



RAPPORT NR. 24 / 2024

Bruk av bakkebasert InSAR-radar og drone til overvåking og varsling av massebevegelser langs skredkanten og i skredgropa etter kvikkleireskredet i Ask, Gjerdrum

I perioden 30.12.2020 til 31.01.2022

SKREVET AV

Graziella Devoli, Ingrid Skrede, Kjetil Indrevær og Ellen Davis Haugen

NVE Rapport nr. 24/2024

Bruk av bakkebasert InSAR-radar og drone til overvåking og varsling av massebevegelser langs skredkanten og i skredgropa etter kvikkleireskredet i Ask, Gjerdrum i perioden 30.12.2020 til 31.01.2022

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat
Redaktør: Graziella Devoli
Forfattere: Graziella Devoli, Ingrid Skrede, Kjetil Indrevær og Ellen Davis Haugen
Omslagsbilde: Bevegelse langs skredkanten og skred som gikk den 20.01.2022.
Foto: Gjerdrum kommune. Radarbilde: NVE

ISBN: 978-82-410-2438-2
ISSN: 2704-0305
Saksnummer: 202109269

Sammendrag: I tiden etter kvikkleireskredet i Ask sentrum i Gjerdrum kommune, som gikk den 30.12.2020, ble det satt i gang overvåkning av skredkanten i forbindelse med redningsarbeidet og senere sikrings- og opprydningstiltak. Overvåkningen skulle varsle om nye massebevegelser som kunne være til fare for personell som oppholdt seg i skredområdet. Overvåkningen ble gjort med drone, bakkebasert InSAR-radar og direkte feltobservasjoner. Denne rapporten rekonstruerer den romlige og tidsmessig utviklingen av massebevegelser langs skredkanten i etterskredfasen og evaluerer nytten av de ulike metodene benyttet til overvåkningen. Arbeidet er gjort for å få bedre forståelse av forventet utvikling av gjenstående skredkanter etter kvikkleireskred og for å øke vår evne til å varsle massebevegelser.

Emneord: Drone, overvåking, bakkebasert InSAR radar, kvikkleireskred, skreddynamikk og akselerasjon

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthuns gate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 22 95 95 95
E-post: nve@nve.no
Internett: www.nve.no

Innholdet kan brukes videre mot kreditering.

Desember 2024

Innhold

Forord	3
Sammendrag	4
Summary	5
1 Innledning og formål	6
1.1 Om kvikkleireskredet i Ask (hovedskred og etterskredfasen)	6
1.2 Beredskapsaktiviteter ved skredkanten og behov for overvåking	7
1.3 Mål	9
2 Overvåking og varsling av massebevegelser	10
2.1 Om metoder for overvåking av massebevegelser i etterskredfasen	10
2.2 Overvåkingsmetoder brukt i Ask	10
2.3 Droneovervåking og visuelle feltobservasjoner	11
2.3.1 Analyser av sprekker langs skredkanten	14
2.4 Radarovervåking	15
3 Utvikling av skredkanten	22
3.1 Kilder og metoder for kartlegging av massebevegelser	22
3.2 Oversikt av massebevegelser	26
3.2.1 Romlig fordeling	26
3.2.2 Type bevegelser	28
3.2.3 Dato og tidspunkt	30
3.2.4 Antall skred	31
3.2.5 Skredstørrelse (areal og volum)	33
3.2.6 Skredaktivitet, sekvens og remobilisering i skredgropa	35
4 Skredforekomst og hydrometeorologiske forhold i etterskredfasen	38
4.1 Kilder for hydrometeorologiske data	38
4.2 Skredforekomst og hydrometeorologiske forhold	42
5 Konklusjoner og anbefalinger	47
6 Referanser	49
Vedlegg A – Bevegelser fra radar	50
Vedlegg B - Bilder av observerte massebevegelser	51
Vedlegg C - Kartlagte skred	52
Vedlegg D - Volumberegninger	53
Vedlegg E - Lengdeprofiler	54

Forord

Tidlig på morgenen den 30.12.2020 ble Ask sentrum i Gjerdrum kommune rammet av et stort kvikkleireskred.

Etter skredet ble det i forbindelse med redningsarbeidet (og senere sikrings- og opprydningstiltak) satt i gang overvåkning av skredkanten som stod igjen etter hovedskredet. Overvåkningen skulle varsle nye massebevegelser som kunne være til fare for redningspersonell og arbeidere som oppholdt seg i skredområdet. Overvåkningen ble gjort med drone og direkte feltobservasjoner under redningsaksjonen, og senere også bakkebasert InSAR-radar.

Denne rapporten har som formål å rekonstruere den romlige og tidsmessig utviklingen av massebevegelser langs skredkanten og i skredgropa i etterskredfasen, og å evaluere nytten av de ulike metodene benyttet under overvåkningen. Arbeidet er gjort for å få bedre forståelse av forventet utvikling av gjenstående skredkanter etter kvikkleireskred og for å øke vår evne til å varsle massebevegelser.

Vi ønsker å takke Toril Hofshagen, Jaran Wasrud, Eirik Traae, Paul Christen Røhr og Anders Bjordal for gjennomgang og redigering av dokumentet og Anders Bjordal for figurer presentert i Vedlegg E.

Oslo, desember 2024

Torill Engen Skaugen
seksjonssjef
Seksjon for varsling av flom og jordskredfare
Hydrologisk avdeling

Graziella Devoli
forsker
Seksjon for varsling av flom og jordskredfare
Hydrologisk avdeling

Dokumentet sendes uten underskrift. Det er godkjent i henhold til interne rutiner.

Sammendrag

Den 30.12.2020 gikk et kvikkleireskred sør for Ask sentrum, i Gjerdrum kommune, og etterlot en bratt og aktiv skredkant, 1230 m lang og opp til 20 m høy. Skredet hadde et volum på ca. 1,35 millioner m³ og et utløpsområde på 2 km. Ti personer og et ufødt barn omkom i skredet, og totalt ble ca. 1500 personer evakuert fra sine boliger som følge av hendelsen. Det førte til store materielle ødeleggelser, og mange hus ble ødelagt.

Etter hovedskredet fortsatte det å gå mindre skred langs skredkanten. Dette er vanlig etter kvikkleireskred, og skred kan forekomme dager eller måneder etter hovedskredet. Etter kvikkleireskredet i Ask var det behov for å oppholde seg i og rundt skredgropa for å gjennomføre redningsarbeidet, og senere sikrings- og oppryddingstiltak. Derfor ble det umiddelbart etter hovedskredhendelsen satt i gang overvåking av skredkanten ved bruk av flere metoder. Overvåkingen skulle varsle nye skred som kunne utgjøre en fare for personell som oppholdt seg i skredområdet.

Overvåkingen ble gjort med drone, bakkebasert InSAR-radar og direkte feltobservasjoner. Bruk av bakkebasert InSAR-radar til overvåking og varsling av kvikkleireskred, har etter NVE sin viten ikke vært forsøkt tidligere. De første seks dagene ble overvåking gjort med drone (optisk og infrarødt) og feltobservasjoner. Etter en uke ble det supplert med en bakkebasert InSAR-radar som et forsøk og ytterligere én radar ble satt i drift senere samme måned. Begge radarene har deretter målt i perioder. Området har vært overvåket med ulike metoder fra den 30. desember 2020 til januar 2022.

Alle massebevegelser ble kartfestet med hjelp av foto, video, digitale terrengmodeller og ortomosaikk generert fra drone, samt radarbilder.

Denne rapporten har som formål å rekonstruere og beskrive den romlige og tidsmessig utviklingen av massebevegelser langs skredkanten og i skredgropa i etterskredfasen (her definert som perioden fra kl. 8:30 den 30.12.2020 til 31.01.2022). Massebevegelsene beskrives med størrelse, type bevegelse, skreddynamikk og akselerasjon.

I de 398 dagene skredkanten og skredgropa ble overvåket, ble det dokumentert cirka 60 dager med massebevegelser. Det var utglidninger/skred med initialt volum mellom ca. 500 m³ og ca. 40 000 m³. De største skredene mobiliserte kvikkleira i skredgropa og hadde lange utløp. På dager med mye regn og snøsmelting ble det også observert mindre erosjonsprosesser langs skredkanten.

Denne rapporten viser at InSAR-radar er best egnet til overvåking og varsling av skred fra en gjenstående skredkant etter et kvikkleireskred. Ca. 20 etterskred ble varslet med bruk av radar. I forkant av skred viste radaren akselererende bevegelse i avgrensa områder langs skredkanten i de fleste tilfeller. Dette kunne i flere tilfeller observeres noen få timer før skredet, med deformasjoner på opptil 10 mm. Dette ga tilstrekkelig tid til å varsle personell i og rundt skredgropa, om radardataen ble fulgt nøye med på.

Summary

The 30th of December 2020 a quick clay slide occurred south of the village of Ask, Gjerdrum municipality (Norway), that left a steep and active scarp ca. 1230 m long and 20 m high. The landslide had a volume of about 1,35 million m³ and a runout of about 2 km. Ten people and an unborn child were killed and about 1500 people were evacuated. Large material damage was reported, and many houses were destroyed.

After the main landslide, many retrogressive landslides occurred along the remaining scarp. This behaviour is common after a quick clay slide and successive events can occur days and months after the main event. After the Ask landslide, many people were involved in rescue operations and the mitigation actions below the remaining scarp and within the 20 m deep depleted zone. For this reason, a temporary monitoring and warning system was established to warn rescue personnel, working below the scarp, about the possible occurrence of successive landslides.

The monitoring was done using drone, ground-based InSAR radar and field observations. This was to NVE knowledge the first time that ground-based InSAR radar have been used for monitoring and warning of quick clay slides.

During the first six days, the monitoring was done mainly with drones (using both optical and thermal cameras) and field observations. After a week, the first ground-based InSAR radar was installed and after a few weeks another one. The area was monitored for over two years, from the 30th of December 2020 until January 2022. All mass movements were mapped with the help of photos, video and digital terrain models from drones, photo and field observations and radar data.

This report has the objective to describe the spatial and temporal occurrence of landslides along the remaining scarp and within the depleted zone, during the response and recovery phases (herein defined from 08:30 of the 30th of December 2020 to 31st of January 2022). The landslides are described in terms of magnitude, type of movement, landslide dynamics and acceleration.

In the monitored period of 398 days, successive landslides were observed in 60 of these days, with an initial volume ranging from 500 m³ to 40 000 m³. The largest failures remobilized quick clay sediments in the depleted zone and had a longer runout. During days with intense rain and snowmelt minor erosion processes were also observed along the remaining scarp.

This report shows that ground-based InSAR radars are useful tools for monitoring and warning of successive landslide that follow a main quick clay slide. About 20 slope failures were detected and predicted with the use of radar. The radar was able to detect areas of accelerating velocities in a limited area, typically in a period of a few hours prior to failure, with the total amount of deformation commonly adding up to 10 mm during the time of acceleration. This gives enough warning time to people still working in the area.

1 Innledning og formål

1.1 Om kvikkleireskredet i Ask (hovedskred og etterskredfasen)

Onsdag 30.12.2020, rett før kl. 4:00 om morgenen, gikk det et skred sør for Ask sentrum i Gjerdrum kommune. Hovedskredhendelsen er godt rapportert og beskrevet av Gjerdrumutvalget: «Årsakene til kvikkleireskredet i Gjerdrum 2020» (1). Analyser gjennomført av Gjerdrumutvalget viser at én eller flere små utglidninger i skråningen øst for Tistilbekken vest for Holmen førte til en ustabil bakkant som blottla kvikkleire, og startet en bakovergripende (retrogressiv) bruddutvikling. Skredet forplantet seg videre nordover inn i boligfeltet Nystulia. Hoveddelen av skredmassene fulgte Tistilbekkens løp (delvis rørlagt) østover mot Hval gård, med en utløpslengde på ca. 2 km.

Når et kvikkleireskred forekommer, går hovedskredet oftest i løpet av få minutter. Etter hovedskredet vil det oftest gå en serie av større og mindre skred (utglidninger, rotasjonsskred og flaskred) over en periode som kan variere fra noen få timer og dager til flere uker og måneder.

Det er uklar terminologi på norsk om skredene som skjer etter hovedskredhendelsen. Ofte kalles de «etterskred» (2) eller «avskalling» i populær sjargong og i noen avisartikler. Begrepet «avskalling» ble brukt i forbindelse med beskrivelsen av Røesgrenda, i Verdal¹, kvikkleireskredet på Kråkneset, Alta² og spesielt etter kvikkleireskredet i Ask, Gjerdrum³. I dette dokumentet bruker vi ordene skred, etterskred eller massebevegelser som synonymer.

Det finnes også relativ lite informasjonen i litteratur om etterskredfasen. For noen hendelser er det kjent at etterskredfasen varte noen dager, for andre kan det tolkes til at det har vart i måneder. Mangel på beskrivelser kan være fordi den retrogressive utviklingen stopper samme dagen eller noen få dager etter hovedskredet, og mindre etterskred har vært av liten betydning. For eksempel ble kvikkleireskredet på Kråkneset (03.06.2020), fulgt av et par rotasjonsskred som gikk to og tre dager etter (3).

Etter hovedskredet i Ask fortsatte det å gå mindre og større utglidninger/skred (massebevegelser) langs skredkanten gjennom hele 2021.

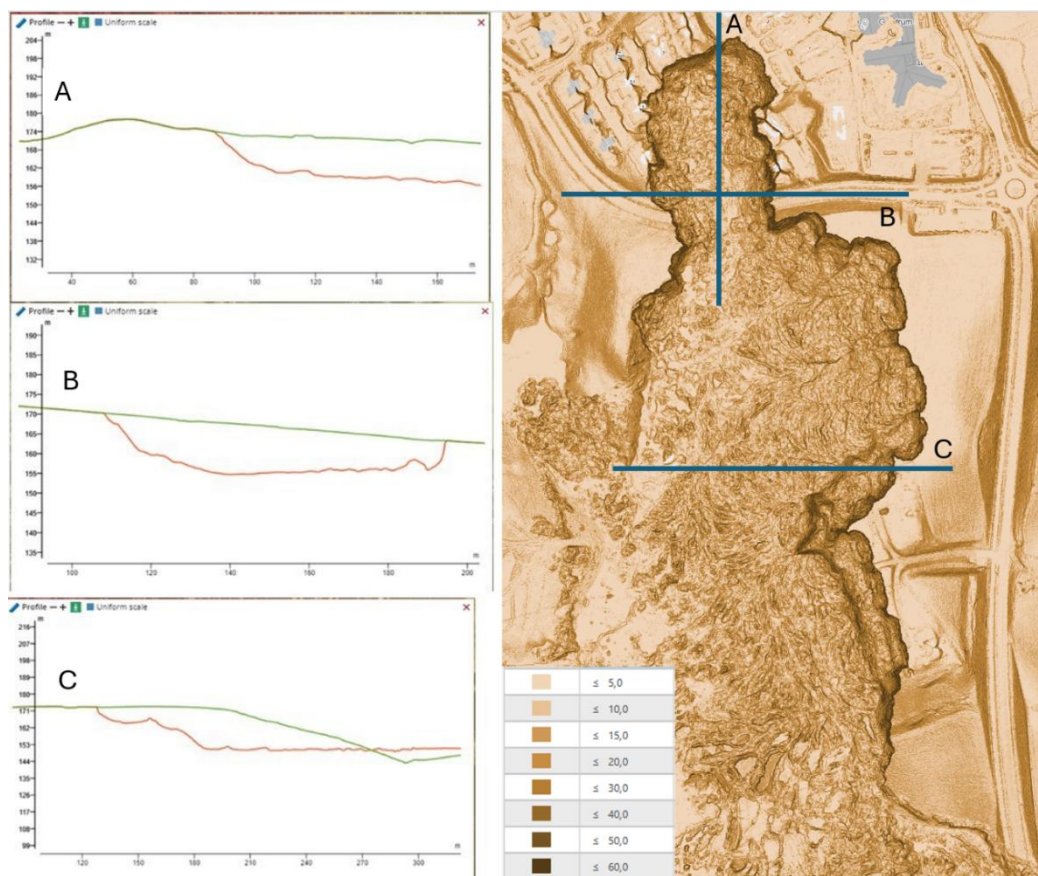
I denne rapporten er det valgt å dele skredaktiviteten til kvikkleireskredet i Ask i to faser, som vi kaller *hovedskredhendelsen* og *etterskredfasen*.

- *Hovedskredhendelsen* er tidsrommet mellom initialskredet og den påfølgende sammenhengende retrogressive utviklingen av skredet som er beskrevet i rapporten fra Gjerdrumutvalget «Årsakene til kvikkleireskredet i Gjerdrum 2020» (1). Denne fasen er avgrenset fra kl. 3:48 til kl. 8:30 den 30.12.2020.
- *Etterskredfasen* er perioden med massebevegelser som forekom etter hovedskredhendelsen og inkluderer utglidninger, dypere rotasjonsskred, grunn erosjon og utvasking langs skredkanten. Fasen er avgrenset fra kl. 8.30 den 30.12.2020 til 31.01.2022.

¹ [Kvikkleireskred utløses uten ytre påvirkning \(forskning.no; Historiske Funn – Leksdalsshistorie\)](https://forskning.no/historiske-funn/leksdalsshistorie)

² [Flere hus og hytter tatt av stort jordras i Alta \(aftenposten.no\)](https://aftenposten.no/Flere-hus-og-hytter-tatt-av-stort-jordras-i-Alta)

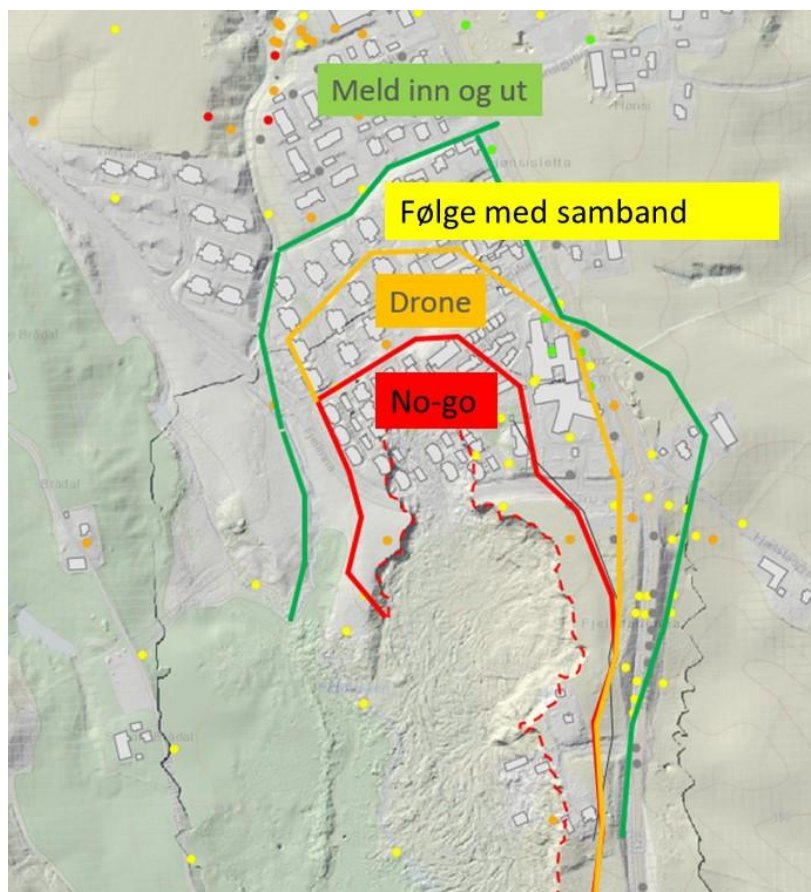
³ [Skredet i Gjerdrum, NVE | Flere nye avskallinger fra skredkanten: – Ingen dramatikk i dette \(rb.no\)\).](https://nve.no/Skredet-i-Gjerdrum-NVE-Flere-nye-avskallinger-fra-skredkanten--Ingen-dramatikk-i-dette-rb.no)



Figur 2. Helningskart og utvalgte profiler av skredkanten. Profilene viser opprinnelig terreng før skredet (grønn) og nytt terreng etter skredet (rød).

For å kunne organisere risikoreduserende tiltak med tilgjengelig utstyr og ivareta sikkerhet på best mulig måte, ble området delt opp i ulike soner med ulike sikkerhetsregler og rutiner (se også Figur 3):

- “No go”-sone (rød sone): Området nærmest skredkanten på ca. 50 m bredde, hvor massebevegelser pågikk. Innenfor denne linja ble det anbefalt ingen adgang.
- Drone-sone (oransje sone): Personopphold her forutsatte droneovervåking av nærmeste skredkant, og at boreriggene og restverdiredning hadde med seg sambandskontakt med dronepilot, samt med de som overvåket skredkanten visuelt fra bakken på avstand.
- Sambandssone (gul sone): Personopphold her forutsatte at boreriggene og restverdiredning hadde med seg sambandskontakt med de som overvåket skredkanten visuelt fra bakken på avstand, men ikke egen droneovervåking.
- “Meld inn og ut”-sone (grønn sone): Ytre sone i evakuert område. Personopphold i denne sonen forutsatte kun inn- og utmelding av sonen. Område for grunnundersøkelser og restverdiredning.



Figur 3. Inndeling av soner i evakuert område.

1.3 Mål

Analysen presentert i denne rapporten har som formål å evaluere nytten av de ulike metodene benyttet under overvåkingen, og å rekonstruere og beskrive den romlige og tidsmessig utviklingen av massebevegelser langs skredkanten og i skredgropa i etterskredfasen i Ask.

Dette vil øke forståelsen av forventet utvikling av skredkanter etter kvikkleireskred og øke vår evne til å varsle større skred i etterskredfasen, for best mulig sikkerhet ved redningsoperasjoner og sikringsarbeid hvis lignende hendelser skulle skje i fremtiden.

Spesifikke mål for denne rapporten:

- Analysere de ulike overvåkingsmetodene som er blitt benyttet og vurdere i hvilken grad disse kan benyttes for å varsle etterskred.
- Bedre forståelsen av forventet utvikling av en skredkant i tiden etter hovedskredhendelsen, gjennom en bedre karakterisering av massebevegelser.
- Korrelere, hvis mulig, skredhendelser med værdata (nedbør og temperatur), grunnvannsstand og vannmetningsgrad i jorda.
- Identifisere læringspunkter etter skredhendelsen i Ask som kan brukes til å gi anbefalinger til beredskap for tilsvarende hendelser i fremtiden.

2 Overvåking og varsling av massebevegelser

2.1 Om metoder for overvåking av massebevegelser i etterskredfasen

Ved mange tidligere kvikkleireskred har det blitt observert skred etter hovedskredfasen, men i tilfeller der disse ikke går nær bebyggelse har det ikke vært behov for overvåking eller kartlegging. I så måte er kvikkleireskredet i Ask i en særstilling med særdeles mye informasjon om massebevegelser i etterkant av et hovedskred.

I tiden etter hovedskredhendelsen i Ask var det stor usikkerhet knyttet til stabiliteten i skredgropa, og det var diskutert om det var forsvarlig å utføre søk og redning samt sikringsarbeid i etterkant. Det ble derfor satt i gang overvåkning av skredkanten ved hjelp av flere metoder, for å kunne varsle nye skred som kunne være til fare for redningspersonell eller sanerings- og sikringsarbeidere som oppholdt seg i skredområdet.

Overvåkingen ble i redningsfasen organisert gjennom bruk av drone og direkte feltobservasjoner. Senere ble også bakkebaserte InSAR-radarer brukt.

Drone benyttes ofte for å få oversikt over områder der skred har gått, men mer sjeldent til overvåking og varsling slik det ble benyttet etter skredet i Ask.

Bakkebasert InSAR-radar er en fjernmålingsmetode som kan måle endringer i overflaten over tid. Metoden brukes blant annet til overvåking og varsling av andre skredprosesser som fjellskred, steinskred, glideskred i snø og er forsøkt på steinsprang. Forutsetningen for varsling er at det er en fase med akselerasjon i forkant av skredet. Så vidt vi kjenner til har ikke bakkebasert InSAR-radar vært brukt til å overvåke skredkanter etter kvikkleireskred. Det var derfor usikkert om denne metoden ville fungere i Ask.

Det er lite erfaring med overvåking av bratte skredkanter etter et kvikkleireskred. Derfor var det i starten usikkert om de ulike metodene kunne benyttes til å varsle nye skred.

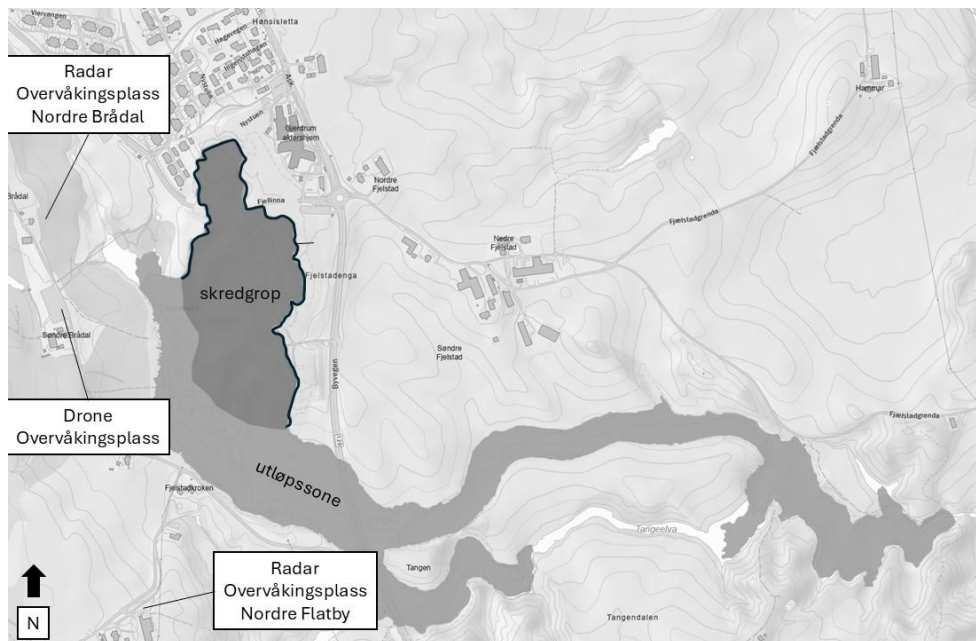
2.2 Overvåkingsmetoder brukt i Ask

Området ble overvåket fra 30.12.2020 til januar 2022.

Følgende overvåkingsmetoder ble benyttet:

- Direkte visuelle feltobservasjoner (fra 30.12.2020 til 28.02.2021)
- Droneovervåking i regi av Andøya Space AS/Brannvesen (fra 30.12.2020 til 28.02.2021)
- Radarovervåking i regi av NVE. Det ble installert to radarer, en på Nordre Flatby i perioden 6.01.2021 til 24.02.2021 og fra 7.07.2021 til 18.01.2023, og en på Nordre Brådal i perioden 18.01.2021 til 8.02.2021 og fra 12.10.2021 til 27.04.2022

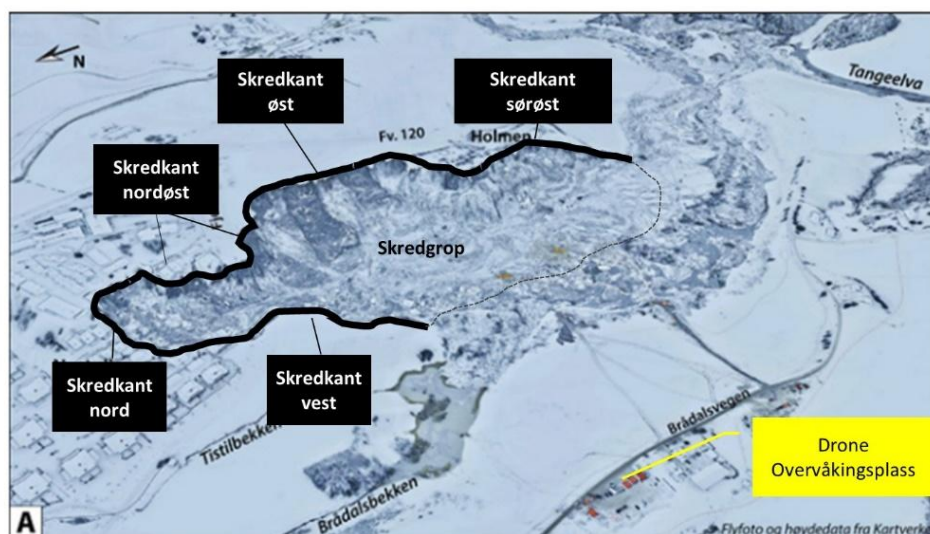
Figur 4 viser lokaliteter hvor overvåkingsplass for drone og radar ble etablert.



Figur 4. Kart som viser overvåkingsplasser for radar og drone.

2.3 Droneovervåking og visuelle feltobservasjoner

Figur 5 viser et oversiktsbilde av skredkanten sett fra nordvest og plassering av overvåkingsplasser for drone hvor dronepilotene stod.



Figur 5. Oversikt av skredkanten, skredgrop og overvåkingsplass for drone. (Bilde: modifisert fra (1)).

Droneovervåking har blitt brukt under alle faser beskrevet i kapittel 1.2.

Droneovervåkingen ble i akuttfasen (søk og redning) organisert av Nedre Romerike brann- og redningsvesen IKS og Andøya Space AS og ble rekvirert av politiet. Denne overvåkingen startet opp den 30.12.2020. Dronepilotene stod på vestsiden av skredgropa (Figur 5). De første dagene stod de ute, men satt etter hvert i brannvesenets dronebuss og senere politiets campingbil.

I hele akuttfasen var det overvåking av skredområdet med to droner i luften (med to dronepiloter). I tillegg fulgte skredspesialister fra NVE, NGI og/eller Multiconsult AS med

direkte på skredkanten, samt på dronebildene. Flyving med drone ble organisert døgkontinuerlig i akuttfasen frem til 05.01.2021 (4). Droneovervåking i denne fasen var fokusert først og fremst i den røde «no-go» sonen (Figur 3). Både ordinært kamera og infrarødt kamera på dronene ble benyttet.

I den påfølgende perioden (12.1.2021- mars 2021) i etter-akuttfasen og grunnundersøkelse og restverdiredningsfasen, pågikk geotekniske feltundersøkelser og restverdiredning fra boliger bak skredkanten, samt søk etter antatt omkomne (SEAO) i deler av denne perioden (18.01.2021-10.02.2021). Det var kontinuerlig overvåking på dagtid kl. 8:00 til 18:00 (Figur 6 og 7), eller så lenge det var folk innenfor «sambandssonen» eller i skredgropa (Figur 8).

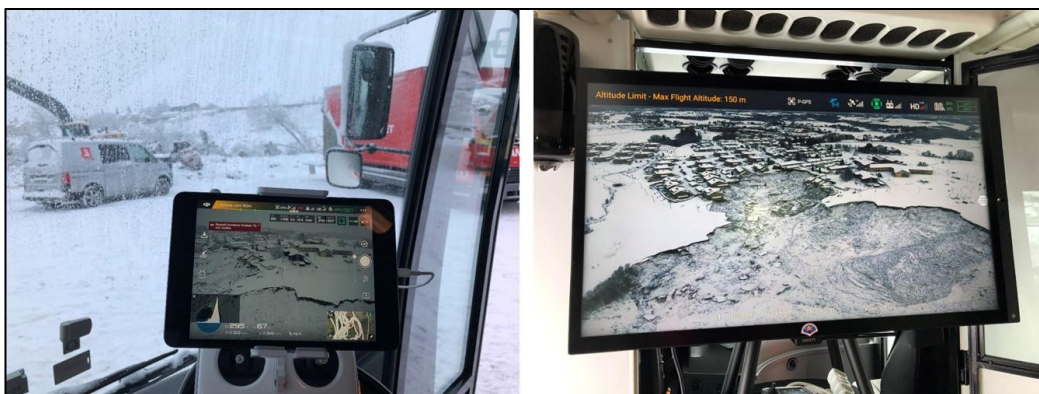


Figur 6. Droneovervåkingsplass på vestsiden av skredkanten (Bilder: øverst Graziella Devoli/NVE, nederst Erik Due/NVE).

Da SEAO pågikk inkluderte overvåkingen droneoverflyvning over skredkanten på morgenen, ved lunsjtid og på slutten av dagen. I tillegg ble det brukt kikkert og direkte visuell observasjon som supplement.

I perioder der det pågikk geotekniske undersøkelser nær “no-go”-linjen (Figur 3) ble det flydd drone hver morgen, samt betjent visuell overvåking i felt mens grunnundersøkelsene ble utført. Utenom dette ble det generelt flydd drone to ganger i uken, og ellers i forbindelse med etterskred.

Gjerdrum kommune gikk til innkjøp av egen drone og startet egne periodiske flyvinger den 23.02.2021. Kommunen dokumenterte skredgropa gjennom film og foto regelmessig fram til august 2023.



Figur 7 Droneovervåkingsplass og utstyr. Droneskjerm (venstre) og stor skjerm (høyre)brukt for å overvåke skredkanten (Bilder: Graziella Devoli/NVE).



Figur 8. Søk etter antatt omkomne i skredgropa. (Bilde: Erik Due/NVE, 18.01.2021).

Gjennom denne fasen benyttet også NVE egne droner til å lage ortofoto og terrengmodeller for å dokumentere massebevegelser langs skredkanten, og til bruk i de geotekniske arbeidene bl.a. for stabilitetsberegninger.

Drone ble benyttet for lokal vurdering i begynnelsen av opprydding- og sikringsfasen i skredgropa (Figur 9), blant annet knyttet til forlengelse av anleggsveien (utført av NVE Anlegg i mars 2021) og oppryddingen av bygningsmasser i gropa (utført av Norsk Saneringservice). Samtidig ble det utført grunnundersøkelser både i gropa og bak østre skredkant.

Drone ble også benyttet til å fly over ledeline for utplassering av seismisk utstyr.

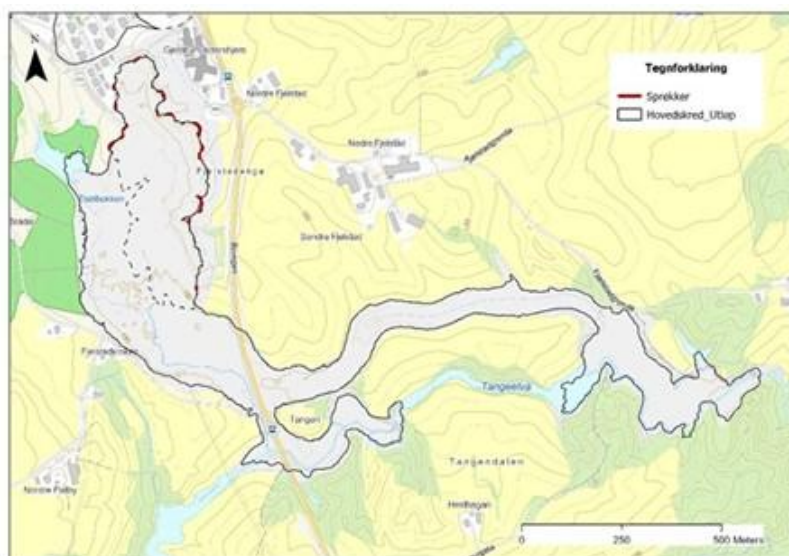


Figur 9. Droneovervåking av skredkanten i begynnelsen av opprydding- og sikringsfasen (Bilder: Graziella Devoli/NVE).

2.3.1 Analyser av sprekker langs skredkanten

Før radaren ble installert ble drone benyttet for å se etter sprekkedannelser i bakkant av skredkanten i et forsøk på å varsle massebevegelse. Sprekker ble daglig kartlagt inntil 20.01.2021 (Figur 10), men det var vanskelig å bruke informasjonen til varslingsformål, fordi observerte bevegelser ikke nødvendigvis var hvor sprekker ble dannet.

Selv med bruk av termisk kamera viste det seg å være krevende å observere bevegelser ved hjelp av drone, og søk etter sprekkedannelser ved hjelp av drone ble derfor etter hvert avsluttet.

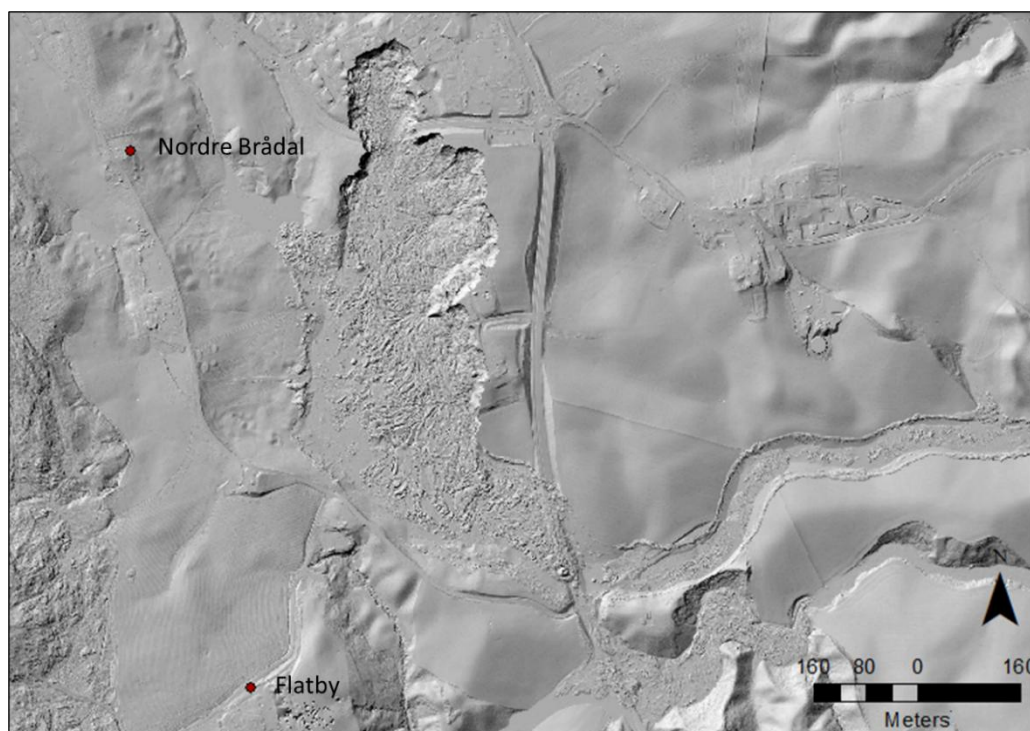


Figur 10. Kartlagte sprekker i perioden 10.-20.01.2021.

2.4 Radarovervåking

Bakkebasert InSAR radar er en fjernmålingsmetode som måler endring i overflaten over tid. Dette er en metode som er brukt til overvåking og varsling av andre skredhendelser, hovedsakelig fjellskred, men det er også brukt på glideskred (snø), steinskred og steinsprang. Forutsetningen for å kunne varsle skred er at det er akselerasjon i forkant av skred. NVE kjenner ikke til andre tilfeller der denne metoden er brukt på kvikkleireskred, og det var dermed et forsøk som vi var usikre på om ville fungere.

Målingene på Gjerdrum ble utført med to radarer fra to ulike posisjoner i flere perioder. Målingene fra Nordre Flatby ble utført mellom 06.01 og 24.02.2021 og fra 07.07.2021 til 18.01.2023. Fra Nordre Brådal målte radaren fra 18.01 til 08.02.2021 og fra 12.10.2021 til 27.04.2022. Det ble målt fra to plasseringer for å ha best mulig dekning over skredkanten (Figur 11).



Figur 11: Plassering av de to radarene på ulike steder for å ha best mulig dekning av skredkanten.

Radarene var av typen LiSA LAB GBInSAR system (Ground-Based Interferometric Synthetic Aperture Radar) fra Ellegi srl (Figur 12, øverst) og data ble prosessert i programvaren «Lisa Main Mobile» fra samme produsent.

Bakkebasert InSAR-radar måler endringer av avstanden til reflekterende punkt i terrenget over tid. Dette skjer ved at elektromagnetiske bølger blir sendt fra en antenne, treffer terrenget/objektet og blir reflektert tilbake til en mottaker. Ved å studere de mottatte signalene kan informasjon om avstanden til punkt i terrenget kalkuleres. Dette kan omarbeides til radarbilde, og radarbilder tatt på ulike tidspunkt kan sammenlignes i form av interferogram for å se mulig deformasjon i synsfeltet og rekkevidden til radaren. Bevegelsen mellom to radarbilder bør ikke være større enn $\pm 4,4$ mm siden det gir fasehopp, og hastigheten til radaren og prosesseringen må tilpasses så det ikke overstiger dette. En serie av interferogram kan brukes til å se total overflatedeformasjon og utviklingen gjennom måleserien.



Figur 12: Øverst: Eksempel på radar brukt i Gjerdrum (Foto: NVE). Nederst: Radarhenger på Nordre Flatby (Foto: Tore Bergeng/NVE)

En fordel med metoden er at den ikke er avhengig av sikt til objektet, slik at det blir gode data til tross for mørke og tåke, og det blir ofte god oversikt over overflatebevegelsene i et større område. Presisjonen er som regel ned til millimeter-skala, avhengig av innstillinger og støy. Radaren blir også satt opp på avstand, med rekkevidde på minimum 4 km, noe som gjør at den kan monteres og stå utenfor det potensielt farlige området.

Noe som kan forårsake støy på målingene, er atmosfærisk lagdeling og endring av overflate som følge av vegetasjon eller snø og is. Om endringene mellom to radarbilder er store kan pikslene bli usammenlignbare, noe som kalles å miste koherens.

Nøyaktig posisjon til radarene er målt med differensial GPS for å ha mulighet til å georeferere data.

Parameterne som har blitt brukt er listet i tabell 1 og har vært like for begge radarene. Registrerte bevegelser kan være noe underestimert siden radaren måler bevegelse i siktelinjen til radaren, og vi vet ikke den reelle bevegelsesretningen til områdene i skredkanten.

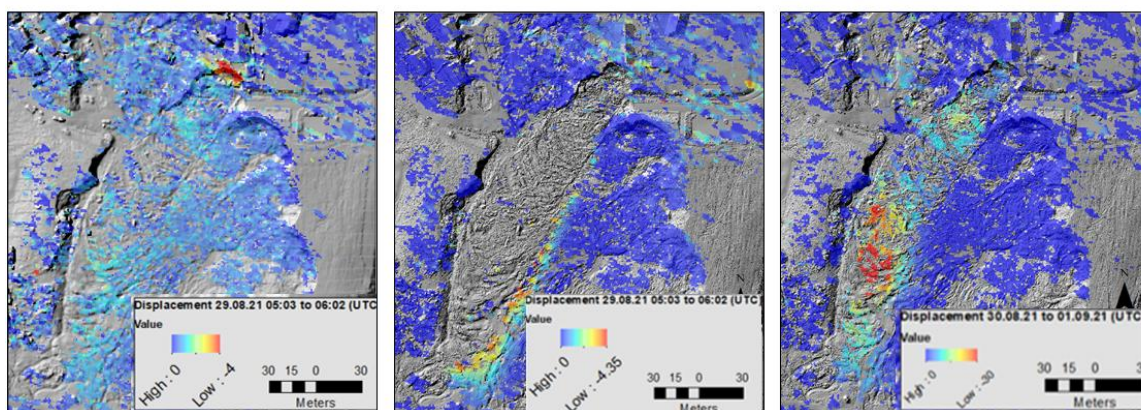
På Gjerdrum har radarene målt fra flyttbare radarhengere (Figur 12, nederst) og flyttbare fundament med telt over.

Tabell 1: Oversikt over parametrene til radaren. Det var de samme innstillingene på begge radarene.

Parameter	Verdi
N° frekvens.:	1201
Start frekvens:	17.15
Stopp frekvens:	17.25
Sentral frekvens:	17.2 GHz
Båndbredde:	100 MHz
Antall punk langs skinnet:	601
Antall innsamling:	1004
Lengde av syntetisk aperture:	3 m
Utgangseffekt:	22 dBm
Fart:	2000
Retur fart:	3000
IF:	10 000
Vinkel antenne:	0°

Under målingene har det generelt vært grei kvalitet på radardataene, men snø og snøsmelting har gitt støy i perioder. Kort tid etter målingene startet ble det tydelig at det var mulig å måle bevegelse og etterskred fra skredkanten.

Et klassisk forløp av et etterskred i radardatane er at en ser bevegelse i et område ved skredkanten, etterfulgt av at et større område mister koherens (mister datapunkt) når skredet går. Etter en periode kommer datapunkta tilbake og det er bevegelse i skredgropa. Figur 13 viser dette mønsteret fra et skred som gikk 29. august 2021.



Figur 13: Et klassisk forløp av et skred, her fra et skred som gikk 29. august 2021. Det er et område i bevegelse langs skredkanten først, etterfulgt av manglende koherens (manglende datapunkt) fra skredkanten og området under. Etter en viss tid ser man igjen datapunkt i skredgropa som er i bevegelse.

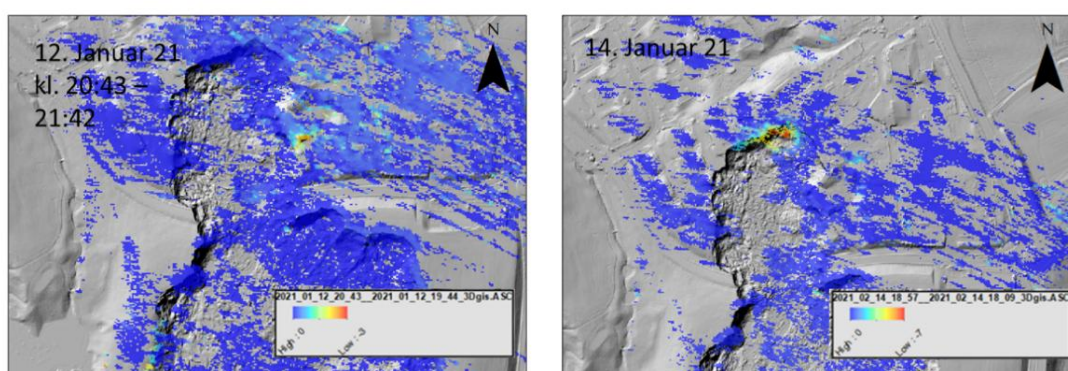
I mange tilfeller har det vært enkelt å identifisere skred, men i noen tilfeller, særlig om det allerede er store bevegelser etter tidligere skred og når det er mye støy i datasettet, er det mer utfordrende.

Totalt ble det registrert rundt 20 skred ved bruk av radar, og disse er listet i Tabell 2. Skredtidspunkt er registrert som et intervall, siden skred skjedde mellom to interferogrammer. Det er mulig å tidfeste skred mer nøyaktig ved å se på enkeltbilder.

Informasjon om hvert enkelt skred finnes i vedlegg A. Det ble også observert endringer i terrenget som følge av sikringsarbeid.

Størrelsen til området i bevegelse kan være vanskelig å fastslå med nøyaktighet om det grenser til områder uten radardekning, om det er støy i data og om bevegelsen er for stor for det radaren kan måle. Det er likevel forsøkt estimert i tabell 2, både størrelsen på område i bevegelse før skred og størrelsen på område i bevegelse i skredgropa etter skred.

Generelt har størrelsen på området i bevegelse før skred variert fra ca. 15 m x 25 m til 60 m x 85 m. Mindre områder kan også ha vært i bevegelse, men er vanskelig å identifisere på grunn av pikselstørrelsen i radarbildene og å skille det fra støy (Figur 14).



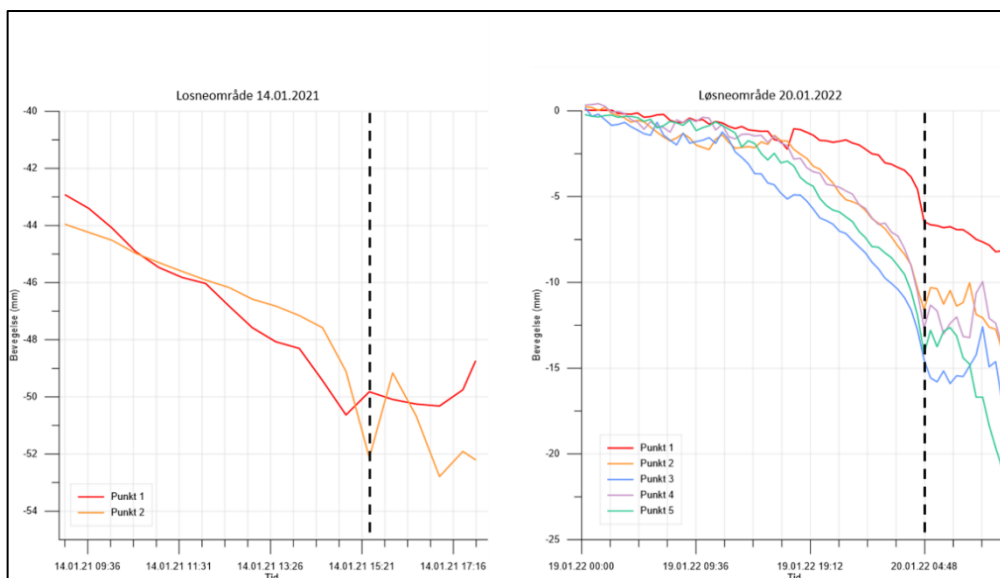
Figur 14: Ulike størrelser på deformasjonsområde i forkant av skred.

Bevegelsen i løseområdene har generelt vært liten. Det varierer fra å ikke være mulig å registrere til noen få mm. Det har også vært bevegelse i området som ikke har ført til skred. Det har vært mulig å skille disse i forkant siden områder som går til skred er tydeligere avgrenset og har en tydelig akselerasjon. I tiden med tydelig akselerasjon har bevegelsen vært opptil ca. 10 mm. Varigheten på akselerasjonen varierer mellom å gå så raskt at det ikke er mulig å registrere, til at det varer noen timer før et skred.

Tabell 2: Registrerte skred fra radar med dato og skredtidspunkt.

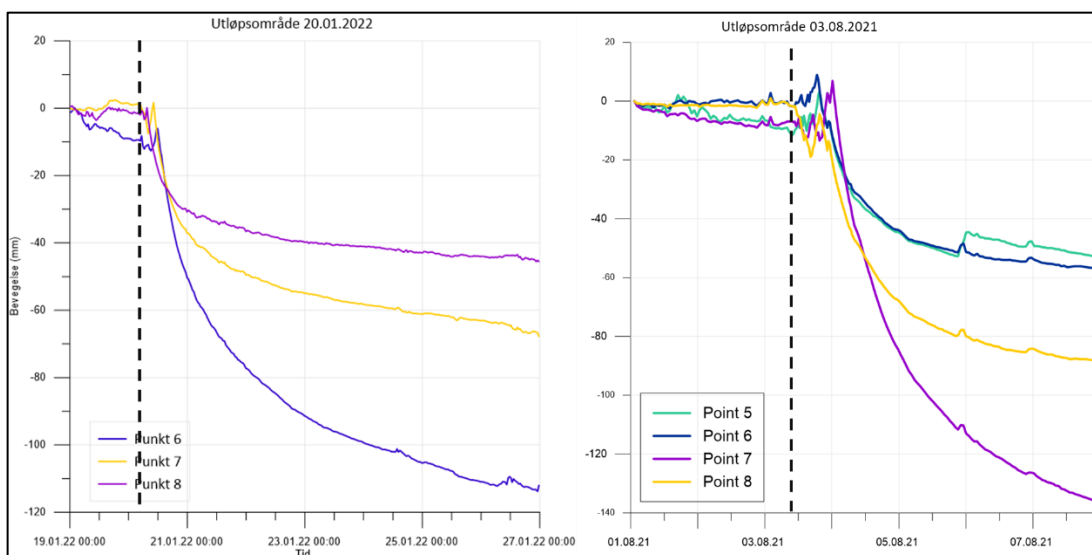
Måleperiode	Dato	Tidspunkt, mellom	Estimert areal av løsneområde som var i bevegelse (m ²)	Estimert areal av utløpsområde/remobiliserte masser (m ²)
06. januar – 24 februar 2021	09. januar 2021	06:17 og 07:16	477	
	10. januar 2021	14:42 og 15:41	382	1830
	12. januar 2021	20:43 og 21:42	316	
	12. januar 2021	21:42 og 22:41		11445
	14. januar 2021	15:00 og 15:29		1269
	14. februar 2021	18:57 og 19:12	1760	
	17. februar 2021	19:45 og 20:01	247	
	20. februar 2021	19:46 og 19:48		
	21. februar 2021	20:10 og 20:12	3465	
7. juli 2021 – 20. januar 2022	22. juli 2021	10:09 og 11:04	1373	
	1. august 2021	19:48 og 20:46		
	3. august 2021	08:19 og 08:46	482	
	7. august 2021			
	9. august 2021	15:42	364	
	10. august 2021	14:06 og 15:05		
	16. august 2021	16:01 og 16:59	353	
	22. august 2021	10:22 og 11:20	1062	
	29. august 2021	05:03 og 06:02	1192	
	30. oktober 2021	20:36 og 21:09	657	
	20. januar 2022	04:44 og 05:17	1345	

Figur 15 viser to ulike forløp før skred, der den ene har kort akselerasjonstid mens den andre har lang tid.



Figur 15: Figuren viser en rask og en lenger akselerasjonsfase forut for skred.

Etter et skred har det blitt bevegelse i et større område i skredgropa. I noen tilfeller har området vært 30 ganger større enn området som var i bevegelse langs skredkanten. For eksempel var det i forkant av skredet som gikk 29. august 2021 bevegelse i et område på ca. 1000 m². Skredet førte til bevegelse i et areal på 32 000 m² skredgropa, og masser var i bevegelse 380 m fra skredkanten. Den store forskjellen i areal skyldes trolig at i tillegg til at det kommer ekstra masse ned i gropa, blir eksisterende skredmasser reaktivert og satt i bevegelse. Like etter et skred har bevegelseshastigheten vært for høy til at radaren klarer å måle det, men etter hvert har hastigheten avtatt gradvis slik at radaren igjen kan måle. Bevegelsen i gropa har gjerne vart i mange dager etter skred har gått (Figur 16).



Figur 16: Bevegelse i skredgropa etter et skred kan vare i mange dager. Stiplet linje viser skredtidspunkt.

Den akselererende bevegelsen i et avgrenset område før skred, har gjort at skred i mange tilfeller har vært mulig å forutse og varsle. Siden bevegelsen generelt har vært liten (<10 mm) og akselerasjonstiden kort (<10 timer) har vellykka varsling krevd at data har blitt undersøkt ofte og nøye. Enkelte skred har vært vanskelige eller umulige å varsle. Fra målingene startet har det blitt varslet når det har sett ut som skred vil skje, både i tida med søk etter antatt omkomne og under opprydding og sikringsarbeidet. Under sikringsarbeidet ble radardata

sjekka daglig og det ble sendt rapport før oppstart av arbeidet, vanligvis mandag til torsdag. Med varsel om at skred kunne gå eller at større områder var i bevegelse, har gjerne arbeid blitt flyttet til andre områder eller opphørt. Anleggsarbeiderne har også selv sjekket data gjennom dagen.

Bruk av bakkebasert InSAR-radar til overvåking og varsling av kvikkleireskred har etter NVE sin viten ikke vært forsøkt tidligere. Dette startet som et forsøk, men etter kort tid viste det seg at kvikkleire har en akselererende bevegelse før skred og at etterskred i mange tilfeller er mulig å varsle. Likevel har bevegelsene vært små, og akslerasjonstiden kort, så god varsling krever nøye oppfølging. Enkelte skred har vært umulig å varsle, og støy har i perioder gitt utfordringer. Overvåking og varsling med bakkebasert InSAR-radar har gitt betydelig økning i sikkerheten til arbeiderne i området, både siden man kan forutse skred tidligere og at tåke og mørke ikke påvirker målingene. I tilsvarende situasjoner vil vi anbefale å få opp slikt utstyr så raskt som mulig. Det er mulig at annet utstyr for deformasjonsmålinger, som f.eks. totalstasjon og laser, også kan fungere godt.

3 Utvikling av skredkanten

3.1 Kilder og metoder for kartlegging av massebevegelser

Ulike datakilder ble benyttet for å kartlegge og karakterisere massebevegelser langs skredkanten i etterskredfasen av kvikkleireskredet i Ask.

De følgende datakildene ble brukt:

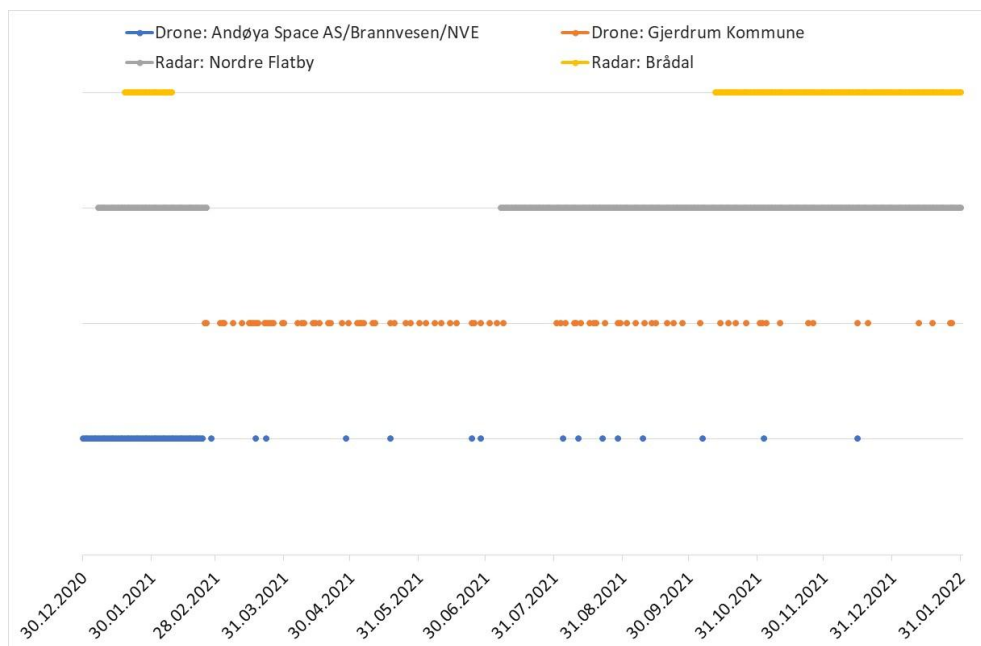
- Direkte visuelle feltobservasjoner og bilder (fra 30.12.2020 til 31.12.2021)
- Dronefilm og bilder tatt av Andøya Space AS, Terratec, NVE og Multiconsult (fra 30.12.2020 til 28.02.2021)
- Dronebilder og dronefilm tatt av Gjerdrum kommune (bilder og video fra 02.03.2021 til august 2023).
- Ortofoto, skyggerelieff-kart og digitale terrengmodeller laget i perioden januar – desember 2021 av:
 - o Andøya Space AS (dronedata fra 31.12.2021, 3.01.2021, 4.01.2021, 5.01.2021),
 - o NVE (dronedata fra 13.01.2021, 17.01.2021, 28.01.2021, 26.02.2021, 18.03.2021, 28.04.2021 og 18.05.2021, 24.06.2021, 28.06.2021, 4.08.2021, 11.08.2021, 22.08.2021, 29.08.2021, 9.09.2021, 6.10.2021, 3.11.2021, 15.12.2021)
 - o Terratec (19.04.2020, 08.01.2021)
- Radardata i regi av NVE. (i perioden 06.01.2021 til 24.02.2021, fra 7.07.2021 til 31.01.2022, i perioden 18.01.2021 til 08.02.2021 og fra 12.10.2021 til 31.01.2022)

Figur 17 viser i detalj perioder det var radar- og droneobservasjoner som ble brukt for kartlegging av massebevegelser.

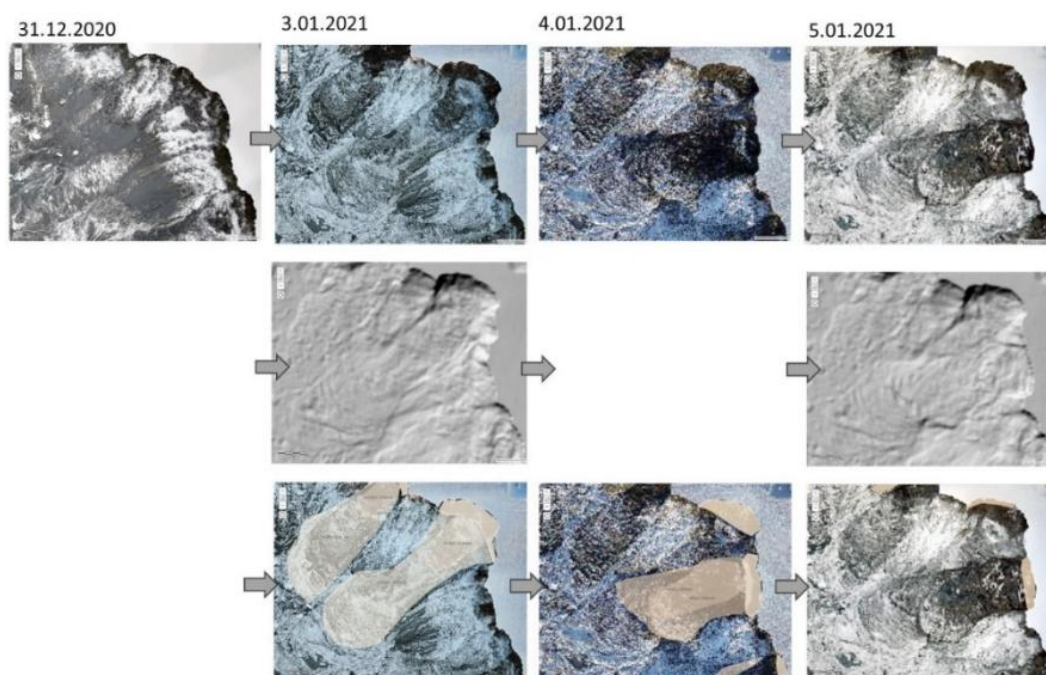
ArcGIS Online er brukt for å digitalisere posisjon og utbredelse av massebevegelser etter hovedhendelsen.

For hver hendelse har vi kartlagt og indikert:

Skredareal. Mange kilder ble brukt for å kartlegge skred (blant annet ortofoto før og etter, video fra drone og bilder, feltobservasjoner og skyggerelieff kart) (Figur 18). For hvert skred ble det kartlagt to polygoner, et for løснеområde og et for utløpsområde, hvor mulig (Figur 19). Det var spesielt vanskelig å avgrense areal av ulike massebevegelser som gikk de første to dagene (i perioden 30.12.2020 til 31.01.2020) på grunn av få tilgjengelige bilder. Bilder fra disse dagene viser dessuten sjelden hele skredkanten og er mørke på grunn av dårlige lysforhold.



Figur 17. Tidslinje av drone- og radarovervåking i periode 30.12.2020 til 31.01.2022 (Droner: Andøya Space AS /Brannvesen, NVE og Gjerdrum kommune; Radar: Nordre Flatby og Nordre Brådal).

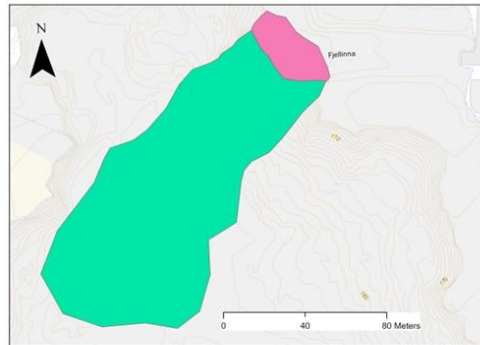
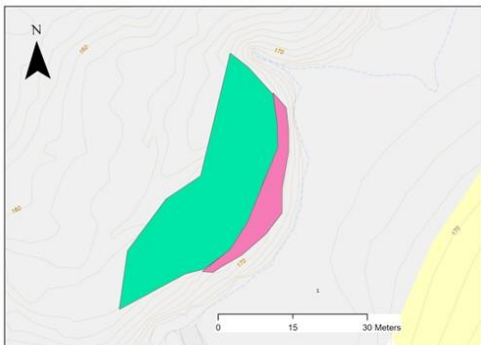


Figur 18. Eksempler på tilgjengelige ortofotoer og skyggerelieff-kart brukt for å tegne skredareal (for skred som gikk 1. - 5. 01.2021 i de østlige deler av skredkanten).

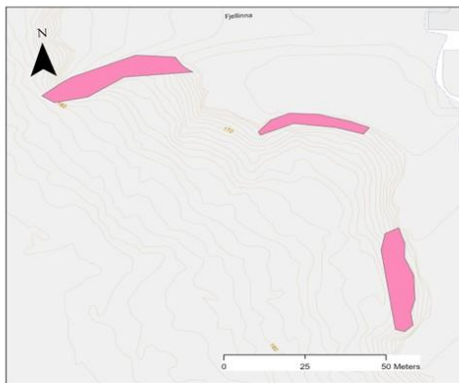
Skredtidspunkt. Dette ble indikert med dato og klokkeslett. Daglig feltobservasjoner og radarobservasjoner var spesielt viktig for å angi riktig klokkeslett, der dette var mulig. De største massebevegelsene har mer presise estimat for dato og tidspunkt, men det finnes fortsatt noen med usikker dato og tidspunkt. Det var spesielt vanskelig å rekonstruere nøyaktig tidspunkt, utvikling og rekkefølge på skred som gikk de første to dagene (30.-31.12.2020) fordi flybilder først ble tatt den 31.12.2020. Det var også vanskelig å estimere

dato spesielt for de skredene som gikk i måneder uten daglig overvåking. Der tidspunkt er usikkert, har dette blitt indikert i datasettet.

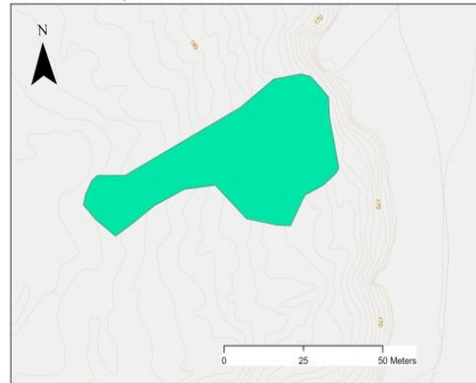
Eks. Skred kartlagt med løснеområde og utløpsområde



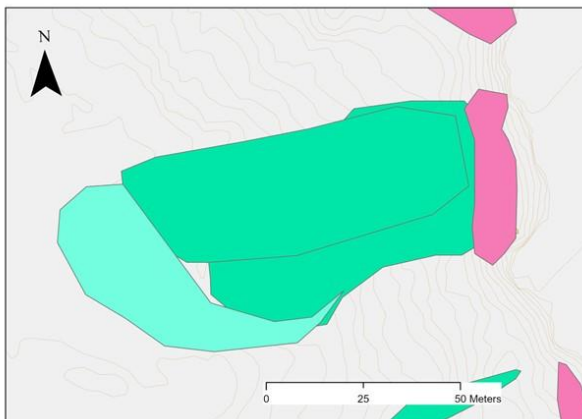
Eks. Løснеområde



Eks. Utløpsområde



Eks. Løснеområde, utløpsområde og utvidelse



Figur 19. Eksempler på kartlagte polygoner.

Størrelse. For noen av de massebevegelser som har gått i Gjerdrum etter hovedskredet har vi estimert:

- Areal av massene som var i bevegelse før skred (med å bruke radar)
- Areal av massene som var i bevegelse, og gled ut, både areal av løсне- og utløpsområdet (estimert fra kartlagte polygoner i GIS)

- Initial volumet eller løsnevolum som har glidd ut (etter skred) (estimert med GIS analyser, fjernanalyser)

Alle hendelser ble klassifisert basert på kartlagt skredareal, med å følge klassifikasjonen foreslått i (5) og presentert i Tabell 3. Det er viktig å presisere at den type klassifikasjon tar hensyn til areal og volum av massene som har vært i bevegelse over glideplanet og ikke areal og/eller volum av massene som er i bevegelse før skredet starter (og som kan estimeres fra radar) (se også kap. 2.4). Areal i bevegelse og areal som har glidd ut kan være forskjellig.

Det er også viktig å presisere at de observerte skred i Ask medførte en remobilisering av massene fra tidligere skred i skredgropa, og estimerer av volumer og areal kan derfor variere fra dag til dag (se også kap. 2.4). I beregninger av skredstørrelse for både areal og volum, er reaktiverte skredmasser i skredgropa fra tidligere skredhendelser ikke inkludert.

Tabell 3. Klassifisering av skredstørrelse basert på skredvolum og areal (tilpasset fra (5)).

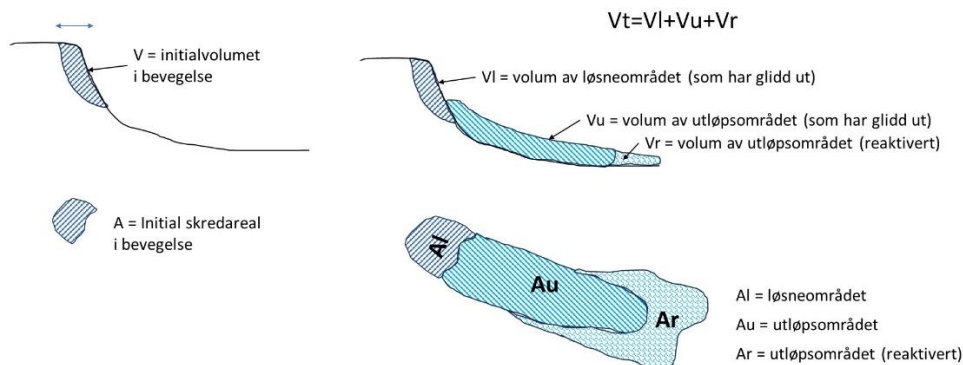
Forslag til universell klassifikasjon for skredstørrelse (tilpasset fra McColl and Cook, 2024)				
Klasse	Beskrivelse (engelsk)	Beskrivelse (norsk)	Minimum volum (m ³)	Minimum areal (m ²)
14			≥ 100,000,000,000,000	≥ 500,000,000,000
13	Monster (trillions)	Ekstremt stor	≥ 10,000,000,000,000	≥ 100,000,000,000
12			≥ 1,000,000,000,000	≥ 10,000,000,000
11			≥ 100,000,000,000	≥ 1,000,000,000
10	Giant (billions)	Veldig stor	≥ 10,000,000,000	≥ 500,000,000
9			≥ 1,000,000,000	≥ 100,000,000
8			≥ 100,000,000	≥ 10,000,000
7	Large (millions)	Stor	≥ 10,000,000	≥ 1,000,000
6			≥ 1,000,000	≥ 500,000
5			≥ 100,000	≥ 100,000
4	Medium (thousands)	Middels	≥ 10,000	≥ 10,000
3			≥ 1000	≥ 1000
2			≥ 100	≥ 500
1	Small (ones)	Lite	≥ 10	≥ 100
0			≥ 1	≥ 10
-1			≥ 0.1	≥ 1
-2	Very small (thousandths)	Veldig lite	≥ 0.01	≥ 0.5
-3			≥ 0.001	≥ 0.1

Figur 20 prøver å illustrere ulikheter i areal og volum estimert før og etter skred (fra radar, feltobservasjoner og dronebilder).

For de største hendelsene, der vi har hatt terrengmodeller før og etter skredhendelsen, har vi estimert volum ved hjelp av “CutFill” verktøyet i ArcGIS Pro. Masser som har blitt liggende igjen oppå glideplanet etter skredhendelsen, blir ikke inkludert i en slik analyse, så estimatene er å regne som minimumsverdier. Det har ikke blitt beregnet initialvolum, også kalt løsnevolum, for skred som gikk før 08.01.2021, da det ikke er tilgjengelige terrengmodeller med tilstrekkelig nøyaktighet i perioden 30.12.2020 til 07.01.2021.

Før skred Estimert med radar

Etter Estimert med GIS analyser



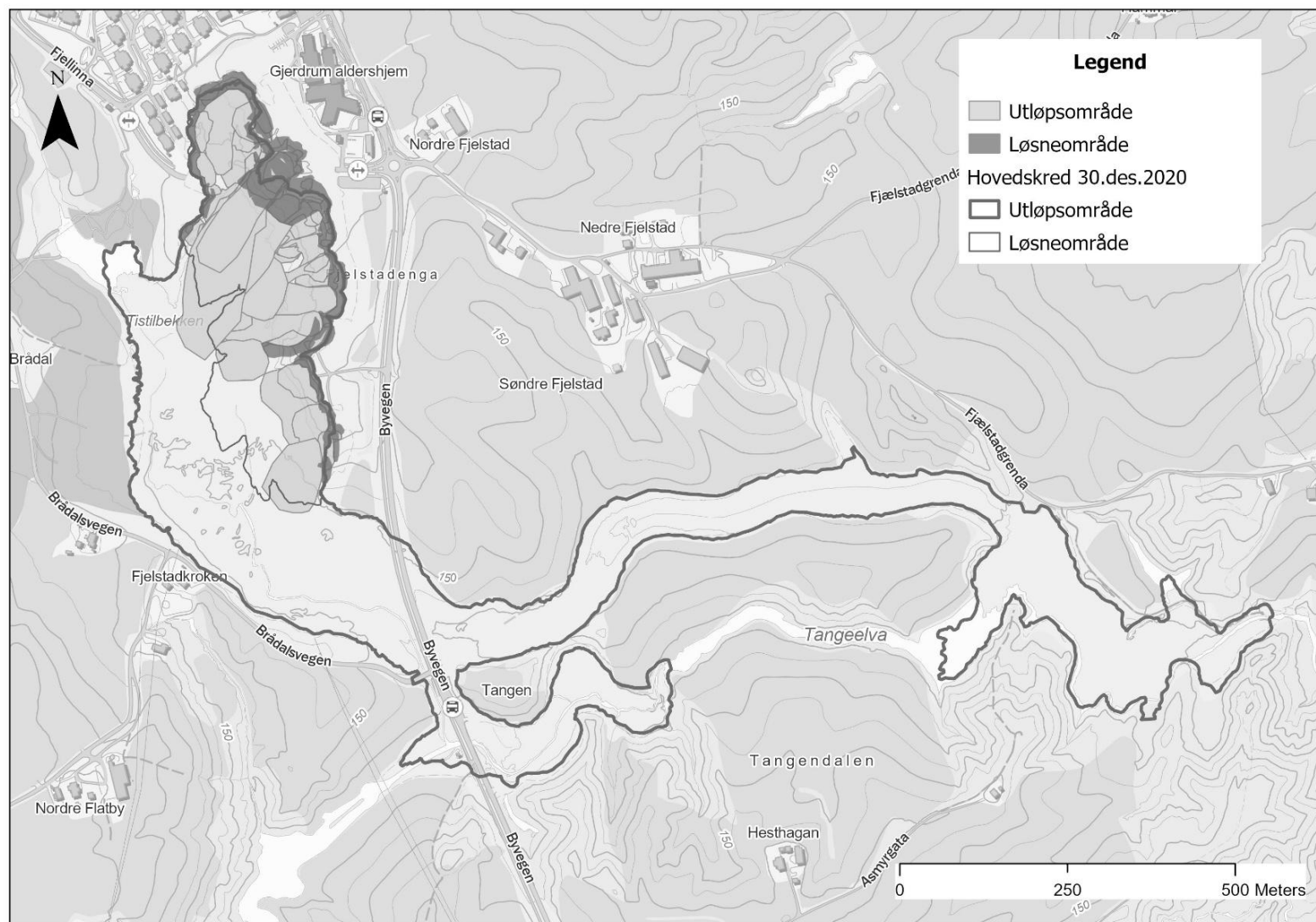
Figur 20. Illustrasjon av areal og volumer før og etter skred.

3.2 Oversikt av massebevegelser

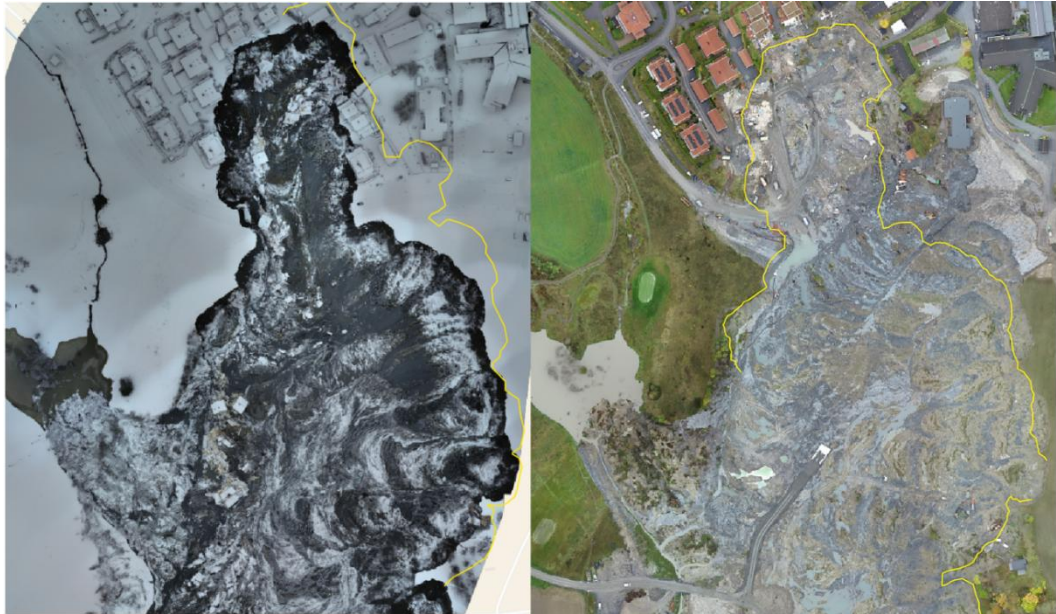
I dette kapittelet oppsummerer vi antall og type bevegelser observert, størrelse (volum og areal), tidspunkt, dynamikk og akselerasjonstid, remobilisering av masser i skredgropa og hvor mange skred som ble varslet i forkant.

3.2.1 Romlig fordeling

Det har blitt observert massebevegelser langs hele skredkanten mer eller mindre gjennom hele 2021 til og med januar 2022. Den største skredaktiviteten ble observert langs de nordlige og østlige delene av skredkanten. Veldig lite aktivitet ble observert langs den vestlige delen av skredkanten. Et oversiktskart av alle massebevegelser observert og kartlagt i analysert periode, er presentert i Figur 21. Figur 22 viser nye skredkantgrenser 06.10.2021.



Figur 21. Romlig fordeling av alle massebevegelser langs skredkanten.



Figur 22. Sammenligning av ortofoto av skredkanten og skredgropa tatt etter hovedskredet 31.12.2020 (til venstre) og 06.10.2021 (til høyre). Gul strek angir posisjonen til skredkanten i det motsatte ortofotoet og viser hvordan skredkanten har utviklet seg bakover i terrenget gjennom ti måneder med etterskred. Deler av gul strek i venstre ortofoto er kuttet vekk langs nordvestre deler av skredkanten fordi skredkanten her var blitt modifisert av anleggsarbeider da ortofotoet til høyre ble samlet inn.

3.2.2 Type bevegelser

Vi har observert to typer bevegelser langs skredkanten:

- Skred
- Erosjonsprosesser

Skred. Glidning har vært den mest typiske bevegelsesmekanismen. Alle massebevegelser klassifiseres som rotasjonsskred av ulik størrelse (Figur 23). Vi har i noen tilfeller brukt ordet «utglidning» for å beskrive rotasjonsskred med veldig kort utløp (<30 m) (Figur 24). Flere bilder av massebevegelser vises også i vedlegg B.



Figur 23. Eksempel på rotasjonsskred den 12.01.2021. (Bilde: Drone Andøya Space AS).



Figur 24. Eksempel på utglidning den 14.01.2021. (Bilde: Drone Andøya Space AS).

Erosjonsprosesser. Grunn erosjon, også kalt utvasking, har blitt observert langs skredkanten i perioder med mye regn og/eller intens snøsmelting (Figur 25). Erosjonsprosesser ble observert i ca. 7 dager spesielt i januar 2021 (mellom 13. og 22.01) og 12.01.2022.

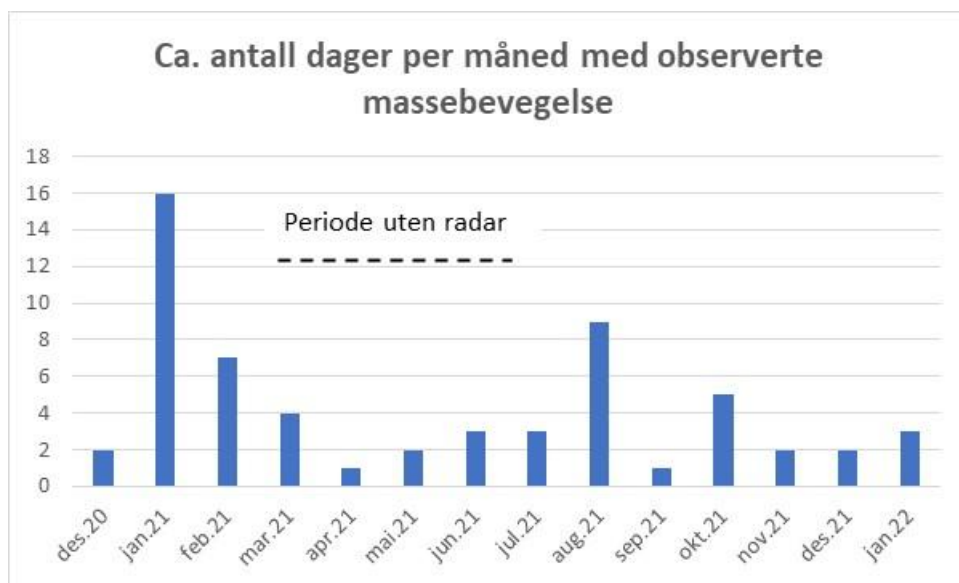


Figur 25. Eksempel på erosjon og utvasking observert langs østlige deler av skredkanten i forbindelse med snøsmelting og kraftig regn den 21.01.2021. (Bilde: Drone Andøya Space AS).

3.2.3 Dato og tidspunkt

Bevegelser ble observert gjennom hele overvåkingsperioden langs skredkanten og inne i skredgropa. De fleste bevegelser var veldig små (i skredkanten eller i skredgropa), vanskelig å se og derfor vanskelig å tidfeste og avgrense.

Skredprosesser av ulik størrelse ble observert i ca. 60 av de 398 overvåkede dagene. I fire av disse dager ble det også observert moderat erosjonsprosesser (flere små utglidninger og utvasking langs skredkanten). En oversikt over dager med registrerte massebevegelser finnes i tabell 4. I dette dokumentet beskriver vi kun bevegelsene med skredareal $>10 \text{ m}^2$. Månedene med flest dager med observerte skred var januar og februar 2021 med hhv. 16 og 7 dager. I august 2021 ble det observert skred i ca. 9 dager (Figur 26). Mellom slutten av februar og slutten av juni 2021 var det ikke radarmålinger, og derfor ble noen skred (observert med drone fra Gjerdrum kommune) ikke tidfestet med god nøyaktighet.



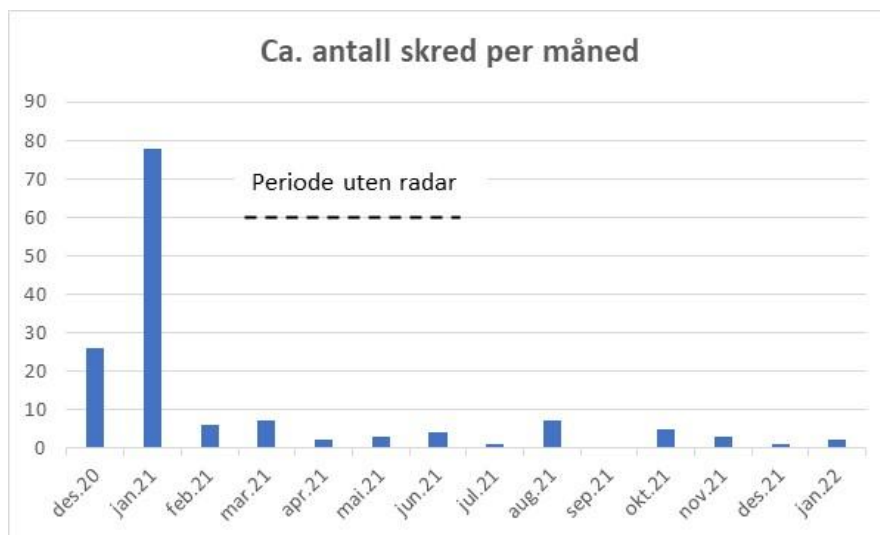
Figur 26. Månedlig oversikt av dager med observerte massebevegelser langs skredkant.

Det har vært mulig å tidfeste de fleste skred med nøyaktig dato og tidspunkt, men for noen av dem har det vært vanskelig å definere dato, spesielt for de dagene det ikke var radardekning og tidsrom mellom droneflyvninger var større. Vi har definert eksakt dato og tidspunkt for ca. 20- skred med hjelp av radar og feltobservasjoner (tabell 2). For ca. 11 massebevegelser ble tidspunktet registrert med en viss usikkerhet som varierte mellom ± 1 til ± 19 dager.

Skred har vært observert ved ulike tidspunkt, og noen dager ble de observert gjennom hele dagen. Vi observerte ikke et bestemt tidspunkt på døgnet med høyere skredfrekvens innenfor den overvåkede perioden (for eksempel mer om natten eller midt på dagen).

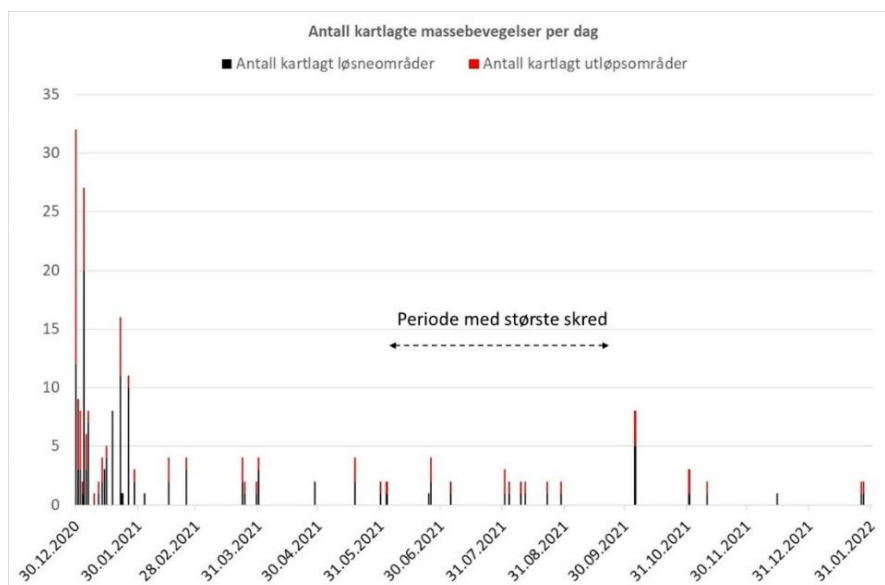
3.2.4 Antall skred

Det har ikke vært enkelt å estimere riktig antall skred av flere grunner: Ikke daglig overvåking hele perioden, ikke alle var fullt utviklede skred og flere var av liten størrelse. Figur 27 og vedlegg C viser antall og romlig fordeling av skred for hver måned. Desember 2020 og januar 2021 var månedene med flest skred, og de gikk langs mesteparten av skredkanten. I september 2021 var det ingen skred, og april og desember 2021 var måneder med veldig lite skredaktivitet. Fra juni til november 2021 skjedde det meste av skredaktiviteten i det nord-østlige området, hvor de største skredene ble observert.



Figur 27. Månedlig oversikt av estimert antall skred.

Vi kartla totalt 130 løснеområder og 85 utløpsområder (Figur 28) for totalt ca. 145 skred. Hvis vi tar hensyn bare til de største, hvor vi kunne kartlegge både løсне- og utløpsområdet med areal over 50 m², kan vi antyde at det gikk omtrent 80 skred i de 398 overvåkede dagene.



Tabell 4. Oversikt av dager med massebevegelser. R: Radar, D: Drone; FO: Feltobservasjoner

Dato	~antall skred (kartlagt)	Areal (m ²)	Areal i bevegelse før skred (m ²)	Estimert volum av løснеområdet etter skred (m ³)	Varslet	Kilde
30.12.2020	20	1000-7500				D, FO
31.12.2020	6	15000				D, FO
01.01.2021	5					D, FO
02.01.2021	1					D, FO
03.01.2021	20					D, FO
04.01.2021	3					D, FO
05.01.2021	7				Ja	D, FO
08.01.2021	1					D, FO
09.01.2021	Ikke kartlagt		477		Ja	R
10.01.2021	1		381,6		Ja	D, FO, R
12.01.2021	2		315,9	7000	Ja	D, FO, R
13.01.2021	3					D, FO
14.01.2021	3		1269		Ja	D, FO, R
17.01.2021	8					D, FO
21.01.2021	11					D, FO
22.01.2021	1					D, FO
25.01.2021	10					D, FO
28.01.2021	2					D, FO
02.02.2021	1					D, FO
14.02.2021	2		1759,5	10000	Ja	D, FO, R
17.02.2021	Ikke kartlagt		247		Ja	R
20.02.2021	Ikke kartlagt				Ja	R
21.02.2021	Ikke kartlagt		3465		Ja	R
22.02.2021	Ikke kartlagt					R
23.02.2021	3					D
23.03.2021	2					D
24.03.2021	2					D
30.03.2021	1					D
31.03.2021	3					D
28.04.2021	2					D
18.05.2021	2			10000		D
31.05.2021	1					D
03.06.2021	1					D
24.06.2021	1					D
25.06.2021	2			36000		D
05.07.2021	1					D

22.07.2021	Ikke kartlagt		1373		Ja	R
28.07.2021	Ikke kartlagt					R
01.08.2021	1				Ja	D, FO, R
03.08.2021	1		402	11000	Ja	D, FO, R
07.08.2021	Ikke kartlagt				Ja	R
09.08.2021	1		364	8000	Ja	D, FO, R
10.08.2021	Ikke kartlagt				Ja	R
11.08.2021						D, FO, R
16.08.2021	Ikke kartlagt		353		Ja	R
22.08.2021	1		1062	6000	Ja	D, FO, R
29.08.2021	1		1192	3000	Ja	D, FO, R
10.09.2021	Ikke kartlagt					R
05.10.2021	5					D
06.10.2021	Ikke kartlagt					R
25.10.2021	Ikke kartlagt					R
30.10.2021	Ikke kartlagt		657		Ja	R
01.11.2021	1			2000		D
10.11.2021	1					D
15.12.2021	1					D
20.12.2021	Ikke kartlagt		1345			R
20.01.2022	Ikke kartlagt				Ja	R
26.01.2022	1					D, R
27.01.2022	1					D, R

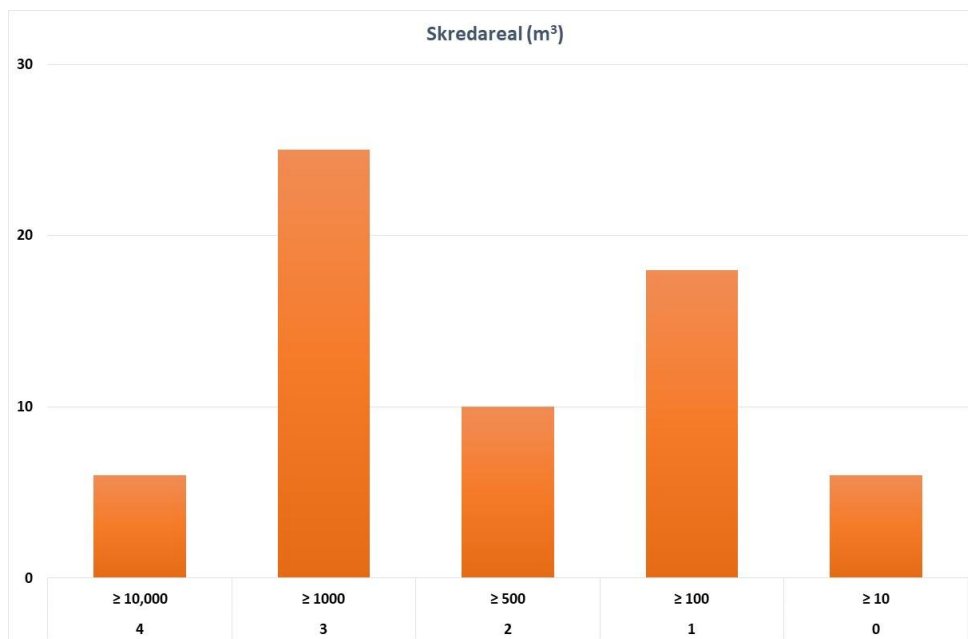
3.2.5 Skredstørrelse (areal og volum)

Det ble estimert skredareal (løsne-og utløpsområdet) for alle skred. For noen ble det også estimert skredvolum. I 17 dager av de 60 med massebevegelser, ble hendelsene med størst areal og volum estimert.

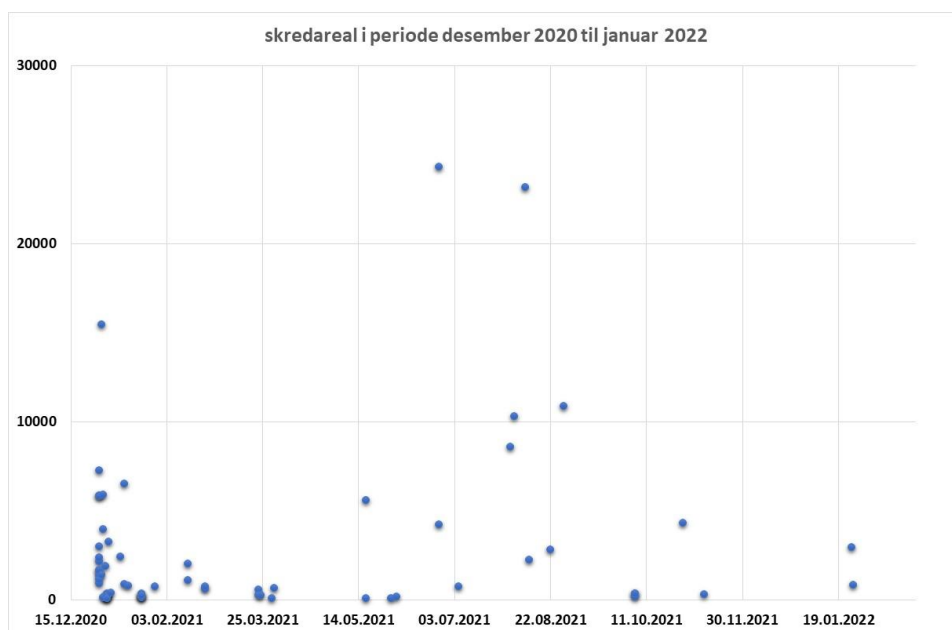
Skredareal har blitt estimert med to metoder:

- *Radar*. Har estimert skredareal som var i bevegelse før skred. Dette ble estimert for ca. 20 hendelser. Skredareal i bevegelse var estimert mellom 247-3465 m².
- *Gjennom kartlegging/GIS analyser*. Kartlagt skredareal som har glidd ut etter skred, varierer mellom 9 og 5663 m² for løsneområder, og mellom 23 og 22803 m² for utløpsområder. Dette ble estimert for alle kartlagte skred. Lengden varierer mellom 12 og 300 m for løsneområder og mellom 19 og 746 m for utløpsområder.

De kartlagte massebevegelserne faller inn i kategorier for skredareal i spennet "veldig lite" til "middels" i henhold til tabell 3 (Figur 29). Figur 30 viser hvordan areal av skred er distribuert over den overvåkede perioden. Unntatt et skred i januar, har de største skredene blitt observert i løpet av sommeren 2021.



Figur 29. Skredareal for kartlagte skred.



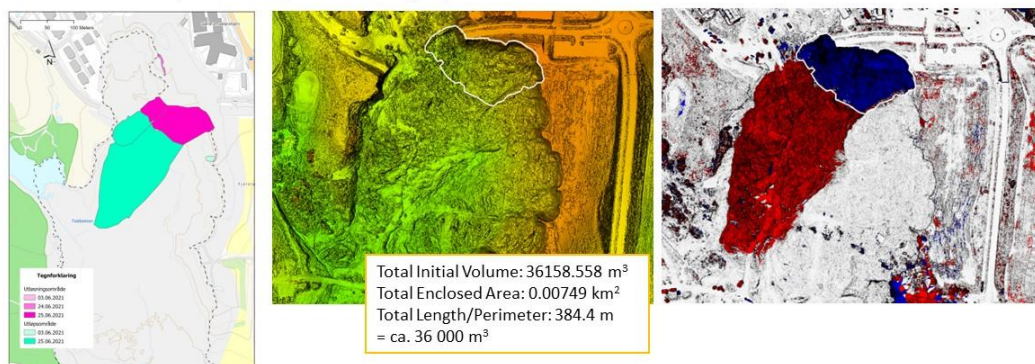
Figur 30. Fordeling av skredareal gjennom overvåket periode.

Vi har estimert minimumsverdier for initialvolumet for løснеområdet (løsnevolumet) for de største hendelsene som gikk etter 8.01.2021, for følgende datoer:

12.01.2021, 23.02.2021, 18.5.2021, 25.6.2021, 03.08.2021, 09.08.2021, 22.08.2021, 29.08.2021 og 01. 11.2021.

Figur 31 viser et eksempel av estimert løsnevolum for et skred som gikk 25.06.2021. Detaljer om estimert volum for de andre skredene finnes i vedlegg D. Estimert volum av løsneområder for de analyserte datoene varierer fra ca. 2000 m³ til 36000 m³.

Skredkant nordøst – 25. juni 2021 - beregnet mellom 24. og 28. juni 2021



Figur 31. Eksempel av estimert løsnevolume ved å sammenligne digital terrengmodell fra før og etter skred, for skredene som gikk 25.06.2021.

3.2.6 Skredaktivitet, sekvens og remobilisering i skredgropa

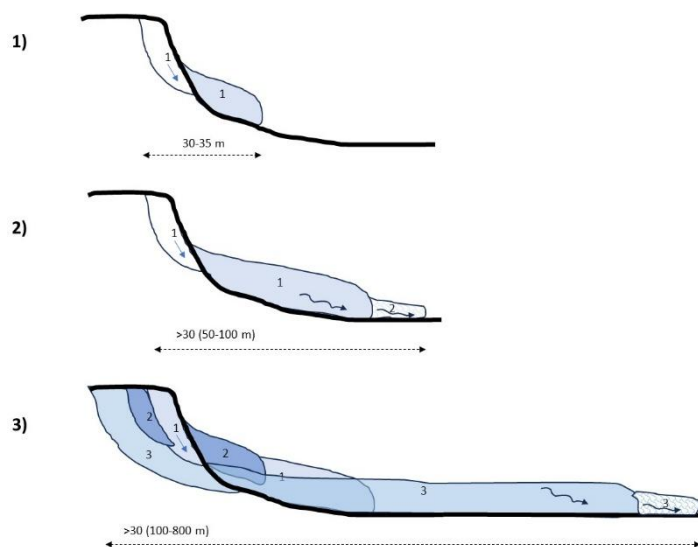
Vi har stort sett observert én type skredmekanisme med glidning og rotasjon langs kurvede/skjeformede glideplan. Bevegelsene var en kombinasjon av retrogressive, «advancing»⁴ og «enlarging»⁵ (6), og vi har observert både enkeltskred og «multiple» skred. De største skredene viste en kombinasjon av glidning- og massestrømsmekanisme, men veldig lokalt og spesielt i siste del av avsetningen/utløpsområdet.

Observerte bevegelsesmekanismer kan illustreres på følgende måte (Figur 32):

- 1) Rotasjonsskred med korte utløp (typisk utløp <30-35 m), også kalt utglidning, ikke synlig flytende dynamikk. Disse hendelsene viser ikke mye bevegelse i forkant. De stopper ganske fort. Eksempel på denne typen vises i figur 31.
- 2) Rotasjonsskred med langt utløp (>30 opptil 100 m) med maks en til to nye utglidninger på toppen. Av og til vises flytende bevegelse i enden av utløpsområdet. Disse kan vise mer bevegelse før skred går. Eksempelvis gikk denne typen skred den 14. og 23. februar 2021.
- 3) Rotasjonsskred med lange utløp (> 40 m opp til 800-1000 m) med flere utglidninger (retrogressive, flytende og med massestrømsdynamikk i foten). Det var mulig å observere sakte, flytende bevegelser i skredgropa i flere dager etter den første utglidningen, og slike skred var mulig å identifisere fra radardata. Eksempel på denne typen skred gikk i perioden 1. – 29. august 2021.

⁴ **Advancing:** In an advancing landslide the rupture surface is extending in the direction of movement

⁵ **Enlarging:** in an enlarging landslide the rupture surface of the landslide is extending in two or more directions.



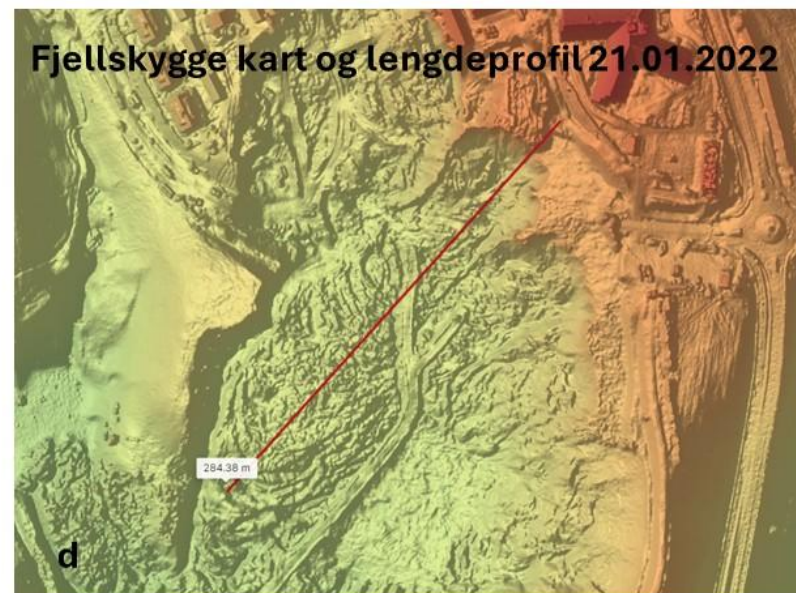
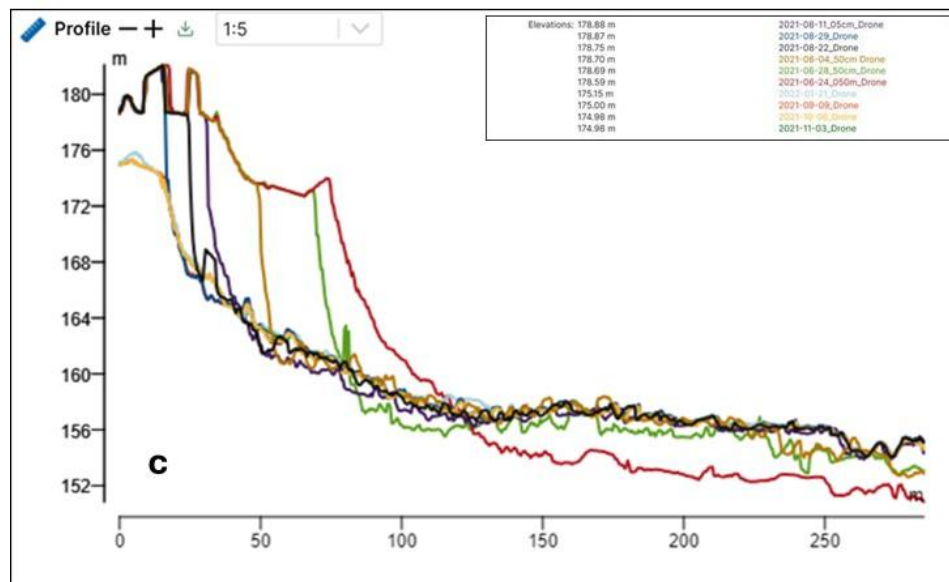
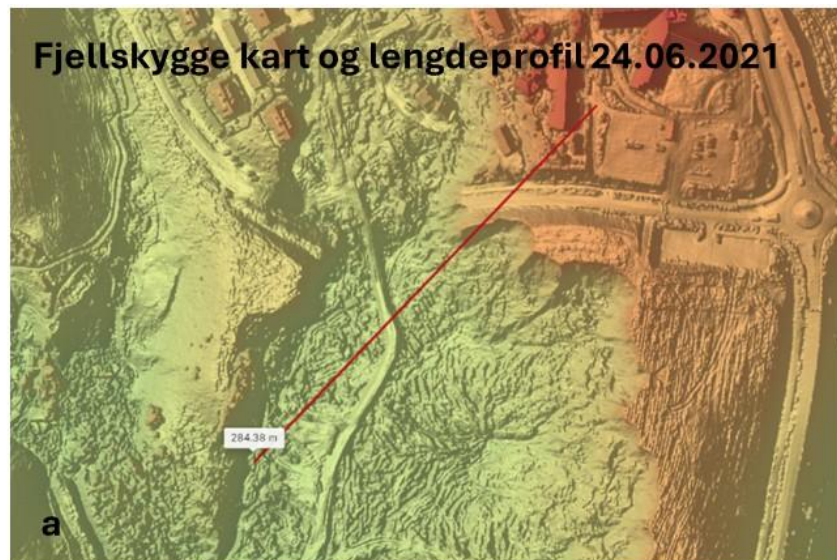
Figur 32. Illustrasjon av observerte bevegelse mekanismer.

For bevegelsesmekanisme 2 og 3 ble det i etterskredfasen observert reaktivering av masser i skredgropa både i tidlig og nyere avsetning, som beskrevet i kapittel 2.4 og figur 13.

Eksempel av den retrogressiv utvikling og dynamikk av skredkanten visualiseres også i figurer 33 og Vedlegg E. Her viser vi utvikling av skredkanten og endringer i skredgropa, gjennom flere fjellskygge kart og lengdeprofiler i Fjellinna området i perioden 24.06.2021 – 21.01.2022.

Fjellinna området ligger på østside av skredkanten og har vært veldig aktiv på grunn av bratthet og tilstedeværelse av kvikkleire. Her ble det registrert de største etterskred. Figur 33 viser en oppsummering av fjellskygge kart (33a, b, d) for noen utvalgt dato og samlet lengdeprofiler i periode analysert. Figur 33c viser hvordan bratthet og høyde av skredkanten har endret gjennomtid. Vil påpeke spesielt terrengprofiler den 24.06.2021 (rød linje) og den 29.08.2021 (mørkblå linje) (periode når det gikk de største skred) og etterpå profilen fra 06.10.2021 (gul linje) og 21.01.2022 (lyseblå linje) dato når startet nedplanering av terrenget over skredgropa. Figurer viser også hvordan massene fra skredene forplantet seg helt ned i skredgropa, men «stuppen» i skredet ble høyere og høyere.

Alle fjellskygge kart for de dato indikerte i figur 33c kan visualiseres i vedlegg E. Kartene viser hvordan skredkanten og skredgropa har endret seg gjennom tid. Vi ser også hvordan det første vei lagd for redningsaksjonen ble ødelagt av etterskred og hvor den andre vei ble plassert for å gjennomføre sikringstiltak.



Figur 33. Fjellskyggekart og lengdeprofiler som viser utvikling av skredkanten i Fjellinna området mellom 24.06.2021 og 21.01.2022. Se også Vedlegg E.

4 Skredforekomst og hydrometeorologiske forhold i etterskredfasen

4.1 Kilder for hydrometeorologiske data

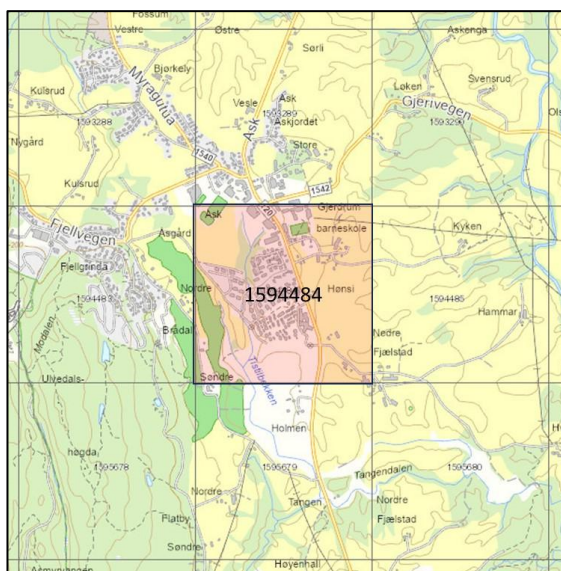
Hydrometeorologiske forhold i forkant av kvikkleireskredet i Gjerdrum ble analysert i (7).

I denne rapporten analyserte vi hydrometeorologiske forhold i etterskredfasen, i perioden fra 30.12.2020 til 31.01.2022, for å belyse forhold mellom vær og tilstand i bakken og skred.

Vi har brukt data fra meteorologiske stasjoner og hydrologiske parameter som er simulert ved hjelp av GWB-modell (Gridded Water Balance modell). GWB består av en nedbør-avløpsmodellen (HBV)⁶ i hver griddcelle i et 1x1km² rutenett som dekker hele Norge (8). Alle data er tilgjengelige i xgeo.no og seNorge.no.

Selv om vi har brukt nedbør- og temperaturdata fra de nærmeste målestasjonene i analysene (Ukkestad, ca. 13 km nord for Ask, Gardermoen, ca. 15 km mot nord, og Hakadal jernbanestasjon, ca. 13 km mot nordvest), har vi fokusert mest på å analysere verdiene fra GWB-modellen (8) hentet fra 1 km² grid SeNorge-cellen identifisert med SeNorge-kode 1594484.

Plasseringen av den utvalgte gridcellen er vist i figur 34.



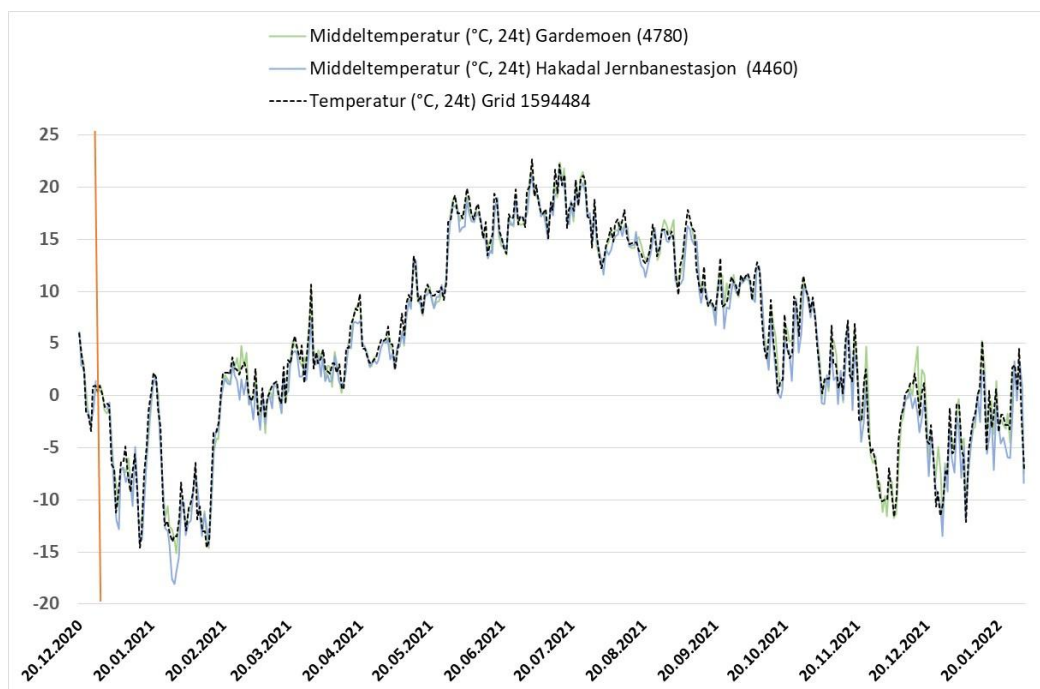
Figur 34. Utvalgt SeNorge gridcelle ved Ask (fra xgeo.no).

⁶ Den hydrologiske modellen som er mest benyttet for simuleringer og prognoser for vannføring i Norge er en tilpasset versjon av den svenske HBV-modellen, utviklet ved Svenska Meteorologiska och Hydrologiska Institut (Bergström, 1976).

Illustrasjoner om hydrometeorologiske verdier er presentert fra 20.12.2020 for å kunne bedre visualisere analysert periode.

Analysen av interpolerte data viser at:

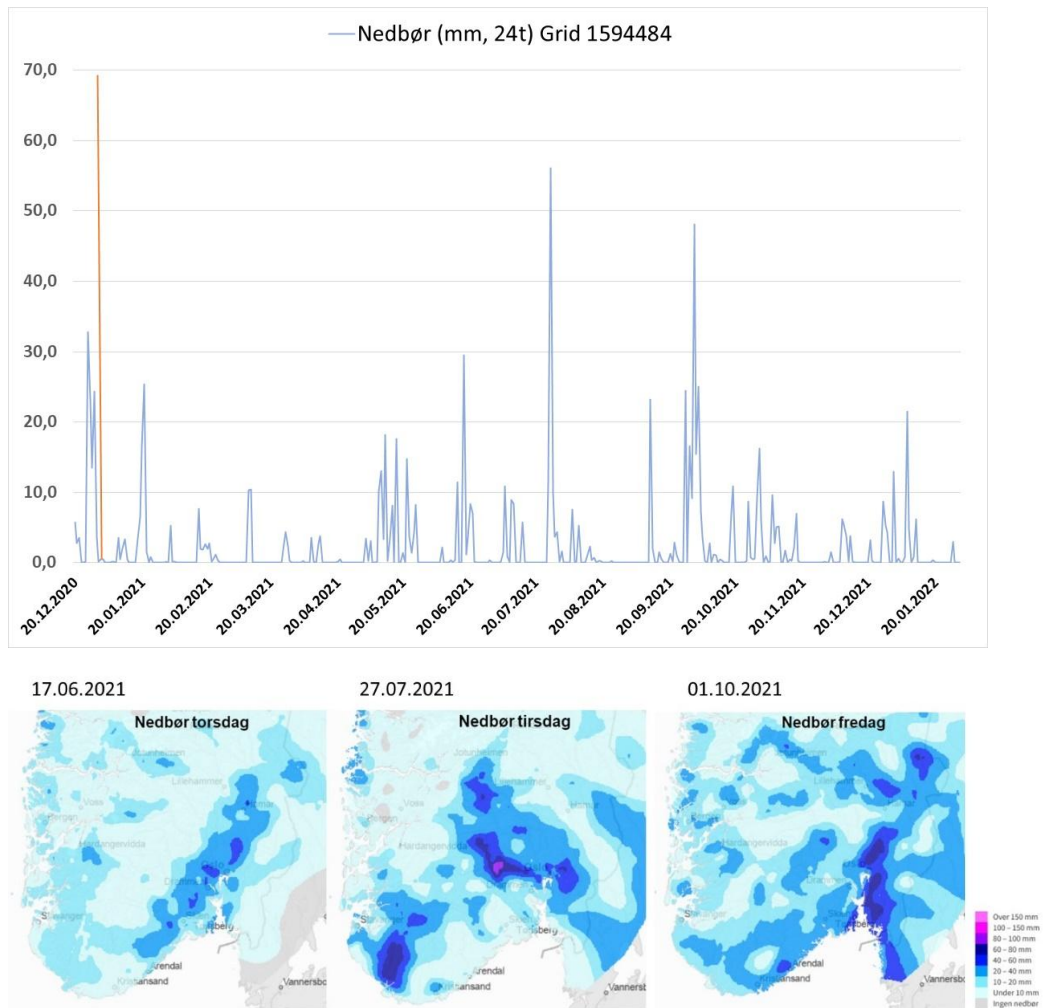
- temperaturen varierte mellom $-14,6^{\circ}\text{C}$ og $22,7^{\circ}\text{C}$, noe som stemmer ganske bra med temperaturverdier målt ved Gardermoen og Hakadal stasjon. Figur 35 viser to perioder med lave temperaturer i begynnelsen og slutten av overvåket periode. De laveste temperaturene ble observert den 15.-16.01.2021 og 13.02.2021, mens den måneden med høyest temperatur var juli 2021 med varmeste dag 03.07.2021.



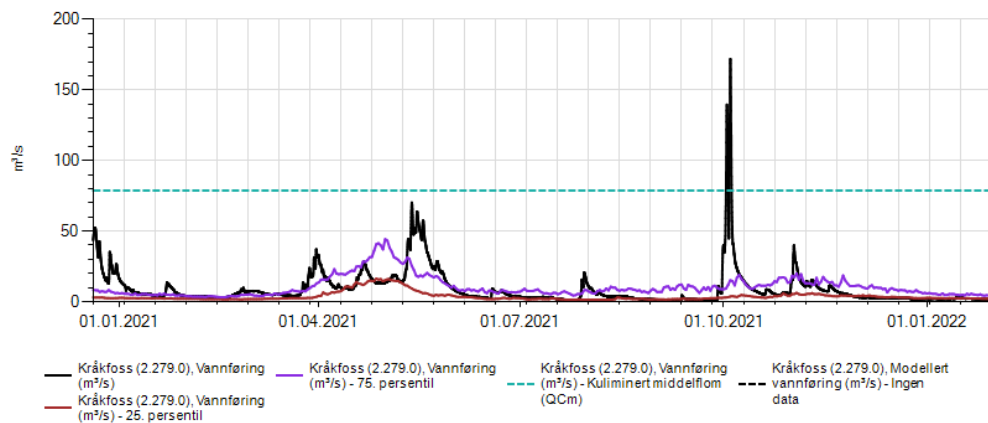
Figur 35. Daglig middeltemperatur ved MET-stasjoner Gardermoen og Hakadal jernbanestasjon, samt gridcellen ved Ask i perioden 20.12.2020 til 31.01.2022. Oransje linje indikerer den 30.12.2020 når hovedskredet gikk.

- det har vært flere episoder med nedbør under 20 mm over hele perioden (Figur 36). Bortsett fra to nedbørsepisoder (mellom 26. og 29.12.2020 før hovedskredhendelsen, hvor det regnet fire dager med akkumulerte verdier av 93.6 mm), har det vært fire nedbørsepisoder i etterskredfasen som skiller seg ut.
 - o midten av januar: 20. og 21.01.2021 med sludd og regn opp til 25,4 mm.
 - o midten av juni: en styrtregneepisode den 17.06.2021 med regn opp til 29,5 mm/24 t (Figur 36 nederst, venstre).
 - o slutten av juli: tre dager fra 26. til 28.07.2021 med flere styrtregneepisoder i området med høyeste verdi på 56,1 mm/24 t den 27.07 og akkumulerte verdier på 77,5 mm (Figur 36 nederst, midt).
 - o begynnelsen av oktober: tre dager med intens nedbør mellom 01. og 03.10.2021, med høyeste verdi den 01.10.2021 med 48,1 mm og akkumulerte verdier rundt 88,5 mm (Figur 36 nederst, høyre). I denne

perioden ble det også målt høy vannføring ved Kråkfoss stasjonen, 5 km nordøst for Ask, langs elva Leira, som indikerer at det var en del regn i området (Figur 37).

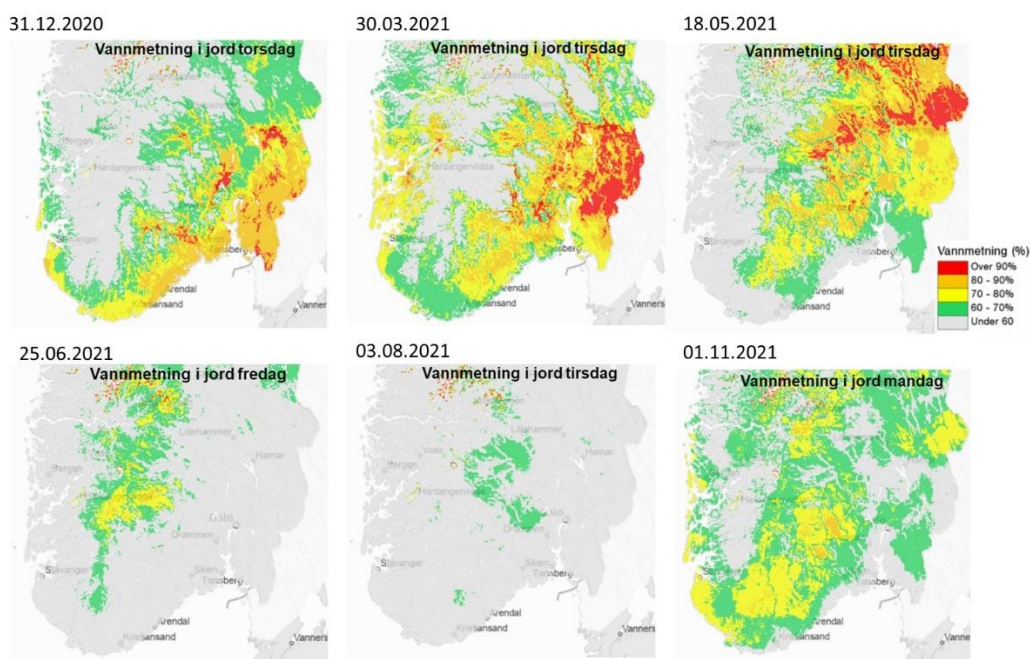


Figur 36. Nedbørepisoder på Østlandet som har gitt noe regn ved skredkanten i Ask. Øverst: Døgnnedbør ved cellen SeNorge-kode 1594484 i perioden 20.12.2020 til 31.01.2022. Oransje linje indikerer den 30.12.2020 når hovedskredet gikk. Nederst: romlig fordeling over Østlandet av nedbør de dagene med høyeste interpolerte regnmengder (kilde: xgeo.no).



Figur 37. Vannføringsdata ved Kråkfoss i perioden 20.12.2020 til 31.01.2022.

Analyse av vannmetningsgrad simulert med GWB-modellen viser to perioder med vannmetning over 90 %. Den første perioden var før hovedskredet i Ask gikk, og spesifikt mellom 20. og 30.12.2020, hvor vannmetningsgraden var mellom 84 % og 96 % (som har vært den høyeste i området, (7)). Den andre episoden med høy vannmetningsgrad var mellom 23. og 31.03.2021, med verdier mellom 90-92 % (Figur 38). Vannmetningen var over 70 % fram til april 2021. Vannmetningen var under 60 % fra april til september 2021. Siste del av analysert periode i etterskredfasen har vannmetningen vært rundt 60 %.



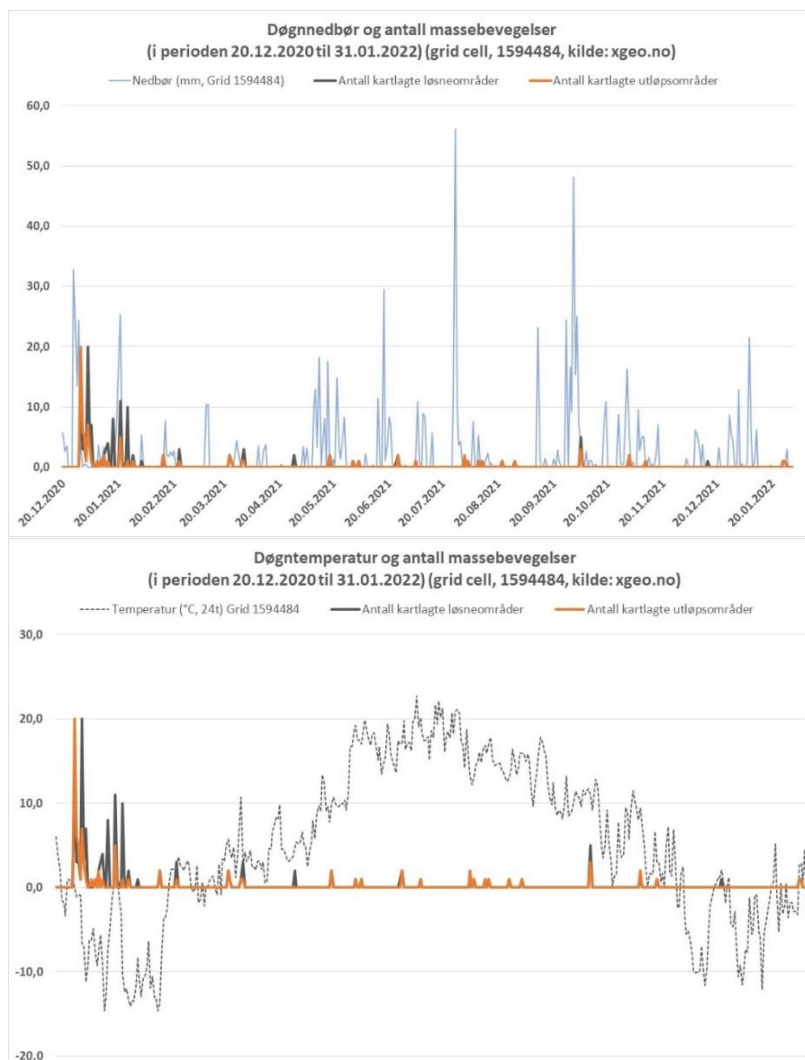
Figur 38. Vannmetningsgrad ved cellen SeNorge-kode 1594484 i perioden 20.12.2020 til 31.01.2022 (øverst) og regional vannmetningsgrad på Østlandet i utvalgte datoer (nederst) (Kilde: xgeo.no).

4.2 Skredforekomst og hydrometeorologiske forhold

For disse skredtypene er forholdet mellom skredforekomst og meteorologiske forhold ganske komplisert å definere. Infiltrasjon av vann i leireterreng, noe som resulterer i økning i poretrykk og erosjon i foten av skråningen, har blitt antydnet som de viktigste utløsende faktor for leirskred. Flere regneepisoder kan føre til mye raskere poretrykk stigning. Glidning avhenger av frekvens av poretrykksendringer langs glideplan, som ofte skjer i form av mikrostrukturelle kollapser.

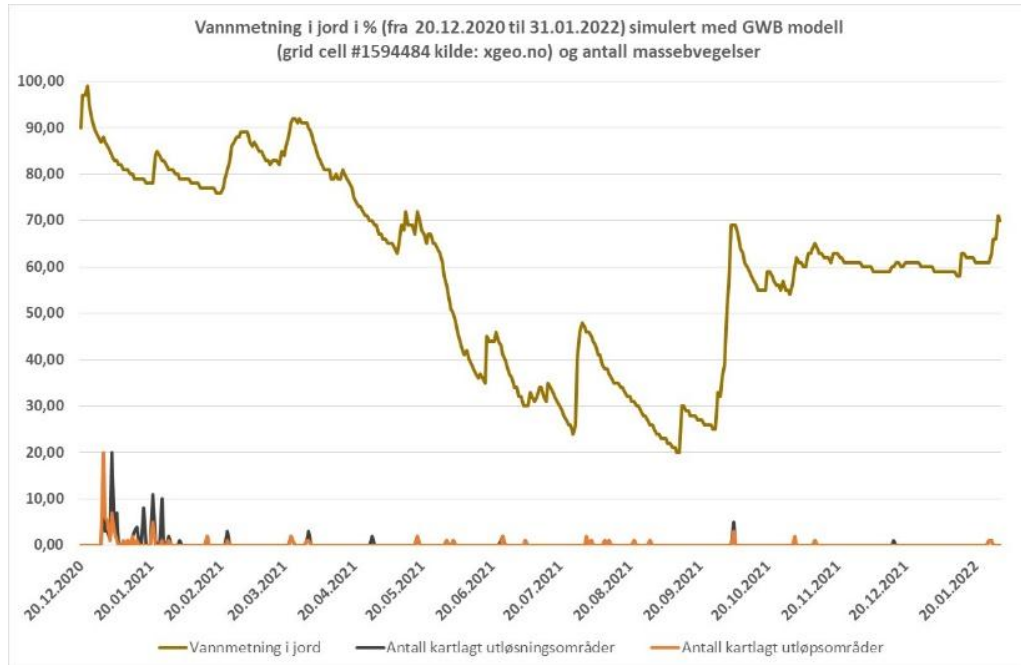
I dette arbeidet ble det bare analysert døgndata. Det ble ikke analysert timedata eller gjort laboratorietesting. Vi har brukt data fra gridcellen SeNorge-kode 1594484 for å korrelere forekomster av skred med værdata (nedbør og temperatur) og vannmetningsgrad i jorda.

Figur 39 viser en oversikt av fordeling av døggnedbør og temperatur og antall massebevegelser i hele perioden 20.12.2020 til 31.01.2022. Vi ser en korrelasjon mellom nedbør og skred spesielt om våren og sommeren fra mai til september.



Figur 39. Daglig døggnedbør (øverst) og temperatur (nederst) og antall massebevegelser langs skredkanten i perioden 20.12.2020 til 31.01.2022.

Analyse av vannmetningsgrad (Figur 40) viser at perioder med høyest aktivitet av massebevegelser har vært i perioder med vannmetning over 80 %, men det har vært skred også om sommeren når vannmetning har vært under 60 %. I noen tilfeller har det blitt observert hendelser ved økning i vannmetning, som for eksempel i oktober, men dette er ikke tilstrekkelig klart.



Figur 40. Vannmetning i jord fra cellen SeNorge-kode 1595679 i perioden 20.12.2020 til 31.01.2022.

Selv om det noen ganger har blitt observert hendelser i perioder hvor det var endringer i temperatur (fra kulde til varmegrader, som i Byneset i 2012), ser vi her ikke korrelasjon mellom skred og temperatur, men det kan være at på mikronivå kunne temperatur ha blitt avgjørende i et ustabilt forhold.

For å bedre kunne studere korrelasjon mellom skredforekomst og hydrometeorologiske forhold, har vi valgt måneder med mange skred eller valgt de dagene de største skredene gikk, og i spesifikt nedbør, temperatur og vannmetning.

Hovedskredet gikk etter en periode med veldig høy vannmetningsgrad og mye regn. Mange skred gikk fortsatt de første to dager (Figur 40).

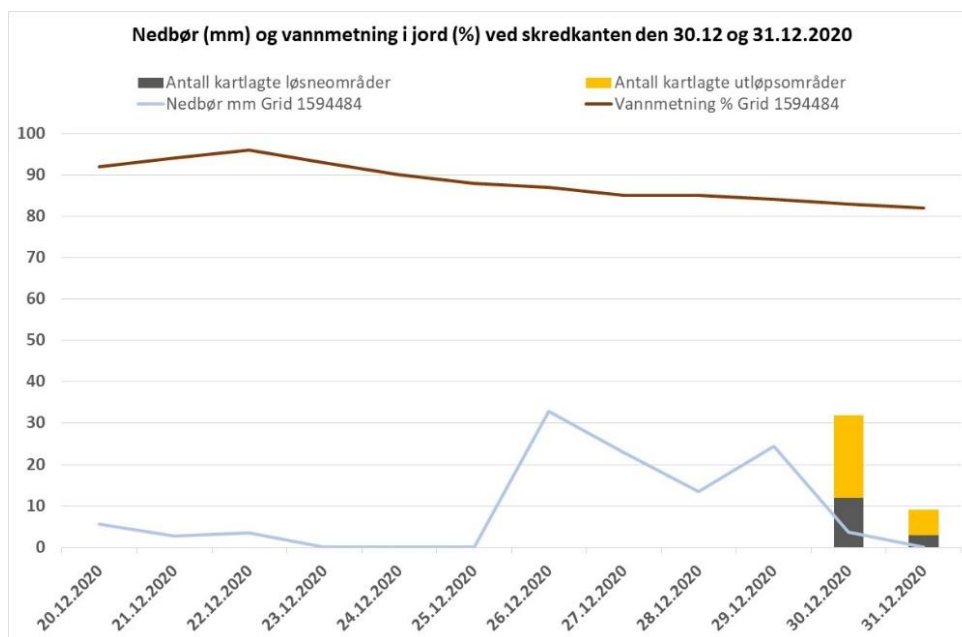
Januar ble valgt fordi det var måneden med flest massebevegelser. Det viser ikke noen klar korrelasjon unntatt den 20. og 21.01.2021, da det regnet og vannmetningen økte til litt over 80 %.

Andre perioder valgt var mai, juni, august og oktober 2021, som korrelerer med en periode med høy skredaktivitet i Fjellinna-området. Eksempler vises i de følgende figurene 41-46.

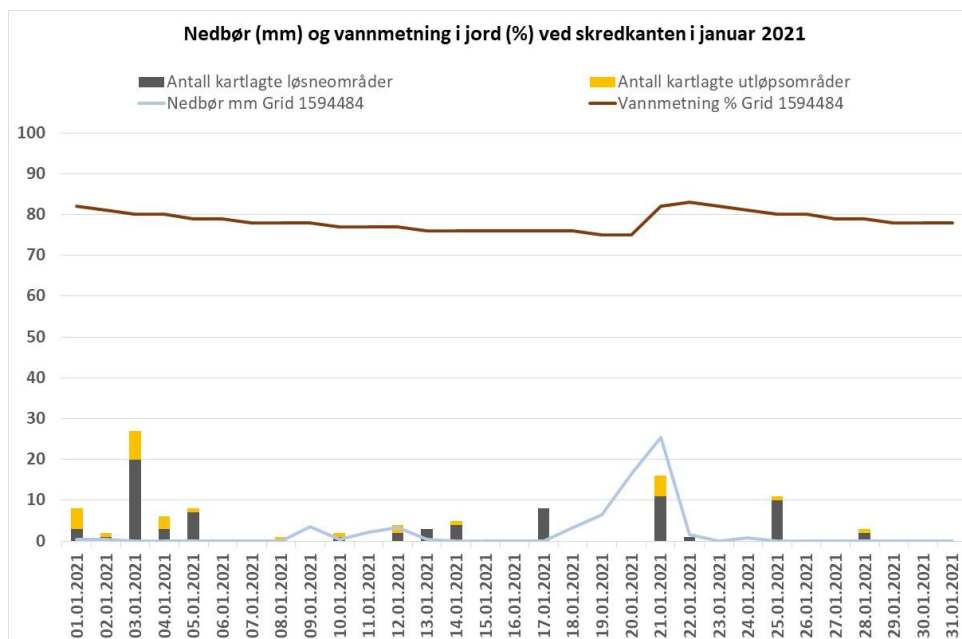
Vi ser at skredene kommer etter en periode med mye regn. I motsetning til andre skredtyper, som jordskred og flomskred som forekommer i sanntid med regn, kan skred i leireterreng forekomme mot slutten av nedbørepisoder. Dette har lenge blitt observert av jordskredvarslingen i NVE for områder som Østlandet og Trøndelag, hvor

leireterreng er dominerende løsmassetype, og er i samsvar med indikasjoner i litteraturen om at poretrykkrespons på nedbør er forsinket i tid i dypet (og da spesielt leir-)skred på grunn av lav permeabilitet, treg underflatestrømning og høyt regionalt grunnvannsnivå.

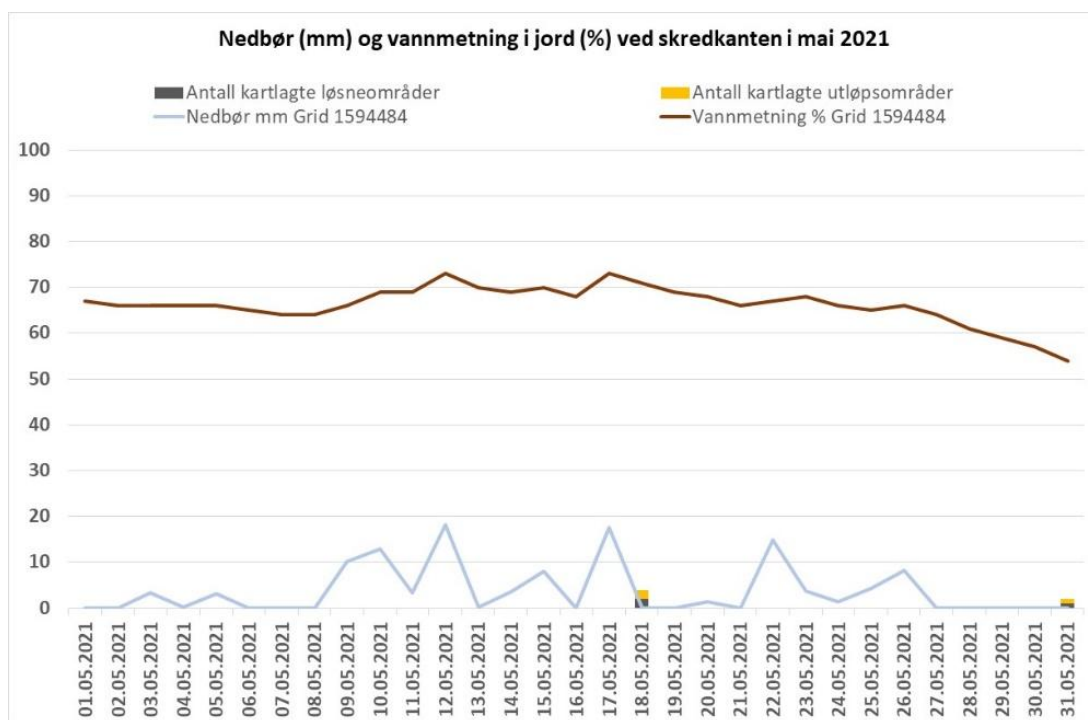
På den andre siden gikk det flere større etterskred i perioden juni til august 2021, som var en periode med synkende og generelt relativt lav vannmetning (Figur 40). Det kan ikke utelukkkes at den økte skredhyppighet har sammenheng med forhold relatert til den lave vannmetningen, selv om vi ikke har studert disse forholdene nøyere i dette arbeidet.



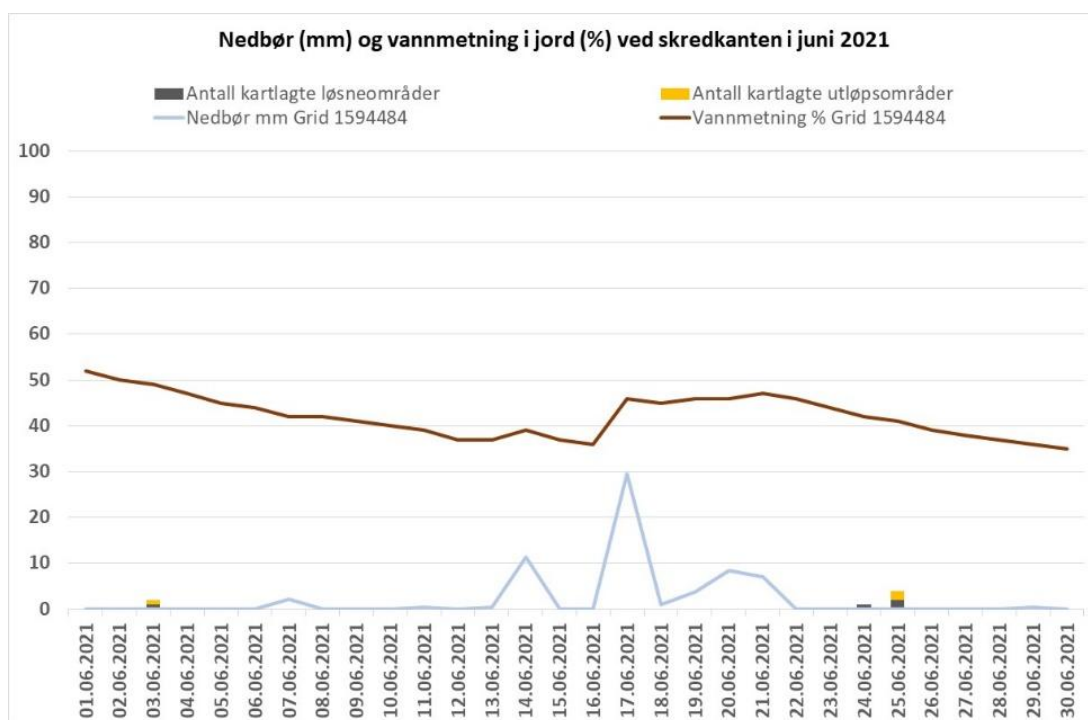
Figur 41. Vannmetning og nedbør i perioden 20.12.2020 til 31.12.2020.



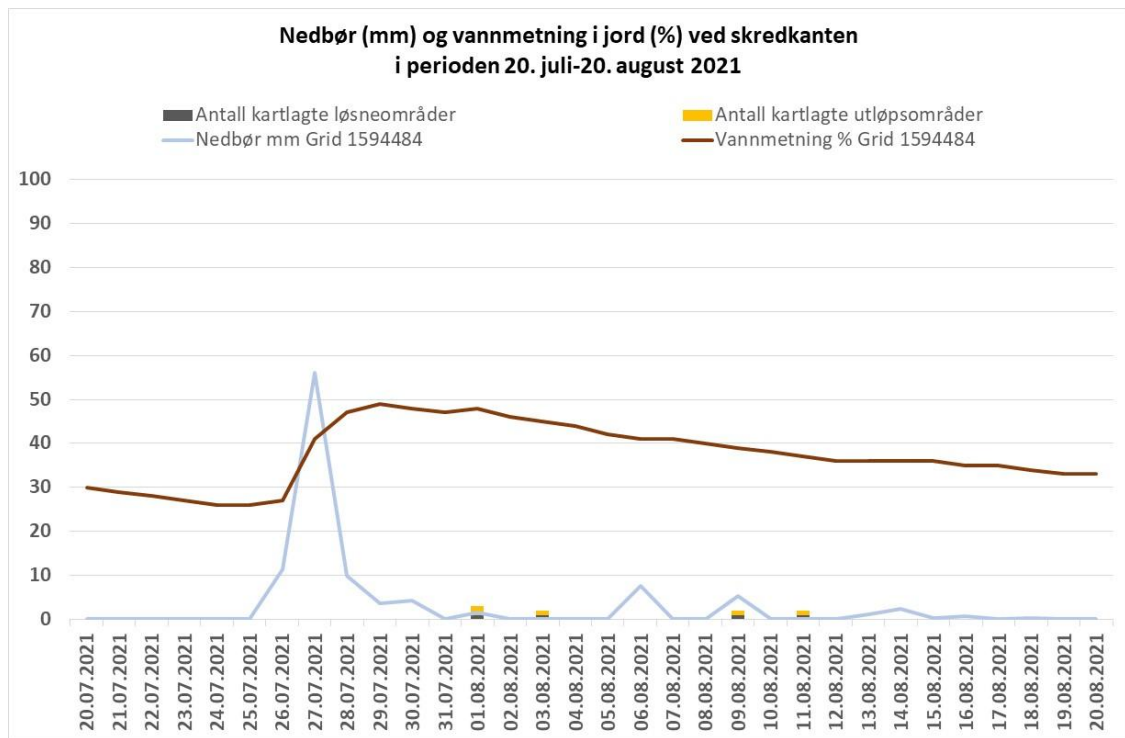
Figur 42. Vannmetning og nedbør i januar 2021.



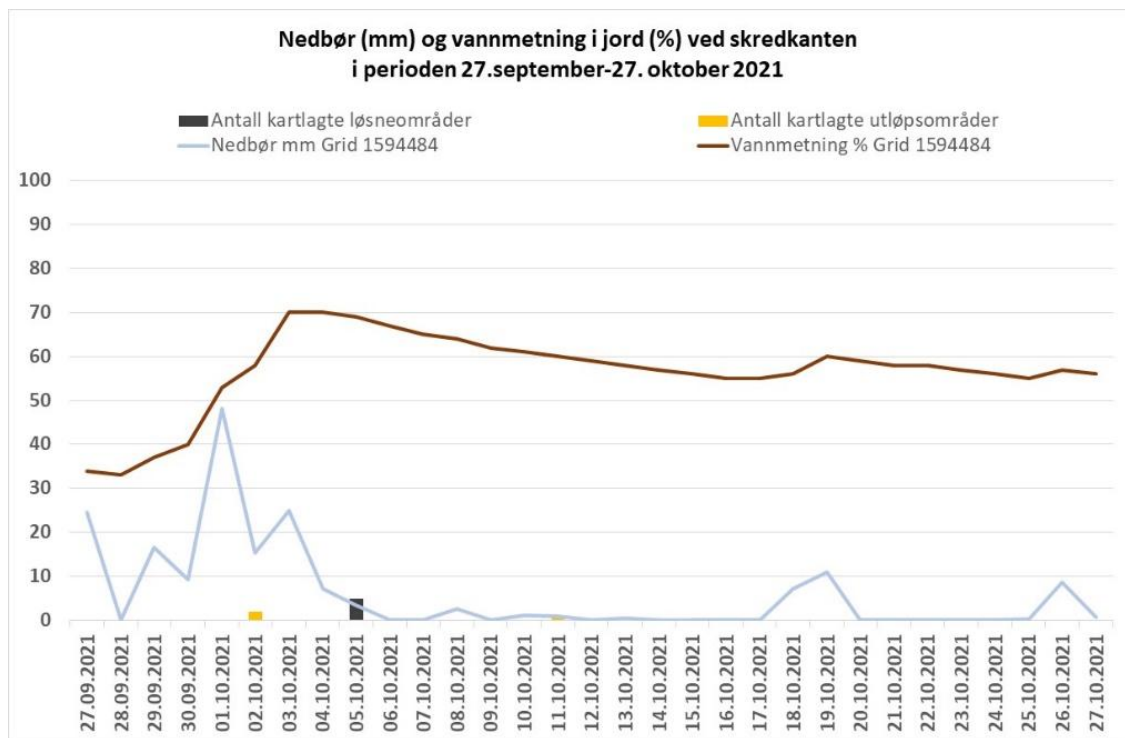
Figur 43. Vannmetning og nedbør i mai 2021.



Figur 44. Vannmetning og nedbør i juni 2021.



Figur 45. Vannmetning og nedbør i perioden 20.07 til 20.08.2021.



Figur 46. Vannmetning og nedbør i perioden 27.09 til 27.10.2021.

5 Konklusjoner og anbefalinger

I dette dokumentet har vi beskrevet og evaluert de ulike overvåkingsmetodene som ble brukt i etterskredfasen etter kvikkleireskredet i Ask i Gjerdrum kommune. I tillegg har vi dokumentert utviklingen av skredkanten i tiden etter kvikkleireskredhendelsen, ved å sted- og tidfeste etterskredhendelser, definere skredareal og volum, identifisere bevegelsesmekanismer og skreddynamikk, og evaluere om denne type skred *kan* varsles. Til slutt har vi prøvd å bedre definere årsaker for massebevegelser i etterskredfasen og identifisere læringspunkter etter skredhendelsen i Ask, som kan benyttes til å gi anbefalinger til overvåking i akutt- og oppryddingsfasen ved tilsvarende hendelser i fremtiden.

Under følger en kort oppsummering av de ulike erfaringene gjort etter skredet i Ask:

- Det må forventes at det kan gå store etterskred etter kvikkleireskredhendelser, også etter flere måneder med rolige forhold langs skredkanten. Dette gjelder spesielt der det er fremdeles er urørt kvikkleire under skråningsfoten og skråningen er bratt nok. Personell bør derfor alltid oppholde seg i tilstrekkelig avstand fra skredkanten.
- Etterskred kan remobilisere allerede omrørte masser. Dette gjør at det kan oppstå relativt store bevegelser i massene i skredgropa, også flere hundre meter fra der etterskredet går. I Gjerdrum foregikk disse bevegelsene typisk svært sakte og kunne vare i timer og dager etter et etterskred.
- Bakkebasert radar (InSAR) er etter vår erfaring overvåkingsmetoden som er best egnet til overvåking og grunnlag for varslings av etterskred. Overvåking med bakkebasert radar bør derfor etableres så raskt som mulig i en lignende hendelse i fremtiden. Akselererende bevegelser i skredkanten kan typisk fanges opp fra noen få timer o i forkant av et skred, men bevegelsene før skred har vært små (opptil 10 mm, Dette gjør at god varslings krever nøye oppfølging av folk som har god erfaring med å tolke slike radarbilder. I noen tilfeller var det ikke mulig å identifisere en akselererende fase i forkant av skred, og dermed ikke mulig å varsle. Støy i måledataene og allerede store bevegelser i skredgropen har i perioder også gitt utfordringer med varslings. Baserer en overvåking med bakkebasert radar må en vurdere å søke sikkerhetsavstanden mot skredkanten i perioder da radardata er usikre.
- Visuell overvåking og observasjoner ved hjelp av drone (også termisk) var mindre egnet til å varsle etterskred i Ask enn radarovervåking. Dette skyldes de små bevegelsene, som er svært krevende å fange opp med kikkert eller med drone. I Ask var det også en utfordring at observatøren (visuell overvåking) var plassert lavere i terrenget enn skredkanten og dermed ikke på noen enkel måte kunne fange opp eventuelle sprekke-dannelser i bakkant av skredkanten. Observasjoner i bakkant av skredkanten måtte derfor ivaretas med droneovervåking. Dette fungerte til en viss grad i Ask da det var snø på bakken som gjorde det mulig å se sprekker.

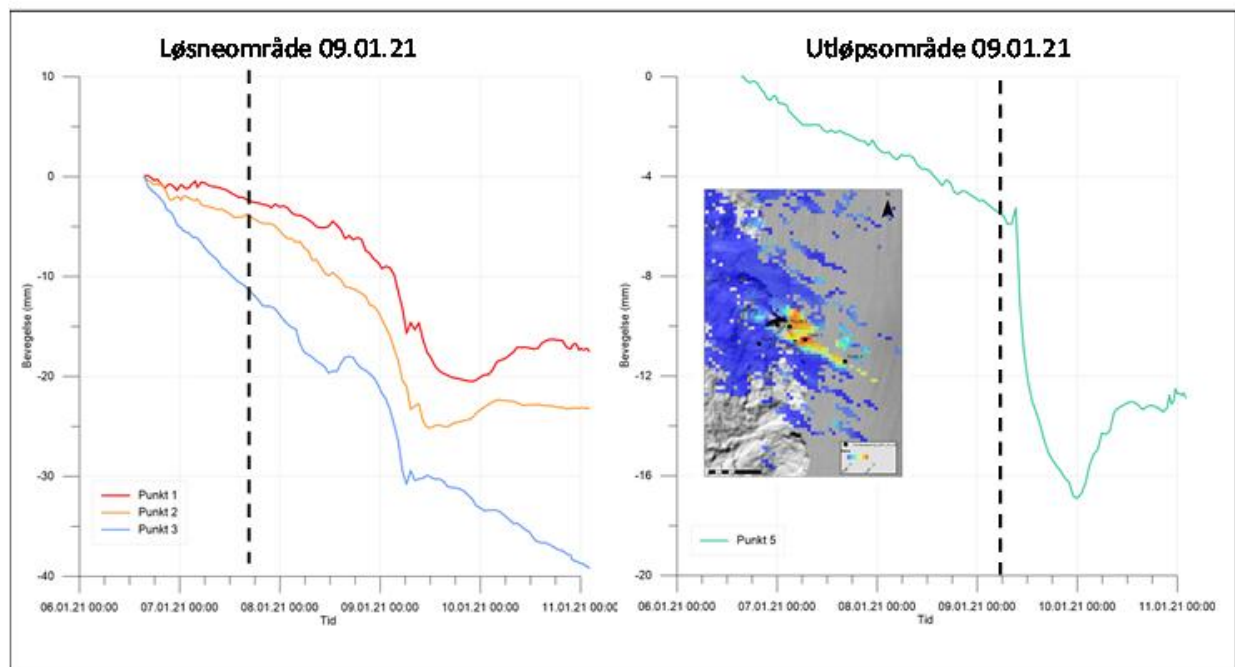
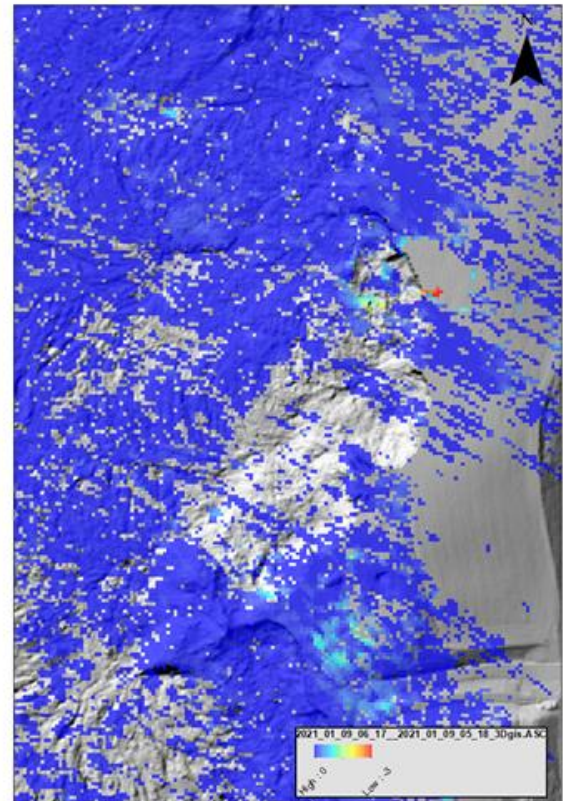
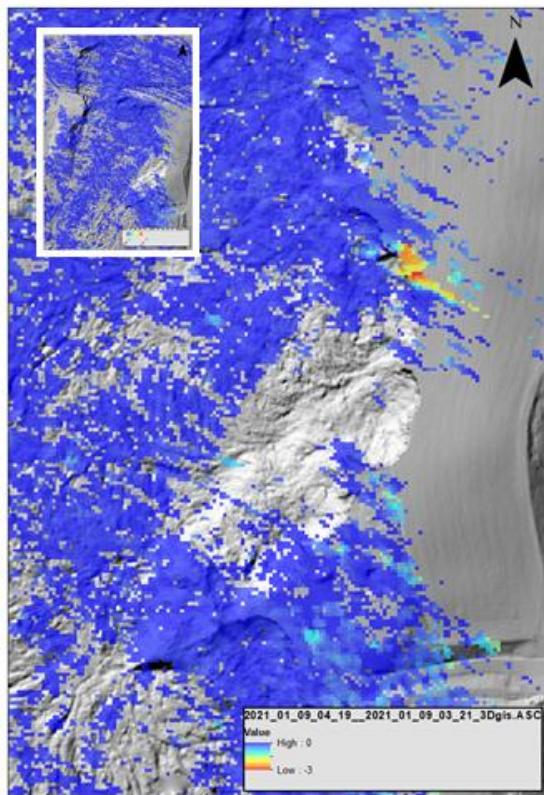
- Visuell overvåking og droneovervåking vil kunne påvise skredaktivitet i en tidlig fase, slik at man raskt kan varsle personell i området om fare for bevegelser i remobiliserte masser og dermed evakuere. Drone gir dessuten raskt oversikt over store områder på en trygg måte, og det kan ikke utelukkes at man kan fange opp sprekkeutvikling eller annen aktivitet som kan være et forvarsel på et større etterskred ved å periodisk fly over et område. Erfaring fra Ask vinterstid viser at spesielt bruk av termisk kamera er effektivt, ved at ferske bevegelser i terrenget er godt synlige grunnet kontrast i temperatur mellom nylig blottlagt leire og omkringliggende terreng.
- Dronebasert fotogrammetri og/eller LiDAR for oppdatering av terrengmodeller etter skred, er svært viktig. Oppdaterte terrengmodeller, i et stadig endret terreng grunnet massebevegelser, er essensielt for å løpende kunne vurdere stabiliteten av skredkanten, og for å dokumentere og kvantifisere de faktiske endringene.
- Analyser av hydrometeorologiske forhold viser en korrelasjon mellom nedbør og etterskred og en mer usikker korrelasjon mellom skred og temperatur. De første etterskredene gikk i en periode der vannmetningen var over 90 %. Det gikk likevel en serie store skred gjennom sommerhalvåret da vannmetningen generelt var lav. Noen av de største etterskredene i denne perioden kan likevel korreleres til perioder rett etter mye regn. Det kan heller ikke utelukkes at den økte skredhyppigheten gjennom sommerhalvåret var relatert til den generelt lave vannmetningen, og endrede forhold i grunnen nær skredkanten knyttet til dette.

6 Referanser

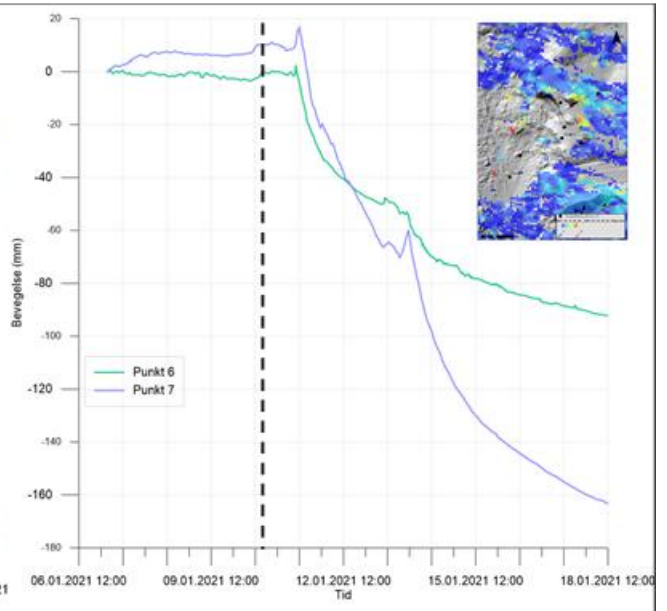
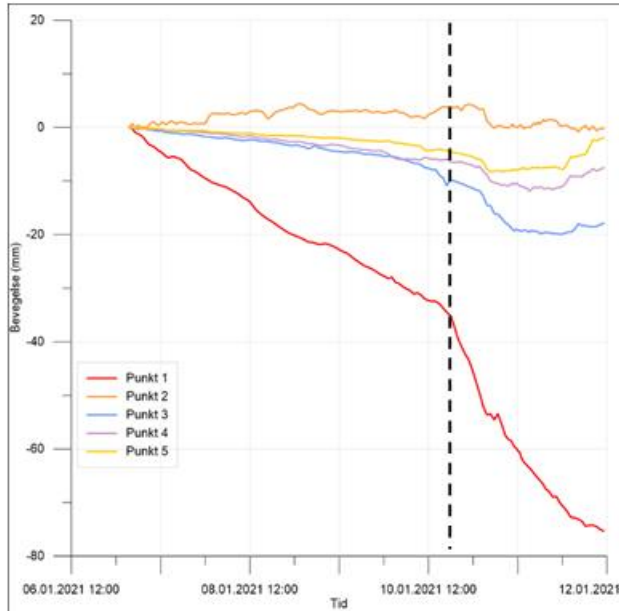
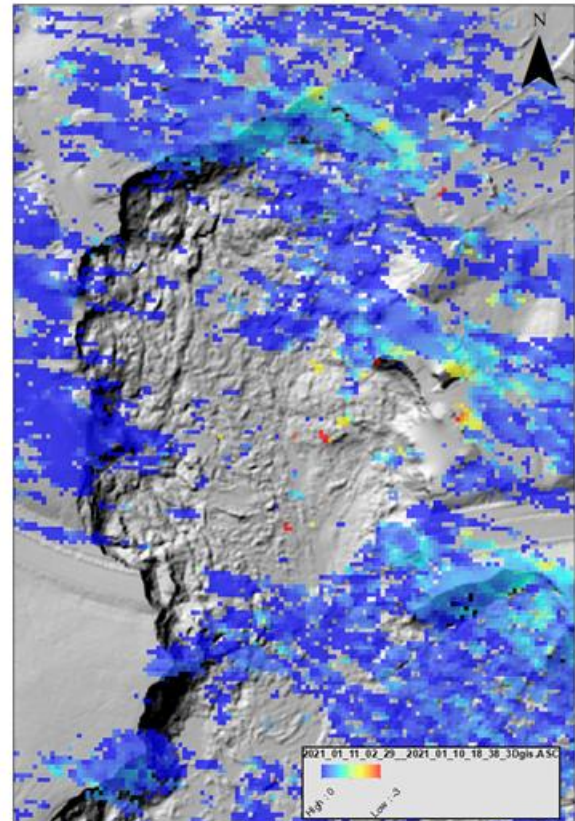
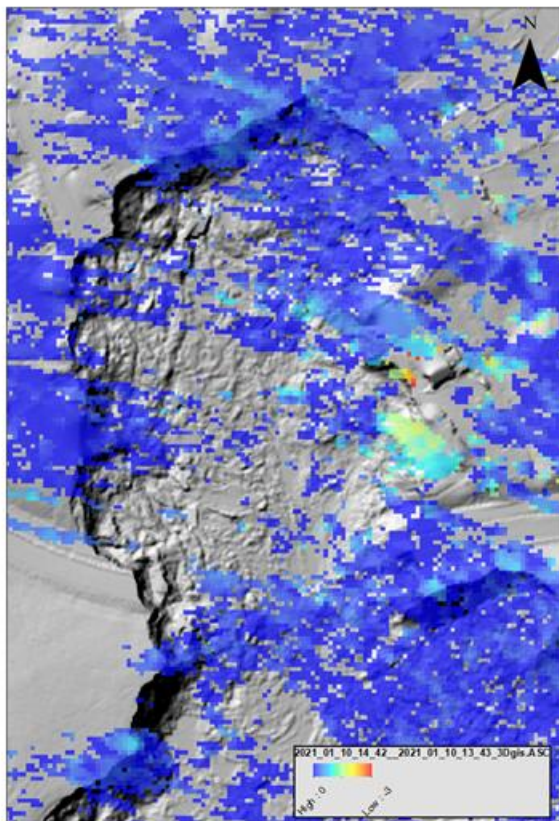
- (1) Offentlig ekspertutvalg, 2021. Årsakene til kvikkleireskredet i Gjerdrum 2020. Avgitt 29.9.2021.
- (2) NGU rapport 2012.040. Utstrekning og utløpsdistanse for kvikkleireskred basert på katalog over skredhendelser i Norge. Norges Geologiske Undersøkelse, Trondheim, Norge. [NGU Open Archive: Utstrekning og utløpsdistanse for kvikkleireskred basert på katalog over skredhendelser i Norge](#)
- (3) NVE Ekstern rapport 4/2021. Årsaksvurdering – Kvikkleireskred ved Kråknes i Alta 3.juni 2020, Multiconsult. [NVE Ekstern rapport](#)
- (4) Øvre Romerike Brann og Redning, 2012. Evaluering av Øvre Romerike brann og redning IKS (ØRB) sin kirsehåndtering av leirskredet i Ask. [ASK-rapporten_280621.pdf \(rogbr.no\)](#).
- (5) McColl ST., Cook S.J (2024). A universal size classification system for landslides. Landslides (2024) 21:111–120 DOI 10.1007/s10346-023-02131-6
- (6) Cruden, David & Beltran, Lisandro & Krauter, Edmund & Lefebvre, Guy & G.I.Ter-Stepanian, & Zhouyuan, Zhang. (1993). Multilingual Landslide Glossary. [multilingual-landslide-glossary_1993-version.pdf \(iaeg.info\)](#)
- (7) NVE rapport 15/2021. Hydrometeorologiske forhold i forkant av kvikkleireskredet i Gjerdrum, desember 2020. NVE rapport 15/2021. Norges og vassdrag energi direktorat, Oslo, Norge. [NVE Rapport](#)
- (8) Beldring, S., Engeland, K., Roald, L.A., Sælthun, N.R., Voksø, A. 2003. Estimation of parameters in a distributed precipitation-runoff model for Norway. Hydrology and Earth System Sciences, 7, 304-316.

Vedlegg A – Bevegelser fra radar

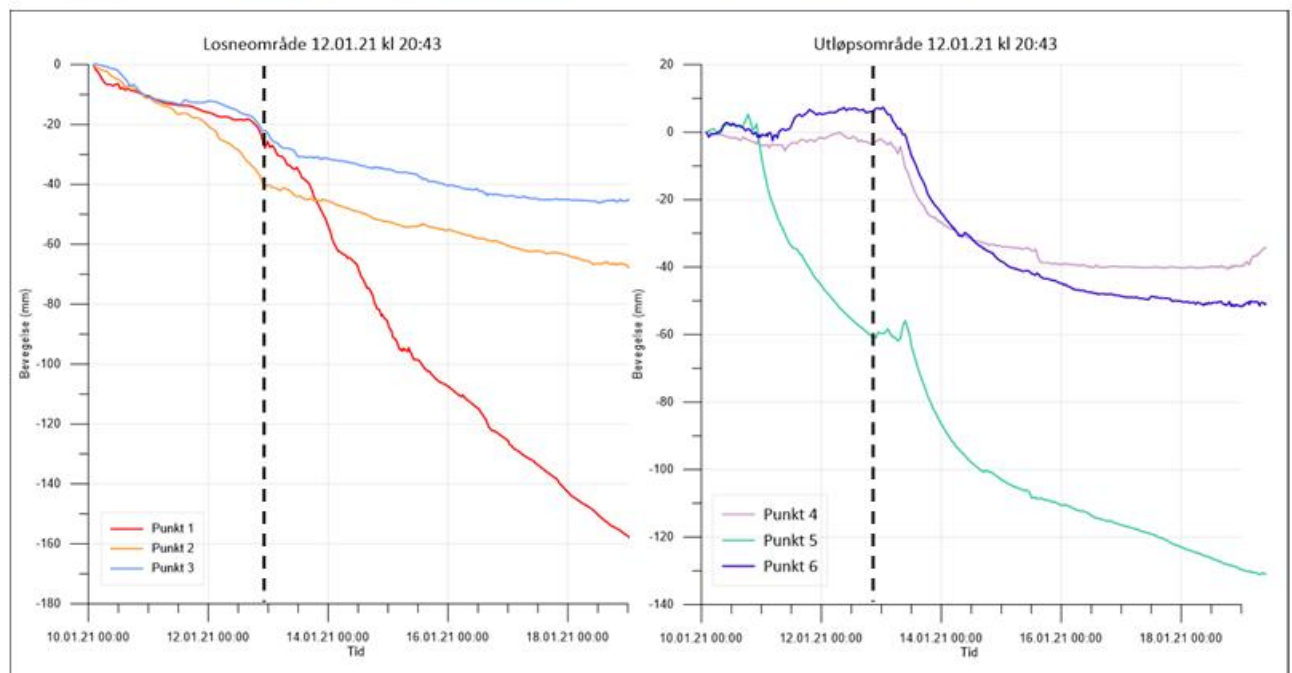
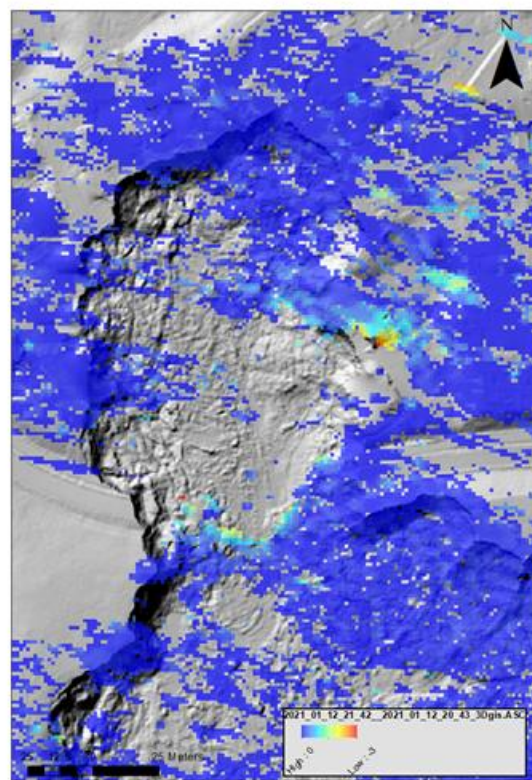
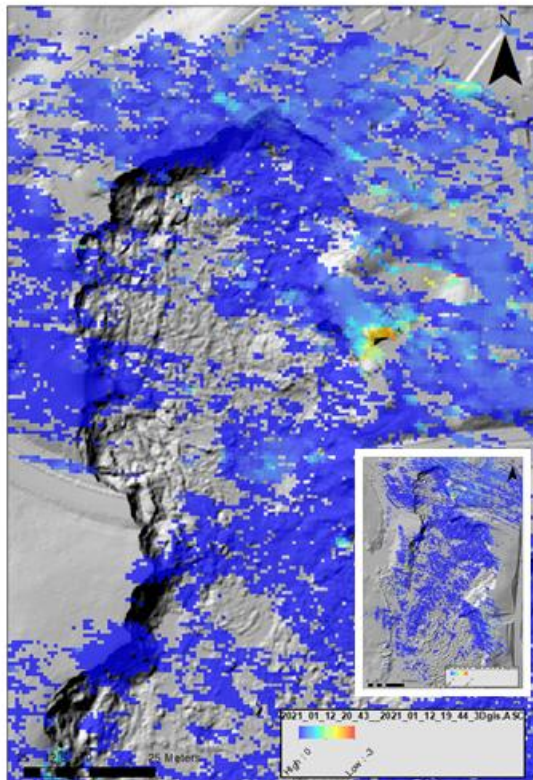
Skred 09.01.2021, 06:17 - 07:16



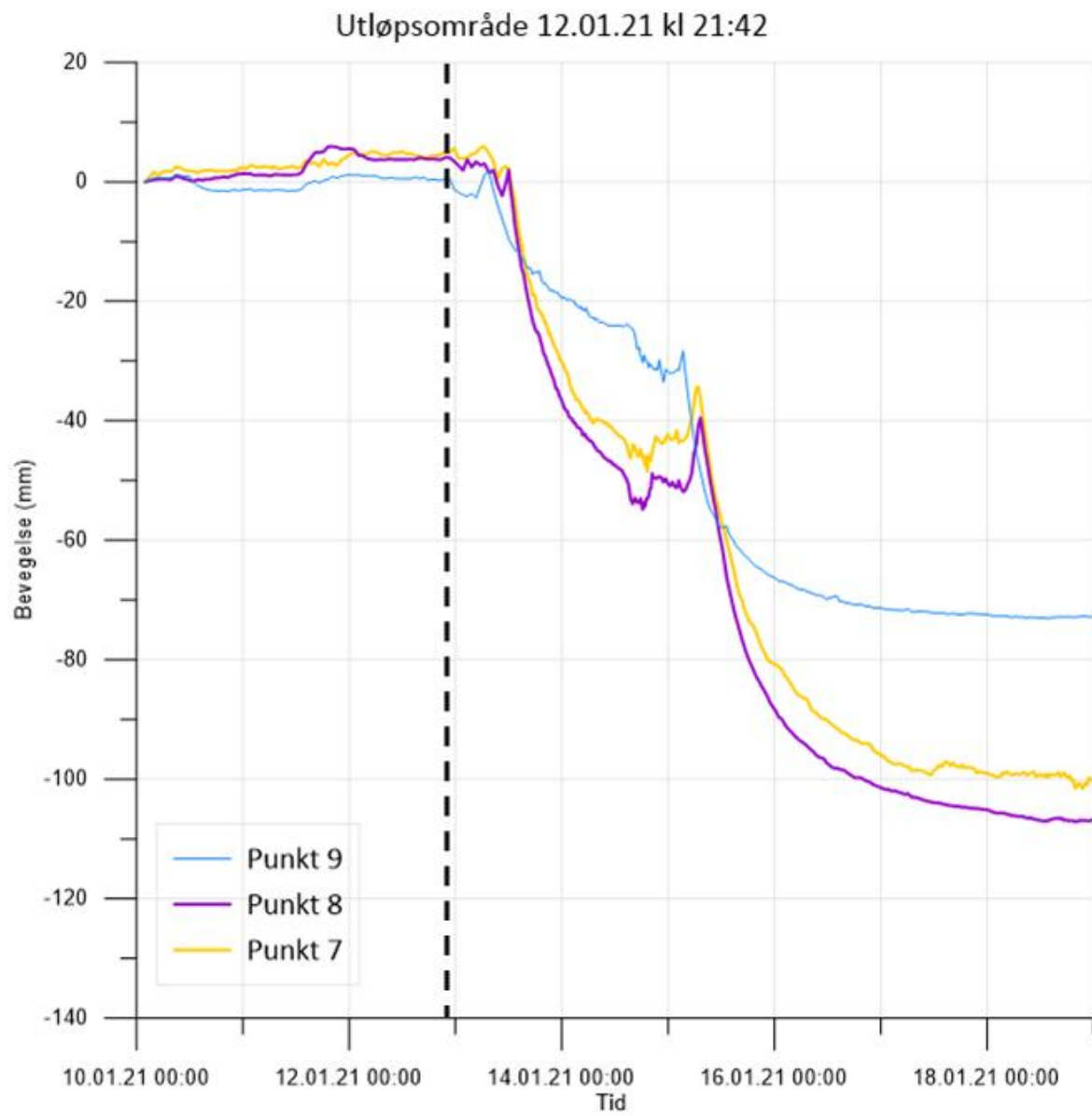
Skred 10.01.2021, 14:42



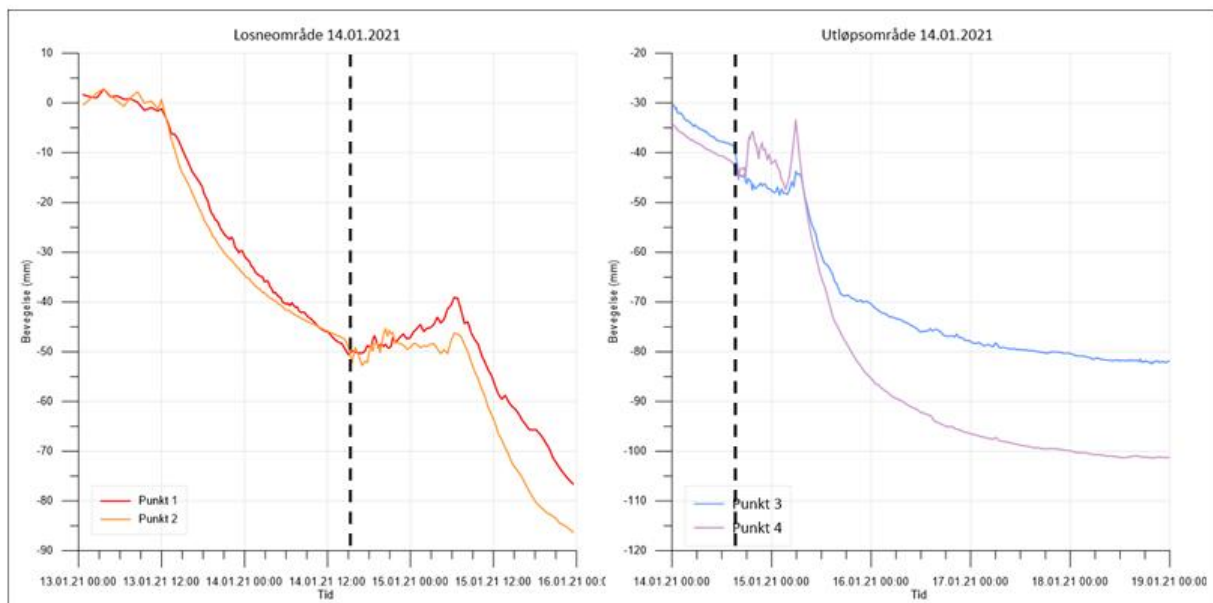
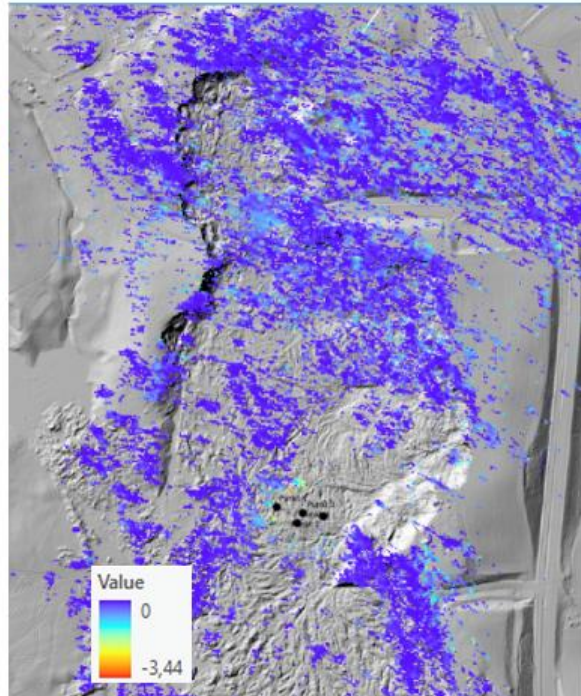
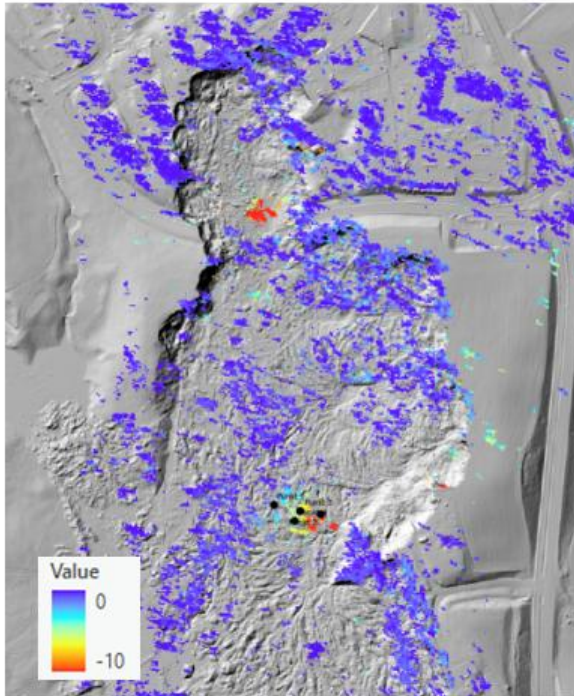
Skred 12.01.2021, 20:43 - 21:42



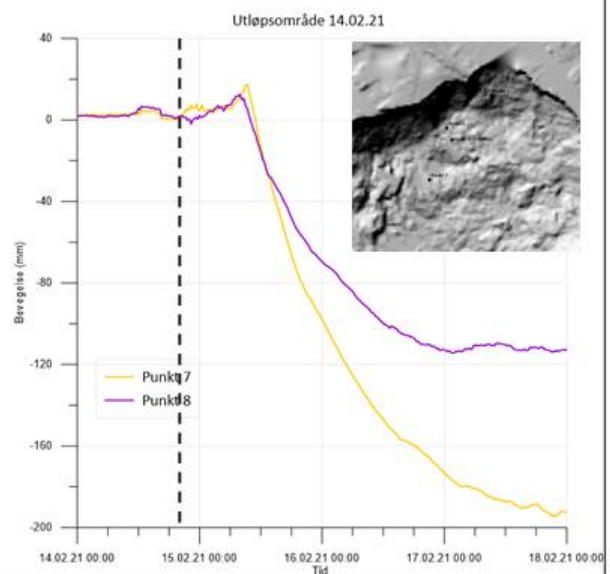
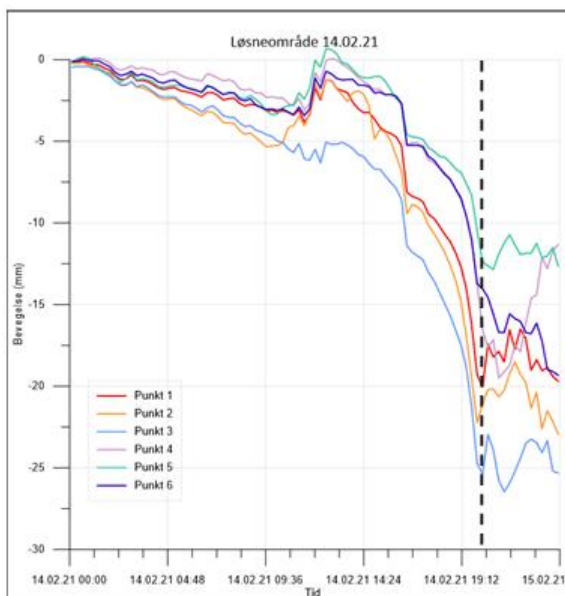
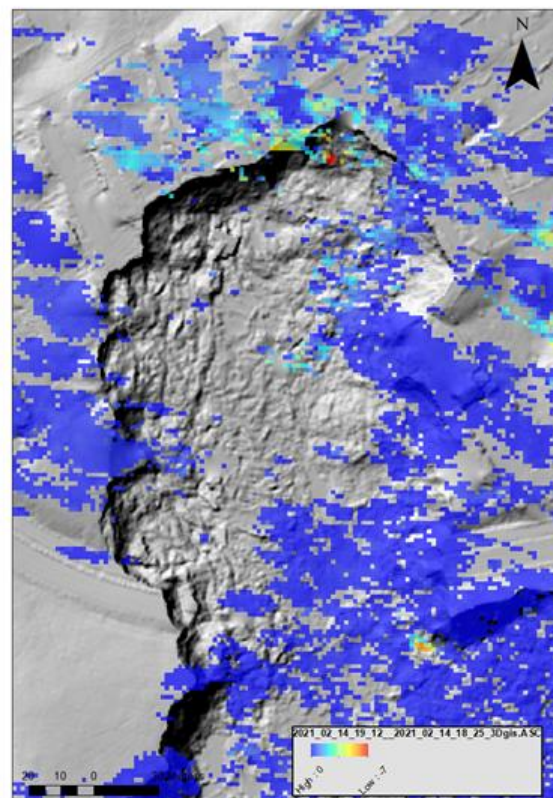
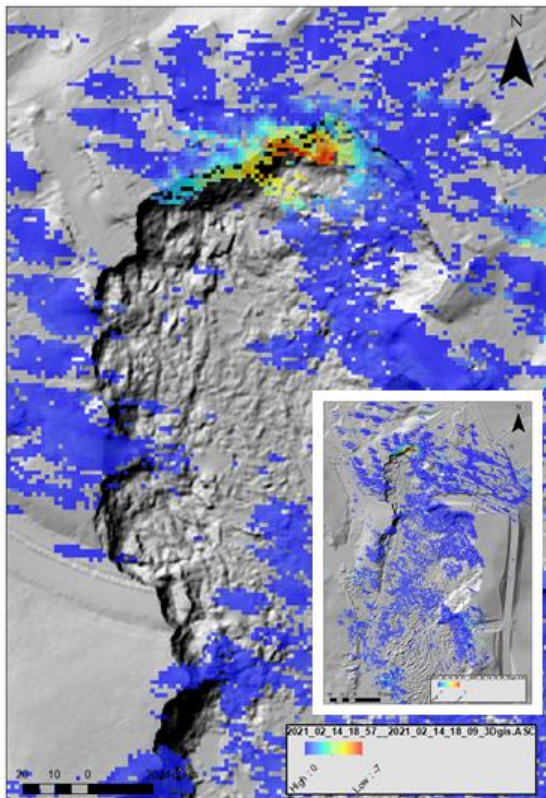
Skred 12.01.2021, 21:42 - 22:41



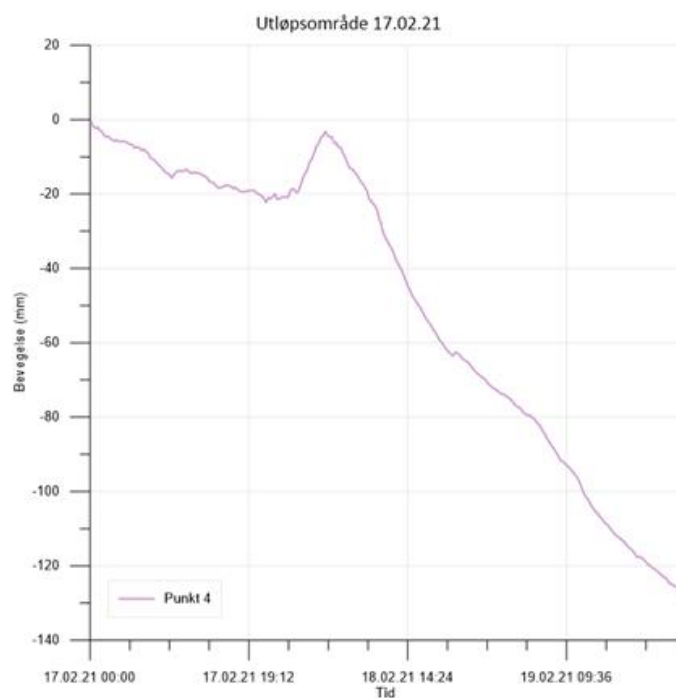
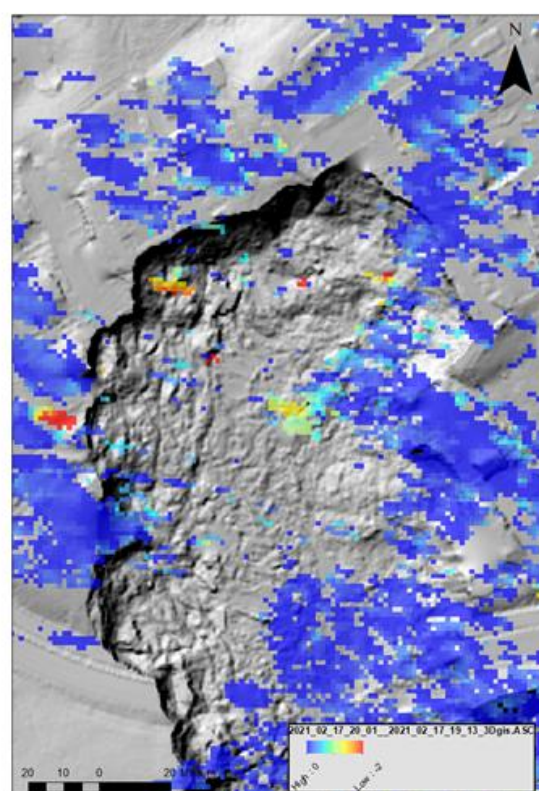
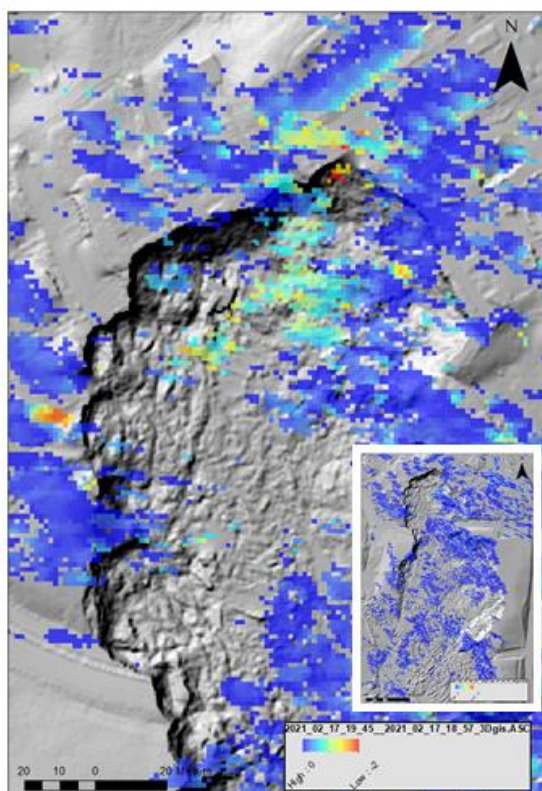
Skred 14.01.2021, 15:00 - 15:29



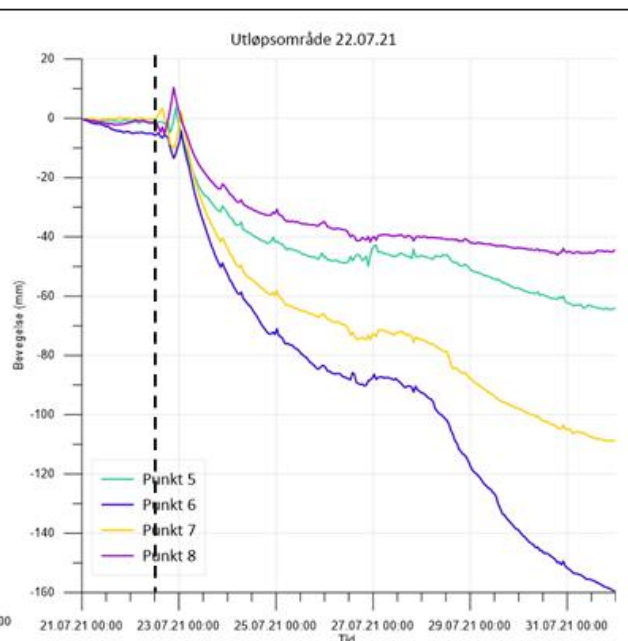
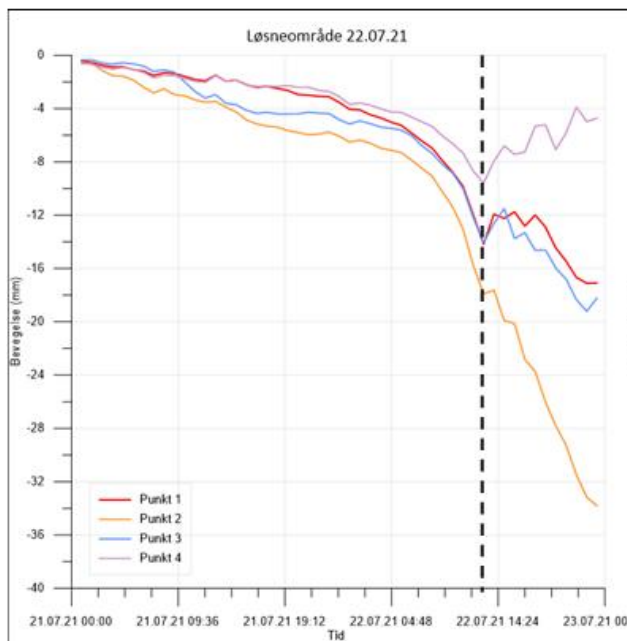
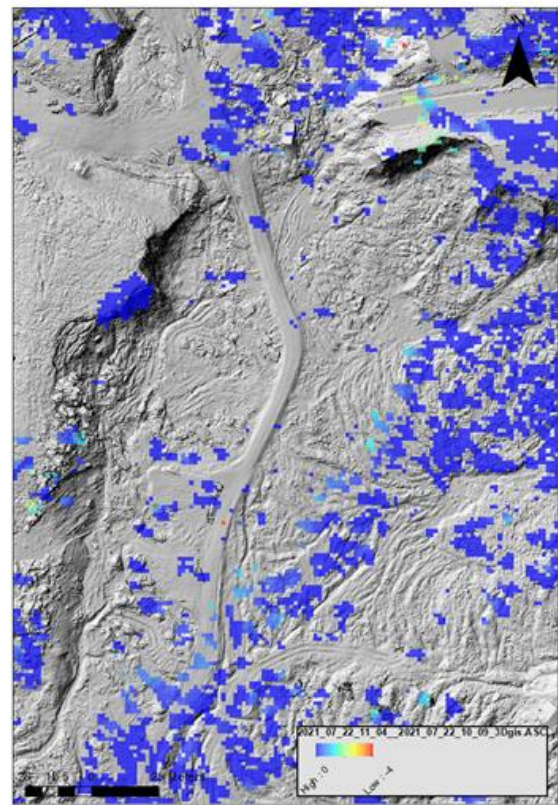
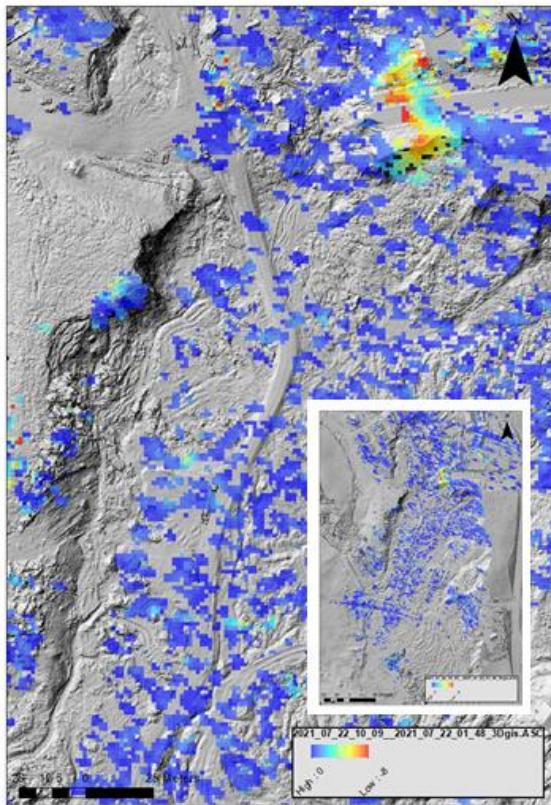
Skred 14.02.2021, 18:57 - 19:12



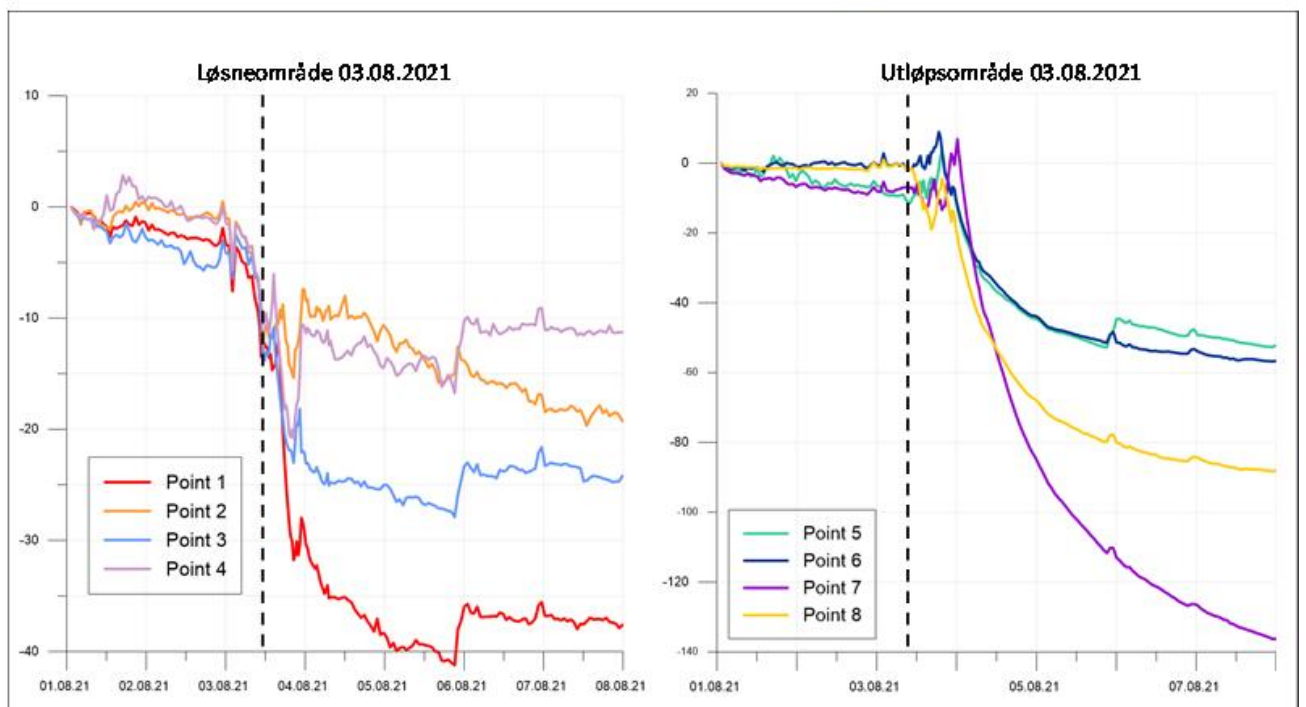
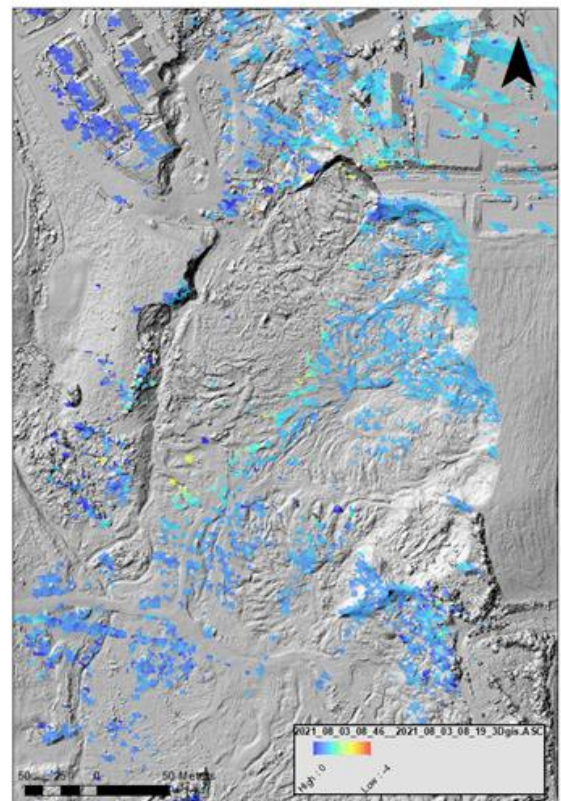
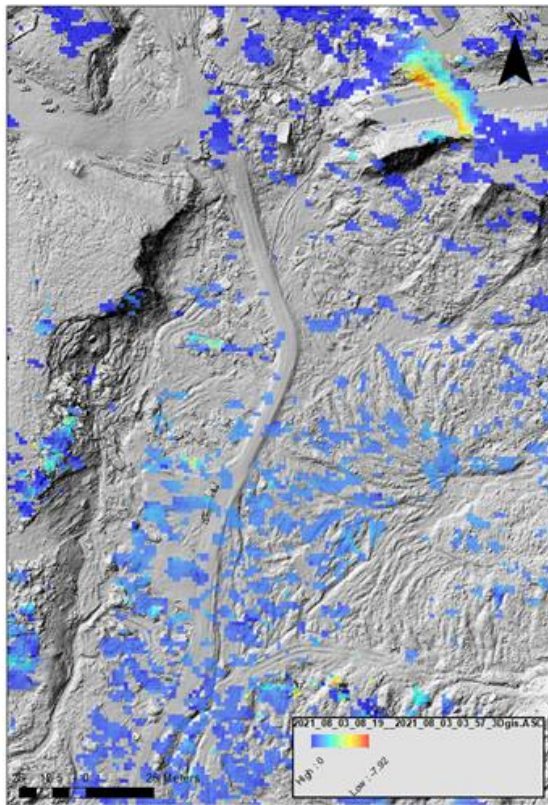
Skred 17.02.2021, 19:45 - 20:01



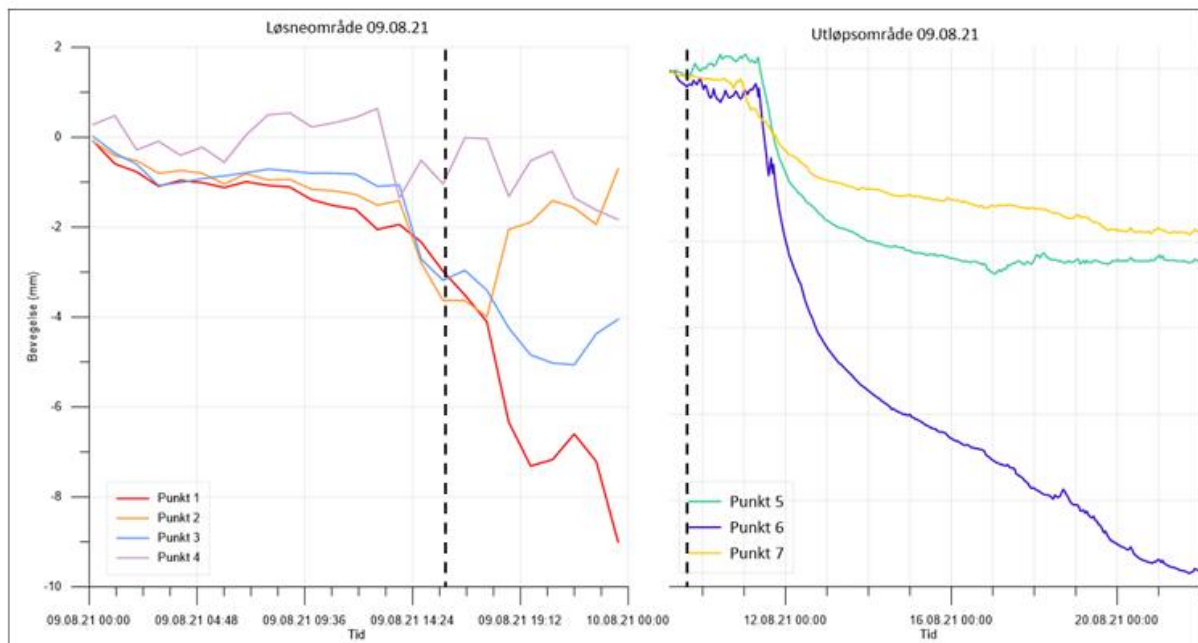
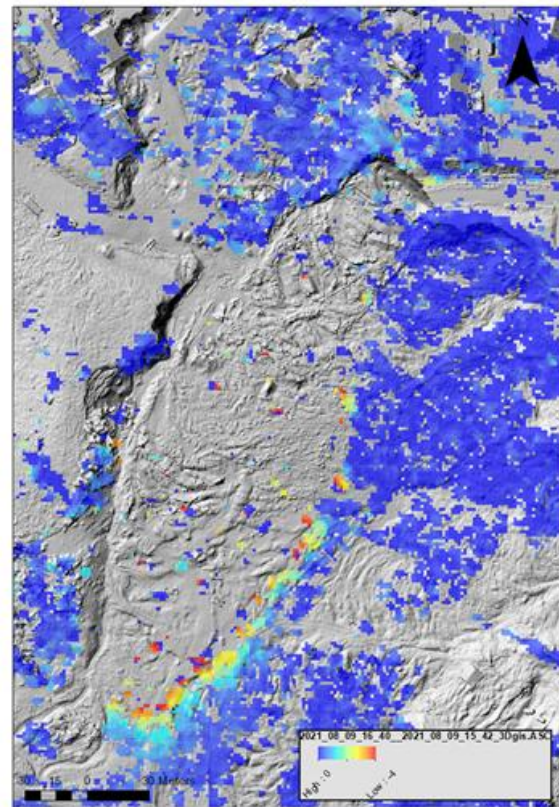
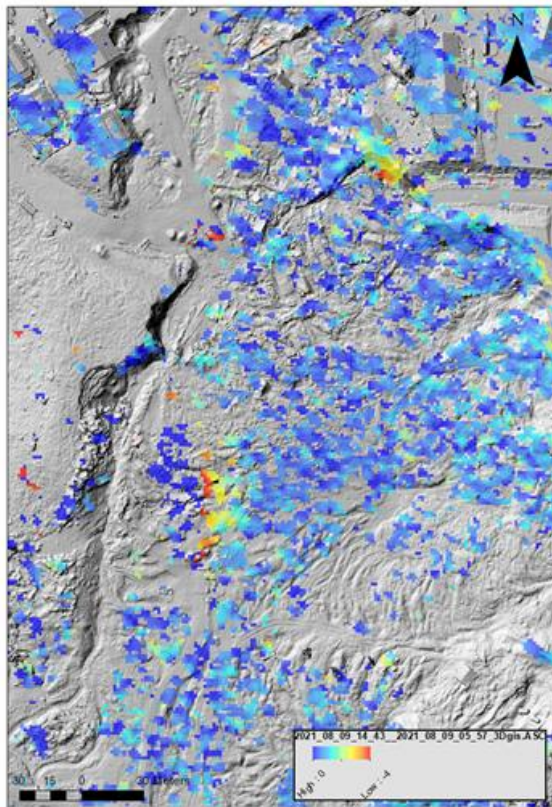
Skred 22.07.2021, 10:09 - 11:04



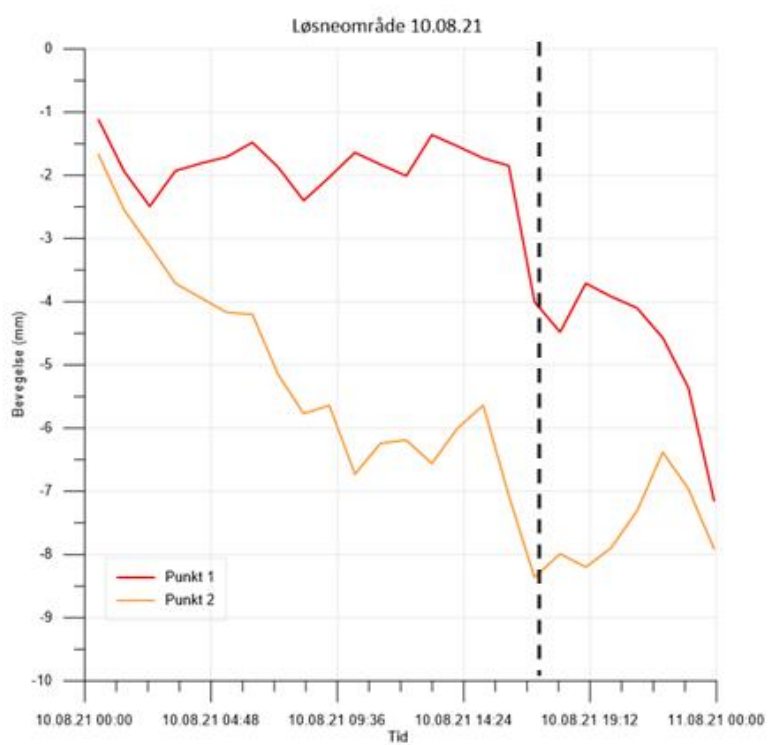
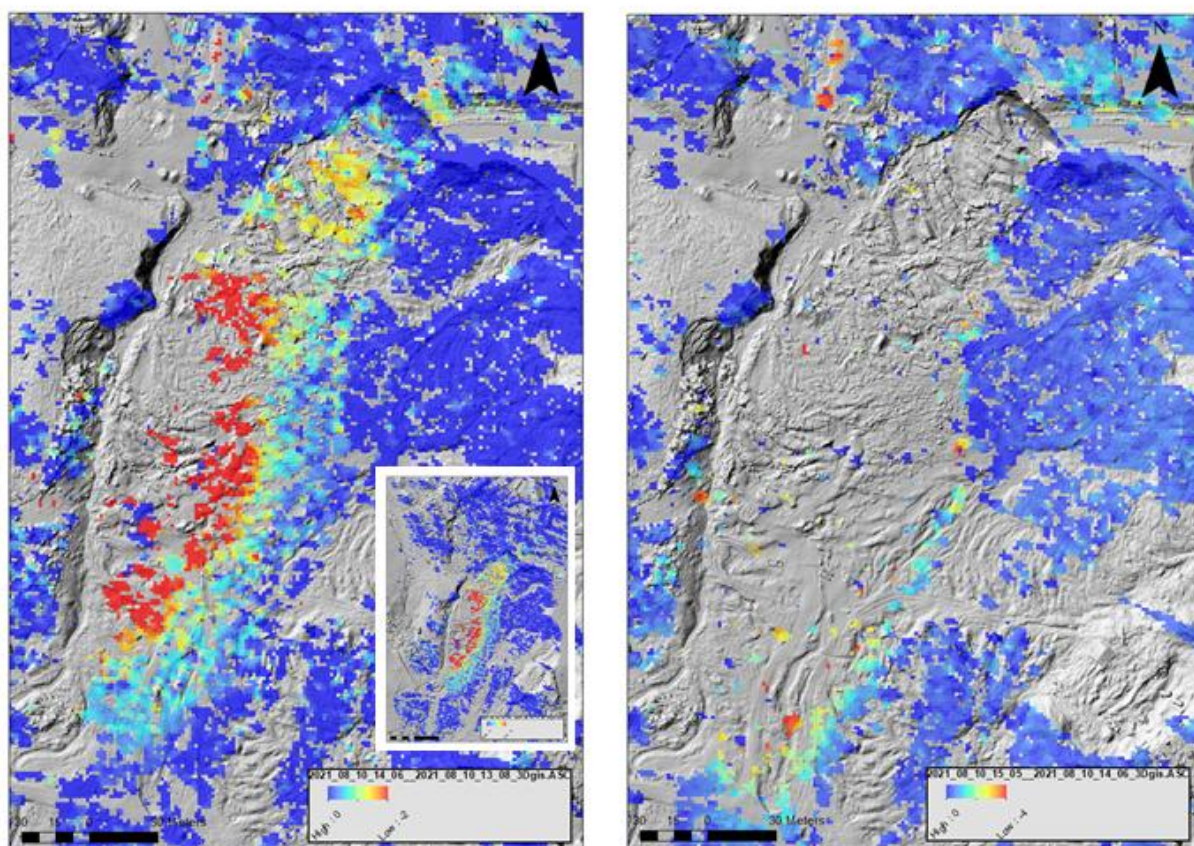
Skred 03.08.2021, 08:19 - 08:46



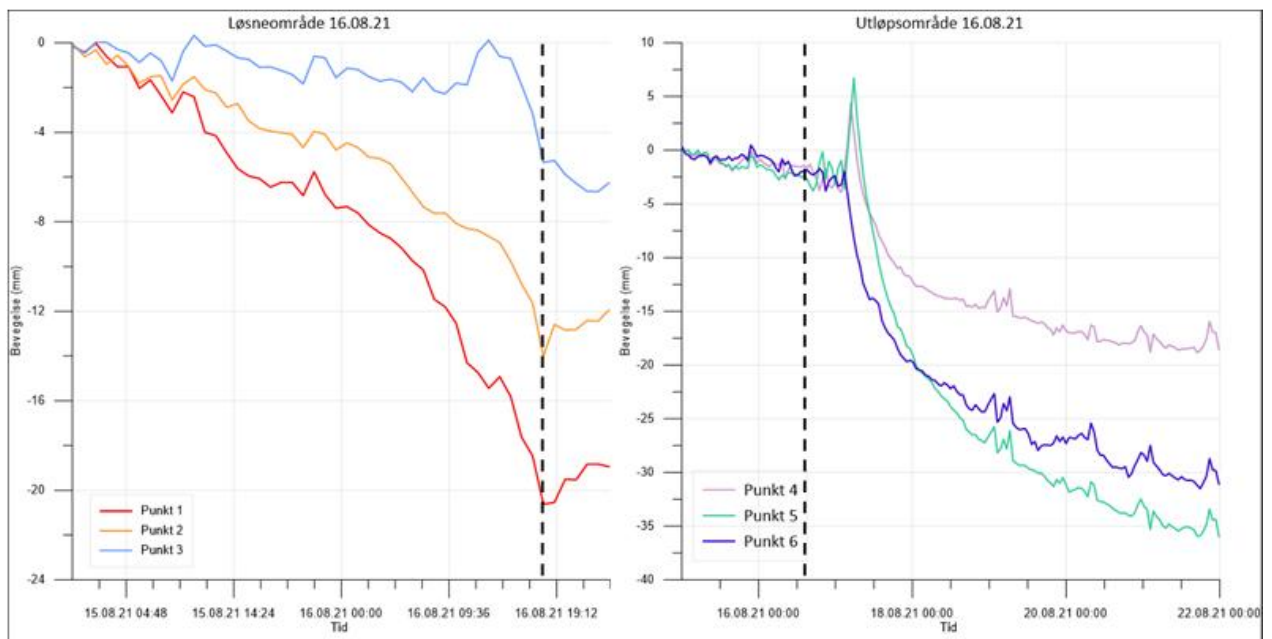
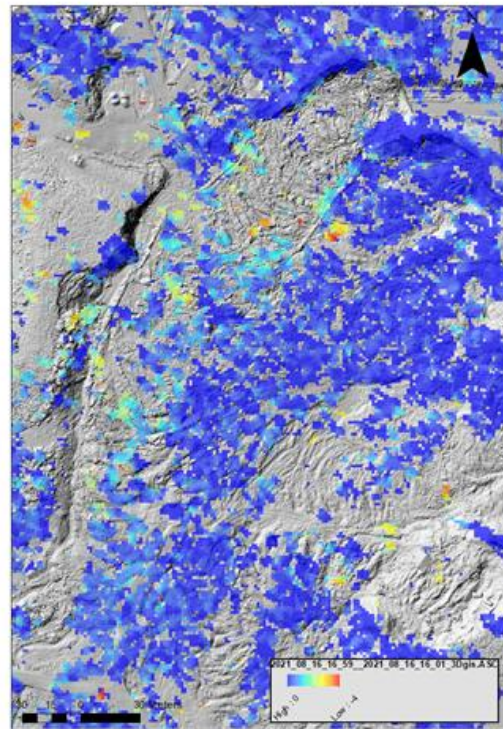
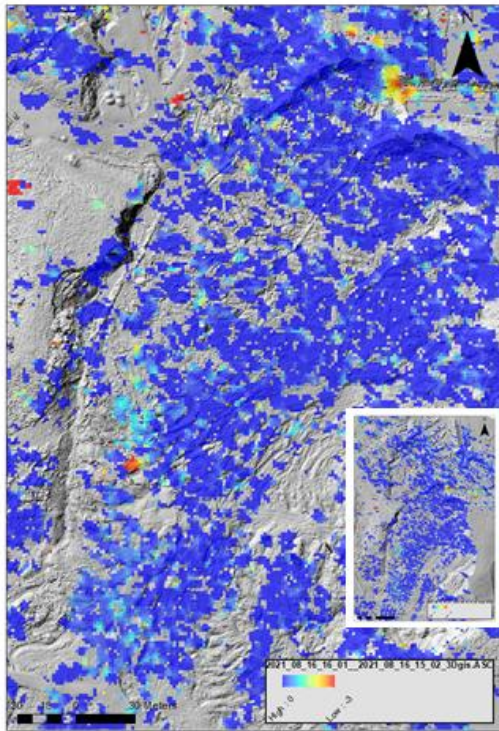
Skred 09.08.2021, 15:42 - 16:40



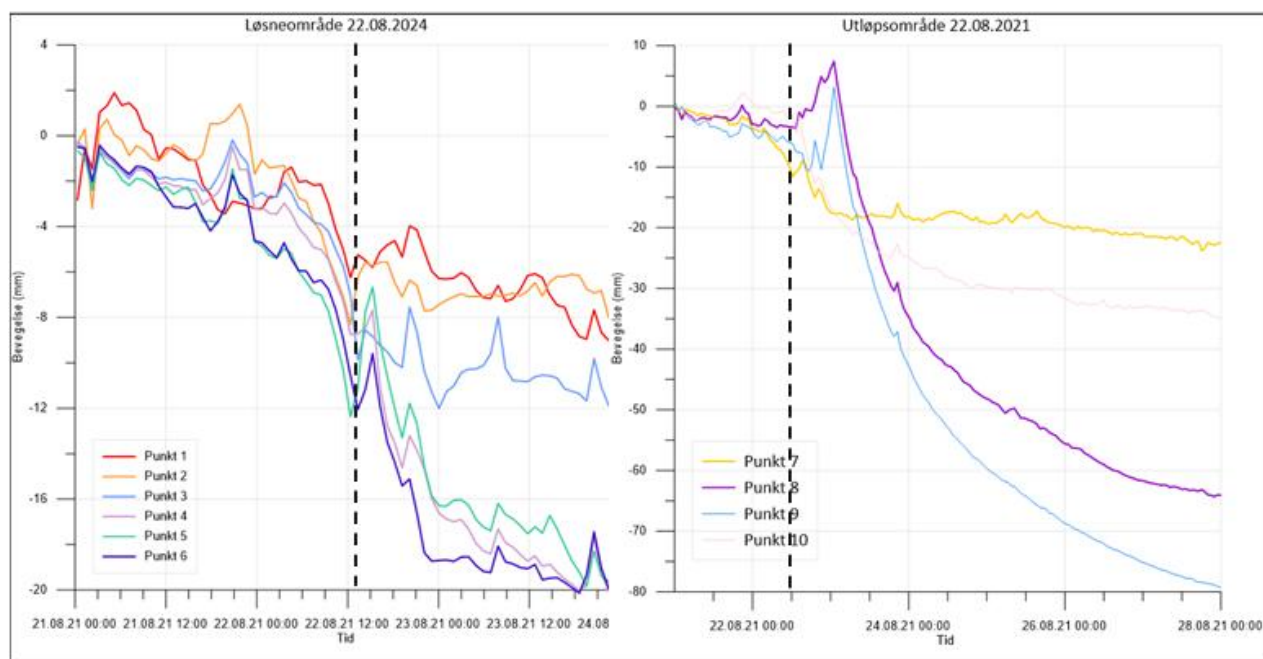
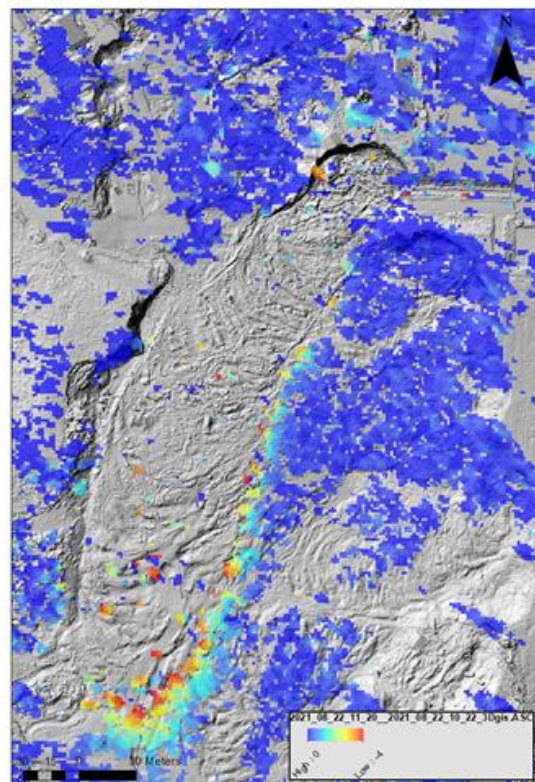
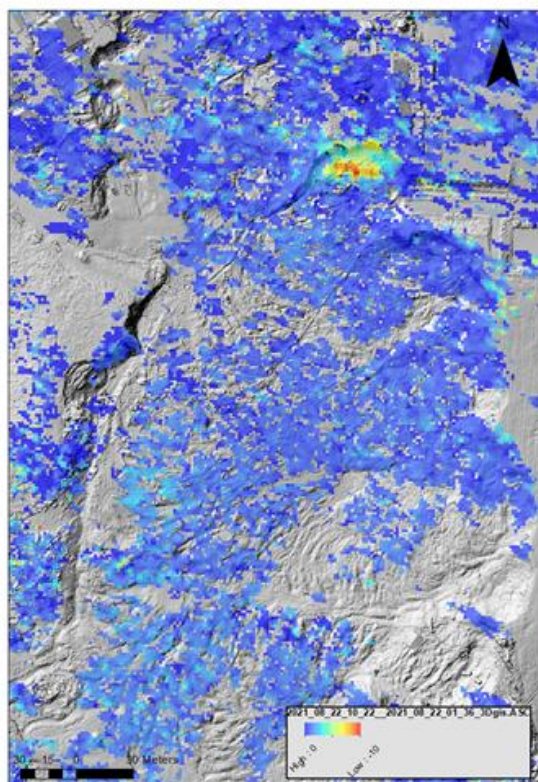
Skred 10.08.2021, 14:06 - 15:05



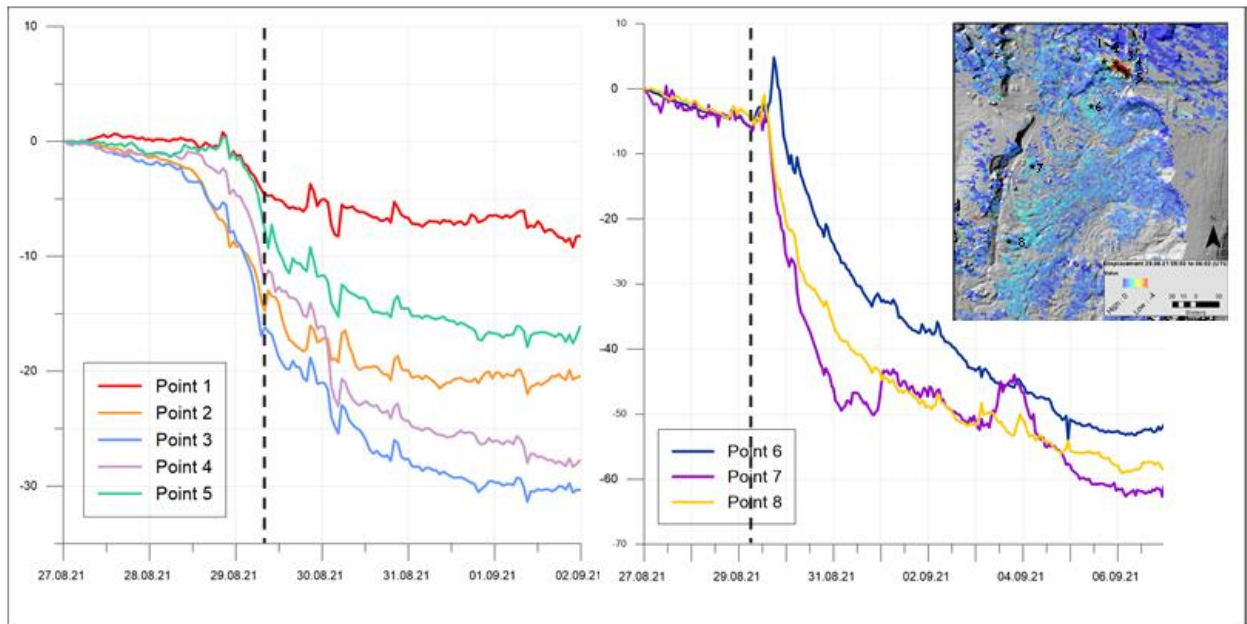
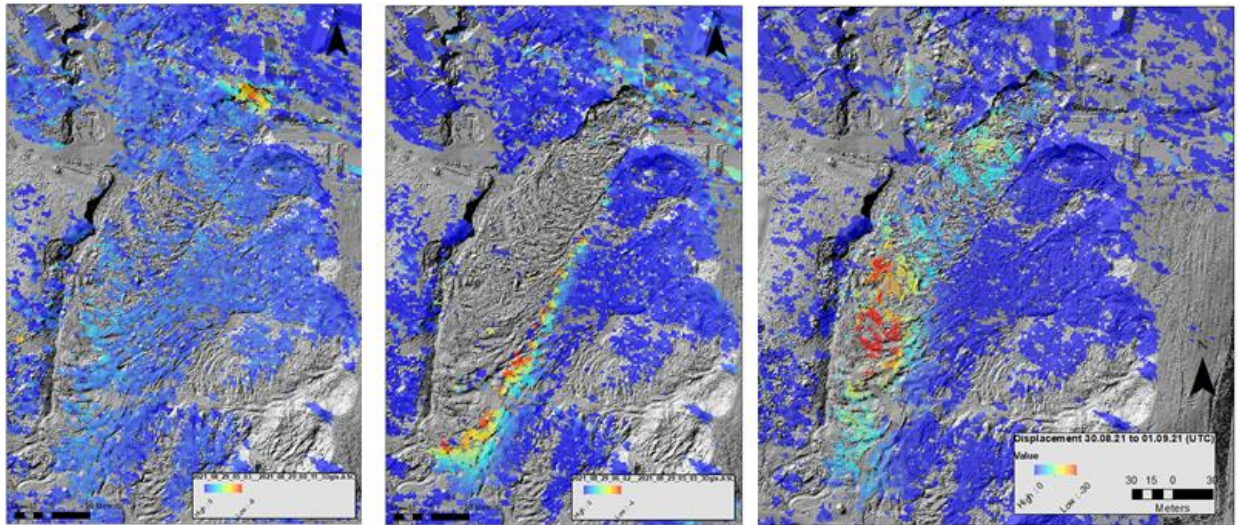
Skred 16.08.2021, 16:01 - 16:59



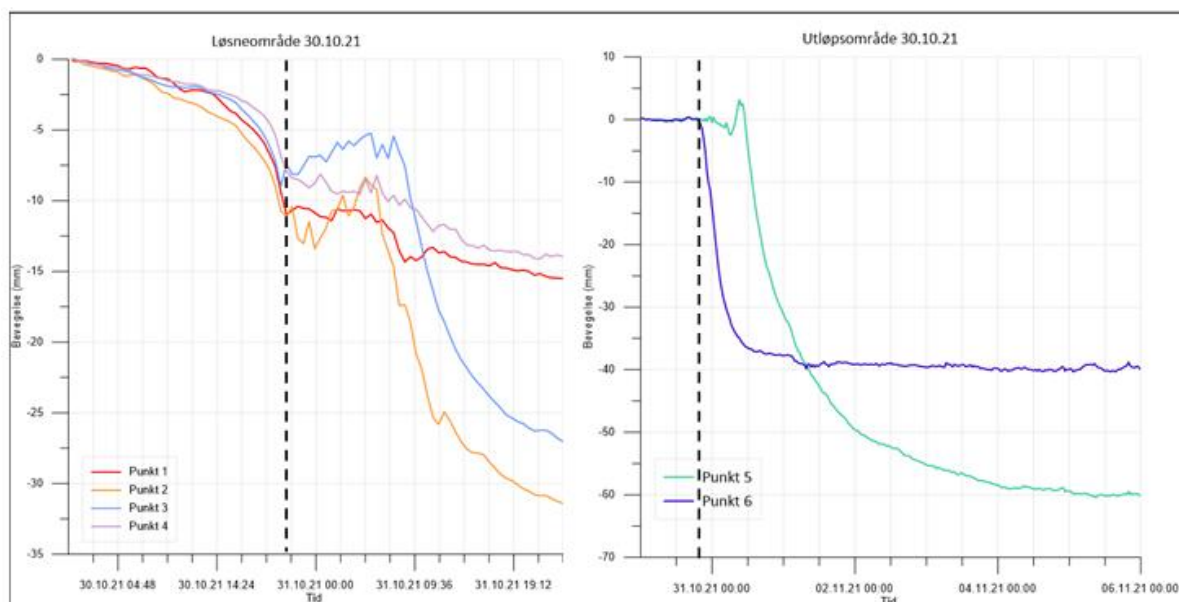
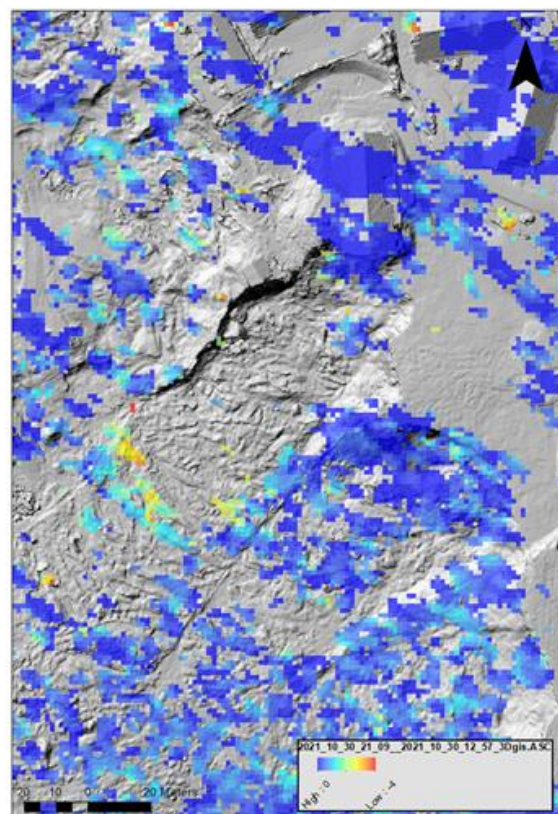
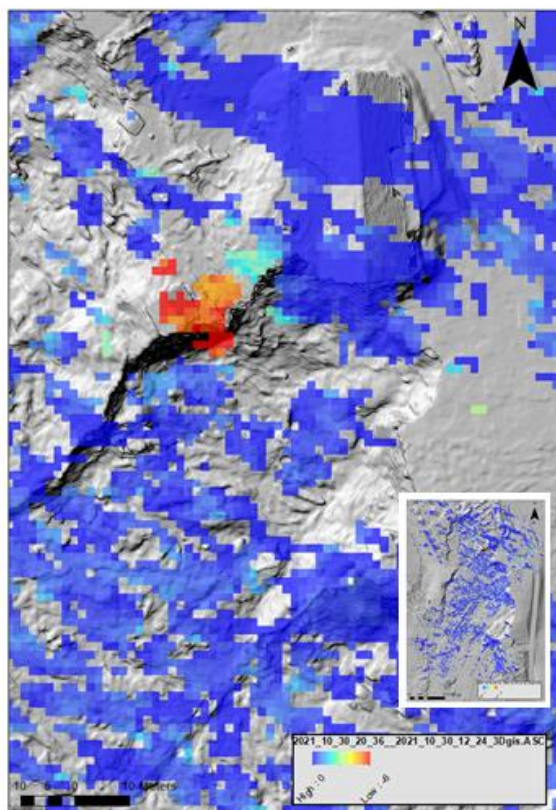
Skred 22.08.2021, 10:22 - 11:20



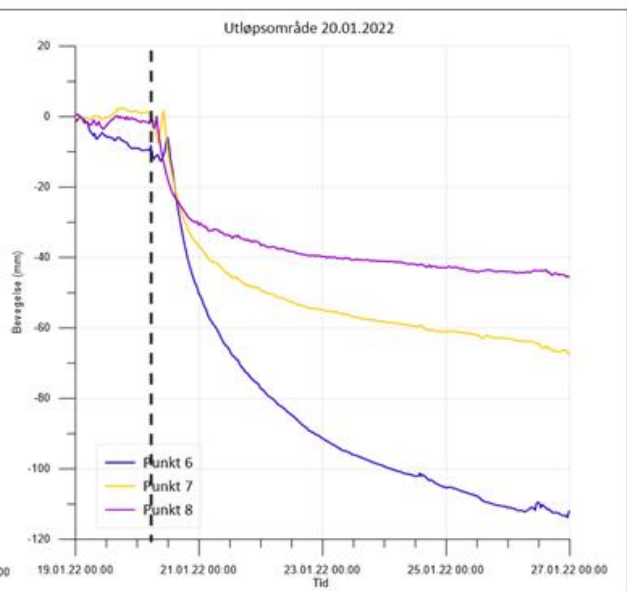
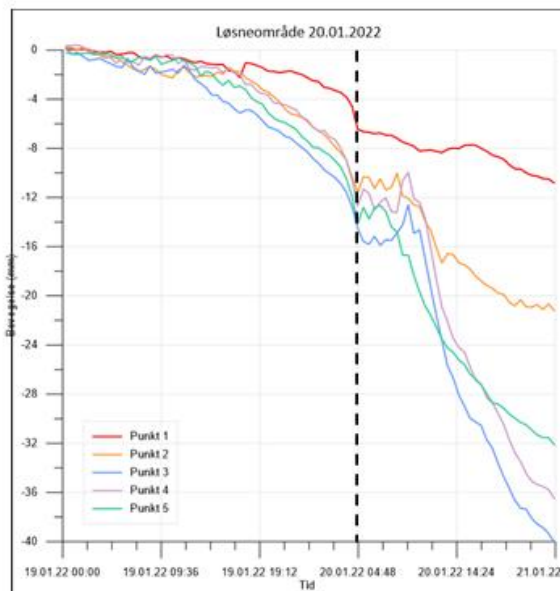
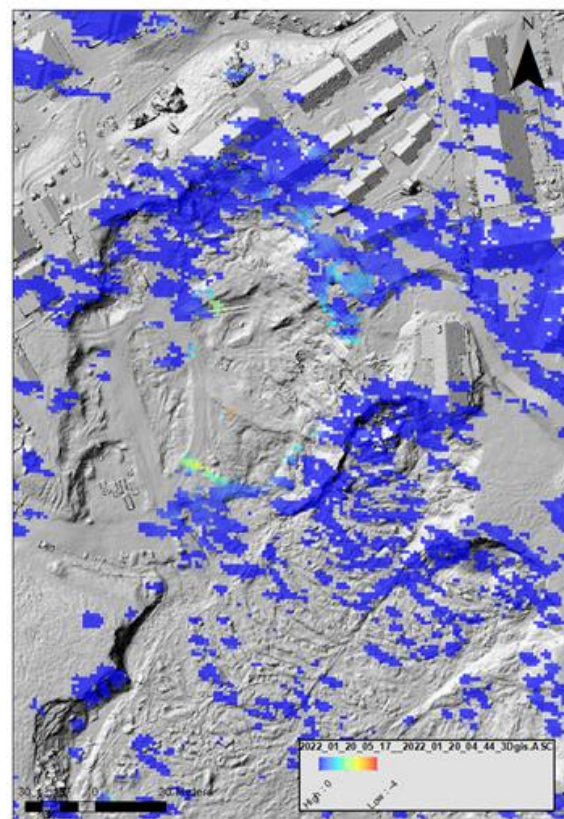
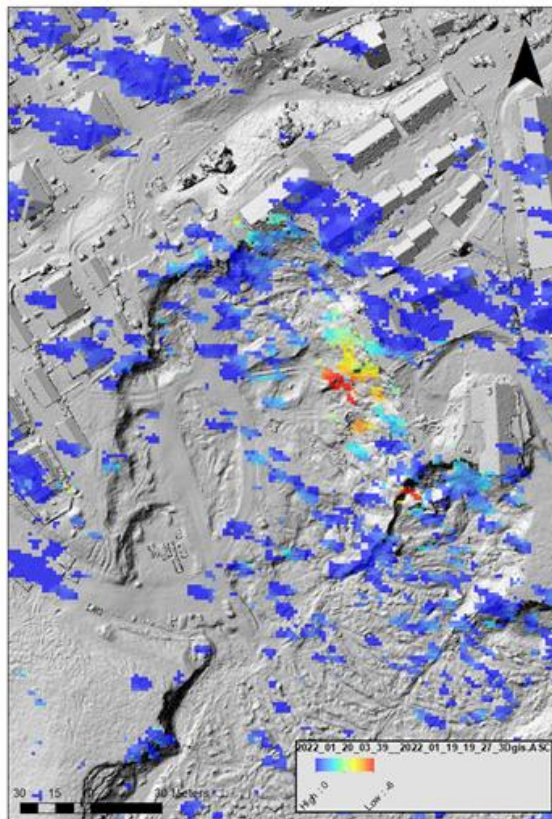
Skred 29.08.2021, 05:03 - 06:02



Skred 30.10.2021, 20:36 - 21:09



Skred 20.01.2022, 04:44 - 05:17



Vedlegg B - Bilder av observerte massebevegelser

Bilder av observerte massebevegelser Månedlig oversikt

Husk: Dato er når bilder ble tatt og ikke dato for skred

30.01.2020

Bilde: Jaran Wasrud/NVE



30.01.2020

Bilde: Jaran Wasrud/NVE



31.01.2020

Bilde: Jaran Wasrud/NVE



Januar 2021

1.01.2021

Bilde: Jaran Wasrud/NVE



2.01.2021

Bilde: Jaran Wasrud/NVE



4.01.2021

Bilde: Jaran Wasrud/NVE



Januar 2021

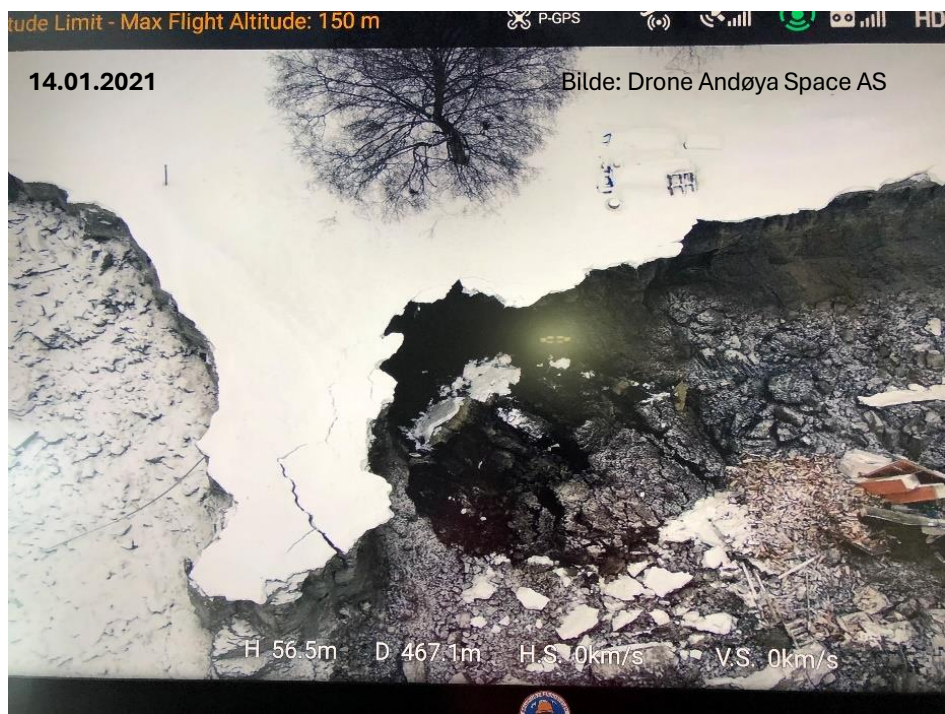
10.01.2021

Bilde: Drone Andøya Space AS



12.01.2021

Bilde: Drone Andøya Space AS



21.01.2021



Bilde: Graziella Devoli/NVE



21.01.2021

Bilde: Drone Andøya Space AS



25.01.2021

Bilde: Drone Andøya Space AS



Februar 2021

14.02.2021

Bilde: Drone/NVE



22.02.2021

Bilde: Drone Andøya Space AS



Mai 2021

18.05.2021

Bilde: Drone Gjerdrum kommune



Juni 2021

03.06.2021

Bilde: Drone Gjerdrum kommune



25.06.2021

Bilde: Drone Gjerdrum kommune



Juli 2021

05.07.2021

Bilde: Drone Gjerdrum kommune



August 2021

01.08.2021

Bilde: Drone Gjerdrum kommune



03.08.2021

Bilde: Drone Gjerdrum kommune



09.08.2021

Bilde: Drone Gjerdrum kommune



November 2021

02.11.2021

Bilde: Drone Gjerdrum kommune



Desember 2021

21.12.2021

Bilde: Drone Gjerdrum kommune



21.01.2022

Bilde: Drone Gjerdrum kommune



22.01.2022



22.01.2022

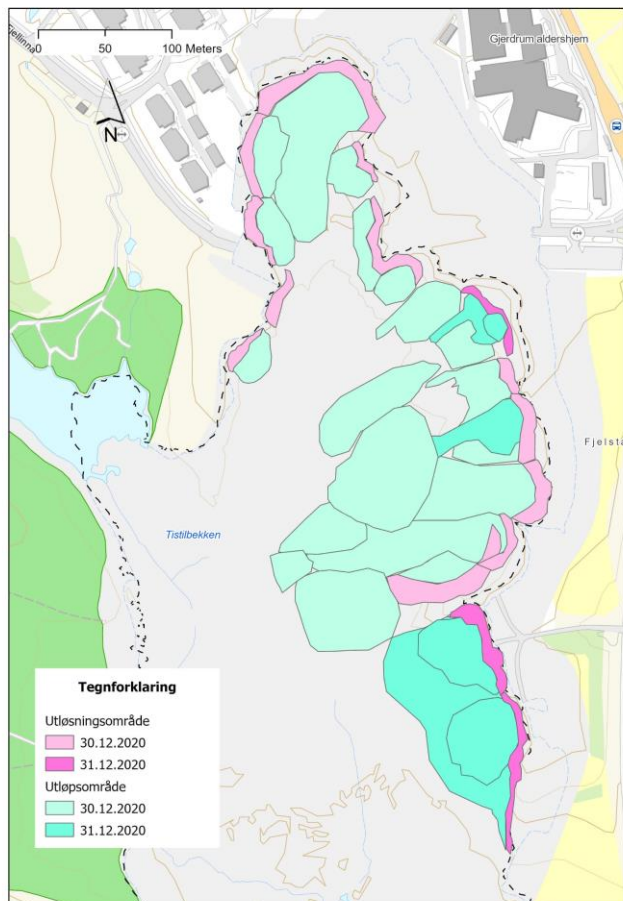


Vedlegg C - Kartlagte skred

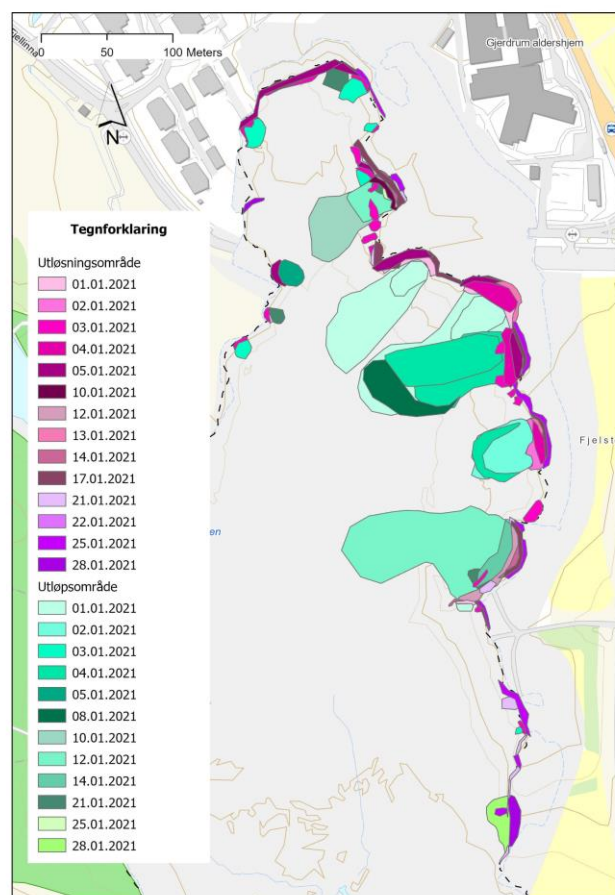
Kartlagte skred

Månedlig oversikt

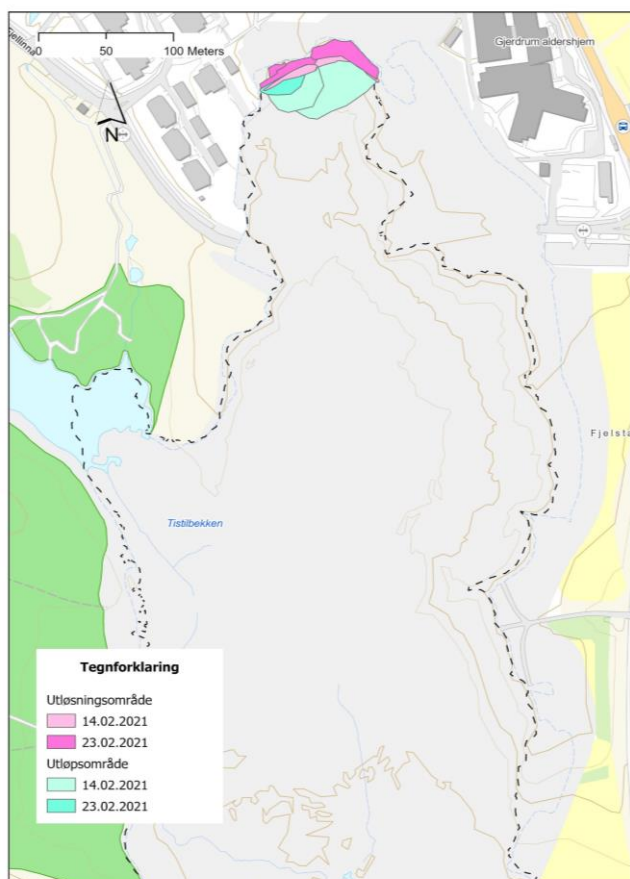
Desember 2020



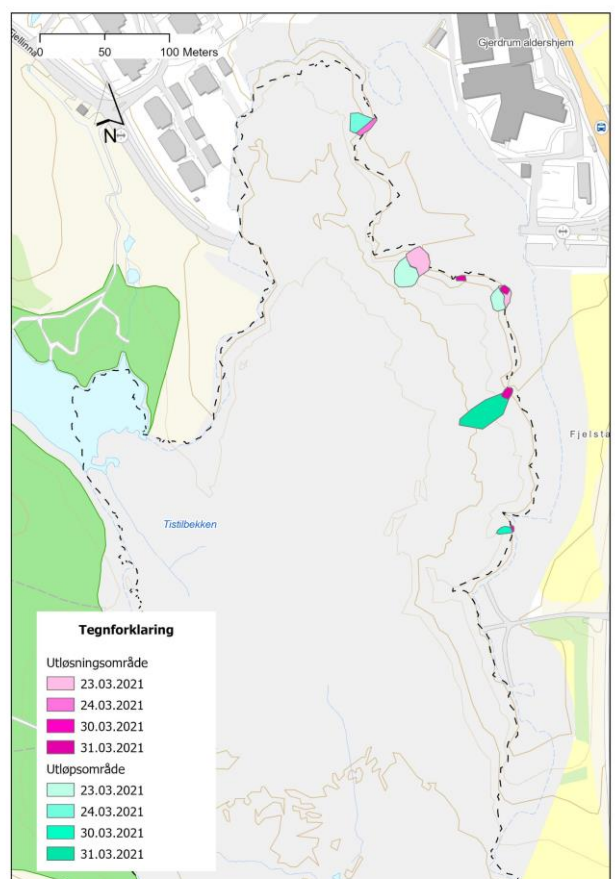
Januar 2021



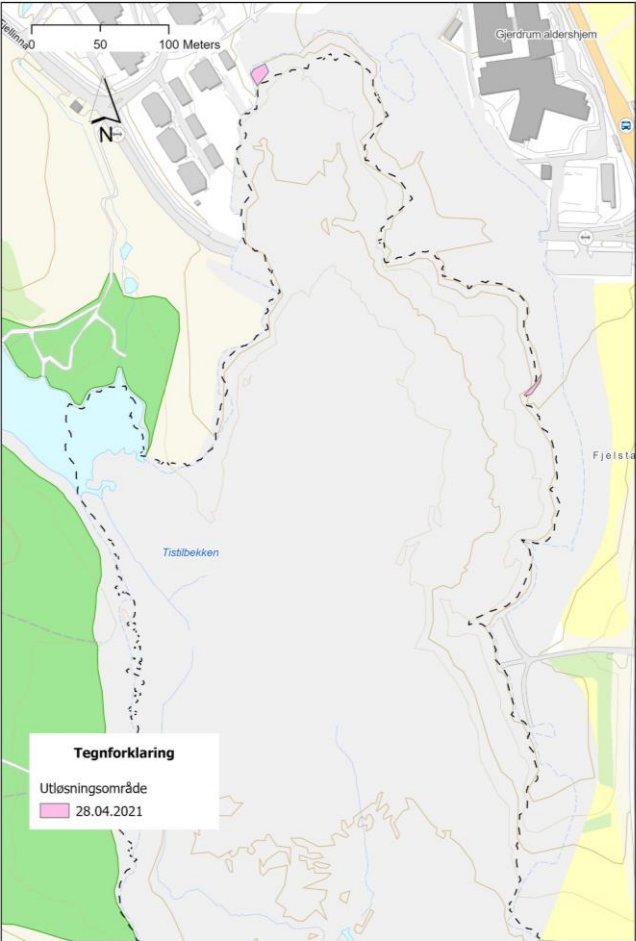
Februar 2021



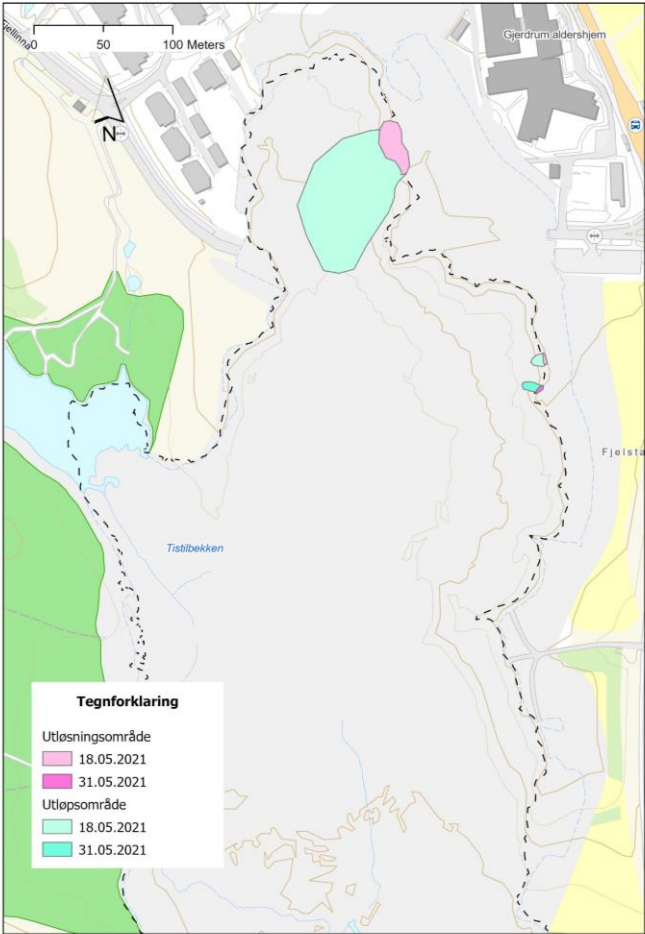
Mars 2021



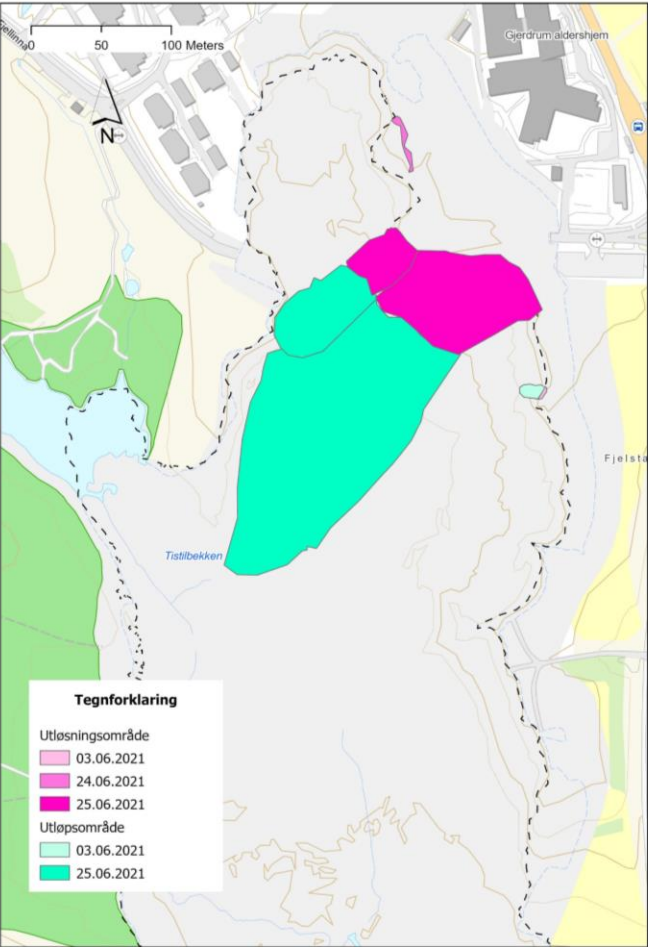
April 2021



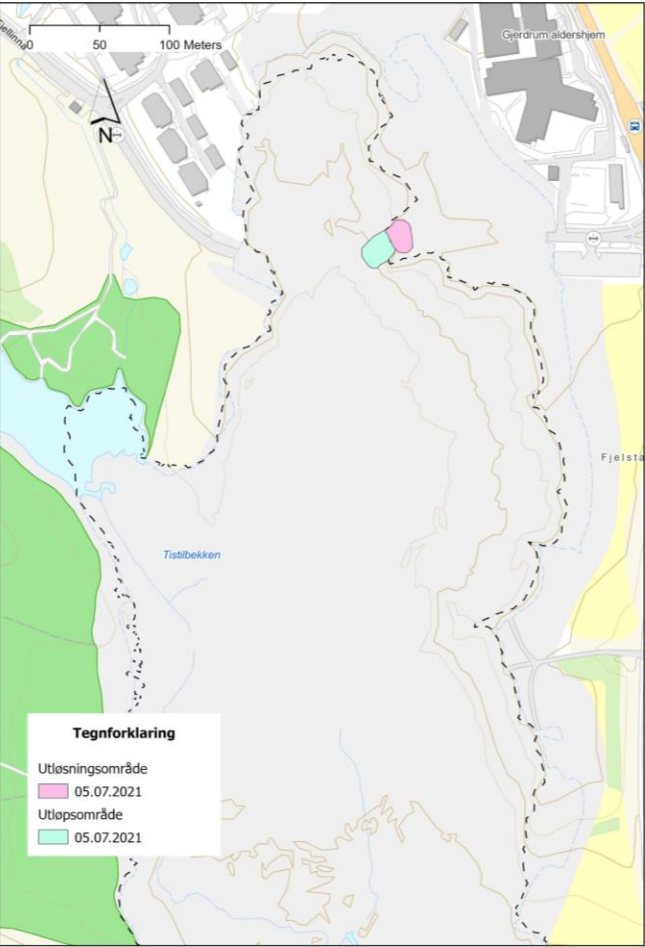
Mai 2021



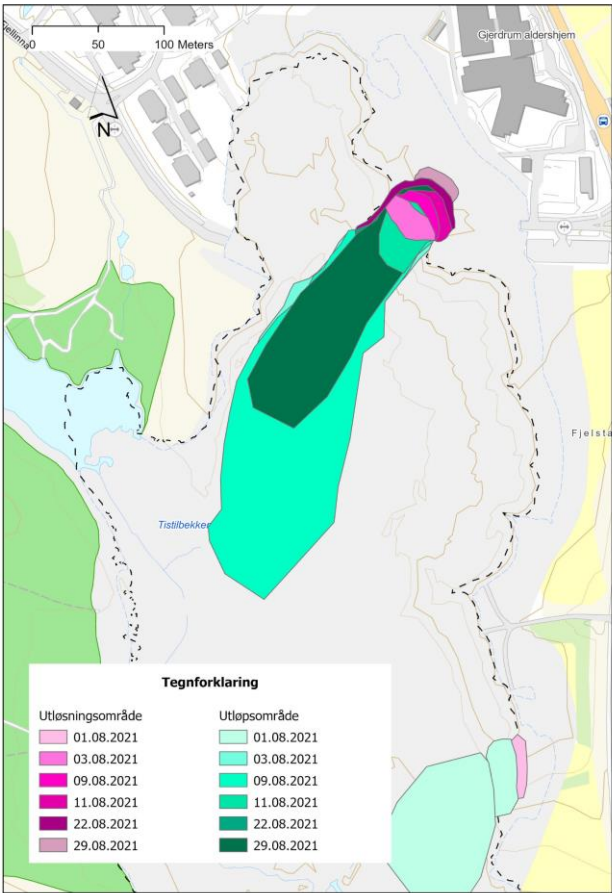
Juni 2021



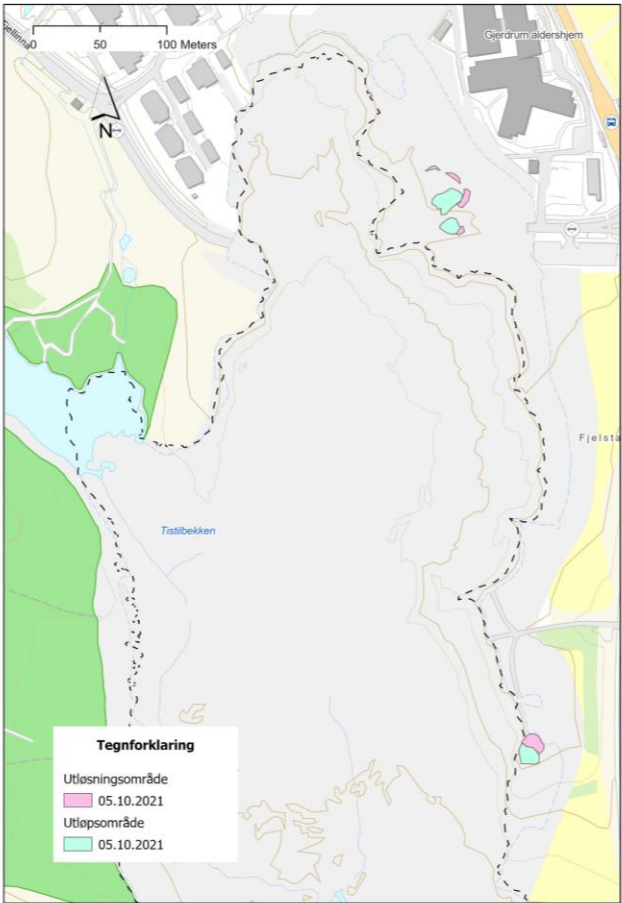
Juli 2021



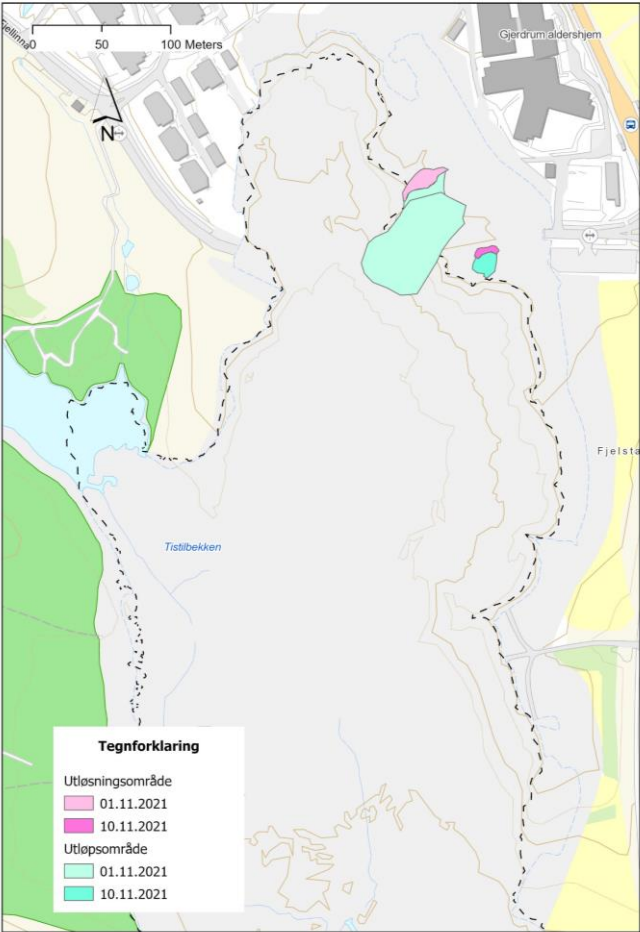
August 2021



Oktober 2021



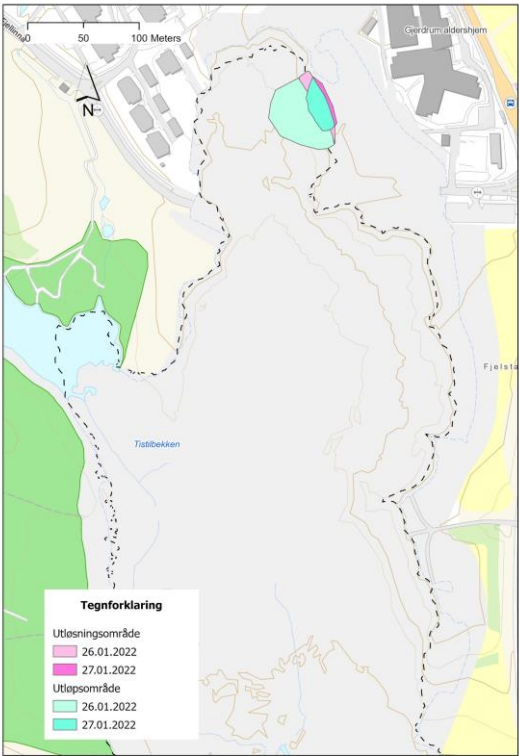
November 2021



Desember 2021

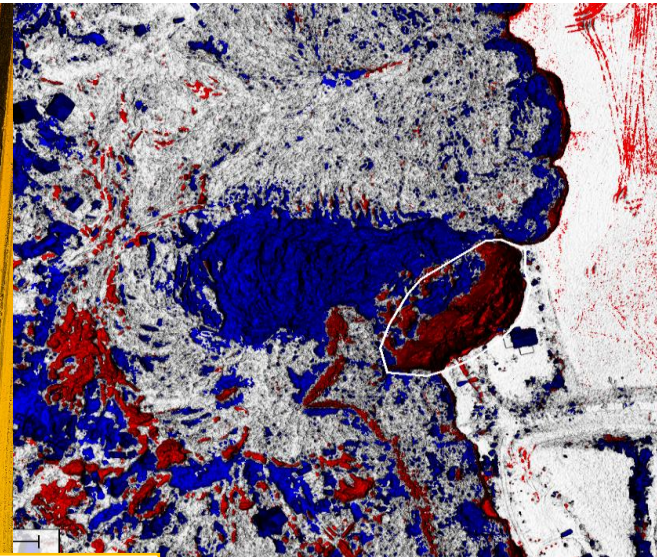
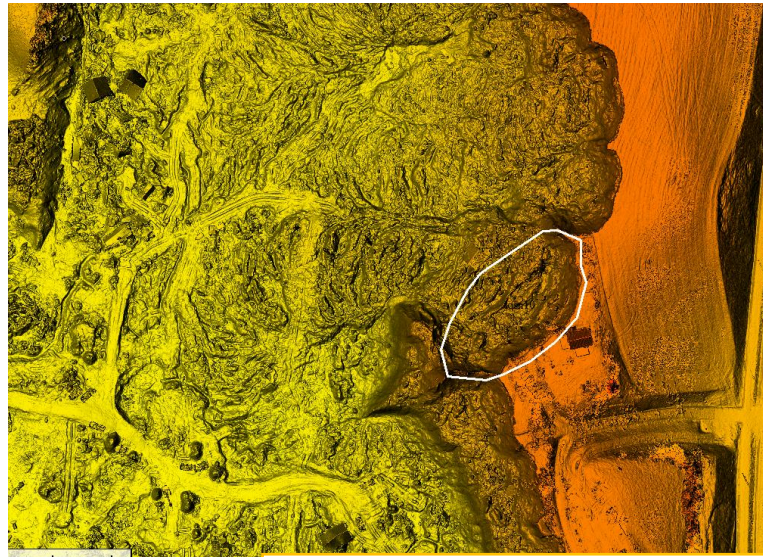
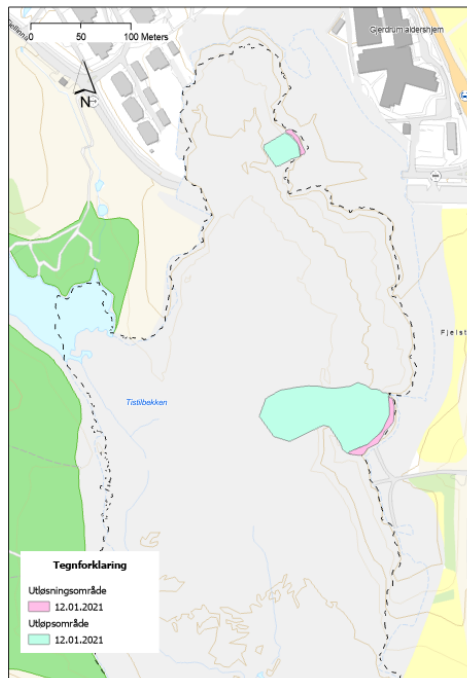


Januar 2022



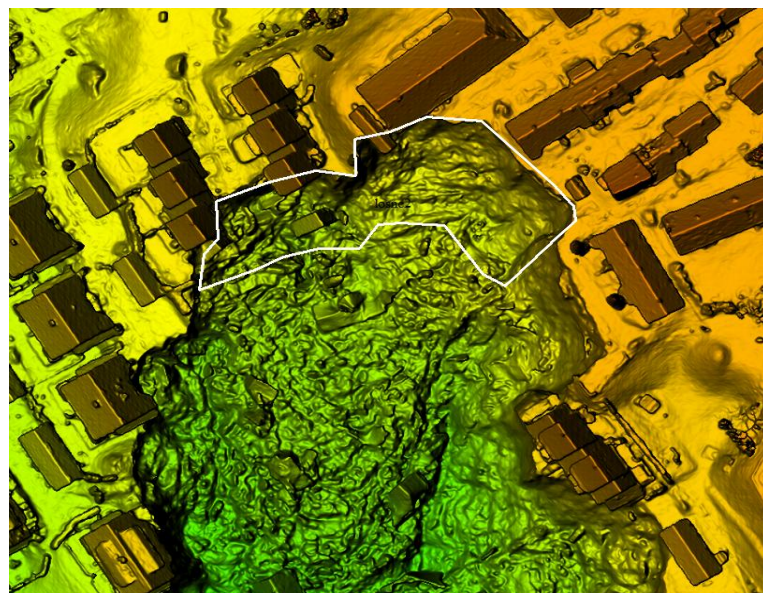
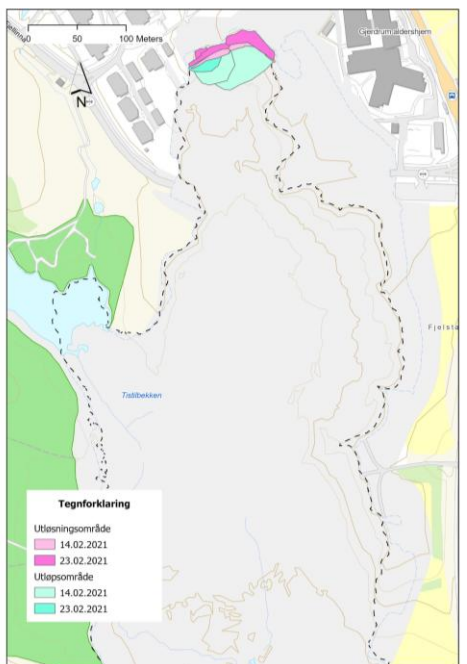
Vedlegg D - Volumberegninger

Skredkant sørøst – 12. januar 2021 – beregnet mellom 8. jan. og 28. apr. 2021



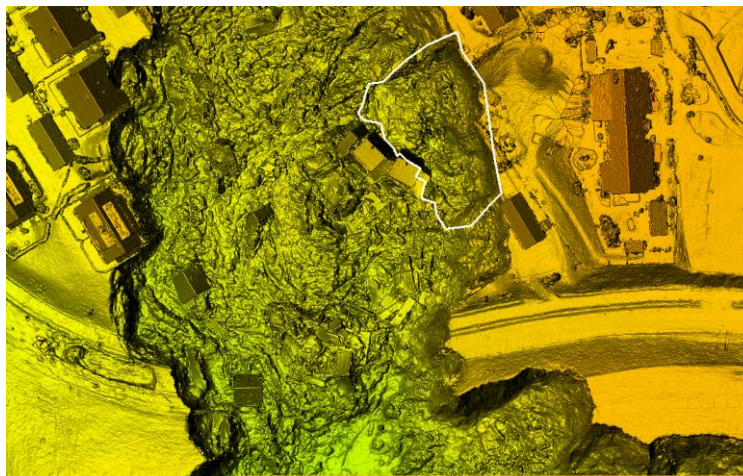
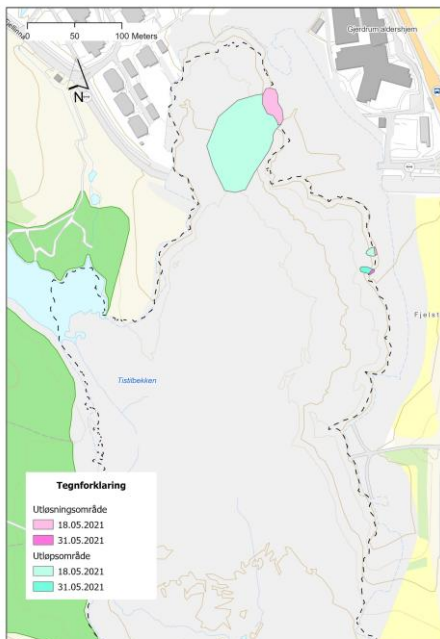
Volum i løснеområde: 7392.7627 m³
 Areal: 0.002552 km²
 Lengde/Perimeter: 196.77 m

Skredkant nord – 14.- 23. februar 2021 - beregnet mellom 28. jan. og 26. feb. 2021

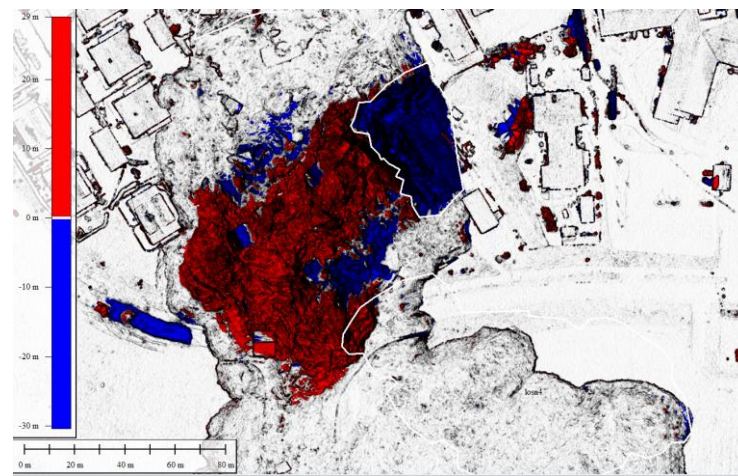


Volum i løснеområde: 9660.9413 m³
 Areal: 0.002062 km²
 Lengde/perimeter: 239.22 m

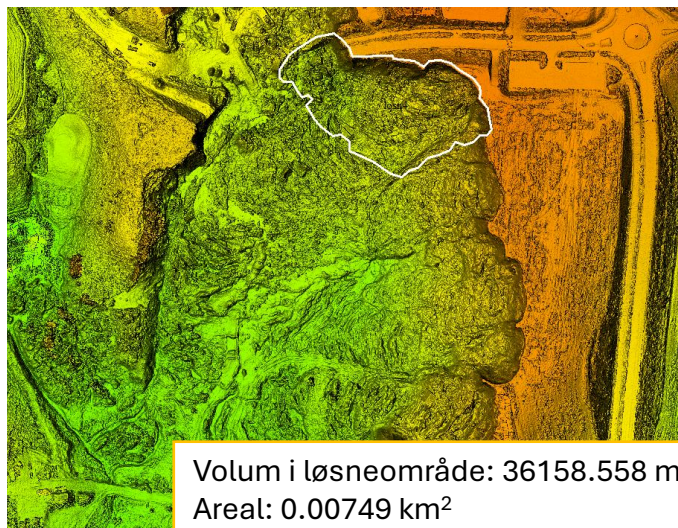
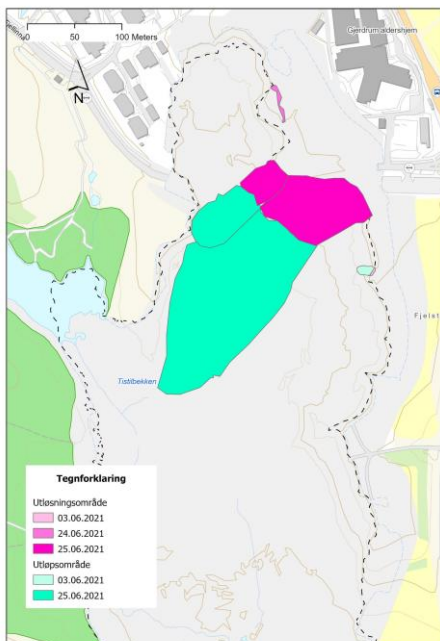
Skredkant nordøst – 18. mai 2021 – beregnet mellom 28. apr. og 18. mai 2021



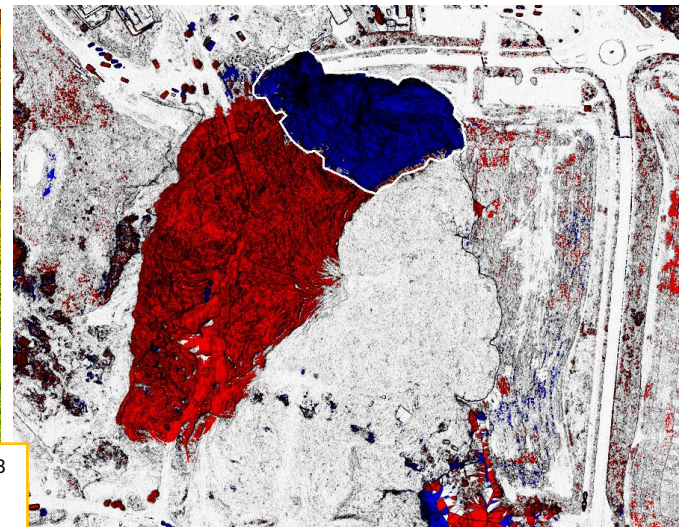
Volum i løснеområde: 10269.184 m³
 Areal: 0.001551 km²
 Lengde/perimeter: 172.35 m



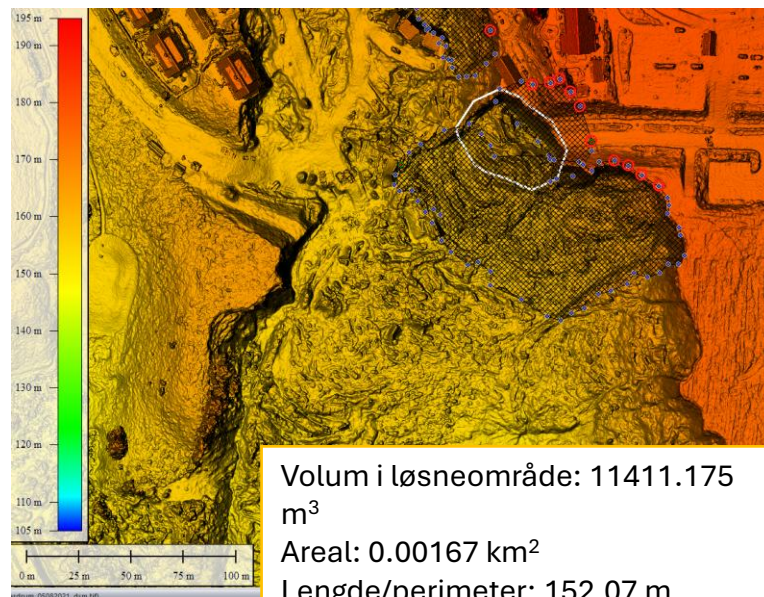
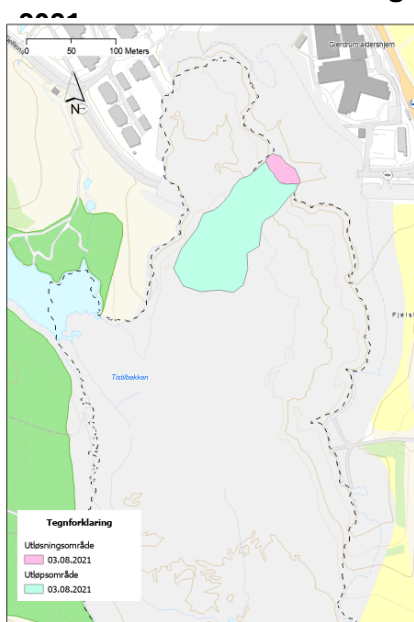
Skredkant nordøst – 25. juni 2021 - beregnet mellom 24. og 28. juni 2021



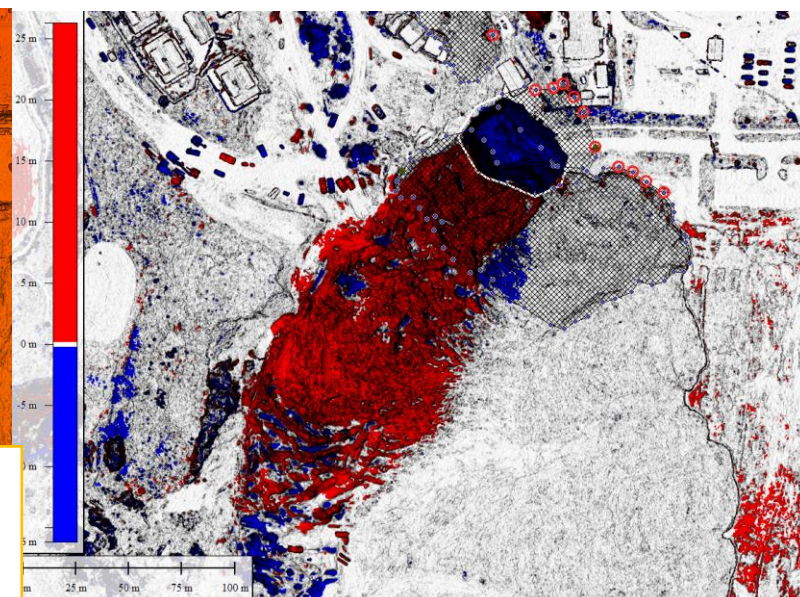
Volum i løснеområde: 36158.558 m³
 Areal: 0.00749 km²
 Lengde/perimeter: 384.4 m



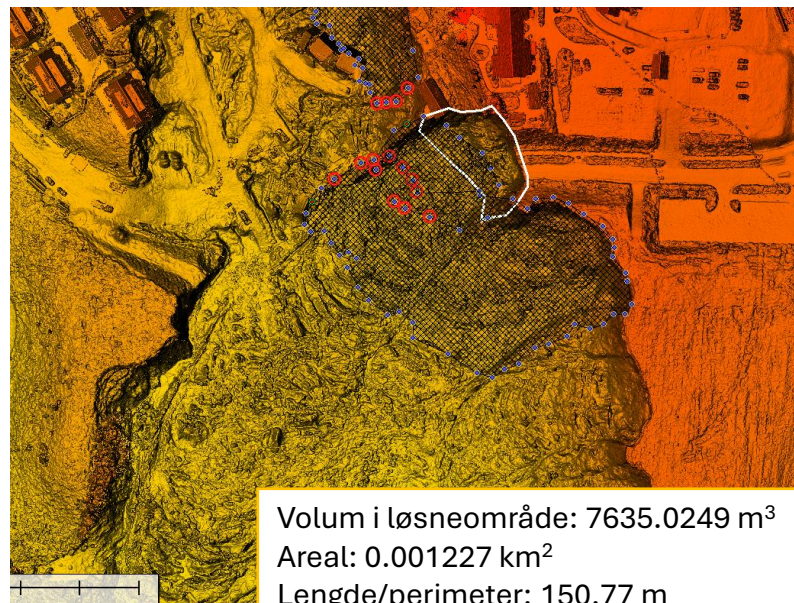
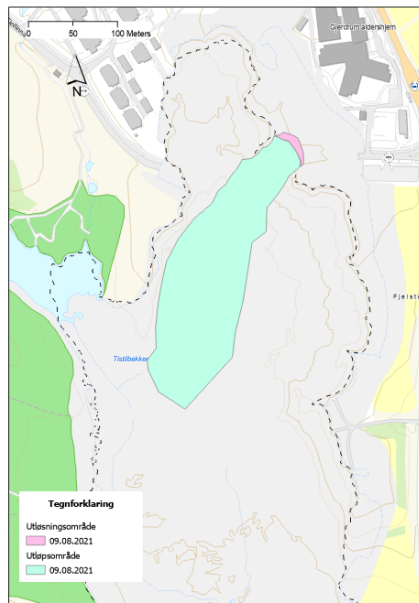
Skredkant nordøst – 1.-3. august 2021 – beregnet mellom 28 juni og 4 august



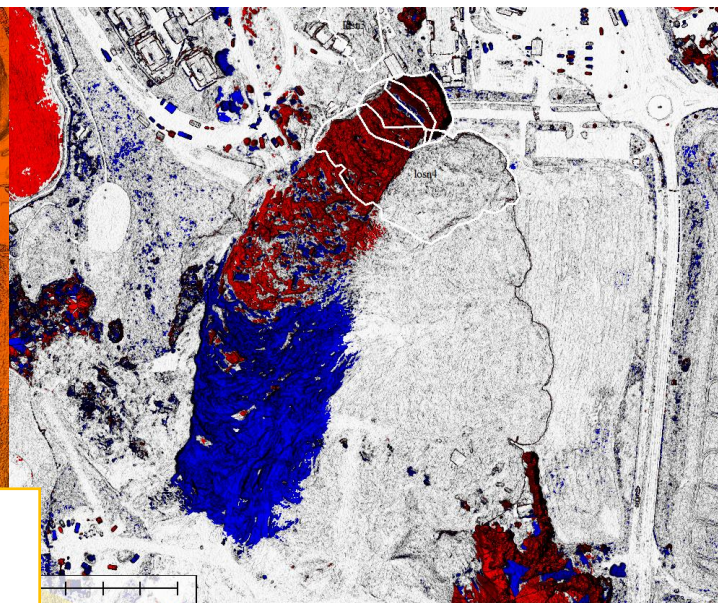
Volum i løснеområde: 11411.175 m³
 Areal: 0.00167 km²
 Lengde/perimeter: 152.07 m



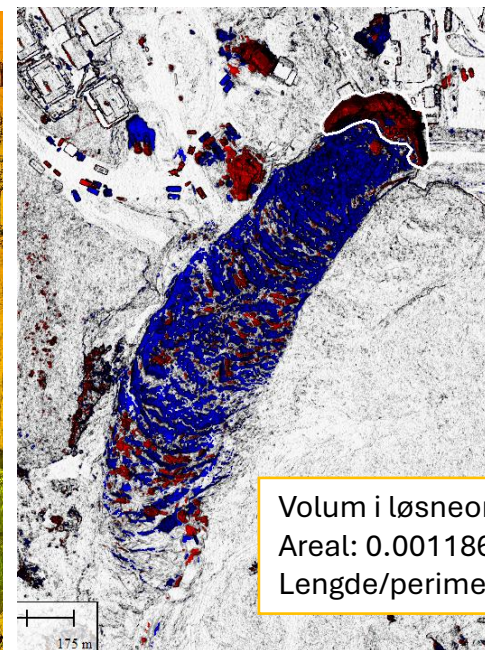
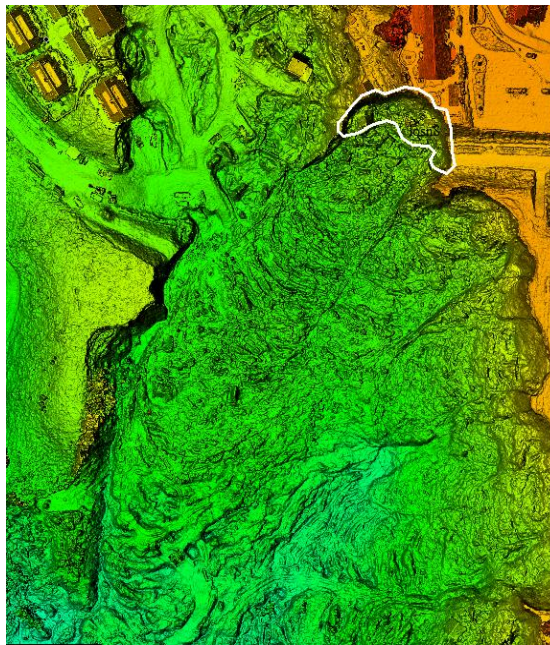
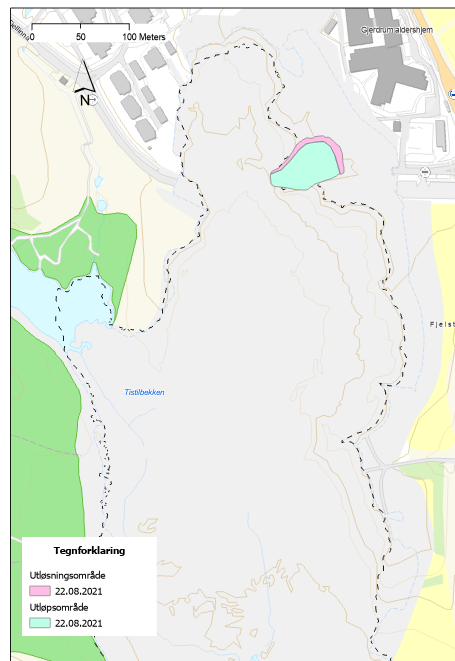
Skredkant nordøst – 3.-9. august 2021 - beregnet mellom 4. og 11. aug. 2021



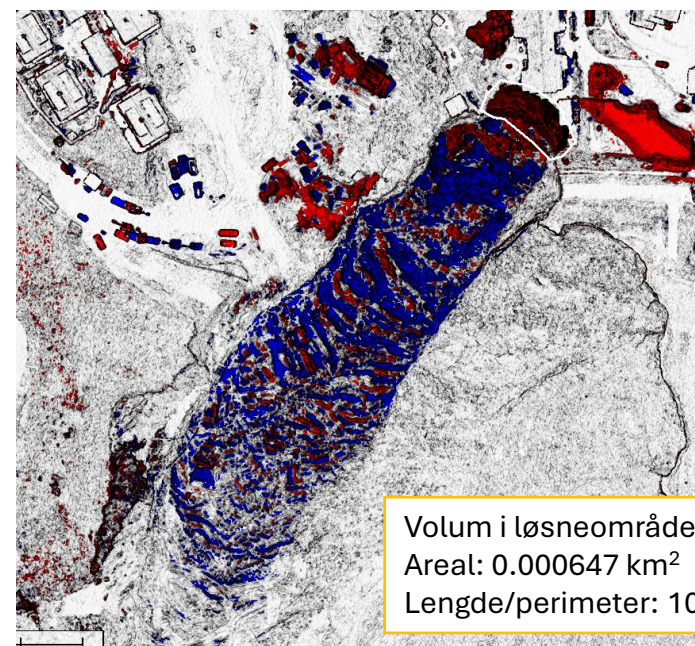
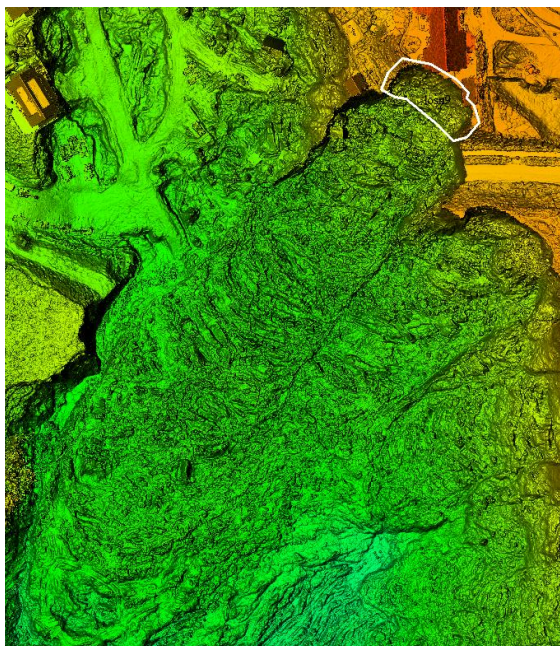
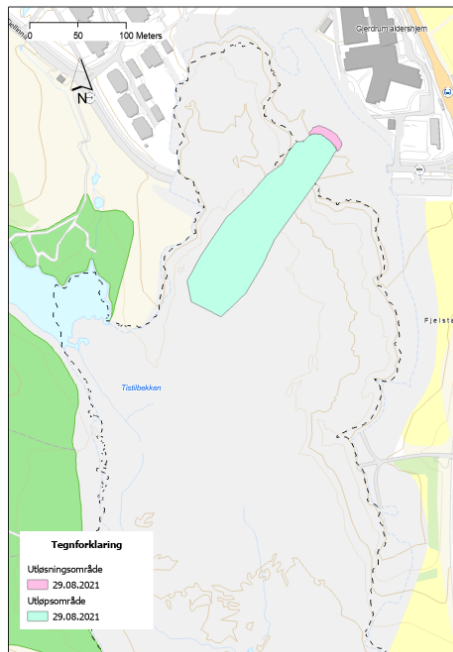
Volum i løснеområde: 7635.0249 m³
 Areal: 0.001227 km²
 Lengde/perimeter: 150.77 m



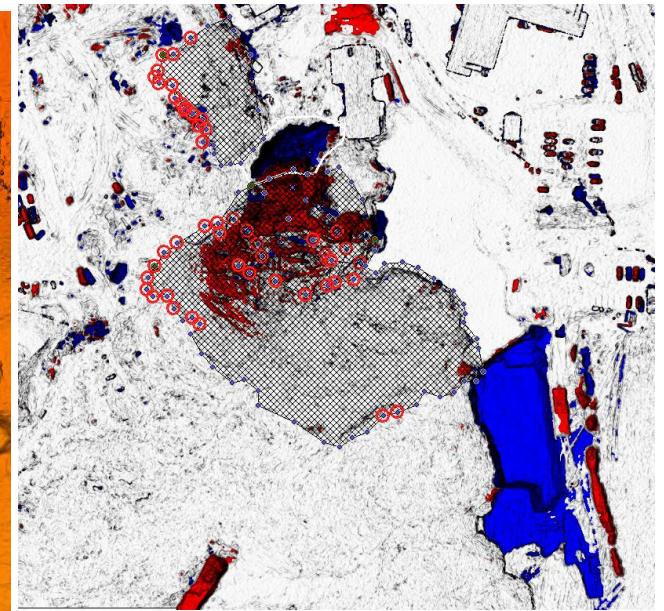
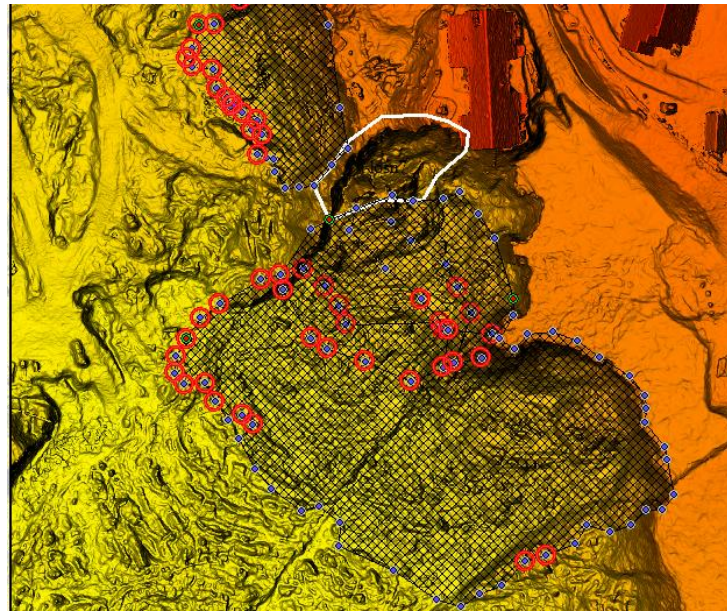
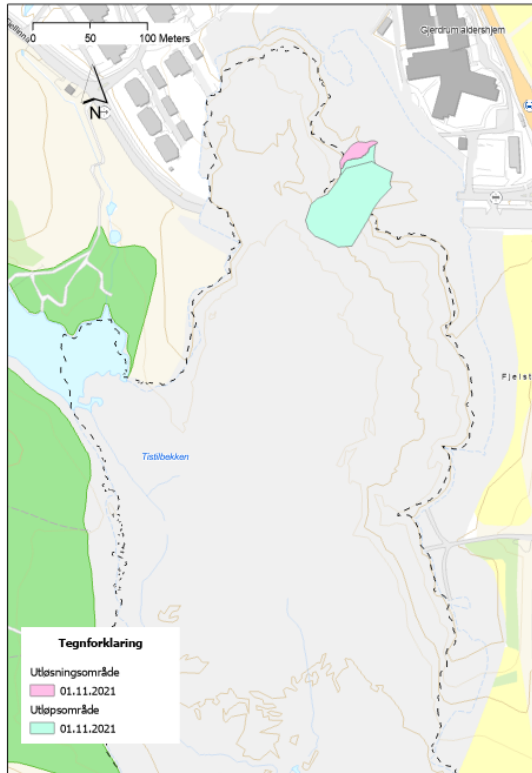
Skredkant nordøst - 22. august 2021 - beregnet mellom 11. og 22. aug. 2021



Skredkant nordøst - 29. August 2021 - beregnet mellom 22. og 29 aug 2021



Skredkant nordøst – 1. november 2021 - beregnet mellom 6.okt . og 3. nov. 2021

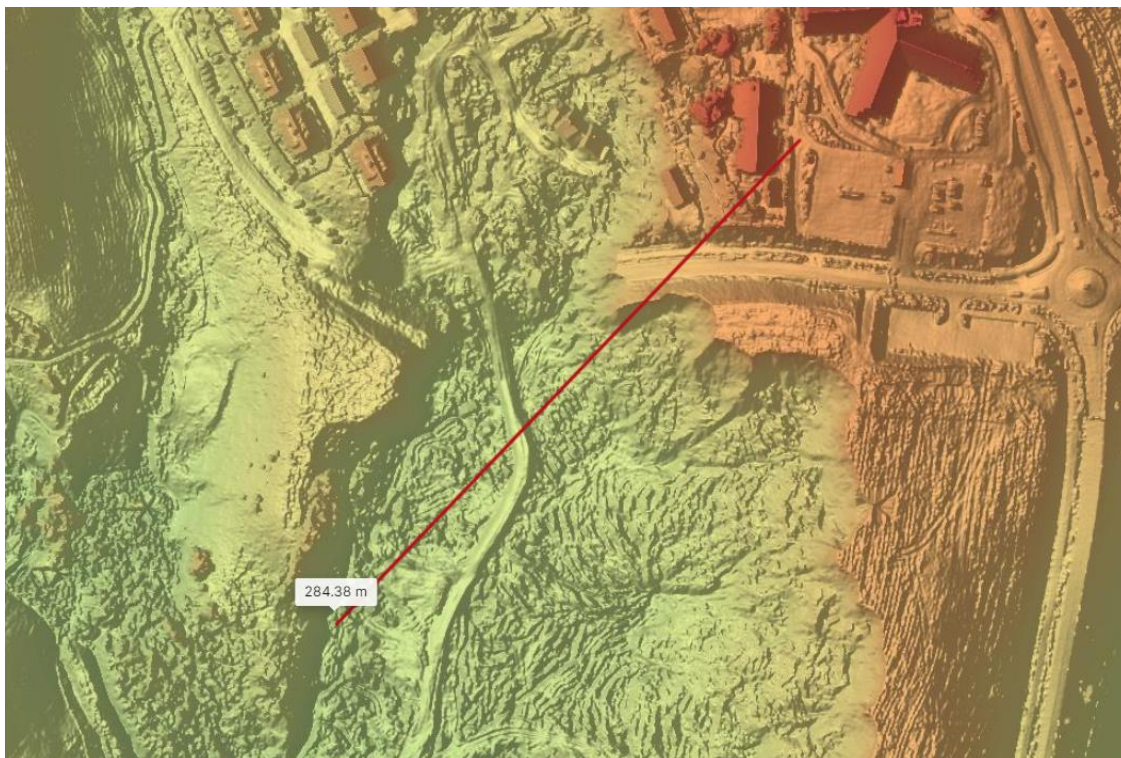


Volum i løsneområde: 2192.9963 m³
Areal: 0.000753 km²
Lengde/perimeter: 113.39 m

Vedlegg E - Lengdeprofiler

**Retrogressiv utvikling av skredkanten i
Fjellinna og lengdeprofiler
(24.06.2021-21.01.2022)**

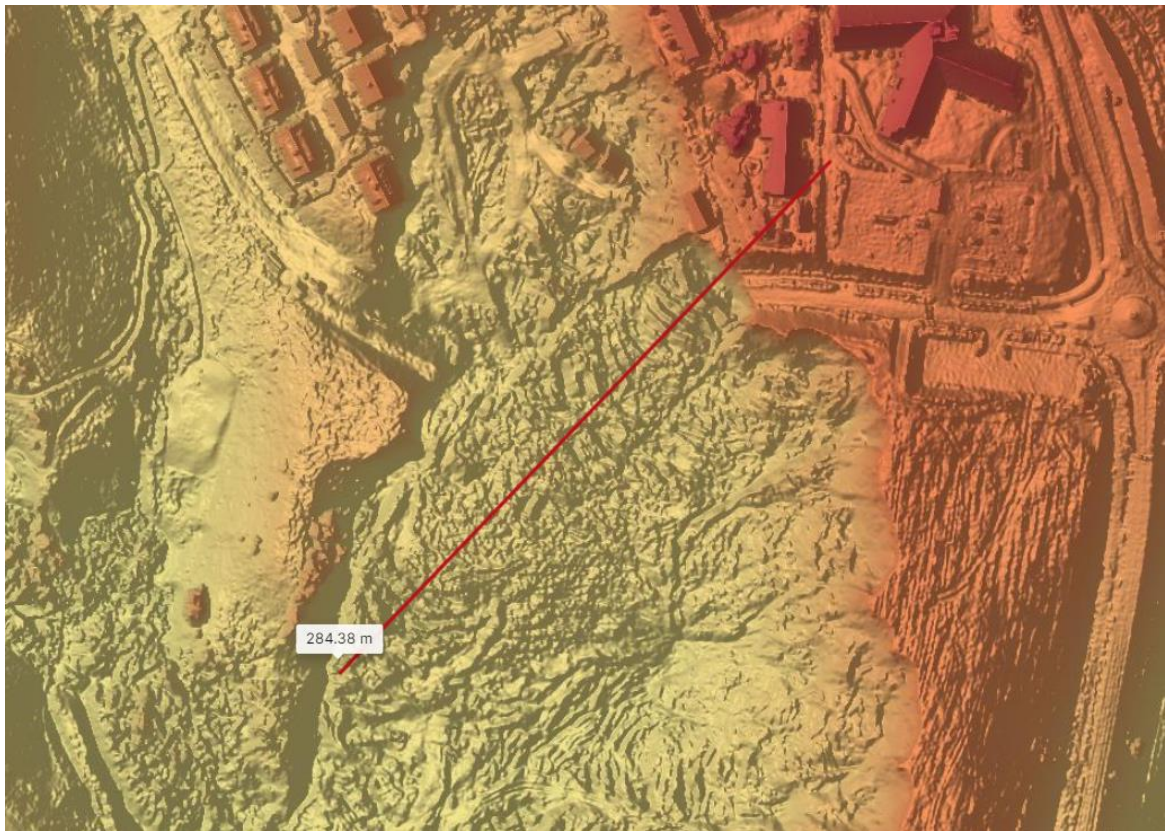
Fjellskygge kart og lengdeprofil 24.06.2021



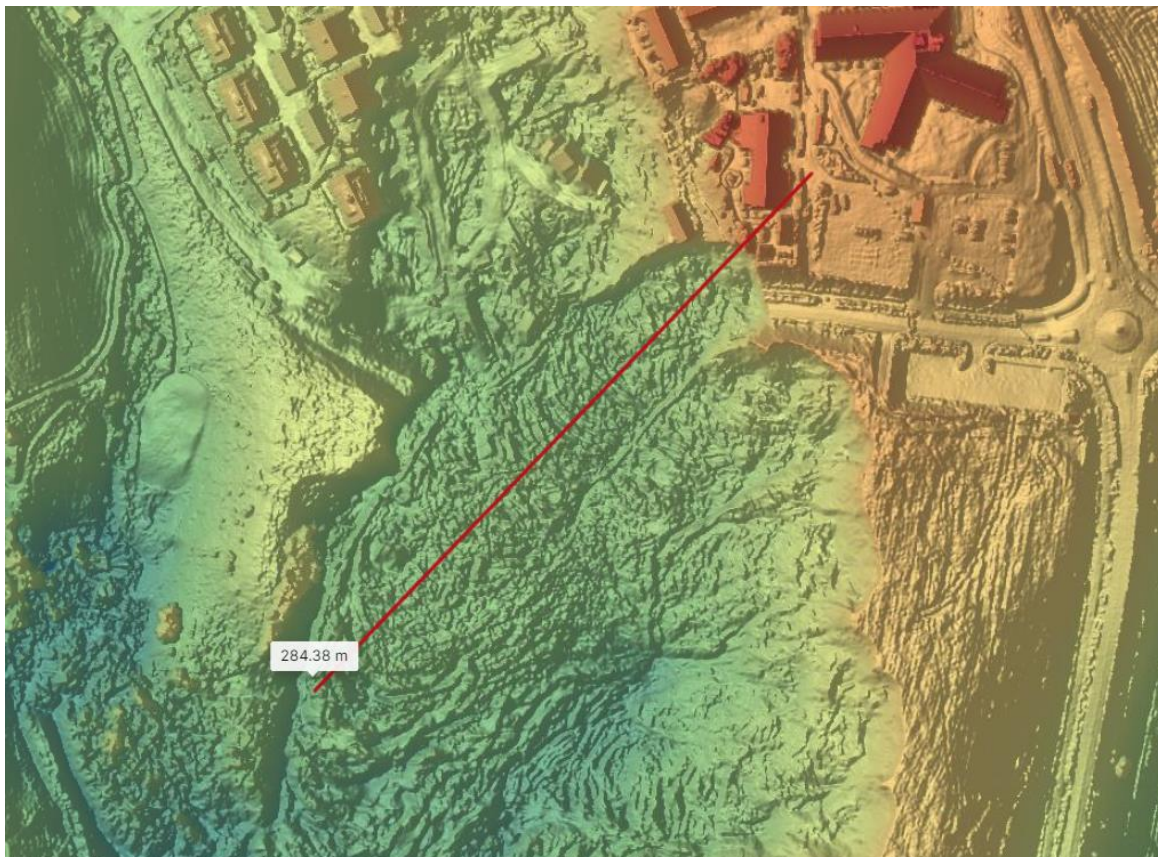
Fjellskygge kart og lengdeprofil 28.6.2021



Fjellskygge kart og lengdeprofil 4.8.2021



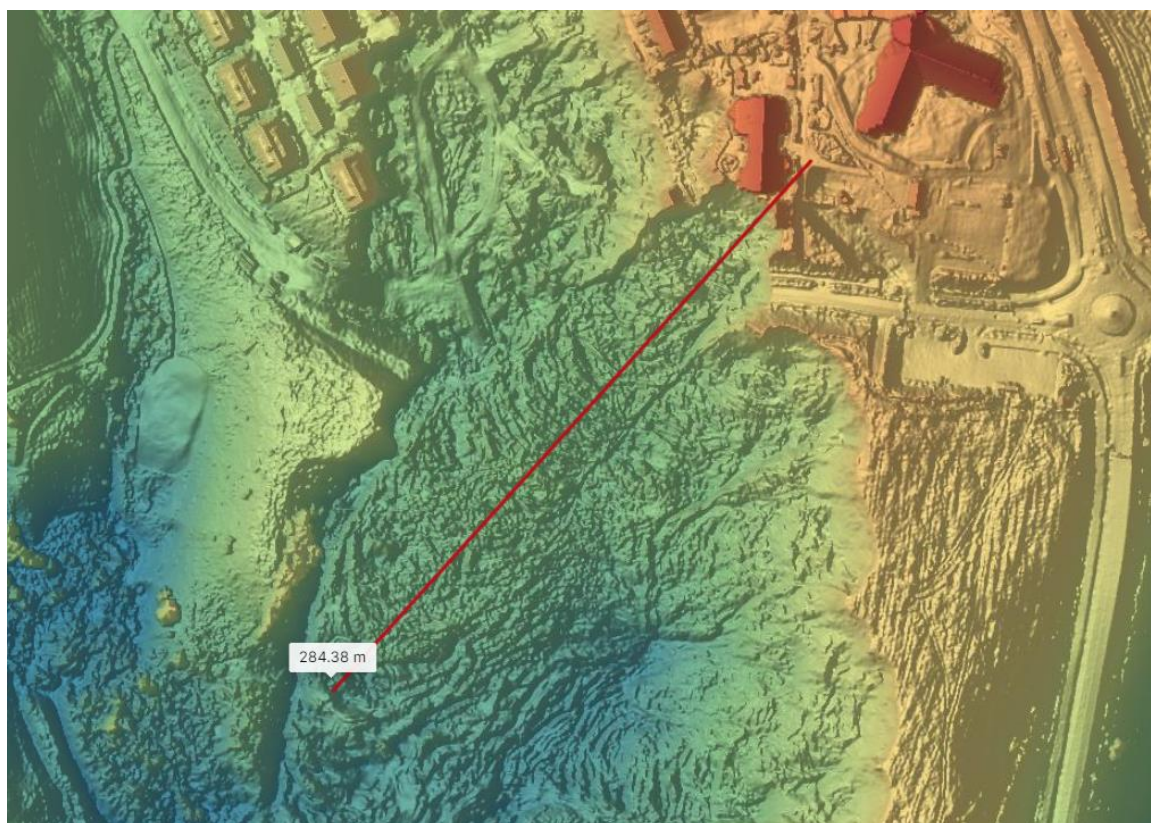
Fjellskygge kart og lengdeprofil 11.8.2021



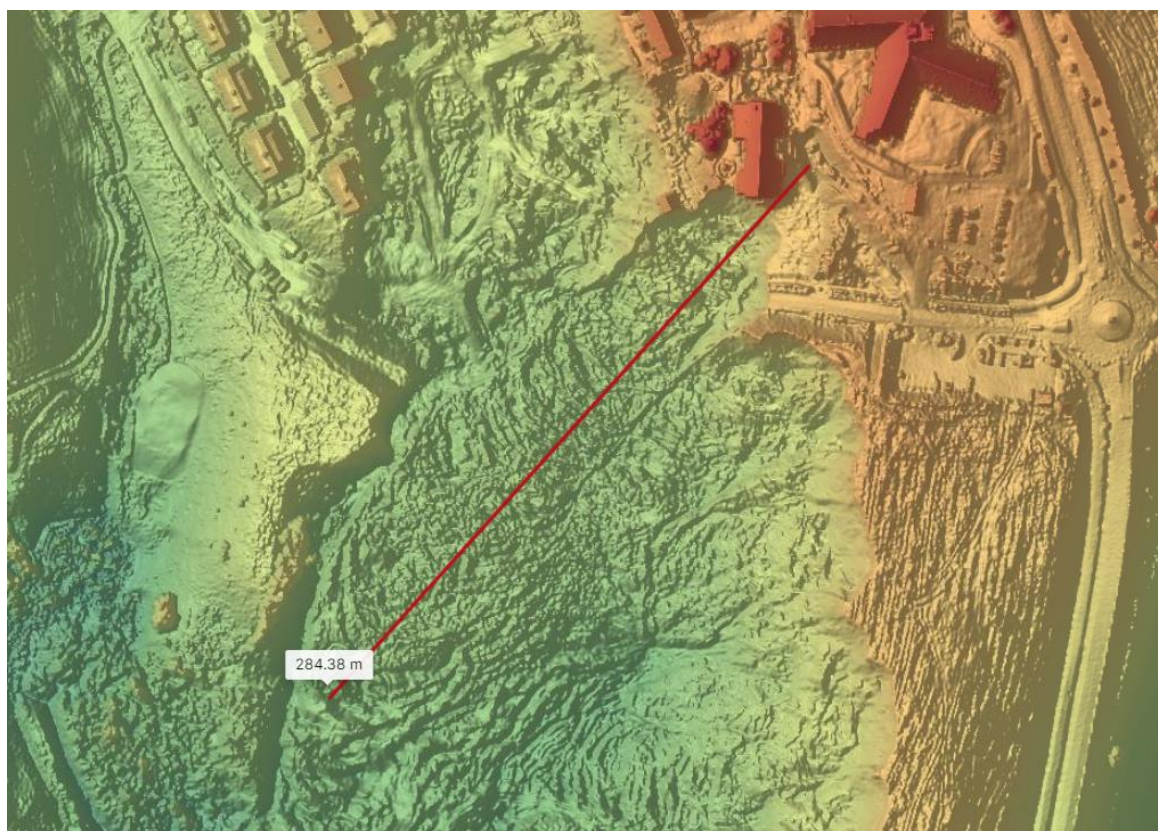
Fjellskygge kart og lengdeprofil 22.8.2021



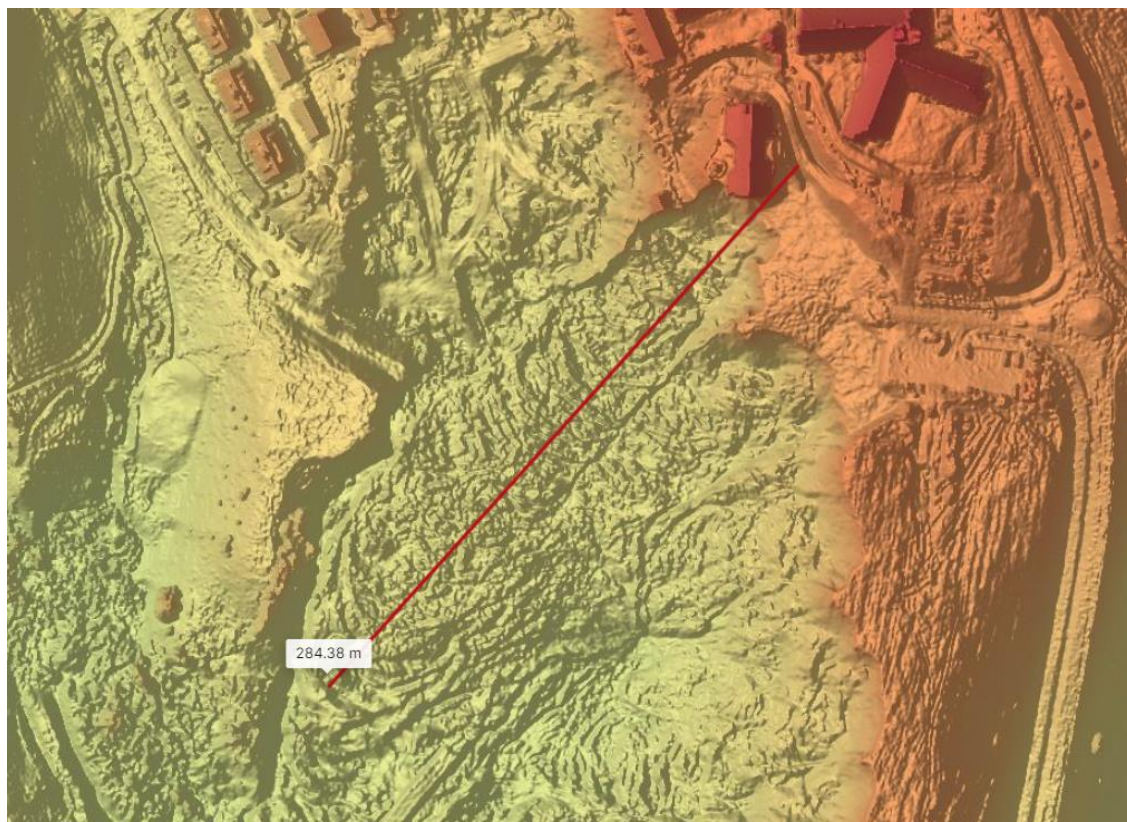
Fjellskygge kart og lengdeprofil 29.8.2021



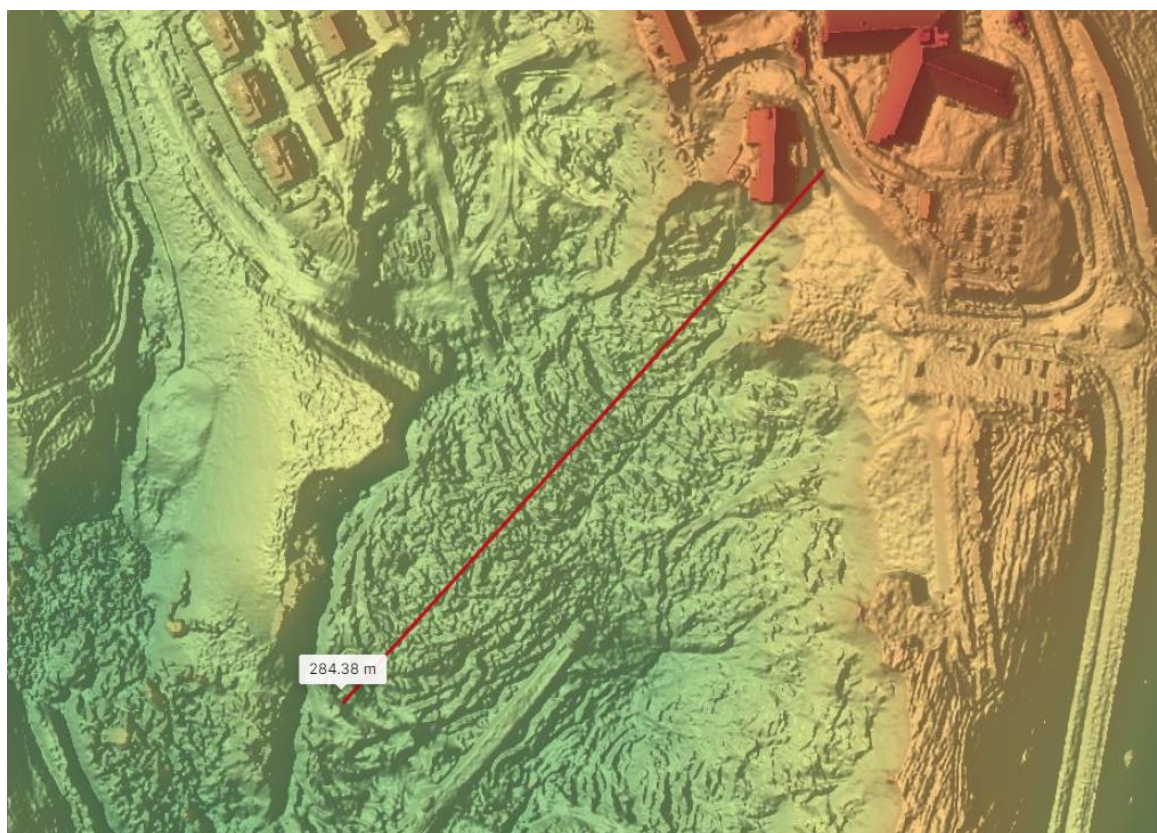
Fjellskygge kart og lengdeprofil 9.9.2021



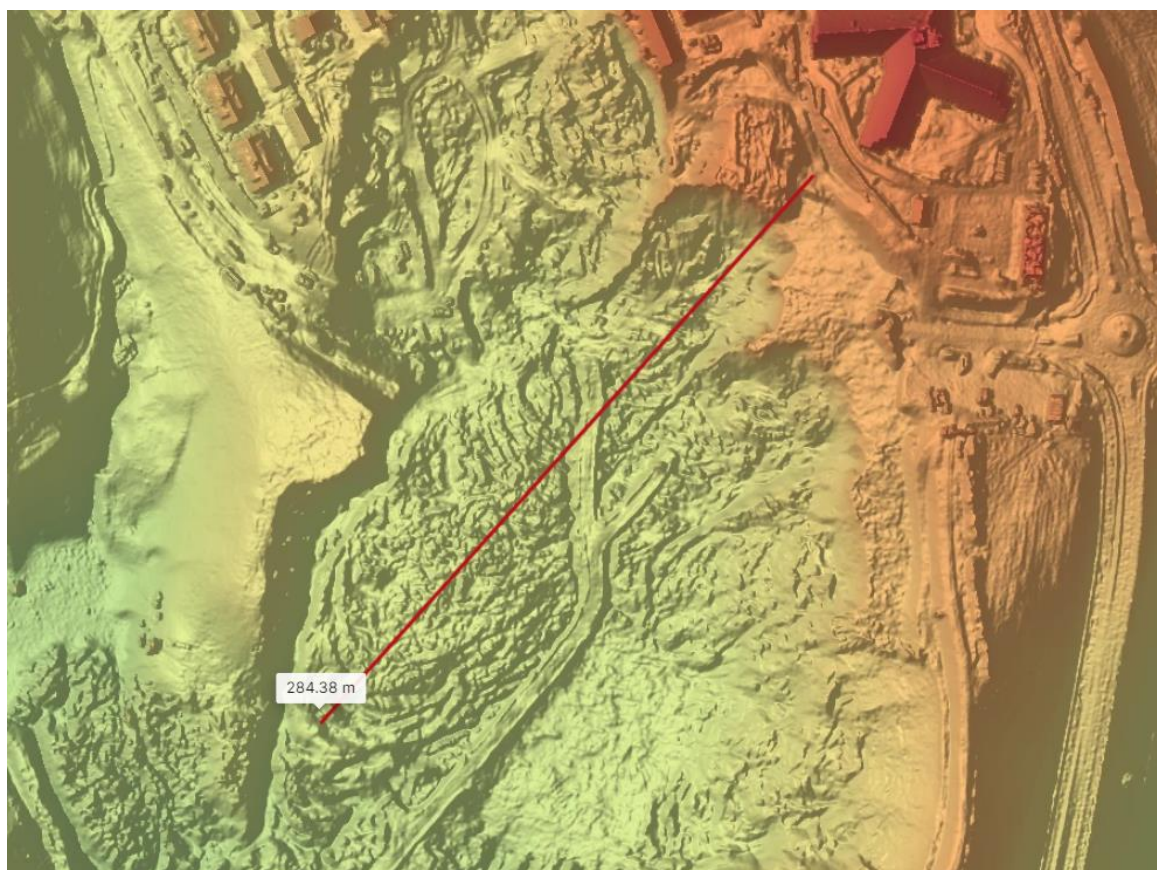
Fjellskygge kart og lengdeprofil 6.10.2021



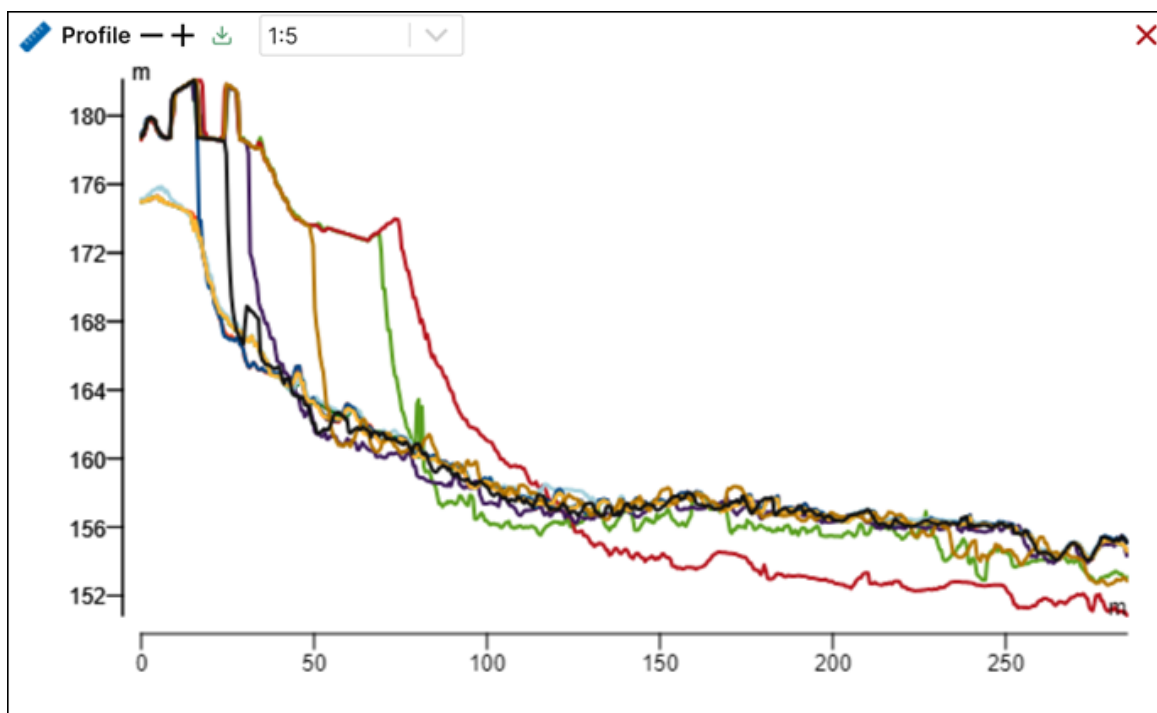
Fjellskygge kart og lengdeprofil 3.11.2021



Fjellskygge kart og lengdeprofil 21.1.2022



Lengdeprofiler i Fjellinna området som viser retrogressiv utvikling av skredkanten i perioden 24.06.2021 - 21.01.2022.



Elevations: 178.88 m	2021-08-11_05cm_Drone
178.87 m	2021-08-29_Drone
178.75 m	2021-08-22_Drone
178.70 m	2021-08-04_50cm_Drone
178.69 m	2021-06-28_50cm_Drone
178.59 m	2021-06-24_050m_Drone
175.15 m	2022-01-21_Drone
175.00 m	2021-09-09_Drone
174.98 m	2021-10-06_Drone
174.98 m	2021-11-03_Drone



NVE

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthuns gate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo
Telefon: (+47) 22 95 95 95