



GEOLOGI FOR SAMFUNNET

SIDEN 1858



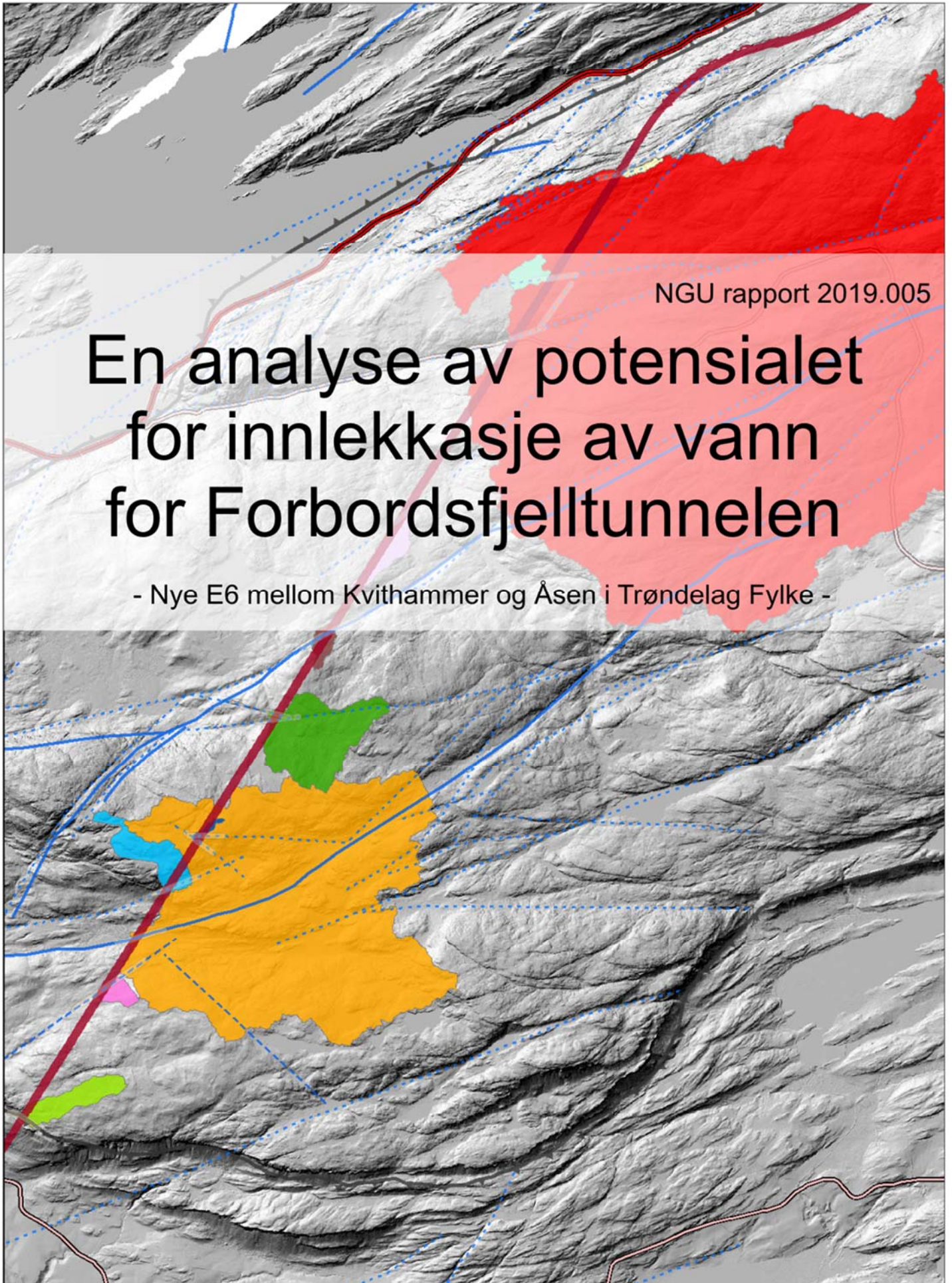
**NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE**
· NGU ·



NGU rapport 2019.005

En analyse av potensialet for innlekkasje av vann for Forbordsfjelltunnelen

- Nye E6 mellom Kvithammer og Åsen i Trøndelag Fylke -





Rapport nr.: 2019.005	ISSN: 0800-3416 (trykt) ISSN: 2387-3515 (online)	Gradering: Åpen	
Tittel: En analyse av potensialet for innlekkasje av vann for Forbordsfjelltunnelen. Nye E6 mellom Kvithammer og Åsen i Trøndelag Fylke			
Forfatter: Anna Seither, Atle Dagestad og Guri Venvik		Oppdragsgiver: Nye Veier E6	
Fylke: Trøndelag		Kommune: Stjørdal og Levanger	
Kartblad (M=1:250.000) Trondheim		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) Frosta 1622 II	
Forekomstens navn og koordinater: -		Sidetall: 26 Pris: Kartbilag: Vedlegg 1 & 2	
Feltarbeid utført: -	Rapportdato: 03.05.2019	Prosjektnr.: 362200	Ansvarlig: <i>Belinda Thom</i>
Sammendrag: <p>I forbindelse med planlegging av ny E6 fra Støren til Åsen i Trøndelag fylke er NGU blitt engasjert av Nye Veier for å utføre en analyse av potensialet for innlekkasje av vann i planlagt tunneltrase for Forbordsfjelltunnelen fra tunnelpåhugg ved Kvithammer i sør til Åsen i nord. Den planlagte tunnelen skal ha påhugg ved Kvithammer, nord for Stjørdal og gå med to løp i 7.8 km til Vuddudalen ved Åvika. Topografien langs tunneltraseen er varierende, med Forbordsfjellets topp på 590 m o.h. og dype daler som følger tolkede forkastninger og sprekkesoner. Bekker følger dalførene ned til fjorden.</p> <p>Potensialet for innlekkasje er størst der tunnelen krysser forkastninger eller sprekkesoner. Når overdekket til tunnelen er liten, vil risikoen for innlekkasje øke. Dette arbeidet er en regional analyse utført med eksisterende kartdata (2018) ved hjelp av analyseverktøy i ArcGIS (ESRI), basert på sammenstilte data fra eksisterende berggrunnskart M 1:250000 Trondheim (Wolff med flere, 1975) og M 1:50.000 i kartblad Frosta (Roberts, 1985). Lineamenter tolket som sprekker og mulige forkastninger, er tegnet fra en høyoppløselig digital terrengmodell (DTM 10 m), som ble avledet fra lidardata.</p> <p>Fire forskjellige scenarier er gitt for analysen, der potensialet for innlekkasje hvor lineamenter krysser tunneltraseen er beregnet ut ifra nedbørsfeltet. Scenario 1 er det enkleste, hvor det ikke er tatt noen ekstra hensyn i form av buffersoner rundt tunneltraseen. Her er det lineamentet ved Forbordsfjellet som får størst betydning for potensialet for innlekkasje, nedbørsfelt 3 (Figur 9). I scenario 2 er det gitt en bufferson på 50 meter på hver side av tunneltraseen for å fange opp flere lineamenter som kan berøre tunneltraseen (Figur 11). Dette gir tilsvarende resultat som scenario 1, men nedbørsfeltene til lineamentet som krysser tunneltraseen øker i areal. I scenario 3 er buffersonen økt til 100 meter. I denne analysen er det flere lineamenter som blir utslagsgivende for potensiell innlekkasje i tunneltraseen (Figur 12). For scenario 4 er en 20 meter bufferson lagt på hver side av lineamentene. Dette for å kompensere for liten overdekning som gir større potensiale og innlekkasje. Lineamentet som krysser tunneltraseen i Langsteindalen har liten overdekning, kun 20-30 meter, noe som gjør at området bør få spesielt mye oppmerksomhet i videre planlegging av Forbordsfjelltunnelen.</p> <p>For å redusere usikkerhet rundt analysen og resultatene er oppfølgende kartlegging i felt påkrevd.</p>			
Emneord: Tunnel	Nedbørsfeltanalyse	Vannlekkasje	
Analyse	Forkastninger	Sprekker	

INNHold

1. Innledning.....	6
1.1 Datagrunnlaget.....	6
2. Geologisk beskrivelse langs tunneltraseen.....	6
3. Metode - generelle arbeidstrinn for nedbørsfeltanalyse.....	9
3.1 Terrenkkorrektur.....	9
3.2 Analyse av strømningsretning	9
3.3 Avledning av strømningsveier	9
3.4 Valg av utløpspunkter / innlekkasjepunkter	10
3.5 Nedbørsfeltanalyse	10
4. Analyse - Nedbørsfeltanalyse for tunneltraseen E6 Kvithammer – Åsen.....	10
4.1 Scenario 1	11
4.2 Scenario 2 – 50 meter buffersone på hver side av tunneltraseen.....	12
4.3 Scenario 3 – 100 meter buffersone på hver side av tunneltraseen.....	13
4.4 Scenario 4 - 20 meter buffersone på hver side av lineamentet.....	14
5. Resultater.....	15
5.1 Scenario 1	15
5.2 Scenario 2 – 50 meter buffersone på hver side av tunneltraseen.....	17
5.3 Scenario 3 – 100 meter buffersone på hver side av tunneltraseen.....	19
5.4 Scenario 4 - 20 meter buffersone på hver side av lineamentet.....	21
6. Konklusjon og forslag til videre undersøkelser.....	23
7. Referanser.....	24
8. Vedlegg	25

FIGURER

- Figur 1. Kart over strekningen E6 Forbordfjell tunnelen fra Kvithammer i sør til Vuddudalen i nord. Berggrunn er vist med forskjellige farger for de forskjellige bergartene. Kartet er drapert over fjellskygge for å vise terrenget i området. Grå farge er løsmasser, mest leire. Blå linjer er forkastninger eller sprekkesoner. Svart linje viser en skyvesone mellom metasedimenter og grønnstein. Rød linje er Tunneltrase og dagens E6, med småveier vist med rosa linjer. 8
- Figur 2: Terrenganalyse med avledning av strømningsretning. Tallene er koder for retningen overflatevann kan ta fra cellen i midten og har ingen numerisk betydning. 9
- Figur 3: Analyse av strømningsveier. 9
- Figur 4: Oversikt over lineamenter langs tunnelstrekningen E6 kvithammer-Åsen..... 11

Figur 5: Eksempel for plassering av innlekkasjepunkter ved krysning av et lineament med tunneltraseen. Røde linjer er tunneltraseen i to tunnellop, blå stiplet linje er lineamentet og blå-grå linjer er strømningsveier for overflatevann fra analysen i kapittel 3.	12
Figur 6: Eksempel for plassering av innlekkasjepunkter ved krysning av et lineament med tunneltraseen. Tunneltraseen er her vist med svart linje. Buffersonen rundt traseen har en bredde på 50 m på begge sider og vist med blå-grønn farge på sonen.....	13
Figur 7: Eksempel for plassering av innlekkasjepunkter ved krysning av en sprekk med tunneltraseen med buffersonen på 100 m på begge sider.....	14
Figur 8: Eksempel for plassering av innlekkasjepunkter ved krysning av en sprekk med tunneltraseen. Buffersonen langs lineamentene har en bredde på 20 m på begge sider. Utsnittet på kartet viser krysningen mellom tunnel og lineament i Langsteindalen.....	15
Figur 9. Kart som viser nedbørsfelt til potensielle innlekkasjepunkter i scenario 1 = ingen buffersoner.....	16
Figur 10. Kart som viser nedbørsfelt 3 fra scenario 1.	17
Figur 11. Kart som viser nedbørsfelt til potensielle innlekkasjepunkter i scenario 2 = 50 m buffersoner.....	18
Figur 12. Kart som viser nedbørsfelt til potensielle innlekkasjepunkter i scenario 3 = 100 m buffersoner.....	20
Figur 13. Kart som viser nedbørsfelt 9 fra scenario 4.	21
Figur 14. Kart som viser nedbørsfelt til potensielle innlekkasjepunkter i scenario 4 = 20 m buffersoner langs lineamenter.....	22

TABELLER

Tabell 1: Omtrentlig størrelse av nedbørsfelt til potensielle svakhetssoner for tre forskjellige scenarioer.....	23
--	----

VEDLEGG

Vedlegg 1: Kart som viser dybde (angitt i m) fra terrengoverflaten ned til tunnelen.	25
Vedlegg 2: Løsmassekart kombinert med nedbørsfelt til potensielle innlekkasjepunkter for Scenario 1.....	26

1. Innledning

NGU er engasjert av Nye Veier for å utføre en analyse av potensialet for innlekkasje av vann i den planlagte Forbordsfjell tunnelen langs nye E6 fra Kvithammer i sør til Åsen i nord.

Tunnelen skal gå i fjell med krystalline bergarter uten primær porøsitet og som kan betraktes som tette masser. Vann forekommer derfor i sprekker og svakhetssoner, også kalt sekundær porøsitet. Vurderingen av innlekkasjepotensialet er basert på en nedbørsfeltanalyse i kombinasjon med lineamenter i terrenget, i hovedsak tolket fra digitale terrengmodeller (DTM 10 m). Lineamentene er antatt å representere overflatespor av sprekker, svakhetssoner og forkastninger, som ikke angir bevegelse (Pettersen, Redfield & Svendby, 2018). Lineamentene supplementerer tidligere kartlagte forkastninger og sprekkesoner i felt og delvis fra flyfoto (Roberts, 1985). Lineamentene utgjør sannsynlig svake soner i fjellet som kan være vannførende.

1.1 Datagrunnlaget

Utgangspunkt for nedbørsfeltanalysen er en høyoppløselig terrengmodell (1x1m), som ble avledet fra lidardata (Kartverket). Lineamentene i terrenget ble tolket fra DTM (10 m), avledet av lidardata. Målestokkreferansen til lineament-dataene er 1:50.000. FKB data for veier, bekkeløp osv. er innhentet fra Geodata online. Løsmassekartet (1:50.000) er fra NGU (Vedlegg 2).

2. Geologisk beskrivelse langs tunneltraseen

Traseen går fra sørvest ved Kvithammer, til nordøst ved Vuddudalen, gjennom ulike bergarter og tidligere kartlagte (Roberts 1985) og tolkede svakhetssoner, se Figur 1. Som det fremkommer av figur 1 består bergartene langs traseen av metasedimentære bergarter og grønnstein. De metasedimentære bergartene utgjøres av vekslende lag(enheter) med leirskifer, fyllitt, og kvartsitt eller gråvakke. Dette er sedimentær opprinnelig ble avsatt i vann eller hav og senere omdannet til lavgradsmetamorfe bergarter (metasedimentære bergarter). Metasedimentene har en tydelig lagning, er isoklinalt foldet (tette til svært tette folder). Oppå metasedimentene ligger det grønnstein. Grønnsteinen ble opprinnelig dannet som basalt og putelava ved vulkansk aktivitet i havet. De vulkanske bergartene ble omdannet til grønnstein og grønnskifer under den kaledonske fjellkjededannelsen, da de ble skjøvet inn over land som skyvedekker sammen med de sedimentære (nå metasedimentære) bergartene

Både grønnstein, grønnskifer og tilgrensende, underliggende tidligere isoklinalt foldede metasedimenter, ble foldet i en stor åpen, synformet fold i forbindelse med fjellkjededannelsen; Forbordsfjellet synform. En tydelig skjærsone mellom metasedimentene og metabasalten (grønnstein og grønnskifer) går i fjellsiden ved Kvithammer. Skjærsonen avgrensner grønnsteinen og grønnskiferen i Forbordsfjellet fra metasedimentene under. Både skjærsonen og Forbordsfjellet synform danner en åpen, svakt overbikket, synformet fold, som stuper mot NØ. Akseplanet faller mot NV, og foldeaksen stuper mot NØ. Både skjærsonen og lagningen langs den nordvestlige foldeflanken faller mot sørøst, og faller mot nordvest langs den nordøstre foldeflanken, (se harmonisert kart med målepunkter).

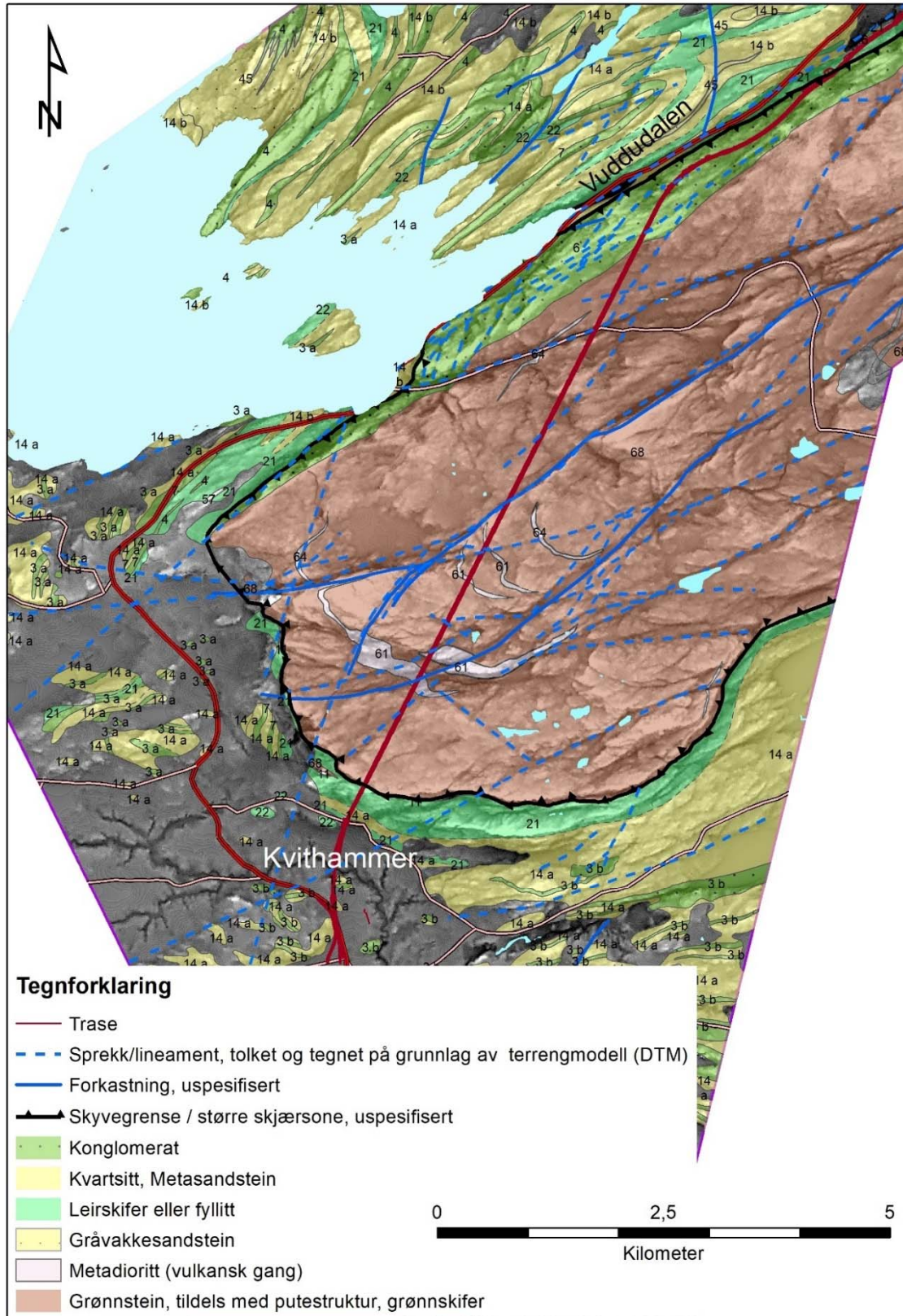
Ved påhugget i SV, ved Kvithammer går traseen fra metasedimenter (leirskifer og/eller fyllitt, med kalksteinslag) og over i grønnsteiner. Foliaasjonen og skjærsonen faller her ca. 30° mot NØ, (se harmonisert kart med målepunkter). Grønnsteinen er av god kvalitet med hensyn til tunneldrift og dekker store deler av traseen, kun med innslag av metadioritt og andre metavulkanske bergarter. Ved eller nær påhugget i nordvest, ved Vuddudalen, går traseen fra grønnstein og over til metasedimenter. Her utgjøres bergarten av konglomerat som har en

lagning som faller inntil 70° mot SØ. Sprekker langs lagningen kan forekomme, noe som kan gi både stabilitetsproblemer og risiko for innlekkasje.

Lineamentene (tolket som sprekker og forkastninger) over traseen, har hovedsakelig NØ - SV-retning og er antatt å falle $70-85^\circ$ mot NV eller SØ. Noen lineamenter som er mindre tydelig i terrenget viser NNØ-SSV retning. Noen av disse krysser tunneltraseen med liten vinkel, se Figur 1. Sprekker i fjell opptrer i stor grad i et mønster som kan være dannet under og i forbindelse med (gamle) jordskjelv, der sporene i dag sees som forkastninger, sprekkesoner og lineamenter. Disse kan ha stor utstrekning på overflaten og i dypet. Sprekkene som er knyttet til disse sonene forekommer også i dypet. Sprekker kan også dannes under folding og andre prosesser som skjer under fjellkjededannelse, eller i forbindelse med senere ekstensjon.

For at sprekker kan føre vann må de være åpne. I dypet har sprekkenes større sannsynlighet for å være lukket på grunn av overliggende masser (stort trykk). Sprekker i eller nær overflaten har derfor større sannsynlighet for å være åpne og vil følgelig være vannførende. I tillegg forekommer dagnære sprekker, eksfoliasjonssprekker, fra overflaten og 3-5 meter i dypet. Disse sprekkenes er ikke dannet i sammenheng med jordskjelv, men pga. trykkavlastning etter istiden(e), frostsprenging og lignende prosesser. Disse sprekkenes er ofte parallelle til overflaten, er åpne og kan derfor føre vann.

Driving av tunnelen med sprenging kan danne nye sprekker eller åpne tette sprekker rundt tunnellopet. Dette øker risikoen for innlekkasje. Dette er tatt med i analyser som inkluderer buffersoner. Videre i rapporten er ordet *lineamenter* brukt. Dette er her tolket som et uttrykk for svakhetssoner, sprekkesoner og forkastninger, som har en viss utstrekning i terrenget, men ikke er beskrevet med fallretning, bevegelse, oppsprekkingsgrad eller andre egenskaper.



Figur 1. Kart over strekningen E6 Forbordfjell tunnelen fra Kvithammer i sørvest til Vuddudalen i nordøst. Berggrunn er vist med forskjellige farger for de ulike bergartene. Kartet er drapert over fjellskygge for å vise terrenget i området. Grå farge er løsmasser av kvartær alder, mest leire. Blå heltrukne linjer er forkastninger, basert på eksisterende berggrunnskart i målestokk 1:50.000 (Robbers, 1985), mens blå stiplede linjer er lineamenter, tolket som sprekker/mulige forkastninger, tegnet på grunnlag av digital terrengmodell (DTM 10 m). Svart linje viser skjærsoner mellom metasedimenter og grønnstein. Rød linje er Tunneltrase og dagens E6, med småveier vist med rosa linjer.

3. Metode - generelle arbeidstrinn for nedbørsfeltanalyse

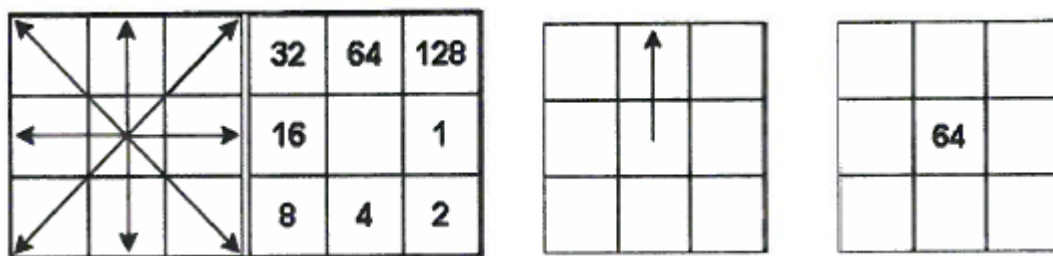
Nedbørsfelt er områder med felles avrenning av overflatevann til et bestemt utløpspunkt. Målet er å identifisere nedbørsfelt til svakhetssoner som kan føre til innlekkasje i tunnelen. Det viktigste datagrunnlaget for denne analysen er en digital høydemodell med oppløsning 1 x 1 m. Nedbørsfeltanalysen er gjennomført i ArcGIS (ESRI) og baserer seg på arbeidstrinnene som er beskrevet i dette avsnittet.

3.1 Terrengkorrektur

Hver celle i rasterfilen til terrengmodellen må ha en avrenningsverdi. Dette er en viktig forutsetning for nedbørsfeltanalysen. En forsenkning uten utløp i noen retning blir ansett som feil i terrengmodellen og vil bli korrigert; cellen vil bli gitt en avrenningsverdi. Analysen er dermed ikke egnet for områder med vann uten utløp, der vannbalansen blir styrt av avdampning eller infiltrasjon til undergrunnen.

3.2 Analyse av strømningsretning

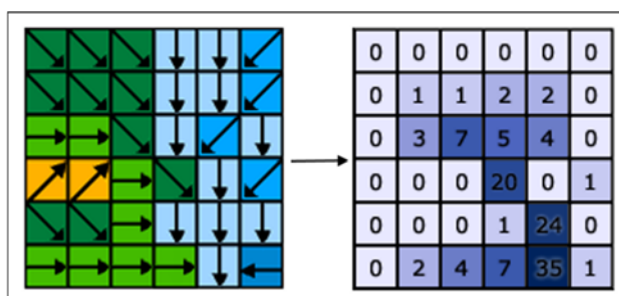
I denne terrenganalysen undersøkes hvilken retning overflatevann vil strømme i terrenget. Det skrives en verdi som angir strømningsretning fra hver rastercelle (1x1m) i terrengmodellen.



Figur 2: Terrenganalyse med avledning av strømningsretning. Tallene er koder for retningen overflatevann kan ta fra cellen i midten og har ingen numerisk betydning.

3.3 Avledning av strømningsveier

Basert på trinnene over i rasteranalysen beregnes strømningsveiene i terrenget. For hver celle identifiseres et antall celler oppstrøms som har avrenning til denne cellen. Resultatet blir et veldig detaljert strømningsnettverk, tilsvarende elver, bekker, grøfter eller forsenkninger i terrenget. Strømningsveier med lavt antall oppstrøms celler, har følgelig et lite nedbørsfelt, og vil ikke være vannførende hele året.



Figur 3: Analyse av strømningsveier.

3.4 Valg av utløpspunkter / innlekkasjepunkter

Nedbørsfelt er områder med felles avrenning til et bestemt utløpspunkt. I dette arbeidstrinnet velges antall og posisjonen til disse utløpspunktene. Punktene plasseres på strømningsveier i undersøkelsesområdet. Deretter konverteres punktene til en raster. I forbindelse med tunnelen er det potensielle innlekkasjepunkter man velger i dette trinnet.

3.5 Nedbørsfeltanalyse

Ved hjelp av rasterfilen som angir strømningsretning av overflatevann i terrenget beregnes så nedbørsfelt for de valgte utløpspunktene. Av praktiske årsaker konverteres den resulterende rasterfilen til polygoner, tilsvarende nedbørsfelt til valgte utløpspunkt. I dette studiet er det punkt hvor sprekkesoner krysser tunneltraseen.

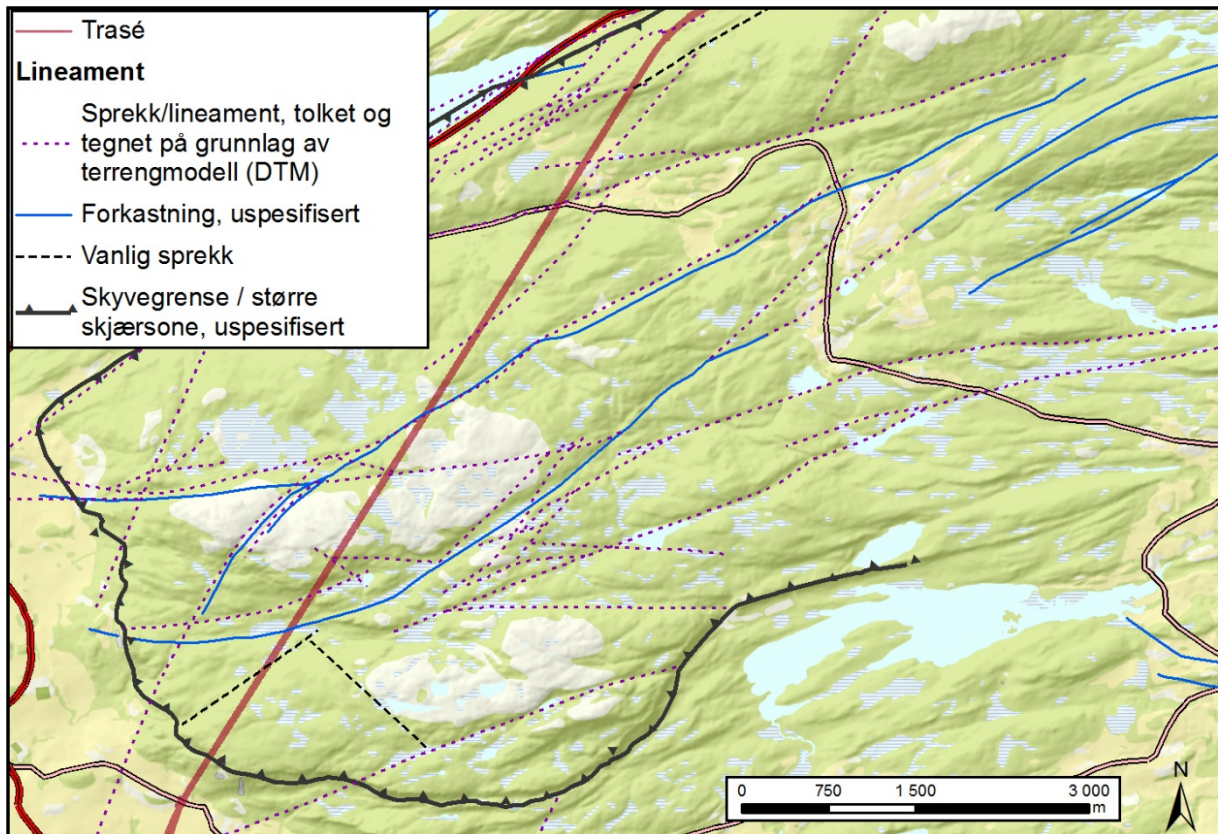
4. Analyse - Nedbørsfeltanalyse for tunneltraseen E6 Kvithammer – Åsen

Tunnelen går gjennom fjell der bergartene i området i seg selv er tette, og vannet siver i sprekker gjennom berget. I tilknytning til svakhets- og forkastningssoner er fjellet ofte sterk oppsprukket. I deler av sonene kan sprekke være fylt av leirmineraler som reduserer vannføringen i sprekke.

En tunnel i fjell må krysse vannførende sprekker og svakhetssoner i berget for at det skal lekke vann inn i tunnelen. Mot dypet blir det normalt mindre sannsynlig å treffe på åpne sprekker på grunn av økt trykket fra overliggende fjellmasser som presser sammen sprekke, og fravær av eksfoliasjonssprekker; sprekker nær overflaten. Det er størst sannsynlighet for innlekkasje i områder langs tunneltraseen hvor overdekningen er liten.

Kartet i Figur 4 gir en oversikt over tunnelstrekningen og lineamentene i terrenget. Lineamenter representerer potensielle svakhetssoner, i form av bruddsystemer (sprekker eller forkastninger.) Disse kan være vannførende og kan føre til innlekkasje i tunnelen samt drenering av det overliggende terrenget. Lineamentene som er anvist på kartet ble avledet fra berggrunnskart (Wolff mfl., 1989 og Roberts, 1985) og lidardata. Nyere kartlegging i felt er ikke gjennomført. Det er dermed ukjent hvilken oppsprekingsgrad sonene har, om de er vannførende, samt usikkerhet tilknyttet fallvinkel osv. Oppfølgende kartlegging i felt er nødvendig for å øke kunnskapen om dette samt øke nøyaktigheten av analysen.

Nedbørsfeltanalysen er dermed en ren skrivebordsstudie som har gjort det nødvendig å generalisere, forenkle og å gjøre antakelser. Analysen ble gjennomført med fire forskjellige scenarioer for å vise betydningen av usikkerheter i modellgrunnlaget for nedbørsfeltanalysene.

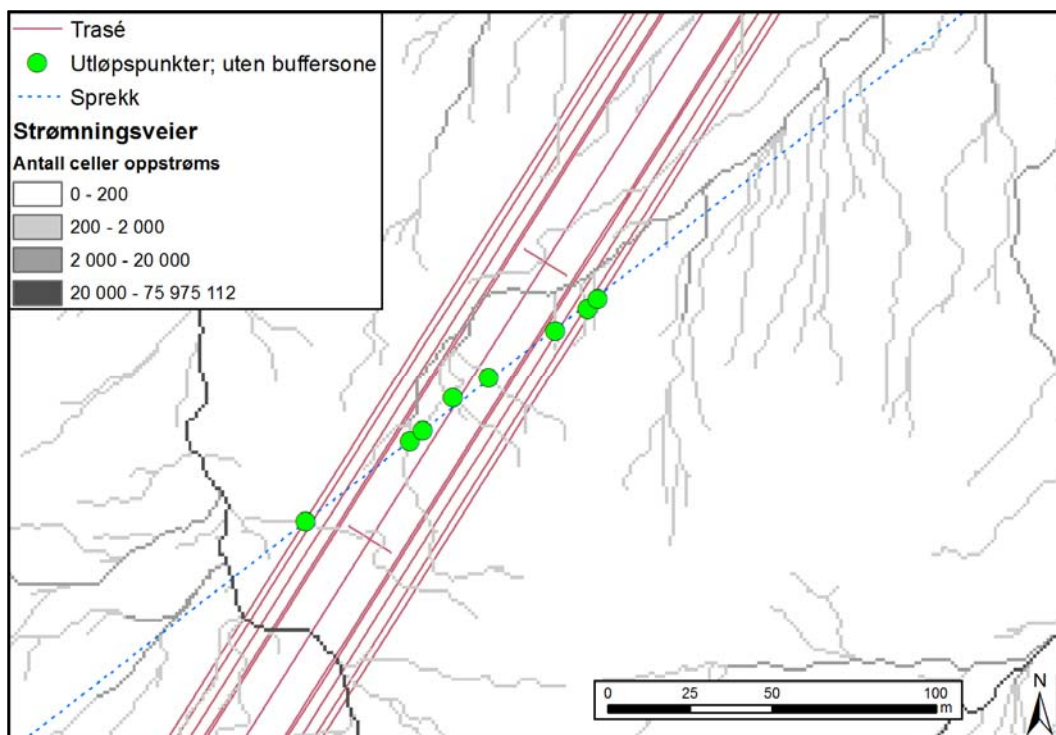


Figur 4: Oversikt over lineamenter, tolket som sprekker og mulige sprø forkastninger langs tunnelstrekningen E6 kvithammer-Åsen. I kartet har sprekker fått forskjellig farge og inndeling ette kartleggingsgrunnlaget. Svarte, stiplede, linjer er kartlagt i felt, mens røde, stiplede linjer er tolket ut fra terrenngmodell. Forskjellen har liten betydning for dette arbeidet.

Nedbørsfeltanalysen for tunneltraseen ble gjennomført i fire varianter basert på det samme datagrunnlaget beskrevet over. Hvert senario er beskrevet nedenfor.

4.1 Scenario 1

Dette er det enkleste scenarioet og gir et begrenset nedbørsfelt. Det ble identifisert områder der lineamenter i terrenget krysser tunneltraseen. Nedbørsfeltene er gitt av overflateavrenning med utløpspunkt der lineamenter krysser direkte over selve tunneltraseen. Et eksempel er gitt i Figur 5, hvor de grønne prikkene er valgte utløpspunkt, de røde linjene er tunneltraseen med to tunnellop og den blå stiplede linjen er lineamenter som krysser traseen. De grå-blå bekkene er strømningsretning gitt ut fra analyse 3.1 til 3.3 basert på terrenngmodellen.

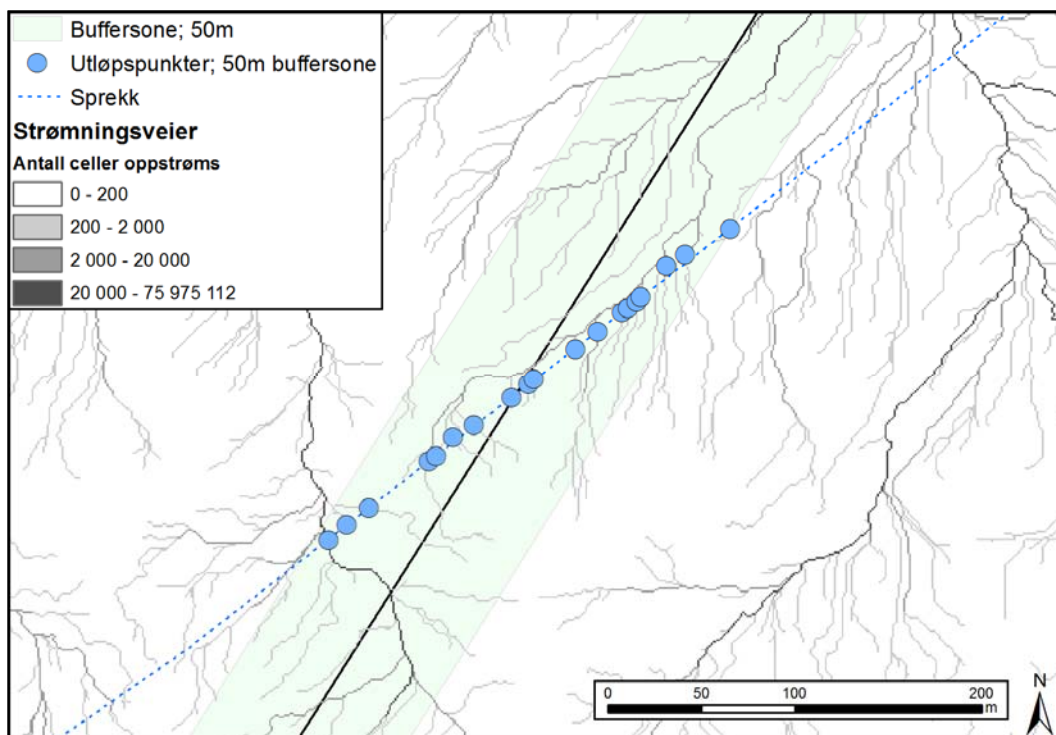


Figur 5: Eksempel for plassering av innlekkasjepunkter ved krysning av et lineament med tunneltraseen. Røde linjer er tunneltraseen i to tunnellop, blå stiplet linje er lineamentet og blå-grå linjer er strømningsveier for overflatevann fra analysen i kapittel 3.

Figur 5 viser et eksempel på hvordan potensielle innlekkasjepunkter ved et lineament som krysser tunneltraseen ble plassert. Punktene må alltid bli plassert på strømningsveier. Som det kommer frem på kartet er det nødvendig å sette flere innlekkasjepunkter for å dekke hele krysningssonen mellom tunnel og lineamentet. Resultatet for denne analysen blir dermed egentlig flere nedbørsfelt langs krysningssonen, som til slutt vil bli slått sammen.

4.2 Scenario 2 – 50 meter buffersone på hver side av tunneltraseen

Tunneltraseen ligger ikke i overflaten, og enkelte steder flere hundre meter under terrengnivå. For å ta hensyn til at vann lengre bort fra krysningsspunktet i terrenget har potensial til å lekke ned i tunnelen ble analysen gjennomført med en buffersone på 50 m på hver side langs tunneltraseen.

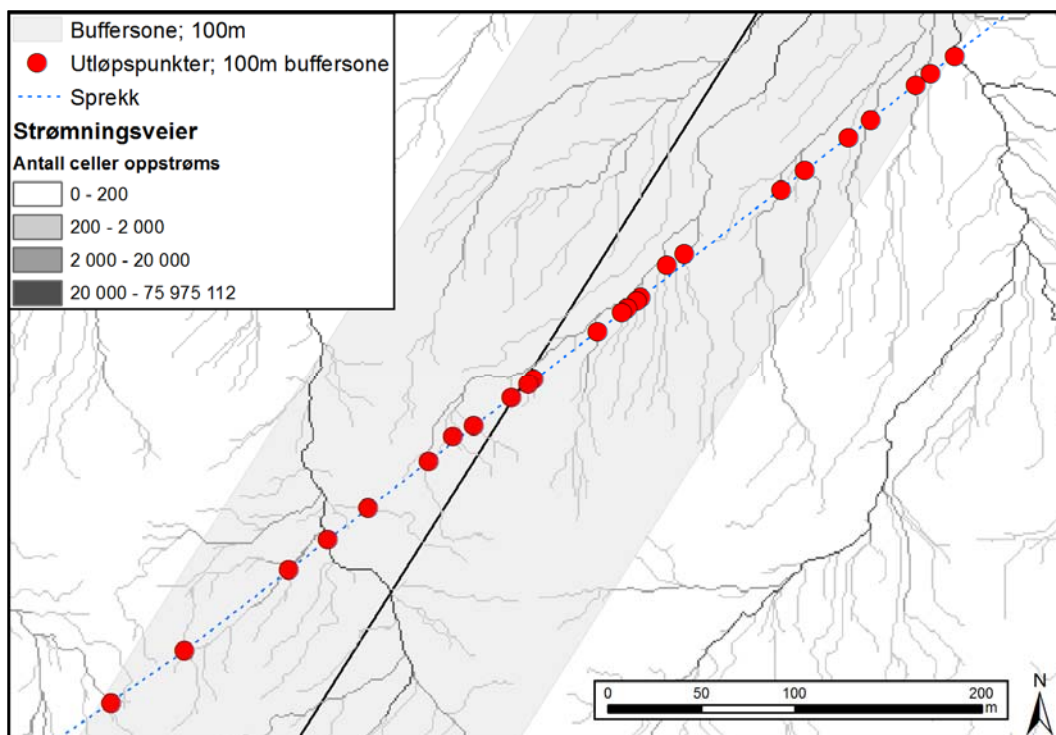


Figur 6: Eksempel for plassering av innlekkasjepunkter ved krysning av et lineament med tunneltraseen. Tunneltraseen er her vist med svart linje. Buffersonen rundt traseen har en bredde på 50 m på begge sider og vist med blå-grønn farge på sonen.

På kartet i Figur 6 vises et eksempel på hvordan potensielle innlekkasjepunkter ved lineamentet ble plassert, tilsvarende som i scenario 1. På grunn av buffersonen blir krysningssonen mellom tunnel og lineament lengre og gir flere tilstrømningspunkter i modellen sammenliknet med modellen i scenario 1.

4.3 Scenario 3 – 100 meter buffersone på hver side av tunneltraseen

Overdekke over tunnelen varierer mye langs tunneltraseen. For enkelte deler av tunnelstrekningen vil en buffersone på 50 m være for liten. Analysen ble derfor også gjennomført med en buffersone på 100 m, som vist i Figur 7. Når buffersonen blir utvidet blir også sonen der lineamentet krysser tunneltraseen lengre, med flere utløpspunkt for innlekkasje.

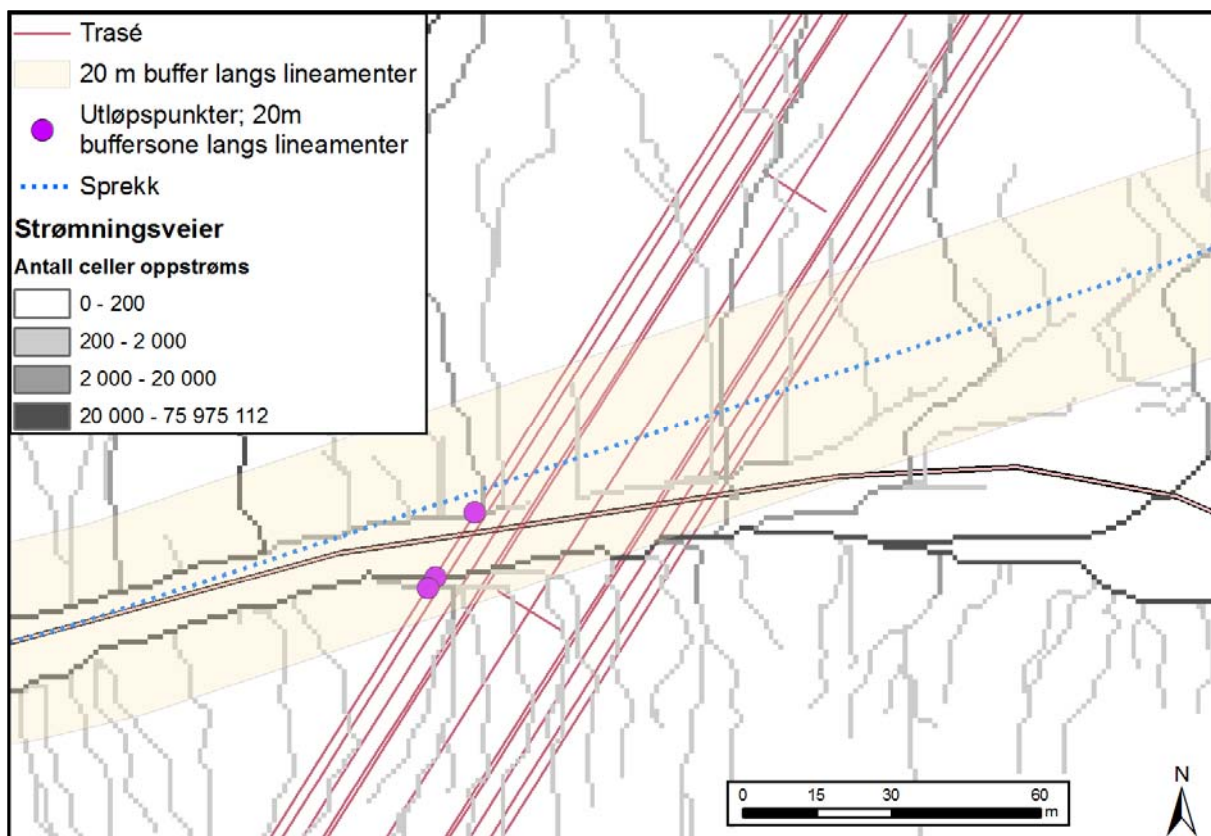


Figur 7: Eksempel for plassering av innlekkasjepunkter ved krysning av en sprekk med tunneltraseen med buffersonen på 100 m på begge sider.

Det er fullt mulig å gjennomføre analysen med en buffersoner som varierer dynamisk med tykkelsen på overdekningen. Det finnes imidlertid ikke noe faglig grunnlag for å bestemme beregningsfaktor til en slik variasjon, og det ble derfor unnlatt å gjøre det i denne studien.

4.4 Scenario 4 - 20 meter buffersoner på hver side av lineamentet

Lineamentene vist i kartgrunnlaget er avledet fra berggrunnskart målestokk 1:250 000 og 1:50 000, samt tolket fra Lidardata med målestokk 1:50 000. Lineamentene har dermed noe større unøyaktighet knyttet til plasseringen i forhold til målestokk som brukes i nedbørsfeltanalysen (mellom 1:1000 og 1:500). Dette kan gi store utslag i beregninger av nedbørsfelt.



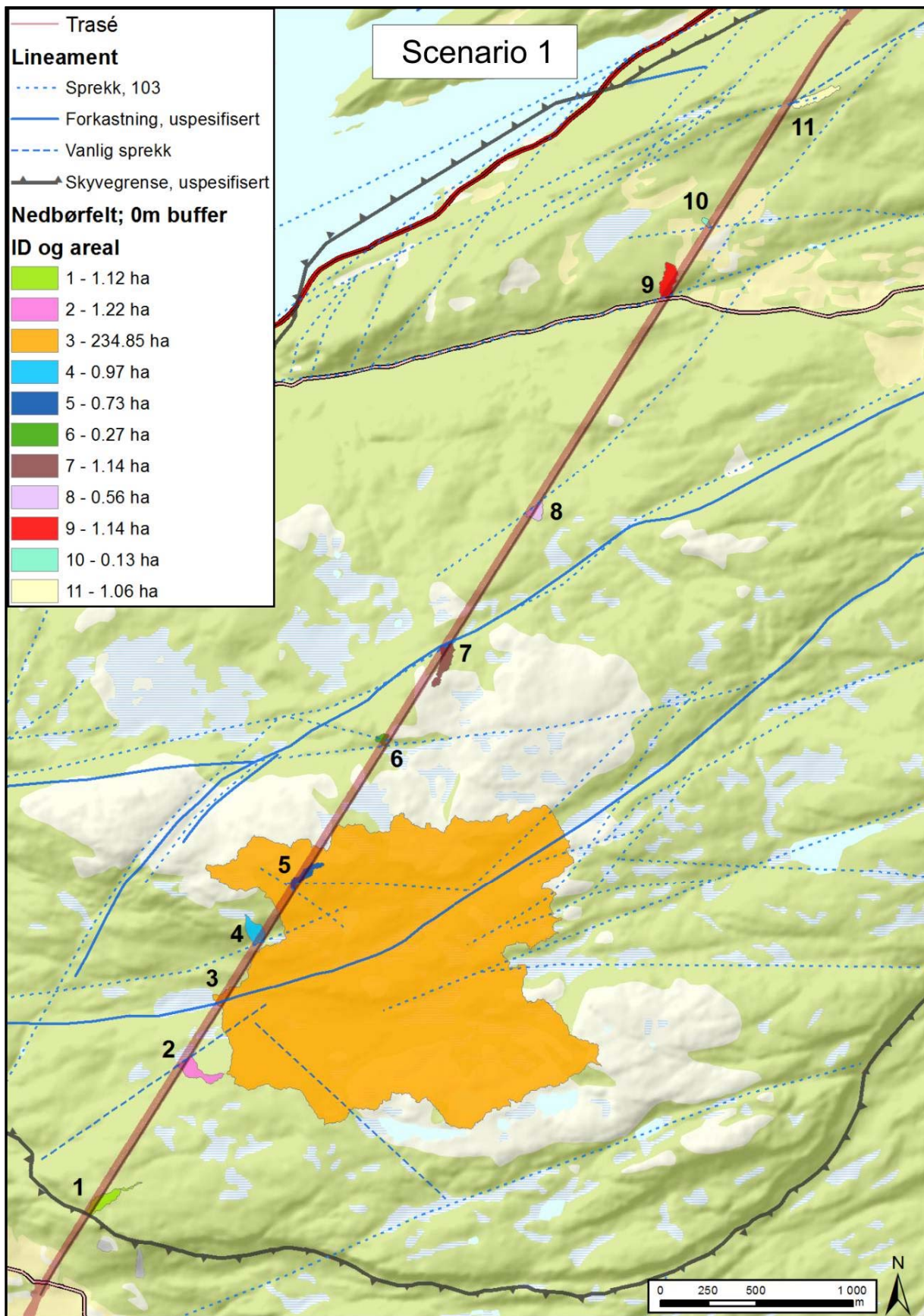
Figur 8: Eksempel for plassering av innlekkasjepunkter ved krysning av en sprekk med tunneltraséen. Buffersonen langs lineamentene har en bredde på 20 m på begge sider. Utsnittet på kartet viser krysningen mellom tunnel og lineament i Langsteindalen.

Et eksempel på dette er lineamentet som utgjør Langsteindalen. Dette lineamentet er stedvis tegnet inn slik at det ligger i dalsidene og ikke nede i dalbunnen, for eksempel der hvor tunneltraséen krysser Langsteindalen, som vist i Figur 8. For å kompensere for unøyaktigheter i plassering av lineamentet er det utført nedbørsfeltberegninger med 20 meter buffersone på begge sider av lineamentet. I beregningene i scenario 4 er det ikke benyttet buffersone langs tunneltraséen.

5. Resultater

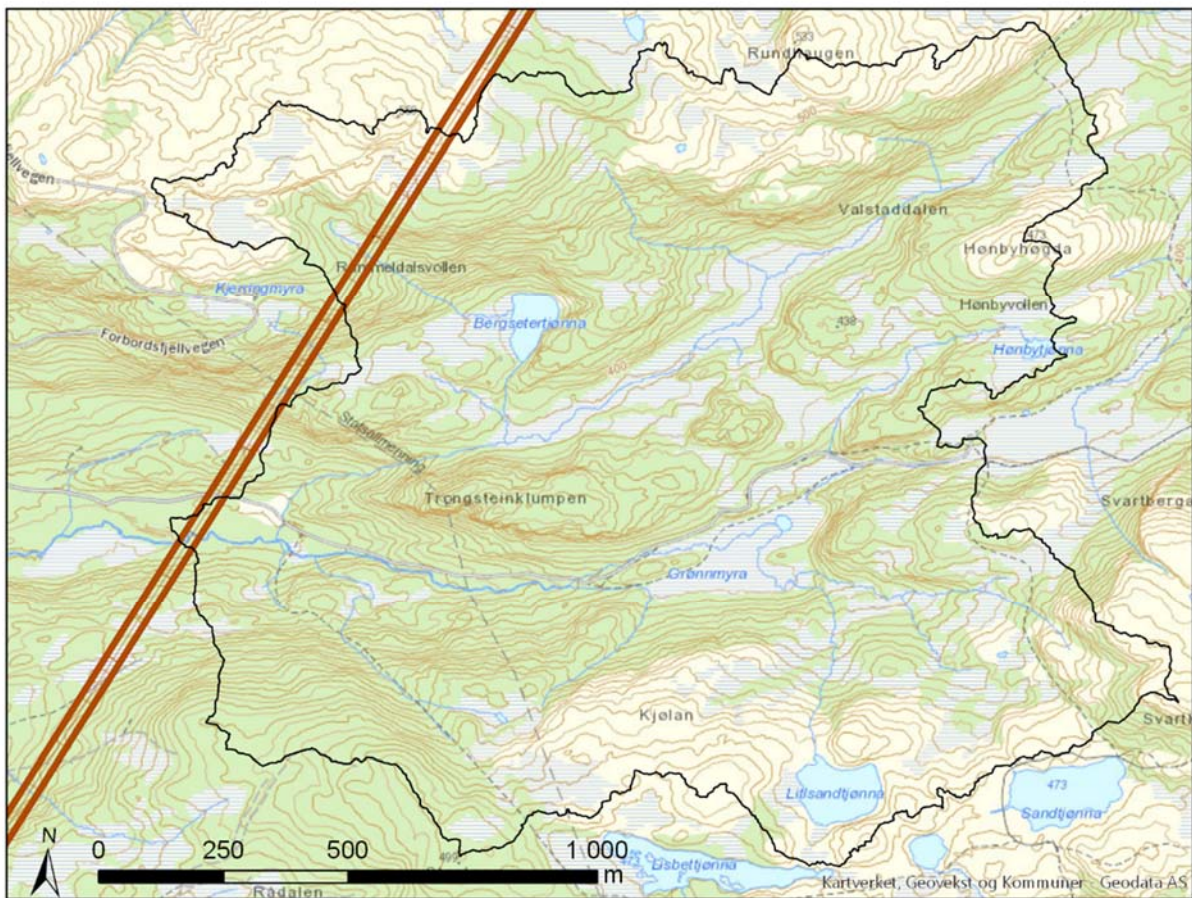
5.1 Scenario 1

Figur 9 viser resultatene for nedbørsfeltanalysen med scenario 1. De fleste nedbørsfelt til potensielle innlekkasjesoner har et areal på cirka en hektar og er dermed veldig små. Nedbørsfelt 3, som har avrenning til et lineament i den sørlige delen av området er betydelig større enn alle andre (>200 hektar). Ved skjæringspunktet mellom lineamentet og tunnelen er det over 250 m overdekke til tunnelen (se Vedlegg 1). Selv om lineamentet er vannførende i toppen, vil den sannsynligvis være tettere mot dypet siden sprekkene er lukket på grunn av økt bergtrykk fra overliggende fjell. Sannsynligheten for større innlekkasjer er dermed i utgangspunktet ikke så stor. Hvis lineamentet har egenskaper som gjør den vannførende er nedbørsfeltet såpass stort at innlekkasjepotensialet er stort (Figur 9). De andre nedbørsfeltene er små (± 1 hektar). Det betyr at en potensiell lekkasje til tunnelen innebærer forholdsvis små vannvolum. Ved nedbørsfelt 9, 10 og 11 er det lite overdekke til tunnelen (se Vedlegg 1). Nær overflate kan fjellet være mer oppsprukket og ha åpne sprekker på grunn av lite overdekning; noe som øker sannsynligheten for innlekkasje til tunnel, selv om nedbørsfeltene er små (Figur 9).



Figur 9. Kart som viser nedbørfelt til potensielle innlekkasjepunkter i scenario 1 = ingen buffersone. Inntegnede lineamenter (basert på DTM 10 m), representerer potensielle svakhetssoner, tolket som sprekker eller sprø forkastninger. I kartet har sprekker fått forskjellig farge og inndeling ette kartleggingsgrunnlaget. Forskjellen har liten betydning for dette arbeidet.

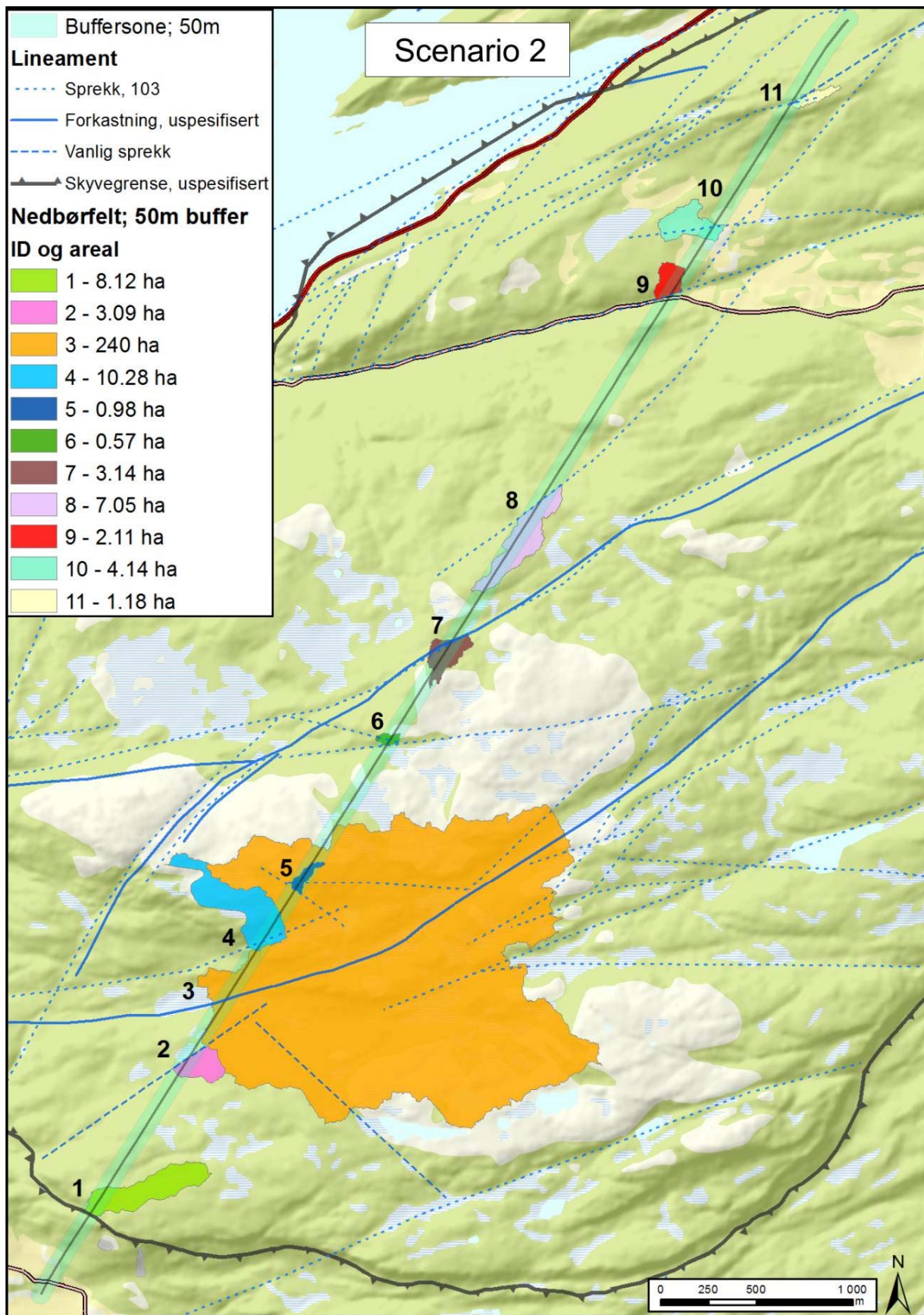
Figur 10 viser resultatet av det største nedbørsfeltet for scenario 1. Området som potensielt dreneres mot sprekkene i tunnelområdet er stort slik at lekkasjepotensialet blir stort. anslagsvis > 200 hektar. Nedbørsfelt 3 er betydelig større enn alle andre og det tilhørende lineamentet har følgelig et volummessig stort lekkasjepotensial til tunnelen. Nedbørsfelt 3 som vist i Figur 10 inkluderer flere små vann som Bergsetertjønna, Litlsandtjønna, Hønbytjønna og flere myrområder, deriblant Grønnmyra. Ved lekkasje i tunnel er det naturområder og naturtyper som er sårbare for grunnvandsdrenering i fjell som er i risiko for skade. Dette er spesielt våte naturtyper som myr, sumpskog, tjern, vann og vassdrag. Jo mindre vanntilførsel (nedbørsfelt) et område har, jo mindre lekkasje skal til for at man får en økologisk effekt av lekkasjen. Dette gjelder spesielt for områder nedstrøms for lekkasjepunktet (tunnelen).



Figur 10. Kart som viser nedbørsfelt 3 fra scenario 1.

5.2 Scenario 2 – 50 meter buffersone på hver side av tunneltraseen

Figur 11 viser resultatene for nedbørsfeltanalysen med scenario 2, som inkluderte en buffersone på 50 m på begge sider av tunneltraseen. Nedbørsfelt 3 er fortsatt veldig stor, men endrer seg ikke mye i størrelsen sammenlignet med scenario 1. Nedbørsfelt 4 er cirka 10 ganger større enn i scenario 1. Overdekket ved skjæringssonen mellom tunneltrase og lineament er over 350 m, derfor er sannsynligheten for innlekkasje forholdsvis liten. Nedbørsfelt 10: cirka 4 ganger større enn i scenario 1, hvor overdekket kun er cirka 60 m. En oppsummering av resultatene er gitt i Tabell 1.



Figur 11. Kart som viser nedbørfelt til potensielle innlekkasjepunkter i scenario 2 = 50 m buffersone. Inntegnede lineamenter (basert på DTM 10 m), representerer potensielle svakhetssoner, tolket som sprekker eller sprø forkastninger. I kartet har sprekker fått forskjellig farge og inndeling ette kartleggingsgrunnlaget. Forskjellen har liten betydning for dette arbeidet.

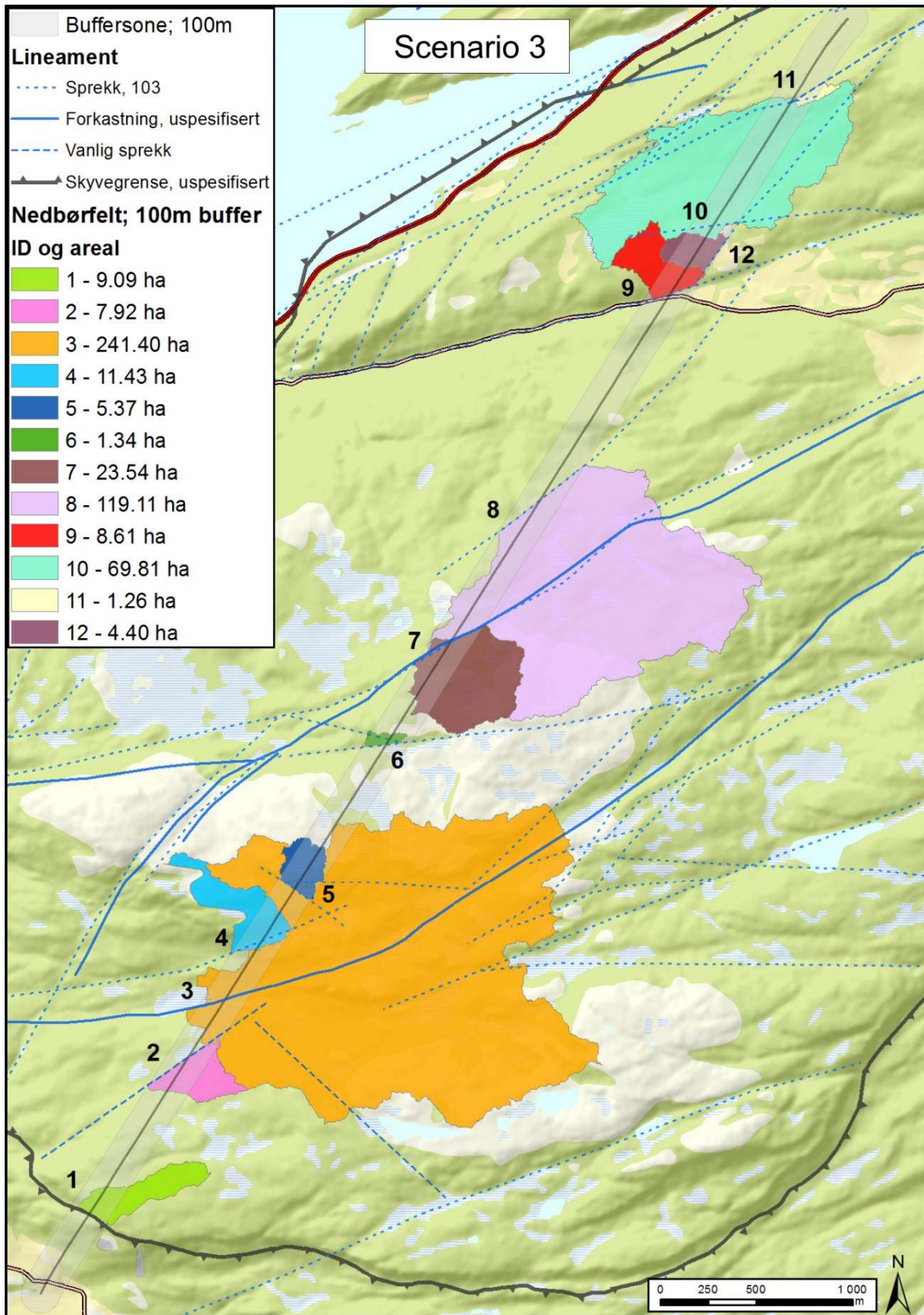
5.3 Scenario 3 – 100 meter buffersone på hver side av tunneltraseen

Figur 12 viser resultatene for nedbørsfeltanalysen med scenario 3, som inkluderte en buffersone på 100 m på begge sider av traseen. Nedbørsfelt 3 er fortsatt veldig stor, men endrer seg ikke mye i størrelsen sammenlignet med scenario 1. Derimot er nedbørsfelt 7, 8 og 10 blitt betydelig større enn i scenario 1 og 2. Se også Tabell 1, som angir omtrentlig areal av nedbørsfelt til potensielle lekkasjepunkt for alle scenarioene.

Ved nedbørsfelt 7 og 8 har tunnelen et overdekke av henholdsvis ~350 m og ~250 m. På grunn av stort overdekke er potensialet for innlekkasje liten, men dersom lineamentet er vannførende hele veien ned, så er innlekkingspotensialet stort.

Ved nedbørsfelt 10 derimot er det kun 60 m overdekke, og sannsynligheten for innlekkasje er stor. Dette nedbørsfeltet kan drenere Bjørnbekken og myrområdene oppstrøms (Figur 12). Det er derfor et stort skadepotensial, men med 250 m overdekning er sannsynligheten for innlekkasje liten.

På grunn av buffersonen på 100 m berøres ytterlig et lineament, som ikke var relevant i scenario 1 og 2. Derfor blir det et ekstra nedbørsfelt (nr 12, Figur 12). Lineamentet går tilnærmet parallell med tunneltraseen og fallretningen er trolig slik at inntrengende vann ledes bort fra tunneltraseen. Dette må eventuelt undersøkes i felt.



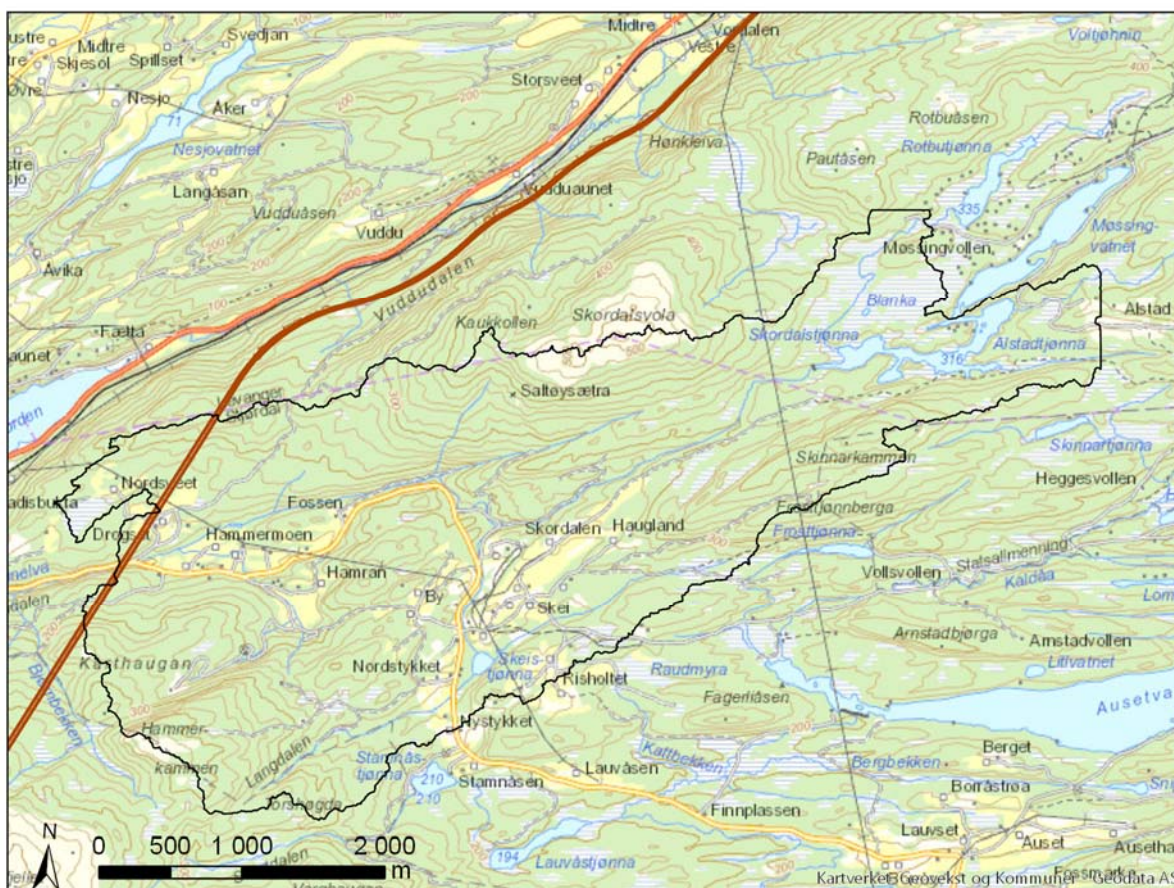
Figur 12. Kart som viser nedbørfelt til potensielle innlekkasjepunkter i scenario 3 = 100 m buffersone. Inntegnede lineamenter (basert på DTM 10 m), representerer potensielle svakhetssoner, tolket som sprekker eller sprø forkastninger. I kartet har sprekker fått forskjellig farge og inndeling ette kartleggingsgrunnlaget. Forskjellen har liten betydning for dette arbeidet.

5.4 Scenario 4 - 20 meter buffersone på hver side av lineamentet

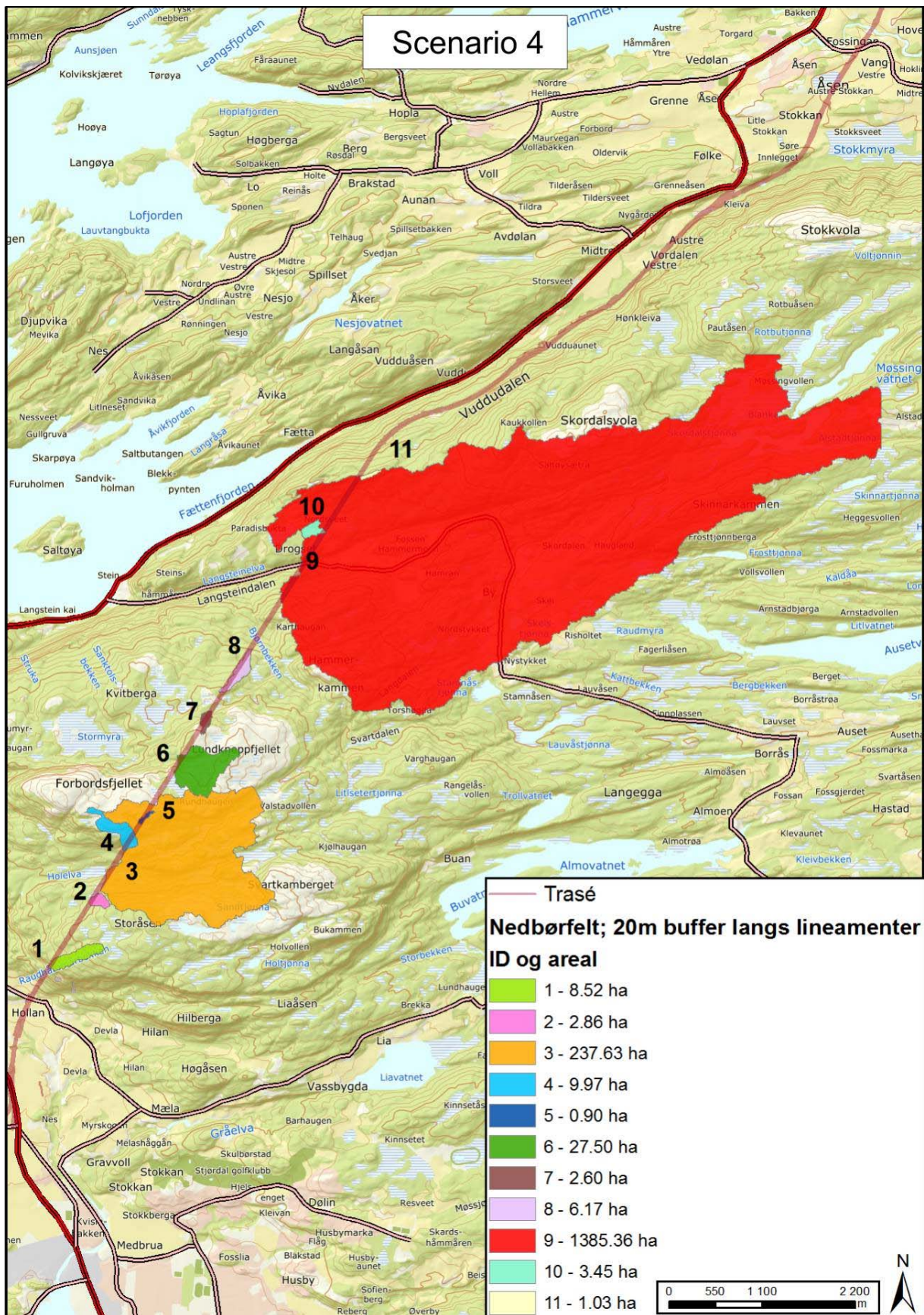
Figur 13 og Figur 14 viser resultatene for nedbørsfeltanalysen med scenario 4, som inkluderte en buffersone på 20 m på begge sider av lineamentene. Nedbørsfelt 9, som drenerer til krysspunktet av tunneltraseen med Langsteindalen, blir veldig stort i dette scenarioet (Figur 13). Arealet øker fra 1.1 hektar i scenario 1 til over 1300 hektar. I nordøst når nedbørsfelt grensen til den tilgjengelige terrengmodellen og nedbørsfeltet er følgelig enda større enn det som er tegnet inn på kartet (Figur 13 og Figur 14) og som angitt i Tabell 1. Overdekket ved krysningspunktene mellom lineamentet og tunneltraseen er kun mellom 20 og 30 m i Langsteindalen. Sannsynligheten for innlekkasje er dermed stor gitt det store nedbørsfeltet.

Resultatene er basert på antakelsen at lineamentene ikke er nøyaktig plassert på kartgrunnlaget. 2D-resistivitetsprofilen som krysser Langsteindalen (Larsen mfl. *in prep*) viser en svakhetszone i dalbunnen, vist i Figur 14, noe som støtter antakelsen for scenario 4.

Nedbørsfelt 3 er fortsatt veldig stor, men endrer seg ikke mye i størrelsen sammenlignet med scenario 1. Nedbørsfelt 6 blir betydelig større enn i scenario 1-3, men ved krysningspunktet mellom lineamentet og tunneltraseen er overdekket på 400 m over tunnelen og sannsynligheten for innlekkasje er derfor liten (Figur 14).



Figur 13. Kart som viser nedbørsfelt 9 fra scenario 4, vist som svart omriss.



Figur 14. Kart som viser nedbørsfelt til potensielle innlekkasjepunkter i scenario 4 = 20 m buffersone langs lineamenter. Inntegnede lineamenter (basert på DTM 10 m), representerer potensielle svakhetssoner, tolket som sprekker eller sprø forkastninger

I tabellen 1 er størrelsen på de nedbørsfeltene fra de fire forskjellige scenarioene summert. Det er området ved Forbordfjellet der lineamentet krysser tunneltraseen, nedbørsfelt 3, samt området i Landsteindalen hvor lineamentet krysser tunneltraseen, nedbørsfelt 9, som har det største potensialet for innlekkasje, spesielt når buffer rundt lineamentet er tatt med i analysen (scenario 4).

Tabell 1: Omtrentlig størrelse av nedbørsfelt til potensielle svakhetssoner for fire forskjellige scenarioer.

Nedbørsfelt	Areal [hektar]			
	Scenario 1 Uten buffersone	Scenario 2 50 m buffer langs tunneltrase	Scenario 3 100 m buffer langs tunneltrase	Scenario 4 20 m buffer langs lineamenter
1	1.1	8.1	9.1	8.5
2	1.2	3.1	7.9	2.9
3	234.9	240	241.4	237.6
4	1	10.3	11.4	10
5	0.8	1	5.4	0.9
6	0.3	0.6	1.3	27.5
7	1.1	3.1	23.5	2.6
8	0.6	7.1	119.1	6.2
9	1.1	2.1	8.6	1385.4
10	0.1	4.1	69.8	3.5
11	1.1	1.2	1.3	1
12	-	-	4.4	-

6. Konklusjon og forslag til videre undersøkelser

Denne analysen er en skrivebordstudie basert på eksisterende data (2018) hvor strømningsmønster av overflatevann i terrenget er sett i sammenheng med lineamenter som krysser tunneltraseen for nye E6 gjennom Forbordfjellet. Datagrunnlaget er en sammenstilling av Pettersen & Svendby (2019) av eldre berggrunnskart i målestokk 1:250 000 (Wolff mfl., 1989 og Roberts, 1985), samt regional tolkning av lineamenter fra digital terrengmodell i målestokk 1:50 000 (Pettersen, Redfield & Svendby, 2018).

Fire forskjellige scenarioer er gitt for analysen, der potensialet for innlekkasje hvor lineamenter krysser tunneltraseen er beregnet ut ifra nedbørsfeltet. Scenario 1 er det enkleste, hvor det ikke er lagt inn noen buffersoner rundt tunneltraseen. Her er det lineamentet ved Forbordfjellet som får størst potensialet for innlekkasje, nedbørsfelt 3 (Figur 9). I scenario 2 er det gitt en buffersone på 50 meter på hver side av tunneltraseen for å fange opp flere lineamenter som potensielt kan berøre tunneltraseen (Figur 11). Dette gir tilsvarende resultat som 1, men nedbørsfeltene øker i areal. I scenario 3 er buffersonen økt til 100 meter. I denne analysen er det flere lineamenter som blir utslagsgivende for innlekkasje for tunneltraseen (Figur 12). For scenario 4 er en 20 meter buffersone lagt til på hver side av lineamentene. Dette er gjort for å kompensere for mulig unøyaktig plassering av lineamenter på kartgrunnlaget. Dette har vist seg å ha stor effekt på beregninger av lekkasjepotensialet, der

spesielt lineamentet i Langsteindalen fremkommer med meget stort potensiale for innlekkasje, nedbørsfelt 9 (Figur 14). I tillegg er nedbørsfelt 3 ved Forbordfjellet fortsatt stort og lineamentet har følgelig stort innlekkasjepotensial.

Overdekning til tunneltraseen vil normalt påvirke potensialet for innlekkasje, der liten overdekning gir større innlekkasjepotensial (Vedlegg 1). Lineamentet som krysser tunneltraseen i Langsteindalen har liten overdekning, rundt 20-30 meter, noe som gjør at dette området bør få spesielt mye oppmerksomhet i videre planlegging av Forbordfjelltunnelen.

For å øke forståelsen for risikoen for innlekkasje til Forbordfjelltunnelen er det nødvendig med oppfølgende kartlegging i felt. Feltobservasjoner kan angi fallretning på lineamentene, grad av oppsprekking, og om sprekke er åpne og kan føre vann. Dette gjelder spesielt lineamentet som er tilknyttet nedbørsfelt 3 og nedbørsfelt 9, 10, 11, som har stort nedbørsfelt og dermed stort lekkasjepotensial.

7. Referanser

David Roberts, 1985. FROSTA, Berggrunnskart 1622-2. M 1:50.000, foreløpig utgave. Norges geologiske undersøkelse (NGU).

Berggrunnskart M 1:250.000 (1989) Trondheim. 3. opplag med rettinger. Kartlagt og redigert av F.Ch. Wolff (1955-1975) med bidrag fra H. Carstens, J. Chaloupsky, K. Domečka, A. Dudek, F. Fediuk, M. Fišera, G. Grammeltvedt, E.S. Hansen, S.O. Johnsen, K.Kisch, S. Kollung, L.H. Kristensen, Chr. Oftedahl, N.Ø. Olesen, J. Springer-Peacey, Z. Pelc, H. Ramberg, D. Roberts, A. Siedlecka, S. Siedlecki, M. Suk, T. Torske, E. Tveten, J. Zikmund, & J. Zoubek. Norges geologiske undersøkelse (NGU).

FKB data Kartverket (November 2018)

LidarData Kartverket (November 2018)

Larsen m. fl. 2019. Kartlegging av svakhetssoner langs nye E6 med 2D resistivitet. NGU rapport. Ikke ferdigstilt.

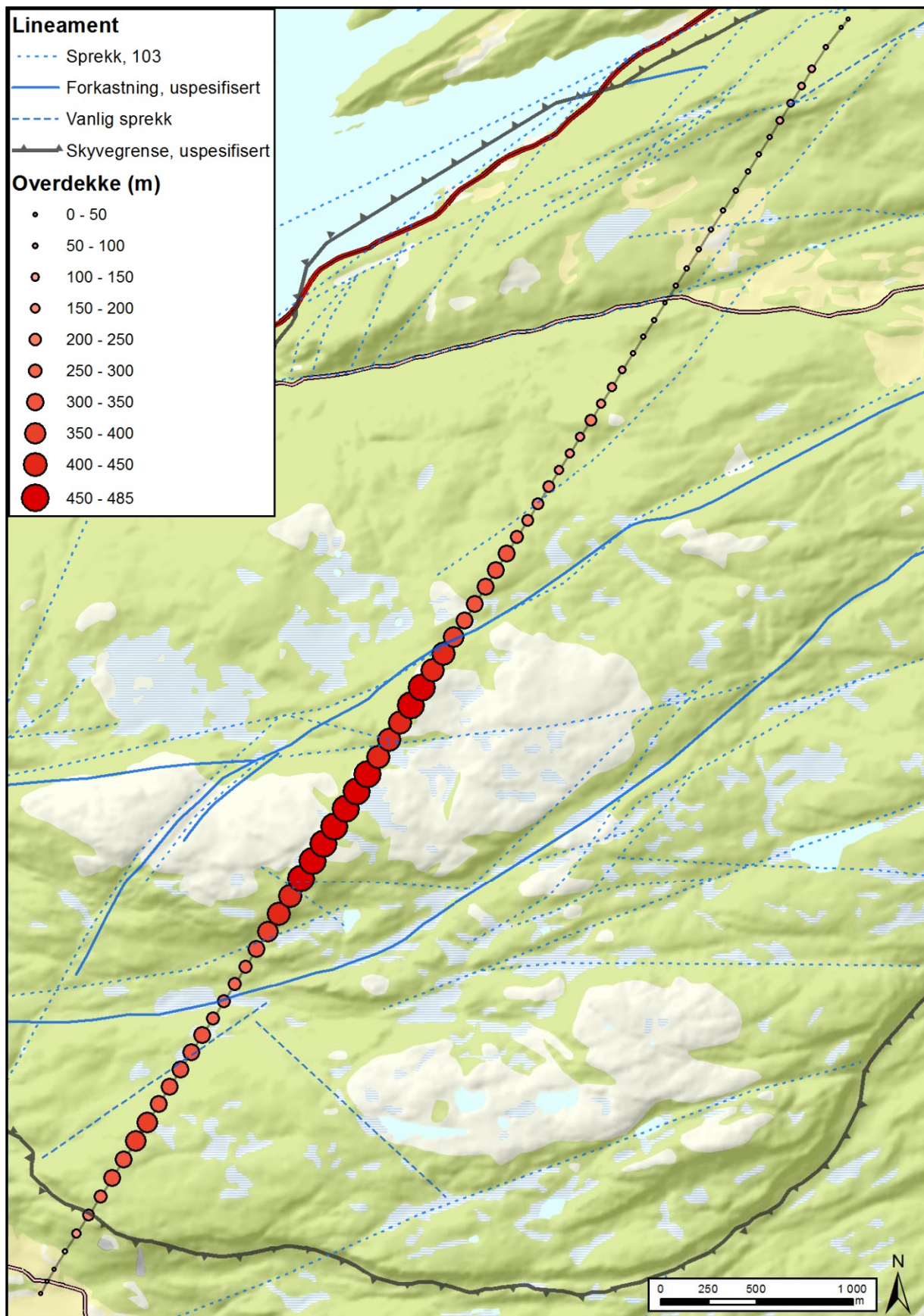
E. Pettersen, & A.K. Svendby (2019): Harmonisering av eksisterende berggrunnskart og tilhørende data.

E. Pettersen, T. Redfield & A.K. Svendby (2018): Sammenstilling av lineamentsdata samt nytolkning av lineamenter basert på digital terrengmodell (DTM 10 m)

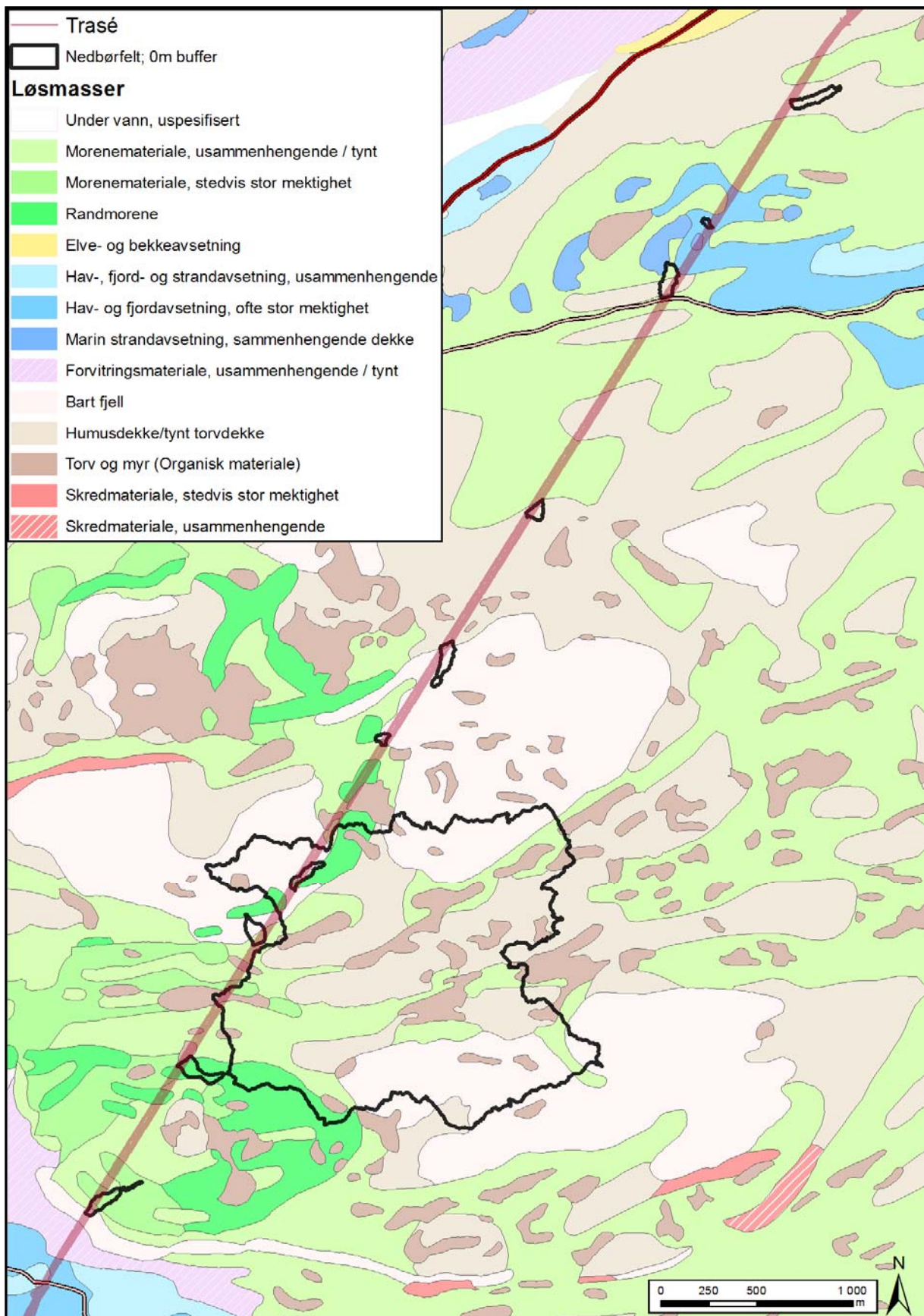
Brønndatabasen Granada: http://geo.ngu.no/kart/granada_mobil/

Løsmassekart: http://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/

8. Vedlegg



Vedlegg 1: Kart som viser dybde (angitt i m) fra terrengoverflaten ned til tunnelen.



Vedlegg 2: Løsmassekart kombinert med nedbørfelt til potensielle innlekkasjepunkter for Scenario 1. Rød strek er tunneltraséen til Forbordsfjelltunnelen.



NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE
· NGU ·

Norges geologiske undersøkelse
Postboks 6315, Sluppen
7491 Trondheim, Norge

Besøksadresse
Leiv Eirikssons vei 39
7040 Trondheim

Telefon 73 90 40 00
E-post ngu@ngu.no
Nettside www.ngu.no