

OPPFØLGINGSUNDERSØKELSE AV GRUNNVANNSTRØM I KARST I TROLLHOLA, SOMMERSET

Stein-Erik Lauritzen¹, Rannveig Øvrevik Skoglund² og Thea Krossøy³

¹ SpeleoConsult AS, Horten

² Institutt for Geografi, Universitetet i Bergen

³ Institutt for Geovitenskap, Universitetet i Bergen

Innhold

Bakgrunn	1
Montering av vannstandsloggere.....	1
Befaring	2
Berggrunn og kilder	2
Hydrologiske data.....	4
Tracerforsøk fra Trollhola-dalen til Mølnevik-kildene.....	6
Kvantitativt tracerforsøk	8
Volumberegning fra tracerforsøket	9
Diskusjon og konklusjon	10
Anbefalinger	10
Appendiks	10
Observasjon av andre underjordiske løp og flomrisiko.....	10
Løsmasser over karst, risiko for jordfallshull.....	12
Referanser	13

Bakgrunn

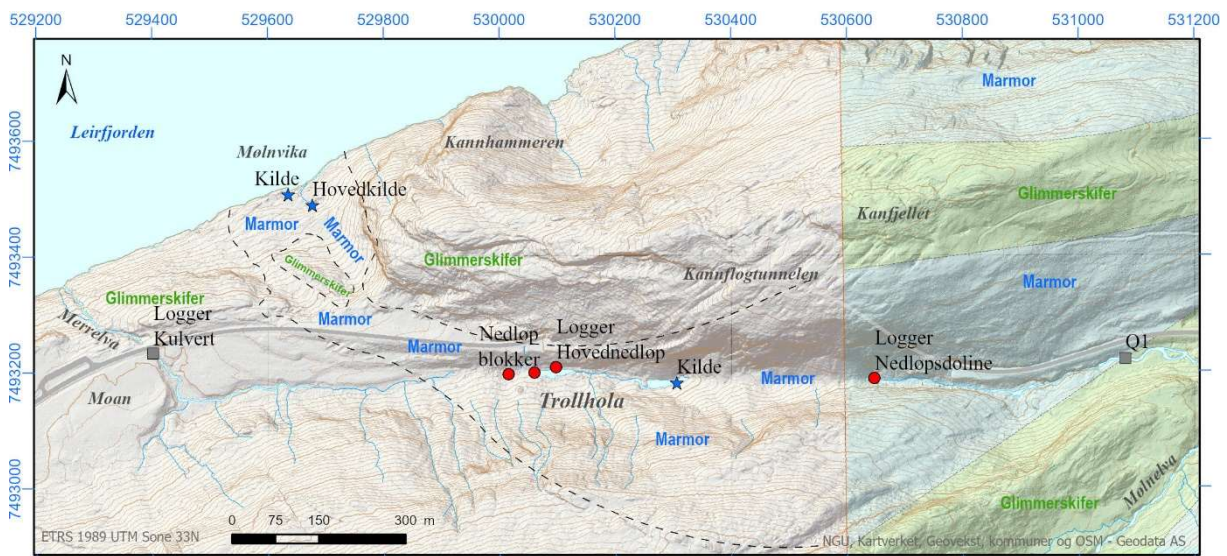
Som en oppfølging av rapporten «Undersøkelse av karst og grunnvannstrøm i Trollhola, Sommerset» ønsket Statens Vegvesen en videre undersøkelse av hvor vannet i Mølnelva drenerer etter at det forsvinner ned i grunnen i Trollhola. Denne rapporten har fokus på dreneringsruten fra Trollhola og ned mot fjorden, og vurdering av dynamikken og kapasiteten i underjordiske systemet.

Montering av vannstandsloggere

For å kunne vurdere dynamikken i det hydrologiske systemet er det behov for tidsserier av vannstandsendringer som viser hvordan systemet responderer på nedbør og snøsmelting. 18. januar 2022 monterte Stein-Erik Lauritzen og Stefan Kersting (Statens Vegvesen) 4 trykksensorer av typen Minidiver (fra van Essen Instruments) i systemet. Ssensorene registrerer vanddyb og temperatur hver halvtime. En sensor ble montert i nedløpsdolina øverst i systemet, en sensor ble montert i hovednedløpet i Trollhola og en i kulvert under E6 (Fig. 1). I tillegg ble en barometrisk logger hengt i teknisk bod ved Kannflogtunnelen.

Befaring

9.-12. august ble det gjort befaring i området fra E6 og ned mot Leirfjorden for å lete etter kilder og bergartsgrenser. Det ble gjort kvalitative sporingsforsøk med optisk hvitemiddel (Photin CU) og fluorescein og deteksjon på henholdsvis ubleket bomull og aktivt kull. Etter at hydrologisk kontakt var påvist, ble det gjort et kvantitativt sporingsforsøk med salt fra nedløp til hovedkilden. Det ble også gjort en del vannføringsmålinger i Mølnelva oppstrøms Trollhola (Q1) og ved hovedkilda (Fig. 1).



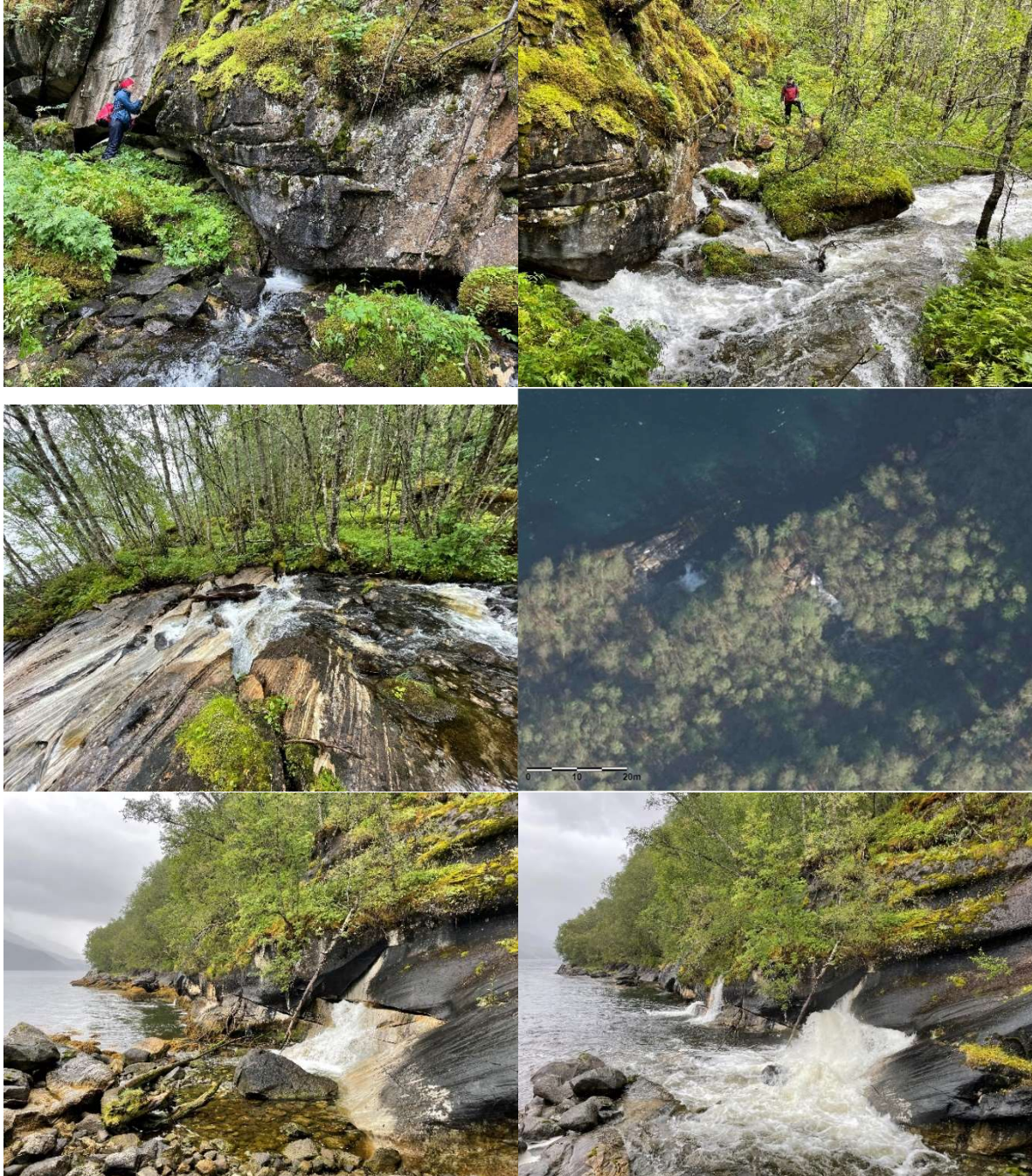
Figur 1. Kart over feltområder som viser lokaliseringen av nedløp (røde sirkler) og kilder (blå stjerner) og plasseringen av loggere og stasjoner for vannføringsmåling. Farget skrift viser områder der ulike bergarter er påvist og de stiplede linjene viser forslag til bergartsgrenser i området som ikke har dekning av berggrunnskart i målestokk 1:50 000.

Berggrunn og kilder

Resultatet av kartlegging av berggrunnen er vist i kartet på Fig. 1. Marmoren i Trollhola ligger under glimmerskiferen i Kanfjellet og ved Moan, og strekker seg ned mot Leirfjorden ved Mølnvika. De eksakte bergartsgrensene er sjelden synlig i terrenget, men omtrentlig utbredelse av marmoren er vist med tekst og stiplede linjer i kartet. Strøketningen til bergartene har orientering mellom vest og nordvest, parallelt med bergartsgrensene, og har en helning på mellom 45 og 90° mot nord og nordøst. Bergartspakken er sterkt foldet og heller ned mot fjorden.

Der marmoren er eksponert i dagen er det tydelig at berggrunnen er gjennomslått av to sprekesett: et subhorisontalt og et steiltstående parallelt med dalsiden. Sprekkesettene har vært utsatt for oppløsning og det er utviklet karstsprekker som er overgrodd nedover fjordsiden. Disse

sprekkesettene er tydelig ved kildene i Mølnevika (Fig. 2). Hovedkilden kommer fram langs en subhorizontal sprekk 14 moh. Vannet renner om lag 25 m i et overflateløp før det (på lav vannføring) forsvinner i et sett oppløste subvertikale sprekker. Vannet kommer fram igjen som én stor og flere små kilder langs subhorisontale sprekkeplan like ved havnivå. I sjøen om lag 10 m utenfor småkildene, er det et belte med hvite blokker uten tang. Det er mulig at dette er en undersjøisk kildehorisont, såkalte *vruljer* (ferskvannskilder under havnivå).



Figur 2. Øverst: Hovedkilden på lav (venstre) og høy (høyre) vannføring. Midt, venstre: På lav vannføring forsvinner ellevannet ned i et sett oppløste subvertikale sprekker. Midt, høyre: Flybilde fra Mølnevika fra serien Sørfold 2014 hentet fra www.norgebilder.no. Foto: Geovekst. Bekken fra hovedkilda er synlig som et hvitt felt inni skogen mens kilda i sjøkanten er synlig som er hvitt felt litt lengre vest (mot venstre). Nederst: Kildene i sjøkanten på lav (venstre) og høy (høyre) vannføring. På høy vannføring er det også vann i overflateløpet fra hovedkilden og helt ned til fjorden. Bildene fra lav vannføring er tatt 9.8.22 kl. 14, og bildene fra høy vannføring er tatt 11.8.22 kl. 14.

Hydrologiske data

De tre loggestasjonene har målt temperatur og vannstand fra januar til august 2022 (Fig. 3). Da loggerne ble installert var det snødekke i området. Loggerne i nedløpene ble hengt inni dreneringsrør. De fanger ikke opp variasjoner i vannstanden på lave vannføring. Loggeren i Merrelva er plassert i en liten kulp oppstrøms kulverten under E6 slik at den er godt dekket av vann også på lave vannføringer. Vannstanden i Merrelva og nedløpet i Trollhola følger hverandre og viser svært like variasjoner og respons på nedbør og snøsmelting, men sistnevnte logger blir hengende i luft når vannstanden blir svært lav. Basert på observasjoner av vannstand og vannføringsmålinger gjort under feltarbeidet i november 2021 og august 2022 gjelder dette trolig for vannføringer lavere enn om lag 100 l/s.

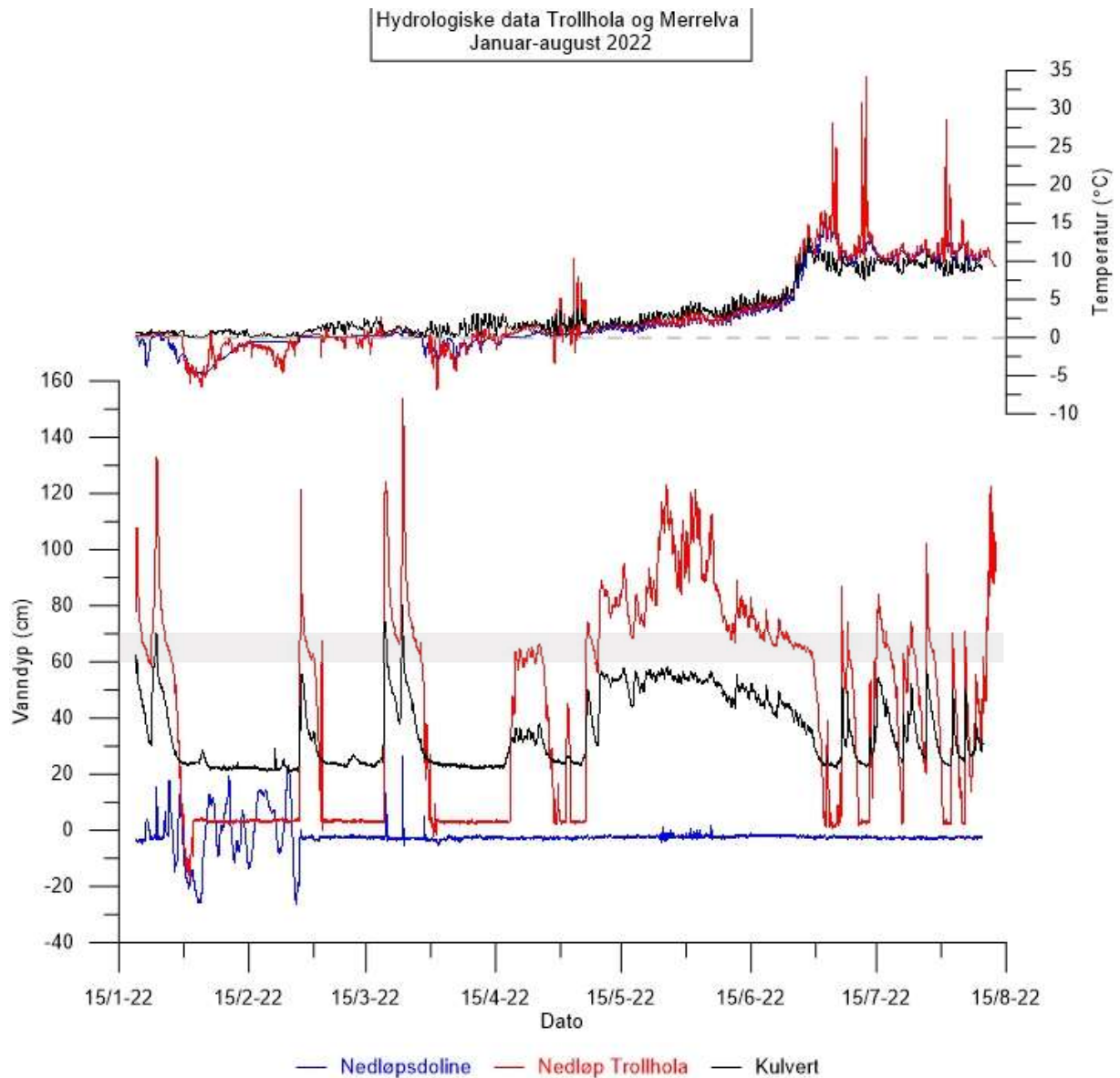
Loggeren i nedløpsdolina (øverst i systemet) henger i bunnen av et 4 meter langt plastrør som er stukket ned mellom steinene i bunnen av dolina. Loggeren henger over vannspeilet og vil kun registrere vannstand på svært høye vannføringer hvis vannet stues opp i dette nedløpet. Det er litt forskjell på lufttrykket målt i dolina og av barometeret derfor ligger «null-linjen» for vannstanden på -2 til -3 cm. Vannstandsdataene fra denne sensoren ser ut til å ha vært ute av funksjon i perioden 27.01. til 27.02. (Trykksensoren ga nærmest uforandrete målinger i denne perioden og dermed er utslagene som vises i grafen egentlig svingninger i lufttrykk. Det er mulig at sensoren i denne perioden var omgitt av is.)

Det er kun unntaksvis og i forbindelse med de største flommene at vannstanden når loggeren i nedløpsdolina. Disse periodene sammenfaller med svært høy vannstand i nedløpet i Trollhola og kulvert. Den høyeste vannstanden for alle tre loggerne ble registrert 23. mars 2022. Vannstanden i nedløpet i Trollhola steg da til 154 cm, mens Merrelva steg til 80 cm. Vannstanden i nedløpsdolina steg kun til 26,5 cm over loggeren. Vannstanden under snøsmeltingen i mai og juni nådde aldri tilsvarende høyder og vannstanden berørte bare så vidt loggeren i nedløpsdolina. Dette viser at det er god kapasitet i det underjordiske løpet fra nedløpsdolina til dammen i Trollhola. Basert på observasjoner har det trolig aldri vært overløp fra nedløpsdolina øverst i systemet. Vi anser det derfor som lite sannsynlig at det kan bygge seg opp mye vann oppstrøms i systemet.

I nedløpet i Trollhola er det store svingninger i vannstand. Dammen ved nedløpet fylles opp ved regn og snøsmelting. En vannstand på ca. 60 cm tilsvarer at selve dammen er fylt opp og vannet begynner å renne ut mellom blokkene lengst vest i bassenget. Hydrografen viser at vannstanden ofte stabiliserer seg rundt 65 ± 5 cm, mens vannstandsendingene over og under dette nivået skjer svært raskt. Når vannet renner inn mellom blokkene nedstrøms for dammen, drenerer det ned i nedløp under blokkene over en strekning på om lag 50 m. Dermed øker avløpskapasiteten når vannstanden overstiger 60 cm. Vannet som kommer ovenfra, fra kulverten ved Kannflogtunnelen, drenerer alltid ned mellom blokkene.

Økning i vannstand til om lag 60 cm skjer vanligvis i løpet av 2 t, mens vannstandsøkning fra 0-120 cm tar om lag 5 timer. Nedløpet har betydelig mindre kapasitet enn tilløpet på stigende vannføring og dermed stiger vannstanden raskt i begynnelsen. Flomkurvene har en bratt stigningskurve og en bratt resesjon ned mot nivået på om lag 65 cm, der stabiliseres den en stund før den synker ned mot 0 i løpet av 2-4 døgn. Sammenligner vi med vannstanden i Merrelva ser vi at sistnevnte synker gradvis ned mot lavvannstand før vannstanden i nedløpsdammen begynner å synke under 65 cm. Det tyder på at det kun er på tørrværsavrenning at nedløpet i dammen har kapasitet til å drenere alt tilsiget. Basert på observasjoner og vannføringsmålinger fra november anslår vi at kapasiteten til dette nedløpet er på 150 ± 50 l/s. Når vannstanden stiger og vannet også strømmer inn i nedløp under blokkene, øker kapasitet. Målinger av vannføringen nedenfor hovedkilda viser at det under flommen

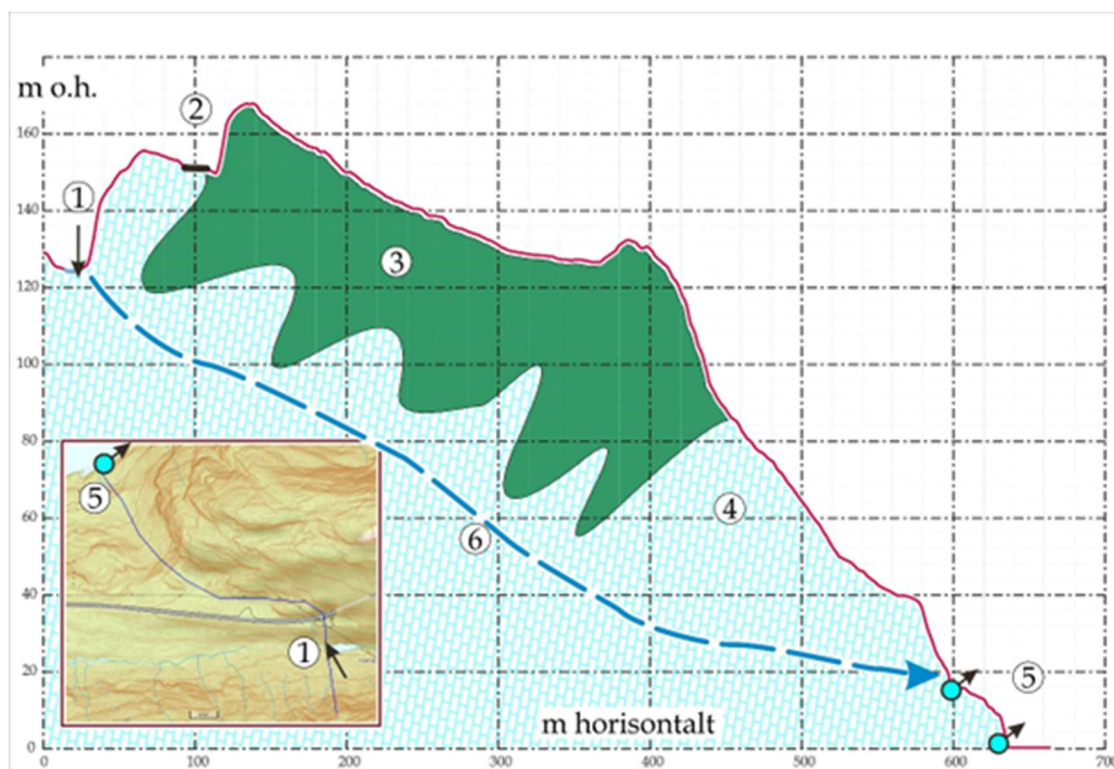
i august strømmet om lag 2000 l/s gjennom systemet (Tab.1). Dette viser at selv om vannstanden i Trollhola stiger raskt i flomperioder, er det god nok kapasitet i det underjordiske løpet ned mot fjorden til at vannstanden også synker raskt når tilstrømningen avtar.



Figur 3. Hydrologiske data fra de tre loggestasjonene som ble etablert i området. «Nullpunktene» for vannstanden i nedløpene skyldes at loggerne henger litt over vannspeilet ved tørrværsavrenning. «Nullpunktene» avviker litt fra 0 fordi lufttrykket varierer litt mellom stasjonene og barometeret som registrerer lufttrykket. «Nullpunktet» for nedløpet i Trollhola ser ut til å inntreffe på vannføringer under 100 l/s. Data fra loggerne i nedløpsdoline og kulvert ble lastet ned 9.8.22 mens data fra nedløpet i Trollhola også inkluderer dagene feltarbeidet ble utført, fram til 12.8.22.

Tabell 1. Vannføringsmålinger og vannstandsdata fra Moan under feltarbeidet i august 2022. Vannføringsmålingene gjort ved kilda er noe usikre fordi de fysiske forholdene ikke var ideelle for saltfortynningsforsøk.

Dato og klokkeslett	Lokalitet	Vannføring (m ³ /s)	Vanndyp Trollhola (cm)
09.08.2022 09:50	Mølnelva oppstrøms Trollhola, Q1	0,5	45
09.08.2022 14:30	Kilde MølInvika	0,2	53
11.08.2022 11:55	Mølnelva oppstrøms Trollhola, Q1	1,6	106
11.08.2022 14:25	Kilde MølInvika	2,1	121
11.08.2022 15:45	Mølnelva oppstrøms Trollhola	1,3	112



Figur 4. Geologisk tverrsnitt og tracerforsøk mellom Trollhola og kildene ved MølInvika. 1) Injeksjonspunkt. 2) veilegeme, dagens E6 ved Kannflogtunnelen. 3) Glimmerskifer. 4) Marmor. 5) Hovedkilder (14 m o.h.) og vruljer i og under havnivå. 6) Hypotetisk (korteste) vannvei påvist med tracerforsøk. Innsatt: Topografisk kart over samme, med linjen for overflatetraversen.

Tracerforsøk fra Trollhola-dalen til MølInvik-kildene

Kildene ligger dels i og under havnivå, dels 14 m over havnivå («hovedkildene»). Det ble benyttet to injeksjonssteder med to ulike tracere. I virvler hvor bekken synker ned i sin egen bunn ved vannstandsstasjonen, kalt Nedløp A (se foto), og i steinrøysa rett ned for løsmassetippen ved tunnelåpningen, Nedløp B. Injeksjonene ble gjort tirsdag 9/8 kl 16:00. I førstnevnte ble injisert 50 g Fluorescein løst i 8 L vann. Traceren ble injisert via en trakt og slange til bunnen under virvlene. Praktisk talt all farge ble fanget inn og forsvant igjennom

bunnen. I tillegg ble det i Nedløp B injisert 1 L konsentrert optisk hvitemiddel. Vannføring oppstrøms Trollhola var da 0,5 m³/s (kl 09:50), hovedkildene ble målt noe senere til 0,2 m³/s (kl.14:30) (Tab. 1).

Det var på forhånd utplassert detektorer med trekull og ubleket bomull på tre steder: stasjonene #1 og #2 er parallelle åpninger i hovedkilda (5) og #3 i kulverten i Merrelva. Detektorer ble skiftet etter 18 timer (kl 10 onsdag 10/8), og endelig etter to døgn (torsdag 11/8).

Etter 18 timer var det meget tydelig utslag på bomulldetektorene i #1 og #2, men negativt i #3. All tracer har da gått ned til kildene og ikke noe påvist i Merrelva. Tilsvarende ga trekulldetektorene positiv grønn fluorescens i #1 og #2, men negativt i de øvrige, Figur 5



Figur 5a. Venstre: detektorer for optisk hvitemiddel i UV-lys. Øverste rekke fra venstre: Hovedkilde 1 (10/8), hovedkilde 2 (10/8), merrelva kulvert (10/8). Nederst fra venstre: Hovedkilde 1 (11/8) og Merrelva (11/8). Kraftig signal i hovedkilda etter kort tid, negativt i Merrelva og dagen etter i hovedkilda.



Figur 5b. Ekstraksjon av fluorescein fra de samme lokalitetene. Blank til venstre. Positivt signal (grønn fluorescens) i hovedkilda etter ett døgn, resten negativt. Resultater i samsvar med figur 5a. Det er altså direkte forbindelse fra elvebunnen til hovedkilda.

Det er med andre ord observert et direkte punkt-til-punkt tracergjennombrudd fra der elva forsvinner nedenfor Kannflogtunnelen og kildene. Dette gjelder både elvebunnen og steinura. Ikke noe tracer er gjenfunnet i Merrelva. Dette er i overensstemmelse med målinger av vannbudsjetten gjort høsten 2021 da også alt vann forsvant ned i grunnen ved nedløpene A og B.

Torsdag 11/8 ble vannføringen ut av hovedkildene målt (saltfortyning) til 2,1 m³/s (kl 14:25), mens det oppstrøms for Trollhola ble målt til 1,6 m³/s (kl. 11:55) og 1,3 m³/s (kl 15:45). Dette etter betydelig regn (39 mm målt siste døgn ved met.no stasjon 82840 Styrkesnes-Hestvika), og de målte vannføringene ligger nært opp til flomberegninger fra NVEs NEVINA (Nedbørsfelt-Vannføring-Indeks-Analyse) som antyder at en middelsflom i nedbørsfeltet kan ha en vannføring på 2,1 m³/s (mens vannføringen for en 200-års flom er beregnet til 4 m³/s under nåværende klima). Det synes som om det underjordiske systemet i dag akkurat greier å absorbere denne vannføringen.

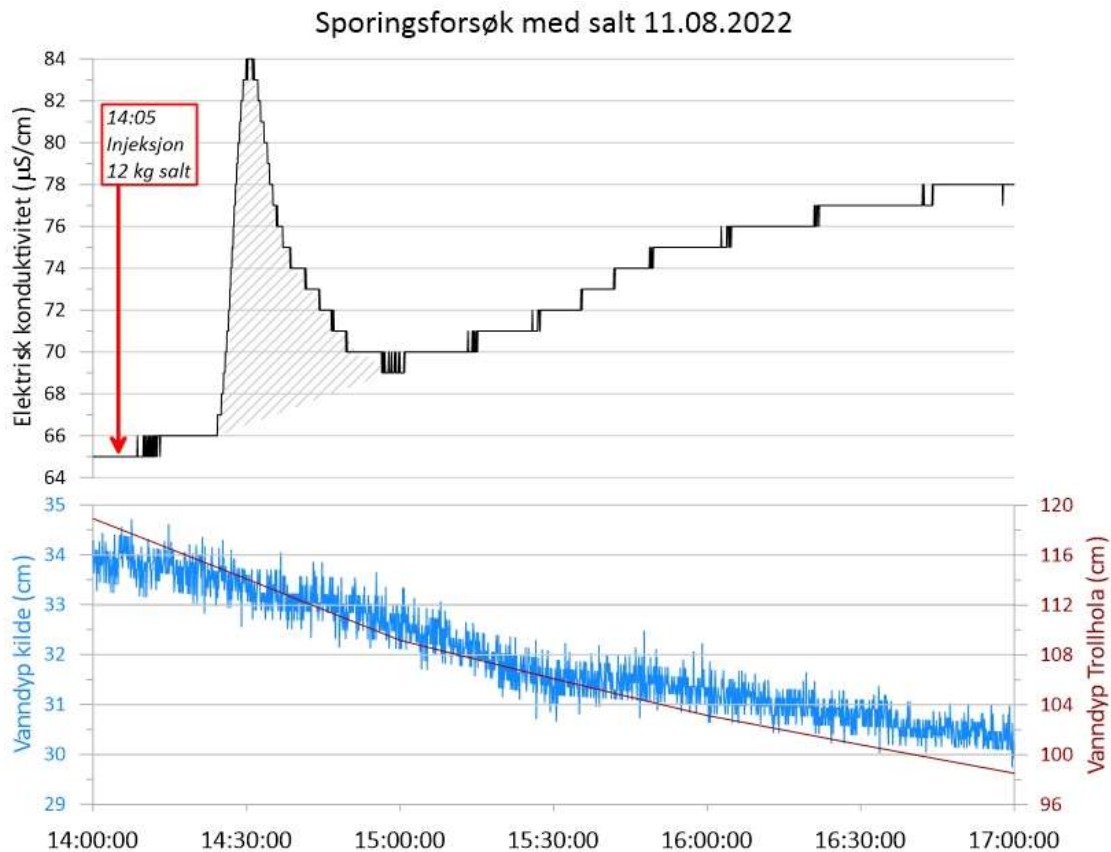
Vår konklusjon er at Mølnelva ikke har noen direkte hydrologisk forbindelse med Merrelva (unntatt under eksepsjonelle flomforhold) og at «Hovedkildene» er Mølnelvas utløpspunkt. Det går derfor et betydelig grottesystem på tvers av og under både nåværende og planlagt E6-trasé.



Figur 5. Nedløp i Trollhola. Venstre: Nedløp A ved vannstandstasjon, strømvirvel er synlig til høyre for dreneringsrør med logger. Høyre: Nedløp B mellom blokker i vestenden av dammen.

Kvantitativt tracerforsøk

Det ble samtidig satt opp et semi-kvantitativt tracerforsøk med 12 kg salt fra Nedløp B i røysa nedenfor Kannflogttunnelen ned til hovedkildene. En mini-diver med konduktivitetssensor ble brukt for deteksjon i hovedkilda, loggerintervall 5 sek. Gjennombruddskurven nådde maksimum 25 min etter injeksjon. Tracerutbyttet ble sjekket indirekte ved å betrakte gjennombruddskurven som en vannføringsmåling. Beregnet vannføring for gjennombruddskurven viste som skravert areal på Fig. 6 er $1,8 \text{ m}^3/\text{s}$. Dette passer med de uavhengige vannføringsmålingene listet i Tab. 1 og avtakende vannføring i samme tidsrommet (Fig. 6). Forsøket underbygger at alt vannet fra Trollhola drenerer mot kildene i Mølnvika. Den skarpe toppen på gjennombruddskurven tyder på at systemet består av ett hovedløp med god kapasitet og lite lagringsvolum. 50% av saltet hadde passert kilden etter 30 minutter som gir en gjennomsnittlig vannhastighet på $0,3 \text{ m/s}$ på den direkte distansen mellom nedløp og kilde. I realiteten er den tilbakelagte distansen noe lengre, så reell hastighet vil være noe høyere.



Figur 6. Øverst er gjennombruddskurven for sporingsforsøket med salt vist som endring i elektrisk konduktivitet (mål på ionekonsentrasjonen i vannet) målt i hovedkilden. Bakgrunnsverdien i elektrisk konduktivitet (ledningsevne) økte under forsøket. Dette skyldes at vannføringen avtok (nedre blå kurve) og dermed at kontakttiden mellom vann og berggrunn økte slik at mer kalk løses opp pr vannvolum som passerer. (Loggerne viser klokkeslett i vintertid.)

Volumberegning fra tracerforsøket

Når vi tar skråningen med i betraktning, kan den lineære lengden på grottesystemet fra Trollhøla til Hovedkilden være 590 m. Med en rimelig antakelse av sinusitet på 1,5, kan vi regne kanalens lengde til ca. 900 m. Gjennomsnittsvannføringen målt fra gjennombruddskurven var $1,8 \text{ m}^3/\text{s}$, noe som ut fra gjennombruddstiden gir et stempelstrømvolum mellom nedløp og kilde på 2700 m^3 . Dividert på lengden gir dette et midlere tverrsnittsareal på $3,0 \text{ m}^2$, eller en sirkulær diameter på 1,9 m. Erfaringsmessig er slike estimater basert på tracerbølger i overkant store, men selv med halve tverrsnittsarealet er funnet i godt samsvar med vår observasjon av at systemet kunne absorbere flomvannføringer nær en middels flom i nedbørfeltet. En vil få bedre informasjon om flere kvantitative eksperimenter kan gjøres ved høye og lave vannføringer.

Diskusjon og konklusjon

- 1) Vi har ved vannføringsmålinger og tracerforsøk vist at Mølnelva og Merrelva er to uavhengige dreneringssystemer. De kommuniserer ikke under lave og normale vannføringer, men det kan ha foregått overløp under ekstreme flommer.
- 2) Mølnelva renner underjordisk igjennom Trollhola før den kommer ut i den øvre dammen. Herfra renner den med om lag samme vannføring til en ny dam rett under søndre åpning i Kannflogtunnellen. Her forsvinner vannet gradvis i elvesenga (virvler) og til slutt i steinrøysa noen titalls meter nedstrøms. Alt vannet, selv ved vannføringer opp mot middels flomvannføring ($2,1 \text{ m}^3/\text{s}$) absorberes i disse nedløpene (ikke noe overløp mot Merrelva kunne påvises). Ved utgraving av løsmasser og mudder kan en øke denne kapasiteten ytterligere.
- 3) Tracerforsøk viser entydig og direkte hydrologiske forbindelser mellom begge de ovennevnte nedløp og Hovedkilda (Mølnvika).
- 4) Kvantitativt tracerforsøk med salt viser en gjennomløpstid på 25 minutter ved $1,8 \text{ m}^3/\text{s}$, med et stempelstrømvolum på 2700 m^3 og gjennomsnittlig tverrsnittsdiameter mellom 1 og 2 m på de underjordiske kanalene.
- 5) Kapasitet og dimensjoner kan bestemmes mer presist med gjentatte kvantitative tracerforsøk ved høye og lave vannføringer.

Anbefalinger

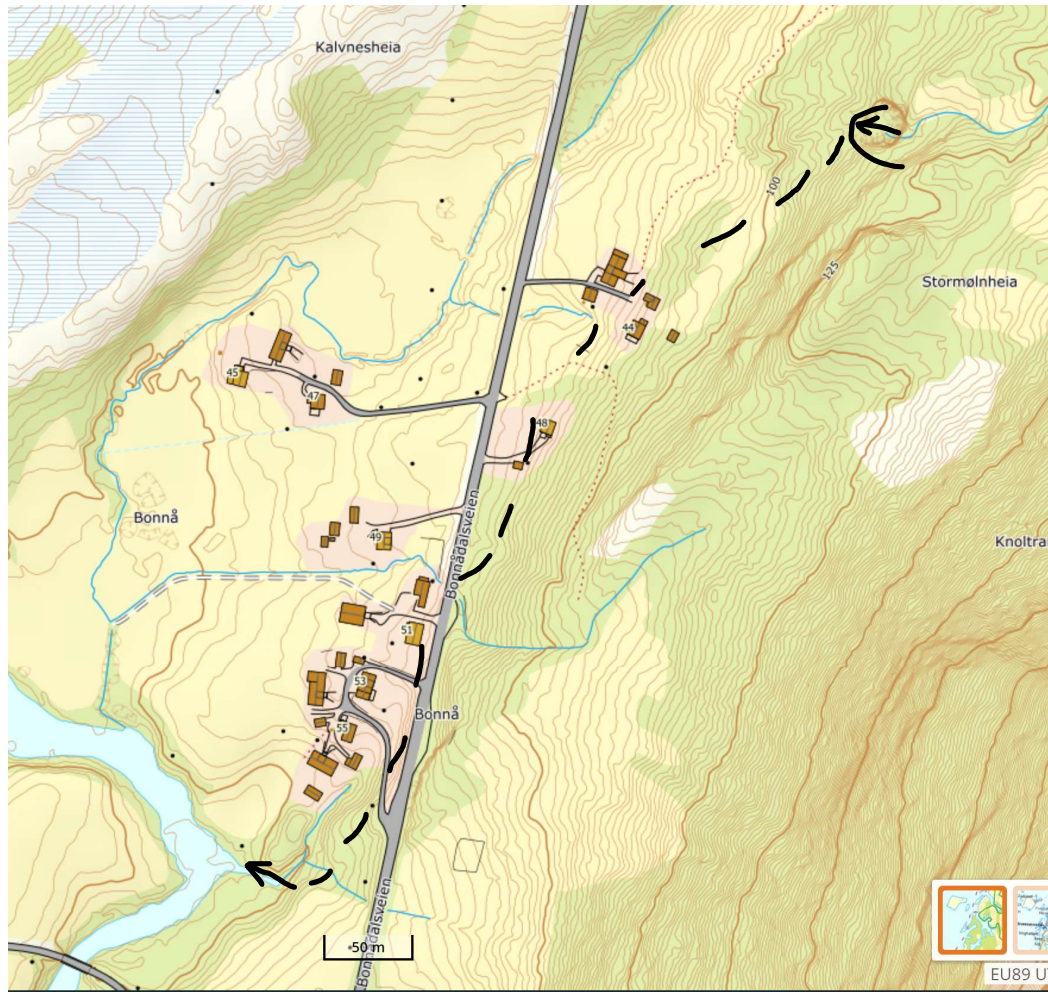
I forhold til det planlagte massedeponiet anbefaler vi:

- 1) Benytte eksisterende grottesystem som avløp for Mølnelva.
- 2) Grave opp elvebunnen og fjern alt finmateriale for å åpne opp nedløpet til grottene
- 3) Eventuelt utforske og kartlegge grottene dersom de blir tilgjengelige for kartlegging og å sjekke avløpskapasitet
- 4) Legge grov stein og kulvert under fyllmassene fra Trollhola ned til grotteåpningene. Bruke rist foran øvre åpning i kulverten.
- 5) Etablere målestasjoner for vannføring i Trollhola og Hovedkildene for å holde øye med avløpskapasiteten.

Appendiks

Observasjon av andre underjordiske løp og flomrisiko

Vi har gjort en kort befaring nord for Langfjorden, langs den planlagte E6-traséen igjennom Bonnådalen, Figur A1. *Stor-Mølnelva* går ned i en betydelig nedløpsgrotte som er kartlagt i tidligere rapporter. Det er to betydelige karstkilder i området, en mindre kilde nedenfor husene i gården på østsiden av nåværende E6, og en større (hovedkilden?) i elvesvingen som vist på figuren (svart strek). Det ligger en del kvartære løsmasser oppå karsthulene og selve hovedkilda kommer ut av løsmasser («alluvialkilde»), Figur A2. Sannsynligvis vil dette underjordiske løpet passere under kommende E6. Vi har derfor en liknende problematikk som i Trollhola, at en ved inngrep kan risikere å forstyrre det underjordiske løpet slik at det stopper opp og en kan få utløp på uventede steder og der en ikke ønsker.



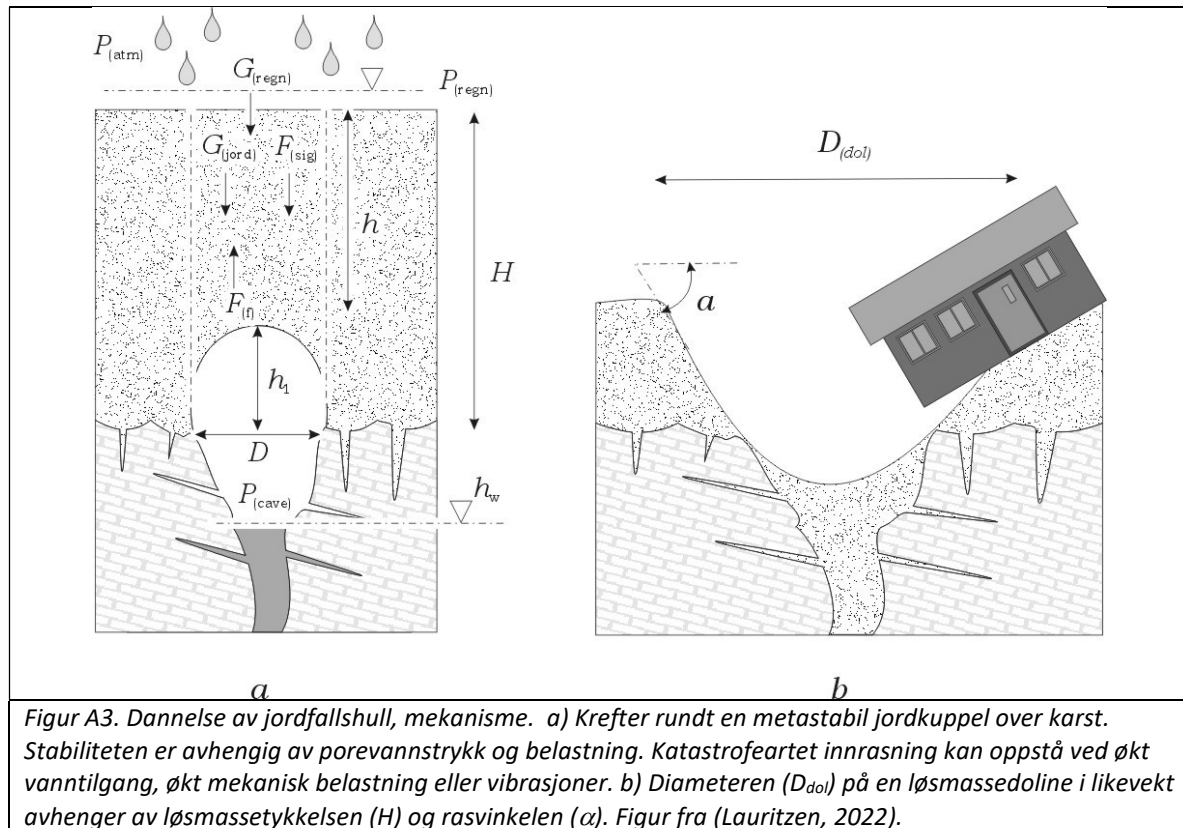
Figur A1. Stor-Mølnelvas underjordiske løp ved Bonnå. Kildeutspringet ligger i løsmasser (alluvialkilde).



Figur A2. Kilde i elvesvingen ved Bonnå. Sannsynlig hovedutløp fra Stor-Mølnelva. Vannet kommer opp artesisk (flomvannføring) fra løsmasser. Det er mulig løsmasseoverdekningen strekker seg opp til nåværende vegtrase.

Løsmasser over karst, risiko for jordfallshull

I de tilfeller hvor karstfiserte bergmasser ligger under kvartære løsmasser vil det kunne oppstå løsmassedoliner, eller jordfallshull. Løsmassedoliner dannes ved at sedimenter transporteres ned i underliggende karst-kanaler. Disse kanalene trenger ikke være særlig store, forutsetningen er at der er transportmekanismer videre inn i karstsystemet, slik som rennede vann. Det dannes da traktformede innrasninger (jordfallshull). Innrasningen kan ligge latent, idet jordmassene kan bære kuppelformede hulrom en viss tid før det bryter igjennom til overflaten, Figur A3. Diameter og dyp på løsmassedoliner avhenger av løsmassetykkelsen og av rasvinkelen, de er uavhengige av hvor stor åpningen i berggrunnen er, såfremt det er avløp og transport. Derfor kan relativt store sammenrasninger oppstå selv om løsmassedekket er tynt.



Diameteren på slike doliner, D_{dol} er (Lauritzen, 2022):

$$D_{dol} = H \cot(\alpha) + D_{cave}$$

Hvor H er løsmassetykkelsen, α rasvinkelen og D_{cave} diameteren på underliggende karståpning. Rasvinklen i løsmasser er 30-35°. Med 5 m overdekning, vil en punktformig ($D_{cave} = 0$) løsmassedoline kunne bli ca 15 m i diameter. En kan tenke seg at både økt porevannetrykk (dersom underjordiske kanaler tilstoppes og vannstanden stiger) og økt belastning (fyllmasser) i forbindelse med E6-traséen kan involvere slike problemer. Med 10 m overdekning vil jordfallshull som utløses mer enn 20 m fra en eventuell trasé kunne ete seg så stort at det vil kunne gi stabilitetsproblemer. Det anbefales å utarbeide et aktsomhetskart fra NGU sine polygoner med kvartære løsmasser og kalkstein. Vi har tidligere gjort et pilotprosjekt med en masteroppgave (Kjønsøy, 2019).

Referanser

- Kjønsøy, R. A. (2019). *Aktsomhetskart for jordfallshull i Nordland: en forstudie*. (MSc). Universitetet i Bergen,
- Lauritzen, S. E. (2022). *Karst- og Grottelære. Geologi, speleologi, hydrologi og forvaltning.*: In preparation.