



GEOLOGI FOR SAMFUNNET

SIDEN 1858



**NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE**
· NGU ·

NGU RAPPORT
2021.022

Identifikasjon av løснеområder for
jordskred



Jordskred, Rotsund, Troms og Finnmark



Rapport nr.: 2021.022	ISSN: 0800-3416 (trykt) ISSN: 2387-3515 (online)	Gradering: Åpen	
Tittel: Identifikasjon av løснеområder for jordskred			
Forfatter: Raymond S. Eilertsen, Maria H. Kvam, Knut Stalsberg, Kari Sletten, Inger-Lise Solberg, Jose Pullarello, Lena Rubensdotter		Oppdragsgiver: Norges vassdrags- og energidirektorat	
Fylke:	Kommune:		
Kartblad (M=1:250.000)	Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)		
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 39	Pris: 155
		Kartbilag:	
Feltarbeid utført: 2020	Rapportdato: 01.07.2021	Prosjektnr.: 390100	Ansvarlig:
Sammendrag: Gjennom FoU-prosjektet 'Identifisering av løснеområder for jordskred' finansiert av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) har Norges geologiske undersøkelse (NGU) undersøkt løснеområder for 488 jordskred i åpne skråninger, registrert i NGUs detaljerte løsmassedatabase, for å finne ut hvordan man bedre og mer nøyaktig kan identifisere slike løснеområder. Løснеområdene til jordskredene er funnet i mange ulike løsmassetyper, men de fleste opptrer i morene, ulike typer skredavsetninger og forvitningsmateriale. De fleste løснеområdene ligger mellom 25 og 30 grader. Imidlertid har ~5% av løснеområdene gradienter under 20 grader, og mange av disse ligger på dyrket mark. Glideplanet til mange av jordskredene virker å være relatert til en todelt morenestratigrafi hvor et underliggende, kompakt lag med mye finstoff (spesielt silt) opptrer som en barriere for infiltrasjon av vann fra et overliggende mer grovkornet lag. Mange av løснеområdene er relativt grunne (~0.5 m), og reflekterer tykkelsen på dette øverste laget. Mineralogien til morenene reflekterer den lokale berggrunnen og kan ha direkte innvirkning på skjærstyrken til sedimentene. Den detaljerte løsmassedatabasen til NGU inneholder data som er egnet for denne typen undersøkelser, og antall registreringer ventes å øke i tiden fremover slik at potensialet for ulike typer analyser vil bli større.			
Emneord:	Jordskred	Løснеområder	
Skredkartlegging	Sedimentologi	GIS-analyser	
Mineralogi			

INNHOOLD

1.	INNLEDNING	4
1.1	Bakgrunn	4
2.	TEORI	5
3.	METODER.....	5
3.1	Feltarbeid	5
3.2	Prøvetaking	7
3.3	GIS-analyser; hydrologiske og topografiske analyser	7
3.3.1	Gradient i løsnepunktet.	8
3.3.2	Løsmasstype der skredene løsner	8
3.3.3	Vegetasjon i løsnepunktet	8
3.3.4	Flow Accumulation	8
4.	RESULTATER	9
4.1	GIS-analyser	9
4.1.1	Løsmasstyper og gradient.....	9
4.1.2	Løsneområde og vegetasjon	11
4.1.3	Regionale forskjeller	12
4.1.4	Dreneringsområde i forhold til skråningsgradient	12
4.2	Feltundersøkelser.....	16
4.2.1	Strype (Sør-Fron kommune)	16
4.2.2	Pynten (Ringebu kommune).....	21
4.2.3	Veikleengenget (Nord-Fron kommune).....	23
4.2.4	Kvitskriuprestan (Sel kommune)	25
4.2.5	Sørstuu-Estenstad (Midtre Gauldal kommune).....	27
4.3	Mineralogi	29
5.	DISKUSJON	31
5.1	Sedimentologi/snitt.....	31
5.2	Mineralogi	31
5.3	GIS-analyser	32
6.	KONKLUSJON	32
	REFERANSER	33

VEDLEGG

Vedlegg 1: Registreringsskjema

Vedlegg 2: Prosedyre for kornfordeling

Vedlegg 3: Prosedyre for XRD analyser

1. INNLEDNING

1.1 Bakgrunn

Jordskred kan grovt deles inn i to kategorier: de som løsner i åpne skråninger, det vi si utenfor eksisterende kanaler i dalsiden, og de som løsner i allerede eksisterende kanaler (Rubensdotter m.fl., 2020). Denne studien omfatter bare løsneområder for jordskred i åpne skråninger.

Identifisering av løsneområder for jordskred i åpne skråninger baseres som regel på analyser der parametere som helningsvinkel, planarkurvatur, vanntilførsel, tilgjengelige løsmasser, spor etter tidligere skredhendelser og vegetasjon vurderes. I praksis har det vist seg at løsneområder mange steder blir kartlagt svært konservativt og dekker store areal. I tillegg har det noen steder løsnet jordskred utenfor kartlagte løsneområder. Dette viser at identifikasjonen av løsneområder er svært komplisert. En overvurdering av potensielle løsneområder fører til unødvendig mange/store faresoner og påfølgende byggerestriksjoner. Løsneområder som ikke blir fanget opp av analysen kan føre til bygging i skredutsatt terreng. I Norge har relativt lite forskning blitt gjort på den geologiske delen av løsneområder (jordart, sedimentologi, mineralogi, stratigrafi osv.) for å finne mulige geologiske fellestrekk ved forskjellige løsneområder.



Figur 1. Løsneområde for et jordskred i åpen skråning ved Rotsund, Troms og Finnmark. Lokalteten er den samme som vist på forsiden av denne rapporten.

Tradisjonelt sett har man brukt premissen at jordskred utløses 'naturlig' i skråninger med tykt eller tynt løsmassedekke med gradienter brattere enn 25° (Sandøy m.fl., 2017). I tillegg har man sett at de også kan utløses i slakere områder der det er gjort menneskelige inngrep som gjør løsmassene mer ustabile (eks. endring eller blokkering av dreneringsveier, avskoging, graving eller dumping av masser). Nyere forskning viser imidlertid at jordskred kan utløses 'naturlig' i skråninger med helning ned til 22° (Sandøy m.fl., 2017), og NVE's «Veileder for utredning av sikkerhet mot skred i bratt terreng» stadfester at terreng brattere enn 20 grader skal vurderes for fare for jordskred. Bruker man slike verdier i en farevurdering blir potensielle løsneområder enda større og dermed kan mer areal bli båndlagt. Det er derfor viktig å finne karakteristikk som kan hjelpe i kartleggingen av reelle løsneområder for jordskred både for lettere/bedre å identifisere disse og for å 'fristille' områder som ikke er løsneområder.

2. TEORI

Det har gjennom den detaljerte kvartærgeologiske kartleggingen ved NGU vært klart at en stor andel av de kartlagte jordskredene har startet i morenemateriale (se også Sletten, 2002; Sletten & Blikra, 2007). Mye av Norges løsmasser består av morene etter siste istid, spesielt i dalsider over marin grense. Selv om morene kan være transportert fra flere titalls til 100vis av km (Dreimanis & Vagners, 1971; Clark, 1987), er det meste av morenematerialet i Norge transportert over relative korte avstander, dvs. mindre enn 5 km (Reite, 1990; Thoresen, 2000; Opsal, 2017). Dermed vil morene på en lokalitet ofte stamme fra den lokale berggrunnen som materialet er erodert og transportert fra, og som ligger mindre enn ~5 km fra lokaliteten. Som en følge av dette er det naturlig å tenke seg at morenemateriale vil ha forskjellig egenskaper alt etter hvor det ligger og hvilken berggrunn det er i nærheten. Videre er det naturlig å spørre seg om hvorvidt forskjeller i egenskapene til morenen (relatert til eks. kornstørrelse, mineralogi etc.) kan ha betydning for utløsning og frekvensen av jordskred i forskjellige områder/regioner? Opsal (2017, 2018) og Opsal & Langeland (2019) har vist at skjærstyrken til morene varierer etter hvor morenematerialet stammer fra, og spekulerer i at friksjonsvinkelen varierer etter kornstørrelse og mineralogisk sammensetning. Selv om vi ikke kan finne svaret basert på noen få prøver fra noen få lokaliteter er det en begynnelse på et arbeid som har potensiale til å kunne svare på hvorfor løsneområder for jordskred i åpne skråninger opptrer der de gjør, og hvorfor det ikke går skred i andre områder som er like med tanke på helning, kurvatur, vanntilførsel/drenering osv.

Under den detaljerte kvartærgeologiske kartleggingen utført ved NGU og bekreftet gjennom feltarbeid utført i forbindelse med dette prosjektet har man ofte funnet en todeling i stratigrafien av morenene. Det kan se ut som om grensen mellom to ulike stratigrafiske lag i morenen ofte utgjør glideplanet for grunne utglidninger. Basert på dette ønsker vi derfor gjennom prøvetaking å undersøke kornstørrelser og mineralogi i de ulike lagene i morenene for å se om det kan ha betydning for utløsningen av jordskred i morenemateriale.

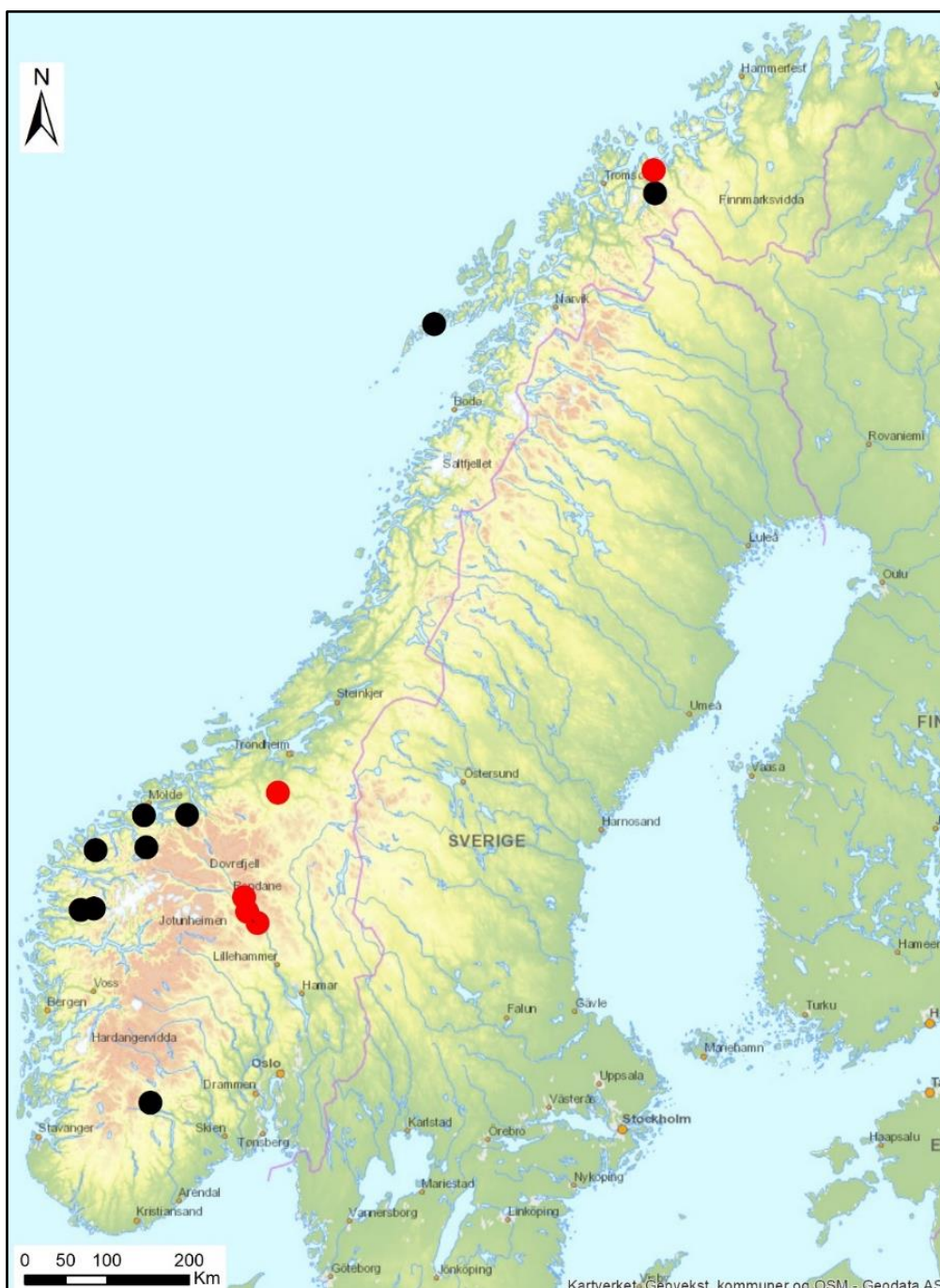
3. METODER

3.1 Feltarbeid

Løsneområder på 5 lokaliteter ble undersøkt i felt (Fig. 2) for å:

- utføre sedimentologiske beskrivelser og tolkninger av sedimentene som jordskredene løsnet i
- kategorisere/verifisere morfologien til løsneområdene (dimensjoner, gradient osv.)

- samle inn prøver for kornfordelings- og mineralogiske (XRD) analyser på NGUs laboratorium, samt knytte resultatene av disse analysene til utbredelsen av de kartlagte/undersøkte løснеområdene/skredene



Figur 2. Kart som viser områdene som er analysert i dette prosjektet. De røde punktene markerer lokaliteter som også er undersøkt i felt.

Gradient, jordartstype, størrelse på skredgropen, dato/tidspunkt for utløsning av skredet (hvis kjent) osv. ble registrert. Det har under prosjektet blitt laget et registreringsskjema (vist i Vedlegg 1) som skal gjøre det lettere å registrere disse ulike parameterne under kartlegging i fremtiden. Målet er at kartleggerne ved NGU skal kunne bruke skjemaet når de finner løснеområder for skred slik at registreringene kan føres inn i NGU sin geologiske skreddatabase og over tid vil man kunne bygge opp en omfattende database med slike data.

Snitt, enten i skredgropene eller i vegskjæringer nært kjente skred, ble fotografert og logget etter standard sedimentologiske metoder og inkluderte registrering av kornstørrelser, strukturer, lagfølge, lagtykkelse og grenser mellom individuelle lag. I tillegg ble det notert anslag for kompaksjon, porøsitet og annen relevant informasjon om sedimentene, samt tatt prøver til analyser av kornfordeling og mineralogi (XRD).

Det er verdt å merke seg at det ikke er gjort noen anslag av alder for de fleste av de kartlagte jordskredene, og bortsett fra historiske/nyere hendelser kan jordskredene ha gått i perioden fra siste istid og frem til i dag.

Det var i utgangspunktet tenkt å analysere og utføre feltundersøkelser også i områder hvor det ikke har gått skred for å se om man kunne identifisere parametere/forskjeller mellom skredutsatte og mindre skredutsatte områder. Imidlertid gjorde pandemien og prosjektets varighet at dette ble umulig å gjennomføre.

3.2 Prøvetaking

Det ble samlet inn 20 prøver av morenemateriale under feltarbeid i 2020, og den kjemiske/mineralogiske sammensetningen samt kornfordelingen er undersøkt for 13 av disse ved laboratoriet til NGU (Tab. 1). Prosedyrene for dette er vist i Vedlegg 2 og 3.

Lokalitet	Antall	Kornfordeling	XRD
Strype 1	3	3	3
Strype 2	3	2	
Strype 3	3		
Pynten 1	3		
Kvitskriuprestan 1	5	3	5
Estenstad 1	2	2	2
Sørstuu – Estenstad 2	3	3	3

Tabell 1. Oversikt over innsamlete prøver og analyser utført.

3.3 GIS-analyser; hydrologiske og topografiske analyser

Gjennom analyser av løснеområder for jordskred i 'åpne' skråninger søkes det å:

- avgjøre hvilke sedimenttyper jordskredene løsner i
- se på sammenhengen mellom gradienter og sedimenttyper
- se på forholdet mellom løsneområder og vegetasjon
- skille ut andre morfologiske parametere som kan ha hatt betydning for utløsningen av jordskred

GIS-analysene av løsneområdene er basert på registreringer gjort under detaljert kvartærgeologisk kartlegging i bratt terreng etter SOSI-standard. Disse registreringene ble lagt inn i NGU sin detaljerte løsmassedatabase pr. 1. februar, 2021. I tillegg er registreringer gjort i Sør-Fron i 2019 og som enda ikke var lagt inn tatt med her. Denne databasen er under stadig utvikling, og det forventes at antall registreringer vil øke kraftig i årene fremover ettersom stadig flere områder kartlegges. Et slikt datagrunnlag er unikt i norsk sammenheng, og gir muligheter også utover det som presenteres her.

Kartleggingen inkluderer registreringer av de morfologiske elementene 'Skredkant', som er et linjesymbol, og 'Liten utglidning,' som er et punktsymbol. Forskjellen mellom de to er

størrelsesrelatert og brukes i henhold til skala på kartleggingen som utføres. Det er disse morfologiske elementene som er brukt til å plukke ut løsneområder for jordskred.

Det er ikke gjort analyse av jordskred i raviner, bekkeløp eller andre områder hvor elve- eller bekkeerosjon forårsaket skredet gjennom undergraving.

Områdene som er tatt med i GIS-analysen av løsneområder for jordskred er Rotsund og Kåfjord (Troms og Finnmark), Vest-Vågøy (Nordland), Støren (Trøndelag), Nord- og Sør-Fron (Innlandet), Vestnes, Nasset, Norddal, Volda (Møre og Romsdal), Førde, Jølster (Vestlandet), Tokke (Vestfold og Telemark) og er vist i Figur 2.

Det lå 867 registreringer av 'Liten utglidning' og 1524 av 'Skredkant' i detaljert løsmassedatabase per 01. februar 2021 innenfor de utvalgte områdene, og sammen med 178 tilsvarende registreringer fra Sør-Fron utgjør det totalt 2569 registreringer. Av disse er 2081 relatert til andre typer utglidninger som eks. kvikkleireskred, kanaliserte jordskred, skred forårsaket av bekke- eller elveerosjon i skråninger osv. og er dermed ikke tatt med i de videre undersøkelsene. Totalt 488 kartlagte løsneområder for jordskred i åpent terreng er tatt med i GIS-analysen. Hver av disse er så undersøkt manuelt i GIS og følgende punkter analysert:

3.3.1 Gradient i løsnepunktet.

Fordi utglidninger og påfølgende avsetning endrer terrenget blir det misvisende å måle gradienten der skred allerede har gått da formålet er å finne typiske gradienter der skred kan løsne i fremtiden. For å finne den opprinnelige gradienten, før skredet gikk, ble helningsvinkelen for terrenget umiddelbart til siden for, eller ovenfor skredkanten hentet fra DEM ved å ta gjennomsnittsverdien fra flere celler (se eksempel i Fig. 3).

3.3.2 Løsmasstype der skredene løsner

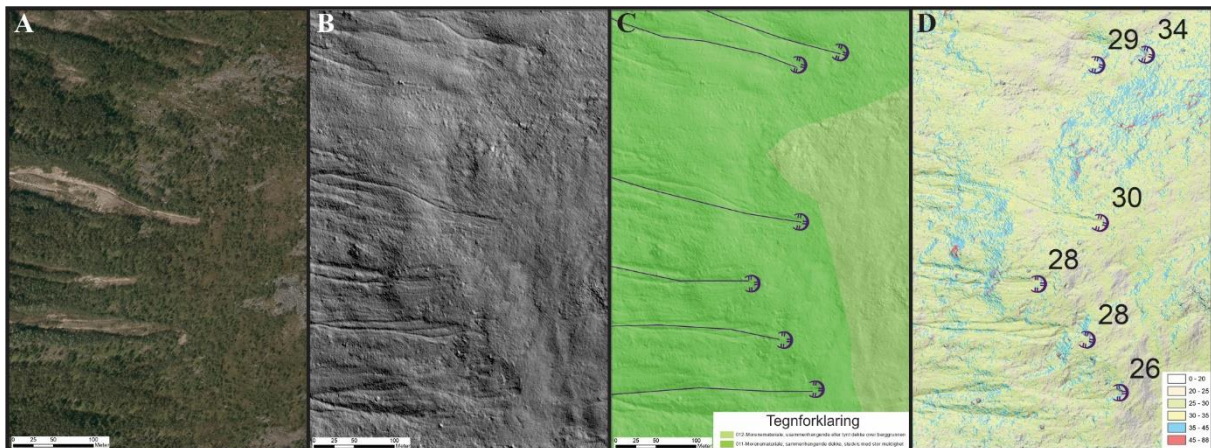
Analysene er konsentrert til områder der det er utført detaljert løsmassekartlegging i bratt terreng. Detaljeringsgraden og presisjonen i disse kartene er god nok til å gjøre denne type analyse. Avsetninger er genetisk klassifisert, noe som betyr at parametere som kornfordeling og -størrelse samt hydrogeologiske egenskaper ikke er registrert (eks. Fig. 3).

3.3.3 Vegetasjon i løsnepunktet

Det ble registrert om løsneområdet ligger på dyrket mark, urørt mark, skog, hogstflater osv. Få av skredene er datert og det er dermed i mange tilfeller umulig å si om vegetasjonen i løsneområdet var den samme da skredet gikk som den er i dag (se diskusjon).

3.3.4 Flow Accumulation

Overflatedrenering er illustrert ved hjelp av hydrologiverktøy i *ArcGIS – Spatial Analyst*. Etter at terrenget er korrigert for unøyaktigheter med verktøyet *Fill*, beregner *Flow direction* en dreneringsvektor for hver celle i den aktuelle terrenget. Resultatet brukes av *Flow Accumulation* til å vise hvordan vann i teorien samles langs forsengkninger i terrenget. Det er ikke lagt inn noen faktisk eller stipulert nedbørmengde, og resultatene av *Flow Accumulation* viser derfor bare hvor mange andre celler som drenerer inn til en enkelt celle.



Figur 3. Eksempler på jordskred i åpne skråninger ved Rotsund, Troms og Finnmark. A) Vertikalfoto fra 2016, B) LiDAR-data (solinnstråling fra 315 grader), C) Kwartærgeologisk kart over områder drapert over LiDAR-dataene. Skredene har løsnet i tykt/sammenhengende morenemateriale, D) Helningskart drapert over LiDAR-dataene. Gradienten til løsneområdene er oppgitt med tall og ligger mellom 26 og 34 grader.

4. RESULTATER

Under følger en gjennomgang av resultatene fra GIS-analysen av kartlagte løsneområder for jordskred i åpent terreng, de sedimentologiske og morfologiske studier av løsneområder i felt, samt lab. analyser av innsamlete prøver.

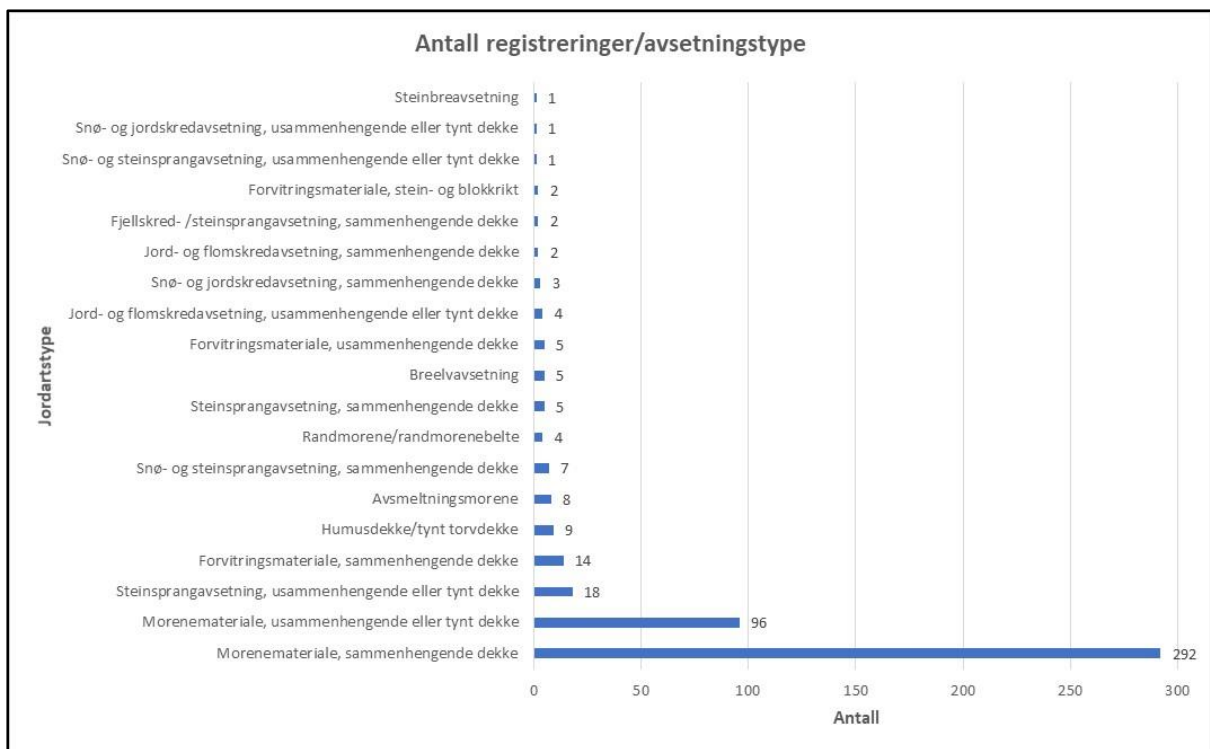
4.1 GIS-analyser

Totalt er 488 løsneområder tilhørende jordskred i åpen skråning analysert.

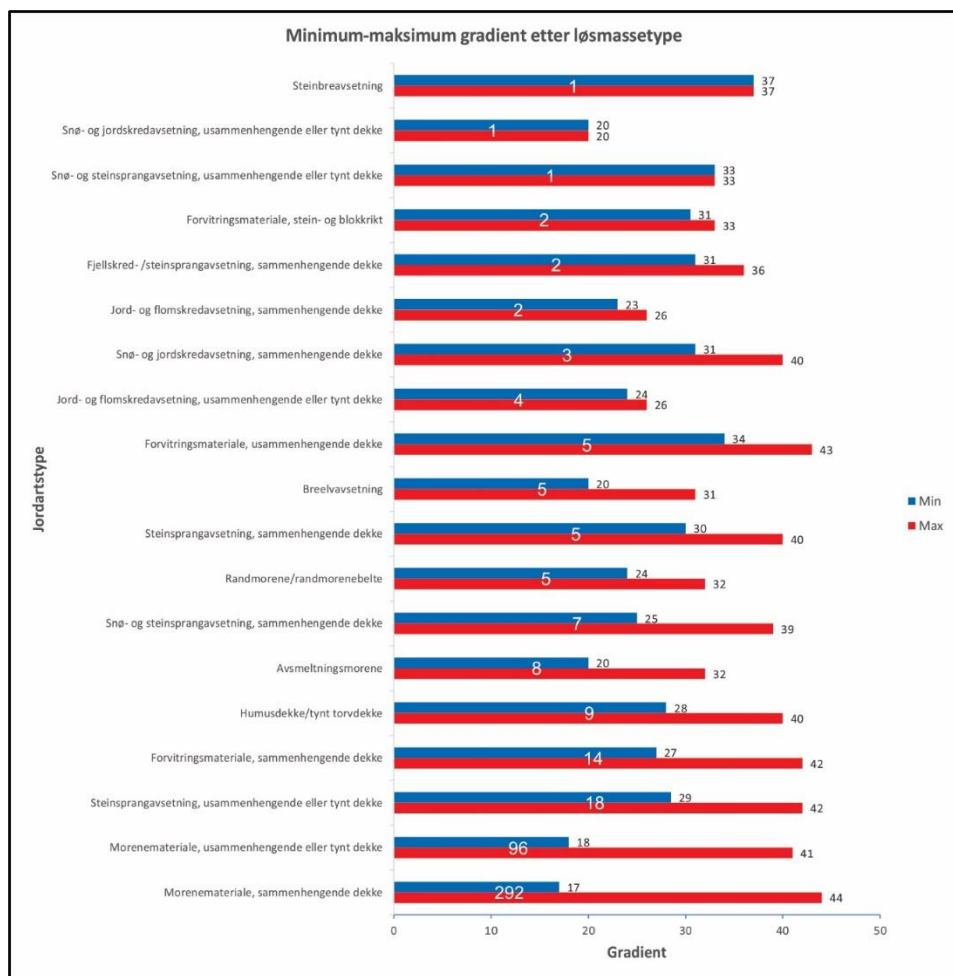
4.1.1 Løsmasstyper og gradient

Løsneområdene til jordskredene er funnet i mange ulike løsmasstyper, men majoriteten finnes i morene, ulike typer skredavsetninger og forvittringsmateriale (Fig. 4 og 5). At så mange skred har løsnet i morene har sammenheng med at denne jordarten dekker klart størst områder i Norge, og særlig rundt bostedene i dalfører der også NGUs detaljerte kartlegging er gjennomført. Morene kan ha svært ulike egenskaper mht. porøsitet og permeabilitet, og dekker i tillegg terreng med et stort spekter av skråningsgradienter.

Overflatehelningen på *in situ* forvittringsmateriale vil gjenspeile helningen på den opprinnelige berggrunnsoverflaten, og følgelig finnes disse løsmassene også i svært bratte skråninger. Ulike typer skredavsetninger dekker også en stor andel av de arealene som er grunnlag for denne analysen. Blant disse jordartene er det steinsprang som danner de bratteste avsetningene, og det er også her vi finner flest utglidninger og særlig i tynne og usammenhengende steinsprangavsetninger. Dette antyder at det er egenskapene til de underliggende sedimentene eller nærheten til fjelloverflata under som avgjør hvor lett de overliggende steinsprangavsetningene glir ut.



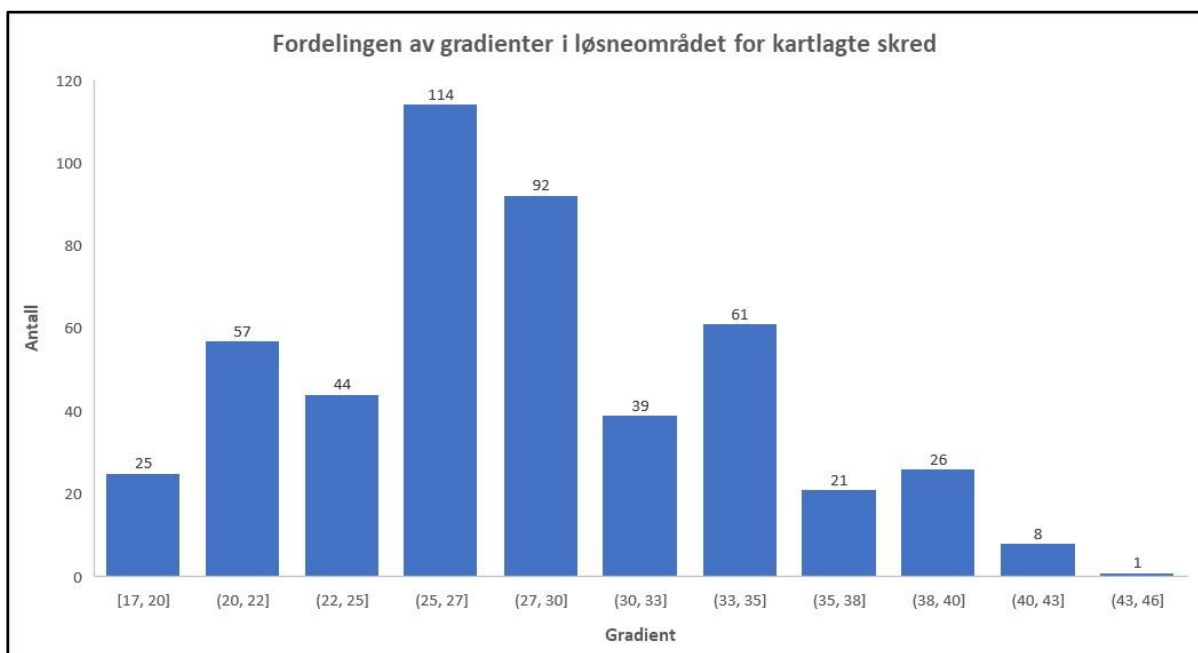
Figur 4. Antall registrerte løснеområder fordelt på avsetningstype.



Figur 5. Minimum og maksimum gradient for løśnieområder fordelt på avsetningstype. Tallene i hvit på grafen indikerer antall registrerte løśnieområder.

Løsneområdene er generelt slakere enn tidligere antatt. Typiske skråningsgradienter kommer tydelig fram av Figur 6 som viser at om lag 68% av skredene har løsnet der skråningene har mindre enn 30 graders helning. Det ser også ut til at de mest typiske løsneområdene er mellom 25 og 30 grader bratte da 42% av det totale antall analyserte skredhendelsene har løsnet innenfor dette intervallet. Det er verdt å merke seg at 5% av løsneområdene er kartlagt i skråninger som er slakere enn 20 grader. Skred har også løsnet der morene og forvittringsmateriale ligger svært bratt, men det er ikke registrert løsneområder brattere enn 44 grader, og det er generelt få skred som har løsnet i skråninger over 40 grader.

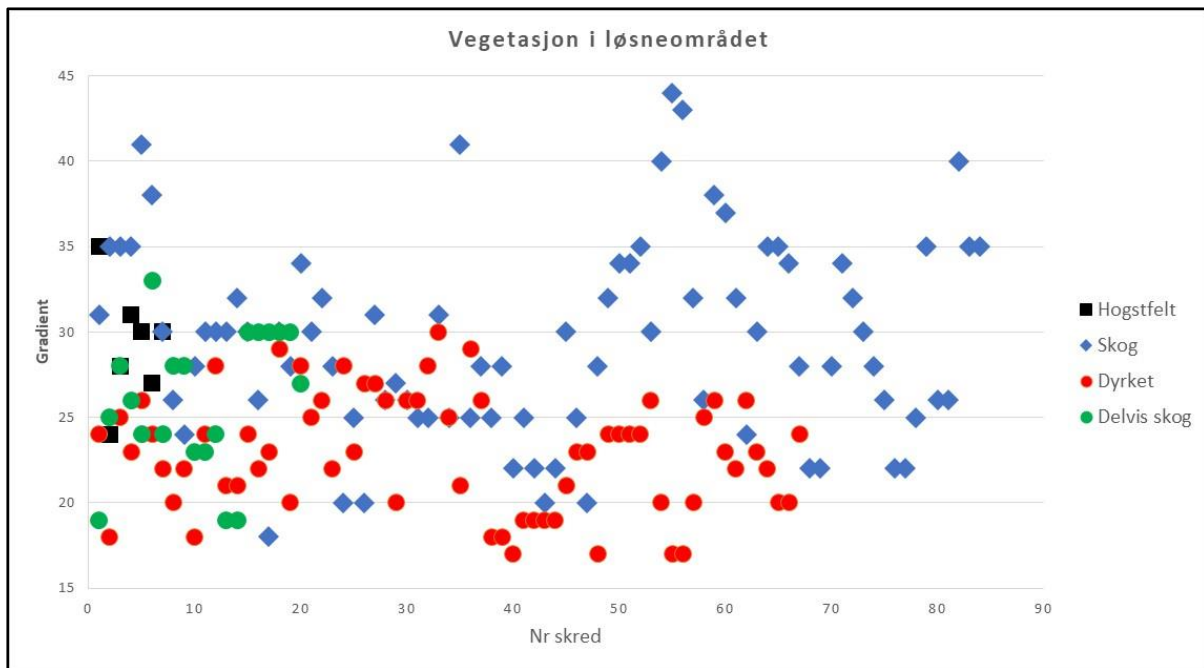
Denne sammenstillingen av løsneområder, skråningsgradienter og løsmassetype antyder at en rent genetisk jordartsklassifisering ikke bidrar til å identifisere potensielle kildeområder for jordskred, men at prosessen styres av egenskaper som ikke inngår i kartdataene.



Figur 6. Fordelingen av gradienten for løsneområder.

4.1.2 Løsneområde og vegetasjon

Forholdet mellom løsneområder og vegetasjon for Sør-Fron er vist i Figur 7. Siden få av skredene er tidfestet må det tas forbehold om at vegetasjonen kan ha vært annerledes på det tidspunktet skredene gikk (se diskusjon). De fleste løsneområdene med lav gradient er funnet på dyrket mark. Likeså kan vi si at alle skredene som har løsnet i skråninger brattere enn 35 grader ligger i skogkledte skråninger.



Figur 7. Type vegetasjon i løснеområdene for Sør-Fron. Delvis skog indikerer løснеområder som ligger i kanten av skog og hvor skredkanten delvis ligger inn i skogen.

4.1.3 Regionale forskjeller

Ser man på antall jordskred i åpne skråninger fordelt på areal (Tab. 2) for utvalgte områder kartlagt under detaljert kvartærgeologisk løsmassekartlegging så er det store forskjeller. Sør-Fron skiller seg ut med over 4 jordskred pr km², mer enn 5 ganger så mange som i Nord-Fron. Norddal har færrest skred med 0,01/km². Hva denne forskjellen skyldes er usikkert, men trolig har forskjeller i eks. jordartstype (sedimentologi/stratigrafi/mineralogi), terrengform (eks. gradienter), drenering klima (ekstrem) hendelser osv. betydning.

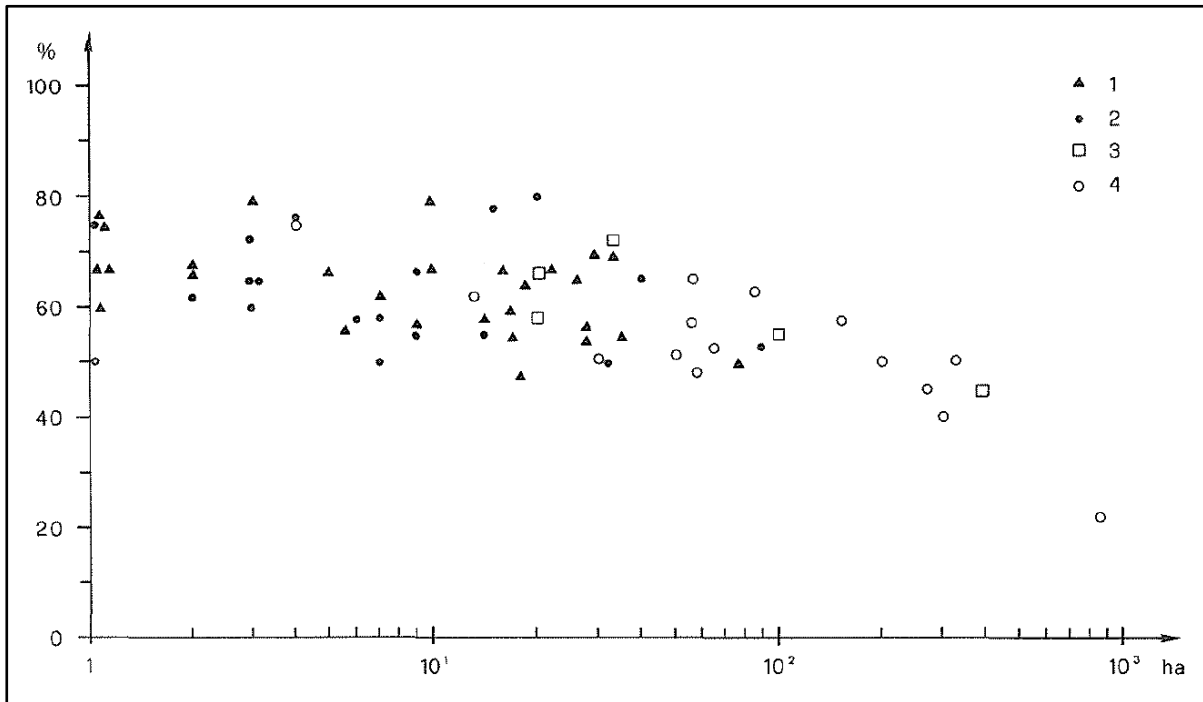
Område	Kartlagt areal (km ²)	Antall skred pr. areal
Nord-Fron	39,4	0,79
Kåfjord	18,2	2,91
Jølster	58,0	2,1
Tokke	49,5	0,18
Norddal	77,3	0,01
Vestnes	5,0	2
Vestvågøy	11,2	2,95
Sør-Fron	40,2	4,43

Tabell 2. Antall jordskred i åpen skråning pr. kartlagt areal for utvalgte områder.

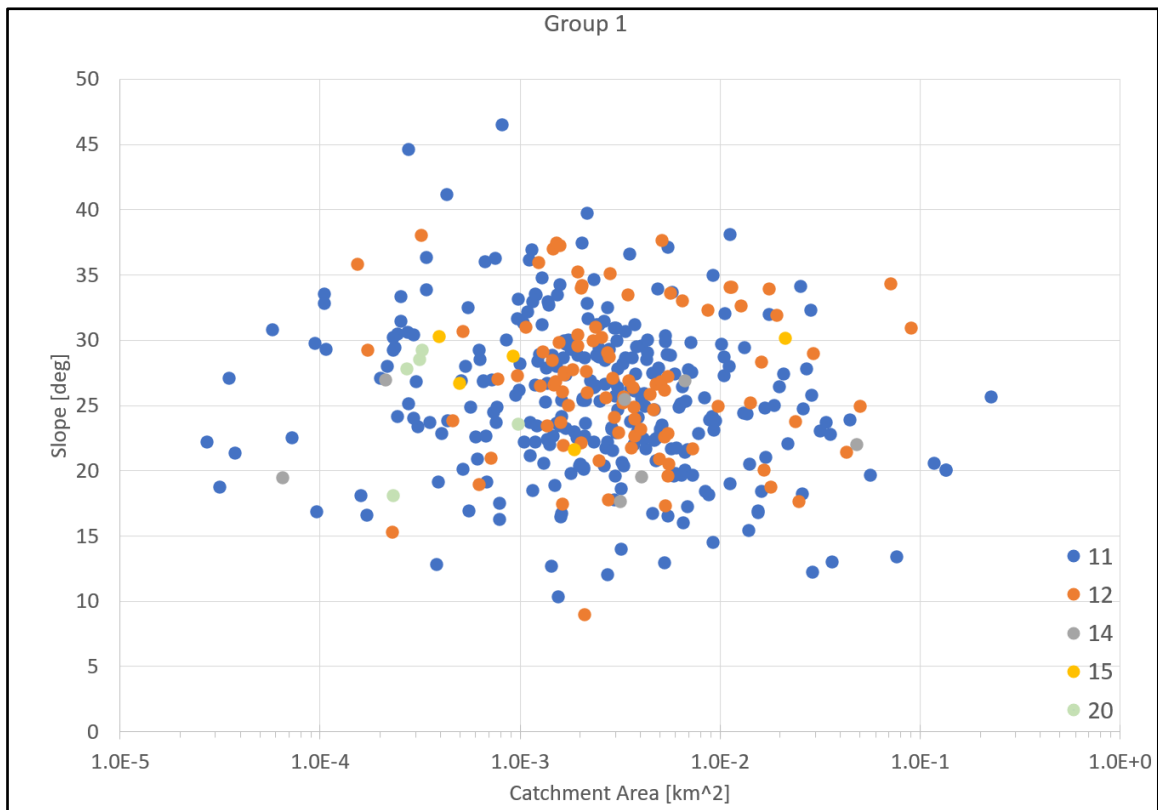
4.1.4 Dreneringsområde i forhold til skråningsgradient

Størrelsen på dreneringsområdet er en viktig faktor i analysen da den antyder hvor mye vann som kan bli tilført et gitt punkt i terrenget og som kan bidra til markfuktighet eller vannmetning av sedimentene og i sin tur utløse et skred. Kombinert med andre faktorer som skråningsgradient, kurvatur og nedbørsdata gir analyseresultatet en indikasjon på hvilke områder som kan være potensielle løснеområder. I dette studiet brukte vi *Flow Direction* i *ArcGIS* -programvaren med *D-infinity* -metoden som gir en dreneringsretning for hver enkelt celle i terrengmodellen basert på høydeverdier for de 8 respektive omkringliggende cellene. Deretter beregnes *Flow Accumulation* der resultatet er det antall celler som drenerer inn til hver enkelt celle. Vi har brukt 10x10 m oppløsning på DEM.

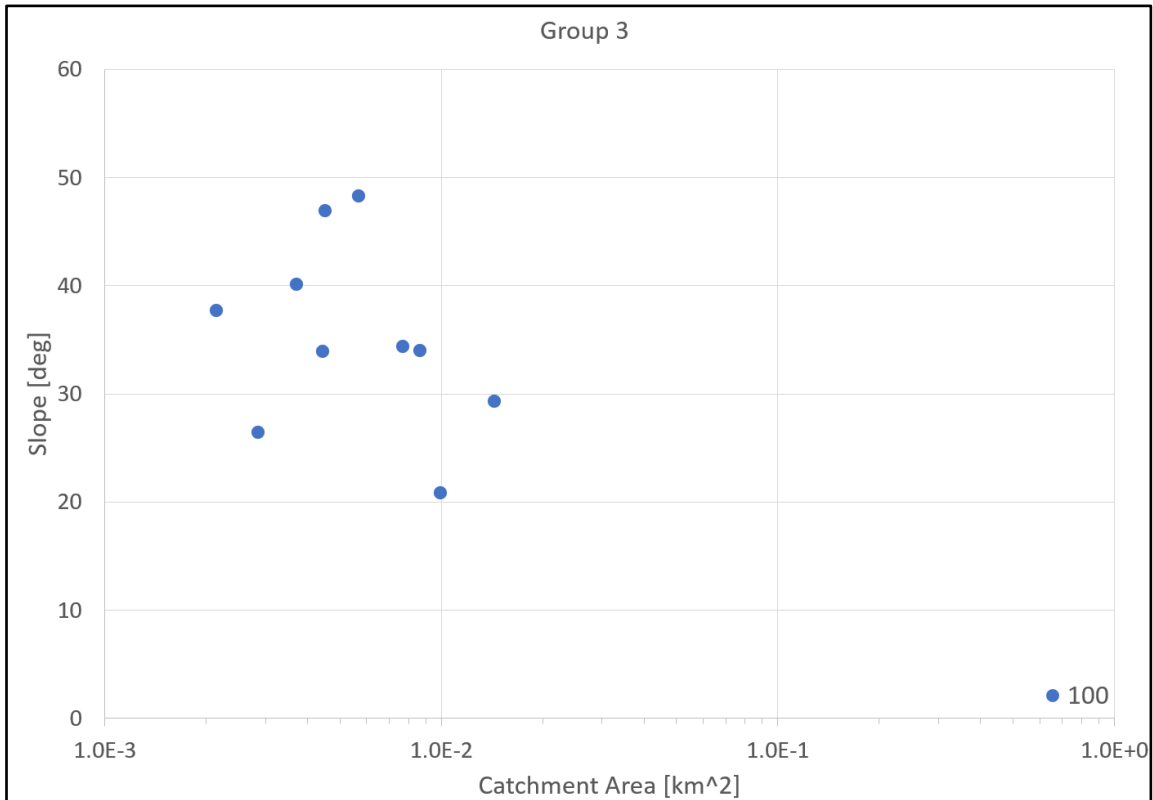
Figur 8 viser at løsmasser i en bratt skråning trenger et mindre dreneringsområde for å løsne enn avsetninger som ligger med slakere overflatehelning. Et større dreneringsområde vil øke vanntilførselen og poretrykket i løsmassene og følgelig redusere den interne friksjonen, noe som favoriserer utløsning av jordskred. Denne trenden er vanskelig å se for morene (Fig. 9) hvor vi har mange observasjoner og for humusdekke/tynt torvdekke over berggrunnen der vi har få observasjoner (Fig. 10). For forvittringsmateriale er det en svak trend (Fig. 11), mens det er en ganske klar trend for skredmateriale (Fig. 12).



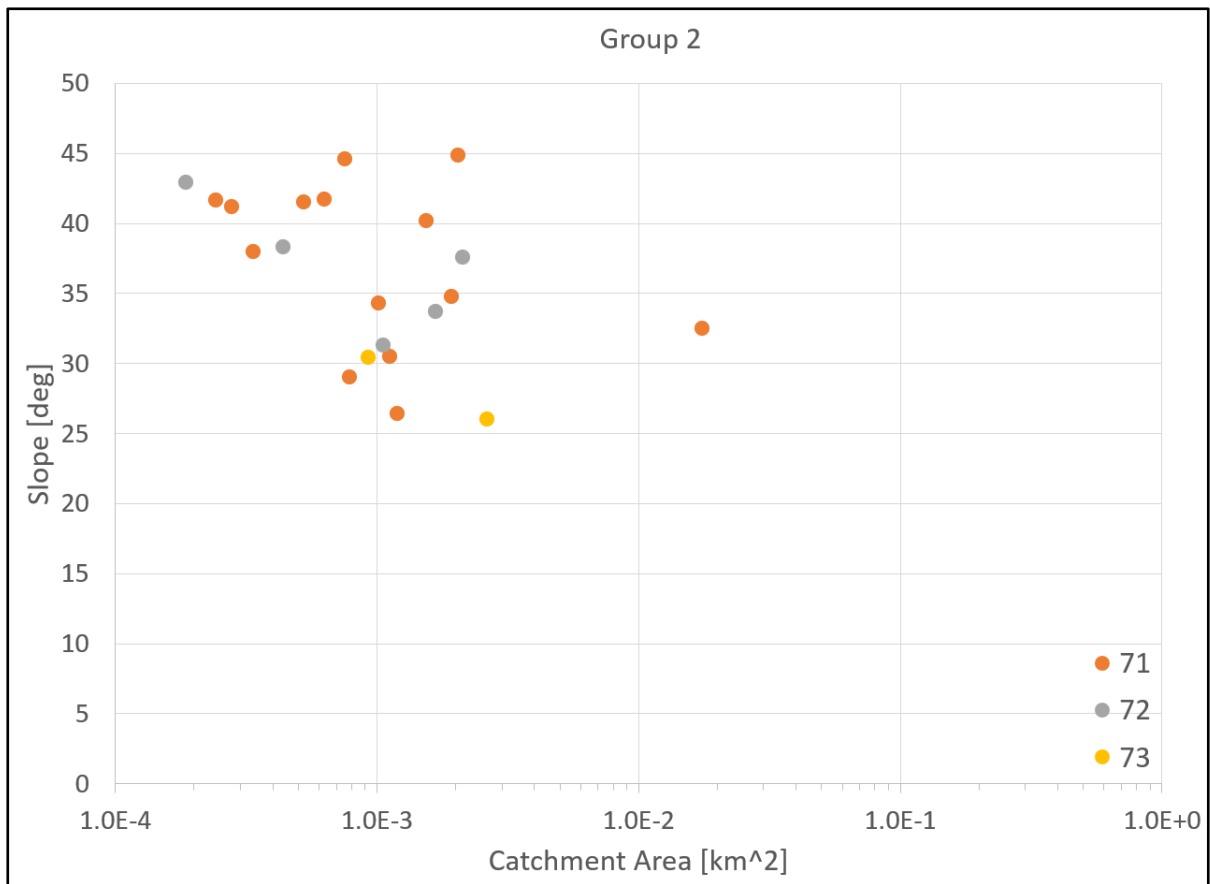
Figur 8. Løsneområder som funksjon av dreneringsområde og skråningsgradient (Zimmermann, 1990). 1: åpen skråning med delvis konsoliderte løsmasser, typisk morene. 2: Skred løsner i overgangen mellom løsmasser og berggrunn. 3) og 4) kanaliserte skred.



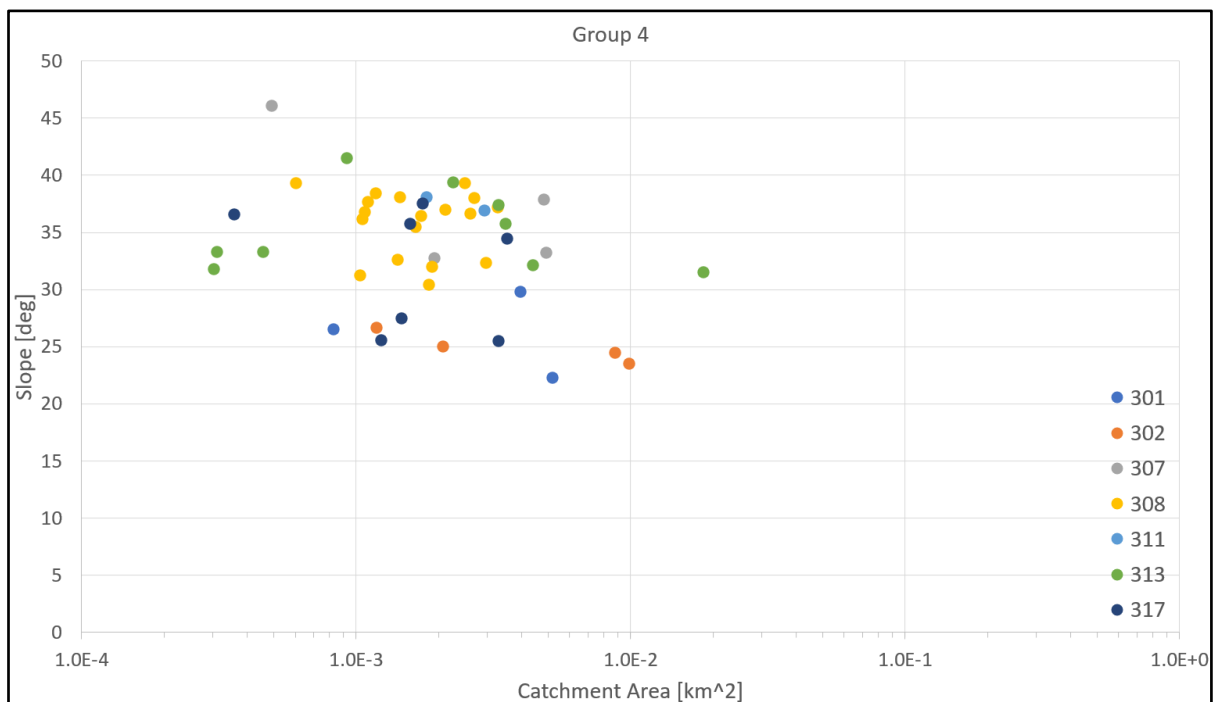
Figur 9. Løsneområder i morenemateriale. Det er ingen klar trend mellom skråningsgradient og størrelsen på dreneringsområde.



Figur 10. Løsneområder i humusdekke eller tynt torvdekke på bart fjell. Det er for få observasjoner til å konkludere med en klar korrelasjon mellom størrelsen på dreneringsområde og skråningsgradient.



Figur 11. Løsneområder i forvittringsmateriale. En svak trend i forholdet mellom størrelsen på dreneringsområde og skråningsgradient.



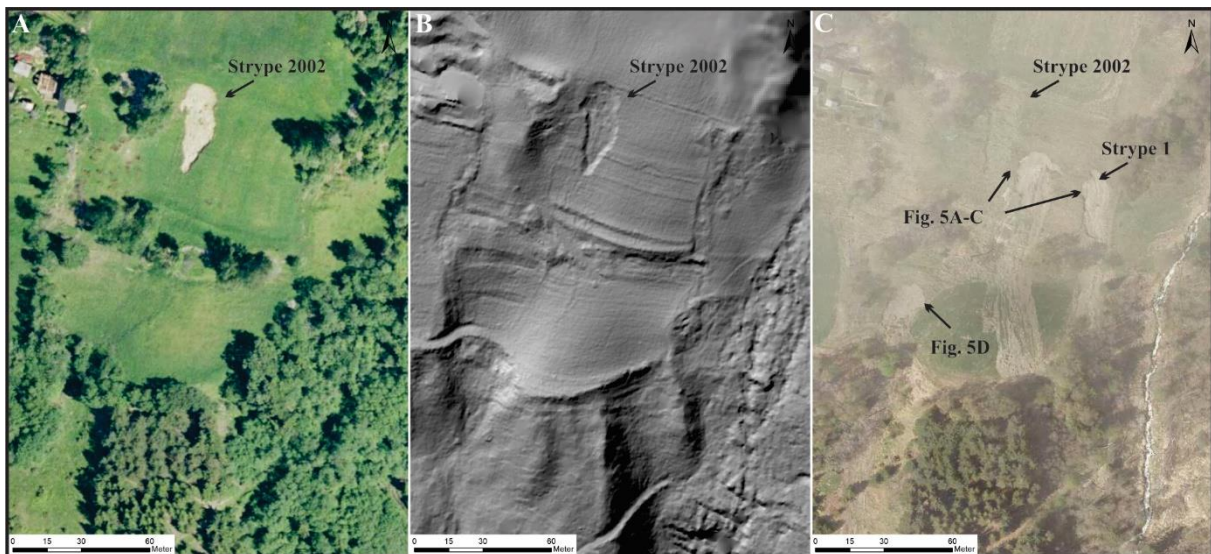
Figur 12. Løsneområder i skredavsetninger. Forholdet mellom størrelsen på dreneringsområde og skråningsgradient har en ganske klar trend.

4.2 Feltundersøkelser

Lokaliteter som ble undersøkt i felt i løpet av 2020 er alle kartlagt som *morenemateriale, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet*. Under følger en sedimentologisk beskrivelse og tolkning av lokalitetene.

4.2.1 Strype (Sør-Fron kommune)

Fire jordskred, registrert under detaljert skredkartlegging i Sør-Fron, ble undersøkt 13-14 mai, 2020. Skredene er enkelthendelser, men 3 av dem gikk på samme jorde i april 2018 (Fig. 13 & 14), mens ett skred gikk 3. april 2002 (M.R.Killi, *pers. med.*), alle på dyrket mark.



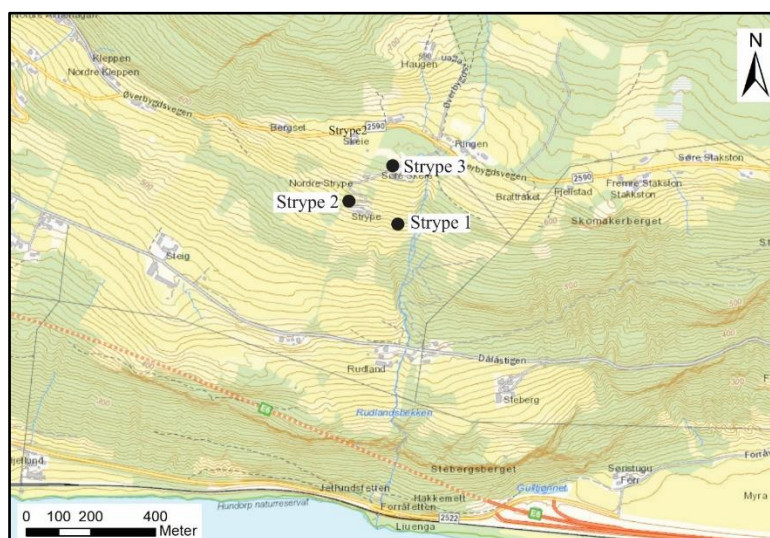
Figur 13. Jordskred ved Strype, Sør-Fron. A) Flybilde fra 2005 som viser skredet som gikk i 2002. B) LiDARdata fra 2012 som viser 2002-skredet. Det eksisterer ikke nyere LiDAR-data fra dette området. C) Flybilde fra 2018 som viser de 3 skredene som gikk i 2018. Strype 1 markerer skredet som er undersøkt i mer detalj. 2002-skredet er også avmerket.

Kartleggingen viste at løснеområdene ligger i tykt/sammenhengende morenemateriale, med en gradient på mellom 22 og 26 grader. Løснеområdene har svakt konveks horisontalkurvatur, er gressbevakst, og ligger på dyrket mark (Fig. 14). Det er ingen knekk i gradient ved skredene, og heller ingen tegn til overflatedrenering eller grunnvannsutslag/kildehorisont i skredgropene. Skredgropene er ca. 12-20 m brede og 0,4-1 m dype. Det meste av sedimentene ble avsatt på jordet nedenfor skredgropen (eks. Fig. 14D), men noe fortsatte ut i bekken og videre nedover.



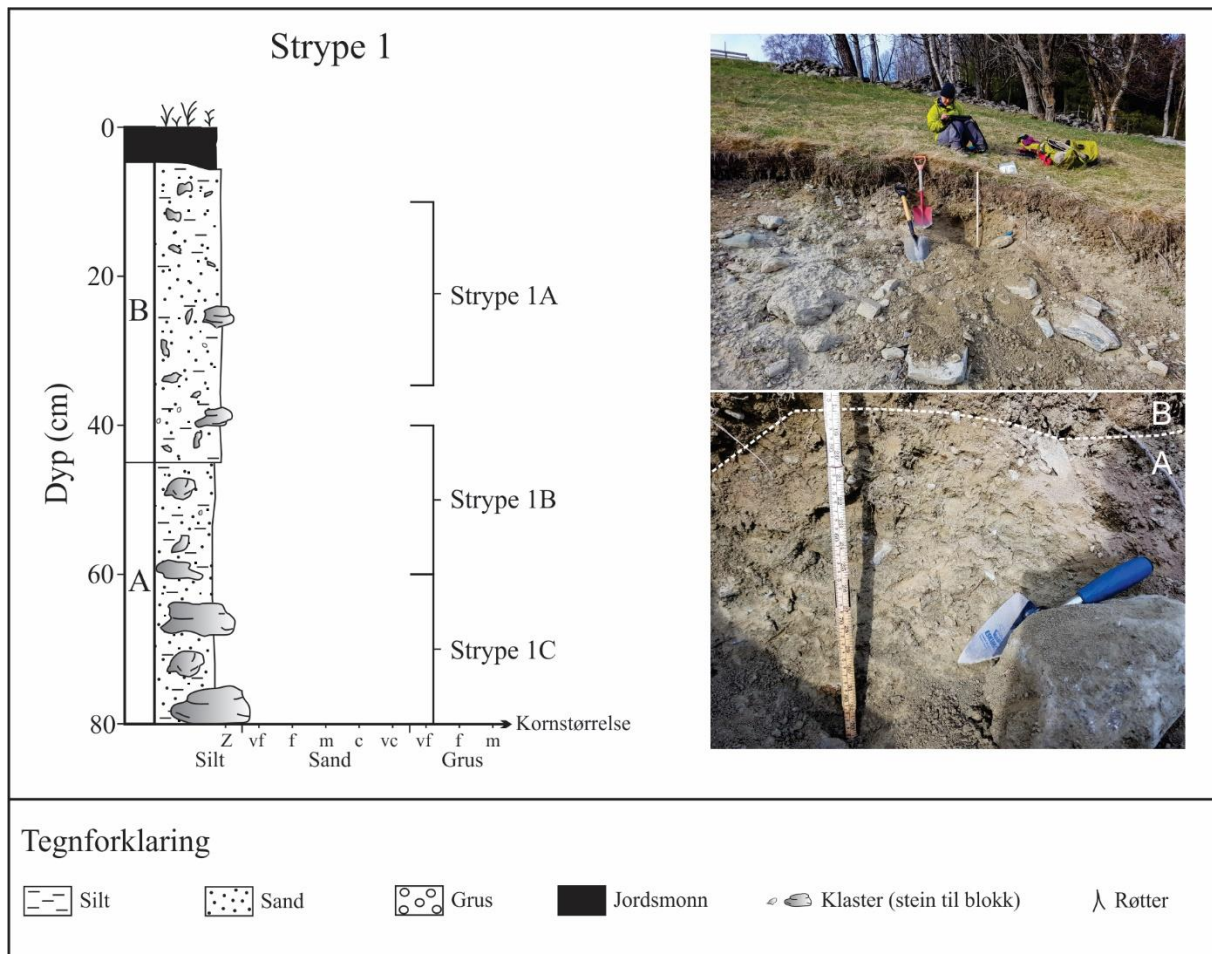
Figur 14. Jordskred som gikk i 2018 ved Strype, Sør-Fron. Bildene i A, B og C er tatt rett etter skredhendelsen (bilder tatt av M.R.Killi). Bilde i D er tatt i 2020. Skredet som gikk i 2002 er avmerket i B. Se figur 13A og C for ortofoto av områdene.

Det ble gjort stratigrafiske studier i skredkanten til ett av skredene fra 2018 (Strype 1; Fig.15). I tillegg ble tilsvarende undersøkelser gjort i to nærliggende vegskjæringer der det var gode snitt, og lettere å få tilgang til sedimenter lenger ned i stratigrafien (Strype 2 & 3; Fig. 15).

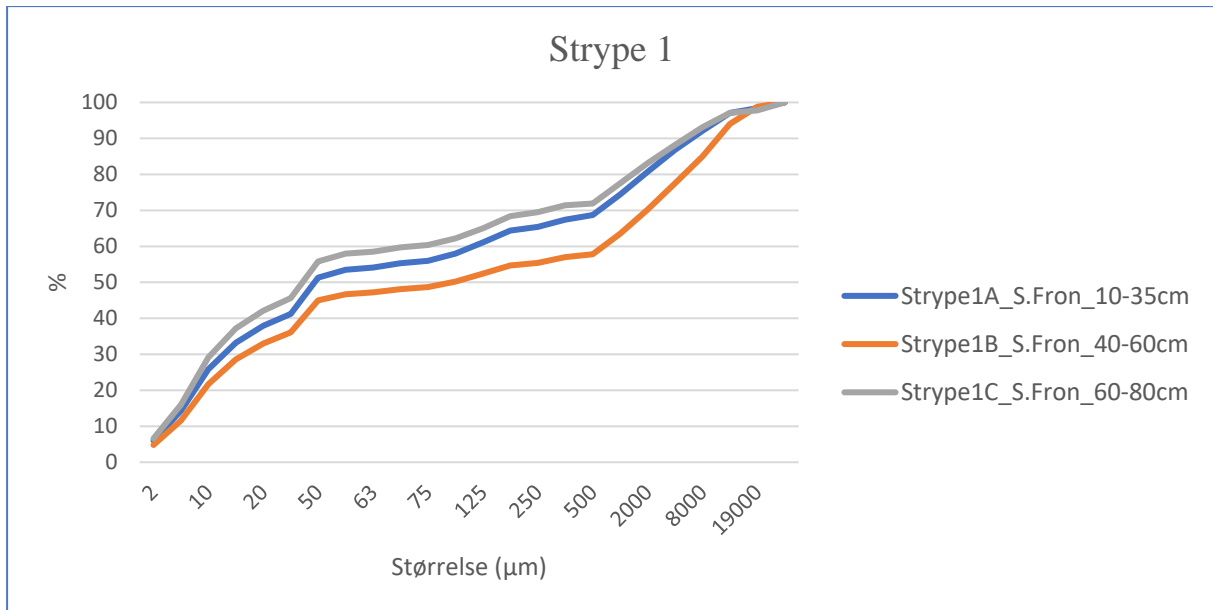


Figur 15. Lokalitetskart som viser snittene som er undersøkt på Strype i Sør-Fron.

Strype 1. Snittet ligger i bakkanten av et skred som løsnet i en skråning med ~22 grader. Snittet består av diamikton, og kan deles inn i 2 lag (Fig. 16). Nederst ligger lag A som er >35 cm tykt og består av sandig silt i matriks med stein og enkelte blokker opptil 25 cm i diameter (Fig. 17). Laget er relativt godt konsolidert. Overliggende lag B er ca. 40 cm tykt og er mindre konsolidert enn lag A. Lag B består av litt grovere matriks enn lag A (sandig silt; Fig. 17). Det er generelt færre og mindre klaster enn i lag A. Det er i all hovedsak sedimentene i lag B som har sklidd ut i skredet. Glideplanet til skredet ligger trolig mellom de to lagene. Lag A og B er tolket som moreneavsetninger.

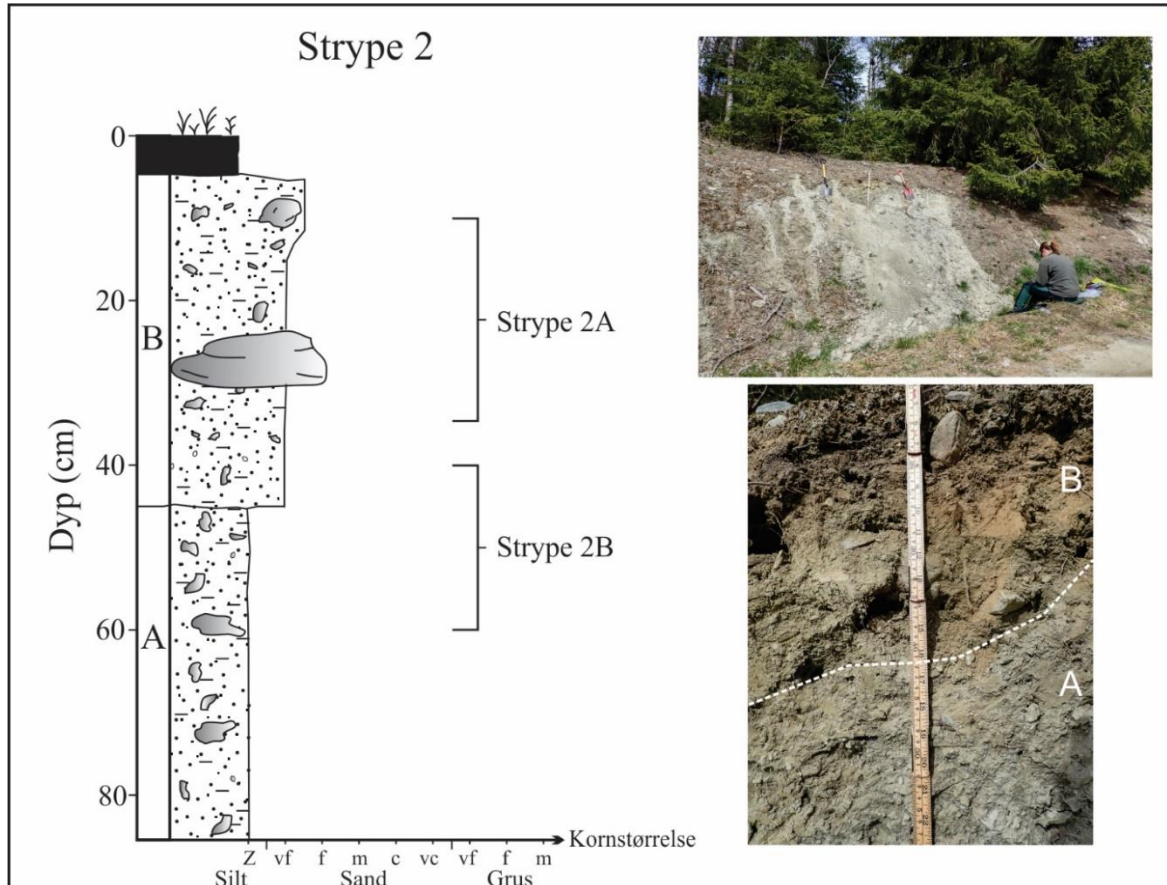


Figur 16. Stratigrafisk logg fra lokaliteten Strype 1, Sør-Fron. Sedimentprøver av matriks er merket på loggen (Strype 1A, 1B og 1C). Legg merke til den relativt grunne skredgropen.

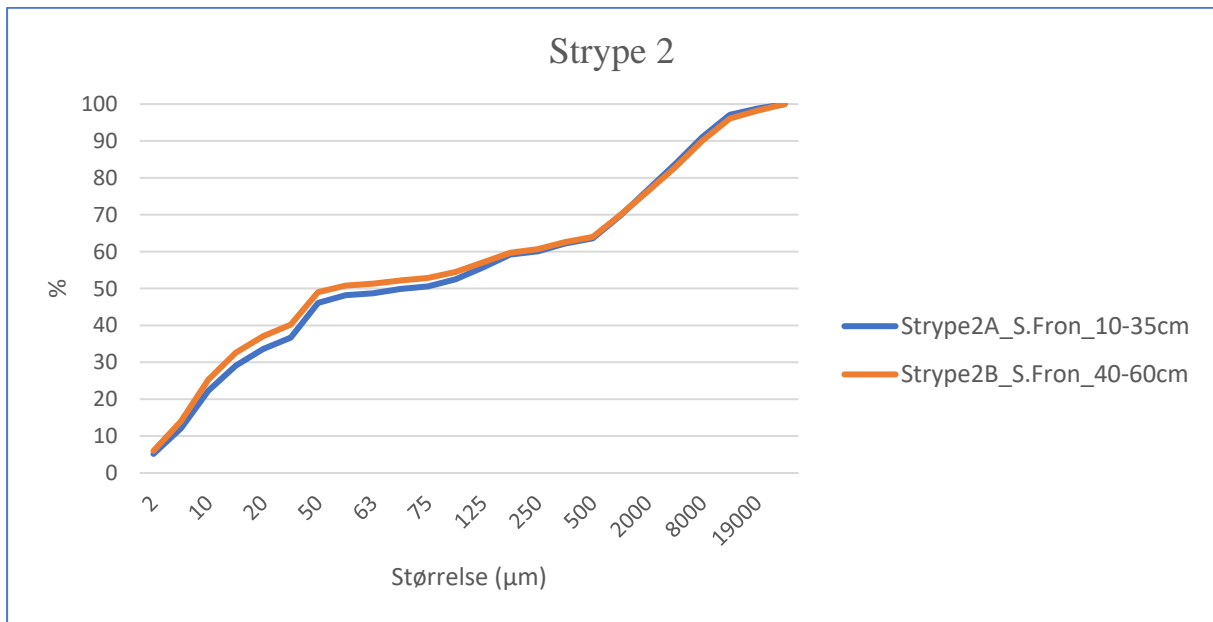


Figur 17. Kornfordelingskurve for lokaliteten Strype 1. Se Figur 16 for plassering av prøvene.

Strype 2. Snittet, tatt i en vegskjæring (Fig. 18), kan deles inn i 2 lag, hvorav lag A er >40 cm tykt og består av sandig silt i matriks med stein og enkelte klaster opptil 25 cm i diameter (Fig. 19). Overliggende lag B er ~40 cm tykt, og består av litt grovere siltig sand matriks. Det er generelt færre klaster enn i lag B. Det er en markert økning i konsolideringsgrad fra lag B til lag A. Lagene er tolket som moreneavsetninger.

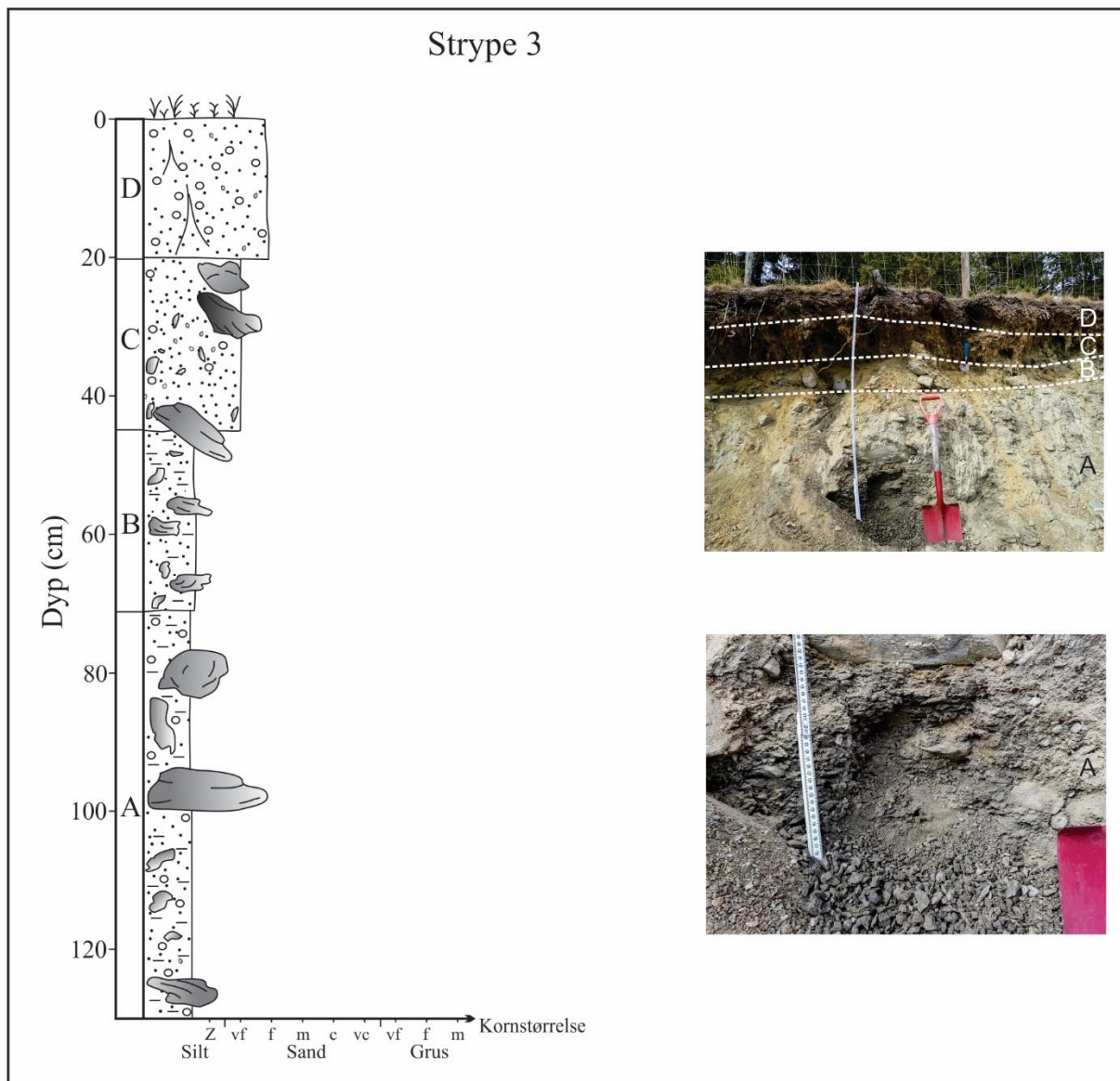


Figur 18. Stratigrafisk logg fra lokaliteten Strype 2, Sør-Fron. Tegnforklaring vist i figur 16. Sedimentprøver er avmerket (Strype 2A og 2B).



Figur 19. Kornfordelingskurve for lokaliteten Strype 2. Se figur 18 for plassering av prøvene.

Strype 3 er fra en vegskjæring (Fig. 15), og er delt inn i 4 lag, hvorav lag A er >45 cm tykt, overkonsolidert, og består av en sandig silt matriks med klaster opp til blokk størrelse (Fig. 20). Overliggende lag B er 25 cm tykt og består av en sandig, siltig matriks med stein klaster. Lag C er ~25 cm tykk og består av en grusig sand matriks med enkelte klaster opptil stein størrelse. Er klastestøttet enkelte steder. Det er generelt flere og større klaster enn i lag B. Lag D er 20 cm tykt og består av massiv sand og grus, med en del røtter. Alle lagene er tolket som moreneavsetninger, og det er mulig at lag C og D er avsatt under deglasiasjonen da det var mye smeltevann tilgjengelig slik at mye av finstoffet (leire og silt) ble transportert vekk.

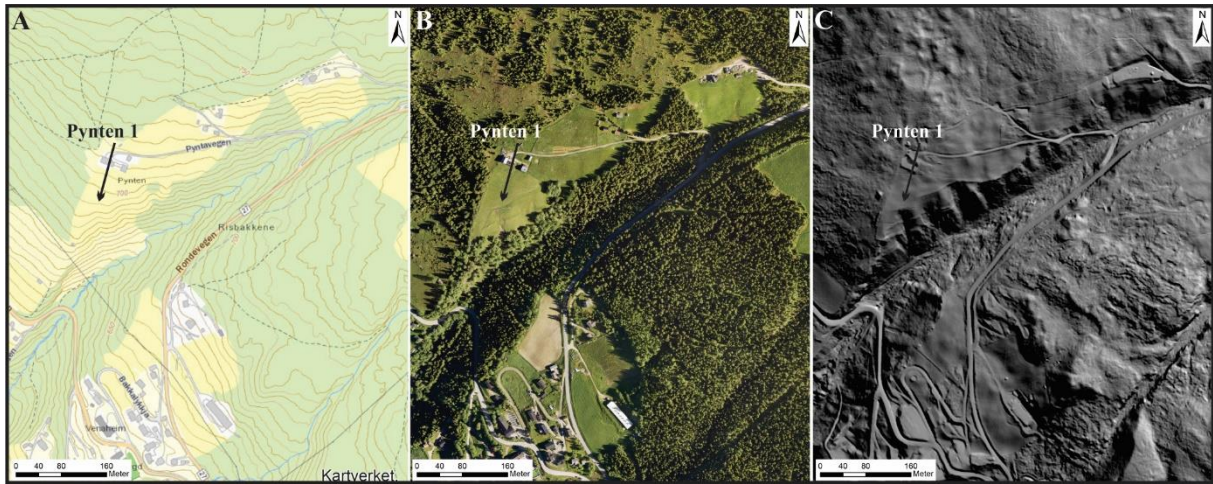


Figur 20. Stratigrafisk logg fra lokaliteten Strype 3, Sør-Fron. Tegnforklaring vist i Figur 16.

Alle snittene fra Strype har en lik stratigrafi med et overliggende lag som er grovere og mindre konsolidert enn underliggende lag. Glideplanet for skredet ved lokalitet Strype 1 ser også ut til å ligge i overgangen mellom disse lagene.

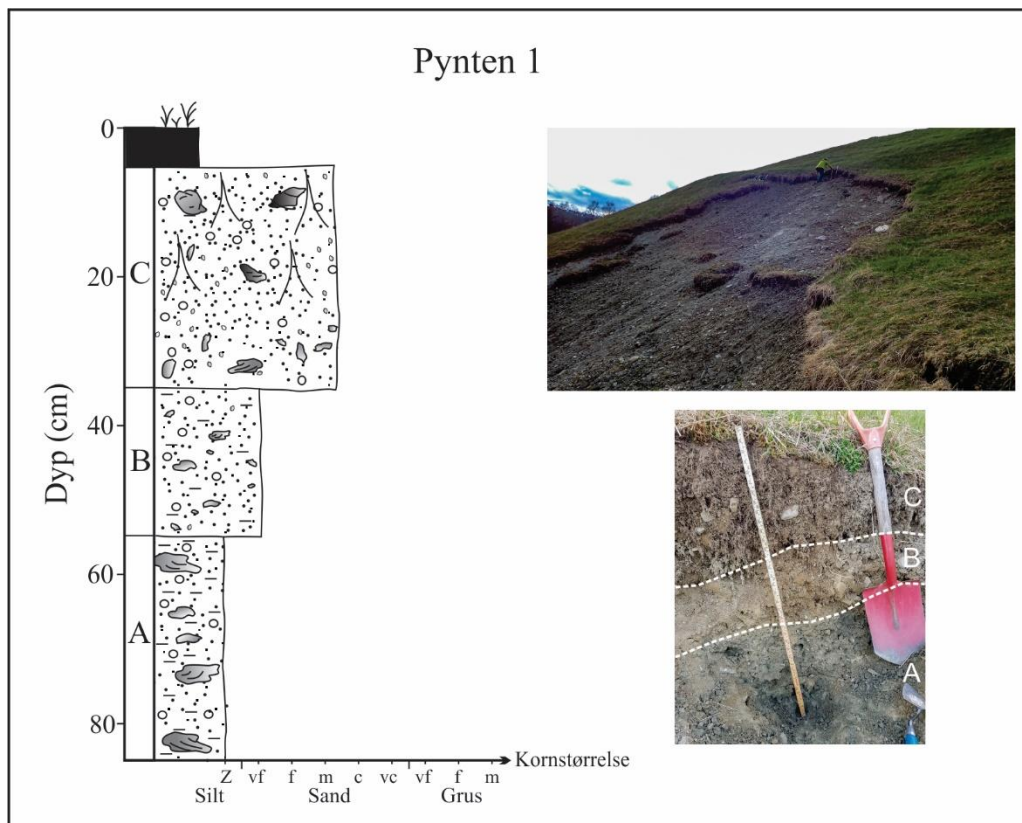
4.2.2 Pynten (Ringebu kommune)

Et jordskred løsnet på et jorde ved Pynten i 2018 (Fig. 21). Skredet ligger i en forsenkning med en skråningsgradient på ~30 grader der det har gått flere skred tidligere. Bakkanten er ca. 50 cm høy (Fig. 22). Det meste av skredavsetningene ligger nederst i skredgropen, men noe har beveget seg lengre ned til bekken.



Figur 21. Jordskred ved Pynten, Ringeby kommune. A) Kart som viser lokaliteten ved Pynten (www.norgeskart.no). B) Ortofoto fra 2017 (www.norgebilder.no) med avmerking av lokaliteten for skredet som gikk i 2018, altså året etter at bildet ble tatt. C) LiDAR-data over det samme området som i A og B.

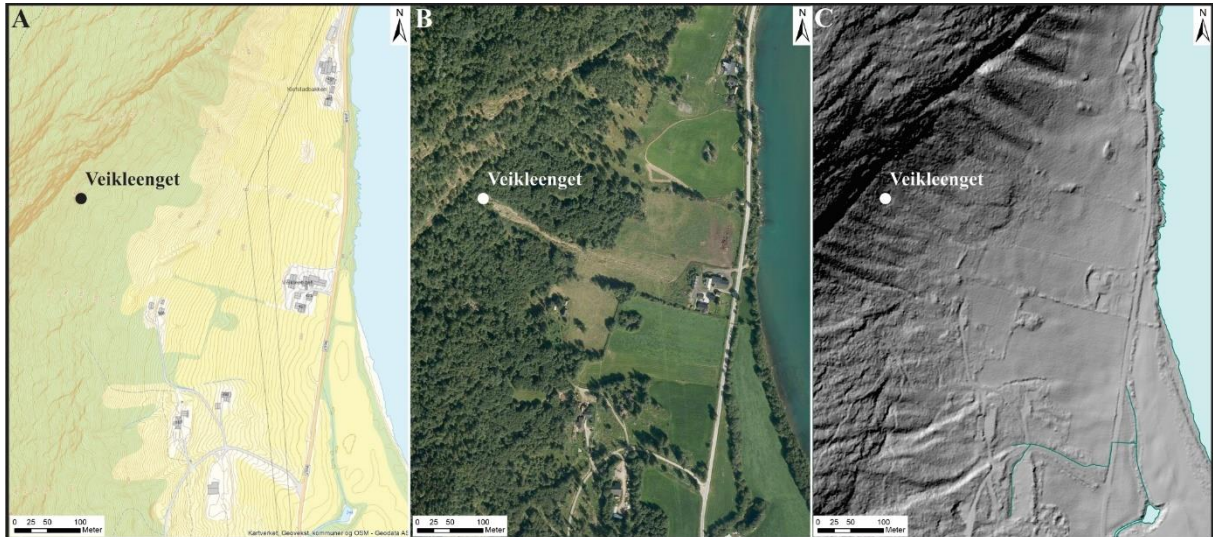
Pynten 1. Snittet er delt inn i 3 lag, hvorav lag A er >30 cm tykk og består av et konsolidert diamikton med siltig matriks og delvis klastestøttende grus og stein. Overliggende lag B er 20 cm tykk og består av en siltig, sandig matriks med enkelte klaster av grus og liten stein (Fig. 22). Laget er lite konsolidert, men det ble registrert en økning i konsolidering i de nederste 5 cm mot lag A. Lag C er 35 cm tykk og består av sand med enkelte grus- og steinklaster. Laget inneholder også en del røtter. Alle lagene er tolket som moreneavsetninger. Glideplan ligger trolig ved grensen mellom lag A og B på 50-55 cm dyp. Det ble ikke analysert sedimentprøver fra denne lokaliteten.



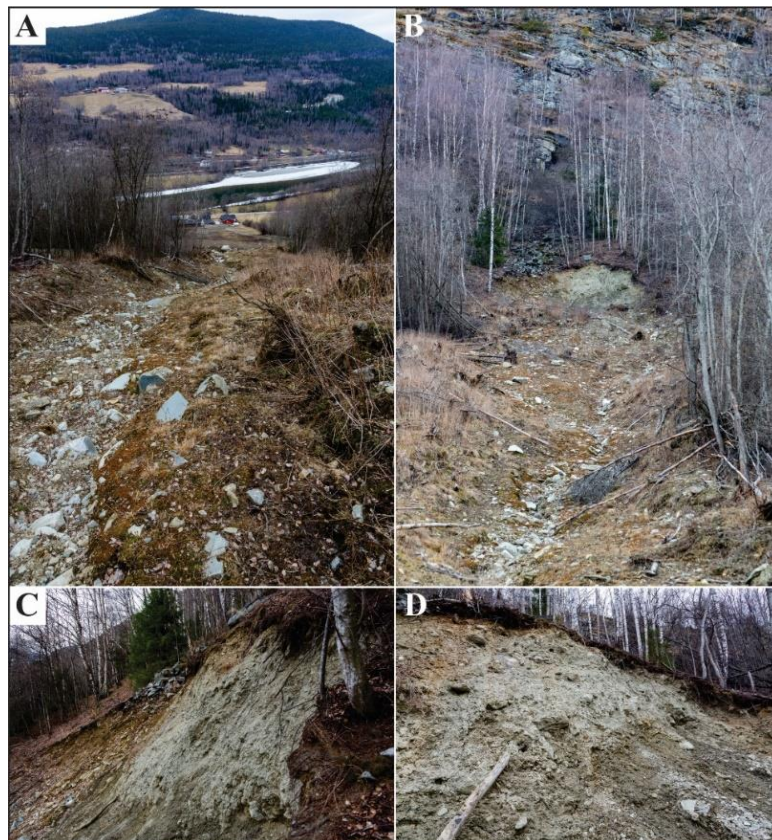
Figur 22. Stratigrafisk logg fra lokaliteten Pynten 1, Nord-Fron. Tegnforklaring vist i Figur 16.

4.2.3 Veikleenget (Nord-Fron kommune)

Den 22 mai, 2013, ca. klokken 15:00 gikk det et jordskred ved Veikleenget i Nord-Fron. Jordskredet løsnet i tykke/sammenhengende moreneavsetninger med noe steinsprang, nært dalsiden og eksponert fjell (Fig. 23). Gradienten i løsneområdet var ca. 35 grader. Mye av skredmaterialet stoppet på jordet nedenfor, men slamrikt vann gikk forbi husene, over vegen og ned til elven. Det ble registrert skader på bygningene. Selve skredkanten er 12 m bred og bakkanten er ~3 m høy (Fig. 24).

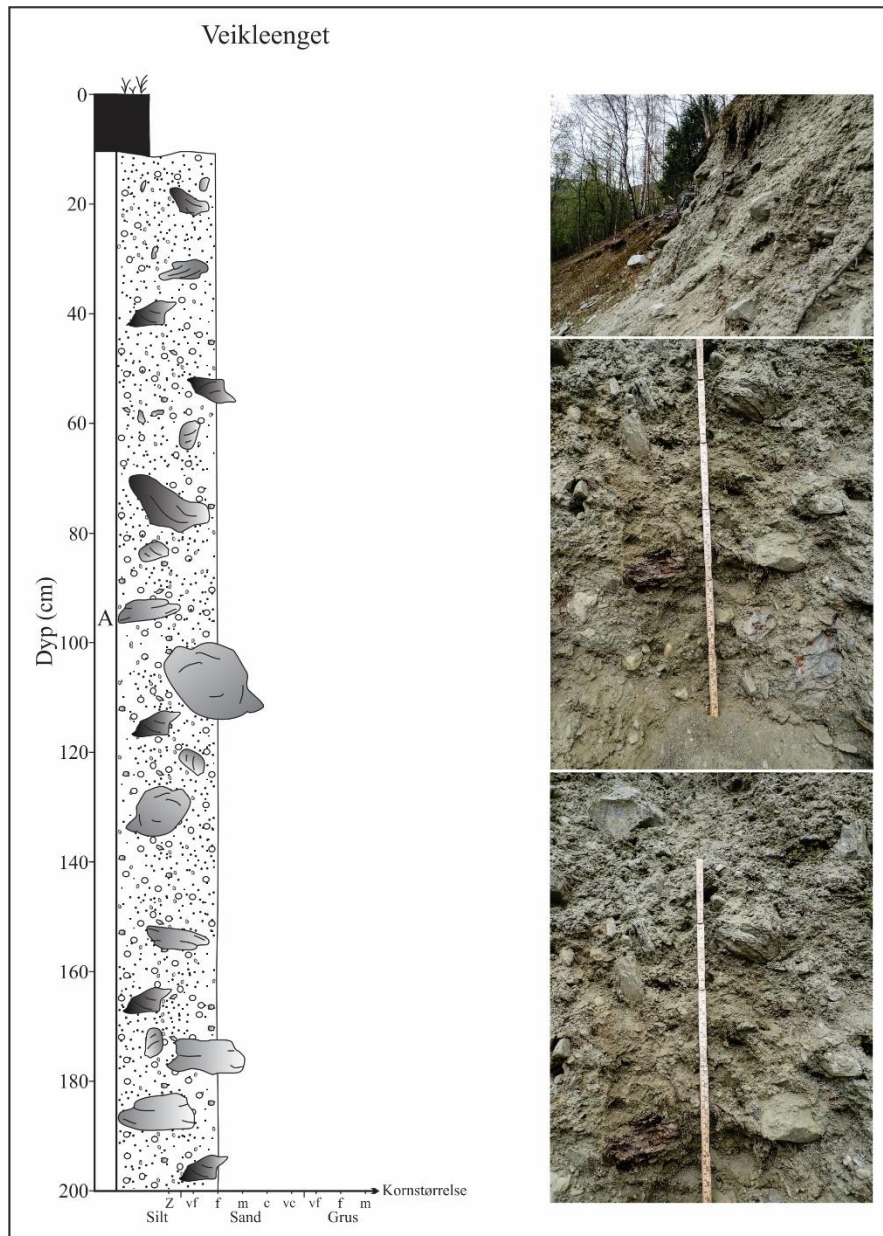


Figur 23. Skred ved Veikleenget, Nord-Fron kommune. A) Kart som viser lokaliteten ved Veikleenget (www.norgeskart.no). B) Ortofoto fra 2015 (www.norgebilder.no) med avmerking av lokaliteten for skredet som gikk i 2013. C) LiDAR-data over det samme området som i A og B.



Figur 24. Bilder som viser skredet ved Veikleenget, Nord-Fron. Skredet gikk 22 mai, 2013, kl. 15:00. Bildene er tatt i 2016.

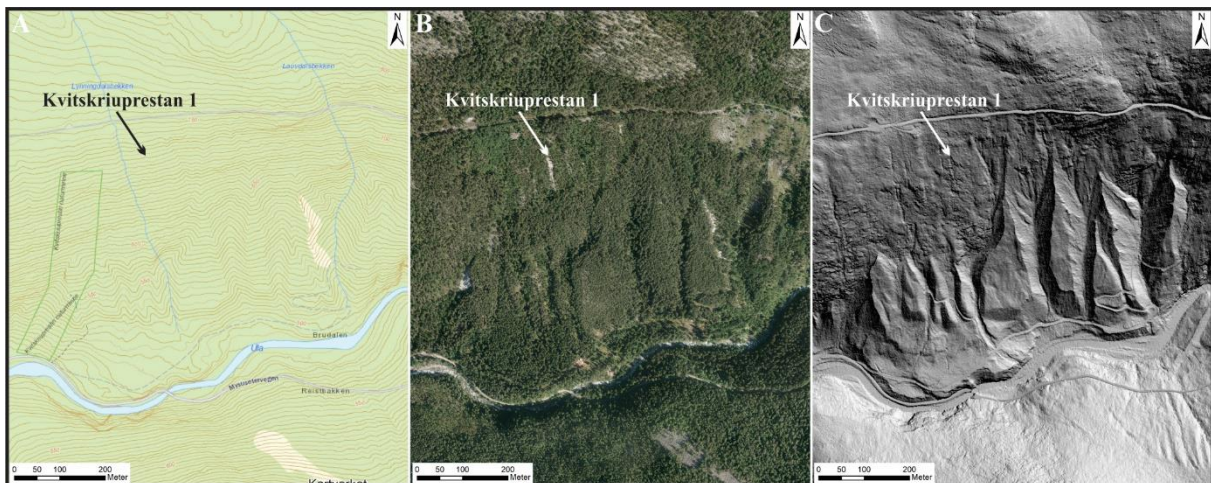
Stratigrafiske studier i skredkanten viser at sedimentene består av >180 cm med homogen, sandig, matriksstøttet grus og stein (Lag A, Fig. 25). Det er ikke registrert leire eller fin silt. Steinene er kantet til kanrundet, og ofte veldig forvitret. Maksimum kornstørrelse er 50-60 cm. Laget er tolket som moreneavsetninger. Det ble ikke analysert sedimentprøver fra denne lokaliteten.



Figur 25. Stratigrafisk logg fra lokaliteten Veikleenget, Nord-Fron. Merk homogent, relativt ensartet morenemateriale. Tegnforklaring vist i Figur 16.

4.2.4 Kvitskriuprestan (Sel kommune)

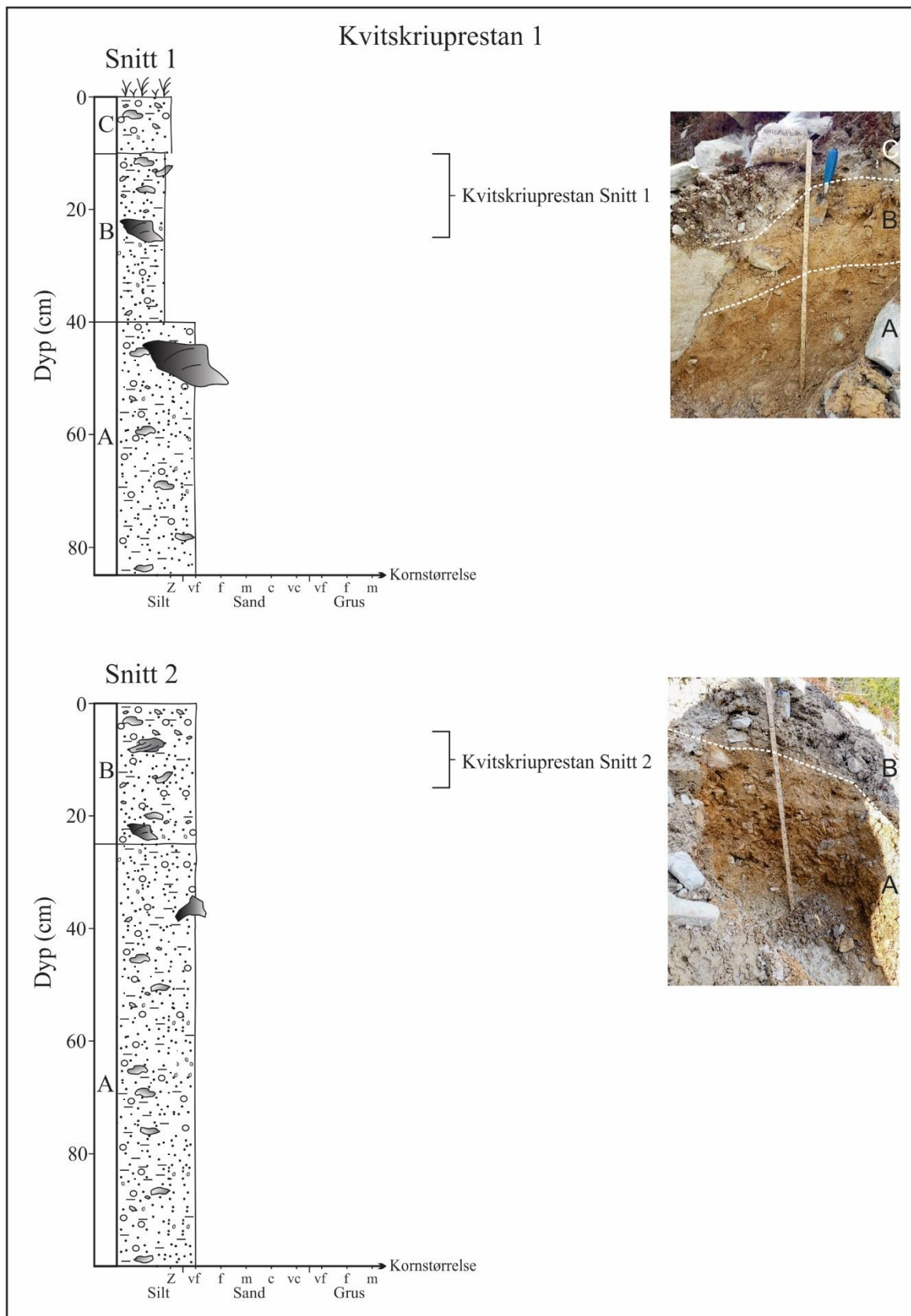
Ved Kvitskriuprestan gikk det et jordskred i 'åpen' skråning mellom 2009 og 2015 (basert på tilgjengelige ortofoto; Fig. 26). Gradienten i løsnemrådet er ~26 grader, og skredgropen er ~10 m bred. Noe stein og mindre skredmateriale har blitt kastet over kanten av skredbanen, men ingen tydelig levée er utviklet. Skredbanen har omtrent samme bredde som skredgropen. Skredgropen ble logget på to forskjellige steder for å få med mest mulig av stratigrafien samt for å få snitt gjennom det som trolig var glideplanet. Logg 1 er tatt øverst mens logg 2 ligger stratigrafisk under logg 1 (Fig. 27). To prøver ble samlet inn og analysert.



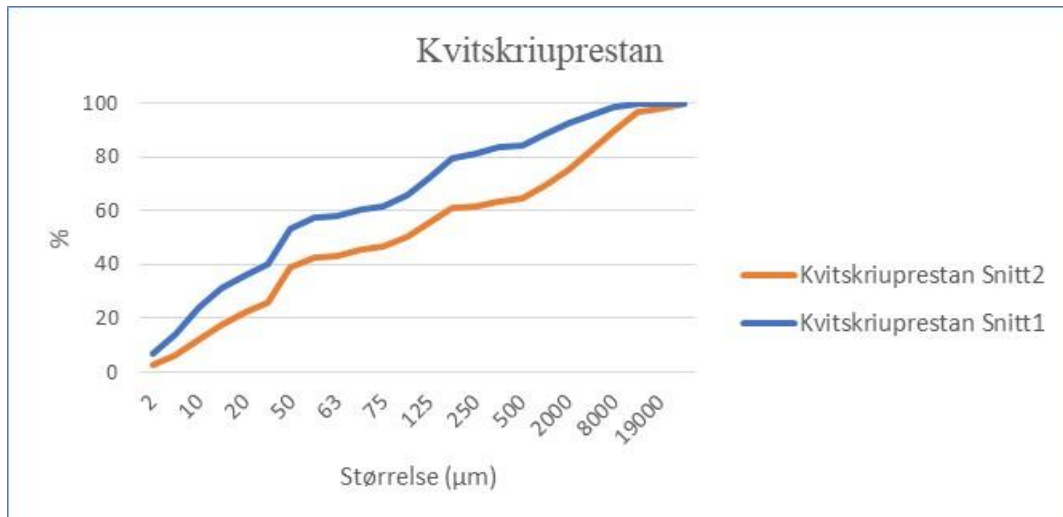
Figur 26. Grunn utglidning ved Kvitskriuprestan i Sel kommune. A) Kart som viser lokalitetene (www.norgeskart.no). B) Ortofoto fra 2020 (www.norgebilder.no) med avmerking av lokaliteten for skredet. C) LiDAR-data over det samme området som i A og B.

Logg 1 er delt inn i 3 lag hvor det nederste laget (A) består av >45 cm med rustgrå, siltig sand med spredte grus og klaster av små stein mellom blokker (Fig. 27). Overliggende lag B består av 30 cm med rustgrå silt matriks med grus og stein og enkelte større blokker opptil 1 m i diameter. Lag C er 10 cm tykt og består av en lysegrå silt med enkelte grus og stein klaster. Lagene er tolket som moreneavsetninger.

Logg 2 er delt inn i 2 lag hvor underliggende lag A består av >75 cm med rødbrun, siltig sand med grus og stein klaster (Fig. 28). Overliggende lag B består av 25 cm med gråbrun, siltig til fin sand, men generelt flere klaster enn i underliggende lag samt at laget ikke er så konsolidert som lag A. Lagene er tolket som moreneavsetninger. Glideplanet ligger trolig mellom lag A og B i snitt 2.



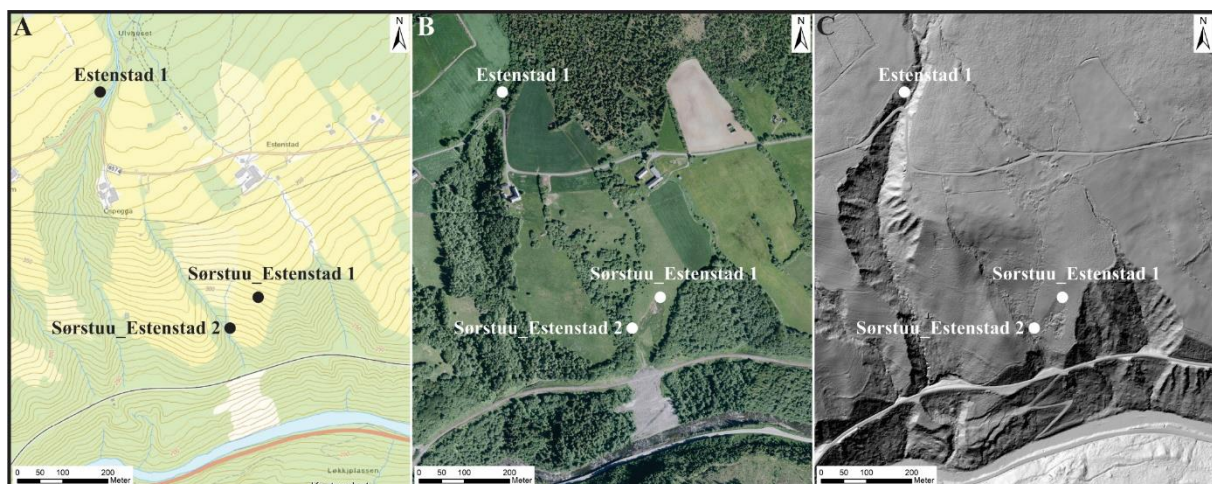
Figur 27. Stratigrafisk logg fra lokaliteten Kvitskriuprestan, Sør-Fron. Tegnforklaring vist i Figur 16. Sedimentprøver er avmerket (Kvitskriuprestan Snitt 1 og Snitt 2).



Figur 28. Kornfordelingskurve for lokalitetene ved Kvitskriuprestan. Se Figur 27 for plassering av prøvene.

4.2.5 Sørstuu-Estenstad (Midtre Gauldal kommune)

Ved Sørstuu-Estenstad, gikk det et jordskred på dyrket mark den 13 mars, 2012 ca. kl. 04:00 (Fig. 29 og 30). Gradienten i løsnemrådet er ~23 grader, og bakkanten av skredgropen er 20-25 m bred. Skredet gikk over jernbanen og nådde ned til elven Sokna, mer enn 300 m nedenfor løsnemrådet. Det ble gravd snitt i bakkanten av skredet og dette ble beskrevet og loggført (Sørstuu_Estenstad 1 i Fig. 29). Det ble tatt 3 prøver herfra for kornfordeling- og XRD-analyser. I tillegg ble det undersøkt et snitt langs en sidebekk i ravinen vest for Sørstuu_Estenstad (navngitt som Estenstad 1 i Fig. 29). Dette snittet ble ikke logget, men det ble tatt 2 prøver for XRD- og kornfordelingsanalyser. Det ble også gravd et snitt i fremkanten av en rygg ned mot jernbanen (Sørstuu-Estenstad 2 i Fig. 29). Dette snittet ble beskrevet, men ikke logget, og en prøve ble samlet inn 50-66 cm under overflaten.

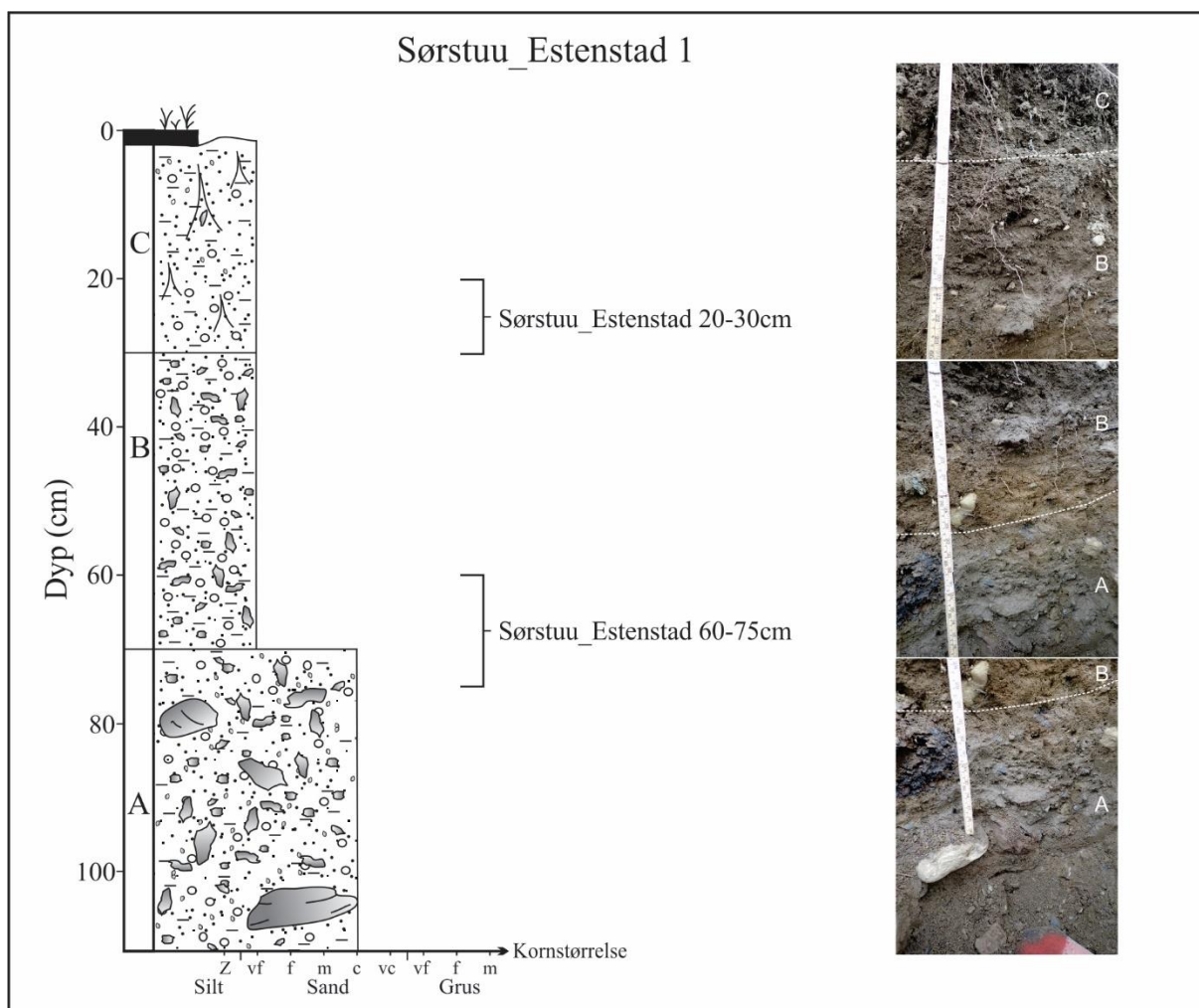


Figur 29. Jordskred ved Sørstuu_Estenstad i Midtre Gauldal kommune. A) Kart som viser lokalitetene (www.norgeskart.no). B) Ortofoto fra 2016 (www.norgebilder.no) med avmerking av lokaliteten for skredet. C) LiDAR-data over det samme området som i A og B.

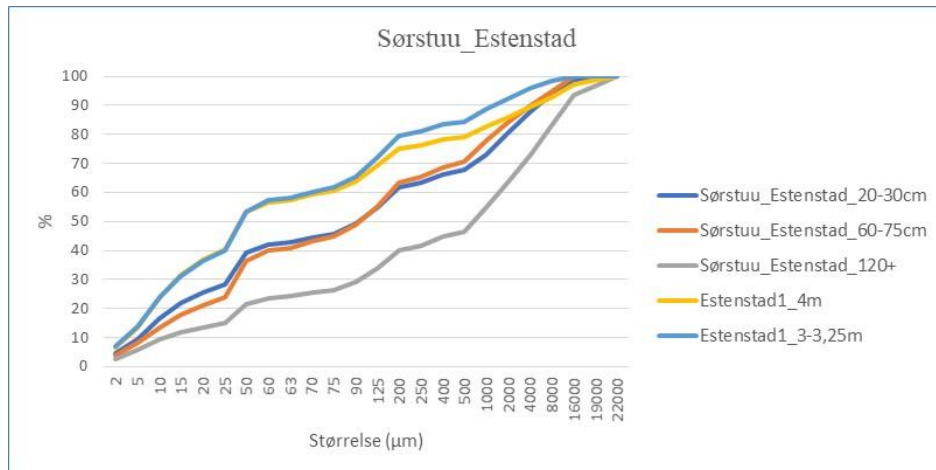


Figur 30. Graving av snitt i skredkanten ved Sørstuu_Estenstad (se Fig. 29 for plassering av snittet).

Sørstuu-Estenstad 1. Snittet er delt inn i 3 lag (Fig. 31), hvorav lag A er >45 cm tykt og består av et steinrikt diamikton med grovsand/grusig matriks (Fig. 32). Største klast var 25 cm i diameter. Klastene er kantet til subrundet. Overliggende lag B er 40 cm tykt og består også av et mer finkornet diamikton enn i A med en finsand til grusig matriks, og enkelte klaster av liten stein størrelse. Største klast var 8 cm i diameter. Lag C er 30 cm tykt og består av sand med mye røtter og representerer dyrket marklag (Fig. 32). Lagene er tolket som moreneavsetninger.



Figur 31. Stratigrafisk logg fra lokaliteten Sørstuu_Estenstad 1, Midtre Gauldal. Sedimentprøver er avmerket (Sørstuu_Estenstad 20-30 cm og 60-75 cm)

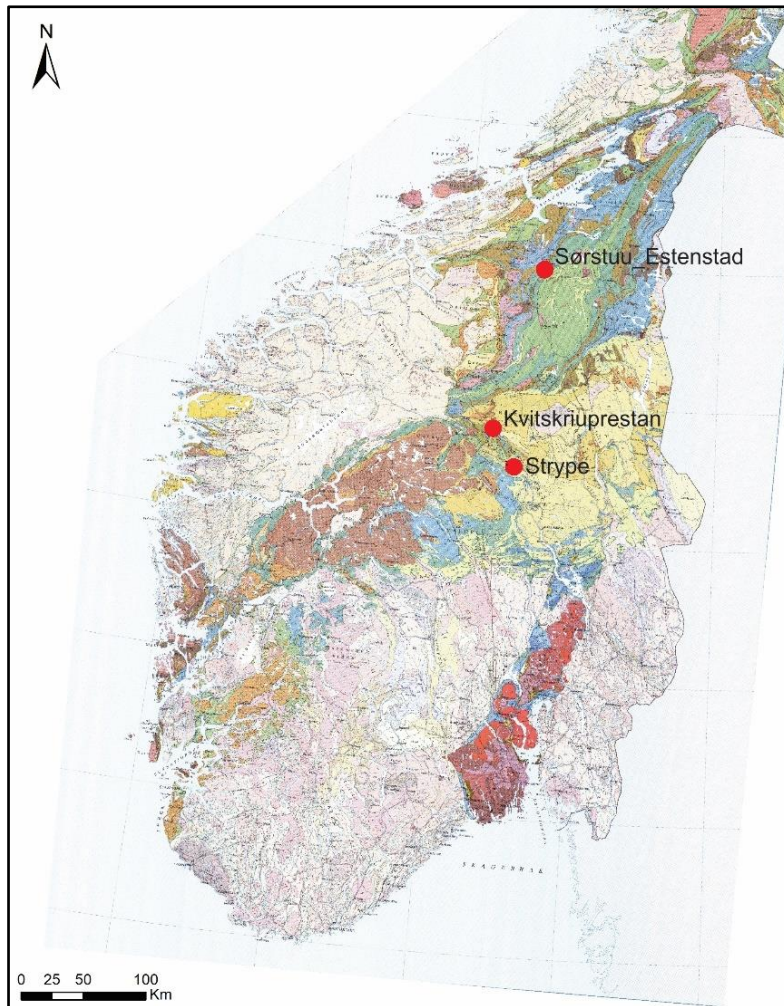


Figur 32. Kornfordelingskurver for lokalitetene ved Sørstuu_Estenstad. Se figur 31 for plassering av to av prøvene.

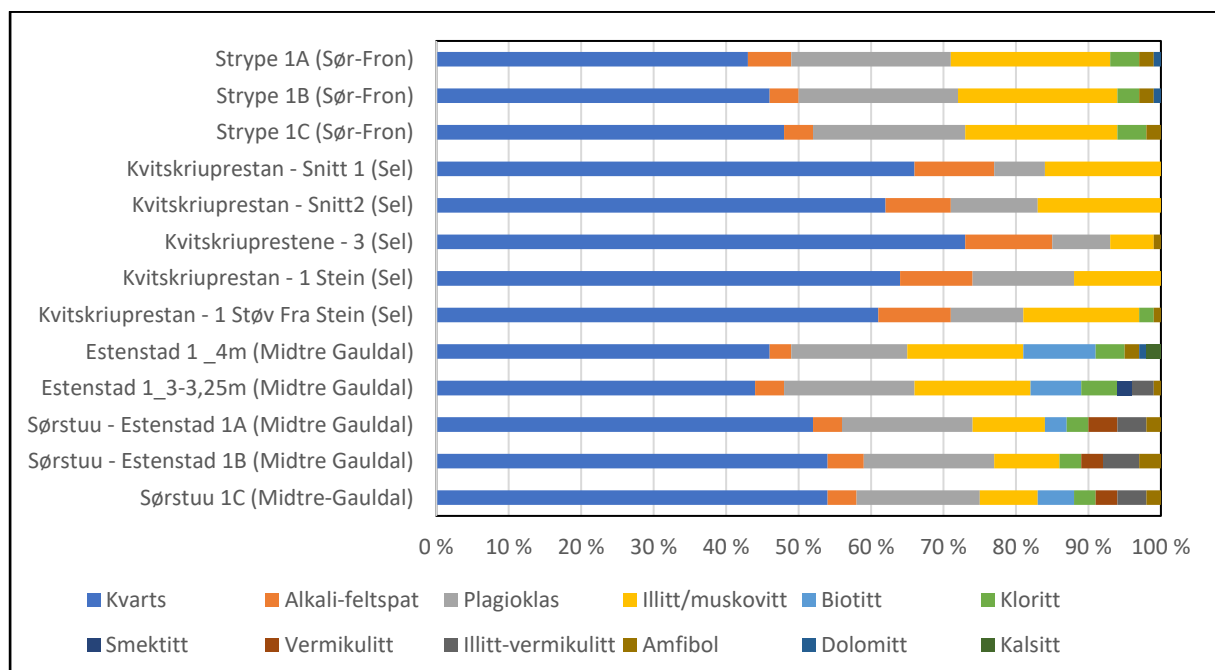
4.3 Mineralogi

Det ble utført XRD analyser av 13 prøver på 3 forskjellige lokaliteter; Strype i Sør-Fron, Kvitskriuprestan i Sel og Sørstuu-Estenstad i Midtre Gauldal (Fig. 33). Prosedyren for analysen er gjengitt i Vedlegg 3.

Resultatene viser at mineralogien for de tre lokalitetene er forskjellig (Fig. 34). Prøvene fra Sel og Sør-Fron er relativt like, men førstnevnte er generelt mer ensartet, og har mer kvartsitt og feltspat samt mindre plagioklas enn de andre lokalitetene. Det er også kun én prøve som inneholder kloritt. Prøvene fra Sør-Fron inneholder også relativt mye kvarts, plagioklas og illitt/muskovitt, men har i tillegg innslag av dolomitt som de andre lokalitetene ikke har. Prøvene fra Midtre Gauldal inneholder også kvarts, feltspat og plagioklas, men har biotitt og illitt-vermikulitt som ikke er registrert på de andre lokalitetene, samt kalsitt på en lokalitet som ikke er registrert andre steder.



Figur 33. Berggrunnskart (www.ngu.no) som viser lokalitetene som er tatt med i XRD-analysene (røde sirkler).



Figur 34. XRD analyser (mineralogisk sammensetning) av prøver. Se Figur 33 for plassering av lokalitetene.

Mineralinnholdene fra prøvene ser ut til å gjenspeile den lokale berggrunnen, og bekrefter således oppfatningen av at morenemateriale stammer fra berggrunn innenfor en radius av 5 km fra lokaliteten. Både Sel og Sør-Fron ligger i en bergartsprovins karakterisert av kaledonske sandsteiner, konglomerater og skifre, mens Midtre Gauldal er karakterisert av en hovedsakelig fyllitt skifrig bergart. Dette er i overensstemmelse med resultatene presentert av Opsal (2017, 2018) og Opsal & Langeland (2019). Betydningen dette kan ha for løsneområder av jordskred er diskutert i kapittel 5.

5. DISKUSJON

5.1 Sedimentologi/snitt

Flere av de undersøkte snittene i skredområder viser en todeling av morenedekket. Nederst ligger et generelt mer kompakt (konsolidert) diamikton med finkorning matriks, mens det ligger en løsere pakket avsetning som også har et lavere innhold av finmateriale i matriks over. Denne todelingen i moreneavsetningene kan være resultatet av en endring i den sedimentologiske avsetningsprosessen under deglasiasjonen (og under breen). Det grovere og mindre konsoliderte øverste laget kan være avsatt under den siste fase av deglasiasjonen da mye smeltevann var i omløp. Under slike forhold kan noe av det finkornete materialet i morenen ha blitt vasket bort. Samtidig var overliggende is tynnere, med lettere og kortere overlaging som resultat.

De observerte forskjellene i den nedre og øvre del av morenedekket kan også ha utviklet seg etter deglasiasjonen/avsetning. Jo nærmere overflaten jo mer utsatt er jordartene for fryse/tine prosesser, infiltrering av vann, forvitring, rotvekst osv. (Sandersen, 2014; SINTEF, 2016; Opsal 2017). Dette kan ha endret de sedimentologiske egenskapene til det øverste laget slik at mindre kornstørrelser har blitt filtrert/fraktet nedover i stratigrafien (Boulton & Paul, 1976). Dette har igjen ført til en økning i permeabilitet og dermed infiltrasjon osv. Trolig er det en kombinasjon av endrede avsetningsforhold og holosene jordomdanningsprosesser som har ført til todelingen av moreneavsetningene.

Kontrasten mellom de to lagene kan trolig forklare hvorfor mange av de kartlagte skredene virker å være grunne utglidninger, dvs. at glideplanet ligger i grensen mellom lagene og sjeldent ligger dypere enn 50 cm i løsneområdet. Regnvann og smeltevann vil lettere infiltrere det permeable øvre morenelaget, men bruke mer tid på å infiltrere ned i det tettere laget under. Det øvre sedimentlaget blir dermed fortere vannmettet og mer ustabil.

5.2 Mineralogi

Resultatene fra XRD-analysene er i tråd med resultatene rapportert av Opsal (2017, 2018) og Opsal & Langeland (2019), og indikerer at morenen på lokalitetene er forskjellige og gjenspeiler den lokale berggrunnen. Variasjon i kornstørrelse, kornform, ruhet og mineralogi påvirker alle skjærstyrken til et materiale (Bolton, 1986; Yagis, 2001; Fannin et al., 2005; Duncan et al., 2014). Opsal (2017, 2018) fant at prøver av moreneavsetninger samlet inn i samme bergartsprovins som lokalitetene i Sør-Fron og Sel ligger i, generelt har lavest friksjonsvinkel og lavest maksimum skjærstyrke sammenliknet med prøver fra andre bergartsprovinser. Hvorvidt den relativt høye andelen av skred i Sør-Fron i forhold til andre områder kan forklares bl.a. ut fra en slik sammenheng er usikkert, til det er datagrunnlaget for lite, men det kan ikke utelukkes og bør undersøkes nærmere. Flere analyser må gjøres fra flere lokaliteter for å få et bedre datagrunnlag regionalt.

5.3 GIS-analyser

De fleste løснеområdene med lav gradient ligger på det som i dag er dyrket mark, mens de med større gradient (typisk $> 30^\circ$) er relatert til skogkledte skråninger. Hvorvidt det var lite vegetasjon på tidspunktet skredet gikk er usikkert, og man kan også argumentere med at dyrking av jord uansett er konsentrert i områder med liten helning. Likevel er det påfallende at så mange løснеområder er relatert til dyrket mark. For å finne ut om det er en direkte sammenheng mellom gradienten til løснеområder og vegetasjon vil en gjennomgang av flere registreringer koblet opp mot historiske hendelser og eventuelle dateringer være viktig.

Analyser ved hjelp av *Flow Accumulation* viser en svak korrelasjon mellom dreneringsområdets størrelse og skråningsgradienten i løснеområdet for noen jordarter; skred løsner på lavere gradienter dersom et stort område drenerer inn til løsnepunktet. Det bemerkes at dette er basert på et relativt lite antall løснеområder, men er like fullt i tråd med tidligere funn (Zimmermann, 1990). Det er liten eller ingen korrelasjon for jordskred i morenemateriale mens trenden er noe tydeligere for utglidninger i hhv tynt torvdekke på bart fjell, forvittringsmateriale og skredavsetninger. Hvorvidt dette skyldes geotekniske, stratigrafiske eller sedimentologiske egenskaper til jordarten, eller en kombinasjon av disse, gir ikke analysene i dette arbeidet grunnlag for å konkludere med.

6. KONKLUSJON

Gjennom GIS-analyser av 488 jordskred i åpne skråninger registrert i NGUs detaljerte løsmassedatabase, feltundersøkelser og analyser av innsamlete prøver kan følgende konklusjoner trekkes:

- Løснеområdene til jordskredene er funnet i mange ulike løsmassetyper, men de fleste opptrer i morene, ulike typer skredavsetninger og forvittringsmateriale.
- En rent genetisk jordartsklassifisering bidrar i liten grad til å identifisere potensielle kildeområder for jordskred i åpne skråninger.
- Gradienten i løснеområdene spenner fra 17 til 44 grader, de fleste (42%) ligger mellom 25 og 30 grader.
- I Sør-Fron er en stor del av løснеområdene med lavere gradienter relatert til dyrket mark, mens samtlige skred bratter enn 35 grader løsnet i skog. Imidlertid gjør usikkerhet rundt alderen til skredene at man ikke kan utelukke at det var en annen vegetasjon da skredet gikk.
- Moreneavsetningene viser ofte en todelt stratigrafi hvor nederste del inneholder relativt mye finkornet materiale (silt) og er konsolidert, mens overliggende del er grovere og mindre konsolidert. Glideplan til skredene virker ofte å ligge i grensen mellom disse lagene, og skyldes trolig at det underliggende, kompakte laget opptrer som en barriere for infiltrasjon av vann og dermed oppbygning av poretrykk i laget over.
- Mange av løснеområdene er relativt grunne (~ 0.5 m), og reflekterer tykkelsen på det øverste morenelaget.
- Mineralogien til morenene reflekterer den lokale berggrunnen og kan ha direkte innvirkning på skjærstyrken til sedimentene.
- Den detaljerte løsmassedatabasen til NGU har vist seg å ha verdifulle data som er egnet for undersøkelser av denne typen skred. Antallet registreringer i denne databasen ventes å øke i tiden fremover slik at potensialet for ulike typer analyser bli større.

REFERANSER

Bolton, M.D. 1986: The strength and dilatancy of sand. *Géotechnique* 36, s. 65-78.

Boulton, G.S. & Paul, M.A. 1976: The influence of genetic processes on some geotechnical properties of glacial tills. *Quaternary Journal of Engineering Geology* 9, s. 159-194.

Clark, P.U. 1987: Subglacial Sediment Dispersal and Till Composition. *Journal of Geology* 95, s. 527–541. <https://doi.org/10.1086/629147>.

Dreimanis, A. & Vagners, U.J. 1971: Bimodal Distribution of Rock and Mineral Fragments in Basal Tills. I Goldthwait, R.P. (ed.): *Till/ a Symposium*, s. 237–250.

Duncan, J.M., Wright, S.G. & Brandon, T.L. 2014: *Soil strength and slope stability*, 2nd edition, Wiley, Hoboken, 317 s.

Fannin, R.J., Eliandorani, A. & Wilkinson, J.M.T. 2005: Shear strength of cohesionless soils at low stress. *Géotechnique* 55, s. 467-478.

Opsal, Ø.L. 2017: Shear strength of dry tills from the southern half of Norway in relation to bedrock geology. *Norwegian Journal of Geology* 97, 2, s. 145-169.

Opsal, Ø.L. 2018: Geological parameters and shear strength of dry tills from the southern half of Norway in relation to bedrock geology. PhD avhandling, Norwegian University of Science and Technology Faculty of Engineering, Department of Geoscience and Petroleum, 168 s.

Opsal, Ø.L. & Langeland, J.M. 2019: Geological parameters in relation to bedrock geology and shear strength of dry tills: samples from the southern half of Norway. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 78, s. 1359-1370.

Reite, A.J. 1990: Sør-Trøndelag. Quaternary geological map, scale 1:250,000 with description (in Norwegian), *Norges geologiske undersøkelse Skrifter* 96, s. 1–39.

Rubensdotter, L., Sletten, K. and Sandøy, G. 2020: Morphological description of erosional and depositional landforms formed by debris flow processes in mainland Norway. In: *Landscapes and Landforms of Norway, World Geomorphological Landscapes*. Beylich, A.A. (ed). s. 225-240. https://doi.org/10.1007/978-3-030-52563-7_10

Sandersen, F. 2014: Løsmasse og flomskred. I Høeg, K., Karlsrud, K. & Lied (eds.): *Skred: Skredfare og sikringstiltak: praktiske erfaringer og teoretiske prinsipper*. Universitetsforlaget, Oslo, s. 77-93.

SINTEF 2016: Byggforskserien: Løsmasseskred i bratt terreng, Farevurdering og sikringstiltak. Trondheim, SINTEF Byggforsk.

Sletten, K. 2002: Holocene mass-movement processes in Norway, and the development of a moraine complex on Svalbard, Geomorphology, sedimentology, chronostratigraphy and palaeoclimate (PhD-thesis)

Sletten, K og Blikra, L.H. 2007: Holocene colluvial (debris-flow and water-flow) processes in eastern Norway: Stratigraphy, chronology and palaeoenvironmental implications. *Journal of Quaternary Science* 22 ,6, s. 619 - 635.

Thoresen, M.K. 2000: Kwartærgeologisk kart over Norge, Tema: Jordarter, 2dre trykk. Norges Geologiske Undersøkelse, Trondheim, 64 s.

Yagiz, S. 2001: Brief note on the influence of shape and percentage of gravel on the shear strength of sand and gravel mixtures. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 60, s. 321-323.

Zimmermann, M. (1990). Debris flows 1987 in Switzerland: geomorphological and meteorological aspects. *IAHS, Hydrol. Mountainous Regions* 2, 194, s. 387-393.

VEDLEGG 1. Eksempel på skjema brukt i felt for å beskrive skredlokaliteter

STRYPE 1, SørFron


Parameter	Forklaring	Registrering
Koordinater		61 33 22 N 9 59 59 Ø
ID	Lokalitetsnavn.	Strype 1 Sør-Fron
Dato	Når arbeidet er utført.	13.05.2020
Registrerer	Navnet på person(er) som utfører registreringene.	Lena Rubensdotter og Kari Sletten
Skredtype	Jordskred – åpen, trekant, 'innesluttet' etc.	Grund utglidning/jordskred
Objekt type	Enkelthendelse/flere hendelser/større område	Enkelthendelse, men tre skred på samme jorde i april 2018, samt ett skred i 2002
Høyde over havet	Øverste avgrensning av skredet.	562 m.o.h.
Koordinater	Utløsningsområdet – hentes fra felt-pc/GPS. For større områder kan hjørnepunkter brukes.	
Bredde løsneområdet	Maksbredde for skred'gropen'/bakkant, på tvers av skredretningen. Oppgi målemetode.	
Lengde løsneområdet	Makslengde for skredgropen, langs skredretningen. Oppgi målemetode.	
Høyde skredkant		40-50 cm
Karakteristikk løsneområde	Beskrive løsneområdet (kurvet, trappetrinn, eksponert fjell, ruglet, planar, glatt, drenering/tilstedeværelse av vann etc.).	Svakt konvekst (på tvers) gressbevokst, "glatt" jorde. Ingen knekk i gradient ved skredet. Ikke eksponert fjell. Antagelig flere meter tjukk morene. Ingen tegn til overflatedrenering. Ser ingen tegn til grunnvann utslag/kildehorisont i skredgropa.

Berggrunn	Bergartstype i løснеområdet	
Når	Sjekk med grunneier/media eller andre kilder og, hvis mulig, tidfeste skredet så godt som mulig. Kildehenvisning bør også med.	apr.18
Gradient for løснеområdet	Kan hentes fra LiDAR data, men bør likevel måles/sjekkes i felt.	20-25 grader
Logg	Graving av snitt og gjøre en så god sedimentologisk dokumentasjon av det som mulig. NB! Husk egnet spade (hard/tung)! Viktig å gjøre registreringer (om mulig) av: Tykkelse (både lag og løsmassedekke), kornfordeling, mineralogi, permeabilitet, porøsitet, kompaksjon, lagdeling osv. NB2! Kan være lurt å gjøre en tolkning av avsetningene i felt... Infiltrimeter kan brukes for permeabilitetsmålinger.	Logg på mm-papir.
Glideplan	Identifisere glideplan om mulig. Viktig å få prøver av sedimentene her.	Gildeplan trolig på 45 cm. Laget over er løst konolidert og har røtter. Under er det mer konolidert og mer stein. Prøve Strype 1 35-10 cm under overflata. Prøve Strype 1 40-60 cm under overflata og Prøve Strype 1 60-80 cm under overflata.
Foto	Ta mange og gode bilder – helst med skala. Dronebilder der mulig.	Bilder i Fotomappe på Teams.
Prøvetaking	Prøvetaking av relevant materiale (matriks, de enkelte lag osv.). Måle mps hvis det ikke er mulig å prøveta.	Tre sedimentprøver tatt. 10-35 cm under overflata, 40-60 cm under overflata, 60-80 cm under overflata. Logg laget på mm papir. MPS målt til 25x18 cm i snittet. Vi observerte et par blokk opp mot 60 cm lenger ned i gropa.
Skredlengde (luftlinje)	Fra øverst skredkant til nederst avsetning.	
Skredlengde (langs bakken)	Fra øverst skredkant til nederst avsetning.	150 (usikkert, skredet gikk ned i en bekk)

Skråningsgradier for skredet	Eks. hvor avsetning begynner, slutter, erosjon, leveer etc.	skredgropa: 18-26 grader, avsetn begynner ved 18-28 grader, Leve langs søndre side av skredgropa 18-22 grader
Skred karakteristikk	Beskrive skredbane og avsetninger så godt som mulig (tykkelse, levéer, bredde osv.).	Skredbanen er lite erosiv. Skredmaterialet (med stort vanninnhold) fløt/skled nedover jordet nedenfor skredgropa. Sedimenter på trær 1 m over bakkenivå. Det meste av sedimentene avsatt på jordet nedenfor skredgropa, men noe fortsatte ut i bekken og videre nedover. Ukjent hvor langt sedimentene ble ført med elva. Kan ha gått helt ned i dalbunnen, men gjorde ingen skade på veien.
Annet	Kommentarer eller annen informasjon som bør med.	Eier av Søndre Strype forteller at været var godt da skredet gikk (de satt ute og drakk kaffe).

VEDLEGG 3. Prosedyre for XRD analyser

 NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE - NGU -	Leiv Eirikssons vei 39 NO - 7040 Trondheim Tlf.: 73 90 40 00 E-post: lab@ngu.no								
Instrument:	BRUKER D8 Advance med Cu røntgenrør og Lynxeye XE detector.								
Metoder:	LABdok_M01: XRD-analyser								
Analyseformål:	Identifikasjon og kvantifisering av mineraler ved XRD								
Oppdragsnummer:	2020,0228								
Prosjekt nummer:	390100								
Oppdragsgiver:	Maria Kvam/Raymond Eilertsen								
XRD scan:	Cu K α , 40 kV/40 mA, scan 3-75°2 θ ; step size = 0.02 °2 θ ; time/step = 1 s; sollar slits 2.5 ° fixed divergence slit 0.6 mm; Ni-filter; knife edge; rotasjon 1/30								
Prøvetype:	sediment								
Antall prøver:	13								
Nedre bestemmelsesgrense:	Den nedre bestemmelsesgrensen er avhengig av mineral, men er vanligvis 1-2 vekt%.								
Usikkerhet:	Avhengig av prøvematerialet har Rietveld modellering en usikkerhet på minst 2-3 vekt%.								
Kontrollrutiner:	Kontrollprøve kjøres rutinemessig (2 θ -value/d-value) og resultatene registreres i kontrolldiagram (X-diagram). Disse kan forevises om ønskelig.								
Anmerkninger:	Se kommentarer side 3. Rådata av scan kan leveres på forespørsel.								
Delrapport med forside ("Forside_XRD") og sider med analysedata ("Data_XRD") og tilleggsinformasjon ("Kommentarer_XRD"). Fullstendig analyserapport finnes kun i papirformat. Gjengivelse av analysedata skal skje på en slik måte at meningsinnholdet i rapporten ikke endres.									
Ferdig analysert	16.03.2021	Jasmin Schönenberger							
	Date	Operatør/Datatolkning							

 NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE - NGU -	Leiv Eirikssons vei 39 NO - 7040 Trondheim Tlf.: 73 90 40 00 E-post: lab@ngu.no								
Kommentarer om XRD analyser									
Mineralidentifisering skjer med automatisk eller manuelt søk etter topp-posisjoner i BRUKER programvare Diffrac.EVA ver5.2. Både Crystallographic Open Database (COD) og PDF 4 Minerals fra ICDD (International Centre for Diffraction Data) brukes som databaser. Mineralkvantifisering gjøres med Rietveld modellering og programvare TOPAS 5.0.									
Prøver 114611, 114621, 114622 og 114623: Det ble laget teksturpreparater for å nærmere kunne identifisere blandsjiktmineralene. Teksturpreparatene ble analysert ved romtemperatur, etter behandling med etylenglykol og etter varmebehandling i en time ved 550 grader C. Merk at det kan angis omtrentlige mineralkonsentrasjoner for disse fire prøvene pga. av manglende strukturdata for illitt-vermikulitt blandsjiktmineralet. Usikkerheten blir da større enn det som oppgis på forsida.									
Forkortelser:									
GOF/Rwp	GOF betyr "goodness of fit" og angir sammen med Rwp pålitelighet av Rietveld modellering. [det gjelder omtrent: GOF < 2.5: meget bra modellering; GOF < 3: pålitelig modellering]								
Rwp	weighted profile factor								
qtz	kvarts			sm	smektitt				
K-fsp	alkali-feltspat			verm	vermikulitt				
plag	plagioklas			ill-verm	illitt-vermikulitt blandsjikt				
ill/musc	illitt/muskovitt			amph	amfibol				
bt	biotitt			dol	dolomitt				
chl	kloritt			cal	kalsitt				



NORGES
GEOLOGISKE
UNDERSØKELSE
- NGU -

Norges geologiske undersøkelse
Postboks 6315, Sluppen
7491 Trondheim, Norge

Besøksadresse
Leiv Eirikssons vei 39
7040 Trondheim

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