

Optimalisering av tiltak i eit vassdrag

Av Kjell Øren

Kjell Øren er siv.ing. frå NTH, bygg 1973. Han arbeider no i Norsk Hydro a.s., men var tilsett ved NIVA då det skildra arbeidet vart utført.

1. TILFREDSSTILLANDE VASS- KVALITET TIL LÆGST MOGELEG KOSTNAD

Tiltak mot forureiningar kan settast inn på fleire frontar: Bygging og utbetring av kommunale leidningsnett og reinseanlegg, reduksjon av forureinande avrenning frå landbruket, mindre forureining frå industri m.m. Målet er å finna den samansettinga av tiltak i heile vassdraget som oppfyller vasskvalitetsmåla til lægst mogeleg kostnad — ei kostnadsoptimal løysing. Fleire teknikkar har vore nytta til dette, m.a. lineær og dynamisk programmering. Denne artikkelen skildrar to døme på bruk av deterministisk, lineær programmering til optimalisering av kommunale/industrielle reinseanlegg.

Det eine dømet gjelde oksygenproblem og Willamette River i USA, det andre fosfor og Numedalslågen. Ein del av arbeidet er utført i samarbeid med Institutt for geofysikk ved Universitetet i Oslo og er finansiert av Norsk hydrologisk komité,

2. PROBLEMFORMULERING VED PROSESLIKNINGAR OG ØKONOMISK MÅLFUNKSJON

Optimalisering ved lineær programmering krev at ein etablerer målfunksjon og føresetnader som må oppfyllest, og at desse blir arrangert på slik måte at generelle løysingsteknikkar kan nyttast. Eit vassdragssystem må etablerast.

2.1 Vassdragssystem

Vassdraget vert inndelt i avsnitt med tilhøyrande nedbørområde. Vassdragsavsnitta er knytta saman av knutepunkt, og det er føresett at knutepunkt blir lagt der det skjer vesentlege endringar i forureiningstilførsler eller vassføring.

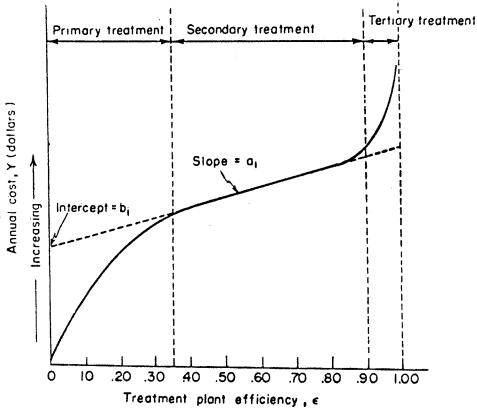
2.2 Målfunksjon

Målet er å minimalisere reinsekostnaden for å oppnå gitte krav til vasskvaliteten. Typiske kostnadskurver for reinseanlegg finn ein i litteraturen rapportert som i figur 1.

Kurver av dette slaget kan stykkevis lineariserast, slik at kostnaden for deler av kurven kan uttrykkjast:

$$(1) \quad \text{COST}_i = a_i \cdot \epsilon_i + b_i$$

der: COST_i = årskostnad for reinseanlegg i
 ϵ_i = reinsegrad (fraksjon 0-1) for anlegg i
 a_i = kostnad pr reinseeining
 b_i = skjeringspunktet mellom kostnadslinje og kostnadsaksen



Figur 1. Kostnadskurve for reinseanlegg.

Føresetnaden om lineær reinsekostnad er sentral. Vanlege reinseprosessar gjev reinsegrader som best kan framstillast i trinn som t.d. 10%, 15%, 85% og 95%, og for kvar av desse kan vi få fram kostnader. Ved å linearisera som i figur' 1, reknar vi at heile spekteret av reinsegrader er aktuelt, og resultatet av ei optimalisering kan bli reinsegrader som ligg mellom det konvensjonelle prosessar reknast gje. Slike resultat kan ein oppnå i praksis ved å blanda ulike delstraumar i reinseanlegget.

Målet er å få lægst mogeleg reinsekostnad, eller

$$(2) \quad \min Z = \sum_i \text{COST}_i = \sum_i (a_i \cdot \epsilon_i + b_i)$$

Alle b_i konstantar for anlegga. Så sant alle anlegga skal byggjast, om enn med variabel reinsegrad, kan alle biholdast utanom målfunksjonen, som dermed kan uttrykkjast som:

$$(3) \quad \min \text{COST} = \sum_i a_i \cdot \epsilon_i$$

Elles syner likning (2) at dette er eit typisk problem for blanda heiltsprogrammering, men dette krev meir kompliserte løysingsmetodar og er ikkje nytta i døma i denne artikkelen.

2.3 Prosessar i vassdrag

I dette inngår:

- Blandingsmekanisamar i knutepunkta,
- Prosessar mellom knutepunkta.
- Ordning av prosesslikningar til L-P formulering.

Ein føreset at det skjer ideell blanding i alle knutepunkt, og at alle andre prosessreaksjonar skjer på strekningane mellom knutepunkta.

2.3.1 Formulering av oksygenproblemet

1) Massebalansar

Tilførslene til kvart knutepunkt kan redusert ved reinsetiltak. Reinsegraden er variabel, og tilførslene til knutepunkta blir uttrykt som ein lineær funksjon av reinsegraden. For kvart knutepunkt set ein opp massebalansar for:

- Organisk stoff uttrykt ved BOF.
- Oksygen/oksygendefisitt.

sygenering, uttrykt ved likningane til Streeter og Phelps.

2) Prosessar mellom tilførslepunkta

Mellom tilførslepunkta skjer det reaksjonar. For oksygen tek ein omsyn til både forbruk i nedbrytingsprosessane og reok-

3) Ordning av likningar

Prosesslikningane frå 1) og 2) kan etter bearbeiding uttrykkest som:

$$(4) \quad DS_i = \alpha_i \cdot D_{wi} + \beta_i \cdot D_{i-1}$$

$$(5) \quad D_i = f_i \cdot \alpha_i (1 - \epsilon_i) L_{wi}^* + f_i \cdot \beta_i L_{i-1} + g_i \cdot DS_i$$

$$(6) \quad L_i = \alpha_i \cdot h_i (1 - \epsilon_i) L_{wi}^* + \beta_i \cdot h_i \cdot L_{i-1}$$

der DS_i = Oksygendefisitt rett nedstrøms tilførslepunktet (mg O_2/l).

D_{wi} = Oksygendefisitt på lokal tilførsle (mg O_2/l).

D_{i-1} = Oksygen-"defisitt" rett oppstrøms tilførslepunktene (mg O_2/l) (dvs. skilnad mellom O_2 -kons. med metta vatn, og aktuell O_2 -konsentrasjon).

L_{wi}^* = BOF₇-konsentrasjonen i ubehandla tilførsle i knutepunkt i (mg O_2/l).

ϵ_i = Reinsegrad for tilførsle i knutepunktet i, uttrykt i relativ storleik (0 til 1).

L_{i-1} = BOF₇-konsentrasjonen i elva rett oppstrøms tilførslepunktet (mg O_2/l).

α_i , β_i , f_i , g_i og h_i er konstanter for gitt problem.

2.3.2 Formulering av fosforproblemet

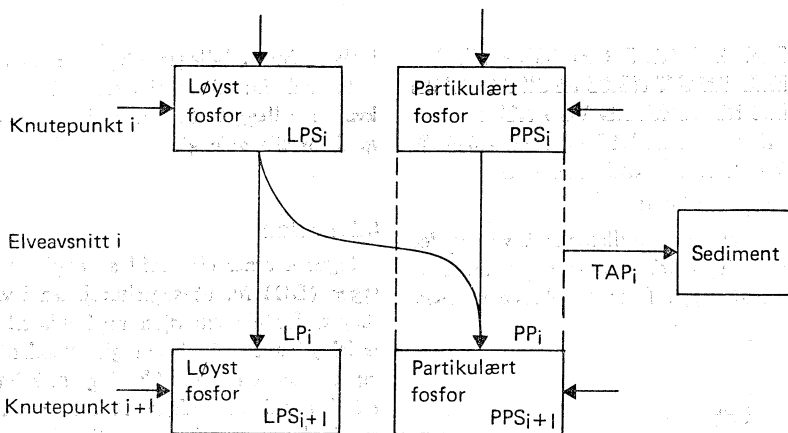
1) Massebalansar

Forureiningstilførslene til kvart knutepunkt kan vera løyst og partikulært bunde fosfor frå kvar av kjeldene kommunalt avløp, industri, landbruksavrenning og naturleg avrenning. Reinsegraden for løyst og partikulært bunde fosfor varierer for ulike kjelder. Tilførslene varierer lineært med reinsegraden.

I kvart knutepunkt set ein opp massebalansar for løyst og partikulært bunde fosfor.

2) Prosessar mellom knutepunkta

Fosfor som vert tilført vassdraget, vil inngå i reaksjonar med andre kjemiske komponentar og vera byggemateriale for organisk stoff. Ein del kan knyttast til se-



Figur 2. Skisse over fosforbalanse.

diment for seinare å bli resuspendert. Figur 2 syner skissemessig oppdelinga.

Løyst fosfor

Dei løyste fosfata blir knytta både til partiklar i vatnet og til botnsedimenta. Ved renneforsøk og undersøkingar i Lenaelva i 1981 vart det etablert matematiske samband for:

- Sorpsjon til slampartiklane.
- Sorpsjon til botnsedimenta.

Desse sambanda gjer det mogelig å uttrykkje konsentrasjonen av fosfat langs ein elvestrekning som funksjon av startkonsentrasjonen, to konstantar og avstanden frå tilførsle til det aktuelle punktet. Konstantane må sjølvstøtt etablerast i kvart ein-skild tilfelle for kvar elvestrekning.

Partikulært fosfor

Massetransporten av totalt fosfor i elvane varierer mykje med vassføringane. Grunnen er m.a. utvasking av partiklar frå

elvbreidda og resuspensjon av sedimentert materiale frå elvefaret. For å ta omsyn til heile denne dynamikken, trengst korte tidssteg (1 dag). Slike tidssteg er praktisk umogeleg å operera med i L-P grunna store program og reknetider. Ein baserer seg difor på gjennomsnittsvurderingar, som inneber:

- Ein del løyst fosfor går over til partikulært fosfor.
- Det skjer overgang av partikulært fosfor til sedimenta (positiv eller negativ).

Konsentrasjonen av partikulært fosfor blir uttrykt som funksjon av startkonsentrasjonen, koeffisient for overgang frå løyst til partikulært fosfor og for tap, og avstanden frå tilførslene.

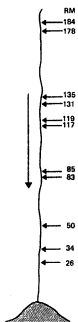
3) Ordning av likningar

På same måte som for oksygenproblemet, kan likningane arrangerast slik at det høver for L-P-problem. For detaljar syner ein til prosjektrapporten.

3. FOR EIT GITT OKSYGENØME MED REALISTISKE RESIPTMÅL: LIK REINSEGRAD VED ALLE ANLEGG KOSTAR DET DOBBELTE AV OPTIMAL REINSEGRAD

3.1 Problemstilling

Nedover langs Willamette River er det ulike utlepp frå tettstader og industri. fig. 3. Utsleppa fører til oksygenproblem



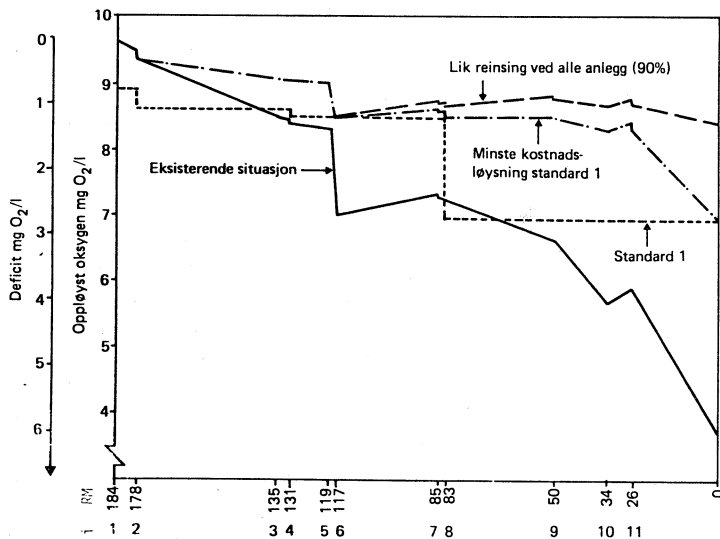
Figur 3. Vassdragskisse.

i elva. Kva er billegaste løysinga for å nå gitte mål for oksygenkonsentrasjonar, og kva er tilleggskostnaden ved lik reinsegrad for alle anlegg?

3.2 Resultat

Figur 4 syner eit profil av oppløyst oksygen (DO) for utgangssituasjonen i vassdraget, for ein situasjon med minstekostnadsløysing for å nå ein gitt standard 1, og situasjonen med lik (og maksimal) reinsing ved alle anlegg. Figuren syner at standarden gjev eit visst slingringsmonn for reinsegradene nedst i vassdraget, som gjer at ein kan kombinera reinseeffektane optimalt i høve til kostnad.

Kva gjev så dette slingringsmonnet i økonomisk vinst? Rekna i årskostnad kostar det omlag dobbel så mykje å reinsa likt (og maksimalt) ved alle anlegg som



Figur 4.

Ulike løysingar med tilhørande mål- oppnåing. Standard 1.

det kostar å reinse optimalt. I dette dømet er resipientkrava sett etter grundig og realistisk vurdering.

Dette har ført til ny interesse for vasskvalitetsvurderingar.

4. EIN GOV MODELL AV FOSFOR I NUMEDALSLÅGEN: OPTIMAL REINSING ER 15% BILLEGARE ENN LIK REINSEGRAD

4.1 Problemstilling

Etter at tømmerfløytinga slutta i Numedalslågen, er det mogeleg å disponera tømmerfløytingsvatnet på annan måte.

Tid og kostnad gjorde at vurderingane i vårt arbeid måtte gjerast svært grovt, og heile vassdraget vart difor inndelt i 6 soner, svarande til kommunegrenene, fig. 5.

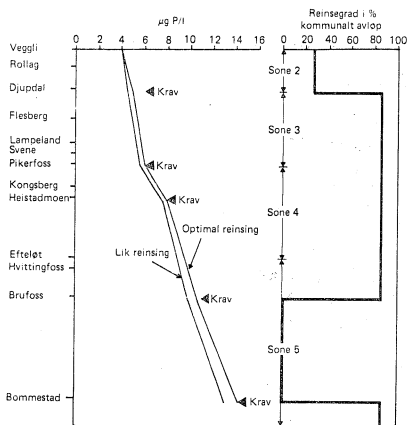
Også prosessvurderingane vart svært forenkla, og kun rein fortynning og totalt fosfor vart teke omsyn til. Ingen av prosessane mellom knutepunkta vart tekne med.



Figur 5. Skisse over vassdraget med soneinndeling.

4.2 Resultat

Med så grove og forenkla føresetnader er det avgrensa kva vekt ein kan leggja på resultatane. Føresetnadene som er lagt inn, skulle likevel verka i konservativ lei. For eit gitt sett av resipientkrav på ulike elvstrekninger, fig. 6, er kostnadsskilnaden mellom optimal og lik reinsegrad 15%. Resipientkrava er ikkje så gjennomdrøfta som oksygenproblemet, og resultatet er meir usikker. Likevel framgår det at vinsten vil liggja i meir lempelege reinsekrav for mindre anlegg, der einingskostnaden også er størst.



Figur 6.

Nødvendige tiltak for å nå gitt standard. Standarden er kun sett som eit døme.

6. REFERANSAR

Artikkelen er eit utdrag frå rapporten:

Øren, Kjell: Lineær programmering til kostnadsoptimalisering av tiltak mot forureiningar. 0-81018, NIVA 1983.

Rapporten gjev aktuelle referansar.

Arbeidet med Numedalslågen gav så interessante resultat at ein student ved Universitetet i Oslo no detaljerer problemet vidare, og metoden skal brukast av eit konsulentfirma i vidare praktisk planlegging i vassdraget.

5. OPPSUMMERING

Dei to presenterte døma syner økonomisk vinst på 100% og 15% ved optimal reinsegrad i høve til lik reinsegrad.

Kostnadsskilnadene er sjølvsagt avhengig av den standarden ein set. Krava i oksygendømet, som gav ein kostnadsskilnad på 100%, er i alle høve realistiske. Krava i fosfordømet, som gav kostnadsskilnad på 15%, er ikkje så gjennomdrøfta. Sjølv om innsparinga her i Noreg skulle liggja nærmare 15% enn 100% ved optimal reinsing, er det likevel store beløp det er tale om. Ønskjer vi spara desse pengane?

I forvaltninga av vassdraget vil kravet om lik handsaming av kommunar, industri og andre næringsvegar stå sentralt. Krav og pålegg byggjer i stor grad på likskapsprinsippet.

Ønskjer ein optimale, dvs. billige løysingar, må ein i utgangspunktet godta ulike handsaming og ulike krav. Toler kommunane langs same vassdraget å bli handsama ulikt, torer styresmaktene å gjennomføra ein slik praksis?