

Systemanalyse af afløbssystemer

Av Erling Holm.

Erling Holm er divisionschef med ansvar for afløbsteknik i I. Krüger AS, København.

Indlæg på seminar i Norsk Vannforening, 4. april 1991.

Skal en saneringsplan være et godt værktøj, er det vigtigt at driftspersonalets erfaringer inddrages i planlægningen. Alle former for driftserfaringer giver informationer, som kan bidrage til, at de nødvendige saneringstiltag prioriteres bedst muligt. Disse erfaringer skal inddrages allerede i forbindelse med, at der sættes mål op for afløbssystemets funktion.

En anden vigtig del af saneringsplanlægningen er brugen af EDB-modeller, idet disse giver mulighed for at vurdere hele afløbssystemets funktion i sammenhæng.

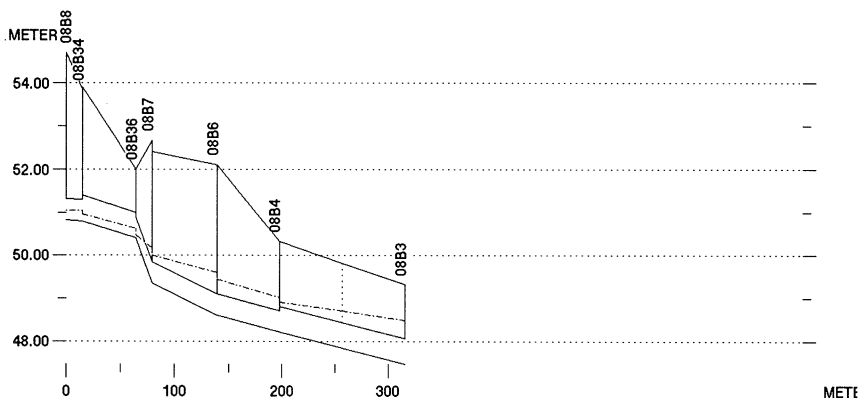
Kombineres driftserfaringer og EDB-modeller, er der i dag meget gode muligheder for at vurdere skader ved oversvømmelser og forureninger af recipienter — samt gode muligheder for at bedømme hvilke løsninger, der giver den bedst kost/nytte.


MOUSE/SAMBA

MOUSE er et programsystem til beregning og analyse af afstrømning i afløbssystemer. Systemet er udviklet specielt med henblik på mikrodata-mater.

Programsystemet består af

- * et fuldskræms menu-system til ind-datering, redigering af data, afvikling af modelberegninger og præsentation af data,
- * en regndatabase med historiske regnserier,
- * en overflademodell til beregning af overfladeafstrømning. Modellen har to alternative beregningsniveauer: (1) en forholdsvis enkel overfladebeskrivelse anvendt i forbindelse med tid-arealmetoden og (2) en mere detaljeret overfladebeskrivelse anvendt i forbindelse med en kinematisk bølgemodell,
- * en **rørmodell** til hydraulisk analyse af afløbssystemer. Modellen omfatter 3 alternative beregningsniveauer, svarende til henholdsvis kinematisk-, diffusiv- og dynamisk bølgeteori. Modellen kan beregne systemer med ringforbindelse, ligesom den kan beregne stuvning og oversvømmelse,
- * **SAMBA**, en modell til beregning af forurening fra overløbsbygværker. SAMBA beregner årlige og maksimale aflastninger fra overløbsbygværker på grundlag af en mange-årig serie af historiske regnhændelser,
- * et print- og plottesystem til præsentation af ind- og uddata på skærm, printer og plotter.



VANDSTAND LEDNINGER DATAFIL : RORHILL.SWF RESULTATFIL : ERH1.PRF BEREGNET : 1 - MAJ - 1991, 09:04		T = 82.00 min SKALA : LÆNGDE : 1:4000 HØJDE : 1:100 RØRMODEL, DYNAMISK BØLGE	
--	--	---	---

Figur 1. Eksempel på beregnet stuvning under regn.

Rørmodellen anvendes til at kortlægge kapaciteten rundt i afløbssystemet, og herunder specielt kortlægning af oversvømmelsers omfang, hyppighed og de steder i systemet, hvor de forekommer.

Med **SAMBA-modellen** bestemmes de aflastede årsmængder af f.eks. vand, fosfor (P) og kvælstof (N) over alle overløbsbygværker. Herved kan kritiske overløbsbygværker og årsager til eutrofiering fastlægges.

Endvidere bestemmes de ekstreme aflastninger af f.eks. vand, BOD og E-Coli under store regnskyl. Herved er der grundlag for at foretage beregninger af f.eks. forbigående iltvind i vandløb (DOSMO) og vurderinger af badevandskvalitet.

Det er helheden, der tæller

Forureningen fra overløbsbygværker kan reduceres ved øget magasinering i afløbssystemet. Dvs. ved nyanlæg af

bassiner, ved inddragelse af mere ledningsvolumen til magasinering og ved aktiv styring af afstrømningen.

Ved den øgede magasinering tilbageholdes imidlertid stadig større spildevands- og regnvandsmængder, som derefter ledes til renseanlægget. Giver denne øgede hydrauliske belastning til renseanlægget anledning til slamflugt fra efterklaringstankene, kan den samlede effekt af at øge magasineringen være markant negativ.

Den største gevinst ved øget magasinering er i mange tilfælde, at større mængder nu udledes til renseanlæggets recipient, der sædvanligvis er mindre følsom end de lokale recipienter for overløbene.

Afløbssystemer kan bringes til at fungere optimalt overfor alle regnhændelser ved at indføre aktiv styring af afstrømningen. Ved aktiv styring reguleres der på pumper, spjæld m.v., afhængigt

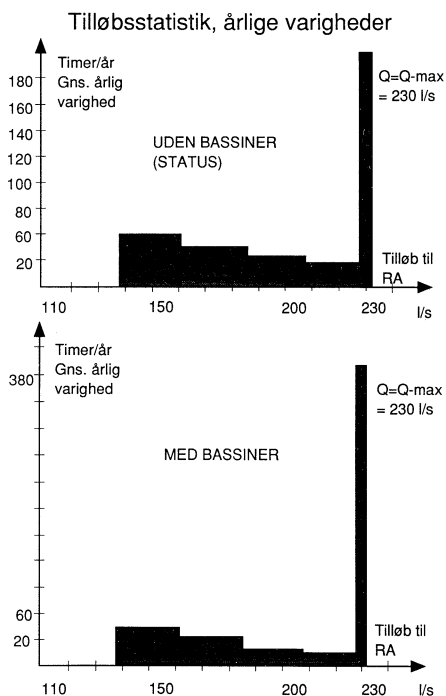
af målte regnintensiteter, vandstande i ledningsnet og bassiner m.m. Herved vil systemets transport- og bassinkapacitet kunne udnyttes bedst muligt, for at minimere både den totale forurening fra hele systemet og aflastningen til sårbare recipienter.

Nye model-værktøjer

Udviklingen af nye model-værktøjer har gjort det muligt, at beregne forholdene i det samlede afløbssystem inkl. ledninger, pumpestationer, bassiner, overløbsbygværker og renseanlæg.

SAMBA-RENS består af SAMBA for afløbssystemet (jf. ovenfor) og et tillægsmodul for renseanlægget, kaldet **MRENS**. MRENS regner videre på de tilløbsmængder til renseanlægget, som SAMBA beregner som udløb fra afløbssystemet ved renseanlægget. MRENS beregner en tilløbsstatistik til anlægget og de årligt udledte forureningsmængder fra anlægget. Beregningen af de årligt udledte forureningsmængder fra renseanlægget foregår på en forenklet måde, der primært er rettet mod planlægningsformål.

I figur 2 er vist et eksempel på en beregnet tilløbsstatistik. Resultaterne er vist for en beregning uden bassiner i afløbssystemet (status) og med bassiner (fremtid). Gennemsnitlig tørvejrstilløb til renseanlæg = Q -tørvejr = 115 l/s. Maksimalt tilløb til anlæggets biologiske del = Q -max = 230 l/s. Det ses, at det øgede bassinvolumen giver anledning til væsentligt længere perioder med fuld hydraulisk belastning. Tilløbsstatistikkerne kan benyttes af processpecialister ved dimensionering af renseanlæggene. Blandt andet med henblik på at undgå slamflugt.



Figur 2.

Eksempel på MRENS statistiske beregning af tilløbsforhold ved renseanlæg. Varighed i timer/år af forekomst af tilløbsvandføringer i forskellige intervaller. $Q_{max-anlæg} = 230$ l/s.

Endvidere kan de statistiske beregninger vise varigheden af enkelthændelser. Eksempelvis hvor mange gange om året anlægget vil blive belastet med Q -max-anlæg = 230 l/s i et givet antal timer.

SAMBA-RENSSTYR består af SAMBA og tillægsmodulerne **MSTYR** og **MSLAM**.

SAMBA-RENSSTYR er beregnet til systemer, i hvilke der forekommer en integreret styring af afstrømningen,

således at der både tages hensyn til forholdene i afløbssystemet (overløb, oversvømmelse) samt forholdene på rensaanlægget. Modellen gør det muligt at styre efter slamtæppeniveauet i rensaanlæggets efterklaringstanke, så slamflugt undgås.

MSTYR simulerer dynamisk styring i afløbsnettet, f.eks. styrede pumper og spjæld. Der kan styres på grundlag af oplysninger om nedbør, tid, vandføringer i udvalgte rør, aktuelt vandvolumen i bassiner samt slamtæppeniveauet i efterklaringstanken på rensaanlægget.

MSLAM beregner løbende slamtæppeniveauet i rensaanlæggets efterklaringstanke på grundlag af tilstrømningen fra nettet og specielle inddata for rensaanlægget. Slamtæppeniveauet beregnes ud fra massebalancer for slam i luftningstanke og efterklaringstanke.

SAMBA-RENSTYR er altså i stand til at simulere en integreret styring af afløbssystem og rensaanlæg ved at knytte måle- og styreværdier for alle typer af anlægsdele sammen i et beregningsforløb. På denne måde kan den samlede funktion af afløbssystemet og rensaanlæg optimeres.

Eksempler på model-anvendelser

Hillerød

I Hillerød er opstillet en rørmodel for analyse af opstuvnings- og oversvømmelsesforhold. Desuden er opstillet en SAMBA-model (inkl. MRENS) til analyse af aflastninger og beregning af tilløbsstatistikker for rensaanlægget.

Endvidere er der opstillet 3 forskellige styrestrategier med henblik på en mere effektiv udnyttelse af afløbssystemets magasineringsvolumener.

Tabel 1 viser beregningsresultaterne for et af bassinerne. Af tabellen ses, hvorledes behovet for yderligere bassinvolumen varierer afhængig af ønsket om gentagelsesperiode for oversvømmelse af bassinet og de forskellige styrestrategier.

Der er også for alle bassiner beregnet antallet af overløb pr. år afhængigt af styringernes udformning.

Gladsaxe

For nogle år siden fik Gladsaxe kommune besked fra amtet (fylket) om at reducere aflastningerne fra Gyngemoens opland med 70%. Oplandet er på ca. 300 ha og har ca. 25 km ledninger.

Planlægningen blev gennemført med udstrakt brug af EDB-modeller. For det

Tabel 1. Nødvendigt ekstra bassinvolumen for forskellige gentagelsesperioder, Elmegårdsbassinet.

Gentagelsesperiode år (T)	Nødvendigt ekstra volumen, m ³			
	Uden styring	Styring 1	Styring 2	Styring 3
1	850	0	0	0
2	1.300	350	400	0
5	2.400	1.100	1.200	700
10	4.100	1.300	1.600	1.100

overordnede system, dvs. hovedledninger med tilhørende bassiner, overløbsbygværker og pumpestationer, er opstillet to modeller, dækkende hele oplandet.

- * En overordnet rørmodel til beregning af stuvninger og vandføringer i det overordnede system i forbindelse med ekstremt kraftig regn.
- * En SAMBA-model til beregning af årlige og ekstreme forureningsaflastninger fra overløbsbygværket ved Fæstningskanalen.

For detailbeskrivelse af strømningssforholdene i de enkelte oplande, der er hægget på det overordnede system, er opstillet 7 rørmodeller på hver knap 100 ledningsstrækninger til beregning af stuvning/oversvømmelse lokalt. Den samlede dynamik i det opdeltede system bevares ved at benytte beregningsresultaterne i den overordnede model som nedstrøms randdata i de 7 detailmodeller (tilbagestuvning). De opstillede modeller er kalibrerede på grundlag af en serie af samtidige nedbørs- og afstrømningsmålinger.

SAMBA-beregningerne af de eksisterende aflastningsforhold ved Fæstningskanalen gav følgende hovedresultater: Der aflastes i gennemsnit 7 gange pr. år, årsgennemsnittet for aflastet vandvolumen er 30.000 m³. Årsgennemsnittet for aflastede forureningsmængder er 107 kg tot-N, 36 kg tot-P, 5 kg Pb og 24 kg Zn.

Den mest hensigtsmæssige kombination af indgreb i systemet fandtes at være en bedre udnyttelse af den eksisterende magasineringskapacitet, inkl. tankene på det nedlagte renseanlæg, Gyngemoseværket, samt en aktiv styring af afstrømningen.

Styringen foretages fra en central

enhed. På grundlag af målte vandstande i samtlige bassiner i systemet og en i forvejen indkodet styrestrategi udsender styreenheden løbende instruktioner til motordrevne spjæld og pumper, der regulerer bassinernes afløb.

Den anvendte styrestrategi er formuleret ud fra tre prioriterede hensyn:

- * At undgå oversvømmelse.
- * Alle bassiner og hovedledninger skal være fyldte, inden aflastning til Fæstningskanalen finder sted.
- * Tømning af systemet via afskærende ledning til Damhusåens renseanlæg skal foregå så hurtigt som muligt.

Stor-København

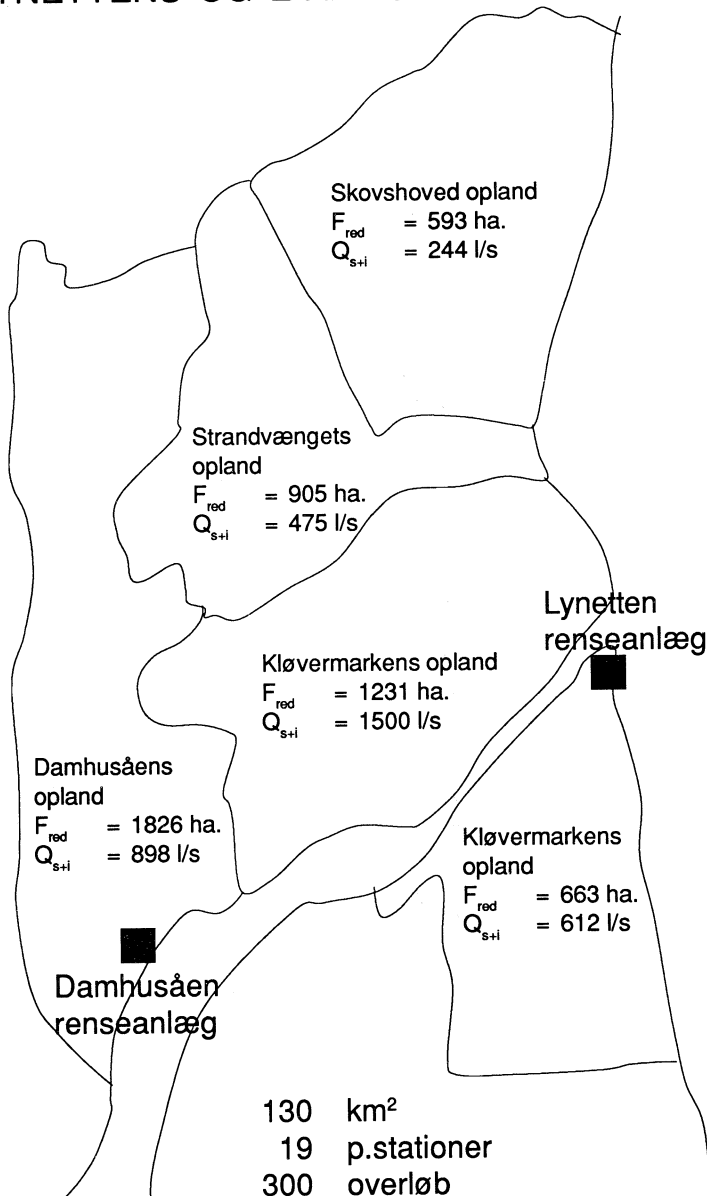
For hele det stor-københavnske område ledes afløbsvand til renseanlæggene Lynetten og Damhusåen.

Som led i fastlæggelsen af dimensioneringsgrundlaget for udbygningen af renseanlæggene Lynetten og Damhusåen er der foretaget en undersøgelse af regntilstrømningen til anlæggene for nutidige og forventede fremtidige forhold i afløbssystemet.

Hyppigheden og varigheden af perioder med høj hydraulisk belastning af anlæggene er især af betydning for dimensionering af efterklaringstankene med henblik på at undgå slamflugt.

De eksisterende tilløbsforhold ved anlæggene kan beskrives statistisk på grundlag af kontinuerlige flowmålinger foretaget i anlæggenes tilløb gennem adskillige år. I fremtiden vil regntilløbene forøges betydeligt som følge af udbygningen af afløbssystemernes magasineringskapacitet for at begrænse overløbsmængderne til lokale recipienter så som Harrestrup Å, Damhusåen (i den vestlige del af oplandet),

LYNETTENS OG DAMHUSÅENS OPLAND



Figur 3. Oplandene til renseanlæggene Lynetten og Damhusåen.

Utterslev mose (i den nordlige del af oplandet) samt badeområderne langs Øresundskysten. For denne fremtidige situation må man basere forudsigelsen af tilløbsforholdene på matematiske modelberegninger, idet tilløbsforholdene ikke kan måles direkte.

De fremtidige regnvandsbetingede tilløbsforhold ved anlæggene er beregnet med MOUSE-systemets SAMBA-model. Modellen er opstillet for hovedafløbssystemet inklusive overløbsbygværker, bassiner og pumpestationer i hver af de 4 hovedoplande: Damhusåen, Kløvermarksvej, Strandvænget og Skovshoved.

For at kunne beregne dette meget store opland med dets vidt forgrenede og komplekse afløbssystem, har det været nødvendigt at foretage nogle modifikationer af SAMBA-modellen: (1) modellen er blevet indrettet til at kunne tage hensyn til den geografiske variation af nedbøren over det ca. 130 km² store opland, (2) modellen er gjort mere komprimerbar, således at hele Lynette oplandet kan indlæses og beregnes på en mikrodatamat uden at dennes pladskrav overskrides. For at undgå for lange regnetider er beregningerne udført på en supermikrodatamat med 80486-processor, der kan foretage en gennemregning af hele oplandet på ca. 12 timer.

Inputtet til SAMBA-modellen til beskrivelse af de overordnede afløbssystemers struktur og funktionsmåde er blevet indsamlet fra alle Lynettefællesskabets kommuner. Endvidere er der fra Danmarks Meteorologiske Institut indsamlet regndata fra de 14 regnmålere, der er beliggende i oplandet. For hver måler haves samtlige regnhændelser i perioden 1979-89 (11 år). Alle 14 regnserier er blevet indbygget i

en database, der tjener som SAMBA-modellens input, således at regnens variation i tid og sted indgår på en realistisk måde i modellen.

Herefter er der foretaget en kalibrering af modellen for at opnå den ønskede beregningsnøjagtighed. Data er indsamlet fra flowmålerne på renseanlæggene og hovedpumpestationerne, og modellen er blevet justeret således, at den er i stand til at beregne de målte afstrømningsforløb under og efter perioder med regn tilstrækkelig nøjagtigt. Modellen er endvidere verificeret ved at sammenholde beregnede årsstatistikker for tilløb til renseanlæggene med tilsvarende årsstatistikker udledt direkte fra vandføringsmålinger på anlæggene.

Med den kalibrerede model kan man herefter simulere forskellige fremtidige situationer ved at indbygge de forventede ekstra bassinvolumener i inputbeskrivelsen af afløbssystemet. Fastlæggelse af størrelsen af disse ekstra volumener samt fordelingen heraf på forskellige dele af afløbssystemet er foretaget i samarbejde med Københavns kommunes afløbskontor på grundlag af foreliggende recipientkvalitetsplaner og spildevandsplaner.

Fremtiden

Som det fremgår har vi i Krüger været stærkt engageret i såvel model-udviklingen som rådgivning med saneringsplanlægning og hydraulisk optimering af afløbssystemer i de seneste 10 år.

Det vil vi også være i fremtiden, idet der løbende foregår nyudviklinger på såvel lednings- som renseanlægssiden, således at der kan gennemføres de nødvendige helheds-vurderinger af det **samlede** afløbssystem.