



Statkraft
REN ENERGI

PROSJEKTRAPPORT MED KU

Søknad om konsesjon for Austdøla kraftverk (et O/U-prosjekt)

**VEDLEGG 12:
Grunnvannsrapport**

Elv og grunnvann

Analyse av interaksjon mellom grunnvann og ellevann i et typisk vestlandsdalføre: Osa, Hordaland

Arve Misund, COWI AS

Hervé Colleuille, NVE

Oddmund Soldal, COWI AS

4
2005



RAPPORT MILJØBASERT VANNFØRING

FoU-programmet Miljøbasert vannføring

Programmet Miljøbasert vannføring har som mål å skaffe økt kunnskap om virkninger av sterkt redusert vannføring i vassdrag, slik at forvaltningen får et bedre faglig grunnlag for å fastsette vannføringen ved inngrep i vassdrag. Dette er aktuelt i forbindelse med nye vassdragskonsesjoner, revisjon av vilkår i gamle konsesjoner og som følge av den nye vannressursloven og EUs rammedirektiv for vann. Programmet finansieres av Olje- og energidepartementet og er forankret i Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE).

Programmets fase I har en tidsramme på fem år (2001-2005). Programmet er organisert med en styringsgruppe, bestående av representanter fra NVE med lederansvar, energibransjen, naturforvaltningen og interesseorganisasjoner, og et fagutvalg der ulike fagområder er representert. Den daglige ledelse og administrasjon av programmet er knyttet til Vannressursavdelingen i NVE.

Elv og grunnvann

**Analyse av interaksjon mellom grunnvann og elvevann
i et typisk vestlandsdalføre: Osa, Hordaland**

Rapport nr. 4 - 2005

Elv og grunnvann

Analyse av interaksjon mellom grunnvann og elvevann i et typisk vestlandsdalføre: Osa, Hordaland

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Forfattere: Arve Misund, COWI AS
Hervé Colleuille, Norges vassdrags- og energidirektorat
Oddmund Soldal, COWI AS

Trykk: NVEs hustrykkeri

Forsidefoto: Hervé Colleuille: Utpumping av grunnvann ved Austdøla i Osa

ISSN: 1502-234X

ISBN: 82-410-0493-1

Sammendrag: Et tredimensjonalt grunnvannsmodellverktøy er anvendt for å analysere interaksjon mellom grunnvann og Norddøla/Austdøla i Osa i Ulvik kommune, Hordaland. Modellen er bygget opp og kalibrert på grunnlag av hydrogeologiske felldata. Begge akviferene mates stort sett direkte ved infiltrasjon fra elvene og pålegg om minstevannføring vil dermed ha en positiv effekt mht. utnyttelse av grunnvannsressurser i Osa (kommunalt vannverk til Ulvik kommune og grunnvannsanlegg for eksport av drikkevann fra Osa Vanneksport (OVE)).

Emneord: Grunnvann, vannføring, akvifer, modellering, Ulvik kommune.

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

August 2005

Innhold

1. Innledning	9
1.1. Bakgrunn og formål	9
1.2. Områdebeskrivelse	10
1.2.1. Landskap	10
1.2.2. Arealbruk	11
1.2.3. Geologi	12
1.2.4. Hydrologi	14
1.2.5. Klima	19
1.2.6. Grunnvannsutttak i Osa	21
2. Beskrivelse av grunnvannsmagasinet	26
2.1. Struktur til grunnvannsmagasinet	26
2.1.1. Georadarmålinger	26
2.1.2. Undersøkningsboringer langs Norddøla	28
2.1.3. Undersøkningsboringer langs Austdøla	29
2.2. Egenskaper til grunnvannsmagasinet	32
2.2.1. Egenskaper basert på kornfordelingsanalyser	32
2.2.2. Egenskaper basert på prøvepumping	34
2.3. Samspill mellom Norddøla/Austdøla og grunnvann	40
2.3.1. Vannstandsdata fra 1975-83	40
2.3.2. Vannstandsdata fra 2003-2004	42
2.3.3. Miljøindikatorer	49
2.3.4. Hydrogeokjemiske forhold	54
3. Modellering av grunnvannsforholdene	55
3.1. Modelloppbygging	55
3.1.1. Modellområdet	56
3.1.2. Hydrostratigrafiske enheter	58
3.1.3. Strømningsforhold	60
3.1.4. Fysisk rammeverk og gridding	62
3.1.5. Modellbetingelser	63
3.1.6. Vannstand som input i modellen	69
3.1.7. Forenklet modell	71
3.2. Kalibrering	73
3.3. Analyser	75
3.3.1. Naturlige strømningsforhold og utvekslingsmengder	75
3.3.2. Effekt av grunnvannsutttak	78
3.3.3. Effekt av elveregulering	83
4. Konklusjoner	84
5. Referanser	85

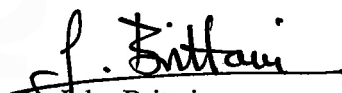
Forord

FoU-programmet Miljøbasert vannføring har som mål å forbedre kunnskapsgrunnlaget for å kunne fastsette vannføring etter inngrep som reduserer den naturlige vannføringen. Det er bl.a. viktig å avklare betydningen av samspillet mellom grunnvann og ellevann, noe som kan ha stor betydning for elveøkosystemet. I dette prosjektet fokuseres det på forståelse av de fysiske forholdene som styrer interaksjon mellom grunnvann og ellevann. Formålet er å utvikle analyseverktøy for å kunne kvantifisere og forutsi effekt av redusert vannføring på grunnvann og effekt av grunnvannsuttak på vannføring. Prosjektet har direkte interesse for forvaltningen ved konsesjonsbehandling, både ved grunnvannsuttak og ved fastsettelse av redusert vannføring.

COWI AS (tidligere Interconsult AS) v/ Arve Misund har fått oppdrag fra NVE, Hydrologisk avdeling å utvikle en grunnvannsmodell som kunne brukes for å analysere strømningsforholdene og utvekslingsmengder mellom grunnvann og ellevann i Osa i Hordaland. Arbeidet er utført i samråd med NVE v/ Hervé Colleuille.

Oslo, august 2005


Haavard Østhagen
leder styringsgruppe


John Brittain
programleder

Sammendrag

Samspeilet mellom grunnvann og elvevann er vesentlig for vannkvalitet, vanntemperatur og vassdragets økologi. Målsetningen med prosjektet er å øke kunnskapen om interaksjon mellom grunnvann og elvevann i et typisk Vestlandsdalføre. Et tredimensjonalt grunnvannsmodell-verktøy er anvendt for å analysere interaksjon mellom grunnvann og elvene i Osa i Ulvik kommune, Hordaland. Modellen er bygget opp og kalibrert på grunnlag av hydrogeologiske feltdata.

Osa-vassdraget består av to små elver (Norddøla og Austdøla) som renner sammen et par hundre meter før utløpet til Osafjorden. Mange av kildene oppover langs disse elvene kommer ut fra åpne sprekker i fjell (som mates ved snøsmelting) og renner gjennom rasmaterialer og over det øverste finkornede laget. Dette gjør at mesteparten av vannet renner inn i elvene i form av kildebekker, og elvene mates ikke direkte av grunnvann. Observerte grunnvannsstand ligger under elvevannstand både ved Norddøla og Austdøla. Forskjellen mellom elvevannstanden og grunnvannsstanden er ca. 40-70 cm langs Norddøla og opptil 10 meter mellom Austdøla og det delvis lukkede magasinet. I dette delvis lukkede magasinet er grunnvannsstanden både forsinket og dempet i forhold til elvevannsstanden. Dette magasinet har stor transportkapasitet for grunnvann. Det mates delvis fra fjellsidene og delvis av elveinfiltrasjon, og dreneres ut via undersjøiske kilder langs fjordkanten.

Simuleringene viser at grunnvannsnivåene varierer i takt med elvevannsstandene, men strømningsbildet er relativt stabilt. Austdøla og Norddøla mater grunnvannsmagasinet både under høy- og lavvannsføring. På grunn av denne store forskjellen mellom elvenivå og grunnvannsspeil i Austdøla, hender det at elva går tørr i perioder. I Norddøla er det imidlertid relativt jevn vannføring gjennom året, og dette skyldes i stor grad flere kilder langs dalsiden som mater elva med vann.

På Rena i Hedmark, hvor samspill mellom grunnvann og elvevann ble analysert tidligere (Colleuille et al., 2004c), er forholdene annerledes ved at det er en veksling mellom perioder hvor grunnvannet mater elva (lav vannstand i elva) og elva mater grunnvannet (flom). Største forskjell i forhold til Rena er at gradienten på elvene er mye større i Osa, og dette utgjør den viktigste parameteren mht. strømningsforholdene. På Rena er det en gradient på ca. 20 cm for 500 m, i Osa er det flere titalls meter. Til forskjell fra Østlandet styres også grunnvannsnivået i deltaområdene i typiske Vestlandsfjorder av havnivå som har en relativt konstant størrelse. Fjordlandskapet på Vestlandet er karakterisert med brattere og trangere daler som også gir mindre vassdrag enn på Østlandet. Observerte data fra Norddøla og Austdøla viser at nedbørsperioder fører til raske endringer i elvenivå. Overflateavrenningen i disse nedbørsfeltene er derfor forholdsvis høy pga skarp topografi, rask snøsmelting og rask tilstrømning gjennom permeable rasmaterialer (stein og blokker) og åpne sprekker i fjell. Mye av dette vannet strømmer ut av rasmaterialet i kilder før det renner ut i elvene (grunnvann med relativt lav

oppholdstid). Dette stemmer bra med Baseflow beregning (Wong og Colleuille, 2005), som viser at andelen grunnvann med lang oppholdstid (dvs. med stabil temperatur og kjemiske karakteristika), kan være betydelig lavere i Vestlandsvassdrag med skarp topografi enn på Østlandet. Om vinteren er 75-95% av vannføringen på Østlandet grunnvann, mens det ligger rundt 40-60% på enkelte vassdrag på Vestlandet og i Nord-Trøndelag.

Etter reguleringen, som fant sted i 1979 ved overføring til Simadal, er det skjedd en markert endring i vannregimene i Austdøla og Norddøla. Vannføringen er i perioder ned mot 10 % av den opprinnelige, elvevannsstanden har sunket med ca. 50 cm og elvevannsstandens amplitude har blitt sterkt redusert. Samtlige grunnvannsrør i området er påvirket av regulering.

Påvirkningsgrad av grunnvannsstanden øker i nærheten av elvene. Det er uklart om lavere vannføring etter regulering og følgende lavere grunnvannsstand i den øvre akviferen har ført til lavere vanninntrengningsmengder i den nedre akviferen. Begge akviferene mates stort sett direkte ved infiltrasjon fra elvene og pålegg om minstevannføring vil dermed ha en positiv effekt mht. utnyttelse av grunnvannsressurser i Osa (kommunalt vannverk til Ulvik kommune og grunnvannsanlegg for eksport av drikkevann fra Osa Vanneksport (OVE)).

1. INNLEDNING

Samspill mellom grunnvann og elvevann er vesentlig for vannkvalitet, vanntemperatur og vassdragsøkologi. Målsetning med prosjektet er å øke kunnskapen om interaksjon mellom grunnvann og elvevann i et typisk Vestlandsdalføre. Et tredimensjonalt grunnvannsmodellverktøy er anvendt i dette prosjektet for å analysere interaksjon mellom grunnvann og Norddøla/Austdøla i Osa i Ulvik kommune, Hordaland. Modellen er bygget opp og kalibrert på grunnlag av hydrogeologiske felldata. Disse er presentert i de første kapitlene i denne rapporten.

1.1. Bakgrunn og formål

Mye av bakgrunnsmaterialet er innsamlet i forbindelse med arbeidet utført for Osa Vanneksport (OVE). OVE planlegger utskiping av grunnvann i bulk fra grunnvannsmagasinet i avsetningen under Austdøla (Soldal et al., 2001).

COWI AS (tidligere Interconsult ASA) v/ Arve Misund har fått oppdrag fra NVE, Hydrologisk avdeling å utvikle en grunnvannsmodell som kan brukes for å analysere samspill mellom grunnvann og elvevann i Osa i Hordaland. Arbeidet er utført i samråd med NVE v/ Hervé Colleuille.

Arbeidet i henhold til samarbeidsavtalen mellom NVE og COWI AS omfatter utviding av eksisterende grunnvannsmodell (Soldal et al., 2001) slik at man kan utføre vannbalanseanalyser for å kvantifisere vannutvekslingen mellom elvene Norddøla og Austdøla og grunnvannsmagasinet i løpet av en periode med normal vannstand og flom. Hovedmålet med modellarbeid i Osa er å analysere forskjeller i prosessene som styrer interaksjon elv/grunnvann mellom et Østlandsdalføre (Rena) og Vestlandet (Osa). Modellen er også tenkt å kunne brukes for å analysere hvilke effekter endringer i vannregime på grunn av elveregulering som fant sted på 70-tallet, har på grunnvannsressurser og dets interaksjon med elvevann, samt effekten av grunnvannsuttak på elvevannets kvalitet og kvantitet.

COWI AS har vært ansvarlig for alle feltundersøkelser utført (Georadarmålinger, sonderboringer, prøvepumping, kjemimålinger, observasjoner av grunnvannsnivåer) og oppbygging/kalibrering av en grunnvannsmodell. NVE etablerte i 2004 loggere for å samle inn tidsseriedata for vannivå, temperatur og ledningsevne i elvene Norddøla og Austdøla.

1.2. Områdebeskrivelse

1.2.1. Landskap

Landskapet er kjennetegnet med en relativt flat dalbunn og svært bratte dalsider, slik det er vist på bilde 1. Nedre deler av Osa er et relativt uberørt fjorddelta som det er svært få igjen av i Norge. I høyre billedkant (øst) kommer Austdøla og fra nord renner Norddøla. De renner sammen før elva munner ut i Osafjorden. Hjadlane er en markant løsmasseavsetning som ses rett til høyre for midten av bildet¹. Avsetningen er dannet i Pre Boreal tid (9.000-10.000 år før nåtid) og er bygd opp til havnivået på den tiden, ca. 90 m o.h. Flere lavere terrasserester kan også finnes og viser et gradvis lavere havnivå i tiden etter siste istid.

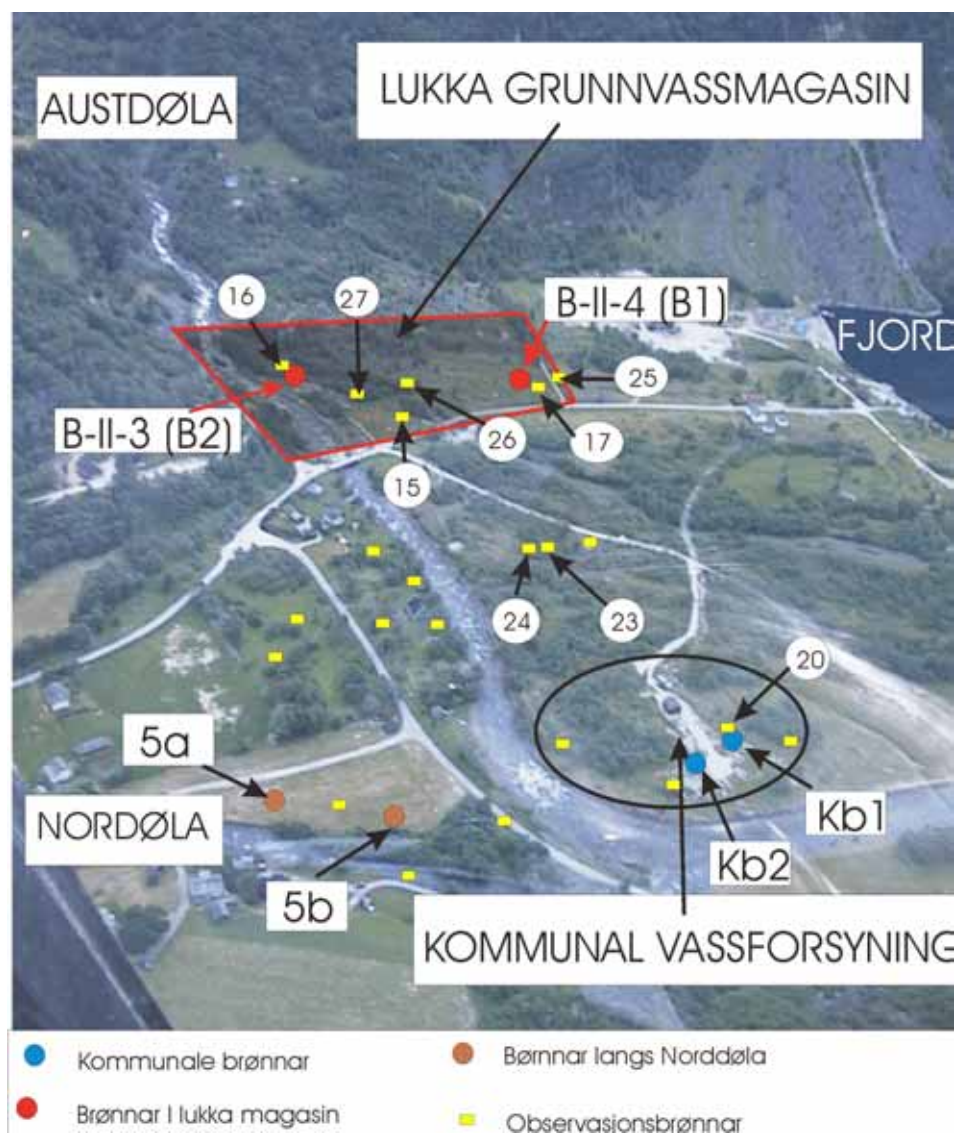


Bilde 1: Oversiktsbilde over Osa.

¹ Se lokalisering i figur 5.

1.2.2. Arealbruk

Det er noe jordbruksaktivitet i området fra samløpet mellom de to vassdragene og opp til Hjadlane og Haugen². Ulvik kommune sin hovedvannforsyning er basert på grunnvann fra området ved samløpet mellom Norddøla og Austdøla (Figur 1).



Figur 1: Plassering av brønner og observasjonspunkt i Osa.

² Se lokalisering i figur 5.

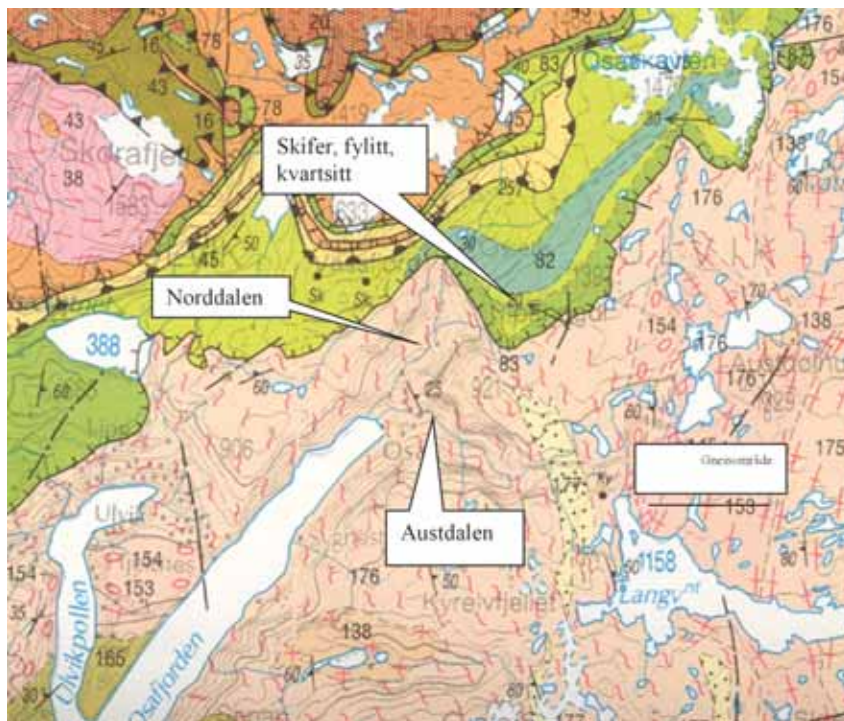
Mellom Austdøla og Osafjorden er det sporadisk grustaksdrift. Grustaket har driftsløyve frem til 2007. Det bør ikke tillates at grustaket kommer for nær brønnen til Osa Vanneksport. Det er også i reguleringsplanen lagt inn et område for campingplass i nærheten av det aktuelle brønnområdet langs Austdøla.

1.2.3. Geologi

Berggrunnsgeologi

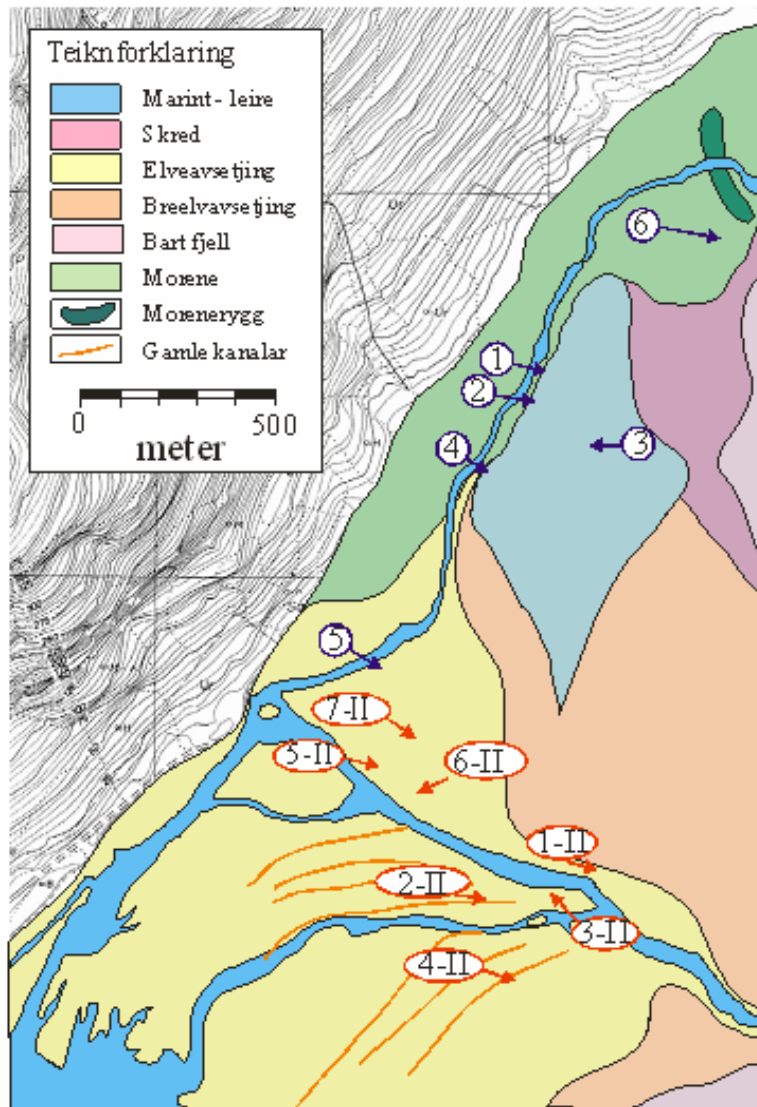
Berggrunnen i området består av grunnfjellsbergarter og er preget av migmatitter og migmatittiske gneiser. I Norddalen er det innslag av kambrosiluriske bergarter (Figur 2).

Berggrunnsforholdene gjør at grunnvann fra fjell er mest egnet til å forsyne enkelthus. Vann finnes i bruddsoner i fjellet. Det kan være små enkeltsprekker eller det kan være større bruddsoner. Vanligvis gir en brønn i fjell mellom 200 og 2000 l/t, men det er store variasjoner. Brønner kan være praktisk talt tørre, men i andre tilfelle kan gi opptil 8000-10000 l/t.



Figur 2: Berggrunnsgeologi i Ulvik (Sigmond, 1998).

Kilder kan lede vann fra bruddsoner og føre mye vann. I Osa er det mange kilder som viser at det må være store vannførende bruddsoner i fjellet.



Figur 3: Kvartærgeologisk oversiktskart over Osa. I nummererte punkt (1-6) er det gjennomført boringer i Norddøla. Det er etablert 2 prøvebrønner i punkt 5 og en brønn i punkt 4. Det er etablert produksjonsbrønner i punkta 3-II og 4-II.

Kvartærgeologi

Fordeling av overflatejordarter er vist i figur 3. Den mest markante løsmasseavsetningen finner man på Hjadlane³. Dette er en sand- og grusterrasse bygd opp til havnivået i siste del av siste istid. Toppen av terrassen ligger ca. 90 m o.h. I nordre del av avsetningen finnes en lavere liggende terrasserest av finkornede sediment som er avsatt i stillestående vann. Dette laget har sand- og grusmasser både over og under seg.

I dalbunnen fra Sævartveit og mot Haugen finnes yngre sand- og grusavsetninger. Disse avsetningene har en annen sortering og sammensetning enn dem som finnes på Hjadlane. Bl.a. er det mer fyllitt i massene, noe som medfører at det er en del finkornet material i massene.

Elva Austdøla har bygd en elvevifte ut i dalen. Materialet i denne elveviften er grovkornet og mye av de massene man finner i denne stammer trolig fra erosjon av terrasseavsetningen ved Hjadlane. Oppover i Sævartveitdalen er det også en del morenemateriale i dalbunnen. Langs fjellsidene er det mye rasmateriale, store blokker og steiner har til dels blitt transportert ut over morenematerialet i dalbunnen.

Kvartærgeologisk kart over sentrale deler av Osa er vist i Figur 3.

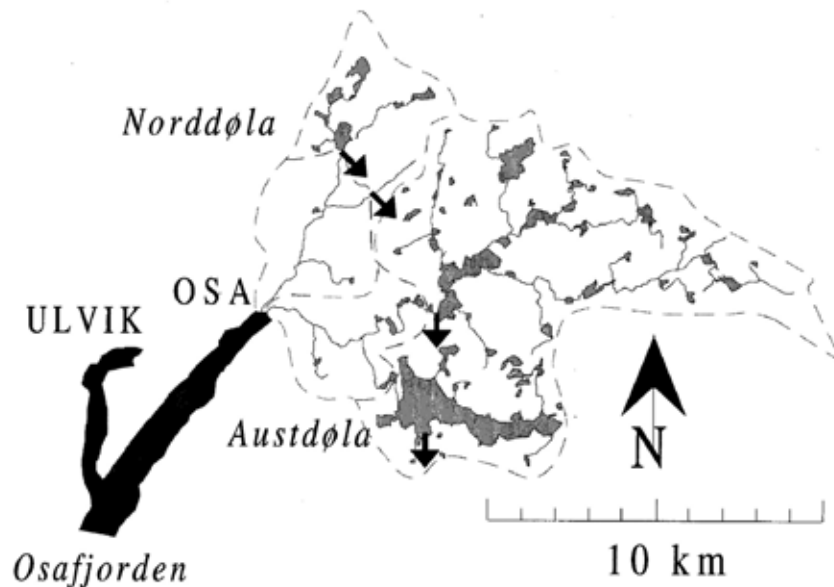
1.2.4. Hydrologi

De to vassdragene, Norddøla (051.2Z) og Austdøla (051.1Z), renner sammen et par hundre meter før utløpet til Osafjorden. Begge vassdragene er i dag regulerte ved overføring til Sima kraftverk.

Vassdragstiltak

Norddøla hadde et opprinnelig nedbørsfelt på 40 km², og 55 % er i dag fraført ved Skrulsvatnet og oppi sideelven Tverrelvi. Dermed er restfeltet (18 km²) til vassdraget mer enn halvert i forhold til det opprinnelige, og avrenningen fra alle de høytliggende områdene er da stort sett tatt bort. Det er ingen større innsjøer igjen i restfeltet til Norddøla (Figur 4).

³ Se lokalisering i figur 5.



Figur 4: Opprinnelig nedbørsfelt til Norddøla og Austdøla.

Austdøla hadde opprinnelig et nedbørsfelt på 134 km², men i dag er 81 % av nedbørsfeltet fraført. Det er bygd flere demninger ved innsjøene Langvatnet (1138 m o.h.) og Austdølanutvatnet (1040 m o.h.), og vatnet vert ført fra disse magasinene til Sima kraftverk. Restfeltet er på størrelse med Norddølas, og har heller ingen større innsjøer.

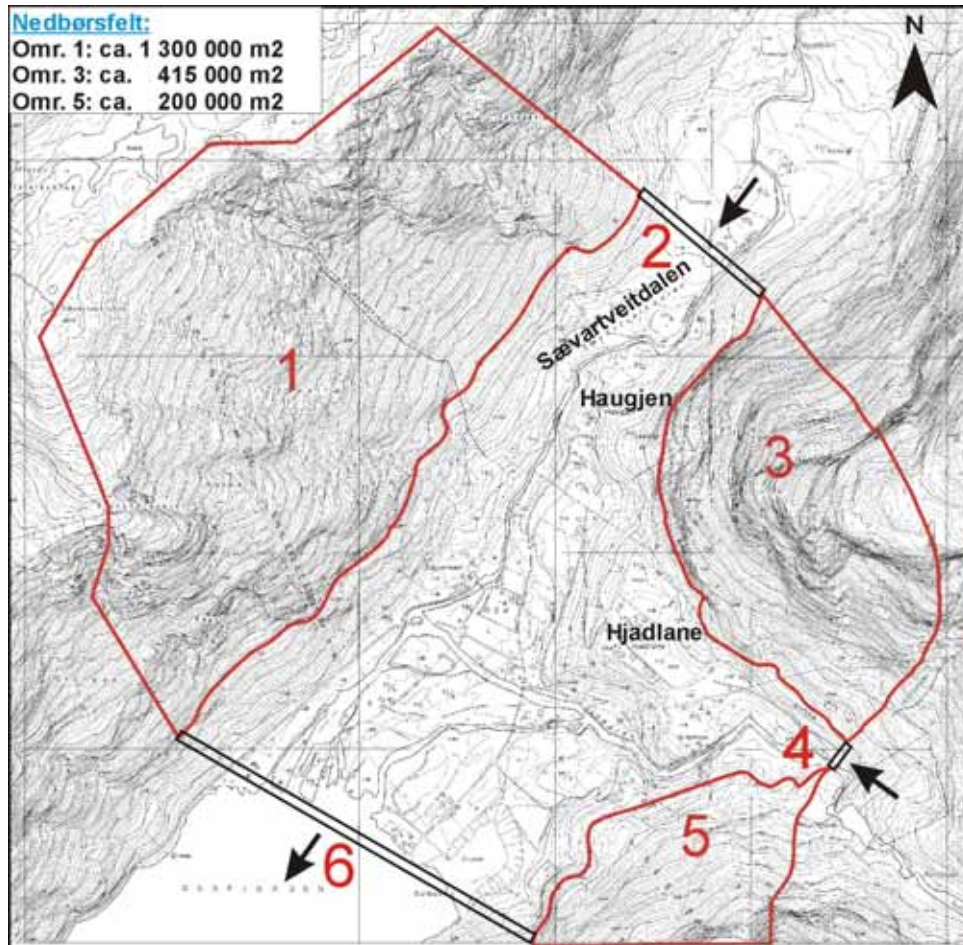
Modellområdet og tilsigsfeltene

Figur 5 viser modellområdet og tilsigsfeltet til modellområdet. Arealet til tilsigsfelt 1 er på ca. 1 300 000 m². Det er et bratt fjellområde som går over i rasmaterialet mot fjellfoten. Det er flere store rasvifter/ur langs dalen. I samme området kommer det ut flere kilder som har sitt utspring fra nedbøren/snøsmelting i fjellsidene. Bekken som er markert på kartet forsvinner inn i rasmateriale. Nydanning av grunnvann fra dette området er estimert til ca. 780 000 m³/år (ca. 600 mm/år).

Tilsvarende forhold finnes på østsiden av dalen. Tilsigsfelt (3) er noe mindre, ca. 415 000 m². Bekkene som renner ned fjellsiden forsvinner også her inn i store urer med skredmateriale. Nydanning av grunnvann fra dette området er beregnet til ca. 249 000 m³/år.

Sør for Austdøla er det et mindre fjellmassiv (5) som også har avrenning til modellområdet. Arealet er beregnet til ca. 200 000 m². Nydanning av grunnvann fra dette området er beregnet til ca. 120 000 m³/år.

Fra modellgrensene 2 og 4 strømmer grunnvann fra de store nedbørsfeltene til Norddøla og Austdøla. Disse grensebetingelsene modelleres som "Constant head" på tvers av elvene i ytterkant av modellområdet. For grense 2 ligger dette nivået på ca. kote 65 og for grense 4 ca. kote 80. Grense 6 er utstrømningsområde til sjøen. Det er observert ferskvannskilder i sjøkanten.



Figur 5: De forskjellige tilsigsfeltene til modellområdet. Modellområdet er i den sentrale delen av figuren.

Vassdragene var opprinnelig preget av høye flomvannføringer under snøsmeltingen utover våren og forsommeren, men hadde lav vannføring sommerstid og vinterstid. Midlere spesifikk avrenning for Norddølas felt var på nærmere 70 l/s/km², mens det i de nedre deler av feltet er ca. 60 l/s/km². Gjennomsnittlig vannføring gjennom året var før regulering på 2,8 m³/s, mens det er 1,2 m³/s etter regulering (Soldal et al., 2001; Johnsen og Hellen, 2000).

Vannføringen er dermed redusert med omtrent 60 % siden 55 % av feltet er fraført og dette var området med størst avrenning. Størst effekt på vannføringsforholdene er fraføringen av de større innsjøene oppe i feltet til Norddøla. Disse hadde en dempende effekt på lavvannføringen i elven, og midlere 7-døgns lavvannføring er etter regulering redusert til under 10 % av det opprinnelige sommerstid og ca. 15 % vinterstid. De konkrete tallene er bereknet ut fra generelle modeller, og presentert i tabell 1, men man kan nok anta at disse lavvannføringene for Norddøla vil være noe høyere på grunn av grunnvannsmagasinenes dempende effekt ved tørke. Det foreligger ingen konkrete vannføringsmålinger i vassdraget, så det må understrekes at de presenterte tallene er bereknet ut fra de gitte forutsetningene. Reguleringen sin innvirkning på vannføringen i Austdøla er enda mer markert.

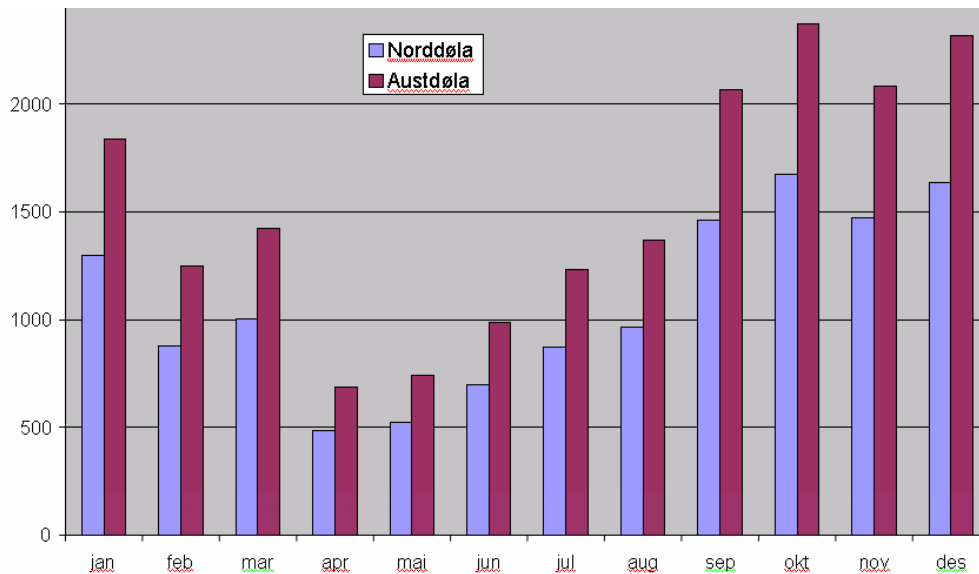
Tabell 1: Modellerte vannføringstall for Norddøla før og etter regulering (Johnsen og Hellen, 2000).

Vannføringsforhold	Norddøla før regulering	Norddøla i dag
Snittvannføring	2,80 m ³ /s	1,17 m ³ /s
Midlere 7-døgns lavvassføring sommar	1,02 m ³ /s	0,08 m ³ /s
Midlere 7-døgns lavvassføring vinter	0,36 m ³ /s	0,06 m ³ /s
Høyeste gjennomsnittlige ukesmiddel	6,87 m ³ /s	2,87 m ³ /s
Laveste gjennomsnittlige ukesmiddel	1,15 m ³ /s	0,48 m ³ /s

De to vassdragene, Norddøla og Austdøla, er sterkt regulerte, og har i dag en vannføring som i perioder er ned mot 10 % av det opprinnelige. Fraføring av de høyestliggende område og store innsjøene oppe i begge elvene har ført til at flomvannsføringene er kraftig redusert og at lavvannføringen vinterstid og på sommeren kan være særlig liten. Norddøla er i slike lavvannsperioder betydelig påvirket av tilførsler av grunnvann fra grunnvannsmagasinet innover i dalen.

Årvisst er elven Austdøla tørrlagt i nedre del, nær samløpet til Norddøla. Dette skyldes at store vannmengder infiltrerer fra Austdøla til de grove løsmassene i området. Den laveste vannføringen er målt til ca. 50 l/s i området oppstrøms elveviften langs Austdøla. Ved denne vannføringen infiltrerer alt vannet til grunnvannsmagasinet.

Som det er vist i Figur 6 er det beregnet midlere laveste avrenning i vassdragene i vår-/sommermånedene. Figuren er fremkommet ved å se på midlere nedbørsmengde for måneden og så beregne en variasjon i avrenningen rundt den midlere avrenningen for de to elvene. Evapotranspirasjonen er en viktig faktor i sommermånedene, slik at den beregnede avrenningen på ca. 500 l/s kan blir redusert ned mot minste vannføringen som er målt til ca. 50 l/s. Evapotranspirasjonen kan imidlertid ikke forklare dette alene. Det må være tørrår/lite snø i tillegg.



Figur 6: Beregnet midlere avrenning (i l/s) fra nedbørsfeltene basert på månedsdata for nedbør og midlere avrenningstall.

1.2.5. Klima

Klimadataene er hentet fra DNMI stasjonene 49870 Simadalen (nedbørsdata) og 49580 Eidfjord – Bu (temperaturdata).

Nedbør

Tabell 2 viser nedbørsnormal for perioden 1961 – 1990. Stasjonen i Simadalen ligger nærmest modellområdet i Osa, og legges derfor til grunn for beregning av nydanningen av grunnvann.

Tabell 2: Nedbørsnormal for Eidfjord

Nedbørnormaler for Eidfjord i perioden 1961 - 1990															
Nummer	Sted	h.o.h.	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	år
49630	Eidfjord	5	116	74	88	38	41	58	71	75	122	139	124	142	1088
49870	Simadal	3	134	91	104	50	54	72	90	100	151	173	152	169	1340

Temperatur

Tabell 3 viser temperaturnormalen for perioden 1961 – 1990. Det er ikke registrering av temperatur på stasjonen i Simadalen derfor brukes verdier for stasjonen i Eidfjord. Av tabellen kan en se at det faktisk er høyere årsmiddeltemperatur ved stasjonen som ligger høyest over havet.

Tabell 3: Temperaturnormal for Eidfjord

Temperaturnormaler for Eidfjord i perioden 1961 - 1990															
Nummer	Sted	h.o.h.	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	år
49630	Eidfjord	5	-2,5	-2,0	0,5	4,5	10,4	13,8	14,8	13,8	10,0	6,5	1,5	-1,5	5,8
49580	Eidfjord - Bu	165	-1,2	-1,4	1,2	4,7	10,1	13,6	14,6	13,8	10,0	6,6	2,2	0,1	6,2

Evapotranspirasjon

Evapotranspirasjon reduserer mengden vann som infiltreres i jorda og dermed grunnvannsnydannelsen.

Energitilførsel i form av stråling er den viktigste fysiske parameteren som styrer evapotranspirasjon. Derfor ble det utviklet en enkel formel som baserer seg på temperaturen. Ut fra Tamms formel⁴ kan man beregne at årlig evapotranspirasjon i Osa er ca. 390 mm. Tabell 4 viser månedlig fordampning beregnet via Thorntwaits formel (Otnes og Ræstad, 1978), og ved bruk av månedlig middeltemperatur ved Eidfjord (Tabell 4). Total fordampning er estimert til å være ca. 440 mm/år. Metoden kan imidlertid vise seg å være lite brukbar for norske forhold da beregningen bryter sammen som følge av negative månedsmiddeltemperaturer, og at daglig temperatur kan variere kraftig i løpet av en måned. I måneder med gjennomsnittlig temperatur under 0 °C settes evapotranspirasjonen til 0.

Tabell 4: Beregnet evapotranspirasjon i modellområdet i Osa ved hjelp av Thorntwaits formel.

Måned	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	SUM
Eidfjord	0	0	4	29	60	76	81	76	58	40	11	0	436
Eidfjord – Bu	0	0	9	30	58	75	80	76	58	40	15	1	444

Årlig nydanning av grunnvann

På grunnlag av nedbørsdata, årsmiddeltemperatur og evapotranspirasjon er det beregnet årlige verdier for potensialet for grunnvannsnydanning i området i Osa:

Nydanning av grunnvann = Nedbør – (Overflateavrenning + Evapotranspirasjon)

Nedbør = 1 300 mm

Overflateavrenning = ca. 20 % eller 280 mm

Evapotranspirasjon = ca. 400 mm

Nydanning av grunnvann = ca. 600 mm

⁴ $E=221,5 + 29T$, hvor T er årsmiddeltemperatur for det aktuelle området.

I følge rapporten til Rådgivende Biologer (Johnsen og Hellen, 2000) er laveste vannføring i Norddøla beregnet å finne sted i vintermånedene og i august. Dette skyldes at mye av nedbøren i vintermånedene akkumuleres som snø i høyden. Snøsmeltingen starter i april/mai og kompenserer for den reduserte tilførselen av nettonedbør. I august er effekten av snøsmeltingen over og det er fremdeles relativ liten nydanning av grunnvann. Dette stemmer godt med observerte forhold med hensyn til laveste vannføring i Norddøla og Austdøla.

1.2.6. Grunnvannsuttak i Osa

Det er etablert 5 brønner for Osa Vanneksport og to brønner for kommunal vannforsyning.

Tabell 5 viser informasjon om brønnene, plassering av brønnene er vist i figur 1 og 7. B4 ligger utenfor figuren oppstrøms ved Norddøla.

Pumpebrønner

Kornfordelingsanalysene er brukt til å dimensjonere brønner i området. Det viktigste i denne sammenheng er å finne hvor filteret må plasseres og hvor store filteråpningene må være. Filterplasseringen må være slik at man får med seg de lagene med størst vanngiverevne. Åpningene på filteret skal sørge for at mest mulig av vannet kan slippe inn gjennom filteråpningene samtidig som det hindrer at det kommer partikler med vannet.

Brønndimensjonering gir også indikasjoner på vanngiverevne i brønnene. Det avgjørende for vanngiverevnen er først og fremst hvordan sammensetningen på omkringliggende løsmasser. Andre viktige forhold er hvordan brønnene ligg i forhold til fornyingsområdet for grunnvannet. Drivkraften for å få vann inn i en brønn oppstår ved å senke vannivået i brønnen. Derfor er vanngiverevnen sterkt avhengig av hvor tykke vannførende løsmasser er. Det må også skilles mellom hvor mye vann en fysisk klarer å pumpe ut av en brønn, og hvor mye som er tilrådelig å pumpe ut.

Hvis en brønn blir for hardt belastet vil hastigheten på vannet inn gjennom filteret bli så stor at det vil føre til hard slitasje. Det er også viktig at filteret ikke blir tørrlagt fordi dette fører til at filteret blir ødelagt. Diameteren på brønnene er tilpasset de vannmengder man ønsker å ta ut. Dimensjonering og plassering av brønner inneholder vurderinger av hvordan man prinsipielt ønsker at vannuttaket skal være i forhold til oppholdstid for vannet, kvalitet på vannet og ev. andre brukerinteresser for vannet.

Tabell 5: beskrivelse av pumpebrønner

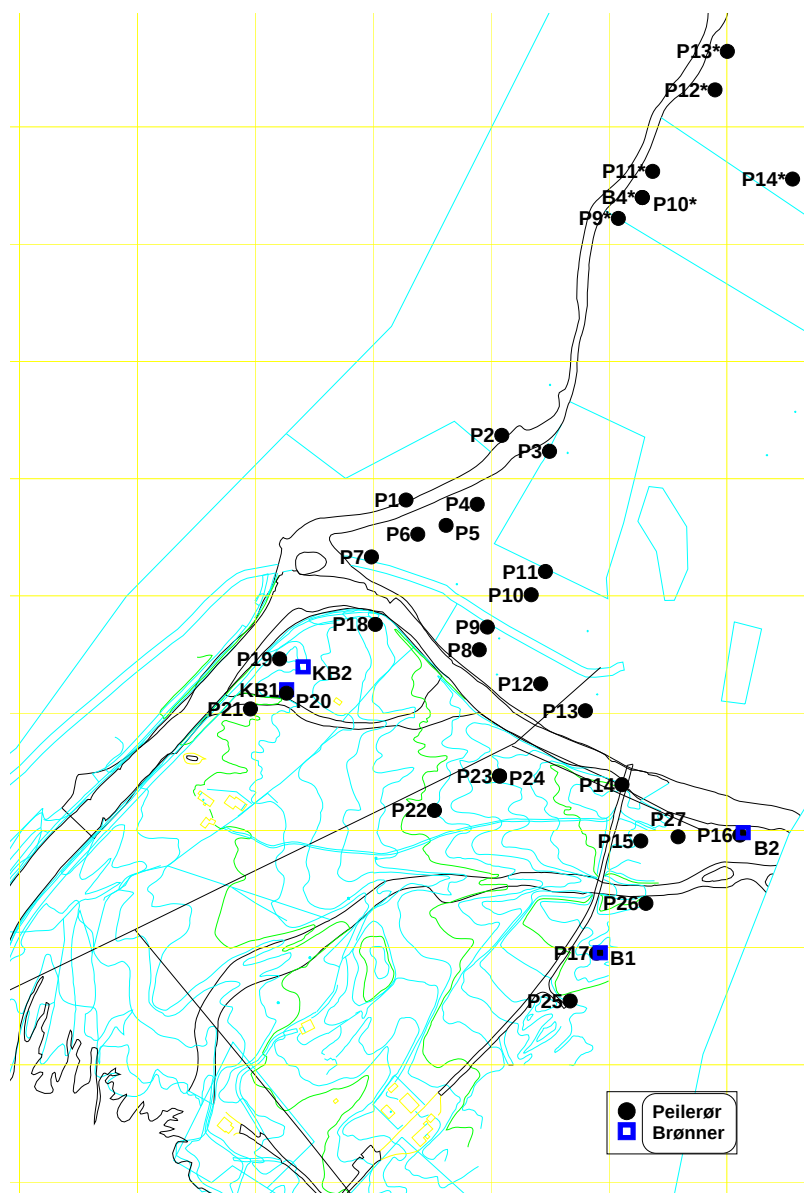
Brønn	X-koord	Y-koord	Terreng- høyde (m o.h.)	Dybde (m)	Filter- plassering (m)	Filter- diameter (mm)	Slisser (mm)
B1 (B-II-4)	53892.563	288495.633	16.5	31.0	22.95 - 30.95	263	1
B2 (B-II-3)	54013.780	288598.097	19.5	33.2	23.20 - 33.2	263	1
P4 (B5a)	53788.245	288878.167	9.4	13.5	7.5 - 12.5	263	1
P6 (B5b)	53737.834	288852.598	8.4	13.5	7.5 - 12.5	263	1
KB1	53626.697	288720.025	7.2	21.0	12.5 - 20.5	168	1
KB2	53640.537	288739.421	6.5	22.0	12.5 - 20.5	168	1
B4*	53928.274	289139.793	20.4	18.8	12.8 - 17.8	263	1

Testbrønnene til Osa Vanneksport (B4, B5a og B5b) ble boret i 2000. De kommunale brønnene (KB1 og KB2) ble etablert i 2000. Våren 2004 etablerte OVE to nye produksjonsbrønner 30,5 og 33 m dype. I figur 2 er disse brønnene kallet B-II-3 og B-II-4, henholdsvis B2 og B1.

Osa Mineralwater har etablert et uttak av grunnvann i naturlige kilder oppstrøms Hjadlane. Kildene har sitt utspring fra løsmasseviftene i fjellsiden. Kildene ligger ca. 1 m høyere og ca. 10 m fra Austdøla.

Observasjonsbrønner

Det eksisterer i alt 26 observasjonsbrønner innenfor området som berøres av modellen. Plasseringen av observasjonsbrønner i Osa er vist i Figur 7.



Figur 7: Oversikt over brønner og observasjonsrør i Osa. De blå kurvene er 1 m terrengkoter.

Tabell 6: Oversikt over observasjonsbrønner.

Obs.brønner	X-koord	Y-koord	Terrenghøyde (m o.h.)	Dybde til filter (m)
(Pr01) P5	53761.876	288860.184	9.2	6.0
(Pr02) P3	53849.572	288923.337	11.0	6.0
(Pr03) P2	53809.088	288936.911	10.2	6.0
(Pr05) P11	53796.791	288773.431	11.2	6.0
(Pr06) P7	53698.549	288833.286	9.7	6.0
(Pr07) P18	53701.861	288775.710	9.5	6.0
(Pr08) P1	53727.854	288881.776	8.9	6.0
Pr10*	53928.274	289139.793	20.4	5.5
Pr12*	53989.949	289231.650	21.6	5.5
Pr13*	54000.353	289264.465	23.2	6.0
Pr14*	54055.677	289155.529	37.4	22.9
(K1) P20	53626.489	288717.016	7.7	22.0
(K2) P19	53620.682	288746.228	6.7	13.7
(K3) P21	53595.896	288703.611	6.1	
(B-II-2) P15	53917.675	288590.509	17.4	27.4
(B-II-3) P16	54017.547	288596.385	20.3	30.3
(B-II-4) P17	53889.447	288495.231	16.6	26.6
(B-II-5) P8	53776.703	288760.84	10.6	18.6
(B-II-6) P12	53834.548	288722.646	12.8	14.8
(B-II-7) P10	53854.821	288787.113	11.9	8.9
P16	54017.527	288596.407	20.3	30.3
P23	53807.25	288646.341	13.7	13.7
P24	53807.208	288646.381	13.9	32.9
P25	53867.065	288454.518	15.1	28.1
P26	53931.348	288537.753	16.5	21.0
P27	53958.628	288594.52	19.8	26.0

I 2000 ble det i forbindelse med første undersøkelsesfasen for Osa Vanneksport og etablering av kommunens vannverk satt ned til sammen 17 observasjonsbrønner. Dette er 5/4" damprør. Disse er benevnt PrXX i Tabell 6.

I 2001 ble det gjort videre undersøkelser i nærmere rotpunktet til elvevifta fra Austdøla. Det ble da satt ned 6 peilerør benevnt B-II-x i Tabell 6. I 2004 ble det etablert 5 observasjonsbrønner (nr. 23-27 i Tabell 6). Observasjonsbrønnene 23 og 24 står like inntil hverandre. Nr. 23 er 15 m djup og står i det øverste, åpne magasinet og nr 24 er 30 m dyp og står i det lukkede magasinet. Brønnene 25-27 står alle i det delvis lukkede magasinet. Det har vært ca. 3 m forskjellig grunnvannsnivå i det åpne og det delvis lukkede magasinet så lenge målingene har pågått.

NVE etablerte i 2003 to midlertidige observasjonsbrønner for å måle vannivåer, vanntemperatur og elektrisk ledningsevne i Austdøla og Norddøla.

2. Beskrivelse av grunnvannsmagasinet

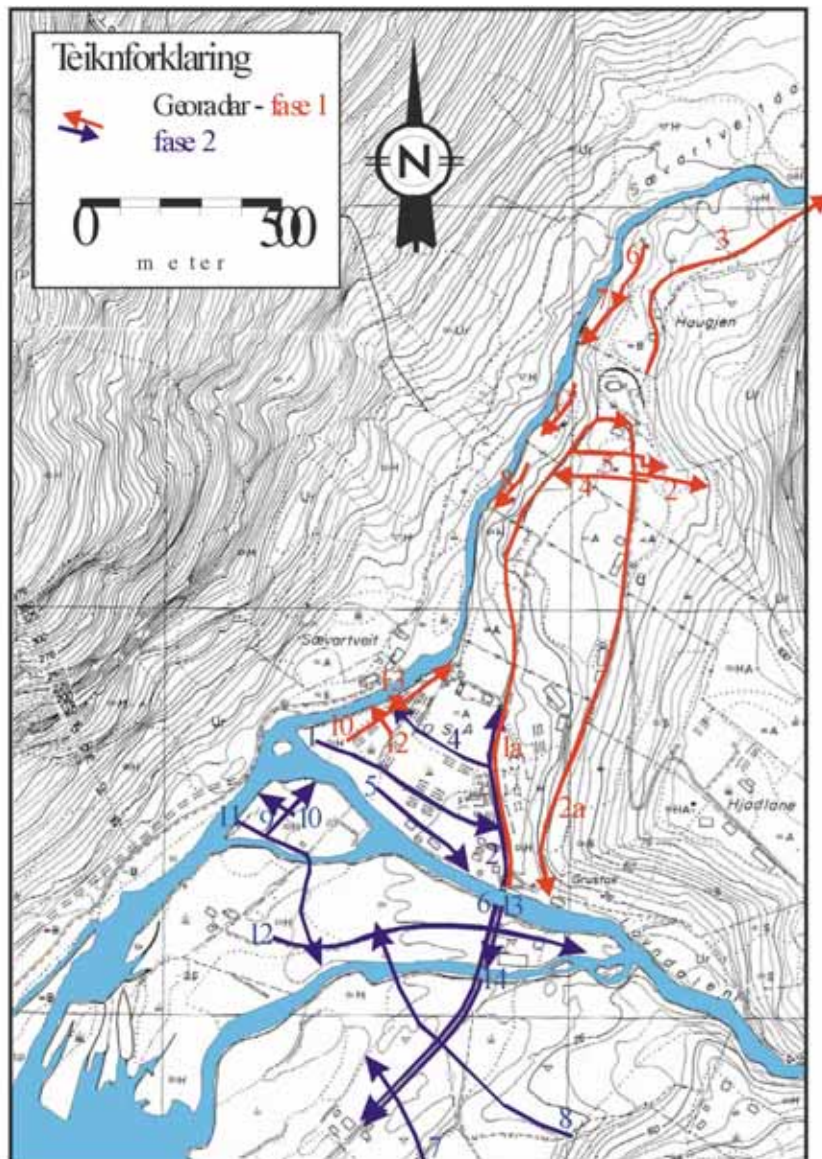
Georadarundersøkelser, sonderboringer, og kartlegging av kilder, benyttes til å avgrense bergoverflaten og løsmasseoverdekning, samt til å beskrive strukturen til grunnvannsmagasinet. Egenskapene til de ulike lagene som utgjør grunnvannsmagasinet estimeres ut fra analyser av kornfordeling og pumpetester. Samspill mellom grunnvann og elvevann karakteriseres gjennom analysen av faseforskyvning, strømningsforhold, og sesongsvariasjoner av grunnvannsnivåer, vanntemperatur og elektriske ledningsevne.

2.1. Struktur til grunnvannsmagasinet

2.1.1. Georadarmålinger

Georadarmålinger ble utført i to faser. I fase 1 ble området fra Austdøla og opp langs Norddøla undersøkt. I fase 2 ble området fra Austdøla sitt utløp i hoveddalen og ned til kommunebraønnene undersøkt. Georadarmålinger baserer seg på utsending og mottak av elektromagnetiske signal. Prinsipper med metoden og bearbeidelse av data er beskrevet i Colleuille et al. (2004a). I alt er det målt 27 profiler (Figur 8).

Georadarprofilene ble brukt for å finne de beste stedene for å gjennomføre undersøkingsboringer. Sammen med graving og boring ble dette grunnlaget for en geologisk modell over området. Senere undersøkinger har komplettert disse tidlige undersøkningene.



Figur 8: Plassering av georadarprofil i Osa.

På nordsiden av Austdøla er det et karakteristisk trekk at mye av signalene er borte. Det samme finner man igjen i området ved de kommunale brønnene. Normalt skulle grovkornede vannførende masser gi gode signal. Derfor er dette svært uvanlige målinger i slike områder. Den eneste forklaringen er at det må være forhold overflatenært i massene som adsorberer signalet (som for eksempel sterk mineralisering i jorden og humuslag).

På sørsiden av Austdøla finner man igjen de samme forholdene i enkelte område. Men her er det også en del sterkere reflektorer dypt i massene. Den viktigste informasjonen er at de øvre

vannførende løsmassene kiler ut mot sørøst. Det ser ut til å være en relativt tynn vannmettet sone over tettere masser. I de tette massene ser det ut til å være foretrukne veier som kan føre mye vann.

2.1.2. Undersøkningsboringer langs Norddøla

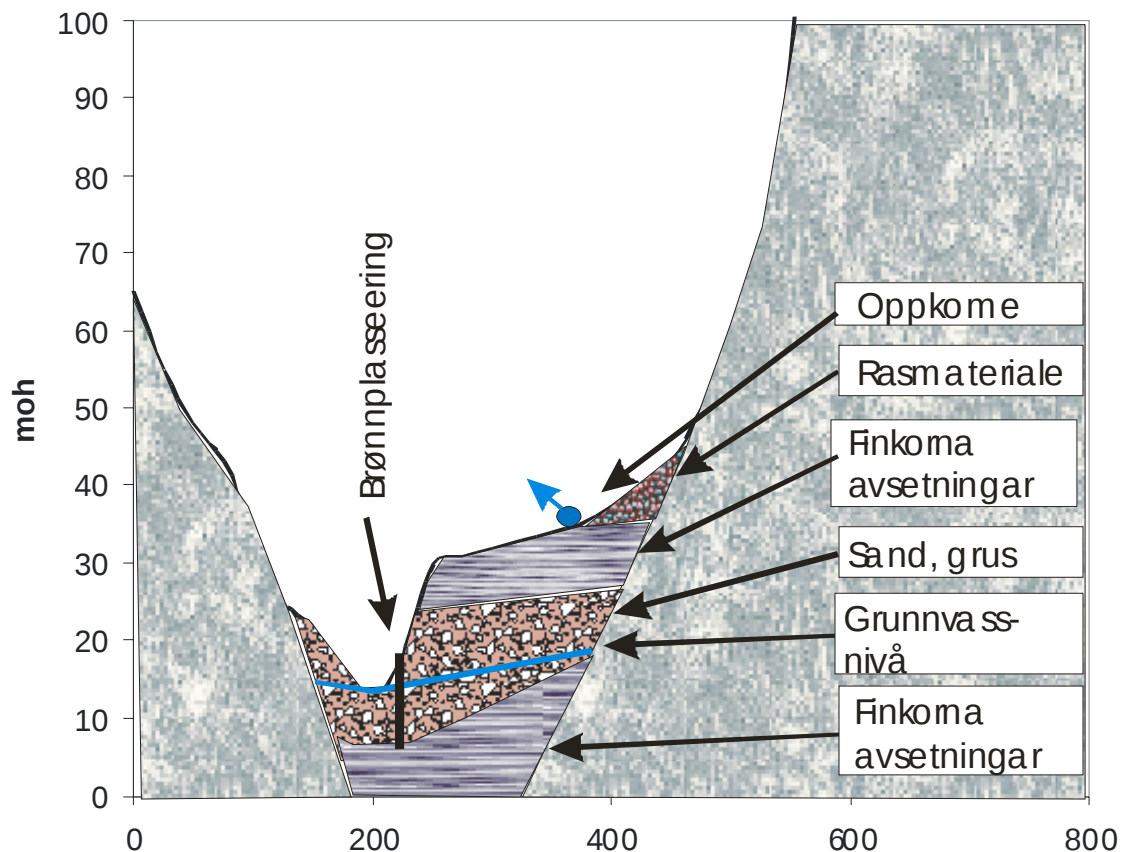
I første fase ble det boret på 6 ulike steder i området (Figur 3). Det er etablert to prøvebrønner i borepunkt 5 (5a og 5b i Figur 1) og en brønn i borepunkt 4. I tillegg er det satt ned 10 peilebrønner for å måle grunnvannsnivå. Resultatene av boringene viser at i nordøstre deler av det undersøkte området er grunnforholdene preget av en tredelt lagdeling. Øverst ligger det opptil 9 meter med relativt finkornede/tette masser. Under dette laget ligger det i størrelsesorden 10 m med sand og grus. Under sand/gruslaget er det igjen mer finkornede/tette løssmasser.

Boring 2 og 6 viser at sand/gruslaget har god vanngjennomgang, og dette fører til at grunnvannet står dypt. I boring 2 ligger grunnvannet på ca. 13 m dyp. Dette er i grensen til det underliggende finkornede laget. Det er derfor ikke mulig å ta interessante vannmengder ut av dette området.

Ved Solskinstjørna er det ca. 20 m ned til grunnvannet i gruslaget. Det er bare 4 m med sand/grus ned til underliggende tette masser. Derfor er det også i dette området mindre gode forhold for uttak store vannmengder.

I borepunkt 4 og 5 er det påvist sand ned til ca. 20 m dyp. Under boringen ble det registrert en god vanngjennomgang i borepunktene 4 og 5. I boring 1 og 2 ble det registrert brukbar vanngjennomgang, men merkbart mindre enn i områdene litt lenger ned i dalen. I tillegg er det grunnere ned til tette masser i borepunkt 1 og 2 enn i 4 og 5.

En oppsummering av innsamlede opplysninger vedr. lagoppbyggingen i Sævartveitdalen er vist i Figur 9. Som det fremgår av figuren er det i Norddalen en markant tredeling av løsmassene. Mange av kildene oppover langs Norddøla kommer ut fra fjellet og renner over det finkornede laget som ligg øverst i lagrekken. Derfor er det tørr sand og grus under dette laget selv i områder med kilder. Uttapping av grunnvann i magasin som ligg under dette tette laget synes ikke å stå i kontakt med det grunnvannsmagasinet som drenerer til kildene.



Figur 9: Generell lagdeling av løsmassene langs Norddøla. Viser plassering av brønn B4.

2.1.3. Undersøkbingsboringer langs Austdøla

I andre fase av boringene ble det boret 7 borepunkt (1-II til 7_ii i Figur 3). Disse borepunktene ble valgt basert på georadarundersøkingen og en generell kartlegging av området. Boringen var tildels preget av store problem med grovt blokkmateriale i overflaten I borepunkt 1-II måtte boringen avsluttes på 7 m dyp på grunn av stor stein som kilte boresystemet. I nærheten av dette borepunktet ligger brønnen til Torleiv Brattli som har gode vannførende masser fra 18 m dyp til minst 23 m.

I borepunktene 2-II, 3-II og 4-II (fase 2) like ved broen over Austdøla er det påvist gode forhold for uttak fra 18 til 39 m dyp. Denne informasjonen er basert på boringer i 2004, fra loggene (2001) og fra andre nabobrønner. For Austdølaområdet (B-1-II til B-4-II) er det en delvis lukket akvifer med følgende tolkning:

- Øvre akvifer 0-9 m dyp i borepunkt:

- Tett lag: 9-18 m
- Topp Nedre akvifer: 18 m

Antatt beliggenhet til toppen av øvre akvifer (18 m under terreng) er i stor grad basert på muntlig informasjon fra brønnborene.

- Bunn på nedre akvifer i brønn:

- 1-II: 39 m
- 2-II: 39 m
- 3-II: 39 m
- 4-II: 32 m

Langs Austdøla nedover mot Norddøla er det boret tre punkt, boring 5-II, 6-II og 7-II.

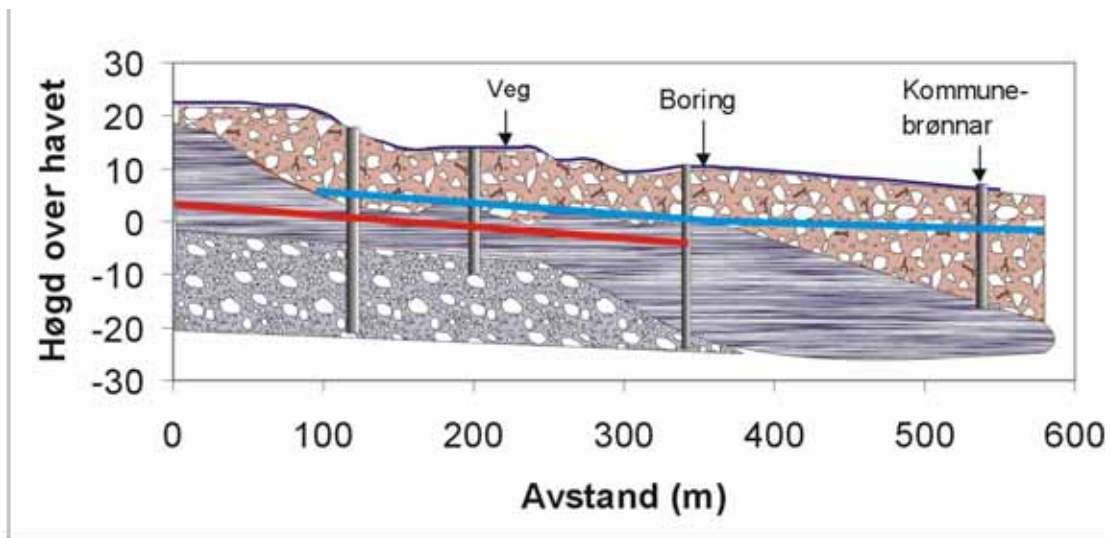
Det var stor vannføring i massene fra 5 til 17 m dyp, men også videre ned til 24 m dyp var det brukbar vanngjennomgang. I boring 6-II var det mindre vann enn i boring 5-II men likevel fullt brukbart ned til i alle fall 14 m dyp. I boring 7-II var massene mindre egnet til store uttak.

Tolkningen for dette området blir derfor at i området ved brønn 5-II, 6-II og 7-II er det bare en øvre åpne akvifer:

- Brønn 5-II: 0-17 m, en akvifer med lavere hydraulisk ledningsevne ned til 24 m
- Brønn 6-II: 0-14 m
- Brønn 7-II: 0-7 m

En prinsippskisse av løsmassegeologien langs Austdøla er vist i Figur 10 og på tvers av Austdøla er vist i Figur 11.

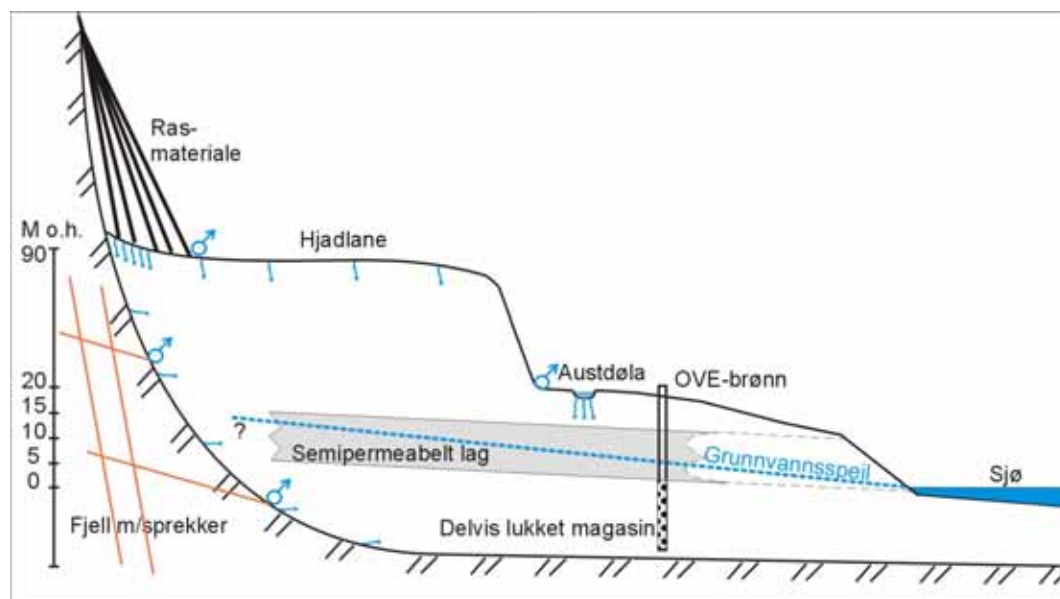
Boringene lengst opp langs Austdøla viser løsmasser som hovedsaklig består av gneisbergarter. Dette er et godt tegn på vannkvalitet med lavt ioneinnhold i dette området. Lenger mot Austdøla finner man disse bergartene igjen øverst i boreprofilene. Lenger nede i grunnen er det overgang til fylittiske bergarter, dette vil trolig føre til noe høyere mineralinnhold i grunnvannet.



Teiknforklaring

-  Sand og grus, dels med fylitt (fluvialt materiale)
-  Sand/finsand/silt
-  Sand og grus, gneisbergarter (glasifluvialt materiale)
-  Brønnar/undersøkingaboringar
-  Grunnvassnivå øvre magasin
-  Grunnvassnivå i lukka magasin

Figur 10: Generalisert skisse av lagoppbygningen langs Austdøla fra øst mot vest. Kommunebrønnene ligger i et åpent magasin, mens Osa Vanneksport sine brønner i området ligger i et delvis lukket magasin.



Figur 11: Generalisert skisse av lagoppbygning fra Hjadlane mot sjøen. Som i figur 10 snakker en om et åpent og et delvis lukket grunnvannsmagasin.

2.2 Egenskaper til grunnvannsmagasinet

2.2.1 Egenskaper basert på kornfordelingsanalyser

Det er samlet inn et betydelig antall masseprøver som det er utført kornfordelingsanalyser på. I området som er preget av elveviften fra Austdøla har det imidlertid vist seg å være vanskelig å få frem helt pålitelige prøver. Dette skyldes at massene er relativt grove (sand og grus), men i et lag fra ca. 8 m til 18 m dyp er det en del silt. Det er en fare for at denne finfraksjonen har blitt vasket vekk med vannet under borearbeidet og prøvetakingen. Det er derfor viktig å ikke tolke kornfordelingsanalysene isolert, men også bruke observasjoner under boringen mht. mengde vann som pumpes opp.

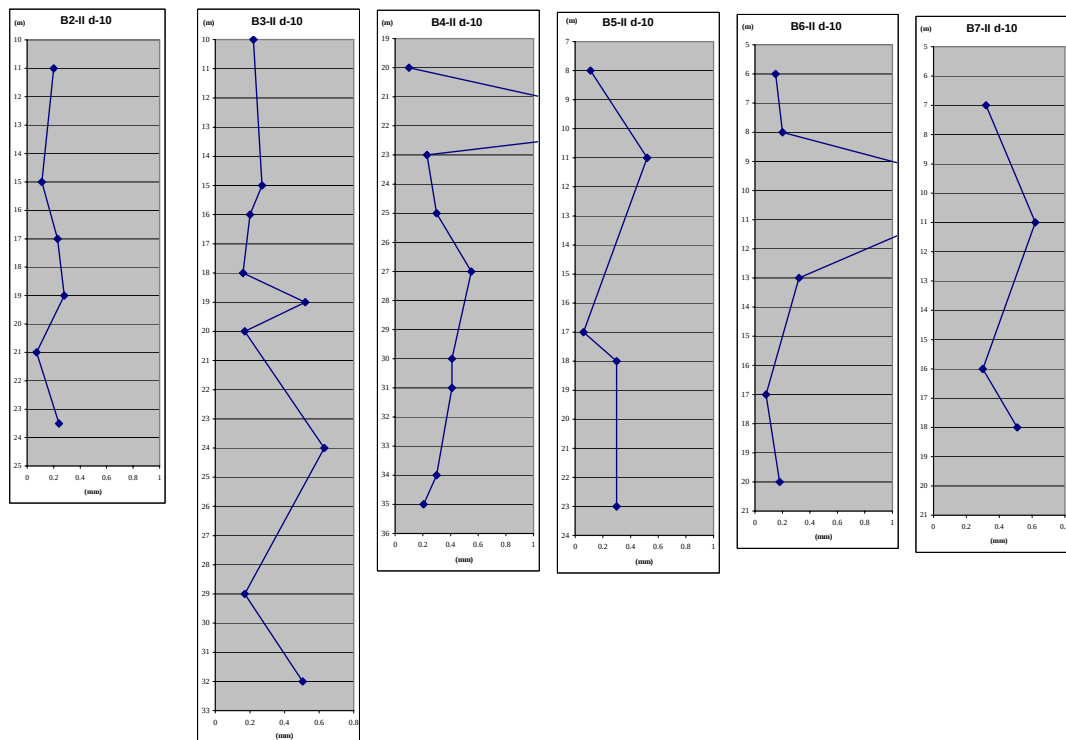
Erfaringene fra boringene i 2004 viser at ca. 18 m under terreng minsker finstoffinnholdet i massene og det er en betydelig økning i vanngjennomgangen. Som det fremgår av Tabell og Figur 12 er det vanskelig å finne igjen i analyseresultatene denne overgangen rundt 18 m dyp i borepunkt 1-II, 2-II, 3-II og 4-II. I borepunkt 5-II, 6-II og 7-II er det bare en øvre akvifer med mindre innhold av finere partikler.

Tabell 7. Resultater fra kornfordelingsanalyser.

Prøvepunkt	Dyp	d10	d60	d_{60}/d_{10} ⁵	Porøsitet	K-verdi (m/s) ⁶
B2-II	11	0.20	1.20	6.0	0.20	5.06E-04
B2-II	15	0.11	0.59	5.4	0.21	1.62E-04
B2-II	17	0.23	2.20	9.6	0.17	5.19E-04
B2-II	19	0.28	1.10	3.9	0.24	1.19E-03
B2-II	21	0.07	0.52	7.4	0.18	5.55E-05
B2-II	23.5	0.24	4.70	19.6	0.13	3.64E-04
B3-II	10	0.22	2.00	9.1	0.17	4.89E-04
B3-II	15	0.27	2.40	8.9	0.17	7.46E-04
B3-II	16	0.20	0.90	4.5	0.22	5.76E-04
B3-II	18	0.16	1.60	10.0	0.17	2.45E-04
B3-II	19	0.52	2.70	5.2	0.21	3.67E-03
B3-II	20	0.17	0.80	4.7	0.22	4.09E-04
B3-II	24	0.63	3.70	5.9	0.20	5.08E-03
B3-II	29	0.17	1.15	6.8	0.19	3.44E-04
B3-II	32	0.51	1.70	3.4	0.25	4.05E-03
B4-II	20	0.10	0.95	9.5	0.17	9.85E-05
B4-II	22	2.00	9.00	4.5	0.22	5.76E-02
B4-II	23	0.23	1.90	8.3	0.18	5.65E-04
B4-II	25	0.30	1.80	6.0	0.20	1.14E-03
B4-II	27	0.55	4.60	8.4	0.18	3.21E-03
B4-II	30	0.41	2.70	6.6	0.19	2.03E-03
B4-II	31	0.41	3.60	8.8	0.17	1.73E-03
B4-II	34	0.30	1.40	4.7	0.22	1.28E-03
B4-II	35	0.21	0.80	3.9	0.24	6.38E-04
B5-II	8	0.11	2.50	22.7	0.13	6.95E-05
B5-II	11	0.52	4.00	7.7	0.18	3.00E-03
B5-II	17	0.06	3.20	53.3	0.10	1.21E-05
B5-II	18	0.30	2.70	9.0	0.17	9.15E-04
B5-II	23	0.30	2.00	6.7	0.19	1.08E-03
B6-II	6	0.15	5.50	36.7	0.11	9.56E-05
B6-II	8	0.20	5.60	28.0	0.12	2.01E-04
B6-II	10	1.80	9.00	5.0	0.22	4.47E-02
B6-II	13	0.32	3.70	11.6	0.16	8.97E-04
B6-II	17	0.08	0.25	3.1	0.26	1.04E-04
B6-II	20	0.18	2.00	11.1	0.16	2.91E-04
B7-II	7	0.32	2.70	8.4	0.18	1.08E-03
B7-II	11	0.62	3.20	5.2	0.21	5.22E-03
B7-II	16	0.30	2.60	8.7	0.17	9.35E-04
B7-II	18	0.51	2.40	4.7	0.22	3.68E-03

⁵ Forholdet mellom d_{60}/d_{10} beskrevet i Colleuille et al. 2004b.

⁶ K-verdi eller hydraulisk konduktivitet er beregnet etter metoden til Gustavson (Anderson et al., 1984).



Figur 12: Kornfordelingsanalyser av prøver fra borehull B2-II – B7-II. Vist ved bruk av d_{10} -verdien⁷ som funksjon av dyp i ulike brønner.

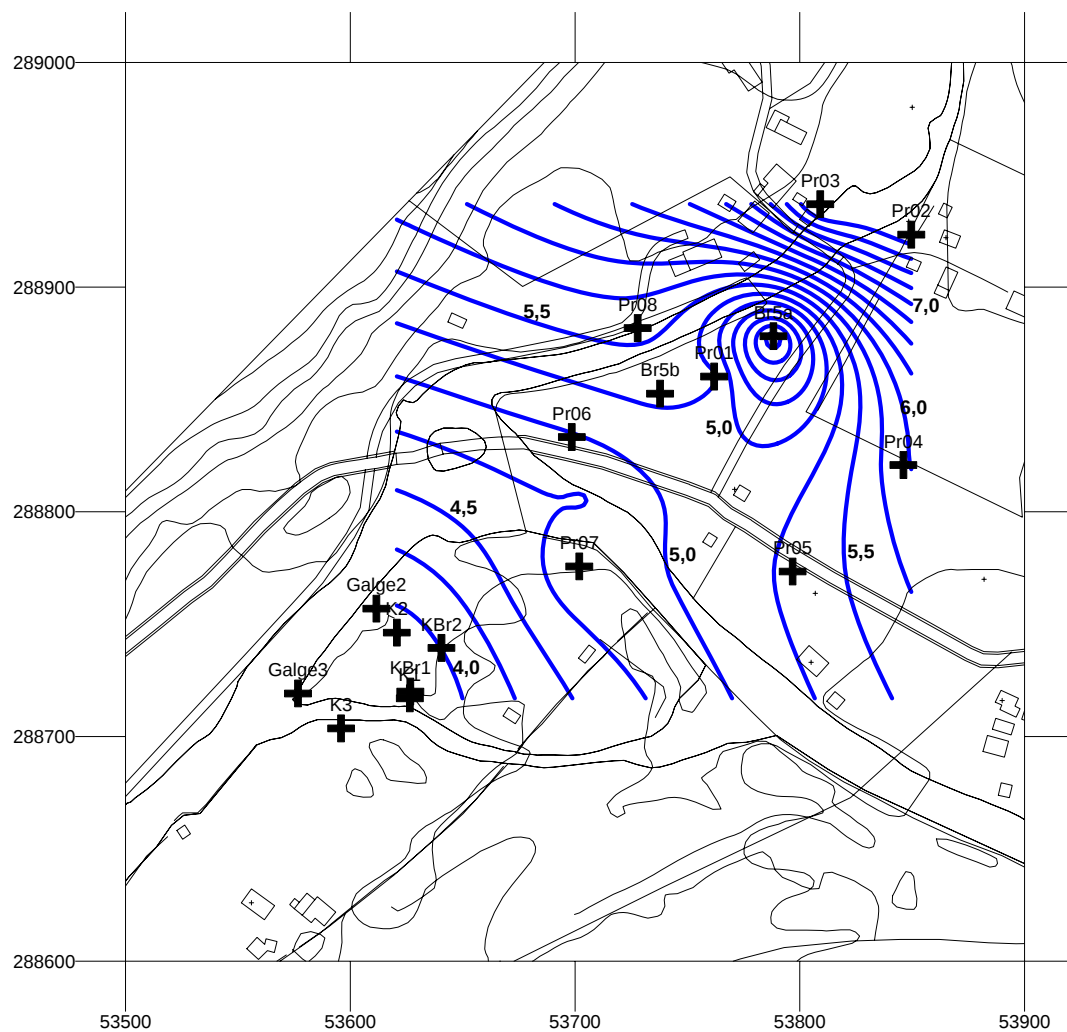
2.2.2. Egenskaper basert på prøvepumping

Brønn 4 er testet med maksimal kapasitet som er ca. 14 l/s. Brønn 5a og 5b har ikke blitt testet med maksimal kapasitet pga. tilgjengelig pumpekapasitet. For disse brønnene er det gjennomført beregninger basert på kornfordelingsanalyser og pumpetester. Samlet kapasitet er ca. 60 l/s av disse brønnene.

De kommunale brønnene er testet med et uttak på 12 l/s som bare gav en lokal avsenkning på ca. 10 cm ved brønnpunktet. Dette viser at området har betydelig større kapasitet enn 12 l/s.

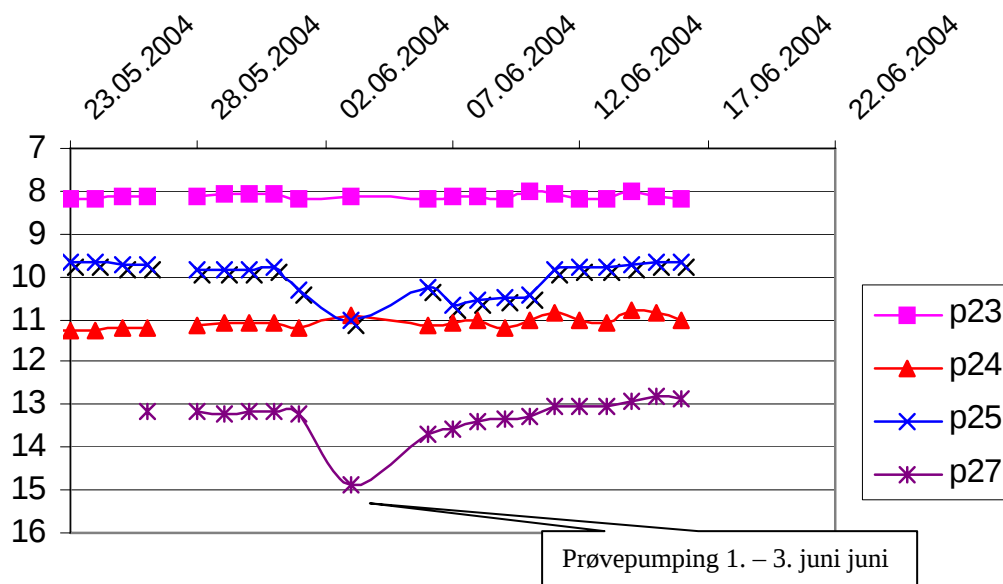
Brønnene til OVE (brønn B5a og B5b) viser at influensområdet til disse brønnene er i områdene nord-nordøst for brønnene, langs Norddøla. Influensområdet til de kommunale brønnene er knyttet til området mellom Austdøla og brønnene. I praksis vil dette bety at de kommunale brønnene og OVE sine brønner er uavhengig av hverandre. Dette er også vist i figur 13 som viser et modellert grunnvasskote kart etter 16 dagers pumping (Soldal et al., 2001).

⁷ d_{10} -verdien angir kornstørrelsen i prøven når 10 % av de fineste partiklene er siktet fra. Lav verdi for d_{10} tyder på hydrauliske konduktiviteten i løsmasser.



Figur 13: Kotekart som viser modellert grunnvannshøyder i Osa under pumping i 2000. Koter viser tilstand etter 16 døgn pumping (Soldal et al., 2001). Ekvidistanse er 0,25 m.

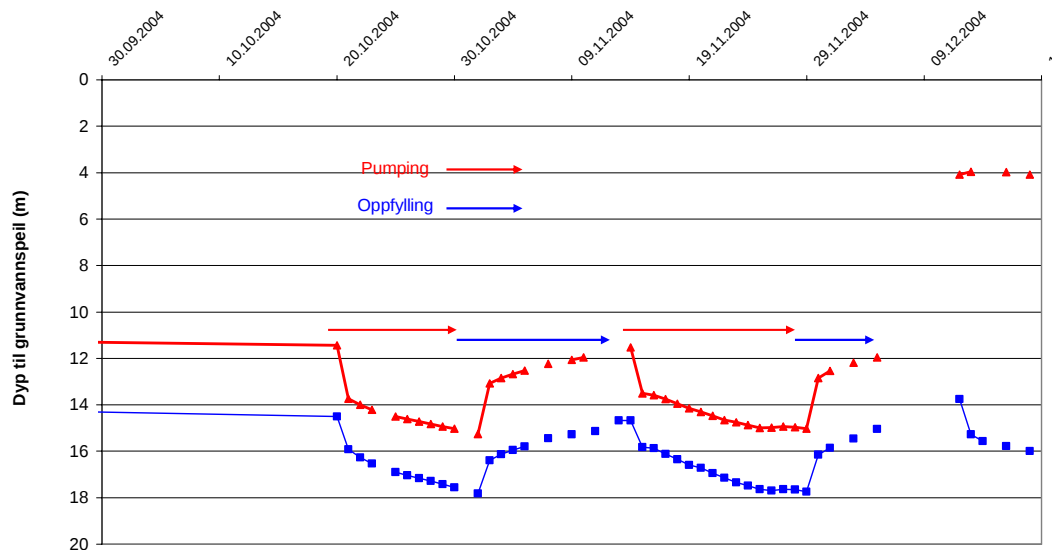
Det er gjennomført trinnvis pumpeforsøk av de nye brønnene i det lukkede magasinet for å finne hydrauliske/tekniske egenskaper til brønnene. I tillegg er det gjennomført en samlet pumpeforsøk av brønnene. Ved uttak av 27 l/s i brønn B2 og 40 l/s i brønn B1 i tre døgn oppnådde man en senking av grunnvannsnivå på 3,6 m i P16 og 4,35 m i P17. Etter utpumping av 18.000 m³ vann ble pumpingen stanset. Det ble ikke registrert påvirkning av grunnvannsnivåene i brønnene 23 og 24, dette viser at pumpeforsøket ikke påvirker det kommunale anlegget. Det ble heller ikke registrert kvalitetsendringer i vannkvaliteten. I figur 14 er det vist registreringer av grunnvannsnivå i en periode 23. mai til 22. juni 2004. Pumpingen startet 1. juni og stoppet 3. juni.



Figur 14: Måleserie av grunnvannsnivå i enkelte målepunkt i Osa høsten 2004.

Grunnvannsnivået stiger raskt etter stopp av pumpeforsøket. Det lukkede grunnvannsmagasinet fyller seg dermed raskt opp igjen. Innmatingen til dette magasinet skjer trolig hovedsaklig fra Austdøla, og dette vatnet drenerer ut i undersjøiske kilder i Osafjorden. Det er betydelig trykkforskjell i grunnvannsnivå i de to ulike grunnvannsmagasinen. Det er derfor ulik innmating til de ulike magasinene.

Høsten 2004 ble det gjennomført nye prøvepumperinger av de to brønnene (B1 og B2) i det delvis lukkede magasinet på Austdølas vifte. Pumpetesten bestod i trinnvis pumping og prøvetaking av vann. De viktigste tingene å få klarlagt er hvordan magasinet påvirkes av større grunnvannsuttak og hvor fort det fylles opp igjen etter pumpestopp. Figur 15 illustrerer dette forholdet ved et grunnvannsuttak på ca. 80 l/s.



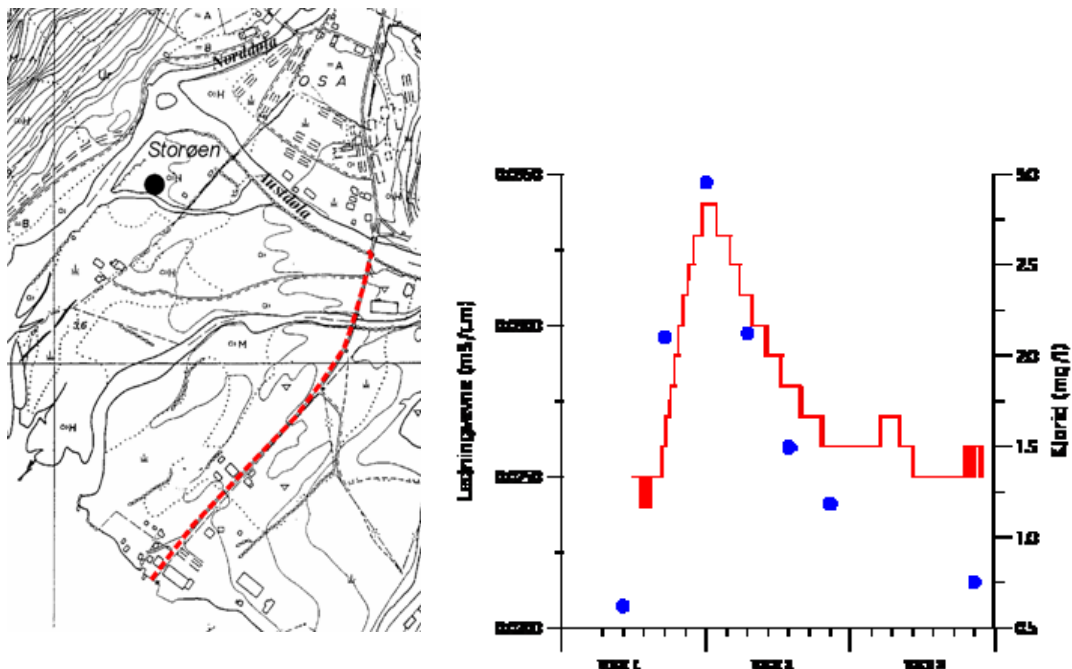
Figur 15: Pumping og oppfylling av grunnvannsnivået i prøvebrønn B1 og B2.

Figur 15 viser at i den andre pumpeperioden så oppnås det en likevekt mellom uttak og tilførsel av grunnvann. Resultatene viser også at grunnvannsmagasinet fylles relativt raskt opp igjen når en stopper pumpingen.

Hydraulisk parametere

På grunnlag av prøvepumping er det beregnet verdier for hydraulisk konduktivitet i flere brønnpunkter. Beregningene i brønn B5a (nå P4) og B4* i Sævartveitdalen er basert på pumpeforsøk i perioden 2. – 16. okt. 2000 med et uttak på 20 l/s i B5b og 10 l/s i B4*. Beregnede verdier for B2/P16 er basert på verdier fra pumpeforsøk utført i perioden 20. okt. – 1. nov. 2004 med et uttak på 30 l/s. Den høye verdien som er beregnet for effektiv porøsitet i punkt P16 viser at det ikke kan være et lukket magasin i tradisjonell forstand. Det er snarere snakk om et grunnvannsmagasin som ligger under et semipermeabelt lag. Grunnvannsmagasinet har stor transportkapasitet for grunnvann, og mates fra fjellsidene, Hjadlane og Austdøla. Avrenning fra det underliggende magasinet skjer via undersjøiske kilder langs fjordkanten. Dette er illustrert i tverrprofil i figur 11.

Ved vannverket ble det i 2000 gjennomført pumpeforsøk med et uttak på 12 l/s. I løpet av 2 minutter ble det registrert en avsenkning på 5 cm. Etter dette ble det ikke registrert noen endringer utover de generelle variasjonene i grunnvannsspeilet, styrt av elvevannsstanden. Den beskjedne avsenkningen viser at det er høy hydraulisk konduktivitet i området ved kommunens grunnvannsbrønner. Dette er også vist i saltvannsforsøk, som viser en responstid på ca. 4 dager fra saltvannet pumpes ut i Austdøla ved broa, ca. 300 m oppstrøms brønnområdet. En graf som viser dette forholdet er vist i Figur 16 (Dagestad, 2000).



Figur 16: Saltvannsforsøk utført i Austdøla av NGU v/Dagestad. Kartet viser at saltvannet pumpes fra fjorden og slippes ut i elva ved broa. Grafen viser responstiden fra utslipp i elva til registrering i den kommunal brønnen. Blå prikker viser innhold av klorid i vannprøvene (Dagestad, 2000).

Dersom en beregner at infiltrasjonen til grunnvann skjer ved den uttørkede elvekanalen som passerer vannverket blir dette en transportavstand i grunnvannet på ca. 150 m. Fra infiltrasjonspunktet til vannverket er det en forskjell i grunnvannssstanden på ca. 5 m. Dette gir en grunnvannsgradient på ca. 0,03. v_{eff} ⁸ beregnes fra målte data, 150 m transport på 4 dager, som gir en hastighet på ca. $4,3 \cdot 10^{-4}$ m/s eller ca. 40 m/dag. Hydraulisk konduktivitet i massene kan da beregnes på grunnlag av formelen:

⁸ v_{eff} = effektiv grunnvannshastighet eller reell strømningshastighet i porer.

$$v_{\text{eff}} = (K * i) / n_{\text{eff}}^9$$

$$4,3 \cdot 10^{-4} \text{ m/s} = (K \text{ m/s} * 0,03) / 0,3$$

$$K = 4,3 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

Det beregnes altså en hydraulisk ledningsevne (K-verdi) ved vannverket på $4,3 \cdot 10^{-3}$ m/s, som er omtrent det samme som verdien beregnet ut fra pumpeforsøket, $7,6 \cdot 10^{-3}$ m/s. Verdier beregnet på grunnlag av pumpeforsøk er vist i 8a. En gjennomsnittsverdi for vannverksområdet vil være ca. $6 \cdot 10^{-3}$ m/s.

Tabell 8a: Verdier for hydraulisk ledningsevne basert på pumpeforsøk

		B5b	B4*	B2/P16	K1/P20
Hydraulisk ledningsevne	m/s	$8.9 \cdot 10^{-4}$	$1.4 \cdot 10^{-4}$	$2.2 \cdot 10^{-4}$	$7,6 \cdot 10^{-3}$
Effektiv porøsitet	%	25	24	38 ¹⁰	30

På grunnlag av kornfordelingsanalyser, feltobservasjoner og pumpeforsøk er det foreslått følgende verdier for hydraulisk konduktivitet i de forskjellige modellagene (Tabell 7b).

Tabell 7b: K-verdier til bruk i modellen.

Lag	Norddøla		Austdøla		
	m/s	m/s	m/s	m/s	m/s
	P4	P6	B1	B2/P16	K1/P20
1	$1 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-3}$
2	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-7}$
3			$5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$	

⁹ n_{eff} = effektiv porøsitet, dvs. den % -vise delen av massene som kan lede vann. Beregnet fra kornfordelingsanalyser ved bruk av metoden beskrevet i Langguth og Voigt (1980).

¹⁰ Storativitet er beregnet til 5,7. Med et delvis lukket grunnvannsmagasin og akvifertykkelse på 15 m beregnes effektiv porøsitet til ca. 38 %.

2.3 Samspill mellom Norddøla/Austdøla og grunnvann

2.3.1 Vannstandsdata fra 1975 – 83

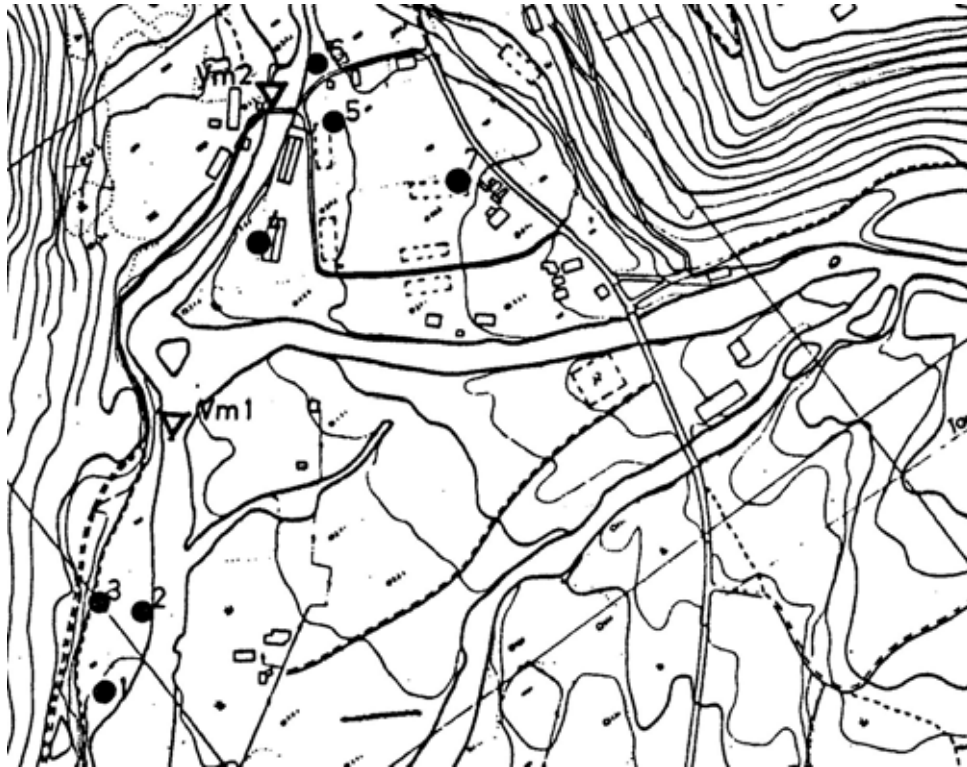
I forbindelse med reguleringen av nedslagsfeltene til Norddøla og Austdøla ble det i perioden 1975 til 1983 registrert grunnvannsstand og elvevannsstand rundt samløpet til Austdøla og Norddøla (Renshuløkken, 1985). Reguleringen ble gjennomført i 1979 slik at det finnes data for perioden både før og etter regulering. Figur 17 viser plassering av vannmerke og peilerør.

Før reguleringen var rør 7 og de andre peilerørene godt korrelert med både vannmerke VM1 og VM2 (ca. $R^2 = 0,9$). Etter reguleringen er rør 7 dårlig korrelert med begge vannmerkene (ca. $R^2 = 0,55$). Samvariasjonen mellom rør 7 og VM1 før og etter regulering er vist i Figur 18. Dette viser at området ved rør 7 er mindre påvirket av infiltrert elvevann etter reguleringen. Høyeste registrerte nivå i rør 7 var før reguleringen -3,47 m mens den etter reguleringen var -3,90 m. Den generelle grunnvannsstanden i området ved rør 7 sank altså med ca. 43 cm på grunn av reguleringen. Laveste registrerte grunnvannsstand er nesten ikke påvirket av reguleringen. Etter reguleringen er den midlere variasjonen mellom høyeste og laveste grunnvannsstand kun 0,25 m (1 m før regulering).

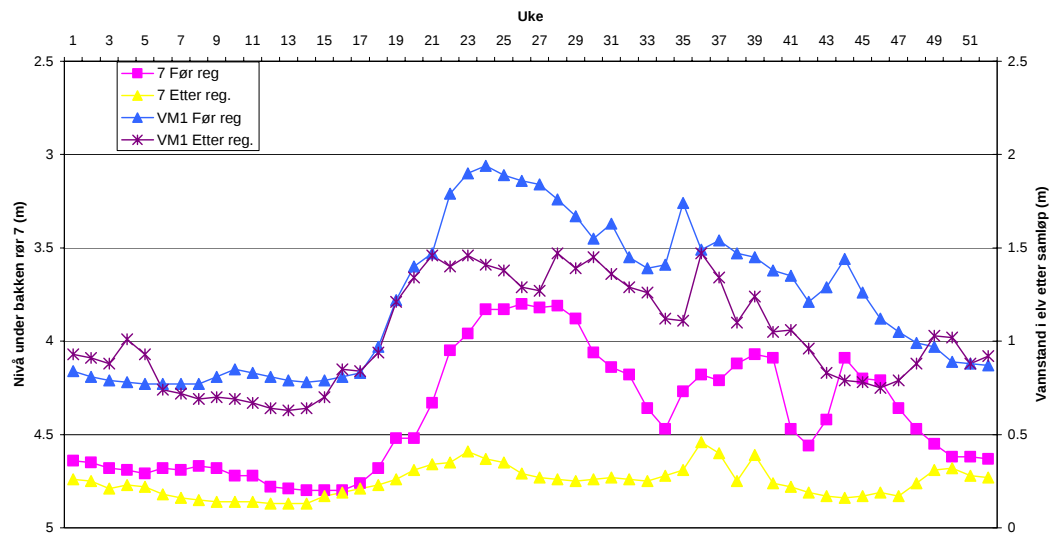
Etter reguleringen er også rør 4 og rør 5 dårlig korrelert med vannmerkene, men ikke så markant påvirket som rør 7 (ca. $R^2 = 0,7$). Det er dermed en gradvis overgang i påvirkningsavhengighet av avstand til elvene. Høyeste registrerte nivå i rør 4 og rør 5 før reguleringen var henholdsvis -1,19 m og -1,07 m mens den etter reguleringen nivåene henholdsvis -1,56 m og -1,19 m. Den generelle grunnvannsstanden i området ved rør 4 og rør 5 sank altså med henholdsvis ca. 37 cm og 12 cm på grunn av reguleringen. Laveste registrerte grunnvannsstand er nesten ikke påvirket av reguleringen i rør 5 mens den er ca. 16 cm lavere i rør 4. Etter reguleringen er den midlere variasjonen mellom høyeste og laveste grunnvannsstand 88 cm i rør 4 og 80 cm i rør 5.

For de andre peilerørene er det god korrelasjon med elvevannsstand både før og etter reguleringen. Etter reguleringen er den midlere variasjonen mellom høyeste og laveste grunnvannsstand 83 cm i rør 1, 77 cm i rør 2, 98 cm i rør 3 og 46 cm i rør 6.

Undersøkelsen konkluderer med at samtlige grunnvannsrør i området er påvirket av reguleringen. Det er rimelig å tro at nedbør og tilsig fra dalsidene virker noe inn på grunnvannsstanden i det aktuelle området. Effekten av disse faktorene øker med avstanden fra elva. En må videre anta at grunnvannsstanden i observasjonsområdet er hovedsakelig dominert av elvevannsstanden.



Figur 17: Observasjonspunkter i Osa kartleggingen 1975 – 1983 (Renshuløkken, 1985).



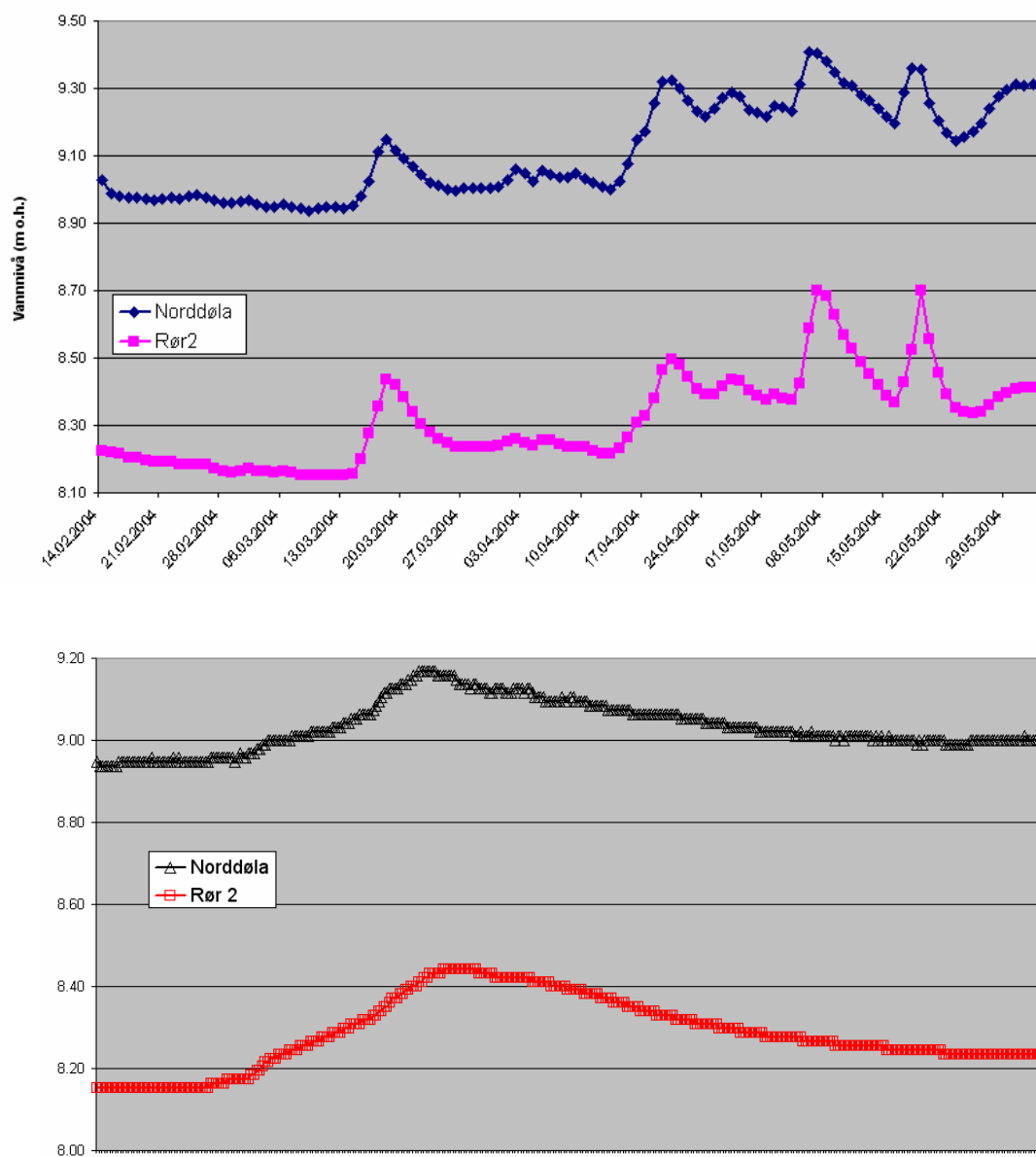
Figur 18: Sammenligning av midlere verdier for vannstand i rør 7 og vannmerke VM1. Før regulering: 1975-1979; etter regulering: 1979-1983.

2.3.2 Vannstandsdata fra 2003 – 2004

Fra 1. juli 2003 og frem til september 2004 har det blitt gjort automatiske nivåregistreringer i grunnvannsstand og elvevannstand i Austdøla og Norddøla av NVE. Resultatene viser at grunnvannsstanden i Norddøla, Austdøla og det delvis lukkede grunnvannsmagasinet ved Austdøla stort sett følger i takt med variasjonen i elvevannstanden. Som det fremgår av Figur 19 og Figur 21 ligger imidlertid grunnvannsstanden lavere enn elvevannsstanden både i Austdøla og i Norddøla. Forskjellen mellom elvevannsstanden og grunnvannsstanden er ca. 40 cm ved målestasjonen i Norddøla og opptil flere meter mellom elvevannsstanden i Austdøla og det delvis lukkede magasinet ved observasjonsrør P27.

Vannstandsdata for Norddøla

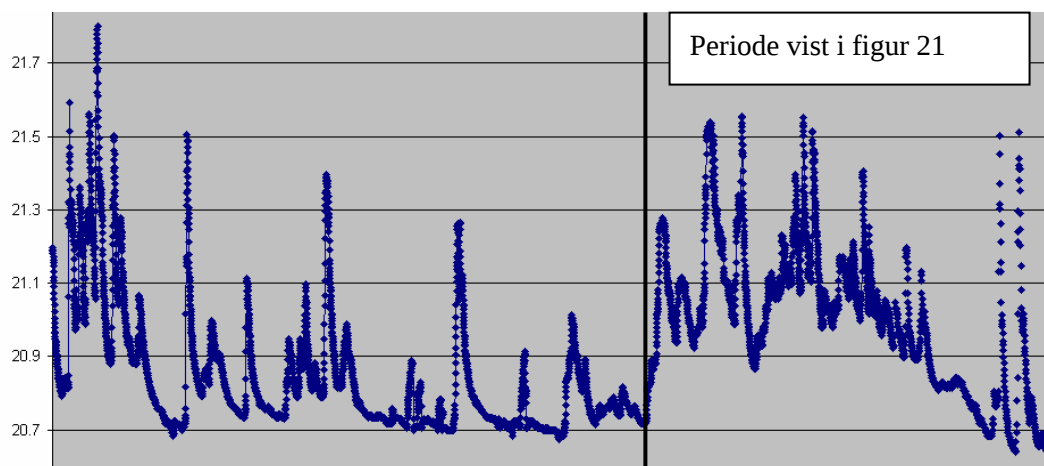
Ved Norddøla er det i perioden 14. februar 2004 til 1. juni 2004 logget grunnvannsstand i peilerør Pr2 (nedsatt i 2000). Peilerøret ligger ca. 10 m fra Norddøla, og filternivået er ca. 5 m under terreng. Som det fremgår av Figur 19 ligger grunnvannsstanden i måleperioden ca. 70 cm lavere enn elvevannstanden. En kan også se at det er meget god samvariasjon mellom grunnvann og elvevann. Dette bekrefter tilsvarende resultater fra måleperioden i 1975 – 1983. Toppen av grunnvannsnivået oppnås ca. 8 timer forsinket i forhold til topp på elvevannføring. Det er altså en god samvariasjon, men det kan påvises en viss forsinkelse mellom topp elvevann og grunnvann.



Figur 19: Samvariasjon mellom Norddøla og grunnvannsrør (Pr2). Hele måleperioden (øverst) og et utklipp (nederst: 13. til 27. mars 2004).

Vannstandsdata Austdøla

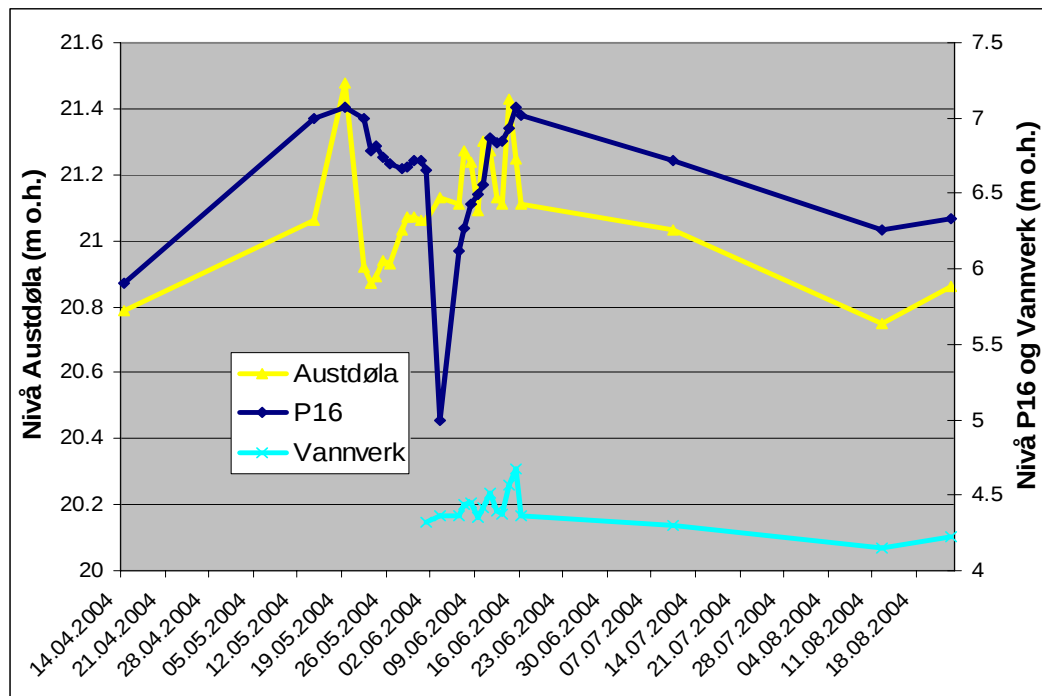
I målestasjonen i Austdøla er det observasjoner i variasjonen til elvevannsstand og grunnvannsstand rett under elvebunnen. Resultatene viser at grunnvannsstanden varierer i takt med elvevannsstanden. På grunn av grove masser i elvebunnen (stein og blokk) ble grunnvannsrøret gravd ned. Dette førte til at det ble altfor åpne forhold i massene rundt grunnvannsrøret, og det ble dermed ikke målt noe reell grunnvannsstand, men bare en annen registrering av elvevannsstanden. Figur 20 viser derfor kun variasjonen i elvevannsstand mellom 9. september 2003 og 9. september 2004.



Figur 20: Nivå registrert i Austdøla i perioden september 2003 til september 2004.

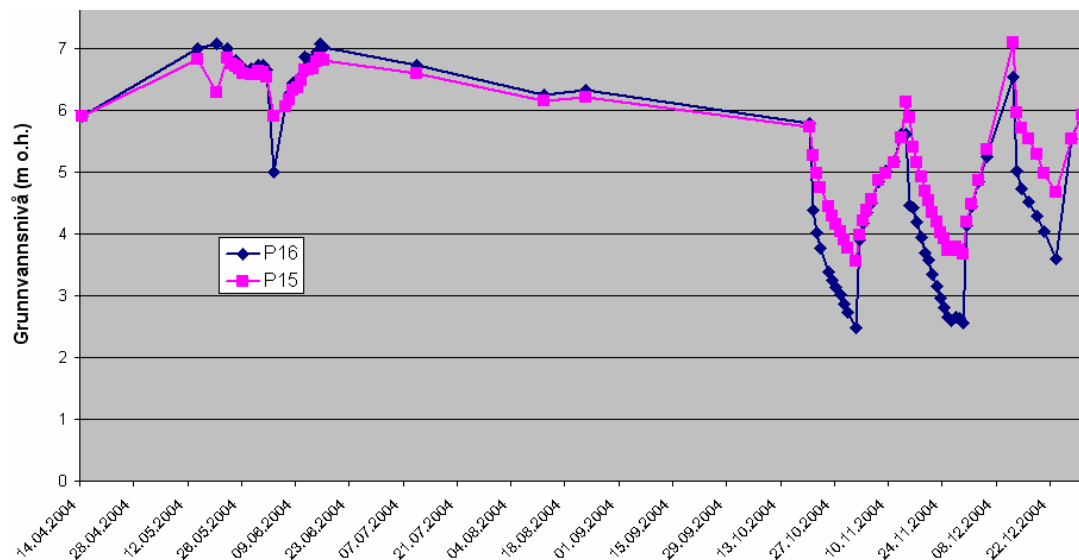
Figur 39 viser at grunnvannsstanden målt i P27 som ligger rett inntil Austdøla ligger ca. 15 m under elva. Det er altså en betydelig umettet sone under Austdøla. Dette har trolig sammenheng med at det er et semipermeabelt lag i avsetningen fra ca. 9 til 18 m dyp under terreng. Under dette laget er det et mer permeabelt lag som utgjør det nedre grunnvannsmagasinet. I det nedre grunnvannsmagasinet ved Austdøla er grunnvannsstanden både forsinket og dempet i forhold til elvevannsstanden. Figur 21 viser denne samvariasjonen mellom elve- og grunnvannsstand langs Austdøla for perioden 14. april til 9. september 2004.

I Vanndirektivet er det fokus på at uttak av grunnvann ikke skal føre til forringet status for elvevannet. På grunn av reguleringen av Austdøla på 1980-tallet er store deler av elvevannet ført vekk. Som konsekvens av dette går Austdøla tørr i området mellom samløpet med Norddøla og broa over Austdøla, nedstrøms brønn B2. En annen forklaring kan også være forholdet som er vist i Figur 32. Den store umettede sonen har som konsekvens at elven ikke vil bli matet av grunnvann i perioder med lavvannføring, slik den blir på Rena.



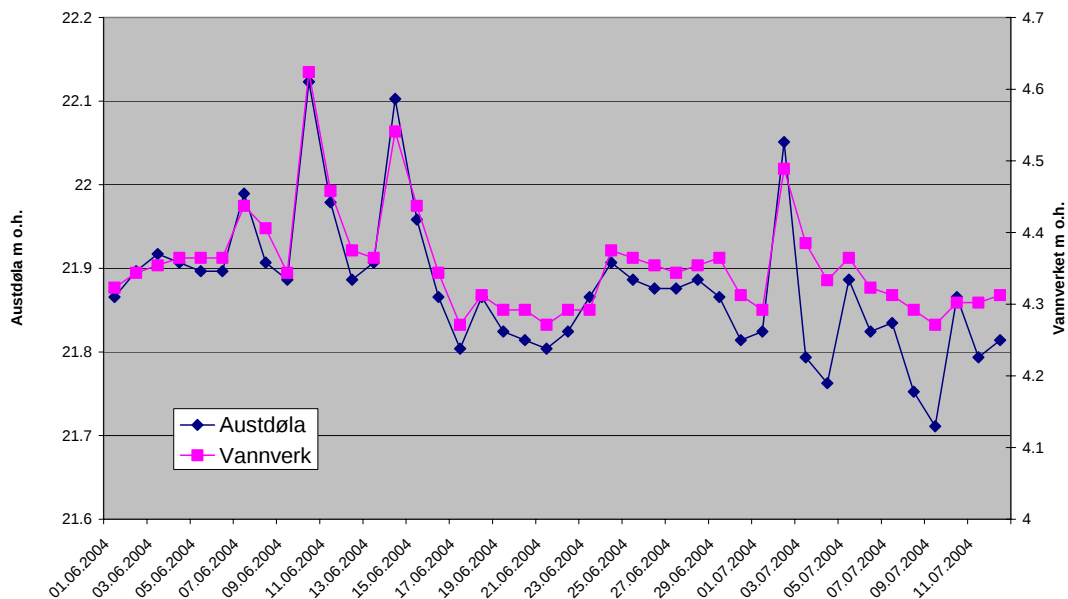
Figur 21: Samvariasjon mellom grunnvann og overflatevann langs Austdøla i perioden 14. april til 9. september 2004 (manuelle observasjoner). Prøvepumping av brønn B2 fra 1. – 3. juni med uttak på 40 l/s.

Observerte naturlig grunnvannsstand varierer i perioden fra april til desember 2004 mellom 7 m o.h. til 5,5 m o.h. i observasjonsrør P16 som ligger rett ved Austdøla. Høyest nivå er registrert under snøsmeltingen, og så faller nivået jevnt utover sommeren og høsten (se Figur 22). Som det fremgår av Figur 21 følger de normale svingningene i grunnvannsnivået i P16 svingningene i elvenivået. Under prøvepumpingen av brønn B2 i mai observeres det tydelig senkning av grunnvannsstanden i P16. Dette grunnvannsuttaget har ingen påvirkning på nivået i elven. Som det fremgår av Figur 22 reagerer P15 og P16 relativt likt på prøvepumping i B2. Det er som forventet noe større utslag i observasjonsbrønn P16 som ligger nærmere brønn B1. Det er gjennomført fire pumpeforsøk, et i juni og tre i perioden oktober til desember.



Figur 22: Registrerte grunnvannsnivå i P15 og P16 april – desember 2004. De store endringene skyldes pumpeforsøk i brønn B2. Det naturlige grunnvannsnivået ligger mellom 6 og 7 m o.h.

Det er også interessant å se på forholdet mellom Austdøla og området ved kommunens vannverk. I perioden 1. juni 2004 til 13. juli 2004 ble det gjort automatiske registreringer i peilerør P20 som ligger rett ved kommunens produksjonsbrønner. Som en kan se av figur 23 er det god samvariasjon mellom elvevannsstand og grunnvannsstand i brønnområdet. Fra 19. juni og utover er det noe mindre samvariasjon, og dette blir særlig tydelig etter 3. juli. Dette ses i sammenheng med at Austdøla i denne perioden går tørr i området ved kommunebrønnene og at grunnvannsnivået i denne perioden mer styres av Austdølas mating av grunnvannsmagasinet oppstrøms brønnområdet enn direkte infiltrasjon av elvevann. Dette vil gi en avdempning av svingningene i grunnvannsnivået ved vannverket slik en kan se det i siste halvdel av figur 23.



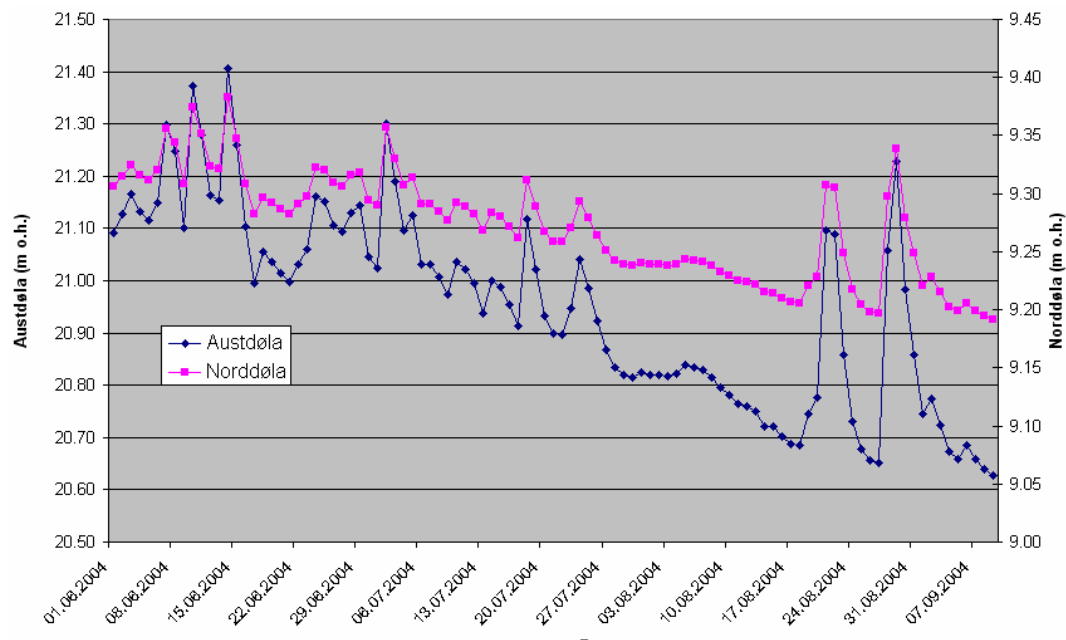
Figur 23: Samvariasjon mellom grunnvann ved kommunens vannverk (P20) og Austdøla.

Samlet vurdering av Norddøla og Austdøla

Etter reguleringen er det skjedd en markert endring i vannregimene i Austdøla og Norddøla. I Norddøla er det fremdeles vannføring hele året mens i Austdøla er det fjernet så mye av det naturlige nedbørsfeltet at elven i perioder om sommeren går tørr i den nederste delen av elven før samløpet med Norddøla. Elvene som sådan er ikke regulerte, men store deler av nedbørsfeltet er ført bort. Nedbøren som faller i det gjenværende nedbørsfeltet oppfører seg derfor normalt i forhold til snøsmelting og flomepisoder. Som en kan se av Figur 24 forekommer det mange mindre flomepisoder både i Austdøla og Norddøla. Figur 24 viser data for perioden 1. juni 2004 til 9. september 2004. For Norddøla er det kun registreringer for perioden fra 1. juni til 13. juli 2004, resten er avledet ut fra relasjonen mellom de to elvene.

Som en kan se av Figur 24 følger flomtoppene stort sett hverandre da de er en del av det samme vannbalanseregimet (nedbør, snøsmelting osv. skjer omtrent samtidig i de to vassdragene). Det er noe større utslag i vannstand i Austdøla sammenlignet med Norddøla. Ved å sammenligne dataene fra Austdøla og Norddøla ser en at det er en korrelasjonskoeffisient på ca. 0,7. Denne korrelasjonen er brukt for å estimere data for Norddøla for perioden det ikke finnes primærdata for.

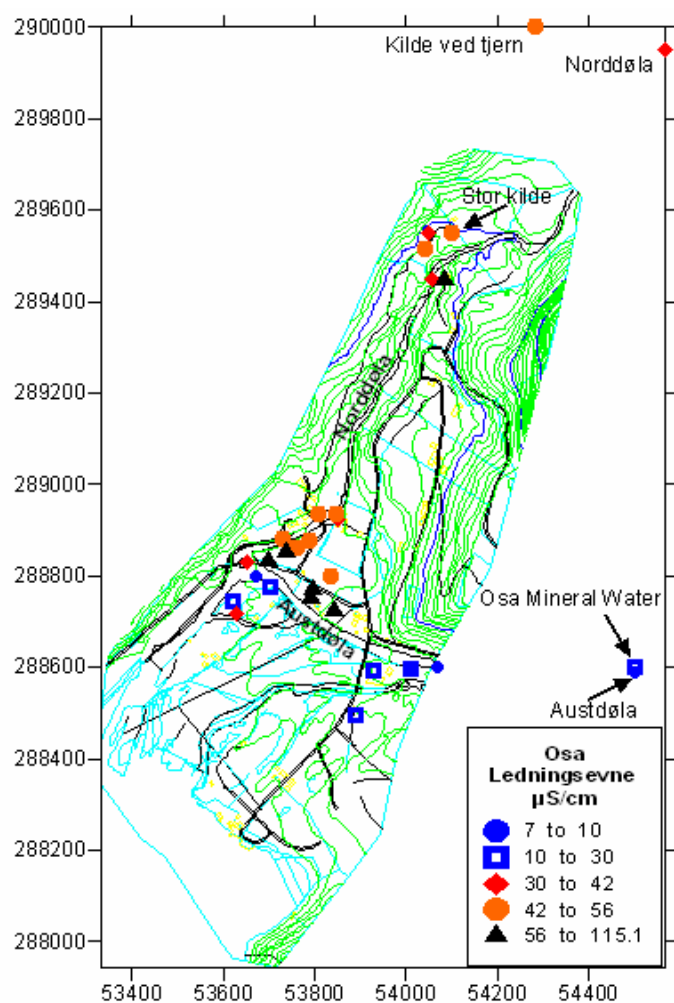
I perioden fra 1. juni til 9. september 2004 begynner vannstanden i Norddøla 9,31 m o.h. og ender 9,19 m o.h. I samme periode begynner vannstanden i Austdøla 21,09 m o.h. og ender 20,63. Dette er en senkning i vannivå i Norddøla og Austdøla på henholdsvis 0,12 og 0,46 m. Forskjellen mellom største og minstevannstand i Norddøla og Austdøla er henholdsvis 0,19 m og 0,78 m. Det er altså klart større svingninger i ellevannstanden i Austdøla sammenlignet med Norddøla.



Figur 24: Vannstandsdata fra Norddøla og Austdøla for perioden 1. juni 2004 til 9. september 2004

2.3.3 Miljøindikatorer

Tidsserier for elektrisk ledningsevne og vanntemperatur i grunnvannet og i Norddøla/Austdøla viser tydelige variasjoner og relasjoner som brukes her for å analysere interaksjon mellom overflatevann og grunnvann. Figur 26 viser sesongvariasjoner for elektrisk ledningsevne i Austdøla og Norddøla. Mens verdiene for ledningsevne i Austdøla er relativt stabile er det betydelig mer variasjon i ledningsevnen i Norddøla. Sommeren 2003 ble det målt ledningsevne i kilder og ellevann langs Norddøla og Austdøla samt brønnvann. Resultater av denne undersøkelsen er presentert i Figur 25. Av figuren kan en se at de høyeste verdien finnes i området mellom Austdøla og Norddøla samt i de øverste delene av Norddøla¹¹. I Norddøla er det registrert stabile verdier på ca. 40 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

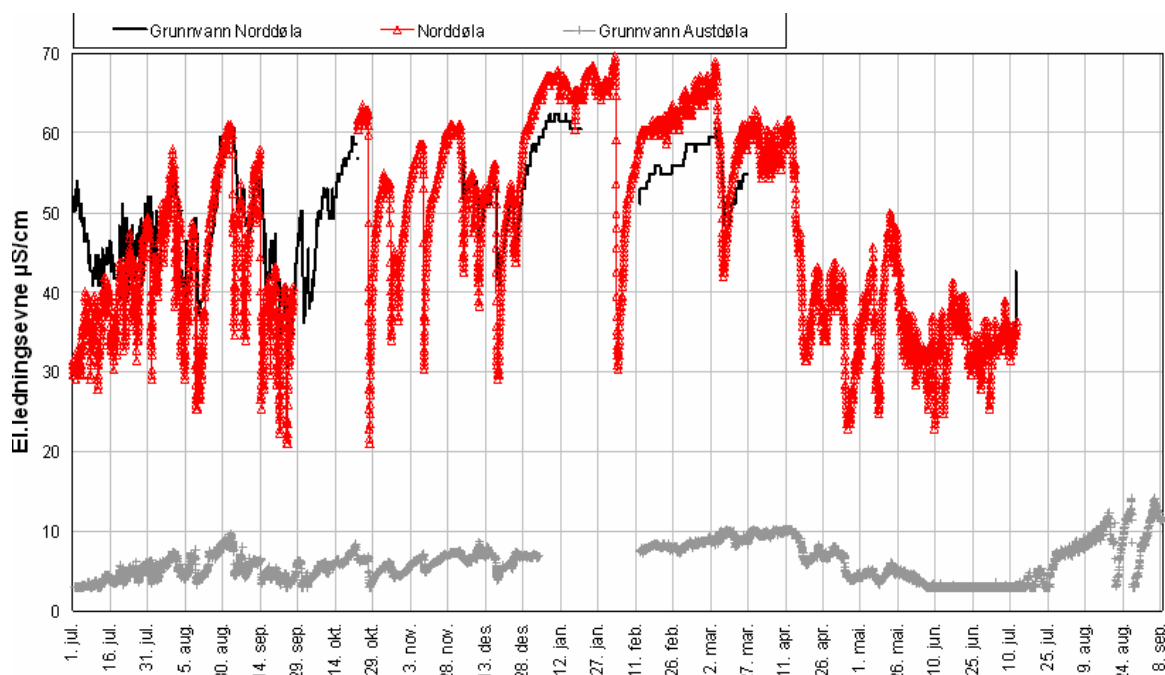


Figur 25: Ledningsevne i vann målt i modellområdet.

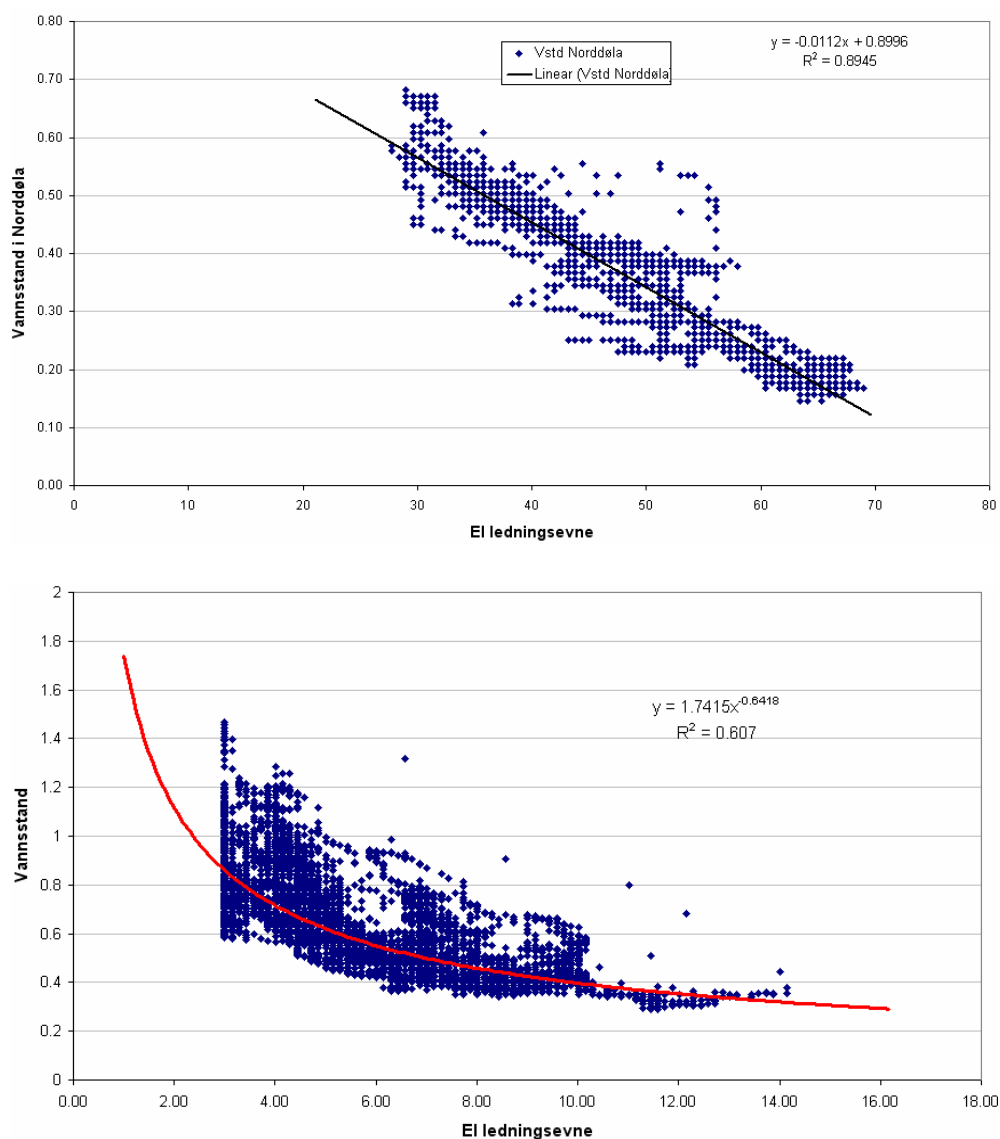
¹¹ De høye verdier registrert mellom Norddøla og Austdøla er gjort nede i brønner uten at brønnvannet er pumpet ut, så dette kan representere stillestående vann.

Norrdøla

Den elektriske ledningsevnen i vannet i Norrdøla varierer mellom 20 og 70 $\mu\text{S}/\text{cm}$ slik det fremgår av Figur 26. De høyeste verdiene for ledningsevne finnes i vinterhalvåret. Vannet i Norrdøla domineres da av grunnvann som generelt sett har et høyere innhold av løste ioner enn vanlig overflatevann. Det er kartlagt flere kildeutspring langs Norrdøla som bidrar til den økte ledningsevnen. Det er en meget klar korrelasjon mellom ledningsevnen i elva og vannstanden/vannføringen. Perioder med mye nedbør (tilførsel av ionefattig regnvann og snøsmelting) gir økt vannføring i Norrdøla, og dermed lavere ledningsevne i vannet (se Figur 27). Bilder 2 (side 51) viser noen solide hydrogeologer som poserer ved en av de største kildene. Antatt vannføring i denne kilden er ca. 25 l/s. Målt ledningsevne 1. juli 2003 var 44 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Også om vinteren er det store variasjoner i ledningsevnen i Norrdøla, og dette må skyldes nedbørsepisoder som tynner ut "grunnvannet" i elva.



Figur 26: Elektrisk ledningsevne i Norrdøla og Austdøla i perioden 1. juli til 9. september 2004.



Figur 27: Korrelasjonsforhold mellom ledningsevne og vannstand i Norddøla (øverst) og Austdøla (nederst). Elektrisk ledningsevne målt i $\mu\text{S}/\text{cm}$.

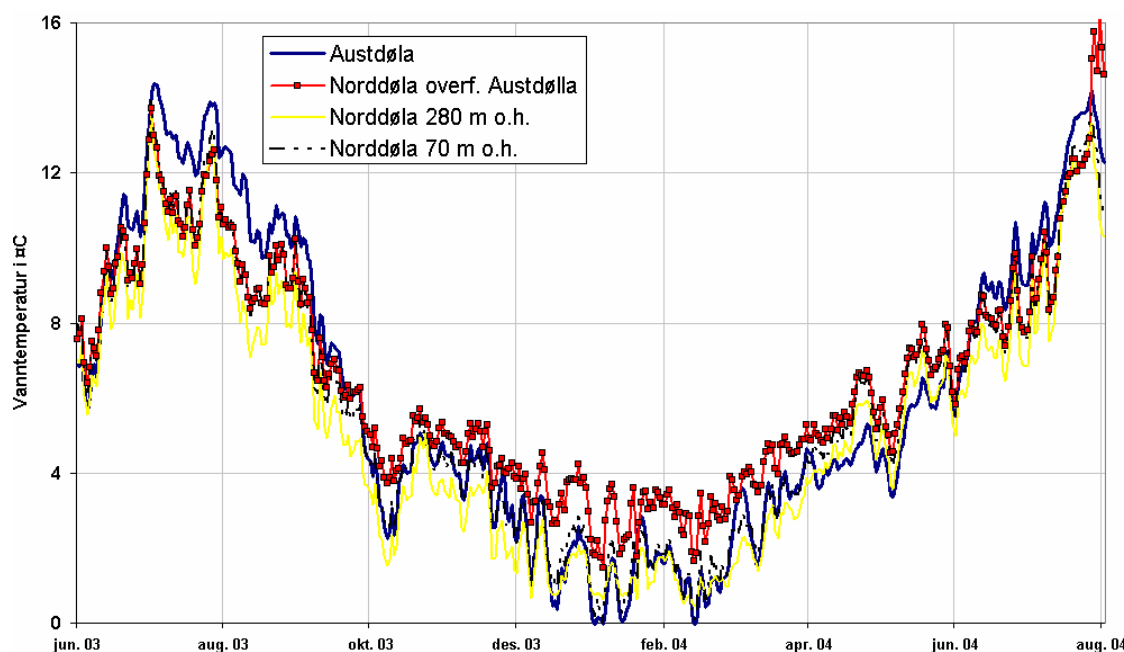
Austdøla

Den elektriske ledningsevnen i vannet i Austdøla varierer stort sett mellom 3 og 10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ slik det fremgår av Figur 26. De høyeste verdiene for ledningsevne finnes i vinterhalvåret. Vannet i Austdøla domineres da av grunnvann, men på grunn av gneisbergarter som forvitres sakte er innholdet av løste ioner i grunnvannet relativt lavt sammenlignet med vanlig overflatevann. Som det fremgår av Figur 27 er det også dårligere korrelasjon mellom vannføring og lednings-

evne sammenlignet med Norddøla. En delvis forklaring på dette er at det er meget lavt ioneinnhold i Austdøla, og at en når deteksjonsgrense for sensoren som er 3 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

I likhet med Norddøla er det også langs Austdøla flere kildeutspring, bl.a. kilden til Osa Mineral Water. Midlere elektrisk ledningsevne ved Osa Mineralvann er ca. 28 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Bildet 3 viser området ved kilden til Osa Mineral Water. Det er lite variasjoner i ledningsevnen i Austdøla om vinteren sammenlignet med Norddøla. Nedbørsepisoder som tynner ut "grunnvannet" i elva har mindre effekt på vannkjemien i Austdøla sammenlignet med Norddøla.



Figur 28. Sesongvariasjoner i vanntemperatur målt i Norddøla og Austdøla i 2003-2004 (data: Å. Kvambekk, NVE).

Figur 28 viser vanntemperatur målt i Norddøla og Austdøla på ulike lokaliseringen. Vann-temperaturen i elvene varierer relativt i takt med lufttemperatur med laveste verdier om vinteren og høyeste om sommeren. Dette gjenspeiler lite vanndyp og lite påvirkning av grunnvann. Vanntemperatur målt i Norddøla før samløpet med Austdøla er imidlertid dempet slik at vann-temperaturen synker aldri under 2-3 °C om vinteren, mens Norddøla oppstrøms og Austdøla kan fryse. Dette indikerer en større grunnvannsbidrag i Norddøla før samløpet enn i Austdøla.



Bilde 2 og 3: En av de største kildene som mater Norddøla (Øverst). Kildeområdet til Osa Mineral Water (Nederst).

2.3.4. Hydrogeokjemiske forhold

Det er analysert vannprøver fra de tre etablerte prøvebrønnene (4, 5a, 5b). I tillegg er det tatt analyser fra to av peilebrønnene som ble etablert i fase 2 (B-II-3 og B-II-6) og de nye brønnene etablert i 2004. Det er relativt stor forskjell på grunnvannet i Norddalen og Austdalen. Dette har sammenheng med innholdet av lettforvitrelig fyllitt i Norddalen og tungtforvitrelig gneis i Austdalen.

I vinterhalvåret er vannet i Norddøla i stor grad grunnvann som har kommet fra kilder oppover dalen, og har dermed et relativt høyt mineralinnhold. Vannet er tydelig forskjellig fra det vannet som renner i Austdøla og som bl.a. Osa Mineral Water og Ulvik Herad nytter. Dette vannet er meget fattig på mineraler.

I sommerhalvåret går den nederste delen av Austdøla tørr, og i denne perioden kan en se at det er mindre korrelasjon mellom vannstanden i Austdøla og peilerør ved vannverket (se Figur 23). I slike perioder vil en forvente at grunnvannet ved vannverket er mer preget av vannkjemien i Norddøla sammenlignet med perioder med høy vannføring og stort grunnvannspåtrykk fra Austdøla.

3. Modellering av grunnvannsforholdene

Oppbyggingen av grunnvannsmodellen er gjort med bakgrunn i de tilgjengelige dataene for geometriske, geologiske, hydrologiske og menneskeskapte elementer i terrenget som ble presentert tidligere i kapittel 2. Det gis i dette kapitlet en beskrivelse av hvordan vi implementerer den konseptuelle modellen for Osa i en numerisk modell, og hvordan man har definert de ulike hydrostratigrafiske enheter og grensebetingelser som omgjør denne modellen. Etter kalibrering anvendes modellen for å analysere naturlige variasjoner i strømningsbildet og utvekslingsmengder. Det settes deretter fokus på å evaluere konsekvenser av reguleringer til elvene og utnyttelse av grunnvannsressurser i Osa.

Visual Modflow er et modellverktøy for analyse av tredimensjonal grunnvannsstrømning og transport av stoff i mettet sone. Det er dette modellverktøyet som er brukt i dette arbeidet. Modellen er tidligere beskrevet i Colleuille et al. (2004a, c).

3.1. Modelloppbygging

For modellarbeidet i Osa er det brukt en relativt grov modell i forhold til modellen bygd opp for Rena (Colleuille et al. 2004c). Dette skyldes de kompliserte topografiske og hydrogeologiske forhold. Ulike steg for modellarbeid er tidligere beskrevet i Colleuille et al. (2004a, c). De viktigste grunnlagsdataene ved opprettelse av en grunnvannsmodell i Osa er listet opp i Tabell 8.

Tabell 8: Viktige grunnlagsdata ved opprettelse av grunnvannsmodellen for Osa.

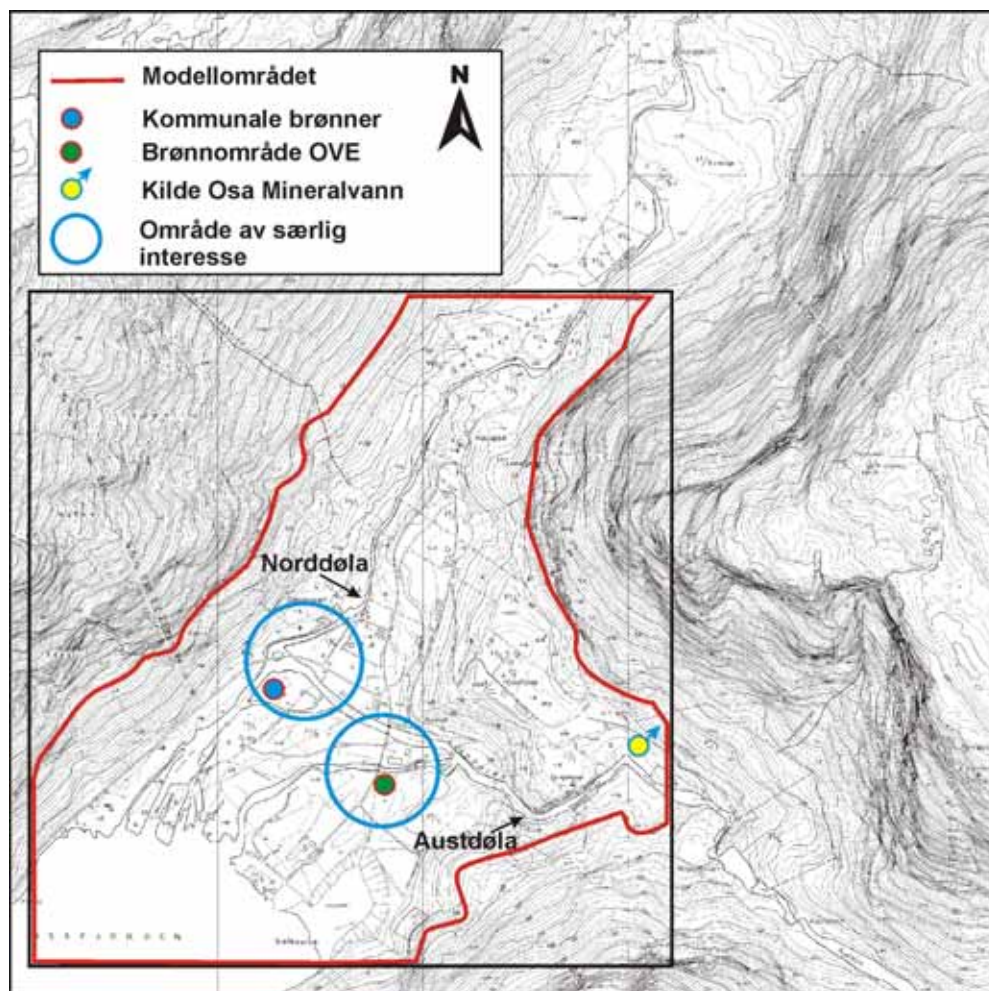
Fysisk ramme	Referanser
Geologisk kart og tverrprofiler	Figur 2, 3, 9, 10 og 11
Bilde som viser utstrekningen til modellen	Figur 29 og 30
Konturkart som viser grenseovergang mellom de ulike hydrostratigrafiske enheter	Figur 31, 40 og 41. Tabell 10
Hydrogeologisk ramme	
Tabell og konturkart med grunnvannsstand (m o.h.)	Figur 13 og 39
Kurver som viser endringer i grunn- og vannstand over tid	Figur 14-15, 18 til 24
Verdier for hydraulisk konduktivitet i de ulike avsetningene	Figur 35 og 36. Tabell 15
Estimering av fordamping, effektiv nedbør, grunnvannsdannelse, naturlig utstrømning av grunnvann, mengder av grunnvannsuttak	Se kapitlet 1.2.5 og 1.2.6 Tabell 13 og 14 Figur 5 og 32
Oversiktskart over brønner og observasjonsbrønner	Figur 1 og 7
Gradient i elvene	Tabell 12 og figur 34

3.1.1. Modellområdet

Ved Osa er det flere kriterier som tas i betraktning ved definering av de ytre grensene til modellområdet:

- grunnvannsforekomstens utbredelse;
- naturlige hydrologiske grenser: elver, bekker, sjø og fjell;
- avrenningsområdene til elvesletta;
- kildeutspring;
- fjellblotning;
- iskontaktskråning/terrassekant;
- grunnvannsuttak og potensielle forurensingskilder.

En beskrivelse av grunnvannsforekomsten i Osa er gitt i kapittel 1.2. Sirklene i Figur 29 viser områdene som var av primærinteresse. Det tilsvarer området rundt det kommunale grunnvanns-anlegget og området ved det planlagte uttaket til Osa Vanneksport. Disse områdene er ikke avgrenset av naturlige hydrogeologiske skiller. For å kunne studere interaksjon mellom grunnvann og overflatevann, effekt av reguleringer og andre menneskelige inngrep er det derfor nødvendig å utvide modellområdet. Fjellene som omgir Austdøla og Norddøla, fjorden samt nødvendig distanse oppstrøms i elvene utgjør naturlige grenser for en modell som dekker hele elvesletta i Osa.



Figur 29: Topografisk kart over Osa. Modellområdet er omrisset. Sirkelen indikerer det området som i utgangspunktet var av interesse og er mest undersøkt (reservekilden).

På vestsiden har vi valgt å avgrense modellområdet til kote 125. Dette er omtrentlig punktet hvor rasmateriale i fjellsiden møter fjell. Det samme kriteriet er valgt på østsiden av modellområdet ned til Austdøla. På sørsiden av Austdøla er modellområdet avgrenset til kote 75, da det er mindre rasmateriale i dette området. Et annet kriterium ved avgrensing av det nordvestre og nordøstre området er forekomsten av kildeutspring langs denne grensen. Kildeutspringene forekommer i overgangen mellom overliggende rasmaterialer og underliggende morenemasser.

Det aktuelle området strekker seg fra sjøen i sør til ca. kote 75 m o.h. i Norddøla og ca. kote 80 i Austdøla, og er avgrenset på vest- og østsiden av dalene ved kotehøyden 125 m o.h. Med denne definisjonen har det aktuelle området et totalt areal på ca. 1.5 km², en maksimumslengde på ca. 2 km fra sør til nord og en maksimumsbredde fra vest til øst på ca. 800 m.

3.1.2. Hydrostratigrafiske enheter

I kapittel 2 er informasjon om grunnvannsforekomstens struktur og sammensetning sammenstilt. Ut fra denne informasjonen har vi forsøkt å definere de hydrostratigrafiske enhetene til den konseptuelle modellen. Med hydrostratigrafiske enheter menes enheter som består av relativt homogene materialer med liknende hydrogeologiske egenskaper. Bestemmelsen av hydrostratigrafiske enheter utføres på grunnlag av resultatene fra georadarundersøkelser, sonderboringer og analyser av kornstørrelsesfordeling. Informasjon om og forståelse av kvartær historie er også et viktig grunnlag ved bestemmelse av disse enheter (se kapittel 1.2. og 2). Området består av følgende 6 hovedgrupper:

1. Fluviale avsetninger (sortert materiale):

- Bunnsedimenter i Austdøla/Norddøla (siltig sand);
- Elvevifta med tidligere flomløp langs utløpet av Austdøla (grusig sand);
- Underliggende dårlig sortert elvevifte ved Austdølas rotpunkt, lag 2 (siltig sand/grus).

2. Glasifluviale avsetninger (sortert materiale):

- Terrasse Hjadlane, smeltevannsavsetninger: grusig stein;
- Terrasse sørøst i modellområdet: grus;
- Underliggende hovedakvifer (lag 3).

3. Rasmateriale (dårlig sortert materiale):

Langs fjellsidene både på vest og østsiden av modellområdet (blokkrikt steinmateriale).

4. Morenematerialer (dårlig sortert materiale):

Bunmorene langs Norddøla (siltig sand m/stein)

5. Marine avsetninger (impermeable masser):

- Marin leire i området ved og øst for kommunebrønnene, lag 2 (leire);
- Terrasse nord for Hjadlane og øst for Norddøla: leire.

6. Fjell

De tre siste gruppene (morene, marine avsetninger og fjell) er forholdsvis tette. Vi antar derfor at de ikke har noen direkte effekt på strømningsforholdene og interaksjonen mellom grunnvann og overflatevann. I vår modell kan vi dermed se bort fra disse grupper. Gruppe 1 og 2 utgjør de 2 viktigste lagene i modellen.

Tabell 9 viser hovedtrekk til de hydrostratigrafiske enhetene i modellen, mens Figur 3 viser utstrekningen av disse enhetene på overflaten (Kvartærgeologisk kart). Den konseptuelle modellen for Osa er bygd opp på grunnlag av disse hydrostratigrafiske enhetene (Tabell 9), og av de ulike vannbalanseelementene. Figur 31 viser hvordan den konseptuelle modellen kan implementeres numerisk i 3 lag, med infiltrasjon fra platået, terrengoverflaten og Austdøla/Norddøla.

Tabell 9: Hovedtrekk til de hydrostratigrafiske enhetene i grunnvannsmodellen.

Materialtype	Jordarter	Modell-lag
Elv og Fluviale avsetninger	Grusig sand (godt sortert)	1
Marine og Fluviale avsetninger (Semipermeabelt lag)	Siltig sand (dårlig sortert)	2
Glasifluviale avsetninger (nedre grunnvannsmagasin)	Grusig sand (godt sortert)	3

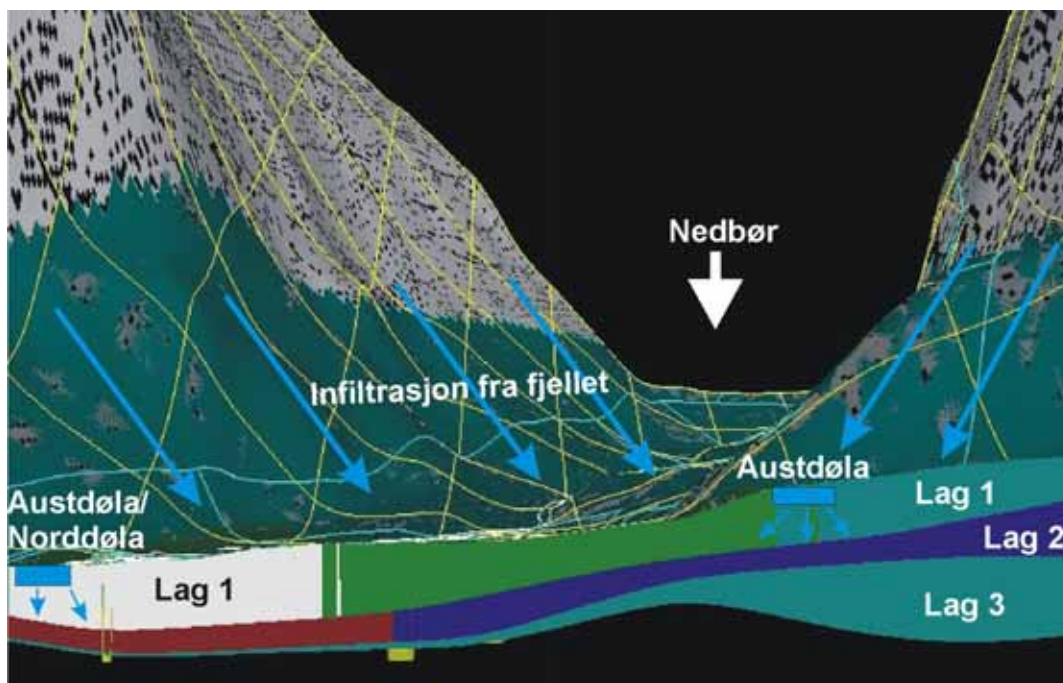
3.1.3. Strømningsforhold

Som det fremgår av Figur 30 får området mellom Norddøla og Austdøla tilførsel av grunnvann fra begge elvene samt området ved Hjadlane. Austdøla infiltrerer i den øvre akviferen med avrenning både mot kommunens brønnområde og området nedover mot sjøen. Naturlige strømningsforhold fra Austdøla til grunnvannsmagasinet ved P12 er vist i figurene 31 og 32. Plassering av P12 er vist i figur 33.

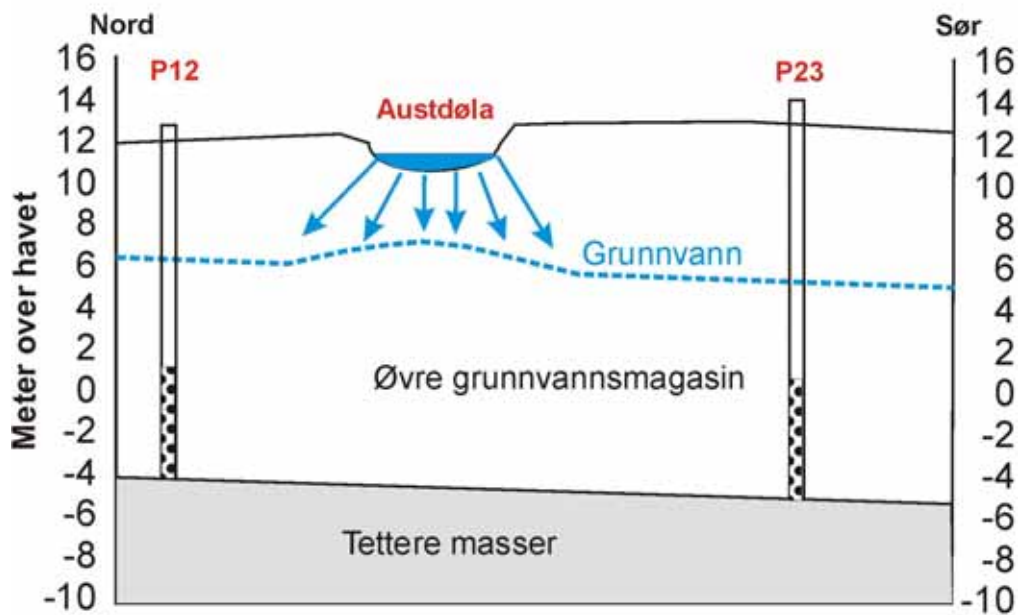
Også det underliggende, delvis lukkede grunnvannsmagasinet får tilførsel av infiltrert elvevann, men dette er mest sannsynlig fra området som ligger oppstrøms B2 (se figur 1).



Figur 30: Elveslettas tilsigsområder. Pilene indikerer hovedretningen til antatte vannbevegelser.



Figur 31: Skisse over implementeringen av den konseptuelle modellen i 3 lag, med infiltrasjon fra platået, terrengoverflaten og Austdøla/Norddøla.



Figur 32: Prinsippskisse interaksjon elvevann/grunnvann ved Austdøla. Tverrsnitt P12 – Austdøla – P23. Profilplassering er vist i figur 33.

3.1.4. Fysisk rammeverk og gridding

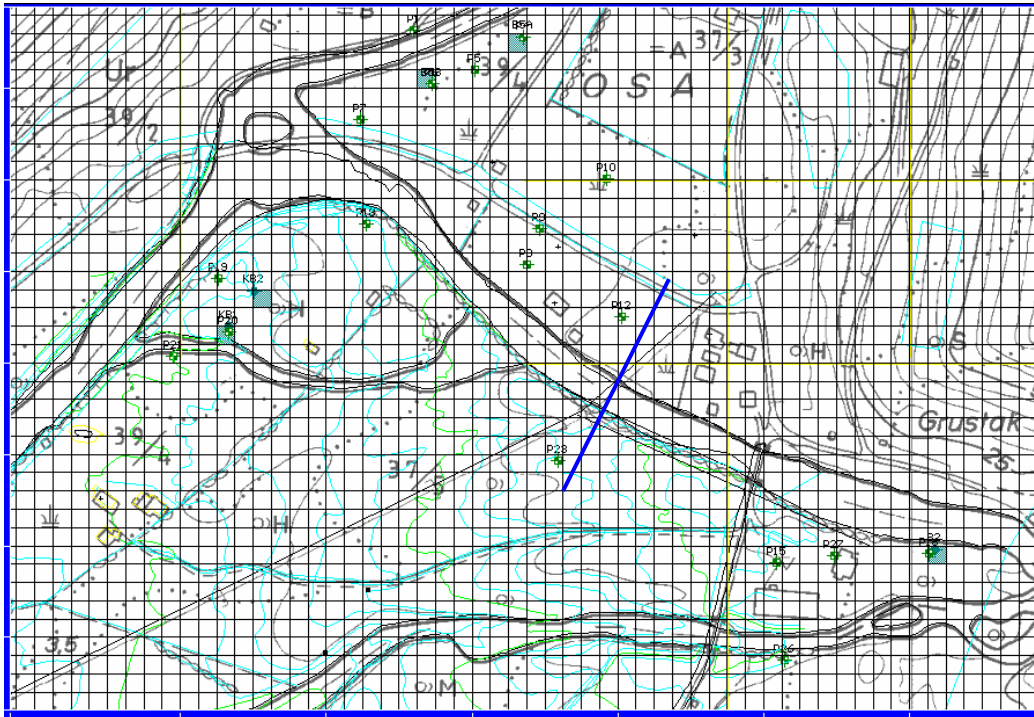
I en numerisk modell er interesseområdet presentert som celler oppdelt i et gridnett. For hver celle bestemmer modellen blant annet grunnvannshøyde og vannfluks. COWI har laget en digital terrengmodell som dekker modellområdet basert på digitalisering av tilgjengelige kart med 1m og 5m høydekoter.

Grunnvannsmodellen som bygges opp består av celler med fast størrelse (10*10 m vist i Figur 33). Det er mulig å bruke mindre celler på områder hvor det forventes store endringer i vannfluks (pumpebrønner, heterogene områder etc.). Tabell 11 gir hjørnekoordinatene for modellområdet samt antall rader og kolonner. Modellen består av de 3 følgende lagene (se Figur 31):

- Avgrenset topografisk modell med den øvre akviferen samt Austdøla og Norddøla;
- Et lag som geografisk varierer mellom å være tett, semipermeabelt og permeabelt;
- Den nederste akvifer (den nedre grensen til modellen).

Tabell 10: SK(NGO)-koordinater for de fire hjørnene på modellens gridnett.

X min (NGO øst)	53 050
X maks (NGO øst)	54 600
Y min (NGO nord)	288 100
Y maks (NGO nord)	289 700
Antall rader	160
Antall kolonner	155
Antall lag	3
Antall celler (10×10 m)	74 400



Figur 33: Gridnett over et utsnitt av det modellerte området generert i Modflow. Rutenett 10*10 m. Tykk linje viser tverrsnitt i figur 32.

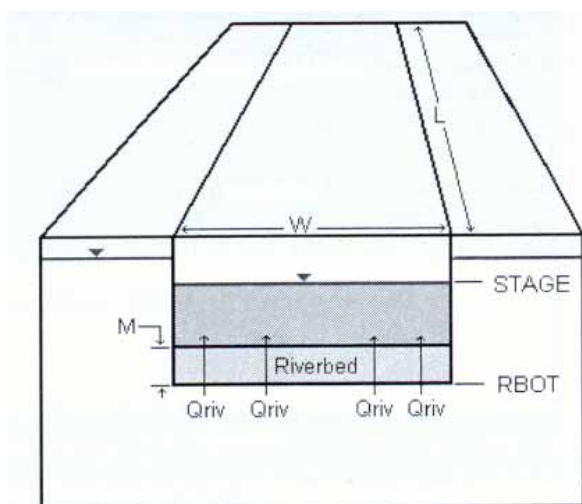
3.1.5. Modellbetingelser

En grensebetingelse er en matematisk spesifisering av enten trykk eller fluks i modellen. Korrekt bestemmelse av betingelsene er en meget viktig del av oppbygningen av simuleringsmodeller, og kan være en av de viktigste årsakene til feil i datamodeller. Dette fordi modellen generelt er veldig følsom for grensebetingelser. I de tilfellene hvor tilstanden langs grenseflatene er usikker, bør det være stor avstand fra grenseflatene og inn til de områdene som er viktigst å simulere. I kapittel 2 gis begrunnelser for valg av modellområdet og ytre grensebetingelser. Her forklares valg av type grensebetingelser.

Austdøla/Norddøla

De tre hovedmåter å simulere interaksjon mellom grunnvann og overflatevann i Modflow er beskrevet i Colleuille et al. (2004c). "Stream" og "River"-betingelsene er best tilpasset for å simulere interaksjon mellom elver og grunnvannet på en liten skala (flere km). I en regional modell representerer ofte en celle omtrent hele elveløp. Man har ofte lite kjennskap til egenskap og mektighet til bunnsedimenter, derfor bruker man strømningsmotstandsparameteren som en ukjent parameter, som også trenger kalibrering. I modellen vår har vi derfor valgt å behandle Austdøla/Norddøla som "River" hvor vi legger inn en antatt strømningsmotstand som representerer bunnsedimentene (se Figur 34). Både Norddøla og Austdøla er relativt grunne elver, ca. 0,5 m vannmekthet. Innen modellområdet renner både Norddøla og Austdøla med store fall, Norddøla fra 60 m o.h. og Austdøla fra ca. 80 m o.h. I modellen er Norddøla delt inn i 3 segmenter og Austdøla i 4 segmenter. I tillegg kommer et felles segment fra samløpet til sjøen. Valg av antall elvesegmenter er gjort ut fra betydning for modellen. I de sentrale områdene av modellen er inndelingen gjort etter endringer i elvegradienten.

Trykket i cellene endrer seg over tid ved transiente simuleringer. Observert vannstand i Austdøla/Norddøla og informasjon om gradient i Austdøla/Norddøla (se tabell 12) brukes som grunnlag for å fastsette trykket i cellene.

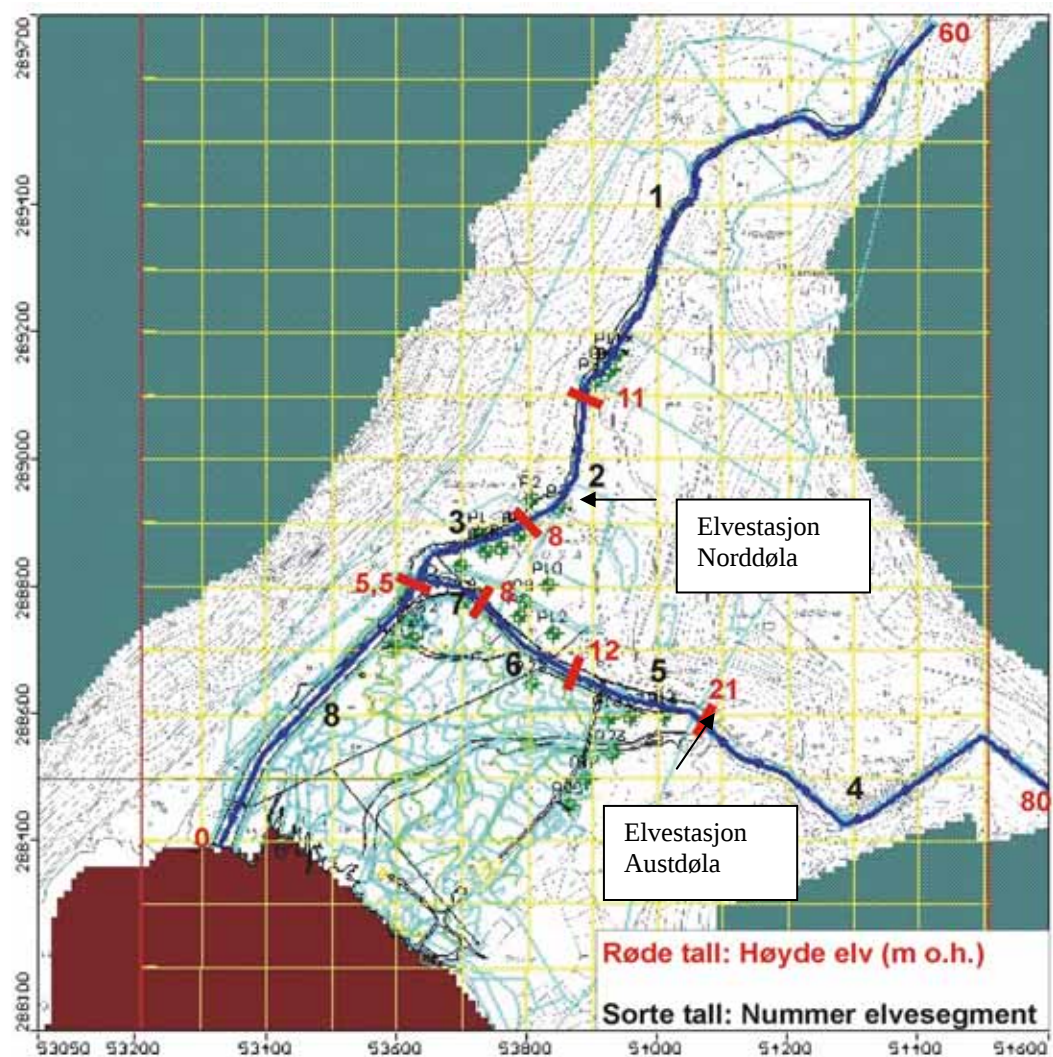


Figur 34: Skisse over "River"-betingelse (Modflow User's manual, Waterloo hydrogeologic).

Tabell 11: Gradient i Austdøla/Norrdøla brukt i grunnvannsm modellene. Elvesegmentene er vist i Figur 35.

	Elvesegment nr.	Gradient (m)	Omtrentlig l lengde (m)	Omtrentlig vannstand (m.o.h.)
Norrdøla	1	0,06	800	Fra 65 til 11 m o.h.
	2	0,01	250	Fra 11 til 8 m o.h.
	3	0,02	150	Fra 8 til 5,5 m o.h.
	8	0,01	500	Fra 5,5 m o.h. til sjøen
Austdøla	4	0,09	650	Fra 80 til 21 m o.h.
	5	0,03	225	Fra 21 til 12 m o.h.
	6	0,02	175	Fra 12 til 8 m o.h.
	7	0,03	100	Fra 8 til samløp med Norrdøla 5,5 m o.h.

Trykk i hver celle settes på grunnlag av informasjon gitt i tabell 12 og ved å anta en lineær relasjon mellom der elvevannstand i Austdøla/Norrdøla ble nivellert og havnivå (se Figur 35). Innmålingen av elvesegmentene er i de sentrale delene av modellen ble gjort sommeren 2000. I de mer perifere områdene er innmålingen basert på kart i målestokk 1:5 000 med 5 m kotehøyder. Dette gir en relativt stor usikkerhet mht. nivåer og gradient i både Norrdøla og Austdøla. Riktig angivelse av elvevannstanden er meget viktig for at modellen skal gi et riktig bilde av forholdene. Elvevannstanden er den enkeltparameteren som har størst betydning for resultatet av modellkjøringen.



Figur 35: Figuren viser punktene hvor elvevannstand er overvåket samt beregnet inndeling av elvesegmenter. Linjene i figuren er terrengkoter.

Naturlig infiltrasjon gjennom terrengoverflaten og tilsig fra fjellet eller overliggende felt

Naturlig infiltrasjon gjennom terrengoverflaten ved nedbør og snøsmelting, samt tilsiget fra fjellet, simuleres med fluksbetingelser, de såkalte "Recharge"-betingelser. Fluksen i disse cellene angis i mm/år og kan endre seg ved transiente simuleringer.

Vi har tidligere prøvd å estimere fornyelse av grunnvannet (se kapittel 1.2.5.), på grunnlag av nedbør og fordampingsstatistikk. Den totale mengden av vann som fornyes direkte fra overflate er liten i forhold til det totale tilsiget fra fjellet, og det er derfor ikke noe problem å anta samme ”effektive nedbør” på fjellet som på elvesletta.

Sommerforhold med høy evapotranspirasjon, eller vinterforhold med snø og tele i jord kan i betydelig grad redusere fornyelsen av grunnvann, likevel vil tilsig fra fjellområdene holde en relativt jevn størrelse som i stor grad er en funksjon av magasinering av vann i fjellsprekker og rasvifter. Dette gir en rekke kildefremspring langs Norddøla og Austdøla. Særlig betydningsfullt er dette for vannføringen i Norddøla. Vi antar at i gjennomsnitt vil rundt 30 til 50 % av nedbøren (ca. 400 til 650 mm/år) kunne mate grunnvannsmagasinet i Osa.

Tabell 12: Prinsipp for å fastsette fluksen i cellene for hver sone (se Figur 5).

	Tilsigsområde til	Areal m ²	Antall celler (10×10 m)	Totalt areal av cellene i m ²	Forhold mellom areal til tilsigsområde og cellene
Sone 1	Norddøla	1,3*10 ⁶	139	13 900	94
Sone 3	Norddøla/Austdøla	0,45*10 ⁶	109	10 900	41
Sone 5	Austdøla	0,20*10 ⁶	79	7 900	25

Grunnvannstilsig fra fjellet simuleres ved å legge inn fluksbetingelser (”Recharge”) i celler langs fjellskråningene i begge dalførene (se Colleuille et al. (2004c)). Dette er vist i tabell 13.

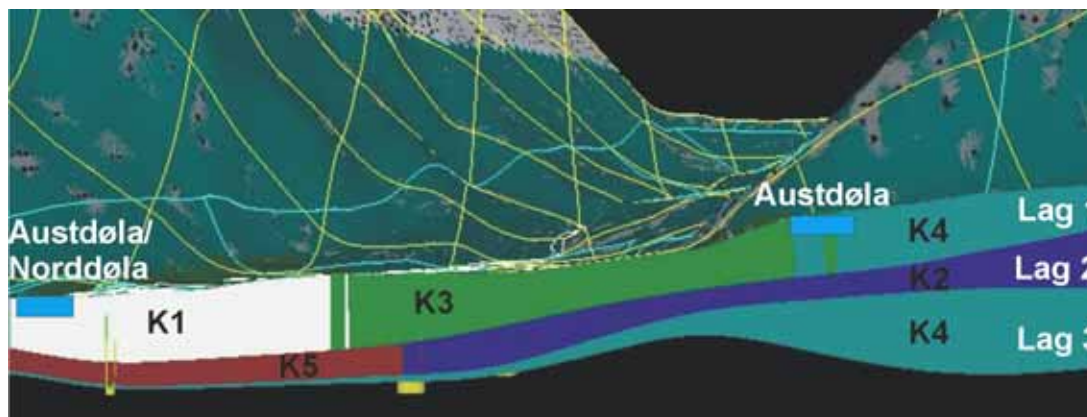
Tilsiget til hver celle justeres deretter ved å multiplisere det antatte grunnvannstilsiget (”effektiv nedbør” ca. 600 mm) med en multiplikatorfaktoren (Tabell).

Tabell 13: Estimert tilsig for hver fluksbetingelse ved en ”effektiv nedbør” på 600 mm/år eller ca. 50 % av totalnedbøren. Sonen fremgår av Figur 5.

	Multiplikatorfaktor	Tilsig angitt i mm/år for hver celle
Sone 1	94	56 400
Sone 2	41	24 600
Sone 3	25	15 000

Hydraulisk ledningsevne

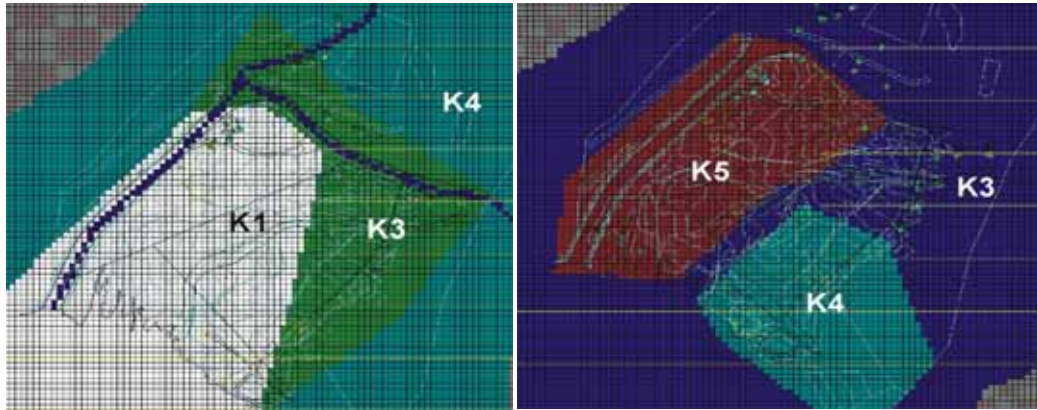
I Figur 36 er det vist et tverrsnitt av modellen med de tre lagene. Dataene er estimert ut fra geologisk informasjon (se kapittel 2.2) og kalibreringsforsøkene. Det er anvendt 5 forskjellige verdier for hydraulisk ledningsevne, benevnt K1 – K5. Verdiene er angitt i tabell 12. Figur 37 viser den arealmessige fordelingen for hydraulisk konduktivitet i Lag 1 og Lag 2. Lag 3 har den samme verdien for hydraulisk konduktivitet i hele lagets utbredelse.



Figur 36: Verdier for hydraulisk ledningsevne fordelt mellom lag.

Tabell 12: Verdier for hydraulisk ledningsevne brukt i modellen.

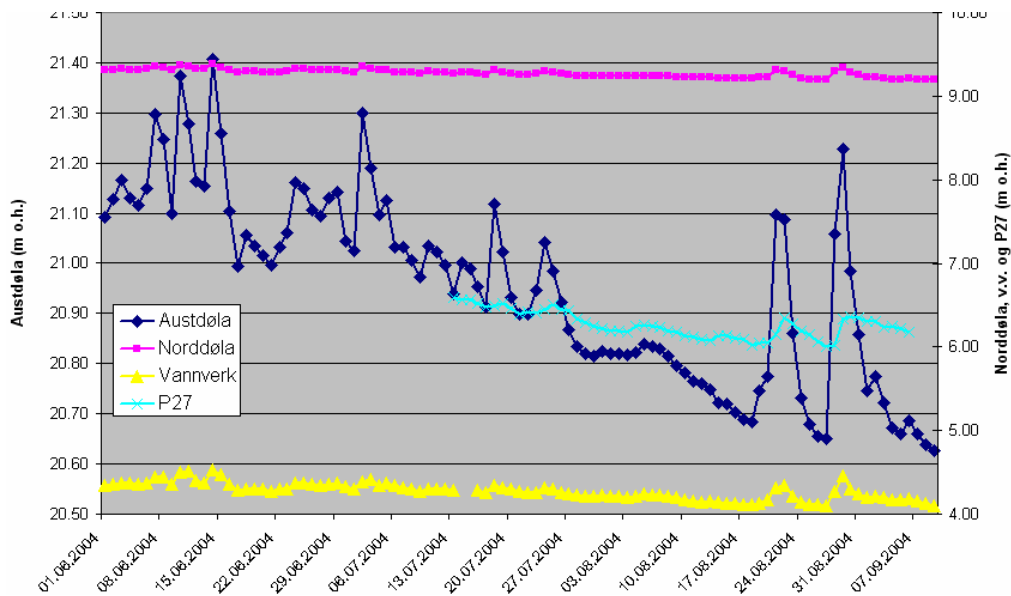
	Hydraulisk ledningsevne (m/s)
K1	0,007
K2	0,000005
K3	0,0008
K4	0,0005
K5	0,0000001



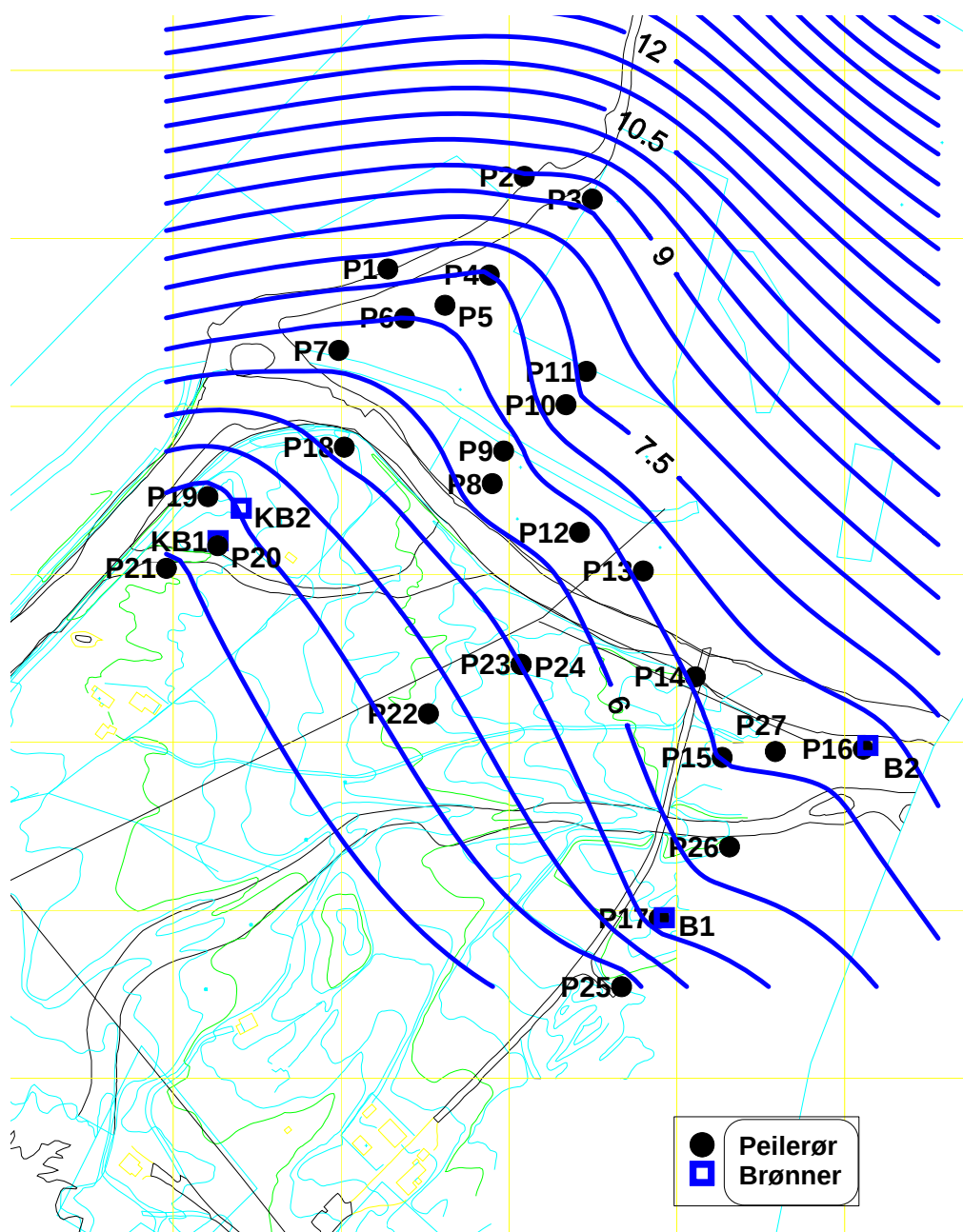
Figur 37: Fordeling av hydraulisk ledningsevne i lag 1 (venstre) og lag 2 (høyere).

3.1.6. Vannstandsdata som input i modellen

På basis av informasjon fra dataloggere i Norddøla og Austdøla er det plukket ut informasjon om vannstandene. Vannstand målt i Norddøla, Austdøla, P27 og vannverket er vist i figur 38. Vannstanden i Norddøla er delvis beregnet ved bruk av korrelasjonsfaktorer. Modellen er kjørt for perioden 1. juni 2004 til 9. september 2004. Figur 39 viser grunnvannskotekartet observert 1. juni 2004 basert på registreringer både i lag 1 og lag 3. På grunnlag av dette kartet kan en antyde at Austdøla bare ved samløpet med Norddøla har et kommuniserende vannspeil med omkringliggende grunnvann. Dette er illustrert i figur 32.



Figur 38: Loggerdata for vannstand i Norddøla, Austdøla, P27 og vannverket.



Figur 39: Grunnvannskotekart uten pumping, basert på observasjoner 1. juni 2004.

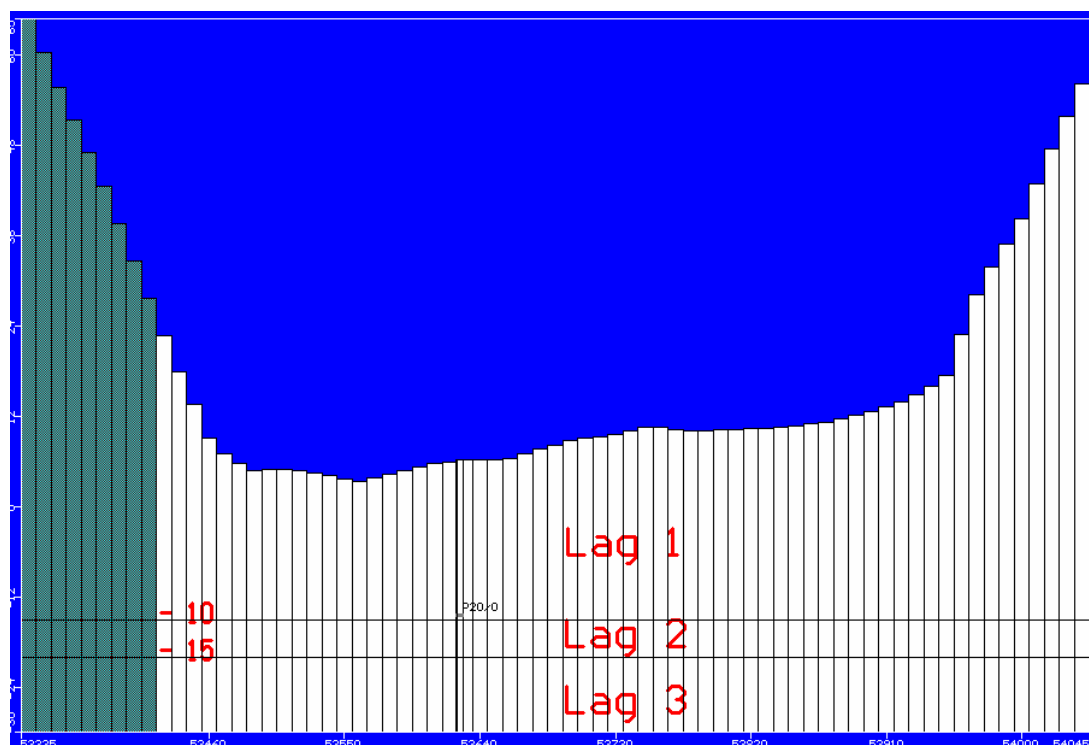
3.1.7. Forenklet modell

Gjennom arbeidet med fastsettelse av modellbetingelser og kalibreringen ble det klart at området ved Osa representerer komplisert hydrogeologiske forhold. Det ble derfor bestemt å utvikle en enklere modell for området enn det som er beskrevet tidligere. De kompliserende forholdene sett i forhold til modelleringsarbeidet foretatt på Rena (Colleuille et al. 2004c) kan kort oppsummeres i følgende punkter:

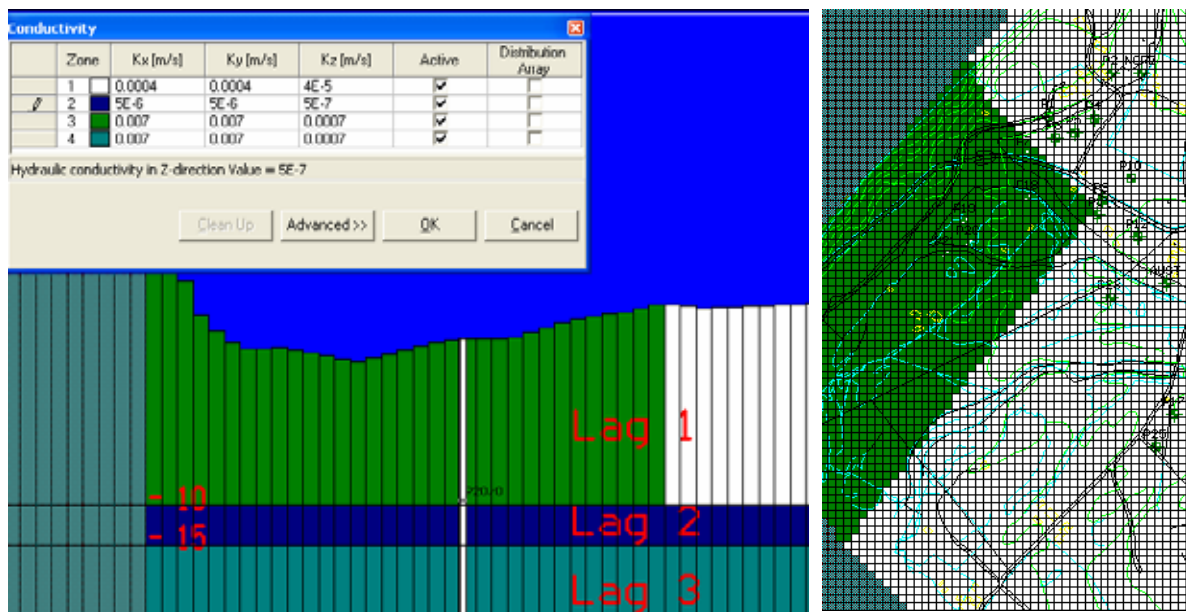
- Større nedbørsfelt med snødekke i det overliggende fjellområdet frem til forsommeren (juli);
- Større topografiske terrenggradienter;
- Fall i elvegradient større enn 10 m over korte avstander (noen få 10 cm på Rena);
- Umettede strømningsforhold under Austdøla (Austdøla mater underliggende grunnvannsmagasin);
- Et øvre og et under grunnvannsmagasin (Komplisert struktur av grunnvannsmagasin);
- Samløp mellom Norddøla og Austdøla;
- Estuarier (Utløp til sjø/deltaområde. Utslag av kilder i sjøkanten).

For å kunne gjennomføre transiente simuleringer basert på tidsseriedata fra Austdøla, Norddøla, P20 og P27, ble det laget en forenklet modell med terrengmodellen som overflate i lag 1, og fast høyde over havet for de andre lagene. Den forenklete konseptuelle modellen for en mindre del av området er vist i Figur 40 og har modellnavn *OsaConcept52*. Overgangen mellom lag 1 og lag 2 er satt til – 15 m o.h. Overgangen mellom lag 2 og 3 er satt til – 20 m o.h.

De valgte verdiene for hydraulisk konduktivitet er basert på de som er vist i Tabell 7, men er noe forenklet. Valgte verdier er gitt i Figur 41.



Figur 40: Tverrsnitt av forenklet modell for området ved Osa.

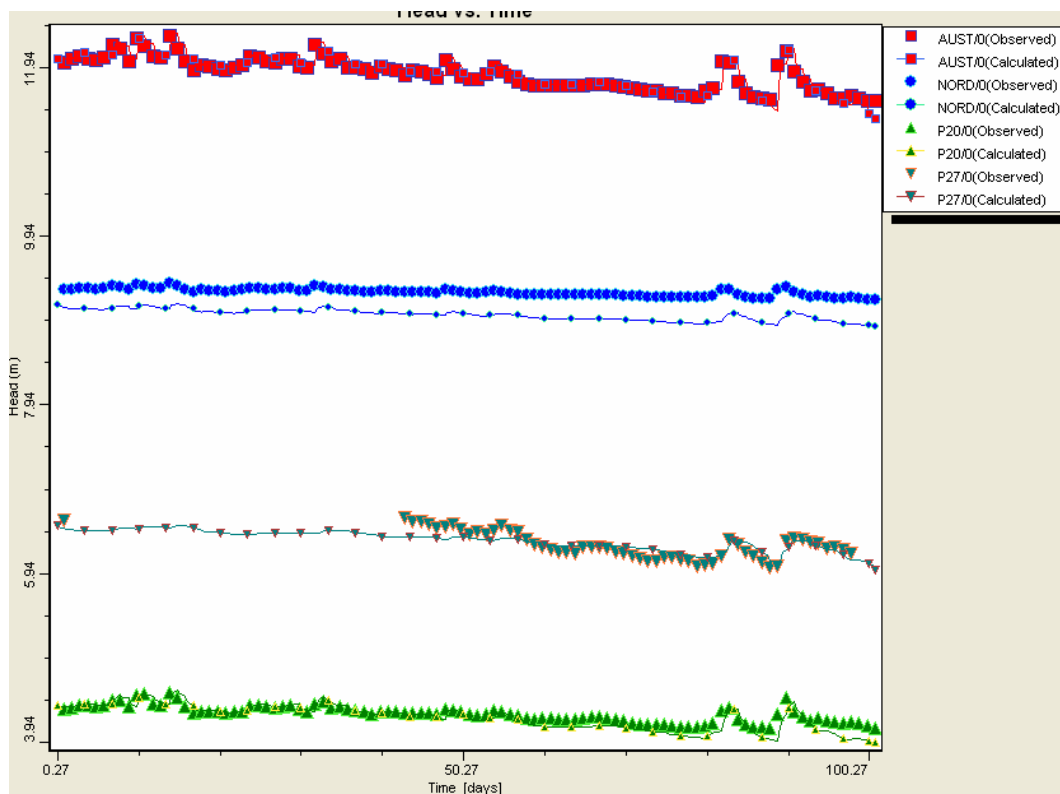


Figur 41: Fordeling av hydraulisk ledningsevne i de tre lagene i modellen. Vertikalsnitt (venstre), lag 1 (høyre).

3.2. Kalibrering

Kalibrering utføres for å finne et parametersett som best reproduserer observasjoner. Pga. mange parametere er løsningen ikke unik. Pga. stramt tidsskjema har vi ikke testet alle muligheter og antatt en del enklere hypoteser angående struktur og egenskaper til grunnvannsmagasinet og bunnsedimenter. Den valgte modellen gir gode simuleringer mht. variasjoner i målepunktene P27 og P20, samt modellinputdata (observasjoner) for Austdøla og Norddøla (se Figur 42).

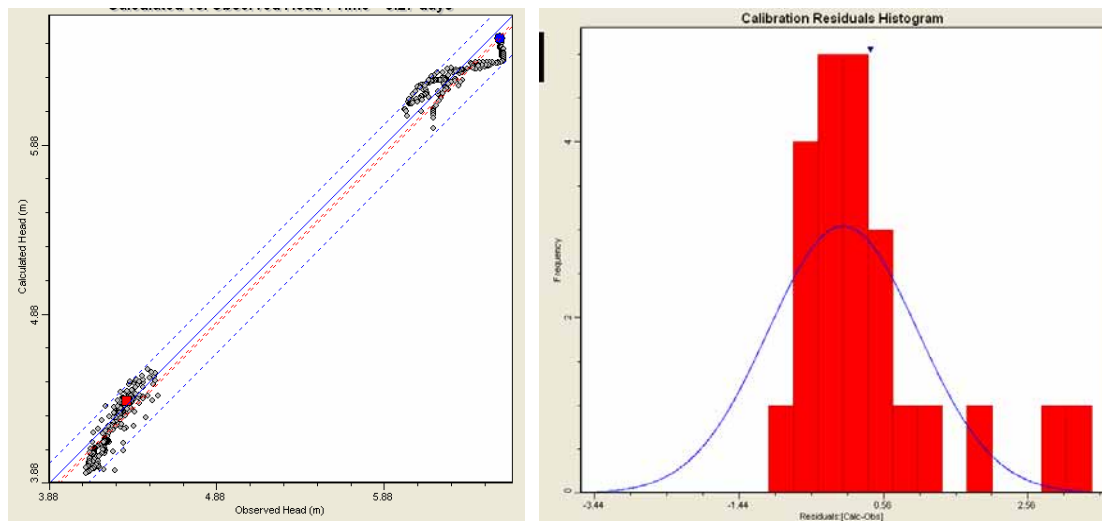
Som beskrevet i kapittel 2.3 og Figur 32 mater Austdøla underliggende grunnvannsmagasin og grunnvannsstanden i området langs elva (P12, P8, P23) ligger betydelig lavere enn elvenivå (ca. 4 - 5 m). Samtidig viser resultatene fra tidligere undersøkelse (Renshusløkken, 1985) at alle observasjonsrør var godt korrelert med elvevannsstand før reguleringen, og i prinsippet er det god kommunikasjon mellom Austdøla og omkringliggende grunnvann.



Figur 42: Observerte (punkter) og simulerte grunnvannsnivåer (kurver) i perioden fra 1.6.2004 til 9.9.2004 (101 dager). Dataene for Norddøla og Austdøla er tatt med for å vise variasjoner i elvevannsstand.

Figur 43 viser estimerte grunnvannsnivåer vs. observerte grunnvannsnivåer for observasjonsrør P20 og P27. En ser fra figuren at punktene ligger forholdsvis samlet langs linjen, noe som tyder på relativt bra kalibrering. Den gjennomsnittlige verdien for residualene (differansen mellom estimerte og observerte grunnvannsnivåer) er på 0,02 m, standardavvik (RMS) på 3,9 %. Av Figur 43 ser man at residualene omtrentlig følger normalfordelingen.

Tidligere modelleringer (Colleuille et al. (2004c); Colleuille (2005)) og resultater fra Osa-modellen viser at grunnvannsnivåene er følsomme for elvevannsstand, men at økningen i elvevannsstand har liten betydning for vannutvekslingsmengde mellom grunnvannsmagasiner og elvene. Følsomhetsanalyser viser også at modellen er lite følsom for endringer i hydraulisk ledningsevnen eller mektigheten til elvenes bunnsedimenter. Endring i egenskapene til bunnsedimenter har derimot stor betydning for vannbalanse og utvekslingsmengde mellom grunnvannsmagasinet og elvene. Modellen er følsom for tilsigsmengde fra overliggende felt.



Figur 43: Observerte vs. simulerte grunnvannsnivåer i P20 og P27 i perioden fra 01.06.2004 til 09.09.2004 (venstre) Histogram for residualene dag 90, dvs. ved topp flom (differansen mellom estimerte og observerte grunnvannsnivåer) (høyre).

3.3. Analyser

Modellen anvendes først til å analysere naturlige grunnvannstrømningsforholdene og utvekslingsmengder. Deretter settes det fokus på å evaluere konsekvenser av utnyttelse av grunnvannsressurser og av regulering til elvene.

3.3.1. Naturlige strømningsforhold og utvekslingsmengder

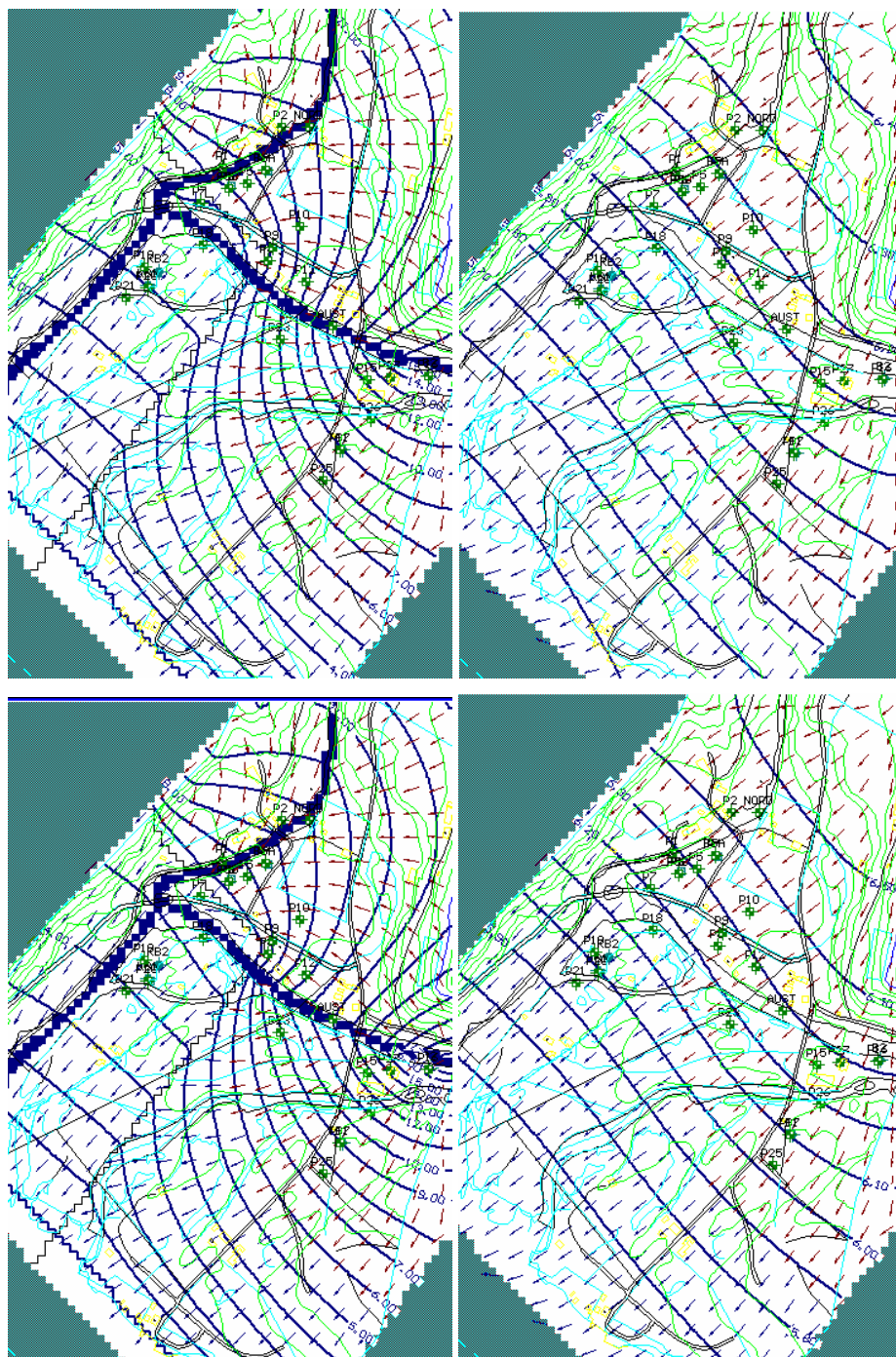
Figur 44 viser grunnvannstrømningsbildet i lag 1 (øvre akvifer) og lag 3 (nedre akvifer) ved lavvannføring og i periode med liten flom (både Norddøla og Austdøla er regulerte). Resultatene fra simuleringer viser at grunnvannsnivåene varierer i takt med elvevannsstandene, men at strømningsbildet endret seg lite i løpet av simuleringsperioden. Det registreres ikke noen spesielle endringer mellom lavvannføring og flom i motsetning til hva det var simulert og observert på Østlandet både ved Rena (Colleuille et al., 2004c) og Otta (Colleuille, 2005).

Strømningsbildet i nederste akviferen er forskjellig fra og uavhengig av øvre akviferen. I den nedre akviferen strømmer grunnvannet omtrent parallell med Norddølas dal og mot havet.

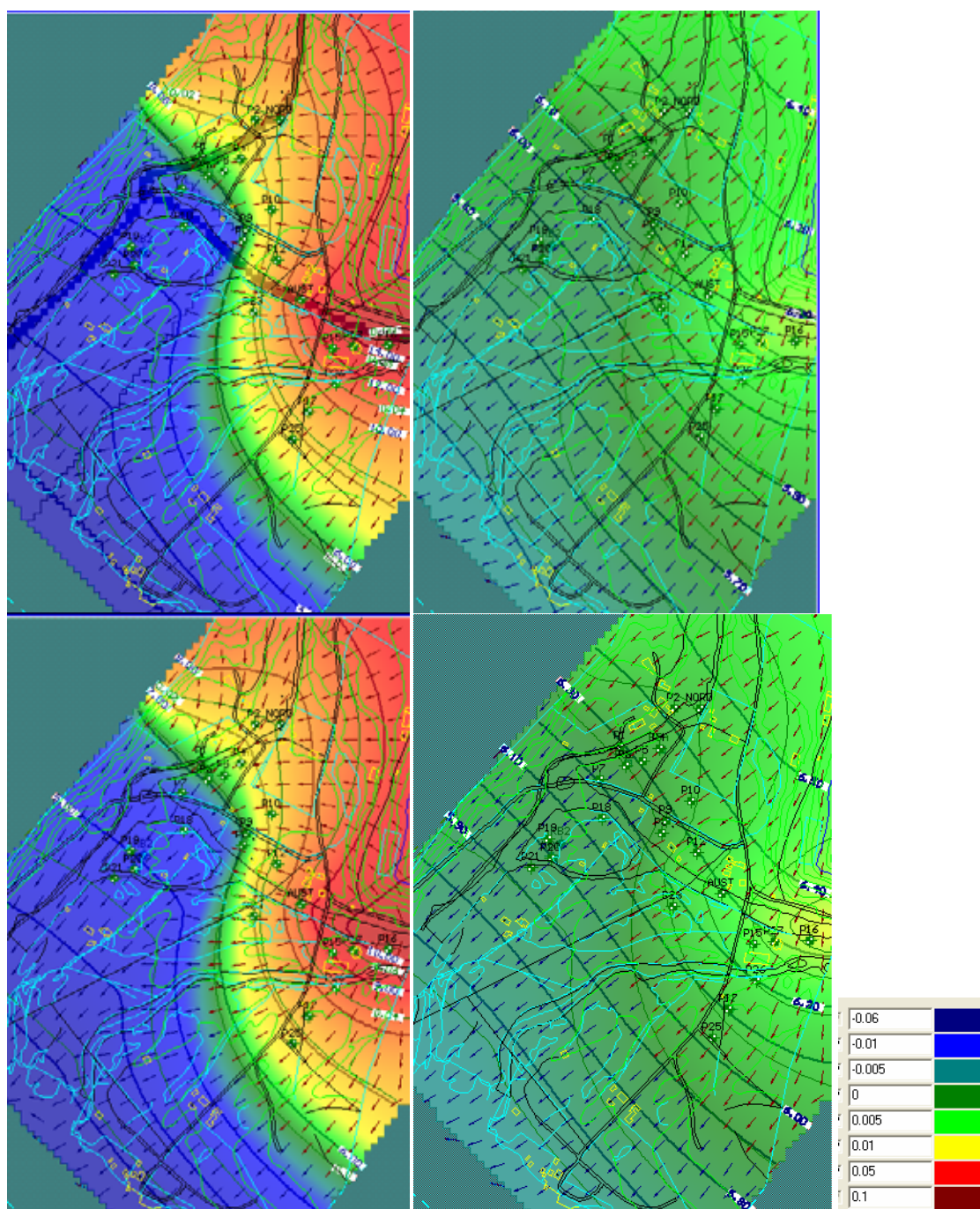
Den stabile strømningsbildet i Osa i forhold til Rena og Otta skyldes mest sannsynlig følgende forhold:

- Vannstand i Austdøla og Norddøla ligger konstant høyere enn grunnvannsstand;
- Betydelig større fall (høy gradient) i Austdøla og Norddøla enn i Glomma/Lågen;
- Relativt konstant trykkforskjell mellom Austdøla og Norddøla;
- Konstant trykkforskjell mellom Austdøla og havet hvor grunnvannet strømmer ut.

Figur 44 viser at elvevann infiltreres i grunnen i hele strekningen på Austdøla og på en permanent måte uavhengig av vannregimer. Strømningsbildet langs Norddøla nord for samløpet er mindre tydelig. Norddøla følger de laveste delene av terrenget slik at det blir naturlig for overfaltevann og grunnvann å strømme inn mot elva. Grunnvannslinjene viser at grunnvannet renner mot Norddøla fra fjellsiden i vest og fra området ved Hjadlane, men samtidig ligger grunnvannsstanden lavere enn nivået i Norddøla, slik at elva mater grunnvannet.



Figur 44. Grunnvannstrømningsbildene til venstre viser lag 1 (øverste akvifer) og til høyre lag 3 (nederste akvifer). Øverst er det vist ved lav vannføring og nederst ved høy vannføring. Ekvidistanse lag 1 = 1m og lag 3 = 0,1m. Pilene indikerer strømrretninger. Størrelsen på pilene er proporsjonal med strømningsmengden. Linjene indikerer grunnvannsnivåene (ekvidistanse). Grunnvannsnivåer er angitt i m o.h.



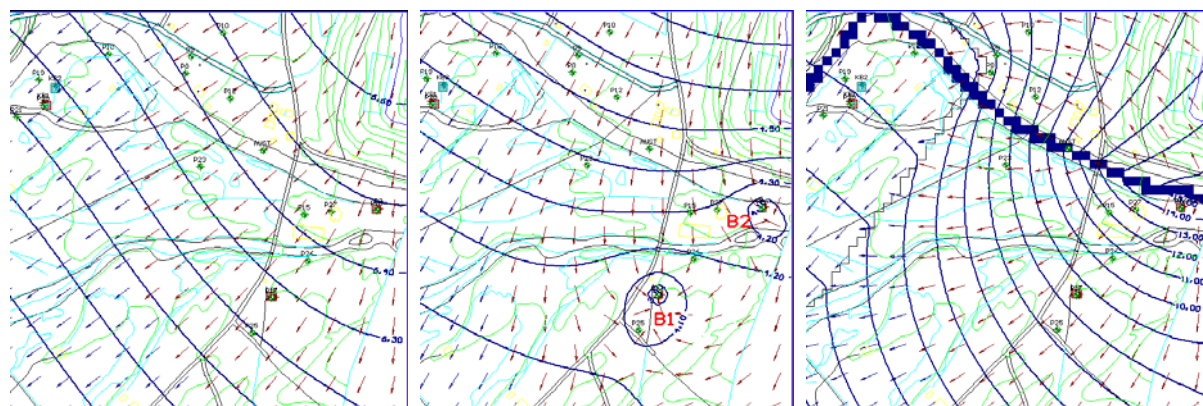
Figur 45. Til venstre ses strømningsmengder i lag 1 (øverste akvifer) og til høyre i lag 3 (nederste akvifer) ved lav (øverst) og høy vannføring (nederst). Strømningsmengder (fluks) er angitt i m/dag (0.01=10 mm/dag). Positive verdier (i rødt og gult) indikerer at grunnvannet infiltreres i grunnen. Negative verdier (i blått) viser mengder grunnvann som strømmer ut mot overflaten og til havet.

Figur 45 viser strømningsmengder angitt i m/dag ved lavvannføring og i periode med liten flom (samme periode som Figur 44). Figuren viser at det infiltreres på en konstant måte ca. 10 mm/dag fra Austdøla og nærliggende kilder til underliggende magasinet (lag 2). Dette er omtrent den samme vannmengden som samtidig infiltreres i den nedre akviferen (fra lag 2 til lag 3). Figur 45 viser at vannet ved Norddøla oppstrøm samløp med Austdøla strømmer horisontalt siden strømningsmengder opp og ned er omtrent lik null.

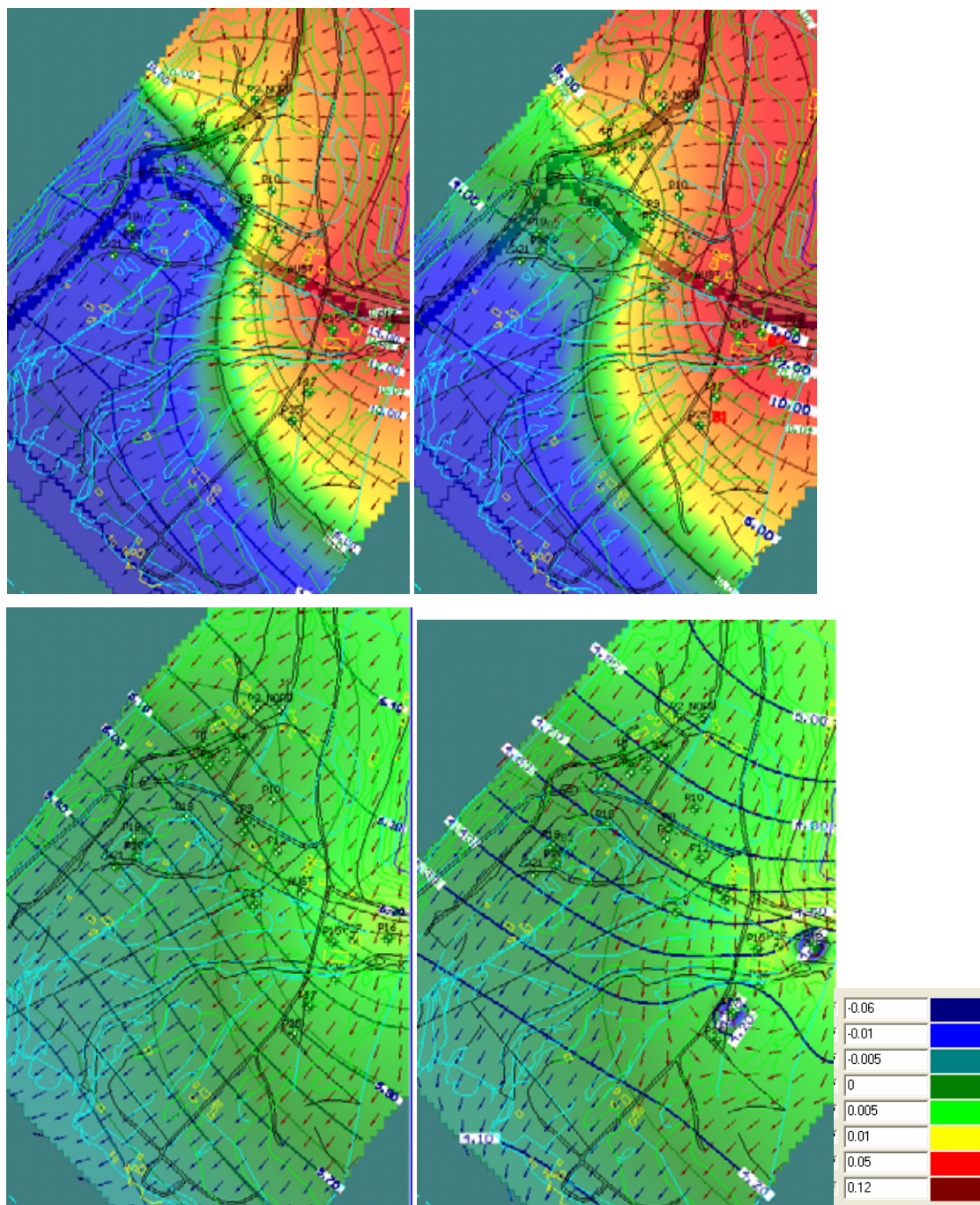
3.3.2. Effekt av grunnvannsuttak

Grunnvannsuttaget i de 3 pumpebrønnene (B1, B2 og kommunalt vannverk) simuleres med konstant uttaksmengder i hele simuleringsperioden. Uttaksmengden ved den kommunale vannverk er 12 l/s, mens de to andre brønnene som planlegges å sette i drift simuleres med følgende uttaksmengder: B1 (40 l/s) og B2 (30 l/s). Figur 1 viser lokaliseringen av disse pumpebrønner.

Planen til OVE er at pumpingen utføres kun noen dager pr måneder for å fylle en 20 000 tonns tankbåt. Med et uttak på ca. 100 l/s vil dette ta ca. 2 døgn. Båten vil ligge ankret til kaianlegg. Det simuleres her verst scenario med et samlet permanent uttak av 70 l/s i B1 og B2. Figur 46 viser strømningsforholdene med og uten pumping ved en periode med lavvann. Pumpingen fører til svært lokalisert endringer (senkningstrakt rundt brønner), men hovedstrømningsbildet i den øvre akviferen er lite endret i forhold til normal tilstand uten pumping. I den nedre akviferen er det imidlertid en klar påvirkning slik det er vist i figur 46.



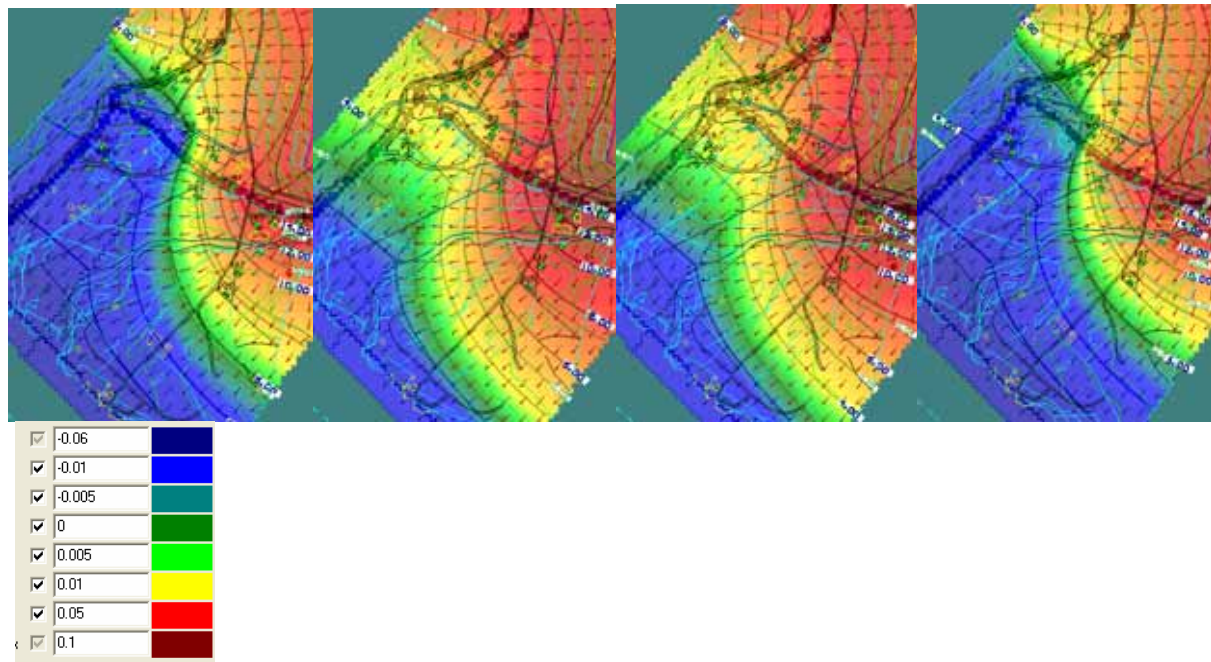
Figur 46: Viser strømningsforhold i lag 3 ved pumpebrønn B1 og B2 i periode med lavvann (ekvidistanse 0,1 m). Til venstre uten pumping og til høyre med pumping (30 l/s i B2 og 40 l/s i B1). Helt til høyre er det vist lag 1 med pumping (ekvidistanse 1 m).



Figur 47: Simulerte endring i strømningsmengder ved lavvannføring. Til venstre uten pumping og til høyre ved grunnvannsuttak ved Osa sommeren 2004. Øverst vises strømning i lag 1 og nederst i lag 3. Strømningsmengder (fluks) er angitt i m/dag (0.01=10 mm/dag). Negative verdier (i blått) indikerer at grunnvann strømmer oppover (mot brønn og sjø), mens de positive verdier (i rødt) viser at ellevann infiltreres i grunnen. Skalaen er den samme som i Figur 45.

Figur 47 viser inntrengningsmengder fra lag 1 (elvene + kilder langs fjellet) til lag 2, og fra lag 3 (nedre akvifer) med og uten pumping ved lavvann. Figur 47 (bildet opp til høyre) viser at arealet til område hvor vannet infiltreres i grunnen blir betydelig større ved pumping enn uten pumping. Pumpingen av totalt 70 l/s i den nedre akviferen fører ikke til endringer i strømningsbildet i lag 1. Det fører imidlertid til at vann infiltreres i grunnen mot den nedre akviferen fra et større område, som dekker hele området nedstrøm samløpet mellom Norddøla og Austdøla. Strømningsmengder er også fordoblet lokalt og kan være større enn 20 mm/dag. Simuleringene viser at ustrømningsmengder mot havet er redusert fra ca. 10 mm til ca. 5 mm/dag. Mengdene er fortsatt positive, slik at det ikke er fare for saltinntrengning fra sjøen.

I Figur 48 er det vist de mest ekstreme forholdene ved et uttak på 140 l/s i 4 brønner. Som en kan se av figuren endrer innstrømningsmønsteret seg, men det er ikke fare for inntrengning av saltvann i akviferen.



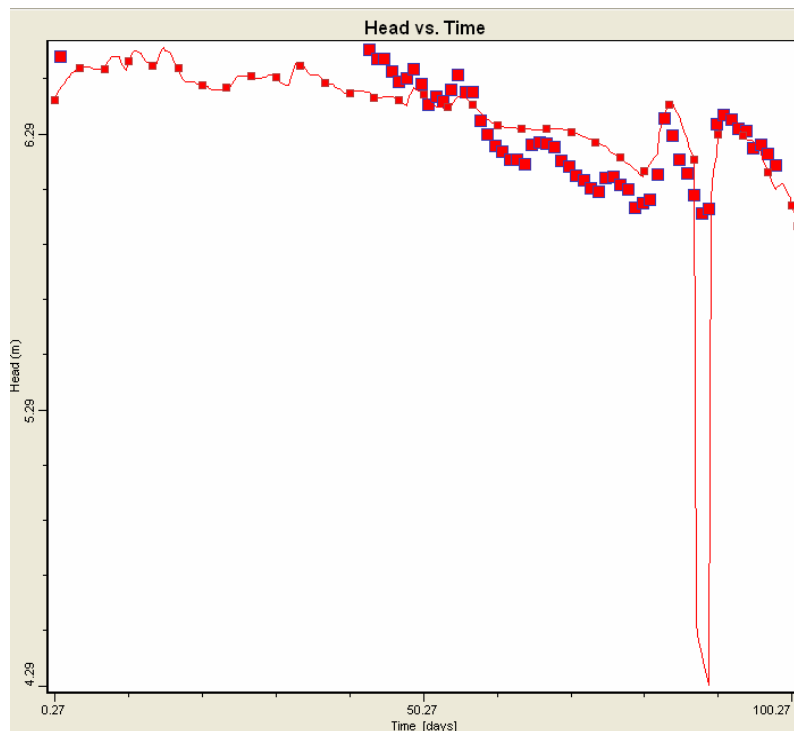
Figur 48: Flux-strømningsbildet i lag 1 ved et samlet uttak på 140 l/s i 4 brønner. Bilde til venstre er før pumping, neste etter 1 dag, så etter 2 dager og til høyre første dag etter pumping har stoppet. Skalaen er den samme som i Figur 45.

Pumpingen har derfor et dobbelt effekt på grunnvannsforholdene:

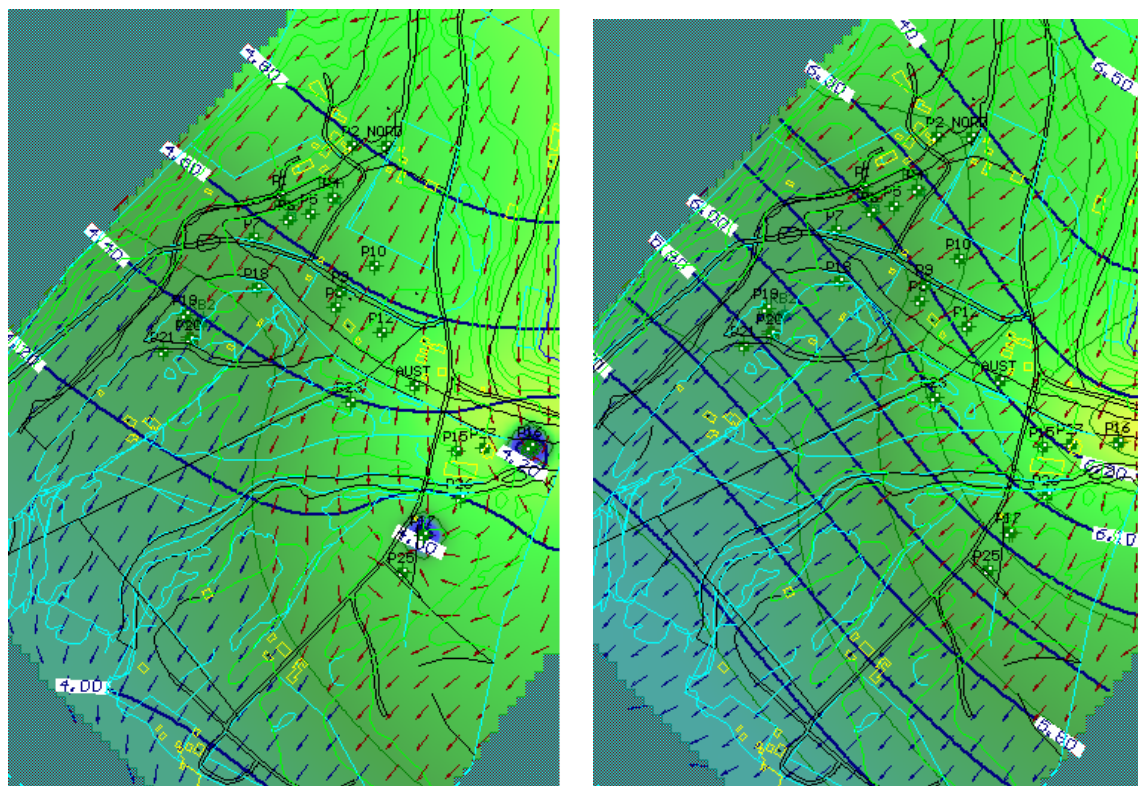
- betydelig økning av tilsigsområdet og inntrengningsmengder;
- reduksjon av utstrømningsmengder mot havet.

Figur 47 viser at permanent vannuttak på totalt 70 l/s kan ha betydning for mengder vann som infiltreres i grunnen og dermed vannføring i elvene. Siden Austdøla allerede er tørr før samløpet med Norddøla ved lavvannføring om vinter, vil utpumpingen ha relativt liten betydning for miljøet. Lavere vannføring i Norddøla og lavere temperatur kan derimot ha større betydning for naturmiljøet ved Norddøla.

I Figur 49 er det simulert et uttak på 70 l/s i B1 og B2 som varer i 2 dager. Av figuren kan en se at grunnvannsstand kommer raskt tilbake til normalen etter avsluttet pumping. Strømningsmengder under det samme forsøket er vist i Figur 50. Dette viser at planene til OVE er forsvarlige.



Figur 49: Endringer i grunnvannsstand ved et samlet uttak av 70 l/s i B1 og B2 fra dag 88 til dag 90 simulert i peilerør P27.



Figur 50: Simulering av strømningsmengder i lag 3 siste dag av pumping (til venstre) og første dag etter at pumping er avsluttet. Skalaen er den samme som i Figur 45.

Simuleringene viser samme resultatene fra prøvepumpingen, dvs. at grunnvannsnivået i den nedre akviferen stiger raskt etter stopp av pumpingen med 70 l/s i B1 og B2, noe som viser at det skjer en rask oppfyllingen av den nedre akviferen.

3.3.3. Effekt av elveregulering

Som beskrevet i kapittel 1.2.4 er Norddøla og Austdøla sterk påvirket av reguleringen og oppbygging av Sima kraftverk. Elvene er egentlig ikke regulert, men større deler av nedbørsfeltet er ført bort ved overføring av vann til Sima kraftverk. Undersøkelser har visst at elvevannsstand og grunnvannsstand har sunket ca. 50 cm i gjennomsnitt i Osa etter reguleringen (1979). Etter reguleringen er den midlere variasjon mellom høyeste og laveste grunnvannsstand betydelig redusert og undersøkelsen foretatt av NVE (Renshusløyken, 1985) konkluderte med at samtlige grunnvannsrør i Osa ved samløpet av elvene er påvirket av reguleringen som følge av lavere vannstand og lavere variasjoner i vannstand.

Simuleringer utført på Rena (Colleuille et al., 2004c) viser at endringer i elvevannstand har nesten ingen effekt på utvekslingsmengder, på strømningsforhold og vannoppholdstid. Det er ikke forsøkt i dette arbeidet å simulere effekt av reguleringen siden strømningsforholdene i Osa er neste permanent og gradient i elvene i forhold til endring i vannstand er mye større (senkning ved regulering var maksimum 0,5 til 0,7 m).

Et viktig spørsmål er om lavere vannføring og følgende lavere grunnvannsstand i den øvre akviferen har ført til lavere vanninntrengningsmengder i den nedre akviferen. Vil fastsettelse av minstevannføring i Norddøla og Austdøla kunne forbedre forholdene for grunnvannsuttak mht. til kvantitet og kvalitet?

Det er observert at kilden i fjorden nedenfor B1 (Salbuvika) var mye større før reguleringen. Pumpeforsøk i B1 og B2 har vist at grunnvannstanden i kilde/brønn i grustaket nær fjorden ble lavere ved pumping langs Austdøla. Simuleringene viser også at ustrømningsmengder mot havet reduseres litt ved utpumping av store mengder grunnvann. Det er sannsynlig at økt vannføring i elvene vil føre til mer grunnvannsdannelse i begge akviferene siden det er elvene som mater stor sett disse akvifer. Krav om minstevannføring i Norddøla og Austdøla vil derfor ført til mer grunnvann og dermed bedre forhold for uttak av grunnvann. Osa Vanneksport (OVE) er interessert i vann med lavt mineralinnhold. Det antas også at større vannføring i elvene vil føre til raskere gjennomstrømming i akviferen og trolig lavere mineralinnhold i grunnvannet.

4. Konklusjoner

Simuleringer viser at grunnvannsnivåene varierer i takt med elvevannsstandene, men strømningsbildet er relativt stabilt. Austdøla og Norddøla mater grunnvannsmagasinet både under høy- og lavvannsføring. På grunn av den store forskjellen mellom elvenivå og grunnvannsspeil i Austdøla, hender det at elva går tørr i perioder. I Norddøla er det imidlertid relativt jevn vannføring gjennom året, dette skyldes i stor grad flere kilder langs dalsiden som mater elva med vann.

På Rena i Hedmark, hvor samspill mellom grunnvann og elvevann ble analysert tidligere (Colleuille et al., 2004c), er forholdene annerledes ved at det er en veksling mellom perioder hvor grunnvannet mater elva (lav vannstand i elva) og elva mater grunnvannet (flom). Største forskjell i forhold til Rena er at gradienten på elvene er mye større i Osa, og dette utgjør den viktigste parameter mht. strømningsforholdene. På Rena er det en gradient på ca. 20 cm for 500 m, i Osa er det flere titalls meter. Til forskjell fra Østlandet styres også grunnvannsnivået i deltaområdet i typiske Vestlandsfjorder av havnivå som har en relativt konstant størrelse. Fjordlandskapet på Vestlandet er karakterisert med brattere og trangere daler som også gir mindre vassdrag enn på Østlandet. Observerte data fra Norddøla og Austdøla viser at nedbørsperioder fører til raske endringer i elvenivå. Overflateavrenningen i disse nedbørsfeltene er derfor forholdsvis høy pga av skarp topografi, rask snøsmelting og rask tilstrømning gjennom permeable rasmaterialer (stein og blokker) og åpne sprekker i fjell. Mye av dette vannet strømmer ut av rasmaterialer i kilder før det renner ut i elvene (grunnvann med relativt lav oppholdstid). Dette stemmer bra med Baseflow beregning (Wong og Colleuille, 2005) som viser at andelen grunnvann med lang oppholdstid (dvs. med stabil temperatur og kjemiske karakteristika), kan være betydelig lavere i Vestlandsvassdrag med skarp topografi enn på Østlandet. Om vinteren er 75-95 % av vannføringen på Østlandet grunnvann, mens det ligger rundt 40-60 % på enkelte vassdrag på Vestlandet og i Nord-Trøndelag.

Etter reguleringen, som fant sted i 1979 ved overføring til Simadal, er det skjedd en markert endring i vannregimene i Austdøla og Norddøla. Vannføringen er i perioder ned mot 10 % av den opprinnelige, elvevannsstanden har sunket med ca. 50 cm og elvevannsstandens amplitude har blitt sterkt redusert. Samtlige grunnvannsrør i området er påvirket av regulering. Påvirkningsgrad av grunnvannsstanden øker i nærheten av elvene. Det er uklart om lavere vannføring etter regulering og følgende lavere grunnvannsstand i den øvre akviferen har ført til lavere vanninntrengningsmengder i den nedre akviferen. Begge akviferen mates stort sett direkte ved infiltrasjon fra elvene, og pålegg om minstevannføring vil dermed ha en positiv effekt mht. utnyttelse av grunnvannsressurser i Osa (kommunalt vannverk til Ulvik kommune og grunnvannsanlegg for eksport av drikkevann fra Osa Vanneksport (OVE)).

5. Referanser

- Andersson, A. og Andersson, O. Gustavson, G., 1984. Brunnar-undersøkning-dimensjonering-borning-drift. Rapport R42:1984. Byggeforskningsrådet.
- Colleuille H., 2005. Tiltaksvurdering mot oversvømmelser I Otta sentrum. Analyse av grunnvannsforhold ved modellverktøy. NVEs rapport. ISBN 82-410-0548-2.
- 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). Rapport 1. 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). Rapport 2. Materiale og feltmålinger. NVEs rapport Miljøbasert vannføring 2-2004.
- Colleuille H., Wong W., Dimakis P, 2004c. Elv og grunnvann. Analyse av interaksjon mellom et grunnvannsmagasin og Glomma i Rena, Hedmark (002.Z). Rapport 3. Grunnvannsmodellering. NVEs rapport Miljøbasert vannføring 3-2004.
- Dagestad, A., 2000. Statusrapport grunnvannsundersøkelser i Osa, Ulvik Herad. Resultater fra prøvepumpingen. NGU-rapport.
- Johnsen, G. og Hellen, B.A., 2000. Vurdering av konsekvenser av planlagt uttak av grunnvann for dyrelivet i Norddøla og Austdøla i Ulvik. Rapport 30/9 2000. Rådgivende Biologer AS.
- Langguth, H.R. og Voigt, R.H., 1980. Hydrogeologische Methoden. Springer Verlag, 486 s.
- Otnes og Roasted, 1978. Hydrologi i praksis. Ingeniørforlaget.
- Renshusløkken B., 1985. Grunnvannsundersøkelser i Øvre Eidfjord, Simadal og Osa. NVE Oppdragsrapport 10 – 85.
- Sigmond, E.M.O., 1998. Geologisk kart over Norge. Berggrunnsgeologiske data Odda, M1:250 000. Norges geologiske undersøkelse.
- Soldal O., Valen V. og Misund A., 2001. Hydrogeologiskeforhold i Osa, Ulvik Herad. ICG-rapport 10. juni 2001.
- Wong K. W. og Colleuille H., 2005. Elv og grunnvann. Estimering av grunnvannsbidrag til det totale avløpet vha. hydrogramseparering. NVEs 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 sjørøret (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 Sægrov, 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 (30 s.)



Statkraft
REN ENERGI