

Fortynning av kommunalt avløpsvann i resipient

Av Henrik Rye.

Henrik Rye er sjefsingeniør i Veritas Miljøplan.

*Foredrag på seminar i Norsk Vannforening
4. juni 1991.*

Innledning

Den norske kyst preges av bratte strender og store dyp nær land. I tillegg er ferskvannstilførselen såpass stor at det ofte er til stede lagdeling i vannmassene med lettere brakkvann (lav salt-holdighet) nær overflaten.

Disse forhold muliggjør dyputslipp av avløpsvann for en relativt rimelig kostnad. Lagdelingen medvirker dessuten til en innlagring av utslippet under overflatelagene etter primærfortynningen.

I dette innlegget skal betraktes faktorer av betydning for vurdering av dyputslipp. Betrachtingene begrenser seg til såkalte «gode sjøresipienter», dvs. resipienter hvor vannutskiftningen er såpass god samtidig med at annen belastning på resipienten er såpass svak at utslipp av næringssalter (fosfor og nitrogen) ikke forventes å representere noe problem. Dette er tilfellet for de fleste av våre kystkommuner nord for 62 grader N.

Strøm- og lagdelingsforhold

Valg av utslippssted bør foretas på grunnlag av målinger av resipientens strøm- og lagdelingsforhold. Strømmen bør måles i flere dyp for å kartlegge vertikale variasjoner. Bruk av strømkors er hensiktsmessig for å avdekke lokale strømhvirvler eller bakevjer.

Lagdelingsforholdene bør måles over lengre tid (minst en sommersesong, helst ett år) for å kartlegge variasjoner med ferskvannstilrenning, vær og vind. Målingene kan ofte gjennomføres med utstrakt bruk av lokale krefter.

Fortynningsmekanismer

Primærfortynningen

Mange kommunale utslipp går idag fortsatt ut på grunt vann (mindre enn 5–10 m dyp). Dette fører til lav primærfortynning og dermed høyt bakteriologisk innhold i vannet nær utslippsstedet. Også uestetiske forhold (lukt, farge på vann) nær utslippsstedet er vanlig. Disse forhold er idag erkjent, og mange kommuner foretar derfor sanering av eldre utslipp ved å føre disse (mer eller mindre samlet) ut på dypere vann.

Når utslippssted er valgt må utslippsdyp vurderes. Da formålet med dyputslipp er å oppnå god primærfortynning, for eventuell innlagring, skal de viktigste fortynningsmekanismer betraktes i noe mer detalj.

Det er spesielt 2 forhold som bestemmer primærfortynningen:

- Utslippet *hastighet* (bevegelsesmengde)
- Utslippet *oppdrift* (tetthetsforskjell mellom utslippsvann og resipientvann).

Som et spesialtilfelle skal betraktes

homogen resipient, dvs. en resipient uten lagdeling. Slike forhold inntreffer ofte om vinteren langs vår kyst da vinden er sterk (skaper blanding og omrøring) og ferskvannstilrenningen liten (nedbøren holdes tilbake som snø). Tilfellet er allikevel ikke uten interesse da det under slike forhold ikke vil være mulig å innlagre utslippet under overflaten. Tilfellet med homogen resipient (eller homogent ned til utslippsdyp) kan således representere et «dimensjonerende» tilfelle dersom det er snakk om konflikt med viktige interesser nær utslippsstedet (for eksempel med badeplasser eller friluftsområder) i de perioder hvor vannmassene er (eller kan være) homogene.

Forløpet til et utslipp fra et enkelt avløpsrør i en homogen resipient er relativt godt bestemt ved hjelp av laboratorieforsøk. 2 parametre benyttes til å karakterisere henholdsvis bevegelsesmengde og oppdrift. Disse er:

$$M = Q \cdot U = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot U^2$$

$$B = g \cdot \frac{\nabla \zeta}{\zeta} \cdot Q$$

hvor M er utslippets bevegelsesmengde (momentum) og B er utslippets oppdrift (boyancy). Øvrige symboler er gitt ved:

D — rørdiameter

U — utslippshastighet

$$Q = \frac{1}{4} \pi D^2 U$$

g = tyngdens akselerasjon

$\nabla \zeta$ = tetthetsdifferens mellom sjøvann og utslippsvann

ζ = tettheten til vann

Forsøk viser følgende. For et utslipp dominert av bevegelsesmengde (B lik 0) er fortynningen gitt ved:

$$\text{Fortynning} = \frac{0.25}{Q} \cdot M^{1/2} \cdot Z$$

hvor Z er avstanden fra utslippsrøret. For et utslipp dominert av oppdrift (M nær 0) er fortynningen gitt ved:

$$\text{Fortynning} = \frac{0.15}{Q} \cdot B^{1/3} \cdot Z^{5/3}$$

hvor Z er vertikal avstand fra utslippsrøret. Merk at begge uttrykkene for fortynning blir dimensjonsløse. Fortynningene gjelder for *midlere* fortynning av utslippsstrålen. I sentrum av strålen vil fortynningen være noe lavere enn den midlere fortynningen.

Merk videre at for tilfellet med strålefortynning øker fortynningen lineært med avstand fra utslipp, mens for tilfellet med utslipp dominert av oppdrift øker fortynningen med nesten kvadrattet (5/3) av den vertikale avstanden fra utslippsrøret. Dette er viktig med tanke på valg av utslippsdyp. Fortynningsmessig vil man vinne mer på å gå dypere med utslippet enn ved å øke utslippshastigheten dersom man har en viss fallhøyde til disposisjon. Som et eksempel, anta et utslipp på ca. 20 m dyp med utslippshastighet på 3,2 m/s. Et slikt utslipp krever ca. 1 m fallhøyde, fordelt noenlunde jevnt på å overvinne potensiell energi (tetthetsforskjellen mellom ferskvann og saltvann) og å fremskaffe kinetisk energi (utslippsstrålens bevegelsesmengde). Som alternativ ønsker man å gå ned til 40 m dyp (krever ca. 0,5 m fallhøyde i tillegg). Primærfortynningen vil da øke med en faktor av vel 3, etter relasjonene gitt over. Hvis man i stedet velger å øke

utslippshastigheten til ca. 4,4 m/s (krever ca. 0,5 m fallhøyde i tillegg) vil tilleggsfortynningen være marginal (økning med en faktor av ca. 1/3). Det er derfor lønnsomt å investere i et utslipp anlagt dypt fremfor å øke utslippshastigheten.

Bevegelsesmengden (M) og oppdriften (B) vil dominere utslippet i forskjellige faser av utslippsforløpet. Initielt vil bevegelsesmengden dominere utslippet (jet-fasen). Etter at en viss fortytning har funnet sted vil oppdriften dominere (plume-fasen). Overgangen mellom de to fasene vil finne sted i en viss avstand fra utslippet gitt ved l_M :

$$l_M = M^{3/4} \cdot B^{-1/2}$$

hvor B og M er definert som tidligere. For rørdiameter på under 0,4 m og utslippshastigheter på lavere enn 3 m/s (tilsvarer en utslippsmengde Q på maksimalt 377 l/sek.) vil utstrekningen på jet-fasen typisk være under 4—6 m. Det vil derfor være plume-fasen som dominerer et typisk kommunalt dyp-utslipp. Årsaken til at plume-fasen dominerer er den relativt store tetthetsforskjellen mellom sjøvann og ferskvann (i 40 m dyp vil tetthetsforskjellen typisk ligge i området rundt 25 kg/m³).

Formlene gitt over er enkle å programmere på PC eller et regneark. De kan benyttes til å gi en første indikasjon på hvilke fortytninger som kan forventes i homogen vannresipient. Formlene er tatt fra referanse /1/.

For utslipp i en resipient med lagdeling vil fortytningsforløpet være avhengig av lagdelingsforholdene i tillegg. Det er utviklet egne beregningsprogrammer som tar hensyn til dette. Programmene beregner fortytningsforløpet, gitt det vertikale lagdelingsprofilen ut fra målinger eller på annen måte. Slike programmer er tilgjengelige ved

flere konsulentfirmaer og ved de større norske institusjonene (NIVA, SINTEF-NHL, Veritas). Omtale av programmene finnes blant annet i referansene /2/ og /3/.

Bunnforhold

Beregningene over forutsetter at tilstedeværelse av bunn ikke influerer på fortytningen. Dersom utslippsstrålen rettes slik at strålen får kontakt med bunnen vil primærfortynningen reduseres. Det er derfor hensiktsmessig å velge en lokalitet hvor bunnen skrånere jevnt utenfor utslippsstedet slik at ikke primærfortynningen hemmes.

Orientering av stråle

Det vanlige er at strålen rettes horisontalt. For kommunale utslipp vil da strålen normalt bøye av vertikalt noen meter fra utslippsstedet. Man kan rette strålen svakt vertikalt dersom bunnforholdene tilsier det.

For større utslipp kan det være hensiktsmessig å fordele utslippet på flere utslippsåpninger hvor alle åpningene danner forskjellige vinkler med horisontalen. Man kan på denne måten oppnå at utslippet blir fordelt over forskjellige innlagringsnivå. Dette vil øke fjernfortynningen (fortynning etter innlagring) av utslippet.

Diffusorarrangement

For større utslipp benyttes av og til diffusorarrangement. Man oppnår da å fordele utslippet over flere utslippsåpninger slik at primærfortynningen øker. Man oppnår dermed et dyper innlagringsnivå. For kystkommuner kan arrangementet være hensiktsmessig dersom man ønsker bedre innlagring i resipienter med periodevis svak lagdeling.

Det er utviklet beregningsprogram-

mer for dimensjonering av diffusorer. Programmene baserer seg på hydrauliske betraktninger og inkluderer falltap på grunn av utslippshastighet, friksjon og forskjell i tetthet mellom utslippsvann og resipientvann. Detaljer i det foreslåtte arrangement (antall hull, avstand mellom hull, varierende hull-diameter) samt orientering av diffusor (dybde, helning) er inkludert. På denne måten kan en optimal design foretas, gitt vannmengde og vanntrykk (fall-høyde) for det aktuelle tilfellet.

Diffusorer krever noe mer på vedlikeholdssiden (tilstopping). De bør sees i sammenheng med grad av rensing av utslippet. Faren for tilstopping øker med omfang av partikulært innhold i utslippet.

Omtale av beregningsprogram for diffusor finnes i referanse /3/.

Sekundærfortynning

Primærfortynningen forfølger utslippet frem til innlagringsnivå. Dette finner sted oftest innenfor 50—100 m fra utslippsstedet. Ofte er de interesser som er i konflikt lokalisert i større avstander fra utslippet. Man har derfor behov for å beskrive utslippsforløpet utover hva som foretas med en primærfortynningsberegning.

Primærfortynningen (jet-fasen og plume-fasen) er dominert av egenskaper til selve utslippet. Etter at innlagring har funnet sted vil det være resipientens egne fortynningsmekanismer som vil dominere. Disse er preget av naturgitte forhold som vær, vind, tidevann, strøm og lagdeling i vannmassene.

Det er utviklet beregningsprogrammer for beregning av fortynning i fjernsonen (sekundærfortynning). Et program (program KOH) er operativt ved Veritas Miljøplan. Sammen med beregninger av diffusor-arrangement (program MANIFOLD) og beregninger av

primærfortynning (program TEJET) utgjør disse 3 programmer et hele for vurdering av utslipp til resipient. Kort oppsummert beregner programmene følgende:

Program MANIFOLD:

Beregner utforming av diffusor for oppnåelse av optimal fortynning og innlagring, gitt utslippsmengde og utslippdybde.

Program TEJET:

Beregner primærfortynning og innlagringsnivå av et dykket utslipp gjennom en enkelt utslippsåpning, gitt lagdelingen i resipienten.

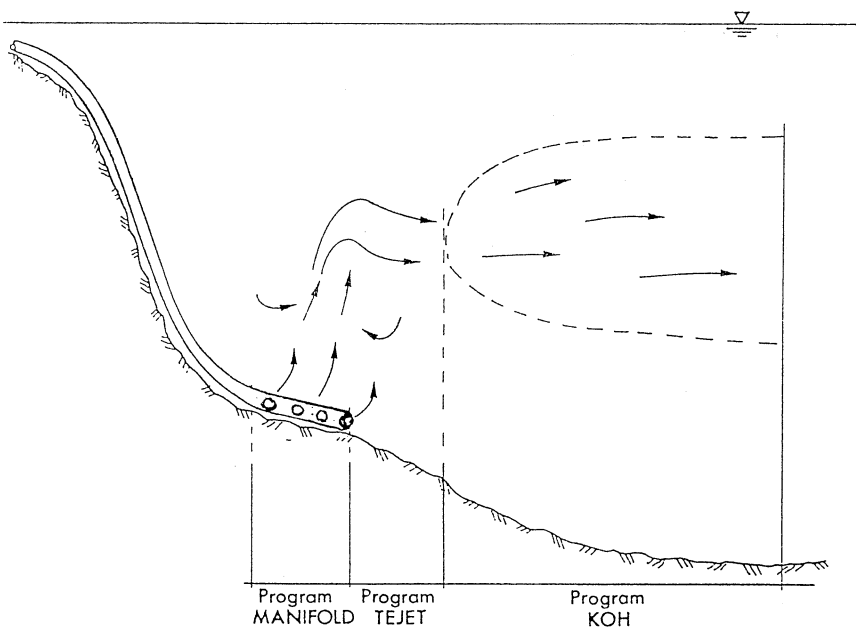
Program KOH:

Beregner sekundærfortynning av et innlagret utslipp eller et utslipp til overflaten, gitt primærfortynning og strøm/lagdellingsforholdene i resipienten.

Anvendelsesområdene til de forskjellige modellene er illustrert på figur 1.

Program KOH overtar beregningen av fortynningsforløpet der program TEJET avslutter. Innlagringsnivå og dimensjonene på utslippskyen ved innlagringsnivå er input variable for fjernsonemodellen (noe skjønnesmesig vurdert) samtidig som dette er output fra TEJET-beregningene. Modell KOH beregner den videre spredning og fortynning av utslippet (i innlagringsnivå) som funksjon av resipientens spredningsforhold (uttrykt ved hjelp av horisontale og vertikale spredningskoeffisienter) og ved hjelp av det vertikale strømprofilen til resipientens vannmasser.

Modellen gir konsentrasjoner og størrelser på utslippskyen som funksjon av de 3 romkoordinatene x , y og z .



Figur 1. Illustrasjon av de forskjellige anvendelsesområdene for programmene MANIFOLD, TEJET og KOH.

Modellen er opprinnelig utviklet ved EPA (USA), og er kalt KOH, etter opphavsmannen. Detaljer er gitt i referanse /4/.

De 3 romkoordinatene er behandlet i modell KOH på følgende måte:

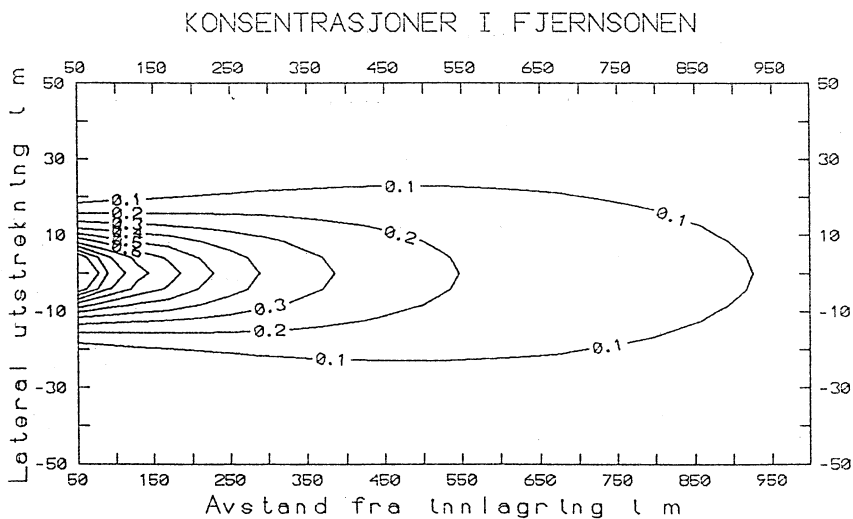
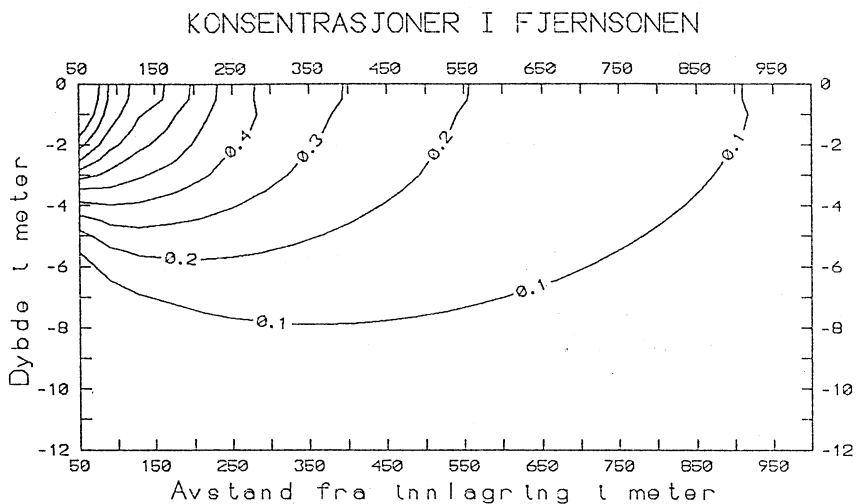
x-retningen: Denne retning er identisk med retningen på overflatestrømmen (eller strømmen i innlagringsnivå). Utslippet antas å bli passivt transportert (advektert) med denne strømmen. Turbulent spredning av utslippet i x-retningen sees bort ifra for kontinuerlige utslipp.

y-retningen: Denne retningen er vertikalletningen. Utslippet antas spres vertikalt, både på grunn av turbulent spredning (diffusjon) og på grunn av vertikale variasjoner i strømforholdene (dispersjon). Vertikale variasjoner i

både spredningskoeffisienter og i de horisontale strømmer kan inkluderes. Vertikal lagdeling i vannmassene vil eksempelvis virke inn på valget av den vertikale diffusjonskoeffisienten.

z-retningen: Denne retning er definert horisontalt og normalt på strømretningen. (*lateral* bevegelsesretning). Spredning i denne retningen skjer ved horisontal diffusjon. Utslippsskyens utbredelse i denne retningen antas å være av gaussisk (normalfordelt) fasetning.

Både strømshastigheten og den vertikale diffusjonskoeffisienten antas å kunne variere med dypet (y-koordinaten). Den horisontale diffusjonskoeffisienten antas ikke å variere med dypet, men vil være avhengig av avstanden



Figur 2. Eksempel på resultat ved bruk av program KOH for beregninger av fortynning i fjernsonen.

nedstrøms x-koordinaten). Denne x-avhengighet er spesielt viktig for den laterale sidespredningen av utslippskyen.

Modell KOH er forøvrig basert på en numerisk løsning av en diffusjonslikning som består av et adveksjonsledd, et ledd for vertikal diffusjon og et ledd for horisontal (lateral) diffusjon.

Bruk av modell KOH betinger at det foreligger informasjon om de vertikale og horisontale spredningskoeffisientene for å karakterisere den naturlige spredningen i resipienten. Denne informasjon vil som oftest ikke være tilgjengelig. Man er her henvist til å benytte koeffisienter med tallverdier hentet fra litteraturen.

Modellen er benyttet til å beregne fjernsonefortynning for flere utslipp planlagt i norske farvann. Figur 2 viser et eksempel på beregning av sekundærfortynning for et utslipp innlagret i

overflaten. Øverste figur viser et vertikalsnitt gjennom sentrum av utslippskyen i retning nedstrøms. *Midlere* konsentrasjon i utslippet ved innlagring er satt lik 1. Nederste figur viser konsentrasjoner i overflaten nedstrøms utslippet, både i strømretning og på tvers av strømretning (lateralt).

Rent avslutningsvis kan anføres at behovet i fremtiden synes å peke på at man i større grad bør kombinere både fysiske og kjemisk/biologiske/bakteriologiske parametre i de modeller som benyttes. Til syvende og sist er det ikke fortynningen som sådan brukeren er interessert i, men *konsentrasjonen* på et aktuelt sted, enten det er snakk om bakteriologisk innhold, næringssalter eller tungmetaller. I så henseende er modellen presentert av A. Stigebrandt for beregning av oksygen, gitt belastningen fra et eller flere oppdrettsanlegg et interessant skritt i denne retning.

Referanser

- /1/: H. Fischer et.al.: «Mixing in Inland and Coastal Waters». Academic Press, 1979.
- /2/: P. E. Sørås: «Dykket utslipp. Beregningsprogram». SINTEF-NHL rapport STF60 A85024. 28. februar 1985.
- /3/: P. Liseth: «Dykket utslipp i resipient». PRA-rapport nr. 14. Februar 1977.
- /4/: R.C.Y. Koh: «Mathematical Models for the Prediction of Temperature Distributions resulting from the Discharge of Heated Water into Large Bodies of Water». EPA, Water Quality Office, October 1970.