

RAPPORT



DOKUMENTNUMMER 2024021-02-01
DATO 2024-04-08

Skredfareutredning for planlagte Gravdalen kraftverk og anleggsområde, Lærdal kommune



GEORISIKO AS
Ringheimsvegen 41, 5705 Voss

Forord av NVE

Plan- og bygningsloven (pbl) og Byggt teknisk forskrift (TEK 17, kap. 7.3) stiller krav til sikkerhet mot naturfare. For reguleringsplan og byggesak/-tiltak, søknadspiktig eller ikke, må det derfor dokumenteres at tilstrekkelig sikkerhet mot skredfare vil bli oppnådd i henhold til disse sikkerhetskravene.

Denne utredningen er utført av fagkyndig personell og følger NVEs veileder Sikkerhet mot skred i bratt terreng - Kartlegging av skredfare i reguleringsplan og byggesak¹, og vil dermed kunne dokumentere om sikkerhetskravene er oppfylt.

Skredtypene snø-, jord-, flom-, sørpe-, steinskred og steinsprang utredes.

¹ <https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng>

Om oppdraget

PROSJEKT	Skredfareutredning for planlagte Gravdalen kraftverk og anleggsområde, Lærdal kommune
DOKUMENTNR.	2024021-02-01
DATO	2024-04-08
OPPDRAKSGIVER	Hywer AS
KONTAKTPERSON	Svein Halveg
OPPDRAGSTAKER	GeoRisiko AS
OPPDRAGSLEDER	Steinar Hustoft
UTARBEIDET AV	Steinar Hustoft
KONTROLLERT AV	Jone Strømsvåg (Bergfast AS)

Skredfareutredning for:

☒ Arealbruksplan Gravdalen kraftverk (Vedlegg 6.6).

Følgende tiltak og sikkerhetsklasse(r) er planlagt på eiendommen/planområdet:

I forbindelse med byggingen av Gravdalen kraftverk planlegges det permanente og midlertidige byggetiltak. Permanente tiltak (driftsfasen) omfatter påhugg og portalbygg for Gravdalen kraftverk, samt et deponi for masser fra tunneldrift. Midlertidige tiltak og midlertidig arealbruk (byggefase) omfatter deponering av masser i massedeponiet, samt oppføring og bruk av forlegnings- og arbeidsbrakker for inntil 20 personer. Anleggsdriften er planlagt helårlig over en 2-3 årsperiode, med oppstart våren 2024.

Forlegnings- og arbeidsbrakker (heretter brakkerigg) skal tilfredsstille krav til sikkerhet mot skred i sikkerhetsklasse S2. Dette sikkerhetskravet gjelder i byggefase, så lenge brakkene er oppført.

Massedeponi skal i henhold til uttalelse fra NVE i epost, datert 2024-03-04, «typisk ligge i sikkerhetsklasse S1». Dette kravet til sikkerhet mot skred gjelder hele driftsfasen, men også i byggefase ettersom det ventelig vil foregå utstrakt personopphold. Skred mot deponerte masser har som utgangspunkt lav konsekvens, men massenes stabilitet skal vurderes ved eventuell skredhendelse.

Oppsummert: Det planlegges for flere ulike byggetiltak i bygge- og driftsfase ved planlagte Gravdalen kraftverk. Tiltakene skal tilfredsstille krav til sikkerhet mot skred i sikkerhetsklasse S2 og S1, som tilsvarer at årlig nominell sannsynlighet for skred skal være mindre enn henholdsvis 1/1000 og 1/100 (DiBK 2019).

Befaring gjennomført, eventuelt hvorfor ikke:

Ja.

Befaring gjennomført av og når:

Følgende befaringer i området er utført:

- 2024-02-26 er det utført helikopterbefaring av anleggsvei og Gravdalen kraftverk. Det var middels siktforhold i området ved Gravdalen kraftverk. På befaringen var Steinar Hustoft (GeoRisiko AS), Stein Vidar Nemeth (kjentmann, Østfold Energi AS) og Odd Inge Brugrand (entreprenør vei og brøyting, Oscar Brugrand AS).
- 2024-03-05 er det utført forebyggende snøskredkontroll for anleggsvei, dvs. nedsprenget av snøskred i de nordvendte løseområdene av Skruven. På tilkomst til Skruven (med snøscooter via Gravdalen) ble det observert ferske og store snøskred innenfor påvirkningsområdet for skred og derav relevant for denne vurderingen.
- 2024-03-24 ble det utført befaring spesifikt for foreliggende skredfareutredning. Det var gode siktforhold. Befaringen ble utført av Steinar Hustoft og Yngve Landro (GeoRisiko AS).

Sammendrag

Oppdragsgiver planlegger oppføring av kraftverk i Gravdalen som ligger i høyfjellet, i Lærdal kommune. Det er planlagt tiltak som skal tilfredsstille krav til sikkerhet mot skred både i byggefasen og i driftsfasen.

Et deponi for tunellmasser skal i driftsfasen tilfredsstille krav til sikkerhet mot skred i sikkerhetsklasse S1 (1/100). Portalbygget for kraftstasjonen skal i driftsfasen tilfredsstille krav til skred i sikkerhetsklasse S2 (1/1000). Forlegnings- og arbeidsbrakker som skal oppføres i byggefasen (for inntil 20 personer) skal tilfredsstille krav til skred i sikkerhetsklasse S2 (1/1000).

GeoRisiko AS er engasjert for å utrede skredfaren i bratt terreng i henhold til gjeldende sikkerhetskrav og retningslinjer. GeoRisiko AS var på befaring i området 2024-02-26 (helikopter) og 2024-03-24 (bakke).

Kartleggingsområdet (arealbruksplanen) er over 700 m langt, og terrenget er slik at påvirkningsområdet for potensielle skredprosesser er svært stort.

Vi vurderer at steinsprang, snøskred og sørpeskred er aktuelle og reelle skredtyper som alle kan danne skred inn i kartleggingsområdet innenfor dimensjonerende gjentakintervaller.

Massedepoiet kan påvirkes av steinsprang og snøskred med årlig nominell sannsynlighet større enn 1/100, men vi vurderer at disse skredtypene ikke kan medføre betydelig skade på deponerte masser i driftsfasen.

Portalbygget kan påvirkes av dimensjonerende sørpeskred med årlig nominell sannsynlighet for skred større enn 1/1000, og for deler av portalbygget også større enn 1/100.

Brakkeriggområdet kan påvirkes av dimensjonerende skredvind fra snøskred med årlig nominell sannsynlighet større enn 1/1000, men mindre enn 1/100.

Det er dermed tegnet faresoner for skred $>1/100$ og $>1/1000$ for en betydelig del av kartleggingsområdet. Vi har foreslått mulig tiltak som kan redusere faresonene for skred. Tiltakene omhandler at det etableres en voll som sikrer brakkeriggen mot skredvind, eller at det etableres stedsspesifikk snøskredvarsling med rutiner for evakuering og/eller forebyggende snøskredkontroll.

Det planlagte portalbygget mener vi kan dimensjoneres og utformes på en måte som gjør at det kan motstå skade fra dimensjonerende sørpeskred.

Innhold

Forord av NVE.....	2
Om oppdraget	3
Sammendrag	5
1 Innledning.....	8
1.1 Bakgrunn	8
1.2 Mål	9
2 Områdebeskrivelse.....	10
2.1 Geografi.....	10
3 Grunnlagsmateriale	12
3.1 Befaring.....	12
3.2 NVEs aktsomhetskart for skred.....	13
3.3 Digital terrengmodell (DTM)	16
3.4 Topografi og drenering	16
3.5 Skog- og vegetasjonsforhold	17
3.6 Berggrunn.....	19
3.7 Løsmasser.....	21
3.8 Historiske skredhendelser.....	22
3.9 Eksisterende sikringstiltak.....	23
3.10 Klimatologiske data.....	23
3.11 Andre datakilder	25
4 Skredfarevurdering per skredtype	26
4.1 Steinsprang	26
4.2 Steinskred	33
4.3 Snøskred.....	33
4.4 Jordskred.....	42
4.5 Flomskred.....	45
4.6 Sørpeskred	45
4.7 Hva er den samlede skredfaren?	51
4.8 Mulige sikringstiltak	53
4.9 Avvik fra tidligere skredfarevurderinger	54
4.10 Stedspesifikk usikkerhet	54
4.11 Forbehold	55
5 Referanser	56
6 Vedlegg.....	58

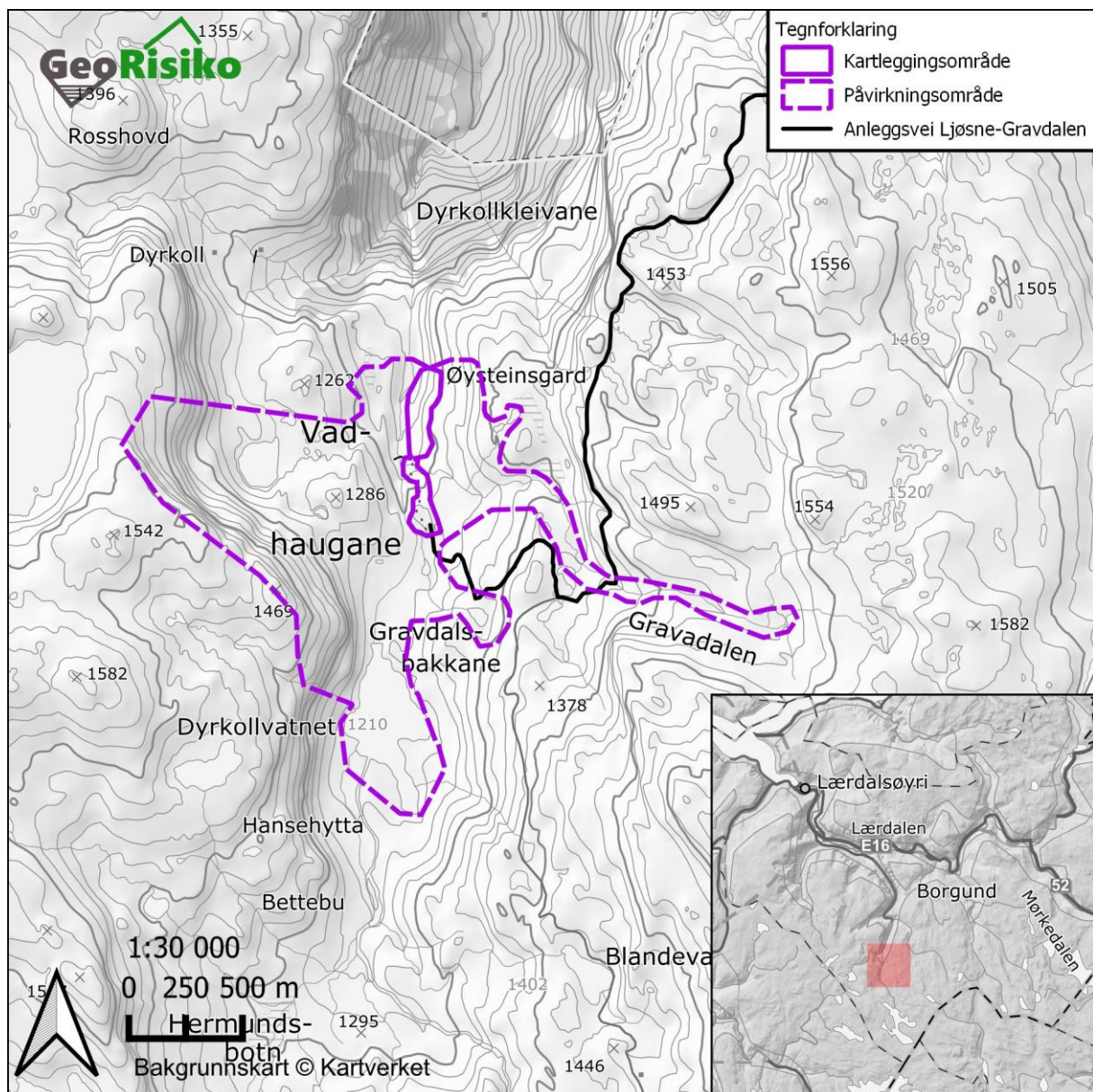
6.1	Vedlegg – Bilder	59
6.2	Vedlegg – Helningskart	66
6.3	Vedlegg – Dreneringsberegning.....	72
6.4	Vedlegg – Registreringskart	73
6.5	Vedlegg – Faresonekart	79
6.6	Vedlegg – Arealbrukskart.....	80
6.7	Vedlegg – Skjema for egenkontroll, sidekontroll og uavhengig kontroll.....	81
6.8	Vedlegg – Egenerklæringsskjema	82

1 Innledning

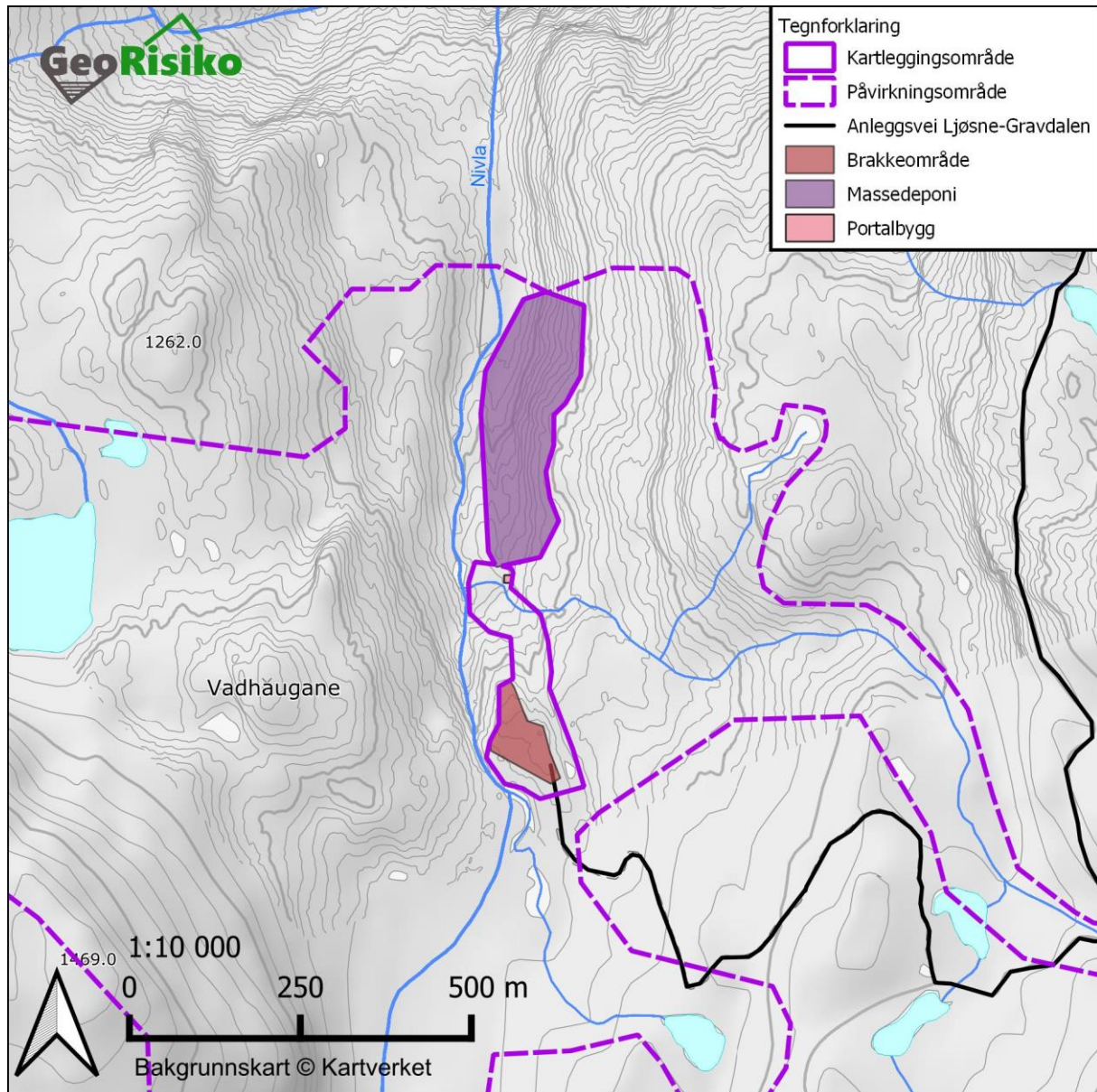
1.1 Bakgrunn

Oppdragsgiver planlegger å etablere et nytt kraftverk i Gravdalen, ca. 5 km nord og nedstrøms dam Kvevotni, i Lærdal kommune (Figur 1.1-1). I byggefasen skal det etableres midlertidige forlegnings- og arbeidsbrakker. Permanente tiltak omfatter et større deponi for tunellmasser, samt portalbygg for Gravdalen kraftverk. Brakkerigger og portalbygget skal i bygge- og driftsfasen tilfredsstille krav til sikkerhet mot skred i sikkerhetsklasse S2, som tilsvarer at årlig nominell sannsynlighet for skred skal være mindre enn 1/1000 (DiBK 2019). Massedeponiet skal tilfredsstille sikkerhetsklasse S1 i bygge- og driftsfasen, som innebærer at årlig nominell sannsynlighet for skred skal være mindre enn 1/100.

Figur 1.1-2 viser kartleggingsområdets planlagte arealbruk. Polygoner for brakkeområde, massedeponi og portalbygg er basert på shape-filer tilsendt fra Hywer AS. Arealbruksplanen er også vist i Vedlegg 6.6 – Arealbruksplan.



Figur 1.1-1: Kartutsnitt som viser kartleggingsområdet og påvirkningsområdet. Sistnevnte er definert som det området som kan danne potensielle løseområder for skred som kan nå ned mot kartleggingsområdet.



Figur 1.1-2: Kartutsnitt som viser kartleggingsområdet og deler av påvirkningsområdet i større målestokk.

1.2 Mål

GeoRisiko AS er engasjert for å utrede om planlagte tiltak tilfredsstiller gjeldende krav til sikkerhet mot skred i bratt terreng i overnevnte sikkerhetsklasser. Utredningen utføres i henhold til kravspesifikasjon og anbefalinger gitt av NVEs veileder, publisert 2020-11-12 (NVE 2020).

Kartleggings- og påvirkningsområdet ligger i høyfjellet og det er ingen skog eller annen høy vegetasjon som kan redusere løsnensannsynligheter eller utløpslengder for skred. Skredfareutredningen er dermed følgelig foretatt «uten skog».

2 Områdebeskrivelse

2.1 Geografi

Kartleggingsområdet er lokalisert like nord for Gravdalsbakkane, som ligger omtrent 5 km nord for Kvevotni, i Lærdal kommune (Figur 1.1-1, Figur 1.1-2). Kartleggingsområdet, dvs. planlagte Gravdalen kraftverk inklusive planlagt massedeponi og riggarealer, ligger i høyfjellsterreng i høydeintervallet 1130 moh. til 1225 moh. (Figur 2.1-1). Gravdalen kraftverk ligger nedstrøms dam Kvevotni, omtrent 5 km mot nord. Dam Kvevotni er en fyllingsdam som ble bygget på 1970-tallet og senere rehabilitert rundt 2018. En ca. 21 km lang anleggsvei gir tilkomst til kartleggingsområdet fra Ljøsne i nord, via Råsdalen og Øydalen og Nålekveane.

Kartleggingsområdet ligger nederst i Gravdalen, og er omgitt av kupert høyfjellsterreng der de høyeste toppene er opp mot 1400-1600 moh. (Figur 2.1-2, Figur 2.1-3 og Figur 2.1-4). Det er tilstøtende skråninger øst og vest for kartleggingsområdet, langs elva Nivla, som primært utløser behovet for skredfareutredning.



Figur 2.1-1: Tredimensjonalt ortofoto med utsyn mot sør. Nivla sees midt i bilde og drenerer mot nord. Kartleggingsområdet og påvirkningsområdet er vist omtrentlig med henholdsvis heltrukket og stiplede linje. Påvirkningsområdet omfavner en del sideterreng langs vassdrag/bekkeløp for å ta omsyn til potensielle sørpeskredløp.

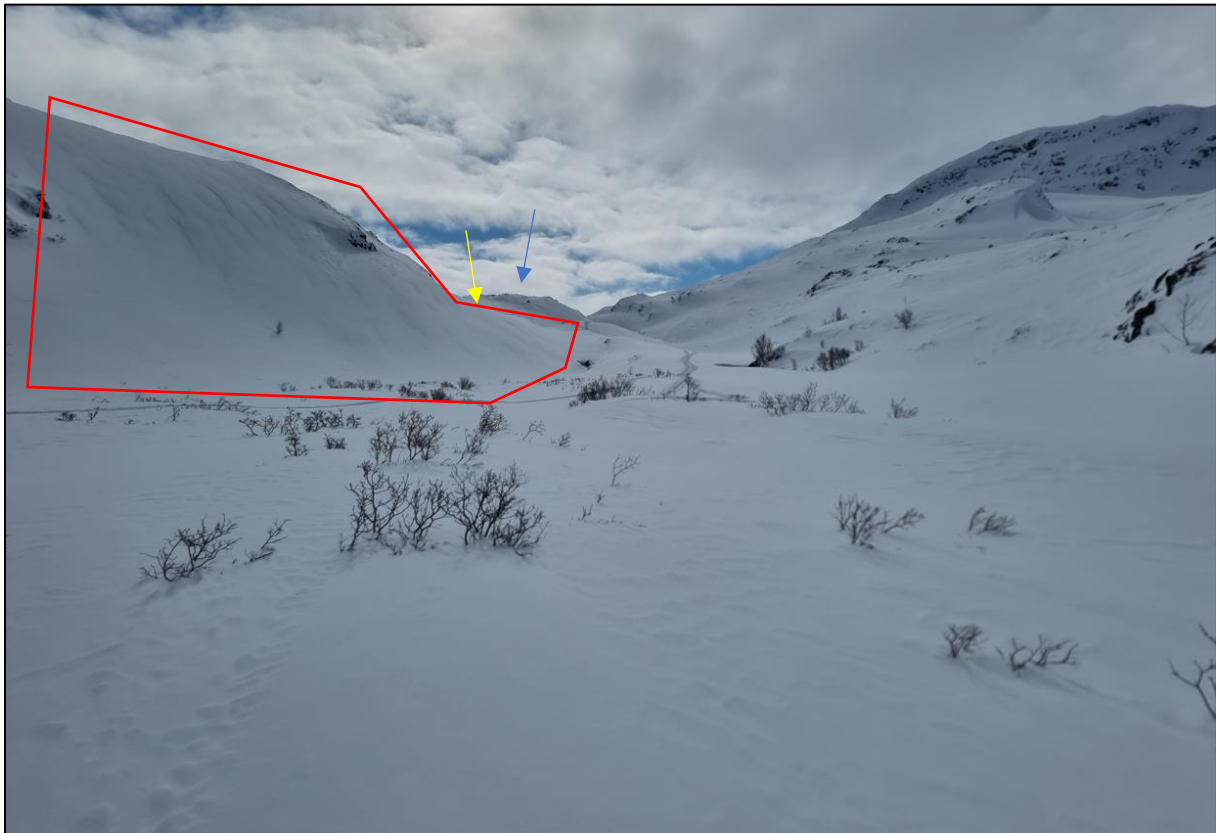


Figur 2.1-2: Bilde tatt mot nord omtrent midt i kartleggingsområdet, fra kollen som er tiltenkt brakkerigg. Eksisterende bekkeinntak i Nivla sees i bildet. Gul pil viser til omtrentlig plassering av påhugg/portalbygg for Gravdalen kraftverk. Området som er avsatt for massedeponi er vist omtrentlig med rød ellipse. Foto: Hywer AS, 2021-09-16.



Figur 2.1-3: Bilde tatt mot nord omtrent midt i kartleggingsområdet, fra kollen som er tiltenkt brakkerigg. Eksisterende bekkeinntak i Nivla sees i bildet. Gul pil viser til omtrentlig plassering av påhugg/portalbygg for Gravdalen

kraftverk. Området som er avsatt for massedeponi er vist omtrentlig med rød polygon. Foto: GeoRisiko AS, 2024-03-24.



Figur 2.1-4: Bilde tatt mot sør, fra Nivla's elveslette, like nord for kartleggingsområdet. Gul pil viser til omtrentlig plassering av påhugg/portalbygg for Gravdalen kraftverk. Området som er avsatt for massedeponi er vist omtrentlig med rød polygon. Kollen der planlagt brakkerigg er tenkt plassert er vist med blå pil. Foto: GeoRisiko AS, 2024-03-24.

3 Grunnlagsmateriale

3.1 Befaring

Befaring har til hensikt å kartlegge aktuelle skredprosesser, tidligere skredhendelser, samt terreng- og vegetasjonsforhold med betydning for skredutløsning, skredbevegelser og utløpslengder.

Befaring spesifikt for denne skredfareutredningen er utført av Steinar Hustoft og Yngve Landro, GeoRisiko AS, den 2024-03-24. Det var lettskyet og delvis sol, snødekket mark og gode sikt- og observasjonsforhold under befaringen. Tabell 3.1-1 gir en oversikt over noen av observasjonene som kan ha betydning for skredforholdene. Infopunktene og sporlogg fra befaringsruten er vist i registreringskartet i Vedlegg – Registreringskart. Det ble av tekniske årsaker ikke brukt luftbåren drone på befaringen, men dette har ingen betydning for vurderingsgrunnlaget.

Befaringsruter og viktige observasjoner i terrenget er logget med GPS, og vist som henholdsvis «sporlogg bakke» og «infopunkter» (Tabell 3.1-1). Infopunkter og kommentar er knyttet til bildearkiv. Utvalgte bilder er vist i rapporten, enten i tekst eller i vedlegg.

Tabell 3.1-1: Beskrivelse av observasjoner ved infopunktene vist i registreringskart. Beskrivelse kan være mot avfotografert objekt, og ikke nødvendigvis gjeldende for bildetagningslokasjon.

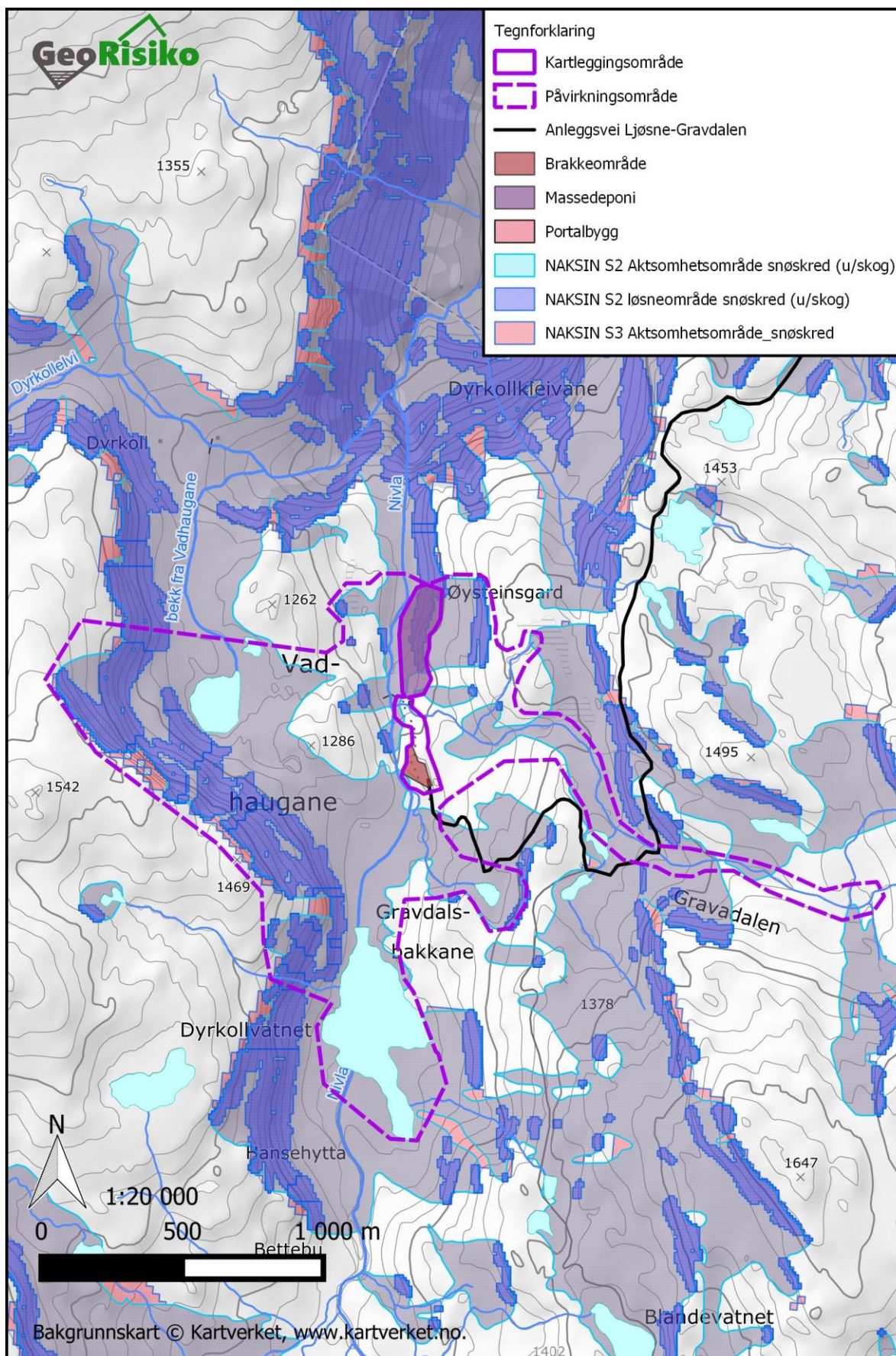
Infopunkt	Kommentar
1	Oversiktsbilde tatt om sommeren, Figur 6.1-1, hentet fra Multiconsult (2015).
2	Oversiktsbilde tatt om sommeren, Figur 6.1-2, hentet fra Multiconsult (2015).
3	Bilde mot øst av Gravdalsbekken om sommeren, Figur 6.1-3, hentet fra Multiconsult (2015).
4	Bilde mot nord om sommeren mot planlagt plassering av portalbygg, Figur 6.1-4, hentet fra Multiconsult (2015).
5	Bilde av fjellskrent og oppsprekkingsgrad, tatt om sommeren, Figur 6.1-5, hentet fra Multiconsult (2015).
6	Bilde som viser eksisterende bekkeinntak i Nivla og planlagt plassering av portalbygg og brakkeriggområde, Figur 6.1-6, hentet fra Østfold Energi sitt bildearkiv.
7	Fjellblotning, løsneområde Stein8, som viser kompakt og breskurt gneis med runde former, Figur 4.1-3.
8	Fjellblotning, løsneområde Stein6, som viser oppsprukket gneis med overheng, Figur 4.1-4.
9	Bildepunkt for Figur 2.1-3
10	Bildepunkt for Figur 2.1-4.
11	Bildepunkt for Figur 4.3-2 og Figur 4.3-3.
	Bildepunkt for Figur 4.1-5.
13	Bildepunkt for Figur 4.1-6, som viser helt eller delvis nedsnødde løsneområder for steinsprang.
14	Observert bruddkant/flaskkred avbildet i Figur 4.3-3.
15	Tykke fokksnøavsetninger.
16	Helt eller delvis avblåst på vindutsatte steder som vender mot sør eller sørvest. Figur 4.3-2 illustrerer dette tydelig.

3.2 NVEs aktsomhetskart for skred

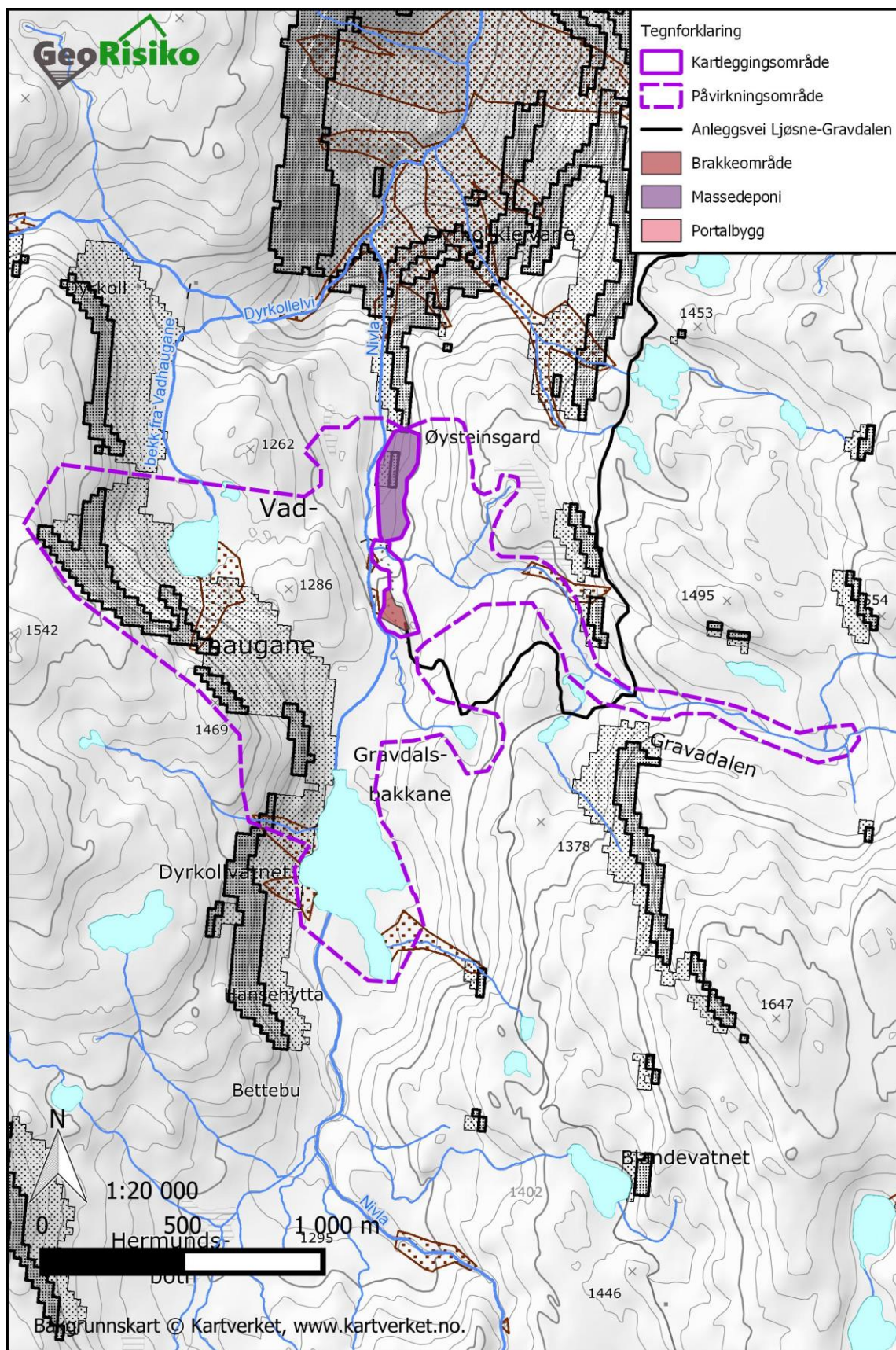
Det er benyttet NVEs nye aktsomhetskart for snøskred, NAKSIN (NVE 2023b), og de eldre gjeldende aktsomhetskartene for steinsprang og jord- og flomskred (www.atlas.nve.no).

Aktsomhetskartene for snøskred viser at kartleggingsområdet flere steder kan påvirkes av snøskred (Figur 3.2-1). I den nordlige delen av kartleggingsområdet, i massedeponiet, er det også potensielle løsneområder for snøskred.

Figur 3.2-2 viser kartutsnitt med overlag av NVEs aktsomhetssoner for steinsprang og for jord- og flomskred. Aktsomhetskartet for steinsprang viser at det finnes potensielle løsneområder innenfor kartleggingsområdet (nordlige del av massedeponiet). Aktsomhetskartet for jord- og flomskred viser at en marginal del av kartleggingsområdet (midtre del) er innenfor denne aktsomhetssonen.



Figur 3.2-1: Kartutsnitt med overlapp av NAKSIN aktsomhetsområder S2 (uten skog) og S3, viser at deler av kartleggingsområdet ligger innenfor potensielle utløpsområder for snøskred.



Figur 3.2-2: Kartutsnitt med overlav av NVEs aktsomhetssone for steinsprang (sort skravur) og aktsomhetssone for jord- og flomskred. Aktsomhetskartet viser at en liten del av kartleggingsområdet (massedeponiet i nordlige del) ligger innenfor løсне- og utløpsområde for steinsprang. En liten del av kartleggingsområdet ligger marginalt innenfor et lite aktsomhetsområde for jord- og flomskred.

3.3 Digital terrengmodell (DTM)

Det er benyttet nasjonal terrengmodell med 1x1 m oppløsning og minimum to punkt per m², nedlastet som prosesserte data (rastergrid) med bakkepunkt fra klasse 2 (Kartverket 2021). Fra terrengmodellen er det avledet et detaljert helningskart, et kart som viser potensielle vannveier for overvann (dreneringsberegning), og skyggerelieffkart.

Studier av kotegrunnlag og avledede attributtkart danner, i kombinasjon, et godt grunnlag for å identifisere løsneområder og utløpsområder for skred. Helningskartet er inndelt i helningsklasser som er relevante for løsneområder for den enkelte skredtype. Skyggerelieffkart er godt egnet til å studere geomorfologiske former i terrenget, som til eksempel raviner og gjel som er typiske dreneringskanaler for skred, eller ulike avsetningsformer fra skred som vifter, loper eller store steinblokker, eller kan hende eldre skredkanter. Dreneringsberegninger brukes i analysen av overvann, som kan ha betydning for vurderingen av løsnessannsynlighet for sørpeskred, flomskred og jordskred. Drenering er beregnet ved MFD-algoritmen terraflow i QGIS GRASS. Kulverter og stikkrenner (der slike finnes) er ikke medregnet og beregningen er naturlig nok ikke riktig der slike påvirker dreneringsforholdene. Helningskart, dreneringsberegning og skyggerelieffkart er vist i henholdsvis Vedlegg – Helningskart, Vedlegg - Dreneringskart og Vedlegg – Registreringskart.

3.4 Topografi og drenering

Kartleggingsområdet og påvirkningsområdet består av kupert høyfjellslandskap, og helningen i påvirkningsområdet fremgår av Vedlegg - Helningskart. Kartleggingsområdet ligger mellom kote 1135 og 1225. Kartleggingsområdet er 740 m langt i nord-sør retning. Den nordlige delen av kartleggingsområdet (avsatt til massedeponi) er en skråning som vender mot vest. Fra laveste punkt (1135 moh.), i vierkrattet like ved Nivla, stiger terrenget gradvis steilere opp til 35-45°. I skråningen er det flere brattkanter med berg i dagen med helning over 60° og som er 5-10 m høye. Ved kote omkring 1200 blir terrenget slakere, varierende mellom 10-25°, før det igjen stiger i en brattere skråning med helning 30-55° mellom kote 1250 og 1285.

Øst for den sørlige delen av kartleggingsområdet er terrenget mindre kupert, og det består av åpne slake skråninger med fall mot nordvest. Hovedbekken i Gravdalen (heretter kalt Gravdalsbekken) kommer ned her og sammenføres med Nivla like over eksisterende bekkeinntak.

Vest for kartleggingsområdet er det en skråning med varierende helning med fall mot øst og ned mot Nivla. Deler av kartleggingsområdet, spesielt i nord ved massedeponi og i sør ved brakkerigg, er terrenget karakterisert som en ryggformasjon som stryker parallelt med dalføret. Nordlige og sørlige deler av kartleggingsområdet ligger dermed på en tydelig, langstrakt forhøyning (minner om landformen drumlin).

Vest for Nivla stiger terrenget steilt opp fra elven opp mot Vadhaugane (1284 moh.). I denne østvendte skråningen er det noen partier med helning 45-60 nederst mot Nivla. Midtre del av skråningen er gjennomgående slakest, med helning 5-20°. Øvre deler av skråningen er det igjen noe steilere, der helningen varierer mellom 30-50°. Ved kote 1250 slakker terrenghelningen ut mot toppen av Vadhaugane. Den bratte delen av skråningen ligger mellom kote 1180-1250, dvs. omkring 70 høydemeter.

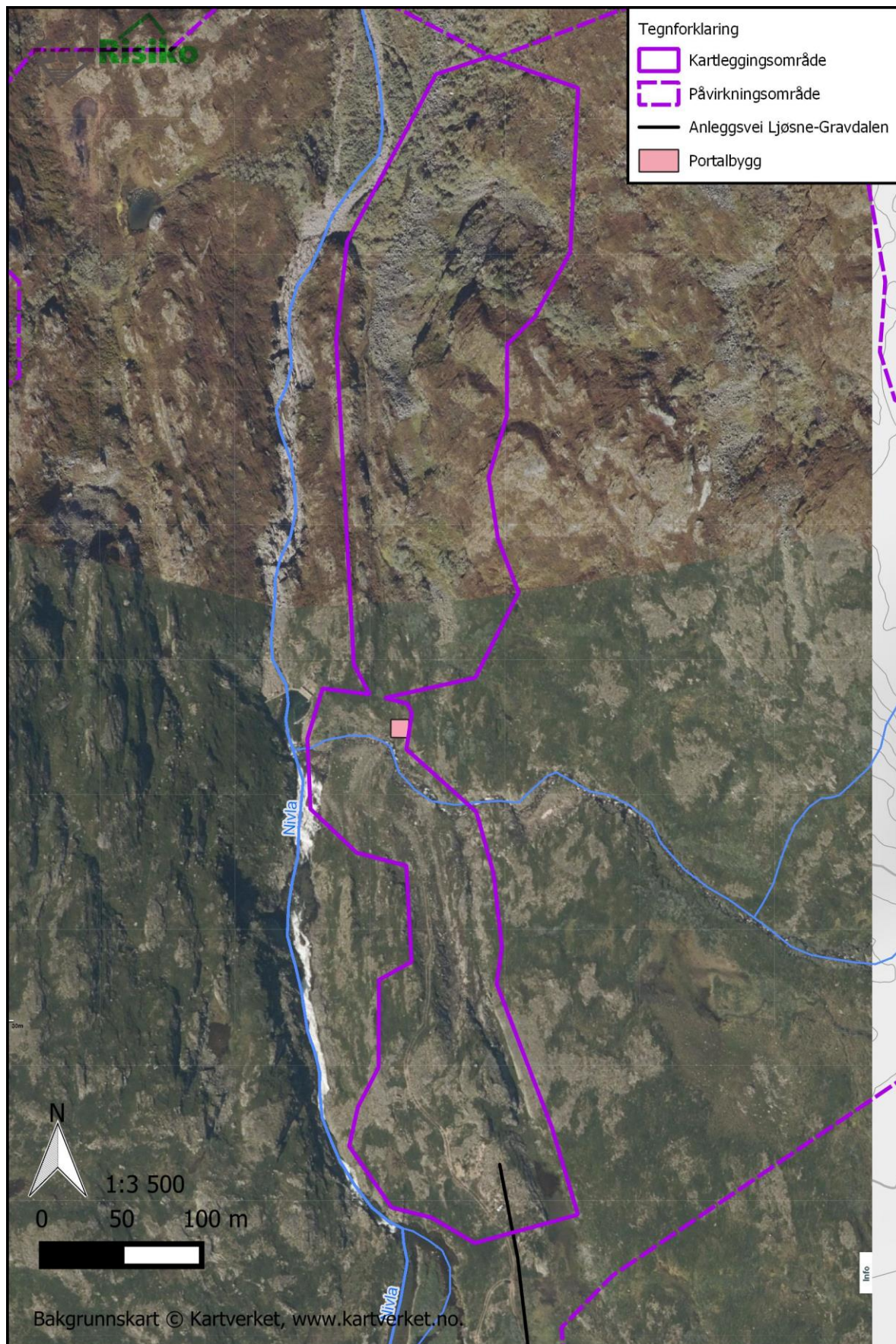
Vedlegg – Dreneringskart illustrerer også godt topografien og beregnet drenasje av overflatevann i påvirkningsområdet. Hovedbekkene i området rundt kartleggingsområdet omfatter Nivla, som drenerer mot nord fra Dyrkollvatnet (1210 moh.). Ned gjennom Gravdalen drenerer Gravdalsbekken, som har et relativt stort nedslagsfelt som dekker vestsiden av Finnebusogen.

Påvirkningsområdet dekker både Gravadalen og Dyrkollvatnet, for å inkludere potensielle drenerings- og utløsningsområder for sørpeskred. I tillegg har vi i påvirkningsområdet inkludert den store botnen vest av vannet som ligger like vest for Vadhaugane (heretter kalt Vadhaugvatnet). Utløpet fra vannet drenerer mot nord og ned i Dyrkollelvi, og ikke i retning kartleggingsområdet. Vadhaugvatnet er likevel inkludert fordi laveste punkt mot øst og mot kartleggingsområdet bare er 2 høyere enn utløpet av Vadhaugvatnet. Dette omtales mer i vurderingen av sørpeskred.

Vedlegg – Dreneringskart viser at det er konkave terrengformer som kan konsentrere noe overflatevann ned i sentrale deler av området som er avsatt til massedeponi.

3.5 Skog- og vegetasjonsforhold

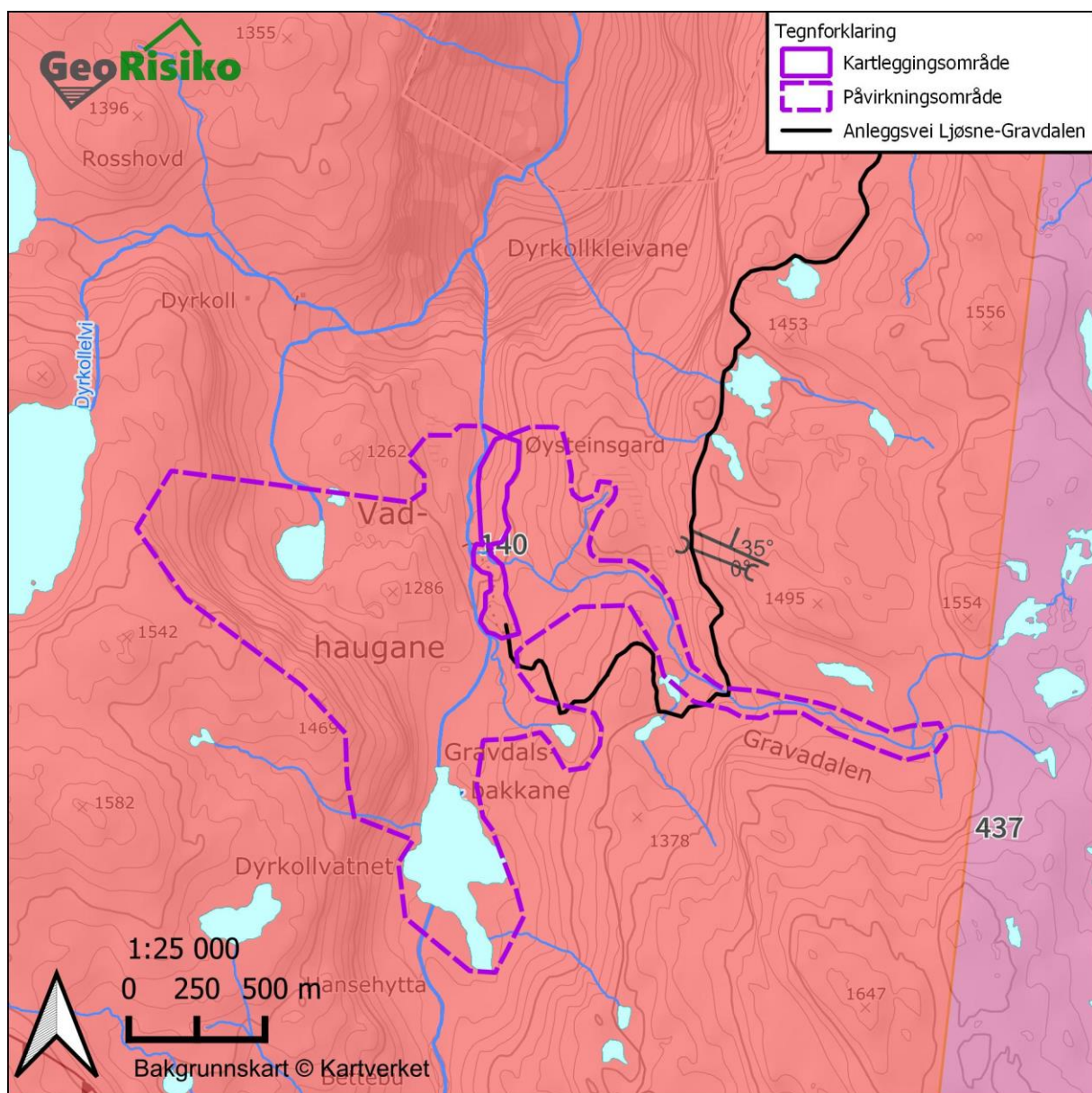
Vegetasjonsforholdene er vurdert fra bilder tatt av Hywer 2021-09-16 (Figur 2.1-2), Østfold Energi AS sitt bildearkiv (Vedlegg – Bilder), samt fra tilgjengelige årganger av ortofoto (1966 til 2023) (Figur 3.5-1). Det er kun lav høyfjellsvegetasjon i området, bestående av mose, lyng og stedvis vier.



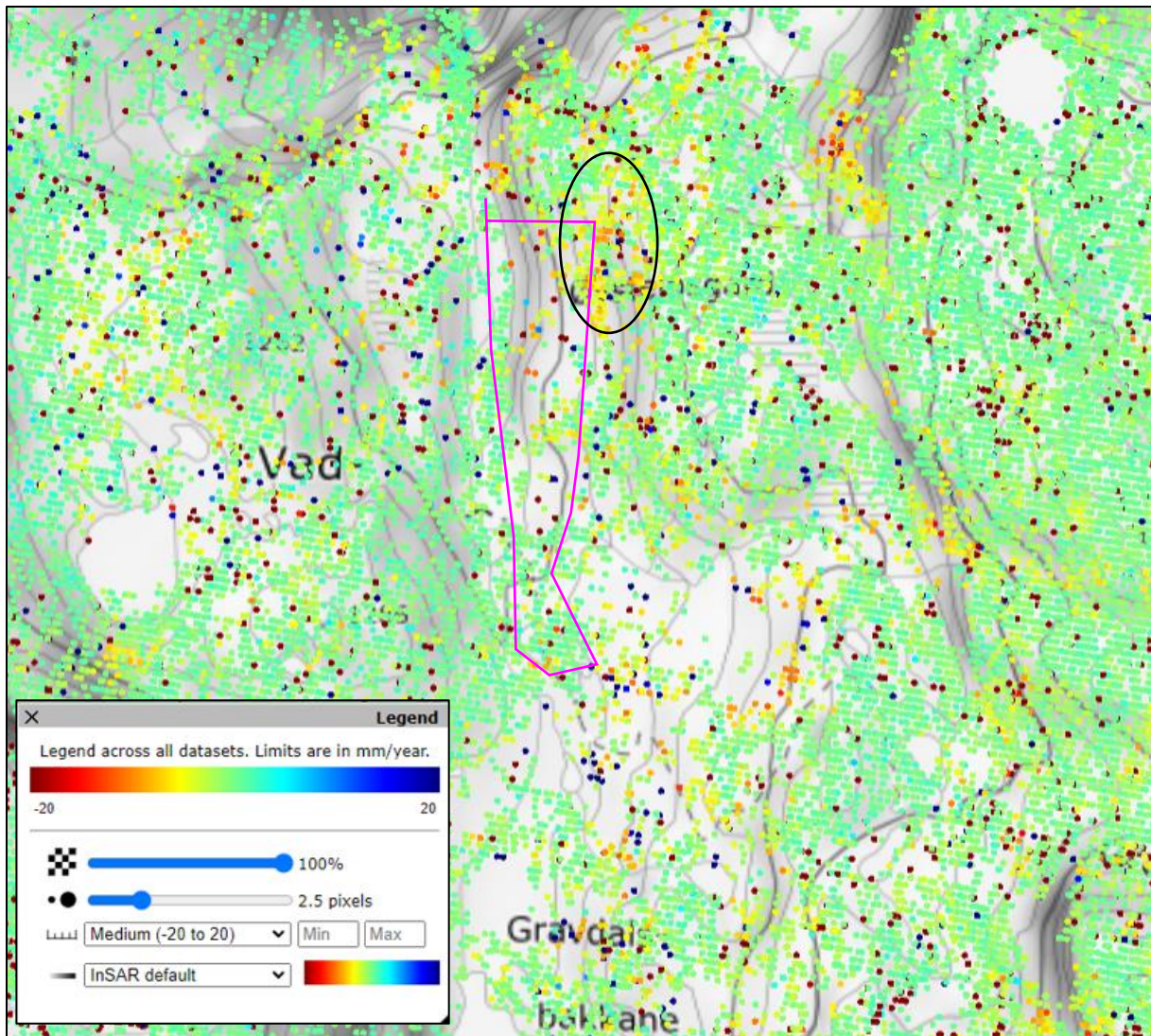
Figur 3.5-1: Ortofoto fra 2023 som viser kartleggingsområdet og deler av påvirkningsområdet. Kilde: Ortofoto er hentet fra Norgebilder.no, og deretter georeferert i QGIS.

3.6 Berggrunn

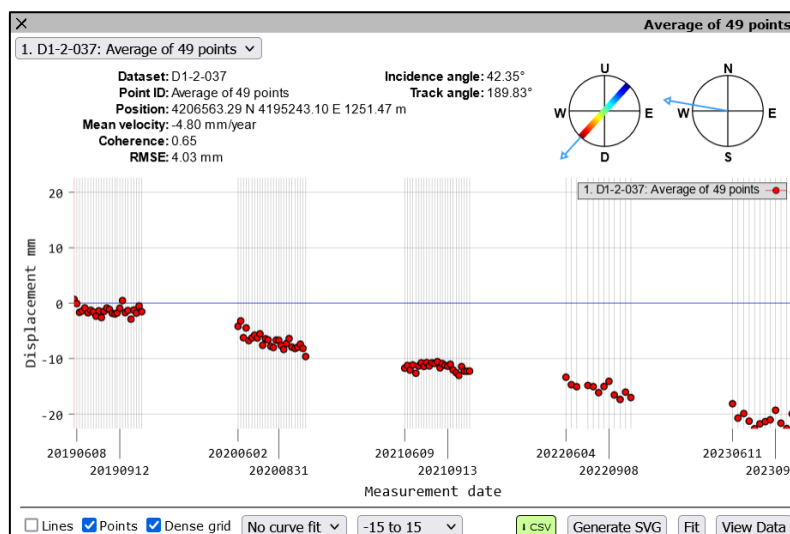
Ifølge NGUs berggrunnskart i målestokk 1:50 000 (NGU 2020a) består berggrunn i hele påvirkningsområdet av «gneiser som stedvis er påvist å være omdannede charnockittiske bergarter» (Figur 3.6-1). InSAR-data er en satellitt-basert fjernmålingsmetode som kan gi informasjon om sakte og gradvis deformasjon (innsynkning) eller heving i terrengoverflaten (www.insar.ngu.no). Figur 3.6-2 viser at det er målepunkter i datasettet som har både hevet og senket seg noen millimeter etter 2019. Det er ingen opplagte indikasjoner i InSAR-dataene som indikerer at store fjellpartier er ustabile. Dataene indikerer likevel at det er bevegelse i terrengoverflaten i den nordøstlige delen av kartleggingsområdet og i skråningen øst for kartleggingsområdet. Figur 3.6-3 viser gjennomsnittlige dataverdier for et avgrenset areal (vist i Figur 3.6-2) for tidsserien tilbake til 2019 da målingene startet. Vi ser at terrengoverflaten synker inn gjennomsnittlig 5 mm per år, og at bevegelsen har fall mot vest-nordvest, altså nedover skråningen. Området med bevegelse/innsynkning korrelerer med steinur og bergskrenter som stryker sør-sørvest – nord-nordøst (Figur 3.5-1). Dette kan indikere steinsprangaktivitet og/eller aktive forvitningsprosesser, og/eller fryse-tine prosesser.



Figur 3.6-1: Utsnitt av NGUs berggrunnskart (1:50000) (NGU 2020a). Hele påvirkningsområdet består av gneiser stedvis omdannet.



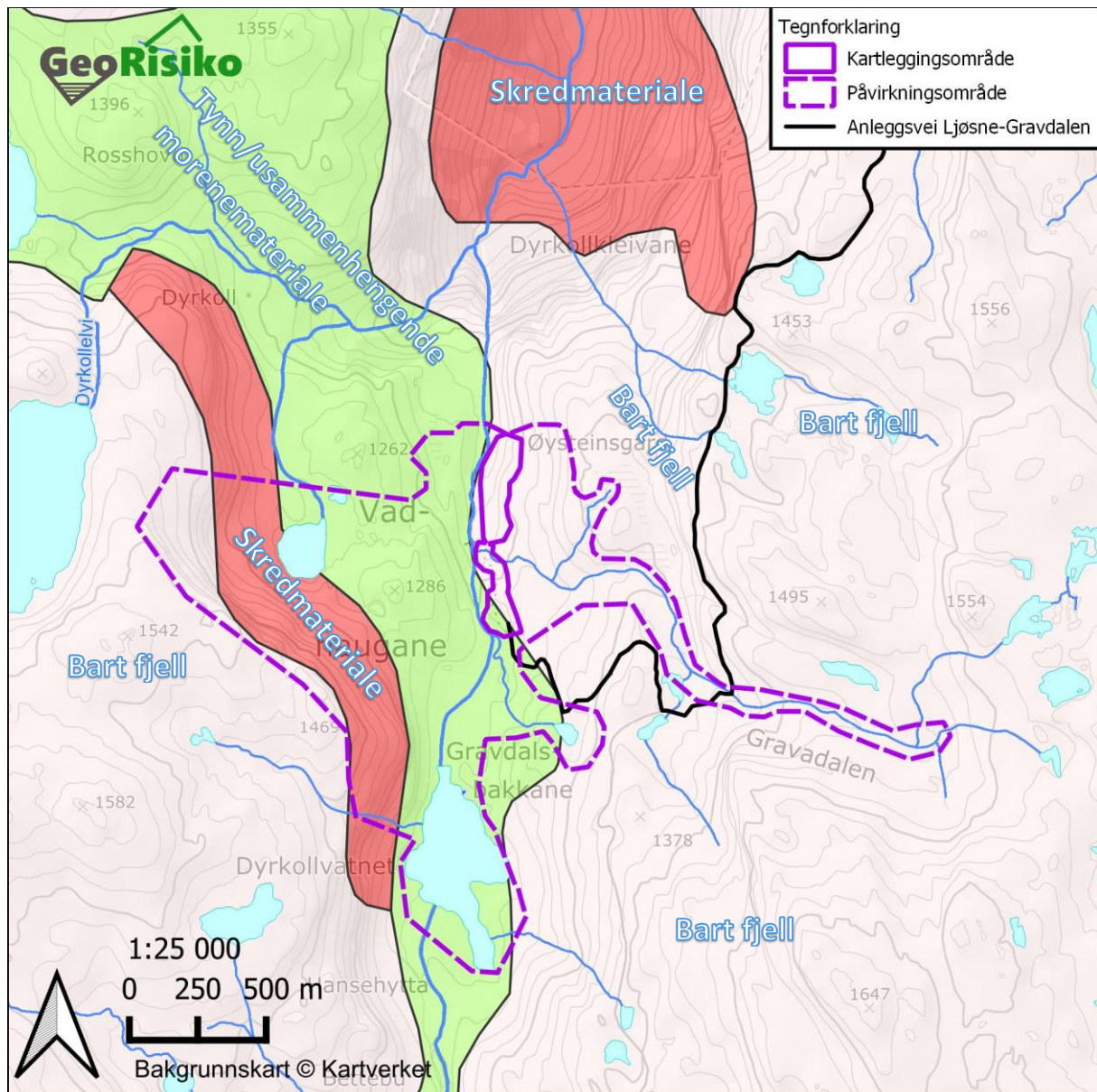
Figur 3.6-2: Kartutsnitt fra InSAR-data. Kilde: [Insar.ngu.no](https://insar.ngu.no). Kartleggingsområdet er vist omtrentlig med magenta polygon. Sort ellipse viser dataområdet for Figur 3.6-3.



Figur 3.6-3: Gjennomsnittlig forskyving av målepunkter i terrengoverflaten for området innsirklet i Figur 3.6-2. InSAR-dataene indikerer at terrengoverflaten synker med fall mot vest med omtrent 5 mm per år (gjennomsnitt siden 2019). Hentet fra [InsAR.ngu.no](https://insar.ngu.no).

3.7 Løsmasser

NGUs løsmassekart (NGU 2020b) viser at omtrentlig hele kartleggingsområdet og påvirkningsområdet mot øst er kartlagt som bart fjell. Påvirkningsområdet vest for kartleggingsområdet, og en liten del av det sørvestlige hjørnet av kartleggingsområdet er kartlagt som tynt og/eller usammenhengende morenemateriale (Figur 3.7-1). Vår analyse av bilder fra Hywer og Østfold Energi, samt av detaljert skyggerelieffkart, viser at løsmassedekket er svært tynt eller fraværende og at den østvendte skråningen av Vadhaugane burde vært klassifisert som bart fjell. Våre morfologiske tolkninger av skyggerelieffkart viser at det trolig er fluviale avsetninger langs Nivla, både nord og sør for kartleggingsområdet (Figur 2.1-2). Bildearkivet tilgjengeliggjort fra Hywer viser også fjellblotninger, mindre skrenter og områder med humusdekke og spredt forvitningsmateriale.

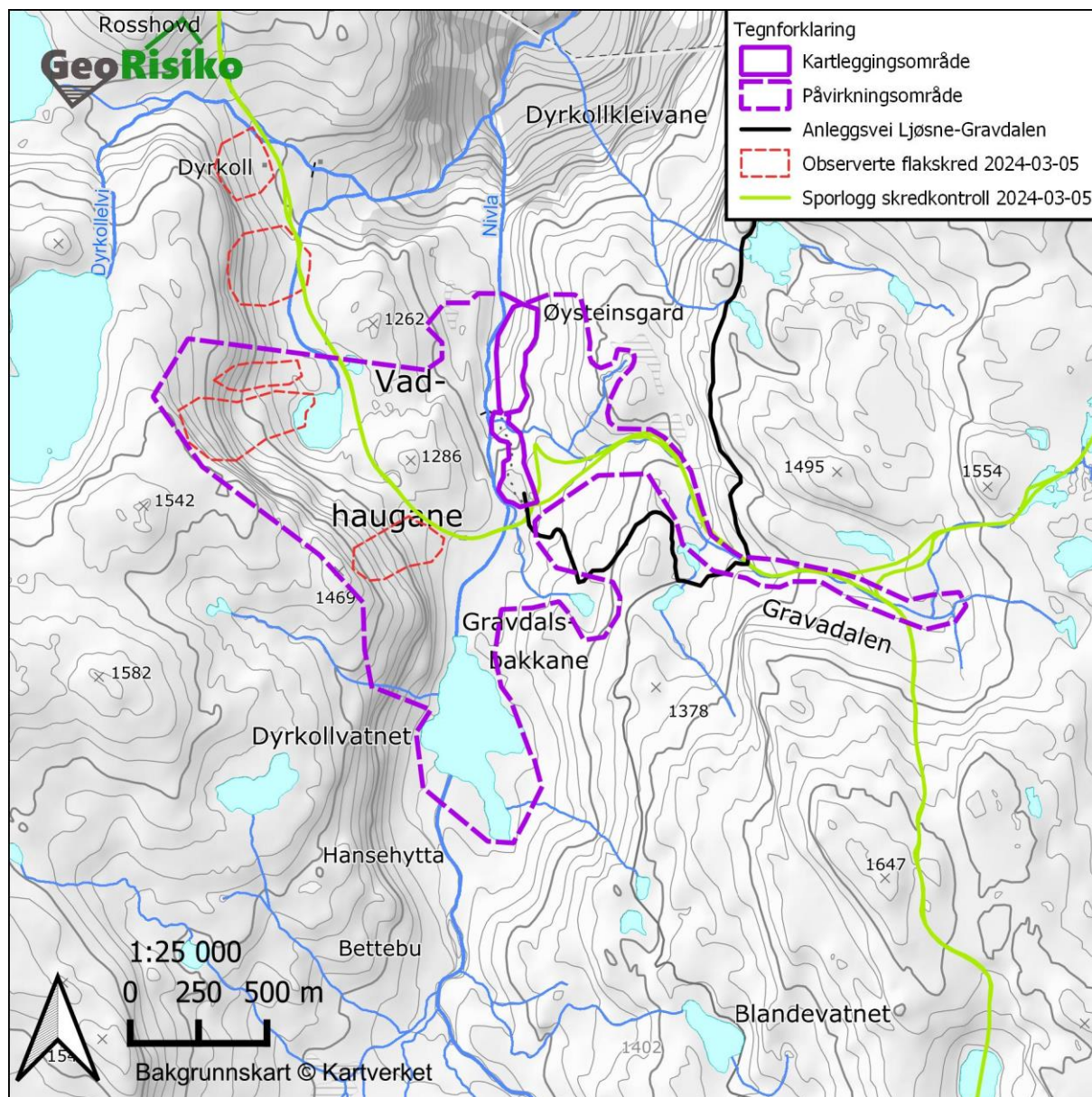


Figur 3.7-1: Utsnitt av NGUs Løsmassekart (NGU 2020b) viser at kartleggingsområdet og påvirkningsområdet mot øst er kartlagt som bart fjell. En del av kartleggingsområdets sørvestlige del og påvirkningsområdet mot vest er kartlagt som tynt eller usammenhengende morenemateriale. Vest for påvirkningsområdet er det kartlagt løsmasser av skredmaterialer.

3.8 Historiske skredhendelser

I NVEs nasjonal skredatabase (NVE 2024) er det ingen registrerte skredhendelser innenfor påvirkningsområdet (Figur 3.8-1). I forbindelse med et annet oppdrag 2024-03-05 observerte GeoRisiko AS flere store flakskred (størrelse opp til D3) i de bratte fjellsidene øst for Vadhaugane. Det største snøskredet hadde et utløp flere titalls meter inn på Vadhaugvatnet. Skredene har trolig utløst i forbindelse med mildværet første helgen i mars.

Vi er ikke kjent med andre skredhendelser innenfor påvirkningsområdet. Oppdragsgiver har ikke opplysninger om kjente skredhendelser i påvirkningsområdet. Det er heller ingen registrert snøskredaktivitet i påvirkningsområdet i databasen www.regobs.no.



Figur 3.8-1: Det er ingen skredhendelser som er registrert i nasjonal skredatabase. I forbindelse med et annet oppdrag 2024-03-05 observerte GeoRisiko AS flere store flakskred (størrelse opp til D3) i de bratte fjellsidene øst for Vadhaugane. Sporlogg fra transportruten med snøscooter 2024-03-05 er vist i kartutsnittet.

3.9 Eksisterende sikringstiltak

I nasjonal skredatabase er det ingen registrerte sikringstiltak mot skred i tilknytning til kartleggingsområdet eller påvirkningsområdet (NVE 2024). Det er heller ikke observert sikringstiltak i terrenget fra befaringer eller tilgjengeliggjorte bilder fra barmark.

3.10 Klimatologiske data

Klimatologisk oversikt for normalperioden 1991-2020 for Gravdalsbakkane er vist i Figur 3.10-1. Vinddata er hentet fra toppunktet av Skruven og Kjellarhaugen og vist i Figur 3.10-2. Dataene er hentet fra webappen AV-Klima (NVE 2023a). Applikasjonen benytter et griddet datasett med 1x1 km oppløsning.

3.10.1 Normaler

Gjennomsnittlig årsnedbør for normalperioden 1991-2020 er 841 mm. Månedene august, september, desember og januar er de mest nedbørrike månedene, med mellom 82 mm og 97 mm/måned. Gjennomsnittstemperatur for normalperioden 1991-2020 er under null grader fra oktober til og med april. Gjennomsnittlig snømengde er litt over 200 cm, og forventelig maksimal snøhøyde forekommer i april. Gjennomsnittlig nysnømengde for 3 døgn er ca. 60 cm, men i 1992 kom det 143 cm over 3 døgn. Største målte snømengde var i 1989 med 362 cm.

Vindanalysen i Figur 3.10-2 viser at dominerende nedbørførende vindretninger om vinteren er fra vest og sørvest, men også sør. Vindrosene hentet ut fra Vadhaugane har flere dager med vind fra sørlig retning sammenlignet med vindrosene fra Skruven. Dette er også forventelig når man ser på terrengforholdene i kartleggingsområdet, der vinden vil styres og kanaliseres gjennom dalføret som stryker nord-sør.

Basert på lokalkjennskap til området så kommer det størst nedbørmengde med lavtrykk fra sørvest, men det kan også komme noe nedbør på andre vindretninger. Kraftig vind fra sørøst og øst kan forekomme.

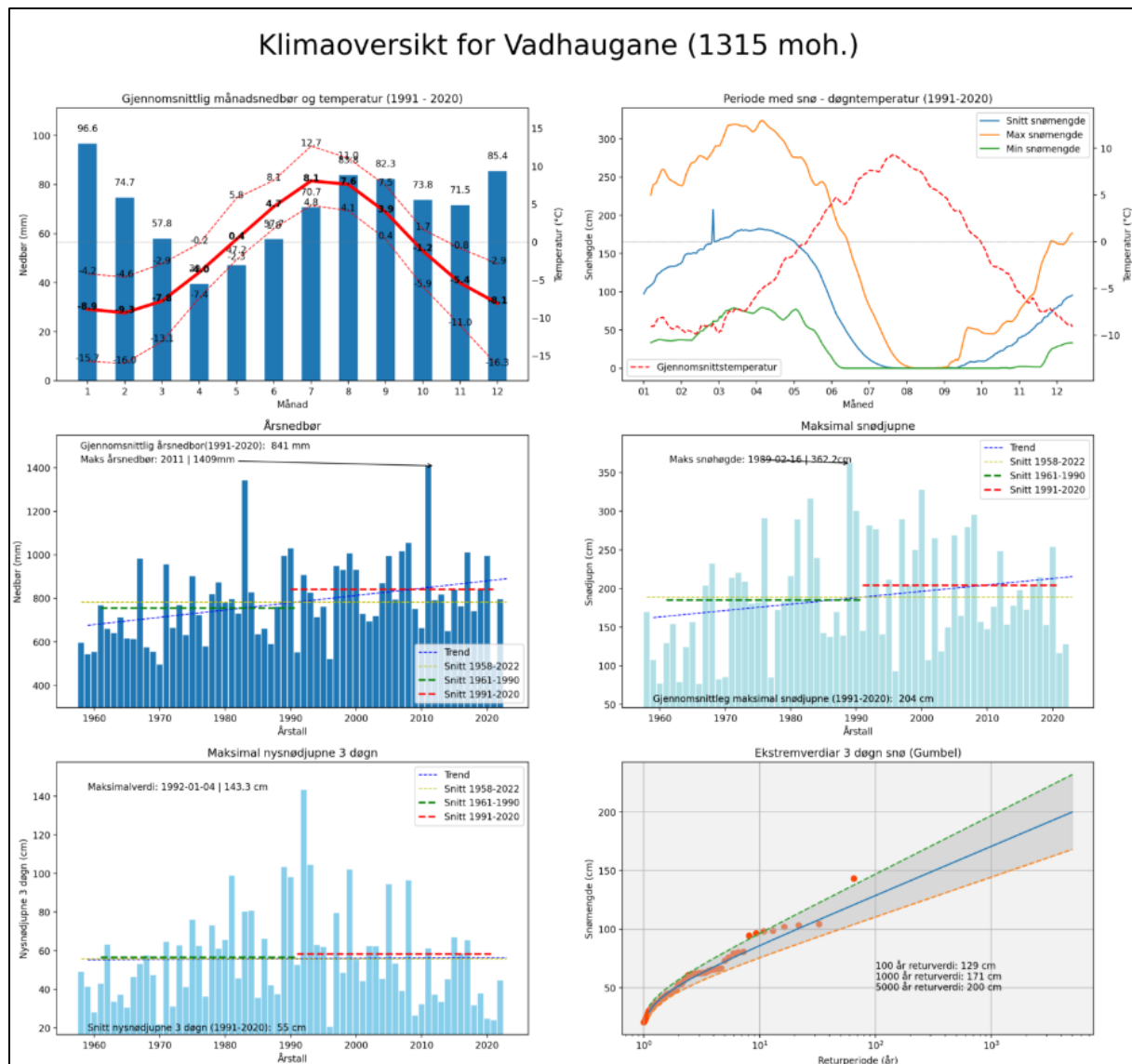
3.10.2 Ekstremnedbør

Påregnelig 3-døggnedbør om vinteren med gjentakintervall 100 år er 129 cm nysnø. Påregnelig 3-døggnedbør om vinteren med gjentakintervall 1000 år er 171 cm nysnø. Og påregnelig 5000-års 3-døggnedbør om vinteren er 200 cm nysnø. Det er forutsatt at 1 mm nedbør svarer til 1 cm med snø.

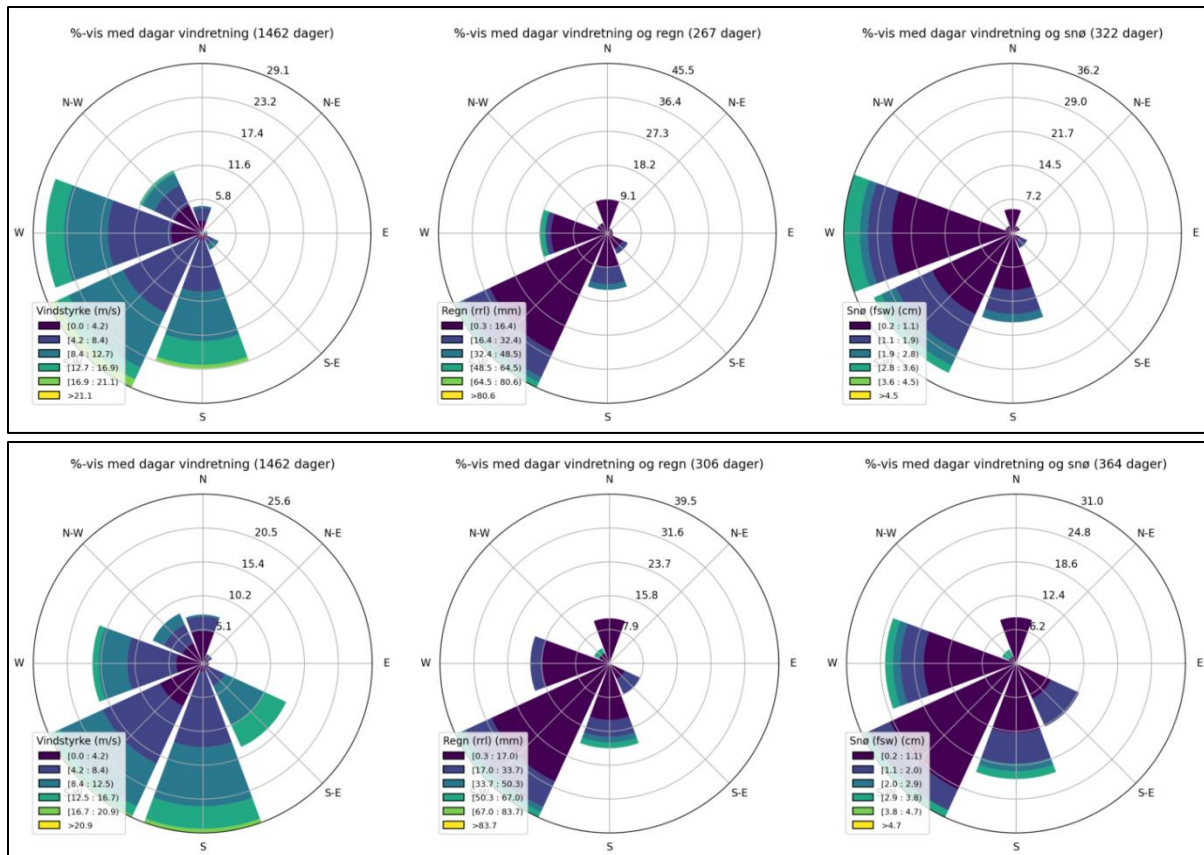
Ekstremnedbørhøyde kan brukes som utgangspunkt for å estimere potensielle bruddkanthøyder for dimensjonerende gjentakintervall ved simulering av snøskredutbredelse med dynamiske modeller.

3.10.3 Klimaframskriving

I følge Norsk Klimaservicesenter er det forventet at klimaet på Vestlandet i normalperioden 2071-2100 skal bli 3-3,5°C varmere og at nedbørmengden øker med 10-15% (Norsk Klimaservicesenter 2017a). Et varmere og våtere klima kan øke faren for noen skredtyper (i.e. sørpeskred, jordskred), men redusere faren for andre (i.e. tørre snøskred). Skredfare er sterkt bundet av lokale terrengforhold, og været er en av de viktigste utløsningsfaktorene for skred. Det finnes i dag likevel ikke verktøy som direkte knytter klimaendringer mot endringer i skredforhold. For eksempel ser vi at det er en økning i gjennomsnittlig maksimal snøhøyde fra normalperioden 1961-1990 til 1991-2020. Denne trenden forekommer i høyfjellet på store deler av Vestlandet.



Figur 3.10-1: Klimaoversikt fra Vadhaugane 1315 moh., hentet fra web-appen AV-Klima.



Figur 3.10-2: Vindroser hentet fra Skruven 1532 moh. (øverst) og fra Vadhaugane 1315 moh. (nederst), ved hjelp av webappen AV-Klima.

3.10.4 Permafrost

I Sør-Norge forventes sammenhengende permafrost å forekomme i nordvendte høyfjellsområder over 1500 moh., og i sørvendte fjellområder over 1900 moh. (Mågning et al. 2019). Sporadisk permafrost kan forekomme så lavt som 830 moh. i nordvendte fjellsider helt ned mot 59°N.

3.11 Andre datakilder

Bilder og informasjon om barmarksforhold er også hentet fra:

- Ingeniørgeologisk rapport (Multiconsult 2015)
- Bildearkiv Hywer AS
- Bildearkiv Østfold Energi AS

Relevante bilder er vist i rapporten og i Vedlegg – Bilder.

4 Skredfarevurdering per skredtype

Vedlegg – Registreringskart sammenstiller alle dokumenterte skredhendelser og alle registrerte geologiske og geomorfologiske elementer som har/kan ha betydning for skredfareutredningen. Registreringene er foretatt med en kombinasjon av studier av flyfoto, kartstudier, befarings i terrenget, samt gjennomgang av tilgjengelige rapporter (dersom de finnes), og eventuell informasjon gitt av lokalkjente. I registreringskartet er det vist sporlogg fra befaringer, og viktige observasjoner i terrenget er vist som nummererte infopunkter.

Påvirkningsområdet er definert som den delen av terrenget som kan danne skred ned mot kartleggingsområdet. Påvirkningsområdet er arealmessig definert for å omfatte alle potensielle løснеområder for alle skredtypene (dvs. steinsprang, steinskred, snøskred, jordskred, flomskred og sørpeskred). I noen deler av påvirkningsområdet kan det derfor være løснеområder for skred, men som ikke er relevante for kartleggingsområdet. Det innebærer at løснеområder som opplagt ikke er relevant for kartleggingsområdet, ikke er tegnet i kart eller kan hende ikke er omtalt, selv om de ligger innenfor påvirkningsområdet.

Alle potensielle løснеområder for skred som potensielt kan påvirke kartleggingsområdet innenfor dimensjonerende gjentakintervall, er tegnet i registreringskartet.

4.1 Steinsprang

Skred i fast fjell kan forekomme som steinsprang, steinskred eller fjellskred. Steinsprang er utfall av enkeltblokker som spretter, ruller eller sklir nedover en skråning med et samlet volum inntil noen hundre m³. Steinsprang løses ut i terreng som generelt er brattere enn 45°. Der steinsprang forekommer hyppig dannes ur, da ofte med sortering av blokkstørrelser der de største blokkene avsettes nederst i ura. I en steinsprangur vil det ofte ligge steinblokker som har hatt sprang noe lenger enn urfot, og disse kalles uteliggere.

4.1.1 Er steinsprang aktuell prosess i påvirkningsområdet?

Innenfor påvirkningsområdet er det flere områder i skråningen med til dels bart fjell og hvor helningen overstiger 45°. Steinsprang er derfor aktuell prosess i påvirkningsområdet.

4.1.2 Utredning av løснеområde og løsnesannsynlighet

Kartlegging av potensielle løснеområder for steinsprang er basert på samlet analyse av helningskart med horisontal oppløsning 1x1 m (Vedlegg – Helningskart), ortofoto (Figur 3.5-1, Figur 4.1-1 og Figur 4.1-2), tilgjengelige fotografier (Vedlegg – Bilder).

Løsneområder er tegnet manuelt i kart basert på helning over 45°, oppsprekkingsgrad (observert eller antatt), og spor etter tidligere blokknedfall. Merk at det er kun løsneområder som har potensiale til å gi blokknedfall inn i kartleggingsområdet som er tegnet i kart. Det kan derfor finnes løsneområder for steinsprang innenfor påvirkningsområder, men som vi vurderer ikke er relevante. For eksempel finnes flere brattskrenter som potensielt kan danne steinsprang i den østvendte fjellsiden vest av kartleggingsområdet. Blokknedfall fra denne skråningen vil maksimalt kunne nå ned til Nivla, og ikke kunne nå kartleggingsområdet. Løsneområder for steinsprang i denne fjellsiden er ikke relevant for kartleggingsområdet og er derfor ikke utredet, selv om skråningen ligger innenfor påvirkningsområdet.

Kartlagte løsneområder er vist i kart i Vedlegg – Registreringskart og presentert i Tabell 4.1-1 med spesifikke kommentarer, høyde på skrent og en vurdering av årlig sannsynlighet for utfall. Høyde og helning på skrentene er målt fra kotegrunnlag. Vurderingen av løsnesannsynlighet er satt fra spor etter historiske nedfall, samt vurdering av oppsprekkingsgrad der vi har fotografier som viser dette.

Utbredelsen av uravsetninger og blokknedfall gir klare pekepinner for løsnessannsynligheter. For at det kan dannes en steinsprangur må den gjennomsnittlige løsnessannsynligheten ha vært relativt høy etter siste istid (siste ca. 10 000 år). Typisk kan man si at løsnessannsynligheten har vært større enn 1/100 for at steinsprangur kan dannes (NVE 2020). Det er likevel rimelig å anta at løsnessannsynligheten for steinsprang har vært vesentlig høyere like etter siste istid, sammenlignet med det den er i dag. Vegasjonstilveksten i kartleggingsområdet er lav og vurdering av løsnessannsynlighet basert på tolkning av ortofoto og fotografier er dermed usikker. Samtidig vil frostsprenging forekomme hyppig særlig om våren og høsten. Bildematerialet viser at en rekke skrenter er sterkt oppsprukket og forvitret (Figur 4.1-4). En del av blokknedfallet og uravsetningene kan være forvitret av samme grunn, selv om gneis også er en relativt kompetent bergart. Bergmassen i andre skrenter fremstår som svært kompetent og med lite oppsprekking (Figur 4.1-3).

Grunnlaget for vurderingen av steinsprang er vesentlig svekket ved at vi ikke har gjennomført befaring om sommeren. En del av urmaterialet som er kartlagt ligger i forsenkninger som stryker parallelt med Nivla. Deler av urmaterialet kan derfor være avsetninger i såkalte spylerenner (bekkeløp under isbre) som var aktive i siste fase av isbrenedsmeltingen.

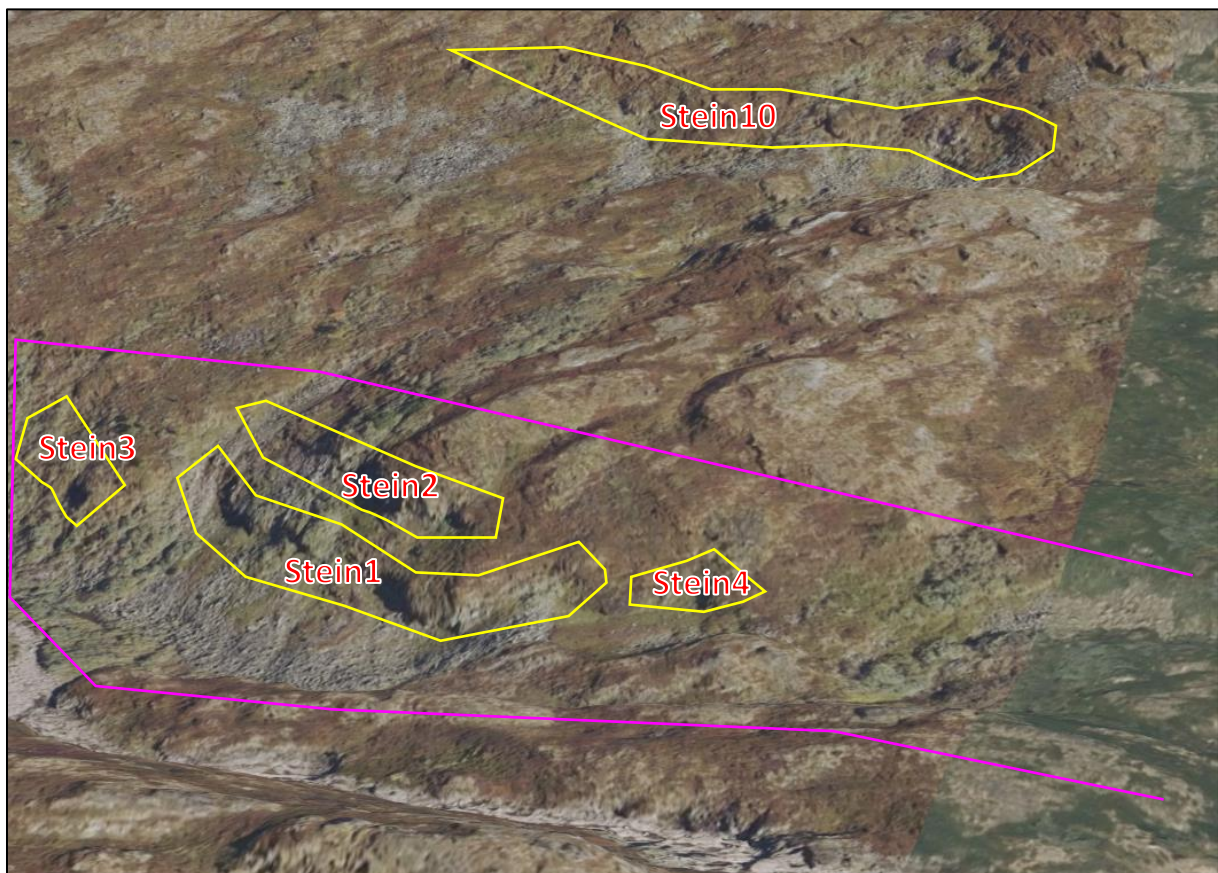
Alle aktuelle løsneområder for steinsprang har lav høyde i skrenten og lav høyde over skråningsfot og kartleggingsområdet. Flogstein er ikke en relevant prosess som kan påvirke kartleggingsområdet.

Tabell 4.1-1: Tabellarisk oversikt av karakteristikk og løsnessannsynlighet for blokknedfall.

Navn	Løsneområdets høydeforskjell (m)	Kommentar	Årlig nominell løsnessannsynlighet
Stein1	10	50-90° helning. Tydelige uravsetninger i skråningsfot.	>1/100
Stein2	10	60-90° helning. Tydelige uravsetninger i skråningsfot.	>1/100
Stein3	5	50-70° helning. Svake spor etter nedfall i skråningsfot.	>1/500
Stein4	5-20	45-55° helning, ikke vesentlige spor etter nedfall i ortofoto	>1/500
Stein5	4-5	50-60° helning. Portalbygg planlagt plassert under skrent. Figur 6.1-6 viser glattskurt berg, lite avløste blokker. Lite/ingen uravsetning under. Helt nedsnødd på befaringstidspunkt.	<1/1000
Stein6	6-7	Omtrent nedsnødd på befaringstidspunkt. Figur 4.1-4.	>1/100
Stein7	5-10	Omtrent helt nedsnødd på befaringstidspunktet.	>1/100
Stein8	5-10	Fast og kompakt fjell. Figur 4.1-3.	<1/1000
Stein9	2-5	Kun øverste meter synlig på befaringstidspunktet. Figur 4.1-5.	<1/100
Stein10	5-15	Langstrakt skrent med varierende helning 45-70°. Viser noe spor etter nedfall like under skrent. Slakt terreng nedenfor skrent, og dermed svært lav sannsynlighet for at blokker kan nå inn i kartleggingsområdet.	<1/1000



Figur 4.1-1: Ortofoto drapert over terrengmodell med utsyn mot sørøst. Løснеområdene stein1, 2, 3, 4 ligger innenfor kartleggingsområdet. Løснеområdet stein10 ligger oppe til venstre i bildeutsnittet (mot øst). Kilde: norgebilder.no.



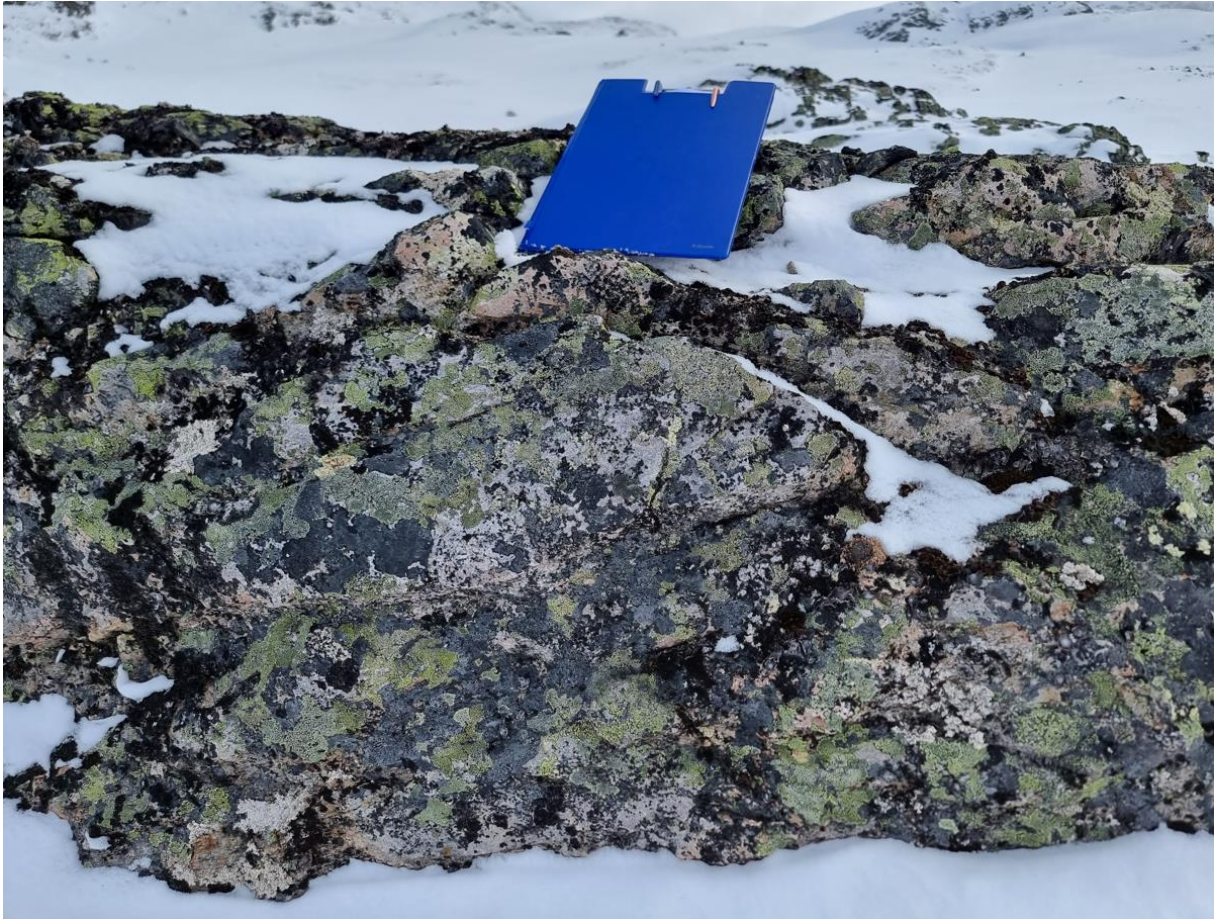
Figur 4.1-2: Ortofoto drapert over terrengmodell med utsyn mot nordøst. Omtrentlig plassering av kartleggingsområdet i nord (massedeponiet) er vist med magenta. Omtrentlig plassering av potensielle kildeområder for steinsprang er vist. Kilde: norgebilder.no.



Figur 4.1-3: Bilde tatt mot nordøst av fjellskrenten/løsneområde Stein8, som består av kompetent og breskurt gneis. Infopunkt 7 i registreringskart. Foto: GeoRisiko AS, 2024-03-24.



Figur 4.1-4: Bilde tatt mot sør av en svakt overhengende skrent/løsnemråde Stein6, som består av oppsprukken gneis. Infopunkt 8 i registreringskart. Foto: GeoRisiko AS, 2024-03-24.



Figur 4.1-5: Bilde tatt mot vest av øvre del av fjellskrenten/løснеområde Stein9, som består av kompetent gneis, men med forvitret overflate. Infopunkt 12 i registreringskart. Foto: GeoRisiko AS, 2024-03-24.



Figur 4.1-6: Bilde tatt fra infopunkt 13 (nord i kartleggingsområdet) i retning sør-sørøst, som viser at løснеområdene Stein1, 2 og 4 er helt eller nesten helt nedsnødd. Stein3 ligger til venstre utenfor bildeutsnitt og er helt nedsnødd. Foto: GeoRisiko AS, 2024-03-24.

4.1.3 Utredning av utløp

Utbredelsen av observerte uravsetninger slik tolket av ortofoto og tilgjengelig bildemateriale framgår av Vedlegg – Registreringskart. Med dette vurderingsgrunnlaget er det generelt bare mulig å skille nedfallsblokker fra moreneblokker ved blokkenes romlige plassering i terrenget. Vi ser en sterkt forhøyet forekomst av blokkmateriale nedenfor brattkanter. Det understrekes likevel at deler av blokkmaterialet som er kartlagt som nedfallsblokker, kan være avsatt fra andre prosesser enn blokknedfall/steinsprang.

De potensielle og kartlagte løснеområdene for steinsprang ligger i skråninger med svært begrenset høydeforskjell. F.eks. er høydeforskjellen mellom toppen av løснеområde stein2 til foten av skråningen der helningen er omtrentlig 20°, omkring 30 m. Dette er skråningsdimensjoner hvor det ikke er hverken hensiktsmessig eller anbefalt å kjøre beregninger av utløpslengder ved hjelp av numeriske metoder som ved programvaren Rockyfor3D (Dorren 2016; NGI 2020). Skråningene har også for lav høydeforskjell til å gi fornuftige resultater ved bruk av empiriske modeller som Alfa-Beta modellen. Det er også en rekke skrenter med mindre enn 5-10 m høydeforskjell, som demper både potensiell rekkevidde av nedfall, men også skadepotensiale.

Vurdering av utløp for hvert kartlagt løснеområde:

Stein1 og stein2: De to mest markerte kildeområdene i vurderingen. Ortofoto viser urmasser helt ned til foten av skråningsfot. Vegetasjon av vier skjuler eventuelle små uteliggere. Blokkstørrelser vurderes som hovedsakelig mindre enn 0,25 m³. Kildeområdene kan gi utfall til foten av skråningen og kan hende noe ut i slakere terreng. Fallhøyde oppad begrenset til ca. 30 m og blokker vil rulle og ikke sprette.

Stein3: Det er usikkert om dette er et relevant kildeområde for utfall. Det er antydninger til urmasser i foten av skråningen. Maksimal høyde er omkring 20 m. Blokker vil stanse i skråningsfoten.

Stein4: Blokker kan maksimalt rulle ned i forsenkningen, dvs. om lag 20 m.

Stein5: Slakt terreng like under skrent og maksimal rekkevidde er få meter fra utfallspunkt.

Stein6: Utfall fra dette kildeområdet har også liten potensiell utbredelse. Utfall vil stanse umiddelbart under skrent i slakt terreng. Utfall kan ikke nå ned til og over skrenten stein5.

Stein 7: Utfall vil stanse få meter fra skrent i slakt terreng. Omtrent helt nedsnødd på befaringen.

Stein8 og 9: Lave skrenter langs trangt gjel. Utfall vil stanse umiddelbart nedenfor.

Stein10: Eneste kildeområde som ligger helt utenfor kartleggingsområde. Utfall herfra vil ikke kunne nå inn i kartleggingsområdet. Dette kildeområdet kunne vært utelatt fra utredningen.

4.1.4 Når steinsprang inn i kartleggingsområdet?

Vi vurderer at den årlige nominelle sannsynlighet for at steinsprang kan påvirke kartleggingsområdet er opplagt større enn 1/100 for små deler av kartleggingsområdet. Det er tegnet 1/1000 og 1/100 faresoner for steinsprang, slik det fremgår i Vedlegg – Faresonekart. I henhold til beskrivelsene i TEK17 skal faresoner gjelde for skred som kan medføre «skredskader av betydning» (DiBK 2019). Blokknedfall fra små skrenter som er vurdert å ikke kunne gi betydelig skade, som f.eks. lave skrenter under 5 m høydeforskjell eller der det er planlagt bygg i betongutførelse tett inntil skrent (løснеområde stein5). Vurderingen av kildeområder for steinsprang er konservativ ettersom

befaringen er foretatt om vinteren og fordi vurderingsgrunnlaget er svekket. Det kan være at flere av kildeområdene ikke har potensiale til å medføre «betydelig skade» pga. lav fallhøyde.

4.2 Steinskred

Større volum av steinmasser i bevegelse, inntil 100 000 m³, kalles steinskred. Skred i fast fjell med volum større enn 100 000 m³ kalles fjellskred. I henhold til NVEs veileder for skredfareutredning i byggesaker er det kun steinsprang og steinskred som skal vurderes i byggesaker og arealplanlegging. I områder der steinskred er aktuell skredprosess vil det typisk også forekomme steinsprang, og det kan derfor være vanskelig å skille mellom de ulike skredprosessene. Større steinskred kan dra med seg løsmasser, og skredmaterialet kan føre til lokal oppdemming av bekker og elveløp eller forårsake flodbølger i fjorder eller innsjøer.

4.2.1 Er steinskred aktuell prosess i påvirkningsområdet?

Til likt med steinsprang, kan steinskred oppstå i områder med bart fjell, brattere enn 45°. Steinskred kan også oppstå i slakere helning dersom det er gunstige strukturer til stede. Basert på datagrunnlaget som skyggerelieffkart, ortofoto og også fraværet av målte bevegelser i InSAR-data, finnes det ingen observasjoner som kan indikere at steinskred er aktuell prosess innenfor påvirkningsområdet. Det er heller ingen observasjoner som kan indikere at steinskred utenfor påvirkningsområdet kan medføre sekundæreffekter som kan øke skredfaren for kartleggingsområdet. Skred i fast fjell er kun knyttet til steinsprang. Steinskred er dermed vurdert som ikke relevant prosess og dermed ikke utredet.

4.3 Snøskred

Snøskred opptrer som løssnøskred eller flaskskred, og de kan være våte eller tørre. Løssnøskred utløses som en liten lokal utglidning i ubunden (løs) snø, i terreng brattere enn ~45°. Løssnøskred river med seg mer snø nedover og skredbanen, og får ofte pæreform. Flaskskred oppstår når en mindre eller større del av snødekket løsner som et flak langs et svakt sjikt. For at flaskskred skal utløses må det være lagdeling med hardhetsforskjeller i snødekket, der terrenget gjerne har 30-55° helning. I sjeldne tilfeller kan flaskskred utløses i helning ned mot 27°. Dersom flaskskred løsner ved bakken kalles det glideskred. Snøskred som oppnår stor hastighet, kan danne skredvind. Toppskavler som knekker av kan utløse løssnøskred og flaskskred. Snøskred klassifiseres etter størrelse 1-5.

4.3.1 Er snøskred aktuell prosess i påvirkningsområdet?

I påvirkningsområdet er det skråninger med helning over 25° og som ikke er dekket av skog med tilstrekkelig kronedekning. Årlig maksimal snøhøyde er langt over 0,2 m. Snøskred er dermed aktuell prosess i påvirkningsområdet, og faren for snøskred utredes.

4.3.2 Utredning av løснеområde og løsnesannsynlighet

Påvirkningsområdet ligger i høyfjellet og det finnes ikke vegetasjon som har dempende effekt for utløsning av snøskred eller som er dempende for utløpslengde av snøskred.

Potensielle løснеområder er analysert på befaringen og i helningskart med ulik horisontal oppløsning fra 1 m til 10 m. Terrenget er stedvis kupert med mye mikroterreng bestående av nord-sør strykende skrenter med 5-10 m høydeforskjell. Dette er terrengformer og ruhet som i stor grad utjevnes med snøpålagring. Vi har derfor valgt å kartlegge løснеområder for snøskred fra en terrengmodell med horisontal oppløsning 10x10 m. For flaskskred er det brukt helningskriterier 30-55°, og stedvis ned mot 27°. Helningsklassen 35-45° vil ha høyest utløsningsannsynlighet (Perla 1977).

Vedlegg – Helningskart viser at det er flere områder i påvirkningsområdet med terrenghelning 27-55°, og som dermed representerer potensielt gunstige utløsningsområder for flaskskred.

Kartlagte løснеområder er vist i kart i Vedlegg – Registreringskart, samt i Figur 4.3-1. Tabell 4.3-1 gir en oversikt over størrelse på det enkelte løснеområdet, areal, høydeforskjellen i løснеområdet, gjennomsnittlig helning, samt himmelretning. Tabellen gir også en skjønnsmessig vurdering av dimensjonerende snøskredstørrelse som kan medføre betydelig skade i kartleggingsområdet, klassifisert etter den europeiske skalaen for snøskredstørrelser (EAWS 2020), samt en vurdering av årlig nominell løsnesannsynlighet for at snøskred kan nå inn i kartleggingsområdet.

Det finnes skråninger med egnet helning for snøskred, men som er vurdert å være for lave til å danne skred som kan medføre betydelig skade. Slike små bratte skråninger er eliminert ved å bruke helningskart avledet fra terrengmodell med 10x10 m oppløsning, slik at småskala kurvatur blir utjevnet.

Tabell 4.3-1: Tabellarisk oversikt av karakteristikk, dimensjonerende skredstørrelse (som kan gi betydelig skade) og løsnesannsynlighet for dimensjonerende snøskredstørrelse.

Navn	Areal (daa)	Løsneområdets høydeforskjell (m)	Gj.snitt helning (°)	Himmelretning	Dimensjonerende skredstørrelse	Årlig nominell løsnesannsynlighet
Sno1a	11,1	50	34	V-NV	D2	>1/100
Sno1b	5,3	15-37	32	V	D2	>1/100
Sno2a	9,6	20-30	32	V	D3	>1/100
Sno2b	7,1	40	32	V-NV	D3	>1/100
Sno2c	2,1		30	SV	D3	<1/1000
Sno3a	26,8	70	39	Ø-SØ	D4	<1/1000*
Sno3b	57,7	170	40	NØ	D4	<1/100 - >1/1000
Sno3c	86,2	70-160	40	NØ til Ø	D5	<1/1000*
Sno4a	1,9	25	29	NØ	D3	<1/1000
Sno4b	8	30	28	Ø	D3	>1/100

*Ikke direkte relevant for kartleggingsområdet, men kan gi sekundæreffekt (se vurdering av sørpeskred).

Løsneområdenes arealmessige utstrekning gjenspeiler forventet bruddforplantning for sjeldne hendelser. Kurvatur og ruhet, såkalt mikroterreng, kan stedvis bidra til å begrense løснеområdets utstrekning, spesielt i områder det forventes lite pålagring av snø. I områder som ligger i le for dominerende vindretninger vil lokal topografi ikke være begrensende for arealet da ruhet her forventes å bli helt utjevnet pga. store snøhøyder forårsaket av snødrift utover vinteren. Vi er kjent med at nordvendte skålformasjoner og terrengforsenkninger kan ansamle opp mot 5-10 m snø i området.

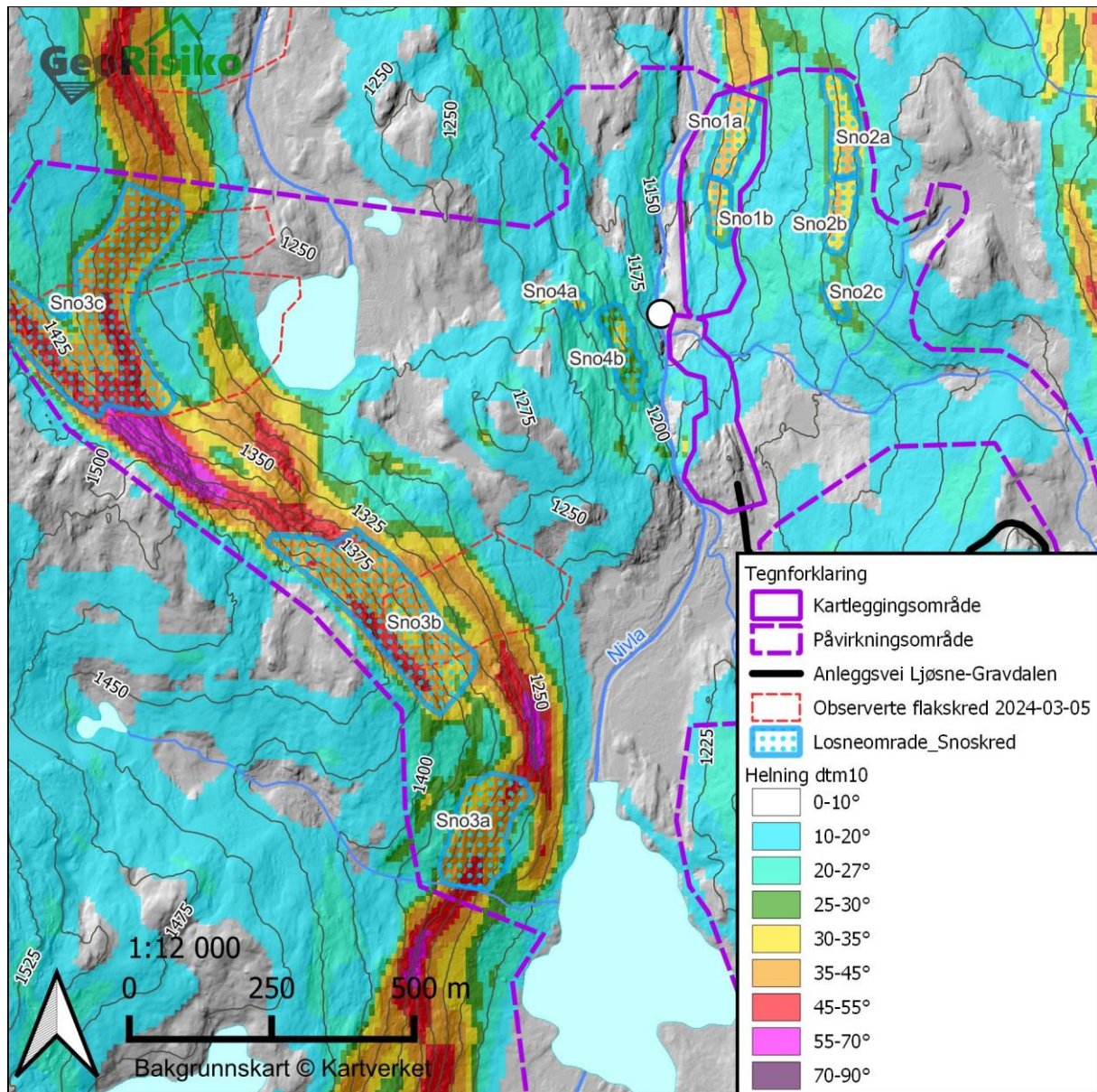
Klimaoversikten i Figur 3.10-1 viser at gjennomsnittlig snøhøyde for området i normalperioden 1991-2020 er omkring 200 cm. Vindrosene i Figur 3.10-2 viser at nedbørførende vindretning om vinteren er fra vest og sørvest, og sør.

Ifølge kjentmenn i Lærdal og vår egen erfaring fra Aurland og sørøstlige deler av indre Sogn kommer mesteparten av nedbøren om vinteren på sørvestlig vind. Nedbør i kombinasjon med sørøst vind kan imidlertid også forekomme, og der det er store tilfangstarealer kan effekten av snødrift gi betydelig pålagring i leområder også mot vest, nordvest og nord.

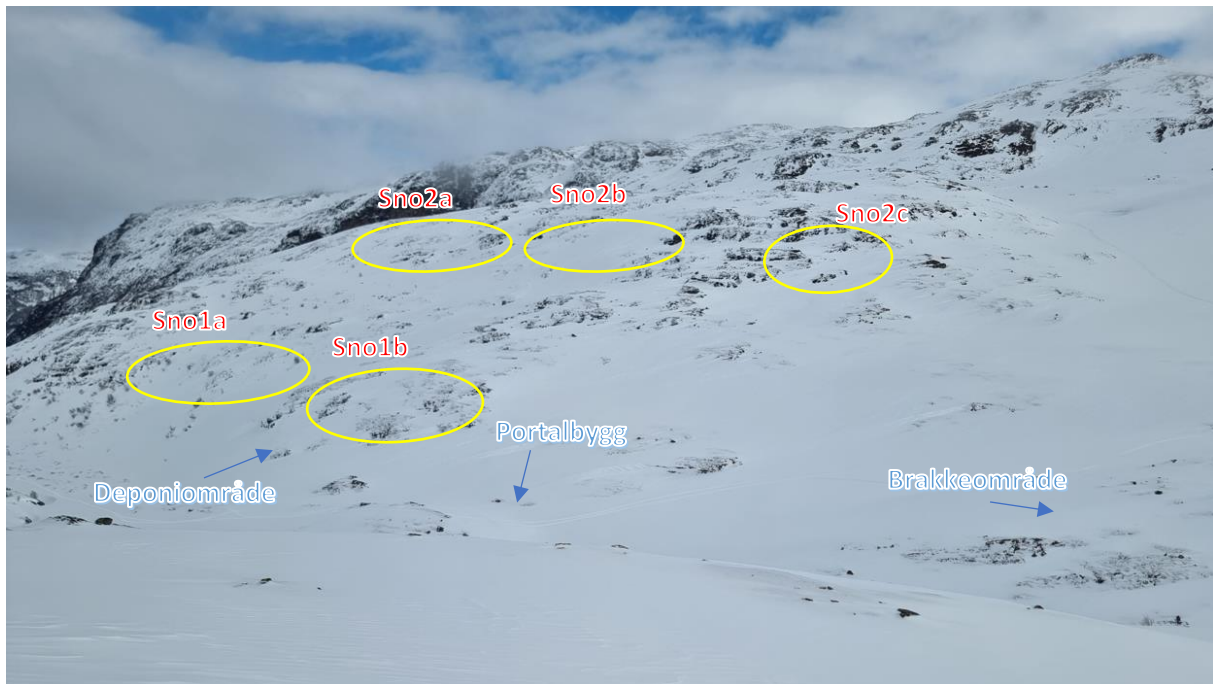
Vindforholdene vil vesentlig påvirkes av lokale terrengforhold. Dalføret langs Nivla stryker nord-sør og dette vil ha betydning for snødrift og forårsake variasjon i snøtilvekst i de ulike løснеområdene. Det nord-sør orienterte dalføret vil dermed forsterke og kanalisere vind. Fremherskende vindretning i kartleggingsområdet og de omkringliggende løснеområdene for snøskred vil dermed være fra sør.

Store snøfall med vind fra vest kan likevel ikke utelukkes. Det er da opplagt at skråninger som vender mot nordvest, nord, nordøst og øst vil ha størst sannsynlighet for høyest nysnøtilvekst. Denne vurderingen er i samsvar med observert snøfordeling i terrenget på flere befaringer vinteren 2024 og senest 2024-03-24.

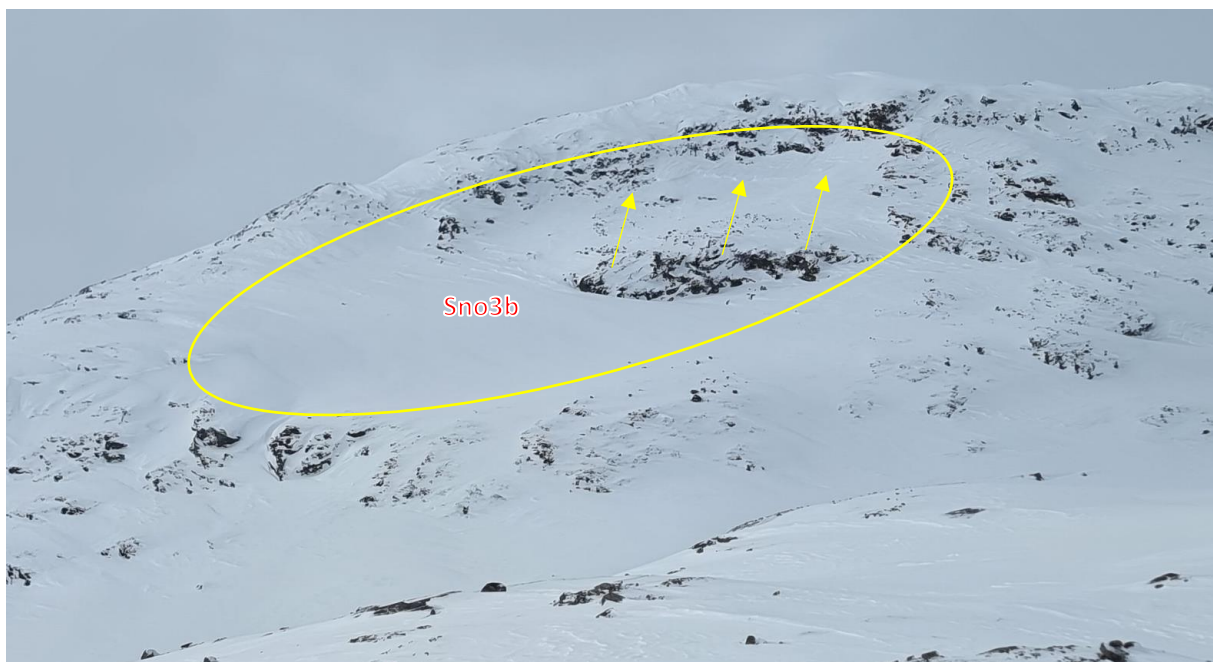
Påregnelig 3-døgns nysnøhøyde for 100 års gjentaksintervall er 129 cm. Påregnelig 3-døgns nysnøhøyde for 1000 års gjentaksintervall er 171 cm. Klimaoversikten i Figur 3.10-1 viser at det senest 1992-01-04 kom over 140 cm nysnø i løpet av tre døgn, mens gjennomsnittet av målt 3-døgns nysnøtilvekst er rundt 60 cm for normalperioden 1991-2020.



Figur 4.3-1: Helningskart avledet fra terrengmodell med 10x10 m horisontal oppløsning, og kartlagte potensielle løseområder for snøskred. Observerte skred er vist. Helningsklassene er tilpasset utløsning og skredutbredelse av snøskred.



Figur 4.3-2: Bilde tatt fra Vadhaugane (infopunkt 11) i retning øst-nordøst, som viser den sør og vestvendte skråningen ovenfor kartleggingsområdet. Merk at rygger og knauser og brattkanter vendt mot sør og vest er helt eller delvis avblåst for snø. Foto: GeoRisiko AS, 2024-03-24.



Figur 4.3-3: Bilde tatt fra Vadhaugane (infopunkt 11) i retning sørvest, som viser løснеområdet for snøskred Sno3b (gul ellipse). Gule piler peker mot observert bruddkant (infopunkt 14 i registreringskart). Foto: GeoRisiko AS, 2024-03-24.

4.3.3 Utredning av utløp

For å vurdere bedre de sannsynlige flytbevegelser, utløpslengder og skredhastigheter, har vi benyttet den dynamiske modellen RAMMS::AVALANCHE 1.7.20 (Christen, Kowalski, and Bartelt 2010). Beregningsmodellen gir ikke en sannsynlighet for skredutløsning, men fordi modellen kjøres på en digital terrengmodell tydeliggjør simuleringene hvordan lokale terrengforhold påvirker skredmassenes flytbevegelser.

Det er benyttet terrenggrunnlag med 10x10 m horisontal oppløsning. Det er benyttet automatisk beregning av friksjonsparametere (μ og ξ) der høydenivåene er justert etter anbefalte tilpasninger til norske forhold (Håland et al. 2015). Den lokale skoggrensen er ca. 1100 moh. som gir anbefalte høydenivåer tilsvarende 1400 og 900 moh. Det er beregnet friksjonsparametere for ulike skredvolum og gjentakintervall, og fremgår av navnet til simuleringsfilen («S100Yr» viser til volumkategori Small (5000-25000 m³) og 100 års gjentakintervall. «L300Yr» i simuleringsnavnet viser til volumkategori Large (>60000 m³) og 300 års gjentakintervall. I simuleringene er det benyttet massetetthet 300 kg/m³, som er anbefalt for tørre flakskred. Simuleringene er kjørt uten skog som dempende faktor på skredutbredelsen. For å fastsette dimensjonerende bruddkanthøyde for 100 og 1000 års scenario er det tatt utgangspunkt i 3-døgns ekstremverdi for nysnøtilvekst (Figur 3.10-1), som er 129 cm for 100 års gjentakintervall og 171 cm for 1000 års gjentakintervall.

Det er opplagt at snøtilvekst i et løснеområde sterkt vil påvirkes av snødrift. Løснеområder som vender mot nordlig og østlig sektor, vil følgelig ha mer snøpålagring som følge av at dominerende nedbørførende vindretning fra sørvest og vest. Dette er observert på befaringstidspunktet. Vi vet imidlertid at det i regionen kan foregå betydelig snødrift ved vind også fra sørøst og øst, og selv om de vestvendte løśnieområdene Sno2a og Sno2b på befaringstidspunktet fremstår avblåst og med tynt snødekke så kan dette ikke legges til grunn for sjeldne hendelser.

Vi har kjørt flere simuleringer med ulike bruddkanthøyder (100 cm, 130 cm og 170 cm). Det er da løśnieområdets overflateareal som avgjør initialvolumet for det enkelte simulerte skred.

, men det er velkjent at hastigheter over 20 m/s (≈ 70 km/t) vil kunne danne skredvind med skadepotensiale.

- Tabell 4.3-2 viser volum og skredstørrelser for scenario med 100 cm bruddkanthøyde. Korresponderende simulerte skredutbredelser er vist i Figur 4.3-4.
- Tabell 4.3-3 viser volum og skredstørrelser for scenario med 130 cm bruddkanthøyde. Korresponderende simulerte skredutbredelser er vist i Figur 4.3-5.
- Tabell 4.3-4 viser volum og skredstørrelser for scenario med 170 cm bruddkanthøyde. Korresponderende simulerte skredutbredelser er vist i Figur 4.3-6.

Alle disse tre simuleringene er kjørt med volumkategori Small (5000-25000 m³) og 100 års gjentakintervall for å best ivareta friksjonsparametere tilpasset aktuelle skredvolum for løснеområdene Sno1a, Sno1b, Sno2a, Sno2b, Sno2c, Sno4a og Sno4b.

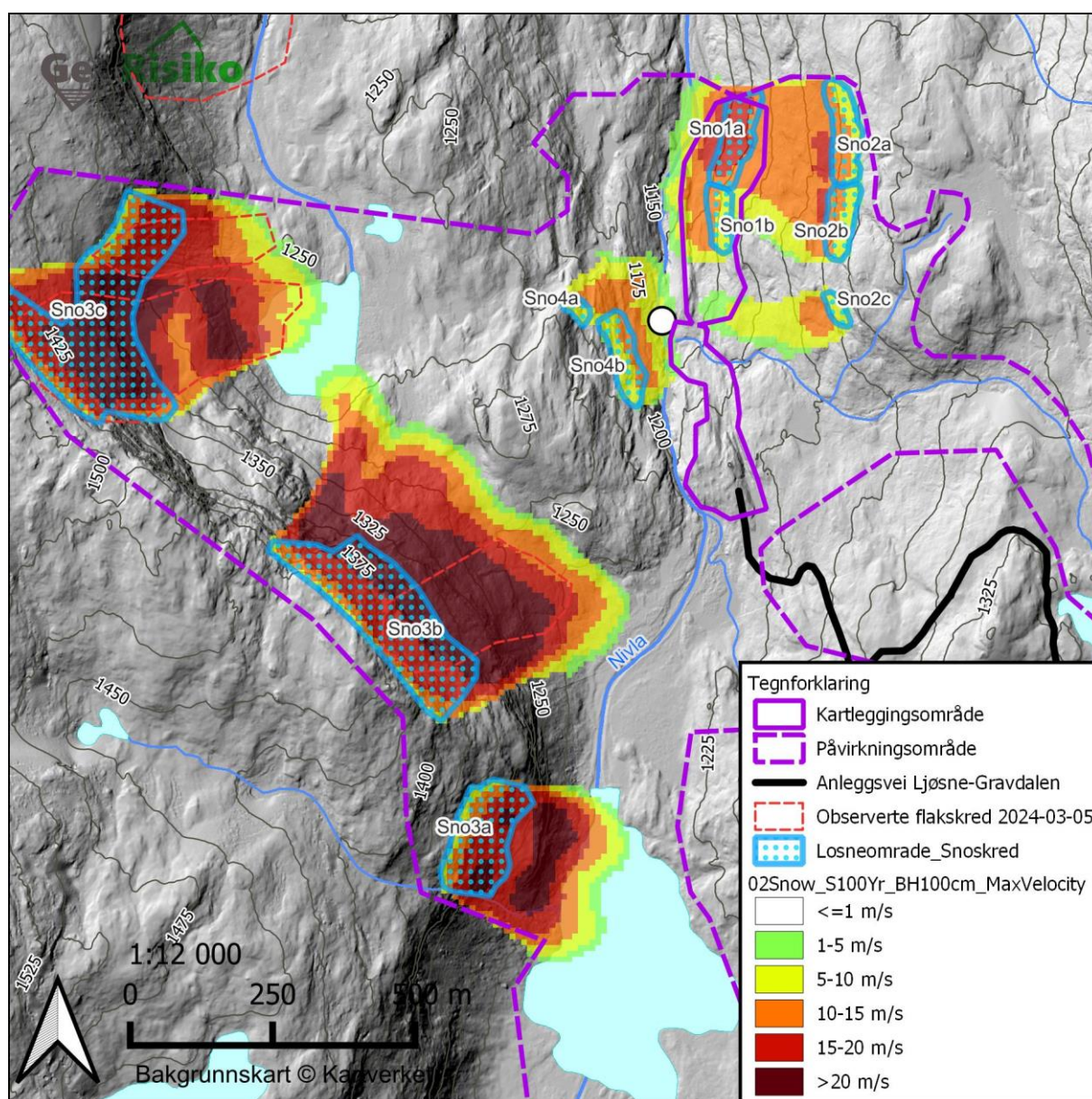
Løснеområdene Sno1a, Sno1b, Sno2a, Sno2b, Sno2c ligger i fallinjen til planlagte massedeponi. Sno2c ligger i tillegg delvis i fallinjen mot planlagte portalbygg. Løśnieområdene Sno4a og Sno4b ligger i fallinjen mot planlagt portalbygg og deler av massedeponiet. Alle overnevnte løśnieområder har utløpsområder som kan karakteriseres som åpne skråninger, men rekkevidden av skredene vil begrenses av det trange dalføret langs Nivla.

Aktsomhetssonen for snøskred (Naksin2) berører sørvestlige del av kartleggingsområdet og også marginalt inn på brakkeriggområdet (Figur 3.2-1). Det er kartlagte løśnieområde Sno3b som potensielt kan danne snøskred mot brakkeriggområdet.

Til sist er det kjørt en fjerde simulering med 170 cm bruddkanthøyde og med friksjonsparametere tilpasset store, sjeldne skred i løśnieområdene Sno3a-c der volumkategori er satt til Large (mer enn 60000 m³) og 300 års gjentakintervall. Modellerte skred varierer i skredstørrelser fra størrelse 3- store skred til størrelse 5- ekstremt store skred. Ved tørre snøskred representerer disse skredstørrelsene skred med potensiale for skredvind som også kan påføre skade på bygg. Det finnes ikke kommersielle verktøy som kan kvantifisere skredvind, men det er velkjent at hastigheter over 20 m/s (≈ 70 km/t) vil kunne danne skredvind med skadepotensiale.

Tabell 4.3-2: Simulerte utløsningsvolum per løснеområde ved bruddhøyde 100 cm i simulering 02Snow_S100Yr_BH100cm.

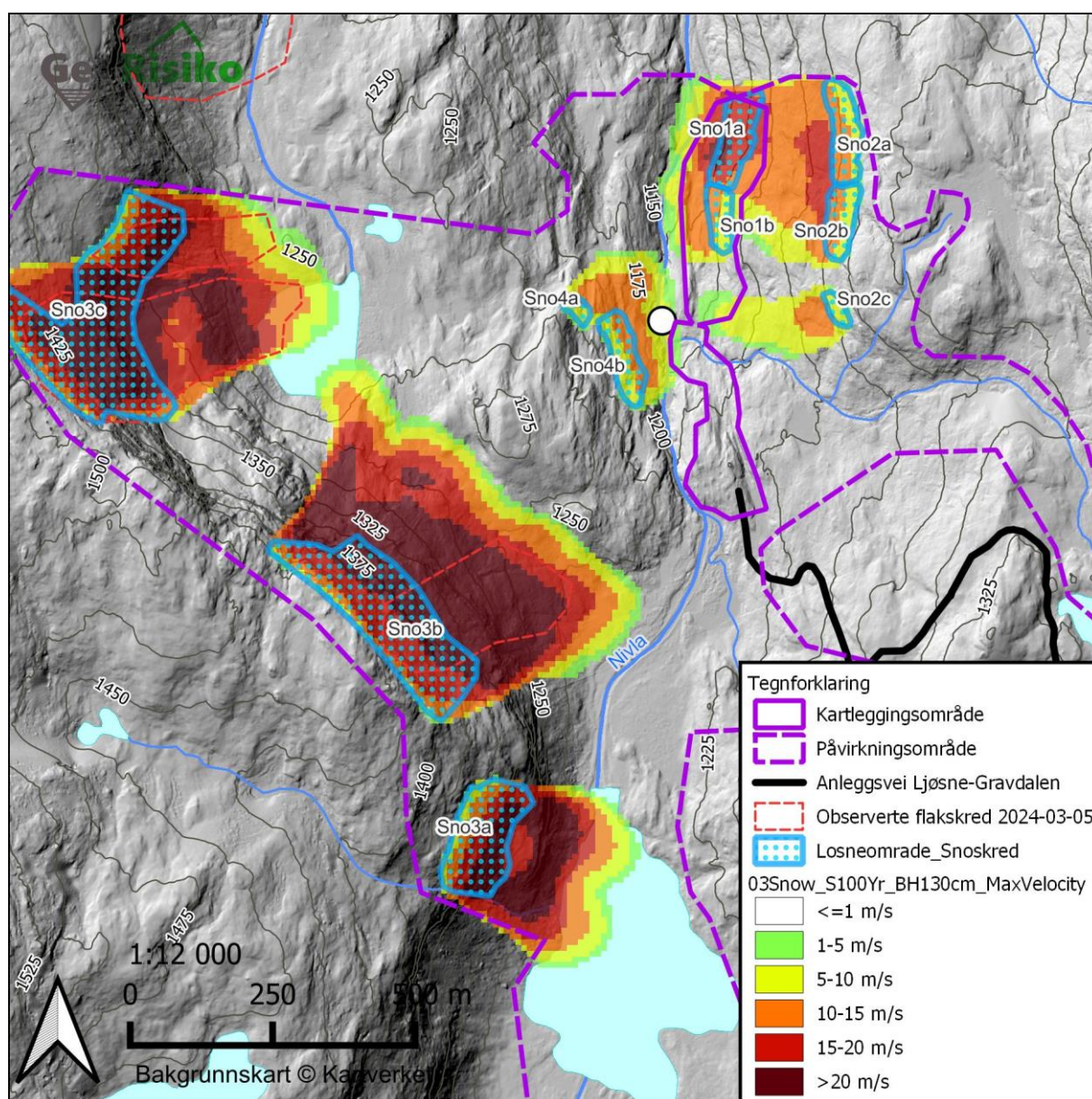
Løснеområde nr.	Initialvolum (m ³)	Skredstørrelse EAWS klasse
Sno1a	11 147	D4
Sno1b	5 378	D3
Sno2a	9 692	D3
Sno2b	7 112	D3
Sno2c	2 074	D3
Sno3a	26 796	D4
Sno3b	57 667	D4
Sno3c	86 216	D4
Sno4a	1 951	D3
Sno4b	7 977	D3



Figur 4.3-4: Simulering av snøskredutbredelse ved bruk av RAMMS::Avalanche for bruddkanthøyder 100 cm i alle kartlagte løśnieområder og med friksjonsverdier for volumkategori Small og 100 års gjentakintervall.

Tabell 4.3-3: Simulerte utløsningsvolum per løснеområde ved bruddhøyde 130 cm i simulering 03Snow_S100Yr_BH130cm.

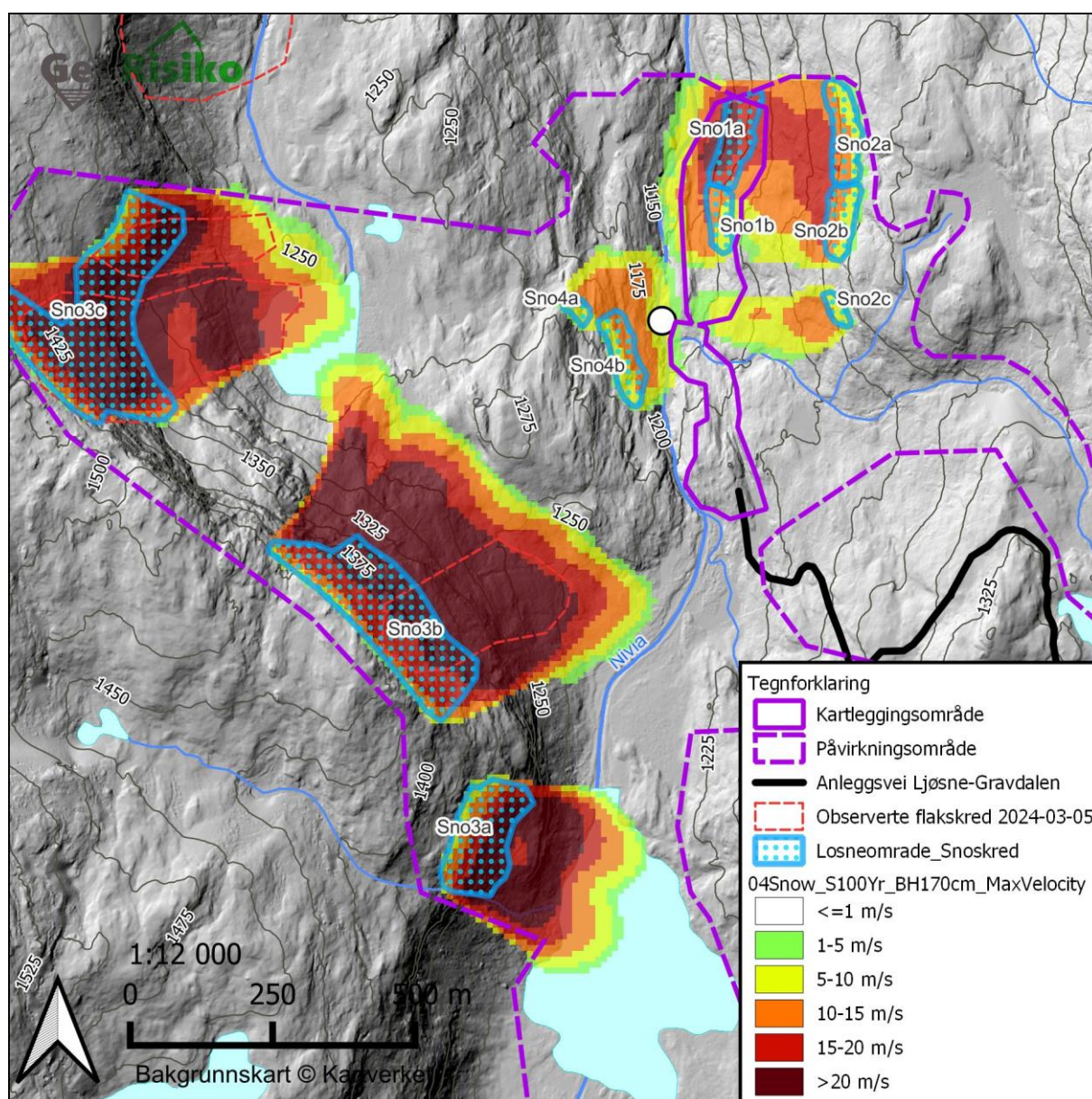
Løснеområde nr.	Initialvolum (m ³)	Skredstørrelse EAWS klasse
Sno1a	14 491	D4
Sno1b	6 991	D3
Sno2a	12 600	D4
Sno2b	9 246	D3
Sno2c	2 696	D3
Sno3a	34 834	D4
Sno3b	74 968	D4
Sno3c	112 080	D5
Sno4a	2 537	D3
Sno4b	10 371	D4



Figur 4.3-5: Simulering av snøskredutbredelse ved bruk av RAMMS::Avalanche for bruddkanthøyder 130 cm i alle kartlagte løśnieområder og med friksjonsverdier for volumkategori Small og 100 års gjentaksintervall.

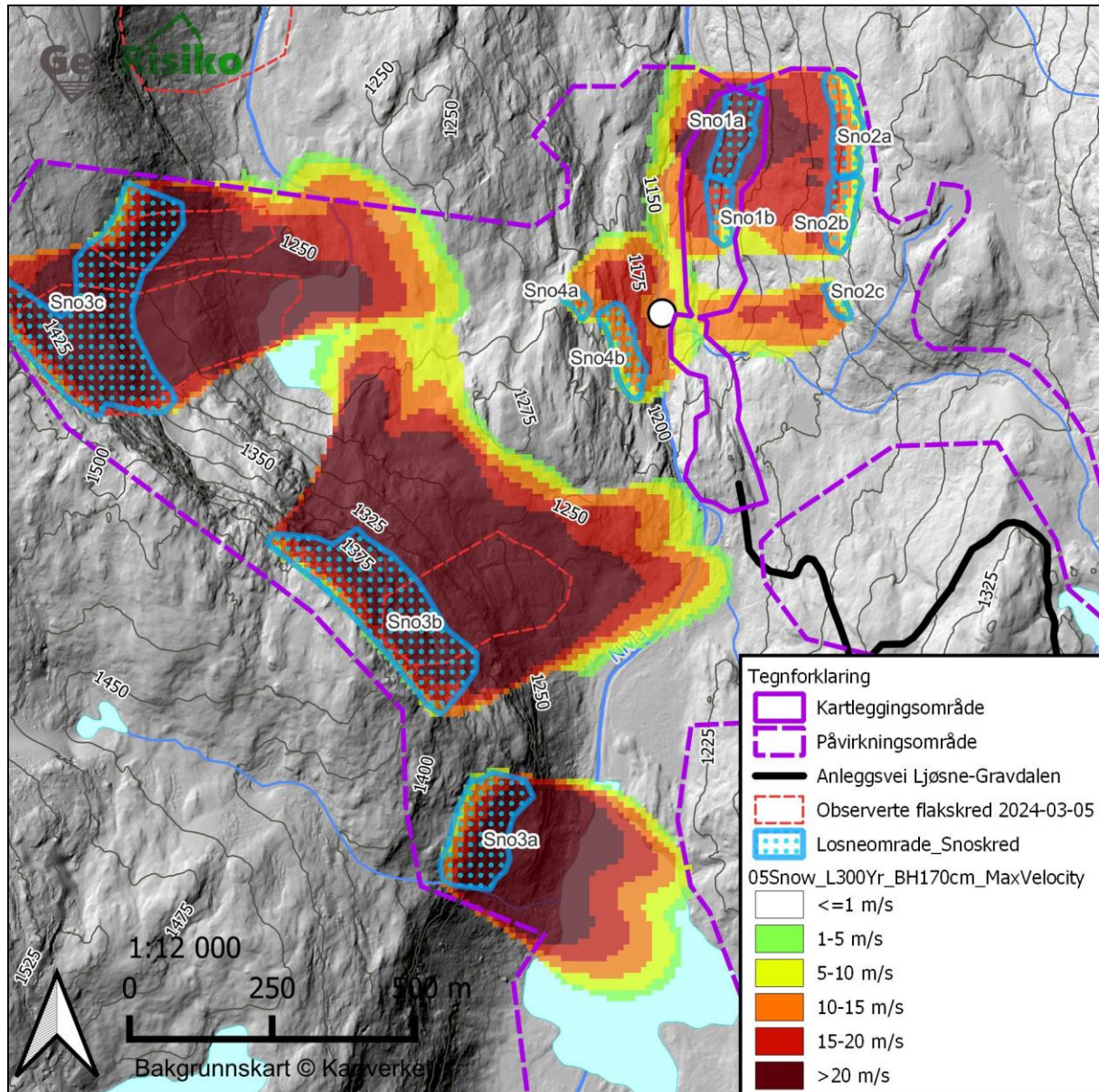
Tabell 4.3-4: Simulerte utløsningsvolum per løснеområde ved bruddhøyde 170 cm i simulering 04Snow_S100Yr_BH170cm.

Løснеområde nr.	Initialvolum (m ³)	Skredstørrelse EAWS klasse
Sno1a	18 949	D4
Sno1b	9 142	D3
Sno2a	16 477	D4
Sno2b	12 090	D4
Sno2c	3 526	D3
Sno3a	45 553	D4
Sno3b	98 035	D4
Sno3c	146 567	D5
Sno4a	3 317	D3
Sno4b	13 562	D4



Figur 4.3-6: Simulering av snøskredutbredelse ved bruk av RAMMS::Avalanche for bruddkanthøyder 170 cm i alle kartlagte løśnieområder og med friksjonsverdier for volumkategori Small og 100 års gjentakintervall.

Modellresultatene samsvarer med vår skjønnsmessige, faglige vurdering av rekkevidden av tørre snøskred. Merk at modellresultatene vist i Figur 4.3-7 kun er reelle for løснеområder med skredvolum mer enn 60 000 m³, altså dermed bare Sno3b og Sno3c.



Figur 4.3-7: Simulering av snøskredutbredelse ved bruk av RAMMS::Avalanche for bruddkanthøyder 170 cm i alle kartlagte løснеområder og med friksjonsverdier for volumkategori Large og 300 års gjentakintervall.

4.3.4 Når snøskred inn i kartleggingsområdet?

Massedeponi: Vi vurderer at årlig nominell sannsynlighet for at snøskred kan påvirke massedeponiområdet er større enn 1/100. Snøskred vil ikke kunne medføre betydelig skade på massedeponiet i driftsfasen. I byggefasen kan imidlertid snøskred medføre stor skade på personell og utstyr.

Portalbygg: Vi vurderer at årlig nominell sannsynlighet for at snøskred kan påvirke portalbygget er mindre enn 1/1000.

Brakkeområde: Vi vurderer at årlig nominell sannsynlighet for at snøskred kan påvirke brakkeområdet er større enn 1/1000, men mindre enn 1/100. Modellresultatene viser at faste skredmasser ikke vil nå inn i brakkeområdet, men vår skjønnsmessige faglige vurdering tilsier at skredvind kan medføre betydelig skade.

4.4 Jordskred

Jordskred er typisk forbundet med vannmettede løsmasser, og utløses som regel i skråninger brattere enn ca. 25° helning. I sjeldne tilfeller kan jordskred utløses i skråninger ned mot 20° helning. Jordskred kan opptre som kanaliserte og ikke-kanaliserte massebevegelser, som avsettes i tungeform der terrenget flater ut. Ved gjentatte hendelser kan det dannes vifter. Mindre jordskred kan også oppstå i slakere terreng med finkornet, vannmettet jord og leire, gjerne på dyrket mark eller i naturlig terrasseformede skråninger i terrenget. Grunne jordskred er særlig vanlige om våren, når jord eller leire kan gli oppå telen. Jordskred må ikke forveksles med kvikkleireskred. Denne utredningen berører ikke potensialet for kvikkleireskred.

4.4.1 Er jordskred aktuell prosess i påvirkningsområdet?

I påvirkningsområdet er det stedvis skråninger med noe løsmasse og som har helning over 20°. Faren for jordskred skal dermed utredes.

4.4.2 Utredning av løsneområde og løsnesannsynlighet

Figur 3.2-2 viser aktsomhetskartet for jord- og flomskred for hele påvirkningsområdet. Figur 4.4-1 viser et detaljert kartutsnitt med skyggerelieffkart avledet fra 1x1 m terrengmodell i kombinasjon med NVEs aktsomhetskart for jord- og flomskred. Kartene viser to mindre aktsomhetsområder for løsmasseskred langs Nivla, like vest for kartleggingsområdet. Det ene aktsomhetsområdet berører kartleggingsområdet like vest for planlagt portalbygg. Et større aktsomhetsområde er tilknyttet en bekk 500 m mot øst, et stykke opp i Gravdalen. Skyggerelieffkartet illustrerer godt områder som har lite eller ingen løsmasse. De løsmassefattige områdene trer godt frem i kartet ved at berggrunnstrukturer, som skrenter og rygger, ligger i dagen. Ortofoto og bakkefoto illustrerer godt at områdene med helning over 20° for det meste er svært løsmassefattige (Figur 2.1-1, Figur 2.1-2, Figur 3.5-1 og Figur 6.1-6). Områder med tykkere løsmasseavsetninger av morenemasse identifiseres ved avrundede morfologiske landformer, og finnes typisk i forsenkninger som trau, små dalsøkk og slake skråninger/sletter, som godt illustrert oppover Gravdalen i Figur 6.1-1 og Figur 6.1-2.

Tolkning av fotografier og skyggerelieffkart viser at NGUs løsmassekart (Figur 3.7-1) stedvis har feil anvisning av fordelingen av berg i dagen og moreneavsetninger. Den østvendte skråningen av Vadhaugane har til eksempel for det meste berg i dagen, men NGUs løsmassekart viser at det her skal være tynne moreneavsetninger. Det slake dalføret Gravdalen skal i henhold til NGUs løsmassekart bestå av bart fjell. Vår analyse viser at det er her moreneavsetningene befinner seg, i områder med helning for det meste under 15°. Områder med helning over 20°, har typisk skrint og usammenhengende løsmassedekke. Enkelte brattere skråninger har som avledet i kapittel 4.1 noe godt drenerte masser av ur og nedfallsmateriale.

Figur 4.4-1 viser aktuelle bekkeløp som drenerer i, eller ned mot kartleggingsområdet. Vedlegg – Dreneringsberegning viser beregnede vannveier i terrenget. Figur 4.4-1 viser et detaljert skyggerelieffkart over kartleggingsområdet og deler av påvirkningsområdet. Vi har ikke kunnet identifisere spor etter tidligere løsmasseskred, verken vifte- eller lobeformer eller levèer eller skredkanter i løsmassedekket. Bekkeløpet fra Gravdalen viser antydning til nedskjæring i løsmassedekket i områder med slak helning.

Med dagens tilgjengelige kunnskap er det ikke mulig å etablere en fast mal med terskelverdier for å anslå hvilke områder som skal defineres som løснеområder for jordskred innenfor de ulike aktuelle gjentakintervall. Det er derfor på generelt grunnlag knyttet stor usikkerhet til vurderingen av løsnestannsynlighet. I bransjeveilederen er det likevel foreslått at løsneområder i et 1000-års scenario skal defineres som løsmasseskråninger med helning over 30°, men med mulighet til å justere helning ned til 25° for områder med ugunstige forhold (dvs. partier der vann konsentreres inn mot potensielt lavpermeable løsmasser) som til eksempel morene. Det er ikke satt tilsvarende terskel for terrenghelning ved dimensjonerende 100-års scenario, men det er i bransjeveilederen likevel foreslått at løsneområder i et 100-års scenario skal defineres som løsmasseskråninger med helning over 35°, dersom det i tillegg er lite stabiliserende vegetasjon, konsentrasjon av overflatevann inn i skråningen, samt tegn på nylige skred/utglidninger. Forutsetningen for disse helningskriteriene er følgelig at det skal være løsmasser til stede.

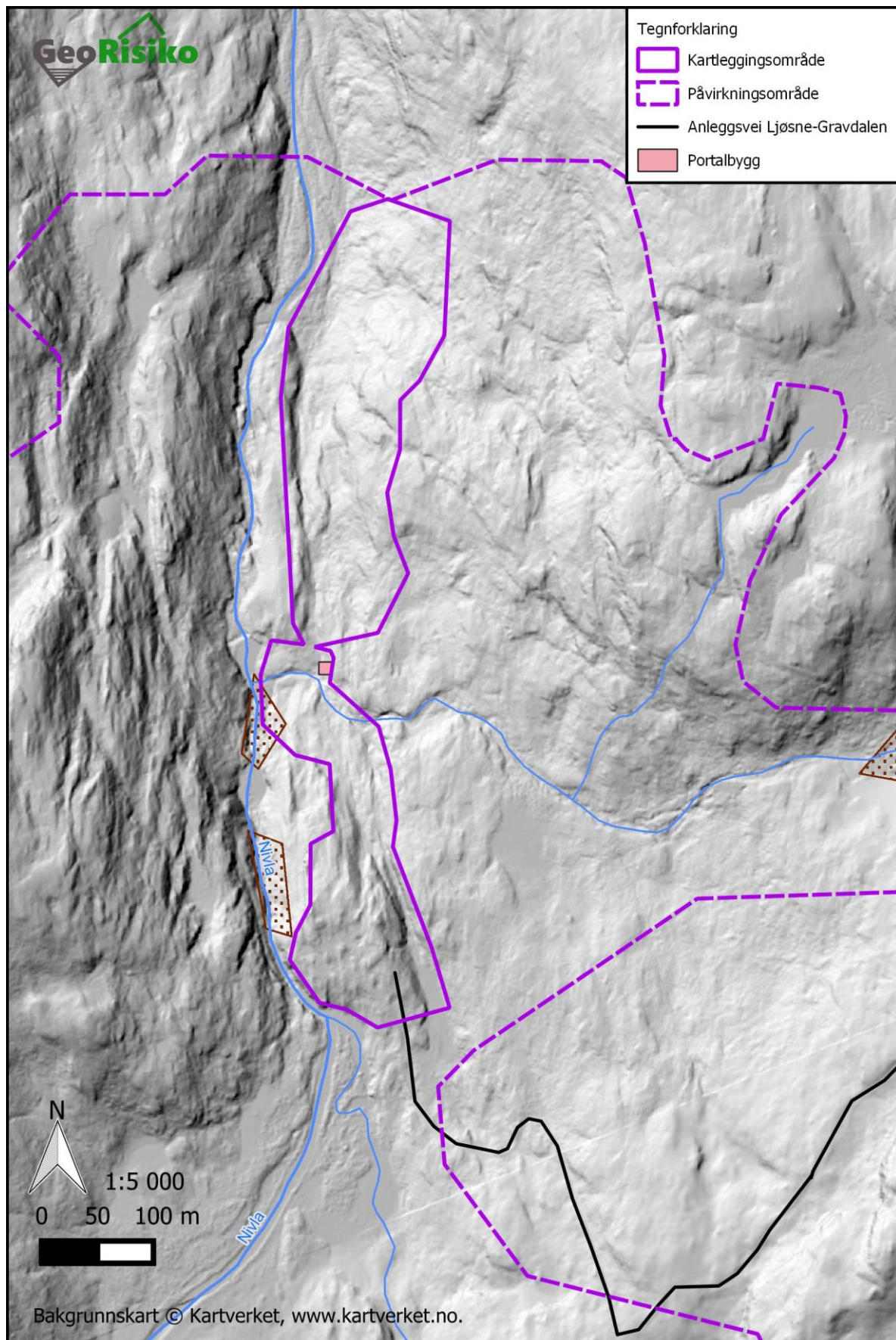
På bakgrunn av observasjoner av løsmassedekket's utbredelse, samt helnings- og dreneringsanalyse, har vi ikke klart å identifisere potensielle løsneområder for jordskred med en løsnestannsynlighet større enn 1/1000 som kan nå inn i kartleggingsområdet.

4.4.3 Utredning av utløp

Utløp er ikke utredet fordi løsnestannsynligheten er vurdert som mindre enn dimensjonerende 1/1000.

4.4.4 Når jordskred inn i kartleggingsområdet?

Vi vurderer at årlig nominell sannsynlighet for at jordskred kan påvirke kartleggingsområdet er mindre enn 1/1000.



Figur 4.4-1: Utsnitt av skyggerelieffkart avledet fra 1x1 m terrengmodell, samt overlag av NVEs aktsomhetssone for jord- og flomskred. Se tekst for beskrivelse.

4.5 Flomskred

Flomskred er et hurtig og vannrikt, flomlignende skred som typisk forekommer langs klart definerte elve- og bekkeløp, raviner, gjel eller skar der det vanligvis ikke er permanent vannføring.

Vannmassene kan rive løs og transportere store mengder løsmasser, større steinblokker, trær og annen vegetasjon i og langs løpet. Det høye vanninnholdet gjør at flomskred kan ha lang rekkevidde.

4.5.1 Er flomskred aktuell prosess i påvirkningsområdet?

Det er et bekkeløp, Gravdalsbekken, som stedvis er brattere enn 15° og som i varierende grad har løsmasser. Fare for flomskred utredes.

4.5.2 Utredning av løsneområde og løsnesannsynlighet

Utbredelsen av løsmassedekket og vurderingsgrunnlaget for tolkning av dette er redegjort for i kapittel 4.4.

Bekkeløpet til Nivla drenerer i en dyp og trang forsenkning i berg parallelt med kartleggingsområdet. Oppstrøms kartleggingsområdet i retning Dyrekollvatnet er helningen langs bekkeløpet >5°. Dette er for slak helning for dannelse av flomskred.

Hovedbekken i Gravdalen har også et overordnet slakt profil, der lange strekk har helning under 15°, men med kortere strekninger der helningen er opp mot 25°. Figur 6.1-3, Figur 6.1-4 og Figur 6.1-9 viser bilder av nedre del av bekkeløpet som kommer fra Gravdalen. Bekkeløpet består her med grove masser, hvorpå finmassene er utvasket, og en nedskjæring i fjellgrunn.

Vi har tidligere påpekt at Gravdalsbekken stedvis viser tegn til nedskjæring i løsmassedekket (tolket fra skyggerelieffkart), men at dette er i områder (kote 1230-1260) der helningen er langt under 15°. Det er ingen betydningsfulle tilførselskilder for løsmasser i de brattere partiene av bekkeløpet, som til eksempel steile bergskrenter eller lignende som overtid kan gi påfyll av løsmasse ved nedfallsprosesser.

Fra skyggerelieffkartet har vi ikke klart å identifisere tydelige eller svake terrengspor etter tidligere flomskred. Dersom Gravdalsbekken hadde hatt en historikk med flomskred etter siste istid, er det forventelig at det skulle forekommet tegn etter en løsmassevifte ned mot kartleggingsområdet, omtrent der Gravdalsbekken drenerer ned i Nivla. Dette indikerer at gjentakintervallet for flomskred historisk har vært svært lavt og mindre enn dimensjonerende 1/1000.

Til tross for at vi ikke har befart området under barmarksforhold, er vi sikre på at løsnesannsynligheten for flomskred, som kan nå kartleggingsområdet, er vesentlig mindre enn 1/1000.

4.5.3 Utredning av utløp

Utløp er ikke utredet fordi løsnesannsynligheten er vurdert som mindre enn dimensjonerende 1/1000.

4.5.4 Når flomskred inn i kartleggingsområdet?

Vi vurderer at årlig nominell sannsynlighet for at flomskred kan påvirke kartleggingsområdet er mindre enn 1/1000.

4.6 Sørpeskred

Sørpeskred oppstår i vannmettede snømasser forårsaket av intens snøsmelting og/eller kraftig regnvær. En nyere studie viser at sørpeskred typisk utløses i bekkeløp (50 %), men også i forsenkninger (22 %) og åpne skråninger (20 %) (NVE 2021a). Det er også vist at sørpeskred kan dannes i utløpet av snødemte vann (overvann), myrer eller ved at snøskredavsetninger demmer opp

vassdrag. Sørpeskred er en flytende strøm av snø og vann (minst 15 % vann), som beveger seg langs forsenkninger i terrenget. Sørpeskred kan nå langt selv i slakt terreng. Grovkornet snø og nysnø er kjent for å gi bedre betingelser for sørpeskred enn fast vindtransportert snø. Sørpeskred har stort skadepotensial pga. høy tetthet og store skredhastigheter.

4.6.1 Er sørpeskred aktuell prosess i påvirkningsområdet?

I nasjonal skredatabase er det ingen registrerte sørpeskred i påvirkningsområdet. Det er heller ingen registrerte sørpeskred i relevant sideterreng, som til eksempelvis i Råsdalen eller Lærdalen. Sørpeskred er likevel en relativt velkjent skredtype på Vestlandet, og vi vet at sørpeskred er svært underrapportert eller feilregistrert som snøskred.

Nivla og Gravdalsbekken danner begge opplagte terrengforsenkninger i påvirkningsområdet, og som kan samle vann i snødekket. Terrengforholdene legger dermed til rette for sørpeskred. Sørpeskred er aktuell prosess i påvirkningsområdet og utredes.

4.6.2 Utredning av løsneområde og løsnesannsynlighet

Sørpeskred er en skredtype som forventes å forekomme hyppigere i et forventet varmere og våtere klima på Vestlandet (Norsk Klimaservicesenter 2017b). Det er likevel ikke mulig etter dagens metodikk å kvantifisere effekten med pålitelige klimapåslag (NVE 2020). Kraftig regnvær er bare én av flere faktorer som må inntreffe samtidig for at sørpeskred kan løses ut. I februar 1928 ble Vestlandet og Sørlandet rammet av en rekke sørpeskred der til sammen ca. 50 personer omkom, i tillegg til betydelige skader på infrastruktur. Sørpeskredene ble dannet som følge av stort snøfall, etterfulgt av værømslag til mildvær og regn.

Påregnelig 3-døgnsnedbør med 1000 års gjentakintervall er 171 mm (om vinteren). Påregnelig 3-døgns ekstremnedbør med 100 års gjentakintervall er 129 mm. Den årlige, maksimale gjennomsnittlige snødybde er noe over 200 cm for normalperioden 1991-2020 og maks målt snødybde er 362 cm (1989). Vi er godt kjent med at det ikke så sjelden forekommer raske værømslag, fra snøvær til regnvær høyt til fjells.

Oppsummert indikerer dette at de klimatiske betingelsene i regionen legger til rette for sørpeskreddannelse. Utløsning av sørpeskred er likevel et komplekst samspill av terreng- og dreneringsforhold, egenskapene i snødekket forut for mildværet, samt værforholdene ved den enkelte skredhendelse. Det er altså en rekke sjeldne betingelser som må inntreffe samtidig. Dette er årsaken til at et stort antall sørpeskredhendelser knyttet til samme vær-situasjon gjerne bare inntreffer med 20-30 års mellomrom i Norge.

Vurderingen av potensielle løsneområder og løsnesannsynlighet for sørpeskred i skredløp uten kjent historikk, må baseres på en skjønnsmessig totalvurdering av terreng- og klimaforhold. Området er kjent for middels store nedbørmengder, og raske værømslag om vinteren.

Bekkeløpene Nivla og Gravdalsbekken har begge to et stort nedslagsfelt, og har terrengkarakteristikker som kan legge til rette for sørpeskred. Det forekommer her en rekke terrengutflatinger hvor vann kan ansamles i snødekket. Mulige løsneområder for sørpeskred som potensielt kan nå inn i kartleggingsområdet er vist i Vedlegg – Registreringskart. De aktuelle løsneområdene er også vist tabellarisk i Tabell 4.6-1, med spesifikke beskrivelser av karakteristikk, og en vurdering av løsnesannsynlighet for skred som kan nå kartleggingsområdet.

Tabell 4.6-1: Tabellarisk oversikt av potensielle løснеområder for sørpeskred som kan nå inn i kartleggingsområdet (KO), med beskrivelse og kvalitativ vurdering av løsnestannsynlighet.

Navn	Beskrivelse	Årlig løsnestannsynlighet for skred inn i KO
Sorpe1a	Mindre tjern og myrområde ved kote 1300 med sidebekk som drenerer mot sørvest og ned i Gravdalsbekken ved kote 1225. Tjernet og bekkeløpet ligger hovedsakelig i lo for dominerende vindretning, som medfører at løснеområdet har tynt snødekke. Lite nedslagsfelt.	<1/1000
Sorpe2a	Nedre potensielle løснеområde i dreneringskanalen Gravdalen, kote 1280.	>1/100*
Sorpe2b	Midtre potensielle løśnieområde i dreneringskanalen Gravdalen, kote 1325.	>1/500*
Sorpe2c	Øvre potensielle løøgneområde i dreneringskanalen Gravdalen, 1430.	>1/1000*
Sorpe3a	Elvedeltaet like oppstrøms KO, kote 1206. Kan demmes opp av pålagret snø i den trange dalen/passasjen som Nivla drenerer gjennom. Vil i svært liten eller ingen grad kunne medføre skade i KO, bortsett fra det åpnere området ved bekkeinntaket.	<1/1000
Sorpe3b	Dyrkollvatnet ved kote 1210. Snøskred fra løøgneområde Sno3a (Figur 4.3-1) kan i tillegg avspærre utløpet av Dyrkollvatnet, og på en slik måte bidra til oppdemming av overflatevann på Dyrkollvatnet som igjen øker sannsynligheten for plutselig drenering av vann og snøsørpe.	<1/100 - >1/1000
Sorpe3c	Tjern og bekkeløp ved kote 1265, som drenerer mot vest, deretter mot nord og inn i Nivla like ved sørlige del av KO.	<1/100 - >1/1000
Sorpe4a	Vannet vest av Vadhaugane, kote 1236, drenerer mot nord. For at sørpeskred herfra skal kunne forekomme må sekundæreffekt inkluderes; dvs. et stort snøskred som treffer vannet kan knuse isen og danne en flodbølge som sender vann mot øst og ned i KO.	<<1/1000 - >1/5000

* Hele Gravdalsbekken utgjør mulige løøgneområder for sørpeskred. Jo høyere opp i Gravdalen jo større utbredelse må et sørpeskred ha for å kunne nå inn i kartleggingsområdet. Dette er gjenspeilet i vurderingen av årlig nominell løgnestannsynlighet.

4.6.3 Utredning av utløp

Sørpeskred er, i likhet med flomskred, styrt av høyt vanninnhold, og skredmassenes flytbevegelser følger typisk bekkeløp eller andre forsenkninger i terrenget. Kartlagte løøgneområder for sørpeskred ligger i dreneringskanaler med overordnet svært lavt relieff både på tvers og på langs av løpene. Det er likevel opplagt at flytbevegelser av sørpeskred må følge omtrent samme dreneringsløp som bekkene.

For å bedre kunne vurdere flytbevegelser og skredutbredelse av sørpeskred, har vi utført dynamisk modellering i programvaren RAMMS:: Debrisflow (Christen et al. 2017). Det finnes i dag ikke modelleringsverktøy tilpasset sørpeskred, men det er i bransjen allmenn praksis å bruke flomskredmodulen i RAMMS og med friksjonsparametrene som er tilpasset sørpeskred. I modellering av sørpeskred har vi benyttet NVEs, anbefalte metodikk og friksjonsparametre (NVE 2021b).

Som terrenggrunnlag i simuleringene er det benyttet en terrengmodell med 5x5 m horisontal oppløsning. Vi har også testet simulering med 2x2 m og 10x10 m, men basert på resultater vurderer vi at 5x5 m terrengmodell gir mest realistisk med tanke på gjennomsnittlig ruhet gjennom en vinter med varierende snøhøyde. Det er benyttet friksjonsparametre $\mu=0,05$ og $\xi=4000 \text{ m/s}^2$, og skredmassetetthet er satt til 1000 kg/m^3 . Vi har brukt 5 % «stop parameter» i simuleringen. Det er benyttet «block release». Erosjon i skredløpet, dvs. meddriving, er inkludert i modellen ved bruk av erosjonsmodulen og NVEs anbefalte parametre for erosjon (NVE 2021b).

Simuleringene er kjørt med beregningstekniske utløgningsområder, som ikke nødvendigvis samsvarer med det vi antar er de mest realistiske utløgningsområdene og slik de er tegnet i registreringskartet. RAMMS::Debrisflow modellen krever noe helning for å starte flytbevegelsen i fallinjen. For å unngå

urealistiske sideveis flytbevegelse er de beregningstekniske utløsningsområdene flyttet opp- eller nedstrøms i dreneringsløpet, til et område med større helning.

Uten kjente sørpeskredhendelser, eller terrengspor etter sørpeskred, er det følgelig vanskelig å anslå realistiske skredvolum for sørpeskred med 100 års og 1000 års gjentaksintervall. Vi har derfor kjørt simuleringer med ulike volum for å bedre forstå flytbevegelser, skredhastigheter og skredutbredelse ned mot og inn i kartleggingsområdet. Når det settes en bruddhøyde for det enkelte utløsningsområde i RAMMS, er det opplagt at utløsningsområdets overflateareal er avgjørende for simulert skredvolum.

Vi har ikke utredet potensielle utløp for løsneområder hvor årlig løsnesannsynlighet er vurdert til å være mindre enn 1/1000 (Tabell 4.6-1). Dette gjelder da løsneområdene Sorpe1a, Sorpe3a og Sorpe4a. Det er likevel verdt å nevne at Sorpe1a opplagt drenerer ned i dreneringsløpet til Gravadalbekken (løsneområder Sorpe2a-c), som vil være dimensjonerende. Det er videre også opplagt at sørpeskred utløst fra Sorpe3a-c vil følge Nivla, og dermed ikke kunne påvirke f.eks. kollen der det er planlagt brakkerigger.

Løsneområdene Sorpe2a, Sorpe2b og Sorpe2c, ligger alle i det samme dreneringsløpet i Gravadalbekken. I simuleringene av sørpeskredutbredelse har vi kun kjørt beregninger fra et løsneområde, Sorpe2b, som ligger i midtre del av Gravadalens dreneringsløp.

Vi har kjørt et par dusin ulike simuleringer med ulike oppløsninger og utløsningsvolum, og presenterer her fire ulike modellresultater som vi vurderer kan være representative for ulike scenarier for løsneområdene Sorpe2b og Sorpe3c. I modellresultatene som vises er det kun utløsningsvolum/bruddkanthøyde som varierer, og terrengmodellens oppløsning og friksjonsparametere er ellers like. Tabell 4.6-2 viser initialvolum, løsneareal (i kartplan) for de fire ulike modellene 1-4, og modellresultatene er vist i henholdsvis Figur 4.6-1, Figur 4.6-2, Figur 4.6-3 og Figur 4.6-4.

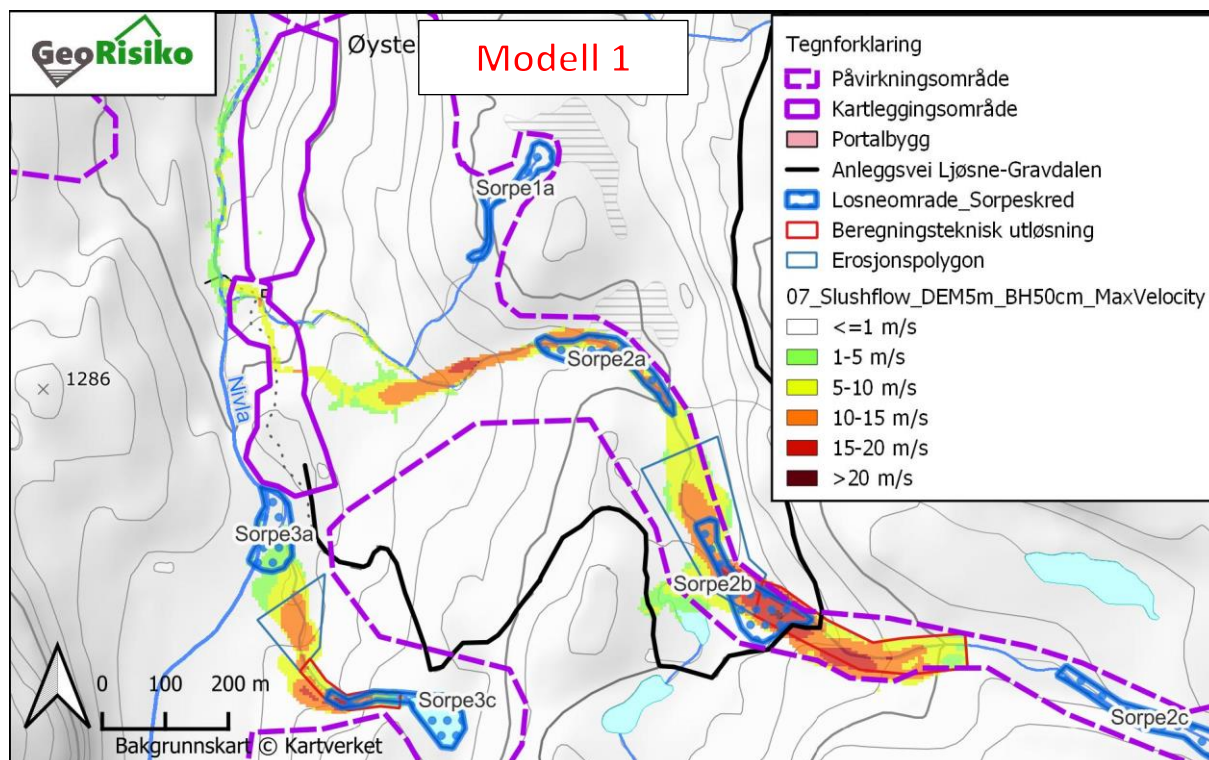
Modellresultatene viser at:

- Alle sørpeskred utløst i Gravadalbekken, uavhengig av skredvolum, vil ved kote 1240 flyte rett frem i sørvestlig retning og ikke følge bekkeløpet som dreier mot nordvest.
- Alle modellene viser at sørpeskred utløst i Gravadalbekken vil gå inn i kartleggingsområdet, i området mellom brakkerigg og massedeponi, dvs. i området for planlagte portalbygg og like mot sør.
- Modell 1 viser skredhastigheter 5-10 m/s i kartleggingsområdet. Modell 2 viser skredhastigheter 10-15 m/s i kartleggingsområdet. Modell 3 viser skredhastigheter 15-18 m/s i kartleggingsområdet og tett på planlagte plassering av portalbygg. Modell 4 viser skredhastigheter 20-22 m/s i kartleggingsområdet tett inn mot planlagte plassering av portalbygg.
- Skred fra Sorpe3c påvirker ikke kartleggingsområdet, da skredet brer seg utover den store elvesletta mellom Dyrkollvatnet og kartleggingsområdet.
- Modell 4 (stort sørpeskred) viser skredhastigheter mellom 10 m/s og 15 m/s i den sørvestlige delen av planlagte massedeponi.

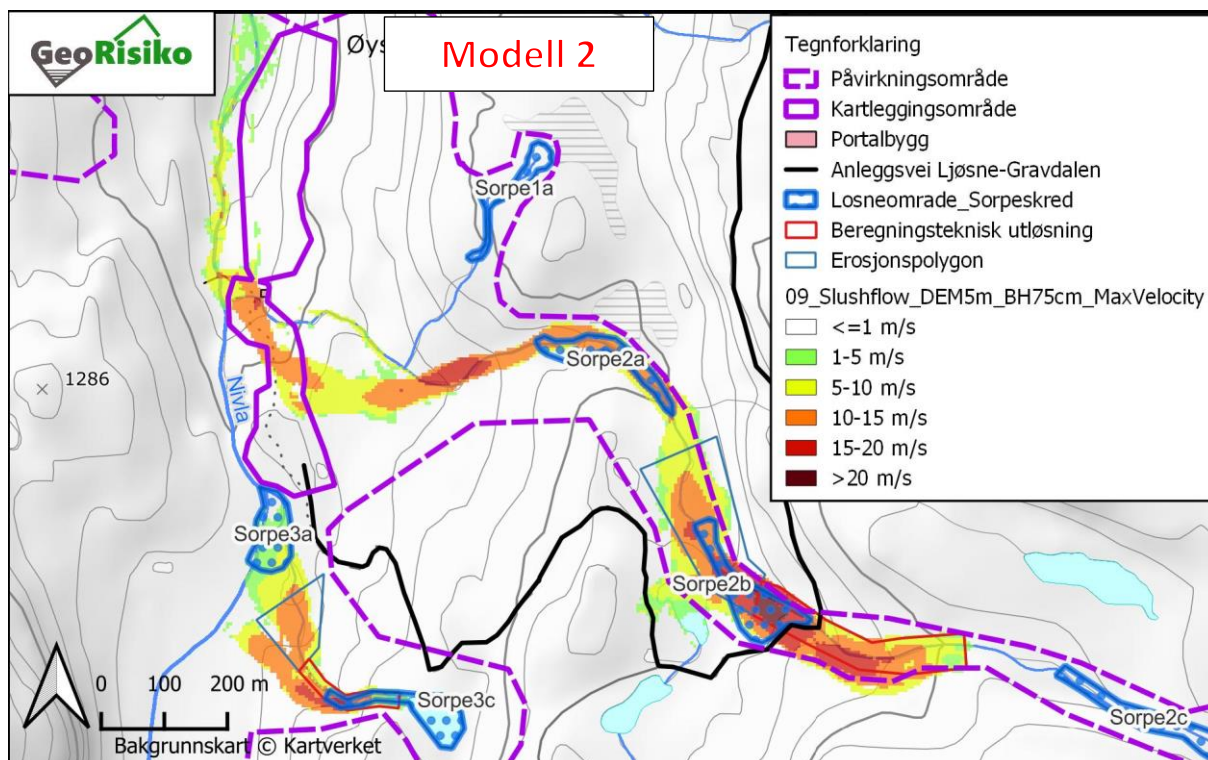
Det presiseres at faresonerer for sørpeskred er fastsatt ut fra en samlet faglig vurdering fra skjønn og erfaring, og ikke absolutt fra modellresultater.

Tabell 4.6-2: Oversikt over simulerte skredvolum per løsneområde for ulike bruddhøyder (BH) fra 50 cm til 200 cm.

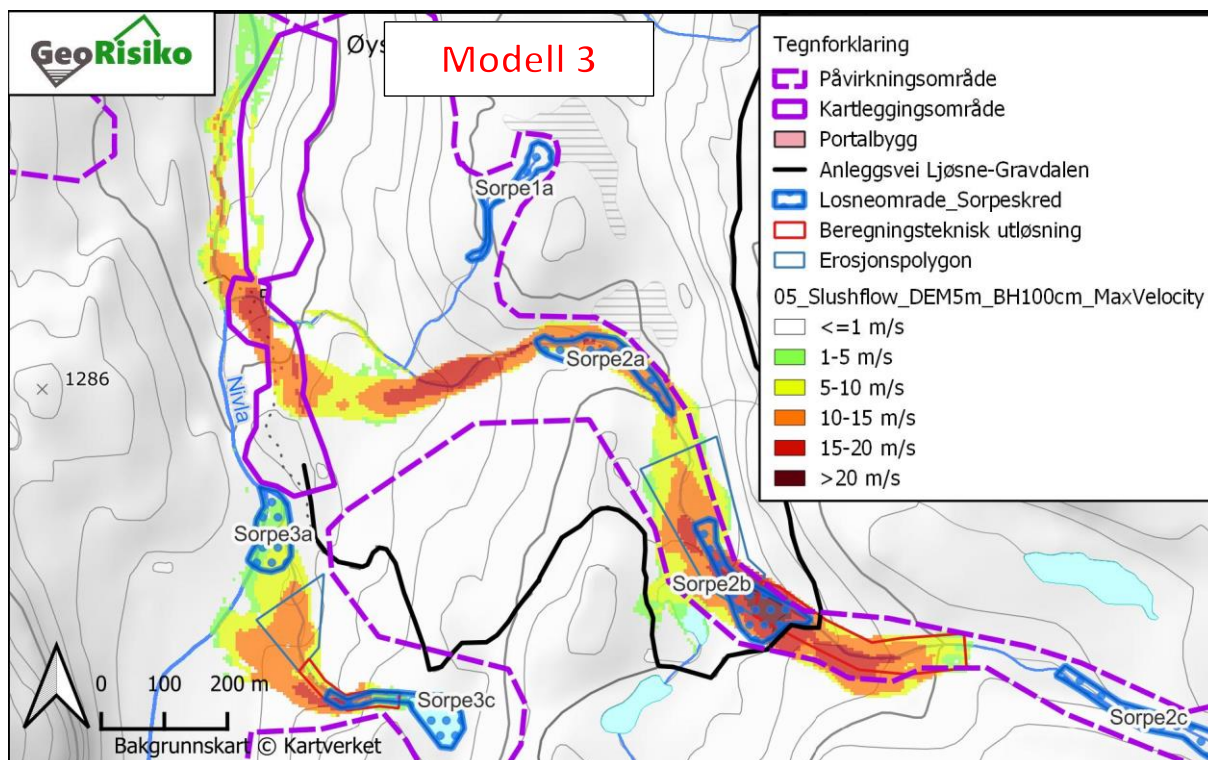
Løsneområde nr.	Modell 1, BH50cm		Modell 2, BH75cm		Modell 3, BH100cm		Modell 4, BH200cm	
	Initial (m³)	Areal (m²)	Initial (m³)	Areal (m²)	Initial (m³)	Areal (m²)	Initial (m³)	Areal (m²)
Sorpe2b	9 725	18 584	14 590	18 584	19 450	18 584	38 900	18 584
Sorpe3c	2 220	4 116	3 330	4 116	4 440	4 116	8 880	4 116



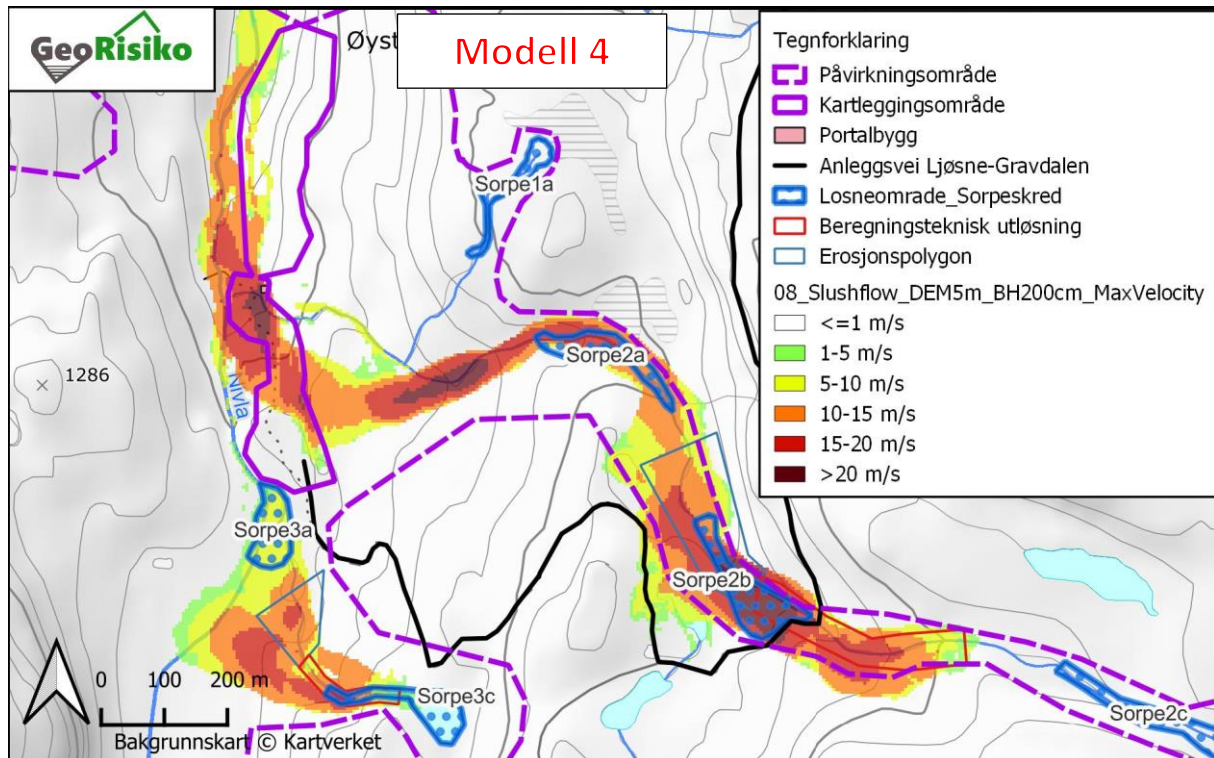
Figur 4.6-1: Modellresultater som viser simulert flytbevegelse og hastighet av sørpeskred fra beregningstekniske utløsningsområder for Sorpe2b og Sorpe3c med 50 cm bruddhøyde.



Figur 4.6-2: Modellresultater som viser simulert flytbevegelse og hastighet av sørpeskred fra beregningstekniske utløsningsområder for Sorpe2b og Sorpe3c med 75 cm bruddhøyde.



Figur 4.6-3: Modellresultater som viser simulert flytbevegelse og hastighet av sørpeskred fra beregningstekniske utløsningsområder for Sorpe2b og Sorpe3c med 100 cm bruddhøyde.



Figur 4.6-4: Modellresultater som viser simulert flytbevegelse og hastighet av sørpeskred fra beregningstekniske utløsningsområder for Sorpe2b og Sorpe3c med 200 cm bruddhøyde.

4.6.4 Når sørpeskred inn i kartleggingsområdet?

Vi vurderer at årlig nominell sannsynlighet for at dimensjonerende sørpeskred kan påvirke kartleggingsområdet er større enn 1/100. Det er tegnet faresoner for sørpeskred i området fra planlagte portalbygg og 200 m mot sør, samt i deler av massedeponiområdet.

4.7 Hva er den samlede skredfaren?

Kartleggingsområdet ligger lavt i terrenget i Gravdalen. Det er potensielle og reelle løsneområder for skred i østlig og sørøstlig retning, men også mot sørvestlig og vestlig retning. Utredningen av faren for skred har dermed vært omfattende og kompleks. Noen av løsneområdene ligger langt fra kartleggingsområdet, men skredbanene har stedvis et fallprofil som muliggjør til dels lange utløp.

I den nordlige del av kartleggingsområdet, i området for planlagt massedeponi, har vi påvist uravsetninger under noen små steile bergskrenter som ligger i selve kartleggingsområdet. Det er opplagt at årlig nominell sannsynlighet for steinsprang er større enn 1/100. Rekkevidden av steinsprang med dimensjonerende 100 års gjentakintervall er til urfot. Den samme bratte skråningen har stedvis store pålagringer av snø på observasjonstidspunktet. I tillegg er det potensielle løsneområder for snøskred høyere i terrenget, som vi vurderer kan danne snøskred inn i kartleggingsområdet. Årlig nominell sannsynlighet for at snøskred kan nå inn i massedeponiområdet er antatt svært høy, trolig stedvis mellom 1/1 og 1/5. Den samlede årlige nominelle sannsynlighet for at skred kan påvirke massedeponiområdet er dermed langt over 1/100. Store sjeldne sørpeskred med årlig nominell sannsynlighet større enn 1/1000, men mindre enn 1/100, kan også påvirke lavtliggende områder av massedeponiområdet.

I området for planlagt portalbygg for Gravdalen kraftstasjon er sørpeskred eneste aktuelle skredtype. Vi vurderer at sørpeskred kan påvirke portalbygget med årlig nominell sannsynlighet noe større enn 1/100. Det er tegnet en faresone 1/1000 og 1/100 for hele den nordvestvendte skråningen som går i retning bekkeinntaket like vest og sør for planlagte portalbygg.

I den sørlige del av kartleggingsområdet er det planlagt oppføring av brakker i utbyggingsfasen. Området er en veldefinert kolle som ligger opp mot 15 m høyere i terrenget, med veldefinerte smådaler omkring. Vi vurderer at skredvind fra store sjeldne snøskred fra sørvest kan påvirke brakkeriggområdet med en årlig nominell sannsynlighet større enn 1/1000, men mindre enn 1/100.

Steinskred er ikke aktuell prosess. Jordskred og flomskred er aktuelle prosesser, men det er vurdert at løsnessannsynligheten for at disse skredtypene kan nå inn i kartleggingsområdet er mindre enn dimensjonerende 1/1000.

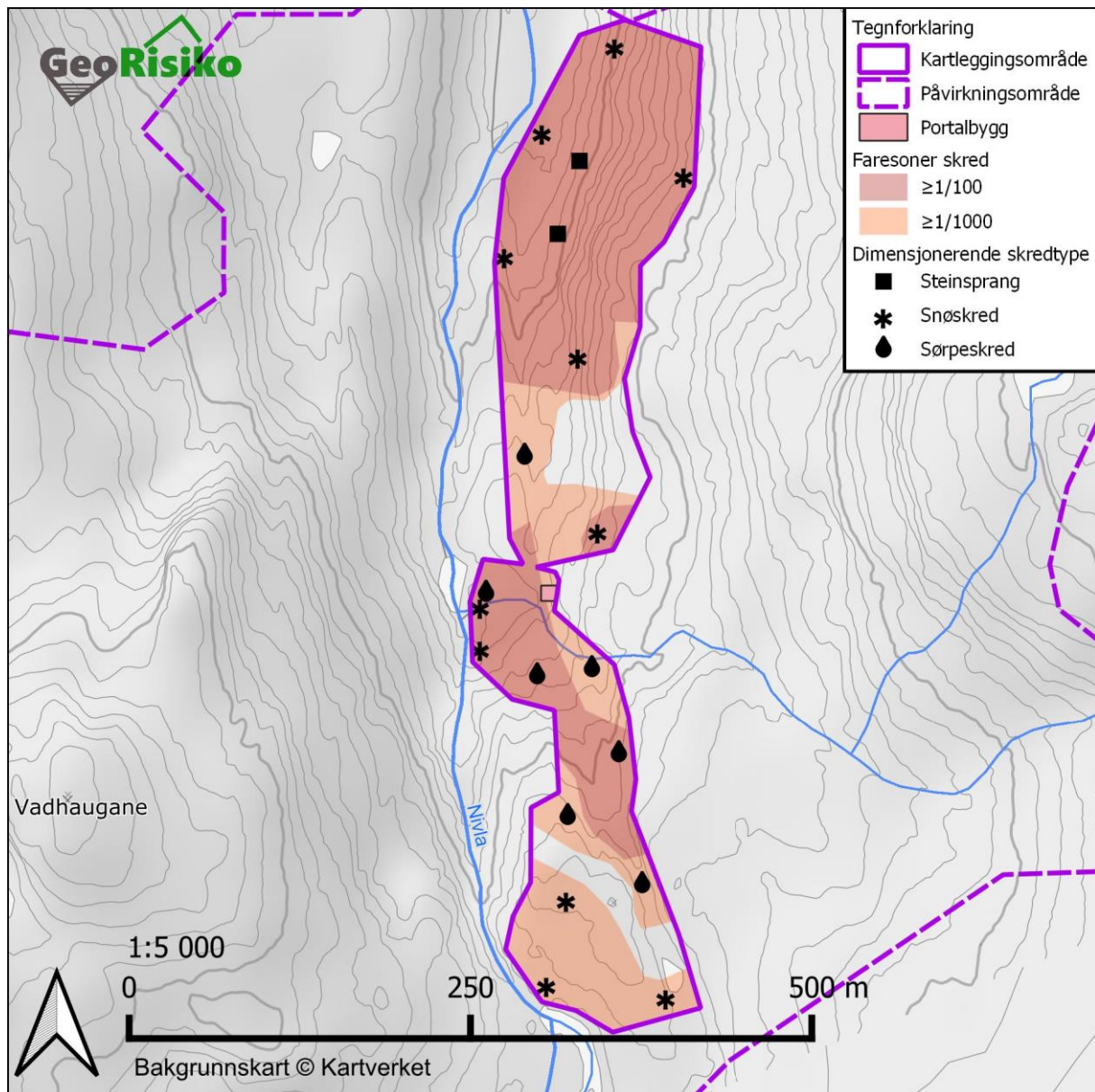
Faresoner for skred større eller lik 1/100 og 1/1000 er tegnet i kart og vist i Figur 4.7-1 og Vedlegg – Faresoner.

Massedeponiområdet skal tilfredsstille krav til sikkerhet mot skred i sikkerhetsklasse S1 (1/100). Både steinsprang og snøskred kan dermed, til hver sin årstid, påvirke massedeponiet. Verken steinsprang eller snøskred kan etter vår vurdering medføre «betydelig skade» i driftsfasen av Gravdalen kraftverk. I byggefasen derimot kan både steinsprang og snøskred medføre skade, da først og fremst på maskiner og personell.

Portalbygget skal tilfredsstille krav til sikkerhet mot skred i sikkerhetsklasse S2 (1/1000). Som nevnt over er det vurdert at dimensjonerende sørpeskred kan påvirke portalbygget med en årlig sannsynlighet 1/1000. Polygonet vi er tilsendt som viser plasseringen av portalbygget er også delvis innenfor faresonen for skred med årlig sannsynlighet større enn 1/100.

Brakkeriggområdet ligger delvis innenfor faresonen for dimensjonerende snøskred (skredvind) med årlig sannsynlighet større enn 1/1000.

Det er dermed store arealer av kartleggingsområdet (arealbruksplanen) som er berørt av faresoner for skred med årlig sannsynlighet større enn 1/1000 og 1/100.



Figur 4.7-1: Kartutsnitt som viser faresone for dimensjonerende steinsprang, snøskred og sørpeskred med årlig nominell sannsynlighet for skred større eller lik 1/1000 (dvs. sikkerhetsklasse S2) og større eller lik 1/100 (dvs. sikkerhetsklasse S1).

4.8 Mulige sikringstiltak

På generelt grunnlag er det mulig å redusere utstrekningene av faresoner dersom det etableres fysiske og permanente sikringstiltak. Vi vurderer imidlertid at det finnes sikringstiltak som muliggjør at det kan og bør skilles mellom byggefasen og driftsfasen av Gravdalen kraftverk.

4.8.1 Foreslåtte sikringstiltak i driftsfasen

I driftsfasen skal massedepoiet ikke kunne påføres betydelig skade fra steinsprang eller snøskred. Vi vurderer at steinsprang ikke kan medføre betydelige skade eller medføre vesentlig ustabilitet i de deponerte massene. Om vinteren vil hele eller deler av massedepoiet være nedsnødd og trolig i stor grad frosset. I denne rapporten vurderer vi ikke stabilitet av selve massedepoiet, men vi anbefaler likevel og på generelt grunnlag at det etableres tilstrekkelig drenering for overflatevann langsmed og under massene. Se også kapittel 4.11.

Portalbygget er planlagt oppført i betong (S. Halveg/Hywer AS pers.com.). Dersom portalbygget dimensjoneres og utformes i henhold til dimensjonerende laster og flyte høyder fra sørpeskred med 1000 års gjentakintervall hastigheter, mener vi at kravet til sikkerhet mot skred kan oppfylles. Portalbygget bør prosjekteres i samråd med byggt teknisk og skredteknisk kompetanse. Det må til eksempel ikke plasseres vinduer, inngangsdører eller lufteventiler på støtsiden for skred, dvs. mot sør, sørøst eller øst.

4.8.2 Sikringstiltak i byggefasen

Dersom planlagte portalbygg oppføres i sommerhalvåret når det ikke er fare for sørpeskred er det ikke behov for sikringstiltak i byggefasen.

Massedeponiområdet og brakkeriggområdet kan tilfredsstille krav til sikkerhet mot skred dersom det utarbeides planverk for stedsspesifikk skredbanevarsling for løснеområdene Sno1a, Sno1b, Sno2a, Sno2b, samt Sno3b. Skredbanevarsling kan kombineres med tiltak og rutiner som styrer ferdsel, og eventuell evakuering i perioder med høy snøskredfare. I tillegg kan det etableres rutiner for forebyggende snøskredkontroll i overnevnte løśnieområder for skred. I denne sammenhengen er det da avgjørende at skredkontroll utføres som et forebyggende tiltak, som innebærer at snøskred utløses kontrollert og tilstrekkelig ofte til at snøskred aldri kan bli store nok til å medføre betydelig skade.

Et alternativ til stedsspesifikk skredvarsling og skredkontroll for brakkeriggområdet, vil være å etablere en voll eller mur som beskytter brakkeriggområdet for skredvind. Vollen må være tilstrekkelig lang og høy og hindre skade på brakker mot skredvind fra sørvest. Det innebærer at vollen må være noe høyere enn høyde til brakker. Vollen må prosjekteres av skredsakkyndige.

For å sikre personell og maskiner mot steinsprang i massedeponiområdet kan det innføres rutiner og instruksjoner for ferdselstiltak, som hindrer langvarig opphold under kildeområder for blokknedfall.

4.9 Avvik fra tidligere skredfarevurderinger

Vi er ikke kjent med at det foreligger tidligere utførte og relevante skredfareutredninger som er i henhold til NVEs veileder for skredfareutredning i byggesaker (NVE 2020). Nærmeste relevante skredfareutredning er i Lærdalen, som del av den statlige kartleggingen av skred i bratt terreng (NVE 2016).

Andre aktuelle rapporter vi er kjent med, men som ikke direkte er relevante:

- Skredfarevurdering av anleggsveier i Lærdal, herunder anleggsveien til Kvevotni som går gjennom østlige del av påvirkningsområdet i foreliggende vurdering (NGI 2023).
- Grunnlagsdokument for stedsspesifikk snøskredvarsling og forebyggende snøskredkontroll langs anleggsveien mellom Ljøsne og Gravdalen kraftverk, inklusive kartlegging og dynamisk simulering av dimensjonerende snøskredstørrelser av samtlige snøskredbaner langs veien, samt ROS-analyse (GeoRisiko 2024).

4.10 Stedsspesifikk usikkerhet

Påvirkningsområdet er stort, og terrengforholdene er slik at det ikke har latt seg gjøre å undersøke hele området i detalj. Det kan derfor være forhold som ikke er avdekket. Kartleggingsområdet og nedre del av påvirkningsområdet langs skråningsfoten er relativt oversiktlig og etter vår vurdering tilstrekkelig inspisert etter dagens metodikk og hjelpemidler.

Det påpekes at GeoRisiko AS ikke har vært på befaring under barmarksforhold. Dette svekker vurderingsgrunnlaget på generelt grunnlag, særlig for vurderingen av løsnensannsynlighet og rekkevidde av steinsprang. Vi vurderer likevel at grunnlaget for vurderingen står seg, da det er brukt

inngående tid på innhenting og analyse av tilgjengelige bilder og ortofoto. I tillegg har vi inkludert beskrivelser av omtrentlig samtlige brattskrenter slik identifisert fra helningskart med 1x1 m horisontal oppløsning. Vurderingen av steinsprang fremstår dermed noe konservativ. Det har følgelig heller ikke vært mulig å studere løsmassedekket in-situ, men fraværet av terrengspor etter løsmasseskred ned mot og inn i kartleggingsområdet på detaljerte skyggerelieffkart gjør at vi er sikre på at sikkerhetskravene er oppfylt i henhold til beskrivelsen i NVEs veileder for jordskred og flomskred (NVE 2020).

4.11 Forbehold

Utredningen av skredfare er utført på bakgrunn av terrenget slik det var under befaringen, på ortofoto og fra kotegrunnlag. Dersom terreng-, skog- og dreneringsforholdene endrer vesentlig karakter, f.eks. ved anleggelse av vei og stier, kan det ha betydning for skredforholdene. Da anbefales det å gjøre en ny vurdering av skredfaren. Dersom det kommer ny og viktig informasjon om skredhendelser som kan ha betydning for skredfaren ved kartleggingsområdet, anbefales det også å gjøre en ny vurdering.

Denne vurderingen omhandler ikke geotekniske stabilitetsforhold av deponerte masser, som kan oppstå som følge av setninger eller andre hydrologiske forhold som til eksempel er knyttet til flom eller overvann.

5 Referanser

- Christen, M., P. Bartelt, Y. Bühler, Y. Deubelbeiss, M. Salz, M. Schneider, and L. Schumacher. 2017. "RAMMS::DEBRISFLOW User Manual v1.7.0." 104.
- Christen, M., J. Kowalski, and P. Bartelt. 2010. "RAMMS: Numerical Simulation of Dense Snow Avalanches in Three-Dimensional Terrain." *Cold Regions Science and Technology* 63:1–14.
- DiBK. 2019. "Byggeteknisk Forskrift (TEK17) Med Veiledning § 7-3." Retrieved (<https://dibk.no/byggereglene/byggeteknisk-forskrift-tek17/7/7-3/>).
- Dorren, L. K. .. 2016. *Rockyfor3D (v5.2) Revealed – Transparent Description of the Complete 3D Rockfall Model*.
- EAWS. 2020. "Classification of Avalanche Size." Retrieved (<https://www.avalanches.org/standards/avalanche-size/>).
- GeoRisiko. 2024. *Grunnlagsdokument for Håndtering Av Snøskredfare, Gravdalen Kraftverk, Lærdal Kommune*.
- Håland, Gunne, Knut Inge Orset, Martine H. Frekhaug, and Harald Norem. 2015. *Sammenligning Av Modelleringsverktøy for Norske Snøskred*. Vol. 107.
- Kartverket. 2021. "FKB-Laser 2.0 Og FKB-Laser 3.0." Retrieved (<https://hoydedata.no/LaserInnsyn/>).
- Maging, F., B. Etzelmuller, S. Westermann, K. Isaksen, P. Hilger, and R. L. Hermanns. 2019. "Permafrost Distribution in Steep Rock Slopes in Norway: Measurements, Statistical Modelling and Implications for Geomorphological Processes." *Earth Surface Dynamics* 7:1019–40.
- Multiconsult. 2015. *Gravdalen Kraftverk*.
- NGI. 2020. *NVE Ekstern Rapport Nr. 24/2020. Uttesting Av Eksisterende Metodikk for Modelling Av Steinsprang*. edited by K. Mo and H. Hefre. NVE.
- NGI. 2023. *Østfold Energi, Skredvurdering Vegar Indre Sogn (20230326-01-R)*.
- NGU. 2020a. "Berggrunnskart, Nasjonal Berggrunnsdatabase." Retrieved (<http://geo.ngu.no/kart/berggrunn/?Box=-752688:6427000:1783288:7965000>).
- NGU. 2020b. "Kvartærgeologisk Løsmassekart, Nasjonal Løsmassedatabase." Retrieved (<http://geo.ngu.no/kart/losmasse/>).
- Norsk Klimaservicesenter. 2017a. *Klimaprofil Sogn Og Fjordane*.
- Norsk Klimaservicesenter. 2017b. *Klimaprofiler*.
- NVE. 2016. *Rapport Nr 21-2016 Skredfarekartlegging i Lærdal Kommune*.
- NVE. 2020. "Veileder for Utredning Av Sikkerhet Mot Skred i Bratt Terreng - i Reguleringsplan Og Byggesak." Retrieved (<https://www.nve.no/veileder-skredfareutredning-bratt-terreng/>).
- NVE. 2021a. *Ekstern Rapport Nr. 8/2021 FOU 80606 - Identifisering Av Løsneområder for Sørpeskred*. NVE.
- NVE. 2021b. *Ekstern Rapport Nr. 9/2021: Bruk Av RAMMS::DEBRISFLOW På Kjente Sørpeskredhendelser*.
- NVE. 2023a. "AV-Klima." Retrieved (<https://nve-av-klima.azurewebsites.net/>).
- NVE. 2023b. *NVE Ekstern Rapport Nr. 24/2023: Nye Aktsomhetskart for Snøskred i Norge*.

NVE. 2024. "NVE Atlas." Retrieved (<https://atlas.nve.no/Html5Viewer/index.html?viewer=nveatlas#>).

Perla, R. I. 1977. "Slab Avalanche Measurements." *Canadian Geotechnical Journal* 14(2):206–13.

6 Vedlegg

Vedlegg - Bilder

Vedlegg – Helningskart

Vedlegg – Dreneringsberegning

Vedlegg – Registreringskart

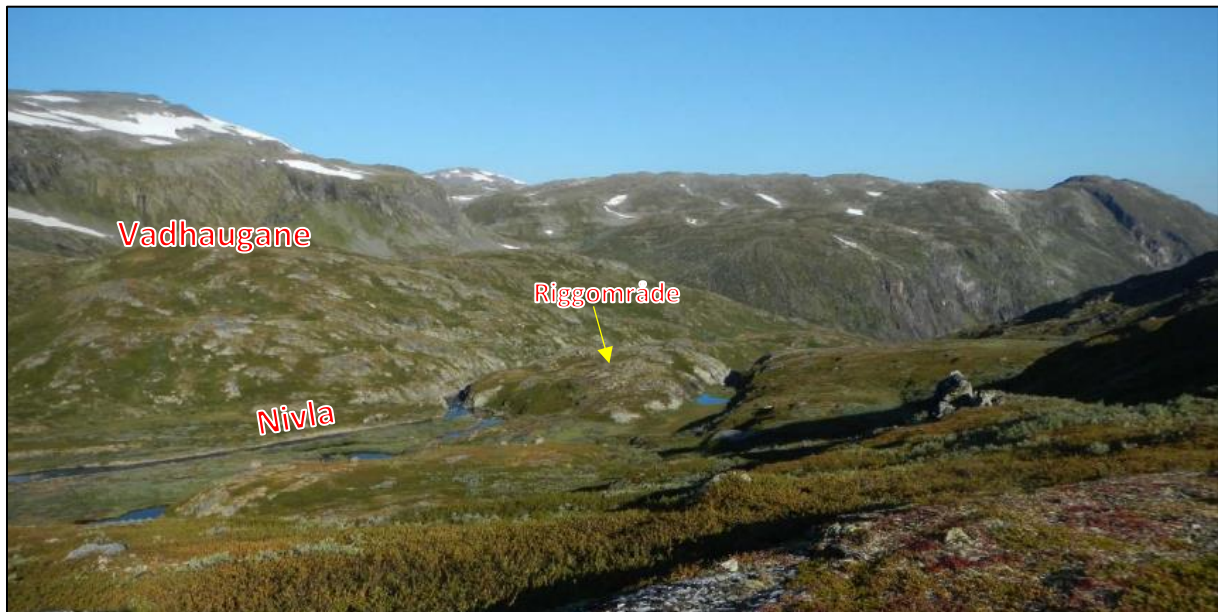
Vedlegg - Faresonekart

Vedlegg - Arealbrukskart

Vedlegg – Skjema for egenkontroll, sidekontroll

Vedlegg – Egenerklæringsskjema

6.1 Vedlegg – Bilder



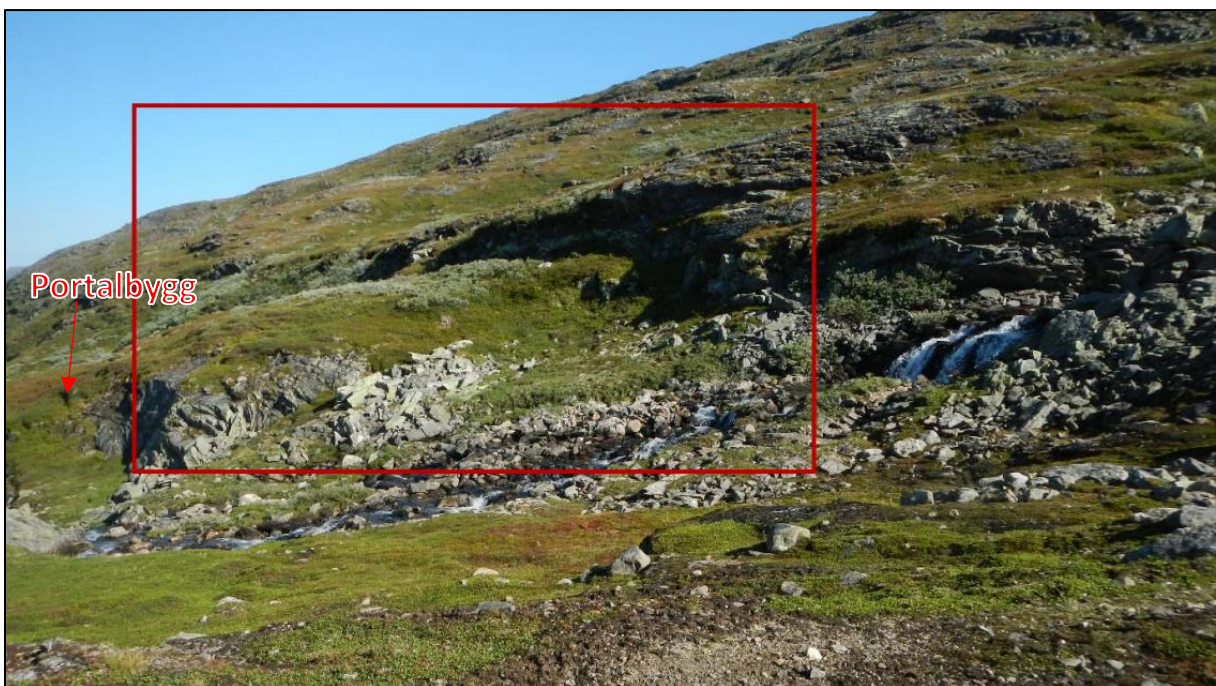
Figur 6.1-1: Bilde mot nord, som viser kartleggingsområdets sørlige del. Hentet fra Multiconsult (2015), lok 9. Bildelokasjon i denne rapport er infopunkt 1 i registreringskart.



Figur 6.1-2: Bilde mot nord. Høytliggende terreng i kartleggingsområdet er så vidt synlig. Hentet fra Multiconsult (2015), lok 10. Bildelokasjon i denne rapport er infopunkt 2 i registreringskart.



Figur 6.1-3: Bilde mot øst, viser bekken fra Gravdalen i kartleggingsområdet. Hentet fra Multiconsult (2015), lok 12. Bildelokasjon i denne rapport er infopunkt 3 i registreringskart.



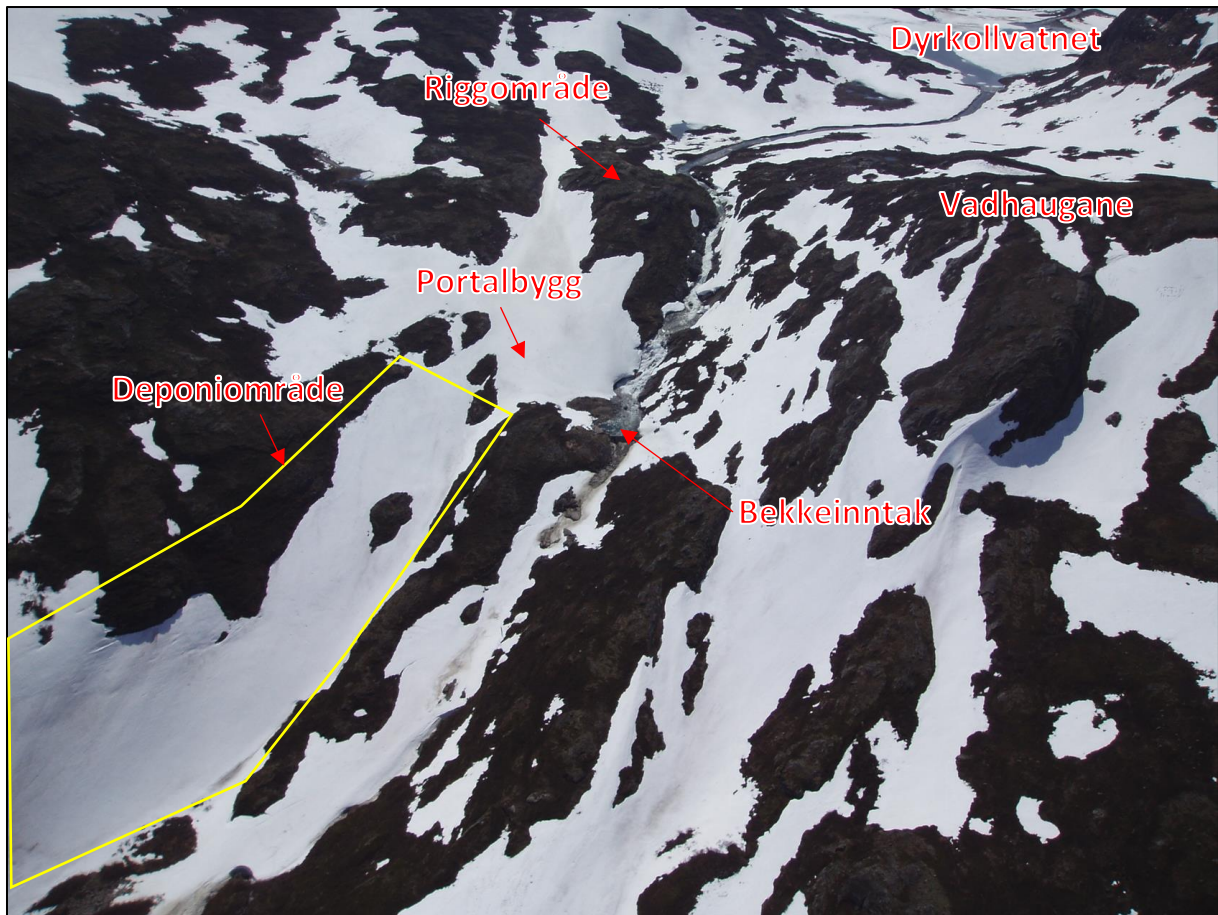
Figur 6.1-4: Bilde mot nord, kraftstasjon- og påhuggsområde. Bekken i bildet er den som kommer ned fra Gravdalen, fra øst. Hentet fra Multiconsult (2015), lok 13. Bildelokasjon i denne rapport er infopunkt 4 i registreringskart.



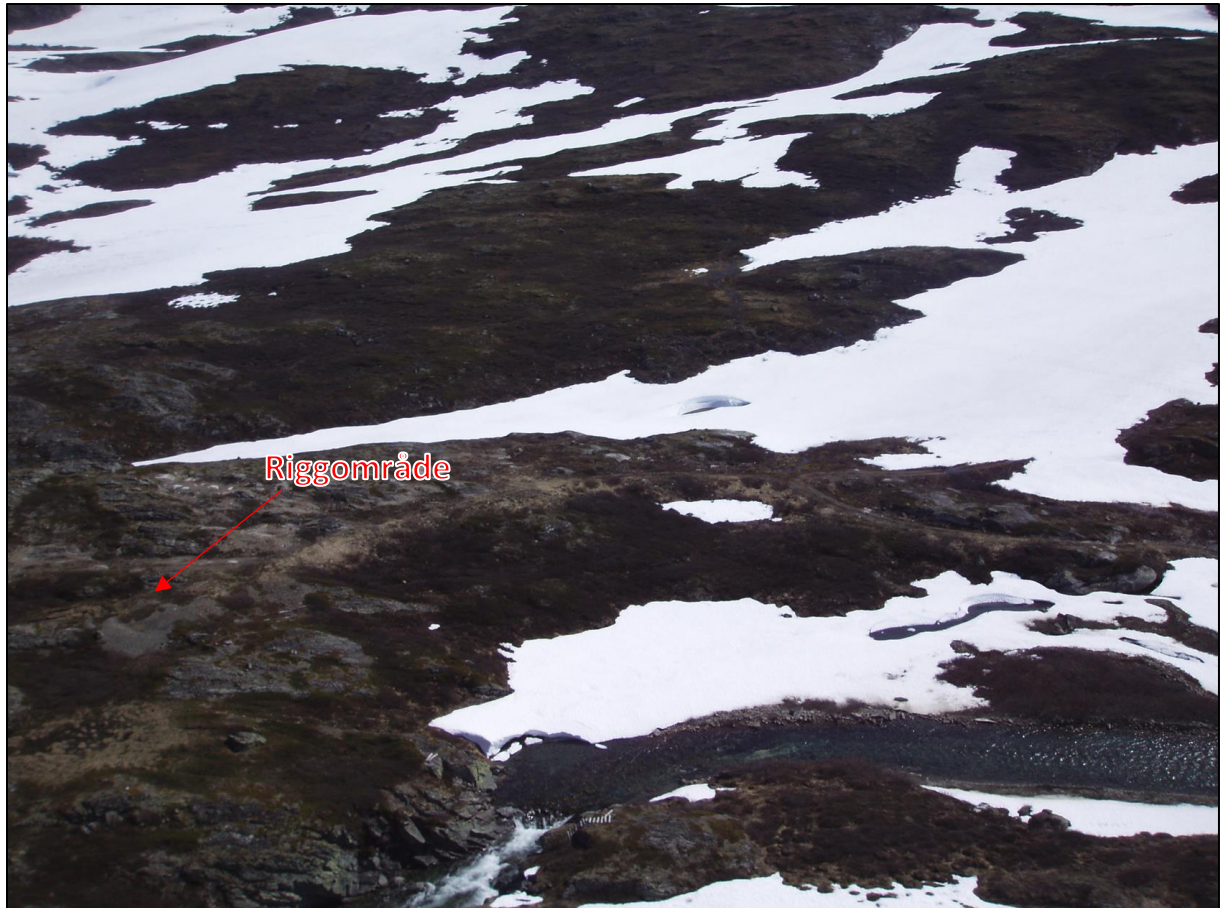
Figur 6.1-5: Bilde mot sør, viser oppsprekkingsgrad av gneisen i kraftstasjonsområdet. Hentet fra Multiconsult (2015), deres lok 12 (nøyaktig hvor i kraftstasjonsområdet bildet/skrenten er plassert er ikke mulig å gjenfinne ut fra rapportens beskrivelser). Vi har anslått bildelokasjon i denne rapporten, som er vist som infopunkt 5 i registreringskart.



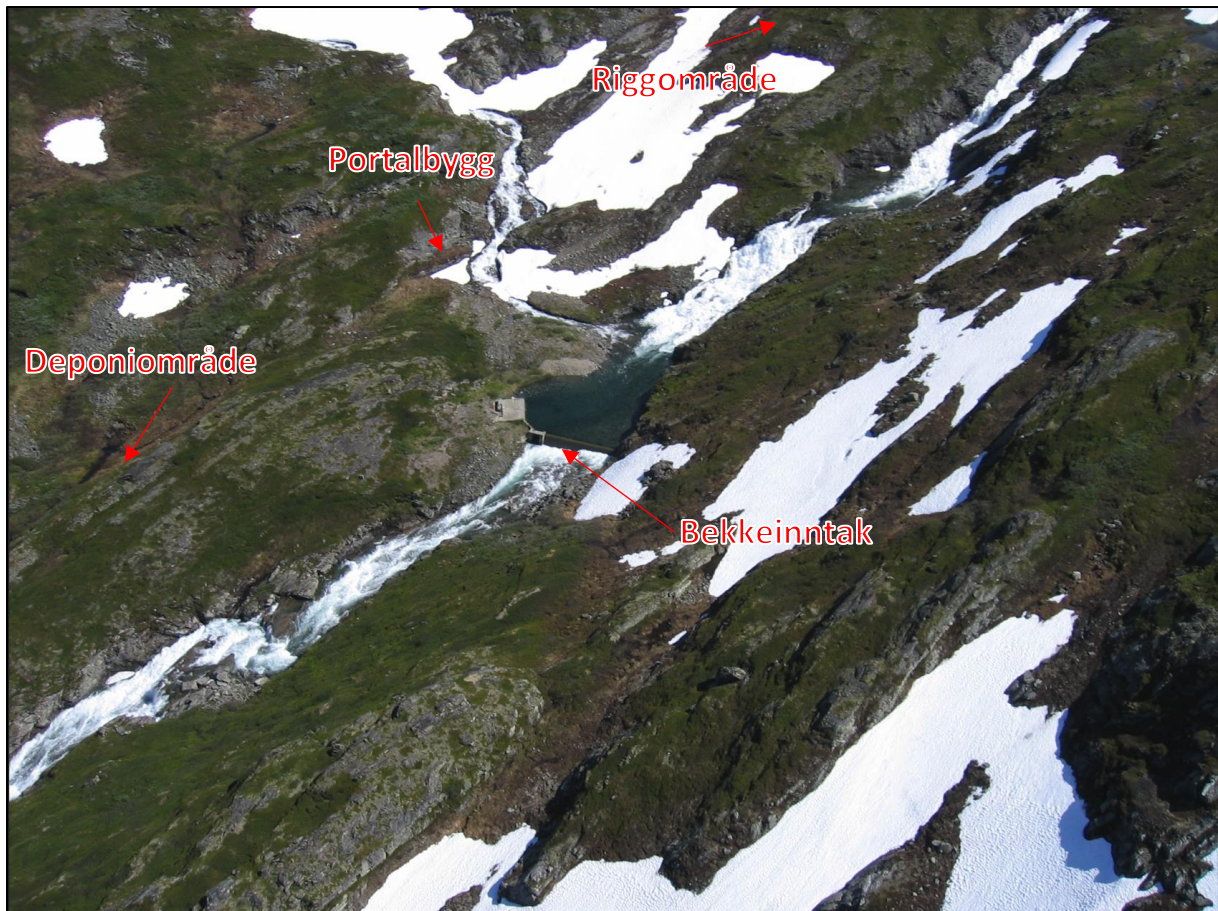
Figur 6.1-6: Bilde mot sør, som viser bekkeinntak i Nivla og planlagt riggområde på kollen øverst til høyre. Hentet fra Østfold Energi AS sitt bildearkiv. Bildelokasjon i denne rapport er infopunkt 6 i registreringskart.



Figur 6.1-7: Bilde mot sør-sørøst tatt fra helikopter, som viser kartleggingsområdet om våren (ukjent år). Nivla, bekkeinntak og Dyrkollvatnet er markert. Hentet fra Østfold Energi AS sitt bildearkiv.

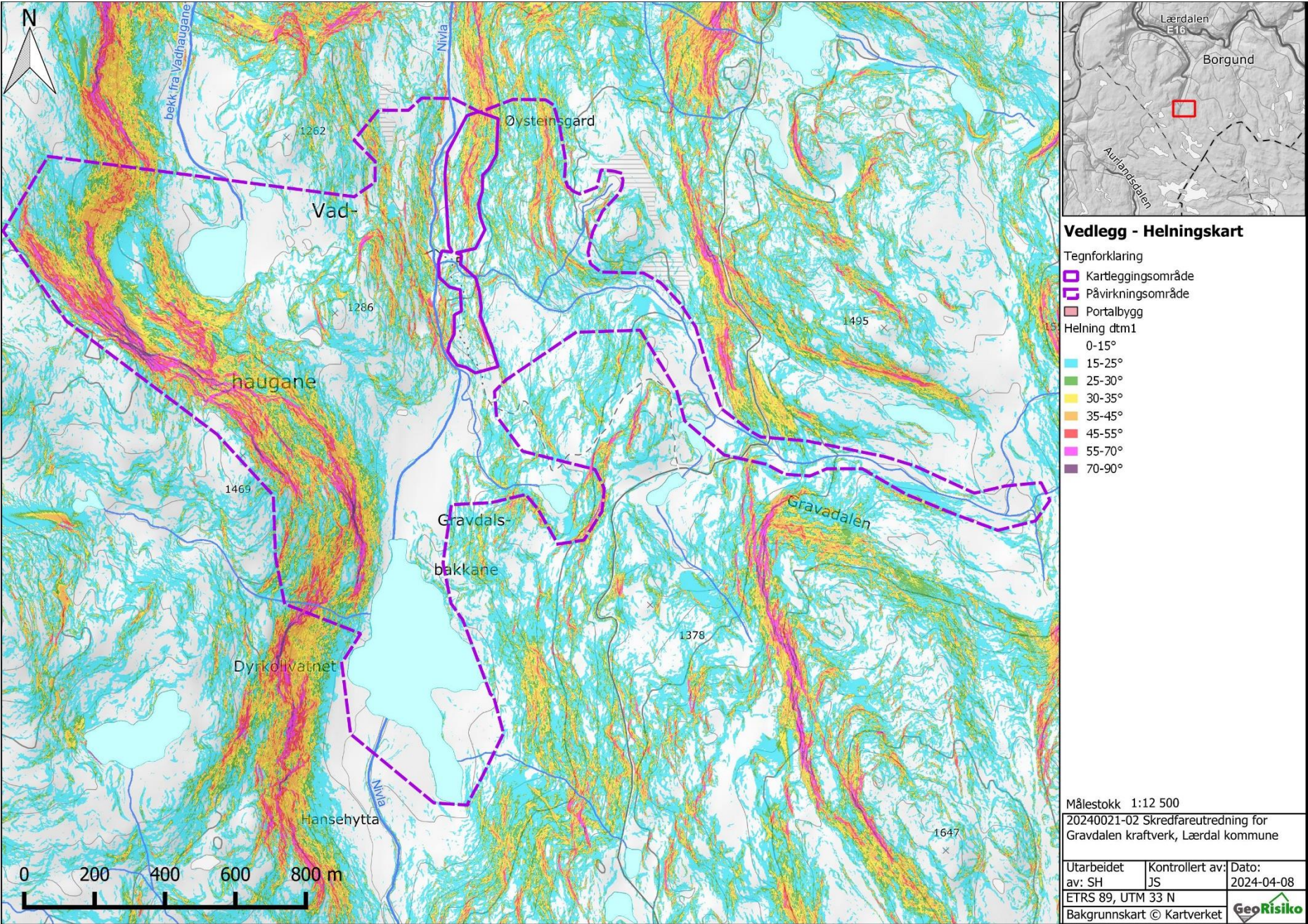


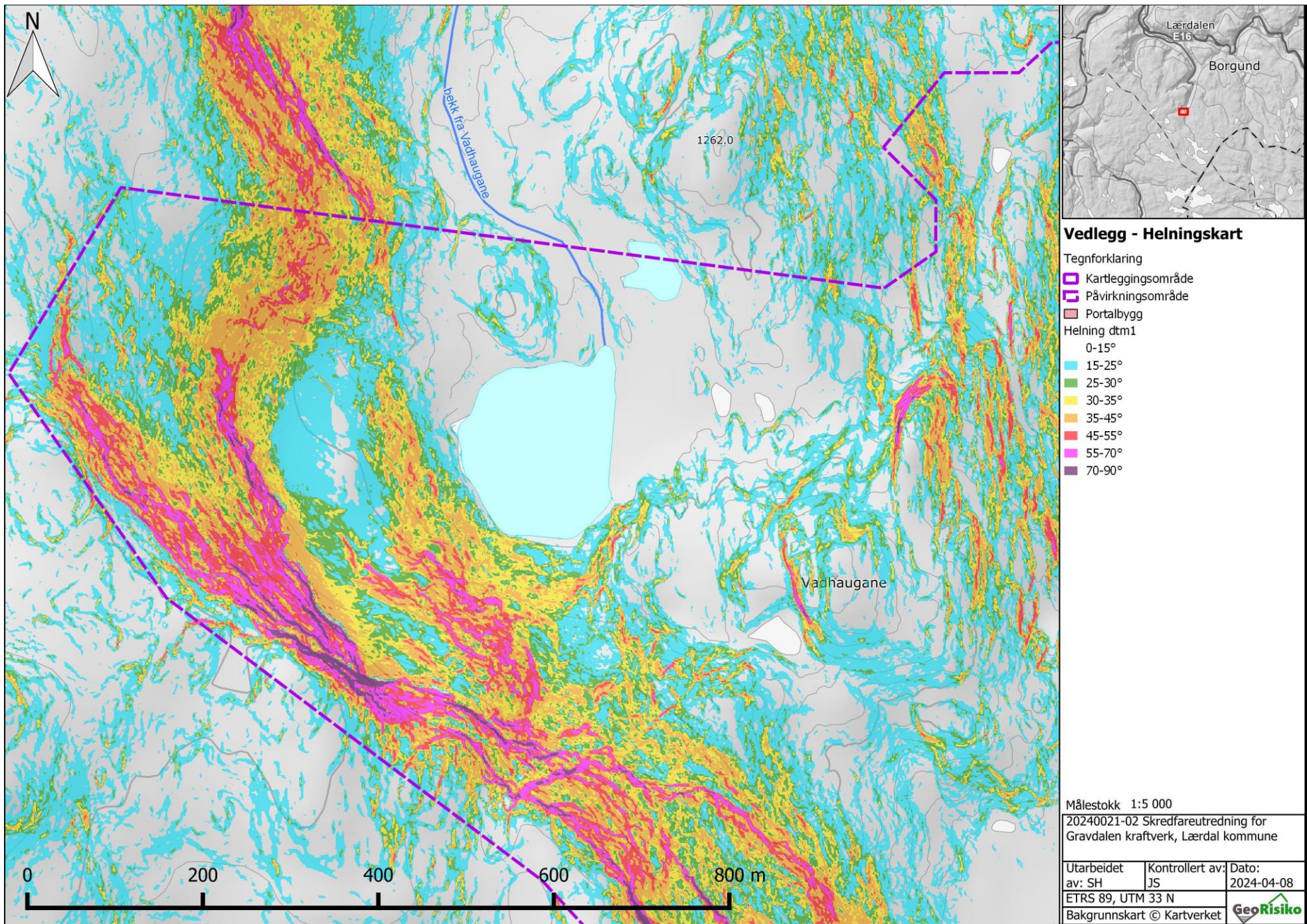
Figur 6.1-8: Bilde mot øst tatt fra helikopter, som viser sørlige del av riggområdet om sommeren (ukjent år). Hentet fra Østfold Energi AS sitt bildearkiv.

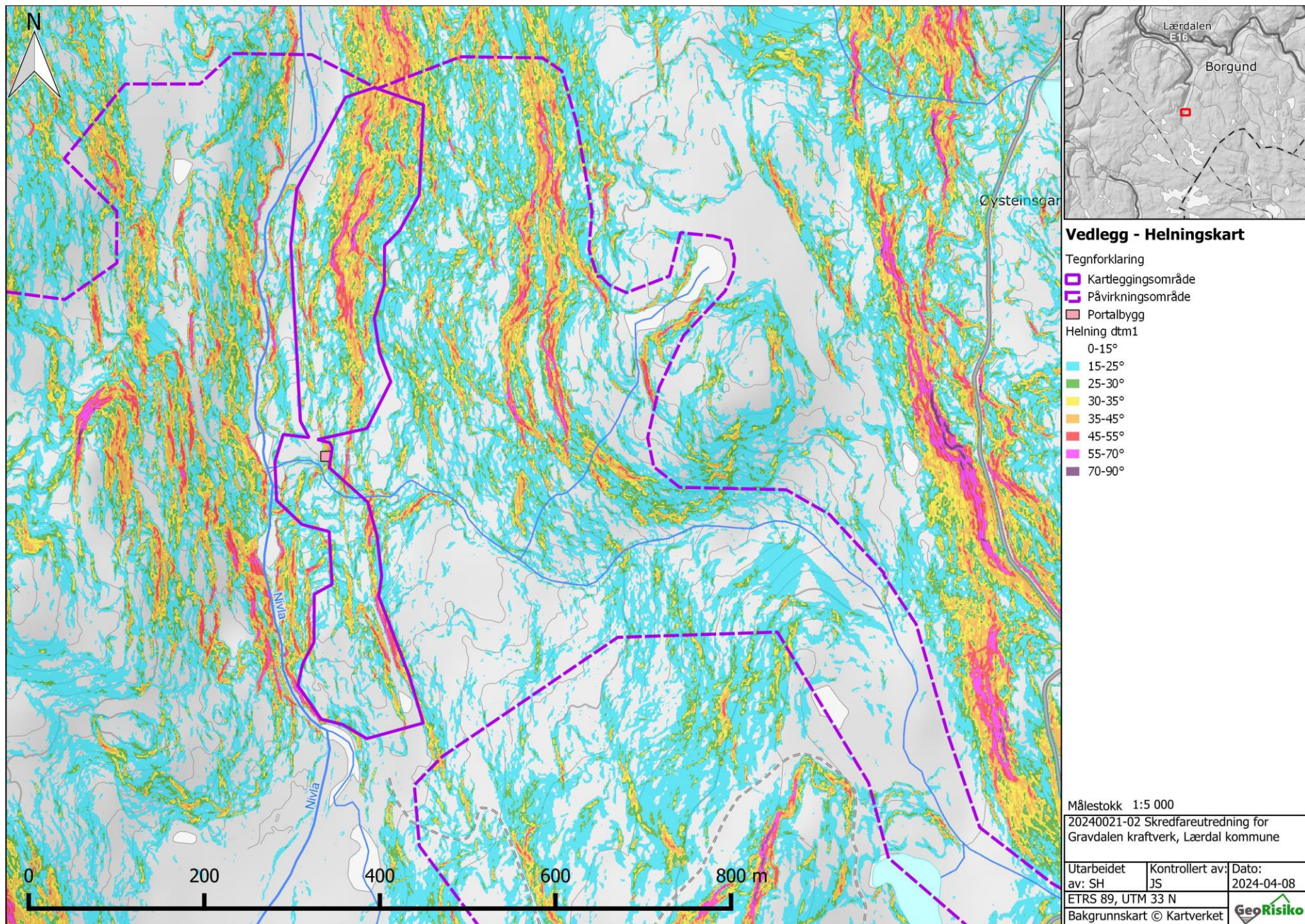


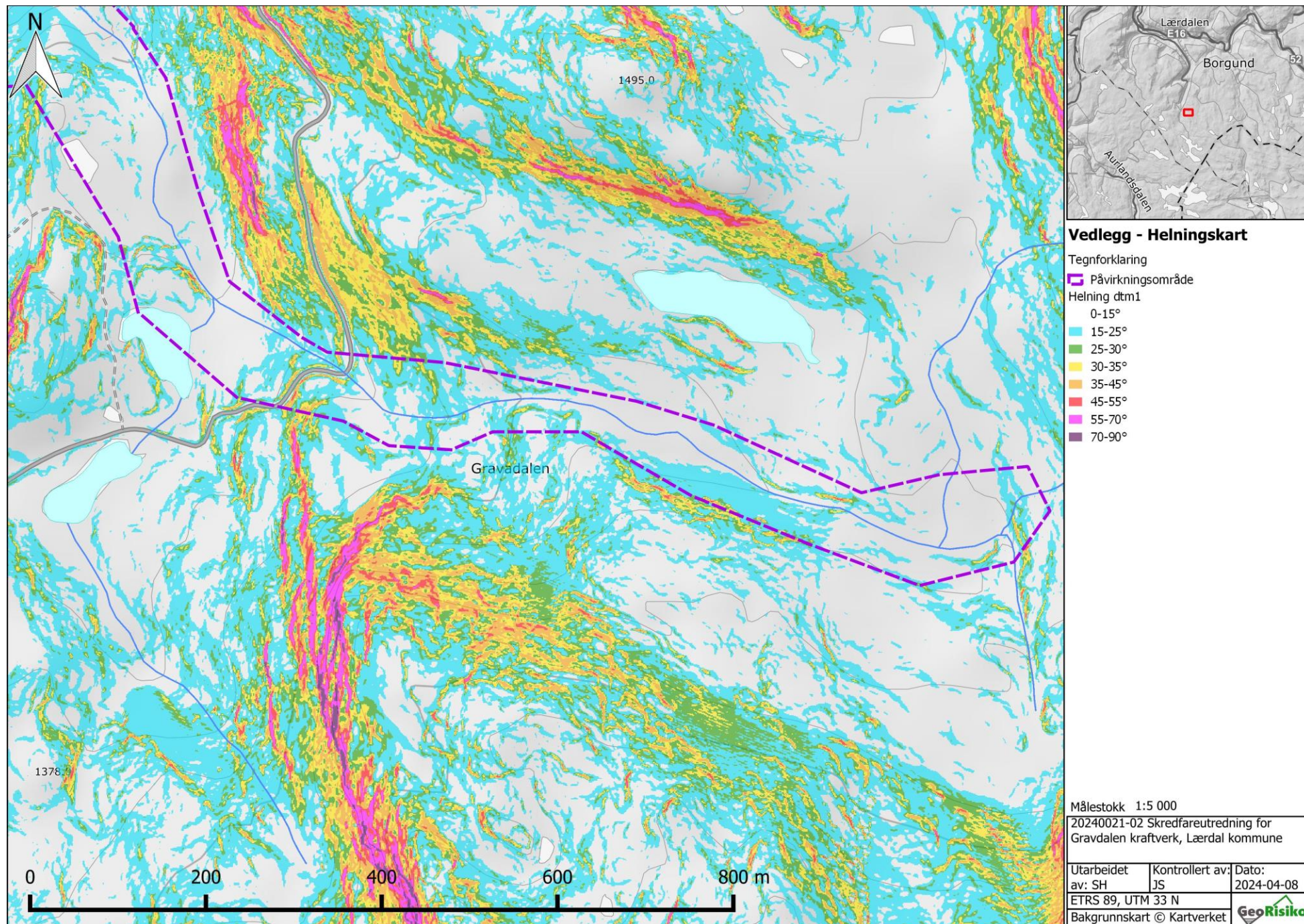
Figur 6.1-9: Bilde oblikt mot sør-sørøst tatt fra helikopter, som viser deler av kartleggingsområdet om sommeren (ukjent år). Hentet fra Østfold Energi AS sitt bildearkiv.

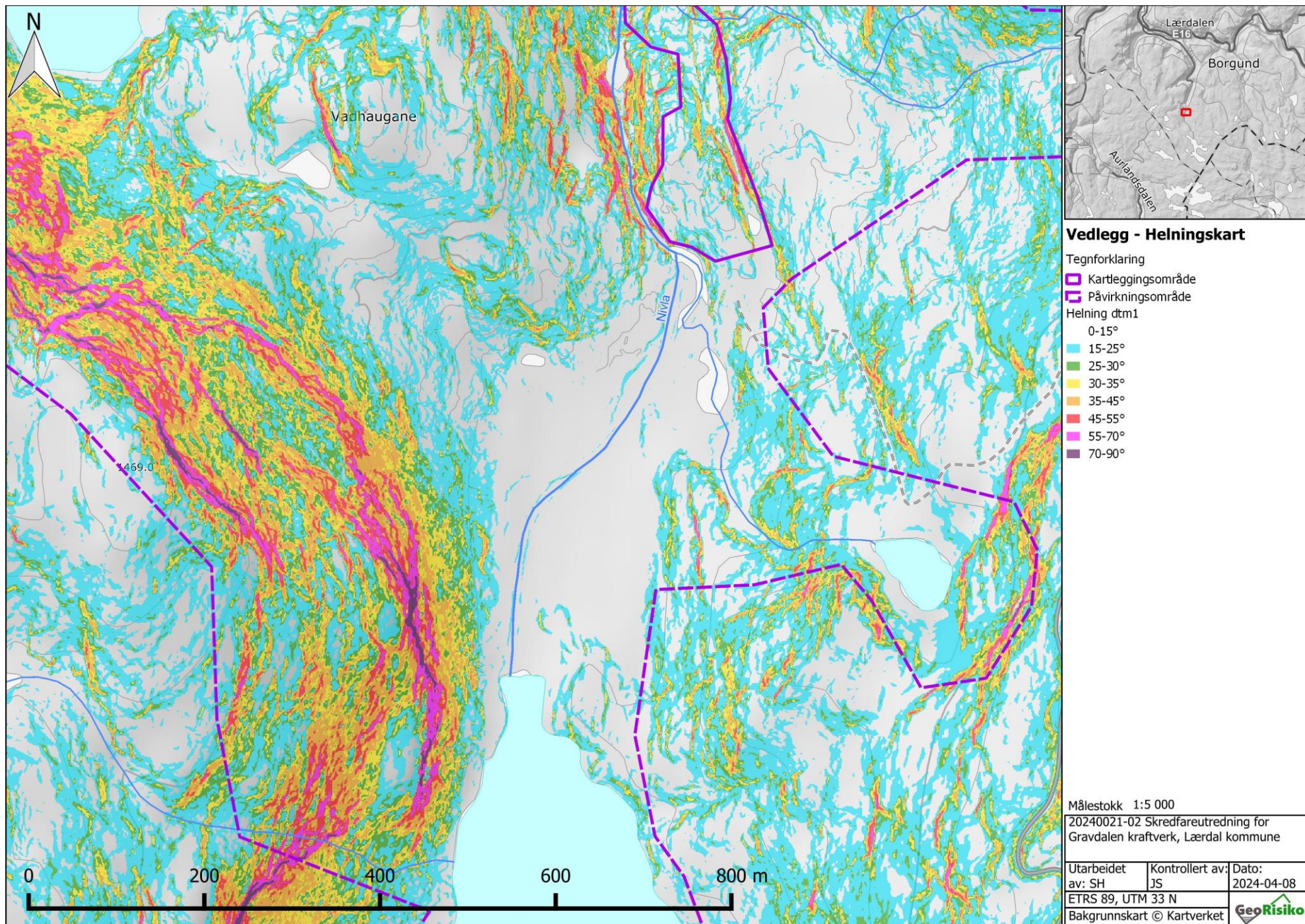
6.2 Vedlegg – Helningskart

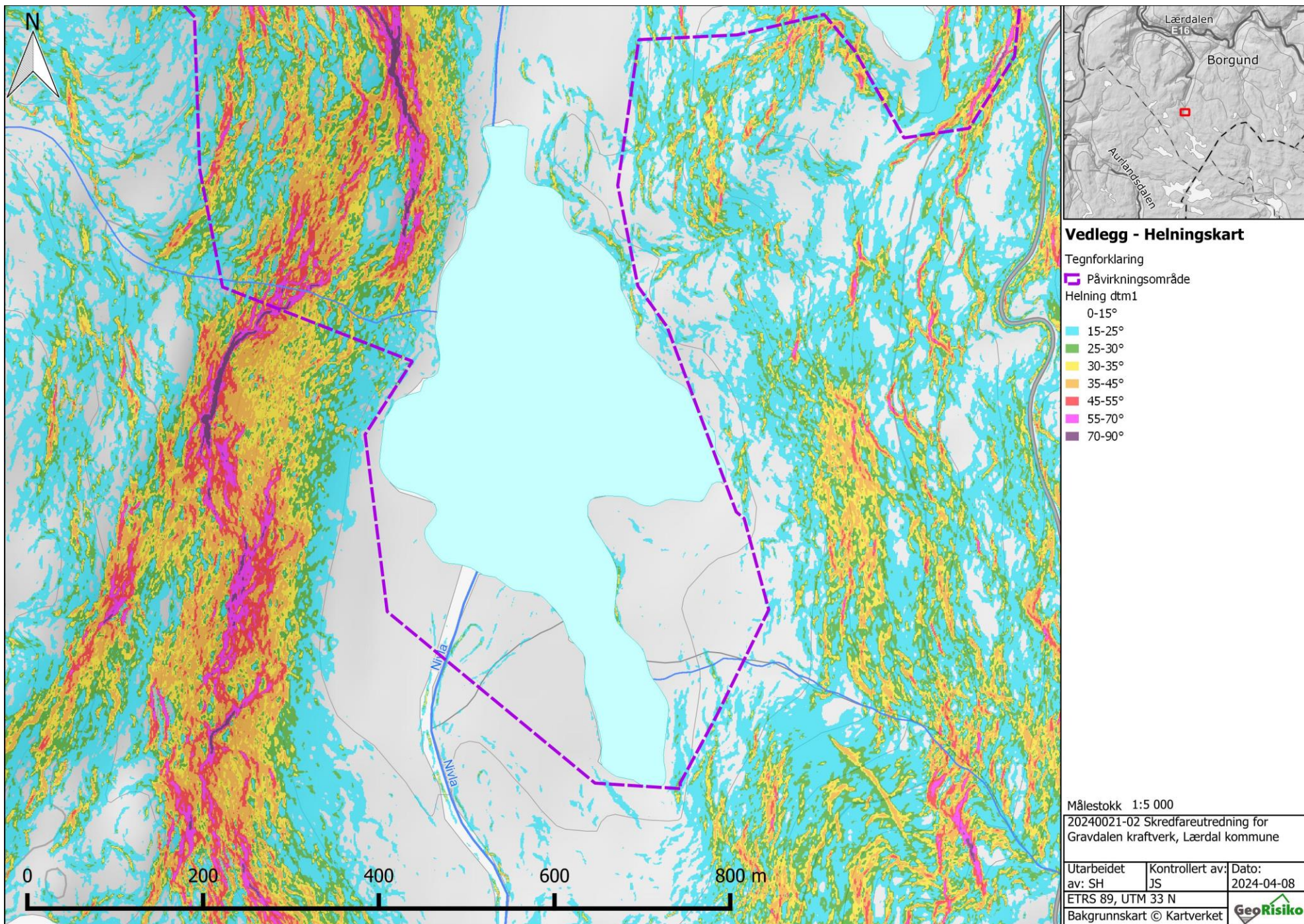




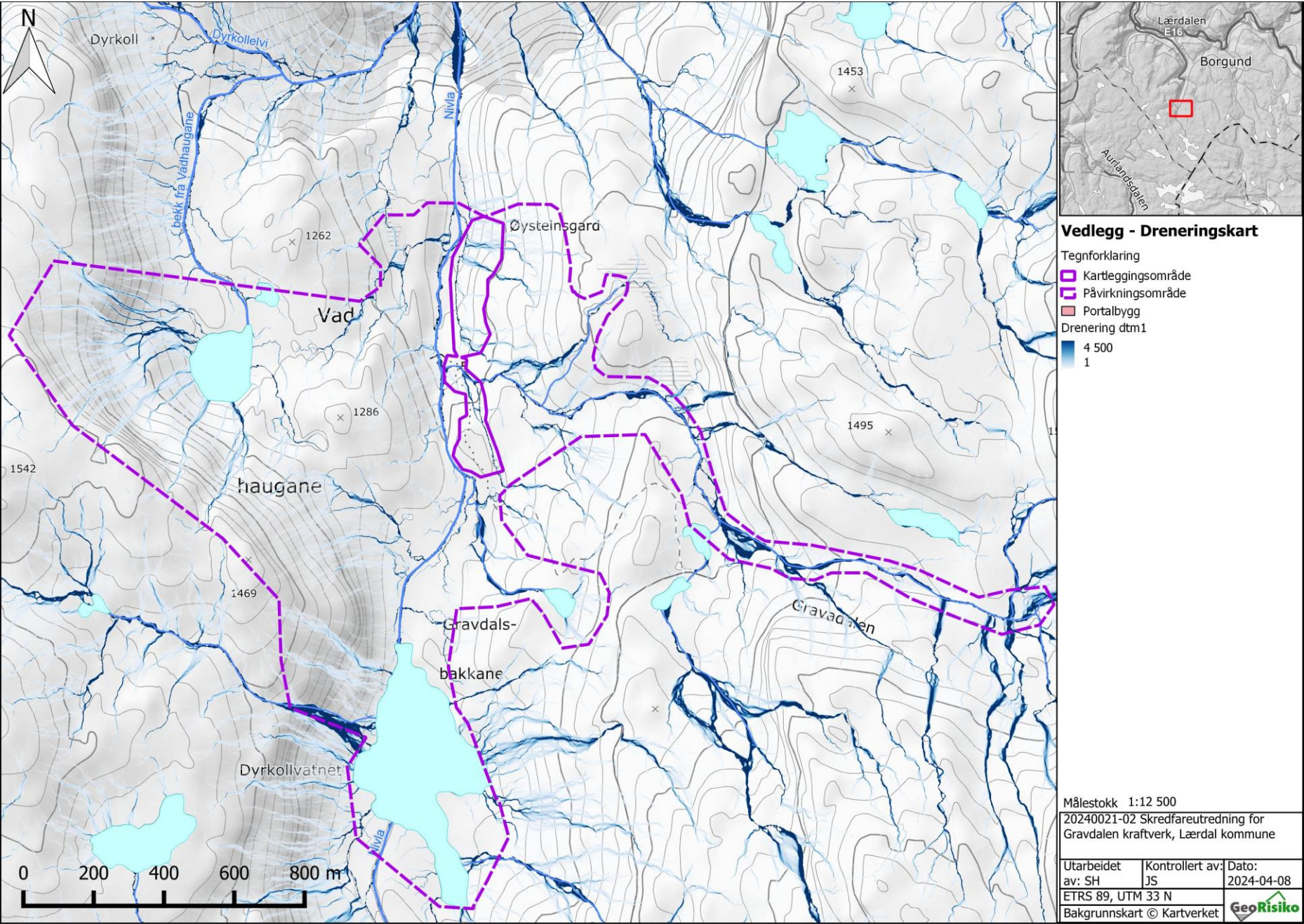




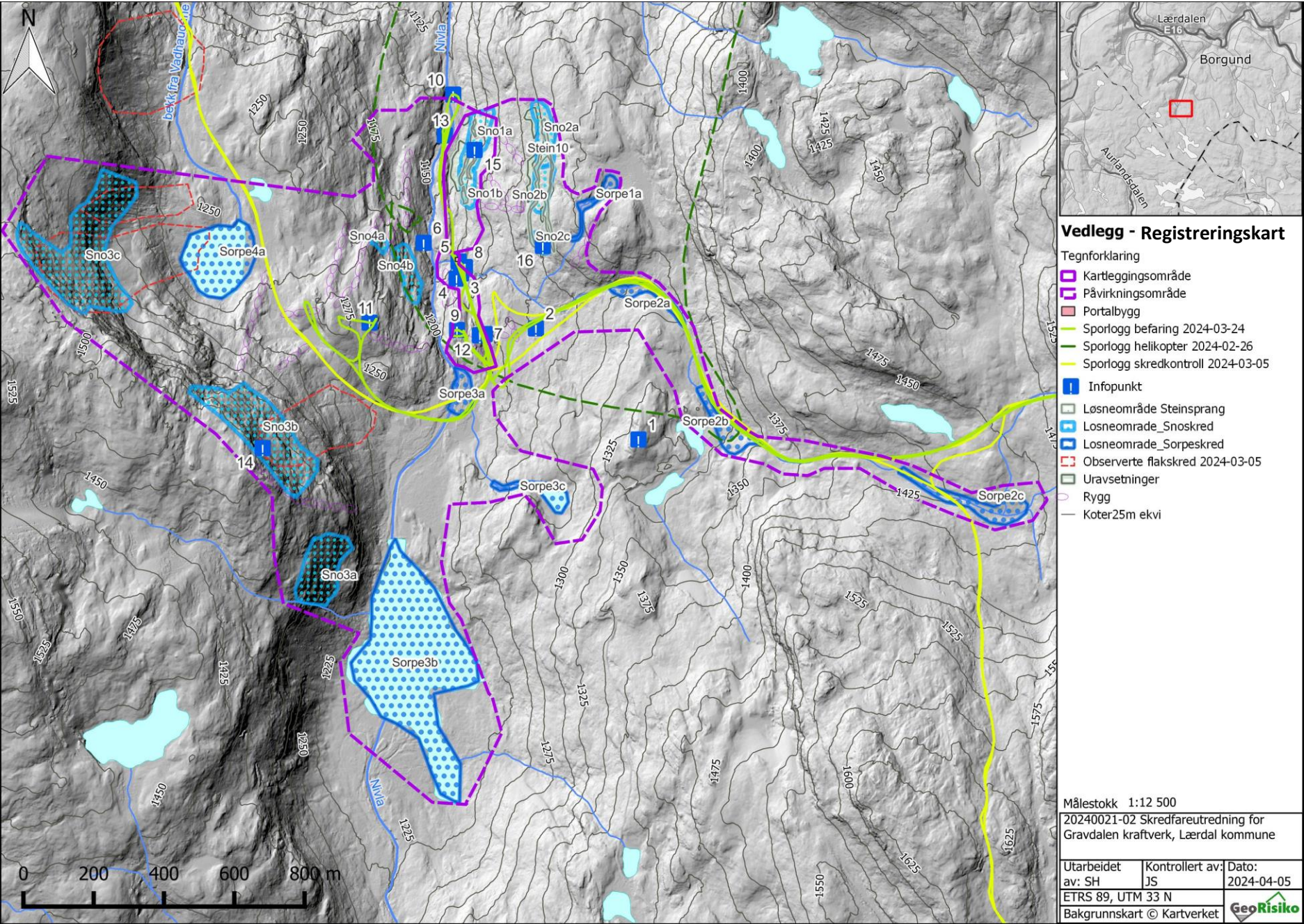


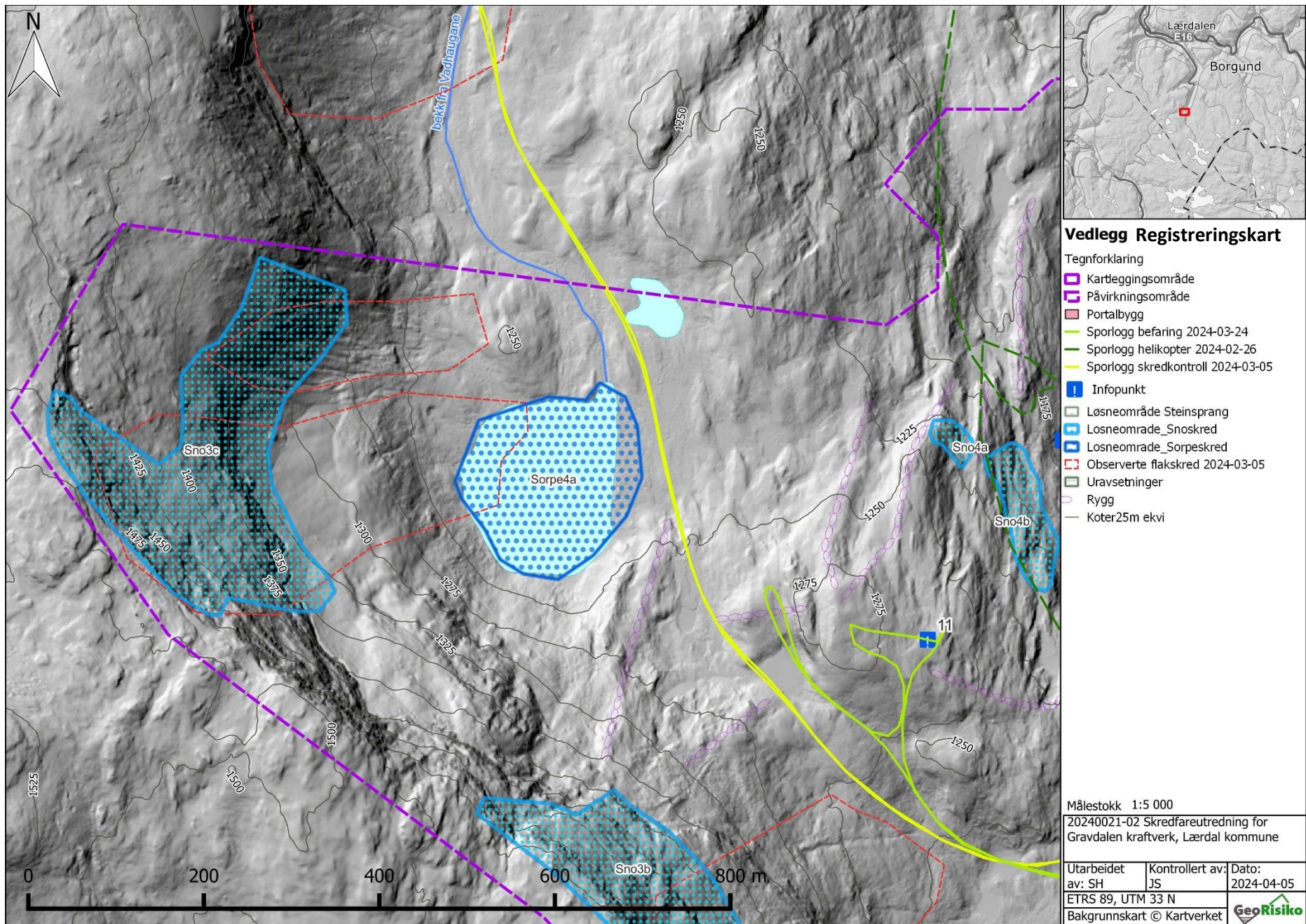


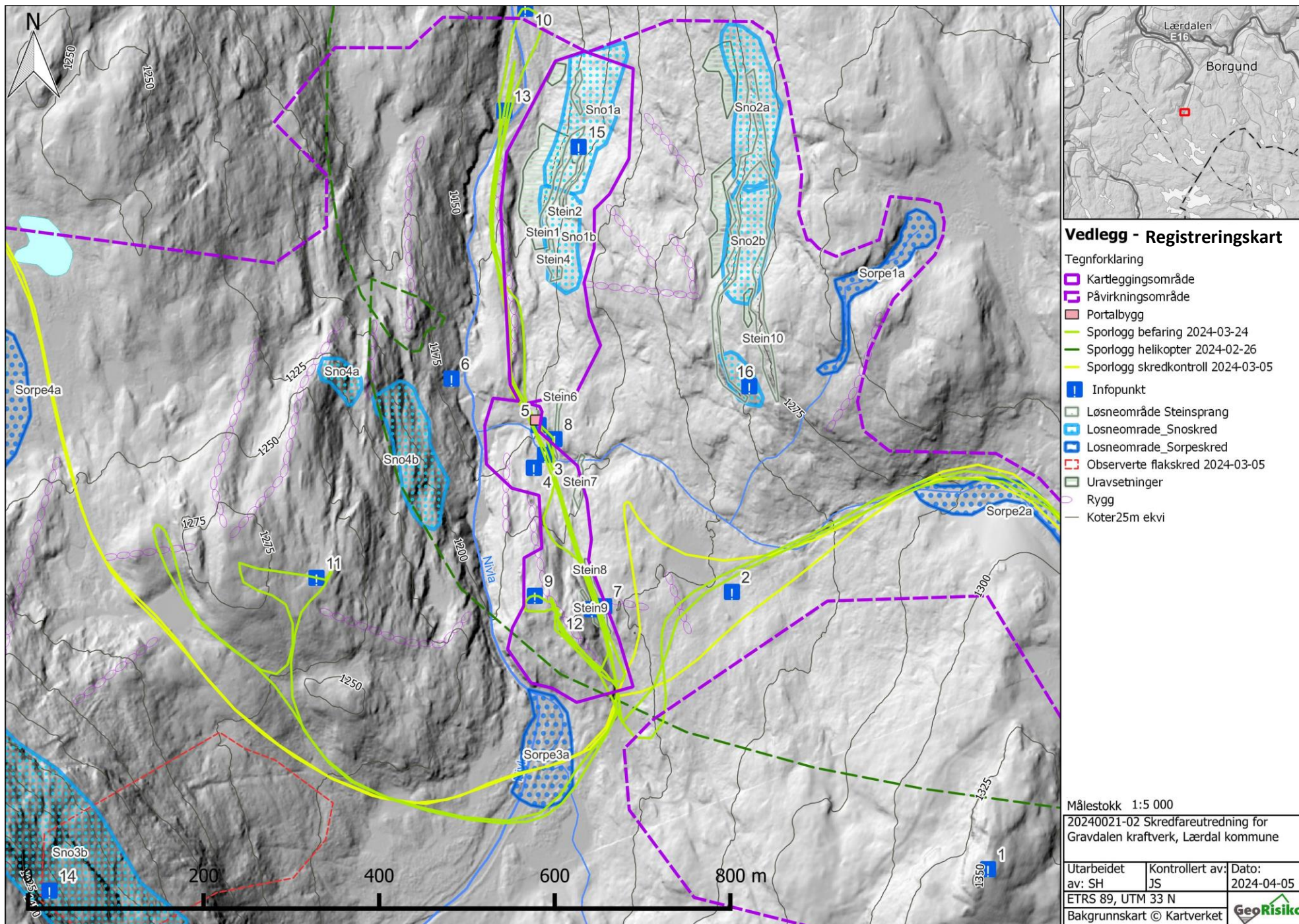
6.3 Vedlegg – Dreneringsberegning

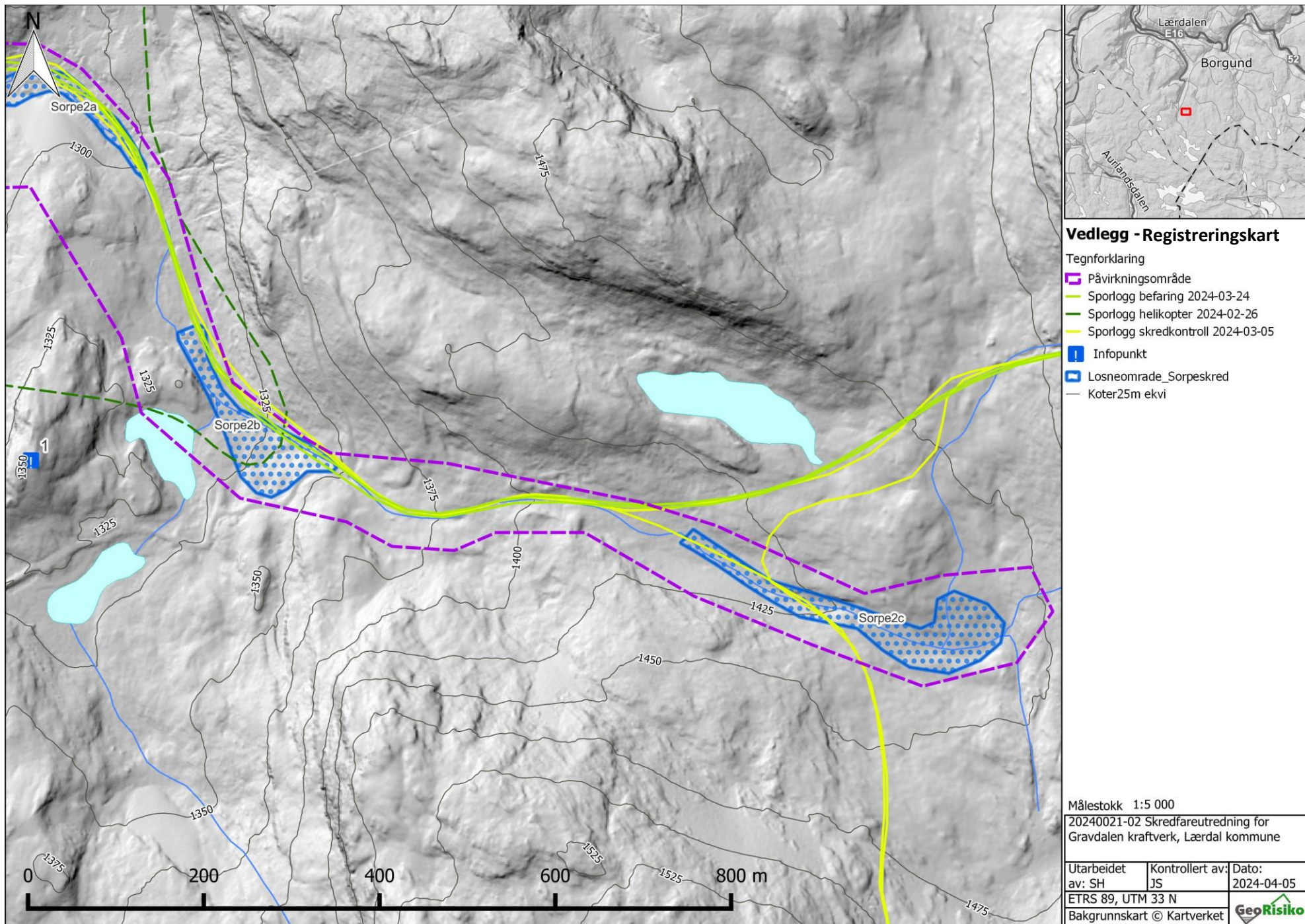


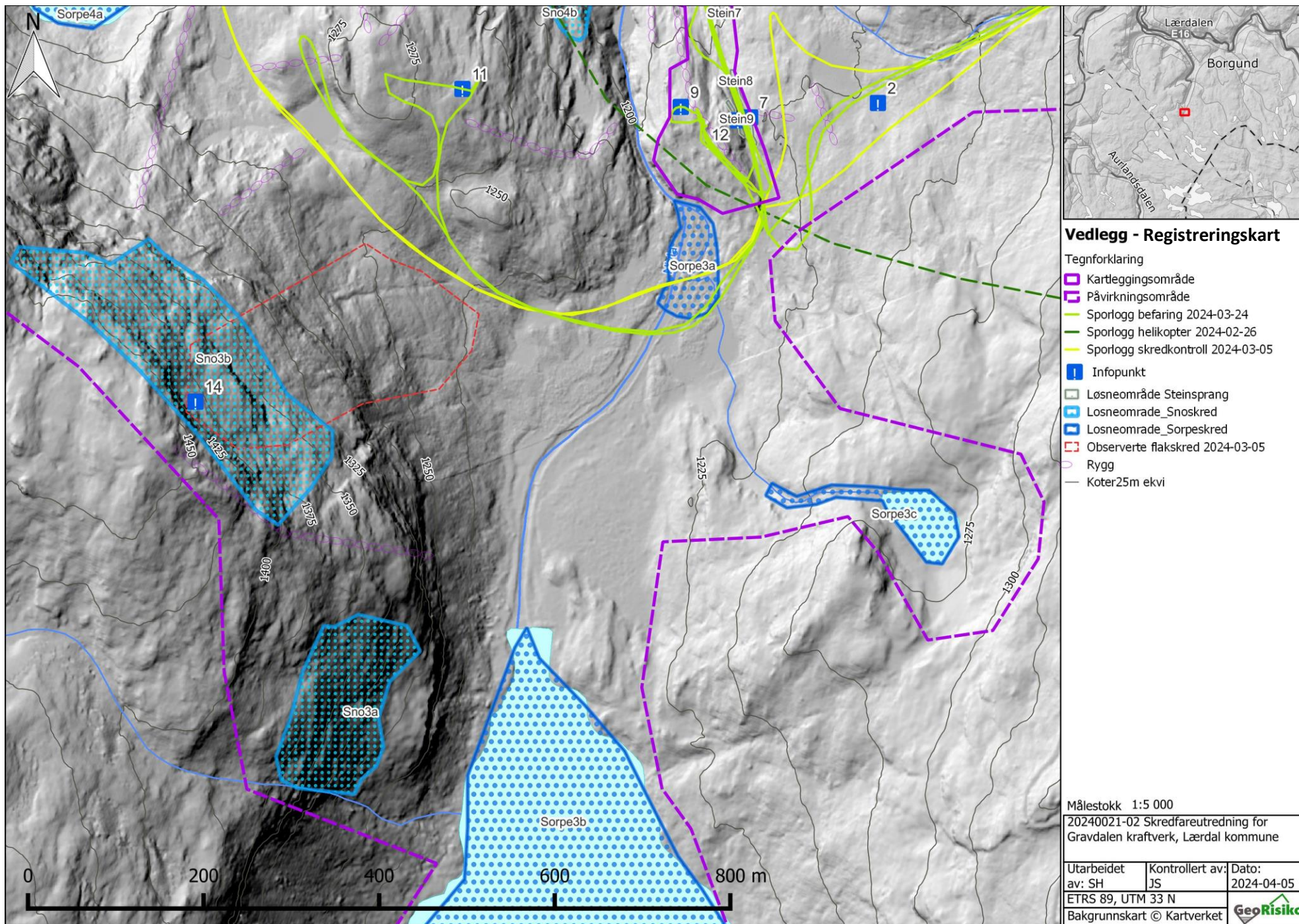
6.4 Vedlegg – Registreringskart

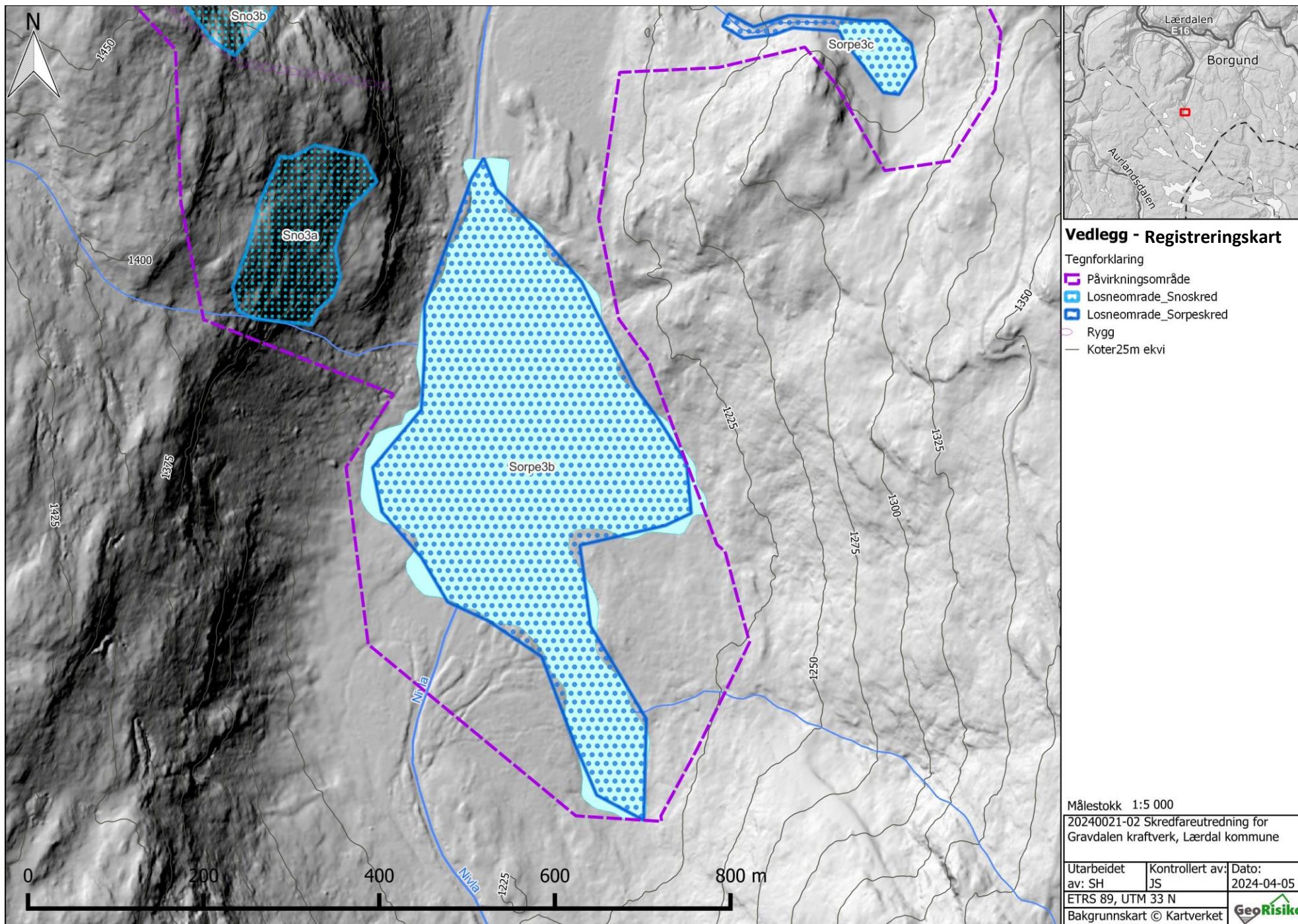




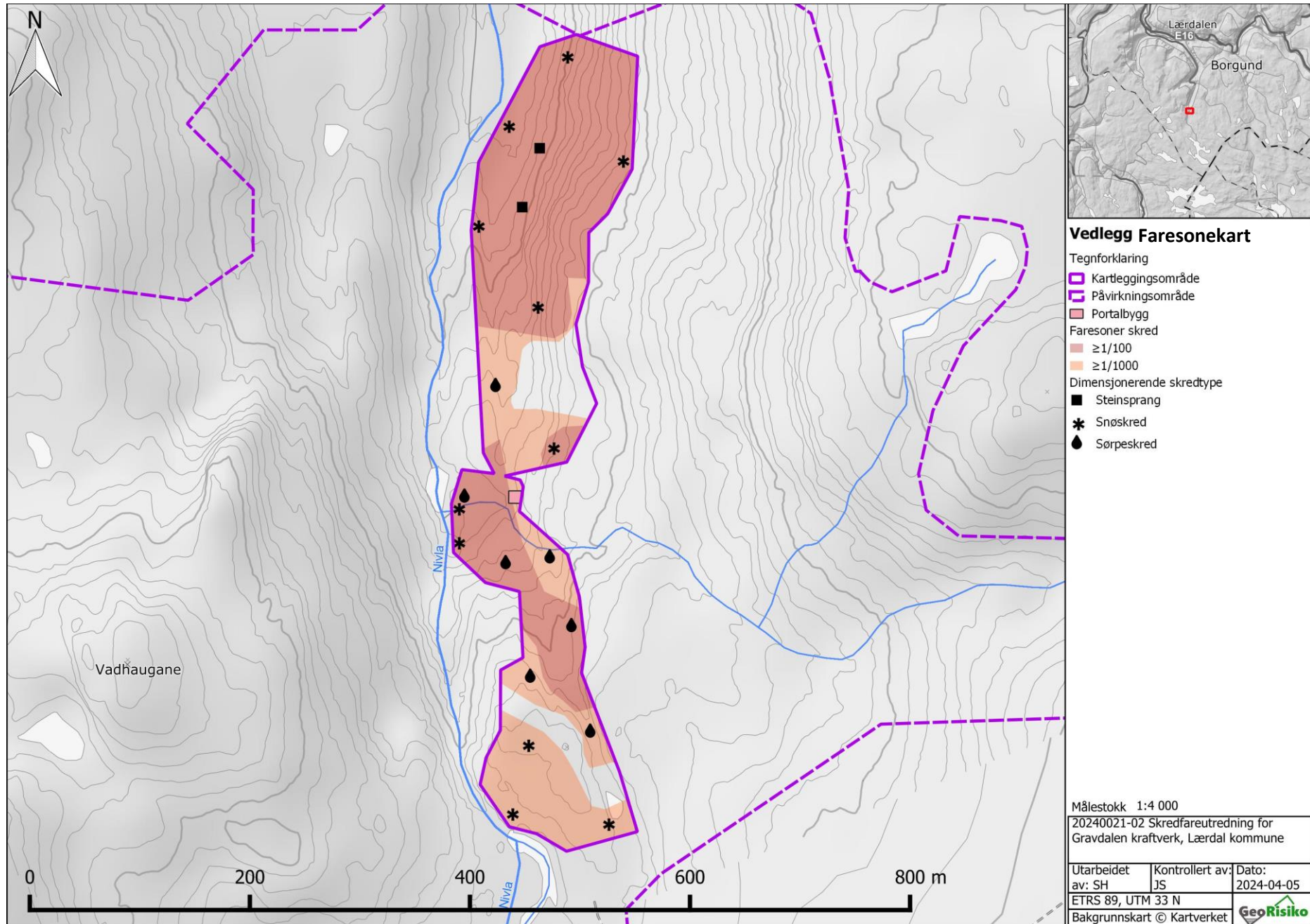




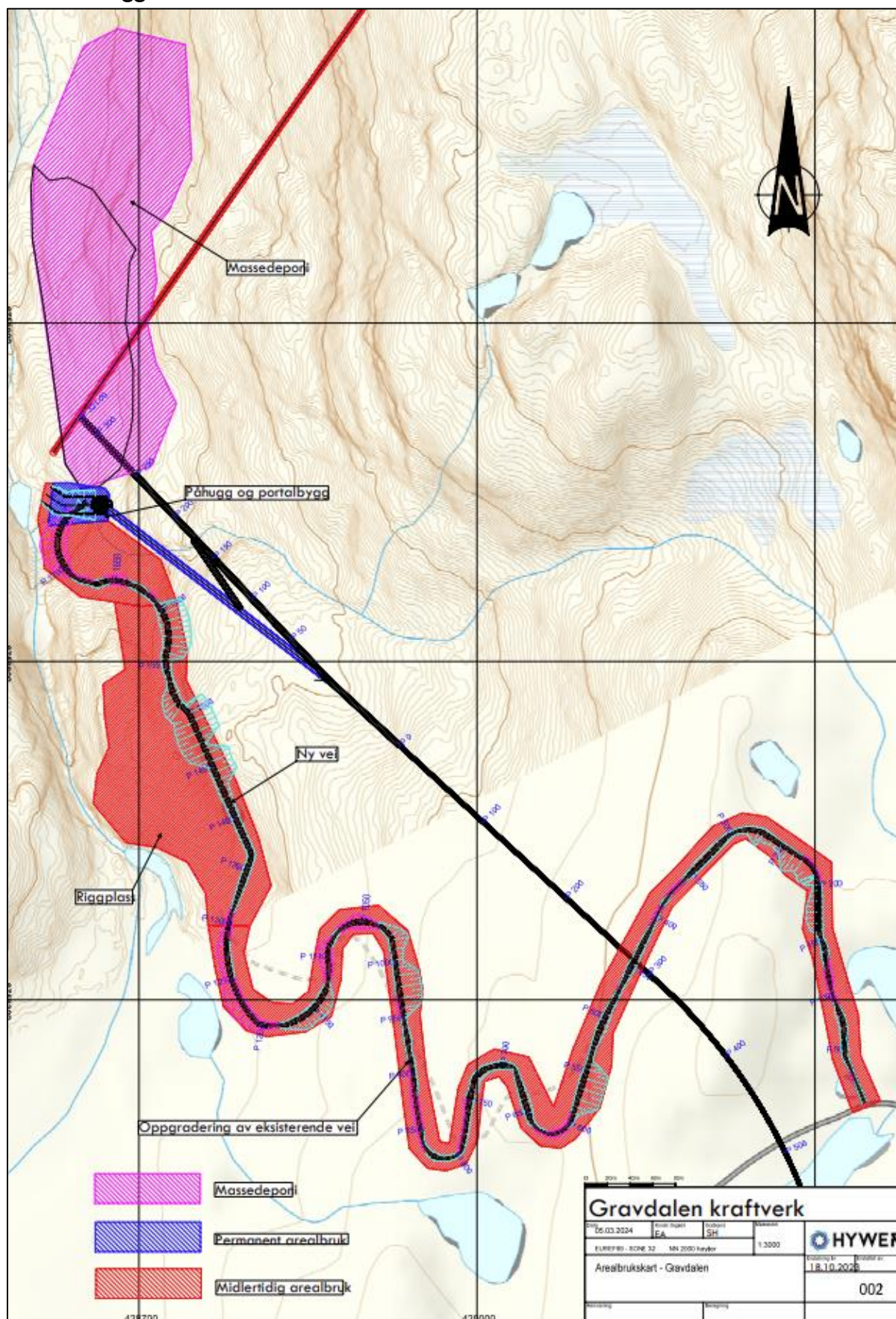




6.5 Vedlegg – Faresonekart



6.6 Vedlegg – Arealbrukskart



6.7 Vedlegg – Skjema for egenkontroll, sidekontroll og uavhengig kontroll

Dokumentinformasjon		
Dokumenttittel: Skredfareutredning for planlagte Gravdalen kraftverk og anleggsområde, Lærdal kommune		Dokumentnummer 2023024-02-01
Dokumenttype RAPPORT	Distribusjon Begrenset	Dato 2024-04-08
Oppdragsgiver Hywer AS		
Emneord Skredfarekartlegging		

Stadfesting
Land, Fylke Norge, Vestland
Kommune Lærdal kommune

Dokumentkontroll Kvalitetssikring i henhold til NS-EN ISO9001				
Revisjon	Revisjonsgrunnlag	Egenkontroll	Sidekontroll	
01	Originaldokument	2024-04-08 SH	2024-04-08 JS	

Dokument godkjent for utsendelse	Dato 2024-04-08	Oppdragsleder Steinar Hustoft
---	---------------------------	---

6.8 Vedlegg – Egenerklæringsskjema



Vedlegg - Egenerklæringsskjema

Egenerklæringsskjema for å utføre
skredfarevurdering i henhold til veilederen
*Sikkerhet mot skred i bratt terreng – Kartlegging
av skredfare i reguleringsplan og byggesak*

Firma:	GeoRisiko AS	Org.nummer:	NO 920 235 026 MVA (Søk i https://brreg.no)
--------	--------------	-------------	--

Firmaet vil med utfylling av egenerklæringsskjema for vurdering av skred i bratt terreng erklære seg skikket til å utføre vurdering av skredfare i bratt terreng og innehar nødvendig kompetanse i henhold til veilederen.

ANBEFALT KOMPETANSE	JA	NEI	Kommentar
Ansvarlig for å utføre skredfaglige vurderinger er godt kjent med gjeldende forskrifter ² , veiledere ³ , retningslinjer ⁴ og fagnormer som gjelder for å utføre skredfarevurderinger.	☒	☐	
Minst to kvalifiserte fagpersoner må benyttes i oppdraget, en som utførende og en som sidemannskontrollør.	☒	☐	
De to påkrevde fagpersonene må ha minst 5 og 3 års erfaring med tilsvarende oppdrag, samt relevant utdanning som definert i veilederen. Personell med mindre enn 3 års erfaring kan benyttes i oppdraget i tillegg til de to med påkrevd erfaring. Enkeltpersonforetak (ENK) kan oppfylle dette kravet ved å benytte et annet foretak, med nødvendig kompetanse, for sidemannskontroll.	☒	☐	
Kunnskap om og tilgang på dynamiske skredmodeller der slike er kommersielt tilgjengelig.	☒	☐	
Ansvarsforsikring som minst tilsvarer krav i NS 8401/8402 (prosjekterings- og rådgivningsoppdrag).	☒	☐	

Signatur:

Stavica Husebø

Sted og dato:

Voss, 17. april 2020

² Byggeteknisk forskrift (TEK17) og Plan- og bygningsloven (pbl)

³ NVE veileder Sikkerhet mot skred i bratt terreng - Kartlegging av skredfare i reguleringsplan og byggesak

⁴ NVE retningslinjer Flaum- og skredfare i arealplanar – Revidert 22.mai 2014

