

# UNDERSØKELSE AV KARST OG GRUNNVANNSTRØM I TROLLHOLA, SOMMERSET

Rannveig Øvrevik Skoglund<sup>1</sup> og Stein-Erik Lauritzen<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institutt for Geografi, Universitetet i Bergen

<sup>2</sup> SpeleoConsult AS, Horten.

## Bakgrunn

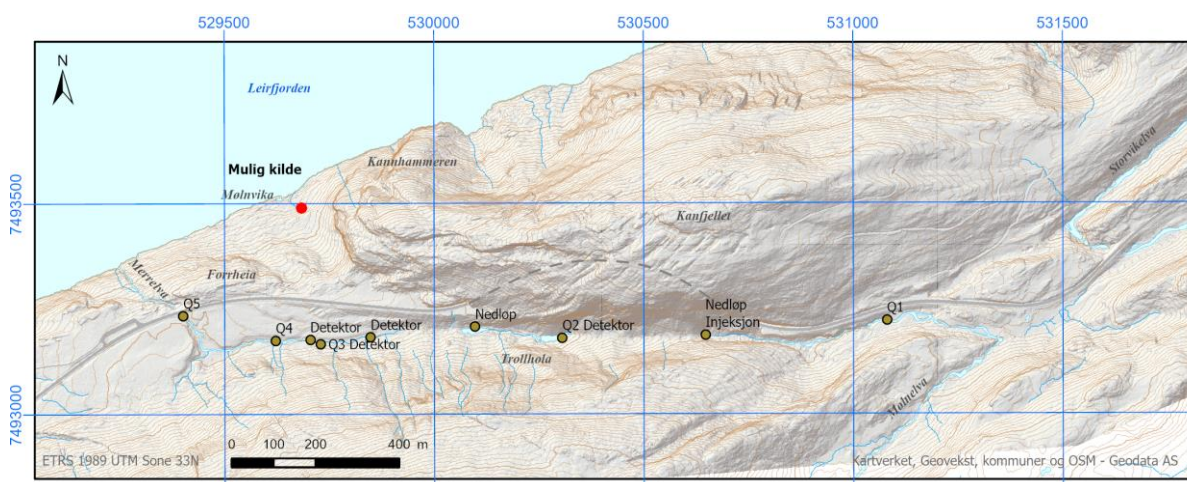
Statens Vegvesen ønsker å etablere et deponi for tunnelmasse i V-dalen som kalles Trollhola. Landformen ligger i kalkstein (marmor), og har en rekke underjordiske bekkeløp, som kan være karst, men også vannstrøm igjennom steinur. Det går i dag et betydelig, men ikke kvantifisert vannløp (Mølnelva) igjennom Trollhola. Det er uvisst hvor dette vannet tar veien. Det har kommet betenkeligheter om hvorvidt belastningen fra massedeponiet ( $10^6 \text{ m}^3$ ) vil kunne kollapse de underjordiske kanalene og derved demme opp vannstrømmen. Undersøkelsens mandat var med speleologiske metoder å klarlegge hvorvidt det finnes karsthuler i dreneringsveiene og om det kan finnes ennå uoppdagede vannløp i systemet. Slike uoppdagede vannløp vil kunne ha innvirkning på kapasiteten i den underjordiske dreneringen igjennom Trollhola og på tunneldriving langs ny E6 .

## Metodikk

Området er undersøkt ved befaring, hvorved en har registrert synlig geologi, karstformer (nedløp, kilder, doliner). I tillegg er det utført vannføringsmålinger gjort med saltfortynning. Endelig er et punkt-til-punkt tracerforsøk gjennomført med optisk hvitemiddel (Photin CU).

## Områdebeskrivelse

**Berggrunnen** består av glimmerskifer og kalkspattmarmor, tilhørende de kaledonske skyvedekkenene (Fauskedekket). I hovedtrekk går både bergartsgrenser og foliasjon øst-vest med steilt fall. Kalken (marmor) er massiv (og relativt solid), men stedvis med sukkertekstur som viser grusforvitring. Kalksand, som skriver seg fra slik forvitring, er bl.a. synlig i de eroderte delene av dyrestien som går igjennom Trollhola. Blokker av slik "sukkerkalk" er mekanisk svært svake og kan bli et problem i forbindelse med det nevnte massedeponiet.



**Figur 1. Oversiktskart over Trollhola og nåværende E6 trase, tunnel og dreneringsmønster. Q1–Q5: stasjoner for vannføringsmålinger. Lokalisering av Trollholas nedløpsdoline (injeksjonspunkt for tracer) samt stasjoner hvor detektorer var utplassert.**

Berggrunnskartleggingen (NGU) er ufullstendig og selvmotsigende, idet bergartsgrensene, som i vårt tilfelle er viktige å stedfeste nøyaktig, er svært forskjellige på 1:50 000 og 1: 250 000 seriene. Kartdekning 1:50 000 mangler dessverre for Trollhola og det videre løpet (Merrelva), men grensene mot nabokartet (Øst) antyder mye mer karbonatbergart og helt andre bergartsgrenser enn hva 1:250 000 kartet viser. Trollhola har et mye større kalkareal som stemmer bedre overens med de observerte karstformene. Dalen ligger i sin helhet i kalkstein. Det er også et bredt kalkbånd nord for Kanfjellet, ned mot fjorden, som kan ha betydning i vår videre diskusjon. Det er en viss sannsynlighet for at det kan være kontakt på dypet mellom dette kalkbåndet og kalkbåndet langs Trollhola. Ut fra kotemønsteret er det mulig at kalken er kontinuerlig og at de to båndene kan møtes i en ombøyning ved Forrheia og rundt Kannhammaren. En vil derved ha en kontinuerlig kalkkropp som kan forklare det store tapet av vannføring langsmed Trollhola – Merrelva (se nedenfor). Dreneringen vil da kunne gå nordover, mot Leirfjorden, og muligens komme ut i Mølnvika. Vi har hverken hatt mandat eller tid til å revidere berggrunnskartleggingen, men dette spørsmålet bør avklares i forhold til videre driftsplanlegging i E6 traseen.

Nedstrøms for Trollhola, langsmed nordsiden av Merrelva, mellom den og nåværende E6, går en glasifluvial grus- og rullesteinterrasse med toppflate noen meter over elva. Disse løsmassene kan dels fylle inn i underliggende karstformer og selv føre grunnvann (porøs akvifer, i motsetning til karstakvifer som har åpne kanaler).

## Dreneringsmønster

Dreneringen er sterkt kontrollert av bergartsgrenser og oppsprekking, men også påvirket av massebevegelser i tiden etter siste istid. I generelle trekk følger elvene Ø-V gående bergartsgrenser, mens “kortslutninger” ut mot Langfjoren går via N-S gående bruddsoner.

Ut fra topografien og befaring i terrenget kan en slutte at **Mølnelva** har hatt sitt tidligere løp mot øst og drenert ut i Leirfjorden (Lappstøvik) via Storstøvikelva. Et steinskred (UTM33 531360Ø 7493181N) fra Lappskarfjellet i førhistorisk tid har demt opp Mølnelva-Storstøvikelva

og endret dens løp inn i Trollhola. Noe grunnvann kan imidlertid fremdeles gå mot Storvikelva igjennom de grove rasmassene. Tidfesting av dette steinraset kan muligens gjøres ved graving etter organisk materiale under rasvifta og  $^{14}\text{C}$ -datering av dette. Rashendelsen har aktivert dreneringen og sannsynligvis akselerert karstdannelsen i Trollhola.

**Trollhola** som sådan er en typisk V-dal, og ligger i sin helhet i kalkstein. En skulle vente god karstifisering her, i alle fall på massive partier som mangler sukkerforvitring, men det er få tegn på dette. Bergoverflatene, og rasblokker av ulike aldre, mangler karren; en skulle forvente dannelse av rillekarren på de mer massive flatene i løpet av postglasial tid. Forklaringen på de manglende karrenformene ligger sannsynligvis i bergartens kjemiske sammensetning (som vi p.t. ikke har noe data på) og at mekanisk erosjon og massebevegelse forstyrrer etableringen av karren. Den Ø-V rettede dalformen (Trollhola) er parallell med Leirfjorden og må som denne ha hatt intens is- og vannstrøm under glasiasjonene. Halve jettegryter og plastiske skuringsformer i bergmassen rundt tyder på at den mekaniske erosjonsraten kan ha vært større enn karstifiseringsraten, slik at den underjordiske dreneringen først har akselerert i postglasial tid og spesielt forbindelse med steinskredet nevnt over.

**Mølnelva** drenerer inn i Trollhola, først i dagen, men så underjordisk igjennom grovsteinet ur som i hovedsak består av kalkstein (UTM33 531080Ø 7493221N). Vannføringen før nedløpet i Trollhola (Q1, Figur 1) ble målt til 160 L/sek (2/11). Mølnelva kommer på nytt til syne omtrent rett sør for det østre tunnellini laget (UTM33 530793Ø 7493174N), og kan følges igjennom ura til en stor, blind dal (nedløpsdoline) (UTM33 530646Ø 7493187N, Figur 2). Bunnen av dolina ligger på kote 180.1 m o.h., terskelen nedstrøms ligger på kote 195 m o.h. I bunnen av dolina er flere åpninger som kan ta vann, ved befaringen var det søndre løpet aktivt. Denne åpningen lot seg utforske. Den går omtrent 4 m vertikalt, før vannstrømmen forsvinner under ustabile blokker nede i grotta (176 m. o.h.). Små trykkledninger var synlige her, men ikke farbare for mennesker.



**Figur 2.** Fotos av nedløpsdolinen (venstre) og kilden i Trollhola (høyre).

### Mulig grottesystem i Trollhola

**Mølnelva** renner så underjordisk over en distanse på ca. 300 m, kommer ut som kilde igjennom rasblokker (UTM33 530314Ø 7493191N 137 m o.h., Figur 2), og renner herfra videre ut i et ca. 50 m langt, oppdemt vannspeil. Vannføringen i kilda (Q2) var 170 L/sek. Over det underjordiske løpet finnes en rekke lukkede forsengkninger i rasmaterialet (UTM33 530589Ø 7493180N; 530504Ø 7493182N; 530472Ø 7493177N). Noen av disse kan være karstdannelser (doliner, dvs. sammensynkninger forårsaket av oppløsning i bergmassen under), og det gjelder de som er særlig dype i forhold til tverrmålet og som viser fersk innrasning (Figur 3). Atter andre kan forklares som groper dannet der to eller flere rasvifter møtes. De er således ikke karstformer, men dannet av rasmaterialet.



**Figur 3.** Fotos fra dalen over det underjordisk løpet; ved flere doliner var det ferske innrasninger.

Fra kildeutspringet i ura fortsetter Mølnelva, dels i dagen, og dels igjennom grovsteinet ur, til den forsvinner omtrent i UTM33 530095Ø 7493204N. Langs dette løpet minsker vannføringen markant, og en kan se flere steder virveldannelser i vannflaten over steder der vannet forsvinner ned igjennom elvesenga (Figur 4). Elvebunnen og bredden består av torvjord og gyttje over grovsteinet ur. Nedstrøms for dette området forsvinner Mølnelva helt. Fra området ved vestre tunnelinnslag kommer vann fra to kulverter i veien inn fra nord (UTM33 530034Ø 7493202N). Dette vannet kan høres i ura et stykke nedstrøms.

Det er ikke vann synlig i dagen før lenger ned på et myrområde (UTM33 529908Ø 7473195N). Denne bekken, som nå heter **Merrelva**, har flere tilsig fra sør. Et av disse tilsigene kommer ut under rasmateriale som kilde (UTM33 529728Ø 7493166N). Vannføringen her (Q3) var 16 L/sek, nedstrøms samløpet med denne bekken (Q4) var vannføringen 25 L/sek (begge målt 2/11).



**Figur 4.** Fotos av virveldannelser i vannoverflaten der Mølnelva forsvinner nedstrøms for Trollhola.

Merrelva svinger så mot nord og krysser E6 i en kulvert (UTM33 529394Ø 7493239N). Elveleiet tett oppstrøms for kulverten er sprengt ut i fjell (glimmerskifer) og danner derved en terskel for vannet. Denne terskelen gjør at en kan se bort fra eventuell grunnvannstrøm i løsmasser *under* kulverten. Vi kan derfor anta at alt vannet fra Merrelva passerer her, med unntak av eventuelle grunnvannlekkasjer ned i karst og/eller videre i løsmassene vestover. Vannføringen i kulverten (Q5) var 30 L/sek 2/11 og ble målt i triplikat 3/11 til  $21,0 \pm 1,0$  L/sek.

### Vannføring.

Vannføring ble målt med saltfortynning 2/11 og 3/11 (Tabell I). 3/11 ble vannføringen i utvalgte steder målt i triplikat.

Tabell I

Vannføringsmålinger.

Lokalitet	Kommentar	Dato	Vannføring (L/sek)	Usikkerhet
Q1		2/11	159	
Q1a	200 m nedstrøms Q1	2/11	165	
Q1b	300 m nedstrøms Q1	2/11	169	
Q2		2/11	174	
Q2a	100 m nedstrøm Q2	2/11	186	
Q3		2/11	16	
Q4		2/11	25	

Q5		2/11	31	
Q1		3/11	130,3	±0,5
Q2		3/11	169,8	±0,4
Q4		3/11	13,6	±0,2
Q5		3/11	21,0	±1,0

Begge observasjonsdager viser at vannføringen i Merrelva ikke kan forklare vannmengdene i Mølnelva og Trollhola. 3/11 er denne forskjellen målt til 149 L/sek, dvs. Merrelvas vannføring utgjør maksimalt 12 % av hva som renner inn i systemet. Når vi tar alle synlige tilløp fra fjellsiden i sør, så kan all vannføring i Merrelva forklares av disse. Mellom 90 og 100 % av vannføringen i Mølnelva går underjordisk til ukjent sted. Grunnvannstrømmen går enten i karst (som da kan gå dypt, og eventuelt under E6-traseen), eller i løsmassene som strekker seg vestover fra utøpsområdene (Q3..Q5).

Vannføringsmålingen i denne undersøkelsen ble gjort på relativt lav og synkende vannføring. Mølnelva har et dreneringsfelt på om lag 4,5 km<sup>2</sup> og drenerer blant annet Sommersetvannet. Flomberegninger fra NVEs NEVINA (Nedbørsfelt-Vannføring-Ideks-Analyse) antyder at en middelflom i nedbørsfeltet kan ha en vannføring på 2100 l/s mens vannføringen for en 200-års flom er beregnet til 4000 l/s under nåværende klima. I prognosene for framtidige flommer legges det på et klimapåslag på 40 % i nedbørsfelt mindre enn 60 km<sup>2</sup> der middelflom og 200-års flom har en vannføring på henholdsvis 3300 og 9100 l/s.

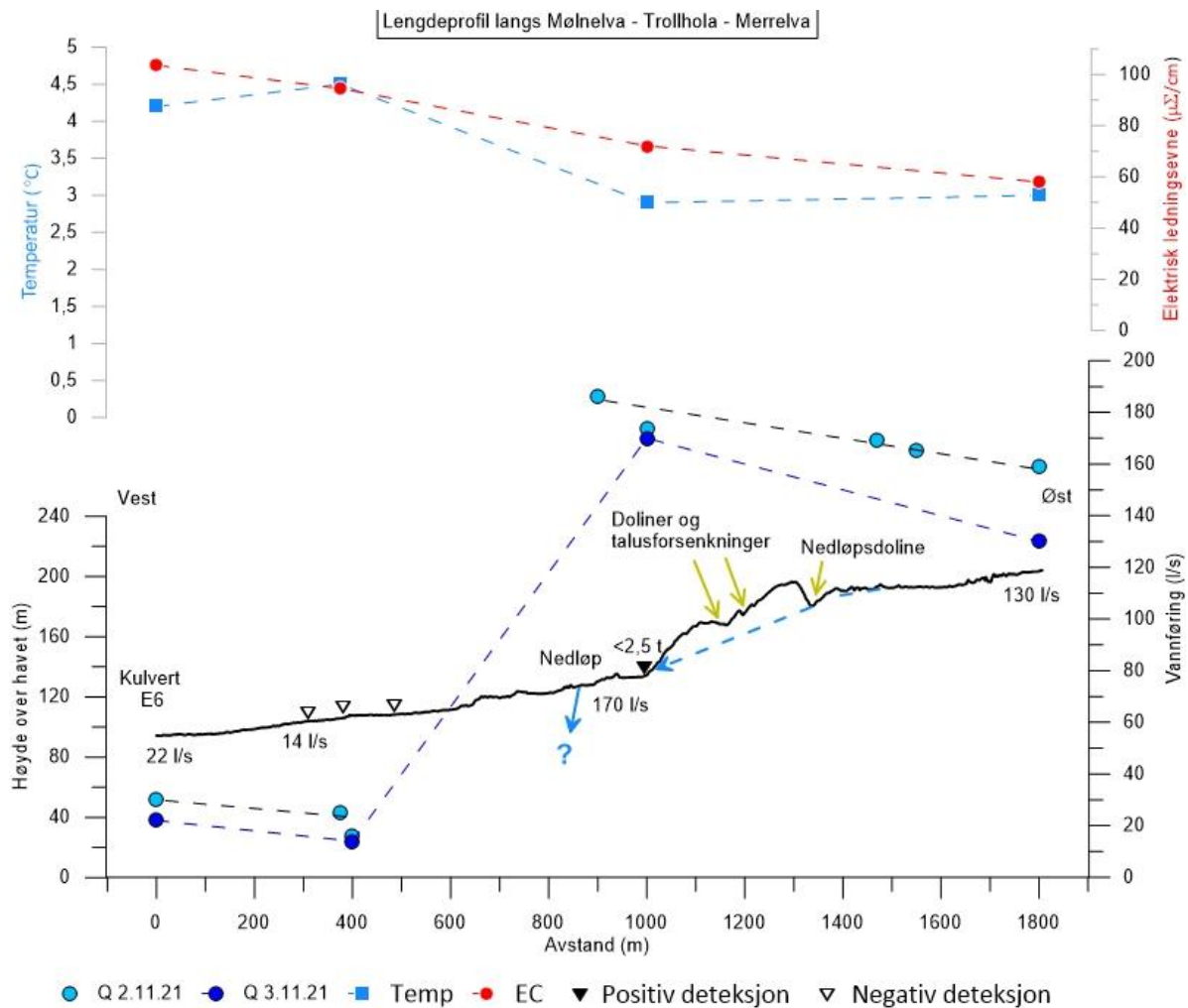
## Tracerforsøk.

Nedløpet i Trollhola (UTM33 530982Ø 7493187N) ble 2/11 injisert med optisk hvitemiddel (ca 200 g), Tabell 2. Fluorescensdetektorer var utplassert i kilda, 300 m lenger ned (Q2), ved Merrelvas tilsynekomst i myrområdet, i en mindre tilløpskilde (Q3) og lenger nedstrøms i hovedbekken (Q4). Alle detektorer ble skiftet etter 2,5-3,5 timer og etter 25-27 timer. Kun første detektor i Q2 ga positivt utslag og viser at det er direkte hydrologisk forbindelse igjennom Trollhola. Resultatet indikerer også at det ikke er noen slik forbindelse, eller svært langsom grunnvannstrøm (i løsmasser) videre langsmed dalen. Dette bekrefter vannføringsobservasjonene.

Tabell II

Tracerforsøk

Lokalitet	Injeksjon/deteksjon	Tidspunkt	Resultat
Nedløpsdoline	Injeksjon	2/11 12:40	
Q2	Deteksjon	2/11 15:10	Positiv
Q2	Deteksjon	3/11 14:00	Negativ
Liten bekk 450 m øst for Q3	Deteksjon	2/11 16:00	Negativ
Liten bekk 450 m øst for Q3	Deteksjon	3/11 15:00	Negativ
Q3	Deteksjon	2/11 16:05	Negativ
Q3	Deteksjon	3/11 15:05	Negativ
Hovedbekk 25 m vest for Q3	Deteksjon	2/11 16:10	Negativ



**Figur 5.** Lengdeprofil av Trollhola med Mølnelva og Merrelvas løp. Lengdeprofilen er vist med tykk svart linje i nedre diagram, høydeskala til venstre. Stiplet blå linje viser underjordisk løp igjennom Trollhola. Nedre diagram viser også vannføringsmålinger gjort langsmed bekkeløpene 2/11, (lyseblå) symboler, og 3/11 (mørkeblå symboler). Sistnevnte er utført i triplikater. Tracerinjeksjon og deteksjonsstasjoner er vist med trekantede symboler, fylt trekant betyr positiv påvisning av tracer. Øvre diagram: Endring av elektrisk ledningsevne ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) og temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ ) langsmed løpet (3/11).

## Diskusjon og konklusjon

De relevante resultatene er sammenstillet i Figur 5. Resultatene fra vannføringsmålinger og tracerforsøk viser :

- 1) Befaringer viser at kapasiteten i Trollholas nedløpsdoline er tilstrekkelig i forhold til nåværende hydrologiske regimer i Mølnelva. Det er ikke synlige tegn til overløp i dagen noe sted langs overflaten av Trollhola. Historiske middel- og 200-årsflommer er estimert til henholdsvis 2100 L/sek og 4000 L/sek.
- 2) Det går signifikant mindre vann ut igjennom kulverten (Q5) og igjennom Merrelvas tilsynekomst (Q3,Q4) enn hva Mølnbekken (Q1) transporterer igjennom Trollhola (Q2). Alt vann i Merrelva kan forklares ved synlige overflatetilløp fra sør.
- 3) Vannføringen i kulverten (Q5) åpner et spørsmål om hvor vannet fra Mølnelva og Trollhola egentlig tar veien fra nedløpspunktet, Figur 1.
- 4) En sannsynlig kandidat til 3) over, er et mulig kildeutspring N for E6, ved Mølnvika se kart Figur 1. Vi har foreløpig ikke oppsøkt denne lokaliteten.
- 5) Det er utført et kvalitativt (punkt-til-punkt) tracerforsøk igjennom Trollhola hvorved det er påvist hydrologisk forbindelse mellom nedløp og kilde. Traceren bruker maksimum 2,5 timer igjennom Trolldalen ved en vannføring på 170 L/sek. Dette gir akviferen et maksimumsvolum på 1530 m<sup>3</sup>. Over en distanse på 300 m, kan det underjordiske løpet ha et nominelt, gjennomsnittlig tverrsnittsareal på << 5 m<sup>2</sup>. Det må tilføyes at ved kortere gjennombruddstid (hyppigere skifte av detektorer eller kontinuerlig fluorometri) vil dette arealet minske betraktelig. Vi kan foreløpig konkludere med at det finnes et velutviklet (karst ?) dreneringssystem under Trollhola, og at det sannsynligvis består av flere mindre, parallelle løp. (Vi kan ikke helt utelukke at kanalene alternativt går mellom rasblokker. Et kvantitativt tracerforsøk vil kunne avgjøre dette).
- 6) Vi har vist at det sannsynligvis eksisterer grottepassasjer under Trollhola og dermed under det planlagte deponiet. Disse passasjene har god kapasitet i forhold til nåværende hydrologisk regime. Hvor stabile disse passasjene er mot trykkbelastning fra deponiet, er vanskelig å si uten nærmere informasjon om bergmassens lokale beskaffenhet (sukkertekstur eller massiv marmor), om de enkelte passasjenes tverrsnitt. De er ikke tilgjengelige for direkte utforskning.
- 7) Nedstrøms kilden i Trollhola forsvinner vannet, og praktisk talt hele denne vannføringen tar andre, ukjente veier enn til Merrelva. Merrelvas observerte vannføring kan fullt ut forklares fra synlige tilløp som ikke skriver seg fra Trollhola.

## Anbefalinger

- 1) Det er av interesse å klarlegge hvor de relativt store vannmengdene fra Mølnelva egentlig tar veien, og vi foreslår en ny, mer inngående feltundersøkelse med kvantitative tracereksperimenter mot potensielle utløp ved Leirfjorden. Dersom det etableres vannstandsbrønner i løsmassene langsmed og forbi Merrelva, kan en også søke etter tracergjennombrudd i dem.
- 2) Vi anbefaler å forsøke geofysiske metoder (GPR eller resistivitet) langs ett eller flere tverrsnitt i Trollhola for da eventuelt å lokalisere kanalene og å finne grensen mellom rasmasser og eventuell fast bergmasse.



- 3) Vi støtter forslaget fra oppdragsgiver om å legge grovest mulig sprengstein nederst i deponiet for å lette vanngjennomgangen. Alternativt kan det legges rør i støttemasse (kulvert). Det er i alle tilfelle kritisk at en ikke tilstopper eller reduserer kapasiteten noen av nedløpene, verken selve nedløpsdolina eller nedløpene nedstrøms Trollhola.
- 4) Et grep som kan endre hele situasjonen, ville være å åpne skredbarrieren som dirigerer Mølnelva inn i Trollhola (Skred fra Lappskardfjellet, UTM33 531360Ø 7493181N), slik at mesteparten av vannføringen i Mølnelva kan føres øst og nordover igjennom Storvikelva.