

Vannressurser — Optimaliseringsmetoder

Av Arne Carlsen

Arne Carlsen er siviling. og ansatt i Hafslund A/S, Konsulentavdelingen.

*Innlegg på møte i Norsk Vannforening
25. november 1981.*

1. Formål med prosjektet

Etter hvert som presset på utnyttelsen av våre vassdrag øker, vil det bli behov for metoder som på en systematisk måte kan gi oss informasjon om hvordan den enkelte bruk av vannet virker inn på hverandre.

Når alle brukerne ikke kan få sine mål oppfylt p.g.a. knapphet på vann, må det foretas en *prioritering* av vannet. Det er da naturlig å spørre seg *hvordan* skal denne prioriteringen gjøres og *hvem* skal bestemme hvordan den skal være.

Det pågående prosjektets mål er å frem-skaffe hjelpemidler slik at beslutningsunderlaget og beslutningsprosessen i forbindelse med flerbruksplanlegging kan forberedes.

Sammenhengen mellom de enkelte brukerinteressene vil ofte være så kompleks at man ikke greier å få noen oversikt over den uten at man tar i bruk simulering-modeller eller matematiske modeller.

Prosjektet vil analysere forskjellige modeller og prøve dem på et konkret vassdrag. Vi håper dermed å kunne gi svar på hva slags type modeller som vil være mest hensiktsmessig å benytte for norske vassdrag og hvilken detaljeringsgrad som vil være nødvendig. Forbedrer avanserte modeller beslutningsunderlaget i vesentlig

grad eller vil en enkel modell være tilstrekkelig?

Beslutningsprosessen er en viktig del av flerbruksplanleggingen, og prosjektet arbeider derfor også med forskjellige «forhandlings-/beslutningsmodeller». Disse er det meningen å teste på beslutningstagere.

Vi mener at prosjektet vil være av verdi for den fremtidige flerbruksplanleggingen. Vi tror også at en del av de resultatene vi kommer frem til vil kunne brukes i forbindelse med arbeidet med «Samlet plan for gjenværende vannkraft».

2. Finansiering og bemanning

Prosjektet finansieres av Norsk hydrologisk komité (NHK) og Vassdragsregulantenens forening (VF). Arbeidet startet januar 1981 og første fase ventes avsluttet i desember 1982. Arbeidet foregår ved Institutt for geofysikk, Universitetet i Oslo, og følgende personer deltar i prosjektet:

Bo Wingård,	NVE/UiO (prosjektleder)
Arne J. Carlsen,	NHK/Hafslund A/S
N. R. Sælthun,	VF/NVE
K. Øren,	NHK/NIVA

3. Problemstilling ved flermåls-optimalisering

Ofte vil vannet i norske vassdrag brukes til flere formål. Eksempler på slike er

kraftproduksjon, irrigasjon, resipient, rekreasjon og flomkontroll.

Bak hvert av disse formålene står en mer eller mindre sterk brukergruppe som prøver å ivareta interessene i vassdraget. I utgangspunktet vil de prøve å benytte seg av vannet på en slik måte at de hver for seg oppnår det optimale resultat. Dette vil være en tilfredsstillende metode så lenge det er tilstrekkelig vann i vassdraget. Under optimaliseringsfasen trenger f.eks. kraftutbyggeren da ikke å ta hensyn til f.eks. irrigasjonsvann siden dennes behov i «alle tilfeller» vil bli dekket. Vi kan da anvende en *del-* eller *sektoroptimalisering*.

Problemet oppstår imidlertid når det blir mangel på vann slik at de enkelte brukerne av vannet ikke kan ta ut så mye vann som de ønsker for «å nå sitt mål».

Man må da prøve å finne frem til metoder som gjør oss i stand til å foreta en fordeling av vannet på en hensiktsmessig måte.

Når vi skal definere et flermåloptimaliseringsproblem, må vi skille mellom to hovedtyper:

- alle målsettingene kan uttrykkes i *samme* benevning (f.eks. kr.)
- de enkelte målsettingene uttrykkes i *forskjellig* benevning (kwh for elektrisitetsprod., m³/s for irrigasjon, magasininfylling for flomkontroll/rekreasjon).

Vi vil i det etterfølgende behandle de to tilfellene noe nærmere:

3.1. Mål med samme benevning

Dette innebærer at vi vil være istand til å kvantifisere nytten av vannet til de enkelte formål i f.eks. kr.

For elektrisitetsproduksjon vil dette ofte være enkelt, mens for andre formål

kan det bli vanskeligere, men sikkert mulig. Ved flomkontroll måtte man f.eks. finne ut hvor stort areal som blir neddemt ved forskjellige flommer. Avkastningen og evt. skadene må så verdsettes. For å få et mål for dette, kan man f.eks. ta utgangspunkt i erstatninger som er gitt ved flomskader.

Likeledes kan man verdsette hver laks til et visst beløp.

Vi vil i det etterfølgende bruke laks og kraftproduksjon som eksempel. Forutsetter at vi har mulighet for å bygge et magasin, og vi ønsker å finne den størrelsen på magasinet som gir det største *økonomiske* utbyttet.

Mulig kraftproduksjon vil være avhengig av størrelsen på magasinet, og det forutsetter vi at antall laks også vil være $f_1(x)$ gir oss kraftproduksjonen (kwh) som funksjon av magasin størrelsen X (mill. m³).

$f_2(x)$ gir oss lakseproduksjonen (stk.) som funksjon av magasin størrelsen.

Ofte vil vi har mer eller mindre naturgitte begrensninger på x . Ett eksempel på en slik restriksjon kan være

$$x_{\min} \leq x \leq x_{\max}$$

Dersom vi nå har at inntekten pr. kwh er c_1 og inntekten pr. laks er c_2 og at kostnadene med å bygge magasinet beskrives av funksjonen $C(x)$, kan vi sette opp følgende uttrykk for nettoinntekten vår:

$$F(x) = c_1 f_1(x) + c_2 f_2(x) - C(x).$$

Vårt mål er å finne frem til en magasin størrelse som gir oss *den største nettoinntekten*.

Dvs.

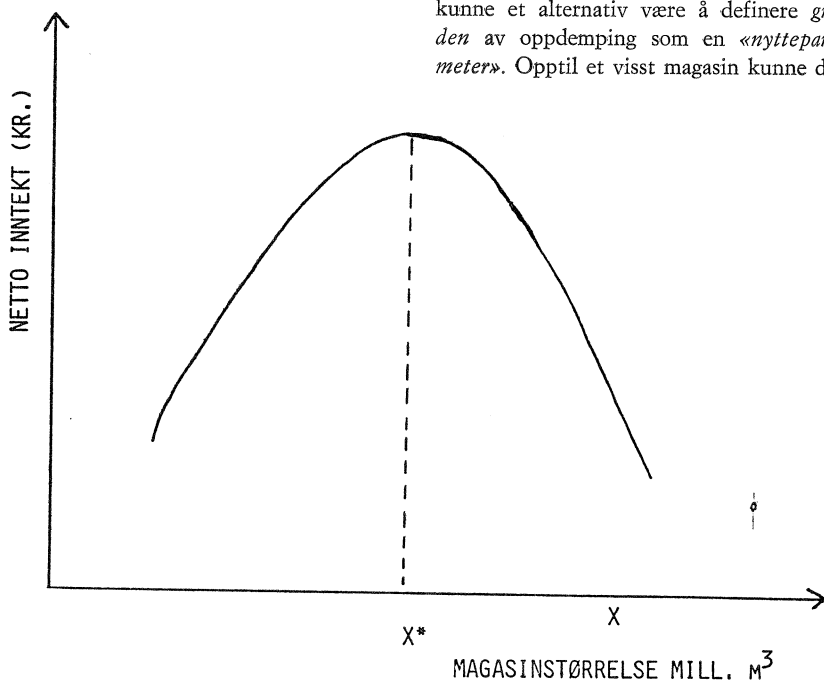
$$\max F(x)$$

forutsatt at:

$$g(x) \leq 0$$

$(g(x) < 0$ beskriver de restriksjoner vi har på x).

I figur 1 ser vi hvordan denne nettoinntekten kan variere med magasin størrelsen, og det vil være lett å si hva som er den optimale magasin størrelsen.



X^* - OPTIMAL MAGASINSTØRRELSE

FIGUR 1

Når enhetsprisene er gitt, vil derfor systemanalytikeren *alene* kunne komme frem til den optimale løsningen. Beslutningstagernes rolle blir da å være «sandpåstrøere».

3.2 Mål for forskjellige benevninger

Dersom det er nytte av vannet som man ikke *kan* eller *ikke ønsker* å uttrykke i kroner, må man angripe problemet på en annen måte. Hvordan skal man verdsette f.eks. rekreasjonsnyttens i kroner? Her kunne et alternativ være å definere *graden* av oppdemping som en «*nytteparameter*». Opptil et visst magasin kunne det

tenkes at man så positivt på et magasin (gir mulighet for bading/fiske/seiling). Dersom magasinet imidlertid kommer over en viss terskel avtar rekreasjonsnyttan etter denne gruppes mening. Som uttrykk for nytten kan en da benytte

$$N = \frac{x}{M_{opt}} \quad 100\% \quad 0 \leq x \leq M_{opt}$$

$$N = \frac{M_{opt}}{x} \quad 100\% \quad M_{opt} \leq x \leq M_{maks}$$

Vi vender nå tilbake til vårt problem om fisk og kraftproduksjon og formulerer problemet på følgende måte:

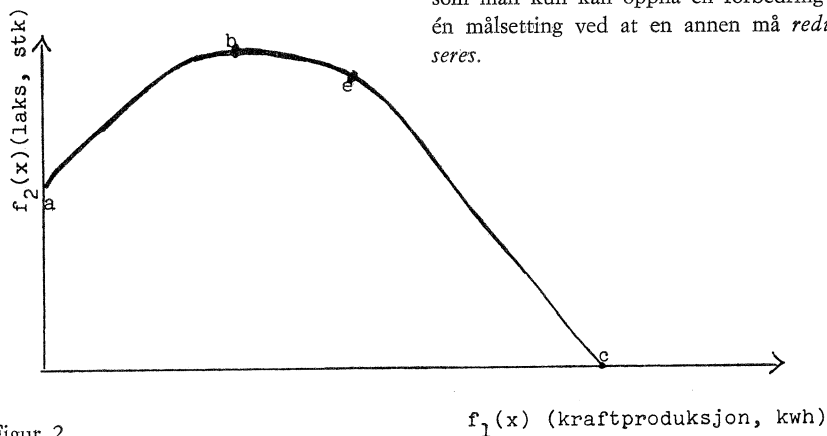
maks $((f_1(x), f_2(x)))$

forutsatt at: $g(x) < 0$ (restriksjonslign.)

$f_1(x)$ = kraftproduksjonen som funksjon av magasin størrelsen (kwh).

$f_2(x)$ = lakseproduksjon som funksjon av magasin størrelsen (antall laks).

Vårt eksempel vil med stor sannsynlighet være et tilfelle hvor begge interesser ikke *samtidig* kan få mest mulig igjen



Figur 2.

fra systemet. Det vil altså være *konflikt* mellom de to målene. I figur 2 har vi vist hvordan sammenhengen mellom lakseproduksjonen og kraftproduksjon for forskjellige magasin størrelser kan arte seg. Hvert punkt på linjen abc tilsvareer et mulig alternativ på magasin størrelsen.

Vi ser her uten videre at vi ikke bør velge en løsning på kurven ab. Derimot bør den ligge på kurven bc et sted. Men *hvilken* løsning man velger, vil være avhengig av hvordan man vurderer nytten av kraft mot nytten av fisk.

Vi kan derfor konstatere at man i motsetning til én målsetting ikke kan finne løsningen på et flermålsproblem med matematikk *alene*. Beslutningstage- ren må kobles inn og velge ut den «beste» løsningen ut ifra flere matematisk sett likeverdige løsninger.

Vi foreligger nå disse figur 2. Ut ifra deres preferanser vil de så velge en løsning som f.eks. kan være punkt e.

Løsninger som ligger langs kurven bc kalles Pareto-optimale løsninger.

Man har en Pareto-optimal løsning dersom man kun kan oppnå en forbedring i én målsetting ved at en annen må *reduseres*.

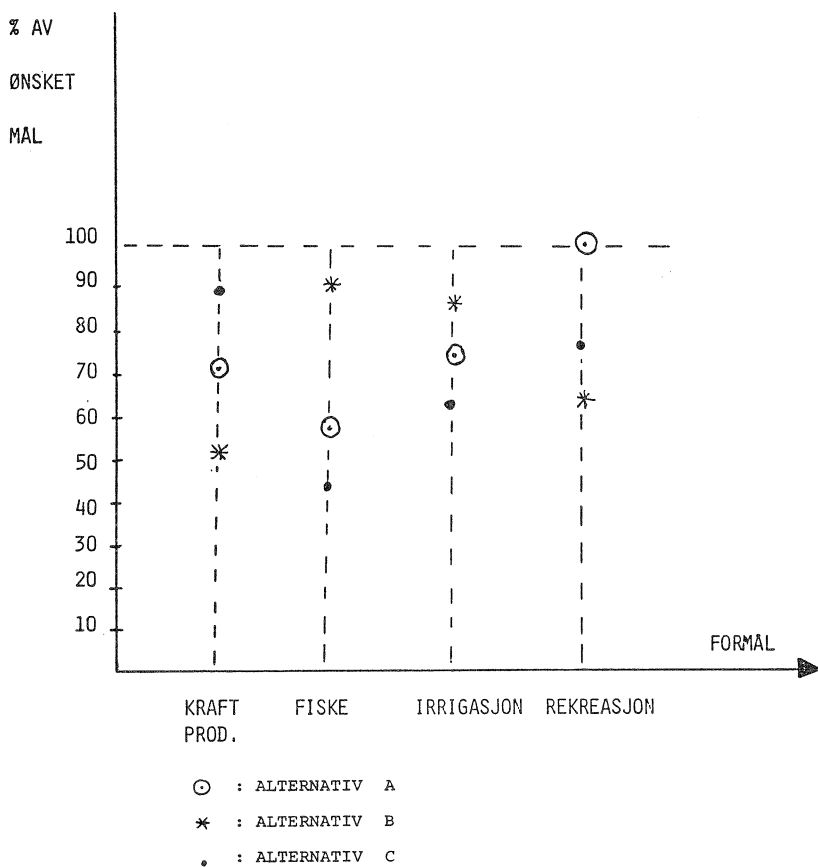
Hele kurven abc kalles gjerne en «trade-off» kurve og gir god illustrasjon på hvordan de to målsettingene innvirker på hverandre.

Dersom man har flere enn to målsettinger, kan en annen måte benyttes for å fremstille de Pareto-optimale løsningene.

I figur 3 har vi som ordinatakse benyttet en *relativ* skala. 100% tilsvareer at interessegruppen har fått sitt ønske oppfylt. Som abcisse-akse er avsatt de enkelte brukerinteressene.

Hver løsning gir da et sett av sammenhengende punkter slik som illustrert på figuren. Ved mange mulige alternativer kan man dog få en noe uoversiktlig figur.

De pareto-optimale løsningene kan finnes ved bruk av en matematisk modell eller en simuleringsmodell. Det er viktig at man velger en modelltype som er tilpasset det problem man ønsker å løse. Resultatet fra en modell er aldri bedre enn de forutsetningen modellen arbeider med. Å gå inn på forskjellige modeller



FIGUR 3

faller utenfor rammen av denne orienteringen.

Det å finne den beste løsningen ut ifra de Pareto-optimale løsningene vil være et *beslutningsproblem*.

4. Prosjektets fremdrift og foreløpige resultater

En vesentlig del av tiden i denne del av prosjektet har bestått av teoretisk skole-
ring på de metoder som kan være aktuelle. Det er foretatt studiereiser til Vest-Tyskland, Nederland, Sverige og Østerrike. En stor mengde litteratur er gjennomgått og er diskutert i kollokvier/forelesninger.

Av de metodene som er gjennomgått, er det ikke noen som skiller seg klart ut som den mest akseptable. Det vil derfor bli nødvendig å prøve ut forskjellige metoder.

Vi arbeider videre med disse metodene:

- Lineærprogrammering (LP)
- Kvadratisk programmering (QP)
- Dynamisk programmering (DP)
- Simuleringsmodell

LP har sin styrke i at man kan lett anvende ferdige programpakker, slik at man unngår programmeringsarbeide. I tillegg gir denne type modell akseptable regnetider selv på store systemer. Den mest fremtredende svakheten er at alle «ligninger» som inngår må være lineære. Dessuten byr det på problemer å få en god representasjon av tilsiget i en slik modell.

QP er en forbedring av LP ved at man kan ha en målsettingsfunksjon (objekt-funksjon) som er kvadratisk slik at man får en bedre representasjon når denne er

ikke-lineær. Alle begrensningsslikninger må imidlertid være lineære. For QP finnes det også generelle programpakker. QP vil ha en del mer regnetid enn LP.

DP er den metode som vil gi den beste representasjon av systemet. Her kan både objektfunksjon og restriksjoner være ikke-lineære. Svakheten er at man for noe større systemer får helt uakseptable regnetider ved konvensjonell dynamisk programmering. Det finnes imidlertid forskjellige modifikasjoner av DP for å løse dette på mer eller mindre tilnærmet måte.

Vi samarbeider med Henk van Rossum i Nederland om en slik modifisert utgave av dynamisk programmering. Teorien for denne metoden vil bli uttestet i løpet av våren 1982, og dersom metoden svarer til forventningene, mener vi at den vil være et nyttig bidrag innen dynamisk programmering.

Simuleringsmodeller er lette å forstå for beslutningstagerne, og vil også ofte gi akseptable regnetider. En simuleringsmodell er imidlertid ingen *optimaliseringsmodell* og kan bare gi oss konsekvensene av forskjellige tappereglementer som vi selv må «finne på». For å finne frem til det beste (optimale) tappereglementet vil man derfor ofte måtte prøve en rekke forskjellige tappereglementer. Det som kan være hensiktsmessig er å finne frem til et tappereglement ved hjelp av f.eks. DP og så teste dette i en simuleringsmodell.

Ved hjelp av modellene vil man prøve å finne sammenhengen mellom de enkelte brukernes krav til vannet. Når denne sammenhengen er klarlagt, skal denne presenteres for beslutningstagerne. Prioritering og valg av «beste» løsning skal gjøres av dem. Til dette anvendes såkalte *beslutningsmodeller*.

Eksempler på slike beslutningsmodeller er:

- Saatys beslutningsmodell
- Surrogate Worth trade-off method (SWT)
- Compromise Programming (CP)
- Step iteration method (STEM)
- GAME theory, bl.a. non-cooperative games.

Saatys beslutningsmodell har hatt praktisk anvendelse i Gelderland i Nederland ved evaluering av vannforsyningsprosjekter.

Metoden baserer seg på at beslutningstagerne sammenligner prosjektene *to og to* og ved hjelp av en tallskala veier disse mot hverandre. Metoden er enkel sett fra beslutningstagerens synspunkt.

SWT er teoretisk sett meget god, men har vist seg å være komplisert å forstå for beslutningstagerne og er derfor lite anvendt i praksis. Beslutningstagerne må på forskjellige nivåer av objektfunksjonene (målsettingene) prøve å verdsette en forbedring i én målsetting på bekostning av en annen. Vi forutsetter f.eks. at en viss løsning gir 200 GWh/år kraft og 20 Mm³/år til irrigasjon. Ved å velge en annen løsning kan vi *øke* kraftproduksjonen med 2 GWh, men det vil *redusere* irrigasjonsvannet med 1 Mm³/år. Beslutningstageren skal så verdsette denne endringen.

CP finner den beste løsningen ved å anvende forskjellige typer avstandsmålinger til den «ideelle løsningen». Denne er definert som den løsningen hvor alle når sin målsetting. Dersom det imidlertid er konflikt mellom målsettingene kan ikke alle nå sitt mål *samtidig*. Man må derved finne en kompromissløsning. Det har vist seg at den form for avstandsmåling som benyttes har vært vanskelig å forstå for beslutningstagerne, men metoden må anses for å være god for å innsnevre området av løsninger.

STEM metoden er en iterativ metode. Beslutningstagerne samarbeider med «datamaskinen». Man får presentert en mulig løsning. Dersom man ikke er tilfreds med nivået på endel av målsettingene, angir man hvilken man er villig til å redusere samt hvor mye. Dermed fremkommer en ny løsning og slik fortsetter man inntil man får en løsning man aksepterer. Kombinert med LP fremheves metoden av flere som god, og den er også blitt praktisk anvendt.

De beslutningsmodellene som er nevnt ovenfor er bare et utvalg av mange slike modeller. Vi mener imidlertid at det er disse som virker mest lovende, og som vi derfor vil prøve ut i vårt forsøksvassdrag. Vi føler at den fasen av prosjektet som vi har vært igjennom til nå har gitt oss en relativt solid basis for å prøve metodene i praksis. Vi mener også at blant disse vil det være en eller flere som vil komme til nytte ved videre arbeid med flerbruksplanlegging i Norge.