

Enkle metoder for å beregne overløpsavlastninger og forurensningsmengder fra overløp i kombinertsystem

Av Terje Faresteveit

Terje Faresteveit er ansatt som avdelingsingeniør i Statens forurensningstilsyn (SFT).

INNLEDNING

Den relative effekten av overløp fra kombinertsystem med hensyn på forurensninger, har økt de siste år på grunn av økt rensetilknytning og rensegrad. Når nye ledningsnett blir tilkoblet eksisterende system med begrenset kapasitet og effektivitet, vil også overløpsmengdene og forurensningsbelastningen øke. For å kunne utvikle en god metodikk når det gjelder å håndtere slike utslipp, må vi være i stand til å beskrive overløp og deres funksjon, både kvalitativt og kvantitativt. I løpet av de siste 10—15 år er det gjort store anstrengelser for å utvikle et slikt verktøy.

Det har tidligere vært antatt at overløpsutslipp representerer fra 10—75% av de totale utslipp over året og at inntil 25—40% av ledningsvolumet kan være fylt med avsetninger, avhengig av ulike parametre og feltbetingelser.

Jeg vil starte denne presentasjonen over enkle metoder for beregning av overløpsmengder fra kombinertsystemet, med å gi en oversikt over hvilke metoder forskere har brukt opp gjennom tiden for å

beregne forurensnings- og overløpsmengder fra kombinertsystem. Hitil har ingen vært i stand til å gi gode ligninger eller matematiske beregningsmodeller for beregninger, og det vil derfor være nyttig å kikke nærmere på hvordan forurensninger bygges opp i ledninger i kombinertsystemer.

METODER

Oddvar Lindholm, NIVA, gjorde i 1974—75 i forbindelse med PRA-prosjekter undersøkelser i 9 felt, hvorav 4 var utbygd etter kombinertsystemet. /1/. Han antok at konsentrasjonen og mengdene utspylt var store tidlig i regnforløpet i urbaniserte områder, ved stor regnintensitet og etter lange tørkeperioder. Han antok også at utspylte mengder var avhengig av fallet på ledningene i området.

Fra september 1974 til juli 1975 ble prøver tatt ut manuelt fra regnet startet. 5 til 20 prøver ble tatt for hvert regntilfelle og analysert for SS, KOF og Ptot. Han beregnet forurensningsutslipp via overløp for hvert år og for hvert regntilfelle, men prøvde ikke å lage ligninger eller matematiske modeller for av-

leiringer. Han ga bare noen generelle regler for hvordan systemet ville fungere under ulike betingelser og antok at fall og perioder uten nedbør ville være de viktigste faktorene. Hans viktigste konklusjon var at utslippene via overløp sannsynligvis var større enn utslippene over året fra biologisk/kjemiske renseanlegg.

Pisano, Aronson, Queiroz, Blanc og O'Shaughnessy foretok fra 1976—78 et studium av tørrværsavsetninger og utspylinger fra kombinertsystem /2/. Målet var her å finne fram til modeller eller ligninger for nødvendig kunstig spyling for å unngå overløpsutspylinger. Som et grunnlag for dette, prøvde de å lage ligninger for tørrværsavsetninger og de brukte både kunstige utspylinger og målte på reelle hendelser. Prøver ble tatt manuelt foran utspylingbølgen og etter denne, og det ble analysert på KOF, BOF, TKN, NH₃, Ptot og VSS. Basert på konstanter og variable lagde de deterministiske ligninger for avleiringer og utspylinger. Tilsvarende ligninger var laget av Geiger og Lager i 1975 i to ulike forsøk.

I 1977 lagde M. B. Sonnen, USA, en matematisk modell knytta til dataprogrammet Storm Water Management Model (SWMM). Denne var basert på arbeidene til Pisano et.al.

Wolfgang Geiger, Munchens tekniske universitet, studerte i en 4-års periode, fra 1977 til 1981, ulike sider ved avlagringer og utspylinger i kombinerte systemer. Hans metoder var lik de Pisano et.al. brukte, men han brukte bare rentvann når han

spylte ut ledningene. Prøver ble tatt ut hvert 90. minutt automatisk i tørrvær og hvert 5.—20 minutt under nedbør. Hans konklusjon var at systemet var av stokastisk, altså ikke forutsigbar natur. /3/

William Hogland, Ronny Berndtsson og Magnus Larsson gjorde et studie på kombinertsystemer i Malmö i 1982. Deres forsøk var spesielt retta inn mot tiden mellom hvert nedbørtilfelle. /4/. Deres konklusjoner var at avleiringsperioden i nettet var minst 12 dager før en likevekt inntrådte, og at dette fenomenet var av større viktighet enn tiden fra siste overløphendelse.

G. Stotz og Kh. Krauth, Institut für Siedelungswasserbau ved universitetet i Stuttgart lagde en tilsvarende analyse som Geiger i 1983. De tok prøvene manuelt, og tidsintervallet mellom hver prøve var ned i 15 sekunder, noe de seinere fant ut var for lenge for å kunne måle forurensningsutslippene godt. Tiden mellom hvert nedbørtilfelle varierte her fra 12 til 288 timer (12 dager). Ut fra tørrværsperioder og fallforhold, prøvde de å lage ligninger for masser som går i overløp. De fant en god korrelasjon for SS, men ikke for andre parametre. /5/.

Fra 1982 til 1986 foretok NIVA teoretiske analyser og prøvde ut matematiske modeller for beregninger av tørrværsavsetninger i kombinert-system og forurensningsavlastninger til resipienter /6/. Det ble prøvd å lage ligninger for overløpsavlastninger basert på multiple korrelasjoner mellom parametre andre forskere hadde målt på. Dette var for en stor del basert på det arbei-

det Pisano et. al. gjorde i 1976—78, og det Sonnen et.al. gjorde i 1977. I tillegg ble det prøvd å ta hensyn til avrenninger fra overflater i løpet av nedbørsperioden. Det ble videre antatt at hva som ble målt som massetransport til målepunktet nedstrøms overløpet i løpet av et regnvær, var summen av produsert forurensning minus overløpsmengder. Denne framgangsmåten forutsetter at du har god kontroll på produsert forurensningsmengde. I 1985/86 fant NIVA at antatt forurensningsproduksjon hadde vært overestimert med hensyn på fosfor. Med andre ord hadde avlagringene i ledningsnettene vært overvurdert i disse beregningene.

I 1982—84 gjorde NHL i Trondheim undersøkelser på sjølrensing av ledninger. Konklusjonen herfra var at tørrværsavsetninger bare finner sted ved svært lave vannføringer og ved svært lave fallforhold. Med andre ord vil vi sjelden ha avsetninger uten at vi har feil på systemet som svanker eller hindringer. /11/. Engelske undersøkelser tyder i tillegg på at vi har avsetninger ved dimensjonsendringer, vinkelendringer o.l.

I dag foregår det undersøkelser i stor skala over hele verden for å kunne si mer om dette fenomenet. I de nordiske land er det i gang et større samarbeidsprosjekt som nå har pågått i 4 år. Prosjektet går ut på å måle avsetninger etter ulike tørrværsperioder. I tillegg vil mekanismene bak sedimentasjons- og erosjonsprosesser i rør bli studert.

Noen av resultatene er nylig blitt publisert og nye rapporter vil fore-

ligge i løpet av året. I en nylig publisert rapport fra NIVA er 1 sone i Oslo studert i 5 år, et område med gode fallforhold og høg befolkningstetthet. Konklusjonene her er at avsetningene var relativt små i forhold til tidligere konklusjoner og i forhold til undersøkelser i andre land. Dette antas å skyldes den høye tørrværsavrenning vi får ved så høy befolkningkonsentrasjon og de gode fallforhold.

Water Research Center (WRC) har starta et tilsvarende arbeid i 4 områder i England.

Universitetet i Hannover har starta et prosjekt med det formål å lage en matematisk modell som skal kunne forutsi avsetninger for de mest vanlige forurensningsparametre. Også i andre områder i Vest-Tyskland pågår det arbeider for å optimalisere håndteringen og styringen med avløpssystemet.

ENKLE REGLER

Alle som har prøvd å studere avlastninger fra kombinertsystemet har konkludert med at variasjonene er store, avlastningene varierer med en faktor opp til 10. Det er også vanskelig å forutsi disse variasjonene slik at det kan lages modeller eller ligninger for de. Det er svært vanskelig å måle avlastningene godt fordi innholdet i den første utspylingbølgen varierer såvidt mye over svært korte tidsintervaller. Arbeidene til Stotz og Kraut viste at selv ikke 15 sekunder mellom hver prøve var tilstrekkelig til å beskrive denne variasjonen. Etter 10 år med forskning på dette feltet er vi altså frem-

deles ikke i stand til å kunne forutsi hvilke avleiringer vi kan vente oss. I tillegg er selve målingen vanskelig å foreta, selv for trenede forskere. Vi forstår imidlertid nå mye mer av avsetningsforløp og årsakene til disse enn vi gjorde før, og vi vil trolig snart være i stand til å kunne gi brukbare overslagsberegninger for forurensningsutslipp via overløp.

Pisano et al. målte i 75 ulike soner og gjorde regresjonsanalyser på de data de samla inn. De fant mer eller mindre gode korrelasjoner med følgende parametre;

- Total rørlengde i området
- Nedslagsfeltets areal
- Gjennomsnittlig fall i området
- Gjennomsnittlig diameter på rørene
- Den rørlengde som samler opp 80% av tørrstoffet
- 25% av den rørlengde med minst fall innenfor det areal hvor 80% av tørrstoffavsetningene finner sted.
- Vannføring pr. pe. inkludert muligheter for infiltrasjon.

Ut fra disse parametre ble 4 ulike ligninger med ulik kompleksitet og nøyaktighet laget. Korrelasjonskoeffisienten varierte mellom 0.949 og 0.845.

Seinere arbeider har vært fokusert på tørrværsavrenning (Lindholm) og tiden mellom nedbør (Hogland et al. og Stotz/Kraus). Ligninger som de som her er vist har ikke

seinere blitt bekrefta, og det er nå alminnelig antatt at måten avlagringer skjer på i rør og hvordan de spyles ut ikke kan «forutsies» med ligninger eller matematiske modeller.

Jeg vil nå gå nærmere inn på hvilke faktorer som virker inn på sedimentering i rør og på utspylingmasser. Parametre som her har vært studert er:

- Total rørlengde
- fallforhold
- tørrværsavrenning og vannføring pr. pe.
- regnintensitet og volum av regn for hvert tilfelle
- type område og bruken av dette
- tørrværsperioder
- nedbørfeltets areal
- diameter på rør
- befolkningstetthet
- kvalitet på anleggsarbeider.

Det er åpenbart at flere av disse parametre vil ha betydning for om og i hvilken grad avsetninger kan finne sted og hvor mye som vil gå i overløp, men det er svært vanskelig å finne noen generelle korrelasjoner på grunn av avsetningenes natur.

Rørlengde.

Både Pisano et al. og Lindholm har studert dette uten å finne noen god korrelasjon mellom avsetninger og rørlengde. Dette er trolig fordi flere av de parametre som er studert påvirker hverandre. Rørlengden har trolig stor betyd-

ning fordi sannsynligheten for å ha feil på nettet som forårsaker avsetninger øker med lengde, men dette er til dels ivare tatt ved andre parametre.

Fallforhold.

Ut fra at nødvendig skjærspenning for å holde ledningen sjølrens er lav, kan vi ikke vente noen god sammenheng mellom avsetninger og fallforhold. Likevel vil volumene på avsetninger og stabiliteten på disse avhenge av fallet, siden vi i stor grad har avsetninger begrenset til svanker o.l. De fleste undersøkelser viser at vi har små avsetninger når det gjennomsnittlige fallet er mer enn 15^o/₁₀₀. Rør som ligger så bratt vil stort sett være sjølrensende. Fall mellom teoretisk sjølrensningsforhold og 10—15^o/₁₀₀, vil ha dårlig korrelasjon med avsetninger.

Et anslag vil derfor være at om vi har fallforhold mindre enn 1,5% så kan vi ha avsetninger, men det er nødvendig å se på andre parametre for å kunne si noe om hvor store disse kan være.

Tørrværsavrenning, vannføring pr. pe. og pe. pr. meter.

Vannføring pr. pe. og pe. pr. meter rør er parametre som korrollerer med tørrværsavrenning og total rørlengde. Vannføring pr. pe. gir et mål for infiltrasjon, og vil være viktig for sjølrensningsforhold, men tørrværsavrenningen har hittil vært sett på som det beste parameter i så måte. Som tidligere nevnt skulle det ikke oppstå problemer om rørene er lagt skikkelig. Siden dette ikke alltid

er tilfellet, vil deler av ledningsnettet fungere som sedimentfeller. Det viktigste hindret mot at disse skal være stabile ser ut til å være en høy tørrværsavrenning og godt fall.

Regnintensitet og regnvolum.

Ulike konklusjoner her har vært trukket av ulike forskere, men et flertall mener at volumet spiller en mindre rolle for avsetninger enn intensiteten. Pisano et al. konkluderte med liten og moderat regnintensitet ikke ville forårsake overløp, men de ville heller ikke føre til en utvasking av avlagringer. Dette stemmer godt overens med de resultater som Paul Lossard i Quebeck og Hogland i Malmø fant. Geiger fant imidlertid en sammenheng mellom regnintensitet og overløpskonsentrasjoner. Resultatene er imidlertid trolig avhengig av overflatebidraget.

Type og bruk av nedbørsområde.

Det foreligger ulike resultater og oppfatninger om hva bruk av områder betyr, men det virker sannsynlig at erosjon og gatefeingsrutiner vil influere på avlastninger via overløp. Lindholm og Reinertsen antar at overflatebidraget som tilføres under nedbør er proporsjonalt med tett areal og regnintensitet.

Om vi ser på næringsalter og organisk stoff, ser det ut til å være enighet om at spillvannet spiller den viktigste rollen. Når det gjelder SS, tungmetaller og miljøgifter, spiller imidlertid overflatebidraget en viktigere rolle. Både Lindholm og Hogland har påpekt at gatefeingsprak-

sis vil spille en vesentlig rolle for overløpsmengder i løpet av en regnhendelse.

Tørrværsperioder.

Pisano et al. og Geiger tok ikke hensyn til hvor lang tid det gikk mellom hvert regn. Geiger antok at dette ikke ville spille noen stor rolle.

Field, Hogland et al., Lindholm og Stotz/Krauth fant imidlertid at dette var av stor viktighet fordi det ville ta mange dager før en likevektstilstand ble oppnådd. Dette er en av de viktigste faktorer som det pågående nordiske prosjektet arbeider videre med. Lengden på tørrværsperiodene vil trolig være av stor betydning når forurensningsmengder som går via overløp skal beregnes over et år, og når avlastninger for hvert tilfelle skal kunne anslås.

Nedbørfeltets areal.

Det totale arealet vil være av en viss interesse for de totale mengder som sedimenterer i nettet. Andre parametre vil imidlertid overskygge dette forhold i de fleste tilfeller. Ingen har funnet noen god korrelasjon mellom areal og avsatte mengder.

Rørdiameter.

Rørdiameter er sjølsagt viktig for sjølrensingsforhold i nettet. I tillegg kommer det opplagte forhold at stor vannføring gir best sjølrensing i mindre rør. Men siden diameteren korresponderer nært med andre parametre som tidligere er beskrevet, er denne faktoren allerede tatt hensyn til. Parametre som befolk-

ningstetthet og pe. pr. meter rør vil mer eller mindre fortelle det samme.

Befolkningstetthet.

Befolkningstettheten er viktig fordi den gir en høy tørrværsvannføring. Vi kan imidlertid ikke bruke både tettheten og tørrværsavrenning fordi de er et uttrykk for mer eller mindre det samme fysiske forhold.

Kvaliteten på anleggsutførelsen.

Som tidligere nevnt er sedimentasjon i rør svært avhengig av svanker, vinkelendringer o.l. Dette innebærer at kvaliteten på anleggsarbeide og geotekniske forhold er av stor viktighet. Dette har ikke blitt studert så langt, men det omtalte nordiske prosjektet vil se nærmere på slike forhold. Et av prosjektets mål er å måle volum i rør som er forårsaket av setninger som gir muligheter for avsetninger, og se om det er noen sammenheng mellom avlastninger og potensielle lagringsvolumer. Dette kan være svært vanskelig å dokumentere både fordi vi har måleproblem og fordi overflaten på slike «lagre» er av større viktighet for stabiliteten en sjølve volumene. Det synes likevel rimelig at geotekniske forhold og kvalitete på anleggsarbeider er av stor betydning for avlagringer.

Konklusjoner.

Måten sedimentering skjer på i rør er vanskelig å beskrive og forutsi. Det har vært arbeidet med dette spørsmål i mange år, men det er fremdeles langt igjen før vi kan si

at vi fullt ut forstår hvilke faktorer som spiller inn under ulike forhold. Vi vet en god del om hvilke faktorer som spiller en rolle, men vi vet lite om hvordan de influerer på hverandre, og det er svært vanskelig å foreta målinger av dette.

For å forutsi hvorvidt vi kan vente oss problemer i form av store utslipp via overløp, er det imidlertid mulig å gi noe svært generelle regler. Jeg vil her peke på 4 viktige faktorer som skulle være rimelig enkle å måle og bestemme:

- kvaliteten på anleggsutførelse
- fallforhold
- tørrværsavrenning
- geotekniske forhold.

Om anleggsarbeidet er gjort med tilfredsstillende kvalitet og fallforholdene er gode, skulle det ikke oppstå betydelige problem med sedimentering i ledningsnett.

Om fallet på nettet er større enn 1,0–1,5% skulle ikke oppstå større problem med hensyn til sedimentering. Med lavere fall, må vi se på andre forhold som tørrværsavrenning, befolkningsnetthet og meter rør pr. pe.

Om tørrværsavrenningen er stor, skulle det heller ikke være for store problemer med avsetninger. Er denne lavere, må vi se på andre parametre som fallforhold, ledningslengde og lengde pr. person.

LITTERATUR:

1. Lindholm, O. Forurensninger i overvann. PRA 7 ISBN 82—90 180—05—5 Prosjektkomiteen for rensning av avløpsvann 1975.
2. Pisano et al. Dry Weather deposition and flushing for combined sewer overflow control 1979. PB-80-118524. EPA/600/2—79/133.
3. Geiger, W. F. Characteristics of Combined Sewer runoff. Third International Conference on Urban Storm Drainage — Göteborg 4.—8. juni 1984. p. 851—861.
4. Lindholm, O. Dry Weather deposition in combined sewer overflow. Ibid p. 861—869.
5. Stotz, G., Krauth Kh. Factors affecting first flushes in combined sewers. Ibid. p. 869—879.
6. Hogland, W. et al. Estimation of quality and pollution load of combined sewer overflow discharge. Ibid. p. 841—851.
7. Lindholm, O. Konsekvenser av tørrværsavsetninger i avløpsledninger. PTV 29 — 1984. ISBN 82-90328-33-8.
8. Lindholm, O. Tørrværsavsetninger i fellessystemrør. Fase 1. Problem-beskrivelse. NIVA-rapport VA-10/82. 1982.
9. Hogland, W. et al. Breddavlopp — Funktionsanalys, sanering och dimensjonering av breddavlopp. Byggforskningsrådet T. 13:198.
10. Aaby, L. Forurensninger fra overløp. Samarbeidsprosjekt Oslo vann- og avløpsverk og NIVA. Framdriftsrapport 1987.
11. Berg, A. Undersøking av naturleg sjelvreising i to avløpsleidninga i Trondheim. EFT 60 A96048 NHL rapport, SINTEFF-gruppen. 1986.