

Beregning av totalt forurensningsutslipp fra avløpssystem

Optimalisering av totalutslipp i Høvringen avløpsdistrikt i Trondheim

Av Jadranka Milina, Axel König, Ingrid Selseth og Sveinung Sægrov*
Lars Risholt og Wolfgang Schilling**

* SINTEF Bygg og miljøteknikk, avdeling Vannrensing og VA

** Institutt for vassbygging, NTNU

Summary

The article presents an integrated model and some results of its application to optimise the total pollution discharge from the Høvringen wastewater system in Trondheim. The model is accommodated to the requirements of the new regulatory system for receiving water protection in Norway (total pollution discharge permit). The model shows the effect of different kind of measures to reduce the discharge of polluted water, including static measures like runoff retention, separation of storm water and sewage, waste water pumping, and dynamic measures by valve operation.

Sammendrag

Artikkelen presenterer en totalmodell og et utdrag av resultater fra anvendelsen for å optimalisere samlede utslipp

fra Høvringen avløpsdistrikt i Trondheim. Modellen viser effekten av ulike tiltak for å redusere utslipp av forurenset vann, både statiske tiltak som fordrøyning, separering og pumping av avøpsvann, og dynamiske tiltak som styring av vannstrømmer ved luker og terskler.

Innledning

I mange byer og tettsteder er det gjennomført mye arbeid for samling og rensing av avløpsvann og overvåking av forurensningsutslipp. Fremdeles registreres imidlertid vesentlige forurensninger. Vannkvaliteten i lokale resipienter, spesielt i bekker, er ofte ikke tilfredsstillende.

Ansvar for forbedring av avløpssystemets effektivitet er i dag delegert til

regionalt og kommunalt nivå. Forutsatt at internasjonale krav (Nordsjø-deklarasjon og EUs avløpsdirektiver) følges, kan kommunen selv bestemme og definere kvalitetsstandarder for sine lokale resipienter og tiltaksplaner for å oppnå dem. På denne måten stimulerer det nye reguleringsystemet til interesse for lokale miljøproblemer og bruk av lokal kompetanse for å finne løsninger tilpasset til lokale behov og spesifikke betingelser.

I denne desentraliseringsprosessen må brukernes interesser og status for resipienter og avløpssystemer kartlegges, og reduksjon av forurensningsutslipp etter definerte brukerinteresser må inkluderes i planleggingen. Den kombinasjon av tiltak som best møter kravene må kunne beregnes.

Dette konseptet innfører en praksis i kommunens planlegging, vedlikehold og drift, som er i samsvar med moderne forvaltningsprinsipper og som setter fokus på å få et overordnet syn på alle utslipp samtidig. Samtidig krever dette at kommunene forsynes med nye planleggingsredskap. Hvor kapitalutnyttelsen er utilstrekkelig lønner det seg ofte å ta hensyn til dynamikken i hele systemet og utnytte sanntidsstyring som et kostnadseffektivt tiltak. I en slik sammenheng vil en integrert modell av hele avløpssystemet være en stor fordel. Sammen med de betydelige muligheter som finnes ved bruk av ny teknologi ved styring av forurensningsstrømmer vil en total forurensningsutslippsmodell også forbedre kommunikasjonen mellom kommune og brukere og

hjelpe til å oppnå en bedre forståelse av muligheter for forbedring og effektivisering.

Hvorfor en ny modell ?

Det typiske norske renseanlegg er enten et mekanisk eller kjemisk anlegg med fosforfjerning. Overvannsavrenningen er karakterisert av lange perioder med regn og snøsmelting som begge gir langvarig og høy hydraulisk belastning på renseanlegg, og utgjør en vesentlig del av det årlige overløpsvolumet. Et annet markant forhold ved avløpssystemet er en vesentlig innlekking i ledningene fra grunnvann og bekker, som også fortynner avløpsvannet i tørrvårsperioder.

I dag er det ganske få tilgjengelige programmer som kan brukes for å simulere stofftransport gjennom hele avløpssystemet. Programmer som simulerer transport av forurensningsstoff i avløpsnett er MOUSE-TRAP, QSIM, KOSIM, EXTRAN-EXTRAP, NIVANETT, MOSQUITO, SAMBA, etc. Biologisk rensing av avløpsvann kan simuleres ved hjelp av programmene EFOR, STOAT, SIMBA, ASIM, AQUASIM, MRENS, og kjemisk rensing med programmet NIVAPLANT. Bare noen få programmer gjør det mulig å simulere transport og renseanlegg sammen (GESIM, SAMBA/MRENS) og noen prosjekt foregår hvor eksisterende program skal integreres. Det eksisterer imidlertid ingen modeller som fullt ut integrerer avrenning, transport i avløpsnett og rensing, og som samtidig kan simulere styring av avløpsstrømmer (Risholt et. a., 1996).

Utvikling av modellprototyp og sammenkobling av modeller

På oppdrag fra Trondheim kommune og i samarbeid med IFAK (Institut für Automation und Kommunikation, Magdeburg, Tyskland) er det ved SINTEF og NTNU videreutviklet og anvendt en ny integrert modell for avløps-system (Milina et al. 1997).

Denne totalutslippsmodellen er en integrert modell for avrenning, avskjærende system og renseanlegg og består av de tre modulene PLASKI, SIMBAsewer, og SIMBA integrert på Matlab-Simulink plattform (Risholt et al., 1998). Overvannsavrenning og stoffkonsentrasjoner fra avløpsfeltene, samt innlekking og sanitæravløp, modelleres ved hjelp av modulen PLASKI. Dette er et program som simulerer vannbalanse og avrenning for ulike hydrologiske arealtyper i hvert delfelt. Simuleringene skjer kontinuerlig, slik at startbetingelsene for hvert avrenningstilfelle blir riktige. Arealtypene i PLASKI er for eksempel takflater, trafikkarealer, vegkanter og permeable områder. Spillvann og prosessvann fra industrien simuleres med døgn- og ukeskurver.

Den hydrodynamiske transporten av avløp og forurensningsstoffer i avløpsnettet simuleres med SIMBAsewer modulen. SIMBAsewer er et hydraulisk program basert på "diffusiv bølge" approksimasjonen av energiligning og adveksjon-dispersjon ligning for forurensningstransport. Modellen for forurensningstransport kan simulere

valgfritt antall løste og suspenderte forurensninger i vannfasen og sedimenter på bunnen av ledningen. Brukeren kan legge inn ønskede modeller for prosesser mellom stoff i vannfasen eller blant sedimentene på bunnen. Biologisk nedbrytning, kjemiske reaksjoner og sedimentering og erosjon kan simuleres.

Transportmodellen muliggjør simulering av dynamiske effekter som oppstuvning i ledningene ved overløps-terskler og luker, og vannføring i avløpsnett med sløyfer. Sanntidsstyring basert på vannstands- eller vannføringsmålinger og/eller målinger av forurensningskonsentrasjoner kan simuleres.

Renseprosessen modelleres med SIMBA (IFAK 1997). SIMBA er opprinnelig et program for simulering av biologiske renseprosesser, og er utvidet med modeller for kjemiske renseprosesser, (Risholt et al., 1998).

Totalutslippsmodell for Høvringen avløpsdistrikt i Trondheim

Trondheim kommune er i ferd med å ta radikale skritt for å forbedre avløps-systemets effektivitet. Kommunen som er pålagt å oppgradere det største av to renseanlegg innen utgangen av år 2002, har besluttet å bruke SINTEF/NTNU's totalmodell for å sikre en dimensjonering som er optimal i forhold til både hydraulisk og forurensnings-messig belastning på det nye renseanlegget og på resipientene.

Høvringen avløpsdistrikt drenerer et 38 km² stort område med 135.000 pe. Avløpsdistriktet består av 83 avløpsfelt

hvorav 62% er dekket med felles-system. Hele systemet består av 50 gravitsjonsavløp, 22 pumpestasjoner med nødoverløp og 11 direkte koblinger til avskjærende avløpssystem. Hovedstammen i transportsystemet er Høvringen avløpstunnel. Høvringen renseanlegg består i dag av rister, sandfang og 7 roterende siler, figur 1.

Totalmodellen er brukt for å finne et optimalt dimensjoneringsgrunnlag ved oppgradering av Høvringen renseanlegg og saneringstiltak i avløpsfeltene og ledningsnett for å redusere det samlede forurensningsutslippet fra hele avløpsdistriktet. Totale koliforme bakterier (TKB), total fosfor (tot-P), kjemisk oksygenforbruk (KOF) og suspendert stoff er brukt som forurensningsparametre (indikatorer). Etter at anleggsstørrelse og renseprosess er bestemt, kan modellen brukes til å undersøke mulig videre reduksjon i forurensningsutslipp og reduserte driftskostnader ved implementering av sanntidsstyring i avløpsnett og renseanlegg.

Optimalisering av totalt forurensningsutslipp

Aktuelle renseprosesser i det nye Høvringen renseanlegg er under testing i pilotskala. Siden renseprosessen ikke var besluttet da beregningene med totalmodellen ble utført, ble analysene i denne omgang begrenset til tiltak oppstrøms renseanlegget.

Analysene er utført med utgangspunkt i følgende kriterier for systemets funksjonsforbedring:

- Reduksjon av forurensningsutslipp til

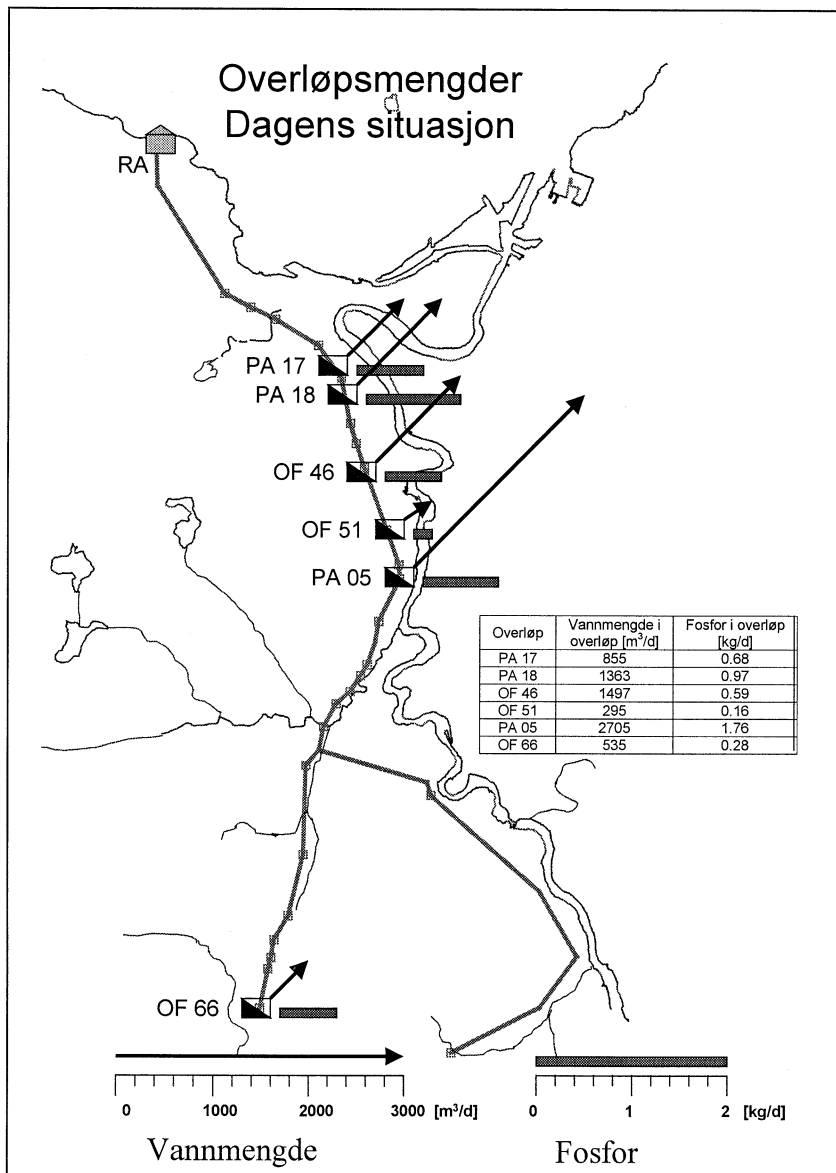
Nidelva og bekkene oppstrøms,

- Økning av forurensningstilførsel til renseanlegget uten økning av den hydrauliske belastningen,
- Reduksjon av totalt forurensningsutslipp fra det samlede avløpssystemet (dvs. overvannsutslipp, overløp, omløp i og utslipp fra renseanlegg).

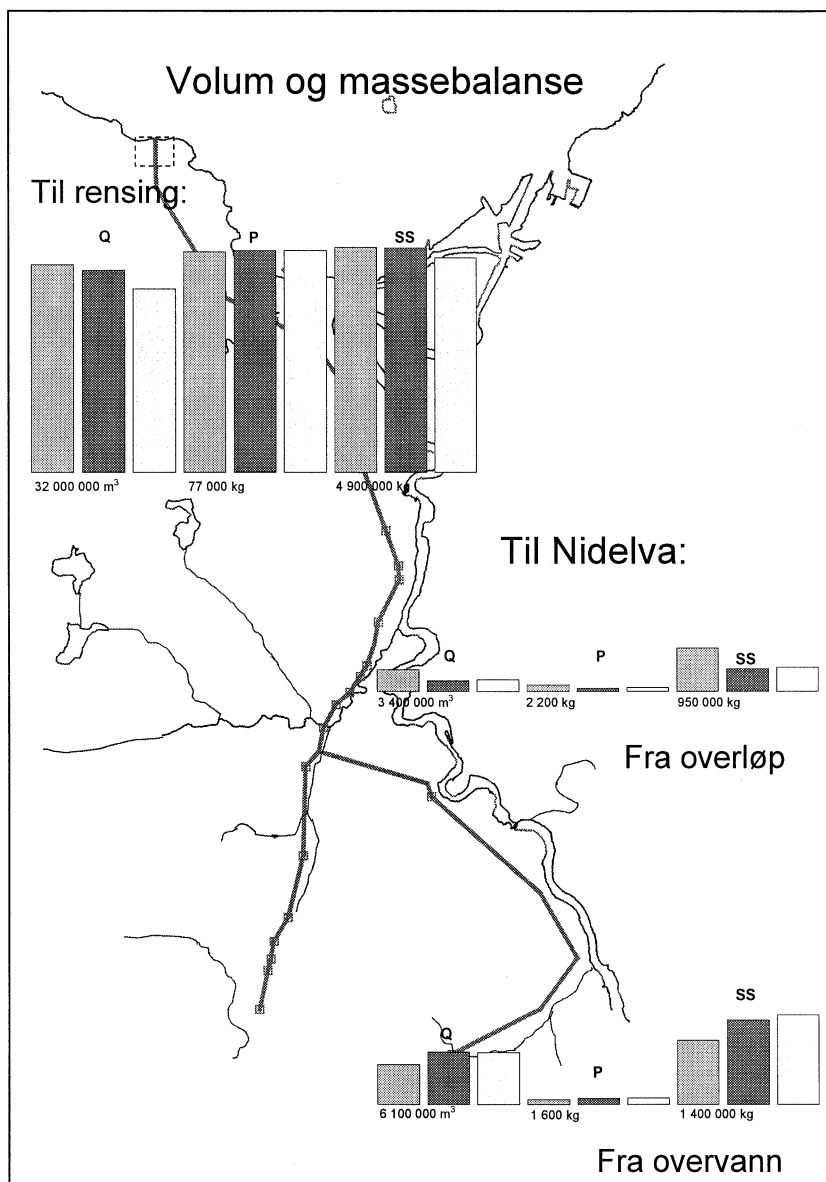
Ved hjelp av totalutslippsmodellen ble en rekke statiske og dynamiske tiltak i hele systemet analysert. Statiske tiltak inkluderte separering av ikke-virksomt separatsystem, økning av pumpekapasitet, modifikasjon av overløpsinnstillinger, etablering av fordrøyningsvolumer og reduksjon av innlekking i kombinerte og separate ledninger. Dynamiske tiltak inkluderte aktivisering av lagringskapasitet i avløpstunnelen med bevegelige og faste luker i tunnelen.

Effekter av alle tiltakspakker er referert til et representativt år som er valgt med bakgrunn i analyser av overvannsavrenning i Fredlybekkenfeltet, et av delfeltene i Høvringen rensedistrikt.

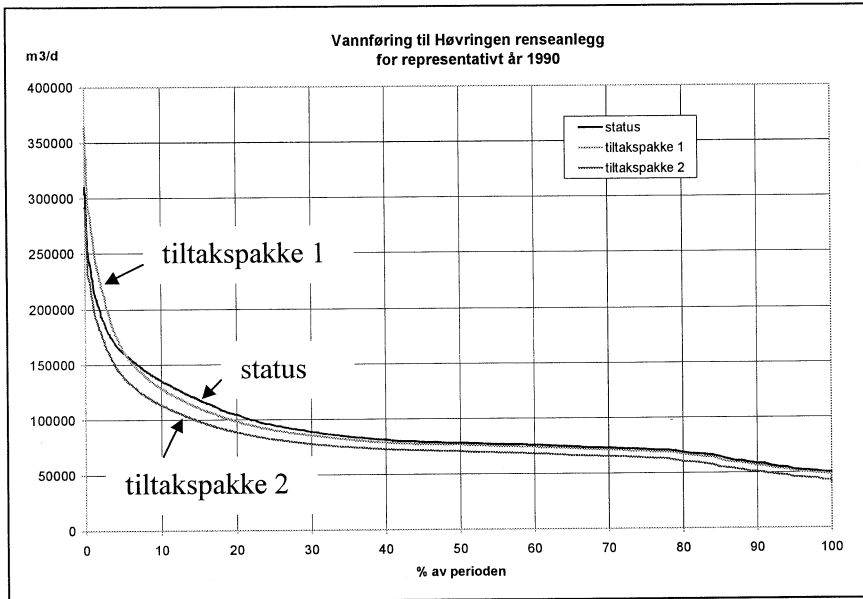
Det første trinnet i optimalisering av hele systemet legger vekt på å redusere vannføring over overløp ved flere av de store delfeltene i den nederste delen av Høvringensystemet. Disse delfeltene har hovedsakelig felles og ikke-virksomt separatsystem. Tiltakspakken for å oppnå dette målet omfatter økt transportkapasitet ved de mest hydraulisk belastede profiler, og aktivisering av ikke-virksomt separatsystem. Det framgår klart at forurensningsbelastningen på resipientene ikke er jevnt fordelt over hele systemet, men har en tendens



Figur 1. Simulert vannføring og fosforutslipp fra nåværende Høvringen avløpssystem til ulike resipienter (representativt år 1990).



Figur 2. Fordeling av totalt avløpsvolum og forurensningsstoffer mellom resipienter før og etter gjennomføring av utslippsreducerende tiltak (tilstandspakke 1 og 2) (representativt år 1990).



Figur 3. Varighetskurve for innløp til rensanlegget før og etter tiltak (representativt år 1990).

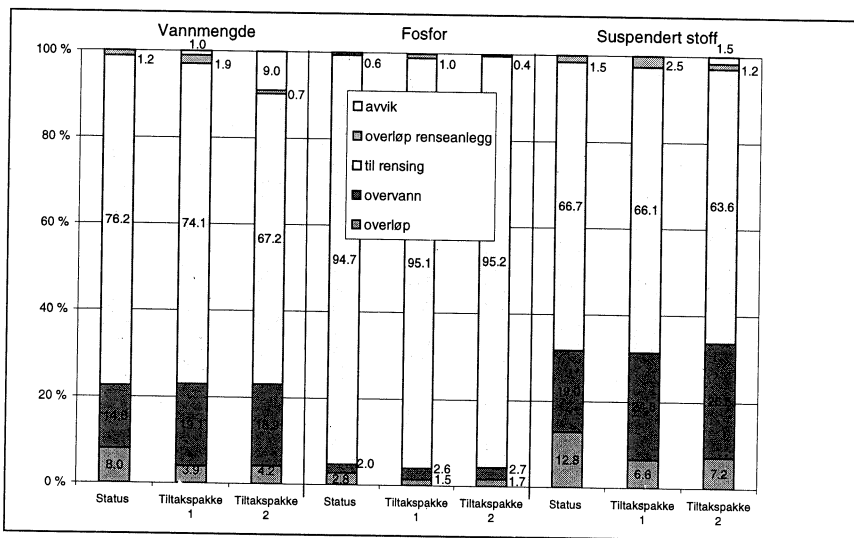
til å konsentreres ved noen få avskjæringspunkter.

I tiltaksplanke 2 legges stor vekt på tiltak som kan maksimalisere tilførsel av det mest forurensede avløpsvannet til hovedavløpssystemet uten økning av den hydrauliske belastningen på rensanlegget. Det er derfor å vente at tiltaksplanke 1 vil gi større effekt med hensyn til reduksjon av overløpsutslipp, men også større hydraulisk belastning på rensanlegget enn tiltaksplanke 2. Begge tiltaksplanke gir stor effekt på overløpene. Figur 2 viser fordeling av totalt utslippsvolum og forurensningsstoff før og etter gjennomføring av utslippsreducerende tiltak 1 og 2.

Figur 3 viser varighetskurver for innløp til rensanlegg (foran omløp) for det

representative året 1990, med og uten tiltakene. Total reduksjon av hydraulisk belastning av rensanlegg ved tiltaksplanke 2 sammenlignet med tiltaksplanke 1 er vesentlig, både ved regn- og tørrvær. Beregningen viser videre at fosforbelastningen er den samme i begge to tiltaksplanke. Det er altså mulig å redusere vannføringen til rensanlegget uten at forurensningstilførselen til rensanlegget reduseres. Det kan dermed oppnås betydelige besparelser i både investeringer og driftsutgifter ved gjennomføring av foreslåtte tiltak i avløpsnett.

Total massebalanse for dagens situasjon og etter to alternative sett med tiltak er vist på figur 4. Avvik i vannvolum er resultat av reduksjon i fremmedvann.



Figur 4. Sammenligning av effekter av tiltakspakker for å redusere totalt utslipp i resipienter. Volumbalanse og massebalanse for fosfor og suspensert stoff før og etter tiltak (representativt år 1990).

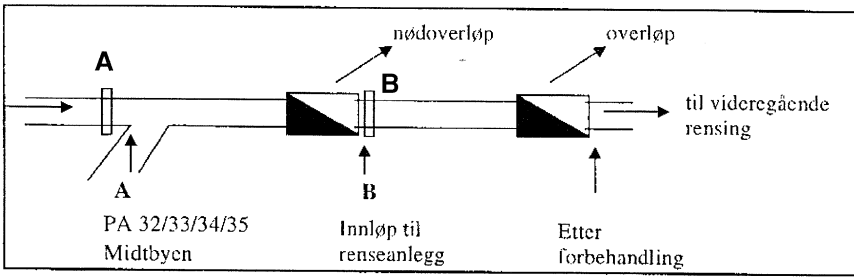
Utslippene fra lokale overløp er mindre, men dette er i vesentlig grad oppveid av større utslipp via overvannsledninger. Innløp til renseanlegg av fosfor og suspensert stoff varierer lite.

Utnyttelse av fordrøyning ved styring av vannstrømmer

Det er åpenbart at utnyttelsen av volumet i Høvringtonnellen til fordrøyning er et rimelig tiltak som vil gi en reduksjon i overløpsdriften ved renseanlegget (omløp). Effekten av en slik fordrøyning er simulert med en hhv to luker/terskler som enten er faste eller styres i forhold til vannivået oppstrøms og nedstrøms. Begge er utformet som understrømte luker og overstrømte terskler. Understrømningen fører til at

sedimentene transporteres videre mot renseanlegg og overstrømning skjer når maksimalt oppstuvningsnivå er nådd. De to lukene/terskler er plassert i tunnelen: A. oppstrøms av påslippspunkt fra Midtbyen og B. direkte foran renseanlegg, som vist i figur 5.

A brukes for å prioritere sterkt forurenset avløp fra Midtbyen. Dette gjøres ved å strupe utløpet og å bruke tunnelvolum oppstrøms til fordrøyning. B brukes for å regulere den hydrauliske belastningen av renseanlegget ved struping av innløpet til renseanlegget og dermed bruke tunnelvolum oppstrøms til fordrøyning. En billigere, men mindre effektiv løsning, er å kun anvende en bevegelig luke/terskel B foran renseanlegget, mens A utformes som en fast luke/terskel ("dambjelker").



Figur 5. Plassering av luker (A og B) i Høvringen avløpstunnel.

Den bevegelige løsningen forutsetter et styringssystem med:

- Vannstandssensorer opp- og nedstrøms lukene og en vannføringsmåler ved innløpet av renseanlegget.
- Aggregater for å bevege luker og terskler.
- Dataoverføring mellom sensorene, aggregatene og driftssentral.
- Lokale og overordnede regulatorer som iverksetter styringsstrategien.

I tilfelle fast luke/terskel oppstrøms trengs det vannstandssensorer og dataoverføring for å kunne overvåke driftstilstand ved dette driftspunktet.

I en praktisk driftssituasjon kan lukken reguleres slik vannføringen mot renseanlegget er mest mulig konstant, mens vannstanden oppstrøms varierer innenfor et akseptabelt nivå.

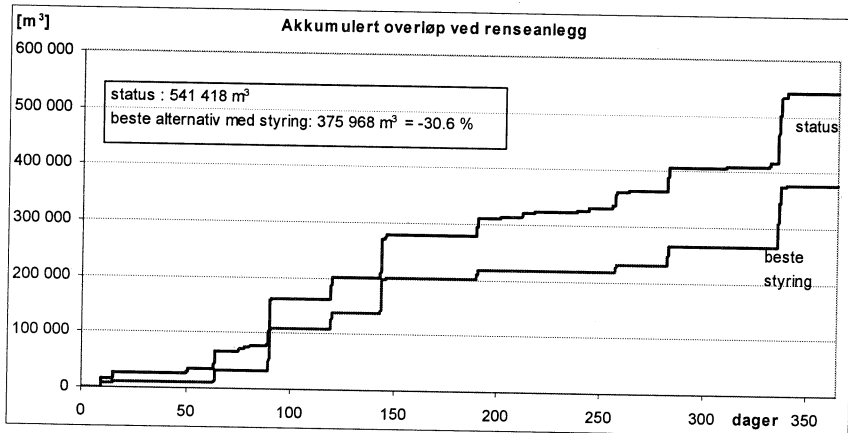
Den samlede effekten av to styrte luker/terskler kan beskrives som akkumulert overløp etter forbehandling (figur 6), eller som varighetskurver for innløp til renseanlegget, (figur 7). Figur 6 viser antall overløpshendelser og overløp ved hver hendelse, kronologisk gjennom det representative avrennings-

året 1990. Det kan oppnås en betydelig reduksjon i antall overløpshendelser (fra 55 til 16) ved innføring av styrt fordrøyning, og det samlede overløpsvolumet ved renseanlegget reduseres med 30%.

Figur 7 viser at den styrte fordrøyningen innvirker på varighetskurven for det samlede innløpet til renseanlegget, og illustrerer således fordrøyningseffekten. Knekkpunktene i kurven oppstår pga den regulerte vannføringen mot renseanlegget. Driftsbetingelsene for renseanlegget vil bli betydelig forbedret med disse tiltakene.

Videre arbeid med totalutslippsmodellering ved Høvringen

Siden pilottesting av renseprosessen for det nye Høvringen renseanlegg enda pågår, ble en oppskalert modell for prosessløsningen ved Ladehammeren renseanlegg i Trondheim inkludert i modellen (Risholt et al 1998). Senere vil den kjemiske modellen tilpasses og kalibreres i forhold til pilotanlegget, slik at totalutslippsmodellen kan kjøres både med optimalt sett av oppstrøms

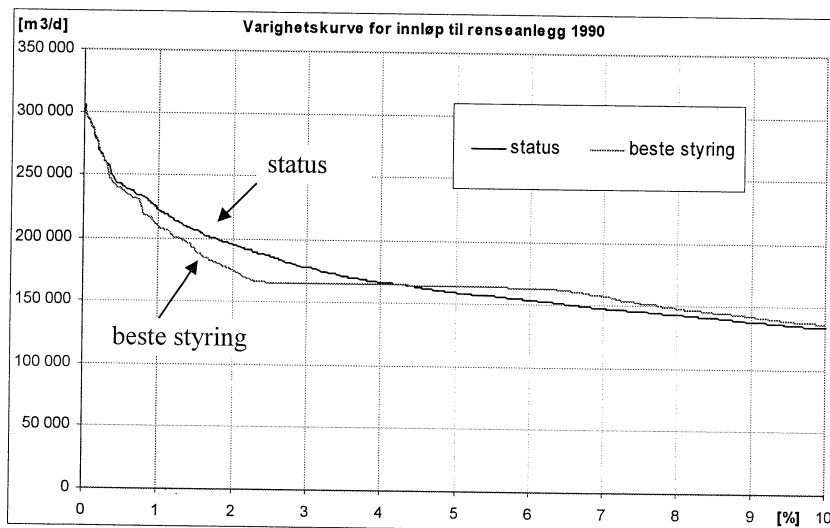


Figur 6. Akkumulert overløp ved Høvringen renseanlegg ved den beste alternative løsningen for styrt fordrøyning, (representativt År 1990).

tiltak og det endelige prosessvalg for det nye renseanlegget. Resultatene vil være grunnlag for å minimalisere kapital- og driftskostnader og totalt forureningsutslipp.

Konklusjoner

En total forureningsutslippsmodell for avløpssystem på Matlab/Simulink plattform er anvendt for å simulere produksjon, transport og rensing av avløps-



Figur 7. Varighetskurve for innløp til Høvringen renseanlegg, før og etter tiltak med ulik bruk av luker, året 1990

vann. Modellen tar hensyn til typiske norske kystforhold med lange perioder med regn, snø og snøsmelting, avløpsvann uttynnet med stor andel fremmedvann og mekanisk/kjemiske renseprosesser. Modellen er et kraftig verktøy for å analysere og definere tiltak for å minimalisere forurensningsutslipp til resipienter og tilfredsstillende krav i nye totalutslippstillatelser.

Den integrerte modellen er brukt av Trondheim kommune for optimalisering av det totale utslippet fra et av to hovedavløpsdistrikter i Trondheim. Anvendelsen av modellen for Høvringen avløpsdistrikt vil gi et betydelig forbedret grunnlag for dimensjonering av det nye rensenanlegget og planlegging av forbedringstiltak i avløpsfeltene og i avskjærende ledninger.

Totalmodellen har trolig også et potensiale som "motor" i et offentlig beslutningsstøttesystem der foruten valg av ulike tiltak, også informasjon til publikum for aktivisering av lokal agenda 21 i byens vannressurser inngår.

Referanser

1. IFAK. SIMBA®(3.2+ - Simulation of biological wastewater treatment. IFAK. Institute of Automation und Kommunikation, Magdeburg, 1997.
2. Milina, J., Sægrov, S., Alex, J. Integrert modell for Høvringen avløpsdistrikt - fase I. SINTEF rapport STF22 A97318, 1997.
3. Risholt, L.P., Lindholm, O., Schilling, W. Model Requirements for Total Pollution Discharge Permits - The Norwegian Situation. 7th International Conference on Urban Storm Drainage, September 1996, Hannover, Germany.
4. Risholt, L.P., Alex, J., Schilling, W. Open Modelling System for Integrated Simulation of Wastewater Transport and Treatment Processes. 3rd International Conference NOVATECH 98, May 1998, Lyon, France.
5. Schilling, W., Lei, J., König, A., Milina, J., Selseth, I., Sægrov, S. Integrated modell of the Trondheim-Høvringen wastewater system phase II. SINTEF report STF22 A98304, 1998.
6. Selseth, I, Risholt L og Sægrov S 1999: "Regulering av vannføring inn til rensanlegg". SINTEF rapport.