

Vedlegg 1

Tytlandsvik Aqua AS – vedlegg til
reguleringsplan

Georadarundersøking

TYTLANDSVIK AQUA AS

PLANER FOR UTTAK AV GRUNNVANN

Tiltakshaver				
Navn	Adresse:	Tlf.	Epost:	Org.nr.
Tytlandsvik Aqva AS v/Roger Viga	4130 Tøtlandsvik	97960579	roger@viga.one	813 837 692
Konsulent				
COWI AS v/Oddmund Soldal	Sandvenvegen 40 5610 Norheimsund	Tlf 95184021	Epost: ods@cowi.com	

PROJEKTNR.

A082165

DOKUMENTNR.

1

VERSJON

2

UTGIVELSESDATO

31.10.2016

BESKRIVELSE

UTARBEIDET

Oddmund Soldal,
Jostein Soldal,
Håvard F. Fiksen
og Vidar Østerbø

KONTROLLERET

Oddmund Soldal

GODKJENT

Oddmund Soldal

INNHOOLD

1	Sammendrag	4
2	Innledning	5
3	Områdebeskrivelse	6
3.1	Geografisk plassering av tiltaket	6
3.2	Nedbørsfelt	7
3.3	Klima	8
3.4	Vannføring i Vorma og Kvednhusgjuvet	9
3.5	Tiltaksområdet	10
4	Geologien i området	11
4.1	Vurdering av geologiske forhold	14
5	Georadarmålinger	14
6	Prøvepumping fra eksisterende brønn	19
6.1	Logging under prøvepumping	19
7	Vannkvalitet	22
7.1	Resultat brønn	22
7.2	Resultat elv	22
8	Vurdering av grunnvannsforholdene	23
9	Diskusjon	23
10	Referanser	25
	VEDLEGG	26

1 Sammendrag

Tytlandsvik Aqua AS ønsker å ta ut opptil 4m³/min grunnvann fra gnr/bnr 35/1/1. Vannet skal brukes til settefiskanlegg. Uttaket skal reguleres gjennom revidering av reguleringsplanen for området.

Tytlandsvik Aqua AS har planer om etablering av et settefiskanlegg i Tytlandsvik. Drift av settefiskanlegget er avhengig av store mengder ferskvann, anslagsvis 4 m³ i minuttet.

I forbindelse med dette er COWI AS engasjert for å undersøke grunnforholdene for uttak av grunnvann fra løsmassene i området. I de innledende undersøkelsene er det gjort geologiske vurderinger av løsmasseforholdene, målinger med georadar, prøvepumping med logging av grunnvannsnivå og elektrisk konduktivitet samt analyse av vannprøver.

Det ligger store mengder grus- og sandavsetninger sentralt i dalen. I disse områdene er det gode forhold for å finne store mengder grunnvann.

Geologiske strukturer som kommer frem i georadarsignalene indikerer at det trolig ligger grus- og sandavsetninger i tykkelse på opptil 30 meter i området. Det anbefales å foreta prøveboringer og videre prøvepumping for å dokumentere disse forholdene.

Uttak av 4 m³/min med vann fører til lite endring av grunnvannsnivåene, men det er registrert en svak tendens til økende elektrisk konduktivitet under prøvepumping.

Innledende vannprøver viser vann med relativt lavt innhold av aluminium og kobber.

Det er ikke sannsynlig at uttak av grunnvann vil påvirke Vorma i målbar grad.

For å forvalte vannressuren på en forsvarlig måte, er det satt krev til bruken av området. Krevene er satt for at de skal møte krav på samme måte som i en konsesjon.

Forslag til miljømål for uttaket av grunnvann:

- **Uttaket av grunnvann skal ikke føre til målbar endring av vannføring i Vorma.**
- **Uttaket av grunnvann skal ikke føre til inntrenging inntrenging av salt grunnvann nord for Vorma.**
- **Et overvåkingsprogram av tiltaket skal etableres for å sikre at miljømålene oppnås.**

2 Innledning

Tytlandsvik Aqua er et aksjeselskap som driver med fiskeoppdrett og produksjon av smolt og yngel i hav- og kystbasert fiskeoppdrett.

Planlagt nyetablering i Tytlandsvik er avhengig av sikker tilgang på ferskvann. I gjeldende reguleringsplan er det ikke tatt med noe om vannforsyning fordi den planen var basert på at anlegget skulle forsynes med ferskvann.

Området er et gammelt sandtak der det ble vasket løsmasser, uttaket var oppgitt til å være 300 tonn i timen. Dette tilsvarer 83 l/s, eller ca 5 m³/min (se vedlegg). Derfor eksisterer det allerede et vannuttak. Dette er periodevis i bruk til Marie Harvest sitt anlegg i sjø.

Tytlandsvik Aqua AS ønsker i utgangspunktet å benytte samme vannressurs som har vært i bruk i lang tid. På grunn av utbyggingsplaner er det ønskelig å plassere nye uttaksbrønner lenger fra sjøen enn den eksisterende brønnen.

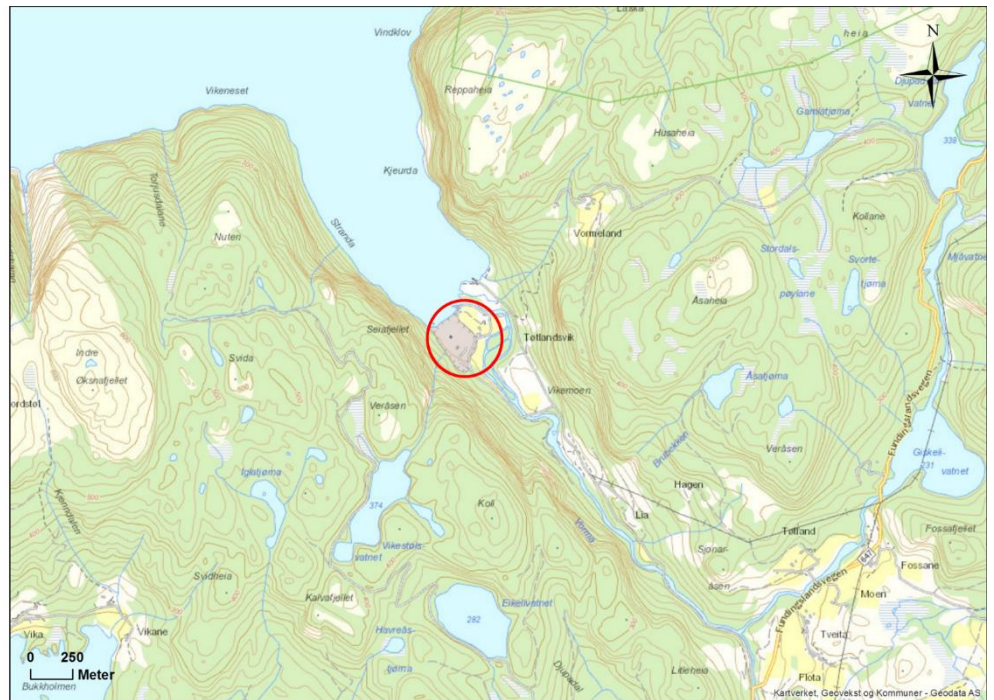
Bedriften ønsker også at tilgangen på ferskvann er sikret. For å få denne sikkerheten for tilgang på vann, kan det enten søkes konsesjon eller uttaket kan avklares gjennom en reguleringsplan.

Siden det er planer om å benytte en eksisterende brønn i samme grunnvannsforekomst, vil Tytlandsvik Aqua utarbeide en ny reguleringsplan der tilgangen til ferskvann er sikret og forvaltingsregimet av ressursen er innarbeidet i planen.

3 Områdebeskrivelse

3.1 Geografisk plassering av tiltaket

Tytlandsvik Aqua AS har planer om å etablere et settefiskanlegg i Tytlandsvik, Hjelmeland kommune i Rogaland (Figur 1 og).



Figur 1. Tytlandsvik Akva har planer om å etablere settefiskanlegg i området markert med rød sirkel.

3.2 Nedbørsfelt

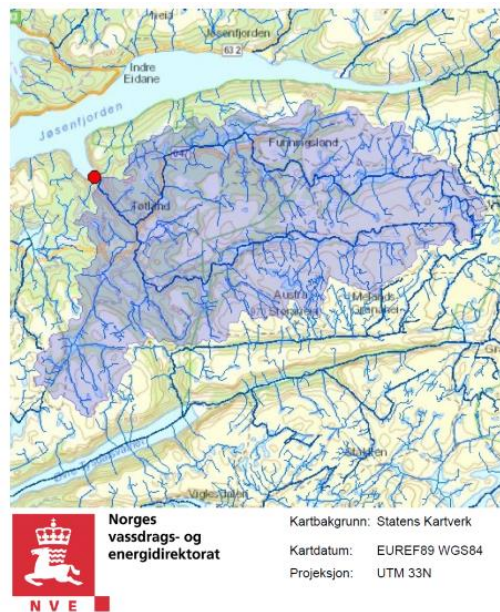
Tytlandsvik Aqua AS ligger i samme dalutløp som Vorma. Vorma drenerer et 118,63 km² stort nedbørsfelt. Kvednhusgjuvet har dreneringsløp fra vest ned i Tøtlandsvik.

Nedbørsfelt har Regine nr. 035.3z.

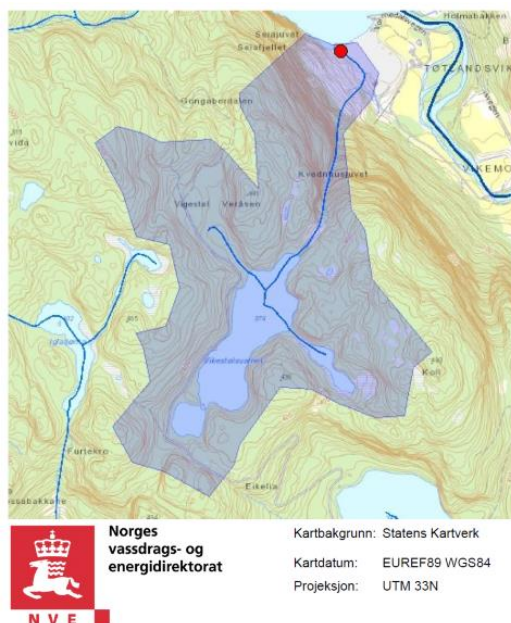
Tilførselsområdet fra Kvednhusgjuvet har Regine nr. 035.31

Områdene er vist i Figur 2 og Figur 3.

Vorma er et vernet vassdrag. Grunnvannsforholdene rundt elven vil variere med plassering, nedbørsforhold og årstid. Det er forventet at det infiltreres vann fra Vorma til grunnvannsmagasinet noen steder og at grunnvannsmagasinet mater vann inn i elven andre steder. Dokumentasjon av denne utvekslingen må gjøres på grunnlag av undersøkelser.



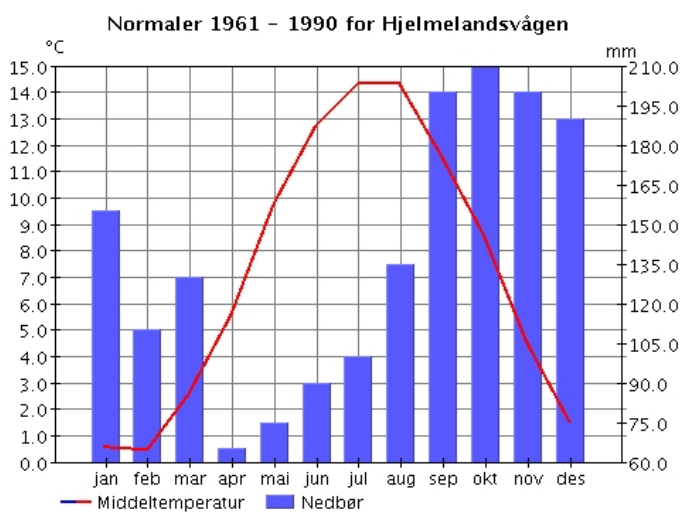
Figur 2 Nedbørsfelt 035.3Z (NVE).



Figur 3 Vannføringsberegning for elv i Kvednhusjuvet.

3.3 Klima

Fordeling av nedbør og temperatur gjennom året for Hjelmelandsvågen er vist i



Figur 4 Normalfordeling av nedbør og temperatur for Hjelmelandsvågen (eKlima).

3.4 Vannføring i Vorma og Kvednhusgjuvet

Tabell 1 viser nedbørsfeltet slik det vert beregnet i "Lavvann". Tabell 2 viser mid-delvannføring og lavvannsføring i Kvednhusgjuvet.

Tabell 1 Beregning av middelvassføring og lavvannsføring i Vorma.

Lavvannskart		Feltparametere	
Vassdragsnr.: 035.3A0		Areal (A)	118.6 km ²
Kommune: Hjelmeland		Effektiv sjø (S _{eff})	0.9 %
Fylke: Rogaland		Elvelengde (E _L)	26.8 km
Vassdrag: VORMO		Elvegradient (E _G)	39.2 m/km
Vannføringsindeks, se merknader		Elvegradient ₁₀₈₅ (G ₁₀₈₅)	39.4 m/km
Middelvannføring (61-90)	66.3 l/s/km ²	Feltlengde(F _L)	16.0 km
Alminnelig lavvannføring	16.0 l/s/km ²	H _{min}	1 moh.
5-persentil (hele året)	19.9 l/s/km ²	H ₁₀	314 moh.
5-persentil (1/5-30/9)	5.7 l/s/km ²	H ₂₀	413 moh.
5-persentil (1/10-30/4)	17.3 l/s/km ²	H ₃₀	481 moh.
Base flow	25.8 l/s/km ²	H ₄₀	560 moh.
BFI	0.4	H ₅₀	619 moh.
Klima		H ₆₀	678 moh.
Klimaregion	Sor	H ₇₀	744 moh.
Årsnedbør	2350 mm	H ₈₀	818 moh.
Sommernedbør	841 mm	H ₉₀	909 moh.
Vinternedbør	1509 mm	H _{max}	1129 moh.
Årstemperatur	3.6 °C	Bre	0.0 %
Sommertemperatur	8.7 °C	Dyrket mark	1.3 %
Vintertemperatur	-0.1 °C	Myr	3.5 %
Temperatur Juli	10.4 °C	Sjø	6.8 %
Temperatur August	10.6 °C	Skog	36.9 %
		Snaufjell	42.1 %
		Urban	0.0 %

Tabell 2 Beregning av middelvassføring og lavvannsføring i Kvednhusgjuvet.

Lavvannskart		Feltparametere	
Vassdragsnr.: 035.31		Areal (A)	1.1 km ²
Kommune: Hjelmeland		Effektiv sjø (S _{eff})	7.1 %
Fylke: Rogaland		Elvelengde (E _L)	1.4 km
Vassdrag: KYSTFELT		Elvegradient (E _G)	280.1 m/km
Vannføringsindeks, se merknader		Elvegradient ₁₀₈₅ (G ₁₀₈₅)	350.9 m/km
Middelvannføring (61-90)	45.8 l/s/km ²	Feltlengde(F _L)	1.7 km
Alminnelig lavvannføring	1.9 l/s/km ²	H _{min}	1 moh.
5-persentil (hele året)	2.0 l/s/km ²	H ₁₀	297 moh.
5-persentil (1/5-30/9)	1.0 l/s/km ²	H ₂₀	374 moh.
5-persentil (1/10-30/4)	4.8 l/s/km ²	H ₃₀	382 moh.
Base flow	17.4 l/s/km ²	H ₄₀	395 moh.
BFI	0.4	H ₅₀	401 moh.
Klima		H ₆₀	408 moh.
Klimaregion	Sor	H ₇₀	417 moh.
Årsnedbør	1987 mm	H ₈₀	428 moh.
Sommernedbør	716 mm	H ₉₀	443 moh.
Vinternedbør	1270 mm	H _{max}	504 moh.
Årstemperatur	5.9 °C	Bre	0.0 %
Sommertemperatur	11.2 °C	Dyrket mark	0.0 %
Vintertemperatur	2.1 °C	Myr	1.9 %
Temperatur Juli	12.9 °C	Sjø	10.4 %
Temperatur August	12.9 °C	Skog	81.1 %
		Snaufjell	0.0 %
		Urban	1.9 %

3.5 Tiltaksområdet

Kart over tiltaksområdet er vist i fig. 1.

Figur 5 og 6 viser hvor anlegget ønskes å plasseres.



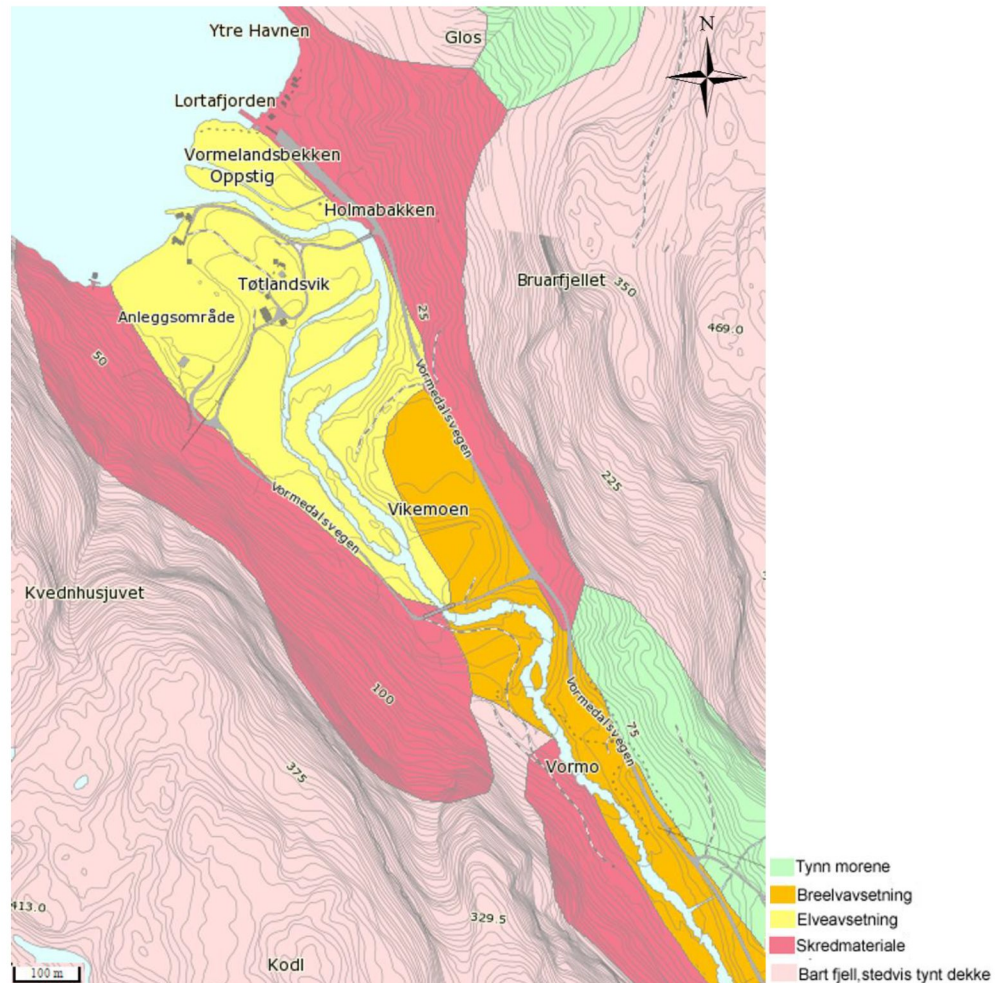
Figur 5. Planlagt plassering av settefiskanlegg området som er et avsluttet sandtak.



Figur 6. Planlagt plassering av settefiskanlegg.

4 Geologien i området

Det er kun løsmassene i området som er undersøkt. Det kvartærgeologiske kartet (Figur) viser løsmassesammensetningen i området. Brønner i fast fjell vil normalt sett ikke vil kunne gi tilstrekkelig vannmengde som dette formålet krever. Løsmassene gir en slags indikasjon på hvor mye vann som kan tas ut. Geologiske kart viseer kun forholdene i de øverste jordlag. For å vurdere vanngiverevne trengst det informasjon om forholdene mot dypet.



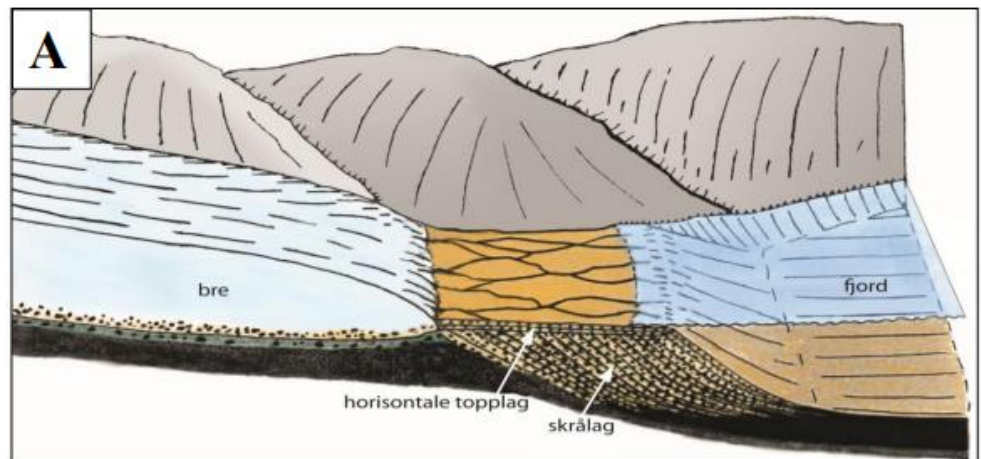
Figur 7. Kvartærgeologisk kart som viser løsmassefordelingen i området (NGU.no).

Som en kan se fra Figur består de flate områdene i dalen av breelavsetninger (oransje felt) og elveavsetninger (gule felt). Breelavsetninger er transportert og avsatt av breelver mot slutten av siste istid, ca 11 000 år siden. Lagdelingen i et såkalt breelvdelta vil typisk være avsatt i form av topplag, skrålag og bunnlag (Figur8). Skrålagene består av sand og grus, ofte i store mektigheter. Topplagene vil bestå av grove kornfraksjoner som grov stein og blokker. Breelavsetninger vil kunne gi grunnlaget for uttak av store mengder grunnvann. Bunnlagene består av finkornet materiale som er uinteressante som vanngiver.

De beste grunnvannsreservoarene har en hydraulisk forbindelse med et vassdrag eller en annen overflatekilde og kalles infiltrasjonsmagasin. Det aktuelle området

har mest sannsynlig en hydraulisk forbindelse med elven Vorma som renner nedover dalen, og kan derfor være en bra grunnvannsgiver. Det er også trolig at det ligger mye løsmasser oppover dalen som drenerer mot det aktuelle området for vannuttak.

Som regel er det lite organisk materiale i breelvavsetninger, noe som er gunstig for kvaliteten på grunnvannet. Organisk materiale bruker oksygen ved nedbryting, noe som medfører mindre oksygen i vannet og konsekvensen er at jern kan løses opp i vannet.



Figur 8. Prinsippskisse for dannelse av breelvavsetninger (Høgaas et al., 2012).

Breelvavsetninger er ofte vanlige i form av terrasser i nedre dalsider. Dersom avsetningene krysser dalbunnen vil forholdene være gode for uttak av grunnvann.

I dalsida er det en markert terrasse som viser nivået til tidligere elveløp (Figur 9). Terrassen strekker seg opp til om lag 24 m.o.h. Tilbake i tid når landet steg som en respons av trykkavlastning fra isdekket, eroderte elva i avsetningene. De øverste laget som er noen få meter tykt, består hovedsakelig av grov stein og blokker (Figur 0). Under disse er sand og grus i større mektigheter (Figur 1). Det planlagte området for settefiskanlegg er kartlagt som en breelvaavsetning.



Figur 9. Elva i dalen har erodert i terrassen i nedre dalside vest, ovenfor planlagt settefiskområde. Røde piler markerer terrassekanten. Skredavsetninger ligger over.



Figur 10. Øvre del av snittet er består av grov stein og blokker. Grus og sand ligger under, trolig i store mektigheter.



Figur 11. Grus- og sandavsetninger i snittet vest i dalsida, ved det planlagte settefiskområdet. Blokkene til venstre i bilde er dumpet i forbindelse med tidligere drift i området.

Under sand- og grusavsetningene vil det trolig være silt/leire og nederst mot fjell finnes ofte morene. Morenemateriale består av alle kornstørrelser. Slike løsmasser vil derfor ofte være pakket og ha dårlig hydraulisk ledningsevne på grunn av innholdet av finstoff. Morenemasser vil dermed ikke være aktuelle for uttak av større grunnvannsmengder.

4.1 Vurdering av geologiske forhold

Løsmasser som egner seg for uttak av grunnvann finnes i sentrale deler av dalen. Det kan ligg store mektigheter av sand og grus i disse områdene.

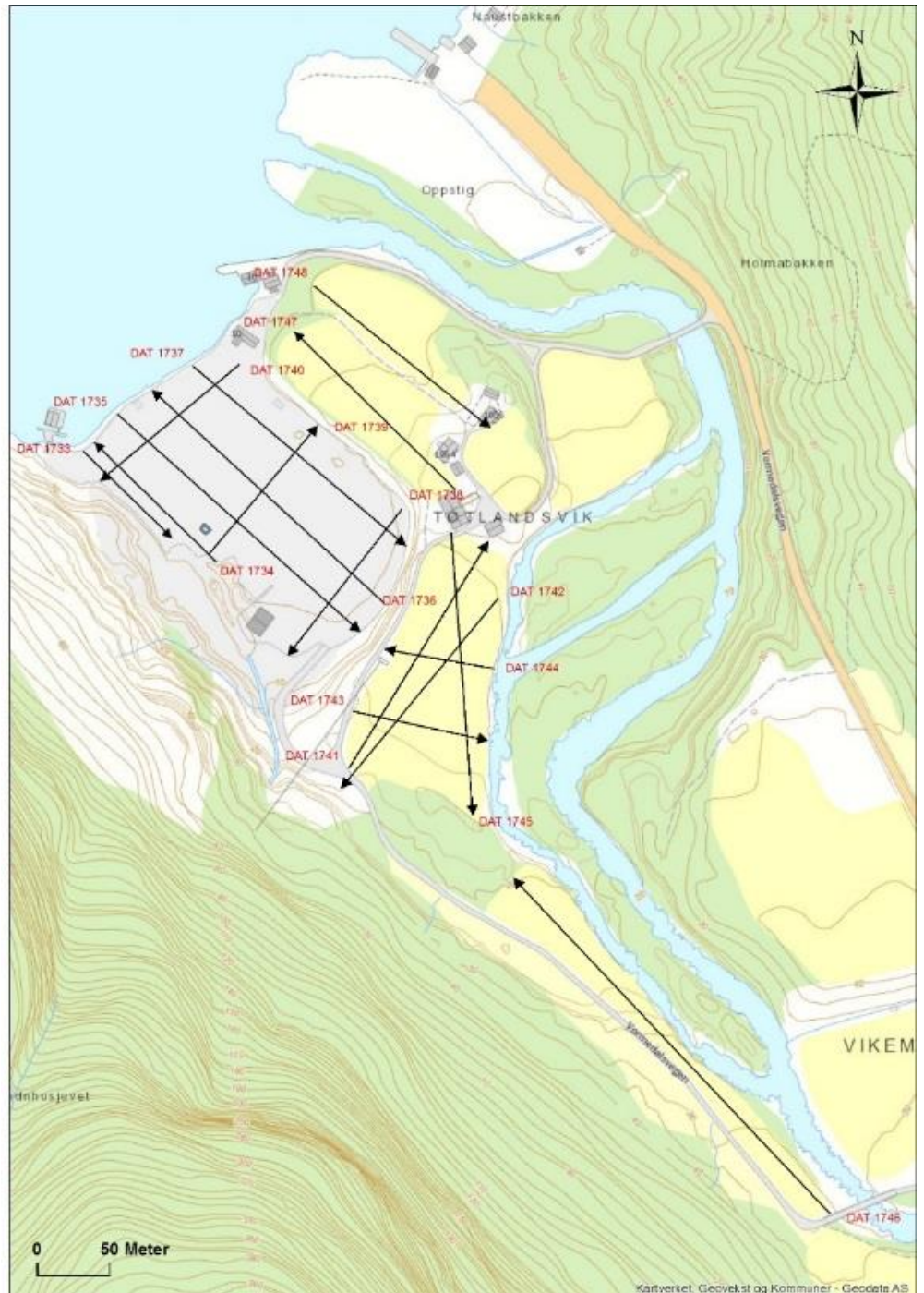
På grunn av praktiske og økonomiske grunner har undersøkelser med georadar blitt gjort i nærhet av den planlagte plasseringen av settefiskanlegget. Den kvartergeologiske tolkningen i området tilsier også at løsmassene i dette området er godt for uttak av grunnvann.

5 Georadarmålinger

I en tidlig fase av prosjektet ble det gjennomført georadarmålinger for å kartlegge om det var mulig å finne grunnvann til Tytlandsvik Aqua. Georadarundersøkelse er indirekte måling av strukturer i grunnen. Det blir sendt elektromagnetiske (radiosignal) signal ned i grunnen. Disse blir reflektert fra overganger i elektrisk egenskaper til massene. Vanligvis er det endringer i innhold av finstoff som danner refleksjoner.

Når signalene treffer vann eller masser med høy elektriskledningsevne, t.d. saltvann eller leire, blir signalene absorbert. Signalstyrken avtar raskt mot dypet. Derfor blir signal prosesserte i ettertid.

Georadarmålinger gir indikasjoner på grunnforholdene, de må kontrolleres ved hjelp av borer for å kunne dokumentere forholdene. Figur 12 viser hvor det er målt georadarprofil.

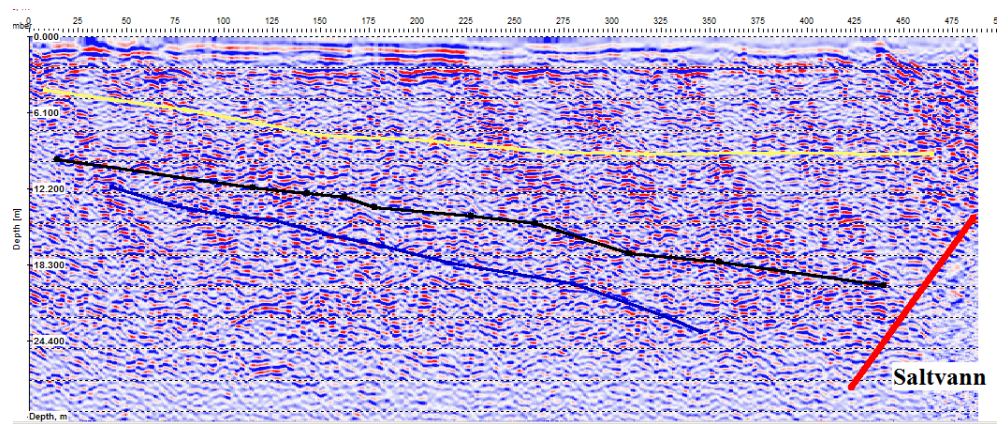


Figur 12 Kart over målte georadarprofil.

Profil 1736 (Figur 13)

Profilen er gått over området hvor det er tatt ut sand- og grus. Profilen starter i innerste del av sandtaket og går mot fjorden. Her er de øverste 8 meterne av de opprinnelige løsmassene derfor borte. I dette området kommer en derfor rett i bre-
elvasetninger.

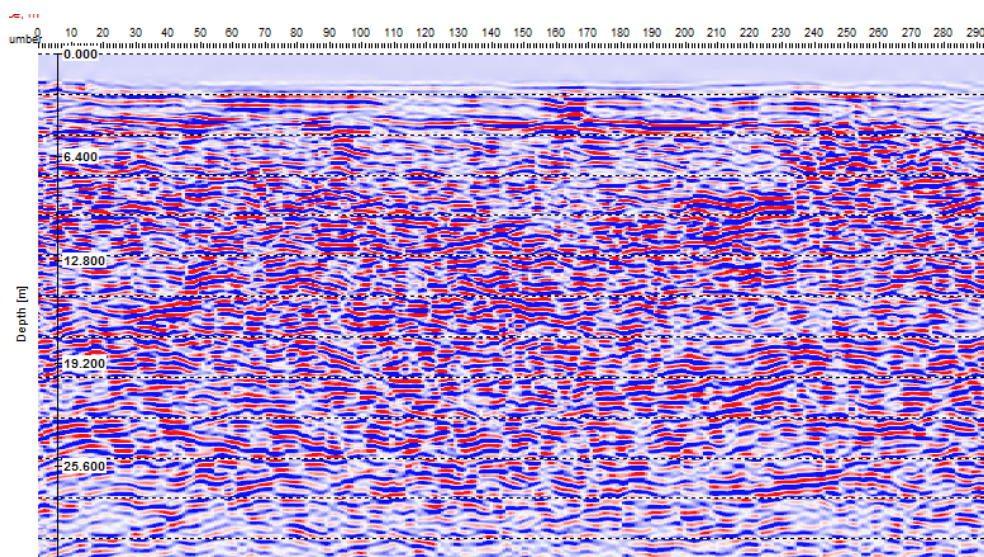
Georadarsignalene viser skråstilte lag og lagpakker som veksler med kaotiske refleksjonsstrukturer. Strukturene er vedvarende til signalene forsvinner på ca. 30 meters dyp. Løsmassene består trolig av lagpakker av sand og grus med vekslende mektighet. I nedre del av figuren er signalene svakere, dette kan skyldes brakkvann/saltvann eller finkornede avsetninger. Til høyre og nederst i figuren er signalet helt borte. Det er antatt at dette skyldes inntrenging av saltvann fra fjorden.



Figur 13 Profil 1736. Vertikal dybde er 30 meter. Fjorden er til høyre

Profil 1738 (Figur 14)

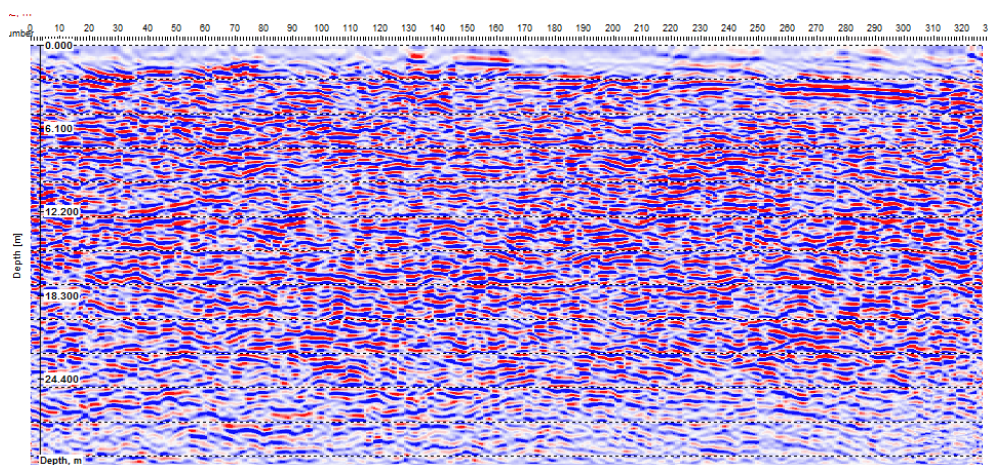
Profilen er målt på det som er antatt å være på tvers av avsetningsretningen. profilen er målt i innerste del av sandtaket. Figuren viser lagpakker av sand og grus med varierende mektighet. Figuren viser ikke lag som heller mot fjorden fordi det er målt på tvers av avsetningsretningen.



Figur 14. DAT 1738. Vertikal dybde er 30 meter.

Profil 1740 (Figur 15)

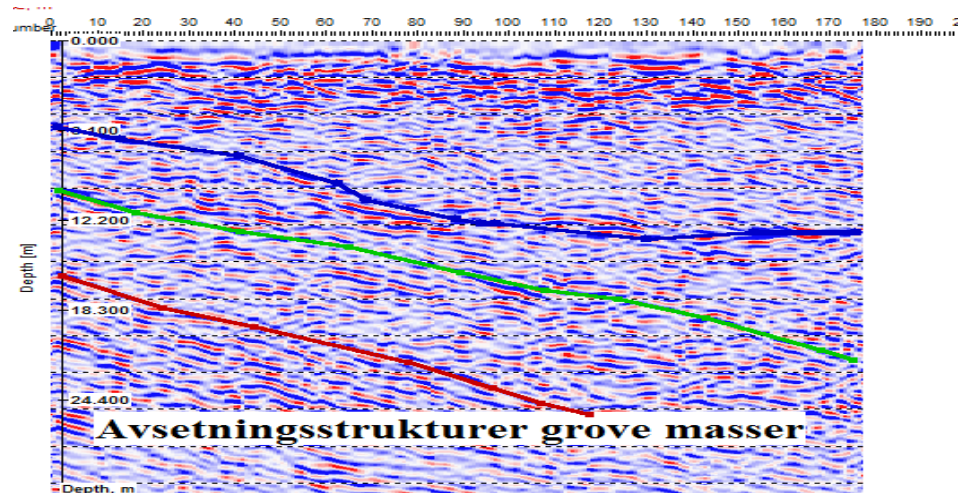
Profilen er målt nær fjorden og på tvers av avsetningsretningen. Det er relativt sterke signaler i hele måledybden og viser dermed relativt lite inntrenging av saltvann.



Figur 15. Profil 1740.

Profil 1744 (Figur 6)

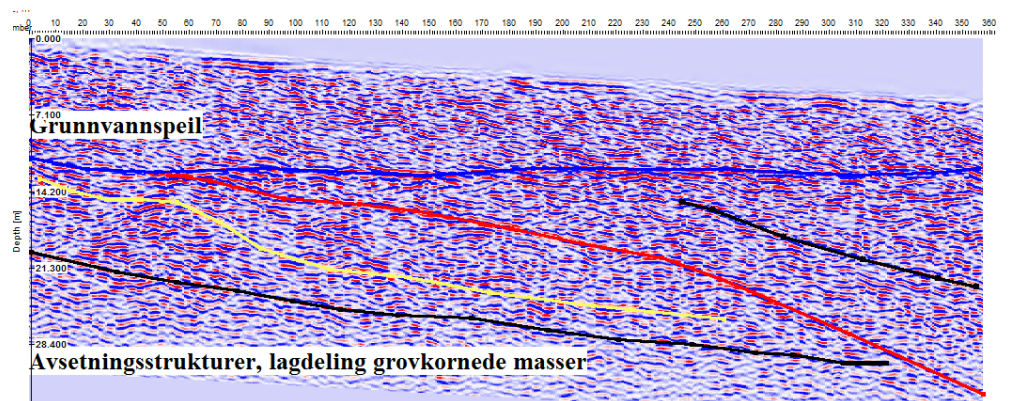
Profilen er målt på en flate mellom grustaket og Vormå. Løsmassene består av hovedsakelig av sand og grus. Skrålag fra breelavsetningene kan ses i tverrprofilen.



Figur 16. Profil 1744. Vertikal dybde er 30 meter. Fjorden er mot høyre.

Profil 1747 (figur 17)

Målingene viser at det er en markant reflektor som trolig viser grunnvannsnivået. Under dette er det strukturer som skråner ut mot fjorden. Dette er trolig skrålag i deltaet. Georadarmålingene indikerer at det er opptil 30 m med sorterte løsmasser i området. Under dette dypet er tolkingen mer uklar, dette kan skyldes at måledypet er stort eller at det er innslag av saltere vann eller mer finkornede løsmasser.



Figur 17 5 Profil 1747. Fjorden er til høyre.

6 Prøvepumping fra eksisterende brønn

Fig. 18 viser den eksisterende brønnen. Den er gravd trolig 4-5 m ned i løsmassene. Tidligere tok man ut vann for vasking av sand fra denne brønnen.

Den eksisterende brønnen ble prøvepumpet i en periode fra 16.mars til 5 april. Det ble pumpet med en kapasitet på 3 m³/min, eller 50 l/sek. I denne perioden ble det gjennomført kontinuerlige målinger av vannivå og temperatur i brønn og sjø. I brønnen ble det i tillegg målt elektrisk ledningsevne i vannet. Elektrisk ledningsevne er et mål på saltholdighet eller oppløste stoff i vannet. I tillegg ble det tatt vannprøver fra elv og brønn.



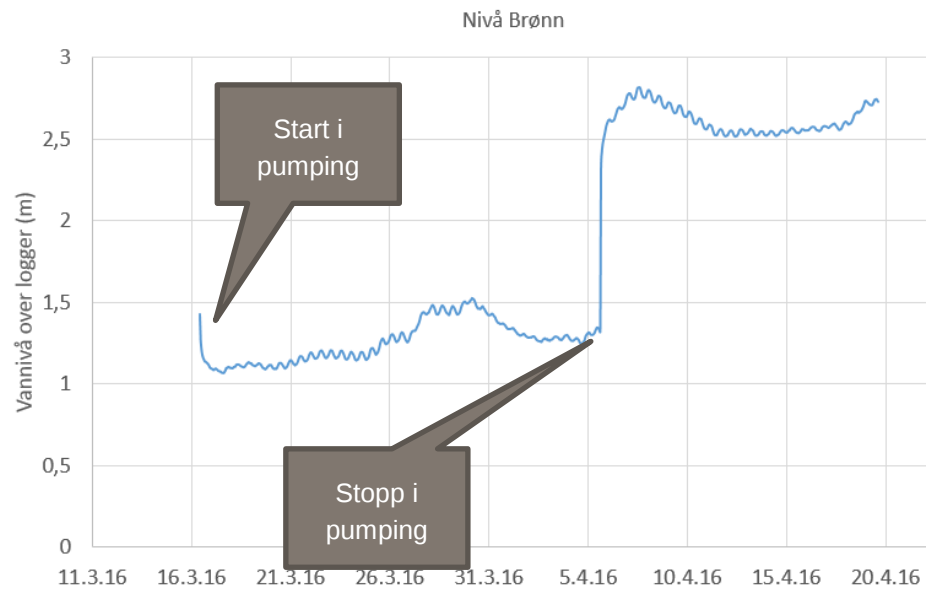
Figur 18. Gravd brønn i sandtaket. Brønnen ligger midt i sandtaket

6.1 Logging under prøvepumping

I brønnen vist i fig. 18 ble det logget under prøvepumpingen. Pumpeperioden var fra 16. mars til 5. april 2016. I brønnen var det en logger som målte temperatur, elektrisk ledningsevne og vanntrykk. I fjorden ble det plassert en logger for å måle temperatur og vannstandsendringer i sjøvannet.

I tillegg var det en logger for å måle lufttrykk og lufttemperatur.

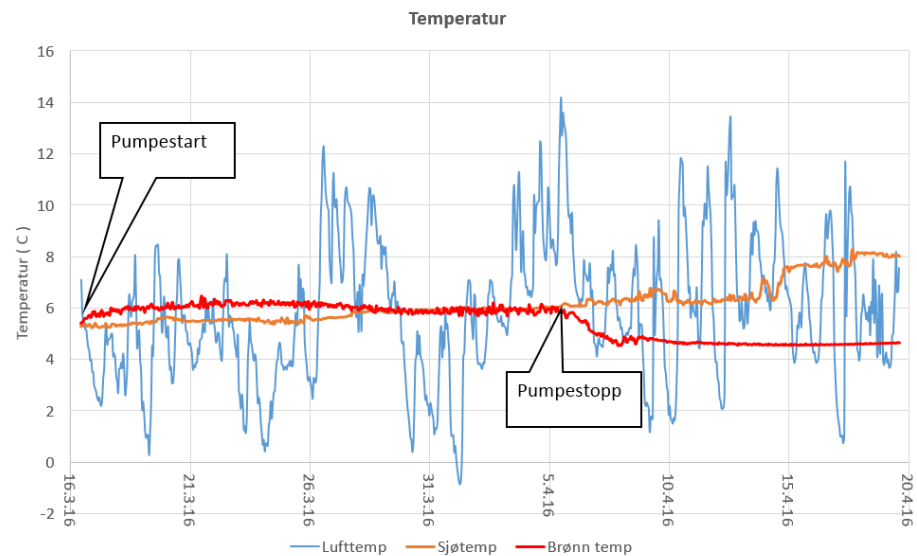
Nivået i brønn om omgivelser sier noe om kapasiteten til brønnen. Figur 19 viser vannivået i brønnen under og etter pumping.



Figur 19. Nivå i brønn under prøvepumping.

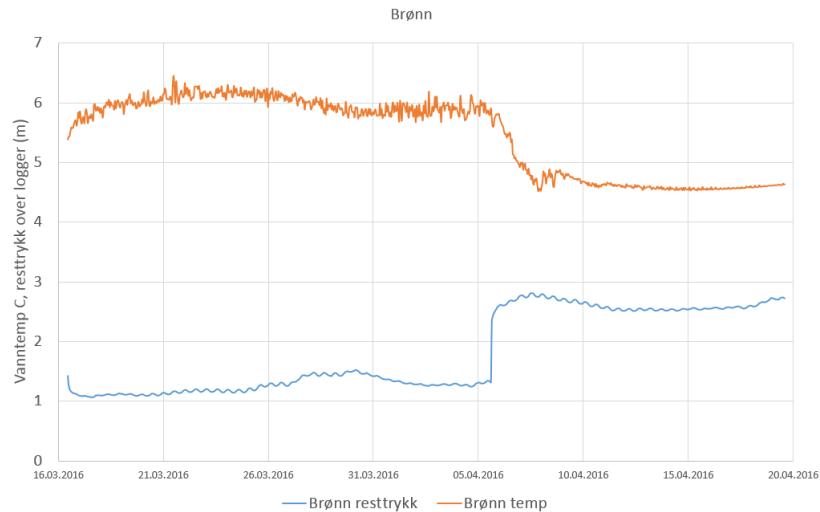
Figur 19 viser at ved start av pumpen går vannivået umiddelbart ned (har skjedd raskere enn måleintervall i logger) og at det ved stans av pumpen stiger svært raskt. Dette viser at grunnvannsmagasinet har gode vanngiveregenskaper.

Fig. 20 viser temperatur i luft, sjøvann og grunnvann under pumpeperioden.



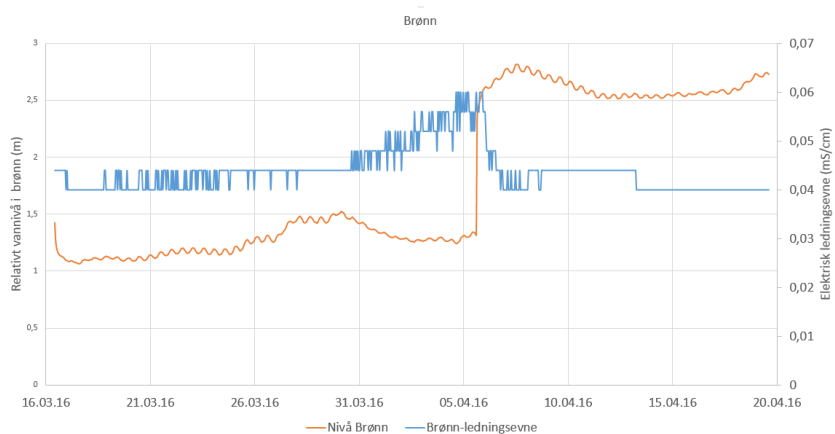
Figur 20. Variasjon i temperatur i prøvepumpingsperioden.

Figuren viser at sjøvann og grunnvann har tilnærmet lik temperatur under pumpeperioden. Når pumpen slås av og grunnvannet stiger i brønnen er det trolig mest kaldt ferskvann som siger inn til brønnen. I fig. 21 er det vist hvordan temperatur og nivå i grunnvannet fra brønnen henger sammen. Man ser også av denne brønnen at stopp av pumping fører til at vannstanden stiger og temperaturen i vannet går ned.



Figur 21. Temperatur og nivå i vannet i brønnen.

I figur 22 er det vist hvordan saltinnholdet (elektrisk ledningsevne, også kalt konduktivitet) i vannet endrer seg under prøvepumping.



Figur 22. Utvikling av elektrisk ledningsevne i brønnvannet under pumping.

Figur 22 viser at det er en viss stigning i ledningsevnen under pumping. Dette viser at det er vann av en annen sammensetning enn det man startet med som trekkes inn. Det første som kan mistenkes er at det er brakkvann som trekkes inn. Kun lang tids pumping vil kunne avgjøre dette, men det er verd å merke seg at verdien for konduktivitet er svært lav og er ikke i nærheten av å være salt. Man ser også at ledningsevnen umiddelbart går ned når pumpen er avslått og nytt vann renner inn mot brønnen. Dette viser på samme måte som temperaturen i vannet at det strømmer inn kaldt ferskt vann etter avsluttet pumping.

7 Vannkvalitet

7.1 Resultat brønn

Tøtlandsvik brønn	16.03.2016	22.03.2016	29.03.2016	05.04.2016
Test	Resultat	Resultat	Resultat	Resultat
Arsen (As) (µg/l)	0,034	0,033	0,042	0,028
Bly (Pb) (µg/l)	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Kadmium (Cd) (µg/l)	<0,0040	0,0058	0,0047	< 0,0040
Kobber (Cu) (µg/l)	0,18	0,15	0,22	0,15
Krom (Cr) (µg/l)	< 0,050	< 0,050	0,060	< 0,050
Kvikksølv (Hg) (µg/l)	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Nikkel (Ni) (µg/l)	0,079	0,055	0,063	< 0,050
Sink (Zn)(µg/l)	1,2	0,57	1,4	2,9
pH målt ved 23 +/- 2°C	6,3	6,2	5,9	
Konduktivitet/ledningsevne (mS/m)	4,36	3,91	4,27	6
Alkalitet til pH 4,5 (mmol/l)	0,05	0,07	0,05	
Suspendert stoff (mg/l)	2,4	<1,5	<1,5	<1,5
Aluminium (Al) (µg/l)	140	38	44	57
Jern (Fe) (µg/l)	170	0,67	0,83	

7.2 Resultat elv

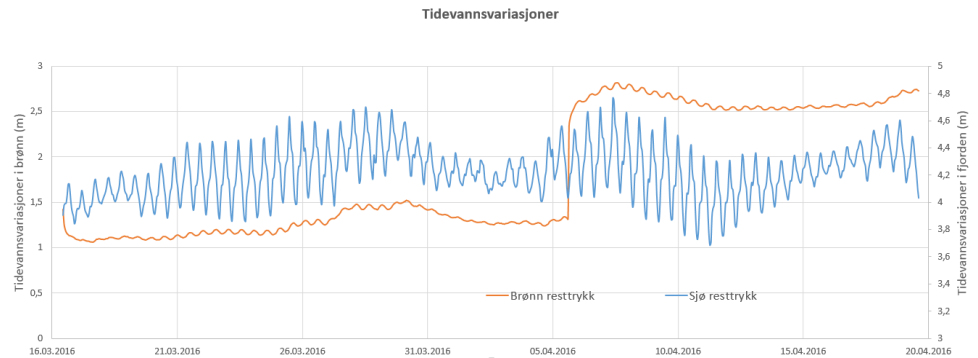
Tøtlandsvik Elv	16.03.2016	22.03.2016	29.03.2016	05.04.2016
Test	Resultat	Resultat	Resultat	Resultat
Arsen (As) (µg/l)	0,055	0,051	0,054	0,051
Bly (Pb) (µg/l)	0,053	0,068	0,11	0,067
Kadmium (Cd) (µg/l)	0,0067	0,011	0,0089	0,0072
Kobber (Cu) (µg/l)	0,21	0,29	0,51	0,17
Krom (Cr) (µg/l)	< 0,050	< 0,050	0,061	< 0,050
Kvikksølv (Hg) (µg/l)	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Nikkel (Ni) (µg/l)	0,13	0,16	0,17	0,13
Sink (Zn)(µg/l)	2,6	2,7	3,7	3
pH målt ved 23 +/- 2°C	6,3			
Konduktivitet/ledningsevne (mS/m)	3,53			
Alkalitet til pH 4,5 (mmol/l)	0,07			
Suspendert stoff (mg/l)	<1,5	<1,5	1,5	<1,5
Aluminium (Al) (µg/l)	76	72	88	75
Jern (Fe) (µg/l)	48			

Vannprøven fra oppstart av brønnen har noe høy aluminiumsverdi og innhold av suspendert materiale. dette viser at det er noe partikler med i vannet under oppstart av pumpingen.

Både kobber og aluminiumsverdiene antas å være så lave at det ikke er antatt å ha biologiske effekter.

8 Vurdering av grunnvannsforholdene

Det er påvist at det er løsmasser til stort dyp i området. Området ligger nær fjorden og et uttak vil kunne dra inn saltvann om man ikke styrer både uttaksmengder og uttakssted etter dette forholdet. Det er påvist en sammenheng mellom tidevannsvariasjoner i fjor og brønn selv om utslagene i nivå er mye lavere i brønnen enn i fjorden (fig. 23).



Figur 23. Tidevannsvariasjoner i sjø og i brønn. Merk ulik skala for grunnvannsvariasjoner og tidevann.

9 Diskusjon

For å drive settefiskanlegget er Tytlandsvik Aqua avhengig av tilgang på ferskvann, foreløpige anslag indikerer et vannbehov på 4 m³ per minutt, tilsvarende 67 l/sek.

Ferskvann kan ikke tas fra elva som renner gjennom dalen siden denne er vernet. Grunnvann er derfor den eneste ferskvannsressursen i området.

Den utførte undersøkelsen er gjort for å få bedre forståelse av grunnforholdene i området. Dersom grunnvann skal benyttes som vannkilde, må det være sand- og grusavsetninger av en viss mektighet under grunnvannspeilet. En standard vurdering er at det trengs en mektighet på minimum 10 meter med sand- og grusavsetninger under grunnvannspeilet for å kunne ta ut store vannmengder.

Vannboring i fast fjell forutsetter at man treffer gode, grunnvannsførende sprekkesystem. Borebrønner i fast fjell vil normalt sett ikke gi tilstrekkelig grunnvannsforsyning for et settefiskanlegg.

Det har vært tatt ut store mengder grunnvann over lengre tid fra eksisterende brønn. Uttaket er ikke dokumentert ved mengdemåling, grunnvannsnivå eller vannkvalitet.

Eksisterende pumpe fra brønnen har en uttakskapasitet som er nær vannmengden som Tytlandsvik Aqua ønsker for fremtidig utbygging. Det er vist at grunnvannsmagasinet har den ønskede kapasiteten til å møte behovet. De avgjørende forhold som må dokumenteres bedre er derfor å undersøke hvordan uttaket vil påvirke vannkvalitet over tid og om uttaket kan påvirke vannføringen i Vormå.

Uttak av store mengder grunnvann nær en fjord, vil som regel føre til at saltvann trenger inn i grunnvannsmagasinet. Dette er å se på som forurensing hvis inntrengningen trenger så langt inn at det påvirker brønnene. Om det trekker noe inn i magasinet, trenger det ikke bety noe for vannressursen som skal utnyttes. Prøvepumpingen har også vist at når pumpen stoppes, så trenger det på nytt ferskere vann inn i brønnen. En inntrenging av saltvann trenger derfor ikke å være en permanent situasjon. Det kan variere over året, og det kan også være avhengig av nedbør. Det kan også være hensiktsmessig med en viss innblanding av saltvann for f.eks. å justere pH i vannet.

Basert på minstevannføring beregnet som 5-persentilen i sommerhalvåret er denne 1 l/s km² for Kvednhusgjuvet. Nedbørsfeltet er 1,1 km², minstevannføringen kan derfor settes til 1,1 l/s.

For Vorma er samme størrelse 5,7 l/s km² og nedbørsfeltet er 118,6 km².

Minstevannføring (5-persentilen) for Vorma i sommermånedene er altså 676 l/s.

Hvis brønnene skulle trekke alt vann direkte fra Vorma, ville dette utgjøre 10% av vannføringen dersom det pumpes 67 l/s. Brønner vil trekke mye vann fra det som er grunnvannsreservoaret i dalen. Det er lite trolig at et grunnvannsuttak vil føre til målbar effekt på vannføringen i Vorma. Påvirkningen grunnvannsuttaget har på elva er en del av det som må dokumenteres før fullskala produksjon iverksettes.

Det er ikke gjennomført langtids prøvepumping for å teste grunnvannsmagasinet sin totale yteevne og kapasitet. Dette bør gjennomføres så snart som det finnes å være økonomisk forsvarlig i forhold til investeringsplanen.

Det foreslås å sette rammebetingelser for vannuttaket. Eksempel kan være at vannstanden skal opprettholdes i retning Vorma eller at saltinnholdet i grunnvannet ikke skal overstige en viss verdi i enkelte områder. For at myndighetene kan godkjenne reguleringsplanen og utnyttelsen av grunnvannet, foreslås det at det settes miljømål for tiltaket og at disse målene innarbeides i reguleringsplanbestemmelsene.

Forslag til bestemmelser i reguleringsplan

Forslag til miljømål for uttaket av grunnvann:

- **Uttaket av grunnvann skal ikke føre til målbar endring av vannføring i Vorma.**
- **Uttaket av grunnvann skal ikke føre til ekstra inntrenging av salt grunnvann nord for Vorma**
- **Et overvåkingsprogram av tiltaket skal etableres for å sikre at miljømålene oppnås.**

For å kunne dokumentere disse forholdene må det etableres både pumpebrønner og overvåkingsbrønner. Det er lagt inn et planlagt brønområde i planens sørlige del. Dette vil sikre størst mulig avstand til sjøen.

Skal man oppnå målet om at det ikke fører til endringer i retning Vorma, må det settes overvåkingsbrønner for å bevise at det ikke skjer endringer i grunnvannstand som følge av pumping. I tillegg bør vannstanden i Vorma måles over tid. Dette gjøres ved å etablere to målepunkt i elva, ett nedstrøms antatt påvirkningsområde, og ett oppstrøms. Disse målingene kalibreres ved å gjøre saltfortynningsmålinger for å kvantifisere vannføringen i elva.

For å ikke trekke salt grunnvann inn utenfor det regulerte området må det settes 2 overvåkingsbrønner langs planens østlige grense.

10 Referanser

Høgaas, F., Hansen, L., Rindstad, B.I., Sveian, H., Olsen, L. 2012. Database for registrering av marin grense (MG) i Norge. Rapportnr. 2012.063. Trondheim: Norges Geologiske Undersøkelse, NGU.

VEDLEGG

Fra: Kjell Apeland <ka@hardangerrock.no>

Dato: onsdag 26. oktober 2016 22:02

Til: Nils Viga <nils@fistersmolt.no>

Emne: Vannforbruk Tytlandsvik

Til denne dette gjelder:

-Vår familiebedrift, Tytlandsvik Sandindustri AS, har drevet sanduttak fra 1975 /76 til 1994. I løpet av ca 20 år leverte vi topp betongtilslag (sand & singel) til betongplattformene som ble laget av NC i Jåttavågen. Selskapet og produksjonen ble avviklet midt på 1990 tallet, da markedet for betongplattformer tørket inn.

-Grunnen til at ingen fra ledelsen selskap kan dokumentere dette er at de har gått bort. Jeg er den eneste fra ledelsen (var adm.dir de siste årene) som fremdeles er i bransjen.

-Gjennom vår leveranse av betongtilslag utviklet vi en produksjonsteknologi som krevde vasking. Dette for å redusere filler – og humusinnholdet i sanden . Til dette ble det etablert en brønn for å sikre nok vannkapasitet. Fordelingen mellom sand og vann var 1:1. Produksjonen av sand i gjennomsnitt 300 tonn pr time over perioder på flere måneder. I tillegg ble det forbrukt vann under lasting av singel på båtene som transporterte betongtilslaget fra Tytlandsvik til Jåttavågen.

-Ut fra dette hadde vi snittforbruk på ca 300 tonn vann i timen da vi hadde produksjon i Tytlandsvik.

Med vennlig hilsen

Kjell Apeland
Daglig leder

 **HARDANGERROCK**
Hardanger Rock AS
Dalane 29
4137 Årdal
Tlf +47 913 42 813
ka@hardangerrock.no
www.hardangerrock.no

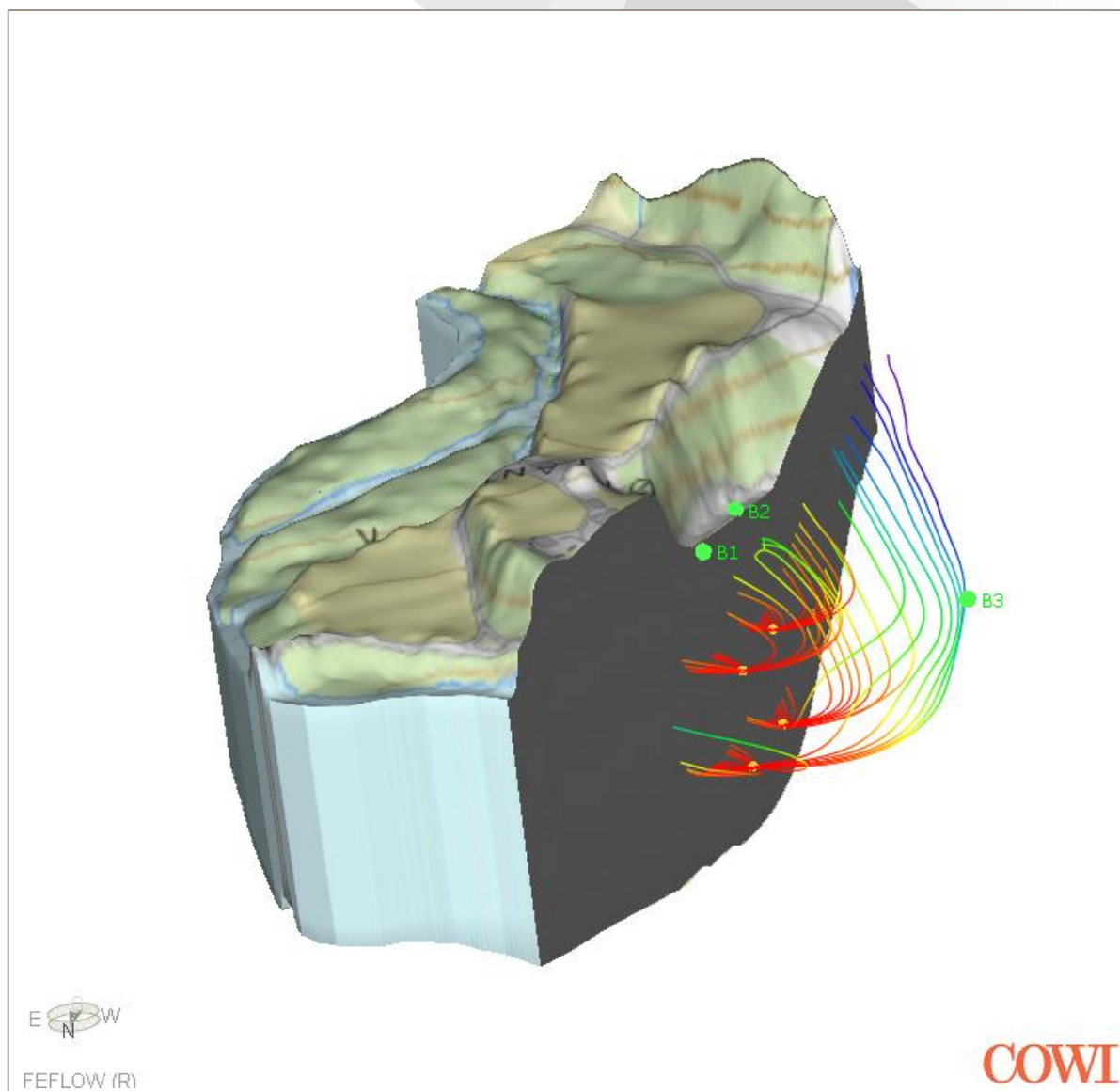
Vedlegg 2

Tytlandsvik Aqua AS - grunnvassmodell

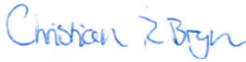


TYTLANDSVIK AQUA AS

HYDROGEOLOGISK MODELL

MODELLERING AV GRUNNVASSFORHOLDA I TYTLANDSVIK OG
SIMULERING AV UTTAK AV GRUNNVATN.



Dokumentinformasjon

Tittel:	Tytlandsvik Aqua AS. Hydrogeologisk modellering		
COWI-kontor:	Bergen		
Oppdrag nr:	A082165	Rapportnummer	1
Utgivelsesdato:	25.08.2017	Antall sider:	22
Tilgjengelighet:		Antall vedlegg:	0
Utarbeidet:	Christian Rekve Bryn	Sign.	
Kontrollert:	Oddmund Soldal	Sign.	
Oppdragsgiver:	Tytlandsvik Aqua	Oppdragsgivers kontaktperson:	 Roger Viga

INNHALD

Samandrag	4
1 Innleiing	5
1.1 Grunnlagsdata	6
1.2 Grunnvassmodellering	11
1.3 Kalibrering	12
1.4 Samspel mellom overflatevatn og grunnvatn	12
2 Resultat	14
2.1 Samanlikning av observerte og simulerte verdiar	14
2.2 Simulering med uttak frå to brønnar	15
3 Diskusjon	20
4 Konklusjonar	21
5 Referansar	22

Samandrag

Det er etablert ein hydrogeologisk modell for eit delta i Tytlandsvik i Hjelmeland kommune. Modellen er laga for å simulera grunnvassforholda ved uttak av grunnvatn. Modellen er oppretta i modelleringsprogrammet FEFLOW på grunnlag av informasjon om grunnvasstand, elvevasstand, nedbørsdata, geologi frå boreloggar og sedimentprøvar og hydraulisk konduktivitet frå kornfordelingsanalysar.

Elvane Vormo og Kvernhusbekken infiltrerer til grunnvassmagasinet både utan og med pumping.

Ved pumping vil ein samla opp denne grunnvasstraumen. Modellen viser ikkje at utpumping av vatn aukar infiltrasjonen frå vassdraga.

Simuleringsresultata syner at ved pumping av 66 l/s (4 m³/min) fordelt på to brønner vil det vatnet som vert pumpa ut ha opphav frå grunnvasstraum i dalfyllinga, naturleg infiltrasjon frå elv, nedbør og grunnvatn frå dalsidene.

Simuleringsmodellen viser heller ikkje at det vert trekt inn saltvatn frå fjorden. Dette er også underbygt ved data frå prøvepumping. Ingen teikn til saltvassinntrenging er observert.

1 Innleiing

Industriområdet i Tytlandsvik vart avsatt til industri/akvakultur i reguleringsplan vedteken i 2004. Området ligg utenfor verneområdet for elva Vormo, og tilhører nedbørsfeltet knytta til fjorden/avrenning frå Vigestølsvatnet. I samarbeid med Hjelmeland kommune vart det i 2016 teke initiativ til å oppgradere reguleringsplanen frå 2004, der bl.a. uttak av grunnvatn ble en del av reguleringsinnholdet.

Tytlandsvik Aqua har, i forbindelse med etablering av et postsmoltanlegg i Tytlandsvik, behov for ferskvann for å styre vasskvaliteten og produksjonsforholda i produksjonen av stor smolt.

I åra 1975 ti 1994 teke ut store mengder grunnvatn til vasking av sand. Tytlandsvik Aqua AS ønskte å videreføre dette uttak av ferskvann som historisk har vore teke ut på det regulerte arealet, tilsvarende ca. 5 m³/min.

I møte med NVE, 27.01 2017, kome det fram at NVE ønskte likevel at uttaket skulle konsesjonsbehandast, og at ein fokuserte på løsnings som unngikk:

1. Saltvannsinntrenging i grunnvatnet.
2. Påvirkning på vassføringa i elva Vormo.

Det er etablert to pumpebrønner og tre djupe observasjonsbrønner for å kunna få grunnlag for å laga ein simuleringsmodell og for å kunna gjennomføra reell prøvepumping. Det er også etablert fem grunne observasjonsbrønner. For å kunna få inntrykk av langtidseffektane av grunnvassuttaket er det laga ein simuleringsmodell for å sjå på effekten av utpumping.

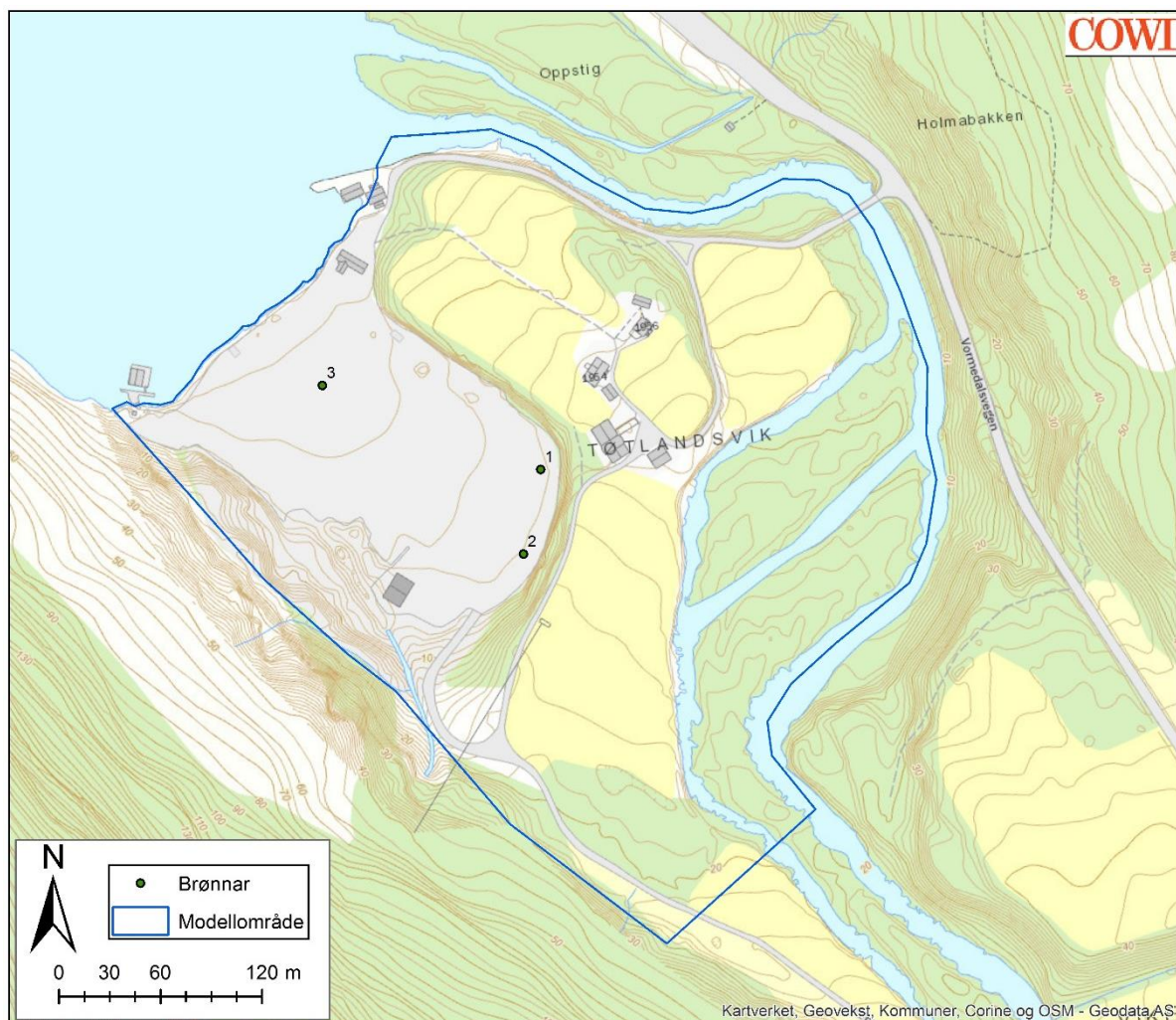
Den hydrogeologiske modellen er bygd med grunnlag i observasjonar og tolkingar av 3 brønnboringar og grunnvassniv, elvevasstandar, geologi, hydrologi og hydrogeologi.

Dette er ein modell bygd på konsept om undergrunnen og visse hydrologiske og hydrogeologiske forhold. Det er manglande data i deler av området, der det då er gjort antagelsar av grunnforholda. Modellen er blitt brukt til å simulere grunnvasstandar og straumningsretningar ved forhold då grunnvasstand og elvevasstand vart målt, for så å simulere eventuell effekt av pumping på vassføringa i elva Vormo.

Det er mykje sorterte lausmassar i dalføret. Med eit stort vassdrag og nedslagsfelt er det ein betydeleg grunnvasstraum gjennom massane i dalføret. Det er venta at grunnvassforholda er sterkt påverka av vekselvirkning mellom grunnvatnet og vatnet i elva. Undersøkingane skal derfor undersøka om eit grunnvassuttak kan endra vassføringa i Vormo og om uttak av grunnvatn kan føra til at saltvatn trengjer inn frå fjorden.

Modellområdet

Modellområdet er valgt ut ifrå området sine naturlege avgrensingar som t.d. elvar og sjø. Modellområdet er avgrensa av elva Vormo i nord og aust, Tytlandsvika i nord-vest, dalsida i sør-vest og dalen i sør-aust. Modellområdet er vist i Figur 1.



Figur 1 Oversiktskart som syner modellgrense og Tytlandsvik, samt plassering av borebrønner.

Den hydrogeologiske modellen er bygt på det anerkjente modelleringsprogrammet FEFLOW (Finite Element subsurface Flow system) brukt. Dette er eit program som kan bli brukt til å simulere grunnvasstraumning, massetransport (transport av f.eks forurensningar) og varmetransport. I dette tilfellet er simulering av grunnvasstraumning brukt. For meir informasjon om modellering og Feflow sjå <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/feflow>.

1.1 Grunnlagsdata

For å byggje ein hydrogeologisk modell og simulere grunnvasstraumningen trengs det diverse grunnlagsdata. Desse inkluderer i dette tilfellet:

- › Nedbørsdata
- › Elvevasstand for fleire punkter i Vormo
- › Vasstand i Tøtlandsvika
- › Observasjonar av grunnvasstand ved fleire lokalisasjonar
- › Geologi

- › Sedimenta sin hydrauliske konduktivitet
- › Pumpebrønn; brønn djupn, filterlengde, brønnradius og pumperate

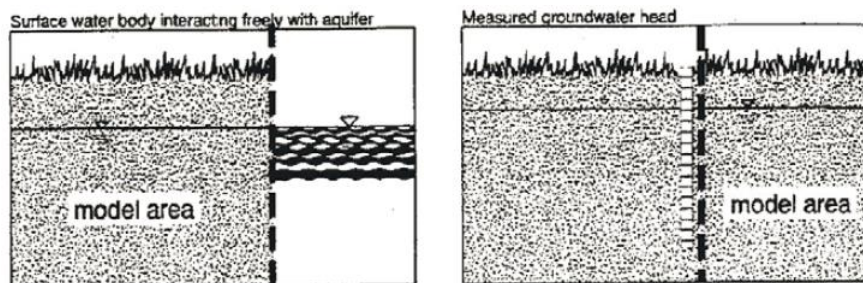
Nedbørsdata

Nedbørsdata er henta frå avrenningsmodellen til NVE der all form for evaporasjon og snølagring er tatt hensyn til. Me går her ut ifrå at det vatnet som ikkje vert drenert til bekker eller elver vil infiltrere bakken. Avrenning frå NVE sin modell er difor brukt som input data i modellen. Det meste av den estimerte avrenninga innafor modellområdet vil infiltrere i grunnen og perkolere ned til grunnvatnet. Det er tatt hensyn til terreng og helning mot bekker og elver når det vert kalkulert kor mykje vatn som kjem med grunnvatnet frå dalsidene og dalen oppstrøms Tøtlandsvika.

Grensebetingelsar

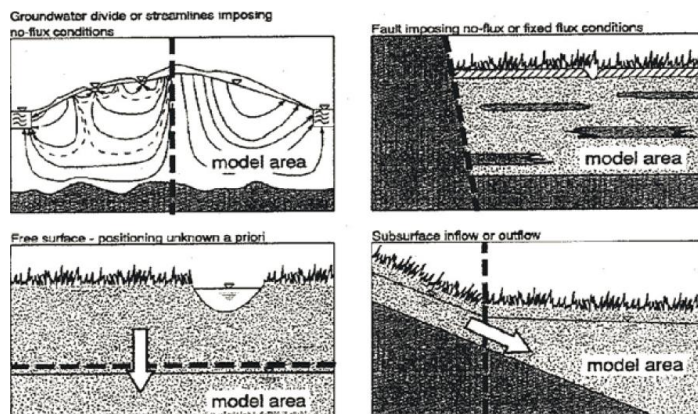
Grensebetingelsane for modelgrensene er viktige for simuleringresultata. Metodikken går ut på å velge type grensebetingelse og kva verdiar som skal verte brukt. Desse vert valgt for punkt (nodes) som bitt cellene i modelldomenet saman. Det er brukt fire typar grensebetingelsar i denne modellen (Figur 2, Figur 3, Figur 4) :

- 1 For vasstand i Tytlandsvika er det valgt eit konstant trykk ut ifrå verdiar henta frå terrengmålingar (kartlagt med lasermålingar frå fly, såkalla LIDAR (Light Detection And Ranging) målingar). Desse data vart innhenta samtidig som vasstanden i elva Vormo. Denne grensebetingelsen vert kalla "1st kind" eller "Dirichlet boundary condition" (figur 2). Denne er i praksis å inføre eit konstant trykk (vasstand) i kvart punkt og er den enklaste grensebetingelsen.



Figur 2 Modellgrensa i kontakt med overflatevatn (venstre) og modellgrensa i kontakt med oppmålt grunnvatn (høgre). Eit konstant nivå på overflate –og/eller grunnvatnet er gitt.

- 2 Den andre typen grensebetingelse brukt vert kalla "2nd kind" eller "Neumann boundary condition" (figur 3). I denne vert det brukt ein Darcy flux over modelgrensa. Denne vart i dette tilfellet utrekna ut ifrå eit antatt nedbørsfelt for vatn som ender opp som grunnvatn og siver inn til modellområdet. Dette vart bestemt ut ifrå topografi og avrenningsverdiar, breidde til grenseområdet og antatt djupn på sedimenta i grenseområdet.



Figur 3 Kjent eller antatt grunnvassgradient/darcy flux. Dei to øverste figurane syner null flux, der grensa er ved eit grunnvassille eller eit impermeabelt lag. Dei to nedste figurane syner vatn so straumar inn i modellen gjennom ei open grense.

- 3 Elvevasstanden i Vormo får tildelt trykknivå for kvart punkt langs elva i modellen. Men her er det også inkludert eit tettande sedimentært lag i elva. Dette laget er satt til å ha ei mektigheit på 1m. Denne grensebetingelsen vert kalla "3rd kind" eller "Cauchy boundary condition". Denne grensebetingelsen gjer at tilsig eller fråsig vert berekna ut ifrå det relevante arealet i elva, overføringsraten av vatn, og forskjellen mellom elvevasstanden og grunnvasstanden. Dette er git ved formelen:

$$Q = A * \varphi * (h_{ref} - h)$$

der

Q: inn –eller utstrauming til/frå modellen

A: arealet i elva

φ : overføringsraten

h_{ref} : referanse vasstand (elvevasstand)

h: grunnvasstand

Overføringsraten vert bestemt gjennom ein formel:

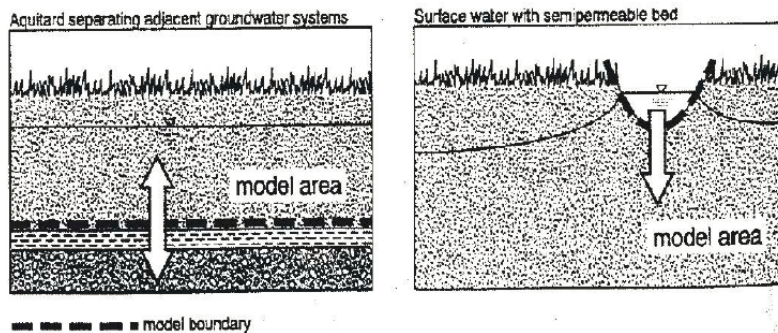
$$\varphi = \frac{K}{d}$$

der

K: hydraulisk konduktivitet

d: tjukkelse på elvedimenta

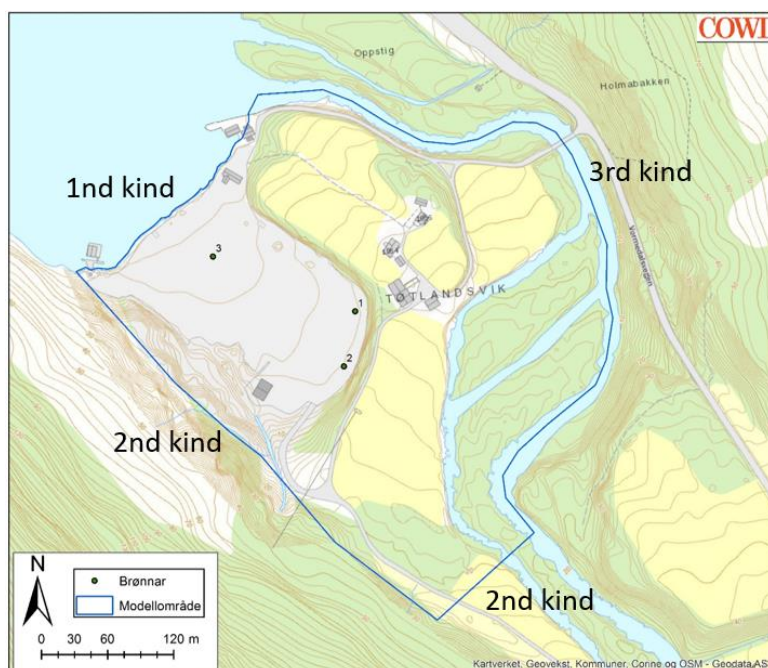
Denne grensebetingelsen byggjer på føresetnaden om at det er infiltrasjon får Vormo direkte til grunnvatnet og at det ikkje er ein umetta sone under elva.



Figur 4 Begge figurar syner tilsig av vatn gjennom eit begrensande lag. Høgre figur syner den antatte tilstanden for Vormo og grunnvassmagasinet.

- 4 I FEFLOW vert brønnar behandla som ein grensebetingelse. I dette tilfellet er det brukt ein brønnfunksjon der ein definerer brønnradius, brønnlengde, filterlengde og pumperate. I dette tilfellet er fileret til brønnane satt frå -7.6 moh til -17.6 moh og -7.2 moh til -17.2 moh, altså ein filterlengde på 10 m.

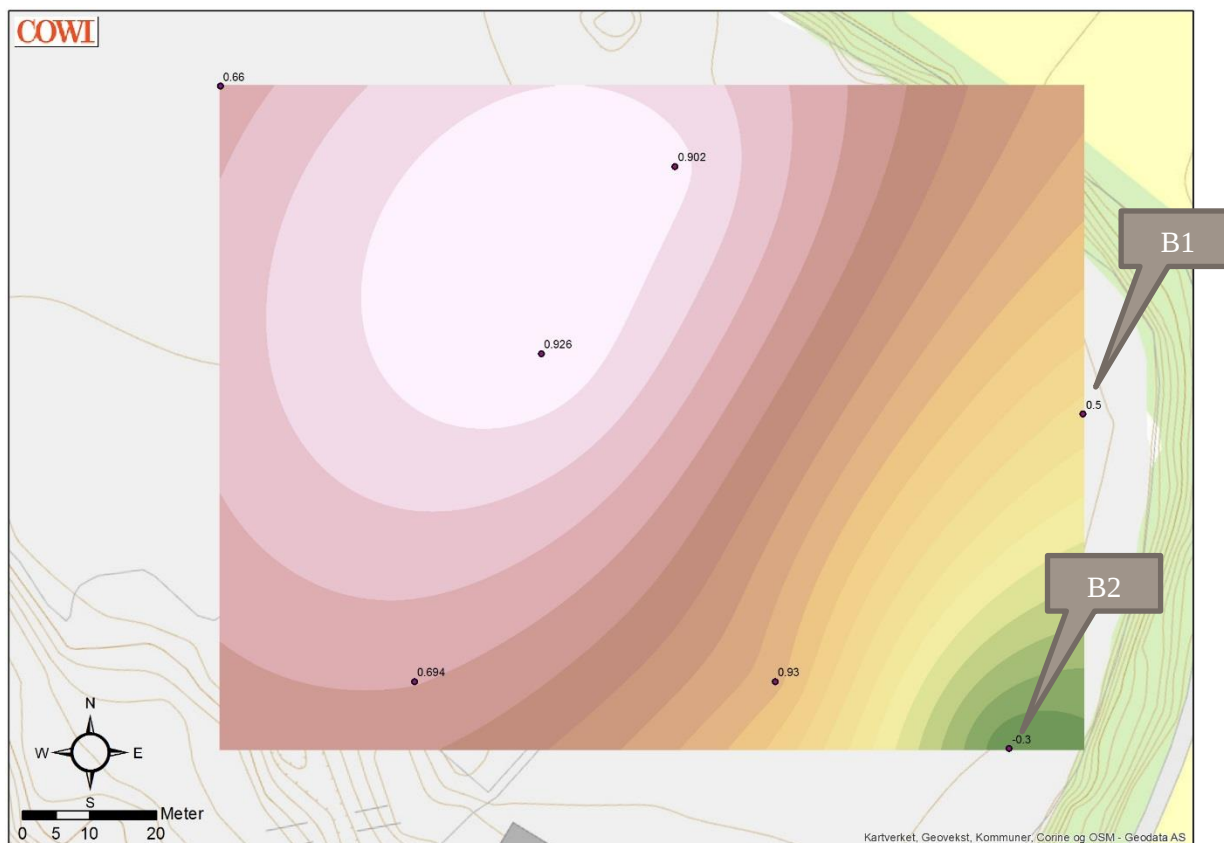
Figur 5 syner grensebetingelsane i modellområdet.



Figur 5 Figuren syner kva type grensebetingelsar som er satt. 3rd kind er også brukt i resten av delane av Vormo innanfor modellområdet.

Grunnvasstand:

Grunnvasstanden er målt jamnleg i 7 punkt under prøvepumpinga (Figur 6).



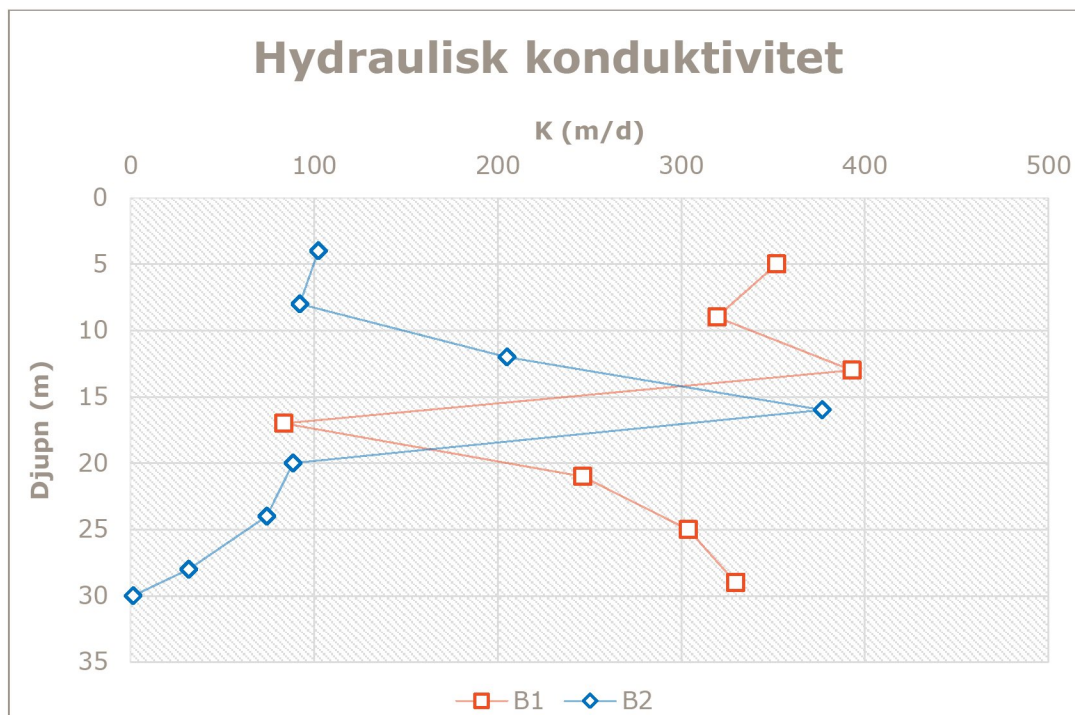
Figur 6 Målt grunnvassnivå 03.07.2017 ved pumping av 33 l/s frå to brønner.

Geologi og hydrogeologi

Kvartærgeologien i deltaet er karaktisert av NGU som breelvavsetningar og elveavsetningar med moreneavsetningar i dalsidene.

Georadarmålingar syner at det er ein mektig avsetning med skrålag av sand og grus ned til det som truleg er finare massar på om lag 30 m.

Der det er bora brønner er det utført prøvetaking av sediment. Det er også boreloggar frå sjølve brønnboringa. Ut ifrå kornfordelingsanalysene kan den hydrauliske konduktiviteten i undergrunnen bereknast, altså kor godt grunnvatn straumer gjennom sedimenta. Desse verdiane blir estimert ut ifrå kor grove massane er, sorteringsgraden og mengde finstoff i poreromma ved hjelp av ein formel av. Figur 7 syner korleis den hydrauliske konduktiviteten varierer i undergrunnen i dei punkta.



Figur 7 Hydraulisk konduktivitet i djupn i B1 og B2

Heile modellen vert gitt same gjennomsnittlege parameterverdiar for hydraulisk konduktivitet og porøsitet som er funne i borepunkta, ingen variasjon innafor modelldomenet. Parameterverdiane er gitt med utgangspunkt i kornfordelingsanalysene. Verdiane som er funne for hydarulisk konduktivitet er høge, dvs at det kan strøyma mykje vatn gjennom desse massane.

1.2 Grunnvassmodellering

Etter innhenting av grunnlagsdata vart det oppretta ein hydrogeologisk modell for området (Figur 8). Modellområdet vert først definert.

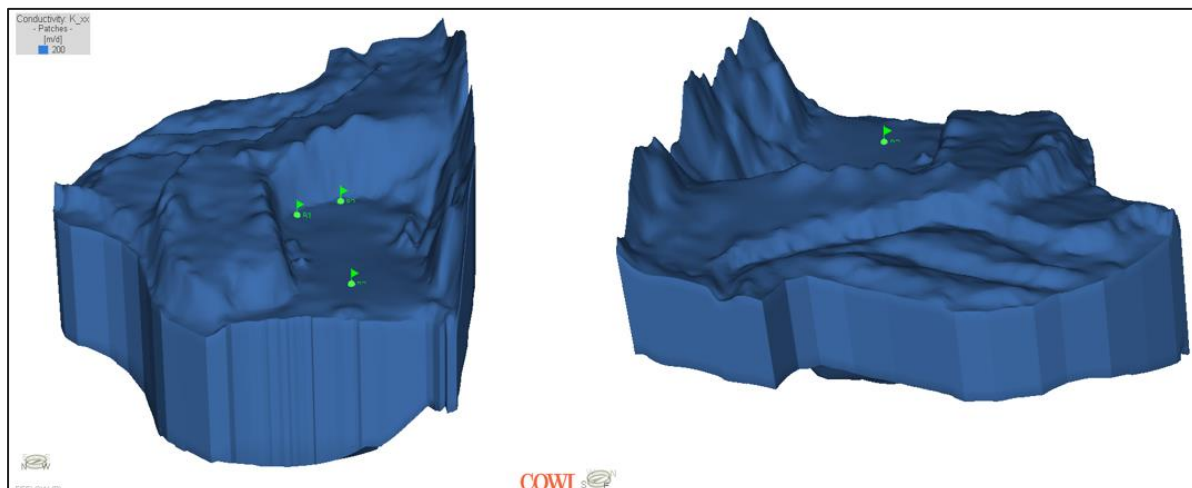
Grensebetingelsane som er brukt er elvevasstandar, vasstand i Vormo og Tytlandsvika, samt ei berekning av ein influx av grunnvatn til modellområdet frå den Sør-Vestlege dalsida og den Sør-Austlege grensa oppe i dalen.

Modellen vert så delt inn i celler med ulik størrelse i modellområdet. Det vart i dette tilfellet spesifisert at modellen skal ha mindre celler i områder rundt brønnane for å få meir nøyaktig simulering.

Algoritmar i FEFLOW vert brukt til å kalkulere grunnvasstanden og grunnvasstraumninga mellom kvar celle for å få eit heilheitleg bilde av grunnvasstraumninga i området. Simuleringa av grunnvasstanden vert samanligna med observerte verdiar for å få eit bilete av modellens usikkerheit. Ved simulering av grunnvannstand i modellområdet vert også grunnvasstraumninga simulert då straumingen av grunnvatn er vinkelrett på grunnvatnets isopotensiallinjer.

Ved å inkludere porøsitet bereknar modellen porehastigeheita. Denne vert brukt til partikkelbanesimulering og aldersbestemmelse av vasspartiklar.

Figur 3 syner modellens utformelse. Det som er tatt hensyn til er djupn til antatt tett lag og utformelse etter dalstrukturen. Den gjennomsnittlege konduktiviteten brukt er på 200 m/d i horisontal retning. I vertikal retning er denne verdien satt til 20 m/d. Porøsiteten er satt til 0.2.



Figur 8 Den hydrogeologiske modellen i 3D. Den blå fargen syner til ein homogen modell med hydraulisk konduktivitet på 200 m/d.

1.3 Kalibrering

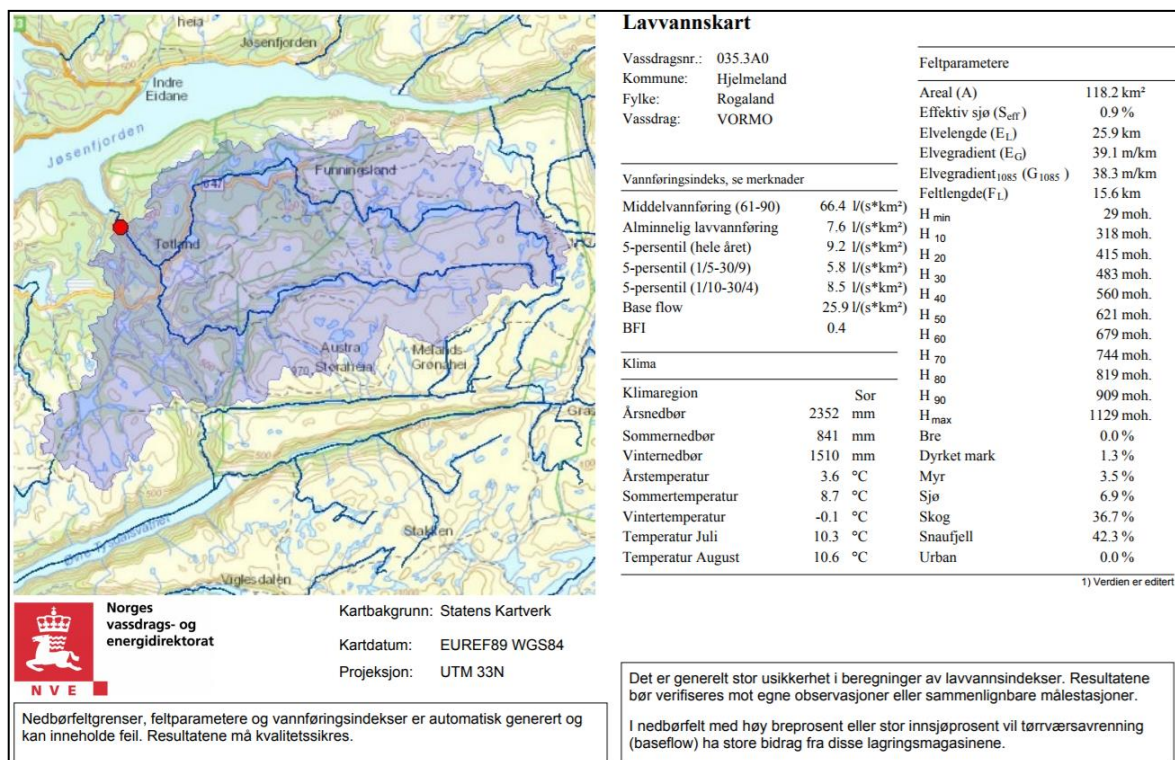
For å oppnå gode modellresultat bør observerte verdiar av grunnvasstand samsvare med simulerte verdiar for grunnvasstand. Dette er sjeldent tilfelle, då eit grunnvasssystem er komplekst med store variasjonar over små distansar. I hydrogeologisk modellering prøver ein å forenkle verklegheita ved å laga ein modell basert på konsept og observasjonar. I dette tilfellet er det 3 observasjonspunkt for grunnvasstand. Modellen er satt til "steady state" som betyr at systemet er i likevekt, det kjem like mykje vatn inn i systemet som ut. Ein vil då ikkje få noko lagring av grunnvatn og endring i grunnvasstand over tid.

I dette tilfellet er kalibreringsparametra som er brukt 2nd og 3rd type grensebetingelsar og hydraulisk konduktivitet. Dette er fordi desse viste seg gjennom ei sensitivitetsanalyse å vere dei mest sensitive parametra i forhold til modelresultata (forskjellen mellom observerte og simulerte grunnvasstandsverdiar).

1.4 Samspel mellom overflatevatn og grunnvatn

Då Vormo tilhøyrrer eit verna vassdrag må det avklarast om grunnvassuttaket kan påverka vassføringa i elva. Det trengs då ei berekning for minstevassføring i vassdraget, for å sjå kva påverknad uttaket har på minstevassføringar.

Figur 9 syner berekningar gjort av NVE sitt program NEVINA for elva Vormo.



Figur 9 Figuren viser vassdraget Vormo og lågvasskart med vassføringsindeksar.

For å illustrera kva som skjer dersom det vert trekt vatn frå Vormo og direkte inn i grunnvassmagasinet kan ein sjå på minstevassføringa om sommarmånadane som er berekna til 8,5 l/s pr km². Nedbørsfeltet er 118,2 km². Derfor vert minstevassføringa om sommaren ca 1000 l/s.

I tillegg til Vormo vil det skje infiltrasjon frå Kvernhusbekken.

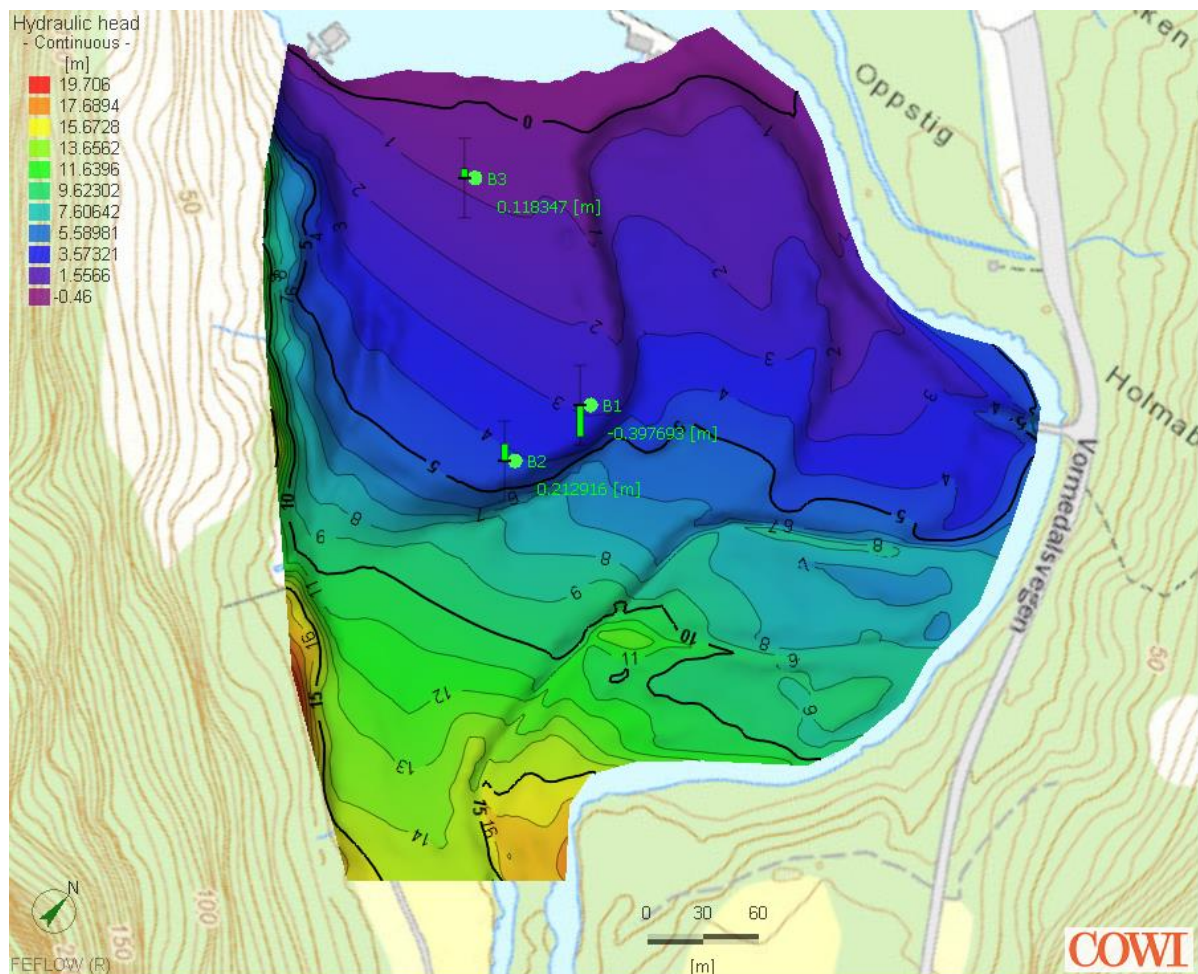
Om ein reknar verste tilfelle, altså at det berre er Vormo som matar grunnvassmagasinet og at vatnet vert tappa direkte frå elva, så vil eit vassuttak på 66 l/s (4 m³/min) utgjera 6,6 % av minstevassføringa i Vormo. I realiteten vil andelen vera mindre fordi det også er tilførsel av grunnvatn og vatn som er infiltrert frå Kvernhusbekken.

2 Resultat

Det er gjennomført simulering med hhv 25 og 33 l/s.

2.1 Samanlikning av observerte og simulerte verdier

Resultata etter ei manuell kalibrering syner ei oversimulering av grunnvasstand for B3 og B2, og ei undersimulering for B1. Dette er truleg grunna det simulerte trykket frå dalsida og eit mindre trykk frå elva. Figur 10 syner resultatet av simulerte verdier for grunnvasstand samanligna med observerte verdier.



Figur 10: Differansen mellom observerte og simulerte verdier (i meter). Dei grøne søylene syner kor lang ifrå observerte verdier (midtpunktet) simuleringa ligg. Grøn farge er synt om forskjellen mellom observerte verdier og simulerte verdier er mindre enn +/- 0.5m.

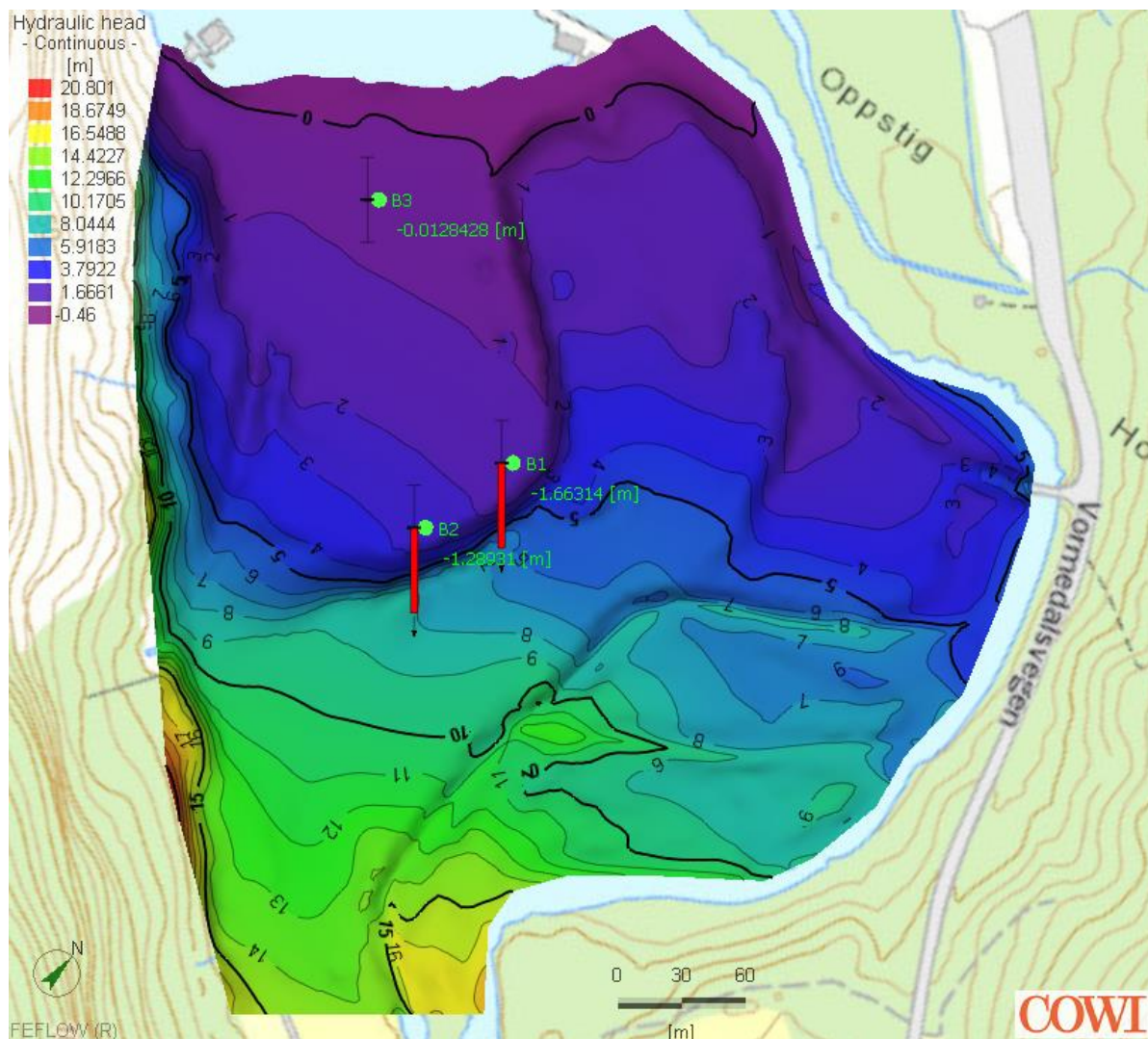
Parameterverdiane som gav best simuleringresultat er synt i tabell 1 under:

Tabell 1: Tabellen syner kalibreringsresultata for grensebetingelsar (2nd og 3rd kind) og hydraulisk konduktivitet.

Fluid flux - 2nd kind (m/s)	Transferrate - 3rd kind (/d)	Hydraulisk konduktivitet (m/d)
Sør = 1.00E-06	In = 0.03	K_xx = 200
Aust (oppstraums) = 1.00E-05	Out = 1	K_yy = 20

2.2 Simulering med uttak frå to brønner

Ved å pumpe ut vatn frå to brønner med ein rate på 25 l/s per brønn vert modellresultata endra då det er vatn som vert tatt ut av modellen. Dette skapar eit regimeskifte der vatn vert trekt mot brønnane frå forskjellige område. Figur 11 under syner simuleringresultata og nye verdiar for observert grunnvasstand mot simulerte grunnvasstandar.



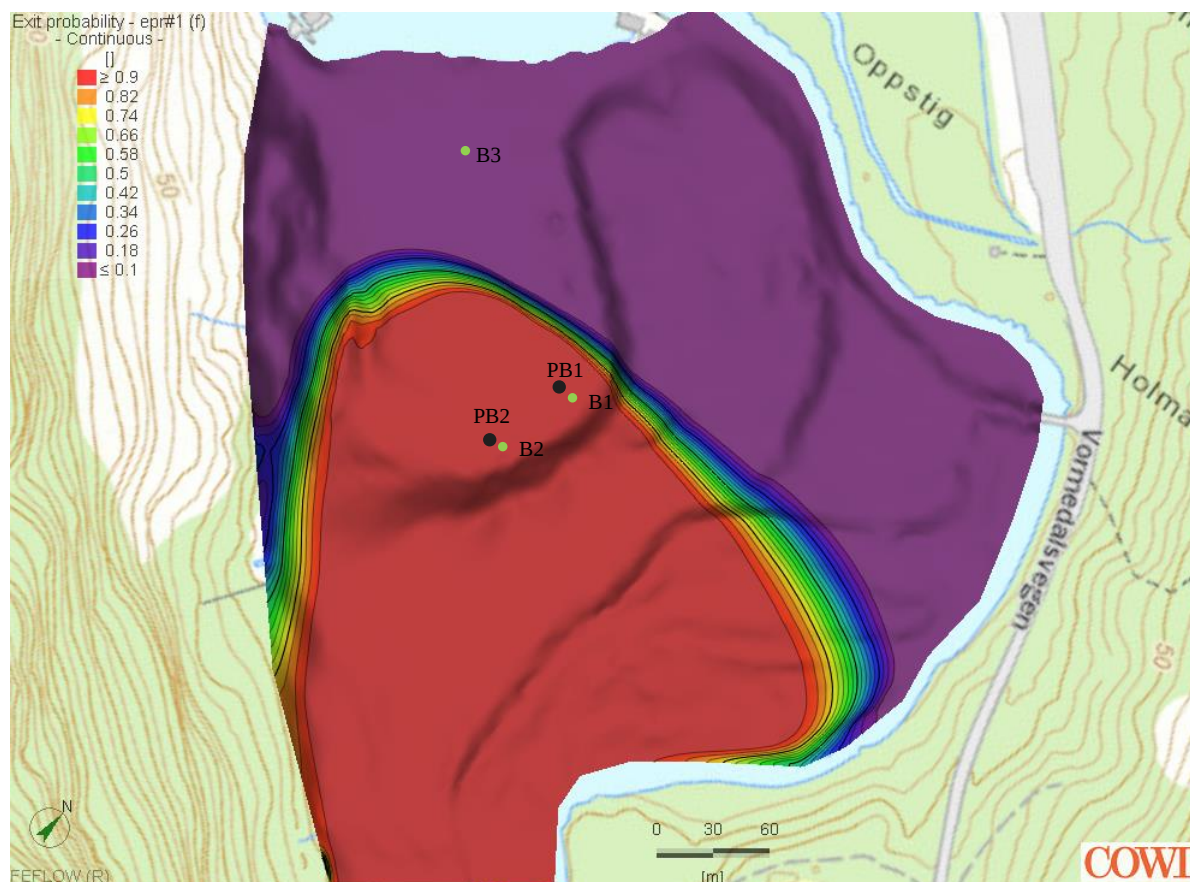
Figur 11: Figuren syner at ved å ta ut tilsaman 50 l/s vatn frå brønner plassert like ved B1 og B2 vil ein få ei lokal senkningstrakt.

Ved å samanligne simulert grunnvasstand før og etter pumping der pumpebrønnane er plassert får ein informasjon om maks nedsenkning ved pumping. Verdiar i tabell 2 syner ei maksimum senkning på 1.15 m for pumpebrønnen ved B1 og 1.3 m ved B2.

Tabell 2: Tabellen syner simulert grunnvasstand ved uttak av 50 l/s før og etter pumping for dei to pumpebrønnane.

Vasstand	PB1	PB2
Før pumping	2.87 m	4 m
Etter pumping	1.72 m	2.7 m
Differanse	1.15 m	1.3 m

Programmet kan berekne sannsynet for kvar vatnet som vert utpumpa vil kome frå. Dette er synt i Figur 12. Figuren syner at det meste av vatnet kjem frå sør-aust.

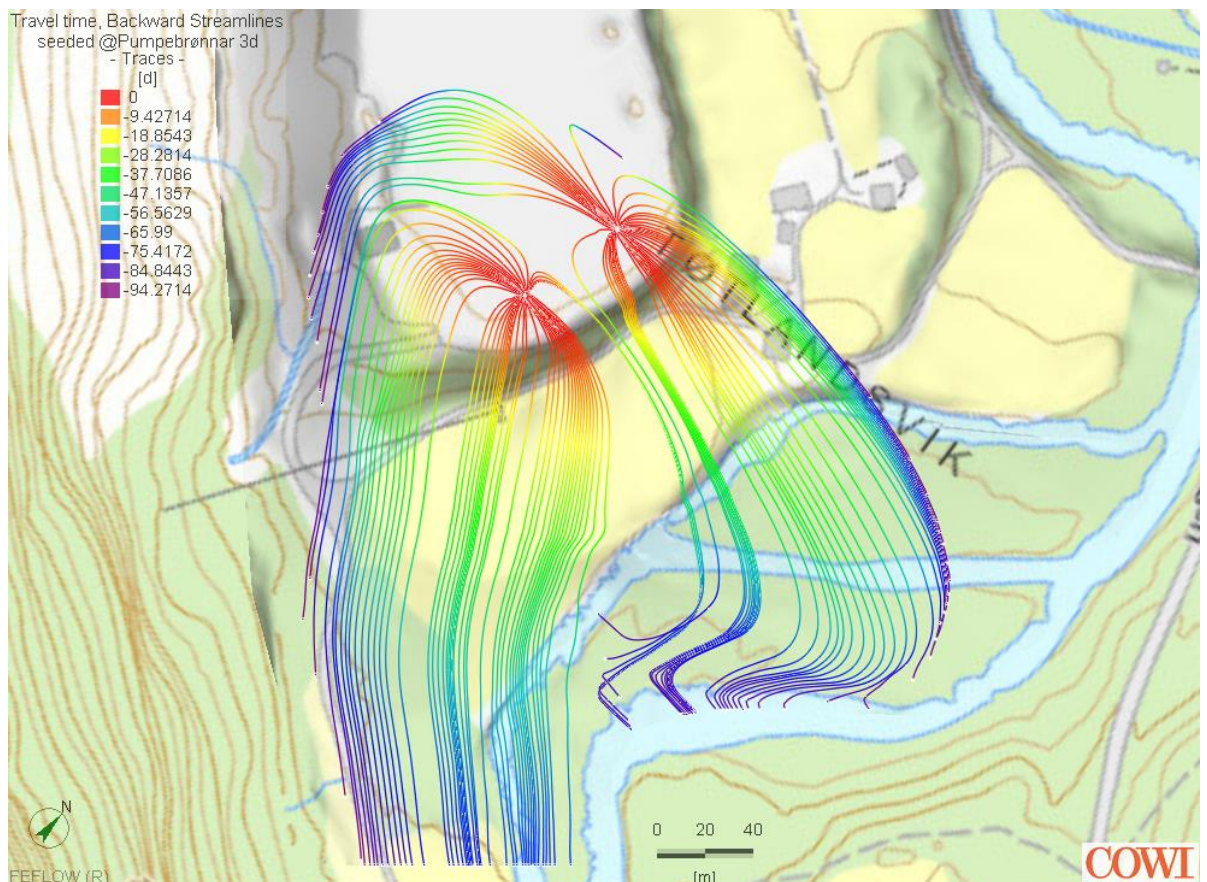
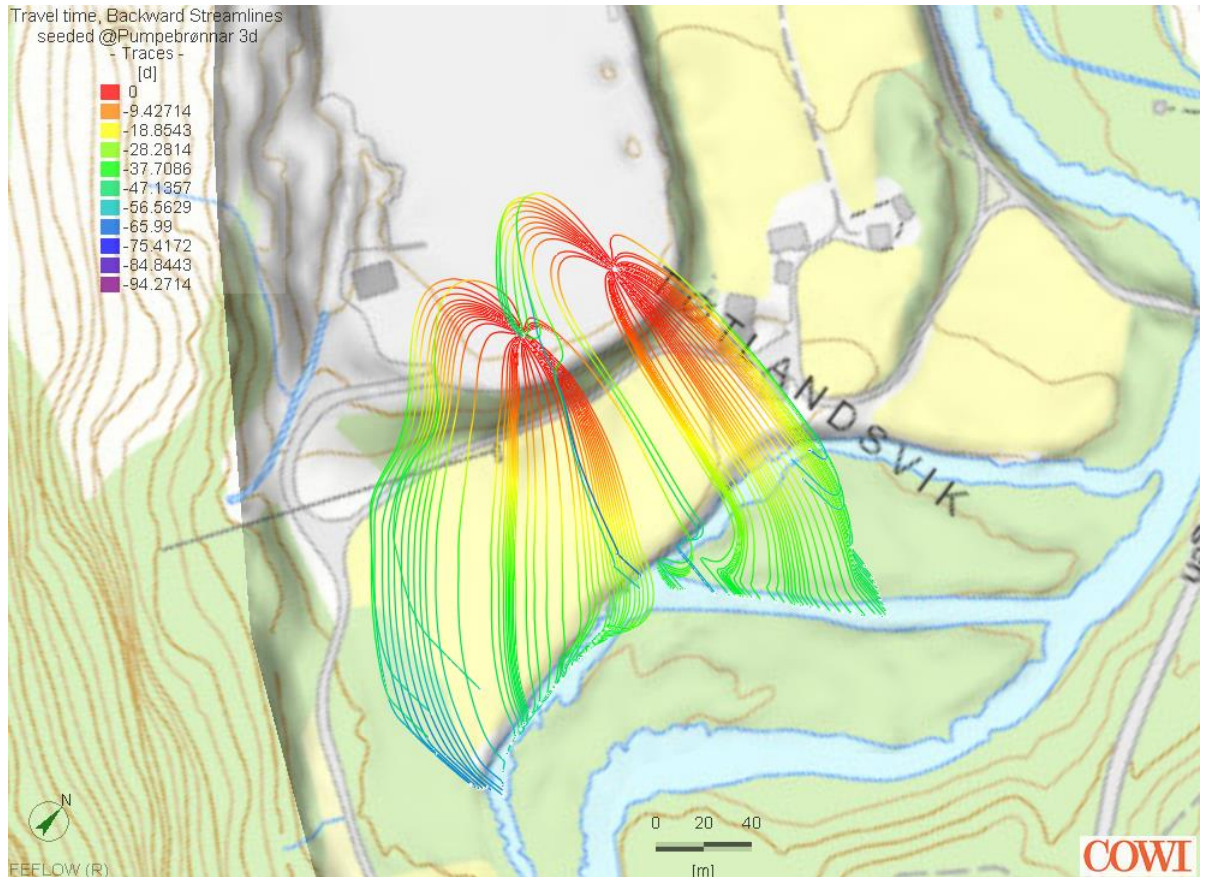


Figur 12 Denne figuren syner sannsynet for kvar vatnet som strøymer til pumpebrønnane ved eit samla uttak på 50 l/s . Det er over 90 prosent sikkert at vatn i det raudfarga området vil ende opp i uttaksbrønnen ved denne pumperaten, mens det er under 10 prosent sannsyn for at vatnet kjem frå det lillafarga området. Dei grøne punkta er observasjonsbrønnane som ligg ved sida av pumpebrønnane

Tabell 3: Tabellen syner andel vatn som kjem frå ei kjelde av utpumpa vatn.

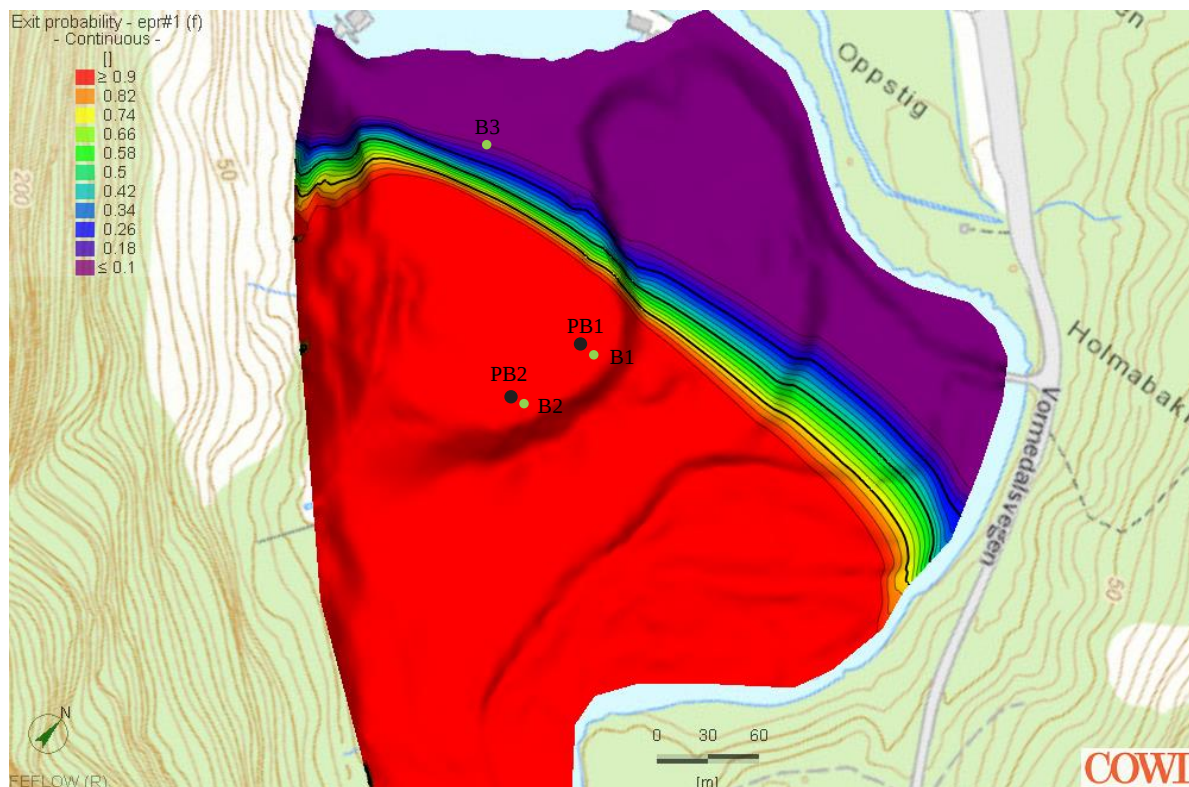
Kjelde	m ³ /s	%
Frå nedbør	0.006	12
Frå grunnvatn	0.016	32
Frå elv/oppstrøms grunnvatn	0.028	56
totalt utpumpa	0.05	100

Dette er også synt med partikkelbanar i Figur 13 som syner kvar vatnet kjem ifrå og kor lang tid vatnet bruker på å nå brønnane.



Figur 13 Figuren viser partikkelbanesimulering fra den øverste delen av filteret i brønnen (øverste figur) og den nederste delen av filteret (nederste figur). Simulert uttaksmengde er tilsammen 50 l/s.

Figur 14 syner modellingsresultat ved eit uttak på 4 m³/min eller 66 l/s fordelt på to brønner. Figur 15 viser simulerte strøymningsbanar fro vatnet inn til brønnane.

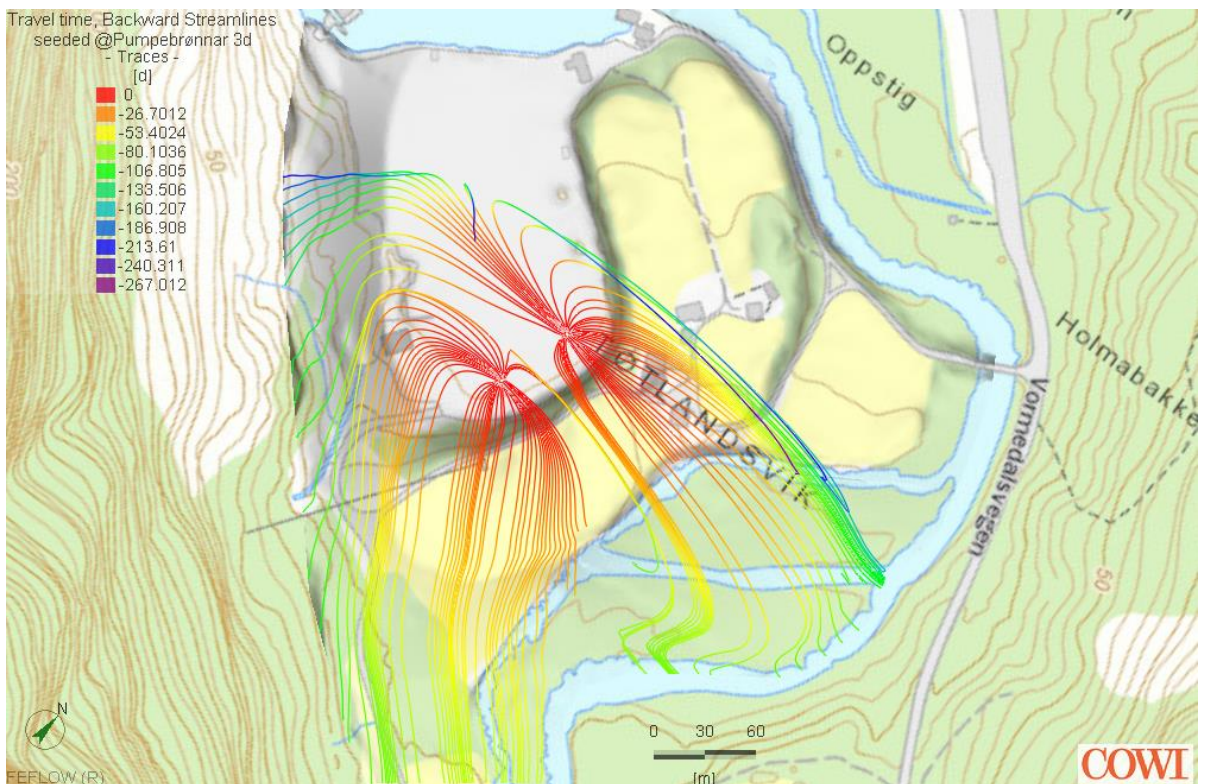
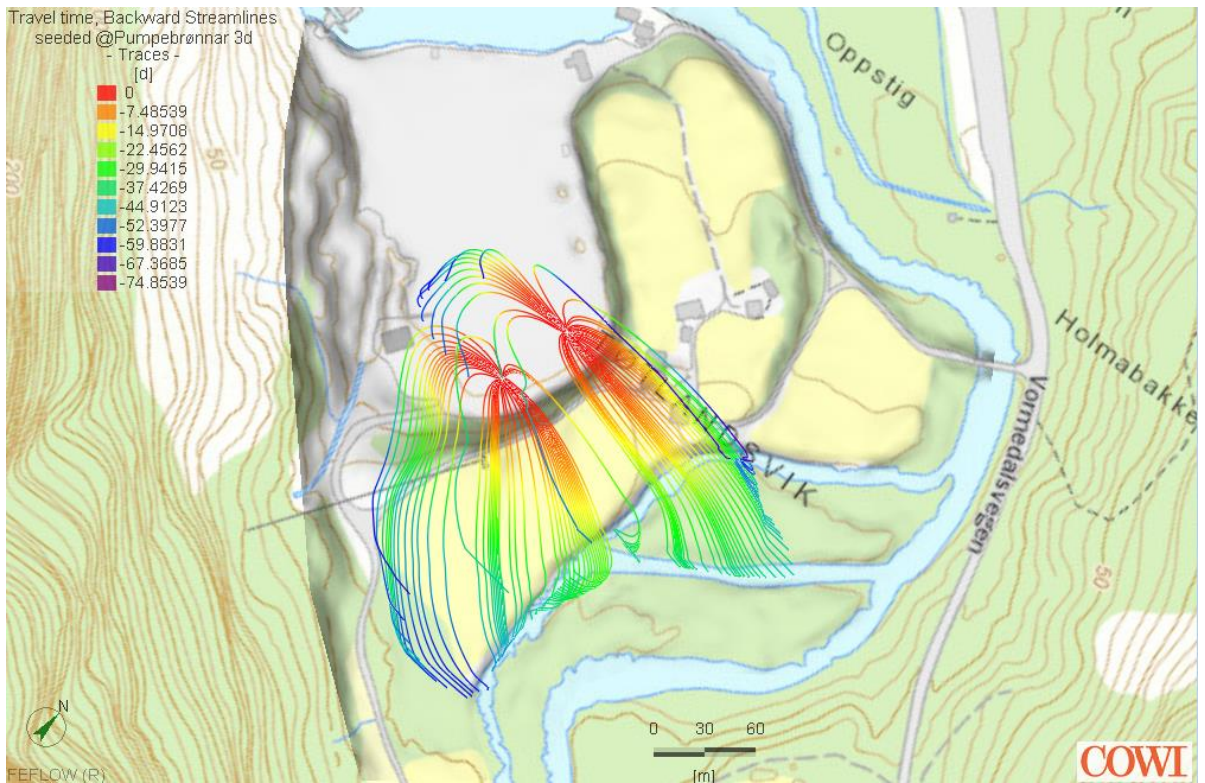


Figur 14 Figuren syner sannsynet for kvar vatnet som strøymer til pumpebrønnane med eit samla uttak på 66 l/s (4 m³/min).

Fordelinga av vatnet sitt opphav er nesten identisk ved mindre uttak, som vist i tabell 4.

Tabell 4: Tabellen syner andel vatn som kjem frå ei kjelde av utpumpa vatn.

Kjelde	m ³ /s	%
Frå nedbør	0.006	13
Frå grunnvatn	0.016	31
Frå elv/oppstrøms grunnvatn	0.028	56
totalt utpumpa	0.066	100



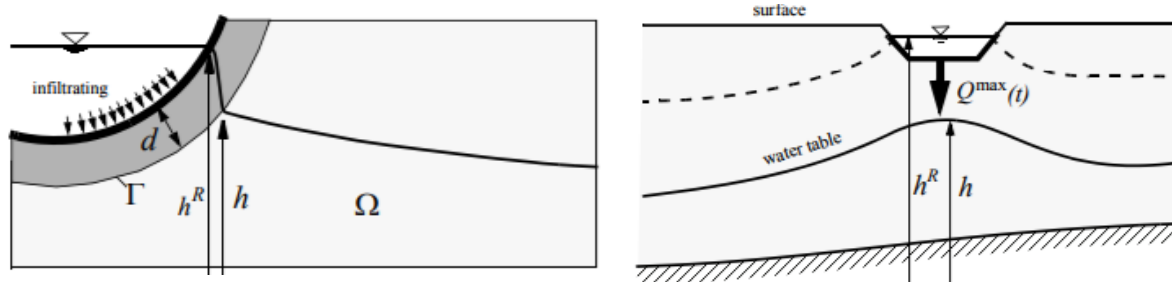
Figur 15 *Figuren viser partikkelbanesimulering fra den øverste delen av filteret i brønnen (øverste figur) og den nederste delen av filteret (nederste figur).*

3 Diskusjon

Resultata syner at ved uttak av 4 m³/min grunnvatn fordelt på to brønnar vil 13% av vatnet kome frå nedbør, 31% av vatnet vil kome frå den sør-vestlege dalen og, mens 56% av vatnet vil kome frå elva Vormo, evt grunnvatn oppstrøms i dalen. Dette betyr at om lag 28 l/s vatn kan verta trekt frå elva Vormo/grunnvatn oppstrøms.

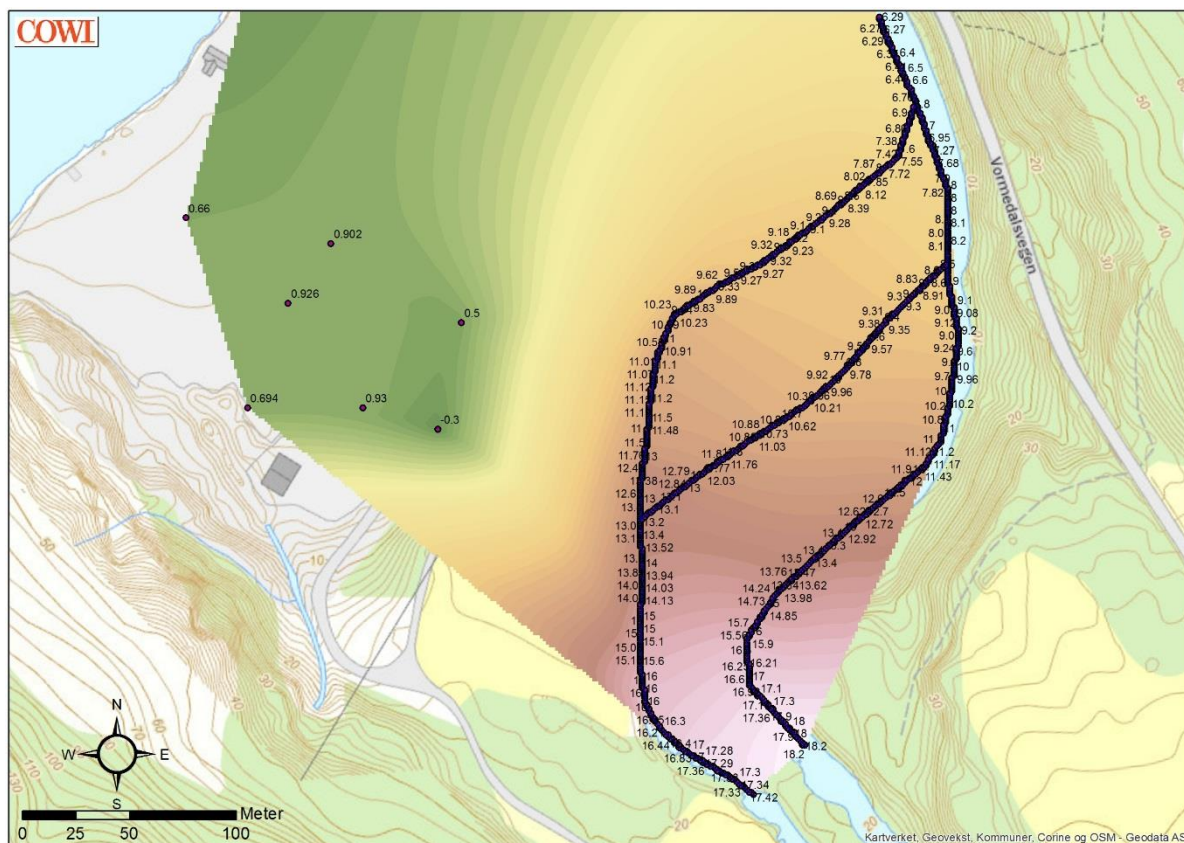
Middelvassføring i Vormo er berekna til å ha ei gjennomsnittleg vassføring på 7875 l/s. 28 l/s utgjør 0.36% av middelvassføringa i elva Vormo. Berekningar for 5-percentil syner ei påverknad på 4.1% og ved alminneleg lavvassføring 3.1%. Påverkinga grunnvassuttaket vil ha på elva er difor karakterisert som minimal sjølv om ein reknar verst tenkelige tilfelle, at alt vatnet vert trekt direkte frå Vormo.

Slik som grunnvassmodellen no simulerer er vatnet i elva i direkte kontakt med grunnvatn, slik som vist i til venstre i Figur 16. Eit alternativ er at vatnet i elva og grunnvatnet har ei umetta sone imellom slik som vist til høgre i Figur 16. Påverkinga på elva ved grunnvassuttak vil verte mindre om dette er tilfellet.



Figur 16 Til venstre: syner elva i direkte kontakt med grunnvatn med eit lag med finare sediment i elvebotn. Til Høgre: syner ei umetta sone imellom elva og grunnvatnet. I det siste tilfellet vil det vere ein forhøgning i grunnvasspeigelen direkte under elva

Figur 17 viser at det er stor skilnad i vassnivå i Vormo og grunnvatnet over ein kort avstand. Med dei verdiar for hydraulisk konduktivitet som er dokumentert, er det svært vanskeleg å sjå at vassnivået i Vormo kan vera i kontakt med grunnvatnet. Det er derfor konkludert med at elva Vormo er "hengjande" i dette området jfr høgre illustrasjon i Figur 17, dvs at det skjer infiltrasjon frå Vormo og at det er ein umetta sone mellom Vormo og grunnvatnet. Det er derfor ikkje hydraulisk kontakt mellom Vormo og grunnvatnet.



Figur 17 Figuren viser vassnivå (i m oh) i Vormo og i observasjonsbrønner 03.07.2017 ved ein pumperate på 33 l/s frå to brønner.

4 Konklusjonar

- › Modellen syner at 56% av det utpumpa vatnet stammar frå elva og grunnvatnet oppstrøms i dalen. Dette utgjer 28 l/s. Av middelvassføring, lavvassføring og 5-percentil i sumarmånadane i Vormo utgjer dette 0.36%, 3.1% og 4.07% respektivt.
- › Observasjonar tyder på at det ikkje er direkte kontakt mellom vassnivået i Vormo og grunnvassnivået.
- › Uttaket av grunnvatn vil av ingen/minimal effekt på vassføringa i Vormo.
- › Det er ikkje påvist inntrenging av saltvatn under prøvepumping og heller ingen indikasjonar frå modellen som viser at dette er sannsynleg.

5 Referansar

Diersch, H. J.G 2017: *Extended formulations of constraints for Cauchy-type (3rd kind) boundary conditions in FEFLOW*. s.l. : Wasy GmbH (Hrsg). ss. 269-273.