

Elv og grunnvann

Sluttrapport - Oppsummering og anbefalinger

Rapport nr. 8 - 2005

Elv og grunnvann

Sluttrapport - oppsummering og anbefalinger

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Forfattere: Hervé Colleuille, Panagiotis Dimakis og Wai Kwok Wong,
Norges vassdrags- og energidirektorat

Trykk: NVEs hustrykkeri

Forsidefoto: Forsidene fra rapporter "Elv og grunnvann" publisert i NVEs serie Miljøbasert vannføring

ISSN: 1502-234X

ISBN: 82-410-0573-3

Sammendrag: Vi setter i dette prosjektet fokus på forståelse av de fysiske forholdene som styrer interaksjon mellom grunnvann og elvevann. Denne sluttrapporten binder sammen generell kunnskap, erfaringer og resultater fra de ulike deler av prosjektet. Det er også presentert anbefalinger for forvaltningen ved fastsettelse av minstevannføring og andre tiltak som berører samspillet mellom grunnvann og elvevann.

Emneord: Grunnvann, akvifer, modellering, basisstrømning, minstevannføring, redusert vannføring, vanntemperatur, brønn, vannuttak, regulering, konsesjonsbehandling.

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthuns gate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no

Desember 2005

Innhold

<i>Forord</i>	7
<i>Sammendrag</i>	9
<i>Forfatternes takk</i>	10
<i>Sammenstilling av resultater</i>	11
1. Målsetning med prosjektet	11
2. Tilfellestudier, samarbeid og publisering	13
3. Egnede metoder ved analyse av interaksjon grunnvann/elvevann 15	
3.1. Grunnleggende undersøkelser	15
3.2. Grunnvannsmodellering	19
3.3. Grunnvannsbidrag ved hydrogramseparering	21
4. Naturlige hydrogeologiske prosesser	23
5. Virkninger av vassdragstiltak og regulering	31
<i>Konklusjoner</i>	36
<i>Anbefalinger</i>	39
<i>Referanser</i>	40

Forord

FoU-programmet Miljøbasert vannføring har som mål å forbedre kunnskapsgrunnlaget for å kunne fastsette vannføring etter inngrep som reduserer den naturlige vannføringen. En av problemstillingene er å avklare betydningen av samspillet mellom grunnvann og ellevann for økosystemet.

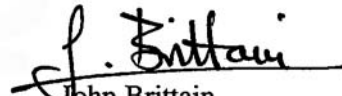
I den første delen av prosjektet ble det valgt å analysere to ulike typer vassdrag: et stort vassdrag med stor sedimentering på Østlandet (Glomma), og et lite regulert vassdrag på Vestlandet (Osa). Resultatene av disse undersøkelser er publisert i en rapportserie som består av fire rapporter (Colleuille et al., 2004a, b, c; Misund et al., 2005). Dette arbeidet har gitt oss en betydelig bedre forståelse av de fysiske prosessene som styrer interaksjon mellom grunnvann og ellevann.

I den andre delen av prosjektet er det utviklet en enkel metode for å kvantifisere andel grunnvann i det totale avløpet ut fra vannføringsmålinger (Wong og Colleuille, 2005).

Denne rapporten binder sammen generell kunnskap og erfaringer fra disse ulike deler av prosjektet.

Oslo, desember 2005


Haavard Østhagen
leder styringsgruppe


John Brittain
programleder

Sammendrag

FoU-programmet Miljøbasert vannføring har som mål å forbedre kunnskapsgrunnlaget for å kunne fastsette vannføring etter inngrep som reduserer den naturlige vannføringen. Mesteparten av vannet i norske elver stammer fra grunnvann, noe som er vesentlig for vannkvalitet, vanntemperatur og ferskvannsorganismer. En av problemstillingene er å avklare betydningen av samspillet mellom grunnvann og ellevann for økosystemet. Vi setter i dette prosjektet derfor fokus på forståelse av de fysiske forholdene som styrer interaksjon mellom grunnvann og ellevann.

Hovedformålet med prosjektet er å utvikle analyseverktøy for å kunne kvantifisere og forutsi effekt av redusert vannføring på grunnvann og samtidig effekt av grunnvannsuttak på vannføring. Prosjektet har derfor en dobbel og direkte interesse for forvaltningen: ved konsesjonsbehandling av grunnvannsuttak og vassdragsregulering, inkludert fastsettelse av redusert vannføring.

Det er i prosjektet valgt å analysere interaksjon mellom grunnvann og ellevann i to ulike typer vassdrag: et stort vassdrag med stor sedimentering på Østlandet (Glomma) og et lite regulert vassdrag på Vestlandet (Osa). Det er også valgt å utvikle en metode for å kvantifisere grunnvannsbidrag i et vassdrag (Basisstrømning). Totalt er det publisert 6 rapporter "Elv og grunnvann" i NVEs serie Miljøbasert vannføring.

Denne sluttrapporten binder sammen generell kunnskap, erfaringer og resultater fra de ulike deler av prosjektet. Det er også presentert anbefalinger for forvaltningen ved fastsettelse av minstevannføring og andre tiltak som berører samspillet mellom grunnvann og ellevann.

Forfatternes takk

Denne sluttrapporten er utarbeidet av senioringeniør Hervé Colleuille, i samarbeid med senioringeniør Panagiotis Dimakis og forsker Wai Kwok Wong, alle NVE. Sissel Tvedten (NVE) har gjennomlest rapporten og kommet med konstruktive innspill. Vi vil benytte denne anledningen til å takke for hennes bidrag.

Tor Simon Pedersen (NVE) har vært involvert i første fasen av dette prosjektet; Bjørn Frengstad (Norges geologiske undersøkelse, NGU) har bidratt med analyser av hydrokjemiske forhold på Rena, Arve Misund (COWI AS) har vært ansvarlig sammen med Oddmund Soldal (COWI AS) for grunnvannsanalyser fra Osa. Vi vil takke alle for deres viktige bidrag i dette prosjektet.

I tillegg til forfatterne av rapportene "Elv og grunnvann", har flere personer bidratt i dette prosjektet med innspill, feltanalyser og faglige diskusjoner. Samtlige fortjener en stor takk.

Sammenstilling av resultater

Den foreliggende fagrapporten representerer avslutningsrapporten for delprosjektet "grunnvann" i FoU-programmet Miljøbasert vannføring. Rapporten er en av seks fagrapporter som til sammen dekker temaet interaksjon mellom grunnvann og ellevann. I denne rapporten samler vi erfaringer og resultater oppnådd i de ulike delene av prosjektet. Dette er grunnlaget for å utarbeide anbefalinger for forvaltningen ved fastsettelse av minstevannføring og andre tiltak som berører samspillet mellom grunnvann og ellevann.

Alle resultater har tidligere vært publisert, og formålet med denne rapporten er å gi en kortfattet rapport som sammenfatter kunnskap hentet fra de ulike delene av prosjektet.

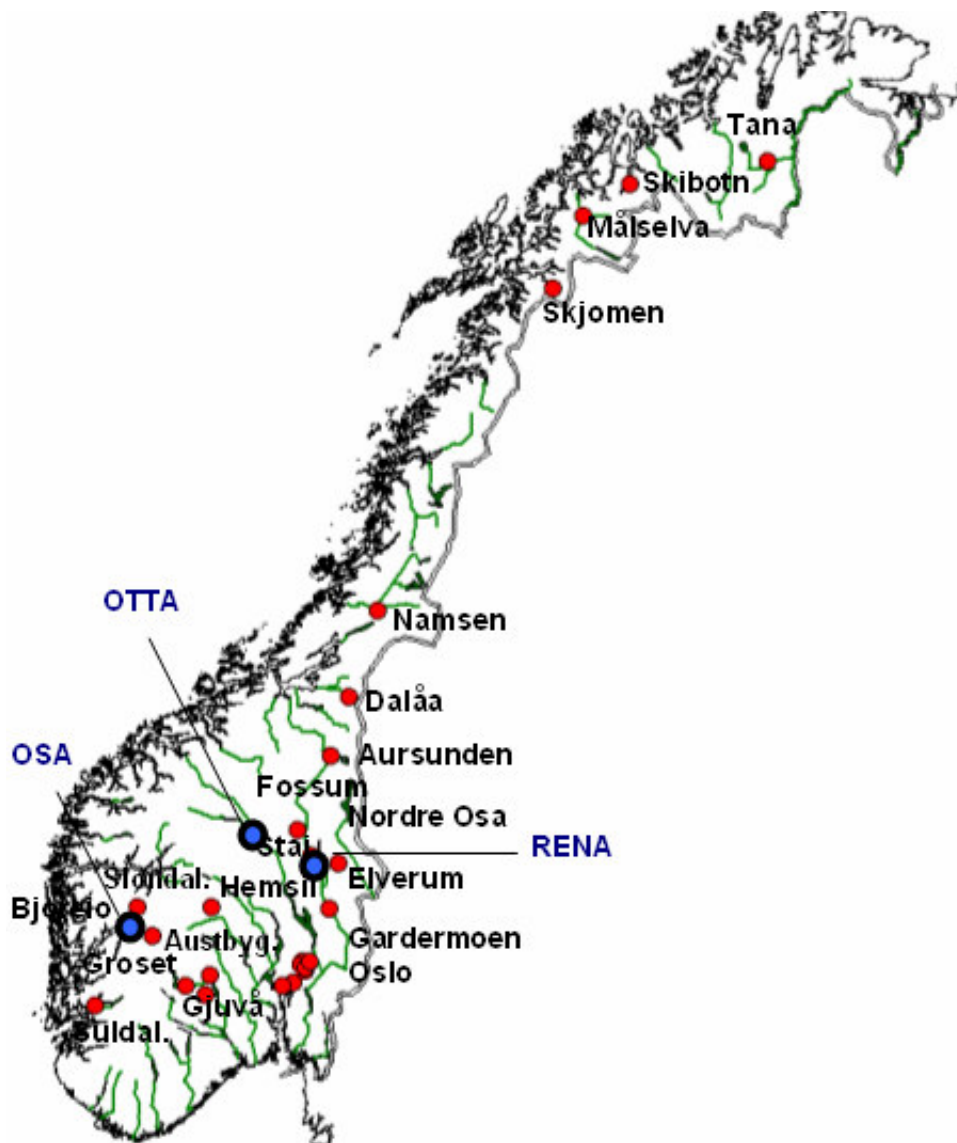
Det er valgt å illustrere rapporten med en serie figurer som er ment å gi en kortfattet og god oversikt over metodene og resultatene. Dette er gjort for å gi rapporten et mer populærvitenskapelig tilsnitt.

1. Målsetning med prosjektet

Den generelle målsetningen med prosjektet er å øke kunnskapen om interaksjon mellom grunnvann og ellevann. Hovedformålet er å få en bedre forståelse av de fysiske prosessene som styrer denne interaksjonen. Formålet er også å utvikle metoder som skal forbedre det faglige grunnlaget ved konsesjonsbehandling av grunnvannsuttak og vassdragsregulering, inkludert fastsettelse av minstevannføring.

Prosjektet kan deles i tre hovedfaser:

1. Prosessforståelse og utvikling av analyseverktøy for å kunne kvantifisere og forutsi effekt av redusert vannføring på grunnvann, og samtidig effekt av grunnvannsuttak på vannføring og vannkvalitet.
2. Utvikling av en metode for å kvantifisere andel grunnvann i det totale avløpet ut fra daglige vannføringsobservasjoner.
3. Sammenstille erfaringer og generell kunnskap som vi har fått gjennom de to første fasene og foreslå anbefalinger mht. fastsettelse av redusert vannføring.



Figur 1. Beliggenhet av de tre tilfellestudiene hvor samspillet mellom grunnvann og ellevann er analysert med modellverktøy: Rena i Hedmark (Colleuille et al., 2004), Osa i Hordaland (Misund et al., 2005), og Otta i Oppland (Colleuille, 2005). De røde punktene viser beliggenheten til utvalgte målestasjoner hvor grunnvannsbidraget er estimert ved hydrogramseparering (Wong og Colleuille, 2005).

2. Tilfellestudier, samarbeid og publisering

Grunnvannsstudier krever normalt innsamling av betydelige mengder data. I dette prosjektet var det derfor viktig å velge lokaliteter hvor det allerede foreligger gode bakgrunnsdata som prosjektet kunne dra nytte av. I den første delen av prosjektet er det valgt å analysere et stort vassdrag på Østlandet: Glomma, ved Rena i Hedmark (Colleuille et al., 2004a, b, c) og et typisk vestlandsdalføre: Osa, Hordaland (Misund et al., 2005).

I den første delen av dette prosjektet har Norges geologiske undersøkelse (NGU) v/ B. Frengstad bidratt med beskrivelse av de hydrokjemiske forholdene på Rena. Institutt for energiteknikk (IFE) v/ D. Eriksen, K. Iden og C. Qvenild har i samarbeid med NVE utført sporstoff-forsøk på Rena. Laboratorium for ferskvannøkologi (LFI), Universitet i Oslo v/ Å. Brabrand og T. Bremnes har gjennomført innsamling av bunndyr i Rena. Arbeidet på Osa ble utført i samarbeid med COWI AS (tidligere Interconsult ASA) v/ A. Misund og O. Soldal, som tidligere har utført flere hydrogeologiske undersøkelser i det aktuelle området.

I den andre delen av prosjektet har vi prøvd å velge representative vassdrag for hele Norge. De fleste vannføringsstasjonene som er valgt ut er stasjoner lokalisert i felt som inngår i andre delprosjekter av FoU-programmet "Miljøbasert vannføring" eller i andre NVE FoU-prosjekter. Nærmere beskrivelse av de utvalgte stasjonene er gitt i Wong og Colleuille (2005). Lokalisering til alle målestasjoner og de to tilfellestudiene er presentert i figur 1.

For å utarbeide denne sluttrapporten bruker vi også resultatene fra to andre prosjekter som er publisert i 2005. Det første er utført etter en forespørsel fra NVEs regionkontor Øst og består bl.a. i å utvikle en grunnvannsmoell for å analysere virkningen av ulike tiltak som har som mål å forbedre beskyttelse av Otta sentrum mot over-svømmelser (Colleuille, 2005). Det andre er knyttet til implementering av EUs vann-direktiv i Norge, og gjelder vurdering av virkningen av forurensning i grunnvannsmagasiner langs vassdrag (Dimakis et al., 2005).

Konklusjonene i denne rapporten er også basert på tidligere NVE-undersøkelser mht. vassdragsregulerings innvirkning på grunnvannet (NHK, 1984; Bryn et al., 1989), og nylige internasjonale publikasjoner om samspill mellom grunnvann og overflatevann (Newson, 1998; Winter et al., 1998; Jones og Mulholland, 2000; Sophocleous, 2002; Chen og Shu, 2002; Hancock, 2002; Hancock et al., 2005; Woessner, 2005).



Figur 2. Publiserte rapporter i NVEs serie Miljøbasert vannføring utarbeidet gjennom dette prosjektet, samt to andre rapporter som er direkte tilknyttet analyseverktøy og prosedyrer utviklet i prosjektet (Dimakis et al., 2005; Colleuille, 2005).

3. Egnede metoder ved analyse av interaksjon grunnvann/elvevann

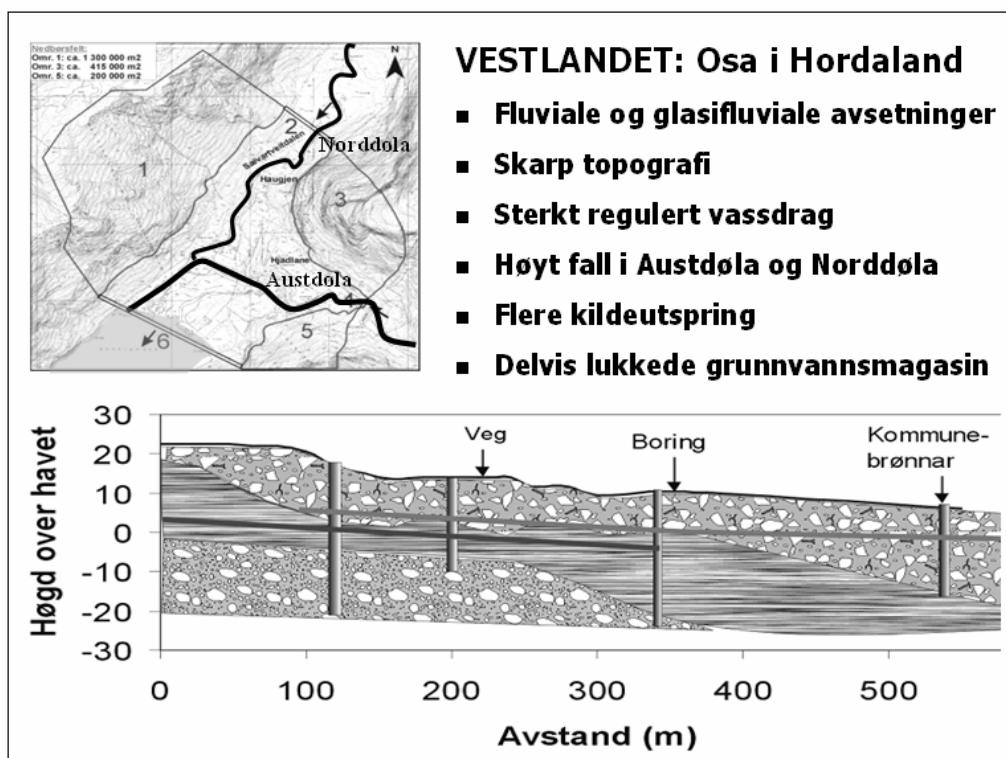
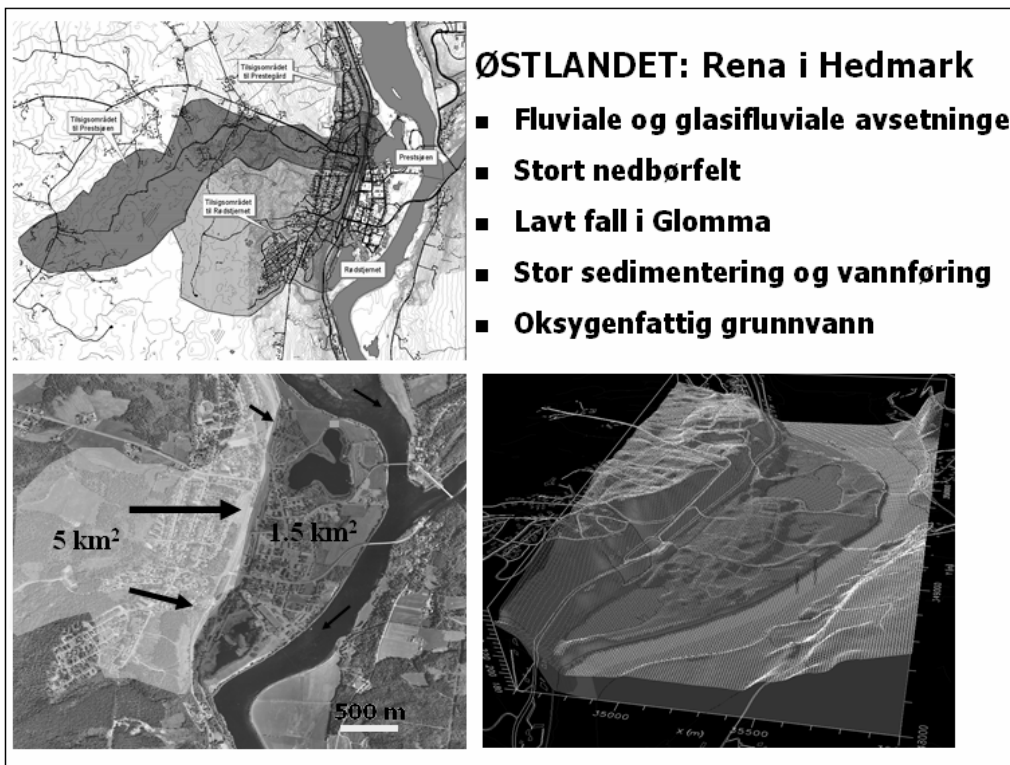
Anskaffelse av bakgrunnsmaterialer, systematisering av denne informasjonen og tilrettelegging for et riktig format utgjør en betydelig del av tidsforbruket ved analyse tilknyttet grunnvannsressurser. Feltarbeid, tolkning og bearbeiding av felldata er tids- og ressurskrevende. Vi har derfor i den første delen av dette prosjektet gitt en beskrivelse av prosedyrer for datainnsamling, prosessering og rapportering (Colleuille et al., 2004). Dette prosjektet har gitt oss grunnlag for å evaluere hvilke metoder som er best egnet, og hva som minimum trenges av data for å kunne utføre konsekvensanalyser av grunnvannsuttak eller av redusert vannføring.

3.1. Grunnleggende undersøkelser

Det er ikke mulig å beskrive og forstå hydrogeologi uten å kjenne deler av landskapets dannelseshistorie. Kjennskap til kvartær historie er også nødvendig for å få fullt utbytte av geofysiske målinger som georadarundersøkelser. Bunnsedimentenes sammensetning (tykkelse og permeabilitet) og gradienten (forskjell mellom vannstand) mellom grunnvann og elvevann kontrollerer vannutvekslingen mellom grunnvannsmagasinet og elvevannet.

Grunnundersøkelser

Prosedyrer for geofysiske undersøkelser, sonderboringer, pumpe tester, samt naturlige og kunstige sporstoff-forsøk er beskrevet i Colleuille et al. (2004a). Disse metodene anvendes for å karakterisere grunnvannsmagasinet utbredelse, struktur og egenskaper, samt å klarlegge strømningsveier, vannets oppholdstid og kommunikasjon med overflatevann. Georadar har vist seg å være et nyttig verktøy for å utføre dybdeprofilering i elvene, for å bestemme struktur og tykkelse til fluviale sedimenter i elvesletta og til bunnsedimenter i elvene. Dette er nødvendige data for å kunne analysere interaksjon grunnvann/elvevann med modellverktøy. Resultatene fra boringer og pumpeforsøk gir et viktig grunnlag for å vurdere magasinets kapasitet og sårbarhet, samt å klarlegge samspillet med elvevann.



Figur 3. Karakteristikkene til de to hovedtilfellestudiene analysert i dette arbeidet. Øverst: Rena (Colleuille et al., 2000a, b, c), nederst: Osa (Misund et al., 2005).

Analyse av vannstandsvariasjoner

Det er gradienten mellom grunnvannet og overflatevannet som hovedsakelig styrer vannutvekslingen. Når grunnvannsstanden er høyere enn elvevannstanden, strømmer grunnvannet mot elven. Når elvevannstanden er høyere enn grunnvannsstanden, infiltrerer elvevannet grunnvannsmagasinet. På stedene hvor fallet i elva er veldig lite som det var tilfellet på Rena (Østlandet), er det krevende å registrere nivåforskjellen mellom grunnvann og elvevann på elvesletter. Usikkerheten med nivelleringen av observasjonsbrønner, samt raske endringer i elvevannstand (større enn 10 cm/time), gjør at det er vanskelig å analysere strømningsforholdene og bedømme utvekslingsretninger kun ut fra målinger i felt (Colleuille et al., 2004b).

Faseforskyvning mellom vannstand i elva og grunnvann indikerer hvor lang tid det tar for at trykkforholdet forplanter seg inn i grunnvannsmagasinet ved vannstandendring i elva. Tidsforsinkelsen mellom maksima/minima vannstand samt trykkforskjellen i elva og grunnvannet er en funksjon av egenskapene til de aktuelle sedimentene (henholdsvis porøsitet og hydraulisk konduktivitet). Kort faseforskyvning og relativt lavt demping av vannstandsvariasjoner indikerer at avsetningen består av grove materialer med høy permeabilitet. Det er egentlig egenskapene til bunnsedimentene (permeabilitet, porøsitet og mektighet) som kontrollerer mesteparten av faseforskyvningen.

Variasjoner i elvevannstand forårsaker samsvarende variasjoner i grunnvannsstand som kan analyseres kvantitativt ved regresjonsanalyser. Ut fra tilstrekkelig kjennskap til sammenhengen mellom elve- og grunnvannsstand, kan man forutsi grunnvannsforholdene etter reguleringen. Den tilnærmingen har vært anvendt i Norge for å belyse reguleringens innvirkning på grunnvannsstanden, og som en del av nødvendig informasjon ved konsesjonsbehandling av en utbyggingssøknad (NHK, 1984; Bryn et al., 1986). Dette var også grunnlagsanalyser for å vurdere erstatningsutbetaling til bønder for avlingstap. Det har vært praksis i NVE å pålegge tiltakshaver, i områder med potensiell skadeeffekt av regulering, målinger av grunnvannsnivå langs et tverrsnitt loddrett til elva og vannstand, i 5 år før og etter reguleringer. Formlene som utarbeides ut fra regresjonsanalyser er gyldige kun for de enkelte observasjonsbrønnene, og for en viss periode med relativt stabilt vannregime (vinter og sommer). Regresjons- og interpolasjonsanalyser av vannstandsmålinger alene er lite egnet til å karakterisere interaksjonen mellom elvevann og grunnvann kvantitativt. Analyse av strømningsforholdene med denne type tilnærming krever dessuten, for å oppnå tilfredsstillende kvalitet, automatiske registreringer av grunnvannsstand i mange observasjonsrør i hele grunnvannsmagasinet. Denne typen tilnærming er derfor for tidkrevende og kostbar, og gir dessuten svært begrenset informasjon om utvekslingsprosessene mellom elvevann og grunnvann.

Bruk av miljøindikatorer

Bruk av miljøindikatorer som vanntemperatur og elektrisk ledningsevne har vist seg å være nyttig for å øke forståelsen for vannutveksling mellom grunnvannsmagasinet og elvevann (Colleuille et al., 2004b; Wong og Colleuille, 2005; Misund et al., 2005). I tillegg er slike indikatorer viktige input for å kalibrere grunnvannsmodellen (Colleuille et al., 2004c). Tidsserier for vanntemperatur og elektrisk ledningsevne viser sesongmessige variasjoner og relasjonen mellom elvevann og grunnvann. Dette kan benyttes for eksempel til å beregne oppholdstiden fra elv til brønnen og dermed sårbarheten til et grunnvannsanlegg mht. forurensningen i elva. Det finnes en klar korrelasjon mellom elektrisk ledningsevne i elva og variasjoner i elvevannstand. Perioder med mye nedbør (tilførsel av ionefattig regnvann og smeltevann) gir økt vannføring i elvene, og dermed lavere ledningsevne i vannet¹. Tidsserier av vanntemperatur kan også gi indikasjoner på grunnvannsbidrag til vannføring. Små temperaturvariasjoner i elvene spesielt om sommeren og vinteren (i forhold til lufttemperatur) indikerer høyt grunnvannsbidrag. Tolkningen må imidlertid sees i lys av elvas vannføring, bredde og dybde, samt forekomst av kildebekker. Målinger av gradient i vanntemperatur langs vertikale profiler fra elva til grunnvannsmagasin kan brukes for å estimere lokale utvekslingsmengder.

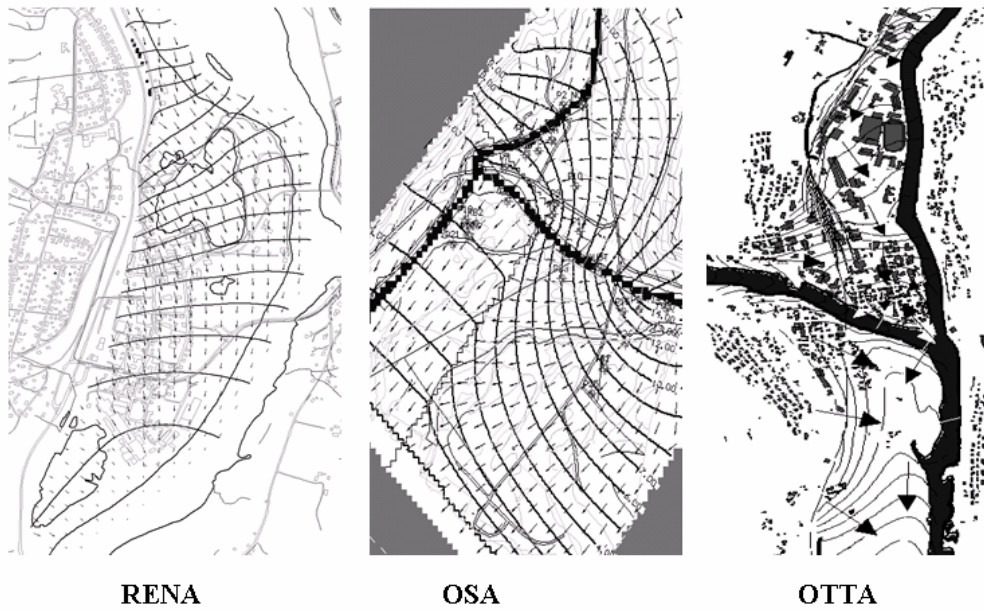
3.2. Grunnvannsmodellering

Grunnvannsanalyse kan med fordel gjøres ved bruk av modellverktøy. Et viktig tilleggsformål med prosjektet var å vinne erfaring med denne type analyseverktøy, og utvikle generelle metoder for en best mulig utnyttelse av geologisk og hydrologisk informasjon for konsistente analyser av grunnvannet. På den måten har vi utarbeidet prosedyrer for å evaluere hydrologiske effekter av grunnvannsuttak eller vassdragsregulering. Vi har også prøvd å klargjøre hva det minste datagrunnlaget som trenger for å kunne utføre slike forvaltningsmessige oppgaver på en forsvarlig måte.

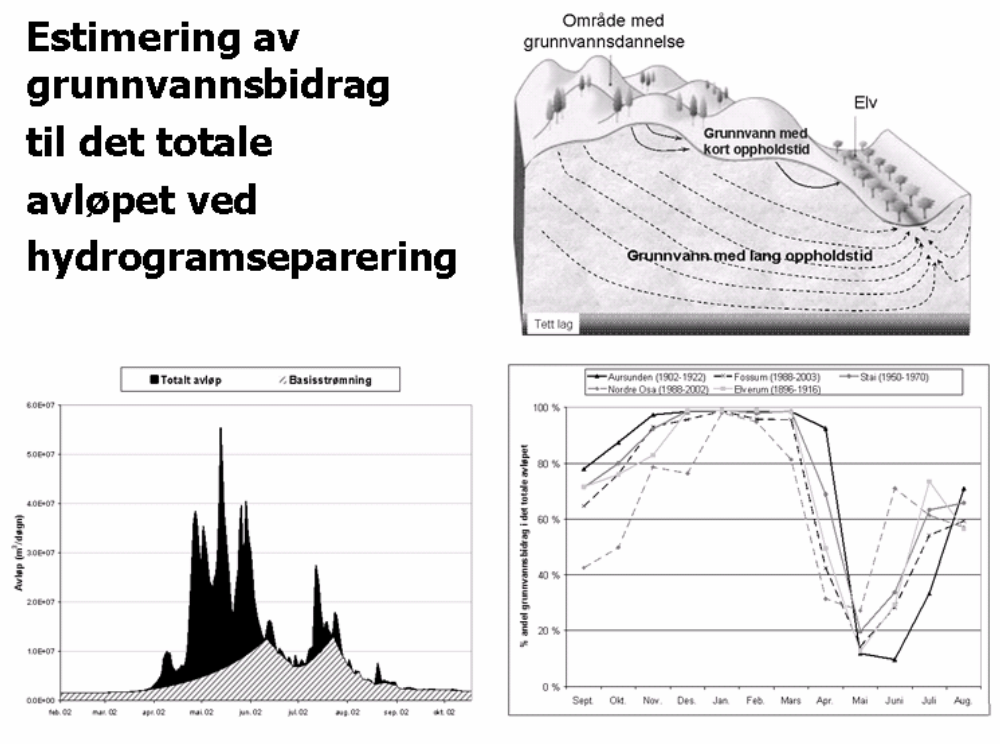
Numeriske grunnvannsmodeller har fordeler i forhold til analytiske metoder, fordi mer realistiske hydrologiske forhold i elv-akvifer-systemer kan tas i betraktning. Modellene kan også anvendes for praktiske oppgaver som evaluering av konsekvensene av vassdragsinngrep på grunnvann og grunnvannsuttak for vannføring. Bruk av slike modellverktøy krever imidlertid informasjon om grunnvannsmagasinet og inputdata for modellkalibrering og -validering. Det krever at man identifiserer og definerer akviferens geometriske form. Både elven og den/de underliggende akviferen/e må være beskrevet på en tilfredsstillende måte for å kunne analysere interaksjonen mellom de to miljøene.

¹ Innholdet av løste ioner styres av geologi, og vannets oppholdstid. Elektrisk ledningsevne kan være veldig lav, som f. eks. i gneisbergarter som forvitres sakte.

Bruk av 3D-grunnvannsmodeller som analyseverktøy



Estimering av grunnvannsbidrag til det totale avløpet ved hydrogramseparering



Figur 5. Eksempler som viser resultater fra analyse ved bruk av modellverktøy: Strømningsforhold i Rena, Osa og Otta (øverst). Estimering av grunnvannsbidrag (grunnvann med lang oppholdstid) med hydrogramseparering. Skisse over strømmingen med kort og lang oppholdstid i grunnen. Estimerte grunnvannsbidrag ved utvalgte stasjoner langs Glommavassdraget, nord for Elverum (Wong og Colleuille, 2005).

Geometrien og egenskapene til grunnvannsmagasinet (permeabilitet, porøsitet) må være målt i felt eller estimert. I tillegg har de viktigste parametrene ved analyse av interaksjon grunnvann/elvevann vist seg å være gradienten i elva, endringen i elvevannstand og grunnvannstilsig fra det overliggende nedbørfeltet. De to første parametrene er relativt lette å estimere, gjennom enkel nivellering, og logging av elvevannstand (helst på timebasis). Det siste er det vanskeligste å estimere, fordi tilsiget ikke kan måles direkte i felt, men må evalueres fra nedbørfeltets karakteristikk som areal, arealbruk, geologi, klima og menneskelige inngrep. Kvaliteten til modellen avhenger av kvaliteten på dataene som er brukt for å bygge modellen, men også av den riktige forståelsen av de hydrologiske prosessene.

Det anbefales å først bygge enkle modeller som krever begrenset grunnlagsdata. Med dette menes informasjon om gradient i elva (nivelleringsmålinger), måleserier med daglig elvevannstand/vannføring, informasjon om struktur og sammensetning av grunnvannsmagasin (avledes fra kvartærgeologiske kart og enkelte sonderboringer og kornfordelingsanalyser), og grunnvannsdannelsen i det aktuelle området (avledes fra avrenningskart, klimadata). I tillegg er det behov for enkelte observasjoner av grunnvannsnivåer eller flukser for å kunne kalibrere og validere modellen. Gjennom følsomhetsanalyser er det mulig å evaluere viktigheten av de ulike parametrene, usikkerheten til resultatene, og teste ulike mulige tilfeller. Eksempler med slike enkle modeller er presentert i Colleuille (2005) og Dimakis et al. (2005). Koblingen mellom distribuert vannbalanse-modeller (HBV), hydrauliske modeller og grunnvannsmodeller er en mulig fremtidig løsning for å analysere endringer i et vassdrag på en regional skala.

3.3. Grunnvannsbidrag ved hydrogramseparering

Mesteparten av vannet i norske elver stammer fra grunnvann, noe som er vesentlig for vannkvalitet, vanntemperatur og ferskvannsorganismer. Det finnes imidlertid regionale forskjeller som skyldes klimatiske, geologiske og topografiske forhold. I andre del av dette prosjektet er det satt fokus på å utvikle en enkel metode for å kvantifisere andel grunnvann i et vassdrag. Idéen bak dette er at vassdrag med større andel av grunnvannsbidrag vil tåle lavere minstevannføring enn vassdrag med lav andel grunnvann. I hydrologisk saksbehandling er det derfor nyttig å kunne gi et anslag over dette grunnvannsbidraget. Prosjektet beskrevet i Wong og Colleuille (2005) resulterte i et pc-program som på bakgrunn av daglige målinger av uregulerte vannføringer estimerer grunnvannsbidrag til det totale avløpet.

Metoden forutsetter at avløpet kan dekomponeres i to ulike deler, den raske overflateavrenning og den langsomme utstrømning av vann fra ulike lagringsmagasiner, ofte kalt basisstrømning (base flow). En algoritme basert på Tomaszewski (2004) for å separere basisstrømning fra det totale avløpet er benyttet. I norske uregulerte vassdrag uten breer kan ofte basisstrømning i sin helhet ansees som grunnvann. Det grunnvannet som metoden estimerer er grunnvann med lang oppholdstid, noe som er drøftet i neste kapittel. Et utvalg av 25 målestasjoner tilknyttet ulike delprosjekter i FoU-

programmet ”Miljøbasert vannføring” og andre NVE FoU-prosjekter er analysert for å teste metodens robusthet og anvendbarhet. Resultatene viser at grunnvann kan utgjøre 40-100 % av det totale avløpet i lavansperioder om vinteren og/eller sensommeren. Selv i snøsmelte- og flomperioder, er det betydelige mengder grunnvann som strømmer ut i vassdraget. Andelen av grunnvann viser seg å være betydelig lavere i vestlands-vassdrag med skarp topografi enn på Østlandet.

Hydrologiske og geomorfologiske karakteristikk viser seg å kontrollere samspillet mellom grunnvann og elvevann. I umålte felt kan man derfor utvikle en metode basert på regresjon (se f.eks. Væringstad og Hisdal, 2005), for å estimere grunnvannsbidrag og grunnvannsdannelse. Et alternativ er bruk av en vannbalansemodell (se f.eks. Beldring et al., 2003) for fremstilling av et landsdekkende kart over grunnvannsbidrag.

4. Naturlige hydrogeologiske prosesser

Opphav til grunnvannet

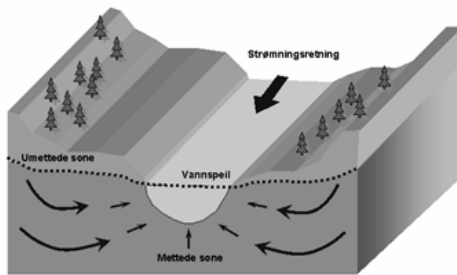
Norge kjennetegnes av et overskudd av vann som skyldes mye nedbør og moderat fordampning. Dette fører til høy avrenning både for overflateavrenning og grunnvannsavrenning. Norge kjennetegnes også, som følge av sin kvartærgeologiske historie, av små, hovedsakelig tynne og heterogene grunnvannsmagasiner i løsmasser, med innslag av grove og permeable sedimenter. Grunnvannsmagasiner i Norge som ikke ligger langs et vassdrag, er "selvmatende" grunnvannsmagasiner, der nydannelsen av grunnvann kun er avhengig av nedbørs- og avsmeltingsforhold. Vannet som lagres i disse grunnvannsmagasiner beveger seg langsamt og relativt konstant nedover mot et utstrømningsområde (bekk, elv, innsjø). Disse grunnvannsmagasiner yter et tilskudd til vannføringen ved å strømme inn i elvene enten direkte gjennom bunnsedimentene eller som kildebekker som renner inn i elva. I vassdrag som ikke har tilsig fra breer, og i periodene uten regn eller snøsmelting, sørger grunnvannstilsig for at vannføringen i vassdragene opprettholdes. Dette betyr at mesteparten av vannet i elvene praktisk talt er grunnvannet spesielt i lavvannperioder. Dette grunnvannet er vann med lang oppholdstid, som har stabile karakteristika (kjemi, temperatur) og høy hygieniske kvalitet. Grunnvann med kort oppholdstid, dvs. vannet som infiltrerer i jorda ved snøsmelting og langvarig nedbør, sirkulerer i de øverste lagene av jorda og strømmer relativt raskt ut i terreng igjen. Dette vannet kan ikke betraktes som en grunnvannsressurs fordi det ofte befinner seg i grunnen kun få dager/uker pr. år og ikke bærer preg av typisk grunnvann med høy kvalitet og stabil temperatur og kjemiske egenskaper. Figur 5 illustrerer hva som menes med grunnvann med kort og lang oppholdstid. Oppholdstiden og opphavet til grunnvannet avhenger av størrelsen og sammensetningen til det overliggende grunnvannsmagasinet (morene, fjell, myrområder).

Strømningsforhold og utvekslingsprosesser

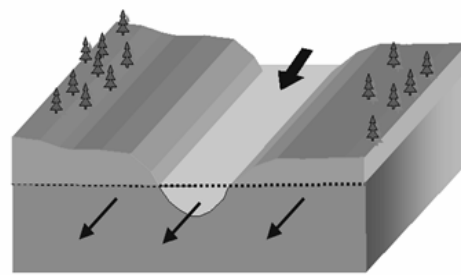
Strømningsforholdene og utvekslingsprosessene mellom ellevann og grunnvann er komplekse. De varierer i tid og rom og er kontrollert av geomorfologiske (elvbredde, -dybde, -helning, og -geometrien/buktethet)² og hydrologiske karakteristikk (vannregime, grunnvannstilsig).

² Se f. eks. Larkin og Sharp, 1992.

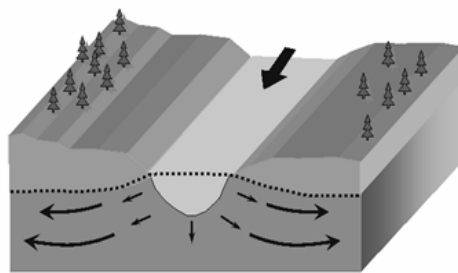
Strømningsforhold og utvekslingsprosesser



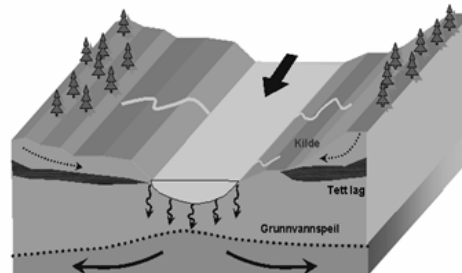
Utstrømning av grunnvann inn i elva



Parallell-strømning (ingen utveksling)

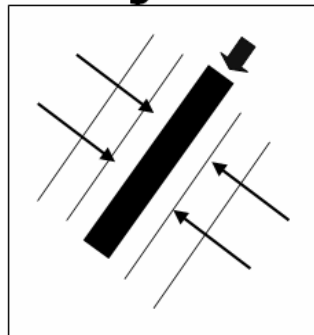


Innstrømning av elvevann i grunnvannsmagasin

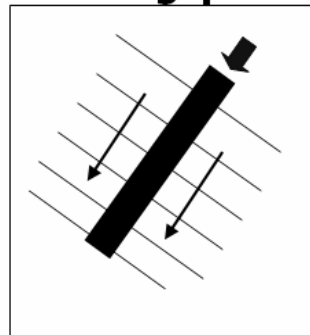


Frakoblet grunnvannsmagasin

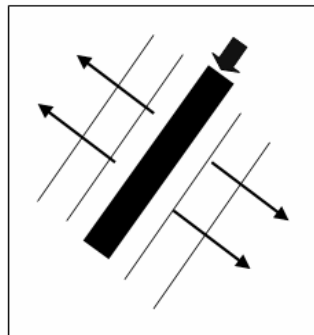
Strømningsforhold og utvekslingsprosesser



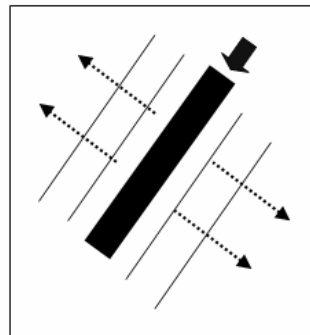
Utstrømning av grunnvann inn i elva



Parallell-strømning (ingen utveksling)



Innstrømning av elvevann



Frakoblet grunnvannsmagasin

Figur 6. Idealiserte grunnvannstrømningsforhold langs vassdrag.

Vi har identifisert følgende grunnvann-elvevann-systemer (figur 6):

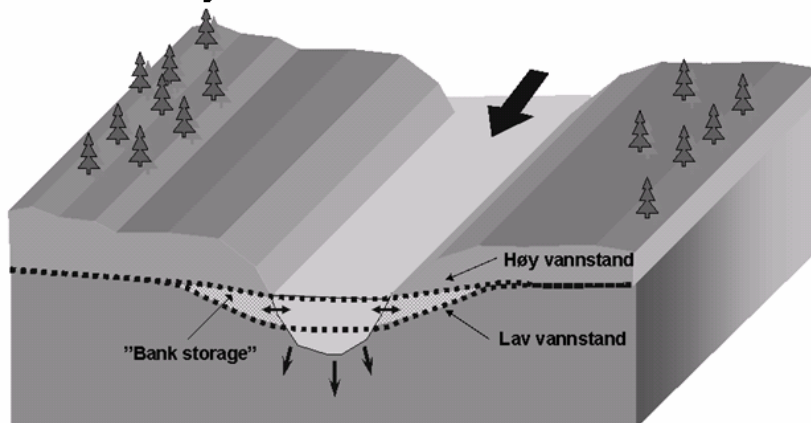
- Grunnvann strømmer omtrent loddrett til elva: Elva mates av grunnvannsmagasinet ved utstrømning av grunnvann inn i elva. Elva mater grunnvannsmagasinet ved innstrømning av elvevann. Dette systemet ble godt beskrevet i Rena (Colleuille et al., 2004c). Oftest yter grunnvannsmagasinet langs elva et tilskudd til vannføringen, men det er ikke uvanlig med infiltrasjonsområder der elva gir tilskudd til grunnvannsmagasinet. Det er spesielt tilfelle i sletteområder der elva renner i store meandrer og der vannet søker seg korteste vei, men også nedstrøms for de store vassdragene i deltaområder før elvene møter sjøen (estuarer).
- Grunnvann strømmer parallell med elva: Parallellstrømningen indikerer at de to systemene er i balanse og at det foregår lite utveksling mellom grunnvann og elvevann. Dette systemet forekommer spesielt hvor gradienten i elva er høy og hvor det er lite hydraulisk kommunikasjon mellom de to systemene (se f. eks. Osa i Hordaland, Misund et al., 2005).

Temporær lagring av elvevann ("bank storage")

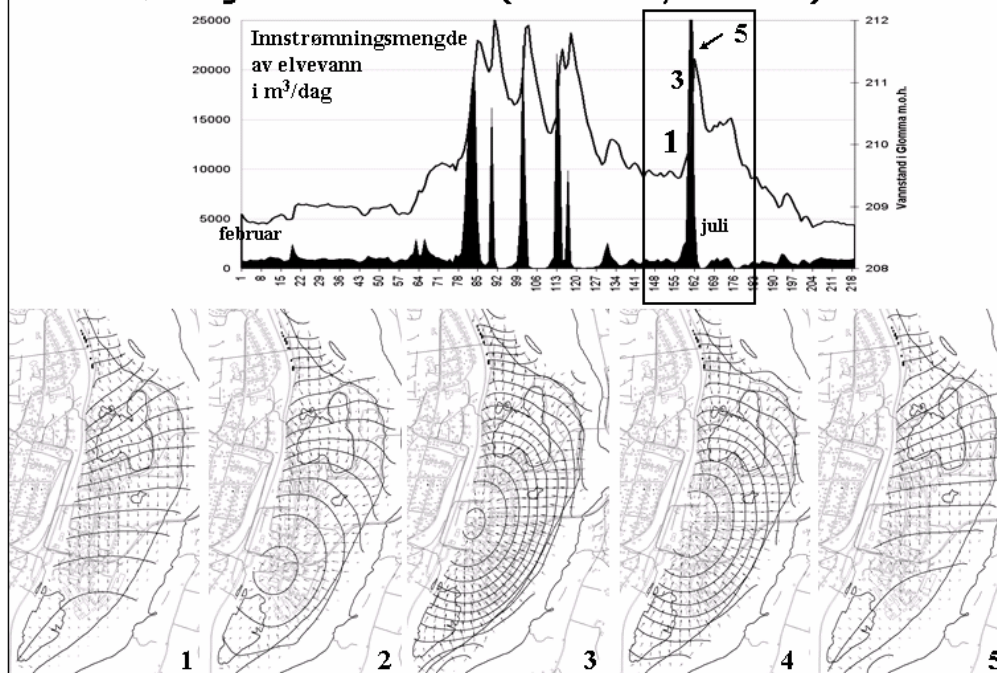
Det samme elveløpet vil kunne mate grunnvannsmagasinet i flomperioder og få tilskudd av vann i tørre perioder. Det er gradienten mellom grunnvannet og elvevannet som styrer vannutvekslingen. En rask økning av elvevannstand fører til at elvevannet strømmer inn i elvebreddene. Denne prosessen, kalt "bank storage" på engelsk, kan skyldes rask snøsmelting, kraftig regn (flom), eller tømning av et reguleringsmagasin. Mesteparten av vannmengden som strømmer inn i grunnvannsmagasinet, går tilbake til elva når vannstanden synker igjen. Prosessen fører til en temporær lagring av elvevann. Den er ofte rask (noen få timer/dager på Rena (Colleuille et al., 2004c) inntil noen få uker i Otta sentrum (Colleuille, 2005)), og bidrar til å redusere flomtoppene. Hvis elvevannet er så høyt at hele elvesletta blir oversvømt, oppstår omfattende grunnvannsdannelse i det oversvømte arealet. I det tilfellet vil tida for at det nydannete grunnvannet går tilbake til elva bli lengre, fordi grunnvann beveger seg langsommere enn overflatevann. "Bank storage"-prosessen ble godt beskrevet og kvantifisert på Rena (Colleuille et al., 2004c): Elvesletta på Rena bidrar f. eks. i flommen som fant sted i juli 2002 til en reduksjon av vannføringen ved å lagre ca 40 000 m³/dag (tilsvarende ca. 150 mm/dag) i det aktuelle grunnvannsmagasinet i løpet av noen få dager. Vannbalansen for hele simuleringsperioden (februar-september 2002) er positiv for grunnvannstilsig. Det er et tilskudd av grunnvannstilsig på ca. 5340 m³/dag eller 20 mm/dag. Det er kun få dager i løpet av året hvor elvevann infiltreres direkte i grunnvannsmagasinet. Endringer av vannstand i elvene har generelt lite effekt på utvekslingsmengder, strømningsforhold og vannoppholdstid.

Temporær lagring av ellevann: "bank storage"

- Det er ikke ellevannsnivåene som er bestemmende, men raske fluktasjoner av ellevannet som kontrollerer utvekslingsmønster og -mengder;
- Ved flom stoppes tilskudd av grunnvann til elva, deretter lagres temporært ellevann inn i grunnvannsmagasinet. Dette volumet frigjøres igjen ved fallende vannføring etter flomkulminasjon



Endring i strømningsforhold og utvekslingsmønster ved rask økning av ellevannstand (2002 Rena, Hedmark)



Figur 7. Øverst: Skisse over temporær lagring av ellevann ved flom. Nederst: Naturlige utvekslingsprosesser mellom grunnvann og ellevann og simulerte strømningsforhold ved Rena i juli 2002 ved flom (Colleuille et al., 2004c).

Utstrømning av grunnvannet kan i Rena betraktes som permanent, mens innstrømning av elvevann kun er temporært (noen få dager pr. år). Det er raske fluktuasjoner i elvevannstand som viser seg å kontrollere utvekslingsmønster og -mengder. Det finnes ikke noen faste grenser for når grunnvannet yter tilskudd til elva eller for når grunnvannsmagasinet mates av elva. Det er ikke vannivåene som er bestemmende, men raske fluktuasjoner av elvevannet.

Betydning av samspillet for vannkvalitet og økosystemer

Den mest åpenbare innvirkningen av grunnvannstilsig er å opprettholde vannføringen i elva. Ved lavvann er praktisk talt hele vannføringen grunnvannstilsig, noe som derfor har stor betydning for vanntemperatur, vannkvalitet og vassdragsøkologi.

Betydningen av samspillet for vannkvalitet og økosystemer er knyttet til 3 ulike parametre:

- kvalitet og mengde av vann som strømmer ut i det andre miljøet;
- filter og rensprosesser som foregår i overgangssonen mellom grunnvann og elvevann” (“Hyporheic zone”³);
- vannoppholdstid i overgangssonen.

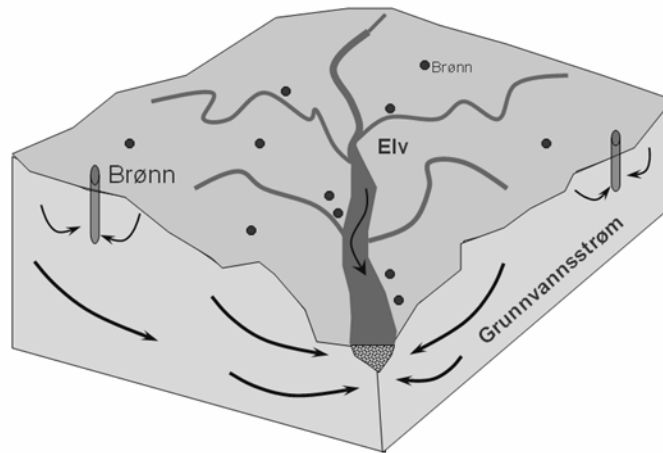
Denne overgangssonen virker som et fysisk, kjemisk og biologisk filter i stand til å stoppe og omdanne forurensinger og næringsstoffer. Det er også et viktig habitat og tilfluktssted for fauna (Hancock, 2002). Størrelsen til denne sonen avhenger av sammensetningen og strukturen til avsetningen samt omfanget og styrken til utvekslingsprosesser.

Blanding av grunnvann inn i elvevann kan ha en stor effekt på det akvatiske miljøet hvis faktorene som surhetsgrad, temperatur og oksygeninnhold endres (Brabrand et al., 2005). Grunnvannet bidrar ikke bare til vann i elva, men også til oppløste materialer. Utstrømningen av grunnvann påvirker tilgangen til karbon, oksygen og næringsstoffer som nitrogen og fosfor (Jones and Mulholland, 2000). Grunnvannet påvirker også egenskapene til elvevannet ved å endre vanntemperatur, som innvirker på hastigheten til ulike biokjemiske prosesser. Grunnvannet er vanligvis stabilt (5-6 °C i sør-Norge) og utstrømning av grunnvann kan beskytte fisk, bunndyr og egg i bunnen av elva mot å fryse i vinterhalvåret, og bidra til lavere temperatur om sommeren. Utstrømningen av grunnvann kan imidlertid også ha negative effekter: Grunnvannsmagasinet på Rena kjennetegnes av lang vannoppholdstid og lave oksygenkonsentrasjoner. Dette kan muligens gi dødelighet av bunndyr, rogn og yngel (Brabrand et al., 2005).

³ Denne sonen er på engelsk kalt ”hyporheic” som på gresk betyr ”understrømning”

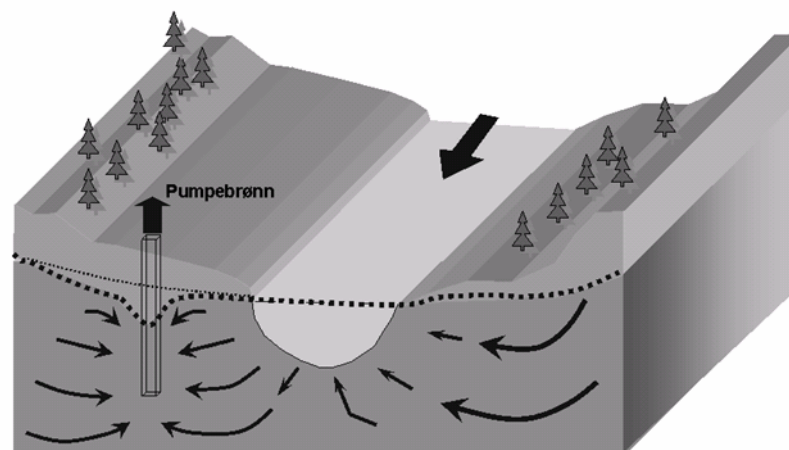
Grunnvannsutttak

- Den samlede mengden av grunnvannsutttak i det aktuelle nedbørfelt har betydning for vannkvantitet og -kvalitet i vassdraget



Grunnvannsutttak

- Grunnvannsutttak bidrar til lavere vannføring i elvene gjennom to komponenter:
 - . reduksjon av grunnvannstilsig ;
 - . induisert infiltrasjon av ellevann i grunnvannsmagasinet.



Figur 8. Effekt av grunnvannsutttak på ellevanns kvantitet og kvalitet.

Endring i grunnvannskvalitet kan være en konsekvens av direkte infiltrasjon av elvevann med dårlig kvalitet, men også av geokjemiske reaksjoner (oksidasjon/reduksjon) som følge av endring i grunnvannsstand og strømningsforhold. Undersøkelser i Norge viser at de fleste grunnvannverkene i Norge har vann som holder relativt stabil temperatur og kvalitet og derfor er lite påvirket av elvevannets kvalitet. Renseeffekten til elvas bunnsediment er vesentlig for vannkvaliteten i grunnvannsuttaget. I landbruksområder hvor grunnvannet kan være anrikt av næringsstoffer er disse prosessene vesentlige for å opprettholde elvevannets kvalitet.

Menneskelig aktivitet kan påvirke overgangssonen på to måter:

- ved å svekke de naturlige utvekslingsmengdene og -mønstrene;
- ved å forringe direkte den biologiske aktiviteten (forgiftning).

Den mest kjente årsaken til forringelse av overgangssonen er tetningen (f.eks. gjennom avleiring) av bunnsedimenter som fører til mindre oksygen og endring i fysiokjemiske reaksjoner.

Vi har imidlertid fortsatt lite kunnskap om bidraget til disse prosessene på vannkvalitet, og hvordan de er påvirket av endret vannføring.

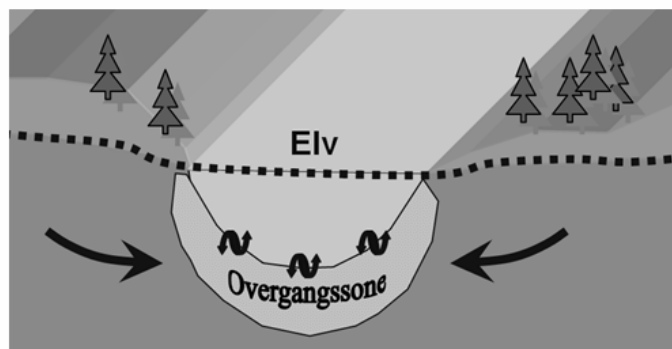
Betydning av samspillet for vannkvalitet og økosystemer

- Den mest åpenbare innvirkningen av grunnvannstilsig er å opprettholde vannføringen i elva. Ved lavann er praktisk talt hele vannføringen grunnvannstilsig, noe som har betydning for vanntemperatur, vannkvalitet og vassdragsøkologi
- Grunnvannstilsig stabiliserer vannføringen, og demper fluktasjoner i elvevanntemperatur om vinteren og sommeren



Betydning av samspillet for vannkvalitet og økosystemer

- I overgangssonen foregår biologiske, fysiske og geokjemiske prosesser som er av stor betydning for opprettholdelse av vannkvalitet i de to systemene, og som habitat og tilfluktssted for fauna
- Tre viltige parametre:
 - kvalitet og mengden vann som utveksles;
 - filter og renseprosesser;
 - vannsoppholdstiden i den overgangssonen.



Figur 9. Betydning av samspillet mellom elvevann og grunnvann for vannkvalitet og vassdragets økologi.

5. Virkninger av vassdragstiltak og regulering

Lokal elveløpskarakteristikk (elvbredde, -dybde, -helninge, og -geometrie) kontrollerer massetransport og erosjonsprosesser i elver, mektigheten og sammensetningen av bunnsedimenter og dermed infiltrasjonsgraden. Alle tiltak som endrer vannføring, elveløpskarakteristikk og grunnvannsbidrag har derfor potensiell betydning for samspill mellom grunnvann og elvevann.

Virkingen av grunnvannsuttak

Bestemmelse av tålegrensen for vannuttak (grunnvann eller overflatevann) er noe som forvaltningen må forholde seg daglig til under konsesjonsbehandling. Uttaket av vann må ikke ha skadelig påvirkning på vannkvalitet og biologiske forhold i elva og i naturmiljøet. Oppgaven til forvaltningsmyndigheten er å prøve å fastsette hvilken miljøpåvirkning som er akseptabel for alminnelige interesser og forvalte vannuttak slik at miljøpåvirkningen holdes innen de fastsatte grensene. Store grunnvannsuttak med indusert infiltrasjon av elvevann resulterer i en lavere vannets oppholdstid i overgangssonen, noe som svekker den biologiske aktiviteten og reduserer effektiviteten til de fysiske og biokjemiske filtrene (Hancock, 2002). Uttak av grunnvann i nærheten av vassdrag fører til at grunnvannsmagasinet blir mer sårbart for forurenset elvevann.

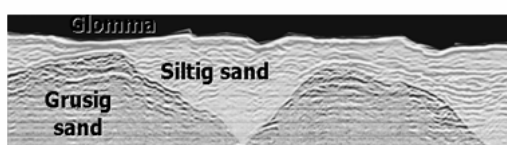
Grunnvannsuttak bidrar til lavere vannføring i elvene gjennom to komponenter: reduksjon av grunnvannstilførsel og indusert infiltrasjon av elvevann i grunnvannsmagasinet. Analyser utført på Rena i Hedmark (Colleuille et al., 2004c), viser at et grunnvannsuttak på ca. 30 l/s i en pumpebrønn som står ca. 60 m fra Glomma består i gjennomsnitt av ca. 90 % grunnvann og 10 % indusert elvevann. Hvis man øker uttaksmengden fire ganger (120 l/s) vil vannet som pumpes ut bestå av 44 % direkte indusert elvevann.

Utstrømningen av grunnvann i bunnsedimenter hindrer finere fraksjoner i å trenge ned i substratet og dermed å tette substratet (Brabrand et al., 2005). Reduksjon av utstrømningen av grunnvann og infiltrasjon av elvevann gjennom elvas bunnsedimenter, som følge av grunnvannsuttak, kan lokalt føre til en økning av sedimentering av fine partikler med negative konsekvenser for utvekslingsprosessene og biokjemiske prosesser som finner sted i overgangssonen.

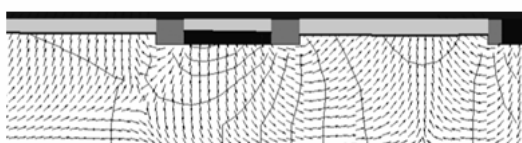
Et viktig trekk ved elver som er frakoblet fra grunnvannet (se f. eks. Osa, Misund et al., 2005) er at utpumping av grunnvann i nærheten av vassdraget ikke berører vannføringen i elva. I et lukket grunnvannsmagasin som ligger under to tette lag er påvirket område (senkningstrakten) mye større enn i et åpent grunnvannsmagasin ved utpumping av samme mengde grunnvann.

Virkningen av vassdragstiltak

- Lokal elveløpskarakteristikk kontrollerer massetransport og erosjonsprosesser i elver, mektigheten og sammensetningen til bunnsedimenter og dermed infiltrasjonsgraden. Alle tiltak som endrer vannføring, elveløpskarakteristikk og grunnvannsbidrag har derfor potensiell betydning for samspillet mellom grunnvann og elvevann



Endring i sedimentasjon/erosjonsprosesser



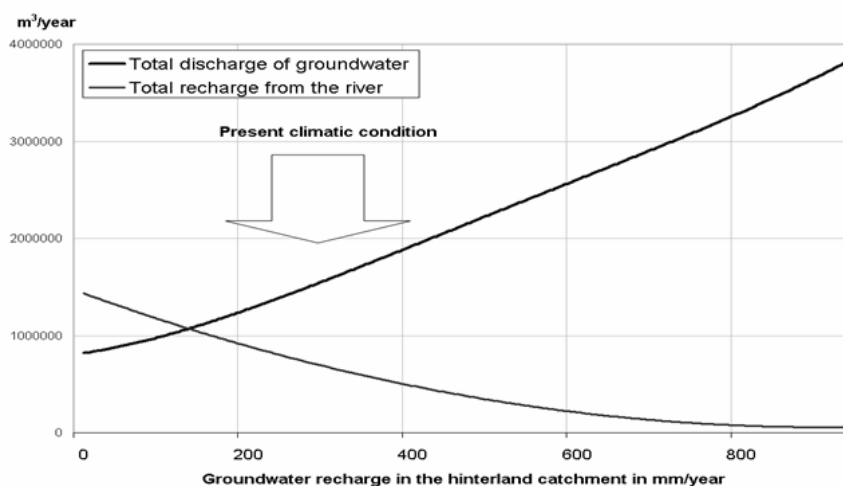
Bygging av flomverk og terskler



Grunnvannsutttak

Virkning av klimaendring og vannuttak

- Lavere grunnvannsdannelse (mindre nedbør, større fordampning) og økt vannuttak reduserer grunnvannsbidraget til vannføring
- Klimaendring og fremtidig økende behov for vann bør tas i betraktning ved fastsettelse av minstevannføring



Figur 9. Virkningen av vassdragstiltak, klimaendring og grunnvannsutttak. Den nederste figuren viser simulert sammenhengen mellom nydannelse av grunnvann og utvekslingsmengder på Rena i Hedmark (Colleuille et al., 2004d).

Selv om hver enkel pumpebrønn langs et vassdrag sjelden har negativ effekt for elvevannet, kan det samlede grunnvannsutttaket i det aktuelle nedbørfeltet ha betydning for vannkvantitet og -kvalitet i vassdraget. For å kunne forutsi miljøpåvirkningen av større grunnvannsutttak bør det kreves detaljerte undersøkelser av naturlig nydannelse av grunnvann og utstrømningsprosesser, samt kartlegging av alle eksisterende vannuttak.

Bærekraftig forbruk av grunnvannsressurser avhenger ikke bare av uttaksmengder, men også av lokaliseringen av pumpebrønner i forhold til innstrømnings- og utstrømningsområder (avstand til elva), samt uttaksmønster. Det er alltid en tidsforsinkelse mellom vannuttak og reduksjon i den naturlige utstrømningen. Denne tidsforsinkelsen avhenger av uttaksmengder, avstand til elva og sammensetningen til grunnvannsmagasinet. Ved større grunnvannsmagasiner og i tørre regioner kan denne tidsforsinkelsen være på flere titalls år. Den aktuelle tilsynelatende gode tilstanden til et utnyttet grunnvannsmagasin og dets økosystem indikerer derfor ikke nødvendigvis at forholdet vil være bærekraftig over lengre tid. Pga. vått klima med høy nydannelse av grunnvann, samt små grunnvannsmagasiner, er denne forsinkelsen av mindre betydning i Norge, slik at det hydrologiske systemet kommer i balanse relativt raskt og konsekvensene vil synliggjøres relativt raskt.

Virkning av redusert vannføring

Redusert vannføring har ofte ingen betydning for kapasiteten til pumpebrønner langs vassdrag, siden vannstandssenking i de fleste tilfeller er mindre enn 1 m, og at de fleste pumpebrønner har filter fra ca. 10 til 30 m under terreng. Redusert vannføring har liten påvirkning på brønnens kapasitet, men betydelig større påvirkningspotensial på vannkvaliteten som pumpes ut. Redusert vannføring vil ikke bare påvirke de biologiske forholdene i elveløpet, men også vassdragets evne til å fortynne eventuelle forurensninger. Redusert vannføring kan også ha innvirkning på vannkvaliteten i grunnen langs vassdrag. Tidsvariasjon i elvas vannføring og massetransport (herunder erosjon/sedimentasjonsprosesser) påvirker rensesegenskapene til elvas bunn-sedimenter, infiltrasjonsgrad, grunnvannets strømningsforhold og oppholdstiden. Endring i grunnvannskvalitet kan også være en konsekvens av direkte infiltrasjon av elvevann med dårlig kvalitet, av en mobilisering av eksisterende forurensning eller av geokjemiske reaksjoner (oksidasjon/reduksjon) som følge av endring i grunnvannstand og strømningsforhold.

Virkninger på markoverflaten (tørrlegging) kan oppstå ved senkning av den normale grunnvannstanden. En relativt liten senkning av grunnvannsnivået i vekstsesongen kan ha betydning for avlingen avhengig av planteslag og jordarter. Både grunnvannsnivåets høyde i forhold til rotsonen og variasjonene i grunnvannsnivået er av vesentlig betydning for plantenes utnyttelse av grunnvannet. Vegetasjonen på elvesletter med heterogene grovkornete materialer er mer følsom for endringer i vannstand, enn elvesletter med homogent fine materialer med bedre mulighet for dypere rotutvikling og bedre kapillær kontakt med grunnvannet. Det er derfor behov for

detaljert informasjon om vegetasjonstype og om jordas sammensetning, egenskaper og struktur i hvert enkelt tilfelle for å få et tilstrekkelig godt vurderingsgrunnlag (Bryn et al., 1986). Elvas påvirkning på grunnvannsstand avtar med økende avstand fra elva. Hvor langt innover fra elva det er påvirkning, avhenger av avsetningenes egenskaper og grunnvannstilsig fra høyereliggende områder. I grovkornete masser virker elvevannstandsvariasjoner på grunnvann raskt i flere hundre meter innover elvesletta.

Endringer i vannføring har direkte betydning for erosjons- og sedimentasjonsprosesser. Massetransport og erosjonsprosesser kontrollerer mektigheten og sammensetningen til bunnsedimenter og dermed utvekslingsmengder mellom grunnvann og overflatevann. Analyser med modellverktøy har vist at endringer i egenskapene til bunnsedimenter har stor betydning for utvekslingsmengder mellom elvene og grunnvannsmagasinerne. For eksempel, er det på Rena på Østlandet estimert at en 10 ganger lavere mektighet, eller 10 ganger større permeabilitet, fører til at utstrømning av grunnvannet lokalt blir over 500 % av referansemengder (Colleuille et al., 2004c). Analysene har også vist at lavere mektighet eller høyere permeabilitet av bunnsedimenter fører til høyere vannbevegelser i grunnvannsmagasinet, og dermed lavere vannoppholdstid.

Dimensjoneringen av redusert vannføring vil i noen tilfeller (intensive landbruk, stabilitetsproblemer i tett befolkede områder) forutsette at man kan vurdere og forutsi endringer i grunnvannsforholdene som følge av reguleringer. Redusert eller økt vannføring må først tallfestes i form av endringer i grunnvannsstand på elvesletter (metoder er drøftet tidligere i avsnitt 3.1 og 3.2).

Virkning av elveforbygning

Hensikten med flomverk langs vassdrag er først og fremst å beskytte lavtliggende tettsteder infrastruktur og jordbruksområder mot oversvømmelser og erosjon. De fleste flomfyllingene langs norske vassdrag konstrueres ved bruk av stedlige masser og med steinplastring i elvekanten (Sæterbø et al., 1998). Slike flomverk har kun begrenset lokal effekt på grunnvannsforhold. Som resultater av modellarbeid utført på Otta viser (Colleuille, 2005) at flomverkene beskytter ikke mot oversvømmelser på elvesletter. Ved mer omfattende tiltak som hindrer eller kraftig reduserer hydraulisk kontakt mellom elvevann og grunnvann (for eksempel ved tetning av elvebunn) vil strømningsbildet og grunnvannsnivåer i elvesletta endre seg dramatisk. Som et eksempel er det estimert ved bruk av modellverktøy, at tetning av elvenes bunnsedimenter ved Otta sentrum vil føre til en sterk økning av grunnvannsnivået (over 1 m), noe som vil gi dårligere grunnvannsforhold med flere oversvømte kjellere (Colleuille, 2005). Tiltak som øker vanngjennomtrengning mellom grunnvannsmagasinerne og elvene (graving og fjerning av tette sedimenter) vil øke sammenhengen mellom elvevannstand og grunnvannsstand. Dette kan ha flere konsekvenser som berører utvekslingsmengder, grunnvannets oppholdstid, filterprosesser og dermed vannkvalitet. Analysene foretatt med modellverktøy på Rena (Colleuille et

al., 2004c) viser at i periodene etter flom registrerer man en høyere utstrømning av grunnvann som varer lenger enn periodene hvor elvevannet infiltrerer i akviferen. Denne prosessen bidrar til å dempe flommene ved først å stoppe grunnvannstilsig til elva, og deretter ved å lagre en del elvevann. Dette vannvolumet frigjøres igjen ved slutten av flommen. Oppbygging av tette flomverk langs elvene kan derfor ha større negative effekter enn positive effekter ved å redusere infiltrasjonsmuligheter av elvevann ved flom, og å redusere grunnvannstilsig til elva ved normal lav vannføring.

Tiltak som fører til endringer i elvevannstand ved for eksempel nedgraving av elveløp, bygging av terskler eller oppdemning av elva vil ha direkte konsekvenser for grunnvannsstanden. Økningen av gradient mellom elva og grunnvann eller økning av raske fluktuasjoner i elvevannstand, kan bidra til dårligere stabilitet i massene. Lavere vannstand øker faren for utrasing av elvekantene. Hvis løsmassene består av fine materialer vil det oppstå en demping av grunnvannsvariasjoner i forhold til elvevannsvariasjoner, noe som øker risiko for utrasninger og påfølgende erosjon av kantene.

Konklusjoner

FoU-programmet Miljøbasert vannføring har som mål å forbedre kunnskapsgrunnlaget for å kunne fastsette vannføring etter inngrep som reduserer den naturlige vannføringen. Dette prosjektet har satt fokus på forståelse av interaksjonen mellom grunnvann og ellevann og dennes betydning for forvaltning av vannressurser i Norge.

Grunnvann og ellevann henger sammen og må betraktes på en helhetlig måte:

Alle endringer i et av systemene har potensiell betydning for den andre. De reagerer med hverandre i en liten overgangssone hvor det foregår biologiske, fysiske og geokjemiske prosesser som er av stor betydning for opprettholding av vannkvalitet i de to systemene, og som habitat og tilfluktssted for mange organisme grupper. Overflatevann er bare den synlige delen av et kontinuerlig ferskvannøkosystem som også inkluderer grunnvann, bunnsedimentenes og elvebreddenes systemer.

Variasjoner i ellevannstand forårsaker samsvarende variasjoner i grunnvannsstand inn i elvesletter: I de fleste elveslettene i Norge vil grunnvannsstanden endre seg praktisk talt like mye som ellevannstanden i vassdraget. I større avstand fra elvene (flere hundre meter), ved finkornete materialer og stort grunnvannstilsig fra høyereliggende områder utjevnes påvirkningen fra ellevannstanden. Redusert vannføring med påfølgende lavere grunnvannsstand i elvesletter med grovkornede materialer, kan ha skadepotensiall for planteproduksjon.

Behov for å opprettholde raske fluktuasjoner i vannføring: Rask økning av ellevannstanden fører til temporær lagring av oksygenrikt ellevann i elvebredden, styrker utvekslingen mellom grunnvann og ellevann og forhindrer tetning av elvebunnen.

Virkingen av grunnvannsuttak: Grunnvannsuttak langs vassdrag bidrar til lavere vannføring i elvene gjennom to komponenter: reduksjon av grunnvannstilsig og indusert infiltrasjon av ellevann i grunnvannsmagasinet. Utpumping av grunnvann fører til lokal endring i strømningsretning fra og til elva som kan påvirke vann-temperatur, oksygen og næringsstoffinnhold i overgangssonen, samt til tetning av bunnsedimenter, som i neste omgang virker på økologien i vassdraget. Selv om hver enkel pumpebrønn langs et vassdrag sjelden har negativ effekt for elvevannet, kan den samlede mengden av grunnvannsuttak i det aktuelle nedbørfeltet ha betydning for vannkvantitet og -kvalitet i vassdraget.

Behov for langsiktig bærekraftig forvaltning av vannressurser: Sannsynlighet for tørke og klimaendring er to viktige faktorer. Lavere nydannelse og økt uttak av grunnvann fører til en reduksjon av grunnvannsbidrag til det totale avløpet. Ved fastsettelse av minstevannføring må det derfor tas hensyn til eksisterende og fremtidig forbruk av vann (fordampning, vannverk, industri, vanning...).

Behov for skadebegrensingstiltak ved tørke: Ved tørke øker risikoen for forurensning av elvevann pga. lavere fortynning av nedbørfeltets avrenning. Vanntemperaturen øker om sommeren eller synker om vinteren som følge av lav vannføring, mindre turbulent strømming og mindre bidrag av grunnvann.

Vannforekomstets status, andelen grunnvannsbidrag og vannbalanse: For å kunne vurdere tålegrensen til et vassdrag når det gjelder vannuttak eller redusert vannføring er det nødvendig først å klarlegge kvalitet status for de aktuelle grunnvanns- og overflatevannforekomstene. I vassdrag med dårlig status for grunnvann eller overflatevann er det viktig å opprettholde en høy minstevannføring som kan fortynne forurensningen. Annen viktig informasjon er andelen grunnvannsbidrag og eksisterende og fremtidig vannuttak. Det er nødvendig å tallfeste mengder vann som naturlig inngår i det aktuelle nedbørfeltet, dvs. å utføre en vannbalansestudie, et regnestykke om hvor mye vann som kommer inn (grunnvannsdannelse, nedbør/snøsmelting; returstrømming), ut (vannuttak, fordampning, overføring) eller lagres i systemet. Kvaliteten til vannet som kommer inn i systemene er også avgjørende. Returstrømmingen (avløp, spillvann fra industri, kloakksystem) har ofte en forringet kvalitet og høy temperatur. Naturlig utstrømming av grunnvann kan være også lokalt av dårlig kvalitet (lavt oksygeninnhold, høyt innhold av nitrater). Høyt grunnvannsbidrag indikerer høy andel av grunnvann med lang oppholdstid og forutsier dermed et bedre potensial for å holde en stabil kvalitet og kvantitet i det regulerte vassdraget, så lenge grunnvannet holder en god kvalitet.

Behov for kartlegging av løsmasser og registrering av alle vannuttak: En god forvaltning av våre vannressurser og en effektiv saksbehandling av tiltak i vassdrag krever oppdaterte fakta og data om flere forhold i det berørte området (hydrologi, geologi, økologi, inngrep i vassdrag, vannuttak). De siste årene og som en følge av implementering av EUs vanndirektiv er det igangsatt flere prosjekter hvor denne informasjonen er i ferd med å bli gjort tilgjengelig gjennom en nasjonalt web-basert GIS-løsning (se f.eks. GRANADA, NGU). Det er imidlertid fortsatt grunnleggende informasjon som mangler. Det gjelder først og fremst kartlegging og karakterisering av løsmassers avsetninger (sammensetning, mektighet, struktur) i Norge. Det gjelder også kartlegging av alle større vannuttak i Norge (både drikkevann og andre uttak) med register over uttaksmengder og formålet med uttaket.

Analyseverktøy: Vi har i dette arbeidet vist at grunnvannsmodeller er instruktive hjelpemidler for å visualisere strømningsforløp, og vi har dokumentert effekt av ulike tiltak, noe som er en viktig støtte for beslutningstagere. Vi har identifisert de viktigste geomorfologiske, klimatiske og hydrologiske parametrene som kontrollerer samspillet mellom grunnvann og elvevann, noe som gir oss bedre grunnlag ved saksbehandling av inngrep i vassdrag inkludert grunnvannsuttak. Det er imidlertid tilgang til pålitelig informasjon om geologi som begrenser vår mulighet til å bruke modellen som effektiv analyseverktøy for hver enkel sak. Tallfesting av grunnvannsbidrag til vassdrag anses som et viktig grunnlag ved fastsettelse av minstevannføring. En metode for å estimere, ved daglig registrering av vannføring, grunnvannsbidrag til det totale avløpet ble derfor utviklet gjennom dette arbeidet.

Anbefalinger

Resultatene i denne rapporten gir grunnlag for følgende anbefalinger ved fastsettelse av minstevannføring og ved andre tiltak som berører samspillet mellom grunnvann og elvevann:

- Grunnvanns- og elvevannsressurser utgjør et tett integrert system og må derfor forvaltes og reguleres i sammenheng;
- Raske fluktuasjoner i vannføringen har flere positive effekter som bør opprettholdes ved vassdragsregulering;
- Forvaltningen, i tråd med eksisterende lovgivning, må sørge for at samlet grunnvannsuttak i et nedbørfelt ikke vesentlig påvirker restvannføringen i nærliggende vassdrag;
- Klimaendringer og fremtidig økende behov for vann bør tas i betraktning ved fastsettelse av minstevannføring;
- For å opprettholde miljøvennlig minstevannføring i ekstremt tørre perioder, er det aktuelt å pålegge reduksjon av vannuttak (grunnvann og overflatevann). Det bør utarbeides beredskapsplaner, kvoteringsystemer, hvor prioritering mellom de ulike forbrukerne er avklart på forhånd: gårdsdrift (vanning og oppdrett), drikkevann (kommunale og private vannverk), fiskeoppdrett, reguleringsmagasinering (kraftverk), og vannkrevende industribedrifter. Det er derfor nødvendig å kartlegge alle større vannuttak i Norge og å opprette en database over uttaksmengder og formålet med uttaket;
- Vassdrag med god status, lite belastning (potensielle forurensninger, vannuttak) og høyt grunnvannsbidrag vil tåle bedre tørke og regulering. Det kan derfor fastsettes lavere minstevannføring i slike vassdrag;
- Det er nødvendig å forbedre kartlegging og karakterisering av løsmassers avsetninger (sammensetning, mektighet, struktur) i Norge.
- Alle analyser, selv med automatisert støtteapparat og veiledningsmateriale, vil fortsatt kreve bedømmelse av erfarne fageksperter. Det er derfor viktig at den hydrogeologiske kompetansen i Norge styrkes og at forvaltningen av vannressurser samordnes, og inkluderer en tverrfaglig tilnærming.

Referanser:

- Beldring S., Engeland K., Roald L.A., Sælthun N.R., Voksø A., 2003. Estimation of parameters in a distributed precipitation-runoff modell for Norway. *Hydrology and Earth System Sciences* 7, 304-316.
- Brabrand Å., Bremnes T. og Saltveit S.J., Koesler A.G., og Bogen J., 2005. Grunnvannstilstrømning til elveavsnitt: økologisk betydning for bunndyr og fisk. NVEs rapport Miljøbasert vannføring 2-2005.
- Bryn K.Ø., Rognerud B. og Ø. Aars, 1986. Vassdragsregulerings virkning på naturmiljøet. Norsk Hydrologisk Komité.
- Chen X. og Shu L., 2002. Stream-Aquifer Interactions: Evaluation of Depletion Volume and Residual Effects from Groundwater Pumping. *Ground Water*, Vol. 40, No. 3: 284-290.
- Colleuille H., 2005. Tiltaksvurdering mot oversvømmelser i Otta sentrum. Analyse av grunnvannsforholdene ved hjelp av modellverktøy. NVE rapport 12-2005.
- Colleuille H., Pedersen T.S., og Dimakis P., 2004a. Elv og grunnvann. Analyse av interaksjon mellom et grunnvannsmagasin og Glomma i Rena, Hedmark (002.Z). Formål og metoder. NVEs rapport Miljøbasert vannføring 1-2004.
- Colleuille H., Pedersen T.S., Dimakis P., og Frengstad B., 2004b. Elv og grunnvann. Analyse av interaksjon mellom et grunnvannsmagasin og Glomma i Rena, Hedmark (002.Z). Materiale og feltmålinger. NVE rapport Miljøbasert vannføring 2-2004.
- Colleuille H., Wong W-K., og Dimakis P., 2004c. Elv og grunnvann. Analyse av interaksjon mellom et grunnvannsmagasin og Glomma i Rena, Hedmark (002.Z). Grunnvannsmodellering. NVE rapport Miljøbasert vannføring 3-2004.
- Colleuille H., Wong W-K., and Dimakis P., 2004d. Effect of river regulation, groundwater abstraction and climate change on the interaction between groundwater and river. Case study in Rena, Norway. Workshop on Groundwater Dynamics and Global Change. Agricultural University of Norway. Ås. April 14-16, 2004.
- Dimakis P., Colleuille H., Wong W.K., 2005. Pollution Impacts on Norwegian Groundwater Bodies. NVE report 3-2005.
- Jones J.B. and Mulholland P., 2000. Streams and Ground waters. Academic Press.
- Hancock P.J., 2002. Human Impacts on the Stream-Groundwater Exchange Zone. *Environmental Management* Vol.29, No 6: 763-781.

- Hancock P.J., Boulton A.J., Humphreys W.F., 2005. Aquifers and hyporheic zones: Towards an ecological understanding of groundwater. *Hydrogeology Journal* 13: 98-111.
- Larkin R.G. and Sharp J.M., 1992. On the relationship between river basin geomorphology, aquifer hydraulics, and groundwater flow direction in alluvial aquifers. *Geological Society of America Bulletin*, v. 105: 1608-1620.
- Misund A., Colleuille H., Soldal O., 2005. Elv og grunnvann. Analyse av interaksjon mellom grunnvann og ellevann i et typisk vestlandsdalføre: Osa, Hordaland. NVEs rapport Miljøbasert vannføring 4-2005.
- Newson M. 1998. *Hydrology and the River Environment*. Clarendon Press. Oxford.
- NHK, 1984. Vassdragsregulerings innvirkning på grunnvannet. Foredrag ved seminaret på Lillehammer 2.-3. november 1982. Norsk Hydrologisk Komité. Rapport nr. 14. Oslo, 1984.
- Sophocleous M., 2002. Interactions between groundwater and surface water: the state of the science. *Hydrogeology Journal* 10: 52-67.
- Sæterbø, E. Syvertzen L. og Tesaker E., 1988. *Vassdragshåndboka*. Tapir forlag.
- Tomaszewski, E., 2004. Application of the ET algorithm to groundwater runoff estimation. Northern European FRIEND & AMHY – FRIEND Joint Low Flow Meeting. 12-15 May 2004, Bratislava, Slovakia. 7s.
- Væringstad T. og Hisdal H., 2005. Estimering av alminnelig lavvannføring i umålte felt. NVEs rapport Miljøbasert vannføring 6-2005.
- Winter T.C, Harvey J. W., Franke O.L. and Alley W.M, 1998. *Ground Water and Surface Water. A Single Resource*. U.S. Geological Survey Circular 1139. Denver, Colorado.
- Woessner W., 2005. Stream and Fluvial Plain Ground Water Interactions: Rescaling Hydrogeologic Thought. *Ground Water*. Vol 38 No. 3: 423-429.
- Wong K. W. og Colleuille H., 2005. Elv og grunnvann. Estimering av grunnvannsbidrag til det totale avløpet ved hydrogramseparering. NVE rapport Miljøbasert vannføring 5-2005.

Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

Utgitt i rapportserien Miljøbasert vannføring:

- Nr. 1-02 Thomas Skaugen, Marit Astrup, Zelalem Mengistu, Bjarne Krokli: Lavvannføring - estimering og konsesjonsgrunnlag (28 s.)
- Nr. 1-03 Eva B. Thorstad, Finn Økland, Nils Arne Hvidsten, Peder Fiske, Kim Aarestrup: Oppvandring av laks i forhold til redusert vannføring og lokkeflommer i regulerte vassdrag (51 s.)
- Nr. 2-03 Per Ivar Bergan, Carsten S. Jensen, Finn R. Gravem, Jan Henning L'Abée-Lund, Anders Lamberg, Peder Fiske: Krav til vannføring og temperatur for oppvandring av laks og sjørørret (63 s.)
- Nr. 1-04 Hervé Colleuille, Tor Simon Pedersen, Panagiotis Dimakis: Elv og grunnvann. Analyse av interaksjon mellom et grunnvannsmagasin og Glomma på Rena, Hedmark (002.Z) Rapport 1. Formål og metoder (67 s.)
- Nr. 2-04 Hervé Colleuille, Tor Simon Pedersen, Panagiotis Dimakis, Bjørn Frengstad: Elv og grunnvann. Analyse av interaksjon mellom et grunnvannsmagasin og Glomma på Rena, Hedmark (002.Z). Rapport 2. Materiale og feltmålinger (113 s.)
- Nr. 3-04 Hervé Colleuille, Wai Kwok Wong, Panagiotis Dimakis: Analyse av interaksjon mellom et grunnvannsmagasin og Glomma på Rena, Hedmark (002.Z). Rapport 3. Grunnvannsmodellering (114 s.)
- Nr. 4-04 Bjørn Ove Johnsen og Nils Arne Hvidsten: Krav til vannføring i sterkt regulerte smålaksvassdrag (68 s.)
- Nr. 5-04 Torulv Tjomsland: Abiotiske effekter i reguleringsmagasiner. Temperatur- og isforhold i Follsjøen og i vassdraget nedenfor (25 s.)
- Nr. 6-04 Svein Jakob Saltveit, Peder Fiske, Åge Brabrand, Harald Sæggrov, Ola Ugedal: Bruk av fangst statistikk for å belyse effekt av endret vannføring på fisk (46 s.)
- Nr. 7-04 Peder Fiske, Arne Johan Jensen: Mot en modell for sammenhengen mellom vannføring og fiskeproduksjon. Fase 1 - Evaluering av presmoltsammenhenger (30 s.)
- Nr. 1-05 Hans-Petter Fjeldstad, Tharan Fergus, Nils Reidar Bøe Olsen: Habitatforbedrende tiltak - geomorfologiske prosesser, sedimenttransport, erosjon og simulering av optimale forhold for fisk (34 s.)
- Nr. 2-05 Åge Brabrand, Trond Bremnes, Svein Jakob Saltveit, Andreas G. Koestler, Jim Bogen: Økologisk betydning av grunnvann for bunndyr og fisk (64 s.)
- Nr. 3-05 Gunnar G. Raddum, Arne Fjellheim, Gaute Velle: Populasjonsstrukturen hos bunndyr i Aurlandselva i relasjon til endringer i vannføring og temperatur (48 s.)
- Nr. 4-05 Arve Misund, Hervé Colleuille, Oddmund Soldal: Elv og grunnvann. Analyse av interaksjon mellom grunnvann og ellevann i et typisk vestlandsdalføre: Osa, Hordaland (84 s.)
- Nr. 5-05 Wai Kwok Wong, Hervé Colleuille: Elv og grunnvann. Estimering av grunnvannsbidrag til det totale avløpet ved hydrogramseparering (62 s.)
- Nr. 6-05 Thomas Væringstad, Hege Hisdal: Estimering av alminnelig lavvannføring i umålte felt (40 s.)
- Nr. 7-05 Hege Hisdal: Regional metodikk for estimering av lavvannskaraktistika (53 s.)
- Nr. 8-05 Hervé Colleuille, Panagiotis Dimakis, Wai Kwok Wong: Elv og grunnvann. Sluttrapport - Oppsummering og anbefalinger (41 s.)