

Tørrværsavsetninger i fellessystemrør

Av Oddvar Lindholm

Oddvar Lindholm er siviling. og dr.ing. fra NTH, og ansatt som forskningsleder på NIVA.

SAMMENDRAG

NTNF's «Prosjekt Transport av Vann, (PTV)» har finansiert fase I av et prosjekt om tørrværsavlagringer i rønett. Prosjektet er delt mellom NIVA og Vassdrags- og havnelaboratoriet (VHL). VHL tar seg av det strømningsstekniske i forbindelse med selvrensing og kunstig utspyling av ledninger. NIVA's del av fase I er å fastslå i hvilken grad tørrværsavlagringer fra spillvann er et driftsteknisk og forurensningsmessig problem. Driftserfaringer er hentet fra Oslo kommune.

Konklusjonen fra prosjektet er blant annet:

— Oslo kommune bruker store ressurser hvert år for å bekjempe driftsproblemer med rørvagringar i tørrvær og med ikke-selvrensende rør.

For Norge samlet er problemene av denne art trolig av vesentlig betydning økonomisk og driftsteknisk.

— Omfanget av rørvagringar er av vesentlig omfang.

Beregninger basert på omfattende målinger i PRA-prosjektet viser følgende prosentvise årlige rørvagringar i forhold til årlig spillvannsproduksjon i samme felt:

3 av de 4 feltene har 50—70 prosent årlige rørvagringar av suspendert stoff, 16—20 prosent rørvagringar av organisk stoff (KOF) og 10—20

prosent rørvagringar av fosfor. Det siste av de fire feltene har betydelig mindre rørvagringar.

Disse avlagringene spyles ut i korte støt under sterke regnskyll.

— Ved å se på konsentrasjon og tilførringsgrad i tørrvær for spillvannet har man påvist at tørrværsavlagringene i rørene for enkelte parametere og felter kan forklare lave tilførringsgrader for spillvann.

— Beregningene av rørutspylinger til overløp har vist at for 3 av de 4 feltene utgjør rørvagringar utspylt via overløp ca. 10 prosent av brutto årsproduksjon i feltet med hensyn til fosfor og organisk stoff. Tilsvarende tall for SS er 20—40 prosent. Dette vil si at bidraget som man vanligvis ikke regner med eller regner på, utgjør omtrent det samme som utslippet fra avløpsrenseanlegget over året. I tillegg kommer bidraget fra overflateforurensningene i overvannet og andelen av spillvann produsert i våtværsperioden. At dette kommer som korte støt gjør at det blir et ugunstig sjokk for miljøet.

PROBLEMORIENTERING

I husholdningskloakk er det mye partikulært materiale. Hvorvidt dette sedimenterer i rørene er særlig avhengig av vann-

føringene og fallet på ledningene. I et normalt avløpsledningsnett vil det vanligvis være mange ledningsstrekninger hvor forholdene er slik at partikler sedimenterer og ikke kan skylles ut.

Dette kan i verste fall medføre såkalt kloakkstopp i rørene, som fører til oppstuvning av spillvannet og kjelleroversvømmelser etc.

For å unngå dette må deler av avløpsnettene regelmessig renskes med mekanisk utstyr eller med spyling av rørene med en ekstern vannkilde. I Oslo kommune har man f.eks. ca. 880 punkter i det offentlige avløpsnettet hvor regelmessig spyling er nødvendig for å unngå tilstoppinger i rørene. Dette er svært arbeidskrevende. Bare i Oslo har man 28 mann kontinuerlig i felten for å rense ledninger og forebygge igjentetting av rørene.

Problemet med avlagringer i rør finnes i både separate spillvannsledninger og i fellessystemledninger. Større regnskyll vil vanligvis spyle løs mye avlagringer. Det ser imidlertid ut til at mindre og middels intense regn ikke klarer å renspe alle ledninger (1).

Avlagringsproblemene er størst i ytterkant av avløpsfeltene hvor vannføringen er mindre. Imidlertid er spyling av ledningene også effektive i disse områdene, da rørdiameterene er såpass små at spylevannføringen medfører en relativt bra skjærspenning.

Ved siden av de rene driftsproblemene ved igjentettede rør, medfører løsspylte røravlagringer store forurensningsproblemer. Under tørrværsperiodene, som man vanligvis har 90—95 prosent av tiden, vil det alltid være en del rørestrekninger hvor kloakkpartikler sedimenterer og lagrer seg opp. Disse avlagringene kan ofte gå opp i 20—30 prosent (1) av årlig mengde

suspendert stoff i spillvannet fra hele feltet. Dette prosjektet bekrefter de høye verdiene rapportert fra USA.

Det utspylte materialet inneholder også store mengder organisk stoff og næringsstoffer. Avlagringene løsner og spyles ut særlig under større regnskyll. Det vil si at mesteparten av dette materialet går direkte ut i overløp til resipientene. Dette representerer betydelig tap selv sett på årsbasis. Ser man på forurensningstilførselen over den tid overløpet er i funksjon vil utspylingene utgjøre sjokkbelastninger med betydelige konsekvenser i mindre resipienter.

Dette prosjektet har gitt resultater som tyder på at de lave tilføringsgradene som er rapportert fra spillvannsledningsnett i de seneste årene *delvis* kan forklares med røravlagringer i de periodene da tilføringsgradene blir målt. I tilføringsgradbegrepet forutsettes det at spillvannets komponenter strømmer ut kontinuerlig og uhindret, mens dette i virkeligheten i mange situasjoner skjer med sterkt varierende intensitet.

Tre av hovedidéene bak dette prosjektet har vært å se på mulighetene og hensiktsmessigheten av å etablere automatiske spylrutiner for:

- a) Å få forurensningene transportert til renseanleggene i stedet for i overløpene.
- b) Å bevisst kunne legge visse ledningsstrekninger med lite fall, for dermed å kunne unngå pumpestasjoner.
- c) Å undersøke om de automatiske spylestasjonene kan være teknisk og økonomisk gunstigere enn dagens manuelle spyling.

ERFARINGER FRA OSLO KOMMUNE

Følgende opplysninger om Oslos avløpsnett er basert på samtaler med overing. Bjarne Helland og sammendrag fra litt. (6).

OV&K har organisert seg slik at en egen seksjon innen driftsavdelingen har ansvaret for drift og vedlikehold av Oslo's anlegg. Til arbeidet i felten med å sørge for at avløpsvannet alltid «renner i ønsket retning» er det avsatt 28 mann. Disse er organisert i renselag hvor en vanligvis har 2—3 pr. lag.

I tillegg har OV&K tre spylebiler og to TV-biler med tilsammen 12 mann.

For driftsåret 1981 har følgende opplysninger blitt ekstrahert:

— Antall rapporterte kloakkstopper var 187 stk., hvorav 45 forårsaket kjelleroversvømmelser med en samlet utbetalt erstatning fra OV&K på kroner 708.000.

Gjennomsnittlig erstatning pr. skaden-de kloakkstopp var kr. 17.750.

— Av de 187 rapporterte kloakkstopper hadde 138 kjente årsaker. Enkelte kloakkstopp hadde to kjente årsaker. Totalt antall årsaker er derfor 213. Følgende årsaker av disse antas å ha sammenheng med dårlig selvrensing/tørrværværetninger:

- «Tilbakefall på ledningen»: 10 stk.
- «Liten vannføring»: 38 stk.
- «Stein, grus i ledningen»: 21 stk.
- «Sand, slam i ledningen»: 4 stk.
- «Fett i ledningen»: 2 stk.
- «Stein, grus i kum»: 7 stk.
- «Utette skjøter»: 8 stk.

Tilsammen 90 av 164 kjente årsaker, eller 55 prosent kan tilbakeføres til dårlig selvrensing/avsetninger.

De andre årsakene er:

- «Brudd på ledningen»: 20 stk.
- «Innstukket rør»: 1 stk.
- «Røtter i ledningen»: 5 stk.
- «Fremmedlegemer i ledningen»: 15 stk.
- «Andre årsaker i ledningen»: 1 stk.
- «Pinnestopp i kum»: 18 stk.
- «Plastlokk i renne»: 2 stk.
- «Fremmedlegemer i kum»: 12 stk.
- «Ukjente årsaker»: 49 stk.

— Årlig arbeid i felten (1981) tilknyttet avløpsnett med dårlig selvrensing/avlagringer var:

	lagtimer
a) Rensking av kummer	= 1196
b) Spyling av avløpsrør	= 463
c) Arbeid med kloakkstopper	= 794
d) Forebyggende kontroll	= 1492
e) Mekanisk skraping av rør	= 3197
f) Assistanse til spylebil	= 2379

Vanligvis er det 2—3 mann pr. lag. Totalt er ca. 24.000 arbeidstimer brukt av renselagene i 1981 i felten til forebyggende aktiviteter og til arbeid med kloakkstopper. I tillegg er ca. 9.000 arbeidstimer brukt i felten av spylebilsjåførene til å rense kloakkledninger.

Spyling med brannstender velges ved lavere spylefrekvenser, mens fast montert spylekran velges ved hyppigere spylefrekvenser. Den dominerende spylefrekvensen er 3 ganger pr. år.

De fleste faste spylepunktene har 1" kran med normal vannføring på ca. 180 l/min. Brannstenderene leverer vanligvis

ca. 540 l/min. Spyletiden pr. punkt er vanligvis ca. 1 time.

— I tillegg til de manuelle spylestasjonene har OVK også fem automatiske hevertspylestasjoner. (Nordstrand).

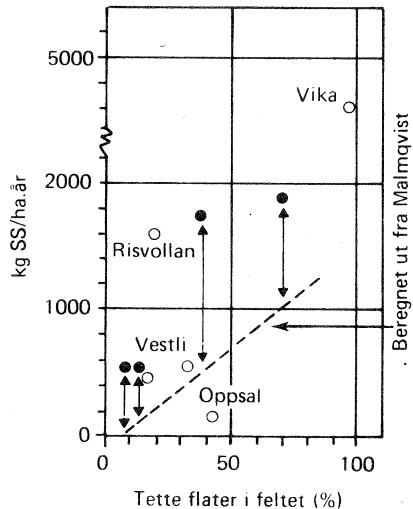
— De aller fleste spylepunktene befinner seg i områdene nær endeledningen, det vil si der tørrværvannføringen er lav.

BEREGNEDE TØRRVÆRAVLAGRINGER I FIRE NORSE FELLESSYSTEMFELTER

I PRA-prosjektet «Forensninger i overvann» (3) ble det utført et betydelig antall forensningsmålinger i overvannet fra 5 separatsystemer og i overvannet fra 4 fellesavløpssystemer. Det ble utført ca. 10 000 analyser på kjemiske parametre over ca. en ett-års periode. Dette materialet kan nyttes i det foreliggende prosjektet. Den beskrivende faktor for et urbanisert felt som best kan korreleres med feltets overvannsforurensning, er funnet å være andelen tette flater. Se f.eks. Reinertsen (7), Lindholm (3) og Malmqvist (10).

Brukes dette prinsippet, kan man sammenligne målingene for fellesavløpssystemene og separatavløpssystemene. Forskjeller i målte mengder kan da ideelt sett tilskrives rørvlagringer i fellessystemrørene, som spyles ut under nedbørsperioder.

Selv om metoden rommer mange usikkerheter, ser man av figurene 1, 2, 3, 4 og 5 at årlige utspylte mengder for separatsystemene er så forskjellige fra utspylte mengder i fellesavløpssystemene at differensen bare kan forklares med utspylte rørvlagringer. Følgende fremgangsmåte er brukt for å beregne årlige rørvlagringer



Figur 1.

Årlig mengde suspendert stoff i overvann.

- = Fellessystem
- = Separatsystem

i fellesavløpssystemene; Bislettbekken (Oslo), Rukklabekken (Sandefjord), Solvik (Bærum) og Øya (Trondheim):

- 1) Bestemmelse av «normal» mengde forurensning i overvann i separatsystemer. Bestemmes ved bruk av anbefalte verdier for 850 mm nedbør fra Malmqvist (10) og Reinertsen (7), uttrykt som funksjon av andelen tette flater i feltene. Verdiene er lagt inn i figurene fra PRA-prosjektet (3). En ser at de anbefalte verdiene stort sett passer bra med de målte verdiene fra PRA-prosjektets separatsystemer.
- 2) Den målte stoffmengden for fellesavløpssystemene fratrekkes verdien av den «normale» overvannsforurensningen i separatsystemene.

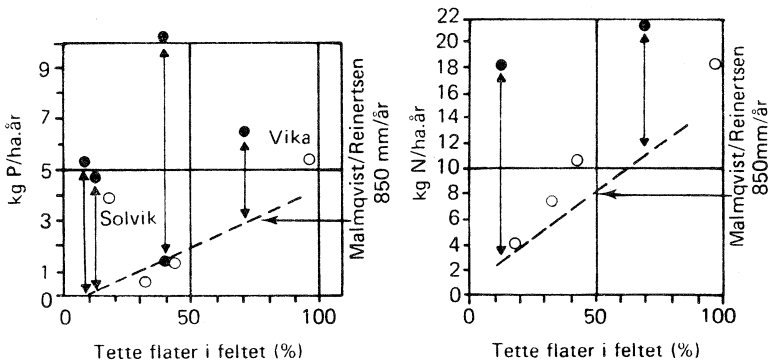
3) Differensen forutsettes å være tørrværsavsetninger i ledningene. Den valgte verdien for overvannsforurensning i separatsystemene ble beregnet ut fra 850 mm nedbør pr. år.

Tabell 1 viser fysiske data for de fire fellesavløpssystemfeltene fra PRA-prosjektet.

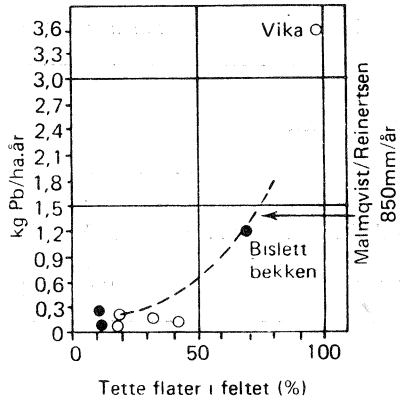
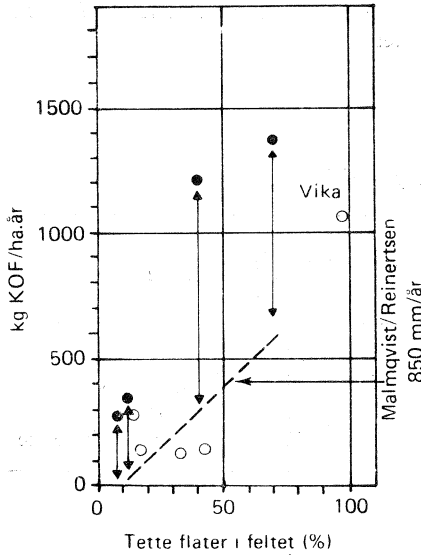
Tabell 1. Fysiske data fra de anvendte fellessystemfelt.

Feltbetegnelse	Areal ha	% tette flater	Antall p.e. pr. ha	Midlere helning i feltet i $^{\circ}/_{00}$	Type felt
Bislettbekken, Oslo	219	69	342	28	Leiegårder, sentr.omr.
Rukklabekken, Sandefjord	380	12	25	25	Boliger, spredt
Øya, Trondheim	21	37	93	11	Leiegårder, bystrøk
Solvik, Bærum	175	11	17	22	Åpen villabebyggelse

Den årlige beregnede spillvannsproduksjonen er basert på følgende standardtall: 2,5 g fosfor/p.d., 12 g tot.N/p.d., 75 g SS/p.d. og 150 g KOF/p.d.



Figur 2 og 3. Forurensning i overvann.



Figur 4 og 5. Forurensning i overvann.

Figur 6 viser de prosentvise røravlagringer fremstilt i et histogram.

For bly er de avlagrede mengdene så små at de ikke kan beregnes med noen sikkerhet. Dette er også naturlig da det er lite bly i husholdningsspillvann. Mesteparten av blyet skriver seg fra trafikkforurensningene som vaskes ut i overflatevannet.

Undersøkelsene viser at jo mer stoffkomponenten er knyttet til kloakkpartikler, jo høyere blir avlagringsmengdene.

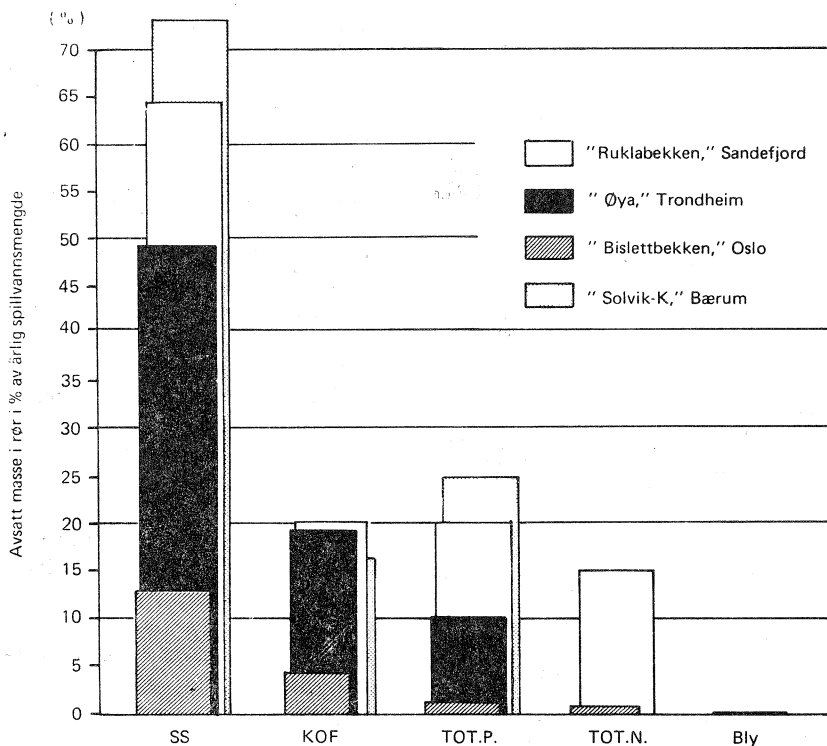
PRA-prosjektet (3) målte på de samme kjemiske parametre i tørrvær som i nedbørperioder.

Figur 7 viser beregninger på hvor stor andel av stoffkonsentrasjonene i tørrværsavrenningen som «mangler» i forhold til

stoffkonsentrasjonene i «normal» kloakk. Man har da antatt følgende spesifikke produksjonstall: 2,5 g fosfor/p.d., 75 g SS/p.d. og 150 g KOF/p.d. Disse teoretiske erfaringstallene er fordelt i målt spillvansavrenning i tørrvær. Man kan da beregne «normal» konsentrasjon i tørrværsavrenningen for feltet. Manglende konsentrasjonsandel beregnes da med utgangspunkt i differensen i konsentrasjon mellom «normal» kloakk og målt kloakk.

Figur 7 viser at korrelasjonen mellom røravlagring og manglende konsentrasjon for SS er meget god. Dette vil si at lav tilførsingsgrad for suspendert stoff nesten fullt ut kan forklares med røravlagringer i tørrværsperiodene.

Figuren viser at korrelasjonen for organisk stoff (KOF) og total fosfor (tot.P)



Figur 6. Røravlagringer som prosent av årlig stoffmengde i spillvann fra respektive felter.

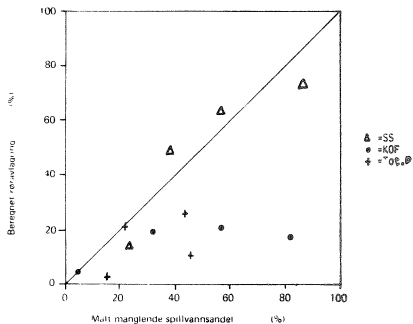
ikke er fullt så god for alle feltene. Av figuren kan man konstatere at lav tilførsingsgrad helt kan forklares med røravlagringer i tilfeller, men bare delvis for de resterende tilfellene. Hovedinntrykket for fosfor og organisk stoff er at ca. halvparten av den lave tilførsingsgraden kan forklares med røravsetninger. Grunnen til at det samme feltet kan forklare lav tilførsingsgrad med røravlagringer fullt ut for SS, men bare halvveis for KOF og tot.P kan være at de siste komponentene

lettere tar veien ut i små sprekker i rørskjøter etc. Dette bør bli gjenstand for nærmere undersøkelser.

ERFARINGER FRA USA

Når man begrenser litteratursøkingen til kvantifisering av røravlagringer, blir litteraturhøsten meget tynn. De eneste resultatene som her refereres til blir:

- a) Pisano, Aronson og Queiroz. «Dry-weather deposition and flushing for



Figur 7.

Sammenligning mellom prosent rørvagring og prosent «manglende» konsentrasjon i spillvannet.

combined sewer overflow pollution control» (1).

b) Sonnen, M. B. «Abatement of deposition and scour in sewers». (2).

a) I prosjektet til Pisano et al. var målet å studere mulighetene og hensiktsmessigheten av å etablere utspylingsrutiner/anordninger i kombinertledningsnettene som et integrert tiltak for å hindre forurensningsutslipp via regnvannsoverløp.

I fase I av prosjektet ble fire testsegmenter i Boston spylt over ulike tidsperioder og med forskjellige spylemetoder. Forsøkene skulle kvantifisere effektiviteten med hensyn til minskede rørvagringer.

Fjerning av 75—90 prosent av sand, organisk stoff og næringsstoffer i rørene ble oppnådd over enkelttrekningene når disse har små diametre (300—400 mm). Alle spylemetodene ga omtrent lik effektivitet. En hensiktsmessig spyleprosedyre ble rapportert

å være spyling med ca. 1,5 m³ vann ved en spylehastighet på ca. 15 l/s. I fase II arbeidet man med å studere problemet med å spyle lange flate strekninger, hvor sannsynligheter for resedimentering er stor. Resultatene viste at tyngre sandfraksjoner resedimenterer raskt etter løsspyling, mens de lettere fraksjonene blir i suspensjon. Omkring 20—30 prosent av suspendert stoff og omkring 50 prosent av BOD og næringssalter er fremdeles i suspensjon etter 30 minutter.

I den neste fasen ble en automatisk spylestasjon konstruert og installert. Denne ga samme resultater som man fikk med spyling fra prosjektets tankvogn.

I siste fase av prosjektet etablerte man matematiske relasjoner for rørvagring, med basis i det store datagrunnlaget feltarbeidet hadde gitt. Prosjektet strakk seg over perioden 1977—1979.

Konklusjoner fra rapporten er:

- Kontroll med forurensninger fra regnvannsoverløp er et økende problem.
- Hovedproblemet, forurensningsmessig sett, er de kraftige utspylinger av slam fra rørvagringene.
- Studier i bl.a. Buffalo, N.Y. har vist at 20—30 prosent av de årlige spillvannspartikler sedimenterer i rørene og blir senere skylt ut med overvannsflokker. Samme konklusjoner er funnet i 4 andre referenser.
- Av 3000 undersøkte kum-til-kum strekninger hadde 17 prosent ca. 75 prosent av alt sedimentert slam i rørene.

- Mindre og middels store regnskyll klarer ikke å spyle rene avløpsledninger med avsetninger. De større regnskyllene vil dermed inneholde store konsentrasjoner og mengder av forurensninger. Mesteparten av dette vil gå urenset i overløp.
- Spyling av avløpsledninger er et kost-effektivt hjelpemiddel når forurensninger fra fellessystemer skal begrenses.

b) I prosjektet til Michael B. Sonnen ble det ikke gjort feltmålinger. Det mest iøyenfallende fra Sonnes prosjekt er utviklingen av en matematisk modell som kontinuerlig kan beregne sedimentert materiale i alle enkeltrør, og erodert materiale fra samme rør i samme tidspunkter. Programmet holder dermed kontinuerlig oversikt over materialbalansen i alle rør for alle tidspunkter. Modellen er koblet til EPA's avløpsnettprogram, SWMM. Av hans konklusjoner kan nevnes:

- Akkumulasjon av kloakkpartikler skjer i mange rør i et ledningsnett, og vil vanligvis bli skylt ut på de mest ugunstige tidspunkter, nemlig når renseanlegget likevel er hydraulisk overbelastet.
- Bruk av hvirveloverløp i ledningsnettene er et kost-effektivt hjelpemiddel for å begrense utslipp av forurensninger fra overløp og overbelastninger på renseanlegg.
- Avlagringer kan skje under forhold hvor hastigheten er over 0,6 m/s i ledningene. «Første-utspylings» situasjoner kan derfor oppstå selv om hele ledningsnettet er prosjek-

tert med «selvrensende» hastigheter.

- Fellessystemer kan ved hjelp av fordrøyningsvolumer og/eller hvirveloverløp ha en bedre evne til å begrense utslipp av forurensninger i forhold til normale separatsystemer. Kostnadene vil for de to systemene likevel være omtrent like.

BETYDNING AV RØRAVSETNINGER FOR FORURENSNINGSSITUASJONEN

De avlagrede stoffene vil spyles ut i nedbørperioder. Disse sjokkbelastninger vil dels gå direkte i regnvannsoverløp, i nødoverløp i pumpestasjoner eller skylles inn i renseanlegget. Betydningen for restutslippet fra renseanleggene er det umulig å si noe generelt om. Dette avhenger av renseanleggets type, størrelse, eventuell overkapasitet og driftsforhold. Sikkert er at det relative restutslippet forårsaket av utspylte røravsetninger er større enn under normale tørrværsperioder, da røravsetningene kommer sammen med store hydrauliske belastninger. Det vil være gunstigere for restutslippet at røravlagringene kommer relativt jevnt fordelt i tid enn over de få timene hvor nedbøren skyller de ut.

I de tilfellene der regnvannsoverløpene trer i funksjon, vil løsspylte røravlagringer gå direkte i overløp. Sett over året vil likevel en del løsspylte røravlagringer nå frem til renseanleggene.

For å bestemme hvor stor andel av røravlagringene som går til resipient via regnvannsoverløpene har man valgt å benytte eksisterende regnvarighetskurver. For Bislettbekken og Solvik er regnvarighetskurver for Oslo-vest benyttet og for

Rukklabekken og Øya er regnvarighetskurver for Varden, Sandefjord benyttet. Selv om valget av regnvarighetskurver ikke er helt korrekt for de lokale forhold i feltene, påvirker ikke dette konklusjonene, da avløpsfeltene i og for seg kunne ha ligget hvor som helst i Norge.

Beregningene er utført ved å bestemme videreført vannføring fra overløp av regnvannstilskuddet ($n = 4$, tilsier 1 del spillvann og maks. 3 deler regnvann). Deretter ble korresponderende kritisk regnintensitet beregnet ved den «rasjonelle» avrenningsmetoden.

Denne kritiske regnintensiteten ble brukt i regnvarighetskurven for å finne andelen regnvann som gikk i overløpet pr. år.

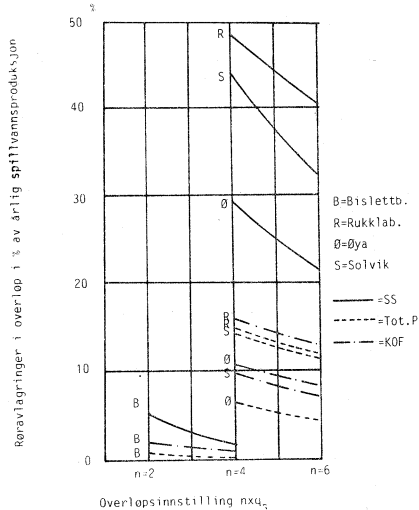
De årlige avlagrede mengdene i rørene ble så fordelt homogent i alt avrentt overvann som når rørsystemet.

Det er gjort beregninger for Bislettbekken for overløpsinnstillingene $n = 2$ og 4 ganger tørrværsavrenningen, tilsvarende $I_{kr} = 4,3$ l/s.ha og 13 l/s.ha. For de andre feltene er det gjort overløpsberegninger $n = 4$ og 6, tilsvarende $I_{kr} = 1,8-3,0$ l/s.ha (Solvik), $I_{kr} = 2,8-4,6$ l/s.ha (Rukklabekken) og $I_{kr} = 5,0-8,3$ l/s.ha (Øya). Forskjellsbehandlingen for feltene med hensyn til valg av overløpsinnstillinger skyldes den meget høye tørrværsavrenningen i Bislettbekken i forhold til de andre feltene. Det ville være unormalt å velge en så høy overløpsinnstilling som $6 \times q$ i Bislettbekken, og så lav som $2 \times q$ i de andre feltene.

Figur 8 viser utspylte røravlagringer via overløp som en prosentvis andel i forhold til total produksjon i det årlige spillvannsløpet.

For feltet Bislettbekken med 342 personenheter pr. ha blir spillvannsmengden

så intens at røravlagringene absolutt sett blir ganske moderate, samtidig som avlagringene relativt sett blir små i forhold til den svært store årlige spillvannsproduksjonen.



Figur 8. Røravlagringer avlastet i overløp

For feltet Øya med 93 personenheter pr. ha ser man imidlertid at «tapte» røravlagringer i overløpet for f.eks. suspendert stoff er hele 20—30 prosent av feltets totale årsproduksjon og for fosfor 5—6 prosent.

For de to andre feltene med 17—25 personenheter pr. ha tapes så mye som 30—50 prosent av årsproduksjonen av SS og 10—15 prosent av årsproduksjonen av fosfor i overløpet som følge av løsspylte røravsetninger i nedbørperiodene.

LITTERATURREFERENSER

1. *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, USA, Ohio, August 1979.
2. *Sonnen, M. B.*: «Abatement of deposition and scour in sewers». EPA-Contract No. 68-03-2205, USA, Ohio, June 1977.
3. *Lindholm, O.*: «Forurensninger i overvann». PRA-rapport nr. 7, Oslo, april 1977.
4. *Lysne, D. K.*: «Selvrensing i avløpsrør». PRA-rapport nr. 9, Oslo, mars 1976.
5. *Faldager, I., Erling, H., Sparwath, K.*: «Afløbsledningers vandføringsevne og selvrensningsevne». Teknologisk Institutt, København, januar 1982.
6. *Helland, B. og Dannevig, L.*: «Statistikk over kloakkstopper og renselagens arbeide i 1981». Oslo Vann- og Kloakkvesen, februar 1982.
7. *Reinertsen, T.*: «Forurensninger i overvann». PTV-rapport nr. 15, Trondheim, august 1981.
8. *Aaberge, O.*: «Utbedring av avlapsenett». Hovedoppgave, NTH, Trondheim, 1977.
9. *Olsen, W.*: «Systemanalyse ved hjelp av EDB for Sandefjord». Hovedoppgave, NTH, Trondheim, 1978.
10. *Malmqvist, P. A.*: «Dagvattenets föroreningar». Meddelande 66, CTH, Göteborg, 1982.
11. *Gjerstad, F. O.*: «Systemanalyse ved hjelp av EDB — Steinkjer». Hovedoppgave, NTH, Trondheim, 1978.
12. *Lindholm, O.*: «Tørrværsavsetninger i fellessystemrør. Fase I, problembeskrivelse». VA-rapport nr. 10/82, NIVA, Oslo, 15. oktober 1982.