \times 21,3 \times 10^{-3} = \underline{5,35 \text{ mill kr/tonn.år}}$

KOF:

Minsket utslipp = $667 \times 0,9 - (667 \times 0,9 \times 0,3) = 420 \text{ kg/ha.år}$

Kost/nytte = $2,78 / 420 \times 21,3 \times 10^{-3} = \underline{0,31 \text{ mill kr/tonn.år}}$

Det er forutsatt at drifts- og vedlikeholdskostnadene ikke endrer seg nevneverdig i forhold til et ikke-rehabiliterert nett.

B. Økning av renseseffekt i renseanlegget

Det er som nevnt antatt at renseanlegget i utgangspunktet er et primærfellingsanlegg med renseseffektene 70 prosent for organisk stoff og 90 prosent for fosfor.

Det antas dessuten at renseanlegget utvides til å bli et etterfellingsanlegg. I følge SFT (6) vil man for slik anlegg kunne oppnå 95 prosent renseseffekt for organisk stoff og fosfor.

Kostnadene ved å utvide renseanlegget er basert på Johansen (7). Det er regnet 15 prosent prisstigning pr. år fra det angitte prisnivå i 1980.

Primærfelling 2000 P.E. = ca. 1850 kr/P.E.

Primærfelling Øya-feltet = 1850 kr x 1981 = 3,67 mill kr.

Etterfelling 2000 P.E. = ca. 3306 kr/P.E.

Etterfelling for Øya-feltet = 3306 x 1981 = 6,55 mill kr.

Forutsetter at renseanlegget ikke er bygget, slik at man kan velge rensealternativ uten ombygningskostnader. (Primærfelling er likevel antatt som minimumskrav). Kostnad for økning av renseseffekten = 6,55 - 3,67 = 2,88 mill kr. Økning i fjernet fosfor er 2,48 x 21,3 = 52,8 kg/år og økning i fjernet KOF er 984 x 21,3 = 20 965 kg/år.

Drift- og vedlikeholdskostnader for primærfellings- og etterfellingsrenseanlegg er i følge Johansen (7) henholdsvis 130 og 135 kr/år pr. dim. p.e. Økning i driftsutgiftene blir da ca.

kr 5 x 1981 = 9905 kr/år

Beregnes nåverdien av denne utgiften i 20 år med 7 prosent rente, blir kostnadsdifferensen:

10 x 9905 ≈ 100.000 kr

Kost/nytte-faktoren blir da:

Fosfor:

$$\text{Kost/nytte} = 2,98 \text{ mill.kr}/49,7 \times 0,05 \times 21,3 \times 10^{-3} = \underline{56,3} \text{ mill.kr/t.}\ddot{a}\text{r}$$

KOF:

$$\text{Kost/nytte} = 2,98 \text{ mill.kr}/3935 \times 0,25 \times 21,3 \times 10^{-3} = \underline{0,142} \text{ mill.kr/t.}\ddot{a}\text{r}$$

Det er valgt en rentefot p\aa 7 prosent fordi Finansdepartementet anbefaler dette for offentlige analyser. Beregningsperioden er valgt til 20 \aa r fordi renseanlegg og hvirveloverl\o p sannsynligvis ikke har s\ae rlig lenger teknisk/\o konomisk levealder, samt at levetiden til rehabilitert avl\o ppsnett er meget usikker. Om man velger 20 eller 40 \aa r, betyr dessuten relativt lite for utslaget i kost/nytte-faktoren, n\aa r rentefoten er s\aa h\o y som 7 prosent.

C. Installering av fordr\o yningsbasseng ved overl\o p

For \aa beregne vannmengder i overl\o p i l\o pet av \aa ret er det brukt en regnvarighetskurve for Varden i Sandefjord (4). Man \o nsket \aa velge et nedb\o rsm\o nster som er s\aa representativt som mulig for de omr\aa der hvor kommunale forurensninger er et prioritert problem. At \o ya-feltet ligger i et kyststr\o k med sv\ae rt god resipient endrer ikke de konklusjoner man kan trekke fra optimaliseringseksemplet; feltet kunne ha ligget hvor som helst i Norge.

Med utgangspunkt i et fordr\o yningsvolum p\aa $9 \text{ m}^3/\text{ha}$ har man i \o ya-feltet et volumbehov p\aa 192 m^3 .

Kostnadene beregnes som for et ledningsbasseng.

De sist tilgjengelige kostnadskurvene for fordr\o yningsbasseng er i Norge publisert av Lindholm (9) i 1976. I perioden 1976-1982 har anleggskostnadene for slike typer arbeider steget ca. 75 prosent. Fra kostnadskurvene i (9) f\aa r man $\text{kr } 1300/\text{m}^3$. Anleggskostnadene blir da ca:

$$1300 \text{ kr}/\text{m}^3 \times 1,75 \times 192 \text{ m}^3 = 437.000 \text{ kr}$$

Stahres anslag for 1981 (10) bekrefter disse kostnadstallene. Stahre angir drift- og vedlikehold til ca. 2 prosent av anleggskostnadene. Lager (13) angir en rekke eksempler på kostnader for drift og vedlikehold fra 0,3 prosent til 4,5 prosent pr. år av anleggskostnadene. Middelet av de 9 eksemplene Lager refererer er ca. 1,5 prosent. I denne rapporten er valgt å benytte 2 prosent pr. år.

Nåverdi av disse utgiftene blir over 20 år med 7 prosent rente:

$$437.000 \text{ kr} \times 0,02 \times 10 = 87.400 \text{ kr}$$

Totalkostnadene blir $437.000 + 87.400 = 524.400 \text{ kr}$.

Nytten av et fordrøyningsbasseng sett fra et forurensningsmessig synspunkt er hovedsakelig:

- a) Tilbakeholdelse av et vannvolum som ellers ville gå direkte i overløp. Dette volumet kan føres til renseanlegget når kapasiteten tilsier dette.
- b) Avskilling av sedimenterbart materiale av det vann som går i nødoverløp fra bassenget. Bassenget virker dermed som et mekanisk renseanlegg.

Ad.a)

Beregninger utført av Lindholm (8) viser for et felt med ca. 100 p.e./ha, overløpsinnstilling $n = 4 \times qs$, nedbørmønster over året tilsvarende innlandsklima på Østlandet og for et fordrøyningsbasseng på $9 \text{ m}^3/\text{ha}$, at årlig forurensningstap i overløpet reduseres med 90 prosent i forhold til tilsvarende overløp uten fordrøyning.

Ad.b)

Effekten av avslamming i bassenget på overløpsvannets kvalitet er svært vanskelig å anslå. I denne utredningen velger man på grunn av manglende kunnskap å utelate denne positive effekten, noe som tilsier at kost/nytte-effekten for fordrøyningsbasseng burde vært noe gunstigere enn beregnet her.

Reduksjonen i forurensninger til resipient som følge av et $9 \text{ m}^3/\text{ha}$ fordrøyningsbasseng blir da:

Fosfor:

$$\text{Red.} = 6,5 \times 21,3 \times 0,9 - (6,5 \times 21,3 \times 0,9 \times 0,1) = 112 \text{ kg/år}$$

$$\text{Kost/nytte} = 0,524/112 \times 10^{-3} = \underline{4,7 \text{ mill.kr/tonn.år}}$$

KOF:

$$\text{Red.} = 740 \times 21,3 \times 0,9 - (740 \times 21,3 \times 0,9 \times 0,3) = 9930 \text{ kg/år}$$

$$\text{Kost/nytte} = 0,524/9930 \times 10^{-3} = \underline{0,053 \text{ mill.kr/tonn.år}}$$

D. Installering av hvirveloverløp ved overløpet

Ved å installere et hvirveloverløp i regnvannsoverløpet vil man oppnå en avskilling av forurensninger. Man vil også oppnå gunstigere renseforhold da slike hvirveloverløp har en svært god hydraulisk kontroll på videreført vannmengde. Mer enn 97 prosent av årets regn (på Østlandsområdet) faller med lavere intensitet enn 15 l/s.ha . Ved slike regnintensiteter vil avrenningskoeffisienten for Øya ligge i området $0,2-0,3$. Maksimal regnvannsmengde for et regn på 15 l/s.ha vil bli ca.

$$Q_{\text{regn}} = 15 \times 21,3 \times 0,25 = 80 \text{ l/s.}$$

Hvirveloverløpet tilvirkes nå kommersielt i standard dimensjoner. Det velges et standard hvirveloverløp med $Q_{\text{dim}} = 100 \text{ l/s}$. Denne vil koste ca. 20.000 kr, Lygren (11).

Diameter på dette hvirveloverløpet er 2,4 m og innløpsstussen har en diameter på 400 mm.

Kostnadene for overløpskummen med tilknytninger anslåes til ca. kr 80.000. Det er da antatt at pumping inn ikke er nødvendig.

Totalkostnadene skulle dermed bli ca. 100.000 kr.

Drift- og vedlikeholdskostnadene for et hvirveloverløp vet man lite om foreløpig. Ut fra nåværende kunnskap anslåes arbeidsinnsatsen til ca. 1 time pr. uke à kr 150,-.

Nåverdien for 20 års drift med 7 prosent rente blir da:

$$K = 150 \text{ kr/h} \times 52 \times 10 = 78.000 \text{ kr.}$$

$$\text{Totale kostnader blir da: } 100.000 + 78.000 = \underline{178.000 \text{ kr}}$$

Renseeffekten til et hvirveloverløp er vist av Lygren (12). Denne ble målt bl.a. i fullskala målinger ved Lørenfallet renseanlegg både i regnvannsperioder og i snøsmelteperioder. Følgende renseresultater ble oppnådd:

Fosfor:

Periode 1

68%

Periode 2

41%

Periode 3

33%

KOF:

90%

59%

50%

De høye renseseffektene skyldes at forurensningene i overløpsvann i stor grad er knyttet til lett utskillbare partikler.

Midlere renseseffekt er i de tre periodene: Fosfor = 47%, KOF = 66%. I målinger fra USA, Lager (13), er det rapportert noe lavere renseresultater. I denne utredningen velger man derfor å benytte følgende renseseffekter:

Fosfor: 30%

KOF: 50%

Kost/nytte-faktor for hvirveloverløpet blir da:

Fosfor:

$$\text{Kost/nytte} = 0,178 / (6,5 \times 0,3 - 6,5 \times 0,3 \times 0,1) \times 21,3 \times 10^{-3} =$$

4,76 mill kr/tonn.år

KOF:

$$\text{Kost/nytte} = 0,178 / (740 \times 0,5 - 740 \times 0,5 \times 0,3) \times 21,3 \times 10^{-3} =$$

0,032 mill.kr/tonn.år

E. Rutinemessig spyling av avløpsledninger

I et avløpsnett vil det vanligvis være en del ledningsstrekninger hvor kloakkpartikler sedimenterer i tørrvær. Det er vist av Lindholm (4) at årlige avlagrede mengder i ledningsnettet i Øya-feltet var 10 prosent for fosfor og 19 prosent for KOF, i forhold til mengden i den årlige ubehandlede spillvannsavrønnen.

Under regnskyll vil store mengder av røravlagringene spyles løs og for det meste ta veien ut i regnvannsoverløp. De største regnflommene river løs betydelig mer materiale enn små flommer, hvorav følger at relativt mye materiale går i overløp. Det er beregnet (4) for Øya-feltet at henholdsvis 6,1 prosent og 11,1 prosent av årsproduksjonen av fosfor og KOF går direkte i overløp som følge av løsspylte røravlagringer alene. (Overløpsinnstilling $n = 4 \times q_s$). Omfattende feltundersøkelser av Pisano et al. (14) viste at spyling av avløpsrør med diameter mindre enn 300-400 mm er relativt effektivt over en distanse på ca. 300 m.

Spylemengdene man anbefalte er ca. $1,4 \text{ m}^3$ pr. spylepunkt, med spylehastighet ca. 14 l/s. Pisano undersøkte 3000 ledningsstrekninger og fant at ca. 17 prosent inneholdt ca. 75 prosent av avsetningene.

For Øya-feltet forutsettes det spyling av alle dimensjoner mindre eller lik diameter 300 mm.

Lengden av disse ledningene er 2172 m. Det forutsettes at man velger spylepunkter med ca. 200 m avstand, dvs. ca. 11 spylepunkter. Videre forutsettes det at spylefrekvensen pr. år blir ca. 16.

Det antas at spyling i desember, januar, februar og mars er unødvendig ut fra forurensningsmessige hensyn, da det forekommer lite overvannsavrenning i denne perioden. Videre antas det at man spyles 2 ganger pr. måned i den resterende perioden. Spyletid pr. spylepunkt antas til ca. 5 minutter, men arbeidstid med montering av brannstendere og slanger vil antagelig tilsvare nærmere brutto 1/2 time pr. spylepunkt og arbeidslag. Tilsammen = $1/2 \times 11 \times 16 = 88$ timer.

Dersom man antar 2 personer pr. arbeidslag, blir årlig arbeidstid ca. 176 h. Det antas at bruttoutgiftene pr. mann-time inkludert avskrivning av utstyr er ca. 200 kr. Kostnadene for selve vannuttaket er neglisjerbare.

Totalutgiftene for spyling av avløpsrør blir da:

$$200 \text{ kr/h} \times 176 \text{ h} = 35.200 \text{ kr/år.}$$

Dersom man beregner nåverdien av dette årlige arbeidet i 20 år fremover med rentefot 7 prosent, blir nåverdien av spylemetoden $10 \times 35.200 \text{ kr} = \underline{350.000 \text{ kr.}}$

Fastsettelsen av fjernet mengde røravlagringer av fosfor og KOF som følge av den nevnte spylingen er meget vanskelig å anslå. På basis av Pisano et al. (14) forutsettes det at 65 prosent av KOF og 75 prosent av fosfor fjernes fra ledningsnettet av de årlige røravlagringene. Disse tallene oppgir Pisano for spylestrekninger på opptil 213 m.

Fosfor:

$$\text{Kost/nytte} = 0,35 / (5,2 \times 0,75 - 5,2 \times 0,75 \times 0,1) \times 21,3 \times 10^{-3} = \underline{4,68 \text{ mill.kr/t.år.}}$$

KOF:

$$\text{Kost/nytte} = 0,35 / (567 \times 0,65 - 567 \times 0,65 \times 0,3) \times 21,3 \times 10^{-3} = \underline{0,065 \text{ mill.kr/t.år.}}$$

F. Rutinemessig feiing av gater og fortau

Forurensninger som avlagrer seg på gater og fortau vil vanligvis skylles med regnvannet til avløpsledningsnettet. For Øya-feltet (4) er dette anslått til henholdsvis 1,5 kg fosfor/ha.år og 250 kg KOF/ha.år. Andelen av dette som tapes via overløp pr. år er 0,9 kg fosfor/ha.år og 148 kg KOF/ha.år. Ved å feie gatene regelmessig vil man minke mengden forurensninger som til enhver tid er tilgjengelig for medrivning i overvannet.

Optimal feiehastighet med sugende feiebil er ca. 7 km/time i følge (15) og (13).

Maskinkostnadene i 1970 (15) var beregnet til 50 kr/h. Antar man 10 prosent prisstigning pr. år frem til 1982, skulle dette bli ca. 130 kr/time i 1982. I tillegg kommer arbeidsinnsatsen som anslåes til ca. kr 150/h. Tilsammen kr 280 pr. time.

Lager (13) angir et eksempel på at en frekvens på gatefeiinger på hver fjerde dag senker middelkonsentrasjonen på innhold av organisk stoff (BOF) og suspendert stoff (SS) i overvann til henholdsvis 30 prosent og 25 prosent av det normale.

I denne utredningen forutsetter man samme effekt som på BOF i (13), både for fosfor og KOF.

Antall timer pr. år medgått til gatefeiing blir:

$$T = \frac{2,946 \text{ km} \times 2}{7 \text{ km/t}} = 0,84 \text{ timer} \quad 1 \text{ time pr. gang}$$

$$T_{\text{totalt}} = 1 \times 8 \text{ mnd} \times 30 \text{ d/mnd} \times 1/4 = 60 \text{ timer pr. år.}$$

Det er antatt at man ikke feier i fire av årets vintermåneder.

$$\text{Årskostnader} = 60 \text{ timer} \times 280 \text{ kr/h} = 16.800 \text{ kr/år}$$

Beregner nåverdien av 20 års feiing med 7 prosent rente.

$$\text{Nåverdi} = 16.800 \times 10 = 168.000 \text{ kr}$$

Fosfor:

$$\text{Kost/nytte} = 0,168 / (0,9 \times 0,7 - 0,9 \times 0,7 \times 0,1) \times 21,3 \times 10^{-3} = 13,9 \text{ mill.kr/t.}\dot{\text{a}}\text{r.}$$

KOF:

$$\text{Kost/nytte} = 0,168 / (148 \times 0,7 - 148 \times 0,7 \times 0,3) \times 21,3 \times 10^{-3} = 0,109 \text{ mill.kr/t.}\dot{\text{a}}\text{r.}$$

- Sammenfattende kommentarer til kost/nytte-analysene.
Tabellene 2 og 3 viser at de forskjellige tiltakene har meget forskjellig kost/nytte-verdi. Man ser også at et tiltak kan ha relativ god kost/nytte-effekt for en forurensningsparameter, men vesentlig dårligere for den andre forurensningsparameteren. Rehabilitering av avløpsnettets gir ca. 29 prosent reduksjon av årlige utslipp i forhold til årsproduksjonen av fosfor i spillvann. Tilsvarende tall for organisk stoff er bare ca. 8 prosent. Grunnen til denne store forskjellen i effekt på de to forurensningsparameterene for samme tiltak er følgende:
- Ulik rense-effekt for organisk stoff og fosfor i primærfellingsanlegget, hvilket medfører 3 ganger større utslipp av organisk stoff enn fosfor av det som tilføres renseanlegget.
- Ulik andel av rørvlagringer og lekkasjer fra ledningsnettets av fosfor og organisk stoff.

For øvrig er det avvik på 13,8 prosent mellom summen av rørvlagringer og lekkasjer for fosfor og organisk stoff. Dette kan skyldes unøyaktigheter i målinger og/eller feil anslag på spesifikk årsproduksjon i spillvannet.

Figur 3 og 4 viser i diagramform de ulike tiltakenes bidrag til den totale kostnad og den totale nytte, sortert etter stigende kost/nytte-faktor. Kost/nytte-faktoren fremkommer som stigningsvinkelen på kurven. Man ser at hvirveloverløpet er gunstigst ut fra kost/nytte. Det er således det tiltaket som først bør komme til utførelse. Dette gjelder både for KOF og Tot.P. Imidlertid er bidraget til total utslippsminskning relativt beskjedent. Skal det monne noe på den totale forurens-

Tabell 2. Kostnader og nytte av de forskjellige tiltakene.

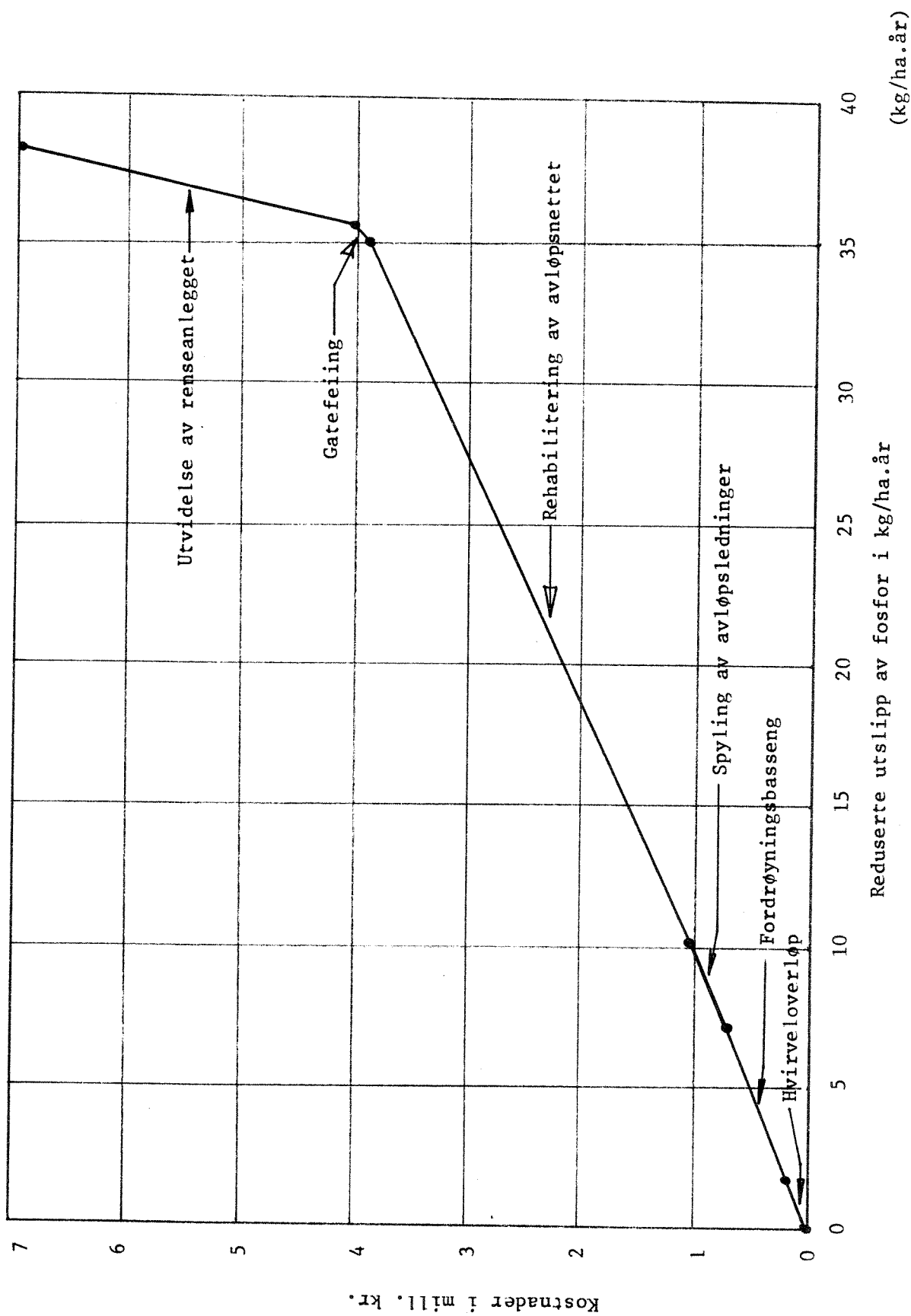
Tiltak	Minket utslipp			KOF		Nåverdi av Kostnader over en 20-års periode (7% rente) mill.kr	Kost/nytte mill.kr pr. tonn og år		Rangering av tiltak mot Tot.P	Rangering av tiltak mot KOF
	Tot.P kg/ha.år	% av årlig spillvannsproduksjon	kg/ha.år	% av årlig spillvannsproduksjon	Tot.P KOF					
Rehabilitering av ledn.nettet	24,4	28,7	420	8,2%		2,78	5,35	0,31	4	6
Utvidelse fra primær- til sekundærfelling	2,5	3,0	984	19,3		2,98	56,3	0,14	6	5
Fordrøyningsbasseng	5,3	6,3	466	9,2		0,52	4,7	0,053	2	2
Hvirveloverløp	1,8	2,1	259	5,1		0,18	4,7	0,032	1	1
Spyling av ledn.	3,5	4,1	257	5,0		0,35	4,7	0,064	3	3
Gatefeiling	0,6	0,7	73	1,4		0,17	13,9	0,11	5	4

Tabell 3 Kostnader og nytte av de forskjellige tiltakene

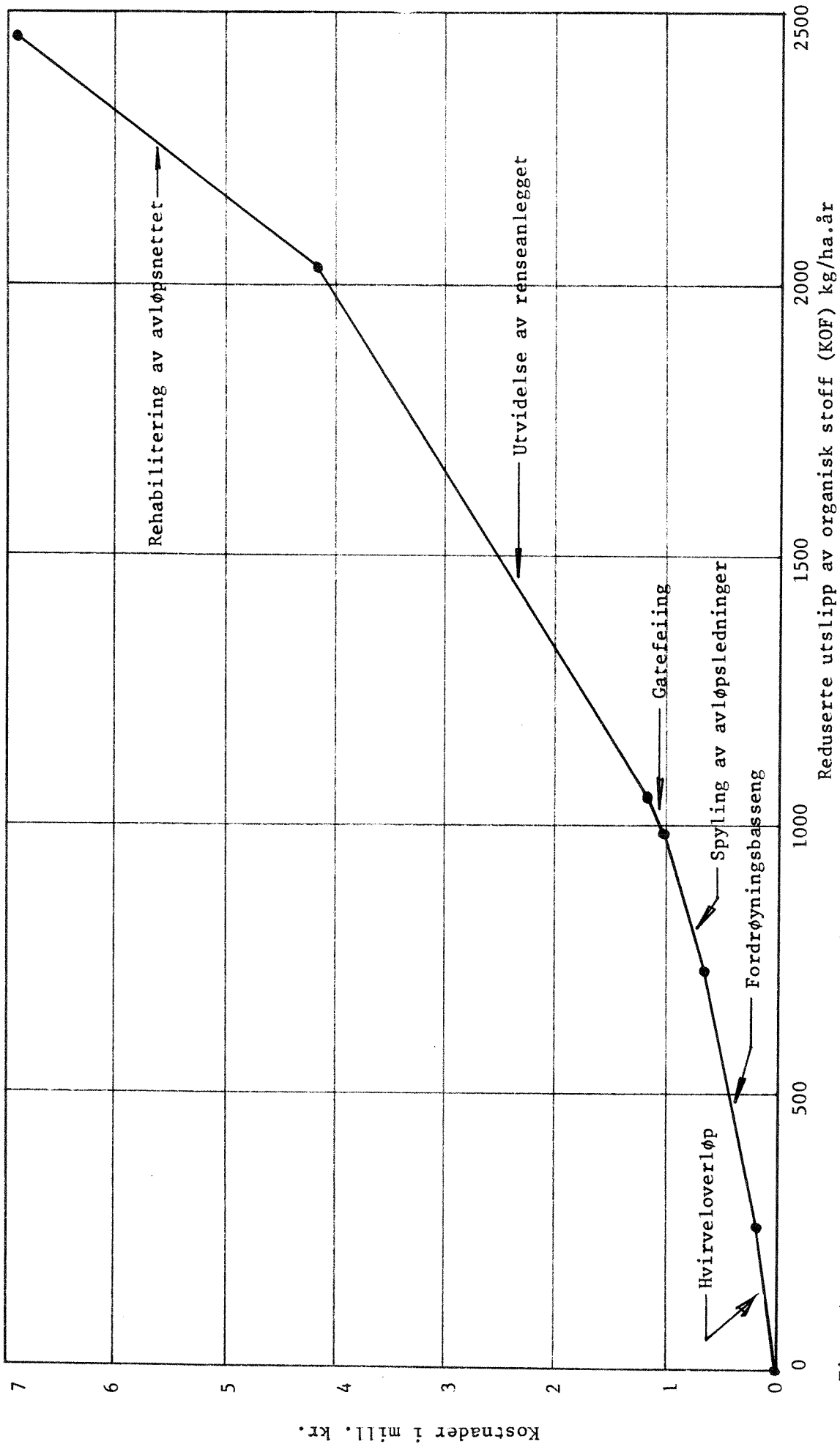
Type tiltak	Kostnader mill. kr.		Minket utslipp i kg/ha år		Kost/nytte faktor mill kr/t.å	
	Anleggskost.	Drift og ved.	Fosfor	Organisk (KOF)	Fosfor	Organisk KOF
Rehabilitering av ledningsnett						
Utvidelse av renseanlegget						
Fordrøyning						
Hvirveloverløp						
Spyling av avløpsledninger						
Gatefeiling						
Skala:						

Feltets årsproduksjon av Tot. P = 84,8 kg/ha.år

Feltets årsproduksjon av KOF = 5092 kg/ha.år



Figur 3. Nytte kontra kostnad for tiltakene



Figur 4. Nytte kontra kostnad for tiltakene

ningssituasjonen, må det derfor gjennomføres flere tiltak. Fordrøyningsbasseng og spyling av avløpsledninger rangerer som nummer 2 og 3 ut fra kost/nytte både for KOF og tot.P. Gatefeieing er gunstigere enn utvidelse av renseanlegg og rehabilitering av avløpsledninger med hensyn til kost/nytte for organisk stoff og gunstigere enn utvidelse av renseanlegg for fosfor. Imidlertid er bidraget til minskning av utslippet meget beskjedent sett på årsbasis. En annen sak er at gatefeieing likevel gjøres av estetiske årsaker slik at dette er et positivt bidrag også av andre årsaker.

Det tiltaket som virkelig monner med hensyn til å minke utslipp av fosfor er rehabilitering av avløpsnett. Imidlertid er kost/nyttefaktoren for tiltaket rangert som nr. 5 av 6. Tilsvarende er utvidelse av renseanlegget det tiltaket som monner mye med hensyn til å fjerne utslipp av organisk stoff, men med en relativt ugunstig kost/nyttefaktor.

5. FØLSOMHETSANALYSE PÅ USIKRE DATA

Alle forutsetninger og grunnlagsdata er mer eller mindre usikre. Det kan tenkes at konklusjonene og prioriteringsrekkefølgen kullkastes selv om valget av en forutsetning skjer innenfor det normale usikkerhetsområdet. For å undersøke hvilke tiltak og parametere som særlig er utsatt for usikkerheter i beslutningsgrunnlaget blir det i det følgende gjort følsomhetsanalyser på en del forutsetninger knyttet til de forskjellige tiltakene.

A. Rehabilitering av avløpsledningsnett

A1 Lekkasjenes reduksjon ved rehabiliteringen.

Det ble antatt at 90 prosent av lekkasjene fra ledningene ble redusert ved fullstendig rehabilitering av hovedledningene. Man kan like gjerne tenke seg at 60 prosent av lekkasjene blir redusert, så vel som 95 prosent. Utslaget i kost/nytte beregnes for dette (Fig. 5).

A2. Teoretisk totalproduksjon av Tot.P og KOF.

Lekkasjetallene for fosfor og KOF er basert på en teoretisk beregnet totalproduksjon med basis i 2,5 g fosfor pr. person og døgn og 150 g KOF/p.d. Dette er standard tall som lenge er brukt på NIVA. Nyere forskning på NIVA har vist at disse tallene sannsynligvis kan være betydelig lavere. Vråle (17) har målt så lave tall som 1,6 g P/p.d. og 55 g KOF/p.d. i et boligfelt (Sydskogen). Summen av målt røravlagring og utløp fra ledningsnett i tørrvær tilsvarer 130 g KOF/p.d. og 1,6 g P/p.d i Øya-feltet. Utslag i kost/nytte beregnes for 140 g KOF/p.d. og 2,0 g P/p.d.. For 130 g/p.d. og 1,6 g/p.d. vil kost/nytte for rehabilitering av avløpsnett bli uendelig høy fordi lekkasjene fra ledningsnett i det tilfelle vil bli null, og dermed en nytte som også er null.

A3. Mengde røravlagringer/lekkasjer

Røravlagringene er funnet til 8,8 kg P/ha.år og 960 kg KOF/ha.år. Dette tilsvarer 0,26 g P/p.d. og 28,3 g KOF/p.d. på Øya. Dersom man forutsetter at disse tallene er dobbelt så høye som de virkelige, vil man få følgende regnestykke:

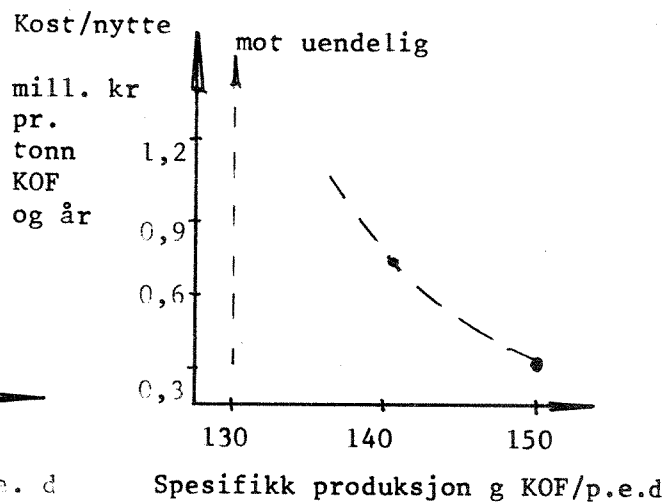
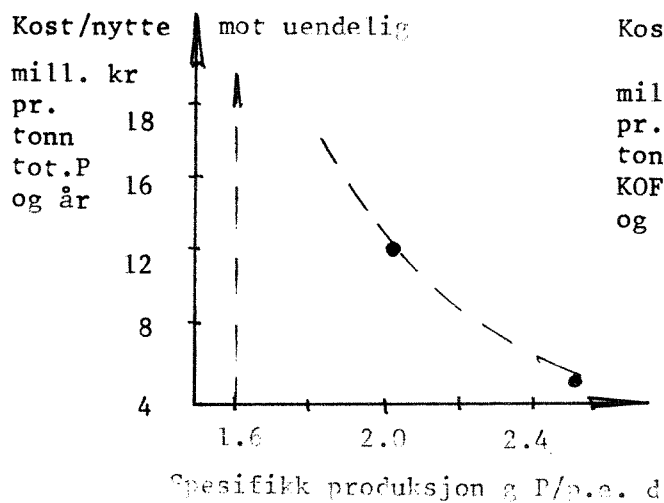
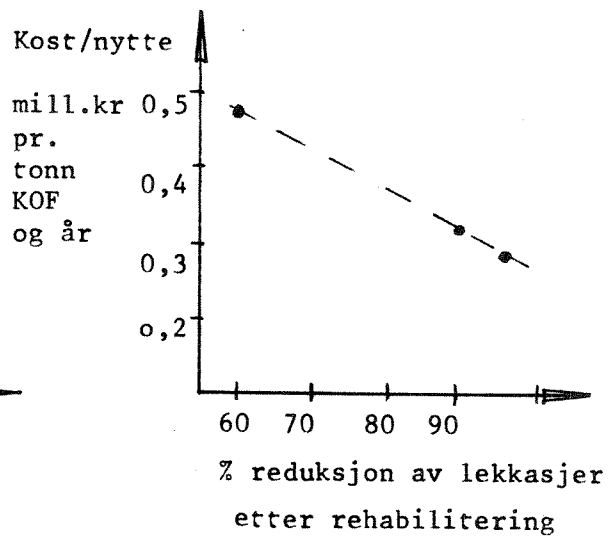
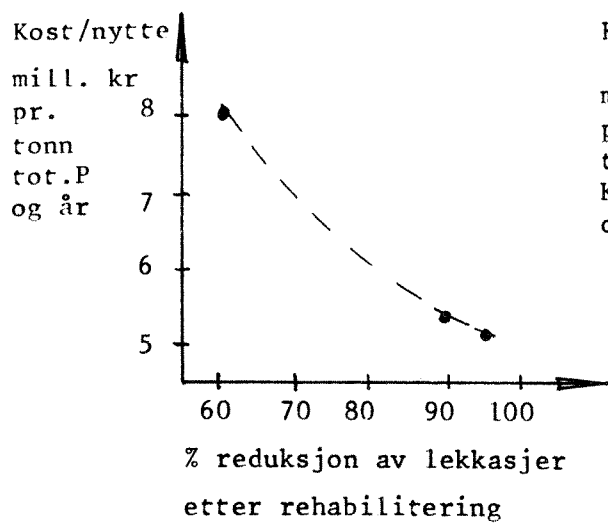


Fig 5 Følsomhetsanalyse for kost/nytte ved rehabilitering av avløpsnett

	Tot.P	KOF
Teoretisk produksjon	2,5 g/p.d.	150 g/p.d.
- Røravlagringer	0,13 "	14,1 "
- Målt utløp	1,35 "	102,1 "
- Overløp spillvann	0,01 "	0,7 "
= Lekkasje ledningsnett	1,01 g/p.d.	33,1 g/p.d.

Disse endrede lekkasjene tilsvarer 34,5 kg P/ha.år og 1147 kg KOF/ha.år. Kost/nytte for dette forholdet er også beregnet.

A4. Kostnader for rehabilitering/lengde rehabilitert.

Kostnader er også en meget usikker parameter. Dette tas ikke inn i følsomhetsanalysen da sammenhengen er så enkel som at x prosent økning i anleggskostnadene gir x prosent økning i kost/nytte-faktoren.

Nødvendig rehabilitering for å oppnå de forutsatte 90 prosent reduksjon i lekkasjene er vanskelig å anslå. Man har nå forutsatt at hele hovedledningsnettets rehabiliteres. Det gjøres ikke følsomhetsanalyse på nødvendig andel rehabilitert nett for å oppnå den gitte reduksjonen, da sammenhengen med dette og kost/nytte-faktoren er enkel. F.eks. ville 50 prosent av hovednettets rehabilitering gi ca. 50 prosent reduksjon av kost/nytte-faktoren.

Figur 5 viser følsomheten i kost/nytte ved rehabilitering av avløpsnettets. Alle andre data enn den variable som er vist langs x-aksen, er holdt konstant lik det som tidligere er forutsatt. Dette prinsippet gjelder for alle lignende beregninger i denne rapporten.

B. Økning i renseeffekt i renseanlegget

B1.

Det ble beregnet kost/nytte for utvidelse av renseanlegget fra primærfelling til etterfelling. Renseeffektene ble da forutsatt å øke fra 90 prosent til 95 prosent for Tot.P, og fra 70 prosent til 95 prosent for KOF.

Følsomheten for følgende alternative renses effekter beregnes:

Tot.P: 93 prosent og 97 prosent

KOF: 80 prosent og 90 prosent

Ved etterfelling kan disse tallene være like sannsynlig som de de opprinnelig valgte tallene.

B2.

Kostnadsanslagene kan også variere betydelig, men en viss prosentøkning der gir samme prosentøkning i kost/nytte-faktoren, så dette beregnes ikke separat.

Følsomheten er vist i figur 6.

C. Fordrøyningsbasseng ved overløp

Ved beregning av fordrøyningsbassengets kost/nytte vil blant annet følgende to faktorer være beheftet med usikkerheter:

C1.

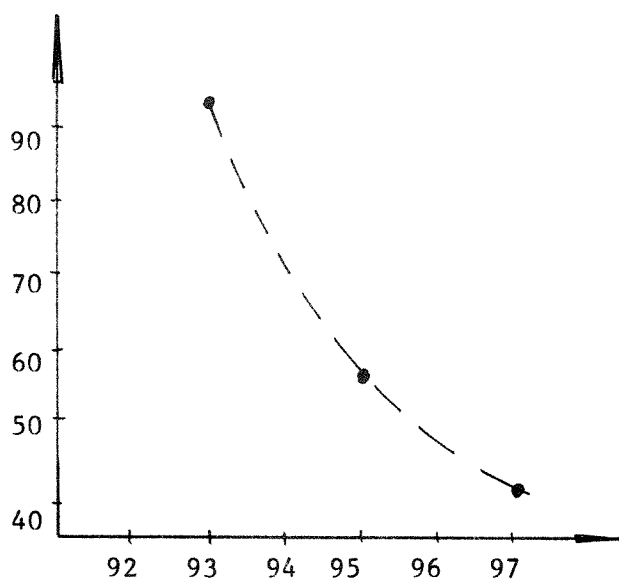
Mengden forurensninger i overvannet er nå antatt til 1,5 kg P/ha.år og 250 kg KOF/ha.år. Disse tallene kunne med like stor sannsynlighet være halvert. Kost/nytte beregnes også for helt rent overvann.

C2.

Mengden røravlagringer i overvannets utspylinger forutsettes også halvert. Dette er heller ikke noen ekstrem forutsetning.

Kost/nytte

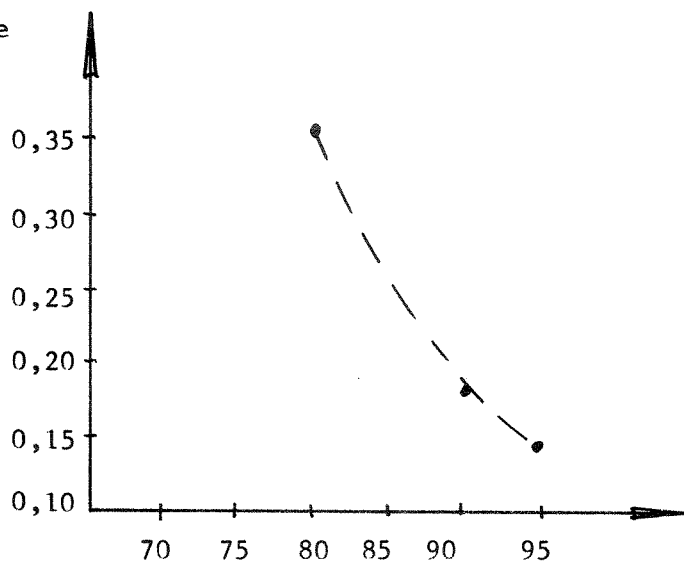
mill. kr
pr. tonn
fosfor
og år



% renseseffekt for fosfor ved etterfelling

Kost/nytte

mill.kr
pr. tonn 0,35
KOF
og år



% renseseffekt for KOF ved etterfelling

Figur 6 Følsomhetsanalyse for kost/nytte ved utvidelse av rensenanlegget.

Figur 7 viser utslagene i kost/nytte.

D. Hvirveloverløp ved regnvannsoverløpet

D1.

Renseeffekt i hvirveloverløpet kan være gjenstand for stor usikkerhet. I utgangspunktet er den anslått til henholdsvis 30 prosent og 50 prosent for fosfor og KOF. Det synes som om usikkerheten kan ligge i området 15 - 60 prosent for fosfor og 15 - 90 prosent for KOF, Lygren (12).

D2.

Mengden røravlagringer vil på samme måte som for fordrøyningsbasseng være av stor betydning for kost/nytte-faktoren. Som for fordrøyningsbasseng beregnes kost/nytte for en variasjon i området 0-6 kg P/ha.år og 0-600 kg KOF/ha.år.

Beregningene er vist i figur 8.

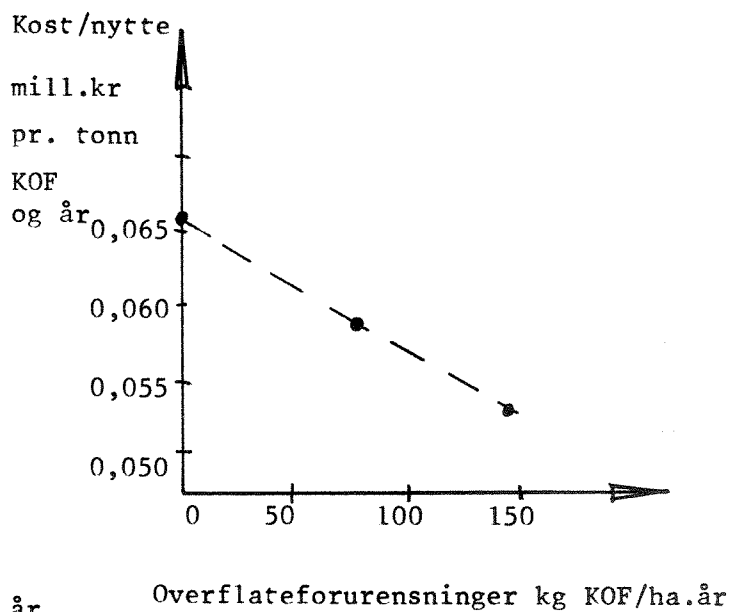
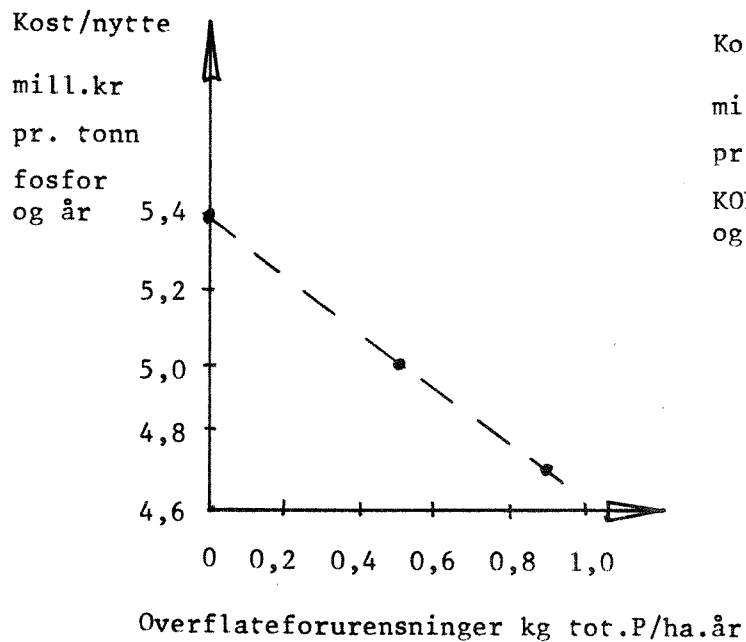
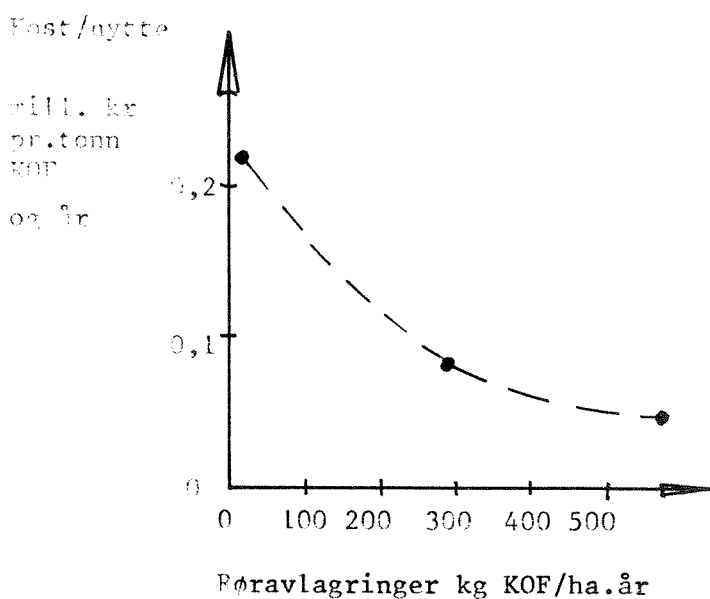
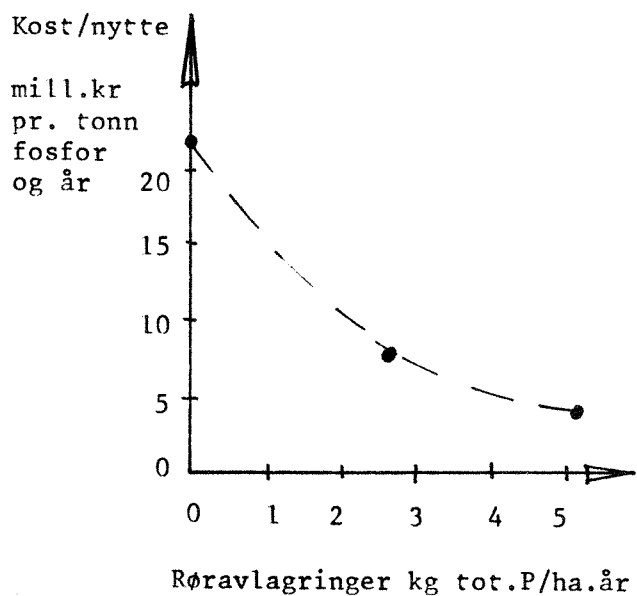
E. Rutinemessig spyling av avløpsledninger

Det er i utgangspunktet forutsatt spyling for hver 200 m av hovedledningen 16 ganger pr. år.

Videre ble det forutsatt at 65 prosent av KOF og 75 prosent av fosfor ble fjernet ved spylingen og tilført renseanlegget.

For følsomhetsanalysen antas at følgende utslag kan være mulig:

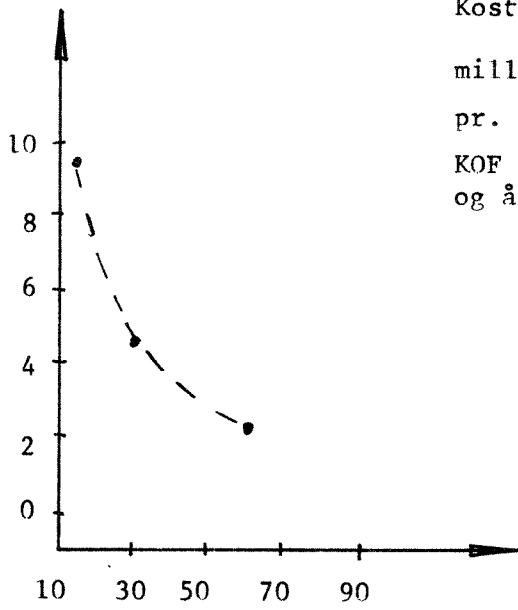
Avstand mellom spylepunkter:	50-300 m
Spylefrekvens pr. punkt:	4-10 ganger pr. år
Fjerning av Tot.P:	50-90 prosent
Fjerning av KOF:	40-90 prosent



Figur 7. Følsomhetsanalyser for kost/nytte for fordrøyningsbasseng.

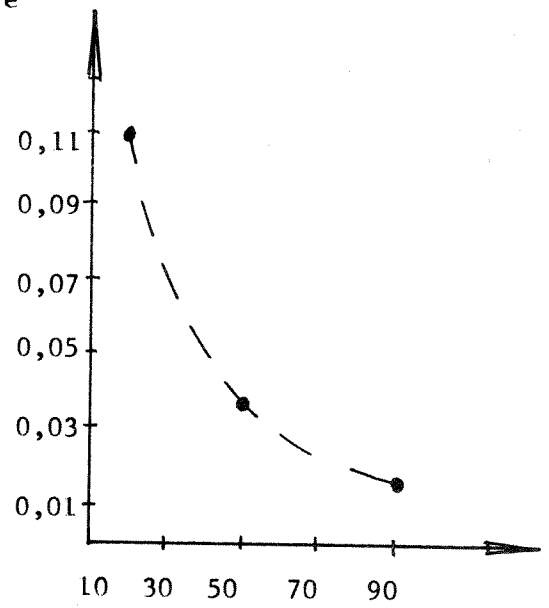
Kost/nytte

mill. kr
pr. tonn
fosfor
og år



Kost/nytte

mill. kr
pr. tonn
KOF
og år

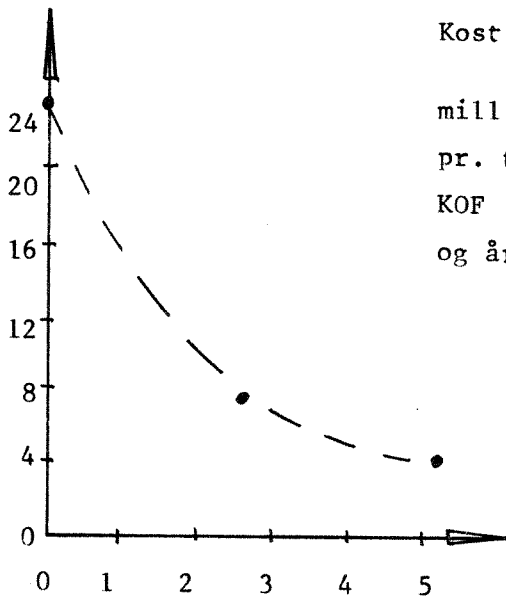


% renseseffekt tot.P i hvirveloverløp

% renseseffekt KOF i hvirveloverløp

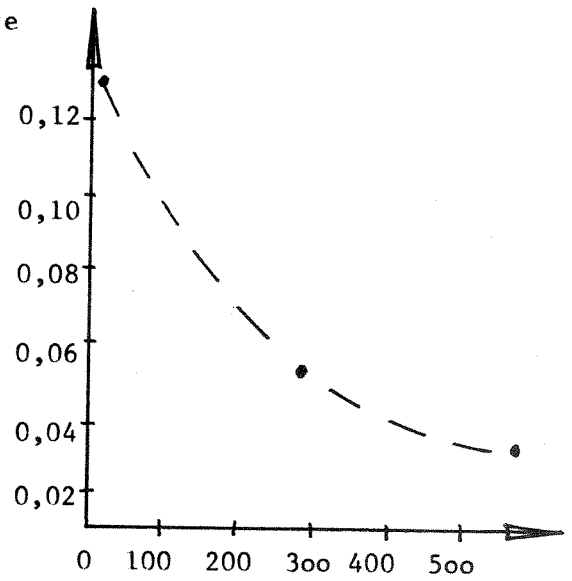
Kost/nytte

mill. kr
pr. tonn
fosfor
og år



Kost/nytte

mill. kr
pr. tonn
KOF
og år



Røravlagringer kg tot.P/ha år

Røravlagringer kg KOF/ha. år

Figur 8 Følsomhetsanalyse for kost/nytte for hvirveloverløp.

Antall spyleoppdrag pr. år vil da variere som vist i tabell 4.

Tabell 4. Antall spyleoppdrag pr. år på Øya.

Avstand pr./år	50 m	200 m	300 m
10 g	430	110	70
16 g	688	176	112
40 g	1720	440	280

Kost/nytte beregningene er vist i figur 9.

F. Rutinemessig feiing av gater og fortauer

Det er i utgangssituasjonen forutsatt 70 prosent minket utslipp for Tot.P og KOF ved en feiefrekvens på hver fjerde dag.

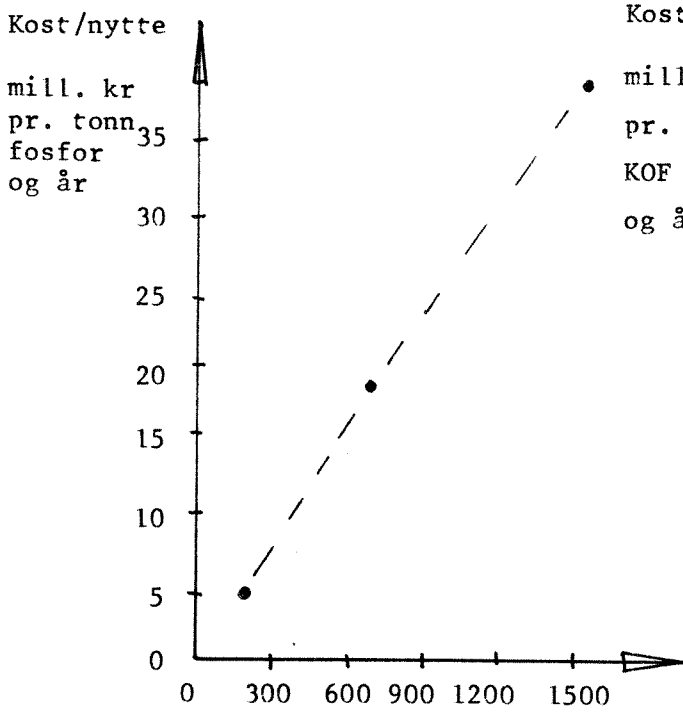
Finnemore (16) mener at bare 10 prosent av organisk stoff og nærings-salter fjernes fra overvannet selv om gatene feies daglig.

Økning i feiefrekvensen gir en tilsvarende økning i kost/nytte-faktoren, altså er linjær sammenheng.

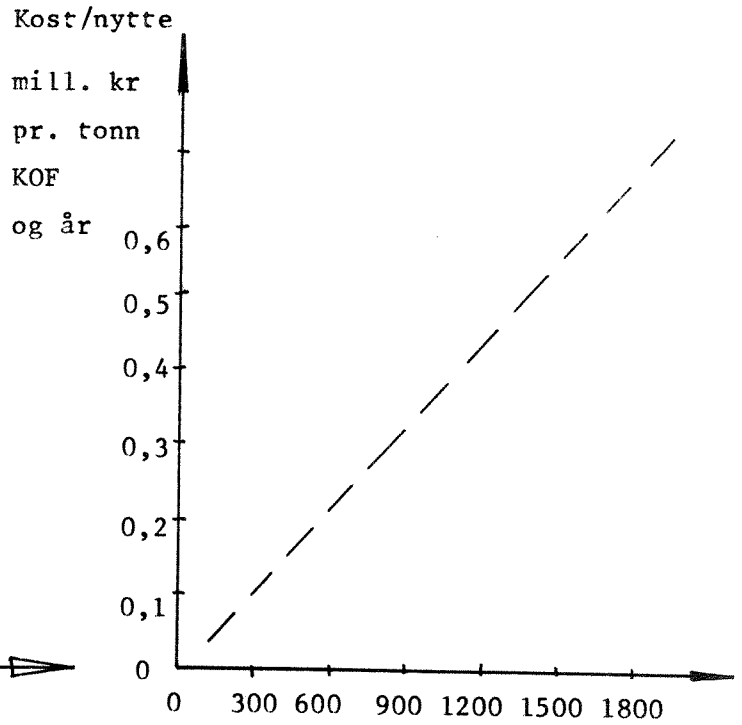
Figur 10 viser kost/nytte beregningenes variasjon når fjerningsgraden varierer.

Oppsummering av følsomhetsanalyse

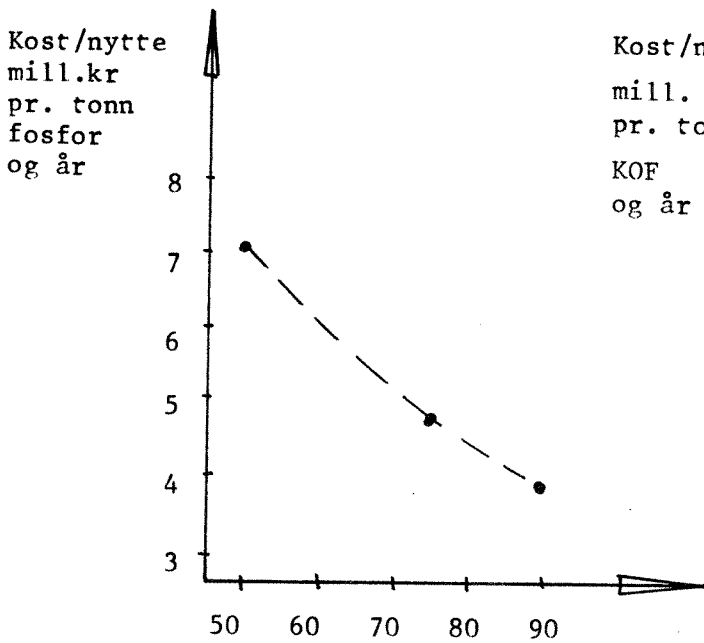
På basis av følsomhetsanalysene og med støtte i en vurdering av sannsynlige usikkerheter i datamaterialet fra Øya-feltet, er figurene 11 og 12 satt opp.



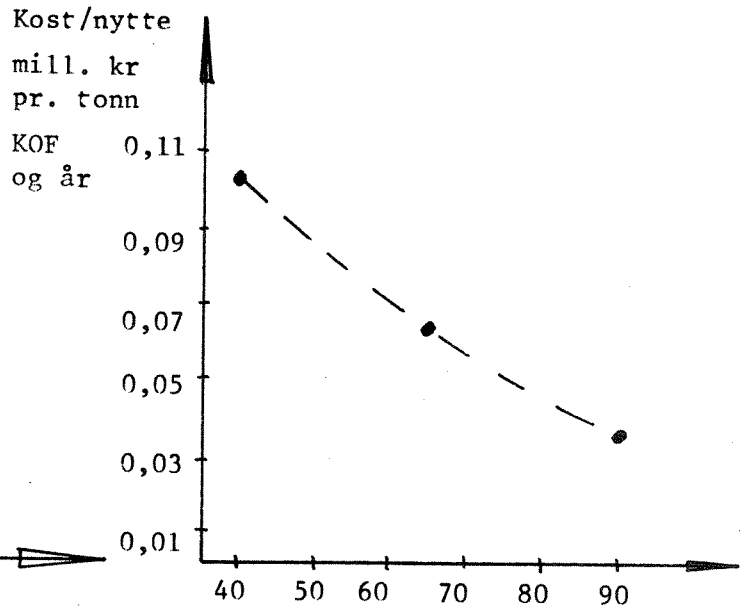
Antall spyleoppdrag/år for å fjerne 75 % av røravlagringen(P)



Antall spyleoppdrag/år for å fjerne 65 % av røravlagringen (KOF)

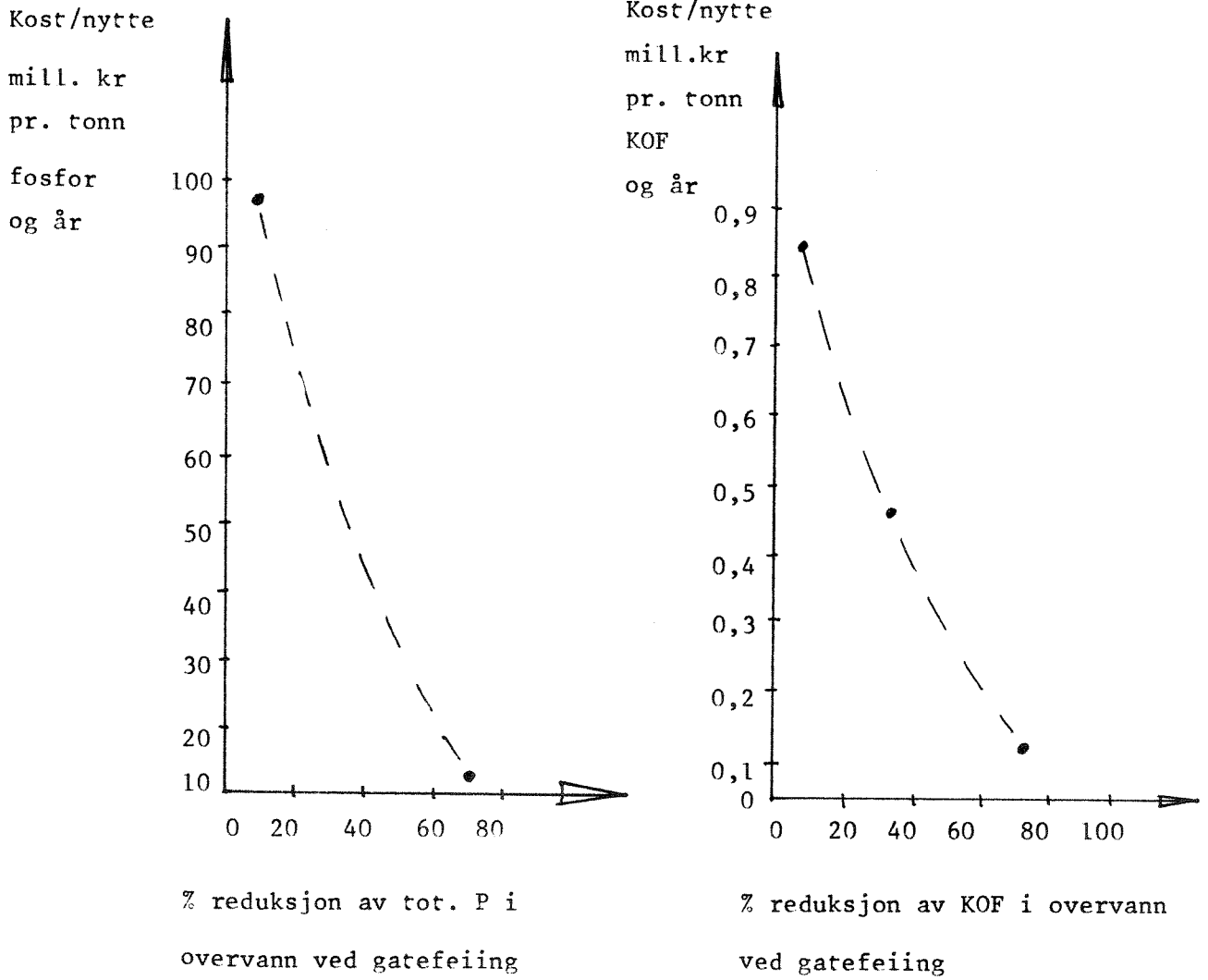


% fjernet fosfor fra ledningene

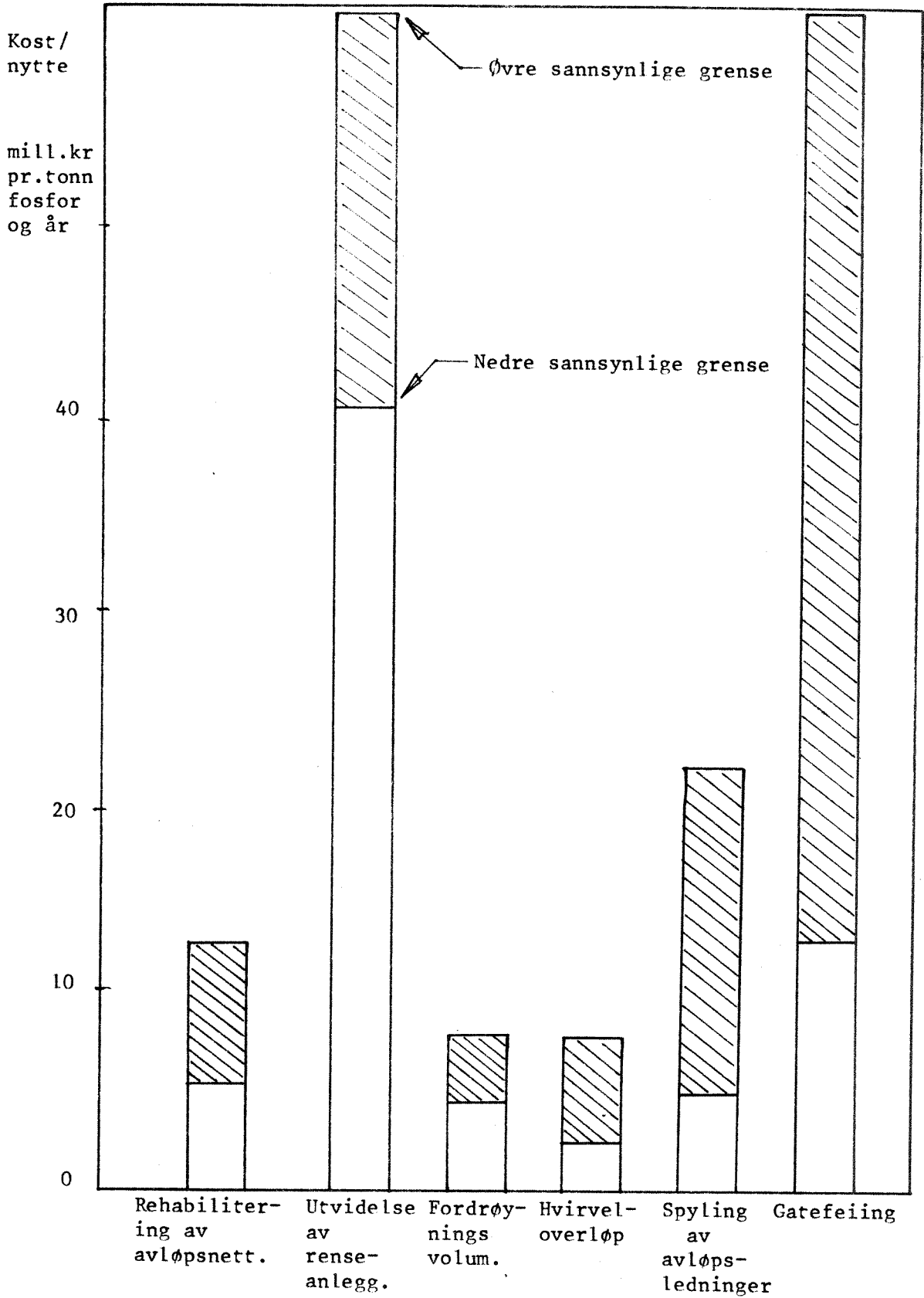


% fjernet KOF fra ledningene

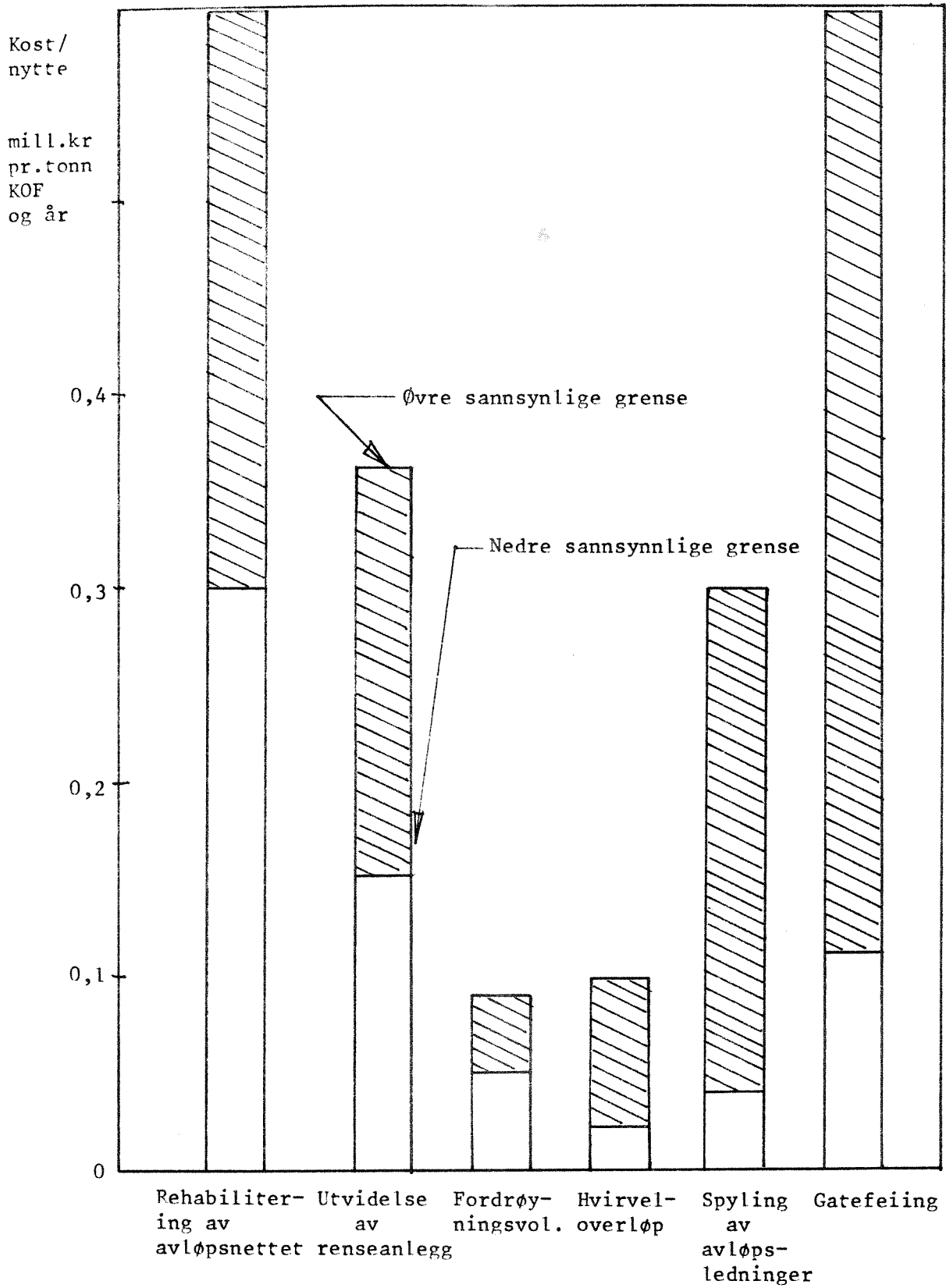
Figur 9. Følsomhetsanalyser for kost/nytte for spyling av avløpsledninger.



Figur 10. Følsomhetsanalyse for kost/nytte ved gatefeieing



Figur 11. Usikkerhet i kost/nytte beregningene (skravert felt) Tot.P



Figur 12. Usikkerhet i kost/nytte beregningene-KOF (skravert felt)

De skraverte områdene angir usikkerhetene i kost/nytte beregningene for de seks ulike tiltakene. Usikkerhetene må sies å være meget store selv om datagrunnlaget for Øya-feltet er relativt bra i forhold til mange andre avløpsfelt i landet. Det er imidlertid ikke bare mangel på kjennskap til materialstrømmen som gjør utslag, usikkerhet med hensyn til renseeffekter og funksjon for de enkelte tiltakene betyr også mye for den samlede vurdering.

Usikkerhetene er imidlertid ikke større enn at beregningene med fordel bør utføres. Dette begrunnes i at forskjellene i kost/nytte for de ulike tiltakene er så store at de beste og dårligste tiltakene meget lett lar seg skille, på tross av store usikkerheter i den beregnede verdien for kost/nytte-faktoren. Ved å utføre beregninger får man dessuten verdifull innsikt i samspillet mellom tiltakene og datagrunnlaget.

Av følsomhetsanalysene kan man slutte:

1. Dagens kunnskap om effekten av tiltak og sammensettingene av de ulike delstrømmene i et avløpsfelt er såpass mangelfull at beregninger i kost/nytte-faktorer blir meget usikre.
2. Kost/nytte beregninger bør likevel utføres selv med disse usikkerheter, fordi forskjellene i kost/nytte-faktoren for de ulike tiltak likevel kan overskygge unøyaktighetene. En vil dermed langt på vei kunne sortere ut ugunstige og gunstige tiltak i forhold til målsettingen.
3. Ved valg mellom to ulike tiltak kan det være riktig å velge det med noe ugunstigere kost/nytte-faktor dersom denne har et mindre spenn i usikkerheten enn det teoretisk beregnede gunstigste tilfellet.
4. Det er meget å tjene på en bedring av kunnskaper om delstrømmer og funksjonen til ulike tiltak. Dette vil bedre beslutningsgrunnlaget for ansvarlige myndigheter. FoU-prosjekter og aktiviteter med dette for øye bør straks igangsettes.

6. LITTERATUR

1. Aaberge, O.: "Utbetring av avlaupsnett". Hovedoppgave NTH, 1977, Trondheim.
2. Kalleberg, K. og Malme, A.: "Forurensninger i overvann basert på undersøkelser i Trondheim". Hovedoppgave NTH, 1974, Trondheim.
3. Lindholm, O.: "Forurensninger i overvann". PRA-rapport nr. 7, april 1977, Oslo.
4. Lindholm, O.: "Tørrværsavsetninger i fellessystemrør". VANN 4-1982 og VA-rapport 10/82, NIVA.
5. Statens forurensningstilsyn: "Veiledning ved rehabilitering av avløpsledninger - Brukerrapport". TA-552 jan. 1980, Oslo.
6. Statens forurensningstilsyn: "Retningslinjer for dimensjonering av avløpsrenseanlegg". TA-525, aug. 1978, Oslo.
7. Johansen, O.J.: "Driftskostnader ved kloakkrenseanlegg". NTNf's Utvalg for drift av renseanlegg. Rapport nr. 35, juni 1982, Oslo.
8. Lindholm, O.: "A pollutional analysis of a storm overflow". Vatten 3, 1975, Stockholm.
9. Lindholm, O.: "Systemanalyse av avløpsanlegg - Fremdriftsrapport nr. 5". NIVA, feb. 1976, Oslo.
10. Stakre, P.: "Flödesutjämning i avløpsnät". Byggeforskningsrådet T13:1981. Stockholm, 1981.
11. Lygren, E.: Personlige opplysninger, 1982.
12. Lygren, E.: "Hvirvelkammer og hvirveloverløp". SFT-rapport nr. 43, juli 1982.

13. Lager, J.A. et al.: "Urban stormwater - Management and Technology". EPA-600/8-77-014. Sept. 1977, Ohio, USA.
14. Pisano, W.C., Aronson, G.L, Queiroz, C.S.: "Dry Weather Deposition and Flushing for Combined Sewer Overflow Pollution Control". EPA-600/2-79-133, August 1979, Ohio, USA.
15. Hartmark & Iras: "Rapport om gaterenhald i Oslo". 20.4.1970, Oslo.
16. Finnemore, E.J.: "Stormwater Pollution Control. Best Management Practices". Jour. of Environmental Engineering Division. Oct. 1982.
17. Vråle, L.: "Fosfortap fra avløpsnett". NIVA - VA-rapport under trykking.