

Kristin Lund

Utløsning av jordskred

Sammenheng mellom landskap og skredaktivitet

Masteroppgave i Geologi
Veileder: Ola Fredin, IGP
Medveileder: Jose Pullarello, NGU
Mai 2024

Kristin Lund

Utløsning av jordskred

Sammenheng mellom landskap og skredaktivitet

Masteroppgave i Geologi
Veileder: Ola Fredin, IGP
Medveileder: Jose Pullarello, NGU
Mai 2024

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for geovitenskap og petroleum



Kunnskap for en bedre verden

Abstract

Landslides are not the most severe geohazard in Norway, but nevertheless a geohazard that has caused major destruction to roads and buildings, and which has claimed human lives. With the predicted increase in extreme weather and triggering of landslides and floods, Geological Survey of Norway (NGU) has carried out an NVE-funded project to identify release areas for landslides. This thesis is included in part 2 of the project and will assess whether landscape type has a role in the triggering of landslides. The main part of the thesis assessed whether the occurrence of landslides is greater within certain landscape types or landscape factors, and whether there is a connection between landslide activity and landscape. The data used was the landscape classification system *Natur i Norge 2.2.0*, landslide points from NGU's Quaternary maps and the extreme weather event *Hans* of august 2023, as well as an activity map for landslides (under preparation at NGU).

It was found that a majority of the landslides have occurred in the landscape type *Relatively open valley below the forest line*, but that a causal relationship between landscape and activity cannot be claimed as most areas of this landscape type have not demonstrated landslide activity. The similarity in the distribution of landslides from previous landslide events and from the recent *Hans* event was convincing enough to suggest that detailed Quaternary geological maps will continue to be a good aid in landslide hazard mapping, also for extreme weather events.

Sammendrag

Jordskred er ikke den største geofaren i Norge, men likevel en geofare som har stått for store ødeleggelser på veier og bygninger, og som har krevd menneskeliv. Med forespeilet økning av ekstremvær og utløsning av jord- og flomskred, har Norges Geologiske Undersøkelse (NGU) gjennomført et NVE-finansiert prosjekt for å identifisere løsneområder for jordskred. Denne oppgaven inngår i del 2 av prosjektet og skal vurdere om landskap har en betydning for utløsning av jordskred. Det ble i hovedsak vurdert om forekomsten av skred er større innenfor enkelte landskapstyper eller landskapsfaktorer, og om det finnes en sammenheng mellom skredaktivitet og landskap. Benyttet data var landskapsklassifikasjonssystemet *Natur i Norge 2.2.0*, skredpunkter fra NGUs løsmassekartlegging og ekstremværhendelsen *Hans* som skjedde i august 2023, samt aktivitetskart for jordskred (under utarbeidelse ved NGU).

Det ble funnet at en stor andel av skredene har gått i landskapstypen *Relativt åpent dal-landskap under skoggrensen*, men at en årsakssammenheng mellom landskap og aktivitet ikke kan hevdes da de fleste områdene av denne landskapstypen ikke har påvist skredaktivitet. Likheten i distribusjonen av jordskred fra tidligere skredhendelser og fra *Hans* var overbevisende nok til at det foreslås at detaljerte kvartærgeologiske kart fortsatt vil være et godt hjelpemiddel i skredfarekartlegging, også for ekstremværhendelser.

Denne masteroppgaven er utført ved institutt for geovitenskap og petroleum ved Norges teknisk- naturvitenskapelige universitet (NTNU). Denne oppgaven markerer slutten på et geologistudium som startet med en bachelor i geologi fra Universitetet i Oslo (UiO), og som avsluttes i min hjemby Trondheim med en toårig master i miljø- og anleggsgeologi, retning ingeniørgeologi.

Oppgaven er skrevet i samarbeid med Norges geologiske undersøkelse (NGU) under veiledning av Jose Pullarello, og hovedveileder fra NTNU, Ola Fredin.

Jeg ønsker å takke Maria Ileby Finjord for et fint og morsomt samarbeid i både felt- og labarbeid. Jon Runar Drotninghaug og Lene Margrethe Pallesen for god veiledning i sikteanalyse og laserdiffraksjon. Jose Pullarello for god veiledning innen GIS-analyse og feltarbeid, og Ola Fredin for gode råd og utmerket hjelp i både skriving, labarbeid og feltarbeid. Jeg vil også takke gårdbrukerne i Kvikne og Espedalen som lot oss utføre feltarbeid på eiendommen deres. Mine studiekamerater for gode stunder og godt humør på lesesal. Sist, men ikke minst, min samboer Erlend Hestnes for uvurderlig støtte gjennom hele studiet.



Innholdsfortegnelse

Sammendrag	i
Forord	iii
Innholdsfortegnelse	vii
Figurliste	vii
Tabelliste	xi
Forkortelser	xv
1 Introduksjon	1
1.1 Problemstilling	1
1.2 Bakgrunn for problemstilling	2
2 Teori	4
2.1 Kvartærgeologi og løsmasser	4
2.1.1 Løsmassenes fysiske egenskaper	5
2.1.2 Klassifisering av løsmasser	11
2.2 Jordskred	14
2.2.1 Forskjellen mellom jord- og flomskred	14
2.2.2 Skredtyper	14
2.2.3 Skredprosesser	15
2.3 Utløsning av jordskred	15
2.3.1 Skråningens helningsvinkel	16
2.3.2 Vannmetning og drenering	16
2.3.3 Glideplan	16
2.3.4 Vegetasjon	17
2.3.5 Vær og klima	17
2.3.6 Andre faktorer	17
2.4 Landskap	17
2.4.1 Natur i Norge (NiN)	17
2.4.2 Inndeling av landskapstyper	18
2.4.3 Komplekse landskapsgradienter	19

2.5	Nasjonalt referansesystem for landskap (NIBIO)	20
2.6	Aktivitetskart	21
2.7	NGU punktdata - tidligere skredhendelser	22
2.8	<i>Hans</i> -data med skredpunkter	24
2.9	Geografiske informasjonssystem (GIS)	24
2.9.1	Vektordata	25
2.9.2	Rasterdata	25
2.9.3	Aktuelle ArcGIS PRO verktøy	26
2.10	Fjernanalyse	27
2.10.1	Digitale terrengmodeller (DTM)	27
2.10.2	Topografisk ruhetsindeks (TRI)	27
2.10.3	Topografisk posisjonsindeks (TPI)	28
3	Områdebeskrivelse	29
3.1	Områdebeskrivelse feltlokaliteter	29
3.1.1	Regional berggrunnsgeologi	29
3.1.2	Regional kvartærgeologi	31
3.1.3	Skredhendelser	34
4	Metode	35
4.1	GIS-analyser	35
4.1.1	Data	35
4.1.2	Innledende analyser	35
4.1.3	Gruppering av grunntyper	36
4.1.4	Sammenlikning med aktivitetssonekart	38
4.1.5	Sammenlikning KLG-er med skredpunkter fra <i>Hans</i> og tidligere skredhendelser	40
4.1.6	Topografisk ruhetsindeks	41
4.1.7	Topografisk posisjonsindeks	42
4.1.8	Skredpunkter i NIBIO	42
4.2	Feltundersøkelser	42
4.3	Laboratorieanalyser	43
4.3.1	Sikteanalyse	44
4.3.2	Laserdiffraksjon	47
4.3.3	Petrografisk analyse	48
4.4	Kvartærgeologisk kart for feltområdet i Kvikne, Vinstra	48
5	Resultater	49
5.1	GIS-analyser	49
5.1.1	Innledende analyse	49
5.1.2	Gruppering av grunntyper	50
5.1.3	Sammenlikning med aktivitetssonekart	54
5.1.4	<i>Hans</i>	61
5.1.5	Sammenlikning KLG-er med skredpunkter fra <i>Hans</i> og tidligere skredhendelser	64
5.1.6	Tidligere skredhendelser i NIBIO	66
5.1.7	TRI i skredpunkt	67
5.1.8	TPI i skredpunkt	68
5.2	Feltobservasjoner	69
5.2.1	Skred 1	69
5.2.2	Skred 2	72
5.2.3	Skred 3	73

5.2.4	Skred 4	76
5.2.5	Skred 5	77
5.2.6	Skred 6	78
5.2.7	Skred 7	79
5.3	Laboratorieanalyser	80
5.3.1	Prøvemateriale	80
5.3.2	Sikteanalyse	80
5.3.3	Laserdiffraksjon	83
5.3.4	Petrografisk analyse	85
5.4	Kvartærgeologisk kart	86
6	Diskusjon	89
6.1	Tidligere studier	89
6.2	Valg av landskapsmodell	89
6.3	Tidligere skredhendelser	90
6.4	Relieff og dalnedskjæring	92
6.5	Plassering i forhold til den klimatiske skoggrensen	92
6.6	Sammenheng mellom aktivitetskart og landskap	93
6.7	<i>Hans</i>	95
6.8	Landskapets innvirkning på utløsningen av jordskred	96
6.9	GIS analyse av digital terrengmodell	98
6.10	Feltundersøkelser og kvartærgeologisk kart	98
6.10.1	Løsmasser	101
6.11	Videre arbeid	103
7	Konklusjon	105
	Referanser	106
	Vedlegg:	113
	A - GIS: Innledende analyser - Set 1	114
	B - Areal av landskapstype	118
	C - Oppsummering	121
	D - Laboratorieanalyser	123

Figurliste

2.1.1 Demonstrasjon av sikteanalyse (fra Jørgensen mfl. (2013), s. 16).	6
2.1.2 Kornkurve for fire ulike løsmasseprøver (Fra Brattli, 2018, s.6). Morene- materiale viser typisk en velgradert kurve som stekker seg over alle frak- sjonene. Breelvsmateriale inneholder mindre finstoff, men kan ha en mer eller mindre god sortering innenfor de grovere fraksjonene.	6
2.1.3 Kornform og sortering (modifisert fra McGoldrick, 2020.)	7
2.1.4 Forhold mellom flisighet og stengelighet, fra Statens Vegvesen (SVV, 2014).	8
2.1.5 Normalspenning σ virker normalt på planet. Skjærspenning τ virker pa- rallelt med planet (Modifisert etter Li, 2021, s.9.)	9
2.1.6 Topp: En løs lagret jordart utsettes for skjærbevegelser, resultatet er vo- lumreduksjon. Bunn: En fast lagret jordart utsettes for skjærbevegelser, resultatet er volumøkning. (Emdal, 2022, s. 81)	11
2.1.7 Terrassedannelse i sanduravsetninger ved elveerosjon (Brattli, 2018, s. 112)	13
2.1.8 Typisk fordeling av løsmasseavsetninger i en norsk dal (Sandersen, 2014). Se tegnforklaring i figur.	14
2.4.1 Natur i Norge (NiN) i inndelingen “grunntype”. Det er i alt 284 forskjel- lige grunntyper. Vindu til høyre viser en forstørrelse av området Kvikne, Vinstra, for å demonstrere polygonstørrelse.	18
2.4.2 Trinnvis inndeling av landskapstyper (NiN).	19
2.4.3 Hovedtyper og hovedtypegrupper, basert på NiN inndeling av landskaps- typer.	19
2.4.4 Grunntype (her LA-IA-54) bestemmes av de komplekse landskapsgradi- entene, småskala relieff, brepreg, vegetasjon, arealbruksintensitet og jord- brukspreg (Erikstad mfl., 2019).	20
2.4.5 KLG-er fordelt på de tre hovedkategoriene geo-økologiske gradienter, bio- økologiske gradienter og arealbruksgradienter.	21
2.6.1 Aktivitetskart fra NGU. Kartet er under utvikling, og det er kun et utkast som benyttes.	22
2.7.1 NGU punkter og linjer fra tidligere kartlagte skredhendelser.	23
2.7.2 Områder for detaljert kvartærgeologisk kartlegging, i samme områder som skredpunktene.	23
2.8.1 Samtlige punkter fra <i>Hans</i> -datasett er plassert i Sør-Norge, sentralt i landet.	24
2.9.1 Fremstilling av den virkelige verden i vektor- og rasterlag (Harder & Brown, 2017).	25

2.9.2 Et nabolag av celler fra inn-verdi rasteren benyttes for å beregne utverdien av den sentrale cellen (Modifisert fra ESRI (2024a)).	26
2.9.3 Når alle nabolagene er prosessert er resultatet en ny rasterfil (Modifisert fra ESRI (2024a)).	26
2.9.4 Pikselverdien i inn-verdi raster 2 trekkes fra den samme cellen i inn-verdi raster 1 med verktøyet <i>Minus</i> (Modifisert fra ESRI (2024c)).	27
2.10. Utklipp av landsdekkende DTM benyttet for å se på ruhet og topografisk posisjonsindeks i feltområdet. Området inneholder skredpunkter fra både tidligere skredhendelser, og fra <i>Hans</i> -datasettet.	28
3.1.1 Bergrunnskart feltområde, skala 1:250 000 (regionalt nivå). Feltlokasjoner er markert med røde punkter, Kvikne (Vinstra) øverst, Svatsum (Espedalen) nederst (Norges geologiske undersøkelse, 2024a).	30
3.1.2 Skuringsstriper angir bevegelsesretningen til isen i Gudbrandsdalen, og viser at det har vært flere faser av ulik bevegelse. De yngste og tynneste skuringsstripene ble sjelden observert, og sporene fra bevegelsen mot sør-øst er best bevart. Vinstra sentralt i figuren (Modifisert fra Bergersen og Garnes (1972), s. 4).	31
3.1.3 Isbevegelsen under deglasiasjonen i Innlandet-Trøndelag. Svarte piler viser isbevegelsesretningen tidlig i deglasiasjonen, hvite piler viser isbevegelsesretningen når isens størrelse hadde minket like før siste isrest smeltet vekk. Nordvestlig bevegelsesretning kan stamme fra brefremstøtet kjent som Hoklingen-trinnet (Follestad & Fredin, 2007).	32
3.1.4 Løsmassekart over feltområdet i skala 1:250 000 (regionalt nivå). Feltlokasjoner er markert med røde punkter, Kvikne (Vinstra) øverst, Espedalen nederst. Se legende for forklaring av de ulike løsmassetypene (Norges geologiske undersøkelse, 2024b).	33
3.1.5 Skredhendelser i feltområdet, se tegnforklaring (Norges vassdrags- og energidirektorat [NVE], 2024a).	34
4.1.1 Konvertering av linjedata (Løsmasselinjer 306) til punkt, og sammenslåing med punkter Løsmassepunkt 307 før Spatial Join med NiN.	36
4.1.2 Inndelingssystem Set 2, diagrammet viser kun aktuelle landskapsgrupper som hadde skredpunkter.	37
4.1.3 Spatial Join Set 2: <i>Relativt åpent dallandskap under skoggrensen</i> og NGU sitt aktivitetssonekart. Grønn: Aktivitetssone 1, Gul: Aktivitetssone 2, Rød: Aktivitetssone 3, Grå: 9999 (sone ikke satt) [<i>Aktivitetsskartet er ikke ferdig utarbeidet</i>].	38
4.1.4 Selektionsverktøy i ArcGIS Pro benyttes for å velge features sør eller nord i Norge, grensen ligger nord for Trondheim (rød stiplet linje).	39
4.1.5 Selektert område er området med registrerte skredhendelser fra <i>Hans</i> . KLG-data fra tidligere skredhendelser er innhentet fra samme område.	41
4.1.6 Uttrykk for beregning av overflateruhet lagt inn i Raster Calculator.	42
4.2.1 GPS og spade benyttet til kartlegging av skred.	43
4.3.2 Ristemaskin med siktesats.	44
4.3.1 Flytskjema sikteanalyse.	45
4.3.3 Splitter brukt til uttak av alikvot.	46
4.3.4 Mixer tilhørende Mastersizer 3000. Deionisert vann tilsatt prøve omrøres, og pumpes inn i avlesningsinstrumentet.	47
5.1.1 Prosentvis fordeling av skredutløsninger i de tre overordnede gruppene av landskapstyper, innlands-, kystlandskap. LA-TI-I: Innland, LA-TI-K: Kyst. 50	

5.1.2	Fordelingen av skredpunkter innenfor alle grunntyper i NiN.	51
5.1.3	Set 1: Alle grupper.	51
5.1.4	Set 2: Grupper i undergruppe innland. Diagrammet viser spredningen av skredpunktene i innlandsgruppene, og prosentandelen av de største gruppene. Gruppen <i>Relativt åpent dallandskap under skoggrensen</i> innehar 66 % av skredene.	52
5.1.5	Set 2: Grupper i kategorien dallandskap. Diagrammet viser at gruppen <i>Relativt åpent dallandskap under skoggrensen</i> har flest skredpunkter.	52
5.1.6	Set 2: Grupper i kategorien Ås- og fjellandskap.	53
5.1.7	Grupper i undergruppe fjordlandskap.	53
5.1.8	Eksempel på visuell analyse av ruhet (TRI) i skredpunkter. Svarte sirkler viser punkter i forskjellig ruhet. Nederst til høyre er fargeforklaring, rød = høy ruhet, grønn = lav ruhet.	67
5.1.9	Ruhetsverdier tidligere skredhendelser. Intervaller fra lav ruhet (venstre) til høy ruhet (høyre).	67
5.1.10	Ruhetsverdier <i>Hans</i> . Intervaller fra lav ruhet (venstre) til høy ruhet (høyre).	68
5.1.11	Eksempel på visuell analyse av relativ topografi (TRI) i skredpunkter. Svarte sirkler demonstrerer skredpunkter i ulike TRI-verdi. Tabell i nedre høyre hjørne viser TRI-verdier for de ulike fargene, grønn = lav (forsenkning), rød = høy (forhøyning).	68
5.1.12	TPI verdier tidligere skredhendelser. Intervaller fra lav TPI-verdi (venstre) til høy TPI-verdi (høyre).	69
5.1.13	TPI verdier <i>Hans</i> . Intervaller fra lav TPI-verdi (venstre) til høy TPI-verdi (høyre).	69
5.2.1	Observerte skred ved Kvikne (Vinstra). Ikke-nummererte skred omtales ikke videre. Rødt: utløsningsområde, blått: skredbane m/erosjon, blå stiplet linje: utløpsområde, lilla: U2.	70
5.2.2	Skred i den sørvendte dalsiden, Kvikne (Vinstra).	70
5.2.3	Vannerosjonskanaler og drapering av sedimenter på omgivelsene rundt kanalen. Skala: Sekkereim på høyre side.	71
5.2.4	Foto fra løsneområdet for skred 2. Hulrom hvor det sannsynligvis har vært en stein som har rullet ned dalsiden. Stikkstang som skala.	72
5.2.5	Midten av skredbanen er vasket ren for sedimenter, på sidene er grovere materiale, finende utover mot sidene. Stikkstang som skala.	73
5.2.6	Foto av de ulike sedimenttypene i skredet. Stikkstang som skala.	74
5.2.7	Bilde tatt under løsneområdene i skred 3. Person til venstre som skala.	74
5.2.8	Skredmassene brer seg utover når skråningshelningen flater ut. Foto mangler skala.	75
5.2.9	Skred ved gård i den nordvendte dalsiden ved Kvikne (Vinstra). Rødt: utløsningsområde, blått: skredbane m/erosjon, blå stiplet linje: utløpsområde, lilla: U2.	76
5.2.10	Kompakt bunnmorene overlatt av en løsere ablasjonsmorene og et jordlag, spade som skala.	78
5.2.11	Skred ved gård i Svatsum, Espedalen. Rødt: utløsningsområde, blått: skredbane m/erosjon, blå stiplet linje: utløpsområde.	79
5.3.1	Siktekurve for alle prøver, se tegnforklaring.	81
5.3.2	Kumulativ volumprosent ved ulike størrelsesklasser. Se legende for prøve-ID. De fleste prøvene har ganske lik fordeling, med unntak av VINS23-KL01 som er noe høyre-forskøvet i sammenlikning. Refraksjonsindeks for partiklene er satt til 1,544 i analysen.	84
5.3.3	Volumprosent ved ulike størrelsesklasser. Se legende for prøve-ID.	84

5.3.4 Prøve ESPE23-MF01 fraksjon 0,500-1 mm. Korn ble identifisert slik bildet viser. Millimeterpapir som skala.	87
5.3.5 Prøve VINS23-KL02 fraksjon 0,125-0,250 mm. Korn identifisert slik bildet viser. Millimeterpapir som skala.	87
5.4.1 Kvartærgeologisk kart feltområde i Kvikne, Vinstra (1:5000), gyldig etter ekstremværhendelsen <i>Hans</i> 2023. Se tegnforklaring (Skredpunkter KM er skred registrert under feltarbeid).	88
6.3.1 Dekningskart løsmasser (Norges geologiske undersøkelse (NGU) [NGU], 2024b).	91
6.10. Samling av skredpunkter i landskapsgruppe “Relativt åpent dallandskap under skoggrensen”. Henholdsvis grunntype LA-TI-I-D-34: Relativt åpent dallandskap under skoggrensen med bebygde områder , LA-TI-I-D-32: Relativt åpent dallandskap under skoggrensen , og igjen LA-TI-I-D-34. De små røde punktene tilhører <i>Hans</i> -datasettet, og de store røde punktene er skred registrert i forbindelse med feltarbeid for oppgaven.	100
A.1 Set 1: Grupper i undergruppe innland.	114
A.2 Set 1: Grupper i kategorien dallandskap.	115
A.3 Set 1: Grupper i kategorien Ås- og fjellandskap.	115
A.4 Set 1: Grupper i undergruppe kyst.	116
A.5 Set 1: Grupper i kategorien fjordlandskap.	116
A.6 Set 1: Gruppe innenfor kategorien kystslettelandskap (én gruppe).	117
D3.1 Prøve VINS23-JP01, fraksjon 16-19mm.	129
D3.2 Prøve VINS23-KL01, fraksjon 16-19mm.	129
D3.3 Prøve VINS23-KL02, fraksjon 16-19mm.	130
D3.4 Prøve VINS23-KL03, fraksjon 16-19mm.	130
D3.5 Prøve VINS23-MF01, fraksjon 16-19mm.	131
D3.6 Prøve VINS23-MF02, fraksjon 16-19mm.	131
D3.7 Prøve ESPE23-MF01, fraksjon 16-19mm.	132

2.1.1 Inndeling i kornstørrelsesfraksjoner på grunnlag av korndiameter (Sandersen, 2014).	5
2.1.2 Karakterisering av korngradering, fra SVV (2014).	7
2.6.1 Vurderingskriterier for aktivitetssoner.	22
4.1.1 Landskapsgrupper fra Set 2.	37
4.3.1 Siktesats $d \geq 4$ mm.	44
4.3.2 Siktesats $d < 4$ mm.	46
5.1.1 Hovedtypegrupper med registrert skredutløsning. Prosentandel av skredpunkter innenfor hver hovedtype, total prosentandel av skred og normalisert prosent av skred innenfor hver hovedgruppe.	49
5.1.2 Fordeling av grunntype-polygoner fra landskapsgrupper innad i de ulike aktivitetssonene i hele landet. Aktivitetssone S1 = lav aktivitet, S2 = middels aktivitet, S3 = høy aktivitet, 9999 (-) = aktivitetssone ikke satt.	54
5.1.3 Fordeling av grunntype-polygoner fra landskapsgrupper innad i de ulike aktivitetssonene i Sør-Norge. Aktivitetssone 1 = lav aktivitet, 2 = middels aktivitet, 3 = høy aktivitet, 9999 (-) = aktivitetssone ikke satt.	55
5.1.4 Fordeling av grunntype-polygoner fra landskapsgrupper innad i de ulike aktivitetssonene i Nord-Norge. Aktivitetssone 1 = lav aktivitet, 2 = middels aktivitet, 3 = høy aktivitet, 9999 (-) = aktivitetssone ikke satt.	56
5.1.5 Andel av punkter fra tidligere skredhendelser innenfor hver landskapsgruppe i hver av de ulike aktivitetssonene, landsdekkende. Aktivitetssone 1 = lav aktivitet, 2 = middels aktivitet, 3 = høy aktivitet, 9999 (-) = aktivitetssone ikke satt, n = antall skredpunkt.	57
5.1.6 Andel av punkter fra tidligere skredhendelser innenfor hver landskapsgruppe i hver av de ulike aktivitetssonene, Sør-Norge. Aktivitetssone 1 = lav aktivitet, 2 = middels aktivitet, 3 = høy aktivitet, 9999 (-) = aktivitetssone ikke satt, n = antall skredpunkt.	59
5.1.7 Andel av punkter fra tidligere skredhendelser innenfor hver landskapsgruppe i hver av de ulike aktivitetssonene, Nord-Norge. Aktivitetssone 1 = lav aktivitet, 2 = middels aktivitet, 3 = høy aktivitet, 9999 (-) = aktivitetssone ikke satt, n = antall skredpunkt.	60

5.1.8	Distribusjon av skredpunkter fra ekstremværhendelsen <i>Hans</i> i de ulike landskapsgruppene. Tabellen viser også den prosentvise fordelingen med og uten de ekstra landskapstypene.	62
5.1.9	Ekstra landskapstyper til de foreslåtte landskapsgruppene som har skredpunkter fra <i>Hans</i>	63
5.1.10	Dekning av oppgavens foreslåtte landskapsgrupper, og ekstra landskapstyper som kan trekkes inn i disse gruppene.	63
5.1.11	Fordeling av skredpunktene fra <i>Hans</i> innenfor de ulike aktivitetssonene.	64
5.1.12	Kontroll av distribusjon innenfor aktivitetskartet av den dominerende landskapsgruppen i både tidligere skredhendelser og <i>Hans</i> , her punkter fra <i>Hans</i> . De fleste skredene har gått i aktivitetssone 3.	64
5.1.13	Forklaring av de ulike nivåene innenfor de komplekse landskapsgradientene (KLG) arealbruksintensitet, jordbruksintensitet, vegetasjon og innsjøpreg (Simensen mfl. (2021), vedlegg S8).	64
5.1.14	Fordeling av de komplekse landskapsgradientene (KLG) arealbruksintensitet, jordbruksintensitet, vegetasjon og innsjøpreg blant skredhendelser fra <i>Hans</i> og tidligere skredhendelser (i samme område).	65
5.1.15	Skredpunkter (tidligere skredhendelser, NGU) i landskapsregioner (RSL_LREG: Landskapsregionsnummer, LREGNAVN: Landskapsregionnavn.)	66
5.2.1	Prøve tatt i Skred 1.	72
5.2.2	Prøve tatt i skred 3.	75
5.2.3	Prøve tatt i Skred 4.	77
5.2.4	Prøve tatt i Skred 5.	77
5.2.5	Prøve tatt i Skred 6.	79
5.3.1	Informasjon om prøver til laboratorieanalyser.	80
5.3.2	Gradering av kornprøvene, grenser fra SVV (2014).	82
5.3.3	Klassifisering av jordartsprøver fra feltområdet.	82
5.3.4	Kornparametre og prosent leirinnhold for finstoff.	85
5.3.5	Observerte bergarts- og mineralfrikorn i analyserte prøver.	86
5.3.6	Fremtredende rundingsgrad. GR = godt rundet, KR = kantrundet, SK = skarpkantet, FL = flisig. Fraksjon 0,063-0,125 mm = 1, 0,125-0,250 mm = 2, 0,500-1 mm = 3.	86
B.1	Areal hver hovedtypegruppe dekker av det totale området (Norge). Marine landskap er ikke inkludert i det totale arealet (Simensen mfl., 2021, tabell 3).	119
B.2	Areal av hver landskapsgruppe, totalt og i % av hovedtype og totalareal. Totalt areal (eksl. marine landskap) er 366975 km ² , andel av dette arealet dekt av landskapsgruppene er 69,2%. G.t = grunntype, l.e. = landskapsenheter, h.t.g = hovedtypegruppe, t.areal = totalareal. (Simensen mfl., 2021, tabell 3 og vedlegg S9)	120
C.1	Landskapsgrupper hvor > 40% av grunntype-polygonene ligger innenfor aktivitetssone 3. Landsdekkende til venstre, Sør-Norge til høyre.	122
C.2	Landskapsgrupper med en betydelig andel av skredpunkter fra tidligere hendelser (venstre) og fra <i>Hans</i> (høyre).	122
D1.1	Vekt for komplett siktesats, prøve VINS23-KL01.	124
D1.2	Vekt for komplett siktesats, prøve VINS23-KL02.	124
D1.3	Vekt for komplett siktesats, prøve VINS23-KL03.	125
D1.4	Vekt for komplett siktesats, prøve VINS23-MF01.	125
D1.5	Vekt for komplett siktesats, prøve VINS23-MF02.	126
D1.6	Vekt for komplett siktesats, prøve VINS23-JP01.	126

D1.9 Sortering av kornprøvene, grenser fra Brattli (2018).	127
D1.7 Vekt for komplett siktesats, prøve ESPE23-MF01.	127
D1.8 Kornstørrelsesparametre	127
D2.1 Prosentandel korn under 66,9 μm i prøvene.	128

Liste over alle forkortelser i alfabetisk rekkefølge:

- **DTM** Digital terrengmodell
- **GIS** Geografiske informasjonssystem
- **GPS** Global Positioning System
- **KLG** Kompleks landskapsgradient
- **NGU** Norges Geologiske Undersøkelse
- **NIBIO** I denne oppgaven refereres det til landskapsdatasettet “Nasjonalt referansesystem for landskap” fra Norsk institutt for bioøkonomi.
- **NiN** Natur i Norge
- **NTNU** Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
- **NVE** Norges vassdrags- og energidirektorat

1.1 Problemstilling

Norges geologiske undersøkelse (NGU) har gjennomført et prosjekt som er finansiert av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) for å identifisere løsneområder for jordskred, publisert i artikkelen “Identifikasjon av løsneområder for jordskred” av Eilertsen mfl. (2021). De har kartlagt 488 jordskred i åpne skråninger, og har med dette funnet ut at helningsvinkel for skredutløsning kan reduseres av jordbruk. Andre funn var at løsneområdene som regel er grunne, og at glideplanet ofte ligger mellom en impermeabel sedimenttype og et overliggende løsere lag. Natur i Norge (NiN) har kategorisert Norges landskap i forskjellige landskapstyper, der de overordnede kategoriene er innlands-, kyst- og marine landskap (Simensen mfl., 2021). NGU har ikke vurdert om frekvensen jord- og flomskred varierer basert på ulike landskapstyper, og det vil derfor være hovedfokus i denne masteroppgaven med disse spørsmålene:

- Har noen av landskapstypene innenfor hovedtypene innland og kyst en større forekomst av jordskred?
 - Hvor er innlandsskredene plassert i forhold til den klimatiske skoggrensen?
- Er det en sammenheng mellom jordskredaktivitet (NGUs aktivitetskart) og landskap, og er det forskjell på Nord- og Sør-Norge?
- Har følgende faktorer en innvirkning på hvor jordskred utløses?
 - Landskapstrekkene *arealbruksintensitet*, *jordbrukspreg*, *vegetasjon* og *innsjøpreg* (komplekse landskapsgradienter)
 - Overflateruhet (TRI) og relativ topografi (TPI) fra digital terrengmodell (Oppløsning 5 m)
- Følger skred fra ekstremværhendelsen *Hans* det samme mønsteret som tidligere skredhendelser (kanskje også fra før historisk tid)?

1.2 Bakgrunn for problemstilling

Jordskred har et begrenset omfang av skadetilfeller på bygninger og infrastruktur i Norge (Sandersen, 2014), selv om frekvensen kan komme til å øke i et klima i forandring. Når norske veier stenges er det ofte på grunn av flomskred, og jordskred er med det ikke den alvorligste geofaren i Norge. Internasjonalt er både jord- og flomskred en alvorlig årsak til omfattende skader og ødeleggelser (Sandersen, 2014).

Historisk er Storofsen og Vesleofsen blant de største ekstremværhendelsene som har ført til jord- og flomskred i Norge. Storofsen var en storflom som preget Østlandet sommeren 1789, og er den største kjente flomhendelsen i Norge etter siste istid (Nesje mfl., 2019). I Gudbrandsdalen alene krevde hendelsen med påfølgende skred 61 menneskeliv, 889 gårdsdyr, og 640 gårder (Nesje mfl., 2019; Walberg og Devoli, 2014). Sommeren 1995 inntraff den nest største flommen, Vesleofsen. Igjen var det Østlandet som ble rammet, og skadene hadde en prislapp på 1,8 milliarder kroner og ett menneskeliv (Roald, 2013). I begge tilfeller var det store og vedvarende nedbørsmengder i kombinasjon med smelting av store mengder snø som var skyld i flomhendelsene (Nesje mfl., 2019; Walberg og Devoli, 2014). Sannsynligheten er stor for at mange av skredene ikke har blitt registrert (Walberg & Devoli, 2014). Andre flomhendelser som har ført til slike skred er på Østlandet i 1860, Gudbrandsdalen mai 2008, juni 2011 og mai 2013 (Walberg & Devoli, 2014).

Selv om dette tilsynelatende er sporadiske hendelser så har Norge mer ekstremvær i vente i følge Seljom mfl. (2021), som følge av klimaendringer. De hevder at hyppigere forekomst av ekstremvær vil føre til en økning i antall vannutløste skred. Også generell økt nedbør, vind, temperatur og stigende havnivå bidrar til økningen i samfunnsfarlige geofarar. I 2020 ble NVE bevilget 665 millioner kroner for å bedrive skred- og flomsikring. Summen var rekordstor, noe som tyder på en økt oppmerksomhet rundt temaet (Seljom mfl., 2021). I august 2023 ble Norge rammet av ekstremværet *Hans*, og styresmaktene advarte tidlig i uværet om at de forventet at mange flom- og jordskred ville utløses i områdene rammet av uværet (Regjeringen, 2023). Avisene rapporterte underveis om en rekke skred i bygder som blant andre Ål i Hallingdal og Bagn i Valdres (Nettavisen, 2023). Det samlede skadeomfanget av skredene utløst under ekstremværet er fortsatt ikke fullstendig kartlagt.

Fra dette fremgår det klart at bedre kunnskap om hvor skred utløses kan bidra til å unngå å bygge i særskilt skredutsatte områder, samt å sikre riktig sted i allerede etablerte byggefelt. På denne måten kan tap av menneskeliv unngås, og både kostnad og skadeomfang reduseres. Kunnskapen kan også tenkes være med på å frigi områder som tidligere har havnet under høy risiko i aktsomhets- eller faresonekart for jordskred, og sørge for en mer effektiv og bærekraftig arealbruk. En for konservativ faresonekartlegging fører til båndlegging av områder som i realiteten trygt kan benyttes, og kan medføre ugunstig bruk av areal, samt økonomiske tap for enkeltpersoner og for samfunnet.

I NGUs prosjekt om løsneområder for jordskred, har forfatterne studert om løsneområder for jordskred kan identifiseres mer nøyaktig enn det som har ligget til grunn for tidligere kartlegging av potensielle skredområder. Del 1 av prosjektet ble publisert i 2021, og kan leses i NGU-rapporten Eilertsen mfl. (2021). Hovedfunnene i rapporten er at jordskred kan gå i ulike løsmasser, men at de fleste jordskredene i Norge går i skillet mellom fast bunnmorene og løsere ablasjonsmorene, og at jordarten i mange av løsneområdene hadde en mektighet på under en halv meter. Mineral- og bergartsfragmenter som finnes i morenen er oftest korttransportert og den samme som berggrunnen på stedet, og mineralenes egen skjærstyrke kan påvirke morenens skjærstyrke (Eilertsen mfl., 2021). Denne masteroppgaven tilhører del 2 av prosjektet, under veiledning av Jose Pullarello ved NGU,

og som sagt vil den omhandle sammenhengen mellom utløsning av jordskred og Norges landskapstyper.

Oppgaven vil ta for seg landskapstyper over hele landet, men med detaljestudier i områdene Kvikne ved Vinstra og Svatsum i Espedalen. For landsdekkende studie benyttes observasjonsdata og aktivitetssonekart for jordskred fra NGU, samt et landskapstypedatasett utarbeidet av Natur i Norge (NiN). For detaljstudien er det utført feltarbeid i Kvikne ved Vinstra og i Espedalen, hvor ferske jordskred utløst under uværsperioden *Hans* har blitt observert. Laboratorieanalysene sikteanalyse, laserdiffraksjon og petrografisk analyse er gjennomført for prøver tatt i utløsningsområdet fra enkelte skred i dette fokusområdet.

2.1 Kvartærgeologi og løsmasser

vartærgeologi omhandler landformene og avsetningene fra kvartærtiden, og prosessene som skapte dem (Bryhni, 2023). I løpet av denne perioden, som startet for 2.7 millioner år siden, har Norge vært utsatt for klimatiske svingninger med en 41 000 år varig syklus frem til 1.1 millioner år siden, etterfulgt av en 100 000 årig syklus. De klimatiske syklusene resulterte i flere store istider som besto av en rekke kalde perioder hvor den skandinaviske innlandsisen vokste, og mellomistider hvor isen trakk seg tilbake (Mangerud mfl., 2011). Istiden som i hovedsak har preget dagens landskap, og i størst grad Norges nåværende løsmasseavsetninger, er den siste, Weichsel. Den varte i omtrent 107 000 år og endte for 10 000 år siden. Under siste istids maksimum, for 22 000 år siden, var Norge og deler av Nordvest-Europa underlagt av en 3000 m tykk isbrekappe. Isen har med sin bevegelse skuret og slipt bergoverflaten, og på denne måten brutt ned berg til løse og usammenhengende masser av mineral- og bergartskorn kalt løsmasser (Clarke, 2017). En del av løsmasseavsetningene ble under nedsmeltingen fordelt utover landet med smeltevannet som breelvsavsetninger, andre ble liggende mer eller mindre der de ble avsatt som morene (Mangerud, 2022; Selmer-Olsen, 1977). I motsetning til land utenfor de store nedisningene hvor løsmassene stort sett er produsert av forvitring, stammer omlag 90% av de norske løsmassene fra siste istid (Jørgensen mfl., 2013; Olsen mfl., 2013). Der løsmassene består av forvitret berggrunn vil det være en gradvis overgang fra fast berggrunn til løsmasser. Ettersom løsmassene i Norge i dag hovedsakelig er produsert av iserosjon og påfølgende avsetning så er det en tydelig grense mellom fast berggrunn og løsmasser (Gundersen & Bryhni, 2023).

I Holosen, den geologiske tidsperioden fra siste istid til og med i dag, har landskapet vært under kontinuerlig tilpasning til det nye, varmere klimaet. Landet begynte å stige isostatisk når den tunge lasten fra innlandsisen forsvant. Landhevingen var størst i tiden like etter istiden, men er fremdeles en aktiv prosess. Når isen smeltet ble store mengder smeltevann tilført havet, og globalt havnivå steg 125 meter (Vorren mfl., 2013). Etterhvert som landet steg ble nye strandlinjer etablert, og de gamle ble liggende tørre i det som nå var høyere terreng. En strandlinje som er særlig markant er strandlinjen fra den kaldere perioden, Yngre Dryas (12 800 - 11 700 år siden) (Vorren mfl., 2013).

Golfstrømmen returnerte til Nord-Europa for 11 700 år siden, og skapte et mildere klima som ga grunnlag for plante- og dyreliv (Vorren mfl., 2013). Etterhvert som mer land ble blottlagt, begynte elver og bekker å erodere og forme landskapet med elvedaler og elvesletter, og nye dalbunner. I gamle marine leiravsetninger hvor elvene hadde gravd og skapt bratte skråninger var leirskred et vanlig fenomen, og ravinelandskap ble dannet. Elvene kan kun erodere ned til det gjeldende basisnivå (oftest havnivået), kjent som elvens erosjonsbasis. Landskapsområder bestående av løsmasseavsetninger vil reflektere havnivået, eksempelvis i form av terrasseformasjoner av grus og sand. Dette fordi de i motsetning til fast berggrunn ofte er svært eroderbare (Vorren mfl., 2013). Etter at innlandsisen smeltet vekk sto bratte og ustabile fjell- og løsmasseskråninger igjen, og både jord- og fjellskred var frekvente (Vorren mfl., 2013). Vegetasjon begynte å vokse der isen hadde forsvunnet, og når morener og andre avsetninger begynte å omdannes i toppsjiktet, ble jordsmonn dannet og vegetasjonen kunne begynne å vokse for fullt (Vorren mfl., 2013). Holosen var også perioden der mennesket vandret inn i landet, de første kom i eldre steinalder som jegere og samlere (Vetaas & Måren, 2008). Jordbruk ble vanlig fra 6000-5000 år siden, gårdsbruket startet ikke før omtrent 2900-2800 år siden (Vorren mfl., 2013). Denne måten å bruke jorda på har formet det som i dag er kjent som jordbrukslandskapet, eller kulturlandskapet. Det åpne kystlandskapet er i stor grad menneskeskapt gjennom skogfjerning til fordel for landbruk (Vetaas & Måren, 2008). Utvikling av jordbruksmetoder og teknologi, men også politikk og samfunnsutvikling er faktorer som bidrar til at jordbrukslandskapet stadig forandres (Stokstad mfl., 2016). Endringer gjennom de siste 50-100 årene har gjort gjengroing av landskapet aktuelt, og det åpne kystlandskapet er i ferd med å bli skogdekt igjen (Vetaas & Måren, 2008).

2.1.1 Løsmassenes fysiske egenskaper

Ulik mekanisk påkjenning under og etter transport, mineralogi, fasthet og struktur skaper mineralkorn og bergartsfragmenter av ulik størrelse og kornform (Emdal, 2022). Kornenes størrelse i en avsetning vil også variere. Det vil si at avsetninger innehar en rekke fysiske egenskaper som kan si noe om avsetningshistorie og brukskvaliteter. Følgende underkapitler beskriver sentrale fysiske egenskaper en løsmasstype har.

2.1.1.1 Kornstørrelse

Den mest avgjørende faktoren som bestemmer kornstørrelse er transportlengde. Transportmetoden er enten via vann, vind, is eller tyngdekraft (Selmer-Olsen, 1954; Jørgensen mfl., 2013). Løsmassene deles inn i kornstørrelsesfraksjoner som i tabell 2.1.1. Silt, sand og grus kan innenfor disse grensene deles opp i fin, middels og grov (Sveistrup & Njøs, 1984). Kornfordeling er en av de viktigste parameterene når det kommer til avsetningsegnethet for bruk til ingeniørgeologiske formål (Jørgensen mfl., 2013).

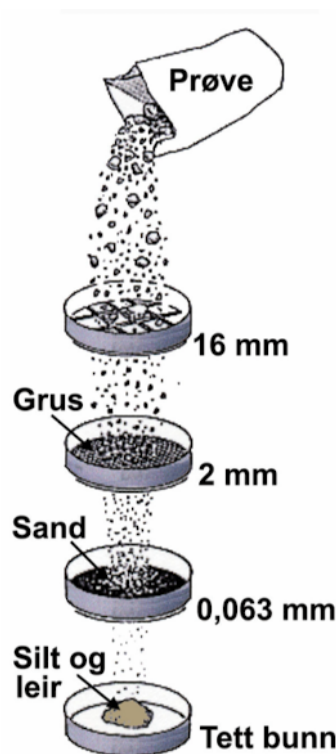
Tabell 2.1.1: Inndeling i kornstørrelsesfraksjoner på grunnlag av korndiameter (Sandersen, 2014).

Fraksjon	Korndiameter [mm]
Leir	< 0.002
Silt	0.002 - 0.06
Sand	0.06 - 2
Grus	2 - 60
Stein	60 - 600
Blokk	> 600

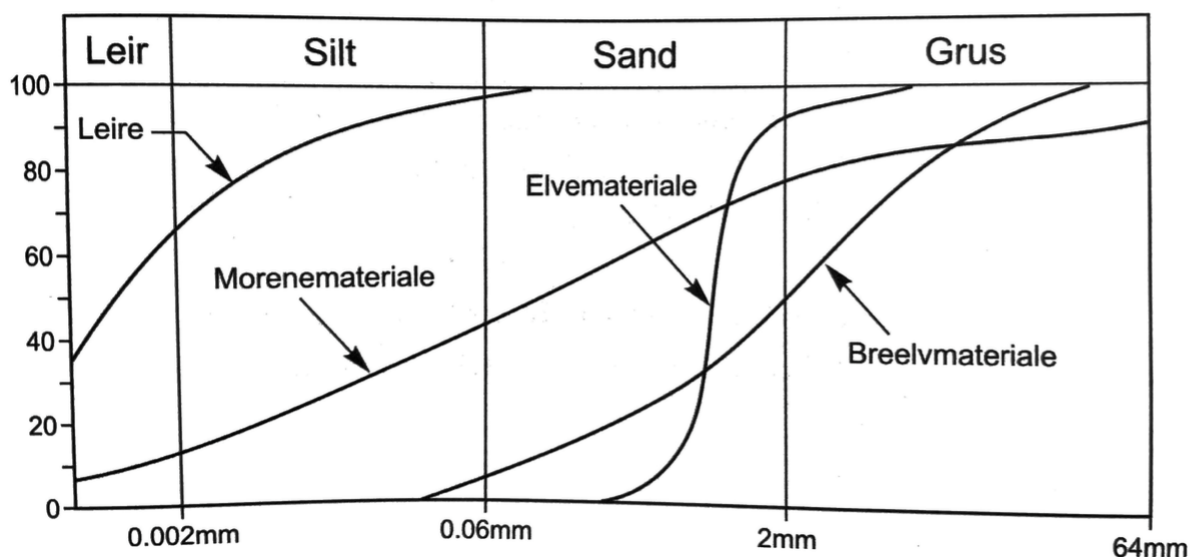
Sikteanalyse og kornkurve

I sikteanalysen siktes en løsmasseprøve gjennom en siktesats som består av flere sikter med avtagende åpning. Prøven tilsettes på toppen, i sikten med størst åpning. Størrelsen på åpningene kan være slik som i figur 2.1.1, og formen er kvadratisk (Jørgensen mfl., 2013). Materialet som passerer gjennom sikten med minst åpning, med andre ord silt eller finere, blir liggende igjen i bunnpanna. Basert på hvor stor prosentandel av totalvekten som ligger igjen i hver sikt tegnes det en kornkurve. Det vanligste er å presentere en kumulativ kurve med kornstørrelse i logaritmisk skala på x-aksen og vektprosent i lineær skala på y-aksen (Selmer-Olsen, 1954).

Sikteanalyse og kornkurver er mye brukt innenfor geologi og ingeniørgeologi for å analysere en avsetnings sorteringsgrad og avsetningsmiljø (genese). En bratt kurve vil være godt sortert og dårlig gradert, og en slak kurve vil være velgradert, men dårlig sortert (se figur 2.1.2). Transportmetodene vann og vind fører til en bedre sortering enn is og gravitasjon (Jørgensen mfl., 2013).



Figur 2.1.1: Demonstrasjon av sikteanalyse (fra Jørgensen mfl. (2013), s. 16).



Figur 2.1.2: Kornkurve for fire ulike løsmasseprøver (Fra Brattli, 2018, s.6). Morenemateriale viser typisk en velgradert kurve som stekker seg over alle fraksjonene. Breeelvmateriale inneholder mindre finstoff, men kan ha en mer eller mindre god sortering innenfor de grovere fraksjonene.

Parameter som midlere kornstørrelse (M_d), sortering (S_0) og gradering (C_u) kan leses ut fra kornkurven, og gi informasjon om sortering- og pakningsgrad (Selmer-Olsen, 1954).

Laserdiffraksjon

Laserdiffraksjon gir en volumbasert kornfordeling, og benyttes for kohesjonsfraksjonene silt og leir, altså kornstørrelser under 63 μm . Kornene blir utsatt for laserstråler som diffraktes, eller avbøyes, av partikkelen. Avbøyningen er partikkelspesifikk, basert på

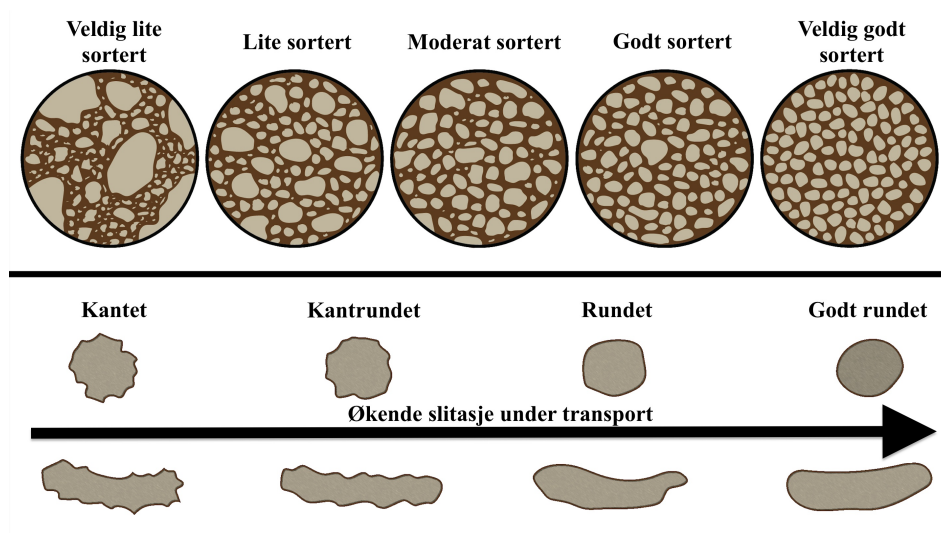
kornform og størrelse. I et laserdiffraksjonsinstrument måles lysintensiteten av lyset som er spredt ut i den analyserte suspensjonen (Callesen mfl., 2018). Prinsippet for analysen er spredning av elektromagnetisk lys, og teoriene det baserer seg på er *Mie-teorien* og *Fraunhofer-teorien*. Mie-teorien betinger sfæriske korn ettersom den kun måler én størrelsesdimensjon, men en tilnærming kan bli gitt via å beregne et ekvivalent overflateareal. Basert på overflaten som måles beregnes volumet til en teoretisk kule med samme overflateareal som målt partikkel (Malvern Instruments Ltd, 2013). Fraunhofer-teorien gjelder når avstanden mellom krysningspunktet for lys og partikkel til både lyskilde og avlesningsenhet er større enn laserens bølgelengde, og kan brukes til å måle opake partikler (de Boer mfl., 1987; Malvern Instruments Ltd, 2013).

Sortering og fordeling

De fleste naturlige løsmassetypene vil inneholde flere kornstørrelsesfraksjoner, avhengig av hvor godt sorterte de er (Sandersen, 2014). Sorteringsgrad rangeres ofte fra veldig lite sortert (usortert) til veldig godt sortert (eksempel i figur 2.1.3), og angis av grade-ringstallet C_u (se tabell 2.1.2) eller sorteringstallet S_0 . Når avsetningen består av kun én størrelsesfraksjon kalles den ensgradert. En dårlig sortert avsetning inneholder flere størrelsesfraksjoner, og er derfor velgradert. Sorteringsgrad og fordeling bestemmes av transportlengde og avsetningsmiljø. Moreneavsetninger er velgraderte som resultat av kort transportlengde og lite påvirkning av vann. En hav- og fjordavsetning vil være veldig godt sortert, og kun inneholde de fineste partiklene. Vannets strømningshastighet blir for lav til å transportere grovere partikler når det møter havet (Selmer-Olsen, 1971).

Tabell 2.1.2: Karakterisering av korngradering, fra SVV (2014).

$C_u = d_{60}/d_{10}$	Betegnelse
< 5	Ensgadert
5-15	Middels gradert
>	Velgradert



Figur 2.1.3: Kornform og sortering (modifisert fra McGoldrick, 2020.)

2.1.1.2 Kornform

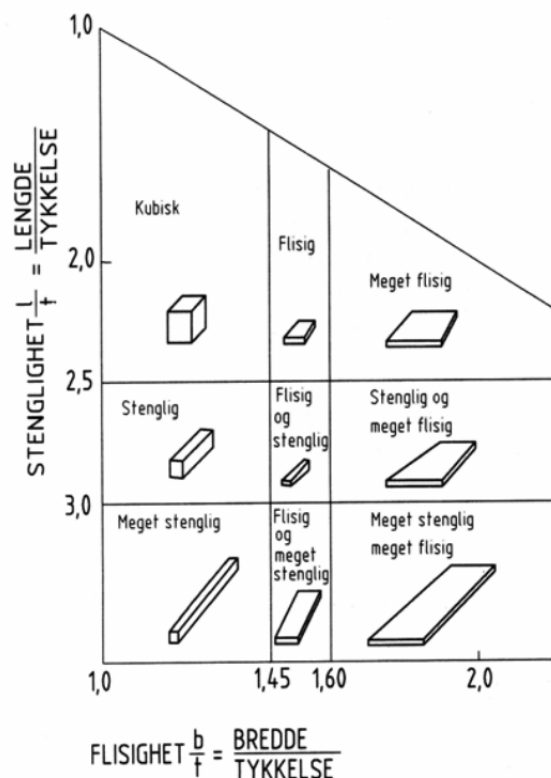
Kornform påvirker hvor tett partikler kan lagres, kjent som pakningsgraden. Dette har følger for løsmassens permeabilitet og fasthet (Emdal, 2022).

Flisighet og stengelighet

Flisighet er forholdet mellom bredde og tykkelse, stengelighet er forholdet mellom lengde og tykkelse (SVV, 2014). Tilsammen bestemmer de kornformen, se figur 2.1.4. Korn som har høy flisighet og stengelighet vil ikke la seg komprimere så mye som kubiske korn, og vil derfor være løsere lagret (Emdal, 2022; Selmer-Olsen, 1954).

Runding

Rundingsgrad rangeres fra kantet til godt rundet, som vist i figur 2.1.3. Hvor rundet et mineralkorn blir bestemmes hovedsaklig av transportlengde og transportmetode. Vanntransport og en økende transportlengde gir økt runding av korn (Pellegrino, 1965). Et elvetransportert korn vil oppnå betydelig høyere rundingsgrad enn et korn i en randmorene. En annen viktig faktor er litologien til kornet, svake korn har en tendens til å fragmenteres fremfor å rundes. På samme måte vil større korn brytes ned lettere enn mindre korn. Dette vil føre til en akkumulasjon av sterke korn i langtransporterte avsetninger (Selmer-Olsen, 1977).



Figur 2.1.4: Forhold mellom flisighet og stengelighet, fra SVV (2014).

Porøsitet

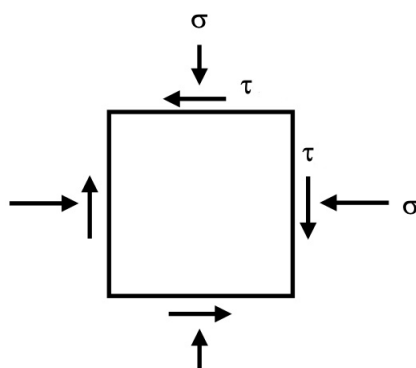
Porevolum og kommunikasjon mellom porene utgjør et materials porøsitet, der store porer og god kommunikasjon samsvarer med høy porøsitet (Jørgensen mfl., 2013). Et velsortert materiale vil som regel ha høyere porøsitet enn et velgradert materiale, da porene mellom grovere korn er åpne. I et velgradert materiale vil finstoff fylle igjen porene og dermed redusere porøsiteten (Selmer-Olsen, 1954).

2.1.1.3 Bruddmekanikk

Et brudd i løsmasser kan defineres som “bevegelse etter utvalgte flater” (Selmer-Olsen, 1977, s.206) og er en form for deformasjon av jord (Selmer-Olsen, 1977).

Spenninger

Spenninger som virker på jorden kan virke enten drivende eller motvirkende på et brudd. Normalspenninger (σ) er spenninger normalt på planet (se figur 2.1.5), og via sin egen last skaper den friksjon mellom kornene som motvirker et brudd. Den kan deles opp i totalspenning og effektivspenning, hvor totalspenning ikke tar hensyn til det motvirkende poretrykket som løfter korn fra hverandre. Effektivspenningen tar hensyn til poretrykket, og er kun den effektive spenningen som virker mellom kornene. Skjærspenning (τ) er spenning som virker parallelt med planet, og er drivende (Emdal, 2022; Li, 2021).



Figur 2.1.5: Normalspenning σ virker normalt på planet. Skjærspenning τ virker parallelt med planet (Modifisert etter Li, 2021, s.9.)

Skjærstyrke

Skjærstyrke, eller skjærfasthet, er den egenskapen i løsmassen som holder den i likevekt på tross av at den ligger i en helning (Jørgensen mfl., 2013). Væsker kan ikke ta opp skjærspenninger, og har derfor ingen skjærstyrke (Opsal, 2018). For tette materialer som leire omtales skjærstyrken ofte som udrenert, ettersom at porevannet holdes igjen. Løse jordarter som sand og grus viser en drenert oppførsel (Emdal, 2022).

Drenerte jordarters skjærfasthet kan med Mohr-Coulombs bruddkriterium uttrykkes som en rett linje (Thurairajah & Sithamparapillai, 1972):

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (2.1)$$

der τ er skjærstyrke eller skjærspenning, og σ er normalspenningen. Likningen består av et kohesjonsledd (c) og et friksjonsledd ($\tan \phi$). Friksjonsleddet er avhengig av friksjonsvinkelen (ϕ), kohesjonsleddet er uavhengig. Friksjon mellom korn, og mellom skjærflaten og det overliggende jordlaget bidrar til jordlagets skjærstyrke (Chatwin, 1994). Andre bidragsgivere er økt pakningstetthet, ruhet, økt kantetthet og økende kornstørrelse (Jørgensen mfl., 2013).

Vannmetning

Vanninnholdet i jorda deles inn i mettet og umettet sone. I mettet sone er alle porene fullstendig fylt med vann. I umettet sone er ikke porene fullstendig fylt av vann, og

luft er fortsatt til stede. I umettet sone oppstår et sug grunnet overflatekrefter rundt kornene som muliggjør infiltrasjon av regnvann (Dingman, 2015). Skjærstyrken avtar når poretrykket øker. Det kan skje når infiltrasjonen av regnvann er større enn grunnvannets avrenning, noe som effektivt øker vekten av jordlaget (Jørgensen mfl., 2013).

Friksjon og kohesjon

En inndeling av løsmasser er i friksjons- og kohesjonsjordarter. De små kornfraksjonene leir og silt betegnes som kohesjonsjordarter, og de større fraksjonene sand, grus, stein og blokk kategoriseres som friksjonsjordarter. I kohesjonsjordarter holdes kornene sammen av elektrostatiske krefter (Chatwin, 1994; Selmer-Olsen, 1977; Jørgensen mfl., 2013).

Friksjonsjordarter inneholder granulære mineral- og bergartskorn som holdes sammen av friksjon mellom kornene. Slike masser viser oftest en drenert oppførsel, da det har store porer med god kommunikasjon (Emdal, 2022). Den steileste vinkelen en friksjonsjordart kan bli stående i kalles friksjonsvinkelen. Den er vanligvis rundt 35-40° og øker med økt kornstørrelse, kantethet og økende gradering. Den avtar noen grader når jordlaget er vannmettet (Jørgensen mfl., 2013). Friksjonsjordarter kan ha tilsynelatende kohesjon som gjør at jordarten øker friksjonsvinkelen. Den skapes av vannspenninger i en fuktig jordart som trekker kornene sammen. Effekten er midlertidig, og forsvinner når jordarten enten tørker eller blir vannmettet. Dette skjer kun i løsmasser med tilstrekkelig kapillær stighøyde, som silt eller finsand (Lu og Godt, 2013; Nishimura mfl., 2009).

Bruddmekanismer

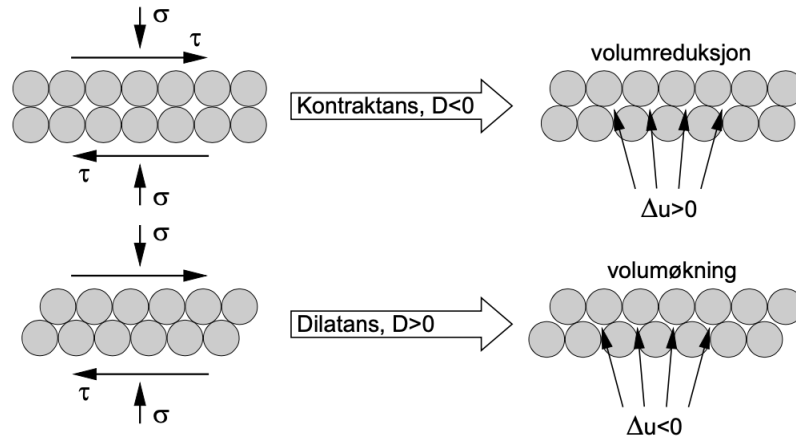
Ved påførsel av skjærbevegelse vil poretrykket i et materiale øke eller avta avhengig av om materialet er løst eller fast pakket. Et løst lagret materiale vil få en reduksjon i porevolum da kornene i bruddsonen skyves over i en tettere pakning (se øvre del av figur 2.1.6). Dette kalles negativ dilatans (D) (Emdal, 2022). Dersom jordarten har et tilstrekkelig høyt vanninnhold vil poretrykket (u) øke. Resultatet er en reduksjon i effektivspenning da porevannstrykket løfter kornene fra hverandre. Dette vil skje raskere for en mindre permeabel jordart da det tar lengre tid å utligne trykket. Materialet ved siden av bruddsonen vil få en økning i poretrykk, og vil derfor kunne dras med i bruddet. Slike brudd er som regel svært raske og kan bli katastrofale (Selmer-Olsen, 1977).

I et fast pakket materiale vil kornene i bruddsonen enten knuses, eller skyves over hverandre i en løsere pakning som resulterer i et økt porevolum og reduksjon i poretrykk. Dilatansen er positiv (se nedre del av figur 2.1.6) (Emdal, 2022). Denne bruddformen er mer energikrevende, og energien tas fra energien som danner bruddet. Skjærstyrken vil derfor øke med energibehovet for å skyve kornene over hverandre. Det kreves mer energi med økende ruhet, kantethet og pakningsgrad (Selmer-Olsen, 1977). I tørre jordarter kan reduksjonen i poretrykket skape undertrykk som fører til økt effektivspenning og dermed økt friksjon. I vannmettede jordarter vil derimot effektivspenningen og friksjonen avta, og energibehovet for å danne brudd blir lavere. Ved et brudd vil porevann frigis og kornene vil kunne flyte i sitt eget porevann. Det er den vanligste bruddmekanismen i jordarter i Norge, og løsmasser i friksjonsvinkel vil være særlig utsatt (Selmer-Olsen, 1977).

Skråningsstabilitet

Forhold som skaper lav stabilitet i en løsmasse, og gjør den sårbar for utglidning er først og fremst topografi og helning. Endring av skråningsgeometrien i form av utgraving i bunn eller tilførsel av masser på toppen kan redusere stabiliteten betraktelig. Også naturlig erosjon, dårlig drenering og vegetasjonsendringer kan virke negativt på stabiliteten (Emdal, 2022). I grovere løsmasser som sand og grus, eller velgradert morene, vil bruddflaten ofte være grunn (Emdal, 2022).

En velbrukt metode for å beregne skråningsstabilitet er likevektsmetoden, presentert i



Figur 2.1.6: Topp: En løs lagret jordart utsettes for skjærbevegelser, resultatet er volumreduksjon. Bunn: En fast lagret jordart utsettes for skjærbevegelser, resultatet er volumøkning. (Emdal, 2022, s. 81)

likning 2.2. Skjærflaten, eller glideplanet, vil gå i brudd dersom skjærspenningen (τ) i alle deler av flaten overstiger skjærstyrken (τ_{max}) (Emdal, 2022). Da er sikkerhetsfaktoren (SF) < 1 .

$$SF = \frac{\tau_{max}}{\tau} \quad (2.2)$$

Brudd inntreffer ved $SF < 1$ (Etter Emdal, 2022, s.155).

2.1.2 Klassifisering av løsmasser

Løsmasser kan klassifiseres geoteknisk, basert på kornstørrelse, eller basert på genese (Jørgensen mfl., 2013). Det er her valgt å klassifisere jordarten basert på dens genese.

2.1.2.1 Forvittringsjord

Forvittringsmateriale dannes ved forvitring av bergoverflaten på stedet (Sandersen, 2014). I Norge er dannelsen hovedsaklig forårsaket av forvitring etter siste istid, da eldre dypforvitring stort sett ble fjernet av isen under de mange istidene i kvartær (Jørgensen mfl., 2013). Kjemisk forvitring, eller oppløsning av berget, står bak en mindre del av dannelsen, og er en mer aktuell prosess i sydligere strøk (Sandersen, 2014). Mekanisk forvitring er hoveddriveren og danner forvittringsjord ved frostsprengning (Sandersen, 2014). Enkelte mineraler og bergarter forvitres lettere enn andre, blant disse er skifre og kalksteiner (Jørgensen mfl., 2013). Når fyllitt og andre myke bergarter forvitres skapes ofte leirholdige løsmasser med lav styrke (Sandersen, 2014). Ofte skaper forvittringsjord en næringsrik mineraljord som skaper skogsområder og beitemark. Tykkelsen på jordlaget er som regel under 20 cm (Jørgensen mfl., 2013).

2.1.2.2 Skredavsetninger

Skredavsetninger finnes i bunnen av de fleste bratte dalførene og fjellskrentene i Norge, og kan bestå av enten steinblokker eller mer finkornet jord. Friksjonsmaterialet ligger ofte i den naturlige friksjonsvinkelen (Sandersen, 2014). En vanlig type skredjord, og

vanlig avsetningstype i dalfører, er jordskredmateriale avsatt i skredvifter i dalbunnen (Jørgensen mfl., 2013).

2.1.2.3 Morene

Morene er en løsmasse avsatt direkte fra en isbre, og viser stor variasjon i kornstørrelse og sammensetning. Avsetningen kan være påvirket av umiddelbare sekundære ikke-glasiale prosesser, men har ikke i stor grad blitt sortert av vannstrømmer og er derfor diamikte (Dreimanis & Schlüchter, 1985). Bunnmorene avsettes i all hovedsak direkte på bergoverflaten, og er som regel ikke tykkere enn et par meter (Sandersen, 2014). Mektigheten er ofte større i dalbunner og forsengkninger, og der berggrunnen er særlig eroderbar og fragmenteres lett. 25-30% av innlands-Norge har et dekke av bunnmorene, ofte under andre løsmasseavsetninger (Brattli, 2018; Selmer-Olsen, 1977).

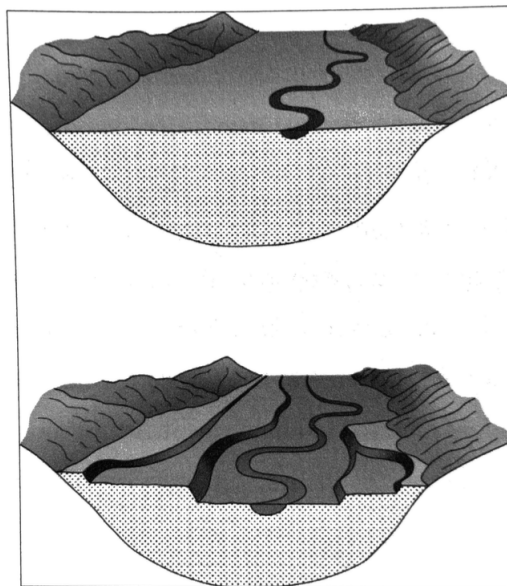
Kornstørrelsesfordelingen i bunnmorene er multimodal eller bimodal, som vil si at de inneholder både større klaster i tillegg til oppknust materiale fra bresålen (Dreimanis & Schlüchter, 1985). Den er overkonsolidert som resultat av isbreens vekt, og har derfor høy skjærstyrke og fasthet, samt lav permeabilitet og porøsitet (Sandersen, 2014). Klastene er ofte orientert i bevegelsesretningen til breen (Dreimanis & Schlüchter, 1985). Avsmeltingsmorene, som kommer fra materiale som har ligget på breen og er avsatt ved smelting, har ofte ikke den oppknuste fraksjonen og kan inneholde kun grovere fraksjoner og blokker. De kan derimot inneholde store mengder bretransportert materiale, og på denne måten likevel være bimodale eller multimodale (Dreimanis & Schlüchter, 1985). Morenetypen er i høyere grad smeltevanuspåvirket og er av den grunn noe utvasket for finstoff (Selmer-Olsen, 1977). Avsmeltingsmorene avsettes over bunnmorenen (Sandersen, 2014).

Morene er å anse som en homogen avsetning, men linser og lag av sortert materiale kan forekomme (Dreimanis & Schlüchter, 1985). Den lokale berggrunnen avgjør i stor grad hvilke fraksjoner morenen inneholder, da transportlengden som regel er kort og under 5 km (Eilertsen mfl., 2021). Der berggrunnen består av sterke og harde bergarter som sparagmitter, eller grunnfjell, kan morenen inneholde blokk og stein. Der berggrunnen består av mykere bergarter som fyllitter, kalksteiner eller skifre vil morenen bestå av en større andel finere materiale og sand (Selmer-Olsen, 1977; Selmer-Olsen, 1971).

Forhøyninger i terrenget som har blitt "overkjørt" av en isbre vil ha ulike morene i støttside og i leside. Morenen i støttsiden vil inneholde tett pakke de finkornede smelteavsetninger fra breen da trykket ved støtet førte til at breen smeltet i kontaktpunktet, ofte er de langtransporterte. På lesiden har trykket avtatt og breen har blitt frosset igjen, og med det fryseplukket materiale fra lesiden. Materialet som avsettes på lesiden er grovere og korttransportert. Mektigheten er som regel større, og pakningen er løsere (Brattli, 2018; Dreimanis og Schlüchter, 1985).

2.1.2.4 Glasifluviale-/breelvsavsetninger

Avsetninger som er avsatt av smeltevann fra isbre kalles glasifluviale- eller breelvsavsetninger. De forekommer i flere varianter, delt inn i de to hovedgruppene randavsetninger og subglasiale/englasiale avsetninger. Eksempel på randavsetninger er israndavsetninger og deltaavsetninger. Israndavsetninger ble avsatt tett opp til isen under et fremstøt eller lengre stopp, avsetningene består hovedsaklig av sand (Sandersen, 2014). Deltaavsetninger er avsatt av breelver der helningen har avtatt, og det grovere materialet i strømmen blir liggende igjen. Dette har bygd opp breelvsdeltaer, som i dag ofte eksisterer som terrasseformer i daler, ettersom elver har erodert seg ned i avsetningen. De har karakteristiske skrålager som heller ut mot datidens hav. Etter hvert som det har bygd seg ut



Figur 2.1.7: Terrassedannelse i sanduravsetninger ved elveerosjon (Brattli, 2018, s. 112)

og opp til havnivå blir det avsatt horisontale topplag (Selmer-Olsen, 1977). Avsetningen forekom også i breelver langs med isen, dette skapte såkalte kame-terrasser (Jørgensen mfl., 2013). Terrassedannelse forekommer også i sanduravsetninger, en slette bestående av et flettverk av breelver (se figur 2.1.7). Disse ble dannet når isen ikke lengre lå i umiddelbar kontakt med havet, og smeltevannet fulgte dalbunnene (Krigström, 1962; Selmer-Olsen, 1977). Slike avsetninger består som regel av velsortert grus og sand, og står ofte i skråninger med en helning nesten lik friksjonsvinkelen for materialet (Jørgensen mfl., 2013; Sandersen, 2014).

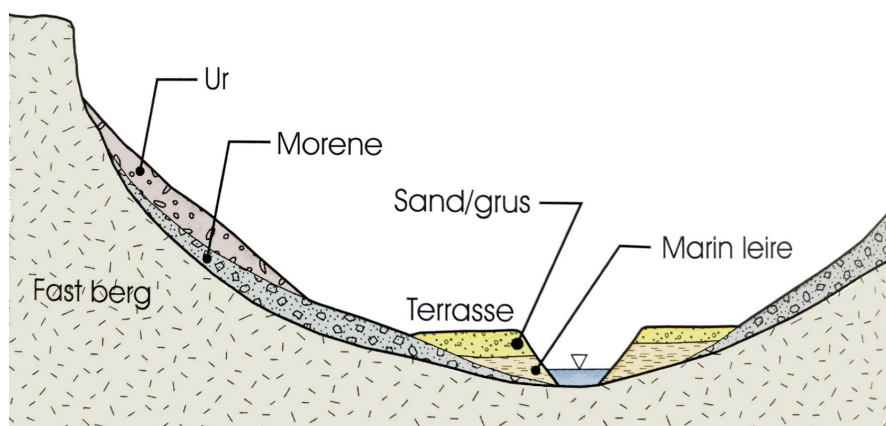
Eksempel på subglasiale/englasiale avsetninger er eskere, de er lange rygger av breelvsmateriale avsatt i kanaler på, i, eller under isen (Selmer-Olsen, 1977).

Generelt for breelvsavsetninger er at de varierer stort i sorteringsgrad og kornstørrelse. Når smeltevannsstrømmen har hatt lavere vannføring har den avsatt materiale i sand og grusfraksjon, og størrelsesfraksjonen har økt til stein og blokk i perioder med høyere vannføring. Avsetningen vil derimot ikke inneholde de fineste fraksjonene som leir og silt (Jørgensen mfl., 2013; Selmer-Olsen, 1977). Det vil si at avsetningen ofte har en lagdeling basert på vannføringen. Rundingsgraden og sortering varierer etter hvor langt kornet har blitt transportert, og kan derfor ligne på både morene og fluviale avsetninger. Typisk er likevel god sortering og løs pakning som gir en porøs og permeabel løsmasse (Brattli, 2018).

2.1.2.5 Andre avsetningstyper

Avsetningstyper som marine-, fluviale, innsjø- og bresjøavsetninger er også vanlige sedimenter i Norge. Disse avsetningene er ikke typiske i utløsningsområder for jordskred, da de gjerne finnes i slakt til flatt terreng, og vil derfor ikke bli omtalt videre.

Figur 2.1.8 viser en typisk distribusjon av løsmasseavsetninger i en norsk dal med morene i bunn, skredavsetninger langs bratte gradienter, og marine avsetninger i dalbunnen overlatt av glasifluviale eller fluviale sedimenter som er gjennomskjært av nåtidens elvesystem.



Figur 2.1.8: Typisk fordeling av løsmasseavsetninger i en norsk dal (Sandersen, 2014). Se tegnforklaring i figur.

2.2 Jordskred

Jord- og flomskred inngår i samlegruppen løsmasseskred, som også inkluderer skred i leirfraksjonen. De skiller fra leirskred og kvikkleireskred på kornstørrelse, vanninnhold og terrengform, som gir ulike betingelser for løsnemekanisme, bevegelse og skredets forløp (NVE, 2013).

2.2.1 Forskjellen mellom jord- og flomskred

Jord- og flomskred innebefatter kornfraksjoner fra silt og større, og inkluderer menneske-lagte masser (Sandersen, 2014; NVE, 2013). Definisjonen er ifølge NVE sitt faktaark for jordskred og flomskred følgende:

“Jordskred og flomskred er raske, flomlignende skred av vannmettede løsmasser i bratte skråninger og elveløp” (NVE, 2013)

Det kan være vanskelig å skille mellom jordskred og flomskred, ofte er feltundersøkelser nødvendig for å trekke en konklusjon. Forskjellen ligger i at flomskred alltid følger definerte vannløp, også de som bare periodevis er vannførende. Jordskred følger ikke definerte vannløp (NVE, 2013). Det forekommer tilfeller hvor et jordskred gradvis blir til et flomskred, dersom det glir ned i et vannløp eller et vannfylt søkk i terrenget (Sandersen, 2014). Skredtypene kan også skiller på avsetningsform og sedimentsortering (NVE, 2013). Bevegelsesformen til jordskredet vil ha en glidende bevegelsesform, et flomskred vil derimot være flytende eller strømmende (Sandersen, 2014). Flomskred kan i ekstremtilfeller med usedvanlig mye nedbør løsne med helningsvinkel ned mot 10° (Sandersen, 2014).

Videre vil denne oppgaven fokusere på jordskred.

2.2.2 Skredtyper

Jordskred kan enten løsne i etablerte kanaler, eller i åpen skråning (Rubensdotter mfl., 2021). Denne oppgaven benytter datasett som inkluderer begge typer. Jordskred i åpen skråning kan danne nye kanaler ved erosjon (Rubensdotter mfl., 2021). De kan også ha et utvidende bevegelsesmønster, der skredet starter i et punkt eller sone og vokser i bredde fra løsneområde til utløpsområde. Disse skredene kalles ofte trekantskred (Sandøy mfl., 2017). Rotasjonsskred og utglidninger er to andre typiske skredformer i åpen skråning. Rotasjonsskred har et skålformet løsneområde der bakre del av de utløste massene glir

ned og frem, og fremre del av massene blir løftet opp (Cruden & Varnes, 1996). Dersom et tre sto på jorda i løснеområdet ville toppen ha falt mot toppen av skredet. Utglidninger har en glidende bevegelse langs relative slette glideplan, og har liten bevegelse i andre retninger enn skredretning (Cruden & Varnes, 1996).

2.2.3 Skredprosesser

Skredbanen deles inn i løснеområde, skredløp og utløpsområde (Sandersen, 2014). Det er flere prosesser som til sammen utgjør et jordskred, og de er i stor grad koblet sammen med posisjon i skredbanen.

2.2.3.1 Utløsning

Et jordskred kan utløses langs et glideplan i et punkt eller i en større sone i løsmassene, felles er at det starter ved en plutselig utglidning. Løsmassene er alltid vannmettede ved skredutløsning (NVE, 2013). Løsmasselaget som glir ut er ofte grunt, omtrent 0.5-1m (Sandersen, 2014). Løснеområdet kan observeres i etterkant av et skred som en fordypning, ofte med en markert bakkant (Rubensdotter mfl., 2021). Mer utfyllende om utløsning av jordskred i kapittel 2.3 Utløsning av jordskred.

2.2.3.2 Transport og erosjon

I tillegg til transport av løsmasser fra løснеområde til utløpsområde blir også nye løsmasser tilført skredet av pågående erosjon (Rubensdotter mfl., 2021). Dette er årsaken til at de fleste jordskred har en såkalt pæreform (Sandersen, 2014). Erosjonen skjer hovedsakelig i utløsningsområdet, men forekommer også i skredløpet (Sandersen, 2014). Skredløpet er i den bratteste delen av skråningen, erosjon her kalles ravinerings. Her vil skredet ha høyest energinivå (Rubensdotter mfl., 2021).

2.2.3.3 Avsetning

Hovedavsetningen skjer i utløpsområdet. Det kan ligge i bunnen eller et slakere område av skråningen. Avsetningen skjer der både energi og skråningsvinkel har avtatt tilstrekkelig til at friksjon innad i skredet og mot underlaget dominerer (Rubensdotter mfl., 2021). Avsetning er ikke begrenset til utløpsområdet, men forekommer også langs flankene av skredløpet, eksempelvis i form av leveer (Rubensdotter mfl., 2021). Det er kurvaturen i skredløpet som avgjør hvor massene blir avsatt, og det er ikke uvanlig å se spor av avsetning tett opp til løснеområdet (Rubensdotter mfl., 2021).

Vanninnholdet i skredet bestemmer utseendet på utløpsområdet. Det kan variere mellom konvekse tungeformer eller en mer spredt vifteform med overflatespor tilsvarende vannerosjon (Rubensdotter mfl., 2021). Et økende vanninnhold vil også sørge for at skredløpet blir lengre, årsaken er at den indre friksjonen i skredet blir betraktelig lavere (Rubensdotter mfl., 2021).

2.3 Utløsning av jordskred

For at et jordskred skal løsne må det være tilgang på løsmasser, og det må være bratt nok. Følgende underkapitler omtaler faktorer som påvirker skredutløsning.

2.3.1 Skråningens helningsvinkel

Helningsvinkelen på skråninger det har gått jordskred i er vanligvis over 25° , men dersom terrengformen har depresjoner som tillater en oppbygning av vanntrykk i løsmassene vil nødvendig helningsvinkel avta (Sandersen, 2014). I følge NVE (NVE, 2013) er helningsvinkelen normalt over 30° , men kan være så lav som $20\text{--}25^\circ$ dersom skråningen er vegetasjonsfri, løsmassedekket over en glatt bergoverflate er tynt, eller ved betydelige menneskeskapte inngrep. I en studie foretatt av NGU i 2017 ble det foreslått å gjøre videre studier på helningsvinkel for løsneområder da det ble funnet at ikke-kanaliserte jordskred kan utløses i skråninger med helning $22^\circ \pm 2^\circ$ (Sandøy mfl., 2017). NGU utførte en studie som ble publisert i 2021 hvor de har funnet at de fleste løsneområdene har helningsvinkel mellom 25° og 30° , men at omtrent 5% av de har en helningsvinkel på under 20° . Disse områdene ligger stort sett på jordbruksareal (Eilertsen mfl., 2021).

Økende terrenghelning, og særlig skråninger brattere enn 30° , gir økt sannsynlighet for utløsning av skred, dersom de andre parameterene som tilgjengelige løsmasser og mangel på drenering er til stede. Dette skyldes at en slik helning er nær den naturlige friksjonsvinkelen til de fleste løsmasser, som resulterer i en ustabil skråning (NVE, 2020). I den oppdaterte veilederen for skredfarevurdering av jordskred skriver NVE at terrenghelning over 25° indikerer økt sannsynlighet for utløsning av jordskred, og terrenghelning under 20° indikerer god stabilitet og lavere sannsynlighet (NVE, 2020).

2.3.2 Vanntetting og drenering

I følge definisjonen av et jordskred må løsmassene i løsneområdet være vannmettede. For å oppnå vanntetting må vann dreneres inn mot løsmassene, konkave terrengformer tillater ofte dette (NVE, 2020). Løsneområder ligger oftere i slike depresjoner i terrenget enn i konvekse former, som ryggformasjoner. Det er likevel ikke slik at drenering inn mot et område er avgjørende faktor for utløsning av et jordskred, og skred kan også starte i konvekse formasjoner (NVE, 2020).

Vanntetting sørger for økt poretrykk som medfører en reduksjon i kornkontakt og friksjon mellom kornene, i tillegg til økt tetthet (Boje mfl., 2009). Den økte tettheten resulterer i økt skjærspenning langs glideplanet. Reduksjon av kapillært sug forekommer dersom jorda blir vannmettet (Sandersen, 2014). Disse elementene er drivende bidragsgivere for utløsning av et jordskred (Boje mfl., 2009; Sandersen, 2014). Årsaken for vanntetting av løsmassene kan være intens nedbør, snøsmelting, endring i vannivå i dammer, innsjøer og elver, eller endring i grunnvannstanden (Highland & Bobrowsky, 2008). Vann kan også strømme opp i løsmasselagene fra sprekker i bergoverflaten (Sandersen, 2014).

2.3.3 Glideplan

En forskjell i løsmassenes egenskaper er avgjørende i dannelsen av et glideplan, eller skjærflate, hvor et kritisk poretrykk kan bygges opp (Sandersen, 2014). Ofte skjer utglidningen i skillet mellom et kompakt impermeabelt lag, og et løsere lag som lar seg infiltrere av vann. Det impermeable laget kan bestå av blant annet bergoverflate, bunnmorene, tele, eller kompakt forvittringsjord (NVE, 2013; Eilertsen mfl., 2021; Boje mfl., 2009; Sandøy mfl., 2017). Bunnmorene har et høyt innhold av finstoff, som fører til at vannet ikke kan trenge lett igjennom laget, og det vil skje en oppbygning av poretrykket i det overliggende laget (Eilertsen mfl., 2021). Skjærstyrken i bunnmorenen varierer i stor grad med mineralogien, som kan direkte korreleres med den lokale berggrunnen (Eilertsen mfl., 2021). Friksjonsvinkelen avgjøres også av mineralogien, i tillegg til kornstørrelsen (Eilertsen mfl., 2021). Det overliggende, løsere laget kan bestå av ablasjonsmorene, or-

ganisk jord, tint lag over tele. Ved utglidning i morene er skillet mellom forvitret og uforvitret morene det vanligste glideplanet (Sandersen, 2014).

2.3.4 Vegetasjon

Som tidligere nevnt kan vegetasjonsendringer bidra til å redusere stabiliteten i en skråning (Emdal, 2022). Trær danner røtter som kan binde jordlaget og glideplanet sammen, og har altså en forankringseffekt som øker skjærstyrken. Vekten av trærne vil derimot også bidra til økte skjærspenninger, og dersom røttene ikke går dypt nok vil de ikke skape en forankringseffekt (Chatwin, 1994). Trær og annen vegetasjon vil også motvirke høye poretrykk ved å suge opp og benytte seg av nedbørsvannet (Sandersen, 2014). Også tynne humus- og vegetasjonsdekker på bergoverflaten kan gli ut og skape et jordskred (Rubensdotter mfl., 2021).

2.3.5 Vær og klima

Norge har i de alpine områdene langs kysten et maritimt klima med mye nedbør både sommer og vinter (Rubensdotter mfl., 2021). I disse områdene går de fleste skredene i perioden oktober til januar, i forbindelse med høstnedbør (Sandersen, 2014). I indre strøk som Østlandet, Finnmark og Troms, er klimaet mer kontinentalt. Der går de fleste skredene under snøsmeltingsperioden på våren (Sandersen, 2014).

2.3.6 Andre faktorer

Erosjon på skråninger forårsaket av elver og bekker, eller utgravninger i byggesammenheng, kan undergrave skråningsfoten og resultere i skred (Sandersen, 2014; Emdal, 2022). Vannmettede løsmasser i en bratt skråning kan være en liten påvirkning unna å nå kritisk poretrykk og gli ut. Steinsprang og små dyretråkk kan da være nok påvirkning for å løse ut skred (Sandersen, 2014; Jose Pullarello, Personlig kommunikasjon, 07.09.23).

2.4 Landskap

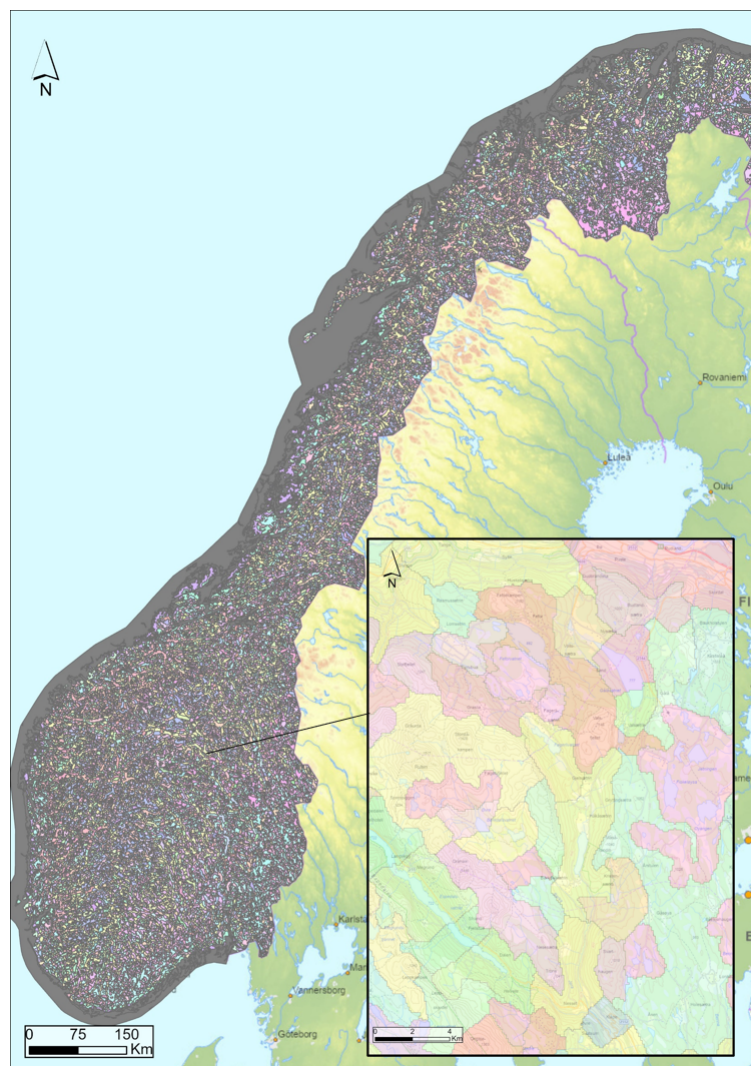
Landskap i Norge er, sammenliknet med andre europeiske land og tatt i betraktning landets størrelse, utrolig varierte naturforhold. Det er også store variasjoner i klima, og utnyttelse av areal (Simensen mfl., 2021). I følge Statistisk Sentralbyrå er 1,8% av det 384 483 km² store Norge bebygd, 3,5% er jordbruksareal, 37% er skogdekt, og 34,5% er åpen fastmark (Statistisk sentralbyrå, 2023). De resterende prosentene er fordelt på myrlandskap, bart fjell, ferskvannsområder eller snø- og isdekte areal. Landskapet er i stadig endring, og endringen skjer raskt. For å kunne bevare den store diversiteten som det norske landskapet består av, og for å bruke arealet på en måte som ikke er nedbrytende, er det forutsatt at det finnes kunnskap om landskapet (Simensen mfl., 2021).

2.4.1 Natur i Norge (NiN)

Natur i Norge (NiN) er i følge Artsdatabanken en verktøykasse som systematisk beskriver natur på et generelt nivå, slik at informasjonen kan benyttes for ulike formål. Med natur menes landskap, natursystem og livsmedium (Artsdatabanken, 2023). De har laget et landskapstypekart over Norge på bakgrunn av GIS-analyser og såkalte “nabolagsberegninger”, eller fokalstatisikk, av landskap. Inndelingen gir en systematisk oversikt over hvor mange steder hver landskapstype opptrer, og hvor store areal de dekker (Simensen mfl., 2021). Landskapstyper blir av NiN definert som;

“Større geografisk område med enhetlig visuelt preg, skapt av enhetlig dominans av store landformer og kjennetegnet ved karakteristisk fordeling av landformer, natursystemkomplekser, natursystemer og andre landskapselementer.” (Erikstad mfl., 2019)

Se figur 2.4.1 for visuell fremstilling av datasettet. Versjonen som benyttes i oppgaven er NiN 2.2.0.



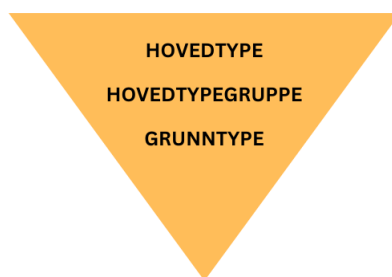
Figur 2.4.1: Natur i Norge (NiN) i inndelingen “grunntype”. Det er i alt 284 forskjellige grunntyper. Vindu til høyre viser en forstørrelse av området Kvikne, Vinstra, for å demonstrere polygonstørrelse.

2.4.2 Inndeling av landskapstyper

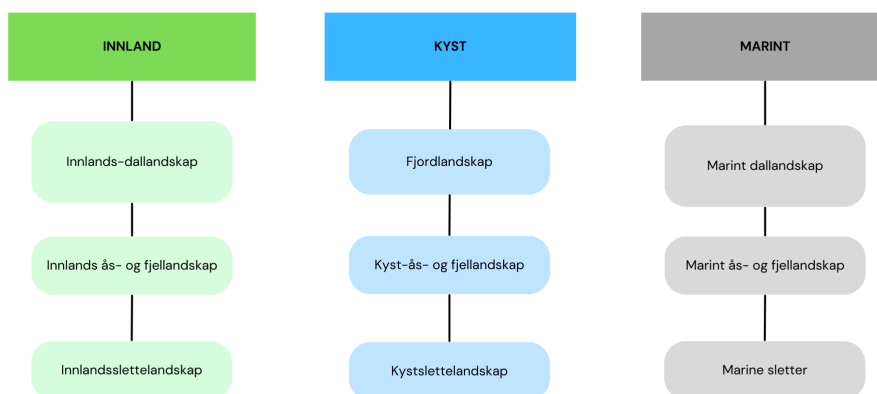
NiN kategoriserer landskap i tre trinn (se figur 2.4.2). Hovedtypene innlands-, kyst- og marine landskap deles inn i til sammen ni hovedtypegrupper (se figur 2.4.3). Hovedtypegruppen er overordnet, og tar hensyn til landskapsformer formet av langvarige geologiske prosesser (Erikstad mfl., 2019). Under hver hovedtypegruppe finnes en rekke grunntyper som er en sammensetning av landskapselementer som er resultatet av kortvarige prosesser, geologiske, biologiske og menneskeskapte. Det innebefatter småskala relieff, vegetasjon (over/under den klimatiske skoggrensen), bebyggelse og jordbruk (Erikstad mfl., 2019). Marine landskap er ikke kartlagt med grunntyper, dette skyldes mangel på

gode nok data (Simensen mfl., 2021; Erikstad mfl., 2019). Utstrekningen på de kartlagte landskapsområdene er mellom 2 og 20 km², oppløsningen tilsvarer en kartlegging på 1:50 000 eller grovere (Erikstad mfl., 2019). Kartleggingen har resultert i et datasett som kan benyttes til ulike formål, men som alle andre datasett inneholder dette usikkerheter. Usikkerhetene skyldes variasjon i alder og kvalitet av tilgjengelige datasett, mangel på data, vurderinger som er gjort, og kvaliteten på inngående datasett. Kun datasett som er heldekkende for Norge er benyttet i dannelsen av landskapskartet, og det vil derfor være flere naturtyper som ikke er tatt hensyn til (Erikstad mfl., 2019).

Det totale kartlagte området er 470 040 km², hvorav innland-, kyst- og marine landskap står for henholdsvis 297 156 km², 70 073 km² og 102 811 km² av arealet (Simensen mfl., 2021).



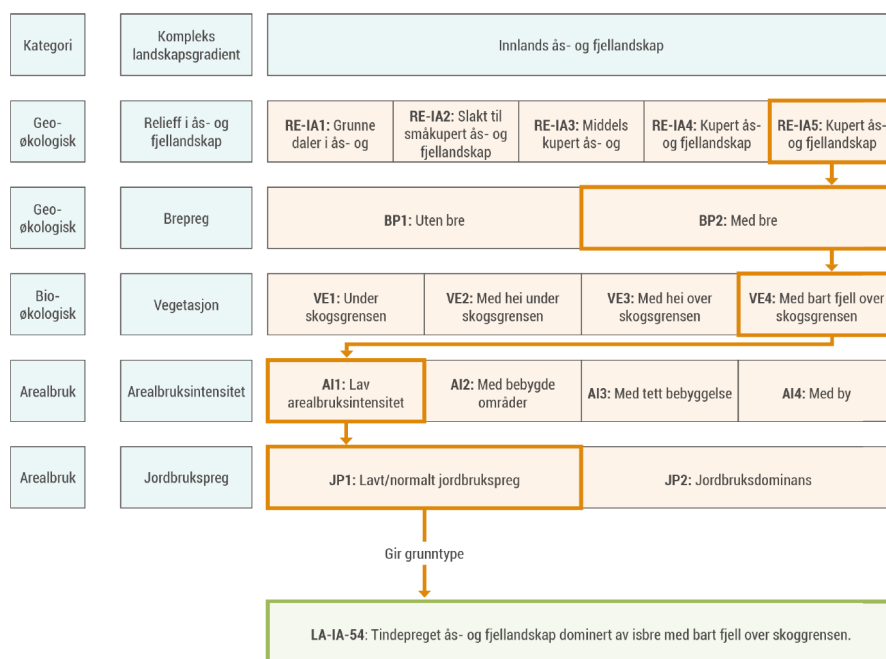
Figur 2.4.2: Trinnvis inndeling av landskapstyper (NiN).



Figur 2.4.3: Hovedtyper og hovedtypegrupper, basert på NiN inndeling av landskapstyper.

2.4.3 Komplekse landskapsgradienter

Det er ingen konkrete grenser i naturen som skiller en landskapstype fra en annen, men heller en gradvis overgang. NiN landskapsinndeling beskriver det som en overgang mellom ulike landskapselementer, hvor et landskapselement er et objekt, egenskap eller enhet som enten forekommer naturlig, eller er menneskeskapt. De skal kunne observeres og identifiseres i relevant skala (Erikstad mfl., 2019). Dette utføres i praksis ved hjelp av komplekse landskapsgradienter (KLG). De kalles komplekse da de tar for seg en grad-



Figur 2.4.4: Grunnstype (her LA-IA-54) bestemmes av de komplekse landskapsgradientene, småskala relieff, brepreg, vegetasjon, arealbruksintensitet og jordbrukspreg (Erikstad mfl., 2019).

vis samvariasjon av landskapselementer som ofte forekommer på samme sted (se figur 2.4.4) (Erikstad mfl., 2019). KLG-ene er fordelt på de tre kategoriene geo-økologisk, bio-økologisk og arealbruk. Det er totalt elleve gradienter, hvorav åtte av de er geo-økologiske (se figur 2.4.5). Eksempel på KLG-er er gradienten arealbruksintensitet eller jordbrukspreg. Et områdes innhold av KLG-er bestemmer områdets grunnstype, og det er 284 unike kombinasjoner fordelt på kyst og innland (Simensen mfl., 2021). Ved en utskiftning på omtrent 10% av landskapselementene vil grunntypen byttes ut med en ny (Erikstad mfl., 2019). Det er likevel ikke mulig å gi en perfekt beskrivelse av et landskap med alle reelle variasjoner og elementer, og dette må sees på som en forenklet tilnærming av det faktiske landskapet. Den fineste inndelingen som er gjort er på grunnlag av en digital høydemodell (DEM) med relativt grov oppløsning, dette er den største usikkerhetsfaktoren og begrensningen for presisjon i valget av landskapstype (Erikstad mfl., 2019). Enkelte inndelinger er utført med svakt eller ikke-representativt grunnlag, da det har vært få landskapselementer innenfor kartleggingsområdet (Erikstad mfl., 2019).

2.5 Nasjonalt referansesystem for landskap (NIBIO)

En tidligere versjon av klassifisering av Norges landskap ble utgitt i 2005 av Norsk institutt for jord- og skogkartlegging ved Ås (NIJOS). Datasettet beskriver Norge som 45 landskapsregioner, med hver sine landskapelige særpreg. I medfølgende rapport, skrevet av landskapsgeograf Oskar Puschmann ved NIJOS (Puschmann, 2005), beskrives datasettet i detalj. De 45 landskapsregionene har tilsammen 444 underregioner, som er satt sammen av lokale landskapssegmenter. Karakteristikkene som er valgt for å beskrive landskapet er både geologiske, biologiske og kulturelle, og består av følgende komponenter:

- Landskapets hovedform
- Landskapets småformer
- Vann og vassdrag



Figur 2.4.5: KLG-er fordelt på de tre hovedkategoriene geo-økologiske gradienter, bio-økologiske gradienter og arealbruksgradienter.

- Vegetasjon
- Jordbruksmark
- Bebyggelse og tekniske anlegg

Landskapsregionene har individuelle landskapskarakterer som skiller de fra andre landskapsregioner, og som definerer grensene mellom dem (Puschmann, 2005).

Underregionene er satt på de samme premissene, adskilt fra hverandre ved introduksjon av nye landskapselementer eller avvik fra det omliggende landskapet (Puschmann, 2005).

2.6 Aktivitetskart

NGU har utviklet et aktivitetskart (se figur 2.6.1) som skal gjenspeile jordskredaktiviteten i hver sone. Sonene følger REGINE-nedbørfelt (register over nedbørfelt) som er produsert av NVE og kan sees i NVE (2021). Datagrunnlag for aktivitetskartet er skyggerelieff (DTM) med oppløsning 1 m, og visuell skala 1:3000/4000. Kartet består av tre aktivitetssoner (1, 2, 3) med økende skredaktivitet. Sonene er satt basert på tidligere skredaktivitet i åpen skråning observert manuelt fra skyggerelieff, og er vurdert i kvad-



Figur 2.6.1: Aktivitetskart fra NGU. Kartet er under utvikling, og det er kun et utkast som benyttes.

ratistiske vindu på 1x1 km spredt innenfor hvert nedbørfelt. Hvert nedbørfelt er vurdert fra minst 1-2 vindu, i startfasen på prosjektet ble flere vindu benyttet. Kriterier for de ulike sonene er vist i tabell 2.6.1. Der aktivitetssoner ikke er satt kan polygonet (nedbørfeltet) ha verdien “9999”. Dersom observasjonsvinduene innenfor et nedbørfelt svarer til ulike aktivitetssoner blir den høyest nummererte sonen valgt. Aktivitetskartet som benyttes er ikke ferdig utviklet og er kun et utkast (Rubensdotter mfl., 2023).

Tabell 2.6.1: Vurderingskriterier for aktivitetssoner.

Aktivitetssone	Antall observerte skred
1	0
2	1-2
3	≥ 3

2.7 NGU punktdata - tidligere skredhendelser

NGU har utarbeidet et datasett som består av skred som er registrert ved ordinær løsmassekartlegging i Norge (se figur 2.7.1), og består derfor i stor grad av “prehistoriske” skred tolket fra landskapet. Datasettet består av punkter og linjer, til sammen 3720 objekter. Punktene er hentet fra blant annet detaljkartleggingsområder vist i figur 2.7.2 (NGU, 2024c).



Figur 2.7.1: NGU punkter og linjer fra tidligere kartlagte skredhendelser.



Figur 2.7.2: Områder for detaljert kvartærgeologisk kartlegging, i samme områder som skredpunktene.

2.8 *Hans*-data med skredpunkter

Et datasett med 665 skredpunkter fra *Hans* ble fremstilt av Rüther mfl. (2024) i etterkant av ekstremv  rholdelsen som fant sted i august 2023. Datasettet inneholder tre lokasjoner innad i hvert skred, senterpunktet, høyeste punkt i skredet, og skredets omkrets i form av et polygon. Til denne oppgaven er det høyeste punktet i skredet benyttet. For mer informasjon om datasettet henvises det til artikkelen *Landslide inventory: 'Hans' storm southern Norway, August 7-9, 2023* av Rüther mfl. (2024). Se figur 2.8.1.

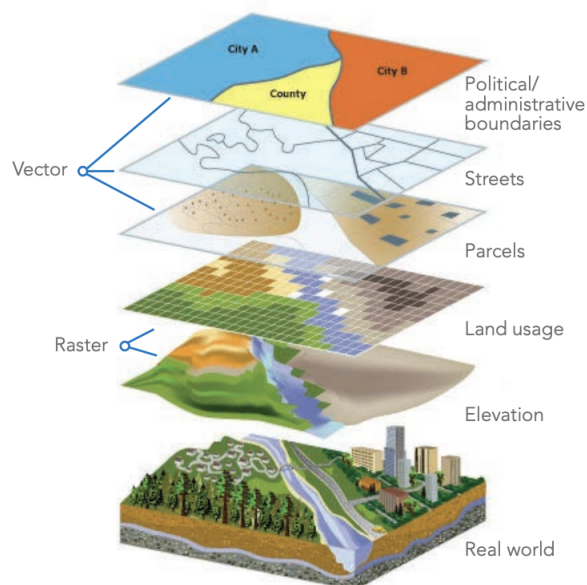


Figur 2.8.1: Samtlige punkter fra *Hans*-datasett er plassert i Sør-Norge, sentralt i landet.

2.9 Geografiske informasjonssystem (GIS)

Geografiske informasjonssystemer, eller GIS, er et datasystem og programvare som kan fremstille romlige data basert på tilgjengelig kartdata. Systemet kan også lagre, analysere, prosessere, legge til eller endre disse dataene ved bruk av ulike verktøy (Heywood mfl., 2011).

For å kunne fremstille en tilnærming av virkeligheten kreves et koordinatsystem som beskriver lengde- og breddegrad, samt geodesisk høyde. Det er ønskelig å gi et todimensjonalt bilde av den tredimensjonale virkeligheten, og koordinatene må derfor transformeres. Dette gjøres med en kartprojeksjon, som er en tilnærming av overflatearealet til



Figur 2.9.1: Fremstilling av den virkelige verden i vektor- og rasterlag (Harder & Brown, 2017).

jordkloden, det finnes flere varianter. For å gi en perfekt oversettelse må form, areal, retning og distanse være korrekt. Ingen av kartprosjeksjonene har alle de fire kriteriene riktige på alle steder samtidig. Prosjeksjon må derfor velges ut i fra hvilket av de fire kriteriene som er viktigst for det aktuelle prosjektet (Wieczorek og Delmerico, 2009; Heywood mfl., 2011). Eksempler på projeksjoner er Lambert, Miller og Mercator (Heywood mfl., 2011).

Følgen av at ikke alle kriteriene blir møtt er at store deler av kartet vil bestå av forvrengte representasjoner av for eksempel areal og distanse. For å oppnå optimal presisjon benyttes projiserte koordinatsystem som er kartprosjeksjoner tilpasset spesifikke geografiske områder, eksempler er Universal Transverse Mercator (UTM) og UK Ordnance Survey's National Grid (Heywood mfl., 2011). Disse systemene splitter jordkloden i rektangulære soner, eller et grid, hvor hver av sonene har en egen tilpasning av projeksjonen. UTM-systemet består av 60 soner som alle har en høyde på seks lengdegrader (Heywood mfl., 2011).

Geografisk data fremstilles som linjer, punkt, polygoner (areal), overflater eller nettverk (Heywood mfl., 2011). Disse typene av datafremstilling kan inndeles under to hovedkategorier, vektordata og rasterdata som vist i figur 2.9.1.

2.9.1 Vektordata

Vektordata er punkter, linjer og polygoner som kommer av posisjonsdata for elementene som beskrives (Wieczorek & Delmerico, 2009). Eksempler på elementer som typisk beskrives som vektordata er veier og bygninger.

2.9.2 Rasterdata

Rasterdata er nettverk og overflater som gjerne består av flere klasser. Matriser med et gitt antall kolonner og rader styrer størrelsen på nettverket eller overflaten, og verdien i hver celle angir klassen. Det kan sammenliknes med et bilde, hvor hver pikselverdi representerer en farge. Et eksempel på en raster er en fremstilling av et naturområde. Alle cellene med verdien 1 er klassen skog, 2 er gress, 3 er vann og så videre. Rasterfiler

kan inneholde mye data, og det kan ta betraktelig lengre tid å gjøre beregninger enn det vil for vektorfiler (Wieczorek & Delmerico, 2009).

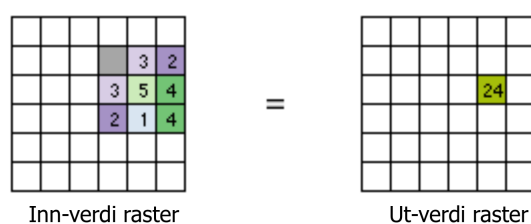
2.9.3 Aktuelle ArcGIS PRO verktøy

Spatial Join

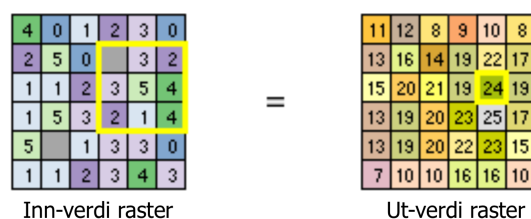
Spatial Join tar inn to filer (helst vektorfiler), hvor den ene er målfilen (target feature). Den andre filens egenskaper (join feature) vil legges til målfilen. Det resulterer i én fil som har utstrekningen til målfilen, men egenskapene til begge filer (ESRI, 2024d). Tilgjengelige alternativ er å slå sammen én til én, én til mange, og å utelukke målfiler som ikke har romlig overlapp med den andre filen (join feature).

Focal Statistics

Verktøyet benytter seg av et sett av naboliggende celler eller piksler i en raster for å beregne verdien i en sentral prosesseringscelle, og gir en enkelt ut-verdi celle (se figur 2.9.2 og 2.9.3). Nabolag overlapper hverandre, slik at det som var prosesseringscellen i et nabolag kan være en del av de omliggende cellene i et annet nabolag. Ut-verdiene lagres i en ut-verdi raster, som vil være komplett når alle nabolag har blitt prosessert. Minimums, maksimums- og gjennomsnittsverdier er eksempel på statistikk som produseres i beregningen (ESRI, 2024a).



Figur 2.9.2: Et nabolag av celler fra inn-verdi rasteren benyttes for å beregne ut-verdien av den sentrale cellen (Modifisert fra ESRI (2024a)).



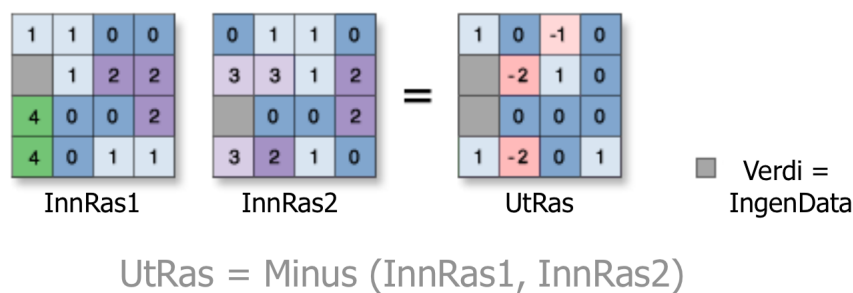
Figur 2.9.3: Når alle nabolagene er prosessert er resultatet en ny rasterfil (Modifisert fra ESRI (2024a)).

Raster Calculator

Kalkulatoren muliggjør algebraiske beregninger med flere rasterfiler som parametre (ESRI, 2024b). Verktøyet krever et sett med inn-verdi rasterfiler.

Minus

Verktøyet er en del av pakken *Spatial Analyst* som tar inn to rasterfiler som inn-verdi. Pikseldier i hver celle i inn-verdi 2 trekkes fra den respektive celle i inn-verdi 1 (se figur 2.9.4) (ESRI, 2024c).



Figur 2.9.4: Pikselsverdien i inn-verdi raster 2 trekkes fra den samme cellen i inn-verdi raster 1 med verktøyet *Minus* (Modifisert fra ESRI (2024c)).

2.10 Fjernanalyse

Fjernanalyse muliggjør målinger og bildetaking av jordens overflate og dens objekter fra en større avstand. Målingene utføres fra fly eller satellitter (Schowengerdt, 2006). En typisk måling som benyttes i dag er metoden light detection and ranging (LiDAR). Metoden baserer seg på laserlys som sendes ned til terrengoverflaten fra en sender som sitter på et fly. Tiden laserlyset bruker for å reflekteres av et objekt og treffe mottakeren på flyet er avgjørende for hvor sterkt signal som produseres. Signalet kan konverteres til avstand mellom overflaten og flyet, og dermed produsere høydedata (Wandinger, 2005). De digitale terrengmodeller som er brukt i denne oppgaven er fremstilt ved bruk av LiDAR (Statens kartverk, 2023).

2.10.1 Digitale terrengmodeller (DTM)

Digitale terrengmodeller, eller DTM, er tilnærminger av en terrengoverflate basert på et endelig antall observasjoner utført med flyfoto eller LiDAR. Overflaten mellom disse observasjonene modelleres. Riktigheten av modellen øker med antall observasjoner, dette bestemmer også oppløsningen. En kompleks overflate vil være vanskeligere å modellere, og krever flere punktobservasjoner (Heywood mfl., 2011).

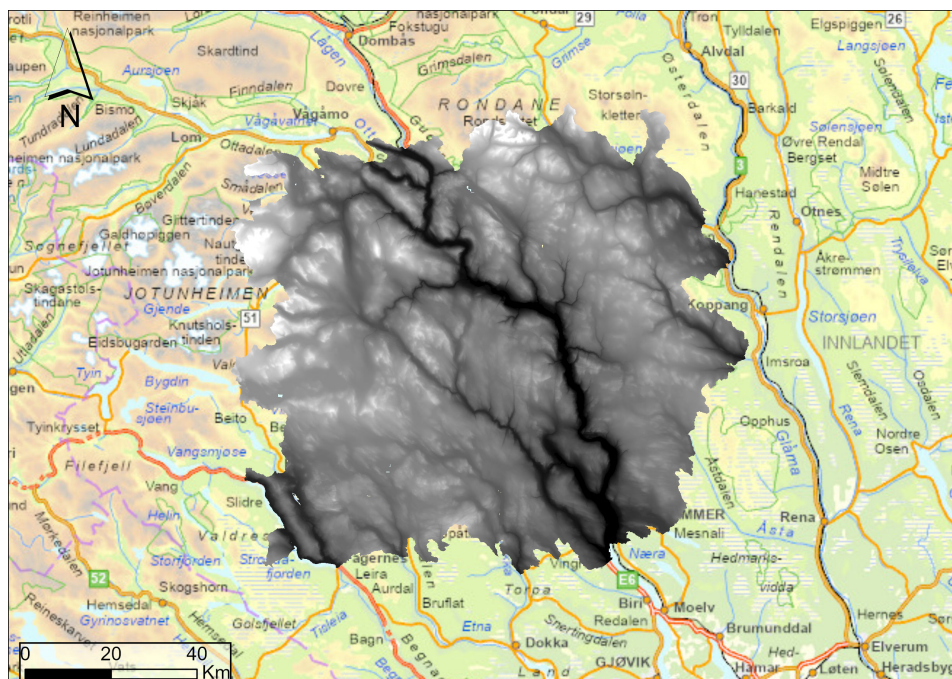
Observasjonene består av geografisk posisjon (x,y) og høyde (z). Mulige datakilder er flyfoto, konturer, topografiske kart, satellittbilder, LiDAR eller egne feltmålinger (Heywood mfl., 2011).

Digitale høydemodeller, eller DEM (Digital Elevation Matrix/Model), er en variant av DTM. Modellen er en raster hvor hver celle i matrisen er en høydeverdi. Også her er riktigheten avhengig av tilstrekkelige datapunkter og kompleksiteten av terrengoverflaten (Heywood mfl., 2011).

Til denne oppgaven benyttes DTM over feltområdet (se figur 2.10.1).

2.10.2 Topografisk ruhetsindeks (TRI)

Terrengets overflateruhet defineres i følge Smith (2014) på mange ulike måter, eksempelvis som *mikrotopografi*. Day og Chenoweth (2013) definerer overflateruhet som ujevnheter i terrengets overflate grunnet høydeforskjeller. Den topografiske ruhetsindeksen er gir informasjon om småskala ruhet, og viser ruhet på pikselnivå (Trevisani mfl., 2023). Indeksen er den deriverte av helningen, eller endringen av høyden i en skråning. Metoden benytter en sentral piksel og dens “nabolag”, som er de omkringende pikslene. Summen av endring mellom nabolaget og den sentrale pikselens overfla-



Figur 2.10.1: Utklipp av landsdekkende DTM benyttet for å se på ruhet og topografisk posisjonsindeks i feltområdet. Området inneholder skredpunkter fra både tidligere skredhendelser, og fra *Hans*-datasettet.

teruhet (Riley mfl., 1999). En helt jevn overflate vil ha en TRI-verdi lik null, maksimal verdi er én.

2.10.3 Topografisk posisjonsindeks (TPI)

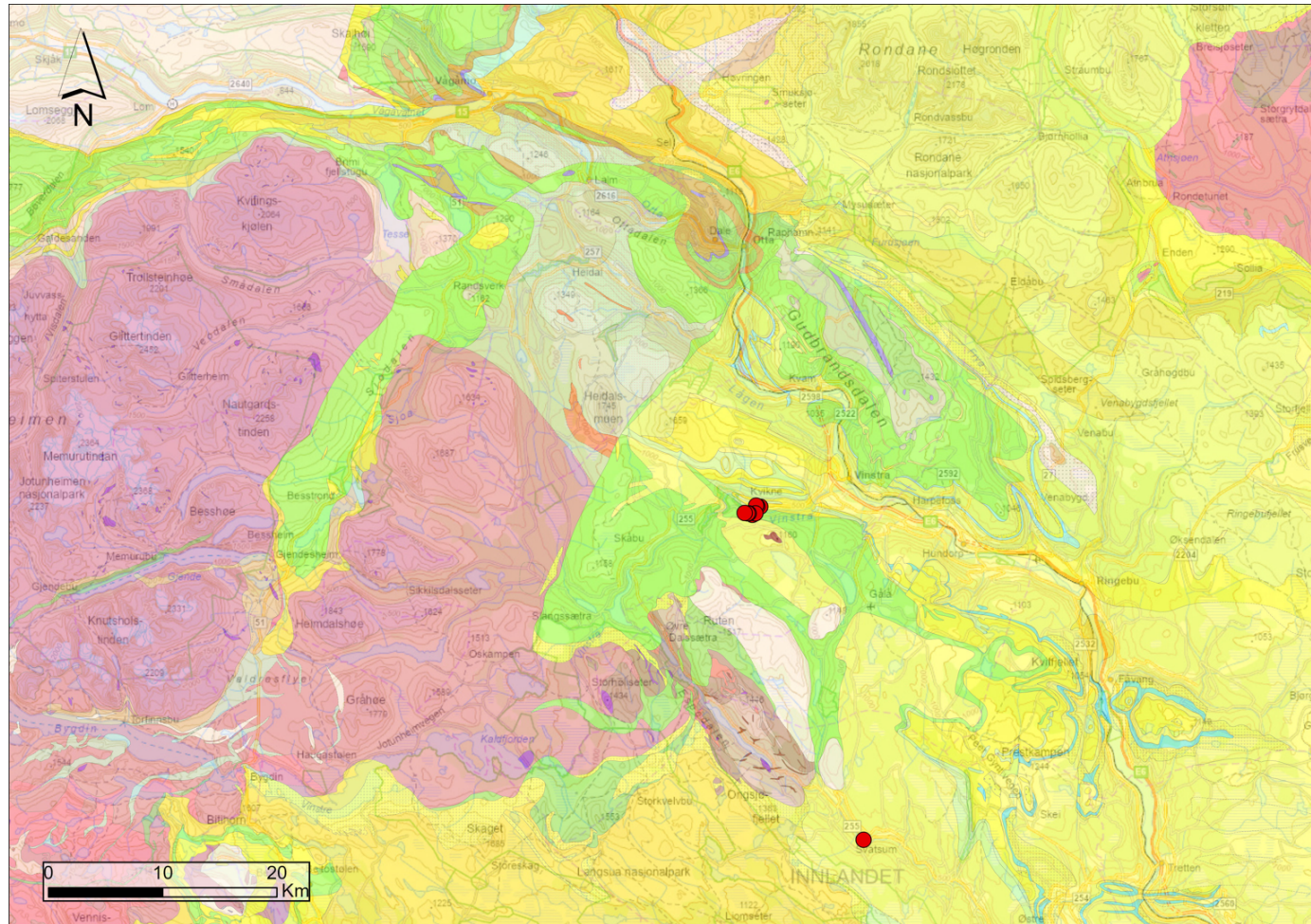
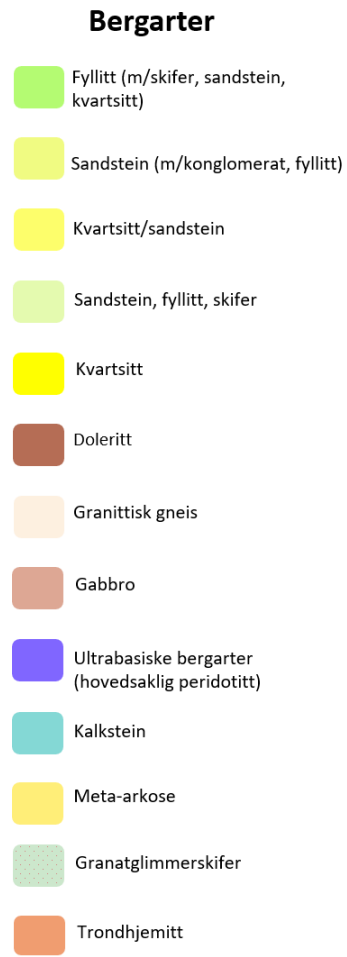
Topografisk posisjonsindeks gir et uttrykk for topografien relativt til omgivelsene. Omgivelsene er et nabolag av piksler, og TRI-verdien i den sentrale pikselen beregnes på grunnlag av forskjellen mellom gjennomsnittshøyden til nabolaget og sentralpikselens egen høydeverdi (De Reu mfl., 2013). Topper har positive verdier, og forsenkninger eller daler vil ha negative TRI-verdier. Nullverdier kan bety at det er flatt, eller at skråningen har en konstant helning. Skala og pikselstørrelse har stor innvirkning på resultatet (Weiss, 2001).

3.1 Områdebeskrivelse feltlokaliteter

Ettersom GIS-analysen dekker hele Norge, er det ikke meningsfylt å gå inn på områdebeskrivelse for hele landet. Det fokuseres derfor på området for feltlokalitetene. Lokasjon for feltarbeid var i Kvikne ved Vinstra, og ved et gårdsbruk i Svatsum i Espedalen. Kvikne ligger i Nord-Fron i Gudbrandsdalen, og Espedalen ligger i Sør-Fron i Gudbrandsdalen.

3.1.1 Regional berggrunnsgeologi

Berggrunnskart for feltområdet er presentert i figur 3.1.1. Geologien fra Lillehammer til Vinstra kan beskrives som sedimentære bergarter fra prekambrium, som hovedsaklig er sparagmitter i Hedmarkgruppen. I området Ringebu til Vinstra er de delvis overlatt av kambro-ordoviciske avsetningsbergarter (den kambro-ordoviciske lagrekke). Her ligger også skyvedekker fra den Kaledonske fjellkjedefoldingen, bestående av krystallinske bergarter fra Jotundekket og sedimentære bergarter (Englund, 1969). I berggrunnskartet fra NGU (se figur 3.1.1) er samtlige bergarter kaledonske. Grunnfjellet i området rundt Rondane og Rendalen av granitter, og det antas at dette også gjelder for området Vinstra og Espedalen (Englund, 1966).



Figur 3.1.1: Bergrunnskart feltområde, skala 1:250 000 (regionalt nivå). Feltlokasjoner er markert med røde punkter, Kvikne (Vinstra) øverst, Svatsum (Espedalen) nederst (Norges geologiske undersøkelse, 2024a).

3.1.2 Regional kvartærgeologi

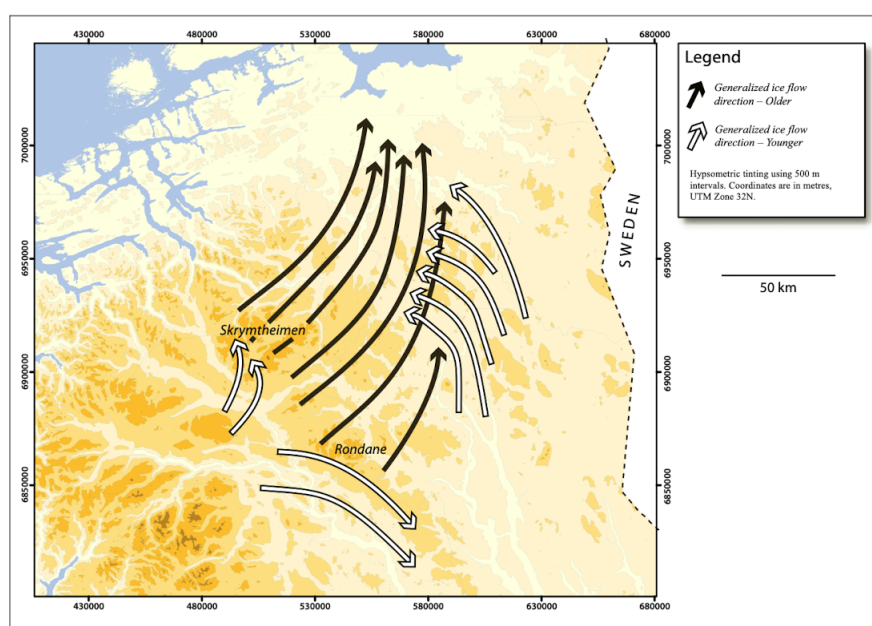
Istidene i Kvartærtiden har satt mange spor i Gudbrandsdalen. Oppdagelse av gamle breelvskanaler høyt opp mot fjelltoppene, og fjellsider hvor bortimot alt av løsmasser er vasket bort vitner om at isoverflaten har ligget over 1800 moh (Romundset mfl., 2023). Isen begynte å smelte omkring 11 600 år siden, nedsmeltingen sluttet for 10 000 år siden da det siste isflaket som lå ved Vinstra forsvant. Under Holosen minket breen med så mye som to til seks meter årlig, og flere bredemte sjøer ble skapt (Romundset mfl., 2023). Store Dølasjø var den største. Den eksisterte i omtrent 400 år og dekte et areal på til sammen 480 km². Det er antatt at sjøen forsvant raskt, i form av en bresjøtapning for omtrent 10 000 år siden (Romundset mfl., 2023).

Istiden Weichsel deles inn i fire stadier, i følge Mangerud mfl. (2011) og Bergersen og Garnes (1972). Starten på bevegelsen, hovedperioden av aktiv isbre, siste istids maksimum og begynnende nedsmelting, og til slutt en inaktiv isbre (Mangerud mfl., 2011; Bergersen og Garnes, 1972). I den første fasen bevegde isen seg fra høyfjellsområder og fulgte dalførene. Isdemte sjøer oppsto som følge av denne bevegelsen. I det andre stadiet, under det siste glasiale maksimum til innlandsisen, bevegde den seg uten særlig hensyn til topografien. Isskillet (brens høyeste punkt, med bevegelse til hver side fra dette punktet (Mangerud, 2022)) flyttet seg fra nordvestsiden av Gudbrandsdalen i det andre stadiet, til nord for den sentrale delen av dalen i det tredje stadiet. Den siste fasen besto hovedsaklig av nedsmelting, hvor isens bevegelse døde ut (Bergersen & Garnes, 1972). Med bakgrunn i dette bevegelsesmønsteret forventes det at morenematerialet som finnes i dalen ble produsert under de to første stadiene (Bergersen & Garnes, 1972).



Figur 3.1.2: Skuringsstriper angir bevegelsesretningen til isen i Gudbrandsdalen, og viser at det har vært flere faser av ulik bevegelse. De yngste og tynneste skuringsstripene ble sjelden observert, og sporene fra bevegelsen mot sørøst er best bevart. Vinstra sentralt i figuren (Modifisert fra Bergersen og Garnes (1972), s. 4).

Bevegelsesretningene for innlandsisen er diskutert i både Bergersen og Garnes (1972), Garnes og Bergersen (1977), og i senere tid Follestad og Fredin (2007). Garnes og Bergersen (1977) kom i studiet sitt frem til at bunnmoreneavsetningene (tykke) i sidedalene til Gudbrandsdalen, deriblant Sjødalen, ble avsatt under en sørøstlig isbevegelse. De har også funnet at bunnmorenen er overlagt med en avsetning i blokk-størrelse, under et tynt lag avsatt i østlig retning (observert i Stenseng, vest for Otta og nordøst for Sjødalen) som kommer av isbevegelse i østlig retning, før en avsetning av nordøstlig retning. Det øverste laget kommer fra det siste og avsluttende stadiet for isbevegelsen. I studiet Bergersen og Garnes (1972) hvor de blant annet har brukt skuringsstriper for å vurdere bevegelsesretning (se figur 3.1.2), foreslår de en isbevegelse som i det tredje stadiet gikk mot nord og nord-nordvest. Follestad og Fredin (2007) hevder også at isen under nedsmeltingen hadde en nordøstlig bevegelsesretning, som gradvis får en mer nordgående retning før den til slutt beveger seg mot nordvest. Bevegelsen i nordvestlig retning menes å kunne komme fra brefremstøtet som er kjent som Hoklingen-trinnet (se figur 3.1.3).

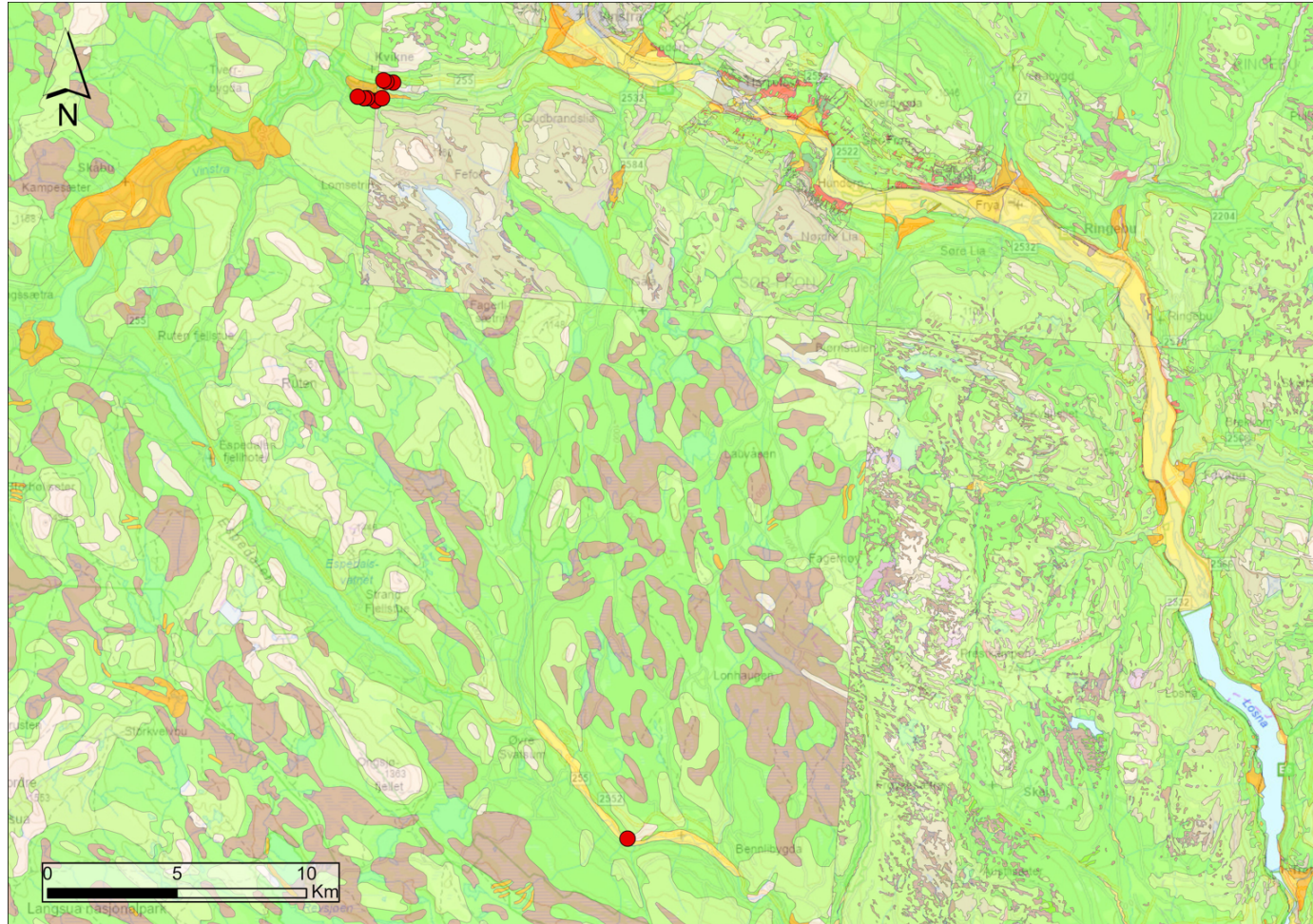


Figur 3.1.3: Isbevegelsen under deglasiasjonen i Innlandet-Trøndelag. Svarte piler viser isbevegelsesretningen tidlig i deglasiasjonen, hvite piler viser isbevegelsesretningen når isens størrelse hadde minket like før siste isrest smeltet vekk. Nordvestlig bevegelsesretning kan stamme fra brefremstøtet kjent som Hoklingen-trinnet (Follestad & Fredin, 2007).

Ved studie av løsmassekart i regionalt nivå (1:250 000) for feltområdet kommer det tydelig frem at det er morenedekker som er den dominerende avsetningen på begge lokasjonene (se figur 3.1.4). Dekket ser ut til å være tykkere i dalbunnene enn mot daltoppene, og antas å være tykke lag av bunnmorene. I dalen i Kvikne er det også et lite område som består av glacifluviale avsetninger (breeelv). På daltoppene er det små og mellomstore områder av bart fjell og myrterreng. Ved Svatsum i Espedalen ses en lang og smal avsetning av fluviale sedimenter like under feltpunktet. I punktet sees et tykt morenedekke, og lengre oppe mot daltoppen sees et tynnere morenedekke, bart fjell og myrterreng. Dette er typisk for kartutsnittet.

Løsmasstype

- Morene, tykt dekke
- Morene, tynt dekke
- Breelvavsetning
- Torv og myr
- Organisk materiale, tynt dekke
- Skredmateriale, tykt dekke (Jord- og flomskredavsetning)



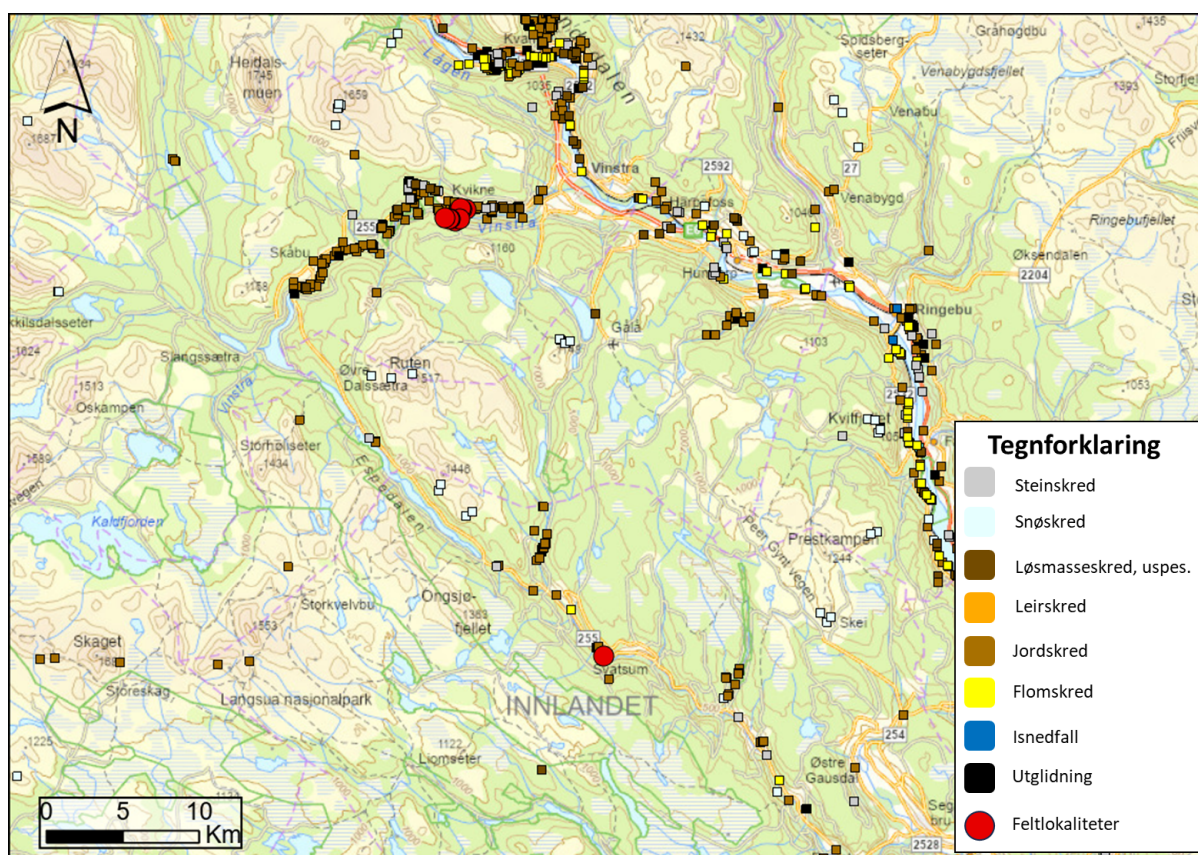
Figur 3.1.4: Løsmassekart over feltområdet i skala 1:250 000 (regionalt nivå). Feltlokasjoner er markert med røde punkter, Kvikne (Vinstra) øverst, Espedalen nederst. Se legende for forklaring av de ulike løsmasstypene (Norges geologiske undersøkelse, 2024b).

3.1.3 Skredhendelser

Temakart fra NVE viser skredhendelser i den aktuelle delen av Gudbrandsdalen, se figur 3.1.5. De desidert fleste av punktene i og rundt Kvikne kommer fra *Hans*. Det er registrert skred i mai 2021, minst ti punkter ble registrert i april 2018. Flere skred har gått i juni - juli 2017, mai 2015, mai og august 2013. Det er også registrert to skred som skjedde i slutten av juli i år 1789 (NVE, 2024b).

Ved Svatsum i Espedalen har det tidligere gått et skred i mai 2018, resterende punkter er skred som har gått i forbindelse med *Hans* (NVE, 2024b).

Skredhendelsene som blir registrert i NVE-databasen har en tendens til å ha nærhet til vei- eller jernbanenett og bebyggelse, altså der folk ferdes og kan observere de. Av den grunn er det sannsynlig at skredhendelser som har forekommet utenfor disse områdene ikke har blitt registrert, og antallet skred kan derfor være mye større.



Figur 3.1.5: Skredhendelser i feltområdet, se tegnforklaring (NVE, 2024a).

4.1 GIS-analyser

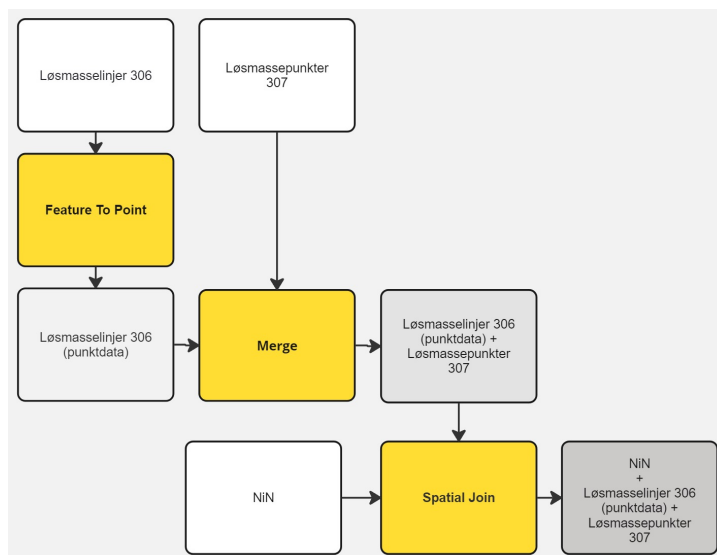
4.1.1 Data

- Natur i Norge 2.2.0 (NiN) - landskapstyper, polygoner (vektor)
- Nasjonalt referansesystem for landskap (NIBIO) - landskapsregioner, polygoner (vektor)
- NGU skredobservasjon linje 306 (vektor)
- NGU skredobservasjon punkt 307 (vektor)
- Skredpunkter *Hans* (vektor)
- NGU aktivitetssonekart jordskred (vektor)
- DTM feltområde (raster)

4.1.2 Innledende analyser

For å bestemme om enkelte landskapstyper er mer disponert for utløsning av jordskred enn andre typer landskap ble landskapsklassifiseringssystemet NiN benyttet i kombinasjon med NGU sine skredobservasjoner og aktivitetssonekart.

Innledningsvis ble NiN slått sammen med all punkt- og linjedata fra NGU. For å kunne benytte datamaterialet ble først linjedataen (LosmLinje med kode 306 - skredkant) konvertert til punktdata med verktøyet *Feature to point* (senter av linjeformasjonen), før den ble slått sammen med punktdata LosmPkt med kode 307 (liten utglidning) med verktøyet *Merge*. Punktdatasettet inneholder totalt 3720 skredpunkter. Det ble så slått sammen med NiN med *Spatial Join* (se figur 4.1.1). Alternativet “En til flere” ble benyttet ettersom visuell inspeksjon av punktenes posisjon i forhold til landskapspolygonenes grenser var vanskelig med så mange punkter. Dette ble gjort for å sikre at dersom et punkt lå på grensen mellom to ulike polygon, så skulle begge polygoner bli med i den nye shapefilen.



Figur 4.1.1: Konvertering av linjedata (Løsmasseliner 306) til punkt, og sammenslåing med punkter Løsmassepunkt 307 før Spatial Join med NiN.

Tabell fra shapefilen med ut-verdier ble eksportert til Excel, hvor funksjonen *COUNTIF* ble benyttet for å telle forekomst av hver enkelt hovedtype og hovedtypegruppe som hadde skredpunkter. For å telle forekomst av hver av de 284 grunntypene ble det utarbeidet et Python-skript som teller dette (Se kode 1 i mappen “Pythonkoder” i vedleggsmappen). Antallet av hver grunntype ble plottet i et sektordiagram i Excel.

4.1.3 Gruppering av grunntyper

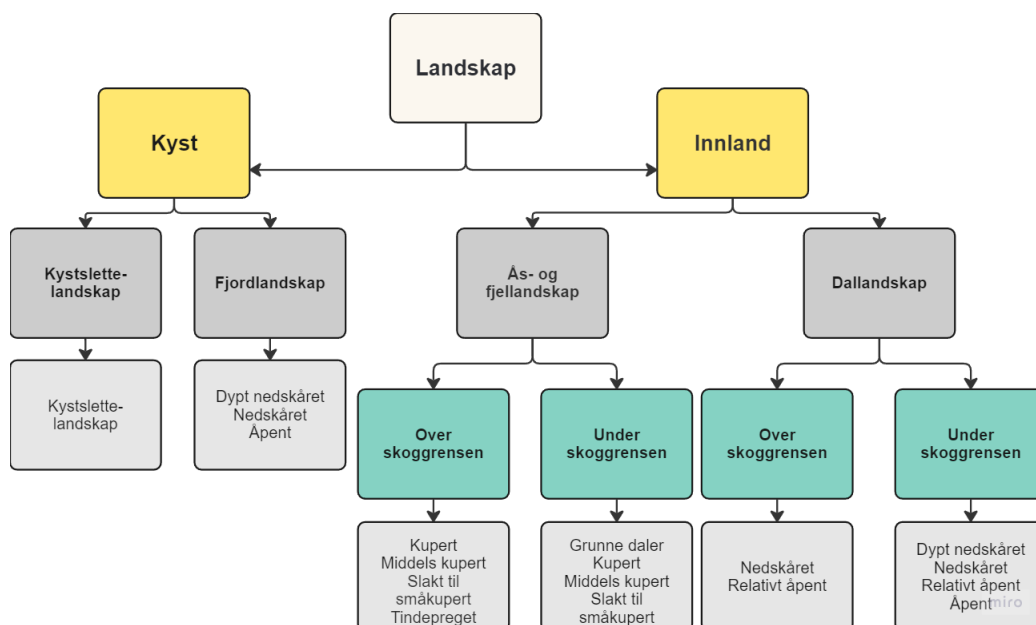
Natur i Norge sin beskrivelse av NiN 2.2.0 i artikkelen *Diversity and distribution of landscape types* med tilhørende vedlegg av Simensen mfl. (2021) ble i kombinasjon med kartlagte skred fra NGU punkter og linjer brukt til å kategorisere grunntypene inn i individuelle landskapsgrupper. Marine landskap ekskluderes fra videre analyse, da NiN ikke er utviklet med grunntyper for denne hovedtypen, og forekomsten av skredpunkter er svært lav.

Set 1

Set 1 ble gruppert på grunnlag av hovedtypegruppe, relieff og dalnedskjæring (Eksempelvis *Relativt åpent fjordlandskap*) blant grunntypene som hadde skredpunkter. Det ble lagd en shapefil i ArcGIS Pro av hver gruppe i Set 1 ved å selektare de tilhørende grunntypene fra NiN-datasettet med filtreringsfunksjonen i “Export features”. I Excel ble det laget sektordiagrammer som viser forekomsten av skredpunkter innenfor hver gruppe.

Set 2

Set 2 ble gruppert på grunnlag av relieff, dalnedskjæring, hovedtypegruppe, og delt etter om landskapstypen var over eller under skoggrensen (gjelder ikke kyst), Eksempelvis *Kupert ås- og fjellandskap over skoggrensen* (se figur 4.1.2 for inndelingsmetode). Kun grunntyper som hadde skredpunkter i noen av sine polygoner ble brukt, og det er derfor ikke alle hovedtypegrupper og grunntyper som er inkludert. Fullstendig oversikt over landskapsgruppene sees i tabell 4.1.1. Det ble også her lagd shapefiler av hver av de 20 gruppene ved å selektare de tilhørende grunntypene fra NiN-datasettet i filtreringsfunksjonen under “Export features”. Sektordiagrammer som viser skredforekomsten innenfor hver gruppe ble lagd i Excel.



Figur 4.1.2: Inndelingssystem Set 2, diagrammet viser kun aktuelle landskapsgrupper som hadde skredpunkter.

Tabell 4.1.1: Landskapsgrupper fra Set 2.

Landskapsgrupper
Innland, over skoggrensen (6)
Kupert ås- og fjellandskap over skoggrensen
Middels kupert ås- og fjellandskap over skoggrensen
Slakt til småkupert ås- og fjellandskap over skoggrensen
Tindepreget ås- og fjellandskap over skoggrensen
Nedskåret dallandskap over skoggrensen
Relativt åpent dallandskap over skoggrensen
Innland, under skoggrensen (9)
Grunne daler i ås- og fjellandskap under skoggrensen
Kupert ås- og fjellandskap under skoggrensen
Middels kupert ås- og fjellandskap under skoggrensen
Slakt til småkupert ås- og fjellandskap under skoggrensen
Tindepreget ås- og fjellandskap under skoggrensen
Dypt nedskåret dallandskap under skoggrensen
Nedskåret dallandskap under skoggrensen
Relativt åpent dallandskap under skoggrensen
Åpent dallandskap under skoggrensen
Kyst (5)
Åpent fjordlandskap
Dypt nedskåret fjordlandskap
Nedskåret fjordlandskap
Relativt åpent fjordlandskap
Kystslettelandskap

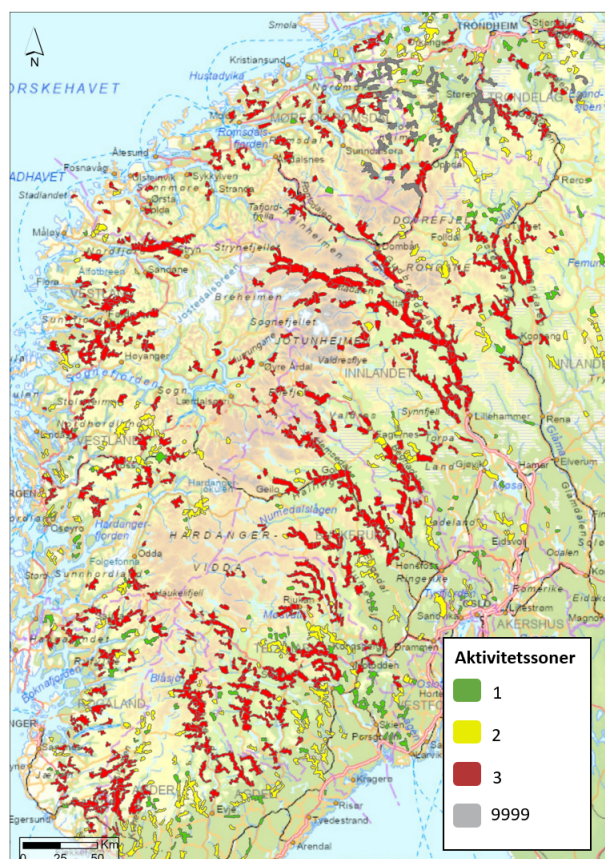
Set 2 ekstra

Ettersom landskapsgruppene ble satt sammen av grunntyper som hadde polygon med skredpunkter, var det flere grunntyper med samme hovedtype, relieff, dalnedskjæring og

skoggrenseforhold som ikke ble en del av gruppen. Eksempelvis kan disse typene ha bebyggelse og/eller stor innsjø, eller liknende tillegg. En shapefil av de i alt 68 grunntypene dette gjaldt ble lagd i ArcGIS Pro ved å velge ut aktuelle grunntyper fra NiN-datasettet, på samme måte som Set 1 og 2.

4.1.4 Sammenlikning med aktivitetssonekart

For å vurdere om det finnes en sammenheng mellom landskapstyper og jordskredaktivitet, og i så fall hvilke landskapsgrupper som har en større forekomst i en spesifikk aktivitetssone, ble hver av de 20 gruppene i Set 2 slått sammen med aktivitetssonekartet fra NGU med *Spatial Join*. Innstillingen “En til flere” ble benyttet for å inkludere alle grunntyper (NiN-polygon) innenfor hver aktivitetssone. Eksempel i figur 4.1.3 viser utført *Spatial Join* mellom Set 2: *Relativt åpent dallandskap under skoggrensen* og aktivitetssonekartet fra NGU. Det samme ble utført for NiN-datasettet i sin helhet, soneene ble talt opp for Sør- og Nord-Norge med et Python-script (Se kode 2 i mappen “Pythonkoder” i vedleggsmappen).



Figur 4.1.3: Spatial Join Set 2: *Relativt åpent dallandskap under skoggrensen* og NGU sitt aktivitetssonekart. Grønn: Aktivitetssone 1, Gul: Aktivitetssone 2, Rød: Aktivitetssone 3, Grå: 9999 (sone ikke satt) [Aktivitetssonekartet er ikke ferdig utarbeidet].

Tabeller for individuelle grupper i Set 2 ble eksportert som individuelle csv-filer. Ved hjelp av et Python-program (Se kode 3 i mappen “Pythonkoder” i vedleggsmappen) ble aktivitetssone 1, 2, 3 og 9999 (sone ikke satt) talt for hver fil, og satt sammen til en Excel-fil som viser hvor mange NiN-polygoner som havner innenfor hver aktivitetssone for hver enkelt gruppe. Det ble i Excel beregnet prosentandel for hver sone innenfor hver gruppe. Denne måten å telle aktivitetssoner på tilsvarer Akti_MAX, den mest



Figur 4.1.4: Selektionsverktøy i ArcGIS Pro benyttes for å velge features sør eller nord i Norge, grensen ligger nord for Trondheim (rød stiptet linje).

konservative aktivitetssone-utvelgelsen i aktivitetskartet.

Nord vs sør

Set 2 ble separert med et skille rett nord for Trondheim, grensen er vist i figur 4.1.4. Dette ble gjort for å oppnå en indikasjon på om sammenhengen mellom landskap og aktivitetssoner er ulik nord og sør i landet.

Samme Python-program (Se kode 3 i mappen “Pythonkoder” i vedleggsmappen) ble kjørt for eksporterte csv-filer fra hver gruppe både nord og sør for grensen, og prosentandeler av NiN-polygoner innenfor hver aktivitetssone for hver gruppe ble beregnet i Excel.

Landskapsgruppers skredpunkter i aktivitetskartet

En studie av hvilke aktivitetssoner de tidligere skredhendelsene (NGU pkt) faktisk ligger i er utført for hver av landskapsgruppene (Set 2). Shapefilene fra Spatial Join mellom individuelle landskapsgrupper og aktivitetskartet ble slått sammen med NGU punktene med Spatial Join. Deretter ble tabeller eksportert til Excel, hvor hver enkelt aktivitetssone ble talt opp (Akti_MAX).

Tabeller ble også eksportert hvor shapefilenes enheter kun var selektert i Sør-Norge, og deretter Nord-Norge.

Dette ble utført for å innhente informasjon om skredene følger aktivitetssonene.

***Hans* + aktivitetskart**

Spatial Join med kriteriet “Én til én” ble utført mellom skredpunktene fra *Hans* og aktivitetskartet. Kriteriet ble valgt ettersom antall punkter var få nok til å skape en visuell oversikt, og det ble slått fast at ingen av punktene lå på grensen mellom flere aktivitetssoner. Dette ble utført for å innhente informasjon om hvilke aktivitetssoner skredene gikk i.

***Hans* + aktivitetskart og individuelle landskapsgrupper**

Spatial Join ble utført “Ën til én” med shapefilen fra Spatial Join av *Hans*-punkter og aktivitetskartet mot de individuelle landskapsgruppene, da det kun var av interesse å vite grunntypen i skredpunktet. For å få med alle ønskede attributter ble de lagt til med funksjonen “Add field” med betingelsen “First”. Det er altså den første verdien som møtes som blir den gjeldende, dette betinger at det ikke er flere polygoner som krysser hverandre i samme skredpunkt. Dette ble utført for hver av de 20 landskapsgruppene. Tabeller ble eksportert til Excel.

***Hans* + ekstra grunntyper**

Shapefilen med de ekstra grunntypene av samme hovedtype, relieff, dalnedskjæring og skoggrenseforhold som grunntyper inkludert i de 20 landskapsgruppene ble slått sammen med skredpunkter fra *Hans* med Spatial Join. Tabell ble eksportert til Excel.

***Hans* + aktivitetskart + NiN**

Shapefilen med *Hans*-punktene og aktivitetskartet ble slått sammen med NiN-datasettet for å fange opp grunntypen i hvert punkt. “Add field” med “First” som kriterium ble brukt for at ønskede attributter som skred-ID, aktivitetssoner, grunntype og KLG-er ble med i den endelige shapefilen som ble produsert. Shapefilene ble slått sammen “Ën til én” da det var kun attributter i skredpunktet som var av interesse. Tabellen ble eksportert til Excel, og skal fange opp de skredpunktene som ikke blir dekt av de foreslåtte landskapsgruppene eller de tilhørende ekstra landskapstypene.

Utarbeidelse av samletabell

En samletabell med aktivitetssoner, grunntyper fra NiN og KLG-er for hvert skredpunkt fra *Hans* ble lagd på bakgrunn av tabeller fra ovenfornevnt sammenslåing av datasett. Individuelle landskapsgrupper og ekstra grunntyper ble lagt til samletabellen ved å formatere de 21 Excel-arkene og samletabellen som Excel-tabell, og sortere etter *Hans*-ID i samtlige. Ved visuell kontroll ble alle rader sikret å ha samme *Hans*-ID i alle ledd som var lagt til tabellen. Fra denne tabellen ble antall skredpunkter som ble dekt av hver av de 20 landskapsgruppene talt, og antallet av de resterende punktene som ble dekt av de ekstra grunntypene ble også talt og kategorisert som “Ekstra: Aktuell landskapsgruppe”.

Kontroll av aktivitetskart med *Hans*-punkter

En analyse av hvilke aktivitetssoner skredpunktene innenfor en landskapsgruppe faktisk ligger i ble utført for landskapsgruppen *Relativt åpent dallandskap under skoggrensen*. Landskapsgruppen og skredpunkter fra *Hans* ble slått sammen ved Spatial Join (“Ën til én”), og denne shapefilen ble slått sammen med aktivitetskartet på samme måte. Tabell ble eksportert til Excel, hvor forekomsten av hver av sonene 1, 2, 3 og 9999 ble talt. Antallet og prosentandel av alle skredpunktene i landskapsgruppen som lå innenfor hver sone ble ført i en tabell.

4.1.5 Sammenlikning KLG-er med skredpunkter fra *Hans* og tidligere skredhendelser

Forekomsten av de ulike gradene av KLG-ene *arealbruksintensitet*, *jordbrukspreg*, *vegetasjon*, og *innsjøpreg* blant skredpunktene fra *Hans*, og tidligere skredhendelser (punkter og linjer fra NGU) i samme område (se figur 4.1.5) ble samlet i en tabell. Dataen for de tidligere skredhendelsene ble hentet fra den innledende analysen med *Spatial Join* av disse skredpunktene og NiN-datasettet. KLG-informasjon fra *Hans*-punktene ble tatt fra *Hans*-samletabell.



Figur 4.1.5: Selektert område er området med registrerte skredhendelser fra *Hans*. KLG-data fra tidligere skredhendelser er innhentet fra samme område.

Ikke vurderte KLG-er

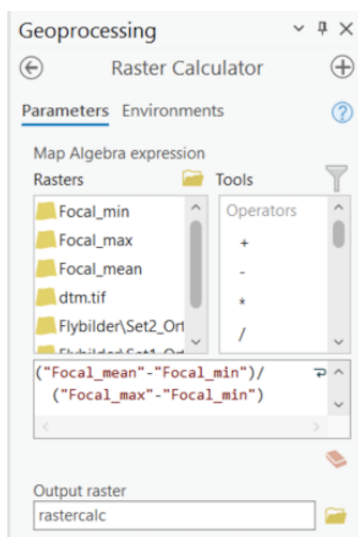
KLG-ene *relieffinnlandäsfjellandskap*, *relieffkyststeltelandskap*, *relieffinnlandsfjordlands-
skap*, ble ikke vurdert da relieff er hensyntatt i landskapsgruppeinndelingen. *Brepreg* ble ikke vurdert da dette ikke var av interesse i denne oppgaven. *Indreystrekyst*, *kystavstand*, *våtmarksprege* ble ikke vurdert da svært få skredpunkter hadde denne informasjonen.

4.1.6 Topografisk ruhetsindeks

Overflateruhet i terrenget i feltområdet ble beregnet fra en DTM fra Statens kartverk (2023).

Først ble verktøyet *Focal Statistics* benyttet for å beregne min-, maks-, og gjennomsnittsverdier for hver piksel i modellen. Disse ble navngitt *Focal_min*, *Focal_max* og *Focal_mean*. “Neighborhood” ble valgt som et rektangel med høyde og bredde 3x3, celle ble valgt som “Units type”. *Raster Calculator* ble brukt for å beregne ruheten i hver piksel i modellen (se figur 4.1.6) og resulterte i en ny rasterfil.

Skredpunkter fra *Hans* og tidligere samlekartlegging av jordskred ble benyttet for å kunne si noe om ruhetsverdien der skred forekommer. Verktøyet *Extract Multi Values to Points* ble benyttet for å hente ut pikselverdier i hvert skredpunkt innenfor DTM-området. Verktøyet legger til pikselverdiene som attributter for hvert skredpunkt i shapefilen for punktene. Det ble derfor utført en gang for hver av de to punktdatasettene. Verdiene ble så fordelt i ulike intervall i et Excelark, basert på ArcGIS Pro sine forhåndsbestemte intervaller, og et stolpediagram ble lagd.



Figur 4.1.6: Uttrykk for beregning av overflateruhet lagt inn i Raster Calculator.

4.1.7 Topografisk posisjonsindeks

Relativ topografi innenfor DTM-området ble beregnet ved bruk av *Focal Statistics*. “Neighborhood” ble valgt som rektangel med høyde og bredde 33x33, valgt “Units type” var “celle”. Gjennomsnittsverdier for hver piksel ble beregnet og deretter lagt inn som inn-verdi 2 i verktøyet *Minus*. Inn-verdi 1 var DTM-rasterfilen. Ut-verdi ble gitt i en rasterfil som viser relativ topografi (TPI).

NGU skredpunkter fra *Hans* og tidligere samlekartlegging ble benyttet for å se på lokale topografiverdier i skredpunkter. Verktøyet *Extract Multi Values as points* ble også her benyttet for å legge til topografiverdier til de respektive punktdatasettene.

Excel ble benyttet for å sortere verdiene i ArcGIS Pro sine forhåndssette intervaller for TPI-verdier, og til å plote stolpediagram.

4.1.8 Skredpunkter i NIBIO

Spatial Join av NIBIOs landskapsregioner med NGU punkter ble utført for å se hvordan skredpunktene er fordelt i landet.

Antallet skredpunkter i hver landskapsregion ble talt og lagt i et Excel-ark. Måten dette ble utført på var med et Python-program (Se kode 4 i mappen “Pythonkoder” i vedleggs-mappen).

Prosentandelene for forekomst av skred og de ulike aktivitetssonene innenfor hvert landskapsregion i NIBIO-datasettet ble beregnet i Excel.

4.2 Feltundersøkelser

Det ble i perioden 6.-8. september 2023 foretatt feltundersøkelser av jordskred utløst under ekstremværet *Hans*. 6.-7. september ble tilbragt på Kvikne i Vinstraområdet, og 7. september ble tilbragt ved Svatum i Espedalen. Feltarbeidet ble utført med masterstudent Maria Ileby Finjord, både observasjoner og resultater er et samarbeid.



Figur 4.2.1: GPS og spade benyttet til kartlegging av skred.

Benyttet utstyr:

- Kamera
- Stikkstang
- Spade
- Vinkelmåler
- GPS
- Fieldmaps (telefonapp)

Skredene ble hovedsaklig beskrevet med notater, dokumentert med foto, og registrert med håndholdt GPS (se figur 4.2.1). Omtrentlig kontur ble tegnet inn i Fieldmaps, men dette var ikke et egnet verktøy alene for å registrere dimensjoner. Dimensjoner av skredene er derfor basert på øyemål, og ikke alltid registrert.

Skredene ble fulgt til fots fra løснеområde til utløpsområde der det var praktisk gjennomførbart, men enkelte steder ble et omtrentlig punkt for slutten av utløpsområdet registrert fra en avstand.

Prøvetaking ble utført av løsnekanten i de fleste av de beskrevne skredene. Spade ble benyttet for å renske kanten og fjerne løse sedimenter. Prøvene ble lagt i prøveposer og markert med dato og prøve-ID.

4.3 Laboratorieanalyser

I alt sju prøver ble analysert i NTNUs Berglaboratorium i november/desember 2023. Det ble utført kornfordelingsanalyse i form av sikteanalyse og laserdiffraksjon på samtlige prøver, og petrografisk analyse på fire av prøvene. Før oppstart ble prøvene tørket fullstendig i varmeskap. Analysene ble utført i samarbeid med masterstudent Maria Ileby Finjord.

4.3.1 Sikteanalyse

Sikteanalysen ble utført med utgangspunkt i Statens vegvesens standard 131 Sikteanalyse (tørresikting av vasket materiale) i håndboka R210 Laboratorieundersøkelser (SVV, 2014). Figur 4.3.1 viser et flytskjema av analysen. Analysen ble gjennomført med rådgivning fra overingeniør Jon Runar Drotninghaug.

4.3.1.1 Innledende sikting og vask

Den tørkede prøven ble innledningsvis grovsiktet i en siktesats på 4-8 mm, hvor innholdet i bunnpannen ble lagt til side for senere splitting. Alt materiale som ble igjen på siktene ble vasket i springvann over en sikt med størrelse 4 mm. Materialet ≥ 4 mm og vaskevann med bunninnhold ble lagt i egne beholdere og tørket i varmeskap.

4.3.1.2 Materiale $d \geq 4$ mm

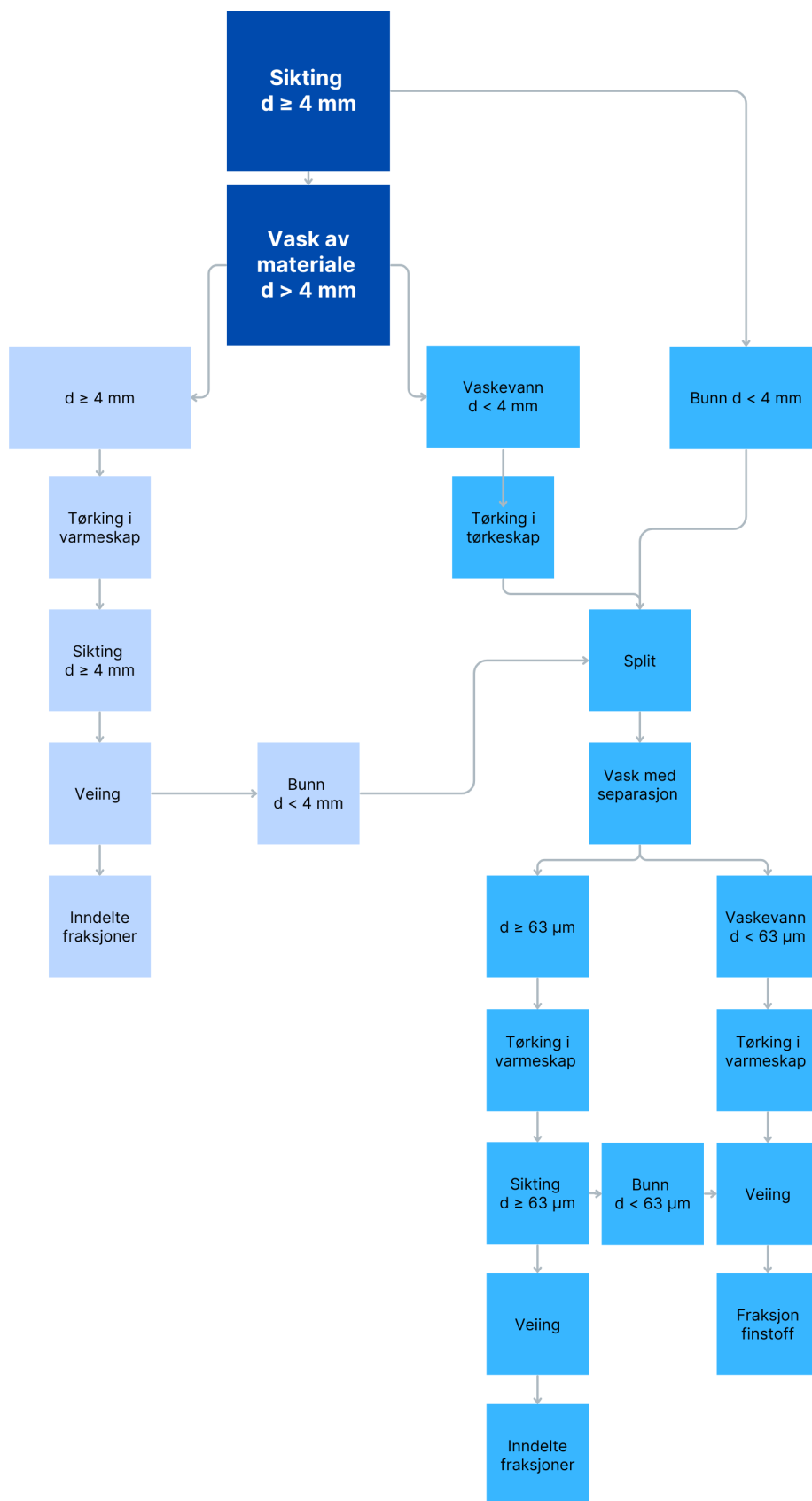
Materialet ble veid og deretter lagt i en siktesats med størrelsene som sees i tabell 4.3.1. Siktesatsen ble ristet i en ristemaskin i ti minutt (se figur 4.3.2), før hver sikt ble kontrollsjektet for hånd. Siktene ble veid og fordelt i én pose per fraksjon.

Tabell 4.3.1: Siktesats $d \geq 4$ mm.

Størrelse d [mm]
31.5
19
16
11.2
8
4



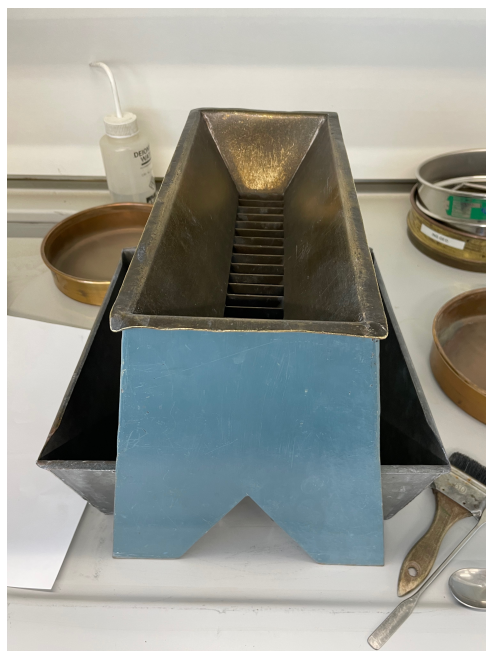
Figur 4.3.2: Ristemaskin med siktesats.



Figur 4.3.1: Flytskjema sikteanalyse.

4.3.1.3 Materiale $d < 4$ mm

Bunnpannen fra innledende sikting ble slått sammen med materialet med $d < 4$ mm fra vaskingen, og veid. Materialet ble så splittet i henhold til standarden med minst 200 g for materiale med diameter under 4 mm. Etter grundig omrøring ble prøvematerialet tømmt i toppen av splitteren (se figur 4.3.3). Dette ble gjentatt én eller to ganger, basert på vekten.



Figur 4.3.3: Splitter brukt til uttak av aliquot.

Splitten ble veid og forholdstall til innledende vekt ble beregnet. Neste steg var vasking og separasjon med $63 \mu\text{m}$ sikt. Sikter på 1 mm og $250 \mu\text{m}$ ble brukt før den minste sikten, av praktiske årsaker. Vaskevann med materiale med $d < 63 \mu\text{m}$, og materialet med $d \geq 63 \mu\text{m}$ ble fordelt i hver sin beholder og tørket i varmeskap til de var helt tørre.

Det ble deretter utført sikting av split-materialet med diameter fra < 4 mm og ned til og med $63 \mu\text{m}$ med siktesats som vist i tabell 4.3.2. Siktesatsen ble ristet i ristemaskin i ti minutter, etterfulgt av manuell kontrollsikting av hver sikt. Hver sikt ble veid, og fraksjonene ble fordelt i poser. Bunnen ble slått sammen med split-materialet med diameter $< 63 \mu\text{m}$ og veid. Siktene ble vasket i ultralydbad dersom ikke alle partikler lot seg fjerne for hånd.

Tabell 4.3.2: Siktesats $d < 4$ mm.

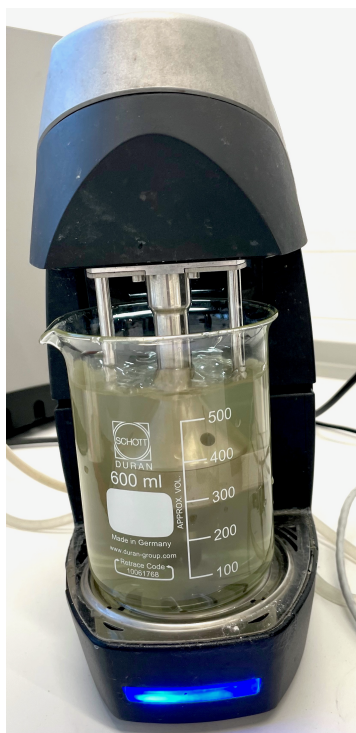
Størrelse d [mm]
2
1
0,5
0,25
0,125
0,063

I etterkant av laboratorieanalysen ble kumulativ kornkurve lagd med Python (Se kode 5 i mappen “Pythonkoder” i vedleggsmappen), og jordartene ble klassifisert fra middelverdi M_d og sorteringstall S_0 i henhold til Selmer-Olsen (1971).

4.3.2 Laserdiffraksjon

For kornfordeling av finstoffet ($< 63 \mu\text{m}$) ble laserdiffraksjon med instrumentet Mastersizer 3000 fra Malvern Panalytical benyttet (Malvern Panalytical Ltd, 2023). Instrumentet består av en avlesningsenhet med et vindu som prøven kjøres igjennom. I dette vinduet bestråles partiklene med laser, og lyset diffrakteres. Den andre delen av instrumentet er mixer-enheten hvor prøven røres om og suges inn i avlesningsenheten.

Utførelsen av analysen starter med en rens av instrumentet med 500 ml romtemperert springvann i målebegeret (se figur 4.3.4). Vannet byttes deretter ut med 500 ml deionisert vann, og en blankavlesning foretas for å registrere eventuell bakgrunn. Prøve tilsettes til en obskuritet på 10-15% er oppnådd. Dette leses av i programvaren. Denne mengden gir en optimal mengde partikler i avlesningsvinduet. For å unngå klumper eller aggregater av korn blir innebygd ultralyd benyttet for å slå partikler fra hverandre. Det ble gjort tre målinger for hver tilsetning av prøve, hvor differansen i resultatene måtte være under 1%. Gjennomsnittsverdier ble beregnet av programvaren.



Figur 4.3.4: Mixer tilhørende Mastersizer 3000. Deionisert vann tilsatt prøve omrøres, og pumpes inn i avlesningsinstrumentet.

I etterkant av analysen ble kornkurver hentet ut fra datasettet som instrumentet produserte. Prosentandel leirinnhold er valgt som gjennomsnittsverdien av den kumulative prosentandelen av størrelsesfraksjonen $1,9$ og $2,1 \mu\text{m}$.

4.3.3 Petrografisk analyse

Petrografisk analyse er en metode for å kunne vurdere blant annet avsetningsbetingelser, opprinnelse og transportretning. Metoden er mye brukt i ingeniørgeologisk sammenheng for å vurdere kvaliteten og bruksverdi av en løsmasse som tilslag i vei og betong. Analysen er utført med utgangspunkt i fremgangsmåte beskrevet i laboratoriekompedium for ingeniørgeologi (Sørløkk mfl., 2007, s. 53). Ettersom ingeniørgeologiske vurderinger av bruksverdien til skredmassene ikke er relevant, er det lagt vekt på mineralogisk- og petrologisk sammensetning, avsetning, og forvitring. Prøver som ble analysert sees avmerket i tabell 5.3.1.

Utstyret som ble benyttet var stereomikroskop med forstørrelse 5-60 X, nål og millimeterpapir. Tre størrelsesfraksjoner ble undersøkt for hver prøve, 0,500-1 mm, 0,125-0,250 mm, og 0,063-0,125 mm. Fotografi ble tatt av fraksjon 16-19 mm for alle prøver.

100 korn fra hver fraksjon ble fordelt utover et millimeterpapir, og lagt under mikroskopet. Passende forstørrelse ble valgt, slik at mineralogien til kornene best mulig kunne observeres. For å vurdere avsetning ble også rundingsgrad kommentert i kategoriene godt rundet, kantrundet, skarpkantet eller flisig. Grad av forvitring ble dokumentert der det var synlig forvitring av kornene i gradene lett eller sterkt forvitret.

4.4 Kvartærgeologisk kart for feltområdet i Kvikne, Vinstra

Et kvartærgeologisk kart over et feltområdet i Kvikne, Vinstra ble lagd i en skala på 1:5000 i ArcGIS Pro. Datagrunnlag var en høydemodell over området (DTM), Norge i bilder med flyfoto "Midt-Gudbrandsdal 2021" (Statens kartverk & Geovekst, 2024), feltobservasjoner og laboratorieanalyser.

Inndeling i bart fjell eller avsetningstype ble gjort ved å lage omriss av områdene observert fra skyggerelieff (DTM) med polygonfunksjonen, og fargelegge de i henhold til NGUs SOSI-kodeliste (27.11.2020). Skredpolygon fra beskrevne skred, og skredpunkter fra *Hans*-datasett ble lagt til i kartet. Gamle jord-/ flomskredløp ble markert med linjer med linjekode 307: Jord- og flomskredløp. For vei, infrastruktur og vannløp ble WMS-serveren FKB4 benyttet (Statens kartverk, 2024).

5.1 GIS-analyser

5.1.1 Innledende analyse

Spatial Join av landskapstype-datasett NiN og NGU punkter fra tidligere skredhendelser resulterte i en prosentvis oversikt over forekomsten av registrerte skred i de forskjellige hovedtypene (se figur 5.1.1) og hovedtypegruppene av landskap. Tabell 5.1.1 viser hovedtypegruppe med landskapstypekode og hovedtype.

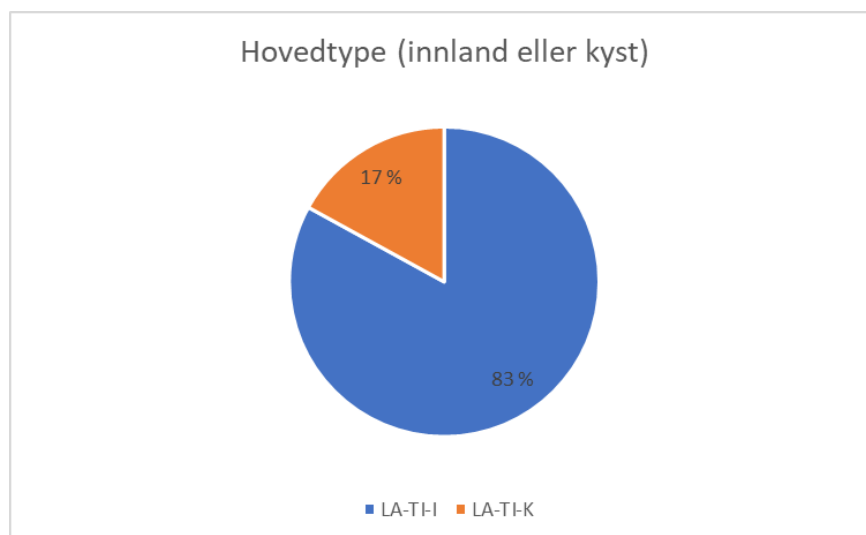
Prosentfordelingen i tabellen er angitt for totalprosent og normalisert prosentandel innad i hver hovedtype. Andelen av det totale arealet i Norge som dekkes av hver hovedtypegruppe innenfor innland og kyst er oppgitt i vedlegg B.1.

Dallandskap i hovedgruppen innland er sterkest representert både innad i hovedtypen (94,8 %) og blant alle grupper (78,6 %). Fjordlandskap innehar 15,8 % av skredene, og 92,7 % innad i kystlandskap. Ås- og fjellandskap og kystslettelandskap har relativt små andeler av skredpunktene med henholdsvis 4,4 og 1,2 %. Innlandsslettelandskap og kyst-ås- og fjellandskap har ingen andel av skredpunktene.

Fordelingen av skredpunktene innenfor alle grunntyper i NiN sees i figur 5.1.2. Grunntypenavn og informasjon om den enkelte grunntype kan slås opp i typeinndelingen for NiN (Erikstad mfl., 2019). Det kommer frem av figuren at enkelte grunntyper er sterkere

Tabell 5.1.1: Hovedtypegrupper med registrert skredutløsning. Prosentandel av skredpunkter innenfor hver hovedtype, total prosentandel av skred og normalisert prosent av skred innenfor hver hovedgruppe.

Kode	Navn	Total [%]	Normalisert [%]	Hovedtype
LA-TI-I-A	Ås- og fjellandskap	4,4	5,2	Innland
LA-TI-I-D	Dallandskap	78,6	94,8	Innland
LA-TI-I-S	Innlandsslettelandskap	0	0	Innland
LA-TI-K-A	Kyst-ås- og fjellandskap	0	0	Kyst
LA-TI-K-F	Fjordlandskap	15,8	92,7	Kyst
LA-TI-K-S	Kystslettelandskap	1,2	7,3	Kyst



Figur 5.1.1: Prosentvis fordeling av skredutløsninger i de tre overordnede gruppene av landskapstyper, innlands-, kystlandskap. LA-TI-I: Innland, LA-TI-K: Kyst.

representert enn andre. Eksempelvis har grunntypen LA-TI-I-D-56: *Relativt åpent dallandskap under skoggrensene med større innsjø og bebygde områder* en 16 % stor andel. For fullstendig oversikt over hver grunntypes prosentandel henvises det til vedlegg “Innledende_analyse” i vedleggsmappen. Figuren er kun ment for å visualisere spredningen av skredpunktene blant grunntypene.

5.1.2 Gruppering av grunntyper

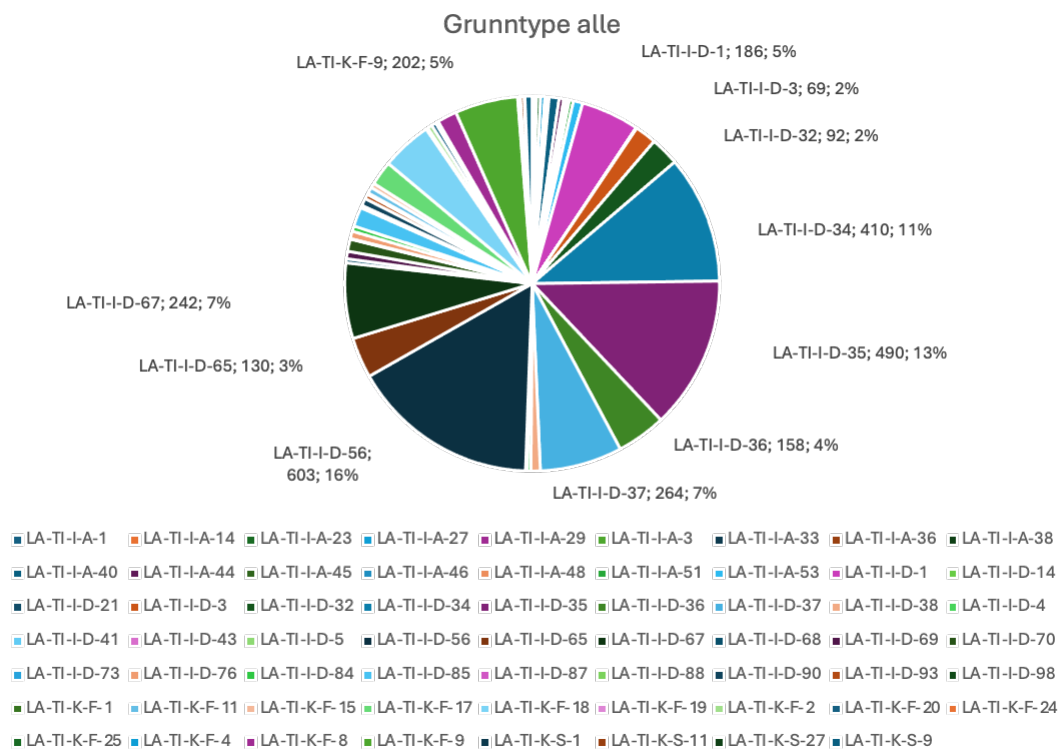
Inndeling av grunntyper ble utført i Set 1 og Set 2.

5.1.2.1 Set 1

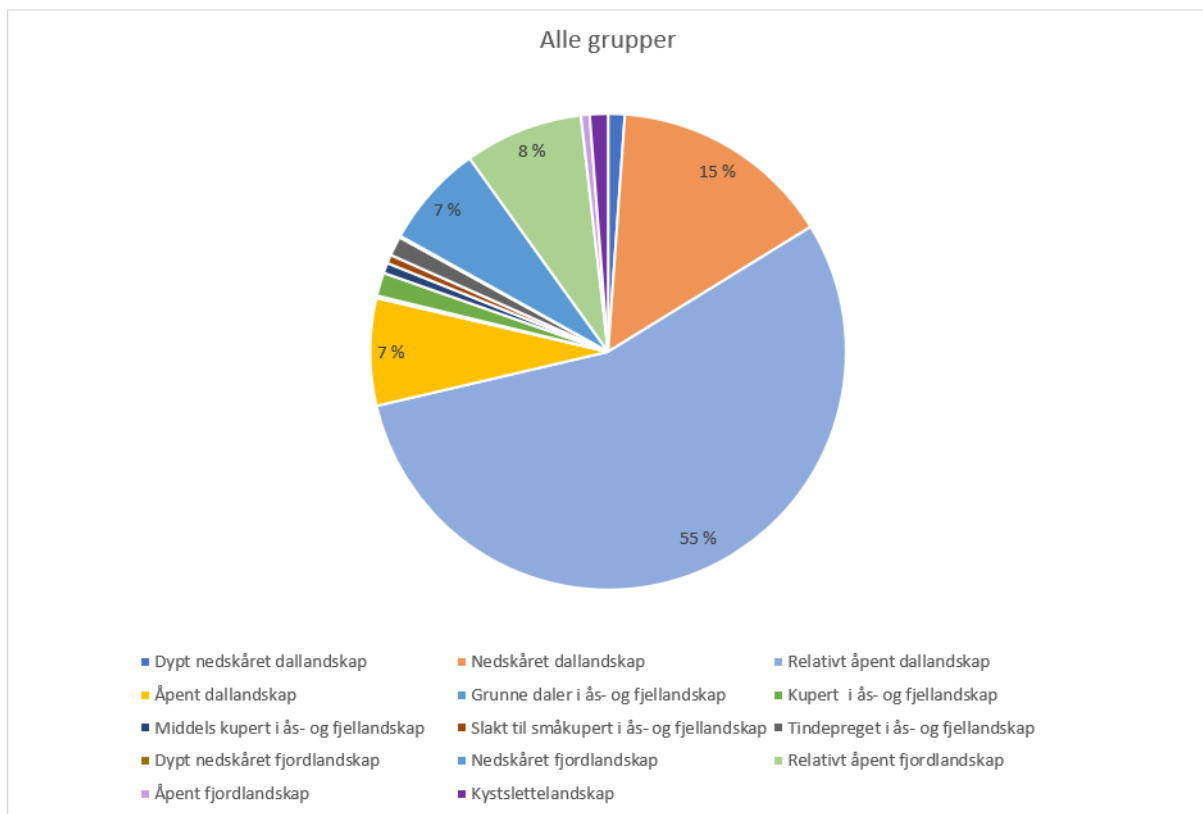
Set 1 er inndelt etter hovedtypegruppe, relieff og dalnedskjæring. I figur 5.1.3 er alle gruppene oppgitt i et sektordiagram som viser andel av de 3720 skredpunktene fra skredkartlegging av NGU. Gruppe *Relativt åpent dallandskap* har desidert flest skredpunkter. Diagrammer som viser andeler innenfor hver hovedtype og hovedtypegruppe sees i vedlegg A - GIS: Innledende analyser - Set 1. Fullstendig oversikt over fordelingen av skredpunktene i Set 1 sees i vedlegg “Innledende_analyse” i vedleggsmappen. Figur 5.1.3 er kun ment for å visualisere spredningen av punktene i inndelingen.

5.1.2.2 Set 2

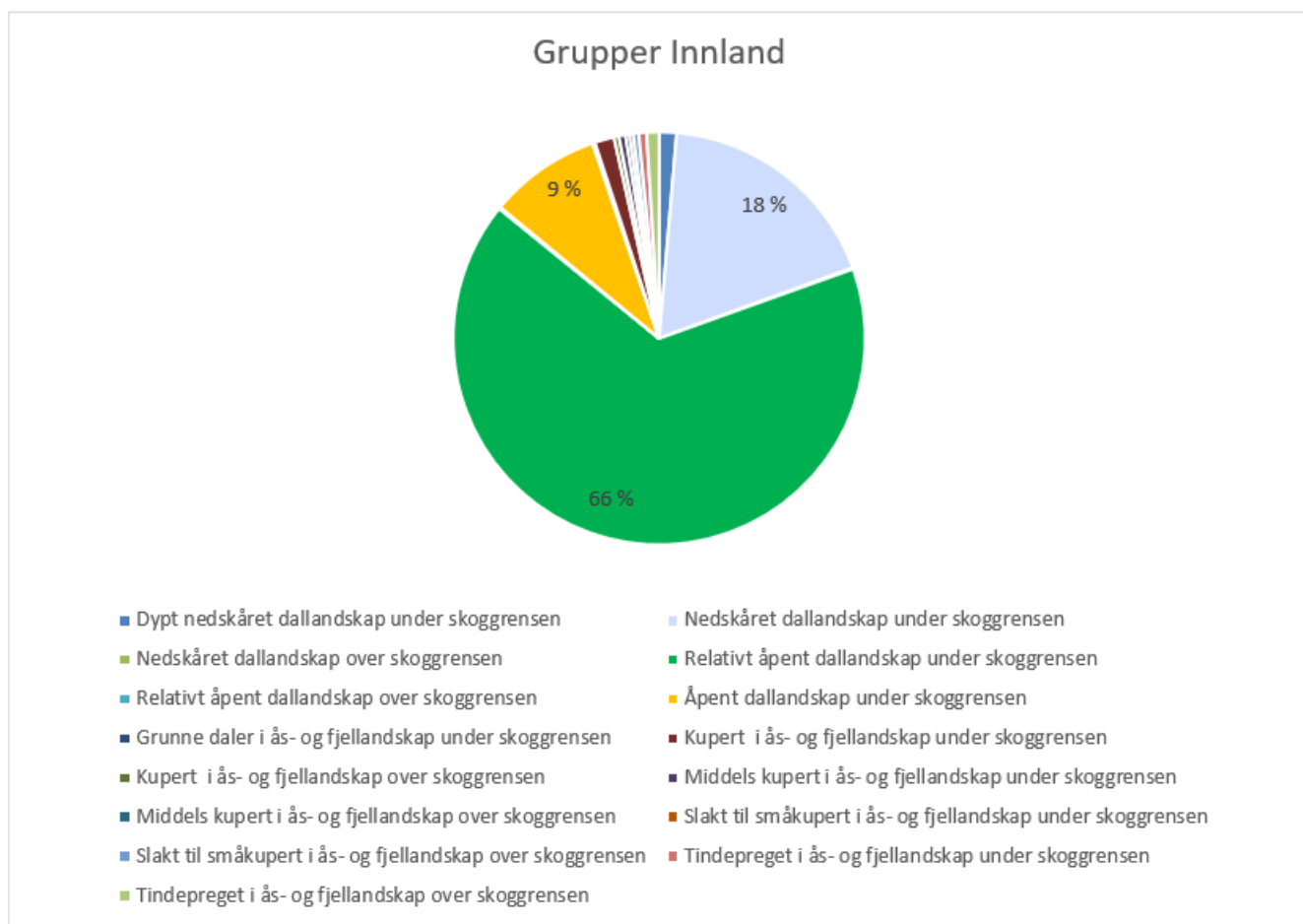
Set 2 er inndelt etter hovedtypegruppe, relieff, dalnedskjæring og skoggrenseforhold (over eller under). Sektordiagrammene i figur 5.1.4, 5.1.5, 5.1.6, 5.1.7 viser hvor stor andel av de 3720 skredpunktene som ligger innenfor hver gruppe i Set 2, det er et diagram for hver av hovedtypegruppene dallandskap, ås- og fjellandskap, og fjordlandskap. Kystslette-landskap har ingen underinndelinger og vil derfor ha 100 % av skredene i den eneste kategorien. Kyst-ås- og fjellandskap og innlandsslettelandskap har fra tabell 5.1.1 ingen andel av skredpunktene og er derfor ikke med. Areal dekt av hver landskapsgruppe i prosent av hovedtype og totalareal er oppgitt i vedlegg B.2, og alle grunntyper som er med er gitt i vedlegg “Set 2” i vedleggsmappe. I samme vedlegg kan fordelingen for alle landskapsgrupper studeres nærmere, presenterte figurer er kun ment for å poengtere de mest fremtredende gruppene og visualisere spredningen av punkter i inndelingen.



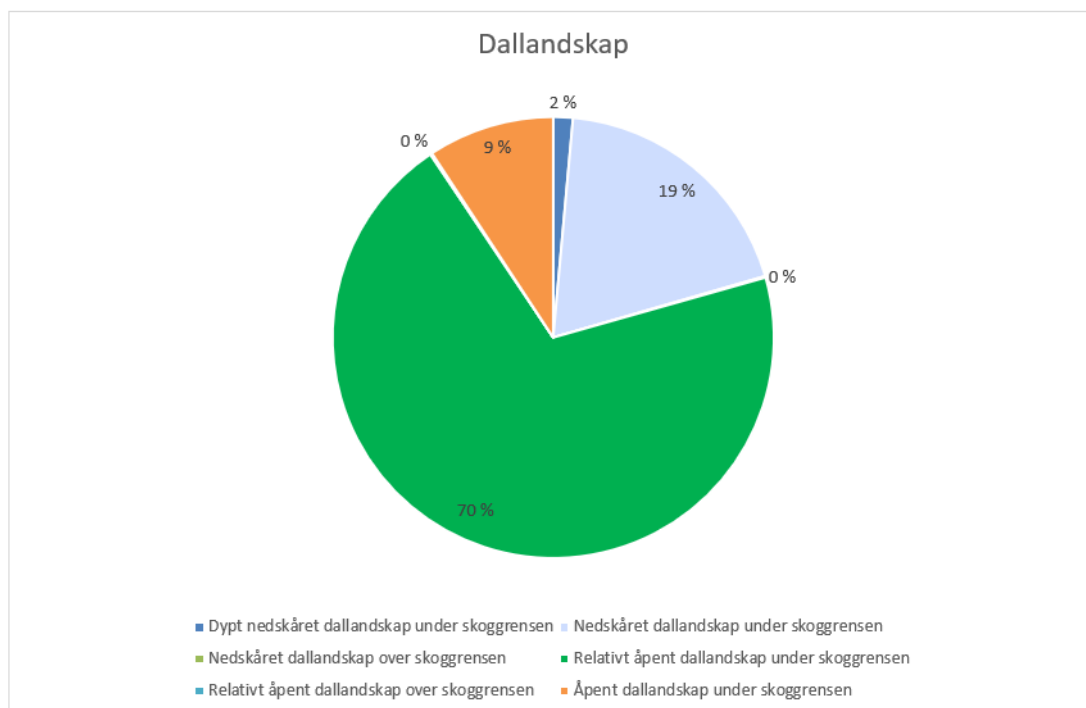
Figur 5.1.2: Fordelingen av skredpunkter innenfor alle grunntyper i NiN.



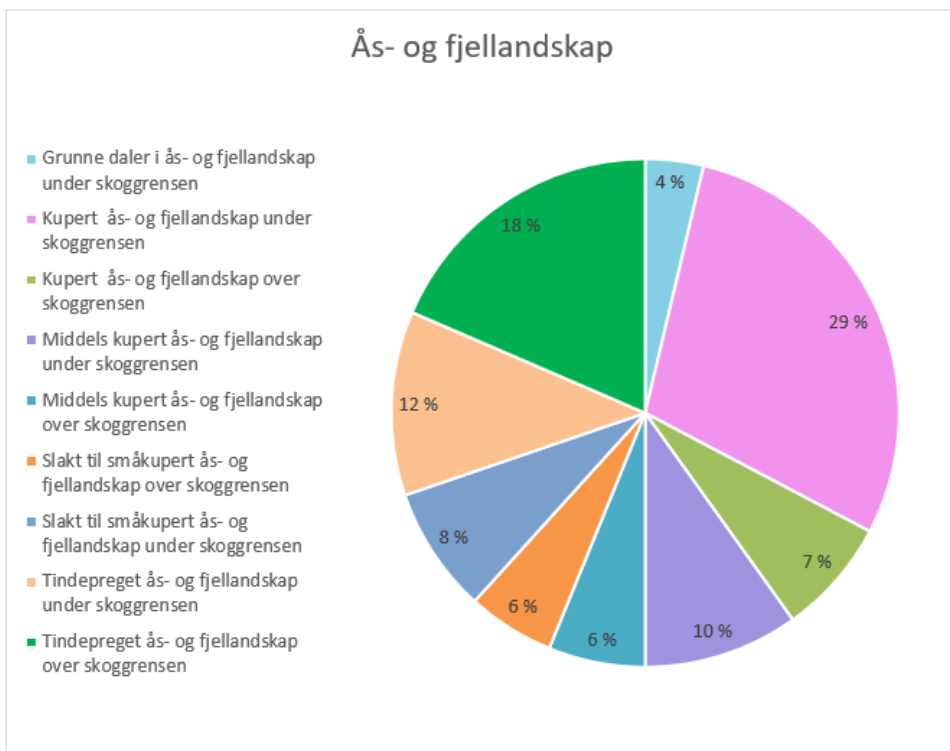
Figur 5.1.3: Set 1: Alle grupper.



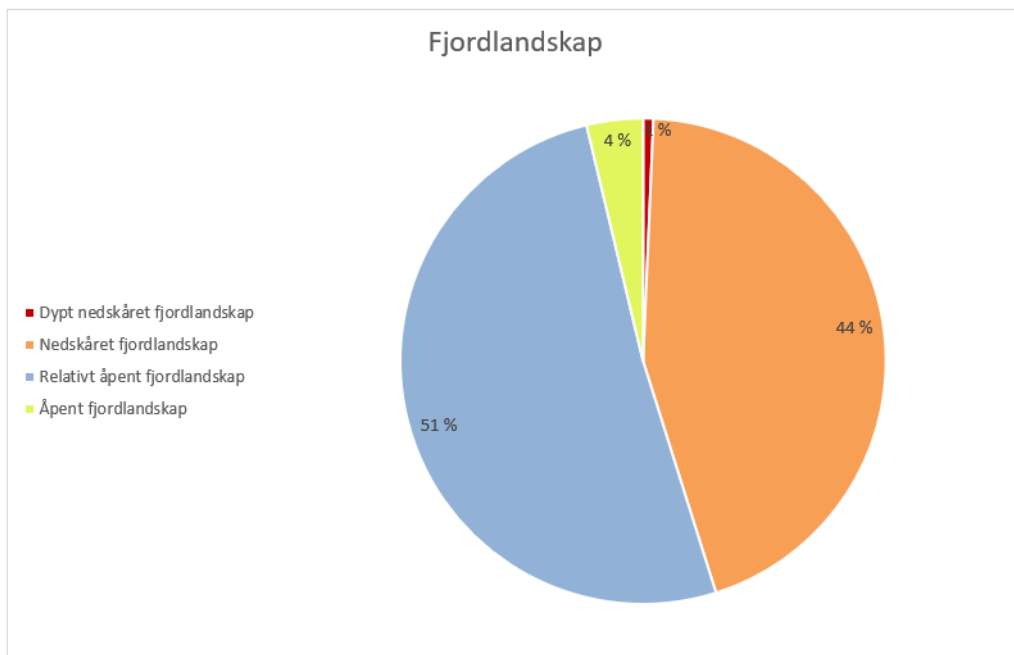
Figur 5.1.4: Set 2: Grupper i undergruppe innland. Diagrammet viser spredningen av skredpunktene i innlandsgruppene, og prosentandelen av de største gruppene. Gruppen *Relativt åpent dallandskap under skoggrensen* innehar 66 % av skredene.



Figur 5.1.5: Set 2: Grupper i kategorien dallandskap. Diagrammet viser at gruppen *Relativt åpent dallandskap under skoggrensen* har flest skredpunkter.



Figur 5.1.6: Set 2: Grupper i kategorien Ås- og fjellandskap.



Figur 5.1.7: Grupper i undergruppe fjordlandskap.

5.1.3 Sammenlikning med aktivitetssonekart

Vedlegg “Aktivitetskart_NiN_antall_nord” og “Aktivitetskart_NiN_antall_sor” i vedleggsmappen viser antallet ganger hver grunntype i Nord- og Sør-Norge opptrer innenfor hver aktivitetssone. Vedlegget viser også den prosentvise fordelingen innenfor hver sone.

Landskapsgrupper og aktivitetskart

Tabell 5.1.2 viser prosentandel av NiN-polygoner (grunntypepolygon) i hver landskapsgruppe som ligger innenfor hver av aktivitetssonene. En andel på 40% innenfor én sone er valgt som grense, og er den laveste grensen som kan bli satt uten at sonene får for lik andel. Dette er ment å gi en indikasjon på om enkelte landskapsgrupper i større grad befinner seg i en bestemt aktivitetssone, og at det derfor kan være en sammenheng mellom landskap og aktivitet. Fargeangivningen er gjort for sonen innenfor en landskapsgruppe som har > 40% av polygonene. Rød er brukt i sone 3, gul i sone 2 og grønn i sone 1.

På en landsdekkende basis har syv av landskapsgruppene > 40% av grunntypepolygonene innenfor aktivitetssone 3, og åtte av gruppene innenfor aktivitetssone 1. Tre av gruppene har en jevn fordeling over alle sonene. Andel av grunntypepolygoner som havner innenfor områder der aktivitetssoner ikke er satt er lav (høyeste 8,5%).

Tabell 5.1.2: Fordeling av grunntype-polygoner fra landskapsgrupper innad i de ulike aktivitetssonene i hele landet. Aktivitetssone S1 = lav aktivitet, S2 = middels aktivitet, S3 = høy aktivitet, 9999 (-) = aktivitetssone ikke satt.

Landskapsgruppe [Landsdekkende]	% S1	% S2	% S3	% -
Innland, over skoggrensen				
Kupert ås- og fjellandskap over skoggrensen	25,1	28,2	41,5	5,2
Middels kupert ås- og fjellandskap over skoggrensen	37,9	25,3	28,3	8,5
Slakt til småkupert ås- og fjellandskap over skoggrensen	63,9	18,1	13,3	4,8
Tindepreget ås- og fjellandskap over skoggrensen	15,1	26,7	55,9	2,3
Nedskåret dallandskap over skoggrensen	22,4	27,4	44,7	5,5
Relativt åpent dallandskap over skoggrensen	30,9	31,9	31,6	5,6
Innland, under skoggrensen				
Grunne daler i ås- og fjellandskap under skoggrensen	63,4	19,0	10,9	6,7
Kupert ås- og fjellandskap under skoggrensen	20,2	27,4	49,6	2,8
Middels kupert ås- og fjellandskap under skoggrensen	44,6	26,4	22,5	6,5
Slakt til småkupert ås- og fjellandskap under skoggrensen	65,1	18,4	10,6	5,9
Tindepreget ås- og fjellandskap under skoggrensen	14,3	22,7	61,9	1,1
Dypt nedskåret dallandskap under skoggrensen	9,2	20,6	69,7	0,6
Nedskåret dallandskap under skoggrensen	15,9	24,6	57,2	2,4
Relativt åpent dallandskap under skoggrensen	32,0	27,9	34,8	5,4
Åpent dallandskap under skoggrensen	43,8	26,6	21,4	8,3
Kyst				
Åpent fjordlandskap	58,2	23,4	16,6	1,7
Dypt nedskåret fjordlandskap	7,4	26,4	65,3	0,9
Nedskåret fjordlandskap	16,9	26,5	55,2	1,3
Relativt åpent fjordlandskap	41,9	25,7	30,8	1,5
Kystslettelandskap	60,0	17,3	15,1	7,7

Landskapsgrupper og aktivitetskart i Sør- og Nord-Norge

Landskapsgruppene i Sør-Norge (tabell 5.1.3) har en andel > 40% i aktivitetssone 3 i tolv grupper, og syv grupper i aktivitetssone 1. Andel som ligger i områder hvor aktivitetssone ikke er satt er svært lav. I Nord-Norge (tabell 5.1.4) har fire grupper > 40% andel av polygonene i aktivitetssone 3, og elleve i aktivitetssone 1.

Angivningen av farge i tabellene er lik som for landsdekkende tabell.

Tabell 5.1.3: Fordeling av grunntype-polygoner fra landskapsgrupper innad i de ulike aktivitetssonene i Sør-Norge. Aktivitetssone 1 = lav aktivitet, 2 = middels aktivitet, 3 = høy aktivitet, 9999 (-) = aktivitetssone ikke satt.

Landskapsgruppe [Sør-Norge]				
Innland, over skoggrensen	% 1	% 2	% 3	% -
Kupert ås- og fjellandskap over skoggrensen	14,5	24,2	59,1	2,2
Middels kupert ås- og fjellandskap over skoggrensen	31,3	23,7	41,7	3,3
Slakt til småkupert ås- og fjellandskap over skoggrensen	54,4	20,6	21,3	3,7
Tindepreget ås- og fjellandskap over skoggrensen	5,8	17,6	74,1	2,6
Nedskåret dallandskap over skoggrensen	10,6	25,3	61,2	2,9
Relativt åpent dallandskap over skoggrensen	25,3	28,3	42,4	4,1
Innland, under skoggrensen				
Grunne daler i ås- og fjellandskap under skoggrensen	64,1	20,7	12,5	2,7
Kupert ås- og fjellandskap under skoggrensen	14,9	25,3	58,3	1,4
Middels kupert ås- og fjellandskap under skoggrensen	40,0	29,3	28,6	2,1
Slakt til småkupert ås- og fjellandskap under skoggrensen	64,0	20,3	13,3	2,4
Tindepreget ås- og fjellandskap under skoggrensen	10,1	19,6	70,3	0,0
Dypt nedskåret dallandskap under skoggrensen	4,2	15,4	80,4	0,0
Nedskåret dallandskap under skoggrensen	10,2	20,4	68,1	1,4
Relativt åpent dallandskap under skoggrensen	25,9	28,3	43,8	2,1
Åpent dallandskap under skoggrensen	41,7	28,9	26,9	2,4
Kyst				
Åpent fjordlandskap	47,4	29,1	20,9	2,6
Dypt nedskåret fjordlandskap	8,3	26,4	65,3	0,0
Nedskåret fjordlandskap	12,1	26,4	61,2	0,3
Relativt åpent fjordlandskap	35,9	27,5	35,6	1,0
Kystslettelandskap	73,3	14,9	9,6	2,2
Sum antall punkter sør	36,3	24,7	36,8	2,2

Tabell 5.1.4: Fordeling av grunntype-polygoner fra landskapsgrupper innad i de ulike aktivitetssonene i Nord-Norge. Aktivitetssone 1 = lav aktivitet, 2 = middels aktivitet, 3 = høy aktivitet, 9999 (-) = aktivitetssone ikke satt.

Landskapsgruppe [Nord-Norge]	% 1	% 2	% 3	% -
Innland, over skoggrensen				
Kupert ås- og fjellandskap over skoggrensen	34,7	32,1	25,2	8,0
Middels kupert ås- og fjellandskap over skoggrensen	45,2	26,9	13,7	14,1
Slakt til småkupert ås- og fjellandskap over skoggrensen	71,4	16,1	6,7	5,7
Tindepreget ås- og fjellandskap over skoggrensen	21,8	33,1	43,0	2,1
Nedskåret dallandskap over skoggrensen	33,6	29,4	29,0	8,0
Relativt åpent dallandskap over skoggrensen	36,9	35,8	20,1	7,2
Innland, under skoggrensen				
Grunne daler i ås- og fjellandskap under skoggrensen	61,7	15,8	7,4	15,1
Kupert ås- og fjellandskap under skoggrensen	32,7	32,7	28,5	6,0
Middels kupert ås- og fjellandskap under skoggrensen	53,3	20,9	11,0	14,9
Slakt til småkupert ås- og fjellandskap under skoggrensen	67,4	14,3	4,5	13,8
Tindepreget ås- og fjellandskap under skoggrensen	19,8	26,7	50,8	2,6
Dypt nedskåret dallandskap under skoggrensen	17,4	28,9	52,1	1,6
Nedskåret dallandskap under skoggrensen	26,7	32,4	36,7	4,2
Relativt åpent dallandskap under skoggrensen	43,7	27,1	17,5	11,7
Åpent dallandskap under skoggrensen	47,8	21,8	10,5	19,9
Kyst				
Åpent fjordlandskap	62,6	21,2	14,9	1,3
Dypt nedskåret fjordlandskap	6,3	26,3	65,3	2,1
Nedskåret fjordlandskap	20,9	26,6	50,4	2,1
Relativt åpent fjordlandskap	45,6	24,6	27,9	1,9
Kystslettelandskap	51,1	18,8	19,0	11,1
Sum antall punkter nord	45,5	24,6	20,2	9,7

Landskapsgruppers skredpunkter i aktivitetskartet

Skredpunktene fra tidligere skredhendelser (NGU pkt) (i hver landskapsgruppe) sin fordeling blant aktivitetssonene på landsbasis er vist i tabell 5.1.5. Rød cellefarge er benyttet for å demonstrere grupper med overvekt i aktivitetssone 3, tilsvarende er gult og grønt benyttet for henholdsvis sone 2 og 1. Antallet skredpunkter er oppgitt i disse feltene (n). Fire av gruppene har alle punkter innenfor aktivitetssone 3, og syv grupper har overvekt av punkter i denne gruppen. Én gruppe har alle punkter innenfor sone 1, og fire grupper er sterkest representert innenfor denne gruppen. To grupper vektes tyngst i sone 2, og to grupper er jevnere fordelt på flere soner.

Tabell 5.1.5: Andel av punkter fra tidligere skredhendelser innenfor hver landskapsgruppe i hver av de ulike aktivitetssonene, landsdekkende. Aktivitetssone 1 = lav aktivitet, 2 = middels aktivitet, 3 = høy aktivitet, 9999 (-) = aktivitetssone ikke satt, n = antall skredpunkt.

SKREDPKT. FORDELING: LANDSDEKKENDE	% 1 n	% 2 n	% 3 n	% -
Landskapsgruppe: Innland, over skoggrensen				
Kupert ås- og fjellandskap over skoggrensen	0,0	0,0	100,0 12	0,0
Middels kupert ås- og fjellandskap over skoggrensen	80,0 8	0,0	20,0	0,0
Slakt til småkupert ås- og fjellandskap over skoggrensen	100,0 13	0,0	0,0	0,0
Tindepreget ås- og fjellandskap over skoggrensen	0,0	0,0	100,0 30	0,0
Nedskåret dallandskap over skoggrensen	0,0	66,7 2	33,3	0,0
Relativt åpent dallandskap over skoggrensen	50,0	50,0	0,0	0,0
Landskapsgruppe: Innland, under skoggrensen				
Grunne daler i ås- og fjellandskap under skoggrensen	66,7 4	33,3	0,0	0,0
Kupert ås- og fjellandskap under skoggrensen	34,0	27,7	38,3	0,0
Middels kupert ås- og fjellandskap under skoggrensen	6,3	6,3	75,0 12	12,5
Slakt til småkupert ås- og fjellandskap under skoggrensen	44,4	0,0	55,6 5	0,0
Tindepreget ås- og fjellandskap under skoggrensen	0,0	0,0	100,0 19	0,0
Dypt nedskåret dallandskap under skoggrensen	0,0	0,0	100,0 42	0,0
Nedskåret dallandskap under skoggrensen	1,2	12,1	86,7 515	0,0
Relativt åpent dallandskap under skoggrensen	2,6	5,0	86,6 1773	5,8
Åpent dallandskap under skoggrensen	44,6	48,3 131	7,0	0,0
Landskapsgruppe: Kyst				
Åpent fjordlandskap	90,9 20	0,0	9,1	0,0
Dypt nedskåret fjordlandskap	75,0 3	25,0	0,0	0,0
Nedskåret fjordlandskap	15,2	3,0	81,8 81	0,0
Relativt åpent fjordlandskap	32,0	12,7	55,3 166	0,0
Kystslettelandskap	41,3	10,9	47,8 22	0,0

Landskapsgruppers skredpunkter i aktivitetskartet, Sør- og Nord-Norge

Tabell 5.1.6 for Sør-Norge viser at 100% av skredpunktene i syv av gruppene ligger innenfor aktivitetssone 3, og at seks andre grupper har en lavere andel, men fortsatt en overvekt i samme aktivitetssone. Én gruppe har 100% av skredpunktene i aktivitetssone 1, dette er den eneste gruppen med overvekt i denne sonen. For aktivitetssone 2 har to grupper 100% av punktene i denne sonen, som også er de eneste hvor sone 2 vektet tyngst.

Tabell 5.1.7 for Nord-Norge viser at fire av gruppene har 100% av sine punkter i sone 3, og tre grupper har også overvekt i sonen. I fire av gruppene ligger alle punktene i sone 1, og fire andre grupper vektet også tyngst i sone 1. Én gruppe alle skredpunkter innenfor sone 2, og en annen gruppe vektet akkurat tyngst i sone 2, men er tilnærmet likt vektet i sone 1. Tabellene følger lik fargebruk og angir antall som landsdekkende tabell.

Tabell 5.1.6: Andel av punkter fra tidligere skredhendelser innenfor hver landskapsgruppe i hver av de ulike aktivitetssonene, Sør-Norge. Aktivitetssone 1 = lav aktivitet, 2 = middels aktivitet, 3 = høy aktivitet, 9999 (-) = aktivitetssone ikke satt, n = antall skredpunkt.

SKREDPUNKTER FORDELING: SØR	% 1 n	% 2 n	% 3 n	% -
Landskapsgruppe: Innland, over skoggrensen				
Kupert ås- og fjellandskap over skoggrensen	0,0	0,0	100,0 11	0,0
Middels kupert ås- og fjellandskap over skoggrensen	0,0	0,0	100,0 2	0,0
Slakt til småkupert ås- og fjellandskap over skoggrensen	0,0	0,0	0,0	0,0
Tindepreget ås- og fjellandskap over skoggrensen	0,0	0,0	100,0 8	0,0
Nedskåret dallandskap over skoggrensen	0,0	100,0 2	0,0	0,0
Relativt åpent dallandskap over skoggrensen	0,0	100,0 2	0,0	0,0
Landskapsgruppe: Innland, under skoggrensen				
Grunne daler i ås- og fjellandskap under skoggrensen	0,0	0,0	0,0	0,0
Kupert ås- og fjellandskap under skoggrensen	0,0	44,8	55,2 16	0,0
Middels kupert ås- og fjellandskap under skoggrensen	0,0	0,0	85,7 12	14,3
Slakt til småkupert ås- og fjellandskap under skoggrensen	0,0	0,0	100,0 5	0,0
Tindepreget ås- og fjellandskap under skoggrensen	0,0	0,0	100,0 19	0,0
Dypt nedskåret dallandskap under skoggrensen	0,0	0,0	100,0 42	0,0
Nedskåret dallandskap under skoggrensen	0,0	6,9	93,1 473	0,0
Relativt åpent dallandskap under skoggrensen	0,3	4,3	89,2 1704	6,2
Åpent dallandskap under skoggrensen	0,0	0,0	100,0 21	0,0
Landskapsgruppe: Kyst				
Åpent fjordlandskap	0,0	0,0	0,0	0,0
Dypt nedskåret fjordlandskap	100,0 3	0,0	0,0	0,0
Nedskåret fjordlandskap	41,7	8,3	50,0 18	0,0
Relativt åpent fjordlandskap	0,0	13,7	86,3 82	0,0
Kystslettelandskap	0	0,0	0,0	0,0

Tabell 5.1.7: Andel av punkter fra tidligere skredhendelser innenfor hver landskapsgruppe i hver av de ulike aktivitetssonene, Nord-Norge. Aktivitetssone 1 = lav aktivitet, 2 = middels aktivitet, 3 = høy aktivitet, 9999 (-) = aktivitetssone ikke satt, n = antall skredpunkt.

SKREDPUNKTER FORDELING: NORD	% 1 n	% 2 n	% 3 n	% -
Landskapsgruppe: Innland, over skoggrensen				
Kupert ås- og fjellandskap over skoggrensen	0,0	0,0	100,0 1	0,0
Middels kupert ås- og fjellandskap over skoggrensen	100,0 8	0,0	0,0	0,0
Slakt til småkupert ås- og fjellandskap over skoggrensen	100,0 13	0,0	0,0	0,0
Tindepreget ås- og fjellandskap over skoggrensen	0,0	0,0	100,0 22	0,0
Nedskåret dallandskap over skoggrensen	0,0	0,0	100,0 1	0,0
Relativt åpent dallandskap over skoggrensen	100,0 2	0,0	0,0	0,0
Landskapsgruppe: Innland, under skoggrensen				
Grunne daler i ås- og fjellandskap under skoggrensen	66,7 4	33,3	0,0	0,0
Kupert ås- og fjellandskap under skoggrensen	88,9 16	0,0	11,1	0,0
Middels kupert ås- og fjellandskap under skoggrensen	50,0	50,0	0,0	0,0
Slakt til småkupert ås- og fjellandskap under skoggrensen	100,0 4	0,0	0,0	0,0
Tindepreget ås- og fjellandskap under skoggrensen	0,0	0,0	0,0	0,0
Dypt nedskåret dallandskap under skoggrensen	0,0	0,0	0,0	0,0
Nedskåret dallandskap under skoggrensen	14,0	2,0	84,0 42	0,0
Relativt åpent dallandskap under skoggrensen	35,3	14,0	50,7 69	0,0
Åpent dallandskap under skoggrensen	48,4	51,6 129	0,0	0,0
Landskapsgruppe: Kyst				
Åpent fjordlandskap	90,9 20	0,0	9,1	0,0
Dypt nedskåret fjordlandskap	0,0	100,0 1	0,0	0,0
Nedskåret fjordlandskap	0,0	0,0	100,0 63	0,0
Relativt åpent fjordlandskap	46,8 96	12,2	41,0	0,0
Kystslettelandskap	41,3	10,9	47,8 22	0,0

5.1.4 *Hans*

Samletabell *Hans*

En samletabell som viser alle registrerte skredpunkter fra *Hans* med tilhørende aktivitetssone, grunntype (NiN), landskapsgruppe og tilhørende KLG-verdier kan sees i “Tabell 9” i filen “Hovedresultater” i tilhørende vedleggsmappe.

Fordeling av skredpunkter fra *Hans* i landskapsgruppene

Tabell 5.1.8 viser fordelingen av de registrerte skredpunktene fra ekstremværhendelsen *Hans* i de ulike landskapsgruppene. Først angis antall skredpunkter, deretter hvor stor andel denne landskapsgruppen har av alle skredene i tabellen. Siste kolonne angir hvor stor del av punktene landskapsgruppen står for dersom ekstra landskapstyper inkluderes. *Relativt åpent dallandskap under skoggrensen* innehar over 70% av skredpunktene uansett tilfelle, med *Nedskåret dallandskap under skoggrensen* som nest største gruppe med omtrent 8%.

Tabell 5.1.8: Distribusjon av skredpunkter fra ekstremværhendelsen *Hans* i de ulike landskapsgruppene. Tabellen viser også den prosentvise fordelingen med og uten de ekstra landskapstypene.

Landskapsgruppe	<i>Hans</i> pkt	Andel [%]	Med ekstra [%]
Innland, over skoggrensen			
Kupert ås- og fjellandskap over skoggrensen	5	0,9	0,8
Middels kupert ås- og fjellandskap over skoggrensen	35	6,2	5,8
Slakt til småkupert ås- og fjellandskap over skoggrensen	1	0,2	0,5
Tindepreget ås- og fjellandskap over skoggrensen	0	0	0
Nedskåret dallandskap over skoggrensen	2	0,4	0,3
Relativt åpent dallandskap over skoggrensen	19	3,4	3,2
Innland, under skoggrensen			
Grunne daler i ås- og fjellandskap under skoggrensen	5	0,9	0,8
Kupert ås- og fjellandskap under skoggrensen	0	0	0
Middels kupert ås- og fjellandskap under skoggrensen	9	1,6	1,5
Slakt til småkupert ås- og fjellandskap under skoggrensen	0	0	0
Tindepreget ås- og fjellandskap under skoggrensen	0	0	0
Dypt nedskåret dallandskap under skoggrensen	6	1,1	1,3
Nedskåret dallandskap under skoggrensen	48	8,5	8
Relativt åpent dallandskap under skoggrensen	420	74,1	73,4
Åpent dallandskap under skoggrensen	15	2,6	4
Kyst			
Åpent fjordlandskap	0	0	0
Dypt nedskåret fjordlandskap	1	0,2	0,2
Nedskåret fjordlandskap	1	0,2	0,2
Relativt åpent fjordlandskap	0	0	0
Kystslettelandskap	0	0	0

Antallet polygoner fra de ekstra landskapstypene som har skredpunkter fra *Hans* for hver landskapsgruppe er vist i tabell 5.1.9.

Tabell 5.1.9: Ekstra landskapstyper til de foreslåtte landskapsgruppene som har skredpunkter fra *Hans*.

Ekstra landskapstyper	<i>Hans</i> pkt
Landskapsgruppe	
Innland, over skoggrensen	
Kupert ås- og fjellandskap over skoggrensen	
Middels kupert ås- og fjellandskap over skoggrensen	
Slakt til småkupert ås- og fjellandskap over skoggrensen	2
Tindepreget ås- og fjellandskap over skoggrensen	
Nedskåret dallandskap over skoggrensen	
Relativt åpent dallandskap over skoggrensen	
Innland, under skoggrensen	
Grunne daler i ås- og fjellandskap under skoggrensen	
Kupert ås- og fjellandskap under skoggrensen	
Middels kupert ås- og fjellandskap under skoggrensen	
Slakt til småkupert ås- og fjellandskap under skoggrensen	
Tindepreget ås- og fjellandskap under skoggrensen	
Dypt nedskåret dallandskap under skoggrensen	2
Nedskåret dallandskap under skoggrensen	
Relativt åpent dallandskap under skoggrensen	22
Åpent dallandskap under skoggrensen	9
Kyst	
Åpent fjordlandskap	
Dypt nedskåret fjordlandskap	
Nedskåret fjordlandskap	
Relativt åpent fjordlandskap	
Kystslettelandskap	

Opgavens foreslåtte landskapsgrupper dekker 85,3% av skredpunktene fra *Hans*, dersom de ekstra landskapstypene inkluderes dekker gruppene 90,6% av skredpunktene. 9,5% av skredpunktene dekkes ikke av denne gruppeinndelingen (tabell 5.1.10).

Tabell 5.1.10: Dekning av oppgavens foreslåtte landskapsgrupper, og ekstra landskapstyper som kan trekkes inn i disse gruppene.

<i>Hans</i> pkt (665)	Andel [%]
Dekt av landskapsgrupper	85,3
Dekt av ekstra landskapstyper	5,3
Ikke dekt	9,5

Fordelingen av alle *Hans*-punkter innenfor de ulike aktivitetssonene viser at de fleste skredene har gått i aktivitetssone 3 (77,4%), se tabell 5.1.11.

Kontroll av hvilke aktivitetssoner skredpunktene fra *Hans* ligger i for hver landskapsgruppe er utført for den største gruppen, *Relativt åpent dallandskap under skoggrensen* (tabell 5.1.12). Tabellen viser at 92,4% av skredene har gått i aktivitetssone 3.

Tabell 5.1.11: Fordeling av skredpunktene fra *Hans* innenfor de ulike aktivitetssonene.

Aktivitetssoner	<i>Hans</i> pkt	Andel [%]
Sone 1	30	4,5
Sone 2	57	8,6
Sone 3	515	77,4
Mangler el 9999	63	9,5

Tabell 5.1.12: Kontroll av distribusjon innenfor aktivitetskartet av den dominerende landskapsgruppen i både tidligere skredhendelser og *Hans*, her punkter fra *Hans*. De fleste skredene har gått i aktivitetssone 3.

Kontroll: Relativt åpent dallandskap under skoggrensen		
Aktivitetssone	Antall	Andel [%]
Sone 1	3	0,7
Sone 2	29	6,9
Sone 3	387	92,4
Sum	419	

5.1.5 Sammenlikning KLG-er med skredpunkter fra *Hans* og tidligere skredhendelser

Forekomsten av de ulike nivåene av de komplekse landskapsgradientene (KLG) *arealbruksintensitet*, *jordbruksintensitet*, *vegetasjon* og *innsjøpreg* (se forklaring av de ulike nivåene i tabell 5.1.13) i skredpunktene fra tidligere skredhendelser og *Hans* er vist i tabell 5.1.14.

Tabell 5.1.13: Forklaring av de ulike nivåene innenfor de komplekse landskapsgradientene (KLG) *arealbruksintensitet*, *jordbruksintensitet*, *vegetasjon* og *innsjøpreg* (Simensen mfl. (2021), vedlegg S8).

Arealbruksintensitet	Forklaring
KLG-AI-1	Lav
KLG-AI-2	Middels
KLG-AI-3	Tettsted eller småby
KLG-AI-4	By
Jordbruksintensitet	Forklaring
KLG-JP-1	Lav
KLG-JP-2	Høy
Vegetasjon	Forklaring
KLG-VE-1	Skogdekt eller potensielt skogdekte områder under skoggrensen
KLG-VE-2	Kulturlandskap
KLG-VE-3	Åpne fjellheier
KLG-VE-4	Bare fjell med liten eller ingen vegetasjon
Innsjøpreg	Forklaring
KLG-IP-1	Alle innsjøer <2 km ²
KLG-IP-2	Innsjøer 2-8 km ²
KLG-IP-3	Innsjøer >8 km ²

Tabell 5.1.14: Fordeling av de komplekse landskapsgradientene (KLG) arealbruksintensitet, jordbruksintensitet, vegetasjon og innsjøpreg blant skredhendelser fra *Hans* og tidligere skredhendelser (i samme område).

	Tidligere skred		<i>Hans</i>	
Arealbruksintensitet	Antall skred	Prosent [%]	Antall skred	Prosent [%]
KLG-AI-1	191	9,8	201	30,2
KLG-AI-2	1316	67,6	393	59,1
KLG-AI-3	441	22,6	71	10,7
KLG-AI-4	0	0,0	0	0,0
Mangler	0	0,0	0	0
Sum	1948		665	
Jordbruksintensitet	Antall skred	Prosent [%]	Antall skred	Prosent [%]
KLG-JP-1	1315	67,5	636	95,6
KLG-JP-2	633	32,5	29	4,4
Mangler	0	0,0	0	0
Sum	1948		665	
Vegetasjon	Antall skred	Prosent [%]	Antall skred	Prosent [%]
KLG-VE-1	1772	91,0	577	86,8
KLG-VE-2	13	0,7	13	2,0
KLG-VE-3	7	0,4	37	5,6
KLG-VE-4	11	0,6	34	5,1
Mangler	145	7,4	4	0,6
Sum	1948		665	
Innsjøpreg	Antall skred	Prosent [%]	Antall skred	Prosent [%]
KLG-IP-1	1299	66,7	449	67,5
KLG-IP-2	2	0,1	54	8,1
KLG-IP-3	452	23,2	96	14,4
Mangler	195	10,0	66	9,9
Sum	1948		665	

5.1.6 Tidligere skredhendelser i NIBIO

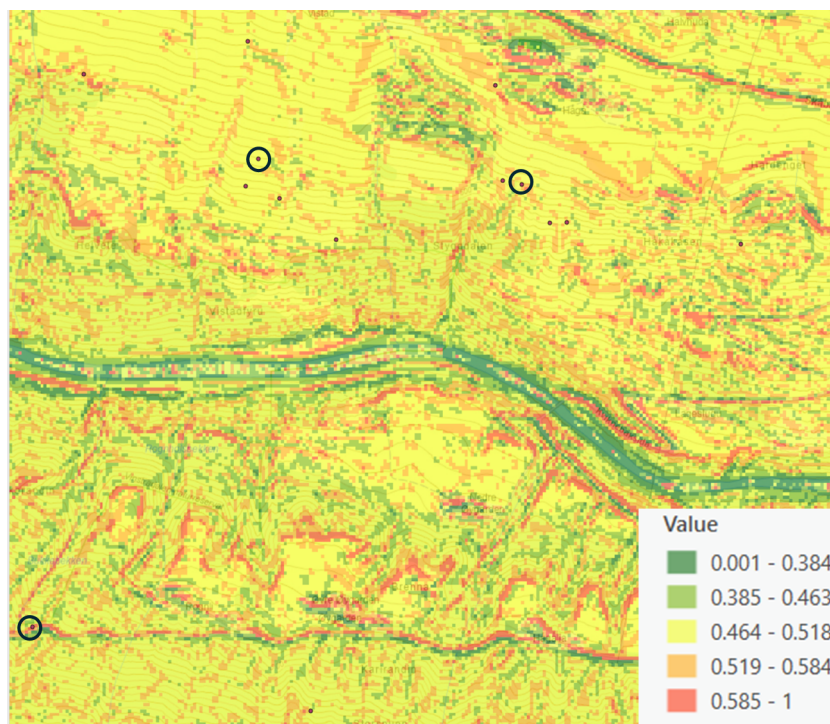
Spatial Join av Nasjonalt referansesystem for landskap (NIBIO) og NGU skredobservasjoner resulterte i tabell 5.1.15. Tabellen viser antall skredpunkter innenfor hver landskapsregion. Nedre dalbygder på Østlandet er regionen med flest skredpunkter, etterfulgt av midtre bygder og indre bygder på Vestlandet, og fjordbygdene i Nordland og Troms. Resterende landskapsregioner har få punkter.

Tabell 5.1.15: Skredpunkter (tidligere skredhendelser, NGU) i landskapsregioner (RSL_LREG: Landskapsregionsnummer, LREGNAVN: Landskapsregionnavn.)

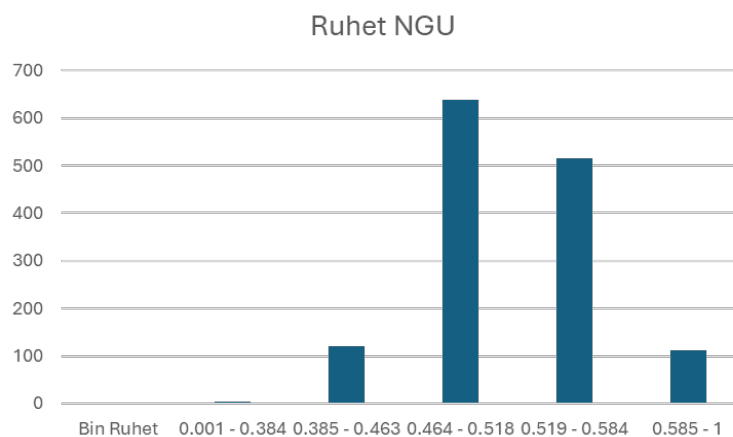
RSL_LREG	LREGNAVN	Skredpunkter [n]	Andel [%]
10	NEDRE DALBYGDER PÅ ØSTLANDET	1394	37,5
25	FJORDBYGDENE PÅ MØRE OG I TRØNDELAG	581	1,3
14	FJELLSKOGEN I SØR-NORGE	426	0,1
27	DAL- OG FJELLBYGDENE I TRØNDELAG	407	4,8
35	LÅGFJELLET I NORDLAND OG TROMS	252	0,1
32	FJORDBYGDENE I NORDLAND OG TROMS	407	10,9
34	INDRE BYGDER I TROMS	56	1,5
36	HØGFJELLET I NORDLAND OG TROMS	16	0,4
41	DALBYGDENE I FINNMARK	252	6,8
5	SKOG- OG HEIBYGDENE PÅ SØRLANDET	1	0
12	DAL- OG FJELLBYGDER I TELEMARKE OG AUST-AGDER	31	0,8
11	ØVRE DAL- OG FJELLBYGDER I OPPLAND OG BUSKERUD	182	4,9
22	MIDTRE BYGDER PÅ VESTLANDET	581	15,6
21	YTRE FJORDBYGDER PÅ VESTLANDET	24	0,6
23	INDRE BYGDER PÅ VESTLANDET	426	11,5
31	LOFOTEN OG VESTERÅLEN	95	2,6
29	KYSTBYGDENE I HELGELAND OG SALTEN	3	0,1
33	INNLANDSBYGDENE I NORDLAND	19	0,5
	SUM	3720	

5.1.7 TRI i skredpunkt

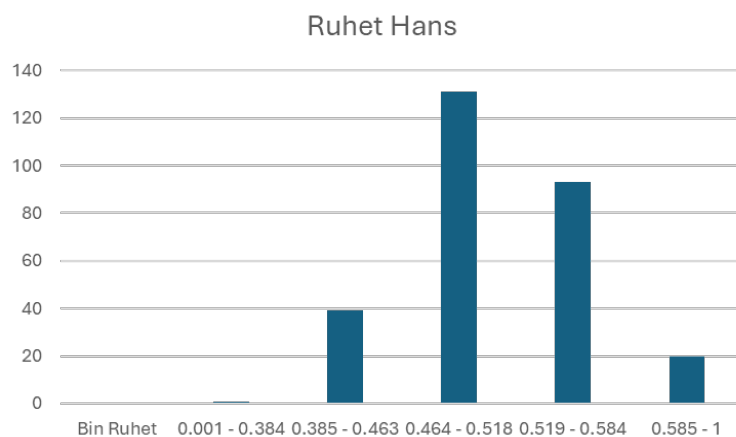
Ruhet fra “Terreng ruhetsindeks” analyse i ArcGIS Pro på DTM (figur 2.10.1) viser ved visuell inspeksjon at skredpunkter fra både *Hans* og tidligere skredhendelser faller innenfor områder med både lav, middels og høy ruhet (se figur 5.1.8). Stolpediagram som viser hvor stor andel av skredpunktene som faller innenfor hvert intervall av ruhet er gitt ved figur 5.1.9 for tidligere skredhendelser og figur 5.1.10 for *Hans*. Diagrammene viser at de fleste skredpunktene ligger i områder med middels - middels høy ruhet (gul og oransje sone) i begge tilfellene, diagrammene har likt fingeravtrykk.



Figur 5.1.8: Eksempel på visuell analyse av ruhet (TRI) i skredpunkter. Svarte sirkler viser punkter i forskjellig ruhet. Nederst til høyre er fargeforklaring, rød = høy ruhet, grønn = lav ruhet.



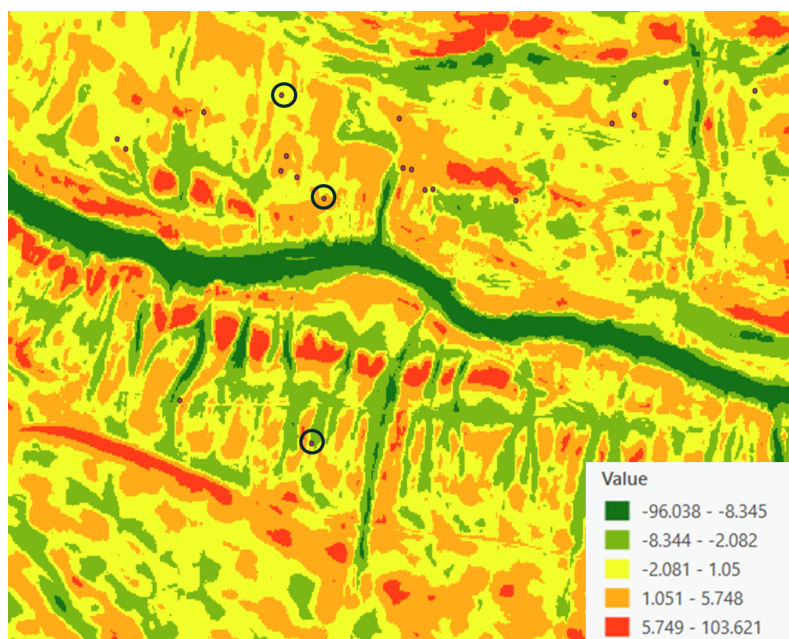
Figur 5.1.9: Ruhetsverdier tidligere skredhendelser. Intervaller fra lav ruhet (venstre) til høy ruhet (høyre).



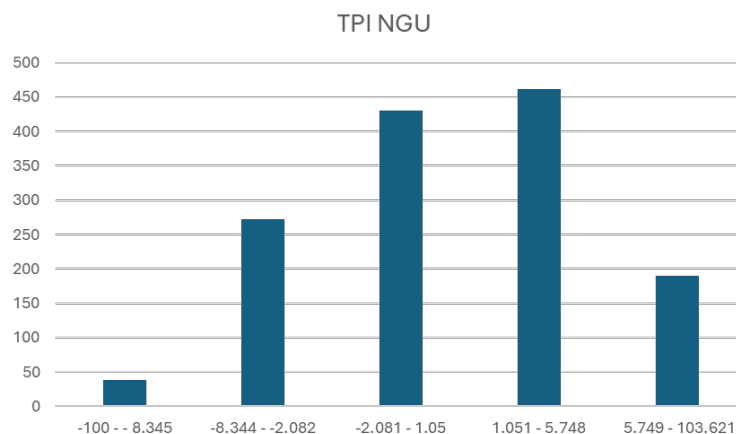
Figur 5.1.10: Ruhetsverdier *Hans*. Intervaller fra lav ruhet (venstre) til høy ruhet (høyre).

5.1.8 TPI i skredpunkt

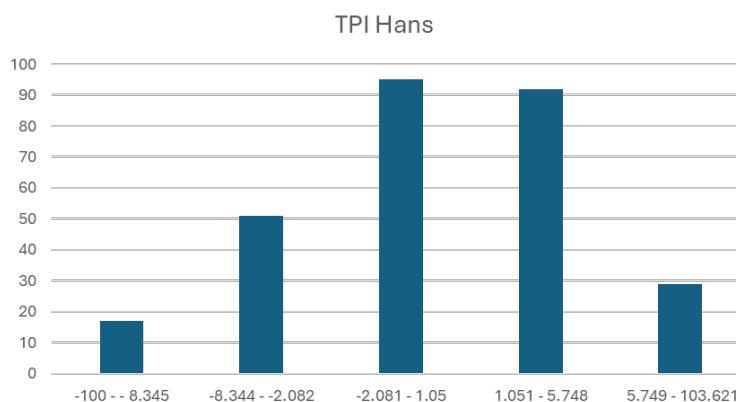
Topografisk Posisjonsindeks (TPI) eller topografi relativt til omliggende punkter fra DTM (figur 2.10.1) er analysert visuelt (se figur 5.1.11), og det ble da funnet at skredpunkter ligger i lav, middels og høy verdi for TPI (forsenkning, flate/konstant helning, forhøyning). Grundigere analyse hvor TPI-verdi for hvert skredpunkt i datasett for tidligere skredhendelser og *Hans* er ekstrahert (presentert i henholdsvis figur 5.1.12 og 5.1.13) viser at det i begge tilfellene er middels lav, middels og middels høy (lysegrønn, gul og oransje) verdi i punktene, altså jevnt fordelt i midtre sjikt. Diagrammene har en lik signatur.



Figur 5.1.11: Eksempel på visuell analyse av relativ topografi (TRI) i skredpunkter. Svarte sirkler demonstrerer skredpunkter i ulike TRI-verdi. Tabell i nedre høyre hjørne viser TRI-verdi for de ulike fargene, grønn = lav (forsenkning), rød = høy (forhøyning).



Figur 5.1.12: TPI verdier tidligere skredhendelser. Intervaller fra lav TPI-verdi (venstre) til høy TPI-verdi (høyre).



Figur 5.1.13: TPI verdier *Hans*. Intervaller fra lav TPI-verdi (venstre) til høy TPI-verdi (høyre).

5.2 Feltobservasjoner

Ved feltarbeid ble syv skred beskrevet, i fem av de ble også sedimentprøve tatt i løseområdet. I beskrivelsene benyttes begrepene U1 og U2. Dette beskriver punktet hvor for U1 - avsetning av fragmenter på omtrent 15x15x15 cm sist er observert, og for U2 - avsetning av finstoff lengst vekk fra skredet er observert.

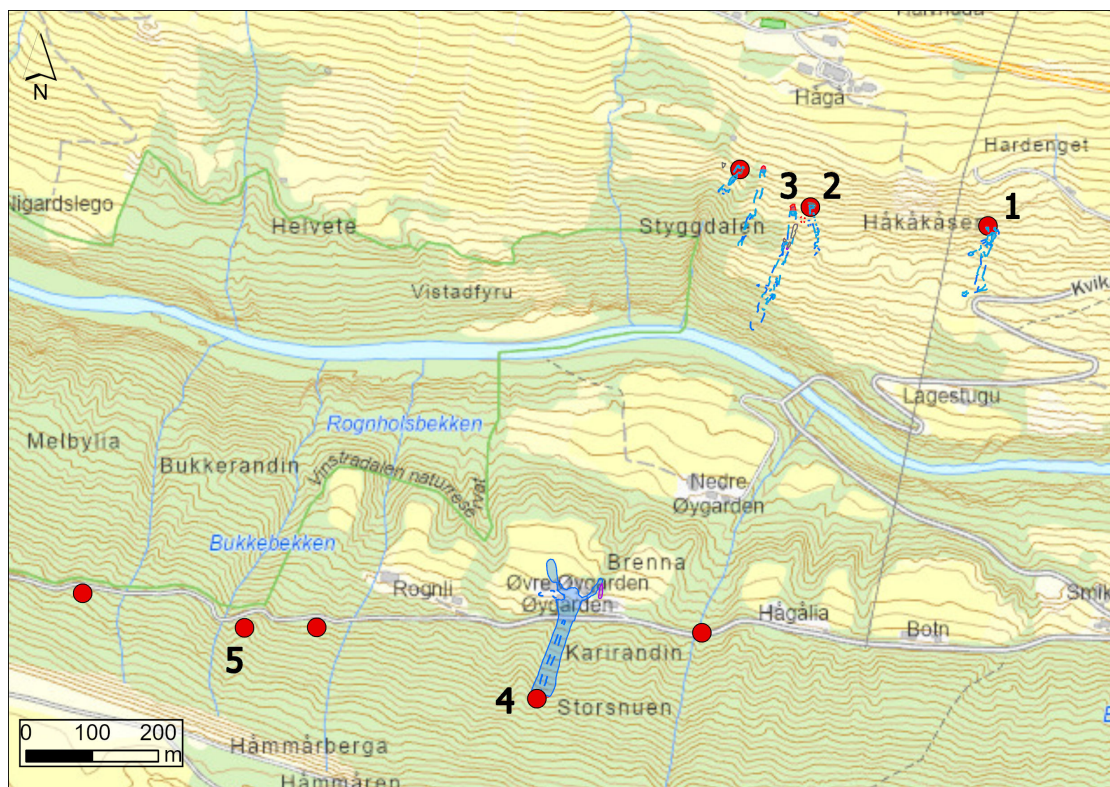
Figur 5.2.1 viser Skred nummer 1, 2 og 3 ligger i den sørvendte siden av dalen (nord), skred 4 og 5 ligger i den nordvendte dalsiden (sør). Unummererte skred i figuren omtales ikke videre. Rødt: utløsningsområde, blått: skredbane m/erosjon, blå stiplet linje: utløpsområde, lilla: U2.

Et nærmere bilde av skredene i den sørvendte dalsiden er presentert i figur 5.2.2.

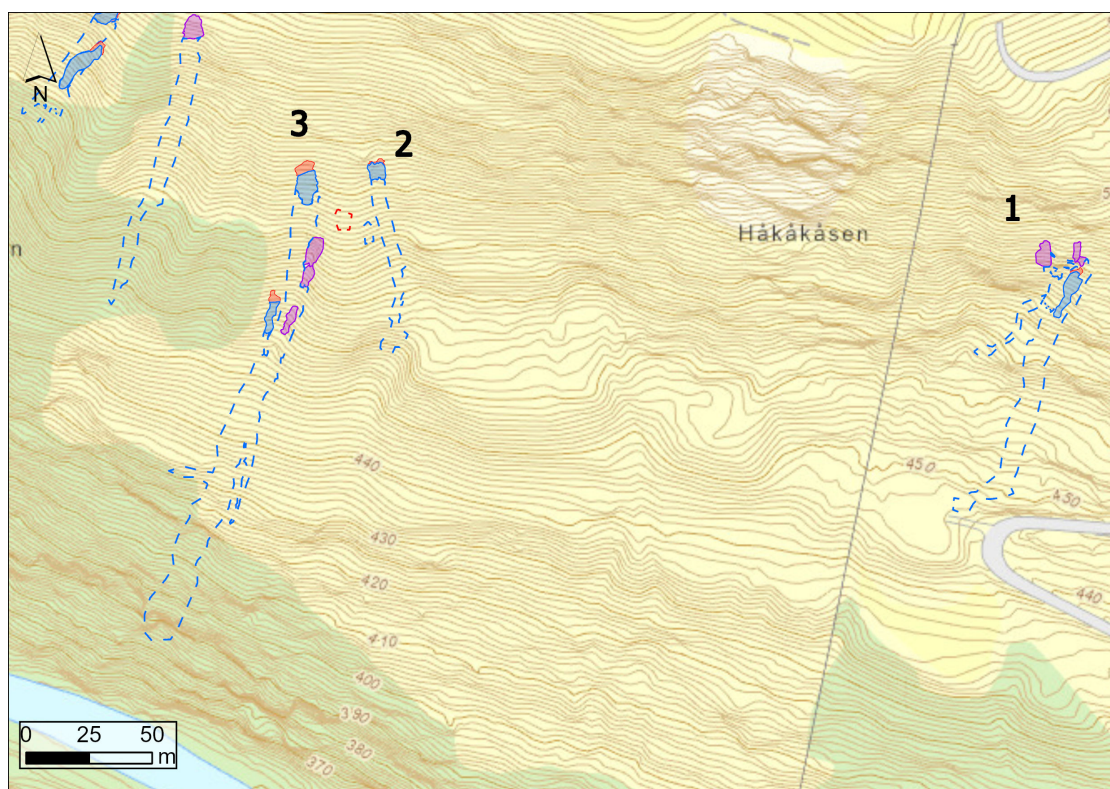
5.2.1 Skred 1

Utløsningsområde

Det som er beskrevet som skred 1 består av to utløsningsområder, se figur 5.2.2. Ved den østlige siden ble det observert en bergknaus med pipende vann som samlet seg i et flatt



Figur 5.2.1: Observerte skred ved Kvikne (Vinstra). Ikke-nummererte skred omtales ikke videre. Rødt: utløsningsområde, blått: skredbane m/erosjon, blå stiplet linje: utløpsområde, lilla: U2.



Figur 5.2.2: Skred i den sørvendte dalsiden, Kvikne (Vinstra).



Figur 5.2.3: Vannerosjonskanaler og drapering av sedimenter på omgivelsene rundt kanalen. Skala: Sekkereim på høyre side.

parti like over utløsningsområdet. Et annet utløsningsområde lå i bunnen av det øverste. I dette punktet ble rennende vann observert mot glideflaten, som var bar berggrunn. Det antas at dette er punktet hvor skredet startet, og at sedimentene i overkant ble utløst grunnet manglende støtte i foten av massene. Et ekstra utløsningsområde lå nedenfor hovedutløsningspunktet. Det ble observert flere store, kantede steinblokker i skråningen som kan være steinsprangsblokker. Steinsprang er derfor en mulig utløsende årsak.

I det vestlige utløsningsområdet lå startpunktet helt øverst mot bakkanten, og det ble observert en serie med begynnende sprekker på begge sider.

Skredbane og utløpsområde

Det østlige og vestlige utløsningsområdet samles i en felles skredbane som igjen deles i to. Et løp som vender vestover, som kun viser sporadiske tegn til erosjon gjennom vegetasjonslaget (gress). Indikatorer som bøyd gress og fravær av avsetning midt i løpet, og leveér langs utkanten viser at det har vært mye vann i skredet. U1 observert, bunnpunktet av stiplede linje for skred 1 i figur 5.2.2. U2 ikke observert.

Sedimenttype

Utløsningsområdet besto av bunnmorene overlatt av ablasjonsmorene. Kantet stein med størrelse opp til 40-50 cm ble observert i skredbanen. Blokker ble observert rundt skredet, men de tolkes til å ikke være avsatt av skredet. Store mengder forvitningsmateriale observeres, særlig over eksfiltrasjonspunktet nær toppen av skredet.

Berggrunn

Fallretningen på berggrunnen var slakt innover i skråningen.

Vann

En bekk hadde blitt observert ovenfor skredet, i østlig retning. Vannerosjonskanaler var godt synlige langs skredbanen, og finere sediment drapert over marken rundt kanalene vitner om at det har vært en viss hastighet på vannet. Jettegryter i jordsmonnet hadde blitt etablert i skredbanen. Se figur 5.2.3.



Figur 5.2.4: Foto fra løsneområdet for skred 2. Hulrom hvor det sannsynligvis har vært en stein som har rullet ned dalsiden. Stikkstang som skala.

Dimensjoner

Østlig løsneområde: Bredde ca. 6 m, bakkant 1,5 m.

Vestlig løsneområde: Bredde ca. 3 m, bakkant 1 m.

Vinkel fra U1 til løsneområdet 21 grader.

Prøver

Tabell 5.2.1: Prøve tatt i Skred 1.

Prøve ID	Materiale
VINS23-KL01	Ablasjonsmorene

5.2.2 Skred 2

Se skred 2 i figur 5.2.2.

Utløsningsområde

I løsneområdet ble det observert et hulrom hvor det sannsynligvis har ligget en større stein (se figur 5.2.4), som har rullet ned dalsiden. Vannerosjonskanal observeres nedenfor hullet. I overkant lå en stor blokk som tilsynelatende har kanalisert vann inn i løsneområdet. Et sauetråkk ble observert tett inntil overkanten. Glideplan sannsynligvis bunnmorenen. Alpehornstrær observert omtrent 20 meter til siden for skredet, viser at jordsig er en aktiv prosess i området.

Skredbane og utløpsområde

Grovt materiale i skredbanen med en stripe av grønt gress i midten (se figur 5.2.5). Finere sediment i ytterkantene. U1 registrert ved en bratt knekk i terrenget, se bunnpunkt av stiplet linje for skred 2 i figur 5.2.2. U2 ble observert langt nede i dalsiden, men er ikke registrert i figur.



Figur 5.2.5: Midten av skredbanen er vasket ren for sedimenter, på sidene er grovere materiale, på sidene er grovere materiale, finende utover mot sidene. Stikkstang som skala.

Sedimenttype

Jordsmonn av lys farge og tegn til utvasking, underlagt av et mørkere og svært fuktig jordlag. Under dette observert bunnmorene overlatt av ablasjonsmorene. Se figur 5.2.6.

Berggrunn

Berggrunn ikke observert.

Vann

Bart, kjemmet gress, og kun grove masser midt i skredbanen viser at det har vært mye vann i skredet.

Dimensjoner

Bredde løsneområde: 7 m.

Høyde bakkant: 1 m.

Helning: 21 eller 29 grader.

Prøver

Ingen prøver tatt.

5.2.3 Skred 3

Se skred 3 i figur 5.2.2 og 5.2.7.

Utløsningsområde

Tydelig skålform med bakoverroterte gresstuer. Sauetråkk observert i overkant. Over bakkanten var det en liten forsenkning. I alt fem løsneområder nedover dalsiden observeres.

Skredbane og utløpsområde

De ulike løsneområdene samles i en felles skredbane. U1 registrert ved stein ca. 40x40x40



Figur 5.2.6: Foto av de ulike sedimenttypene i skredet. Stikkstang som skala.



Figur 5.2.7: Bilde tatt under løsneområdene i skred 3. Person til venstre som skala.



Figur 5.2.8: Skredmassene brer seg utover når skråningshelningen flater ut. Foto mangler skala.

cm som har stoppet i et tre langt nede i skråningen, se bunnpunktet for stiplet linje for skred 3 i figur 5.2.2. U2 ikke observert, men det antas at det har fortsatt ut i elven som renner i dalen. En del stein observeres i skredbanen/utløpet, kantrundet og rundet. Hovedsaklig i størrelse 10-15 cm, men enkelte i størrelse 40-50 cm. Et fåtall blokker observeres, trolig ikke fra skredet. Steinene har ulike litologier.

Sedimenttype

Bunnmorene overlatt av ablasjonsmorene.

Berggrunn

Bergflaten ikke observert.

Vann

Det er sannsynlig at skredet har hatt mye vann da sedimenter er avsatt på intakt gress. Vannerosjonskanaler observeres, og sedimentdrapering opp til 110 cm oppover trærne (etter brå knekk i gradienten). I midten av skredløpet er gresslaget renvasket, og massene brer seg utover i bredden der gradienten har avtatt (se figur 5.2.8).

Dimensjoner

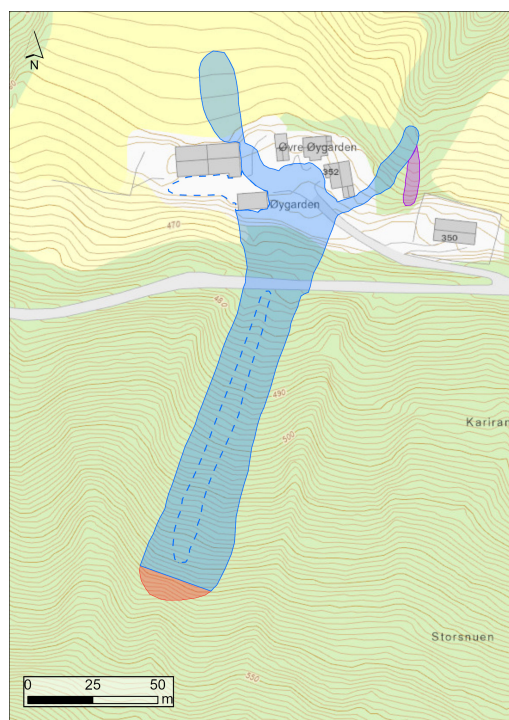
Øverste løsneområde: Bredde 8 m, max tykkelse 1 m, løsnkant: 0,5 m, lengde topp til bunn = 18 m.

Generell helning 20-25 grader, med minst to brå knekk i gradienten.

Prøver

Tabell 5.2.2: Prøve tatt i skred 3.

Prøve ID	Materiale
VINS23-KL02	Bunnmorene
VINS23-MF01	Ablasjonsmorene



Figur 5.2.9: Skred ved gård i den nordvendte dalsiden ved Kvikne (Vinstra). Rødt: utløsningsområde, blått: skredbane m/erosjon, blå stiplet linje: utløpsområde, lilla: U2.

5.2.4 Skred 4

Figur 5.2.9 viser et nærmere bilde av tolkningen av skred 4. Etter samtale med gårdbruker som ble berørt av skredet ble det kjent at skredet har gått i to omganger, først vestlig del, og østlig del gikk etter at beboerne hadde blitt evakuert.

Utløsningsområde

På ryggen i overkant av løsneområdet ble det observert alpehornstrær og tuer, begge tegn på jordsig. Løsneområdet i sin helhet ligger i en større forsenkning, men selve glideplanet er konvekst. Ryggen ligger omtrent midt i forsenkningen. På østsiden av ryggen ble det observert trær som hadde falt bakover (sør). Glideplan ser ut til å være i skillet mellom bunnmorene og ablasjonsmorene/forvitringmateriale.

Skredbane og utløpsområde

Trær som har falt i skredet har falt med toppen i nordlig retning, altså i skredretningen. Ryggen bak midten av løsneområdet opptrer igjen midt i skredbanen, se stiplet linje midt i skredbanen (figur 5.2.9). Denne delen er nærmest uberørt, men trærne i ytterkanten har blitt fjernet av skredet. Det er ikke skvulpemerker på trær eller underlag. Etter ryggen samles de to løpene, flere “lober” ble observert. Stiplet linje vest i figur 5.2.9 viser en “lobe” av finere materiale. Skredet har gått helt ned til huset, og spredt seg til hver side av det. Det har antakeligvis ikke hatt veldig stor hastighet i dette området, ettersom at det ikke gjorde betydelig trefningsskade på verken hus eller biler som var parkert på gårdsplassen. Mange trær har blitt med skredet nedover til gårdsplassen. U1 er registrert et stykke ned på jordet nordvest i figuren (heltrukken linje).

Sedimenttype

Store, runde steiner av ulike litologier i begge skredløp.

Berggrunn

Bergflaten ikke observert.

Vann

På begge sider av den sentrale ryggen er det dype vannerosjonskanaler. Nede ved husene sto biler fast i finere sediment transportert av vann, opp til omtrent midten av hjulene. Det er tydelig at vannet har hatt en relativt lav hastighet, ettersom det ikke er skvulpemerker oppover verken biler eller bygg. Ved veien på østsiden av ryggen ble et infiltrasjonspunkt for vann observert. Et eksfiltrasjonspunkt ble observert omtrent midt i det østlige løpet.

*Prøver***Tabell 5.2.3:** Prøve tatt i Skred 4.

Prøve ID	Materiale
VINS23-JP01	Ablasjonsmorene/forvittringsmateriale

5.2.5 Skred 5

Skred 5 var lokalisert langs samme grusvei som skred 4, se punkt i figur 5.2.1 (ikke tegnet kontur).

Utløsningsområde

Utløsningsområdet var todelt, med en ujevn overflate. Glideplanet er tilsynelatende bunnmorene, planet kommer tydelig frem i enkelte partier av løснеområdet.

Skredbane og utløpsområde

Skredet hadde erodert dypt gjennom grusveien og ned i underliggende ablasjonsmorene. Mange trær hadde knekt eller falt, de fleste med toppen i skredretning, og enkelte med toppen mot løśnieområdet. Det var ikke mulig å se enden av utløpet, og det ble heller ikke undersøkt nærmere.

Sedimenttype

Løsmassetypene er bunnmorene overlatt av ablasjonsmorene (se figur 5.2.10), prøver er tatt av begge sedimenttypene. Jordsmonn med mosevegetasjon på toppen.

Berggrunn

Ikke observert.

Vann

Eksfiltrasjon av vann ikke observert, men i vestkanten av skredet var en kollapset stikkrenne og tydelig vannerosjon.

*Prøver***Tabell 5.2.4:** Prøve tatt i Skred 5.

Prøve ID	Materiale
VINS23-KL03	Bunnmorene
VINS23-MF02	Ablasjonsmorene



Figur 5.2.10: Kompakt bunnsmorene overlatt av en løsere ablasjonsmorene og et jordlag, spade som skala.

5.2.6 Skred 6

Skred i Svatsum, Espedalen, se figur 5.2.11. Etter samtale med gårdbruker ble det klart at skredet hadde gått den 09.august 2023 under *Hans*. Beboerne ved gården hadde observert pipling fra et steinbed ved siden av låven og nedenfor skrånningen igjennom hele juli måned. Det hadde vært store nedbørmengder gjennom måneden. Etter skredet er områder som “alltid” har vært våte tørket ut.

Utløsningsområde

Kanten har løsnet i ett. Glideplanet er skillett mellom forvitringmateriale og ablasjonsmorene. Skredoverflaten er flat, ingen bakoverkutting.

Skredbane og utløpsområde

Skredet har stanset i en låve. U1 er på låvebruen, U2 er observert sør for låven. Utløpsområdet består av en del trær som ligger orientert i forskjellige retninger, som er en indikasjon på at de har flytt nedover mot låven.

Sedimenttype

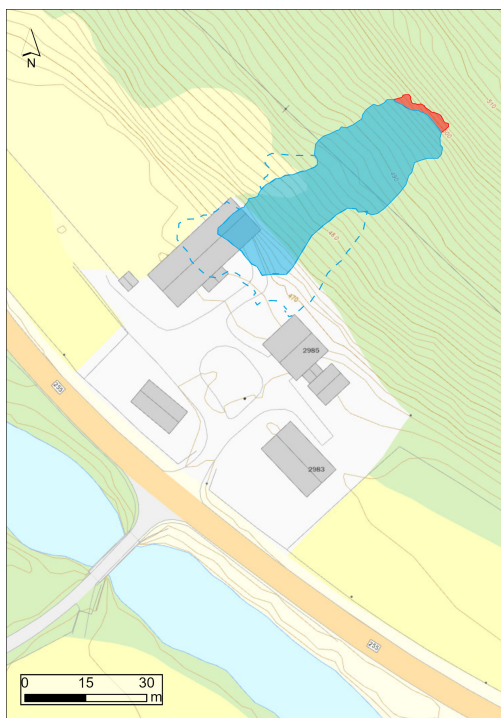
Finstoff fra topplaget (silt og sand) ligger på morene. Enkeltvisse blokker observeres.

Berggrunn

Bergoverflaten observert langt nede i skredløpet, mulig at overflaten er undulerende og at løsmassene har blitt fjernet av strømmende vann der den stikker opp.

Vann

Vannerosjonskanal hvor finstoff har blitt vasket vekk observert i begge sider av skredet. Steiner ligger igjen. Eksfiltrasjonspunkt i nordsiden, skredmassene nedenfor punktet er overmettet. Vann opptrer hele veien ned gjennom skredet i form av en bekk fra dette punktet.



Figur 5.2.11: Skred ved gård i Svatsum, Espedalen. Rødt: utløsningsområde, blått: skredbane m/erosjon, blå stiplet linje: utløpsområde.

Dimensjoner

Høyde løsnekant: 40-60 cm.

Max høyde: 1,5 m.

Bredde løsnekant: 24 m.

Lengde 75 m.

Prøver

Tabell 5.2.5: Prøve tatt i Skred 6.

Prøve ID	Materiale
ESPE23-MF01	Ablasjonsmorene

5.2.7 Skred 7

Skred i Svatsum, Espedalen.

Utløsningsområde

Skålformet løsneområde med store steinskredsblokker og knekte trær i overkant. Gradienten flater litt ut i overkant, med mulighet for akkumulasjon av vann. Fuktig moseterreng. Litt lengre oppe og nord for skredet er det hugd trær for å sette opp telefonlinje. Løsnekanten var svært irregulær.

Skredbane og utløpsområde

Dyp skredbane hvor store masser var erodert vekk og antakeligvis avsatt i elva. Løpet svinger noe. Knekte trær langs begge sider.

Sedimenttype

Løsmassetype enten forvittringsmateriale eller ablasjonsmorene, det antas at det er forvittringsmateriale basert på innhold av kantete forvitret fyllitt. Massene er sandige, grusige og innehar lite finstoff.

Berggrunn

Mulig observasjon langt nede i skredløpet, det lot seg ikke avgjøre om det var berggrunn eller en større blokk.

Vann

Flere eksfiltrasjonspunkter danner tilsammen en linje hvor vann kommer ut i bunnen av løsneområdet. Over dette punktet er massene tørre, under er de våte. Fra linjen dannes etterhvert en bekk som følger skredløpet.

Dimensjoner

Høyde løsnkant: Irregulær bakkant, vanskelig å måle. Skålformet, 13 m fra bunn av skål til topp. Max høyde: 3 m.

Bredde løsneområde: 14 m.

Lengde: 140 m.

Prøver

Ingen prøver tatt.

5.3 Laboratorieanalyser

Laboratorieanalysene ble utført i samarbeid med masterstudent Maria Ileby Finjord, og resultatene er like.

5.3.1 Prøvemateriale

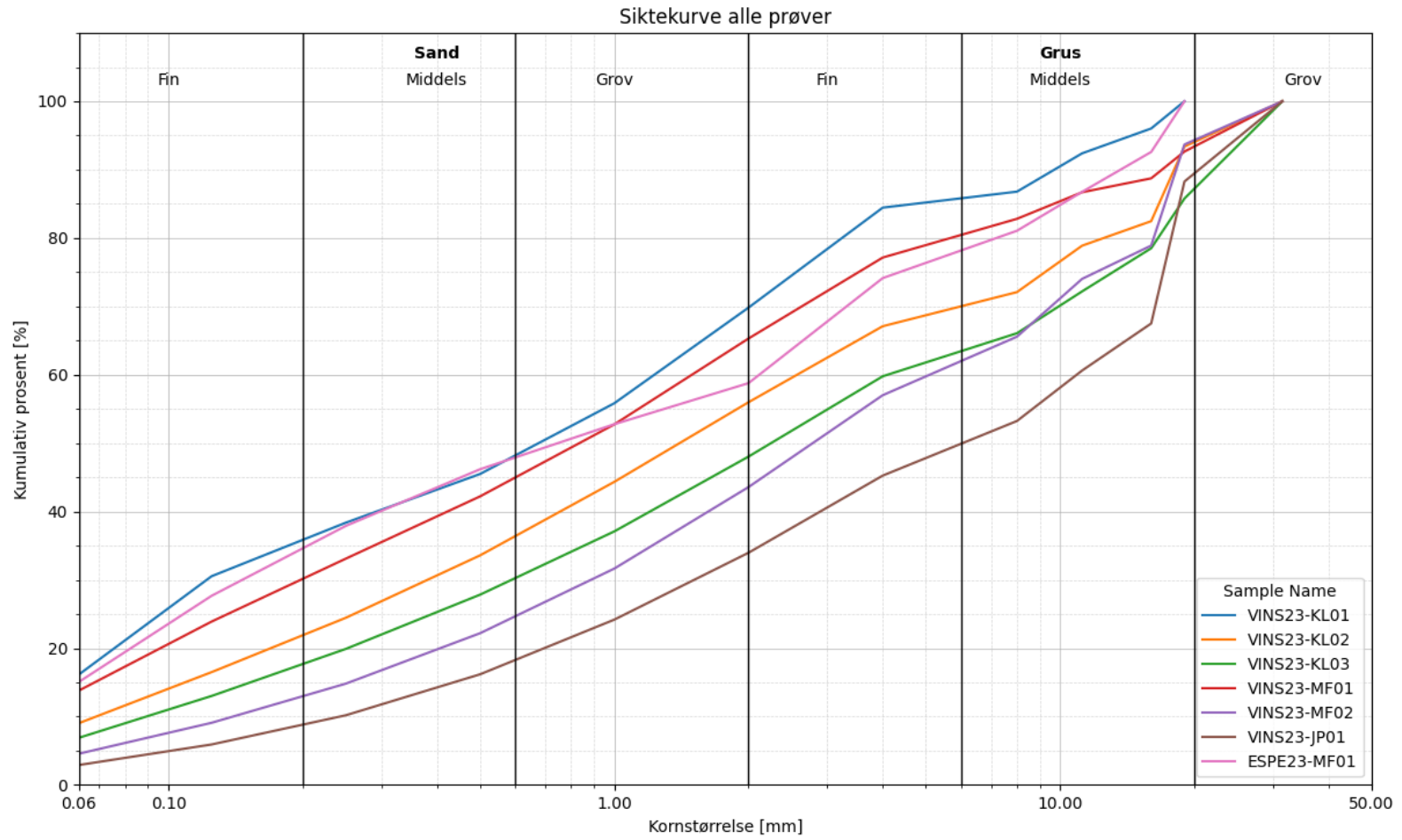
Tabell 5.3.1 viser en oversikt over prøver det er foretatt laboratorieanalyser på.

Tabell 5.3.1: Informasjon om prøver til laboratorieanalyser.

Prøve ID	Lokasjon	Skred nr.	Sedimenttype	Petrografi
VINS23-KL01	Vinstra, sørvendt	1	Ablasjonsmorene	
VINS23-KL02	Vinstra, sørvendt	3	Bunnmorene	x
VINS23-KL03	Vinstra, nordvendt	5	Bunnmorene	
VINS23-MF01	Vinstra, sørvendt	3	Ablasjonsmorene	x
VINS23-MF02	Vinstra, nordvendt	5	Ablasjonsmorene	
VINS23-JP01	Vinstra, nordvendt	4	Ablasjonsmorene	x
ESPE23-MF01	Espedalen, vestvendt	6	Ablasjonsmorene	x

5.3.2 Sikteanalyse

Analyserte prøver er samtlige prøver vist i tabell 5.3.1, og resultater fra analysen er vist i figur 5.3.1. Grenser for kornstørrelsesklasser er hentet fra Det Norske Myrselskap (Sveistrup & Njøs, 1984) med samsvar i (Brattli, 2018). Materiale $< 63 \mu\text{m}$ er ikke inkludert i resultatene, og kurvene viser derfor kun kumulativ prosentvis gjennomgang av materiale $> 63 \mu\text{m}$. Samtlige kornkurver viser innhold av alle størrelsesfraksjoner fra og med fin sand til grov grus.



Figur 5.3.1: Siktekurve for alle prøver, se tegnforklaring.

Tabell 5.3.2: Gradering av kornprøvene, grenser fra SVV (2014).

Prøve ID	Graderingstallet C_u	Gradering
VINS23-KL01	35,6	Velgradert
VINS23-KL02	38,3	Velgradert
VINS23-KL03	43,9	Velgradert
VINS23-MF01	39,8	Velgradert
VINS23-MF02	37,3	Velgradert
VINS23-JP01	22,3	Velgradert
ESPE23-MF01	56,8	Velgradert

Prøvenes gradering er velgradert i alle tilfeller, se tabell 5.3.2. Dette reflekteres også av sorteringsgraden, som i alle tilfeller er dårlig sortert (se vedlegg D1.9).

Klassifisering av jordarter

Jordartene klassifiseres ved hjelp av klassifiseringsskjema fra Selmer-Olsen (1971), se tabell 5.3.3. Prøve VINS23-KL03 grenset mellom morenegrus og korttransportert glacifluvialt materiale.

Tabell 5.3.3: Klassifisering av jordartsprøver fra feltområdet.

Prøve ID	M_d	S_0	Klassifisering
VINS23-KL01	0,71	1,4	Morenegrus
VINS23-KL02	1,5	1,6	Morenegrus
VINS23-KL03	2,3	1,5	Morenegrus
VINS23-MF01	0,78	1,4	Morenegrus
VINS23-MF02	3,0	1,3	Korttransportert glacifluvialt materiale
VINS23-JP01	6,4	1,2	Korttransportert glacifluvialt materiale
ESPE23-MF01	0,79	1,6	Morenegrus

Feilkilder

Sikteanalysen ble utført med utgangspunkt i Statens vegvesens standard 131 Sikteanalyse (tørresikting av vasket materiale) (SVV, 2014), men den ble ikke fulgt til punkt og prikke. Eksempelvis skulle de groveste siktene kun håndsiktes, i fare for å fragmentere partiklene i ristemaskinen. Det var få partikler i disse siktene, og det ble ikke observert fragmentering av partiklene.

Siktetap kan ikke beregnes for alle prøver, da bunnpannen ikke ble veid konsekvent. Da ble i stedet hele siktesatsen veid, og vekten av satsen uten materiale ble trukket i fra. Dette viste seg å gi merverdige og sannsynligvis svært feile verdier. Dette skyldes antakeligvis at vektens måleområde ble overskredet. For de det kan beregnes på er siktetapet lavt og under 1%, og dette vurderes som representativt for alle prøvene da det ikke er observert noe større tap fra de det ikke er beregnet siktetap for. Analysen vurderes derfor som tilstrekkelig for denne bruken.

Det kunne med stor fordel ha blitt benyttet dispergeringsreagens for å rengjøre kornene skikkelig. Dette ble ikke gjort, da det hadde vært for tidkrevende. Organisk materiale ble heller ikke brent vekk, av samme årsak.

Ved utførelse av splitting av prøven ble det enkelte ganger splittet tre ganger (1/8), men for det meste to ganger (1/4). Dess flere ganger prøven splittes, jo mindre representativ vil den være for det faktiske innholdet. Det ble likevel vurdert som nødvendig å gjø-

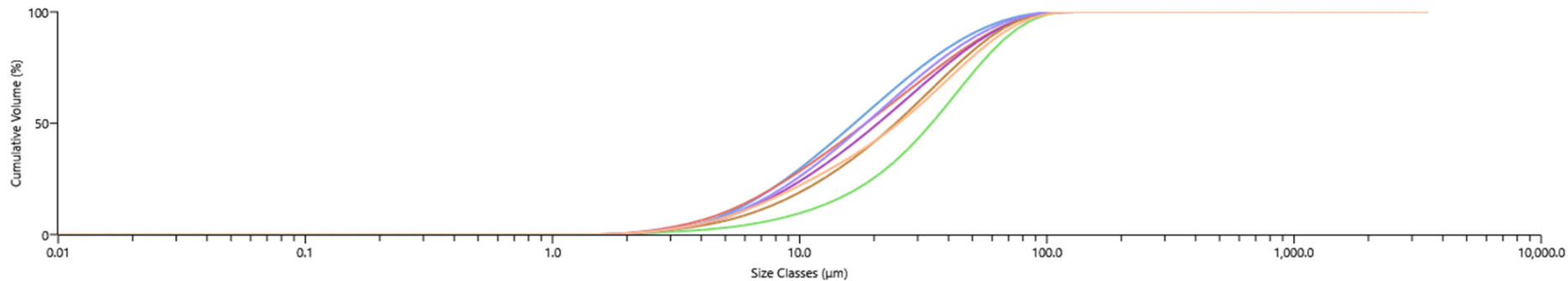
re da de aktuelle prøvene hadde svært stort innhold av finere partikler, og den totale prøvemengden var stor. Det ble gjort for å gjøre vasking av materialet mindre tid- og vannkrevende. Det ble under splitting observert mye støv som blåste vekk fra prøven, mengden var likevel liten nok til at siktetapet var under 1%. Den ene splitten som ble utført hadde et avvik på 20 gram fra forventet vekt etter split, dette kan skyldes ved splitting blir materialet tømt ned i en innretning som fordeler materialet i to separate former. Det kan skje at mer materiale går i den ene retningen enn den andre.

Beregnet d_{10} er usikker for enkelte av prøvene, da mer enn 10% passerte den fineste sikten. d_{10} er derfor i disse tilfellene en ekstrapoleringsverdi, som innehar en usikkerhet.

5.3.3 Laserdiffraksjon

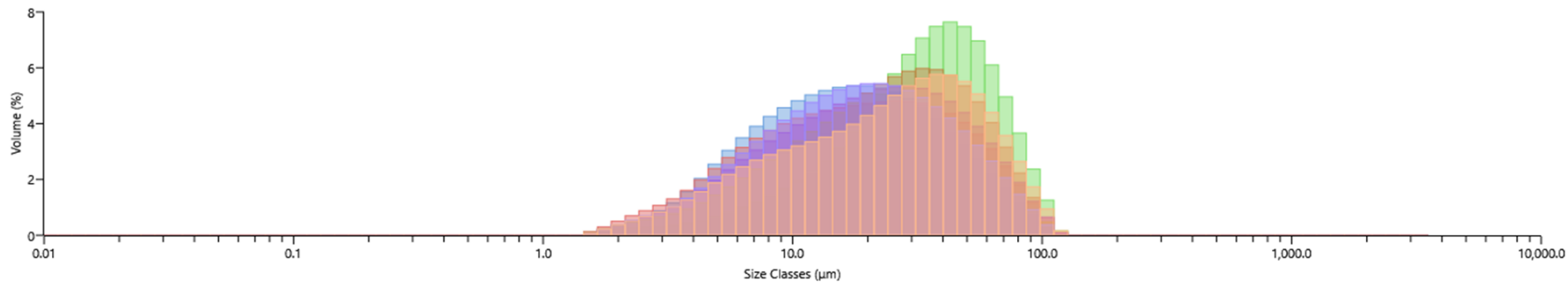
Samlede resultater av laserdiffraksjon for prøver i tabell 5.3.1 kan sees i figur 5.3.2 og figur 5.3.3. Figurene har en logaritmisk x-akse som viser størrelsesklasse i mikrometer (μm). Figur 5.3.2 viser den kumulative prosentfordelingen over de ulike størrelsesklassene. Prøve VINS23-KL01 er noe høyre-forskøvet sammenliknet med de andre prøvene, og 50% av kornene er større enn 30 μm . Prøve VINS23-JP01, som er lengst til venstre i diagrammet, har 50% av kornene innenfor omtrent 15 μm . Figur 5.3.3 viser faktisk volumprosent innenfor hver størrelsesklasse, og viser at ingen av størrelsesklassene (rektangel) har mer enn 8% av kornene. Prøve VINS23-KL01, VINS23-MF01 og ESPE23-MF01 er høyreskeive, og har derfor flest av de større kornene. Prøve VINS23-JP01, VINS23-MF02, VINS23-KL02 og VINS23-KL03 er mer symmetriske og jevnere fordelt over de ulike fraksjonene.

Refraksjonsindeksen for partiklene ble satt til 1,544. Obskuriteten ved måling har vært i intervallet 10-15%. Analysemodell var Mie-spredning. Fordeling av korn under 63 μm ble tilnærmet med nærmeste registrerte størrelsesklasse, som var 66,9 μm , se vedlegg D2.1.



[28] VINS23-JP01-08.12.2023 10:11: [29] VINS23-KL01-08.12.2023 10:28: [30] VINS23-KL02-08.12.2023 10:41: [31] VINS23-KL03-08.12.2023 10:53: [32] VINS23-MF01-08.12.2023 11:07: [33] VINS23-MF02-08.12.2023 11:19:
 [37] ESPE23-MF01-08.12.2023 11:36

Figur 5.3.2: Kumulativ volumprosent ved ulike størrelsesklasser. Se legende for prøve-ID. De fleste prøvene har ganske lik fordeling, med unntak av VINS23-KL01 som er noe høyre-forskøvet i sammenlikning. Refraksjonsindeks for partiklene er satt til 1,544 i analysen.



[28] VINS23-JP01-08.12.2023 10:11:0 [29] VINS23-KL01-08.12.2023 10:28:1 [30] VINS23-KL02-08.12.2023 10:41:2 [31] VINS23-KL03-08.12.2023 10:53:1 [32] VINS23-MF01-08.12.2023 11:07: [33] VINS23-MF02-08.12.2023 11:19:0
 [37] ESPE23-MF01-08.12.2023 11:36:0

Figur 5.3.3: Volumprosent ved ulike størrelsesklasser. Se legende for prøve-ID.

Prøvenes finfraksjon vurderes for prosent leirinnhold, som kan observeres i tabell 5.3.4. Samtlige prøver har mindre enn 1% leire i finstoffet. M_d , eller d_{50} , ligger i siltfraksjon.

Tabell 5.3.4: Kornparametre og prosent leirinnhold for finstoff.

Prøve-ID	d_{10}	d_{50}	d_{90}	Leirinnhold
	$[\mu\text{m}]$	$[\mu\text{m}]$	$[\mu\text{m}]$	$[\%]$
VINS23-KL01	10,2	34,1	71,2	0,36
VINS23-KL02	5,0	18,5	57,5	0,68
VINS23-KL03	5,7	20,7	58,4	0,44
VINS23-MF01	6,5	24,4	61,3	0,53
VINS23-MF02	5,5	18,5	53,3	0,47
VINS23-JP01	5,3	16,7	49,5	0,30
ESPE23-MF01	5,7	25,1	65,1	0,49

Feilkilder

Benyttelse av laserdiffraksjon gir kun en indikasjon av kornstørrelsesfordeling, da metoden har en tendens til å gjøre målefeil når den leser av korn av irregulær form (ikke sfærisk) (Eshel mfl., 2004). I en studie utført av Wen mfl. (2002) finner de at laserdiffraksjon underestimerer partikler i leirfraksjonen, og regner en andel leirpartikler som siltpartikler. Ettersom analysen forutsetter sfæriske korn (Callesen mfl., 2018), vil det antas at partikkelen har lik størrelse i alle retninger. Ved avlesning av en plateformet partikkels største overflate vil derfor volumet overestimeres. Særlig korn i leirfraksjonen er plateformede, men også større mineraler tenderer til å ikke være sfæriske (Callesen mfl., 2018). Kornstørrelser av samme diameter, eller mindre, som laserlysets bølgelengde kan føre til at feil mengde registreres (Eshel mfl., 2004). Fordeler med en slik analyse er at den er hurtig, og viser til høy reproduktibilitet (Rasmussen & Dalsgaard, 2017), noe som ble reflektert i et lavt avvik mellom de tre målingene som ble utført for hver prøve. Ultralyd bør benyttes med forsiktighet, og ikke lengre enn to minutt, da den kan føre til fragmentering av korn (Rasmussen & Dalsgaard, 2017).

Prøvepreparasjon burde ha bestått i å fjerne organisk materiale, men dette ble ikke gjort. Følgen kan være at det organiske materialet blir avlest og registrert i kornstørrelseskurven (Rasmussen & Dalsgaard, 2017). En alternativ analyse for finfraksjonen er hydrometeranalyse. Dette er en svært tidkrevende analyse i sammenlikning med laserdiffraksjon, og den baserer seg på Stokes lov som også antar sfæriske korn (Callesen mfl., 2018). For indikasjon på hvilke kornstørrelser som forekommer i de prøvetatte skredmassene vurderes laserdiffraksjon som en tilfredstillende analysemetode.

Resultater i tabell D2.1 viser at det er en andel på omtrent 4-12% større korn som har passert gjennom 63 μm sikten, og som har blitt med i laserdiffraksjonsanalysen. En del av dette kan også skyldes overestimering av målt volum. Det vurderes at denne andelen er akseptabel, og at prøven er representativ for finfraksjonen.

5.3.4 Petrografisk analyse

Prøver til analyse er avmerket i tabell 5.3.1. Resultater for analysen sees i vedlegg D3 - Petrografisk analyse. Det ble observert svært lite forvitring i fraksjonene som ble undersøkt under stereomikroskop. I fraksjonen 16-19 mm (figur D3.1, D3.2, D3.3, D3.4, D3.5, D3.6 og D3.7 i vedlegget) var forvitningsgraden derimot mye høyere. I denne fraksjonen ble bergartene fyllitt, sandstein og granatglimmerskifer observert i alle prøver.

I fraksjoner analysert under stereomikroskop ble bergarts- og mineralfrikorn vist i tabell 5.3.5 observert.

Tabell 5.3.5: Observerte bergarts- og mineralfrikorn i analyserte prøver.

Prøve ID	Bergartskorn	Frikorn
VINS23-JP01	Fyllitt	Kvarts, ukjent
VINS23-KL02	Fyllitt, glimmerskifer, granitt, dioritt	Kvarts, granat, biotitt, ukjent
VINS23-MF01	Sandstein, fyllitt, glimmerskifer, granitt, dioritt	Kvarts, biotitt, ukjent
ESPE23-MF01	Sandstein, fyllitt, glimmerskifer, granitt, dioritt	Kvarts, biotitt, ukjent

Rundingsgraden var for det meste kantrundet eller skarpkantet, men mange fyllitt- og glimmerskiferkorn flisige. Se tabell 5.3.6.

Tabell 5.3.6: Fremtredende rundingsgrad. GR = godt rundet, KR = kantrundet, SK = skarpkantet, FL = flisig. Fraksjon 0,063-0,125 mm = 1, 0,125-0,250 mm = 2, 0,500-1 mm = 3.

Prøve ID	Fremtredende rundingsgrad
VINS23-JP01	1: KR , 2: KR, 3: KR
VINS23-KL02	1: SK, 2: KR, 3: KR
VINS23-MF01	1: SK, 2: SK, KR, 3: KR
ESPE23-MF01	1: SK, 2: KR, 3: KR

Korn ble identifisert slik figur 5.3.4 og 5.3.5 viser. Sandstein, granat og biotitt ble ikke avbildet.

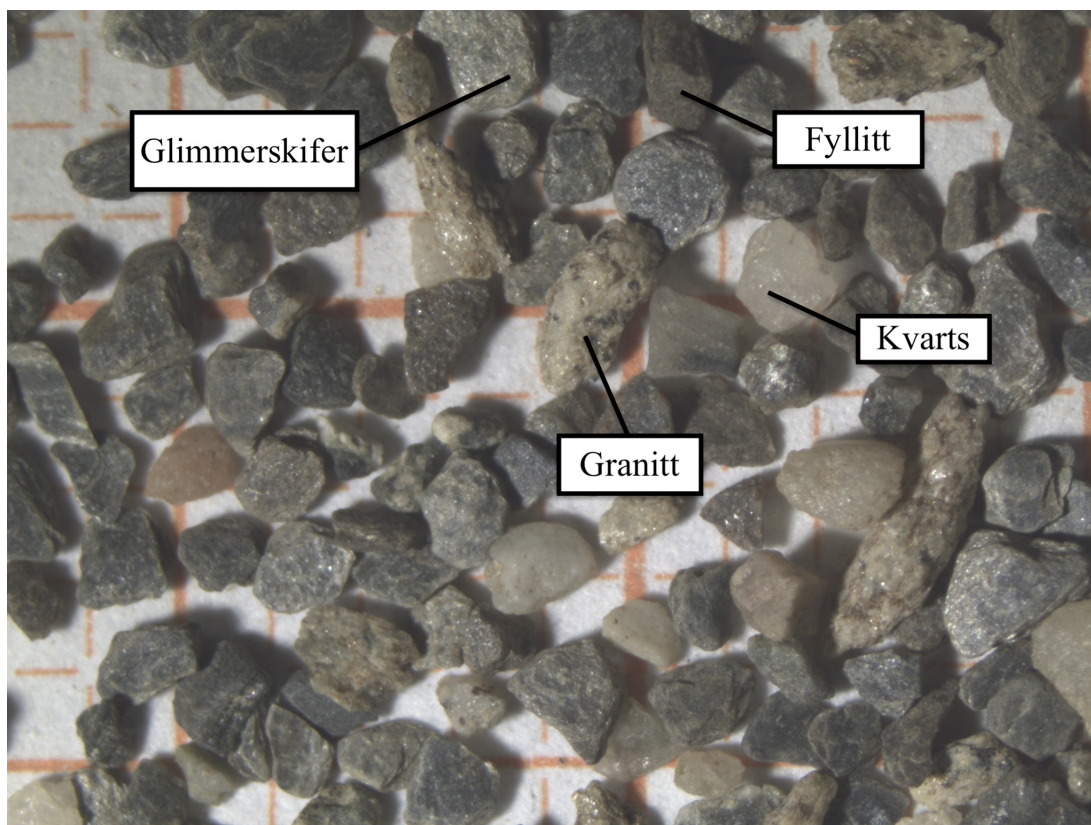
Feilkilder

Petrografisk analyse er tiltross for retningslinjer en subjektiv analyseform, og resultatene vil derfor avhenge av erfaringsnivå og hvem som utfører analysen. Det ble i denne utførelsen byttet mellom to masterstudenter, med svært liten erfaring, og resultatene har derfor en stor grad av usikkerhet. Veileder Ola Fredin bisto i deler av analysen, og ga veiledning som reduserte usikkerheten noe.

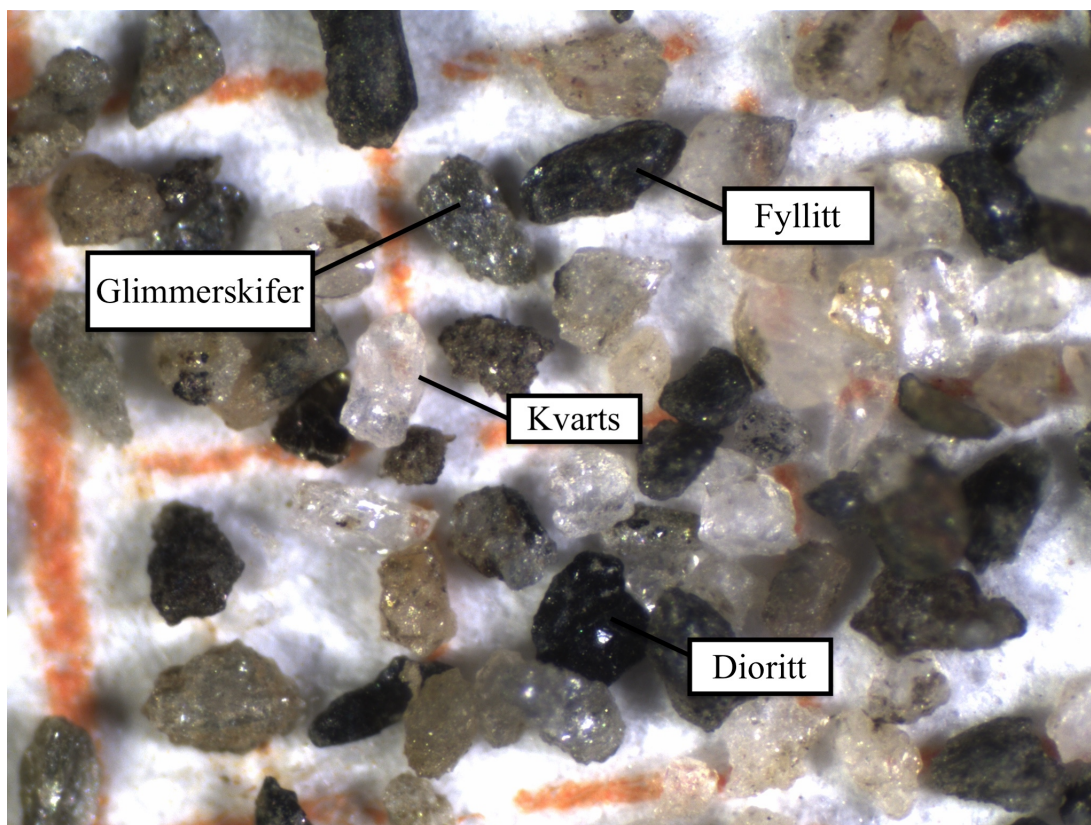
I prøve VINS23-MF01 ble det observert svært mye av det som antakeligvis er mikrokrystallin kvarts/silika som var festet til kornene, dette vanskeliggjorde vurderingen av litologi og mineralogi. Denne prøven hefter dermed større usikkerhet enn de andre.

5.4 Kvartærgeologisk kart

Det kvartærgeologiske kartet over feltområdet i Kvikne er presentert i figur 5.4.1. Området er tolket til å bestå hovedsaklig av et tykt morenedekke, med et tynnere dekke ned mot nordsiden av elven. Nordsiden av elven har også større områder med bart fjell med tynt organisk dekke, samt blotninger av bart fjell. De fleste skredpunktene fra *Hans* (inkludert polygoner) ligger på nordsiden, men det er også punkter i forsenkninger på sørsiden.



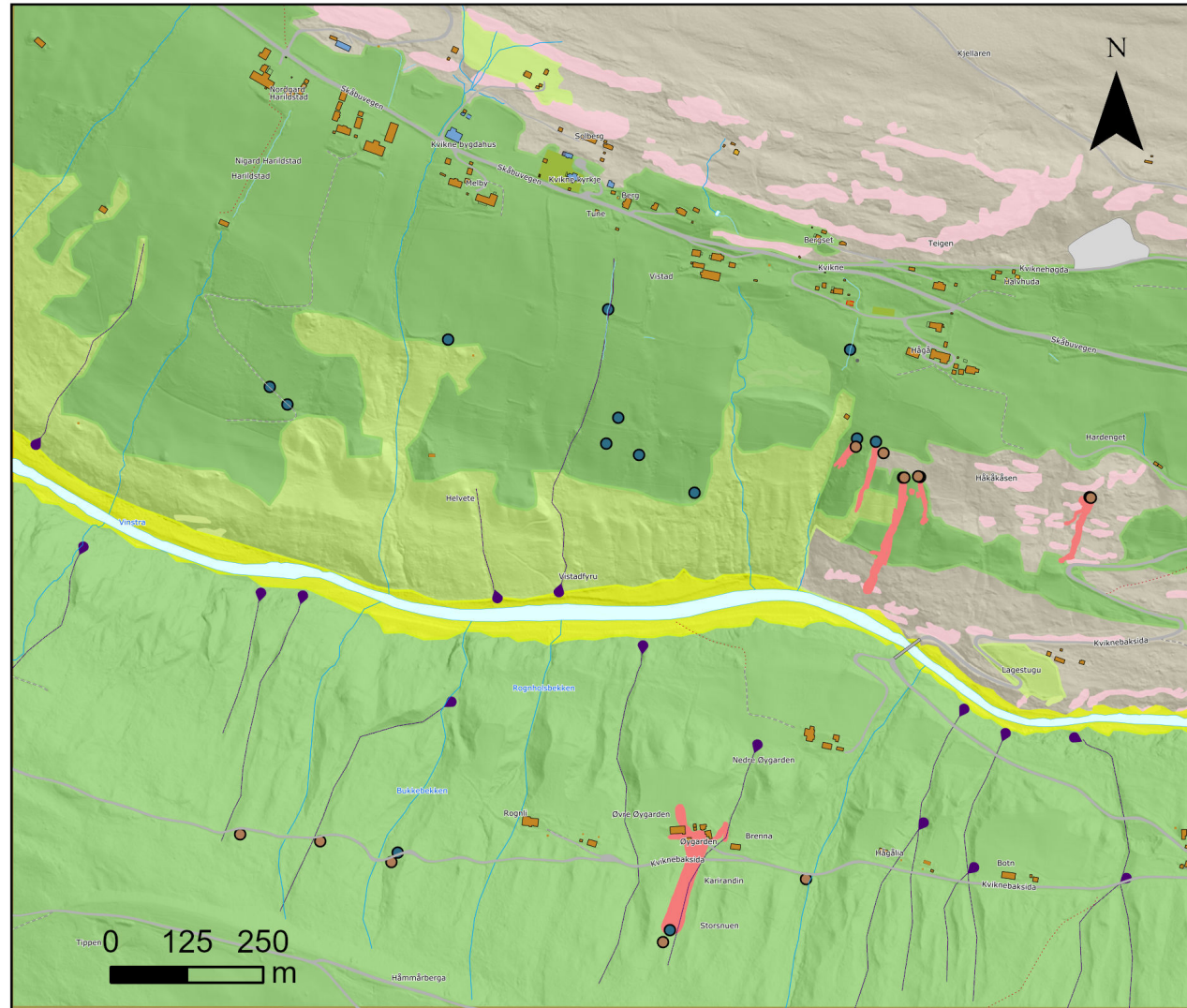
Figur 5.3.4: Prøve ESPE23-MF01 fraksjon 0,500-1 mm. Korn ble identifisert slik bildet viser. Millimeterpapir som skala.



Figur 5.3.5: Prøve VINS23-KL02 fraksjon 0,125-0,250 mm. Korn identifisert slik bildet viser. Millimeterpapir som skala.

Tegnforklaring

- Skredpunkter Hans
- Skredpunkter KM
- 307, Jord- og flomskredløp
- 050 Elve- og bekkeavsetning
- 11 Morenemateriale, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet
- 12 Morenemateriale, usammenhengende og tynt dekke over berggrunn
- 130 Bart fjell
- 100 Tynt dekke av organisk materiale over berggrunn
- Skredavsetning KM



Figur 5.4.1: Kvartærgeologisk kart feltområde i Kvikne, Vinstra (1:5000), gyldig etter ekstremværhendelsen *Hans* 2023. Se tegnforklaring (Skredpunkter KM er skred registrert under feltarbeid).

6.1 Tidligere studier

Det er ikke kjennskap til at studier av landskapstyper og skredaktivitet har blitt utført tidligere, verken i Norge eller i utlandet. Det finnes to studier som kan likne på deler av oppgaven. De Sy mfl. (2013) prøver å simulere utløsningsområder for grunne jordskred ved intens regnedbør i New Zealand. Dette gjør de via en modell som kalles LAPSUS-LS. Modellen forespeilet utløsningsområdene lengre nede i skråningssiden enn tidligere erosjonsmerker tilsa var riktig, men den var god nok til å gi en indikasjon på områder hvor jordskred kunne forekomme. Studiet baserte seg på DEM (1m), ikke klassifikasjoner av landskap. Pourghasemi mfl. (2014) tar for seg landskap i Iran i form av nedbørsfelt, og ser på landskapsfaktorer som litologi, avstand fra forkastninger, skråninghelning, kurvatur, TPI, høyde, arealbruk, med mer. Her er det heller ikke brukt landskapsklassifikasjoner, men i stedet en multi-kriterium modell og statistiske beregninger. De fant blant annet at nesten 53% av jordskredene forekom steder hvor skråninghelningen var mellom 16 og 30° og at skredene forekom for det meste i nord-, øst- og nordøstlig vendte skråninger. Disse studiene er foretatt i områder som har ulike sedimenter og ulikt klima enn det som er i Norge.

Det har derimot blitt utført flere studier som fokuserer på om landskapet kan påvirke størrelsen av et jordskred (Medwedeff mfl., 2020, Milledge mfl., 2014, Frattini og Crosta, 2013).

6.2 Valg av landskapsmodell

I denne oppgaven har NiN versjon 2.2.0 blitt benyttet som landskapsmodell. NIBIO er en alternativ modell, som er valgt bort for dette studiet. Årsaken er at NIBIOs laveste enhet og landskapsinndeling er store landskapsregioner som har en særlig område-tilhørighet. Modellen er god for mange ulike studier, men denne oppgaven krever en mer generell klassifisering og mindre størrelse på enhetene. Det ble likevel produsert en tabell som viser hvilke landskapsregioner som har flest registrerte skredhendelser fra NGU-datasettet (tidligere skredhendelser), se tabell 5.1.15. Enkelte av landskapsregionene er mye sterkere representert enn andre. Fjordbygdene i Nordland og Troms har 10,9% av skredpunktene,

og fjordbygdene på Møre og i Trøndelag har kun 1,3% av punktene. Dette kan skyldes ulik topografi og andre faktorer, men figur 2.7.1 viser at punktene kommer fra et fåtall steder i landet. En mulig årsak kan være at det er i disse områdene skredene hovedsaklig går, men det kan også forklares av manglende dekning av skredkartlegging i andre områder. Det vil si at datasettet fra NGU ikke nødvendigvis har god nok dekning til å vurdere forekomsten av skred på landsbasis, og informasjonen fra tabell 5.1.15 må derfor tolkes varsomt. Også bruk av NiN har visse feilkilder. Alle modeller er bygd på visse antakelser. Under utarbeidelsen av NiN har subjektive vurderinger blitt tatt i tvilstilfeller, dette gjelder i hovedsak for grunntyper da de komplekse landskapsgradientene er nettopp *gradienter* (Simensen mfl., 2021).

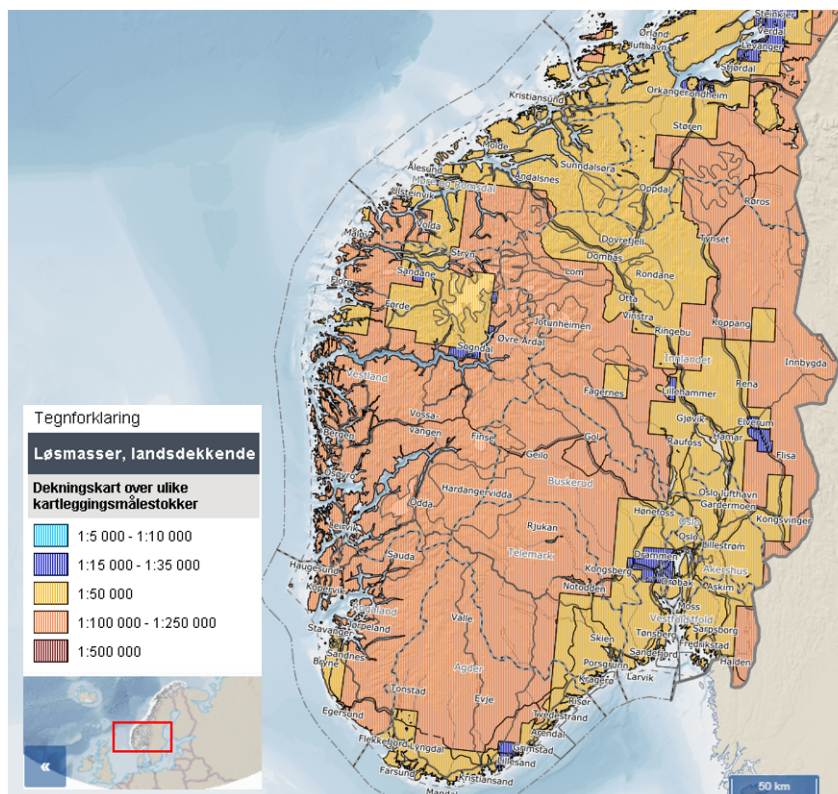
6.3 Tidligere skredhendelser

Datasettet fra NGU med skredpunkter fra tidligere skredhendelser er samlet fra et begrenset antall steder i landet. Datasettet må sies å ha store svakheter da det ikke er utført systematisk kartlegging av skredavsetninger før inn på 2000-tallet. Før denne tid var det ofte av mindre interesse å registrere skredavsetninger under arbeidet med kvartærgeologisk kartlegging. Det må også påpekes at skredgroper og skredavsetninger ofte er småskala objekt som ikke blir med i kvartærgeologiske kart i skala 1:250 000. I noen tilfeller er de med i skala 1:50 000, men de er best representert i detaljskala 1:20 000 og finere. LiDAR-data har ikke vært brukt ved NGU før 2010, noe som medfører dårligere kartleggingskvalitet og posisjonsfeil i eldre kart (Ola Fredin, personlig kommunikasjon, 03.04.24). Det må derfor antas at det i områder kartlagt før 2000-tallet, og områder utenfor detaljkartlegging finnes skredpunkter som ikke er tatt med i datasettet. Dersom kartleggingen har foregått systematisk fra et område til et naboliggende område vil dette kunne gi en systematisk feil i en landskapsanalyse, da det vil kunne fremstå som at en eller flere landskapstyper er skjernet for skred når de i realiteten ikke er det.

Fra de innledende GIS-analysene kom det klart frem at de fleste registrerte punktene i datasettet med tidligere skredhendelser fra NGU lå innenfor hovedtypen innland (83%). Det kan være reelt, men det kan også være at innlandsområdene er kartlagt i en finere skala enn kystområdene, eller at skredpunktene er tettere knyttet til områder hvor folk ferdes. Dekningskart for løsmasser fra NGU (figur 6.3.1) viser at det er noe mer kartlegging i skala 1:50 000 i innlandsområder enn kystområder. Samtidig har det foregått detaljkartlegging i mange områder som er inkludert i datasettet, også disse hovedsaklig i innlandsområder (se figur 2.7.1 og 2.7.2).

Hovedtypegruppen dallandskap har desidert flest skredpunkter, 94,8% innad i innlandslandskap, og 78,6% av alle skredpunkter. Innad i kystlandskap er det fjordlandskap som er sterkest representert med 92,7% innad og 15,8% av alle punkter.

Når det kommer til grunntyper er det vanskelig å si noe om hvilke som har flest skredpunkter. Figur 5.1.2 viser at inndelingen er for fin til å si hvilke landskapstyper skredene går i, bortsett fra et fåtall grunntyper som har en større andel enn gjennomsnittet. I enkelte tilfeller er det kun faktorer som bebyggelse og jordbruk som skiller én grunntype fra en annen, og det er derfor valgt å gruppere disse sammen. Kriteriene som ble brukt var hovedtypegruppe, relieff, dalnedskjæring, samt skoggrenseforhold for innlandsgruppene. Dette ga et mer tydelig bilde på hvordan skredpunktene var fordelt i landskapet. Med inndelingen Set 1 (figur 5.1.3) ble det mye tydeligere enn ved ingen gruppering. Ved å benytte skoggrensen som et ekstra skille (Set 2) ga dette klare resultater om at de fleste skredpunktene ligger under skoggrensen. Blant de foreslåtte landskapsgruppene har gruppen *Relativt åpent dallandskap under skoggrensen* flest skredpunkter (figur 5.1.5 og



Figur 6.3.1: Dekningskart løsmasser (NGU, 2024b).

5.1.4). Ikke bare av hovedtypegruppen dallandskap (70%), men totalt i innland (66%) og 55% av alle skredpunkter. I kontrast har gruppen *Relativt åpent dallandskap over skoggrensen* mindre enn 1% av skredpunktene i både dallandskap og hovedtypen innland. Landskapsgruppene som har flest skredpunkter etter den største gruppen er følgende, angitt med prosentandel innad i hovedtype og totalt. *Nedskåret dallandskap under skoggrensen* (18%, 15%), *Relativt åpent fjordlandskap* (51%, 8,1%), *Nedskåret fjordlandskap* (44%, 7%) og *Åpent dallandskap under skoggrensen* (9%, 7,3%).

Ås- og fjellandskap innehar 4,4% av alle skredpunkter, og 5,2% av innlandslandskapet. Blant disse landskapstypene er det *Kupert ås- og fjellandskap under skoggrensen* (29%) etterfulgt av *Tindepreget ås- og fjellandskap over skoggrensen* (18%) som har flest skredpunkter. Jevnt over alle gruppene i denne hovedtypen er det en ganske uniform spredning i fordeling over og under skoggrensen. Det er interessant at det tindepregede landskapet har en så stor andel, både over og under skoggrensen (12%). Dette kan skyldes at enkeltvise skråninger har en optimal helning for skredutløsning (tilstrekkelig bratt med tilgjengelige løsmasser), til tross for at landskapet hovedsaklig bærer tindepreg.

Innenfor fjordlandskapene (figur 5.1.7) er det relativt åpne landskapet (51%) og det nedskårne landskapet (44%) som har flest punkter. *Dypt nedskåret fjordlandskap* står har kun 1% av punktene. Dette antas å skyldes at terrenget er for bratt, og derfor mangler tilstrekkelig mengde løsmasser.

Inndelingen etter hovedtypegruppe, relieff og skoggrenseforhold dekker alle skredpunktene i datasettet, men som sagt kan det være ikke-registrerte skredpunkter i andre landskapstyper.

6.4 Relieff og dalnedskjæring

I NiN og de foreslåtte landskapsgruppene er relieff og dalnedskjæring et viktig kriterium for inndeling av henholdsvis ås- og fjellandskap, og dal- og fjordlandskap. Dalnedskjæring bestemmes av en dalnedskjæringsindeks som er basert på forholdet mellom dybde og bredde i dalene, og relieff bestemmes av relativ relieff, altså høydeforskjell (Halvorsen mfl., 2016). Inndelingen skjer i grov skala, som vil si at i en finere skala kan terrenget se annerledes ut og være mer eller mindre utsatt for jordskred. Eksempelvis innehar *Kystslettelandskap* 1,2% av alle skredpunkter, selv om hovedpreget i landskapet er slettelandskap. Den mest frekvente landformen i analysen er *Relativt åpent dallandskap* (se figur 5.1.3), som har som krav at over 50% av dalbunnens lengde skal ha en dalnedskjæringsindeks fra 0,2 og mindre enn 0,4 (Halvorsen mfl., 2016). Det vil si at dybden i dalen er kun 0,2 til omtrent 0,4 ganger så stor som bredden av dalen, en slik dal vil altså ikke ha veldig bratte dalsider. I følge Erikstad mfl. (2019) er disse dalene middels sterkt nedskjært. Etter denne dalformen følger *Nedskåret dallandskap*, etterfulgt av *Relativt åpent fjordlandskap*, *Nedskåret fjordlandskap* og *Åpent dallandskap*, som alle har middels til slak helning. *Nedskåret dallandskap* er den bratteste av disse typene, og den har 7% av punktene fra tidligere skredhendelser. Det er få eller ingen punkter i slettelandskap. Innenfor ås- og fjellandskap er det derimot det kupert og tindepregede landskapet som har flest punkter (henholdsvis 36% og 30% av ås- og fjellandskap). Dette er de bratteste landskapstypene, som ikke samsvarer med det som gjaldt for dallandskap. For tindepreget landskap er det benyttet topografisk posisjonsindeks i en nabolagssirkel med diameter på 1 km. Kravet for å være tindepreget landskap er at det skal være $TPI > 25$ i en linje gjennom nabolaget, og ha minst to forekomster av en TPI-verdi > 100 , eller ha én forekomst av $TPI > 250$, altså tinder (Halvorsen mfl., 2016). Kupert ås- og fjellandskap har en høydeforskjell (relativ relieff) større enn 250 i mer enn 25% av pikslene i en nabolagssirkel med 1 km i diameter (Halvorsen mfl., 2016). Antakelsen om at det ikke nødvendigvis er bratt innenfor hele grunntypen stemmer. Inndelingen i Set 1 fungerer godt for å gi innblikk i fordelingen av skredpunkter i landformer, men de enkelte grunntypene kan inneholde småskala relieff som “fjellheier” og liknende som kan påvirke resultatet uten å komme godt frem av grupperingen som er gjort.

6.5 Plassering i forhold til den klimatiske skoggrensen

Generelt ligger de fleste skredpunktene i dallandskap under skoggrensen (se figur 5.1.5). I hovedtypegruppen ås- og fjellandskap er arealet over skoggrensen sterkere representert, og fordelingen er nesten lik som under skoggrensen. En mulig årsak til dette kan være at disse områdene kan ha mer tilgjengelig areal over skoggrensen enn hva dallandskapet har. Ved studie av hvor stort areal de to hovedtypegruppene har over og under skoggrensen observeres følgende; 56,7% av det totale dallandskapet er under skoggrensen, og kun 20,4% er over. For ås- og fjellandskap er fordelingen 51,1% under skoggrensen og 28,6% over (resterende andel er grunntyper uten skred, som er ekskludert fra de foreslåtte landskapsgruppene, se vedlegg B.1). Altså er ikke fordelingen spesielt ulik, en mulig hypotese er at dette skyldes mer menneskelig aktivitet og bebyggelse i dallandskapet enn i ås- og fjellandskapet.

Det er kun fire grunntyper som er inkludert i dallandskap over skoggrensen (se “Set 2” i vedleggsmappen). Ingen av disse har nok bebyggelse til at det inkluderes i grunntypen. For ås- og fjellandskap er seks grunntyper over skoggrensen inkludert, men disse har heller ingen betydelig bebyggelse. Under skoggrensen er 25 grunntyper inkludert i dallandskapet, hvor 13 av dem har en betydelig stor bebyggelse. Ås- og fjellandskap under skoggrensen har ti grunntyper hvor to av dem har bebyggelse. Det kan derfor være

sannsynlig at bebyggelse spiller en vesentlig rolle innenfor dallandskapet, men ikke i ås- og fjellandskapet, som også står for kun 5,2% av skredpunktene i innlandsområdene.

Antallet skredpunkter i ås- og fjellandskap er minimal i sammenlikning med dallandskapet. Ettersom det verken er særlig bebyggelse eller forskjeller over og under skoggrensen kan det tenkes at skredene over skoggrensen kan komme fra relativt slake helninger (passe bratt for jordskred), rett i overkant av skoggrensen, som nevnt ovenfor. Fordelingen av morenemateriale følger geomorfologiske trekk og isens dreneringsmønster i følge Garnes og Bergersen (1977), og er derfor tykkest i daler og avtakende med høyden. Dette fremkommer også av NGUs løsmassekart (NGU, 2024c), hvor fjellområdene stort sett består av bart fjell med stedvis eller tynt usammenhengende dekke av løsmasser. I følge Eilertsen mfl. (2021) løsner flertallet av jordskredene i Norge i morene. Dette kan være årsaken til at de fleste skredpunktene finnes i dallandskapet, og ikke høyt oppe i fjellene.

Løsmassene som er tilgjengelig er produsert i hovedsak under siste istid og i nedsmeltingen av innlandsisen. Det har ikke kommet særlig tilskudd av nye løsmasser, men i hovedsak re-distribusjon av allerede eksisterende løsmasser med bekker og elver. Det vil si at de skredene som er registrert av tidligere hendelser har gått på et eller annet tidspunkt i tidsrommet fra siste istid til i dag, i stort sett de samme løsmassene. Det er usikkert hvor gamle skredene under skoggrensen er, men de har gått i samme sedimenttype som de skredene som utløses i dag. Altså kan sedimenttype være viktigere enn bebyggelse, som ikke var tilstede før inntil relativt kort tid siden. Vegetasjonen har derimot endret seg, særlig i indre fjellområder hvor skoggrensen for 5500-4500 år siden sank 200-300m nedover i terrenget (Vorren mfl., 2013). Dette kan bidra til å forklare hvorfor ca. halvparten av skredpunktene i ås- og fjellandskap ligger over skoggrensen.

I NiN benyttes klimatisk skoggrense, kontra empirisk skoggrense. Den klimatiske grensen styres av klimatiske forhold og er en rett linje satt av de høyeste punktene der skog forekommer (Arnesen & Bryn, 2020). Det vil si at det vil være områder i mellom disse punktene som ikke har skog. I kontrast følger den empiriske skoggrensen den faktiske skoggrensen, og vil ikke fremkomme som en rett linje (Arnesen & Bryn, 2020). En slik modell finnes ikke enda, og den klimatiske skoggrensemodellen er den eneste tilnærmingen som er tilgjengelig. Ettersom den klimatiske modellen benytter interpolasjon vil skredpunkter i områder mellom de høyeste skogpunktene kunne bli plassert på feil side av den faktiske eller empiriske skoggrensen. Dette vil da i hovedsak bety at punkter kan bli plassert under den klimatiske grensen når de egentlig ligger over den faktiske skoggrensen. Likt for begge modeller er at grensen ligger lavere i områder av landet, som i Finnmark (nesten havnivå) og langs vestkysten av landet (Arnesen & Bryn, 2020).

6.6 Sammenheng mellom aktivitetskart og landskap

Denne studien er deskriptiv, og det er ikke gjort beregning av korrelasjonskoeffisient eller andre statistiske beregninger. Om det finnes en sammenheng mellom landskap og jordskredaktivitet vurderes i denne oppgaven av om landskapsgrupper ser ut til å ha særlig tilhørighet i én aktivitetssone. Dersom alle landskapspolygoner er vektet tungt innenfor én aktivitetssone, og ikke er jevnt fordelt på alle eller flere, må det kunne sies at sammenhengen er sterk. Det er gjort en analyse der forekomsten av hver enkelt grunn-type innenfor hver av de ulike aktivitetssonene har blitt talt, men dette er tilsynelatende tilfeldig. Jevnt over har heller ikke landskapsgruppene en klar tilhørighet til en sone, men tendenser kommer frem av tabell 5.1.2, som ser på alle landskapspolygon av en landskapsgruppe i hele landet. Altså ikke kun i polygonene med skredpunkter. Her har det blitt benyttet et svært mildt kriterium på at minst 40% av NiN-polygonene skal ligge

innenfor én sone. Dette kriteriet kan kun gi en indikasjon på samvariasjon og sammenheng, og må ikke sees på som fakta. Det gir i allefall tre grupper som ikke har en spesifikk tilhørighet, åtte grupper som ligger mest i sone 1, og ni grupper som ligger mest i sone 3. Selv om tendenser for tilhørighet er tilstede, vurderes det som at det ikke er en klar sammenheng mellom landskap og aktivitet. Det som derimot kommer frem, i tabell 5.1.3 og 5.1.4 for henholdsvis Sør-Norge og Nord-Norge, er at de samme landskapsgruppene tenderer til å ligge mer i aktivitetssone 3 i Sør-Norge og mer i sone 1 i Nord-Norge. Dette kan være en indikasjon på at landskapet forandrer seg noe på landsbasis, selv om grunntypene er satt basert på de samme kravene i sør som i nord. Eksempelvis er skoggrensa lavere helt i nord enn i sør. Det kan også bety at andre faktorer som sedimenttype er viktigere for skredaktivitet enn landskap.

Tabell 5.1.5, 5.1.6 og 5.1.7 viser henholdsvis i hvilke aktivitetssoner de tidligere skredhendelsene har gått i på landsbasis, samt i sør og i nord. På landsbasis er de aller fleste landskapsgruppene tydelig i aktivitetssone 3. Få grupper svarer til sone 2, men i sone 1 er fem grupper vektet tyngst. Dette er litt spesielt, ettersom aktivitetssone 1 er satt på bakgrunn av at det ikke er observert skred der, og skal være en sone uten aktivitet. I Sør-Norge er kun én gruppe vektet tyngst i sone 1, to i sone 2, og resterende i sone 3. Fire landskapsgrupper, som har et fåtall registrerte skred, havner utenfor samtlige grupper. I Nord-Norge er fordelingen ganske ulik Sør-Norge og har større likhet til det som kom frem av tabellene for sammenheng mellom landskapspolygoner og aktivitetssoner. Her ligger de fleste skredpunktene i kun syv av gruppene innenfor sone 3, to i sone 2 og hele åtte innenfor sone 1. Tabellene viser også hvor mange skredpunkter som er registrert i de feltene som ser ut til å ha en viss tilhørighet (fargemerket). I mange tilfeller er det få punkter som avgjør at en landskapsgruppe tilsynelatende har 100% tilhørighet i en aktivitetsgruppe, men dette er for få punkter til å hevde at det er en sterk sammenheng. Da ser det mer ut som at tilhørigheten for gruppene *Nedskåret dallandskap under skoggrensen* og *Relativt åpent dallandskap under skoggrensen* i Sør-Norge er sterkere, selv om de har en lavere prosentandel innenfor sone 3, da antallet punkter er mer overbevisende. Det er også generelt færre registrerte skredpunkter nord for Trondheim, som antakeligvis påvirker resultatene. Om dette skyldes et faktisk lavere antall skred, eller mer utbredt kartlegging i sør vites ikke.

I Sør-Norge og på landsbasis følger skredpunktene aktivitetssonene bedre enn hva landskapspolygonene gjør. I nord er sone 1 best representert i begge analyser. Likheter som sees mellom de to ulike analysene gjør det usikkert om det er sammenhengen mellom landskap og aktivitet som er svak, eller om aktivitetskartet i seg selv har mangler som gjør denne vurderingen vanskelig. Andelen av soner som ikke har fått en aktivitetsmerking enda (9999) vurderes som ikke-betydelig.

Aktivitetskartet er basert på menneskelige observasjoner av tre ulike personer som har operert ut fra et regelsett som skal sikre en likhet og reproduserbarhet av analysen. Det er likevel rom for ulike subjektive avgjørelser. Det er også benyttet færre observasjonsvindu innenfor hvert nedbørfelt i slutten av analyseperioden enn i starten. Disse faktorene kan bidra til å forklare hvorfor det i 5.1.7 ligger et overtall av skredpunkter i aktivitetssone 1, sonen som ikke skal ha aktivitet. Kartet er fortsatt under utvikling, og det er kun et utkast som benyttes i denne oppgaven. Et ferdigutviklet kart ville muligens gitt andre resultater. Kun jordskred i åpen skråning er benyttet i utviklingen av kartet, men skredpunktene som benyttes inneholder også kanaliserte skred. Likevel forventes det ikke at det skal være stor forskjell i aktivitetsnivå mellom disse, og derfor antas det at dette ikke har stor innvirkning på analysen.

Det er ikke klart at det er en sammenheng mellom landskap og aktivitet, selv om det

faktisk er tendenser til at enkelte landskapsgrupper ligger i en bestemt aktivitetssone. Den sterkeste indikatoren på sammenheng hadde vært om gruppene med flest skred hadde ligget tydelig i aktivitetssone 3 i analysen som kun ser på landskapspolygoner mot aktivitetskartet, men dette er ikke tilfellet da gruppen med flest skred (*Relativt åpent dallandskap under skoggrensen*) ikke gjør det. Gruppen ligger såvidt over den milde grensen på 40% i Sør-Norge, og i Nord-Norge ligger den såvidt over grensen i aktivitetssone 1. Det kan se ut til å være en viss sammenheng mellom aktivitet og landskap i Sør-Norge, innenfor enkelte landskapsgrupper, men ettersom ingen av gruppene ligger nærmere 100% innenfor aktivitetssonene (nærmeste er 80,4%, de fleste ligger rundt 60%), må det være flere faktorer enn kun landskap som avgjør aktivitetsnivået. Det ser altså ut til at det ikke er en direkte årsakssammenheng mellom landskap og jordskredaktivitet. I analysen som baserer seg på faktiske skredpunkt ligger den største gruppen klart i aktivitetssone 3 på landsbasis og i Sør-Norge. I Nord-Norge er andelen like over 50%, altså vektet tyngst i sone 3, men med langt flere skred også i sone 1 og 2. Kanskje burde også landskapstyper utenfor de foreslåtte landskapsgruppene har vært inkludert i denne analysen, de burde i så fall havnet kun i aktivitetssone 1.

At aktivitetssone 1 er så sterkt representert som den er i analysen som viser hvor de faktiske skredpunktene ligger, peker på at aktivitetskartet kan ha mangler.

Det kommer også klart frem at det er en forskjell i resultatene i Nord-Norge og Sør-Norge. Årsaken til dette kan være endring i landskap og ulike avgjørelser under utarbeidelse av aktivitetssonekartet, eller at andre faktorer som eksempelvis sedimenttype er en mer avgjørende faktor for skredutløsning.

Sammenheng mellom landskap og aktivitet kan altså ikke fastslås, men det er indikasjoner at det kan være en viss sammenheng i Sør-Norge, som ikke er særlig sterk. Det er mulig at en sterkere sammenheng kunne observeres ved bruk av et ferdig utarbeidet aktivitetskart, der skredpunkter i aktivitetssone 1 er hensyntatt.

Oppsummering av hvilke landskapstyper som er sterkest vektet i aktivitetssone 3 på landsbasis og i Sør-Norge kan sees i vedlegg C.1.

6.7 *Hans*

Hans-datasettet fungerer som en slags kontroll for å vurdere hypoteser som er dannet på grunnlag av tidligere skredhendelser. Årsaken er at vegetasjon, bebyggelse, arealbruk og jordbruk kan ha endret seg mye siden de eldste skredene har gått. *Hans* har skjedd i løpet av en svært kort tidsperiode. Selv om hendelsen var ekstrem, som vil si at skred også kan gå "ekstreme steder", antas det at den største andelen av skredene er utløst på steder som har typiske forhold for utløsning av jordskred. I likhet med punktene fra tidligere skredhendelser viser skredene fra den ferske hendelsen *Hans* likhet i hvilke landskapstyper som er mest fremtredende. Landskapsgruppen med flest skred (se tabell 5.1.8) er *Relativt åpent dallandskap under skoggrensen*, etterfulgt av *Nedskåret dallandskap under skoggrensen*. De neste i rekken er ulike fra de tredje og fjerde mest fremtredende for tidligere skredhendelser, *Middels kupert ås- og fjellandskap over skoggrensen* og *Relativt åpent dallandskap over skoggrensen*. I begge tilfeller har den tredje og fjerde i rekken relativt lave andeler, og er ikke like fremtredende som de to første, selv om de skiller seg fra resterende landskapsgrupper som har svært lave andeler. Deler av dette kan være eksempler på skred utløst "ekstreme steder", ettersom at området over skoggrensen i dallandskapet er litt sterkere representert. At skredene tidligere har gått i fjordlandskap i større grad kan skyldes at det var mer vegetasjon der før, arealbruken er annerledes, eller at løsmassene rett og slett er "brukt opp" for en lengre tidsperiode.

Med *Hans* som kontroll ser det ut som at de foreslåtte landskapsgruppene (Set 2) fungerer godt. De ekstra landskapstypene som ikke har hatt skredpunkter i tidligere skredhendelser, men som har lik hovedtype, relieff, dalnedskjæring og skoggrenseforhold som gruppene i Set 2 kan vurderes å inkluderes i gruppene. Dette gjelder i særlig grad de fire gruppene som har hatt skred fra *Hans* i de ekstra landskapstypene. Også her er *Relativt dallandskap under skoggrensen* gruppen med flest skredpunkter (22). Tabell 5.1.8 har i siste kolonne andelen av skredpunkter korrigert for tillegg av de ekstra landskapstypene. I tabell 5.1.10 kommer det frem at 85,3% av skredpunktene dekkes av landskapsgruppene som de er, og ved tillegg av ekstra landskapstyper er andelen over 90%. 9,5% av *Hans*-punktene dekkes ikke, og er skredpunkter som har gått utenfor gruppene. I samletabellen for *Hans* (“Tabell 9” i filen “Hovedresultater” i vedleggsmappen) observeres det at disse skredene har gått i samme hovedtyper, relieff, dalnedskjæring og skoggrenseforhold som de foreslåtte landskapsgruppene, men at innsjøstørrelse eller tilstedeværelse av innsjø, bart fjell, eller kombinasjonen av disse “ekstra faktorene” er annerledes enn de tidligere foreslåtte ekstra landskapstypene. Det vurderes at disse kan legges til som en tilleggsgruppe i ettertid, markert som “Ekstra2: Aktuell landskapsgruppe” i samletabellen. Totalt gjelder dette 57 skredpunkter, de seks siste skredpunktene i datasettet tilhører ingen av gruppene i Set 2. Dersom dette tillegget gjøres, dekker landskapsgruppene tilsammen 99,1% av skredpunktene, hvor ekstragruppe 1 dekker 5,3% og ekstragruppe 2 dekker 8,6%. Som viser at skred har en tendens til å utløses i samme type landskap.

77,4% av skredpunktene er registrert innenfor aktivitetssone 3, 8,6% i sone 2, og 4,5% i sone 1. Dette er en ganske god trefning i sone 2 og 3, som skal ha medium til høy aktivitet. At hendelsen skjedde under ekstreme omstendigheter kan også forklare andelen som har gått i aktivitetssone 1. Hele 9,5% har gått i områder uten dekning av eller hvor aktivitetssonen ikke er satt enda, og kan derfor ikke kommenteres. Som en kontroll er antallet skredpunkter fra landskapsgruppen med flest skred (*Relativt åpent dallandskap under skoggrensen*) talt for hver aktivitetssone. Den viser at 92,4% av skredene i gruppen har gått i sone 3. Skredene fra *Hans* følger tilsynelatende aktivitetssonene bedre enn tidligere skred gjør. Dette kan skyldes at *Hans* har opptrådt i den delen av landet som viser størst tilhørighet til aktivitetssone 3, hvor også sammenhengen ser ut til å være sterkest. Dette området kanskje er et av de mest kartlagte i landet når det kommer til detaljkart, som muligens kan ha påvirket utarbeidelsen av aktivitetkartet.

Det er altså ganske tydelig hvilke landskapsgrupper som utsettes for jordskred i regionen *Hans* opptrådte i. *Hans* kan derimot ikke benyttes som kontroll for kystområder og områder lengre nord i landet da ekstremværet ikke inntraff der. Det er i tillegg gjort færre kartlegginger av skred og detaljkart over kvartærgeologien i disse områdene. Med *Hans* som kontroll kan det likevel sies at landskapsgruppen *Relativt åpent dallandskap under skoggrensen* i det sentrale Sør-Norge ser ut til å være mer skredutsatt enn andre typer landskap, men ettersom landskapsgruppen ikke har stor forekomst i aktivitetssone 3 utenfor disse områdene må det være flere faktorer enn landskapet som avgjør skredfaren også i det sentrale Sør-Norge.

Oppsummering av landskapstyper som var mest fremtredende i tidligere skredhendelser og i *Hans* sees i vedlegg C.2.

6.8 Landskapets innvirkning på utløsningen av jordskred

Forekomsten av de ulike gradene av KLG-ene *arealbruksintensitet*, *jordbrukspreg*, *vegetasjon* og *innsjøpreg* ble summert opp for både tidligere skredhendelser og *Hans*, og tabell 5.1.14 viser at for arealbruksintensitet har de fleste skredene i begge datasett gått i områ-

der med verdien KLG-AI-2, som tilsvarer en middels arealbruksintensitet. Dette gjelder 67,6% av tidligere skred og 59,1% av skred under *Hans*. Den nest største forekomsten er ulik for datasettene, da den for de tidligere hendelsene er innenfor KLG-AI-3 (tettsted eller småby) som tar plassen med 22,6%. For *Hans* er den innenfor KLG-AI-1 med 30,2%. Ingen av datasettene har skred i KLG-AI-4 (by). At de tidligere skredhendelsene har en såpass høy andel innenfor KLG-AI-3 (tettsted eller småby) er ikke nødvendigvis tilfellet ved utløsningstidspunktet, da mange av disse skredene kan ha gått i en tid uten noe som helst bebyggelse og egentlig tilhører gruppen med lav arealbruksintensitet. En del av de tidligere skredene har nok også gått i historisk tid hvor bebyggelse var til stede, dette gjør at arealbruksintensitet ved skredtidspunktet er generelt vanskelig å si noe om. Det er derfor lettere å få et inntrykk av dette gjennom skredpunktene fra *Hans*, som alle har skjedd i nåværende status for arealbruk.

For jordbruksintensitet viser begge datasett at de fleste skredpunktene ligger i områder med lav jordbruksintensitet (KLG-JP-1). Det antas at det er sjelden jordbruksområder gjøres om tilbake til utmark, og at også for tidligere skredhendelser har nok denne graden av jordbruksintensitet vært gjeldende så lenge jordbruket har eksistert. For *Hans*-punktene gjelder dette 95,6% av punktene. 32,5% av punktene fra tidligere skredhendelser ligger i områder med høy jordbruksintensitet (KLG-JP-2). Det vurderes ikke som usannsynlig at denne jordbruksintensiteten har vært til stede i utløsningstidspunktet for mange av skredene, da jordbruk som sagt har en negativ effekt på skråningsstabiliteten. Likevel er det sannsynlig at det ikke har vært jordbruk i alle disse punktene på utløsningstidspunktet, da en del av disse skredene antakeligvis er eldre, og jordbruket ikke alltid har vært så utbredt som det er nå. Områder som typisk forbindes med høyt jordbrukspreg er flate areal som eksempelvis brede dalbunner, og intensiteten er ofte lavere i bratte områder. En lav intensitet betyr derimot ikke at det *ikke* bedrives jordbruk. Oppløsningen for landskapsdatasettet er grov og hver grunntype varierer mellom 2 og 20 km², og kan inneholde små jordbruksareal. Det er derfor ikke usannsynlig at skredpunkter med lav jordbruksintensitet ligger i jordbruksareal.

Vegetasjonen kan også ha forandret seg, men igjen er begge datasett samstemte. KLG-VE-1, som vil si "skogdekt eller potensielt skogdekte områder under skoggrensen" gjelder for 91% av tidligere skredhendelser og 86,8% av *Hans*-punktene. Som tidligere nevnt har disse områdene de tykkeste løsmassedekkene, som kan forklare hvordan skred kan ha gått i en tid før skogen hadde vokst frem, og kanskje også hvorfor flest skred også har gått der i nyere tid.

Den siste KLG-en som er vurdert er innsjøpreg. Igjen er det samsvar mellom datasettene, og graden med flest skredpunkter er KLG-IP-1 (alle innsjøer <2 km²), og nummer to er KLG-IP-3 (innsjøer > 8 km²). Samtidig er det relativt få punkter i den midterste graden (innsjøer 2-8 km²). At de fleste skred går det det er små innsjøer kan kanskje skyldes at det er mer areal hvor skred kan utløses. Eller at det kanskje ofte er en slakere helning inn mot større innsjøer. Det stemmer ikke helt overens med at nummer to på lista er graden med de største innsjøene. Dette kan antyde at innsjøer har ingen eller lav innvirkning i hvor skredene utløses.

Generelt kan det observeres en likhet i mellom de to datasettene i hvordan graderingen av de komplekse landskapsgradientene er, særlig dersom om antakelsene om forandring innenfor de tidligere skredhendelsene stemmer. I det tilfellet har forholdene vært ganske like under utløsningstidspunktet, og *Hans*-punktene bekrefter at disse forholdene er typiske for utløsning av jordskred. Det vil i så fall bety at detaljerte kvartærgeologiske kart med tidligere skredhendelser, er et godt hjelpemiddel i skredfarekartlegging, uavhengig av skredets alder. Disse dataene kan ikke si noe håndfast om hvordan landskapets påvirk-

ning faktisk er, men den kan vise tendenser som er til stede i områdene skredpunktene er hentet fra. Dersom *Hans* hadde påvirket hele Norge, og tidligere skredhendelser hadde blitt samlet jevnt over hele landet og gjennom all kvartærgeologisk kartlegging hadde kanskje dette bildet sett annerledes ut. Denne studien kan derfor kun si noe om området *Hans* påvirket.

6.9 GIS analyse av digital terrengmodell

Analyse av digital terrengmodell i feltområdet, som er gjort i oppgaven er ment som tilleggsinformasjon, og kommer som et tillegg til landskapsanalysen. TRI og TPI for feltområdet kan gi en indikasjon på småskala ruhets- og topografiforhold der skred utløses. Resultatene må likevel tolkes med forsiktighet da posisjonen for utløsningspunktet ikke nødvendigvis er korrekt i verken datasett for tidligere skredhendelser der gamle skredavsetninger er registrert, eller i *Hans*-datasettet der det høyeste punktet i skredet er benyttet.

I begge datasett var en medium lav til medium høy ruhet blant de mest frekvente verdiene ved utløsningspunkt. Altså er de fleste punktene verken i et helt flatt eller veldig ru område. En tolkning av dette kan være at denne ruheten danner små skåler som holder på løsmassene og lar de mettes av vann, men som er tilstrekkelig grunne til at materialet kan løses ut i et skred. Ruheten er funnet fra en DTM med oppløsning på 5 m, som vil si at skålene kan ha en passe omkrets for å holde på relativt store mengder av masse. Det er vanskelig å vite om ruheten er i bergoverflaten, eller kun i løsmassene, selv om et tynt løsmasselag sannsynligvis vil følge konturen til bergoverflaten. Dersom løsmassene er av stor mektighet er det derimot ikke godt å si hva som er årsaken til ruheten. I dette tilfellet kan ruheten i dette også skyldes overflateprosesser som rennende vann, skredprosesser eller hvordan massene ble avsatt.

Også for TPI var signaturen for de to datasettene like, med de tre midterste verdiene som de mest frekvente. Særlig medium lav til medium høy verdi var godt representert. Ettersom det midterste intervallet inkluderer nullverdien kan det være at enkelte av disse punktene ligger i et område med konstant stigning, da det vurderes som usannsynlig at de har blitt utløst i et helt flatt område. Dette intervallet kunne med fordel ha blitt stykket opp videre, slik at antall punkter som ligger tett opp til eller er lik null kommer frem. Medium lav og medium høy TPI svarer til henholdsvis forsenkning og forhøyning, men ikke topp eller bunn. Analysen forteller derfor kun at løsnepunktene befinner seg i selve skråningen. Hvilken helning skredet har er derimot vanskelig å si noe om kun fra TPI.

6.10 Feltundersøkelser og kvartærgeologisk kart

Samtlige av skredene som ble beskrevet under feltarbeidet viser flere tegn til at det har vært mye vann til stede i utløsningspunktet. Alle skredene som har blitt undersøkt har gått utenfor etablerte kanaler, og sees på som jordskred i åpen skråning. De fleste skredene har gått i skillet mellom bunnmorene og ablasjonsmorene, som er i tråd med det Eilertsen mfl. (2021) fant i del 1 av prosjektet. Berggrunn ble beskrevet som glideplan ved det som var tolket som det første utløsningspunktet for skred 1. I skred 6 ble skillet mellom ablasjonsmorene og forvitringmateriale tolket som glideplanet, noe som skiller seg fra de andre skredene, men som kan stemme da kompakt forvittringsjord kan fungere som et glideplan i følge Sandøy mfl. (2017). Forvittringsmaterialet ble ikke prøvetatt, men det må ha vært finstoffholdig for å være impermeabelt nok til å fungere som glideplan.

Skred 3 har klare tegn til at i allefall det øverste utløsningsområdet er et rotasjonsskred, dette tolkes på bakgrunn av at gresstuene har blitt rotert ned i bakkant og opp i fremkant (skredretning). Det er også observert bakoverroterte trær i andre skred, men der hadde hovedandelen av trær enten bikket fremover i skredretning, eller så var de nærmest flettet sammen og lå på tvers som om de hadde strømmet nedover i et vannfylt skred.

Flere skred i den sørvendte dalsiden på Kvikne har mer enn ett utløsningsområde. På denne dalsiden er det også observert flere bergblotninger, og inntrykket er at løsmassemektigheten er mindre enn på den nordvendte siden. Flere skålformede utløsningsområder kan stemme godt med hypotesen om at ruheten var slik at løsmassene lå i "skåler".

I den nordvendte dalsiden observeres det at de fleste skredene har gått i forsenkninger (se figur 5.2.1, og de fleste i tilknytning til bekker). Under *Hans* var sannsynligvis vannmengden usedvanlig stor i disse bekkene, og løsmassene i forsenkningene ble overmettet. I den sørvendte dalsiden er ikke tilknytning til verken bekker eller forsenkninger like utpreget, men det ble her observert flere flatere partier, stier, eller steder vann lett kan strømme langs. Disse områdene var antakeligvis skyld i at massene i den sørvendte siden ble overmettet av vann og nådde kritisk poretrykk.

Den nordvendte dalsiden var skogdekt, og i den sørvendte dalsiden hadde alle skredene gått i jordbruks- eller beiteareal. I følge NVE skredhendelser har de fleste skredene som er registrert før *Hans* blitt utløst i den sørvendte dalsiden (NVE, 2024b). Slik er det også med punktene som er registrert fra *Hans*. Dette er ikke i tråd med det Kleiven (2022) fant i sin masteroppgave med undersøkelser i Ottadalen. At ikke det samme gjelder her kan skyldes at den sørvendte dalsiden i dette tilfellet for det meste består av jordbruksareal, som i følge Eilertsen mfl. (2021) kan tillate en lavere helningsvinkel for utløsning av jordskred. I kontrast er den nordvendte siden skogdekt, hvor rotbindende effekt kan ha en positiv effekt på skråningsstabiliteten. Fjerning av skog fører til en reduksjon av kapillært sug i løsmassene, og kan redusere skråningsstabiliteten. Arealbruket er også lavere. Flere av skredene som er utløst på den nordvendte siden under *Hans* er utløst svært nært veien som følger midten av dalsiden (se figur 5.4.1). Det kan kanskje tolkes slik at veien gjør siden mer sårbar, noe som kan stemme med det Edvardsen (2013) fant i sin masteroppgave. Han kom blant annet frem til at stikkrenner under skogsbilveier bør vedlikeholdes og dimensjoneres slik at de ikke går tett og tillate oppsamling av vann i veimassene. Det ble ved to av skredene (ikke beskrevet) som var utløst ved veien observert en stikkrenne som var skjøvet ut på siden av vegen. Kanskje var disse underdimensjonerte for den ekstreme vannmengden *Hans* tilførte. Dette kan være bidragsgivende årsak til at skredene har blitt utløst. Det ser forøvrig ut til at skredene som har gått i den sørvendte siden før *Hans* også har gått i forbindelse med vei (se figur 5.4.1). Det kan også skyldes at punktene er registrert fra bil ved gjennomkjøring av området. Det er ikke hensiktsmessig å diskutere dalsidene i lys av komplekse landskapsgradienter, da begge sider ligger i samme grunntype-polygon (se figur 6.10.1).

Det kvartærgeologiske kartet ble produsert basert på tolkning av at morenemektigheten i den nordvendte dalsiden i Kvikne var større enn i den sørvendte siden som viste større områder av bart fjell med tynt organisk dekke. I følge Garnes og Bergersen (1977) ble de tykke bunnmoreneavsetningene i sidedalene til Gudbrandsdalen avsatt i en sørøstlig bevegelsesretning. Det skulle tilsi at sør- eller sørvestvendte dalsider var lesidene og dermed fikk den tykkeste avsetningen, i følge Brattli (2018). Altså en motsetning til det som observeres i Kvikne. Selmer-Olsen (1971) hevder derimot at avsetningen i støtsiden kan være av størst mektighet dersom brattheten i dalsiden er stor nok i forhold til breens mektighet og overflatefall. Det forblir derfor usikkert hvilken side av dalen som i teorien skal ha den tykkeste avsetningen. Dalføret i Kvikne er også orientert noe annerledes

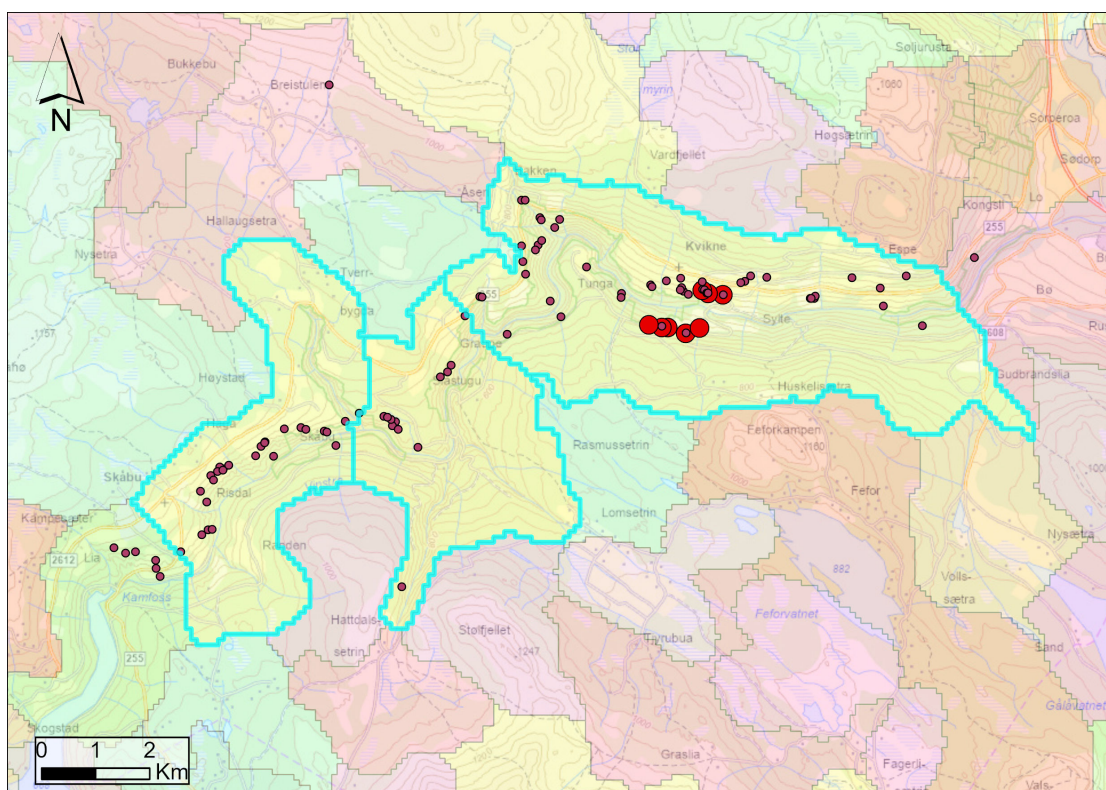
enn sidedalene som ble nevnt i Garnes og Bergersen (1977), og dalsidene er vendt mot henholdsvis nord og sør. Det antas likevel at bunnmorenen ble avsatt i samme fase som sidedalene. Ved prøvetaking er det observert at bunnmorenen ligger tett opp mot dagen, og at det derfor er sannsynlig at det er bunnmorene som utgjør det meste av de tykke morenedekkene.

I følge klassifiseringsdiagrammet til Selmer-Olsen (1971) er prøve VINS-JP01 og VINS-MF02 glacifluviale avsetninger, men dette er ikke hensyntatt i det kvartærgeologiske kartet, da det fremsto som svært usikkert.

Det observeres av figur 5.4.1 at de fleste skredene på den sørvendte siden har gått der morenedekket er tolket som tykt. Dette er i tråd med at glideplanet i disse områdene var tolket som bunnmorene, i overgangen til løsere ablasjonsmorene. Skredpolygonene viser hvilke skred som ble beskrevet på den sørvendte siden, der minst et skredpunkt har gått i bart fjell med tynt organisk dekke (lengst øst). Dette er skred 1, hvor bar berggrunn ble tolket som glideplan i det første utløsningspunktet.

Kartet viser også at den nordvendte siden har flere jord- og flomskredløp av eldre dato. Det kan spekuleres i om disse skredene har gått før skogen har vokst frem, da skogen på kartleggingstidspunktet fremsto som gjennomgående høy og tett over hele dalsiden.

Alle skredene har blitt utløst i samme landskapsgruppe (se figur 6.10.1), relativt åpent dallandskap under skoggrensen. Dette er som sagt gruppen med flest registrerte skred i for både *Hans* og tidligere skredhendelser.



Figur 6.10.1: Samling av skredpunkter i landskapsgruppe “Relativt åpent dallandskap under skoggrensen”. Henholdsvis grunntype LA-TI-I-D-34: Relativt åpent dallandskap under skoggrensen med bebygde områder, LA-TI-I-D-32: Relativt åpent dallandskap under skoggrensen, og igjen LA-TI-I-D-34. De små røde punktene tilhører *Hans*-datasettet, og de store røde punktene er skred registrert i forbindelse med feltarbeid for oppgaven.

6.10.1 Løsmasser

Sikteanalyse

Samtlige prøver er velgraderte og siktekurvene har en relativ konstant stigning gjennom fraksjonene. Kurven som vises er typisk for morenemateriale ettersom den er velgradert og inneholder alle fraksjonene, selv om den har distinkte hakk spesielt i grusfraksjonen som skyldes tilstedeværelse av middels til grove gruskorn som forskyver kurven. Under prøvetaking tas ikke større fragmenter som stein med, av denne årsaken. Innholdet av større fraksjoner i løsmassen er derfor ikke hensyntatt eller analysert og kan derfor ikke kommenteres, annet enn at tilstedeværelse av stein og blokk i slike avsetninger typisk består av sterkere bergarter.

At dette er morenemateriale stemmer godt overens med det som ble observert i felt, og graderings- og sorteringstallene. Under klassifiseringen ble det derimot bestemt at prøve VINS23-MF02 og VINS23-JP01 var korttransportert glacifluvialt materiale. Denne avsetningstypen er også velgradert, men inneholder ikke finstoff. Klassifiseringsdiagrammet til Selmer-Olsen (1971) er vanskelig å lese av, og ettersom prøvene lå i skillet mellom morenegrus og korttransportert glacifluvialt materiale, er klassifikasjonen usikker. I følge NGUs løsmassekart (NGU, 2024c) ligger en glacifluvial avsetning i dalen, men ettersom kartet har en skala på 1:250 000 stemmer ikke nødvendigvis avsetningsgrensene i kartet med virkeligheten. Andelen finstoff i VINS23-JP01 er kun 2,9% av prøvens totale vekt, men det antas at dette er nok til å avgjøre at det ikke er en glacifluvial avsetning. Under prøvetakingen lot det seg ikke avgjøre om sedimentet var ablasjonsmorene eller forvittringsjord. Forvitring av svake bergarter som fyllitt danner ofte finstoff, og sannsynliggjør at prøven består av forvittringsjord. Prøve VINS23-MF02 har en noe høyere finstoffandel på 4,6%, og det er ikke foretatt petrografisk analyse som kan forklare mineralogien i finstoffet. Fraksjon 16-19 mm (vedlegg D3.6) viser derimot at det er både fyllitt og glimmerskifer til stede i prøven. Det forblir dermed usikkert om dette er forvittringsjord eller morenegrus.

Kun to av prøvene (VINS23 KL02 og VINS23-KL03) kommer fra bunnmorene, som er svært godt pakket og derfor har lav permeabilitet. Det er derfor interessant å se på innholdet av finstoff av totalinnholdet. Dette sees av tabellene i vedlegg D1 - Sikteanalyse, for hvor mye som har passert sikten på 0,063 mm. Andelen er henholdsvis 9,0% og 6,9%. Prøve ESPE23-MF01, VINS23-MF01, og VINS23-KL01 inneholder 13-16 % finstoff, hvor det meste er silt. Det var forventet at bunnmorenen skulle ha mer finstoff enn overliggende lag, men dette kan forklares av sammenkitting av partikler, forvitring, eller en lite smeltevannspåvirket ablasjonsmorene. Resterende prøver har en mye lavere andel, og vil være mer permeable. De områdene som er mer permeable vil kunne transportere større mengder vann gjennom seg på kortere tid, dette kan nok bidra til å smøre glideplanet som er bunnmorenen eller berggrunnen da denne er særlig impermeabel. I områdene hvor finstoffandelen er noe større kan derimot jorda holde mer på vannet, og kanskje bli lettere overmettet. Kanskje kan en større andel av finstoff være en fordel for utløsning av jordskred der massene ligger på et slett glideplan og ikke i en depresjon som holder bedre på vannet.

Laserdiffraksjon

Samtlige av prøvene viser et leirinnhold på under 1% (tabell 5.3.4), og en middelverdi som varierer mellom omtrent 16-34 μm , altså i siltfraksjonen.

Prøve VINS23-KL01 skiller seg noe ut fra de andre prøvene. Denne ble tatt i ablasjonsmorene i samme dalside i Vinstra som prøvene VINS23-KL02 (bunnmorene) og VINS23-MF01 som også er ablasjonsmorene. VINS23-KL01 har en større andel av korn over 30 μm enn VINS23-MF01, selv om det er forventet at de skal være omtrent like.

Vedlegg D2.1 viser at omtrent 10-12% av grovere materiale har blitt med i analysen, og det er i denne prøven andelen er høyest. Antakeligvis er dette årsaken, da kurvene ligger tett i siktediagrammet.

Prøve VINS23-JP01, som er tatt på den andre siden av samme dal i Vinstra skiller seg fra den andre dalsiden med at kurven er mer symmetrisk. Finstoffet har med det en jevnere fordeling av kornstørrelser. Dette kan forklares av forvitring av fyllitt, som etterlater korn i flere størrelser.

Prøve ESPE23-MF01, tatt i Espedalen, har en høyreskeiv kurve og har flest korn av størrelse over 50 μm . Prøvematerialet er ablasjonsmorene/forvittringsmateriale og er nokså lik prøve VINS23-KL01 og VINS23-MF01 i laserdiffraksjonen, selv om den skiller seg noe fra de i sikteanalysen.

Bunnmoreneprøvene VINS23-KL02 og VINS23-KL03, tatt i hver sin side av dalen i Vinstra har begge symmetriske kurver, og følger hverandre jevnt i kurver for både laserdiffraksjon og sikteanalyse. Jevnt over viser VINS23-KL01 en kurve som ligger lengre oppe i diagrammet, som skyldes at den har en noe større prosentandel av kornstørrelser i fraksjonene fin og grov sand, og fin grus.

Petrografisk analyse

Det observeres en større grad av forvitring i de grove fraksjonene, i fraksjonene som er analysert under stereomikroskop er det svært lite forvitring. Dette er forventet, og sees i sammenheng med en økende tilstedeværelse av frikorn i de mindre fraksjonene. Frikorn har sterkere bindinger enn bergartskorn, som er sammenkittet av flere frikorn, og er derfor mer motstandsdyktige for slitasje og nedknusing (Brattli, 2018; Selmer-Olsen, 1977).

VINS23-JP01 skiller seg noe fra de andre prøvene med at den kun har fyllitt og kvarts. Dette var også den første prøven til å bli studert, da erfaringsnivået var på den laveste. I fraksjon 16-19 mm (vedlegg D3.1) er det også observert granatglimmerskifer.

I de tre andre prøvene VINS23-KL02, VINS23-MF01 og ESPE23-MF01 observeres granatglimmerskifer i fraksjoner analysert under mikroskop. Sandstein blir observert i liten grad i samtlige prøver, men det store innholdet av kvartskorn kan stamme fra sandstein. Prøve VINS23-KL02 har det største innholdet av korn av granittisk opprinnelse. Dette kan skyldes et større innslag av grunnfjellsfragmenter, men må også sees i lys av kvartsinnholdet i samtlige prøver. Kornene kan ha blitt feiltolket, og kan egentlig være kvarts, eller så kan deler av kvartsinnholdet i de andre prøvene også ha granittisk opprinnelse.

Samtlige bergarter som er observert i analysen finnes i berggrunnskartet for feltområdet (figur 3.1.1 i seksjon 3.1 Områdebeskrivelse feltlokaliteter). Dette stemmer overens med det som ble funnet i Eilertsen mfl. (2021), som sier at morenen i de undersøkte skredområdene har en mineralogi som speiler berggrunnen i området. Altså at morenematerialet er korttransportert. I berggrunnskartet er kvarts å finne i flere retninger enn det som svarer til en sørøstlig bevegelsesretning, men det er ikke usannsynlig at materialet kommer fra denne retningen. Granatglimmerskifer ligger i et stort felt nordvest for prøvetakingsområdet, og dette passer godt med antakelsen. Fyllitt tilhører berggrunnen på stedet, og gjør antakelsen om at VINS23-JP01 er forvittringsjord sterkere. Granittisk gneis er kategorisert som "nær stedeget grunnfjell" (NGU, 2024a), og finnes nordvest for Kvikne, men litt lengre unna. Det kan hende det finnes ikke-kartlagte vindu av denne bergarten nærmere Kvikne, men det kan også være at kornene er langtransportert. I prøve VINS23-KL02 utgjør den granittiske bergarten over 50% av kornene i de to største fraksjonene, og omtrent 1/3 av den minste. Dette er den eneste bunnmoreneprøven som er undersøkt petrografisk. Fra berggrunnskartet på nett kommer det også frem at monzodioritt finnes innenfor det samme området som gabbro i figur 3.1.1. Det meste tyder

altså på at det stemmer at isen har hatt en sørøstlig bevegelsesretning på stedet, og at morenen er sammensatt av bergarter fra relativt kort avstand i nordvestlig retning.

Morenens skjærstyrke bestemmes i viss grad av skjærstyrken til mineralhorn og bergartskorn (Eilertsen mfl., 2021). Alle undersøkte prøver inneholder fyllitt og/eller glimmerskifer, som er svake bergarter og kan bidra i en reduksjon av morenens skjærstyrke.

Størrelsesfraksjonene er valgt blant de minste for å kunne si noe om permeabiliteten i skredområdene. Torskaya mfl. (2014) har i et studie demonstrert at en kornpakke med runde korn kan ha 1.6 ganger så høy permeabilitet som en kornpakke bestående av kantete korn. Gjennomgående for alle prøver er at de har størst andel av kantslitte korn. VINS23-JP01 og ESPE23-MF01 har også en betydelig andel av både skarpkantete og flisige korn. De kantslitte kornene er noe rundet og vil gi en økt permeabilitet sammenliknet med de skarpkantete kornene som ikke har like mye hulrom rundt seg. Flisige korn har en tendens til å stokke seg sammen i en struktur som tillater gjennomstrømming av vann, og kan øke porøsiteten (Brattli, 2018). I følge Shepherd (1989) har godt sorterte prøver av uniform størrelse, sfæriske og rundede korn den høyeste permeabiliteten. Prøvene i denne oppgaven er alle dårlig sortert og derfor av mange ulike størrelser. Det tolkes derfor slik at innholdet av kantrundede korn bidrar til å øke permeabiliteten noe, men at den er langt fra høy. Sannsynligvis har prøvene en middels lav permeabilitet, med unntak av VINS23-KL02 og VINS23-KL03 som er overkonsolidert bunnmorene og praktisk talt er impermeabel in situ. At det meste av finstoffet i prøvene er silt tillater massene å holde på mye av vannet som kommer inn, dette vil antakeligvis bidra til en overmetning av vann dersom nedbøren er stor nok. Permeabiliteten kan tenkes å være noe større der flisigheten er betydelig, dette gjelder særlig VINS23-JP01 av prøvene som er undersøkt petrografisk. Finstoffinnholdet er kun 2,9%, som er lavt sammenliknet med de andre prøvene. Altså kan denne prøven ha en relativt høy permeabilitet. Dette kan ha tillatt mye vann å komme ned på glideplanet på samme tid, og tillat de overliggende løspakkede massene å løsne på det konvekse planet.

6.11 Videre arbeid

For videreføring av dette studiet anbefales det å utføre en analyse med modellen LAPSUS-LS av De Sy mfl. (2013), som benyttes på småskala landskap med DEM (1 m). Det foreslåes at den benyttes innenfor den enkelte grunntype ved farekartlegging, da den kan bidra til å identifisere områder som deretter bør undersøkes nærmere med feltkartlegging. Det vil også bidra til å filtrere ut landskapspolygoner som ikke står i fare for utløsning av jordskred, og kanskje komme frem til hva som gjør *Relativt åpent dallandskap under skoggrensen* særlig skredutsatt i det sentrale Sør-Norge.

Det kunne også tenkes at en studie der skråningsvinkel inkluderes i landskapsgruppene er en alternativ fremgangsmåte for å oppnå denne kunnskapen. Dette kan utføres som en GIS-analyse med terrengmodell i kombinasjon med foreslåtte landskapsgrupper. Multi-kriterium modellen til Pourghasemi mfl. (2014) tar hensyn til avstand fra vei. Å inkludere dette kriteriet vil kunne bidra til å finne områder eller punkt av særlig sårbarhet i en skråning, da med skogsbilveier som hovedfokus. En analyse av hvor mange av *Hansskredene* som ble utløst i tilknytning til slike veier kan si noe om hvor relevant dette parameteret er.

Ettersom det nå er vist at nyere skredhendelser hovedsaklig forekommer innenfor de samme landskapsfaktorene (KLG), TPI (5 m), TRI (5 m) og landskapsgrupper som eldre skredhendelser i det sentrale Sør-Norge, vil det kunne være av nytte å undersøke om det finnes flere fellesfaktorer. Først og fremst hvilke sedimenttyper som befinner seg

i hvert utløsningspunkt i de foreliggende datasett. Andre faktorer som kan undersøkes er skråningens aspekt, skråningens helning og drenering. Kanskje kan dette også forklare forskjellen i aktivitet i Nord- og Sør-Norge.

Når aktivitetskartet er ferdig utarbeidet hadde det vært interessant å utføre statistiske beregninger som viser om det er en korrelasjon mellom landskapsgruppene og jordskredaktivitet. Det anbefales at det under ferdigstillingen av aktivitetskartet tas hensyn til skredpunkter som har forekommet innenfor aktivitetssone 1. Aktivitetskartet i seg selv kan bidra til å trekke frem nedbørfelt av høy jordskredaktivitet, og være et nyttig hjelpemiddel i startfasen ved faresonekartlegging.

Det er forespeilet en økning av ekstremvær og utløsning av jord- og flomskred i Norge, som potensielt kan medføre tap av menneskeliv, samt ødelegge bygninger og veier. NGU har gjennomført et NVE-finansiert prosjekt som skal identifisere løseområder for jordskred. Denne oppgaven inngår i del 2 av dette prosjektet, og skal vurdere om landskap har en innvirkning på frekvensen av jordskred. Det var av interesse å se om forekomsten av skred var større innenfor enkelte landskapstyper enn andre, innenfor hovedtypene innland- og kystlandskap, og hvor skredpunktene i innlandsgruppen var plassert i forhold til den klimatiske skoggrensen. Oppgaven har benyttet landskapsklassifasjonssystemet *Natur i Norge 2.2.0*, og skredpunktene kommer fra NGUs kvartærgeologiske kartlegging. Det største spørsmålet var om det eksisterte en sammenheng mellom skredaktivitet og landskap, og om det var en forskjell mellom Nord- og Sør-Norge. Til dette formålet ble et aktivitetskart (under utarbeidelse av NGU) for jordskredaktivitet benyttet. Landskapsfaktorer som *arealbruksintensitet*, *jordbrukspreg*, *vegetasjon* og *innsjøpreg*, Topografisk posisjonsindeks (TPI) og overflateruhet (TRI) i skredpunktene ble analysert for å se om skredforekomsten var større i enkelte nivåer enn andre. Skredpunkter fra ekstremværehendelsen *Hans* som inntraff det sentrale Sør-Norge i august 2023 ble benyttet som en kontroll for utløsningsforhold for de tidligere skredhendelsene. Disse skredene er utløst i nåværende landskap, og mange av de tidligere skredhendelsene kan være utløst under eksempelvis andre vegetasjon- og arealbruksforhold. Det er også gjort felt- og laboratoriarbeid av ferske skred fra *Hans* innenfor landskapstypen *Relativt åpent dallandskap under skoggrensen* i Kvikne ved Vinstra, og Svatum i Espedalen. For feltområdet i Kvikne ble det utarbeidet et kvartærgeologisk kart gjeldende fra etter *Hans*.

Følgende funn ble gjort:

- De fleste skredene fra både tidligere skredhendelser og *Hans* har gått i landskapsgruppen *Relativt åpent dallandskap under skoggrensen*, med henholdsvis 55% og 70% av alle skredpunkter.
- Skredene fra *Hans* har gått i de samme landskapsgruppene som tidligere skredhendelser.
- Forekomsten av skred i hovedtypen innland er størst under den klimatiske skoggrensen.

- Det er ikke en sterk sammenheng mellom landskap og jordskredaktivitet, da ingen av landskapsgruppene ligger klart innenfor én aktivitetssone i aktivitetskartet.
- Samme landskapstype tenderer til å ligge i aktivitetssone 3 i Sør-Norge, og i aktivitetssone 1 i Nord-Norge.
- Tidligere skredhendelser og skred utløst under ekstremværhendelsen *Hans* har lik signatur for arealbruksintensitet, jordbrukspreg, vegetasjon og innsjøpreg. Den vanligste kombinasjonen i skredpunktene er middels arealbruksintensitet, lav jordbruksintensitet, skogdekt eller potensielt skogdekte områder under skoggrensen, og alle innsjøer under 2 km², selv om innsjøpreg antakeligvis ikke har en betydning for skredfare.
- Tidligere skredhendelser og skred utløst under *Hans* har lik signatur for ruhet i en DTM med oppløsning 5 m, der de fleste skredene utløses ved en middels ruhet.
- TPI-signatur fra DTM med oppløsning 5 m er også lik for de to datasettene, men er noe jevnere fordelt på de ulike nivåene. Det kan fortsatt sies at en middels TPI ser ut til å være den mest frekvente verdien i skredpunktene.

Resultatene impliserer at landskapsgruppen *Relativt åpent dallandskap under skoggrensen* kan benyttes som en indikator for forhøyet skredfare i det sentrale Sør-Norge, og at utløsningen av jordskred ser ut til å være begrenset til landskapsgruppene som er gitt i dette studiet. At samme landskapsgruppe i områder utenfor det sentrale Sør-Norge viser lite tegn til skredaktivitet, både basert på aktivitetskartet og skredpunkter, viser at det ikke er en årsakssammenheng mellom landskap og jordskredaktivitet. Det må derfor være andre faktorer som eksempelvis sedimenttype, helning eller klima som er avgjørende. På generell basis vil ikke landskaps typer være et godt utgangspunkt for skredfarekartlegging. Likheten i de undersøkte landskapsfaktorene mellom nyere og eldre hendelser viser at detaljerte kvartærgeologiske kart fortsatt kan benyttes for skredfarekartlegging, også for ekstremværhendelser.

For videre arbeid anbefales det å undersøke hvilken sedimenttype, aspekt, helningsvinkel og drenering som er tilstede i utløsningspunktene, dette for å undersøke om én eller flere av disse er en avgjørende faktor for utløsning av jordskred. Det anbefales også å kombinere landskapsgruppene med modellen LAPSUS-LS eller skråningsvinkel i en GIS-analyse for å utelukke landskapspolygoner uten skredfare, og for å avdekke hva som gjør *Relativt åpent dallandskap under skoggrensen* særlig skredutsatt i det sentrale Sør-Norge. Nærhet til vei kan benyttes som et ekstra parameter, særlig dersom *Hans*-skredene er utløst i tilknytning til vei. Når aktivitetskartet er ferdig utarbeidet burde det utføres en statistisk analyse for å avgjøre om det er korrelasjon mellom landskap og jordskredaktivitet. Det anbefales at ferdigstillingen av aktivitetskartet tar hensyn til skredpunkter som har forekommet innenfor aktivitetssone 1.

- Arnesen, T., & Bryn, A. (2020). Fritidsboliger og skoggrensen i fjellområder. *Høgskolen i Innlandet, 2/2020*.
- Artsdatabanken. (2023). *Natur i Norge*. Hentet 6. november 2023, fra <https://www.artsdatabanken.no/NiN>
- Bergersen, O. F., & Garnes, K. (1972). Ice movements and till stratigraphy in the Gudbrandsdal area. Preliminary results. *Norsk Geografisk Tidsskrift, 26*(1-2), 1–16.
- Boje, S., Colleuille, H., & Devoli, G. (2009). Terskelstudier for utløsning av jordskred i Norge | Oppsummering av hydrometeorologiske terskelstudier ved NVE i perioden 2009 - 2013. *NIFS (Naturfare - Infrastruktur - Flom - Skred), 43/2014*.
- Brattli, B. (2018). *Ingeniørgeologi løsmasser*. Trondheim: NTNU-Institutt for geovitenskap og petroleum.
- Bryhni, I. (2023). *Kvartærgeologi. Store Norske Leksikon*. Hentet 2. oktober 2023, fra <https://snl.no/kvart%C3%A6rgeologi>
- Callesen, I., Keck, H., & Andersen, T. J. (2018). Particle size distribution in soils and marine sediments by laser diffraction using Malvern Mastersizer 2000—method uncertainty including the effect of hydrogen peroxide pretreatment. *Journal of Soils and Sediments, 18*, 2500–2510.
- Chatwin, S. C. (1994). *A guide for management of landslide-prone terrain in the Pacific Northwest*. Ministry of Forests.
- Clarke, B. G. (2017). *Engineering of glacial deposits*. CRC Press.
- Cruden, D., & Varnes, D. (1996). 3: Landslide Types and Processes. I *Landslides: Investigation and mitigation - Special report 247*. National Academy Press, Washington, D.C.
- Day, M., & Chenoweth, M. (2013 desember). 6.14 Surface Roughness of Karst Landscapes. I *Treatise on Geomorphology* (s. 157–163).
- De Reu, J., Bourgeois, J., Bats, M., Zwertvaegher, A., Gelorini, V., De Smedt, P., Chu, W., Antrop, M., De Maeyer, P., Finke, P., mfl. (2013). Application of the topographic position index to heterogeneous landscapes. *Geomorphology, 186*, 39–49.
- De Sy, V., Schoorl, J., Keesstra, S., Jones, K., & Claessens, L. (2013). Landslide model performance in a high resolution small-scale landscape. *Geomorphology, 190*, 73–81.

- de Boer, G. B., de Weerd, C., Thoenes, D., & Goossens, H. W. (1987). Laser diffraction spectrometry: Fraunhofer diffraction versus Mie scattering. *Particle & Particle Systems Characterization*, 4(1-4), 14–19.
- Dingman, S. (2015). *Physical Hydrology* (3.). Waveland press Long Grove, IL.
- Dreimanis, A., & Schlüchter, C. (1985). Field criteria for the recognition of till or tillite [Proceedings of the Till Mauretania '83 Symposium]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 51(1), 7–14. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0031-0182\(85\)90079-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0031-0182(85)90079-3)
- Edvardsen, D. H. (2013). *Utløsningsårsaker og utløsningsmekanismer til flomskred i moreneavsetninger.: Feltstudie av terrengetyper og inngrep i naturen som potensielt kan føre til skred inn mot fremtidige vegprosjekter. Eksempel fra Kvam, Norge.* [Masteroppgave, Institutt for geologi og bergteknikk].
- Eilertsen, R. S., Kvam, M. H., Stalsberg, K., Sletten, K., Solberg, I.-L., Pullarello, J., & Rubensdotter, L. (2021). Identifikasjon av løsnemråder for jordskred. *NGU-Rapport, 2021.022*.
- Emdal, A. (2022). Introduksjon til geoteknikk. *Faggruppe for Geoteknikk, NTNU. Trondheim*, 272.
- Englund, J.-O. (1969). Geologien i Gudbrandsdalen fra Lillehammer til Vinstra. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 49, 319–322.
- Englund, J.-O. (1966). Sparagmittgruppens bergarter ved Fåvang, Gudbrandsdalen. En sedimentlogisk og tektonisk undersøkelse. *NGU*, 238.
- Erikstad, L., Halvorsen, R., & Simensen, T. (2019). Natur i Norge (NiN) versjon 2.2. Inndelingen i landskapstyper. *Artsdatabanken, Trondheim*.
- Eshel, G., Levy, G., Mingelgrin, U., & Singer, M. (2004). Critical evaluation of the use of laser diffraction for particle-size distribution analysis. *Soil Science Society of America Journal*, 68(3), 736–743.
- ESRI. (2024a). *How Focal Statistics works | ArcGIS Pro*. Hentet 12. januar 2024, fra <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-focal-statistics-works.htm>
- ESRI. (2024b). *How Raster Calculator works (Analysis) | ArcGIS Pro*. Hentet 12. januar 2024, fra <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-raster-calculator-works.htm>
- ESRI. (2024c). *Minus (Spatial Analyst) | ArcGIS Pro*. Hentet 13. mars 2024, fra <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/minus.htm>
- ESRI. (2024d). *Spatial Join (Analysis) | ArcGIS Pro*. Hentet 12. januar 2024, fra <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/analysis/spatial-join.htm>
- Follestad, B. A., & Fredin, O. (2007). Late Weichselian ice flow evolution in south-central Norway. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 87 (1), 281–289.
- Frattini, P., & Crosta, G. B. (2013). The role of material properties and landscape morphology on landslide size distributions. *Earth and Planetary Science Letters*, 361, 310–319.
- Garnes, K., & Bergersen, O. F. (1977). Distribution and genesis of tills in central south Norway. *Boreas*, 6(2), 135–147.
- Gundersen, N., & Bryhni, I. (2023). *Løsmasser. Store Norske Leksikon*. Hentet 2. oktober 2023, fra <https://snl.no/l%C3%B8smasser>
- Halvorsen, R., Bryn, A., & Erikstad, L. (2016). NiNs systemkjerne-teori, prinsipper og inndelingskriterier. *Natur i Norge, Artikkel, 1*, 1–358.
- Harder, C., & Brown, C. (2017). *The ArcGIS book: 10 big ideas about applying the science of where*. Esri Press.
- Heywood, D. I., Cornelius, S. C., & Carver, S. (2011). *An Introduction to Geographical Information Systems* (4.). Pearson Prentice Hall.

- Highland, L. M., & Bobrowsky, P. (2008). *The landslide handbook - A guide to understanding landslides*. US Geological Survey Circular 1325.
- Jørgensen, P., Sørensen, R., & Prestvik, O. (2013). *Norske jordarter*.
- Kleiven, A. (2022). *Utløsning av jord-og flomskred-Hvordan skråningens orientering påvirker utløsning av jord-og flomskred i Ottadalen* [Masteroppgave, NTNU].
- Krigström, A. (1962). Geomorphological studies of sandur plains and their braided rivers in Iceland. *Geografiska Annaler*, 44(3-4), 328–346.
- Li, C. (2021). *TGB 4210 Rock Mechanics (Basic course)*. NTNU.
- Lu, N., & Godt, J. W. (2013). *Hillslope hydrology and stability*. Cambridge University Press.
- Malvern Instruments Ltd. (2013). *Mastersizer 3000 user manual* (mano474 2.1). Worcester: Malvern Analytical Ltd.
- Malvern Panalytical Ltd. (2023). *Mastersizer 3000 | Malvern Panalytical*. Hentet 6. desember 2023, fra <https://www.malvernpanalytical.com/en/products/product-range/mastersizer-range/mastersizer-3000#howitworks>
- Mangerud, J. (2022). *Siste istid. Store Norske Leksikon*. Hentet 2. oktober 2023, fra https://snl.no/siste_istid
- Mangerud, J., Gyllencreutz, R., Lohne, Ø., & Svendsen, J. I. (2011). Chapter 22 - Glacial History of Norway. I J. Ehlers, P. L. Gibbard & P. D. Hughes (Red.), *Quaternary Glaciations - Extent and Chronology* (s. 279–298, Bd. 15). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53447-7.00022-2>
- McGoldrick, S. (2020). *A Practical Guide to Introductory Geology*. Open Education Alberta. Hentet 4. oktober 2023, fra <https://openeducationalberta.ca/practicalgeology/wp-content/uploads/sites/66/2020/07/sorting-roundness-01.png>
- Medwedeff, W. G., Clark, M. K., Zekkos, D., & West, A. J. (2020). Characteristic landslide distributions: An investigation of landscape controls on landslide size. *Earth and Planetary Science Letters*, 539, 116203.
- Milledge, D. G., Bellugi, D., McKean, J. A., Densmore, A. L., & Dietrich, W. E. (2014). A multidimensional stability model for predicting shallow landslide size and shape across landscapes. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 119(11), 2481–2504.
- Nesje, A., Gundersen, I. M., & Cannell, R. (2019). Flommer og flomskred i Gudbrandsdalen i et værmessig og klimatisk perspektiv. I I. M. Gundersen (Red.), *Gård og utmark i Gudbrandsdalen: Arkeologiske undersøkelser i Fron 2011–2012*. (s. 80–93). Nordic Open Access Scholarly Publishing.
- Nettavisen. (2023, 9. august). *Venter flere skred etter store nedbørsmengder*. Hentet 19. februar 2024, fra <https://www.nettavisen.no/nyheter/venter-flere-skred-etter-store-nedborsmengder/s/5-95-1255174>
- Nishimura, T., Toyota, H., & Koseki, J. (2009). Evaluation of apparent cohesion of an unsaturated soil. *Proceedings of the 4th Asia Pacific Conference on Unsaturated Soils*, 109–114.
- Norges geologiske undersøkelse. (2024a). *Berggrunn | WMS*. <https://geo.ngu.no/mapsver/BerggrunnWMS3>
- Norges geologiske undersøkelse. (2024b). *Løsmasser | WMS*. <https://geo.ngu.no/mapsver/LosmasserWMS2>
- Norges geologiske undersøkelse (NGU). (2024a). *Hoevbergarter, sammenstilt målestokkvisning (Nasjonal - Regional - Lokal) | Berggrunn - Nasjonal berggrunnsdatabase*. Hentet 12. april 2024, fra https://geo.ngu.no/kart/berggrunn_mobil/
- Norges geologiske undersøkelse (NGU). (2024b). *Løsmasser landsdekkende - Dekningskart over ulike kartleggingsmålestokker | Løsmasser - Nasjonal løsmassedatabase*. Hentet 7. april 2024, fra https://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/

- Norges geologiske undersøkelse (NGU). (2024c). *Løsmasser landsdekkende - Fullstendig kartografi / Løsmasser - Nasjonal løsmassedatabase*. Hentet 8. april 2024, fra https://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/
- Norges vassdrags- og energidirektorat. (2013). *Jordskred og flomskred* (G. Devoli, Red.). https://publikasjoner.nve.no/faktaark/2013/faktaark2013_05.pdf
- Norges vassdrags- og energidirektorat. (2024a). *NVE Skredhendelser / NVE temakart*. Hentet 20. februar 2024, fra <https://temakart.nve.no/link/?link=skredhendelser>
- Norges vassdrags- og energidirektorat. (2024b). *NVE Skredregistrering*. Hentet 20. februar 2024, fra <https://www.skredregistrering.no/#Forsiden>
- Norges vassdrags- og energidirektorat. (2020). *Veileder - Sikkerhet mot skred i bratt terreng - Kartlegging av skredfare i reguleringsplan og byggesak - Hvordan utføre en skredfareutredning Fase 2: Utføre oppdrag - Prosedyre jordskred - Steg 2: Vurdering av løsneområder og løsnesannsynlighet*. Hentet 30. oktober 2023, fra <https://veileder-skredfareutredning-bratt-terreng.nve.no/hvordan-utfore-en-skredfareutredning/fase-2-utfore-oppdrag/prosedyre-jordskred/steg-2-vurdering-av-losneomrader-og-losnesannsynlighet/>
- NVE. (2021). *Nedbørfelt (REGINE)*. Hentet 5. april 2024, fra <https://www.nve.no/kart/kartdata/vassdragsdata/nedborfelt-regine/>
- Olsen, L., Sveian, H., Ottesen, D., & Rise, L. (2013). Quaternary glacial, interglacial and interstadial deposits of Norway and adjacent onshore and offshore areas. *Quaternary Geology of Norway, Geological Survey of Norway Special Publication, 13*, 79–144.
- Opsal, Ø. (2018). *Geological parameters and shear strength of dry tills from the southern half of Norway in relation to bedrock geology* [Doktorgradsavhandling]. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet [Tilgjengelig fra <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2563729>].
- Pellegrino, A. (1965). *Geotechnical properties of coarse-grained soils. Upublisert artikkel, presentert på International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering (6th). Montreal*. Hentet 3. oktober 2023, fra https://www.issmge.org/uploads/publications/1/39/1965_01_0020.pdf
- Pourghasemi, H. R., Moradi, H. R., Fatemi Aghda, S., Gokceoglu, C., & Pradhan, B. (2014). GIS-based landslide susceptibility mapping with probabilistic likelihood ratio and spatial multi-criteria evaluation models (North of Tehran, Iran). *Ara-bian Journal of Geosciences, 7*, 1857–1878.
- Puschmann, O. (2005). Nasjonalt referansesystem for landskap-Beskrivelse av Norges 45 landskapsregioner. *NIJOS-rapport*.
- Rasmussen, C., & Dalsgaard, K. (2017). Documentation of tests on particle size methodologies for laser diffraction compared to traditional sieving and sedimentation analysis. <https://doi.org/10.7146/aul.205.148>
- Regjeringen. (2023, 6. august). *Stor fare for flom og jordskred med ekstremværet Hans / Pressemelding*. Hentet 17. januar 2024, fra <https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/stor-fare-for-flom-og-jordskred-med-ekstremvaret-hans/id2990489/>
- Riley, S. J., DeGloria, S. D., & Elliot, R. (1999). Index that quantifies topographic heterogeneity. *Intermountain Journal of sciences, 5*(1-4), 23–27.
- Roald, L. A. (2013). *Flom i Norge*. Tom & Tom.
- Romundset, A., Akçar, N., Fredin, O., Andersen, J. L., Høgaas, F., Christl, M., Yesilyurt, S., & Schlüchter, C. (2023). Early Holocene thinning and final demise of the Scandinavian Ice Sheet across the main drainage divide of southern Norway. *Quaternary Science Reviews, 317*, 108–274. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2023.108274>

- Rubensdotter, L., Sletten, K., & Sandøy, G. (2021). Morphological Description of Erosional and Depositional Landforms Formed by Debris Flow Processes in Mainland Norway. I A. A. Beylich (Red.), *Landscapes and Landforms of Norway* (s. 225–240). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-52563-7_10
- Rubensdotter, L., Stalsberg, K., & Pullarello, J. (2023). *Tidligere Jordskredaktivitet i regioner* [Foreløpig utgave].
- Rüther, D. C., Lindsay, E., & Slåtten, M. S. (2024 februar). Landslide inventory: ‘Hans’ storm southern Norway, August 7–9, 2023. <https://doi.org/10.1007/s10346-024-02222-y>
- Sandersen, F. (2014). Løsmasse- og flomskred. I K. Høeg, K. Karlsrud & K. Lied (Red.), *Skred - Skredfare og sikringstiltak. Praktiske erfaringer og teoretiske prinsipper*. NGI og Universitetsforlaget.
- Sandøy, G., Devoli, G., & Rubensdotter, L. (2017). Trekantformede jordskred-studie av fem skredhendelser i Norge. *NGU rapport, 2017.017*.
- Schowengerdt, R. A. (2006). *Remote sensing: models and methods for image processing*. Elsevier.
- Seljom, L., Bygballe, L. E., Riis, C., Petkovic, G., & Berg, H. (2021). Klimatilpasning av vårt bygde miljø og utfordringer ved dagens kost-nytteanalyser. *Praktisk økonomi & finans, 37*(1), 63–82.
- Selmer-Olsen, R. (1971). *Ingeniørgeologi, Del 1. Generell geologi*. Trondheim, Tapir.
- Selmer-Olsen, R. (1977). *Ingeniørgeologi, Del 2. De løse jordlag*. Trondheim, Tapir.
- Selmer-Olsen, R. (1954). Om norske jordarters variasjon i korngradering og plastisitet. *186*.
- Shepherd, R. G. (1989). Correlations of permeability and grain size. *Groundwater, 27*(5), 633–638.
- Simensen, T., Erikstad, L., & Halvorsen, R. (2021). Diversity and distribution of landscape types in Norway. *Norsk Geografisk Tidsskrift-Norwegian Journal of Geography, 75*(2), 79–100.
- Smith, M. W. (2014). Roughness in the earth sciences. *Earth-Science Reviews, 136*, 202–225.
- Statens kartverk. (2024). *FKB4 WMS | Geonorge Register*. Hentet 1. april 2024, fra <https://register.geonorge.no/inspire-statusregister/fkb4-wms/9c2bda8c-2af0-4458-90ad-5686d9e2d777?InspireRegistryType=service>
- Statens kartverk. (2023). *Høydedata*. Hentet 2023, fra <https://hoydedata.no/LaserInnsyn2/>
- Statens kartverk & Geovekst. (2024). *Midt-Gudbrandsdal 2021 | Norge i bilder*. Hentet 1. april 2024, fra www.norgeibilder.no
- Statens Vegvesen. (2014). *Laboratorieundersøkelser, Håndbok R210*.
- Statistisk sentralbyrå. (2023). *Arealbruk og arealressurser*. Hentet 6. november 2023, fra <https://www.ssb.no/natur-og-miljo/areal/statistikk/arealbruk-og-arealressurser>
- Stokstad, G., Fjellstad, W. J., & Dramstad, W. (2016). Overvåking av jordbrukets kulturlandskap. *NIBIO POP, 34*(2).
- Sveistrup, T., & Njøs, A. (1984). Kornstørrelsesgrupper i mineraljord. Revidert forslag til klassifisering. *Jord og Myr, 422*.
- Sørløkk, T., Rokoengen, K., & Nilsen, B. (2007). Geologiske laboratorieundersøkelser, Laboratiehefte for emne TGB4195 Ingeniørgeologisk prosjektering.
- Thurairajah, A., & Sithamparapillai, V. (1972). Drained Deformation Characteristics of Sand. *Southeast Asian Society Of Soil, Engineering, 3*, 91.

- Torskaya, T., Shabro, V., Torres-Verdín, C., Salazar-Tio, R., & Revil, A. (2014). Grain shape effects on permeability, formation factor, and capillary pressure from pore-scale modeling. *Transport in porous media*, *102*, 71–90.
- Trevisani, S., Teza, G., & Guth, P. L. (2023). Hacking the topographic ruggedness index. *Geomorphology*, *439*, 108–838. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2023.108838>
- Vetaas, O. R., & Måren, I. E. (2008). Kulturlandskap i drastisk endring–betraktninger i tid. *Naturen*, *4*(132), 184–193.
- Vorren, T. O., Mangerud, J., Blikra, L. H., Nesje, A., & Sveian, H. (2013). Kapittel 16 - Norge av i dag trer fram. De siste 11 700 år - Holocen. I I. B. Ramberg, I. Bryhni, A. Nøttvedt & K. Rangnes (Red.), *Landet blir til - Norges geologi. 2. utg.* (s. 551–571). Norsk Geologisk Forening.
- Walberg, N. A. K., & Devoli, G. (2014). Regional varslings av jordskredfare. *NIFS (Naturfare - Infrastruktur - Flom - Skred)*, *112*.
- Wandinger, U. (2005). Introduction to lidar. I *Lidar: range-resolved optical remote sensing of the atmosphere* (s. 1–18). Springer.
- Weiss, A. (2001). Topographic position and landforms analysis. *Poster presentation, ESRI user conference, San Diego, CA, 200*.
- Wen, B., Aydin, A., & Duzgoren-Aydin, N. S. (2002). A comparative study of particle size analyses by sieve-hydrometer and laser diffraction methods. *Geotechnical Testing Journal*, *25*(4), 434–442.
- Wieczorek, W. F., & Delmerico, A. M. (2009). Geographic information systems. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics*, *1*(2), 167–186.

Vedlegg

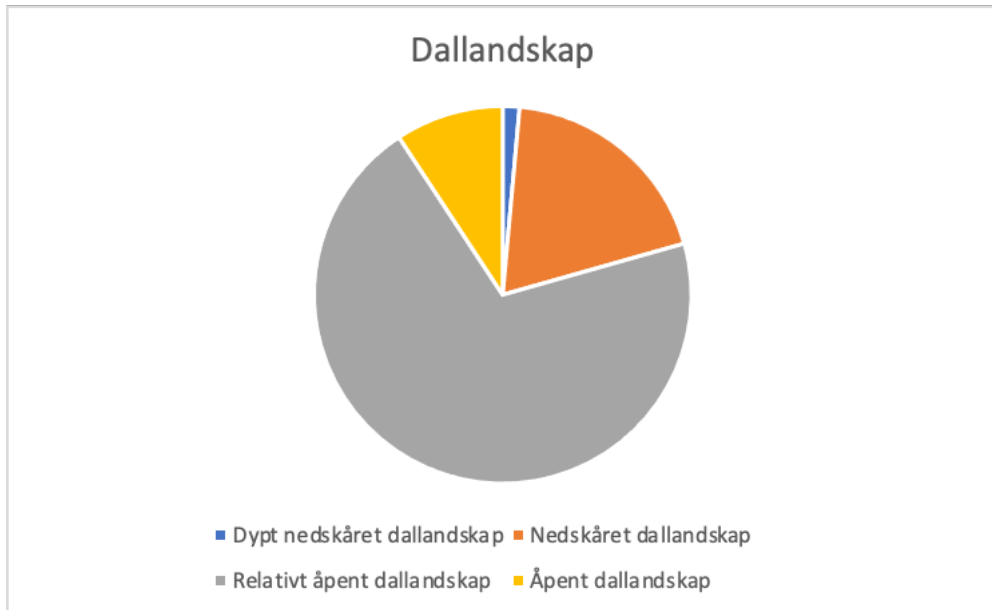
A - GIS: Innledende analyser - Set 1

A - GIS: Innledende analyser - Set 1

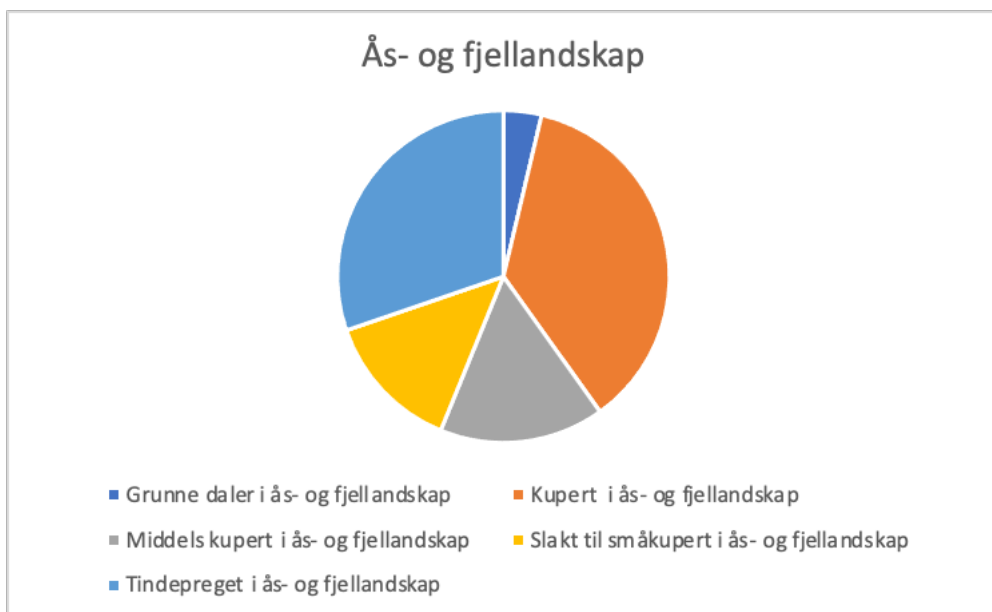
Vedlegget inneholder sektordiagram som viser fordelingen av skredpunkter innenfor grupperingen Set 1. Figur A.1 viser fordeling for innland, figur A.2 for dallandskap, figur A.3 for ås- og fjellandskap. Figur A.4 viser fordelingen innenfor hovedtypen kyst, figur A.5 viser fjordlandskap og figur A.6 viser kystslettelandskap.



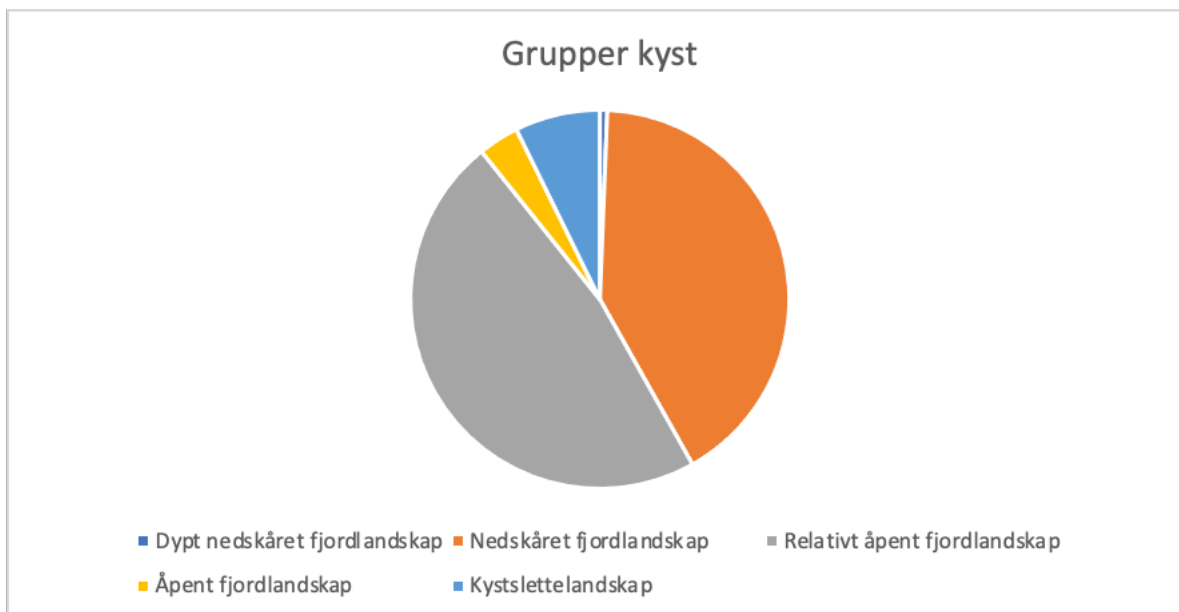
Figur A.1: Set 1: Grupper i undergruppe innland.



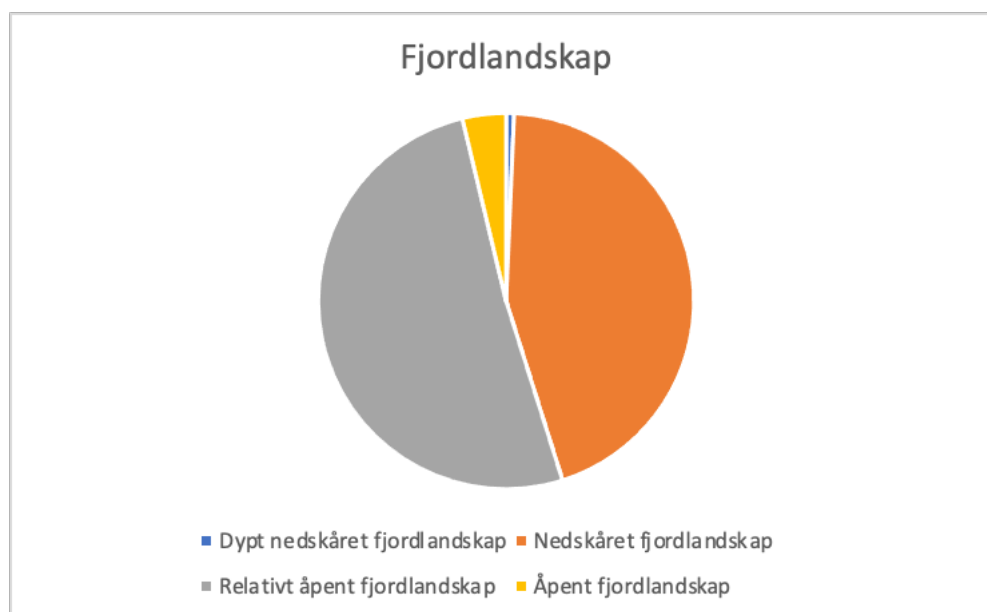
Figur A.2: Set 1: Grupper i kategorien dallandskap.



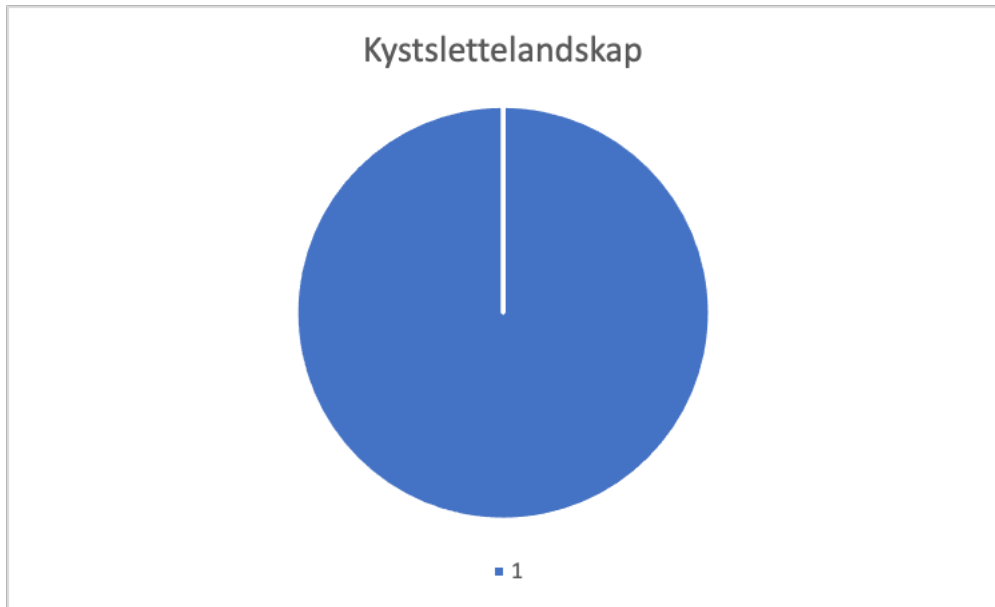
Figur A.3: Set 1: Grupper i kategorien Ås- og fjellandskap.



Figur A.4: Set 1: Grupper i undergruppe kyst.



Figur A.5: Set 1: Grupper i kategorien fjordlandskap.



Figur A.6: Set 1: Gruppe innenfor kategorien kystslettelandskap (én gruppe).

B - Areal av landskapstyper

Vedlegget inneholder arealet hovedtypegruppene utgjør av Norges totale areal (B.1), og arealet de foreslåtte landskapsgruppene (Set 2) utgjør av det totale arealet (B.2).

B1 - Areal av hovedtypegrupper i NiN-datasett

Tabell B.1: Areal hver hovedtypegruppe dekker av det totale området (Norge). Marine landskap er ikke inkludert i det totale arealet (Simensen mfl., 2021, tabell 3).

Hovedtypegruppe	Grunntyper [n]	Romlige landskapsenheter [n]	Totalt areal [km ²]	Areal i % av totalareal
Innland: Innlands-dallandskap	104	11.029	94607	25.8
Innland: Innlands ås- og fjellandskap	54	21.058	170523	46.5
Innland: Innlandsslettelandskap	36	3413	31834	8.8
Kyst: Fjordlandskap	26	3713	33478	9
Kyst: Kyst-ås- og fjellandskap	1	74	284	0.1
Kyst: Kystslettelandskap	63	4476	36249	10

B2 - Areal av foreslåtte landskapstypegrupper

Tabell B.2: Areal av hver landskapsgruppe, totalt og i % av hovedtype og totalareal. Totalt areal (eksl. marine landskap) er 366975 km², andel av dette arealet dekt av landskapsgruppene er 69,2%. G.t = grunnstype, l.e. = landskapsenheter, h.t.g = hovedtypegruppe, t.areal = totalareal. (Simensen mfl., 2021, tabell 3 og vedlegg S9)

Landskapsgruppe	G.t [n]	Romlige l.e. [n]	Totalt areal [km ²]	% av h.t.g	% av t.areal
Dypt nedskåret dallandskap under skoggrensen	3	357	2462.7	2.6	0.7
Nedskåret dallandskap under skoggrensen	2	421	3262.6	3.4	0.9
Nedskåret dallandskap over skoggrensen	9	1261	10501.9	11.1	2.9
Relativt åpent dallandskap over skoggrensen	3	1080	8828.9	9.3	2.4
Relativt åpent dallandskap under skoggrensen	7	3907	33012	34.9	9.0
Åpent dallandskap under skoggrensen	6	1742	14964	15.8	4.1
Grunne daler i ås- og fjellandskap under skoggrensen	2	2932	21966	12.9	6.0
Kupert ås- og fjellandskap under skoggrensen	3	1120	8228.6	4.8	2.2
Kupert ås- og fjellandskap over skoggrensen	2	562	3878.5	2.3	1.1
Middels kupert ås- og fjellandskap under skoggrensen	3	3472	28253.3	16.6	7.7
Middels kupert ås- og fjellandskap over skoggrensen	4	4446	34660.6	20.3	9.4
Slakt til småkupert ås- og fjellandskap under skoggrensen	1	2585	20366.2	11.9	5.5
Slakt til småkupert ås- og fjellandskap over skoggrensen	1	926	7464.7	4.4	2.0
Tindepreget ås- og fjellandskap under skoggrensen	1	1038	8362.1	4.9	2.3
Tindepreget ås- og fjellandskap over skoggrensen	2	366	2792.5	1.6	0.8
Dypt nedskåret fjordlandskap	2	143	1131.4	3.4	0.3
Nedskåret fjordlandskap	4	883	7607.4	22.7	2.1
Relativt åpent fjordlandskap	4	2188	20067.4	59.9	5.5
Åpent fjordlandskap	3	442	4166.8	12.4	1.1
Kystslettelandskap	4	1553	12069.6	33.3	3.3
Totalt areal					69.2

C - Oppsummering

Tabell C.1 viser hvilke landskapsgrupper som hadde minst 40% av grunntypepolygonene i aktivitetssone 3 (hele landet til venstre, Sør-Norge til høyre). Flere grupper har en større andel i aktivitetssone 3 i Sør-Norge enn på landsbasis.

Landskapsgrupper som har flest skredpunkter fra tidligere skredhendelser og fra Hans er vist i tabell C.2. For Hans (høyre i tabellen) er ekstra landskapstyper tilhørende landskapsgruppene inkludert, disse landskapstypene hadde ingen registrerte skredhendelser fra tidligere skredkartlegging.

Tabell C.1: Landskapsgrupper hvor > 40% av grunntype-polygonene ligger innenfor aktivitetssone 3. Landsdekkende til venstre, Sør-Norge til høyre.

Aktivitetsskart m/landskapsgrupper NiN	% sone 3	Aktivitetsskart m/ landskapsgrupper NiN Sør-Norge	% sone 3
Dypt nedskåret fjordlandskap	65.3	Dypt nedskåret fjordlandskap	65.3
Nedskåret fjordlandskap	55.2	Nedskåret fjordlandskap	61.2
Kupert ås- og fjellandskap over skoggrensen	41.5	Kupert ås- og fjellandskap over skoggrensen	59.1
Tindepreget ås- og fjellandskap over skoggrensen	55.9	Middels kupert ås- og fjellandskap over skoggrensen	41.7
Nedskåret dallandskap over skoggrensen	44.7	Tindepreget ås- og fjellandskap over skoggrensen	74.1
Kupert ås- og fjellandskap under skoggrensen	49.6	Nedskåret dallandskap over skoggrensen	61.2
Tindepreget ås- og fjellandskap under skoggrensen	61.9	Relativt åpent dallandskap over skoggrensen	42.4
Dypt nedskåret dallandskap under skoggrensen	69.7	Kupert ås- og fjellandskap under skoggrensen	58.3
Nedskåret dallandskap under skoggrensen	57.2	Tindepreget ås- og fjellandskap under skoggrensen	70.3
		Dypt nedskåret dallandskap under skoggrensen	80.4
		Nedskåret dallandskap under skoggrensen	68.1
		Relativt åpent dallandskap under skoggrensen	43.8

Tabell C.2: Landskapsgrupper med en betydelig andel av skredpunkter fra tidligere hendelser (venstre) og fra Hans (høyre).

Landskapsgrupper m/ NGU pkt	% av pkt	Landskapsgrupper + ekstra landskapstyper m/ Hans	% av pkt
Relativt åpent dallandskap under skoggrensen	55	Middels kupert ås- og fjellandskap over skoggrensen	5.8
Nedskåret dallandskap under skoggrensen	15	Relativt åpent dallandskap over skoggrensen	3.2
Relativt åpent fjordlandskap	8	Nedskåret dallandskap under skoggrensen	8
Nedskåret fjordlandskap	7	Relativt åpent dallandskap under skoggrensen	73.4
Åpent dallandskap under skoggrensen	7		

D - Laboratorieanalyser

Vedlegget inneholder målinger og mellomregninger relevant for utførte laboratorieanalyser, samt foto og skjema for petrografisk analyse.

D1 - Sikteanalyse

Vedlegget inneholder tabeller med vekt og kumulativ vektprosent for hver sikt i sikteanalysen. Dette gjelder tabell D1.1, D1.2, D1.3, D1.4, D1.5, D1.6 og D1.7.

Tabell D1.8 viser kornstørrelsesparametrene D_{10} , D_{25} , D_{60} , D_{75} og M_d for samtlige prøver. Tabell D1.9 inneholder sorteringstallet for prøvene.

Tabell D1.1: Vekt for komplett siktesats, prøve VINS23-KL01.

PRØVE-ID: VINS23-KL01		
Størrelse sikt	Vekt	Kumulativ vekt
<i>(d) [mm]</i>	<i>[g]</i>	<i>[%]</i>
19	125,7	100,0
16	114,8	96,0
11,2	177,0	92,4
8	207,3	86,8
4	461,9	84,4
2	441,9	69,8
1	326,8	55,8
0,5	224,9	45,5
0,250	247,4	38,5
0,125	454,0	30,5
0,063	510,3	16,2

Tabell D1.2: Vekt for komplett siktesats, prøve VINS23-KL02.

PRØVE-ID: VINS23-KL02		
Størrelse sikt	Vekt	Kumulativ vekt
<i>(d) [mm]</i>	<i>[g]</i>	<i>[%]</i>
31,5	174,2	100,0
19	286,9	93,4
16	94,3	82,5
11,2	178,6	78,9
8	131,2	72,1
4	292,4	67,1
2	306,2	56,0
1	282,8	44,3
0,5	240,0	33,6
0,250	209,0	24,4
0,125	196,3	16,5
0,063	237,5	9,0

Tabell D1.3: Vekt for komplett siktesats, prøve VINS23-KL03.

PRØVE-ID: VINS23-KL03		
Størrelse sikt	Vekt	Kumulativ vekt
<i>(d) [mm]</i>	<i>[g]</i>	<i>[%]</i>
31,5	328,9	100,0
19	168,2	85,8
16	145,9	78,5
11,2	141,5	72,2
8	145,6	66,1
4	271,6	59,8
2	253,0	48,0
1	214,0	37,1
0,5	183,4	27,8
0,250	159,2	19,9
0,125	141,4	13,0
0,063	159,4	6,9

Tabell D1.4: Vekt for komplett siktesats, prøve VINS23-MF01.

PRØVE-ID: VINS23-MF01		
Størrelse sikt	Vekt	Kumulativ vekt
<i>(d) [mm]</i>	<i>[g]</i>	<i>[%]</i>
31,5	139,8	100,0
19	74,5	92,6
16	38,7	88,7
11,2	73,9	86,7
8	107,7	82,8
4	225,2	77,1
2	238,8	65,3
1	200,2	52,7
0,5	173,1	42,2
0,250	175,0	33,1
0,125	191,8	23,9
0,063	262,5	13,8

Tabell D1.5: Vekt for komplett siktesats, prøve VINS23-MF02.

PRØVE-ID: VINS23-MF02		
Størrelse sikt	Vekt	Kumulativ vekt
<i>(d) [mm]</i>	<i>[g]</i>	<i>[%]</i>
31,5	158,7	100,0
19	371,4	93,7
16	122,3	78,9
11,2	212,4	74,0
8	214,9	65,6
4	337,5	57,0
2	299,5	43,6
1	237,5	31,6
0,5	185,2	22,2
0,250	143,8	14,8
0,125	113,6	9,1
0,063	114,7	4,6

Tabell D1.6: Vekt for komplett siktesats, prøve VINS23-JP01.

PRØVE-ID: VINS23-JP01		
Størrelse sikt	Vekt	Kumulativ vekt
<i>(d) [mm]</i>	<i>[g]</i>	<i>[%]</i>
31,5	265,4	100,0
19	469,5	88,3
16	155,7	67,5
11,2	166,9	60,6
8	180,6	53,2
4	255,2	45,2
2	221,3	34,0
1	180,8	24,2
0,5	135,5	16,2
0,250	96,6	10,2
0,125	67,9	5,9
0,063	65,8	2,9

Tabell D1.9: Sortering av kornprøvene, grenser fra Brattli (2018).

Prøve ID	Sorteringstallet S_0	Sorteringsgrad
VINS23-KL01	1,4	Dårlig sortert
VINS23-KL02	1,6	Dårlig sortert
VINS23-KL03	1,5	Dårlig sortert
VINS23-MF01	1,4	Dårlig sortert
VINS23-MF02	1,3	Dårlig sortert
VINS23-JP01	1,2	Dårlig sortert
ESPE23-MF01	1,6	Dårlig sortert

Tabell D1.7: Vekt for komplett siktesats, prøve ESPE23-MF01.

PRØVE-ID: ESPE23-MF01		
Størrelse sikt	Vekt	Kumulativ vekt
(d) [mm]	[g]	[%]
19	121,4	100,0
16	95,6	92,6
11,2	93,2	86,8
8	113,4	81,1
4	251,7	74,1
2	246,8	58,8
1	206,3	52,8
0,5	167,5	46,2
0,250	135,7	37,9
0,125	107,9	27,7
0,063	98,4	15,1

Tabell D1.8: Kornstørrelsesparametre

Prøve ID	D_{10}	D_{25}	D_{60}	D_{75}	M_d
VINS23-KL01	0,036	0,10	1,3	2,7	0,71
VINS23-KL02	0,071	0,27	2,7	9,4	1,5
VINS23-KL03	0,094	0,41	4,1	12,7	2,3
VINS23-MF01	0,040	0,14	1,6	3,6	0,78
VINS23-MF02	0,15	0,65	5,4	12	3
VINS23-JP01	0,21	1,1	4,7	17,1	6,4
ESPE23-MF01	0,038	0,11	2,2	4,1	0,79

D2 - Laserdiffraksjon

vedlegget inneholder prosentandel av analysert materiale for laserdiffraksjon som var mindre enn 66,9 μm .

Tabell D2.1: Prosentandel korn under 66,9 μm i prøvene.

Prøve ID	% < 66,9 μm
VINS23-KL01	87,6
VINS23-KL01	93,8
VINS23-KL03	93,5
VINS23-MF01	92,8
VINS23-MF02	95,2
VINS23-JP01	96,2
ESPE23-MF01	90,9

D3 - Petrografisk analyse

Vedlegget inneholder foto av fraksjon 16-19 mm av samtlige prøver, og utfylt analyse-skjema for petrografisk analyse.



Figur D3.1: Prøve VINS23-JP01, fraksjon 16-19mm.



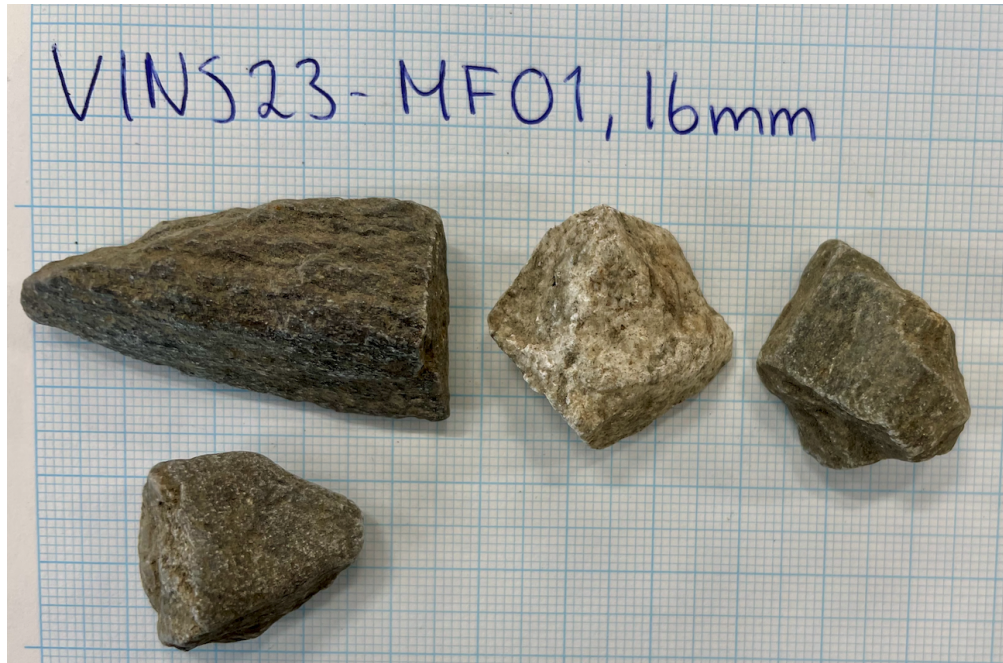
Figur D3.2: Prøve VINS23-KL01, fraksjon 16-19mm.



Figur D3.3: Prøve VINS23-KL02, fraksjon 16-19mm.



Figur D3.4: Prøve VINS23-KL03, fraksjon 16-19mm.



Figur D3.5: Prøve VINS23-MF01, fraksjon 16-19mm.



Figur D3.6: Prøve VINS23-MF02, fraksjon 16-19mm.



Figur D3.7: Prøve ESPE23-MF01, fraksjon 16-19mm.

Petrografisk analyse

Prøver:

VINS23-JP01

VINS23-KL02

VINS23-MF01

ESPE23-MF01

Mineral frikorn

Kvarts



Granat



Biotitt



Ukjent



Bergarter

Sandstein



Fyllitt



Glimmerskifer



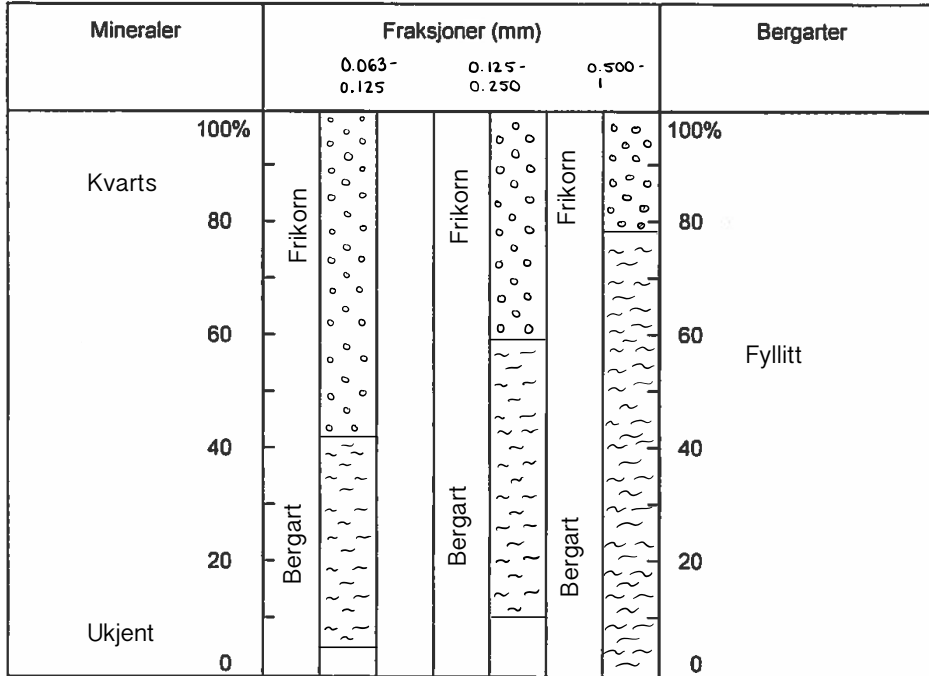
Granitt



Dioritt

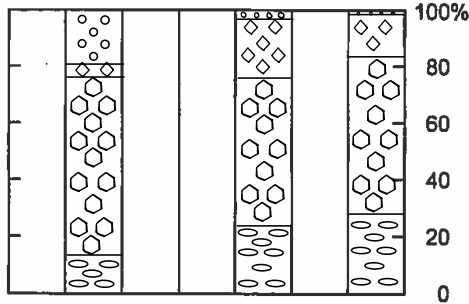


Mineral- og bergartssammensetninger



Kornform:

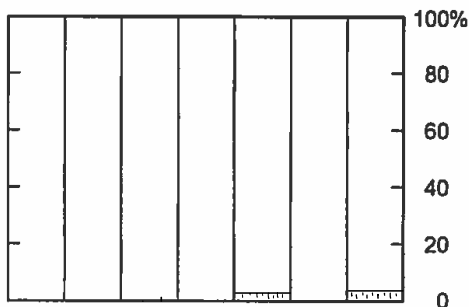
-  Flisige: Kubiske
-  Skarpk.
-  Kantslitt - noe rundet
-  Godt rundet



Om ønskelig skilles også rundingsgraden for flisige korn

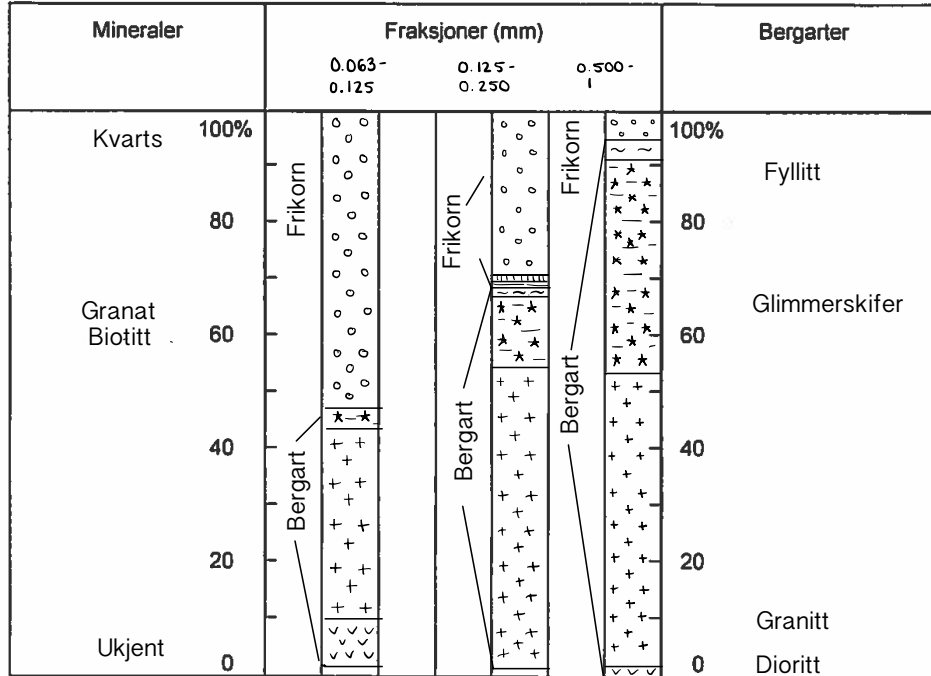
Svake og forvitrede korn:

-  Svake og forvitrede
-  Rest



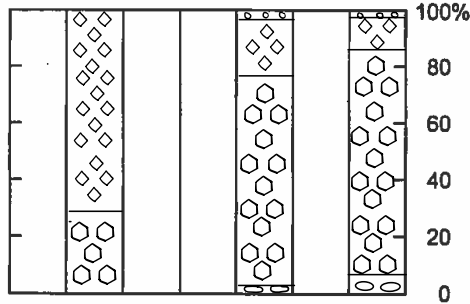
Forvitringstype:

Mineral- og bergartssammensetninger



Kornform:

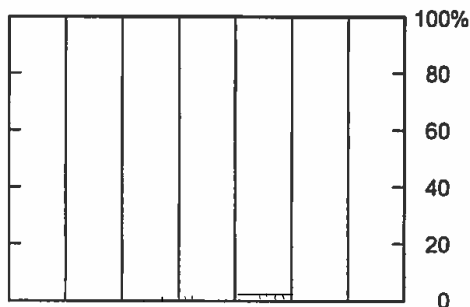
- Flisige: Kubiske
- Skarpk.
- Kantslitt - noe rundet
- Godt rundet



Om ønskelig skilles også rundingsgraden for flisige korn

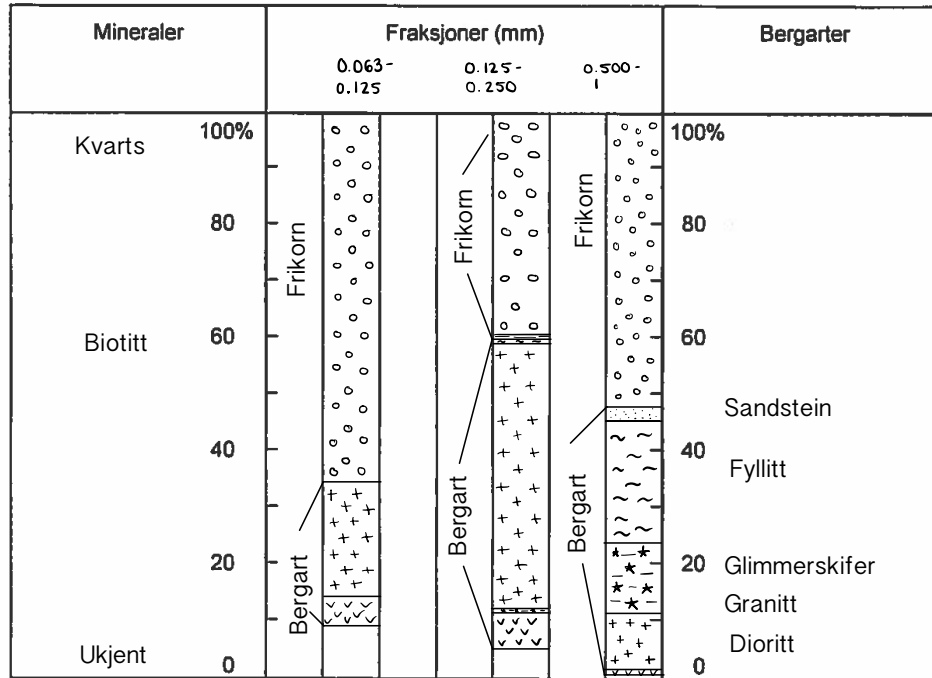
Svake og forvitrede korn:

- Svake og forvitrede
- Rest



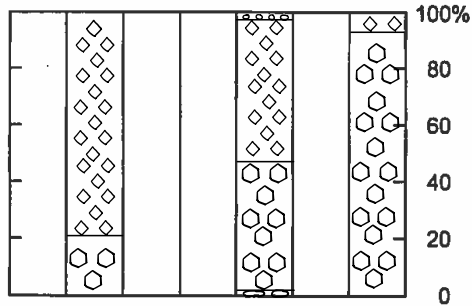
Forvitringstype:

Mineral- og bergartssammensetninger



Kornform:

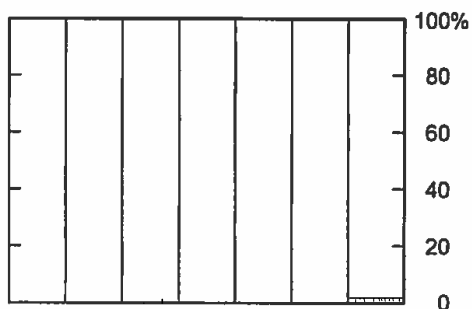
-  Flisige: Kubiske
-  Skarpk.
-  Kantslitt - noe rundet
-  Godt rundet



Om ønskelig skilles også rundingsgraden for flisige korn

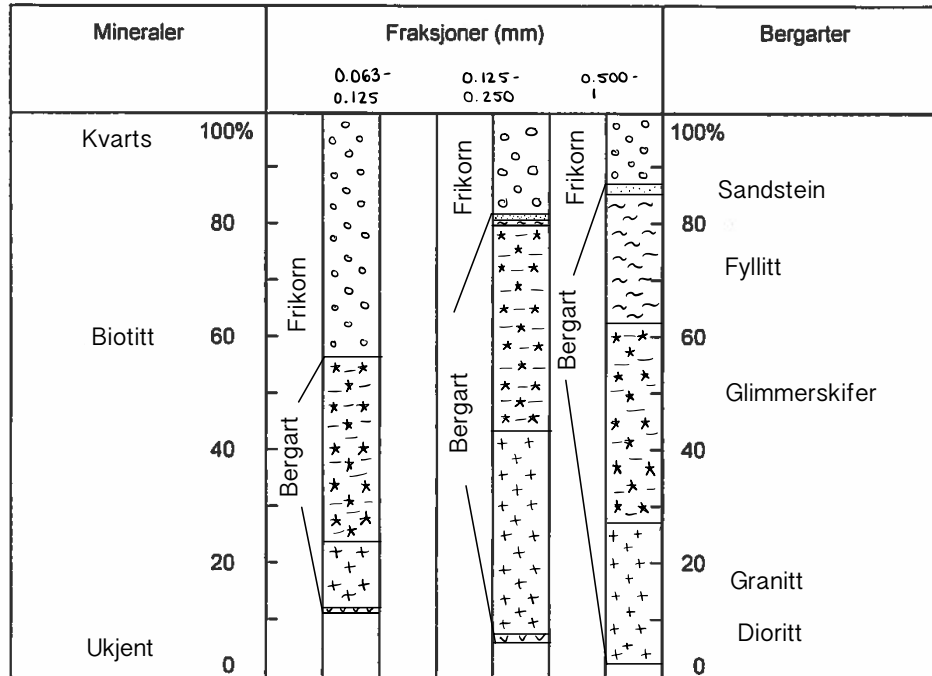
Svake og forvitrede korn:

-  Svake og forvitrede
-  Rest



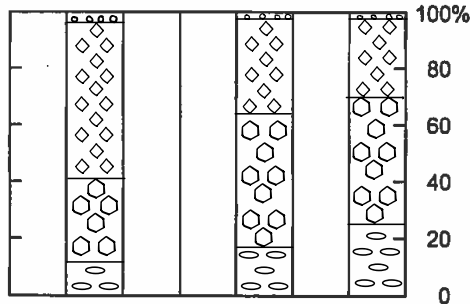
Forvitringstype:

Mineral- og bergartssammensetninger



Kornform:

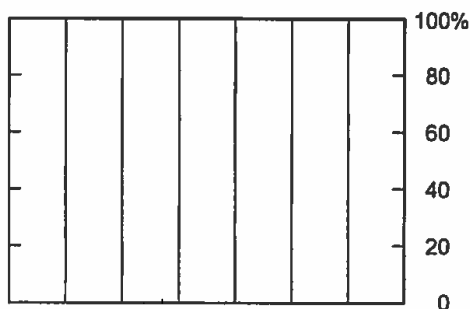
- Flisige: Kubiske
- Skarpk.
- Kantslitt - noe rundet
- Godt rundet



Om ønskelig skilles også rundingsgraden for flisige korn

Svake og forvitrede korn:

- Svake og forvitrede
- Rest



Forvitringstype:

