

Metoder for å måle vannføring i umålte felt

Av Thomas Skaugen og Elin Langsholt

Thomas Skaugen er forsker

Elin Langsholt er forsker

Begge er ansatt i Norges vassdrags- og energidirektorat

Innlegg på seminar i Vannforeningen 31. oktober 2006

Sammendrag

Forvaltning og utnyttelse av vannressursene stiller i dag høye krav til robusthet og pålitelighet når det gjelder metoder for beregning av vannføring i umålte felt. Temaet har internasjonalt fokus, og IAHS har tatt initiativet til et forskningssamarbeid (PUB) med formål å redusere usikkerheten i hydrologiske beregninger i avrenningsområder der observasjoner mangler. En rekke ulike metoder er i dag tilgjengelig, og artikkelen gir en gjennomgang av metodikk som er i operativ bruk ved Norges vassdrags- og energidirektorat. Det er en prioritert oppgave i NVE å forbedre metodikken rundt estimering av hydro-meteorologiske variable i umålte felt.

Innledning

Vannføringen er en viktig parameter for beregning av forurensningstransport til innsjø og kyst. Nasjonale og internasjonale retningslinjer for miljøovervåking stiller høye krav til pålitelighet og robusthet i beregningsmetodikk, og metoder for beregning av vannføring i umålte felt står i fokus i internasjonale forskning. International Association of Hydrological Sciences (IAHS) har tatt initiativet til det internasjonale forskningssamarbeidet Decade for Predictions in Ungauged Basins (PUB). Formålet med PUB er å redusere usikkerheten i hydrologiske prognoser og beregninger i avrenningsområder hvor observasjoner mangler. Man har mye lokal og regional kunnskap om

næringstilførsel, stofftransport og vannkvalitet i ulike vassdrag. For å omsette denne kunnskapen til totale estimater av forurensningstilførsel, kreves gode metoder for beregning av vannføring.

Hva brukes vannførings-estimerer til?

Som fagmøtet om tilførselsberegninger av forurensning til innsjø og kyst illustrerte, har forvaltning og utnyttelse av vannressurser medført et stort behov for estimering av hydrologiske prosesser i umålte avrenningsområder. Fagmøtet fokuserte på ulike problemstillinger rundt kvantifisering av miljøtilstanden i vassdrag. Erosjonsprosesser og sedimenttransport, næringstilførsel fra jordbruksarealer, overvann i urbane områder og utslipp fra annen virksomhet, har stor effekt for vannkvalitet og habitatforhold. Men også ulike fysiske inngrep har konsekvenser for miljøtilstanden i vassdrag. For eksempel har stigende energipriser og oppmerksomheten rundt mini- og mikrokraftverk ført til en storstilt utbygging av slike anlegg. Endring i vannføringsmønsteret over året som en følge av slike anlegg, ikke minst med hensyn på lavvannssituasjoner, kan ha store konsekvenser for lokale vassdragsbiotoper.

Ved dimensjonering av mindre anlegg i og rundt vassdrag, er det gjerne ikke påkrevd å skaffe til veie lange måleserier fra gjeldende vassdrag. Da må flommer og middelvannføringer estimeres ved hjelp av metoder som utnytter måleserier fra representative felt.

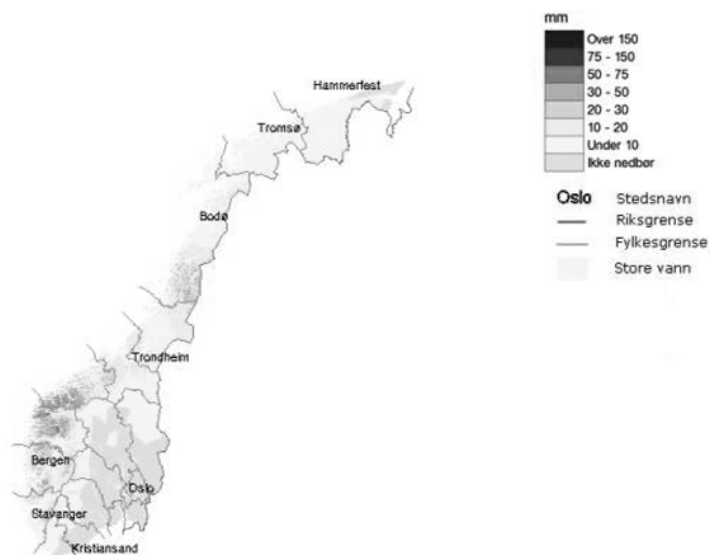
Behovet for storskala kartlegging og forvaltning av vannressurser har vært en av drivkreftene bak bruken av arealfordelte hydrologiske modeller. Selv i områder der observasjonsnett er godt utbygget, er det ofte behov for å bestemme vannbalansen på ulike skala i tid og rom, og studere endringer over tid av klimaet og andre naturlige eller menneskeskaptet rammebetingelser. Regionalt kalibrerte modeller, for beregning av arealfordelte vannbalanseestimerer, er et nyttig verktøy i slike studier.

Metoder for estimering i umålte felter

Interpolasjon

En klassisk metodikk for å overføre informasjon fra observerte områder (punkter) til umålte områder er interpolasjon. Generelt sett kan man si at man anvender en nærhet i rommet mellom observert punkt og det punkt man ønsker å predikere, noe som impliserer en ide om romlig korrelasjon. Flere metoder er i bruk, som Thiessen polygoner, invers avstandsvektning, aritmetisk middel og kriging (se Dingman, 1993, Davies, 1973). De tre første metodene er velprøvde og fungerer rimelig godt, men det er sistnevnte metode som faktisk kvantifiserer en korrelasjonsstruktur og anvender denne til å estimere verdien i det punkt man ønsker å predikere. Meteorologisk Institutt og NVE anvender forskjellige interpolasjonsmetoder for å lage griddet utgave av hhv nedbør (enkel avstandsvektning med høydejustering), temperatur (kriging) og prognoser for avløp (kriging).

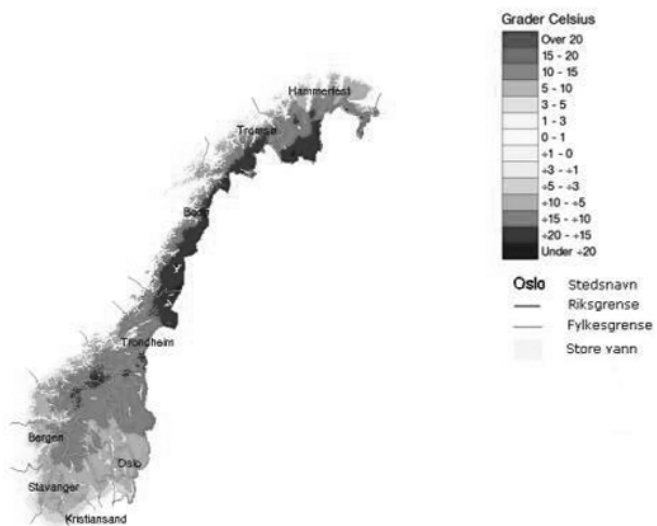
Nedbør siste døgn (04.02.2007)



Temalag fra met.no

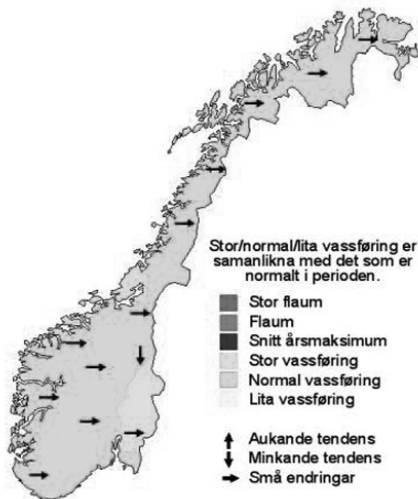
www.seNorge.no

Middeltemperatur for døgnet (07.02.2007)



Temalag fra met.no

www.seNorge.no

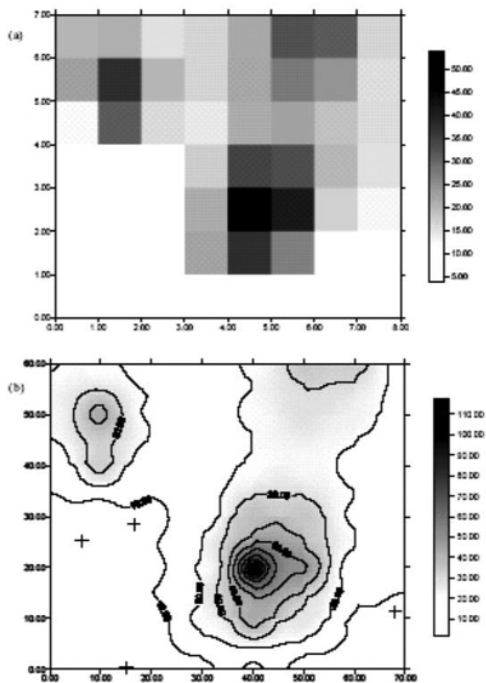


Figur 1a til c. Interpolerte kart for temperatur, nedbør og prognose for vannføring. Kartene finnes på www.senorge.no (nedbør og temperatur) og www.nve.no (prognose for vannføring)

Skala

Skala i tid og rom er avgjørende for valg av metode når man skal overføre informasjon fra målte felt og punkter til umålte. Man kan for eksempel ikke interpolerer mellom to vannføringsstasjoner som måler vannføring fra felter av forskjellig størrelse. På grunn av forskjellen i areal vil variabiliteten til de to dataseriene være forskjellig og de vil ikke variere med samme amplitude for samme regionale hendelse. I klimaforskningssammenheng er nedskalering et viktig forskningsområde. Globale klimamodeller angir meteorologiske variable på skala 500 x 500 km², mens vi som hydrologer og effektforskere av klimaendringer er interessert i meteorologisk informasjon på ned-

børsfeltsskala og mindre. Nedbørs-scenarier fra slike globale klimamodeller har en tendens til å gi nedbør altfor ofte og produsere altfor "glatte" felt, d.v.s. at nedbøren varierer for lite i rommet. Ved nedskalering av nedbør må vi altså modellere en annen variabilitet i rommet samt å beregne områder det ikke vil regne i. Figuren under tjener som et eksempel på hvordan en nedskalering av nedbør kan foregå.

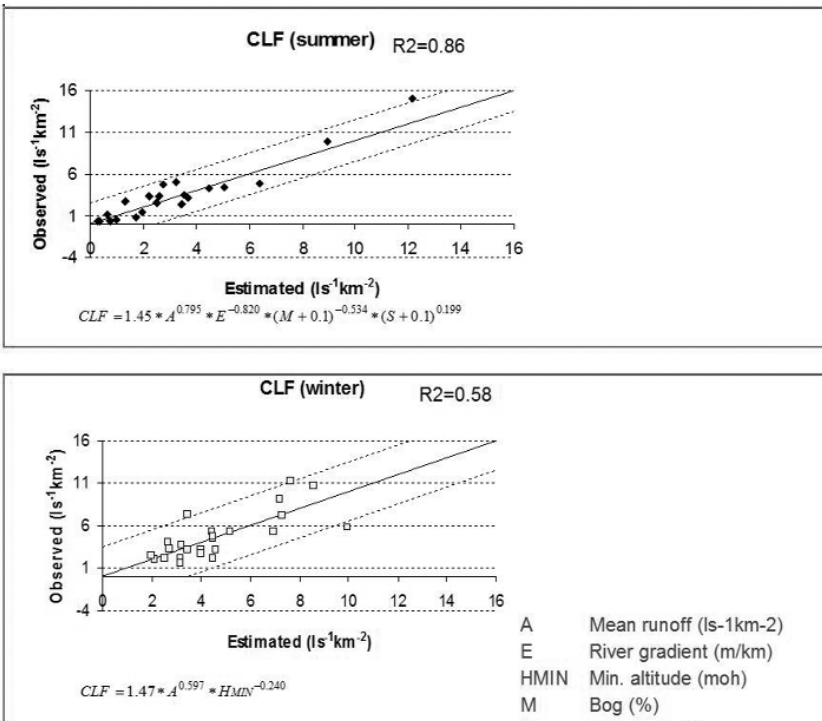


Figur 2. Øverste bilde viser nedbørsprognose over et areal produsert av en atmosfæremodell (HIRLAM). Nederste bilde viser et eksempel på nedskalering. Merk hvordan maksimumsverdiene for nederste bilde (se på skala til høyre) har økt i forhold øverste bilde. (Skaugen, 2002)

Regionale analyser

Vi kan tenke oss at vi kan beskrive variasjonen til et hydrologisk fenomen ut ifra en betraktning om gjennomsnittsklima og egenskaper ved nedbørsfeltet. Slike metoder er anvendt både for å beregne dimensjonerende flommer og minstevannføringer i umålte felt. Prosedyren er som regel at det blir utviklet et regresjonsuttrykk hvor den avhengige variabelen (flom/minstevannføring) vil være en funksjon av et gjennomsnittlig klimapådriv (gjerne representert ved midlere årlig avrenning) og forskjellige feltkarakteristika som elvegradient, innsjøprosent, andel myr

etc. Slike uttrykk anvendes operasjonelt i NVE for å estimere flom/lavvann, men de lider typisk under at vi ikke er i stand til å knytte en fysisk mening til regresjonsparametrene og vi har som regel for lite data til å få en god beskrivelse av den uavhengige variabelen. Figuren under viser en undersøkelse gjort for å estimere lavvann for umålte felt. Vi ser på figuren hvor godt regresjonsuttrykket beskriver målte lavvannsverdier av den såkalte alminnelige lavvannføring (CLF) for henholdsvis sommer (god beskrivelse) og vinter (dårlig beskrivelse), og hvilke feltkarakteristika som inngår i regresjonsuttrykket.



Figur 3. Regresjonsanalyse for alminnelig lavvannføring (CLF). CLF settes som en funksjon av klimatisk pådriv (midlere årlig avrenning) og feltkarakteristika (Væringstad et al, 2004).

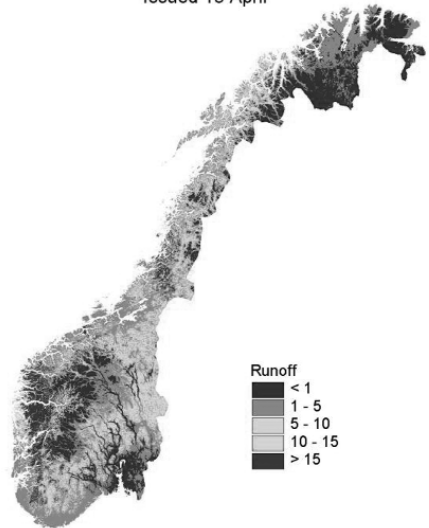
Hydrologisk modellering

En metode for å estimere vannføring i umålte felter er selvsagt å anvende en hydrologisk modell. En hydrologisk modell for et felt hvor vi har målinger har parametere som er i kalibrert (justert) slik at modellert vannføring i størst mulig grad er lik observert vannføring. Dette er normalt en vanskelig øvelse og det blir enda vanskeligere hvis vi ikke har observerte vannføringsdata slik at vi kan få verifisert at modellen vår simulerer vannføring som faktisk ligner på den virkelige. I NVE er det gjort et stort arbeid hvor parametrene i den hydrologiske modellen som anvendes i flomvarslingen (HBV-modellen), er kalibrert regionalt og avhengig av hvilke landskapsklasser vi finner i det umålte felt. Dette modellverktøyet brukes for å angi årlig midlere vannføring for gridceller på $1 \times 1 \text{ km}^2$ over hele landet. Imidlertid er det forbundet stor usikkerhet med å estimere daglige vannføringsverdier for enkeltfelter hvor vi ikke har målinger, og modellen anvendes ikke i dag operativt i for å angi dimensjonerende ekstremverdier (flom/lavvann). Figurene under viser eksempler for estimering av avrenning (mm/døgn) og snøens vannekvivalent (mm) for gridceller for hele Norge.

Fjernmålt informasjon

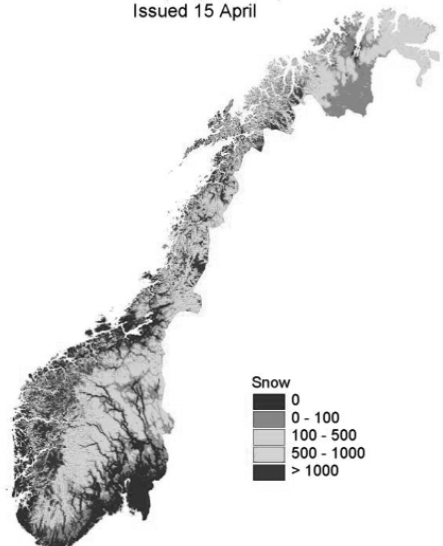
Flere og flere meteorologiske elementer blir tilgjengelig i grid form med oppløsning $1 \times 1 \text{ km}^2$. Videre har regnekraft og nye modellformuleringer gitt oss fordelte hydrologiske modeller, dvs at de hydrologiske elementene beregnes for landskaps-

Runoff forecast (mm/day) 16-21 April 2004
Issued 15 April



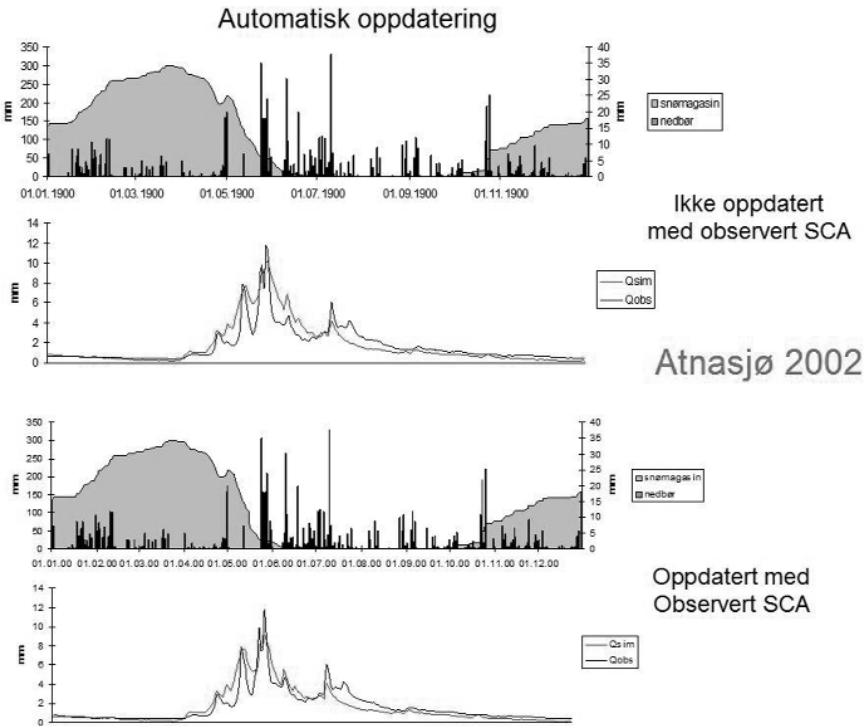
Figur 4a og b. Resultater fra griddet HBV modell (GWBmodellen). Modellen er verifisert mot enkeltfelt hvor NVE har målinger og snøobservasjoner og brukes i dag som grunnlag for avrenningskartet (se www.nve.no), (Beldring et al., 2003).

SWE forecast (mm) 16-21 April 2004
Issued 15 April



elementer eller for grid eller raster. Fjernmåling (satellitt, radar, fly) gir oss muligheter for å observere forskjellige meteo-hydrologiske variable over et areal, og betinge den hydrologiske simuleringen på denne informasjonen. Anvendelse av fjernmålt informasjon på denne måten gjør at vi kan estimere vannføring med regionalt kalibrerte modeller (se forrige avsnitt) for områder som er utilgjengelig for tradisjonell observasjon. Med fjernmålt informasjon kan vi nå også verifisere at den hydrologiske modellen kan simulere andre hydro-

logiske elementer enn vannføring. Det gjenstår imidlertid arbeid som gjør at fjernmålte data direkte kan tas inn i de hydrologiske modellene. NVE har imidlertid arbeidet med å få brukt dekningsgrad av snø (SCA) målt med satellitt til å oppdatere mengden snø som beregnes i modellene (Alfnes et al, 2005). Figurene under viser simulering av vannføring med og uten oppdatering av snømagasinet med satellittobservert dekningsgrad, og metodikken gir, for enkelte episoder, gode resultater.

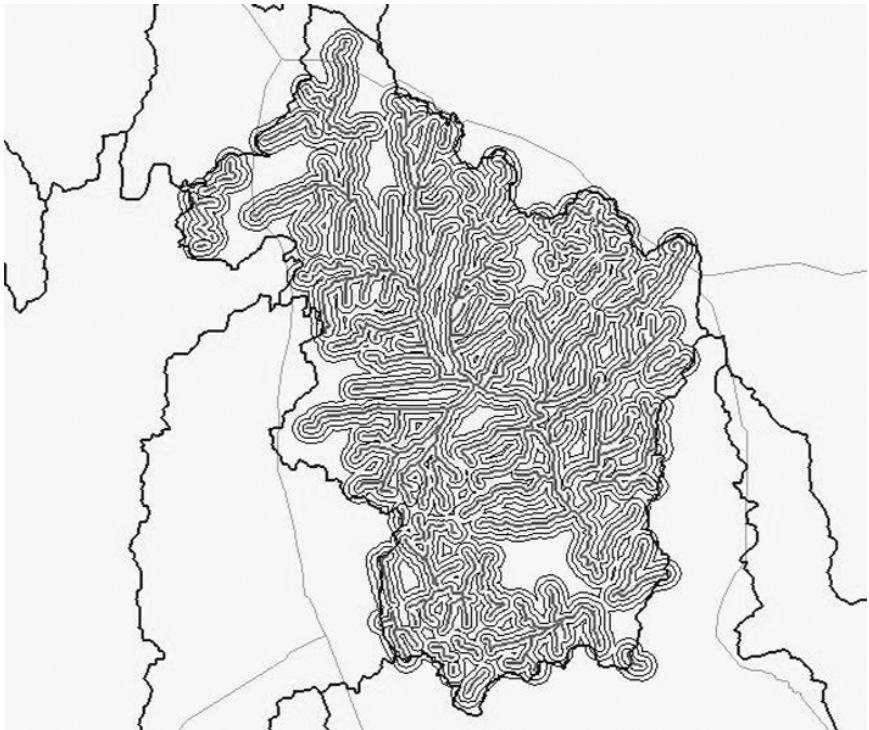


Figur 5. Simulering av vannføring for feltet Atnasjø 2002 med (nederst) og uten (øverst) oppdatering av snømagasinet ved hjelp av satellitt observert snødekningsgrad. Eksempel viser en klar forbedring av simulert vannføring med oppdatering (nederste figur)

Nye modellkonsepter

Tilgjengeliggjøringen av kartinformasjon på digital form gjør at man har anledning til å foreta analyser og kombinasjoner direkte på kartelementene, og derved søke nye data som kan karakterisere nedbørfeltet. Hos NVE forskes det på hvordan elvenettverket (dreneringstetthet) og nedbørfeltets form er med å bestemme avløpsdynamikken til et nedbørfelt, kvantifisert ved resejionskurven. Dette vil resultere i modeller som har mye færre parametere som må be-

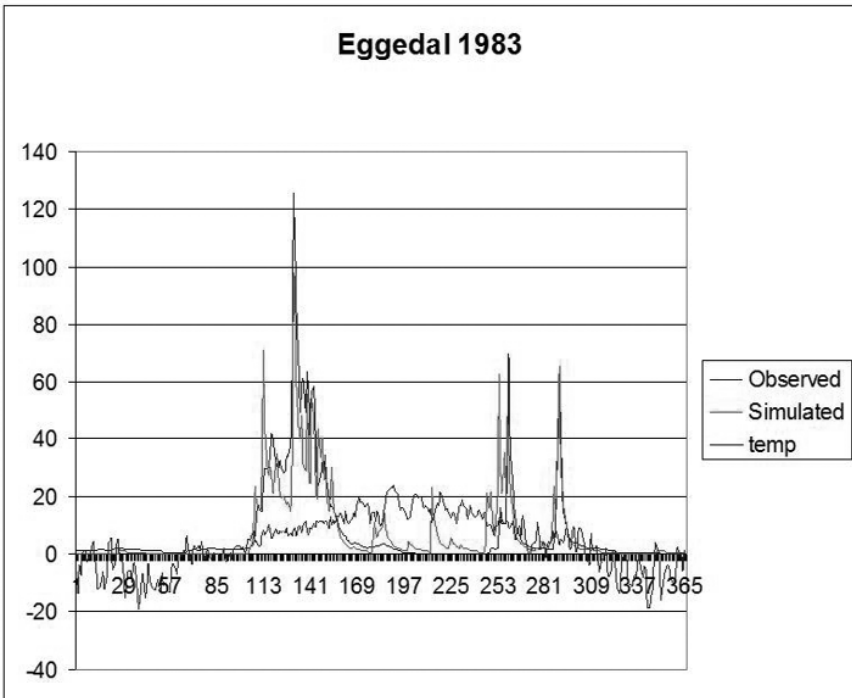
stemmes ved kalibrering mot målte data. Målet er å lage hydrologiske modeller som kan kalibreres ut i fra kartdata og mer overordnede klimatisk informasjon. Ved å anvende et GIS (Geografisk Informasjonssystem) kan man bestemme hvor stor del av nedbørfeltets areal som dreneres til elven innen et visst tidsrom. Denne øvelsen gjøres også for det neste tidsskritt, og det fremkommer at arealet for neste tidsskritt er mindre enn det første. Man får da en relasjon for hvordan reduksjonen i vannføring kan foregå i



Figur 6. Figuren viser nedbørfeltet Eggedal. Elvenettverket (i rødt) for feltet er påført buffersoner som angir hvor stort areal som dreneres pr. tidsskritt. Forholdet mellom arealet av buffere ved siden av hverandre er proporsjonalt med vannføringsreduksjonen for de to tidsskritt.

resesjonsdelen av hydrogrammet. Denne relasjonen kan man så bruke for å bestemme parametere i uttrykk som beskriver resesjonen godt (Dupuit-Boussinesq relasjonen for tapping av en grunnvannsforekomst), men som er vanskelig å bestemme ut i fra tradisjonelle data (vannføring). Figuren under viser oss hvordan vi kan beregne deltakende areal pr.

tidsskritt, og det antas at forholdet mellom arealene for de første tidsskritt også beskriver forholdet mellom vannføringene i de første tidsskritt. Siste figur viser en vannføringsmodell (bygd rundt HBV-modellen) hvor resesjonsdelen beskrevet over er bygd inn. Dette prosjektet er fremdeles på utviklingsstadiet men virker lovende.



Figur 7. Simulering av vannføring for feltet Eggedal med modell hvor vannføringsdynamikken er modellert uti fra kartelementer og gjennomsnittlig klimapådriv (midlere årlig avrenning). Modellen er fremdeles i utviklingsfasen.

Konklusjoner

Arbeidet med å prognosere vannføring (og også andre hydrologiske variable) i umålte felt foregår nasjonalt og internasjonalt på bred front. Her i artikkelen har vi beskrevet metoder for hvordan forskjellige hydro-meteorologiske variable kan estimeres for områder uten direkte bakkemålinger. Det er en prioritert oppgave hos NVE å få fremgang i dette arbeidet, da estimering av vannføring for umålte felt er sentralt for flomvarsling, tilsigs og energi prediksjon og for dimensjonering av installasjoner i vassdragene.

Referanser

Alfnes, E. Langsholt, E., Skaugen, T. and Udnæs, H.C., 2005. Updating snow reservoir in hydrological models from satellite-observed snow covered areas. Oppdragsrapport A, Norges vassdrags- og energidirektorat, NVE, 4, 2005.

Belding, S., Engeland, K., Roald, L. A., Sælthun, N.R. and Voksø, A. 2003. Estimation of parameters in a distributed precipitation –runoff model for Norway. *Hydrology and Earth System Sciences*.

Davies, J. C., 1986. Statistics and Data Analysis in Geology. John Wiley & Sons, New York.

Dingman, S. L., 1993. Physical Hydrology. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

Skaugen, T. 2002. A spatial disaggregation procedure for precipitation. *Hydrological Sciences Journal*, 47, 943-956.

Væringstad, T., Hisdal, H. og Drageset, T. A., 2004. Estimation of Low Flow Indices at Ungauged Sites, Case Study From Norway. In: NHP-Rep. No. 48 (Ed. A. Järvet), Tartu, Estland, s. 61-70