

Simuleringsmodeller i vannbruksplanlegging

Af Ole Stang

Ole Stang er civ.ing. fra Danmarks Tekniske Højskole 1976 og ansat som forsker ved Norges Hydrodynamiske Laboratorier, division VHL.

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

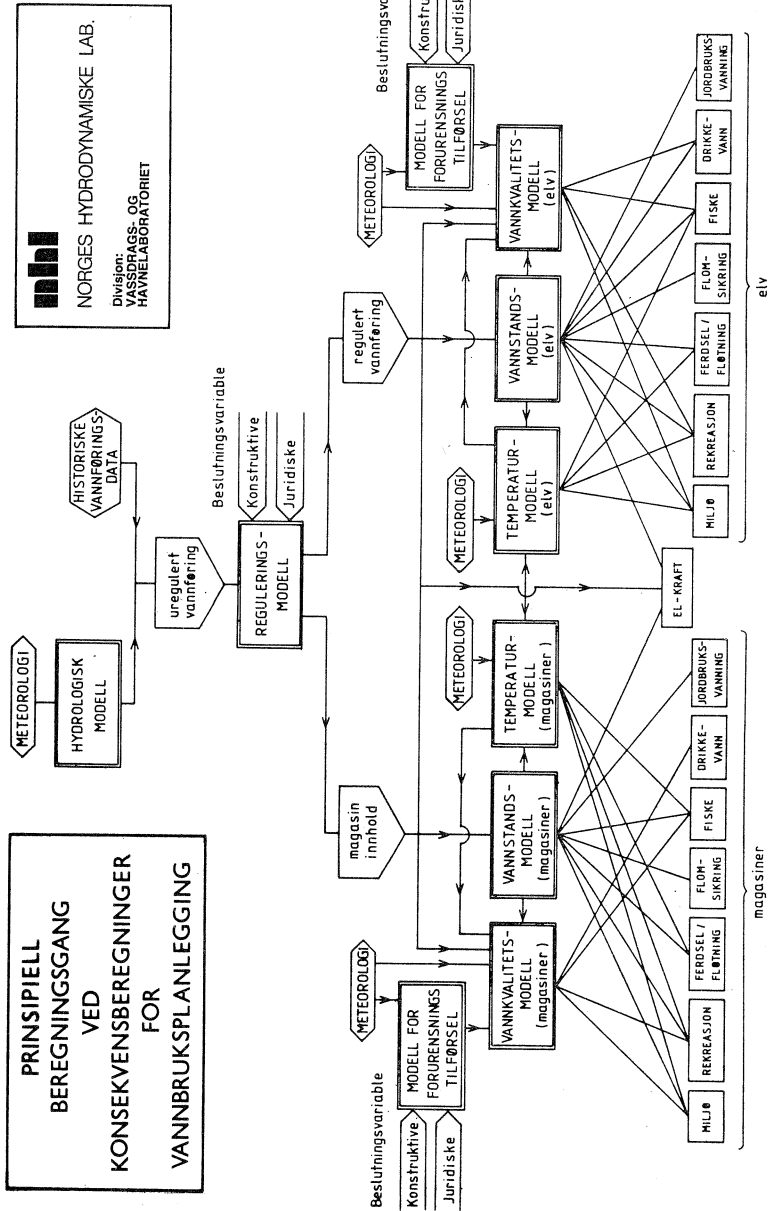
Indledning

I det følgende er der gjort rede for visse generelt anvendelige erfaringer, høstet ved gennemførelsen af projektet «Beregning af reguleringskonsekvenser i Skiselv, Rakkestad kommune». En mere detaljeret præsentation af projektet findes i Stang (1981). Ved gennemførelsen af projektet er der taget sigte på at tilvejebringe et beslutningsgrundlag i form af konsekvensanalyser af forskellige alternative udbygninger og reguleringer. Disse konsekvensanalyser er udført ved hjælp af matematiske simuleringsmodeller, som efter forfatterens mening er nødvendige redskaber ved analyse af praktisk forekommende problemstillinger. I udlandet finder denne analysemetodik også i stigende grad anvendelse ved planlægning af fremtidig brug af vandressourcerne, se f.eks. McBean (1981) og Harboe og Schultz (1981).

I figur 1 er principperne ved den benyttede fremgangsmåde generaliseret, så den i de fleste tilfælde vil kunne beskrive årsagssammenhænge i en norsk elv med flere brugerinteresser. Figuren viser, hvorledes et hierarki af modeller kan anvendes

til konsekvensberegning af forskellige former for alternative menneskelige indgreb af enten fysisk eller juridisk karakter. Ideen er, at konsekvensberegningerne gennemføres for en meteorologisk og hydrologisk tidsserie af betydelig længde (20—50 år). De samme tidsserier anvendes ved gennemregning af relevante alternative beslutninger, og derved opnås, at naturgivne konsekvenser kan skilles fra menneskeskabte. Årsagen til, at der må anvendes så lange tidsserier som praktisk muligt, er, at flere brugerinteresser er direkte knyttet til ekstreme hændelser. Således er flomsikringsinteresserne selvsagt udelukkende knyttet til ekstremt høje vandstande, mens f.eks. forsynings-sikkerheden for elektrisk kraft og vandforsyning til markvanding er knyttet til ekstreme tørkeperioder. Hyppigheden af disse ekstremer vil ikke kunne vurderes tilfredsstillende ud fra korte tidsserier og betydningen af enkelte brugerinteresser vil derfor kunne fejlbedømmes groft.

Det er ikke tanken, at hele det i figur 1 skitserende modelkompleks nødvendigvis må anvendes i alle tilfælde, hvor konsekvensanalyser skal udføres; men antallet af aktuelle brugerinteresser, tilgængeligheden af nødvendige data samt anvendeligheden af eventuelle eksisterende modeller skal i hvert enkelt tilfælde bestemme hvor stor den del af modelkom-



Figur 1. Model-hierarki for konsekvensanalyser.

plekset, som er nødvendigt. En anden ting, som bør bemærkes i denne forbindelse er, at betegnelsen «model» kan dække alt fra yderst avancerede EDB-baserede modeller til anvendelse af en simpel ligning. Som eksempel kan det nævnes, at vandstanden i en elv kan beregnes detaljeret strækning for strækning under hensyntagen til forskelle i tværprofil, bundhældning, ruhed og eventuelle stuvningseffekter eller ved hjælp af en simpel hydraulisk formel i et karakteristisk tværprofil. Dette sidste er valgt i Rakkestad-projektet.

Det ses af figuren, at der er skelnet mellem brugerinteresser knyttet til områderne ved magasinerne og langs elvstrækninger, fordi her ofte er tale om direkte modstridende interesser. I Rakkestad-projektet er dette illustreret ved at betragte landbrugets flomsikringsinteresser som to uafhængige interesser henholdsvis opstrøms og nedstrøms for en eksisterende regulering.

Beslutningsprocessen

Af figur 1 fremgår det, at to væsensforskellige typer input er nødvendige — dels egentlige data af meteorologisk og hydrologisk karakter og dels visse beslutningsparametre af juridisk eller bygningsmæssig karakter. Det er denne sidste klasse af parametre, som opmærksomheden bør samles om, idet disse skal vælges af beslutningstagerne på baggrund af de beregnede konsekvenser. Hvorledes den mest optimale kombination af beslutningsparametre kan findes, og hvorledes den mest optimale kombination skal defineres, vil der ikke blive taget stilling til her; men det bør nævnes, at der eksisterer matematiske metoder til løsning af visse typer optimeringsproblemer. Imidlertid vil

det efter forfatterens mening ofte være en farbar vej at træffe beslutninger på grundlag af gennemregninger af flere alternative løsninger, især hvis forholdene tilsiger, at specielle hensyn skal tages til interesser som er vanskeligt kvantificerbare.

Her berøres problemet vedrørende kvantificeringen af konsekvenserne for de forskellige brugere, og det er velkendt, at visse interessegruppers ønsker kun vanskeligt lader sig omsætte til målelige størrelser. Hvis beslutninger imidlertid skal træffes under rimelig hensyntagen til alle berørte parter, bør målet imidlertid være en så høj grad af kvantificering af konsekvenserne som mulig. Dette medfører ikke nødvendigvis for alle konsekvenstyper omregning til kroner og øre, men hvor dette er muligt, bør det gøres, idet en direkte afvejning af forskellige parters interesser mod hinanden dermed gøres mulig. Det kan også være nyttigt ved overvejelser af cost-benefit typen, når nytteværdien af en investering i nye fysiske anlæg (kraftværker, forbygninger, tærskler, renseanlæg) skal bedømmes.

I de tilfælde, hvor brugerinteresserne omfatter vanskeligt kvantificerbare felter som miljø, naturværn og rekreation vil man således stå tilbage med to interessegrupperinger: de med ønsker, som vanskeligt lader sig værdisætte, og de, som kan kvantificeres i form af værdi af f.eks. el-produktion, fiskeri eller øget udbytte som følge af markvanding. Her må konsekvenserne for den første kategori af brugere så vidt muligt illustreres i form af f.eks. hyppigheden af vandføring, vandstand eller vandkvalitetsparametre under eller over et vist («naturligt») niveau. Sådanne oplysninger kan hentes fra varighedskurver for elvens og magasinernes tilstandsparametre produceret med de viste

simuleringsmodeller. Det vil således i mange tilfælde være muligt at karakterisere en beslutning som værende enten værre eller bedre end andre alternativer hvad angår de vanskeligt kvantificerbare interesser. Afvejningen mod de kvantificerbare interesser og eventuelle investeringer må for sin del hvile på et menneskeligt skøn.

De enkelte modeller

Som nævnt i indledningen kræves der en helst ubrudt serie af uregulerede vandføringsdata som grundlag for konsekvensanalysen. Disse kan være direkte observerede data eller syntetiske tidsserier genereret af en hydrologisk model på grundlag af meteorologiske tidsserier for nedbør m.v.. Normalt vil vandføringsobservationerne skulle suppleres og korrigeres for reguleringer og udbygninger, og de hydrologiske modeller må kalibreres til eksisterende data, så i praksis vil der ofte blive tale om at konstruere en hydrologisk tidsserie udfra både observationer og medbetragtninger.

Den hydrologiske tidsserie skal anvendes som input i reguleringsmodellen, der beskriver, hvorledes luger, turbiner, overløb og omløb manøvreres på grundlag af en manøvreringsstrategi, som tildels kan fastlægges i selve modellen under hensyntagen til bl.a. juridiske restriktioner samt udbud og efterspørgsel af el-kraft. Her er selvsagt mange alternative strategier mulige og disse udgør sammen med den fysiske udformning og placering af anlæggene beslutningsparametrene vedrørende kraftudbygning. Hvis der er tale om at modellere en længere strækning af en elv med flere kraftværker og magasineringmuligheder, må reguleringsmodellen være nært knyttet til vandstands-

modellerne for henholdsvis magasiner og elv.

Mange større kraftselskaber eller brugs-eierforeninger anvender i dag hydrologiske modeller og reguleringsmodeller under en eller anden form i den daglige drift og ved planlægning af nye udbygninger. Det vil derfor sikkert i mange tilfælde være muligt at drage betydelig nytte af eksisterende værktøj i forbindelse med vandbruksplanlægningen. Eksisterende modeller vil dog i de fleste tilfælde skulle suppleres med modeller for vandstands-beregninger i elve. Modeller af denne type er operationelle i dag i forskellige versioner og med forskellig detaljeringsgrad.

Et komplet billede af elvenes og magasinernes tilstand fås ikke uden temperatur- og kvalitetsmodeller. Temperaturmodeller for reservoirer kan på grundlag af meteorologiske data som stråling, temperatur, vind m.v. beregne temperaturprofiler i magasinerne som funktion af vandstand og gennemstrømning. Modeller af denne type er operationelle i dag, mens generelle simuleringsmodeller for vandkvaliteten i bred forstand nok kræver en vis videreudvikling, inden de er operationelle. Ligeledes må eksisterende modeller for beregning af elvetemperatur verificeres. Modeller for tilførsel af forurening fra urbane områder er operative mens udvikling af egentlige simuleringsmodeller for mere diffuse tilførsler i form af udvaskning fra landbrugsarealer, lækage fra ledningsnet m.v. byder på oplagte vanskeligheder. På grundlag af nærmere studier bør simple modeller dog kunne udvikles.

Som det fremgår af ovenstående oversigt består hovedelementerne i den præ-senterede modelstruktur af kendte modeller, mens visse af de mere specielle

modeller kræver videreudvikling, inden den egentlige sammenkobling af modellerne kan finde sted. Der ligger imidlertid også en betydelig opgave i udvælgelse af brugbare modeller og tilpasning samt sammenkobling af disse til et anvendeligt kompleks.

Modelvalg i Rakkestad-projektet

I dette projekt er følgende interessegrupper i Skiselvens opland betragtet: kraftproduktion ved Gjøby mølle, flomsikring langs magasinets (Ertevatnets) bredder, flomsikring nedstrøms for møllen samt markvandig nedstrøms. Af figur 1 fremgår det, at konsekvensanalyser for disse 4 grupper kan udføres alene ved vandstandsmodeller i tillæg til reguleringsmodellen. Endvidere var tilgangen til vandføringsdata for oplandet så sparsom, at det var nødvendigt at generere en syntetisk vandføringsserie med en hydrologisk model.

Eftersom SNSF-modellen var kalibreret på Rakkestadelvs opland (Lundquist, 1979), var det nærliggende at anvende de modelparametre som var fundet her til at generere en syntetisk tilløbsserie for oplandet til Ertevatnet (100 km²) i perioden 1957—77.

Reguleringsmodellen, som omfatter manøvrering af to luger i den ca. 5 meter høje dæmning, to turbiner (maksimal gennemstrømning på henholdsvis 650 og 1150 l/s) og frit overløb over dæmningskronen er udviklet specielt til dette formål. Manøvreringsstrategien er knyttet til daglige observationer af vandstanden i magasinet og der er taget hensyn til konsessionsbestemmelserne vedrørende vandstanden i sommer- og vinterhalvåret. Af konsessionsbestemmelserne fremgår det også, at magasinet skal tømmes til be-

stemte niveauer på fastsatte tidspunkter og en strategi for opnåelse af disse mål er ligeledes indbygget.

Vandstandsmodellerne er gjort så simple som muligt, idet magasin vandstanden blot beregnes som vandstanden i et prismatisk kar og den nedstrøm elvevandstand beregnes med Manning's formel i et idealiseret, karakteristisk tværsnit. Størrelserne af oversvømmede arealer opstrøms og nedstrøms for møllen beregnes i vandstandsmodellerne under antagelse af en simpel geometri for elve og søbredderne.

- Konsekvenserne for de fire brugerinteresser er kvantificeret på følgende måde: Værdien af den producerede kraftmængde er udregnet på basis af faldhøjden, virkningsgraden samt vandføringen gennem turbinerne og en konstant kWh-pris. Tabet for landbruget ved oversvømmelser af dyrket mark i vækstsæsonen er satt til en konstant pris pr. oversvømmet dekar. Oversvømmelser i vinterhalvåret medregnes ikke, og oversvømmelser af kortere varighed heller ikke. Hvis der ikke slippes vand fra magasinet i perioder uden naturlig tilstrømning, vil de markvandingsanlæg, som er etableret nedstrøms for møllen, ikke kunne benyttes og tabet ved manglende vanding af de ca. 1900 dekar, som ellers ville kunne vandes, er stipuleret til 1% af udbyttet pr. dag. Det har således været muligt at kvantificere alle brugerinteresser fuldt ud, selvom de gjorde forudsætninger altid vil kunne diskuteres.

Eksempler på resultater

En lang række forskellige alternativer er gennemregnet med modellerne, og kun enkelte mere generelle konklusioner skal omtales her. Imidlertid bør det pointeres, at drastiske reguleringer af den naturlige

vandføring ikke er mulige med de eksisterende installationer, idet magasinprocenten kun er ca. 2,5.

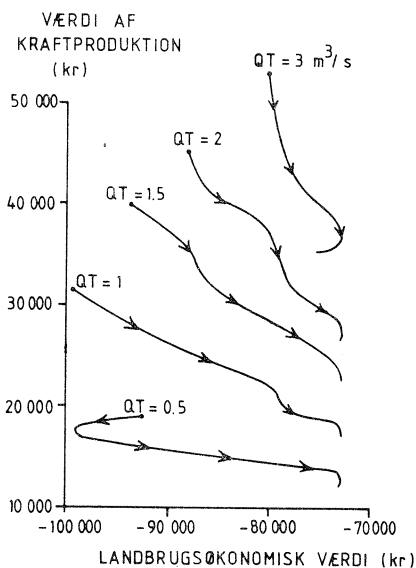
Der er analyseret tre forskellige alternativer for manøvreringsstrategien med modellerne, og de økonomiske konsekvenser er beregnet for hver brugerinteresse. Denne analyse er for simpelhedens skyld gennemført for 1975 alene, idet dette år er relativt typisk for hele 20-års tidsserien. De tre strategier er karakteriseret ved 1: lukkede luger altid (mest attraktivt for mølleejeren), 2: manøvrering efter manøvreringsreglementet og 3: fuld udnyttelse af turbinerne. I dag udnyttes kun ca. halvdelen af turbinernes kapacitet.

Sammenlignes konsekvenserne af de tre alternativer, findes at tabet for mølleejeren ved at følge manøvreringsreglementet kun er ca. 700 kr pr. år (3% af samlet kraftproduktion) mens gevinsten for landbruget er ca. 13.000 kr. årligt som følge af sjældnere oversvømmelser langs Ertevatnets bredder. Næsten samme gunstige resultat for den opstrøms flomsikring fås ved fuld udnyttelse af turbinernes kapacitet, og kraftproduktion kan øges med næsten 80% i forhold til dagens situation. De nedstrøms forhold er ikke særlig følsomme overfor ændrede manøvreringsstrategier pga. de dårlige reguleringsmuligheder.

For hele 20-års vandføringsserien er gennemført en generel systemanalyse med varierende størrelser for den maksimale turbinekapacitet og gennemstrømningen gennem lugerne. Heraf kan det bl.a. udledes, at en større gennemstrømning ved møllen generelt vil kunne forbedre udbyttet for landbruget med op til ca. 27.000 kr i gennemsnit pr. år som følge af bedre flomsikring og bedre muligheder for markvanding. Denne forbedring af forholdene for landbruget fås ved en for-

øgelse af den maksimale gennemstrømning ved møllen til 5—6 m³/s.

Der er desuden udarbejdet et såkaldt «trade-off» diagram, som kan bruges til afvejning af de landbrugsmæssige interesser (her set under ét) mod interessen



Figur 2. «Trade-off» diagram.

knyttet til kraftproduktionen. Dette diagram er vist på figur 2 og er fremkommet ved at gennemkøre 20—30 forskellige reguleringsalternativer med forskellige turbine- og lugestørrelser. Hver kurve repræsenterer en given turbinekapacitet (QT fra 0,5 til 3 m³/s) og langs hver kurve øges udslippet gennem lugerne (QL) i pilens retning fra 0 (konstant lukkede luger) og op til en samlet værdi af QL + QT på 6 m³/s. Hældningen af kurverne angiver da for en given turbinekapacitet forholdet mellem det marginale

tab for kraftproducenten og den marginale gevinst for landbruget ved en yderligere åbning af lugerne. For store turbiner ses denne hældning at være større end 1, og det marginale tab i el-produktion er således meget større end den marginale landbrugsmæssige gevinst. Ved

mindre turbiner gør det modsatte sig gældende og fordelene for landbruget ved at øge gennemstrømningen forbi turbinerne er i disse tilfælde mange gange større end de tilsvarende tab for kraftproducenten.

Tabel 1. *Driftsøkonomiske konsekvenser af 2 konstruktive alternativer.*

	Nuværende forhold	1 m højere dæmning	Uddybning af kanal
Værdi af kraft	27.180	28.870	27.800
Tab ved oversvømmelser			
- nedstrøms	51.930	48.550	51.930
- opstrøms	36.070	77.890	36.060
Tab ved manglende vanding	11.960	6.900	13.800
Samlet årlig værdi	- 72.780	-104.470	- 73.990

Der er tillige gennemført beregninger for to konstruktive ændringer ved det eksisterende magasin. Dels er de driftsøkonomiske konsekvenser af en forhøjelse af dæmningen med 1 meter beregnet og dels er det undersøgt, hvorledes en uddybning af tilløbskanalen påvirker de forskellige interesser ved elven. De årlige gennemsnitlige driftsøkonomiske konsekvenser er vist i tabel 1. Heraf ses det, at kraftproducenten kun kan vinde ubetydeligt ved øgede reguleringsmuligheder og hyppigheden og størrelsen af de nedstrøms oversvømmelser er heller ikke særlig følsom overfor de undersøgte alternativer. Derimod kan øget magasinvolum — en afhjælpe en stor del af de gener, som opstår som følge af manglende vand

til markvanding i tørre sommerperioder. Yderligere opdæmning medfører dog selv sagt en væsentlig forøgelse af de opstrøms oversvømmelser, så det samlede netto resultat bliver ringere end under de nuværende forhold. Det skal bemærkes, at der i beregningsgrundlaget ikke er taget hensyn til forrentning og afskrivning af de nødvendige investeringer ved konstruktive forandringer.

Sammendrag

— Det er ved gennemførelse af et projekt i Rakkestadelvs opland søgt illustreret, hvorledes hydrologiske og hydrauliske modeller kan anvendes ved gennemførelse af konsekvensanalyser til brug ved

vannbruksplanlegging. I det aktuelle opland var praktisk talt ingen vandføringsmålinger tilgjengelige; men på grundlag af en 20-års syntetisk vandføringsserie er gennemført konsekvensberegninger vedrørende kraftproduktion, flomsikring og markvanding langs elven.

— Ved brug af simple økonomiske betragtninger er det vist, hvorledes konsekvensanalyserne kan bruges til afvejning af modstridende interesser mod hverandre.

REFERENCER:

- Harboe, R. and Schultz, G. A.* (1981). Applications of Simulation to Specific Water Projects. *Journal of Hydrology*, 51 pp 131—138.
- Lundquist, D.* (1979). Simulering av en avløpsserie for Rakkestadelv. Norsk hydrologisk komité, rapport nr. 2, Oslo.
- McBean, E. A.* (1981). Issues in Simulation Model Design — A Case Study. *Journal of Hydrology*, 51 pp 205—218.
- Stang, O.* (1981). Metoder for vannbruksplanlegging. Beregning af reguleringskonsekvenser i Skiselv, Rakkestad kommune. NHL-rapport nr. 2 81009. VHL, Trondheim.