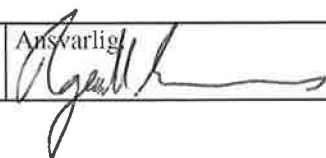


GEOLOGI FOR SAMFUNNET

GEOLOGY FOR SOCIETY



Rapport nr.: 2014.019		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
Tittel: Aktsomhetskart jord- og flomskred: Metodeutvikling og landsdekkende modellering			
Forfatter: Fischer, L. (NGU & GEOTEST AG, Sveits), Rubensdotter, L. & Stalsberg, K.		Oppdragsgiver: Norges vassdrags- og energidirektorat	
Fylke: Norge		Kommune:	
Kartblad (M=1:250.000)		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000)	
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetail: 72	Pris: 260 NOK
Feltarbeid utført: 2010, 2011, 2012		Rapportdato: 23.04.2014	Prosjektnr.: 332600
		Ansvarlig: 	
Sammendrag:			
<p>Denne tekniske rapporten beskriver metoden som ble utviklet for å utarbeide aktsomhetskart for jordskred og små og mellomstore flomskred i Norge. Rapporten oppsummerer metodeutviklingen, beskriver basisdataene, de utførte kalibreringene og selve resultatene samt kontrollen av datamodellen som er basert på feltarbeid og hendelsesanalyser.</p> <p>Jord- og flomskredprosesser forekommer over hele Norge, og utgjør en betydelig fare for bebodde områder og transportårer. Jordskred, flomskred og relaterte skredprosesser kan forekomme i ulike terrengetyper, forutsatt at nok løsmasser er tilgjengelig, skråningsvinkelen er bratt nok og topografien tilsier mulighet for periodevis høy vanntilførsel og økt porevanntrykk.</p> <p>For å dekke hele Norge i skala 1:50 000 er en eksisterende GIS-basert metode tilpasset og videreutviklet for Norges terreng-, klima- og skredforhold. Tilnærmingen er basert på Flow-R modellen (Horton et al., 2013) som er brukt i Alpene i flere år. Som input til modellen brukes en nasjonalt dekkende digital høydemodell (DHM) med 10 m oppløsning.</p> <p>For å identifisere potensielle kildeområder for et skred analyserer modellen i første omgang helningsvinkel, planarkurvatur og størrelse på det vanntilførende dreneringsområdet for hver DHM-celle. Hvis verdien i cellen er over en viss terskelverdi for hver egenskap, blir cellen markert som startsoner. Terskelverdiene er tilpasset for ulike regioner i Norge mht løsmassetype, tidligere skredaktivitet og høydemodellkvalitet. Skredutløpet blir beregnet fra hver av de modellerte startsonene ved hjelp av en 'multiple flow direction' modell (Flow-R; Horton et al., 2008). Modellen tar hensyn til topografien langs utløpet, og beregner i hvilken retning skredet kan bevege seg og hvor langt det kan komme.</p> <p>Resultatene av modelleringen viser både kilde- og utløpsområder som potensielt kan bli rammet av et jord- eller små og mellomstore flomskred, men viser IKKE kvikkleireskred, små utglidninger og store flomskred i slake elveløp. Modelleringsresultatene av skredutløpet, som også inneholder startsonene, blir brukt som aktsomhetskart for jord- og flomskred, og skal være tilgjengelig via www.skrednett.no og ved henvendelse til NVE.</p>			
Emneord: Jordskred	Flomskred	Aktsomhetskart	
GIS-modellering	FlowR		

INNHOOLD

1.	INNLEDNING	7
1.1	Bakgrunn	7
1.2	Generelt om aktsomhetskart	7
1.3	Avgrensning og grunnleggende begrep	7
2.	MODELLERINGSMETODE	10
2.1	Test av mulige modelleringsmetoder	10
2.2	Kort beskrivelse av den valgte metoden.....	10
3.	INPUT DATA	12
3.1	Høydedata data (DHM)	12
3.1.1	10 m DHM: datakilde, kvalitet og detaljeringsgrad	13
3.1.2	Påvirkning av DHM oppløsning og kvalitet	14
3.1.3	10 m-DHM: prosessering for modellinput	15
3.2	Landsdekkende løsmassekart (Løsmasser N50/N250, NGU).....	17
3.2.1	Klassifisering av løsmassetyper	17
3.3	Geomorfologisk tegn på historisk skredaktivitet.....	18
3.3.1	Bakgrunn	18
3.3.2	Kartleggingsmetode	19
3.3.3	Regionisering	20
4.	DETALJERT METODEBESKRIVELSE	22
4.1	Modellering av potensielle kildeområder	22
4.1.1	Identifisering av kildeområder	22
4.1.2	Inndeling av landets areal i soner	23
4.1.3	Endelige terskelverdisett for startsonemodellering	25
4.2	Utløpsmodellering	28
4.2.1	Retning og spredning (flow direction algoritme)	28
4.2.2	Persistens av utløpsretning	29
4.2.3	Resulterende flytandel per retning	29
4.2.4	Utløpslengde.....	30
4.2.5	Modelleringsprosess.....	30
4.3	Utvidet metode for mellomstore flomskred.....	32
4.3.1	Utgangspunkt	32
4.3.2	Tilpassning av startsonemodell for flomskred	33
4.3.3	Tilpassning av utløpsmodellering for flomskred	34
5.	FELTARBEID OG MODELLVALIDERING I TESTOMRÅDER	35

5.1	Utført feltarbeid	35
5.1.1	Detaljert feltarbeid på mindre områder	36
5.1.2	Omfattende feltkontroll av modelleringer over større områder	36
5.2	Videre metoder og datasett som ble brukt	37
6.	RESULTATER	38
7.	KONKLUSJONER	49
	REFERANSER	51
	VEDLEGG 1 – Landedekkende sonering	53
	VEDLEGG 2 - Fieldwork 2011 and analyses of modelled starting zones.....	54
	VEDLEGG 3- Statistiske analyser av løsmassetyper og skredhendelser i utvalgte områder - Magni Mausest, internship-rapport desember 2012	62

FIGURER

Fig. 1. Eksempler på jordskred og mellomstore flomskred. Bilde nede til venstre; NGI. Bilde oppe til høyre; T.H.Bargel, NVE.	9
Fig. 2. To ulike eksempler: Skjematisk visning av valgt modelleringsmetode i et bilde av jordskredhendelser (til venstre). Karteksempel (til høyre) av modelleringen med startsoner (grønne prikker) og utløpsmodelleringen (blå området).	11
Fig. 3. Terrengmodellen med 10 m oppløsning er basert to forskjellige datakilder.	12
Fig. 4. Forskjellen mellom en høy detaljeringsgrad i dalområder hvor DHM er basert på FKB-data, og den grovere karakter av detaljer i de høyereliggende områder som er basert på N50-data.	13
Fig. 5. Utløpsmodelleringen i et testområde i Tromsø er basert på en høydemodell med 25 m oppløsning (til venstre), og 5 m oppløsning (til høyre). De røde linjene avgrensner område kartlagt som skredavsetninger.	14
Fig. 6. Detaljeringsgraden i DHM påvirker startsonemodelleringen: I et område med ganske lik aktivitet over hele området får man med samme terskelverdisett i begge områder mange startsoner i det høydetaljerte området (FKB), men ganske få i det lavdetaljerte området (N50).	15
Fig. 7. De tre topografiske datasettene som er brukt i startsonemodelleringen for et utvalgt området. Kartene viser hele spekteret av verdier for hvert datasett. Planarkurvaturen er krumningen av overflaten vinkelrett på skråningsretning = langs en horisontal linje.	16
Fig. 8. Utsnitt av løsmassekartet (Løsmasser N50/N250) og det forenklete kartet med disse tre klassene for sammen området.	18
Fig. 9. Eksempler på de tre geomorfologiske aktivitetsklassene	19
Fig. 10. Eksempel på selve kartleggingstilnærmingen for geomorfologiske aktivitetsklasser. Trinn 1: kartlegging av aktivitet (punktsymbol for et område), Trinn 2: sonering basert på punktsymbolene og (dersom rimelig) langs bestående grenser av andre datasett.	20
Fig. 11. Regionene som ble det endelige resultatet av kartleggingen av geomorfologiske spor av jord- og flomskredaktivitet.	21
Fig. 12. Forenklet skjema for den indeks-baserte kombinasjonen av de tre topografiske egenskapene for identifisering av kildeområder (etter Horton et al., 2013). En celle er regnet som en startcelle når indeksen for alle input datasett er 1 samtidig.	22
Fig. 13. Basis datasett for soneringen: 1. DHM-datakilde, som skiller mellom områder som er basert på FKB-data og har høy kvalitet og områder som er avledet fra den landsdekkende 50x50 m DHM; 2. kvartærgeologisk kart (landsdekkende løsmassekart, Løsmasser N50/N250 (NGU), som ble forenklet til tre klasser, i.e. I: skredavsetninger, II: øvrige løsmasser, III: bart fjell). 3. Aktivitetsklasser: en oppdeling av Norges landareal med hensyn på grad av skredaktivitet. En kombinasjon av alle disse tre datasettene gir det endelige soneringskartet med soner med totalt 18 forskjellige terskelverdisett.	24
Fig. 14. Eksempel av det endelige soneringskartet for et område på Vestlandet, med soner for de forskjellige terskelverdisett beskrevet i Fig. 15. Fargeskaleringen av sonene samsvarer med Fig. 13 og 15.	25
Fig. 15. Endelig terskelverdisett med 18 klasser i jordskred/små flomskred-startsonemodellen.	27
Fig. 16. Prinsipper for jordskredmodelleringen for aktsomhetskartet.	28
Fig. 17. Illustrasjon av forplantningen og spredningen av sannsynlighetsverdi til nabocellene (fra Horton et al., 2013).	29
Fig. 18. Skjematisk fremstilling av den glidende overgangen mellom jord- og flomskredprosesser, og markeringen av prosessene som er dekket av modellen.	32

Fig. 19. Helningsvinkel i forhold til størrelse på det vanntilførende området, basert på registrerte hendelser (Heinimann, 1998; Rickenmann & Zimmermann, 1993): Jo større den vanntilførende flaten er, jo lavere kan helningsvinkelen være for at flomskred kan utløses. ...	33
Fig. 20. Terskelverdisett for startsonene i den utvidede modellen for mellomstore flomskred.	34
Fig. 21. Oversikt over områdene hvor detaljert feltarbeid og feltkontroll av modelleringen er utført. Markeringen er ikke skalert på størrelse av feltarbeidsområdet, men viser omtrentlig plassering.	35
Fig. 22. Oversikt over områdene hvor detaljert feltarbeid og feltkontroll av modelleringen er utført. Markeringen er ikke skalert til størrelse på feltarbeidsområdet, men viser omtrentlig plassering.	37
Fig. 23. Eksempel på jord/flomskredmodelleringen i området Nordfjord, Sogn og Fjordane.	39
Fig. 24. Eksempel på modellresultat; Jordskred og små flomskred (øverst) og mellomstore flomskred (midten) og kombinert modell (nederst).	40
Fig. 25: Jord- og små flomskred (øverst) og mellomstore flomskred (midten) og kombinert modell (nederst).	41
Fig. 26: Jord- og små flomskred (øverst) og mellomstore flomskred (midten) og kombinert modell (nederst).	42
Fig. 27: Eksempler fra områdene i fig. 24-26, med modellerte startsoner inkludert.	43
Fig. 28: Flomskredhendelse på sørsiden av Vågåvatnet, Vågå kommune, Oppland, og tilsvarende kartutsnitt av aktsomhetsmodelleringen. Blå: endelig utløpsmodellering, rød markering viser plasseringen av bildet, og de fiolette punktene er registrerte hendelser fra skrednett.no. (Foto: NGI)	44
Fig. 29. Bilder av en stor hendelse i 2013, Surnadal kommune, Møre og Romsdal, og tilsvarende utsnitt av aktsomhetskartet med hendelsesområdet med markert med rød ring (foto: Anders Aal, Stig Lillevik, SVV).	45
Fig. 30. Bilder av en stor skredhendelse i 2013, Vartdal, Ørsta kommune, Møre og Romsdal (foto: Kari Nygard Tvilde, NRK) og tilsvarende utsnitt av aktsomhetskartet med hendelsesområdet med markert med rød ring.	46
Fig. 31. Bilder av en jordskredhendelse i 2011 i Junkerdalen, Saltdal kommune, Nordland, og tilsvarende utsnitt av aktsomhetskartet med hendelsesområdet med markert med rød ring.	47
Fig. 32. Eksempel på de separate jord- og flomskredmodelleringens resultatene, før kombinasjonen av resultatene. Mørk blå: Resultat av jordskredmodellen, lilla resultat av flomskredmodellen.	48

TABELLER

Tab. 1. Eksempel på statistiske analyser av de første modelleringens resultatene som inkluderer soneringen, mot registrerte hendelser (skrednett.no) i to forskjellige områder på Vestlandet (1: Strynområdet, 2: kyststrøk).

Tab. 2. Testede og endelige verdier for utløpsmodelleringen av mellomstore flomskred.

1. INNLEDNING

1.1 Bakgrunn

Jord- og flomskredprosesser forekommer i mange regioner over hele Norge, og utgjør en betydelig fare for bebodde områder og transportårer. Jordskred, flomskred og relaterte skredprosesser kan forekomme i ulike terrengetyper, forutsatt at nok løsmasser er tilgjengelig, skråningsvinkelen er stor nok og topografien tilsier mulighet for periodevis høy vanntilførsel og økt porevanntrykk.

NGU og NVE startet i slutten av 2009 et prosjekt for å evaluere og utvikle metoder for aktsomhetskartlegging for jord- og flomskred i Norge. Sommeren 2010 ble det besluttet å bruke to forskjellige modelleringstilnæringer, én for store flomskred på den ene siden og én for jordskredprosesser på den andre siden. Målet var å samordne metode- og modellutvikling for prosessene jordskred og flomskred, hvor NGUs prosjekt skulle dekke jordskred. Den rene flomskredtilnærmingen var planlagt utviklet av NVE. Denne tilnærmingen vil ikke lenger bli diskutert i denne rapporten, ettersom arbeidet hos NVE ble nedlagt i slutten av 2012. En metode for å modellere jordskred og små flomskred ble utviklet av NGU. På slutten av prosjektet gjorde NGU en videreutvikling for å fange opp mellomstore flomskred i tillegg.

Innenfor rammen av dette prosjektet har NGU, i sluttfasen sammen med GEOTEST AG (Sveits), utviklet en modell som basis for aktsomhetskart for jordskred og små- og mellomstore flomskred. Modellen er beskrevet i detalj i denne rapporten.

1.2 Generelt om aktsomhetskart

Et aktsomhetskart for skred viser områder der skred kan løsne og hvor skred kan treffe, og identifiserer dermed områder med potensiell skredfare (NVE, 2011.14).

Riktig detaljeringsgrad på det aktuelle aktsomhetskartet vises når det betraktes i målestokk ca 1:50 000. Kartet er ment som et grunnlag for en første vurdering av skredfare i forbindelse med arealplanlegging og utbygging. I NVEs retningslinjer "Flaum- og skredfare i arealplanar" er dette beskrevet nærmere. Kartet sier ingen ting om skredhyppighet, og kan derfor ikke brukes for å vurdere utbygging etter sikkerhetskravene i byggeteknisk forskrift.

Aktsomhetskartet kan også brukes i samband med overvåkning og beredskap i spesielt utsatte områder der mer detaljerte kart ikke finnes. Det er tidligere utarbeidet tilsvarende kart for snøskred og steinsprang. Tilgangen på relevante geodata i et område er avgjørende for kvaliteten på skredfarevurderingene.

1.3 Avgrensning og grunnleggende begrep

Aktsomhetskartet for jordskred og små- og mellomstore flomskred er først og fremst laget som en hjelp til kommuner som ikke har fått utarbeidet faresonekart. Aktsomhetskartet skal:

- gi en oversikt over områder som kan rammes av jordskred eller små- og mellomstore flomskred.
- ha en veiledende målestokk på ca 1:50 000,
- dekke hele Fastlands-Norge.

En viktig forutsetning ved valg av modelleringsmetode er å vite hvilke prosesser som bør omfattes av aktsomhetskartet. Begrepene jordskred og flomskred blandes ofte sammen, fordi det også er en glidende overgang mellom prosessene (NVE, 2011.14). Jord- og flomskred omfatter et bredt spekter av massebevegelser i løsmasser (grus, sand, silt, jord, torv), både i

forskjellige miljø og med varierende mengde vann. I Norge ble en veiledende terminologi utviklet innenfor rammen av prosjektet "Nasjonal plan for statlig skredfarekartlegging" ledet av NVE. Definisjoner av prosessene og tilsvarende navn brukt i denne rapporten samsvarer med dokumentet; *Plan for skredfarekartlegging: Delrapport jordskred og flomskred* (NVE, 2011.16).

Jordskred starter ofte med en plutselig utglidning, men også med et gradvis økende sig i vannmettede løsmasser, og utløses som regel i skråninger brattere enn ca 25 graders helning. Jordskred i denne type bratt terreng kan ganske grovt omtales som kanaliserte eller ikke-kanaliserte jordskred. Førstnevnte opptrer i tykke løsmasseavsetninger, mens sistnevnte forekommer ofte der løsmassedekket er tynt (NVE, 2011.16)

Ulike former for jordskred: langstrakte jordskred, "trekantjordskred", kanaliserte og ikke-kanaliserte jordskred.

Flomskred er et hurtig, vannrikt, flomlignende skred som opptrer langs klart definerte elv- og bekkeløp og raviner, gjel eller skar der det vanligvis ikke er permanent vannføring. Vannmassene kan rive løs og transportere store mengder løsmasser, større steinblokker, trær og annen vegetasjon i og langs løpet. (NVE, 2011.16).

Med den modelleringsmetoden som ble valgt, og videreutviklet i dette prosjektet, kan det kartlegges potensielle områder for løsmasseskred av følgende typer:

- kanaliserte jordskred
- ikke- kanaliserte jordskred
- langstrakte og "trekantjordskred"
- små til mellomstore flomskred

Modellen viser IKKE:

- store flomskred med høy vannandel i slake elveløp
- kvikkleireskred
- små utglidninger

Overgangen mellom jord- og flomskred kan være flytende, og hver type i seg selv kan omfatte en rekke prosesser og variere i størrelse. Dette kompliserer sterkt modelleringen, ettersom ikke alle prosesser fra små jordskred- til store flomskredhendelser kan dekket av en modelleringsmetode. Vi har derfor tilpasset modelleringsmetoden til de ulike prosessstypene.



Fig. 1. Eksempler på jordskred og mellomstore flomskred. Bilde nede til venstre og høyre; NGI. Bilde oppe til høyre; T.H.Bargel, NVE.

2. MODELLERINGSMETODE

2.1 Test av mulige modelleringsmetoder

I den aller første fasen av prosjektet ble tre forskjellige tilnæringer for jord- og flomskredmodellering testet:

- a. Kanalklassifisering (channel classification)
- b. Klassifisering av nedbørfelt (classification of catchment areas)
- c. Kombinert modellering av kilde- og utløpsområder

Tilnærmingene a. og b. inneholder en klassifisering av bekker, elver og hele nedbørsfelt for å finne de som har potensial for jord- og flomskred. Ved hjelp av enkle flytalgoritmer i GIS (ArcHydro) og kjente terskelverdier ble bekke- og elveløp identifisert og nedbørsfelt avgrenset. I neste skritt ble de identifiserte kanalene og nedbørsfeltene klassifisert med logistisk regresjonsanalyse. Denne regresjonsanalysen er basert på topografiske parametre og registrerte skredhendelser (intern prosjektrapport NGU, 2010). Resultatene av de to metodene viser ingen entydig avgrensede områder med potensial for utløsning eller utløp av skred, men gir en generell klassifisering av bekke- eller elvestrekninger, eller hele nedbørsfelt.

I juni 2010 ble det bestemt av NVE og NGU at tilnærming c skulle brukes videre i prosjektet. Tilnærming c, som inneholder modellering av både kilde- og utløpsområder, gjør det mulig å kartlegge avgrensede områder med jord- eller flomskredpotensial. Det er kun tilnærming c og arbeidet med videreutvikling/tilpassning og modelleringen som beskrives videre i denne rapporten.

2.2 Kort beskrivelse av den valgte metoden

Her beskrives de anvendte modelleringsmetodene, soneringen av Norge og modellparametervalg i korte trekk. En mer detaljert beskrivelse finnes i kapittel 4 og 5. Den valgte tilnærmingen (c) er basert på en empirisk og GIS-basert modell FlowR (Horton et al., 2008; 2013) som ble utviklet av Institute of Geomatics and Risk Analysis (IGAR) University of Lausanne. Metoden, som i dette prosjektet ble tilpasset og videreutviklet for Norge, er delt inn i to hoveddeler:

1. Kildeområdene (også kalt startsoner) blir identifisert ved hjelp av en indeksbasert metode der grunnlaget er empirisk definerte terskelverdier for tre topografiske egenskaper som kan beregnes med hjelp av en digital høydemodell (DHM). De tre topografiske egenskapene hellingsvinkel, planarkurvatur og størrelse på det vanntilførende dreneringsområdet (alle avledet fra en DHM) er avgjørende for hvorvidt en DHM-celle blir utvalgt som startsoner (kapittel 4.1.1).

For hver topografisk egenskap (helning, planarkurvatur og størrelse på dreneringsområdet, se kapittel 4.1.3) blir det bestemt en terskelverdi for å skille ut de gridcellene som oppfyller alle kriteriene. Gjennom GIS-analyse blir alle gridcellene som oppfyller terskelverdikravet for de tre egenskapene identifisert som startsoner (grønne prikker i Fig. 2). Selve terskelverdiene er tilpasset for forskjellige regioner i Norge, basert på topografiske, morfologiske og geologiske soneringsdata (se kapittel 3 og 4.1.2).

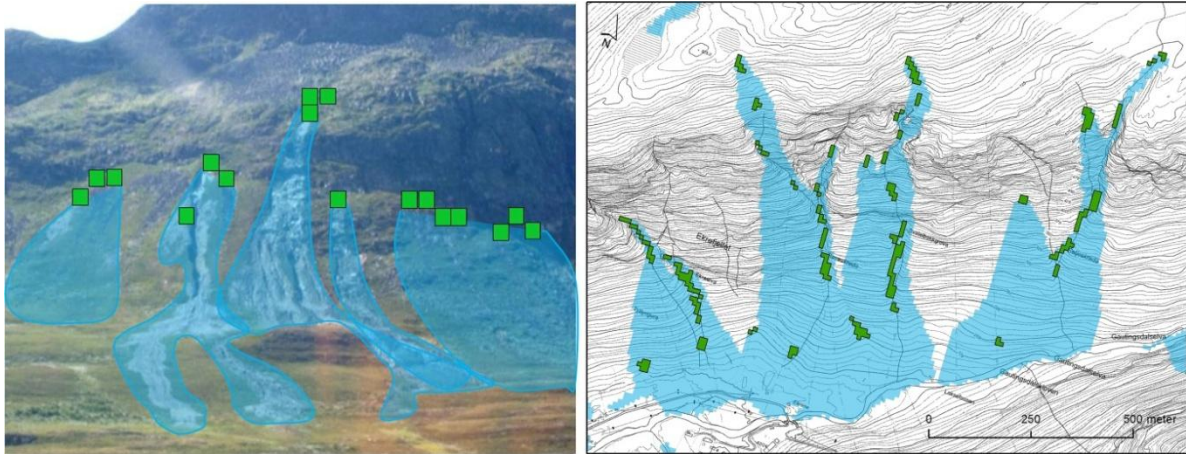


Fig. 2. To ulike eksempler: Skjematisk visning av valgt modellingsmetode i et bilde av jordskredhendelser (til venstre). Karteksempel (til høyre) av modelleringen med startsoner (grønne prikker) og utløpsmodelleringen (blå området).

2. Når startsonene er identifisert blir skredutløpet fra hver startzone beregnet ved hjelp av en 'multiple flow direction' modell (Flow-R; Horton et al., 2008), som tar hensyn til topografien langs utløpet. Med en probabilistisk metode beregner modellen i hvilken retning skredet beveger seg. Siktevinkelen og en angitt kinetisk energibegrensning bestemmer skredets utløpsrekkevidde (Fig. 2, blå områder).

Modelleringsresultatene viser både startsoner og utløpsområder som potensielt kan bli rammet av et jordskred eller små- til mellomstore flomskred. Modellparametrene er tilpasset ulike regioner i Norge basert på en et forenklet kart av best mulig tilgjengelige løsmassedata (*Løsmasser N50/N250*, NGU), og en sonering av landet mht tegn på tidligere skredaktivitet samt DHM-kvalitet.

Siden jord- og flomskred kan ha relativt forskjellige utløsningsbetingelser og forskjellige utløpsdistanser, ble modellen tilpasset både for jordskred og små- og mellomstore flomskred. Jordskreddelen fokuserer mer på situasjoner hvor skredet blir utløst i skråninger med et brudd i løsmassedekket (åpne skråninger og skråninger som viser kanalisert morfologi), mens flomskreddelen fokuserer på hendelser som starter med et brudd i løsmassene i selve bekkeløpet, oftest på grunn av høy vannerosjon.

3. INPUT DATA

Dette kapittelet beskriver de forskjellige datasettene som ble brukt i modelleringprosessen.

3.1 Høydedata data (DHM)

Vår modelleringstilnærming er basert på en digital høydemodell (DHM). En DHM, som også kalles digital terrengmodell (DTM), beskriver formen til en terrengoverflate og gir en tredimensjonal digital modell av landskapet. DHM data blir brukt i både, startsonemodellering, utløpsmodellering og som soneringsgrunnlag.

I begynnelsen av prosjektet var kun en høydemodell med 25x25 m oppløsning tilgjengelig for hele Norge, men en DHM med høyere oppløsning ble utviklet innenfor rammen av prosjektet for noen testområder. Modelleringen har blitt testet i utvalgte områder på høydemodeller med hhv 5 og 25 m, for å teste virkningen av ulike oppløsninger. Testene har vist at 25 m oppløsning ikke er detaljert nok for en landsdekkende modellering for aktsomhetskart jordskred (se kapittel 3.1.2).

Siden våren 2011 har en landsdekkende DHM med 10x10 m oppløsning vært tilgjengelig fra Kartverket.

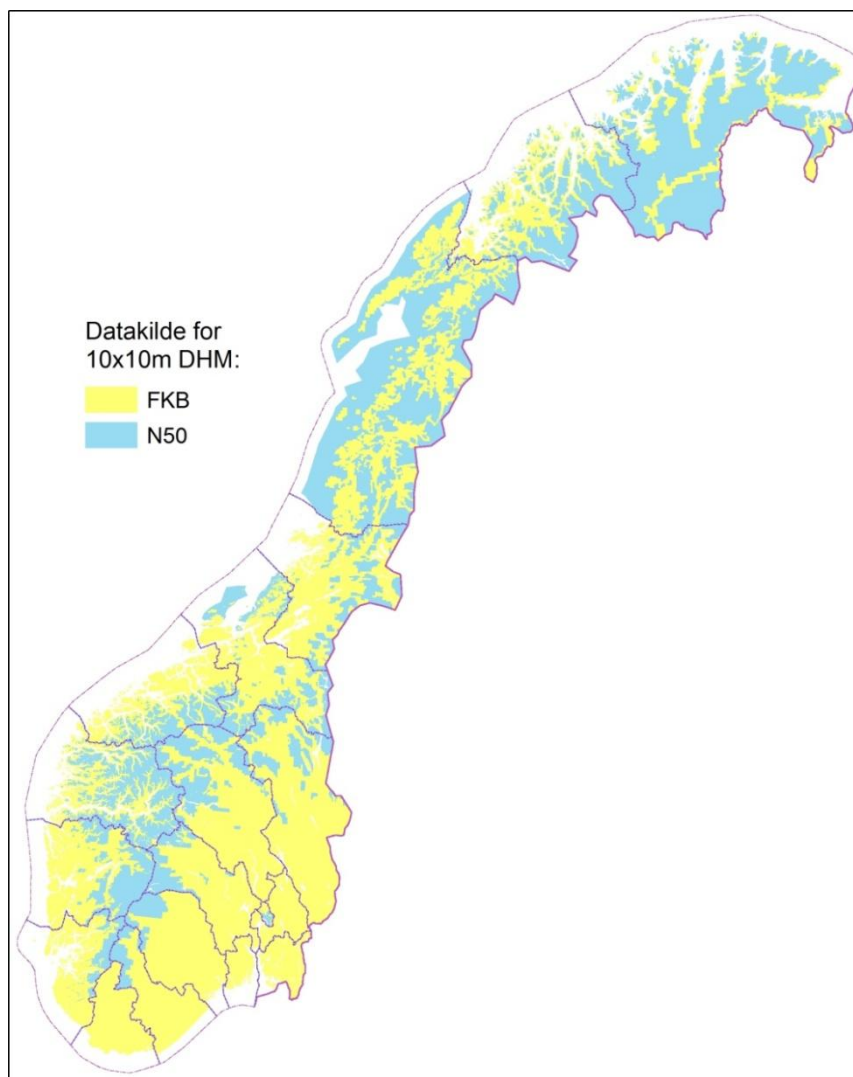


Fig. 3. Terrengmodellen med 10 m oppløsning er basert to forskjellige datakilder.

3.1.1 10 m DHM: datakilde, kvalitet og detaljeringsgrad

Kartverkets 10x10 m DHM er basert på forskjellige grunnlagsdata (Fig. 3). Høydemodellen er produsert med utgangspunkt i tilgjengelige FKB-data (standard høydegrunnlag FKB-H5, vann med høyde fra FKB-vanndata, vegsenterlinje fra Vbase). Utenfor FKB a-c området (f.eks. i høyereliggende og avsidesliggende områder) blir det som i tidligere DHM benyttet data fra N50 kartdata til bygge opp høydemodellen. Fig. 3 viser en romlig fordeling av bruken av de to datakildene. Forventet horisontal nøyaktighet er 2 - 3 meter i FKB a-c, og 4 - 6 meter i resten.

En kontroll av kvaliteten på DHM ble utført og viste at to ulike grunnlagsdata for 10 m høydemodellen fører til varierende kvalitet og detaljeringsgrad. Fig. 4 viser forskjellen mellom en høy detaljeringsgrad i dalområder hvor DHM er basert på FKB-data, og den grovere karakter av detaljer i de høyereliggende områder som er basert på N50-data. I områdene basert på N50 kartdata vises topografien mye jevnere, mindre utpreget og mindre detaljert enn der DHM er basert på de detaljerte FKB data. Tydelige grenser mellom de forskjellige detaljnivå er synlig i både fjellskyggefiguren og i den planare kurvaturen. Dette indikerer unøyaktigheter i de bearbejdede og sammenslåtte DHM-data. Detaljert beskrivelse av problematikken finnes også i Fischer et al., 2012.

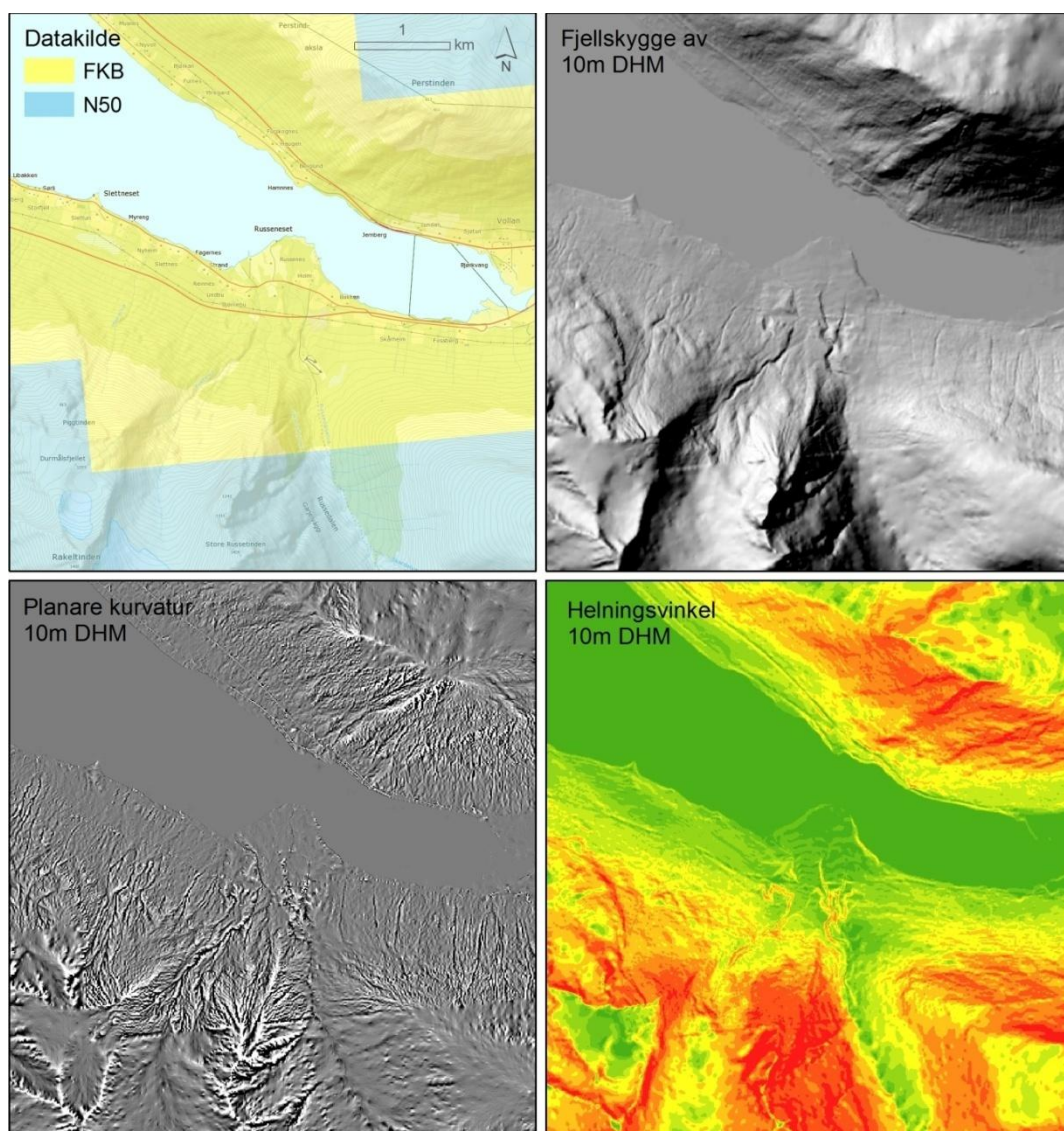


Fig. 4. Forskjellen mellom en høy detaljeringsgrad i dalområder hvor DHM er basert på FKB-data, og den grovere karakter av detaljer i de høyereliggende områder som er basert på N50-data.

Detaljeringsgraden i N50-områder er den samme som i grunnlagsdata med 50 m oppløsning, selv om en "down-sampling" til en 10m DHM ble utført. Dette betyr at vi fortsatt har ganske grove og udetaljerte DHM data over store områder med mye mindre detaljerte topografiske strukturer. Mest av alt kan det føre til problemer og ufullstendighet av startsonemodelleringen, men til dels også for utløpsmodellen.

3.1.2 Påvirkning av DHM oppløsning og kvalitet

I begynnelsen av prosjektet ble forskjellige DHM-oppløsninger testet. Både start- og utløpsmodelleringen ble gjort med DHM med 5 m, 10 m og 25 m -oppløsning. Resultatene ble sammenlignet med tilgjengelig detaljerte kvartærgeologiske kart for noen utvalgte områder og registrerte hendelser (fra skrednett.no og i prosjektet kartlagte, se kapittel 5).

Generelt viser resultatene fra modelleringen med en 10 m DHM eller med bedre oppløsning god overensstemmelse med jord- og flomskredspor som er kartlagt på detaljerte kvartærgeologiske kart. Resultatene som oppnås med en 25 m DEM derimot er for grov og går glipp av en stor del av de observerte kildeområder.

Fig. 5 viser en sammenligning av utløpsmodelleringen basert på en høydemodell med 25 m oppløsning (til venstre), og 5 m oppløsning (til høyre). For begge oppløsninger ble samme parametersett og terskelverdi brukt. Generelt samsvarer resultatene for 5 m høydemodellen godt med det som er registrert av observerte spor og hendelser på detaljerte kvartærgeologiske kart. Såpass høy oppløsning kan imidlertid gi en tendens til overvurdering av antall startområder.

Den reduserte detaljgraden i høydemodellen med 25 m oppløsning har følgende konsekvenser:

- En reduksjon av antall valgte startsoner; mange reelle startsoner blir ikke identifisert.
- Spredningen i utløpssonen blir for stor da terrenget ikke kom klart nok fram i høydemodellen.

Det ble derfor bestemt å basere modelleringen på DHM med 10 m oppløsning som har vært tilgjengelig for hele Norge siden 2011.

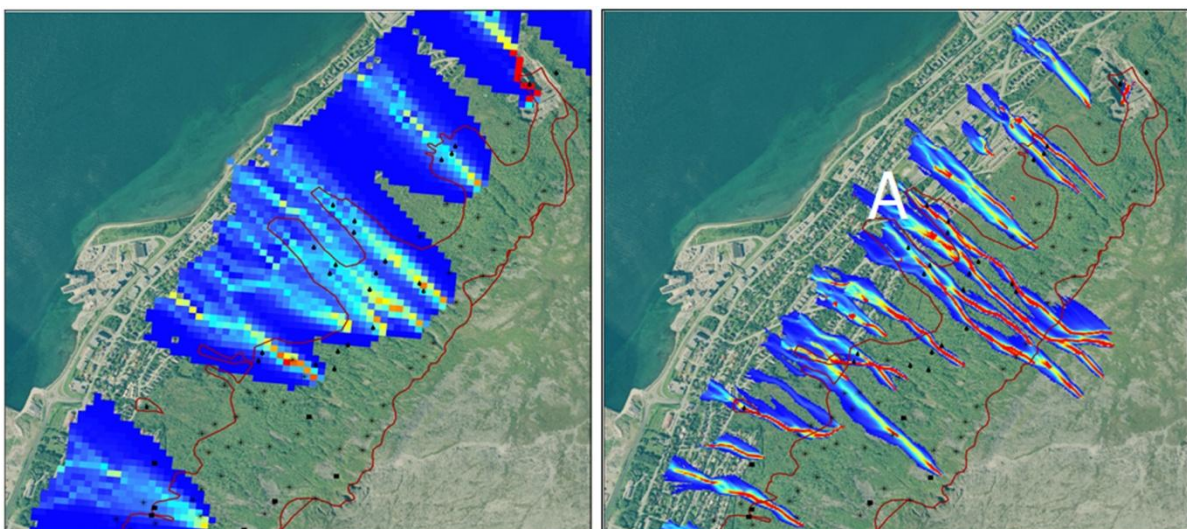


Fig. 5. Utløpsmodelleringen i et testområde i Tromsø er basert på en høydemodell med 25 m oppløsning (til venstre), og 5 m oppløsning (til høyre). De røde linjene avgrensner område kartlagt som skredavsetninger.

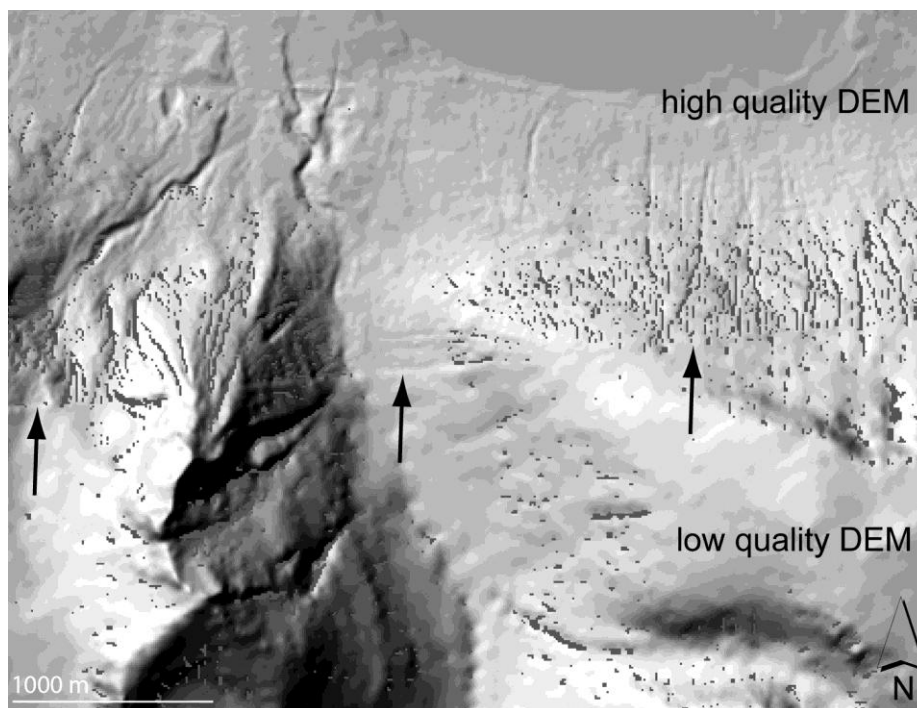


Fig. 6. Detaljeringsgraden i DHM påvirker startsonemodelleringen: I et område med ganske lik aktivitet over hele området får man med samme terskelverdisett i begge områder mange startsoner i det høydetaljerte området (FKB), men ganske få i det lavdetaljerte området (N50).

Likevel møter vi i områder med lav datakvalitet lignende problemer som med 25 m DHM. En tydelig, nesten horisontal overgangslinje er synlig midt i Fig. 6 på den skyggelagte DHM (angitt med piler), som viser grensen mellom to forskjellige basis-datasett som brukes for DHM kompilering. Når det blir brukt samme terskelverdi i startsonemodellen over hele området blir de fleste potensielle kildeområder påvist i områder med høy DHM-kvalitet, mens en stor del av de observerte kildeområdene forsvinner i områdene med N50-datakilde (interpolert fra 25 m eller 50 m-DHM).

3.1.3 10 m-DHM: prosessering for modellinput

DHM-data er tilgjengelig som .dem-filer, som dekker et område på 50 x 50 km hver. Oppløsning er 10 x 10 m, og hver fil har 5041 kolonner og 5041 rader og dermed eksisterer et overlappende området på 410 m på alle sider av filene. Totalt er det 259 DHM-filer som dekker hele Norge, og alle filene er tilgjengelig i koordinatsystemet WGS_1984_UTM_Zone_33N.

I første omgang ble de enkelte filene satt sammen til større files (ArcGIS-operasjon: 'mosaic to new raster', dataformat: .tiff). Det endelige produktet er fire store DHM-filer som dekker delområdene Sør/Vest-Norge, Midt-Norge, Nordland og Finnmark. I neste omgang ble relevante topografiske egenskaper beregnet i de fire delområdene. Helningsvinkel og planarkurvatur ble beregnet i ArcGIS (slope, curvature). Datasettet 'vanntilførende området' ble beregnet i RiverTools v3.0 (D-Infinity Grid: Upslope Area). ArcGIS verktøyet er ikke tilstrekkelig for denne beregningen, siden den er basert på 'single flow direction'.

Fig. 7 viser for et utvalgt område (Høyanger i Sogn og Fjordane) et kart med de tre topografiske datasettene som er brukt i startsonemodelleringen. Kartene viser hele spekteret av dataverdier for hvert datasett. I modelleringen blir det satt terskelverdi for å lage et indeksskart for hvert datasett (se kapittel 4.1.3).

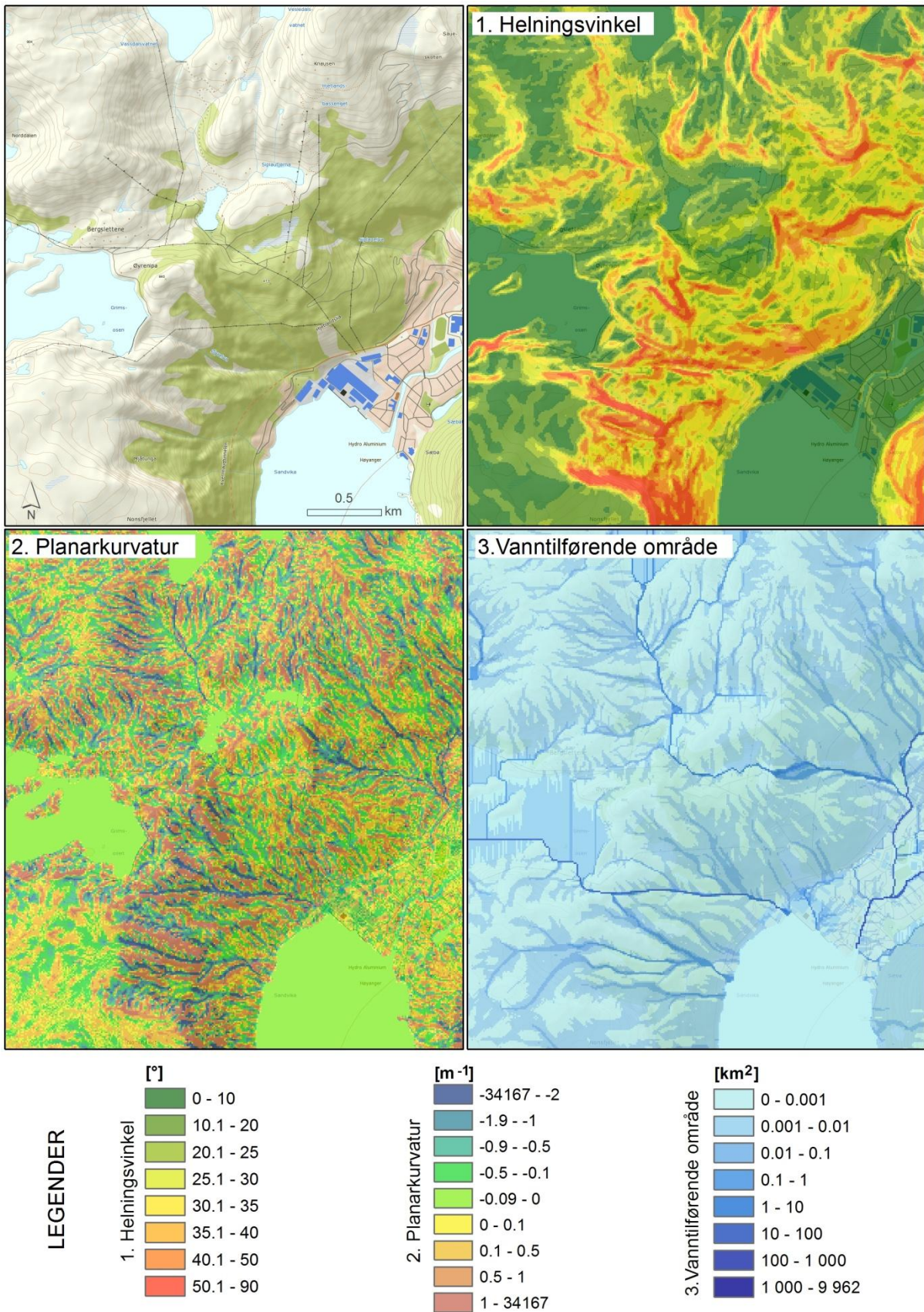


Fig. 7. De tre topografiske datasettene som er brukt i startsonemodelleringen for et utvalgt område. Kartene viser hele spekteret av verdier for hvert datasett. Planarkurvaturen er krumningen av overflaten vinkelrett på skråningsretning = langs en horisontal linje.

3.2 Landsdekkende løsmassekart (Løsmasser N50/N250, NGU)

Siden jord- og flomskred blir utløst i løsmasser, er det viktig å tilpasse startsonemodelleringen til løsmasstepene i området. Løsmassteper er importert fra den nasjonale landsdekkende løsmassedatabasen ved NGU (pr. januar 2011). Løsmassedataene og andre kvartærgeologisk data er delt in etter dannelsesprosess (genetisk klassifisering). Dette innebærer at det er prosessen som har dannet løsmassene som gir navn til avsetningen (f.eks. skråningsprosesser, fluviale prosesser og prosesser knyttet til isbreer). I disse dataene vises det også hvilke områder som bare har bart fjell i overflaten, uten løsmasser over.

Dataene i databasen stammer fra ulike kartlegginger, med varierende detaljeringsgrad i ulike områder, først og fremst i skala 1:50 000 men også 1:20 000 og 1:250 000. Fylkeskart (skala 1:250 000) finnes over hele landet, men 1:50 000-kart dekker bare deler. De mest detaljerte data fra alle områder er samlet i ett datasett; *Løsmasser N50/N250*. Dataene viser kun hvilken løsmassteper som dominerer i de øverste meterne, men tykke og tynne lag av andre løsmassteper kan finnes dypere ned under terrengoverflaten.

Datagrunnlaget for tema jordarter i databasen er først og fremst basert på innholdet i analoge kvartærgeologiske kart. Kartene er digitalisert ved hjelp av skanning og vektorisering. De originale kartene inneholder også punkt og linjeinformasjon om terrengformer, kornstørrelse, isskuring etc., men det er bare polygondata over løsmassteper som er brukt i jordskredmodellen.

3.2.1 Klassifisering av løsmassteper

For å redusere antallet løsmassteper i det originale datasettet (over 60 typer), og i tillegg redusere påvirkningen av den varierende kartleggingskvaliteten noe, ble det gjort en forenkling av løsmassedata ved å slå sammen lignede typer til et mindre antall klasser. Basert på feltobservasjoner og statistiske analyser av løsmassekart og skredhendelser (VEDLEGG 2 og VEDLEGG 3), ble det laget en inndeling med 3 løsmasseklasser. De tre klassene ble valgt med hensyn til hvor sensitive de respektive løsmasstepene generelt er for utløsning av jord- eller flomskred. Fig. 8 viser et utsnitt av løsmassekartet (Løsmasser N50/N250) og det forenklete kartet med disse tre klassene for samme område.

Klasse I (mest sensitive):	skredmateriale/ skredavsetninger
Klasse II: (middels sensitive):	øvrigt løsmasser (morene, innsjø-/ marine avsetninger, torv/myr/humus)
Klasse III (minst sensitiv):	bart fjell

Områder kartlagt som bart fjell blir betraktet som potensielle løsneområder for jordskred da det ofte kan finnes noe tynne løsmasser drapert på fjellet, spesielt i 1:250 000 dataene.

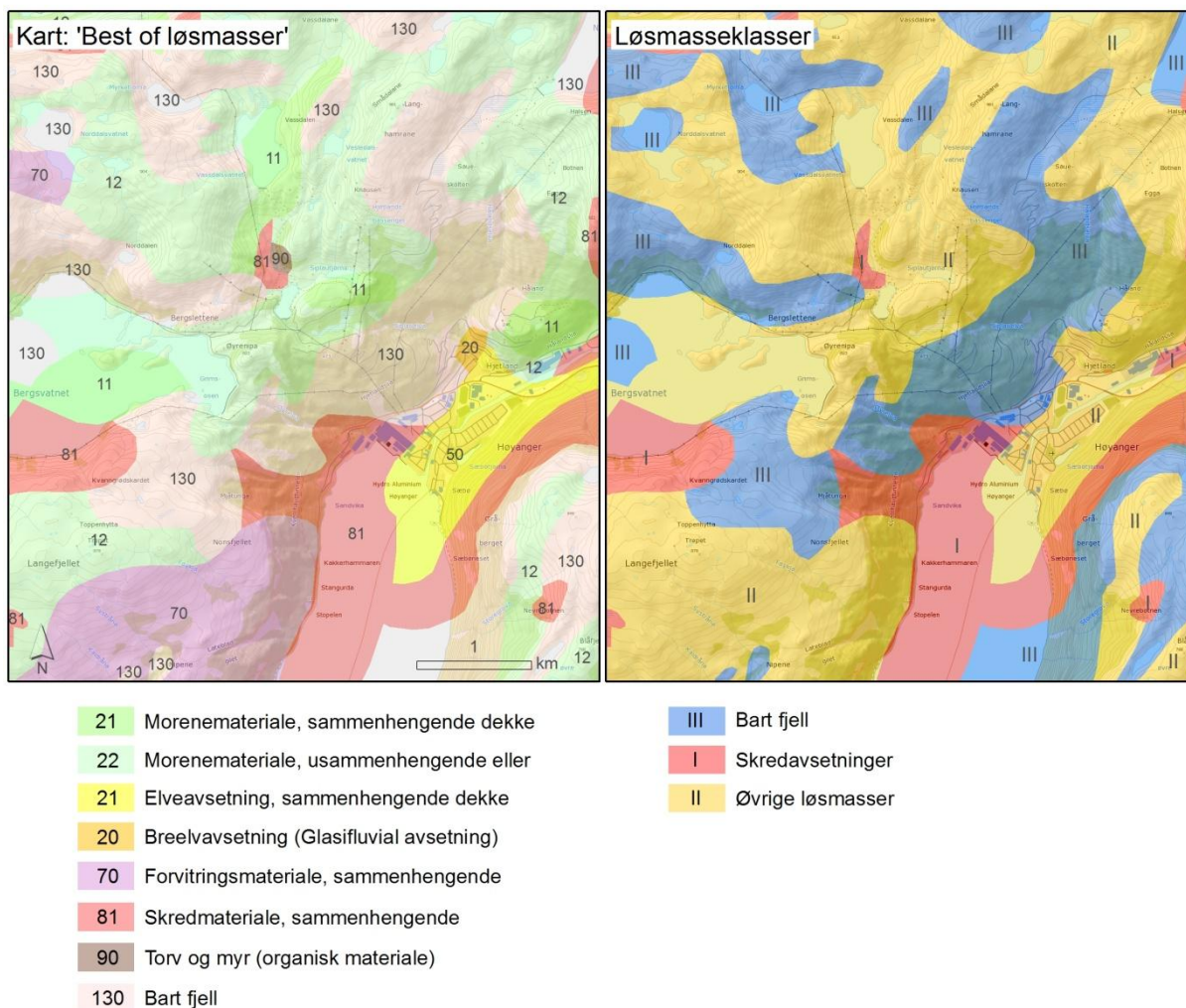


Fig. 8. Utsnitt av løsmassekartet (Løsmasser N50/N250) og det forenklete kartet med disse tre klassene for sammen området.

3.3 Geomorfologisk tegn på historisk skredaktivitet

3.3.1 Bakgrunn

Under arbeidet med å bruke løsmassedata i modelleringen ble det klart at også variasjoner i berggrunn og klima spiller en stor rolle for potensialet for utløsning av jordskred. Det ble vurdert å legge berggrunnsgeologi direkte inn som en faktor i modellen slik det gjøres i blant annet Sveits, (Horton et al., 2008), men dette viste seg umulig for Norge på nasjonal skala.

Direkte kartlegging av geomorfologiske tegn på tidligere jord- og flomskredaktivitet ble derfor planlagt og utført innenfor rammen av dette NGU-prosjektet. Målet var å dele opp Norges landareal med hensyn til grad av synlige jord og flomskredsspor og derved skape et landsdekkende konsistent datasett av fortidens massebevegelsesaktivitet og bruke dette som inngangsdata for tilpassning av terskelverdiene i startsonemodelleringen.

Kartleggingen vil til en viss grad kompensere for at berggrunn ikke er direkte med i modellen og for den varierende kvaliteten på løsmassedata. Begrunnelsen er at mange geomorfologiske spor etter jordskredsaktivitet de siste 10 000 år (etter siste istid) i et gitt geografisk område vil indikere at dette aktuelle landskapet er generelt utsatt for jordskred. Denne totale sårbarhet er

da et resultat av i) berggrunnsgeologiske forutsetninger, som påvirker talusdannelse og egenskaper til talusen, ii) klimatiske forutsetninger; temperaturforutsetninger som påvirker forvitring og type nedbør gjennom året, eller nedbørfrekvens og intensitet; iii) en kombinasjon av disse eller andre parametre.

Den summerte kartleggingen skiller ut tre geomorfologiske klasser som viser ulike grader av jord- og flomskredsaktivitet og representerer derved ulike balanser i samspillet mellom litosfære, atmosfære, hydrosfære, pedosfære og biosfære i ulike områder av landet.

3.3.2 Kartleggingsmetode

Kartleggingen er basert på visuelle analyser av landskapet i Norgei3D (Norkart). I Norgei3D er høyoppløselige flyfoto over hele landet drapert over en terrengmodell. Dette gir en 3D - visualisering av landskapet som kan sees fra selvvalgte vinkler. Verktøyet fungerer på linje med det mer kjente Google Earth, men benytter bedre flyfoto.

Den visuelle tolkningen av graden av skredaktivitet i et område ble digitalisert som punktinformasjon i GIS (trin 1 i Fig. 10). For å dekke hele Norge ble daler, dalsider, eller i noen tilfelle mindre separate fjellmassiv vurdert som enheter.

Den opprinnelige klassifiseringen bestod av en 4-deling med 1) høy, 2) middels, 3) lav og 4) meget lav eller ingen jord- eller flomskredaktivitet kunne iakttas. Kriteriene for klassene var:

Klasse 1 - høyeste aktivitet med mange (5 eller fler) synlige jord- eller flomskredløp pr enhet.

Klasse 2 - noen (ca1-3) synlige løp og avsetninger. I tillegg geologiske og topografiske forhold som egner seg til flomskred.

Klasse 3 - ingen tydelige løp, men mulig avsetning og/eller egnet morfologi til flomskred

Klasse 4 - ingen tegn til jordskredaktivitet (grunnet for flat topografi eller fullstendig fravær av sedimenter)

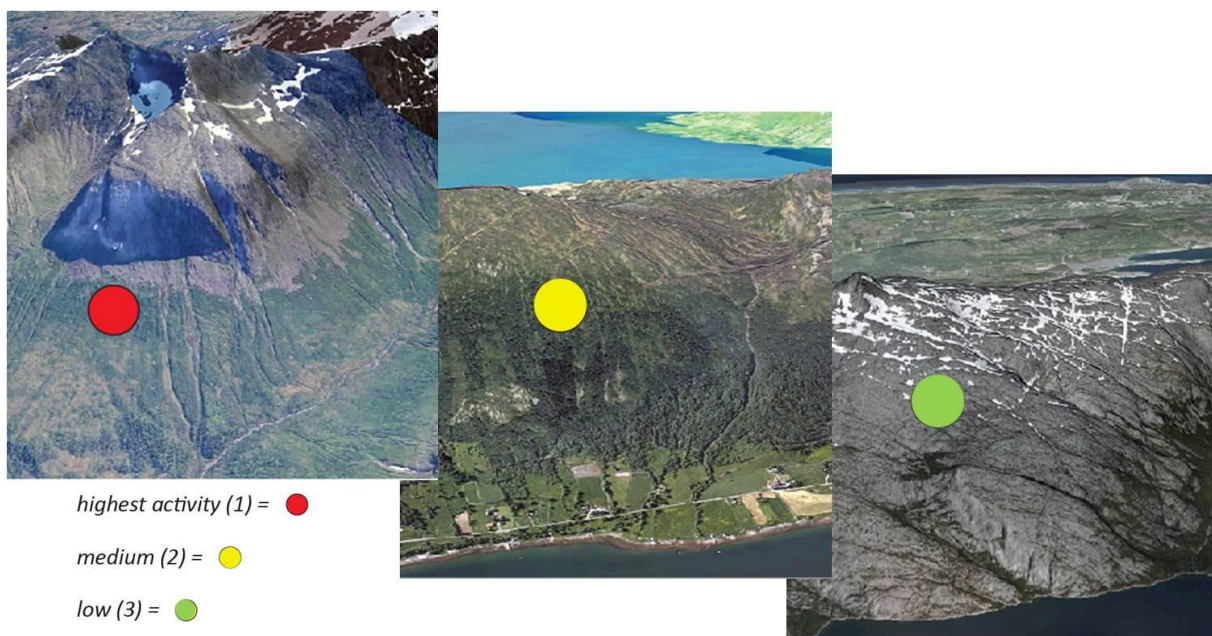


Fig. 9. Eksempler på de tre geomorfologiske aktivitetsklassene

Etter den første kartleggingen ble det bestemt å forenkle resultatene til tre klasser, og klasse 3 og 4 ble satt sammen til en klasse, slik at den endelige regioniseringen av tidligere jord- flomskredaktivitet ble tredelt (Fig. 9 og Fig. 10):

- Klasse 1: Områder som viser mange synlige spor av jord- og flomskredhendelser, og både morfologi og typen løsmasser er svært godt egnet for jord- og flomskred.
- Klasse 2: Områder med middels aktivitet viser noen synlige spor av jord- og flomskredhendelser. Morfologien er godt egnet for jord- og flomskred.
- Klasse 3: Disse områdene har få eller er helt uten klare spor etter tidligere aktivitet, men noen deler kan ha en morfologi som gir mulighet for løsmasseskred. I tillegg er områdene uten noe spor etter jord- og flomskred i denne klassen (pga store områder med flat topografi eller fullstendig fravær av sedimenter).

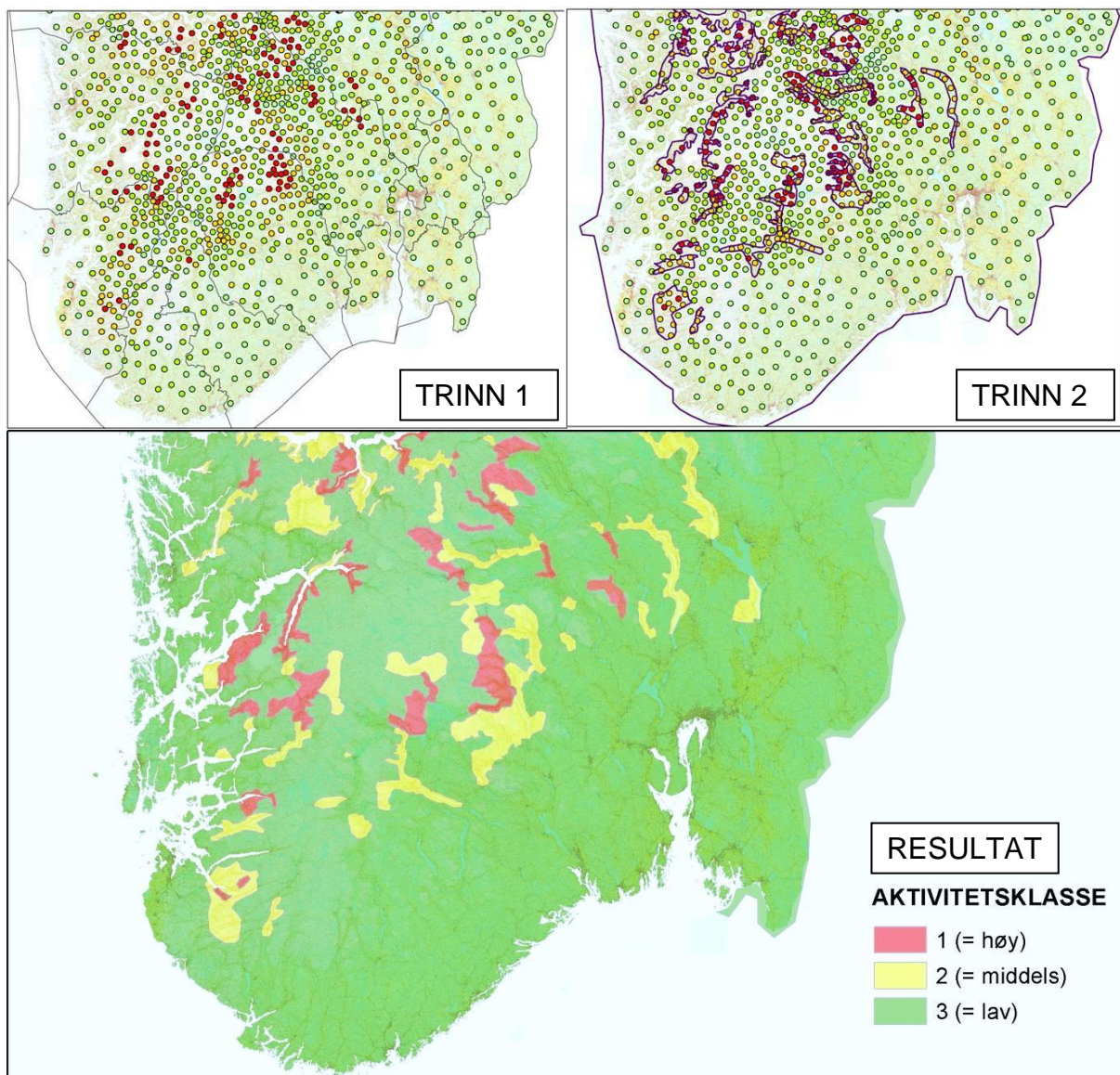


Fig. 10. Eksempel på selve kartleggingstilnærmingen for geomorfologiske aktivitetsklasser. Trinn 1: kartlegging av aktivitet (punksymbol for et område), Trinn 2: sonering basert på punksymbolene og (dersom rimelig) langs bestående grenser av andre datasett.

3.3.3 Regionisering

Etter at klassifiseringen av hele landet var gjennomført som punktmarkering, ble det trukket grenser rundt områder med samme geomorfologiske aktivitetsklasse (kartlegging av

polygoner; trinn 2 i Fig. 10). Plasseringen av grensene ble valgt med referanse til/støtte på synlige/relevante grenser/overgang på topografiske kart, geologiske kart (NGU), et landskapsregionskart (Nasjonalt referansesystem for Landskap, O. Puschmann) og REGINE-data som sidedebørsfelt og vassdragsområder (VSN og VDO, fra NVE). Grensene mellom ulike regioner for tidligere jord- og flomskredaktivitet samsvarer med grensene for de nevnte datasett hvor dette er rimelig. Men jord- og flomskredaktivitet styres av samspillet mellom en rekke faktorer (bergart og morfologi, tektonikk, løsmasstype, klimatologiske forhold), og derfor var det ikke alltid mulig å knytte aktivitetsgrensene til eksisterende grenser fra benyttet datagrunnlag.

De kartlagte regionene kan ha mer enn en klasse innenfor grensene, mest der hvor variabiliteten var stor. Ved slike tilfeller er et føre-var prinsipp brukt og dermed kan enkeltpunkter med lavere aktivitetsklasse finnes innenfor grensene til regioner med høyere klasse, men ikke omvendt. For eksempel kan et klasse 3 punkt ligge innenfor et klasse 2 område, men ikke omvendt.

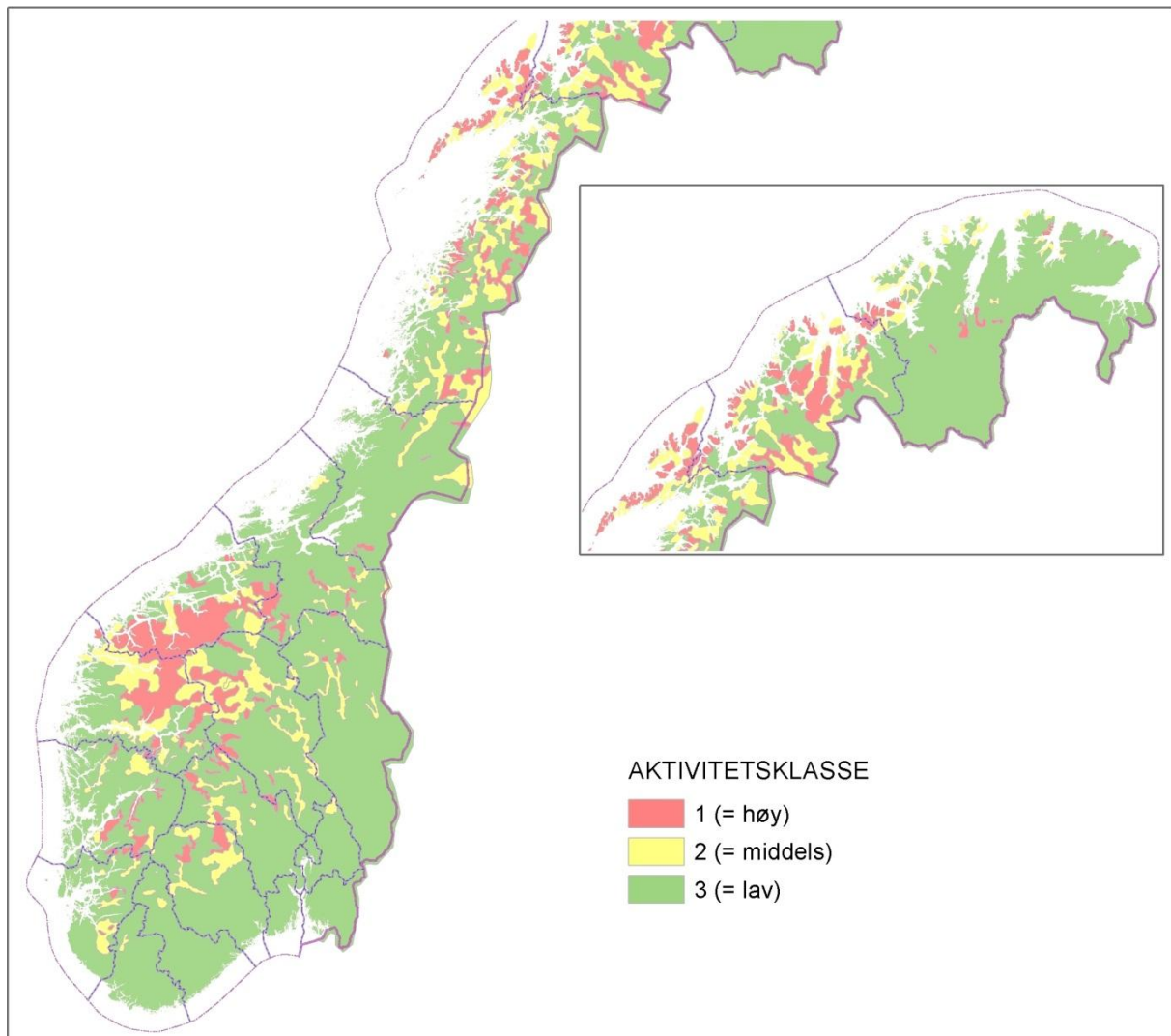


Fig. 11. Regionene som ble det endelige resultatet av kartleggingen av geomorfologiske spor av jord- og flomskredaktivitet

4. DETALJERT METODEBESKRIVELSE

Siden jord- og flomskred kan ha relativt forskjellige utløsningsbetingelse og forskjellige utløpsdistanser, ble modellen tilpasset både for jordskred og mellomstore flomskred. Jordskreddelen fokuserer mer på situasjoner hvor skredet blir utløst i skråninger med et brudd i løsmassedekket (åpne skråninger og også skråninger som viser kanaliserte morfologi) og er beskrevet i kapittel 4.1 og 4.2. Flomskreddelen fokuserer på hendelser som starter med brudd i materialet i selve bekkeløpet, oftest p.g.a. bekkeerosjon, og som kan ha lengre utløpslengder (kapittel 4.3)

4.1 Modellering av potensielle kildeområder

4.1.1 Identifisering av kildeområder

I henhold til Rickenmann og Zimmermann (1993) og Takahashi (1981), er tre geomiljøfaktorer i en kritisk kombinasjon relevant for å utløse jord- og flomskredhendelser: helningsvinkel, vanntilførsel, og tilgjengelighet av løsmasse.

For identifiseringen av potensielle kildeområder (også kalt startsoner) bruker vi en indeksbasert tilnærming som er basert på empiriske terskelverdi av de tre topografiske egenskapene (helningsvinkel, planarkurvatur, vanntilførende område; se kapittel 3.1.3). For hver topografisk egenskap blir det bestemt en tilsvarende terskelverdi, som skiller gridceller som oppfyller kriterium fra de som ikke oppfyller kriteriet (f.eks. bratt nok, nok stort vanntilførende området, se kapittel 4.1.3). Følgelig er gridcellene av hvert datasett med GIS-analyser klassifisert som 1 (i Fig. 12 markert med grønn) når den oppfyller motsvarende terskelverdikrav, og som 0 (i Fig. 12 markert med rød) når den ikke oppfyller terskelverdikrav. En gridcelle blir regnet som en startcelle når indeksen for alle input datasett er 1 samtidig.

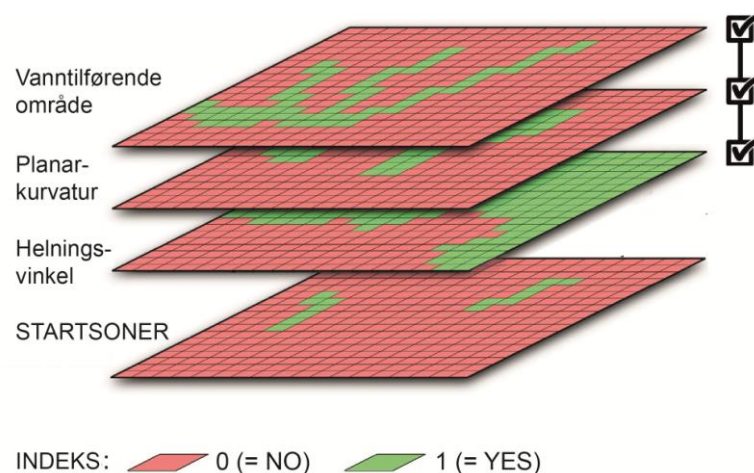


Fig. 12. Forenklet skjema for den indeksbaserte kombinasjonen av de tre topografiske egenskapene for identifiseringen av kildeområder (etter Horton et al., 2013). En celle er regnet som en startcelle når indeksen for alle input datasett er 1 samtidig.

4.1.2 Inndeling av landets areal i soner

På grunn av veldig varierende topografi, geomorfologi, geologi, løsmassedekke og klima i Norge kan vi ikke bruke same terskelverdi over hele landet. Det trengs en inndeling av landets areal i soner med tilpassede terskelverdisett for ulike landskap og regioner. En annen grunn til tilpasningen av metoden *middels sonering* er at vi ikke kunne bruke løsmassedata som direkte inputdata i startsonidentifiseringen. Derfor bruker vi forenklete løsmasseklasser for soneringen (jf. kapittel 3.2).

Flere datasett ble vurdert som mulige grunnlag for en inndeling av Norge i forskjellige soner med en tilpasset modellparametrisering (se VEDLEGG 2 og VEDLEGG 3). Blant disse datasettene var berggrunnskart over hele Norge i målestokk 1:250.000 (NGU), løsmassekart (NGU), landskapsregioner (Puschmann, 2005), topografiske klasser (Etzelmüller et al., 2007). Til slutt ble de valgt tre tilgjengelige landsdekkende datasett:

- DHM-datakilde (gir informasjon om detaljeringsgraden av DHM)
- kvartærgeologisk kart (landsdekkende løsmassekart (Løsmasser N50/N250, NGU) som ble forenklet til tre klasser: gir en grov referanse på tilgjengelighet av løsmasse)
- en oppdeling av Norges landareal med hensyn på grad av tidligere skredaktivitet.

En detaljert beskrivelse av disse basisdatasettene finnes i kapittel 4.

Fig. 13 viser for et utvalgt område (Høyanger, Sogn og Fjordane) alle brukte soneringsdatasett som består av to DHM-datakildeklasser (Fig. 13.1), tre løsmasseklasser (Fig. 13.2), og tre aktivitesklasser (Fig. 13.3). Basert på en kombinasjon av disse tre datasett får vi 18 mulige kombinasjoner av terskelverdier for inndeling i soner (Fig. 13.4).

Terskelverdier i hver av disse sonene kan bli tilpasset for ulike løsmassetyper og ulik grad av tidligere skredaktivitet og mht DHM-datakilde. Basert på de svært ulike forholdene i Norge, ble modellen tilpasset lokalt med 18 ulike sett av terskelverdier. Prosessen med denne metodeutviklingen var iterativ og ble forbedret basert på modelleringer i testregioner, hendelseanalyser og feltarbeid på forskjellige testområder over hele landet.

Kalibreringen av terskelverdiene og de endelige settene av terskelverdier er beskrevet i kapittel 4.1.3.

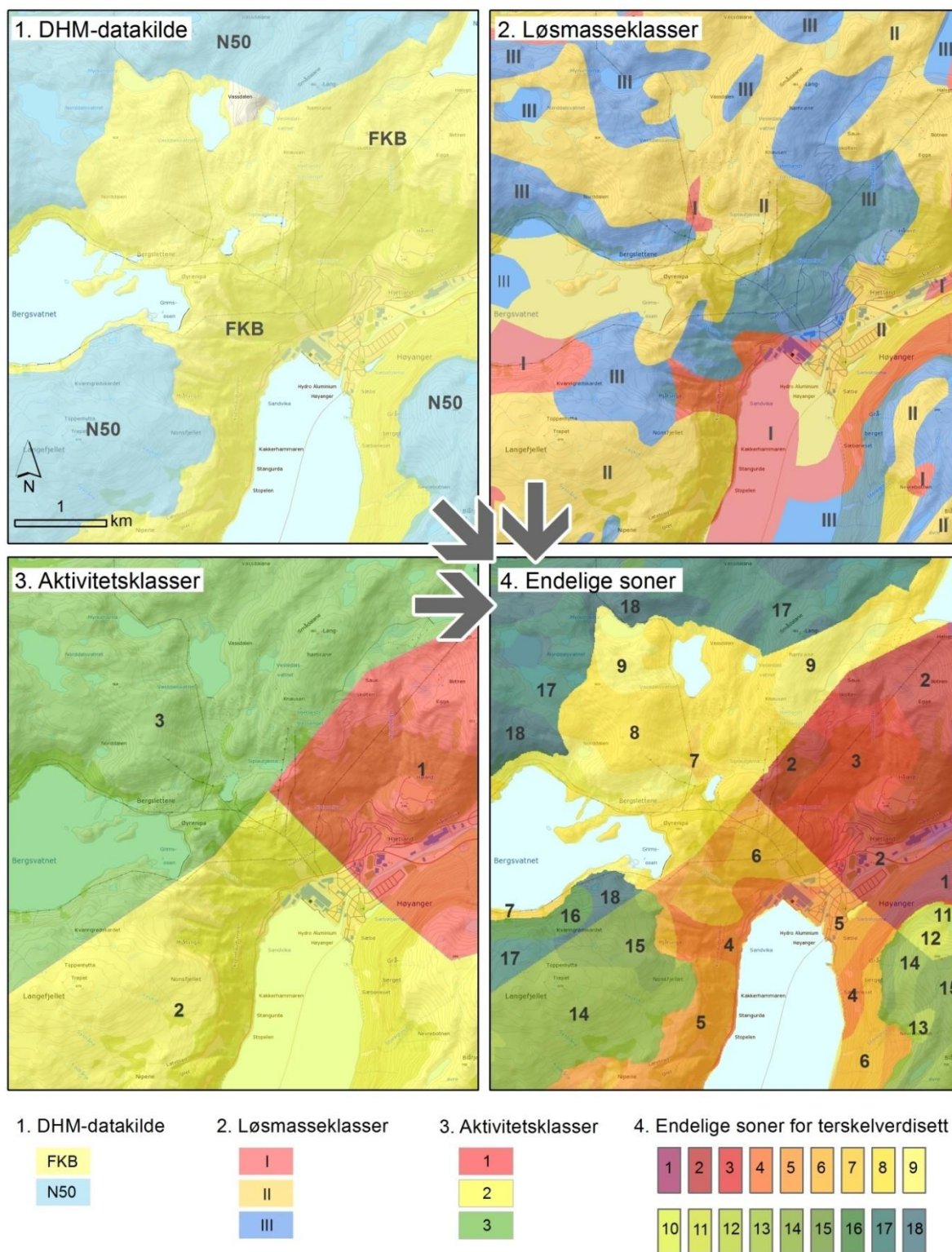


Fig. 13. Basis datasett for soneringen: 1. DHM-datakilde, som skiller mellom områder som er basert på FKB-data og har høy kvalitet og områder som er avledet fra den landsdekkende 50x50 m DHM; 2. kvartærgeologisk kart (landsdekkende løsmassekart, Løsmasser N50/N250 (NGU), som ble forenklet til tre klasser, i.e. I: skredavsetninger, II: øvrige løsmasser, III: bart fjell). 3. Aktivitetsklasser: en oppdeling av Norges landareal med hensyn på grad av skredaktivitet. En kombinasjon av alle disse tre datasettene gir det endelige soneringskartet med soner med totalt 18 forskjellige terskelverdisett.

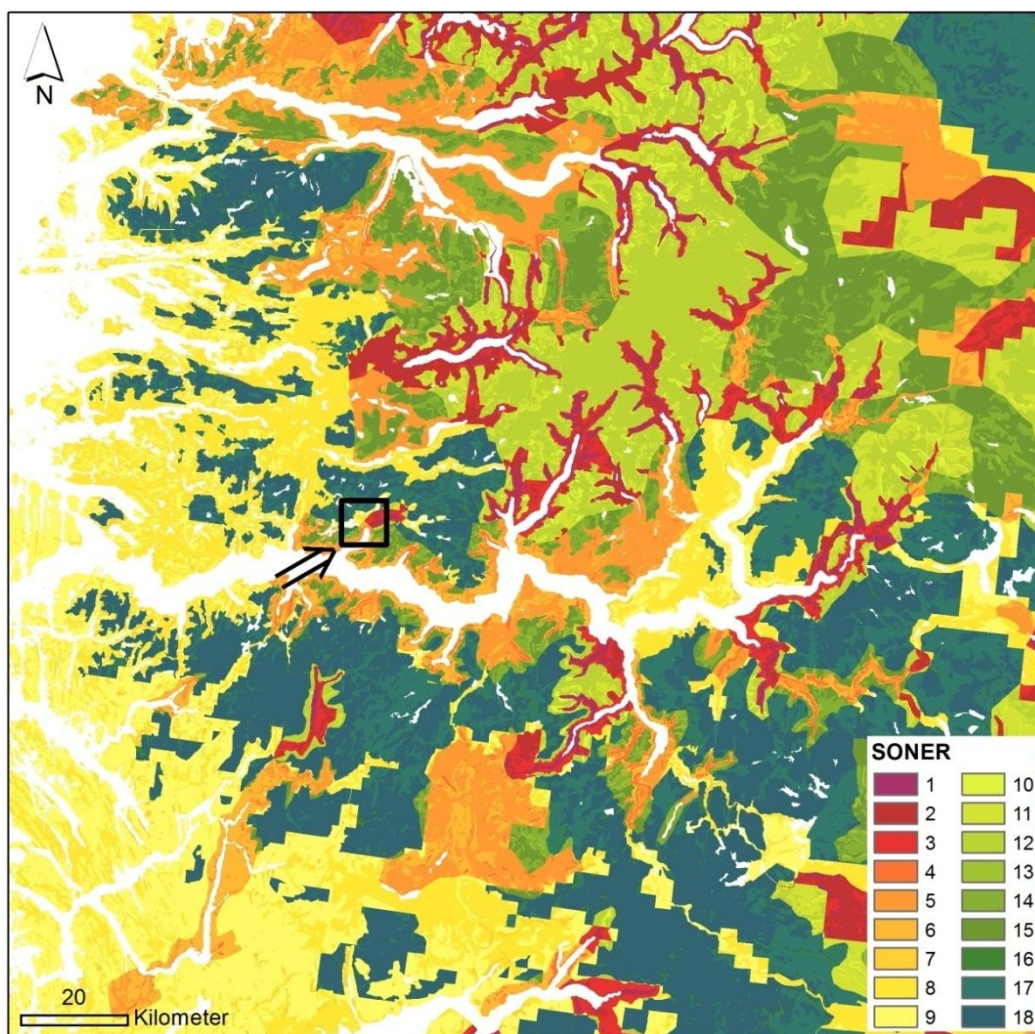


Fig. 14. Eksempel av det endelige soneringskartet for et område på Vestlandet, med soner for de forskjellige terskelverdisett beskrevet i Fig. 15. Fargeskaleringen av sonene samsvarer med Fig. 13 og 15.

Kombinasjon av disse tre soneringsdatasett gjør det mulig å tilpasse startsoneparameter veldig detaljert til de ganske varierende forhold over hele Norge. Fig. 14 viser for en del av Vestlandet det endelige soneringskartet, som viser den høye detaljeringsgraden av soneringen som tillater en veldig detaljert parameterkalibrering/terskelverditilpassing for de ulike sonene over hele Norge.

4.1.3 Endelige terskelverdisett for startsonemodellering

Fase 1. I utgangspunktet ble de samme terskelverdiene som ble brukt i aktuelle studier i Europa (Horton et al. 2008, Blahut et al. 2010) testet i Norge. Disse verdiene passer ikke helt for Norge og for prosjektets formål med å fange opp flere typer jordskred, ikke bare flomskred.

Fase 2. I neste fase ble terskelverdivariasjoner testet og sensitivitetsanalyser for startsoneparameter utført for forskjellige områder i Norge. De første modelleringsresultatene

med forskjellige terskelverdisett ble kontrollert og validert i løpet av feltarbeid i 2011, og mot registrerte hendelser fra skrednett.no, feltundersøkelser, ortofoto og detaljerte kvartærkart. Det viste seg tydelig at det måtte brukes forskjellige terskelverdier for ulike regioner i Norge og for forskjellige løsmassetyper (Fischer et al., 2012). Derfor ble det bestemt å utvikle denne soneringsmetoden med tilpasset terskelverdi for hver sone (som beskrevet i kapittel 4.1.2). Modelleringsstilnærmingen ble tilpasset for ulike løsmassetyper og ulike grad av tidligere skredaktivitet basert på erfaringene og analysene fra feltarbeid i 2011 (se VEDLEGG 2), og statistiske analyser av løsmassetyper og skredhendelser i utvalgte områder (se VEDLEGG 3). Til slutt ble det 18 ulike parametersett med terskelverdier (Fig. 13).

Fase 3. En første kalibrering av denne videreutviklede modellen ble gjort basert på resultatene og analysene fra feltarbeid 2011, hendelser fra skrednett-database og ortofotoanalyser. Store deler av landet ble modellert med denne tilpasset terskelverdisett i vinter/våren 2012.

Tabellen 1 viser resultatene fra en statistisk analyse av disse første modelleringsresultatene inklusive soneringen, som ble gjort mot registrerte hendelser (skrednett.no) i to forskjellige områder på Vestlandet. Med GIS-analyser ble det undersøkt, om en registrert hendelse ligger i modellert utløpsområde, eller innenfor en buffersone på h.h.v. 20, 50 og 100 m rundt modellerte utløpssone. Et stort problem med slike statistiske analyser mot registrerte hendelser er, at plasseringen av hendelsene på skrednett ofte er omtrentlig. I området 1.) fanger modellen opp en stor andel av hendelsene. Hovedproblemet i området 2.), men også i området 1 er at en stor andel av disse registrerte hendelsene er små utglidninger langs veibanen (geotekniske ustabilitet i veiskråningen), som ikke kan eller burde bli fanget opp av modellen. Likevel viste analysene at modellen samsvarer godt med hendelser, mest av alt i områder med høy skredaktivitet. Resultatene ble brukt for videre kalibrering av modellen.

Registrerte hendelser vs. modellering:							
1.)							
Strynområdet	tot. antall	within 100m	%	within 50 m	%	within 20 m	%
alle typer	391	324	82.86	287	73.40	251	64.19
løsmasseskred	275	231	84.00	206	74.91	182	66.18
jordskred	94	77	81.91	68	72.34	57	60.64
sørpeskred	22	16	72.73	13	59.09	12	54.55
2.)							
Kyststrøk	tot. antall	within 100m	%	within 50 m	%	within 20 m	%
alle typer	417	225	53.96	180	43.17	151	36.21
løsmasseskred	347	180	51.87	140	40.35	122	35.16
jordskred	63	39	61.90	35	55.56	25	39.68
sørpeskred	7	6	85.71	5	71.43	4	57.14

Tab. 1. Eksempel på statistiske analyser av de første modelleringsresultatene som inkluderer soneringen, mot registrerte hendelser (skrednett.no) i to forskjellige områder på Vestlande (1: Strynområdet, 2: kyststrøk).

4.2 Utløpsmodellering

Skredutløpet blir beregnet fra hver startzone ved hjelp av en 'multiple flow direction' modell (Flow-R; Horton et al., 2008, 2013), som tar hensyn til topografien langs utløpet. Med en probabilistisk metode beregner modellen i hvilken retning skredet beveger seg (Fig. 16-1). Siktevinkelen (Fig. 16-2) og en angitt kinetisk energibegrensning bestemmer skredets utløpsrekkevidde (Fig. 16-3). En gridfil med startsoner og DHM er de eneste dataene som trengs for å utføre beregningen av skredutløpet. Modelleringen tar ikke hensyn til vegetasjon eller bebyggelse.

4.2.1 Retning og spredning (flow direction algoritme)

I 'multiple flow direction' modellen, som ble først introdusert av Quinn et al. (1991), blir forplantning av skredet i en 3x3 grid matrise beregnet. Massen flyter fra en celle til de neste cellene med lavere høydeverdier, og det tillates en viss spredning av skredet (røde piler i Fig. 16-1). Hvor mye spredning som tillates kan tilpasses i modellen, og tilnærmingen er basert på Holmgren (1994), som introduserte en eksponent i algoritmen som styrer konvergens av massestrømmen (Eq. 1, jo høyere eksponenten x , jo mer konvergent blir flyten).

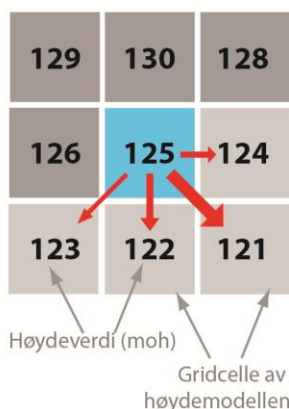
$$p_i^{fr} = \frac{(\tan\beta_i)^x}{\sum_{j=1}^8 (\tan\beta_j)^x} \quad (1)$$

hvor i, j = flyteretninger (1 ... 8), p_i^{fr} = flytproporsjon (0 ... 1) i retning i , $\tan\beta_i$ = skråningsgradient mellom den sentrale cellen og cellen i retning i , og x = variabel eksponent.

$x=1$ 'basic multiple flow direction'
 $x \rightarrow \infty$ 'single flow direction'

RETNING OG SPREDNING:

1 'Multiple flow direction' metode



UTLØPSLENGDE:

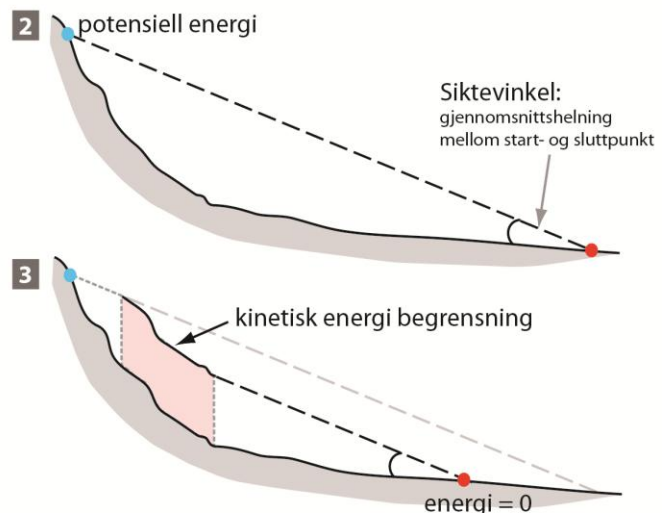


Fig. 16. Prinsipper for jordskredmodelleringen for aktsomhetskartet.

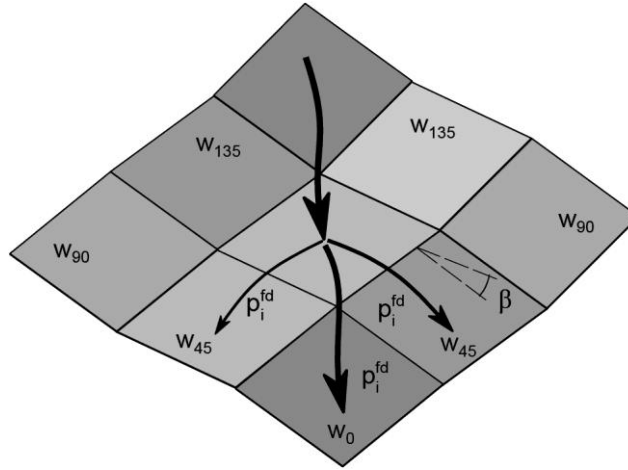


Fig. 17. Illustrasjon av forplantningen og spredningen av sannsynlighetsverdi til nabocellene (fra Horton et al., 2013).

4.2.2 Persistens av utløpsretning

En vektning av retningene er inkludert for å ta hensyn til retningsfortløp/-persistens av skredet (Horton et al., 2013). Persistensfunksjonen (Eq. 2) har som mål å reprodusere virkningen av massetreghet (inertia; som fører til at ikke en masse i naturen endrer flytretningen plutselig eller veldig mye). Funksjonen vekter flytretning basert på vektning for en endring i retning i forhold til den foregående retning (se Fig. 17) (Gamma 2000).

$$\begin{aligned}
 p_i^p &= w_0 \Leftrightarrow \alpha_i = 0^\circ \\
 p_i^p &= w_{45} \Leftrightarrow \alpha_i = 45^\circ \\
 p_i^p &= w_{90} \Leftrightarrow \alpha_i = 90^\circ \\
 p_i^p &= w_{135} \Leftrightarrow \alpha_i = 135^\circ \\
 p_i^p &= 0 \Leftrightarrow \alpha_i = 180^\circ \text{ (cellen i motsetning til flytretning er satt til 0 for å} \\
 &\quad \text{unngå eventuell tilbakerflyt)}
 \end{aligned} \tag{2}$$

hvor i = flytretning (1 ... 8), p_i^p = flytproporsjon (0 ... 1) ifølge persistensen i retning i , α_i = vinkelen mellom den foregående retning og retningen fra den sentrale celle til den neste cellen (i retning i), $w_{0,45,90,135}$ = vektning for den tilsvarende forandring i retningen. Følgende verdi ble brukt for vektningen: $w_0 = 1$, $w_{45} = 0.8$ (vektingsrate for en endring i retning av 45 grader), $w_{90} = 0.4$, $w_{135,180} = 0$.

4.2.3 Resulterende flytandel per retning

Verdiene gitt av 'flow direction' algoritmen og vektning av persistensen er kombinert etter Eq. (3).

$$p_i = \frac{p_i^{fd} \cdot p_i^p}{\sum_{j=1}^8 p_j^{fd} \cdot p_j^p} \cdot p_0 \tag{3}$$

hvor $i, j =$ flytretning (1 ... 8), $p_i =$ sannsynlighetsverdi (=flyteproporsjon) i retning i , $p_i^{fr} =$ flyteproporsjon ifølge 'flow direction' algoritmen i retning i , $p_i^p =$ flytproporsjon ifølge persistensen i retning i , $p_0 =$ den tidligere bestemte sannsynlighetsverdi for den sentrale cellen.

4.2.4 Utløpslengde

Algoritmene for utløpslengden er enkle energibaserte beregninger som er basert på grunnleggende friksjonslover. De definerer hvorvidt en del av skredet potensielt kan nå en annen celle, og kontrollerer dermed lengden av utløpet. I tillegg kan de redusere sideveis spredning. Ettersom massen av skredet er ukjent (modellen jobber kun basert på topografiske basisdata, uten informasjon om skredvolumet eller -massen), er modelleringen basert på en ligning for energi per enhet (unit energy balance) (Eq. 4), endring i den potensielle energi og et konstant friksjonstap. Denne tilnærmingen har ikke som mål å representere eksakte fysiske prosesser, men å få et realistisk utløp (Horton et al., 2008).

$$E_{kin}^i = E_{kin}^0 + \Delta E_{pot}^i - E_f^i \quad (4)$$

hvor $E_{kin}^i =$ kinetisk energi for cellen i retning i , $E_{kin}^0 =$ kinetisk energi for den sentrale cellen, $\Delta E_{pot}^i =$ endring i den potensielle energi i retning i , $E_f^i =$ konstant energitap til cellen i retningen i .

Den sannsynlige maksimale utløpslengde er basert på en siktevinkel (Huggel et al., 2002) eller også kalt *skyggevinke*, som er den gjennomsnittlige helling mellom start- og slutt punktet for skredbanen (Fig. 16). Et konstant friksjonstap blir beregnet i modelleringen tilsvarende denne vinkelen (Blahut et al., 2010). I tillegg brukes det en begrensning av den maksimale kinetiske energien som fører til at hastigheten av det modellerte skredet ikke kan være større enn en gitt verdi. Denne begrensningen reduserer overestimering av skredutløpet for skred i bratt terreng.

4.2.5 Modelleringsprosess

Parametrene ble tilpasset norske forhold, men samsvarer med standardverdier som er brukt for jord- og flomskred i Sveits og Italia. Gjennomsnittlig helling for skredbanen mellom startpunktet og slutt punktet for utløpet er basert på statistiske analyser av faktiske hendelser. Den minste observerte vinkelen fra de sveitsiske alpine er omtrent 11° for grov- og middels kornet jord- og flomskred, og 7° for finkornet flomskred (Zimmermann et al., 1997). En vinkel på 11° blir også nevnt i andre studier (f.eks. Rickenmann og Zimmermann, 1993; Bathurst et al, 1997; Huggel et al, 2002; Horton et al., 2013).

For aktivitetsklasse 2 og 3 er de valgte endelige verdiene for vår modellering henholdsvis 11° for utløpsvinkelen (siktevinkel) og 16 m/s for den kinetiske energibegrensningen for utløpsmodelleringen fra startsonene fra jordskredmodellen. Feltarbeid og hendelseranalyser har vist at det trengs minimalt med justering av parameterverdiene for aktivitetssone 1 for at utløpsspredning og -lengde blir tilpasset til den høyre aktiviteten av hendelser i denne sonen (Tab. 2).

		Spredning (Holgrem)	Utløpsvinkel [°] (siktevinkel)	Kinetisk begrensning [m/s]
Testete verdier	alle soner	1-15	5-20	10-20

Endelig verdi	Aktivitetsklass 1	5	10	16
	Aktivitetsklass 2&3	8	11	16

Tab. 2. Testede og endelige verdier for utløpsmodellering.

Inputdata for FlowR-modellen er en fil for startsoner og DHM i .ascii-format, som er tilgjengelig i fire store blokker over hele Norge (som beskrevet i kapittel 3.1.3). Siden FlowR kun aksepterer koordinatene som er eksakt på 10-er (f. e. 7942520 eller 7942510), ble det utført en shift-transformasjon av både startsoner- og DHM-filene før modelleringen.

Startsonemodellering var mulig å utføre over hele området for disse fire store DHM-blokkene. Men siden utløpsmodelleringen med FlowR bruker mye mer pc-kapasitet, måtte størrelse på området begrenses for de enkle modellkjøringer. Norges areal ble delt opp i 179 delområder for utløpsmodelleringen i FlowR, modellen ble kjørt 179 ganger både for jord- og flomskred og resultatfilene av disse delområder ble til sluttetn føyet sammen (ArcGIS: mosaic to new raster).

4.3 Utvidet metode for mellomstore flomskred

4.3.1 Utgangspunkt

Modellen som NGU har tilpasset og videreutviklet for aktsomhetskartet jord- og flomskred gjenskaper for en stor del jordskredprosesser og en del flomskredprosesser. Opprinnelig ble modellen utviklet for «debris flows» (Horton et al., 2008; 2013), og følgelig fanger vår startsonemodell også veldig mange startsoner for flomskredhendelser. Jordskred- og flomskredprosesser kan ha veldig varierende vanninnhold og dermed også veldig varierende utløpslengder. Jordskredmodellen, beskrevet foran, er tilpasset startsoner- og utløpsmodellering for jordskred og små flomskredhendelser (Fig. 18). Mellomstore flomskredhendelser er til dels fanget opp av modelleringen, men utløpslengden er ofte ikke tilstrekkelig dekket.

Siden den planlagte modelleringen av flomskred ikke ble gjennomført av NVE, ble det bestemt å utvide og tilpasse NGU's modell for å inkludere mellomstore flomskred. Hovedmålet er å fange opp startsoner med større vanntilførende områder, i tillegg med lavere skråningsvinkel, som kan være typisk for mellomstore flomskred. I tillegg må kurvaturen være litt mer utpreget, og det betyr at vi fokuserer sterkere på kanaliserte skredtyper, som i et bekkeløp.

Flomskredhendelser med høyt vanninnhold som starter på lave helningsvinkel i elveløp (f.eks. i Kvam i Gudbrandsdalen) er ikke inkludert i denne utvidete metoden, siden det fordrer meteorologiske og hydrologiske data og modeller, sammen med geologiske basisdata.

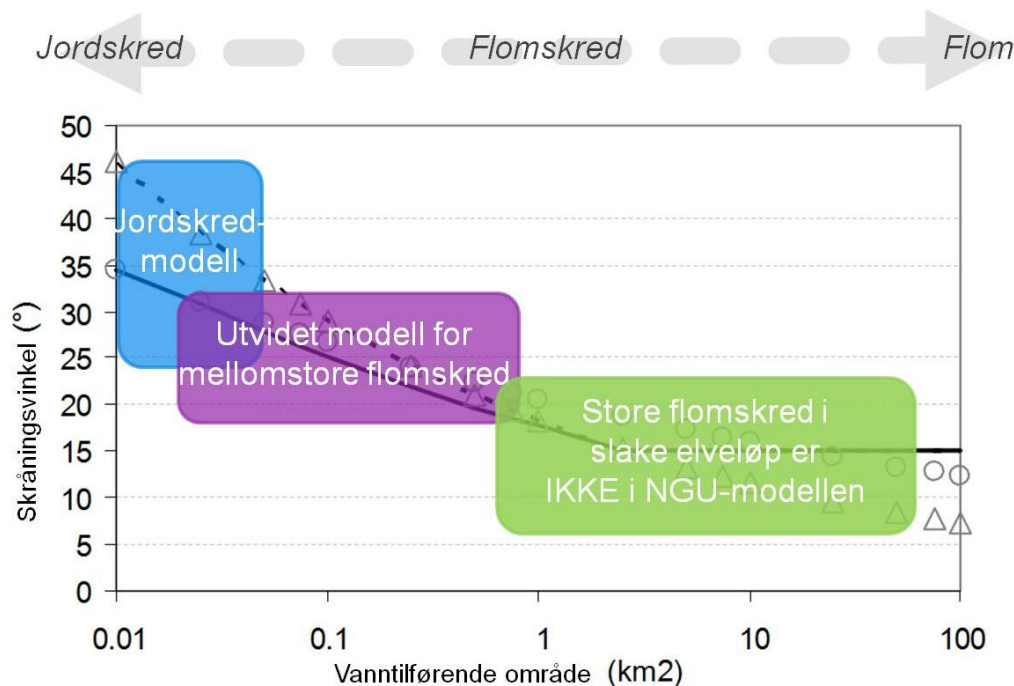


Fig. 18. Skjematisk fremstilling av den glidende overgangen mellom jord- og flomskredprosesser, og markeringen av prosessene som er dekket av modellen.

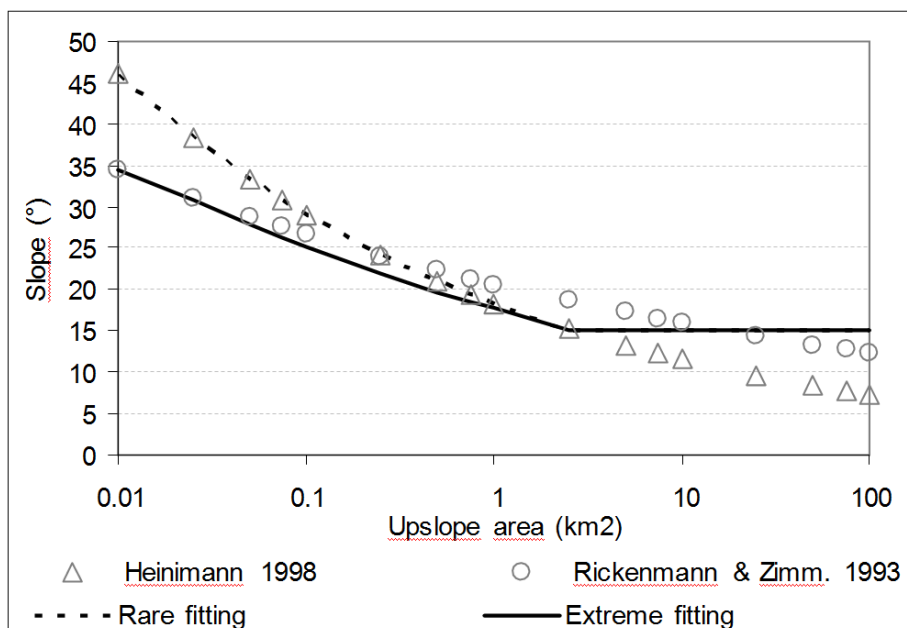


Fig. 19. Helningsvinkel i forhold til størrelse på det vanntilførende området, basert på registrerte hendelser (Heinimann, 1998; Rickenmann & Zimmermann, 1993): Jo større den vanntilførende flaten er, jo lavere kan helningsvinkelen være for at flomskred kan utløses.

4.3.2 Tilpassning av startsonemodell for flomskred

Den tilpassede og utvidede modellen for mellomstore flomskred er basert på samme prinsippet som er beskrevet i kapittel 4. I første omgang blir startsoner modellert. Dette er igjen basert på høydemodelldataene, mer presist på samme topografiske egenskaper som for jordskred: Helningsvinkel, planarkurvatur, og størrelse på det vanntilførende området (kapittel 4.1.1). Terskelverdi for disse tre parametrene er tilpasset for flomskred, og i tillegg brukes det en funksjon som beskriver forholdet mellom helningsvinkel og størrelse på det vanntilførende området (A). Funksjonen er utviklet av Heinimann (1998) and Rickenmann and Zimmermann (1993) basert på mange registrerte flomskredhendelser (Fig. 19).

Hovedforskjellen er:

- Implementering av en funksjon som beskriver avhengighet mellom helningsvinkel (α) og størrelse på det vanntilførende området (A):

$$\tan\alpha = (0.31 * A)^{-0.15} \quad (5)$$

- større vanntilførende områder
- mer utpreget kurvatur og
- slakere skråningsvinkel

Analysene og feltarbeidsresultater har vist at det er nødvendig å ha forskjellige terskelverdisett for de tre aktivitetssonene, men det trengs ikke forskjellige terskelverdi for de ulike løsmassetyper eller DHM-soner som i jordskredmodellen. Fordi startsonemodellen er mye mindre sensitiv for små variasjoner i terskelverdi når modellen er basert på større vanntilførende områder og inkluderer forholdet mellom helning og vanntilførende området (5).

AKTIVITETSKLASS		
HØY: 1	MIDDELS: 2	LAV: 3
1	2	3
° min: 15	° min: 15	° min: 15
° max: 32	° max: 32	° max: 30
curv: -1.5	curv: -1.5	curv: -1.5
contr: 0.08	contr: 0.1	contr: 0.15

Fig. 20. Terskelverdisett for startsonene i den utvidede modellen for mellomstore flomskred.

4.3.3 Tilpassning av utløpsmodellering for flomskred

Nye startsoner fra flomskredstartsonemodellen ligger i bekkeløp og kan danne flomskredhendelser. Når utløpsmodellen kjøres, bruker den disse nye startsonene. For utløpsmodelleringen ble den samme tilnærmingen brukt som beskrevet i kapittel 4.2. Den eneste forskjellen er tilpassing av modellparametre for å tillate lengre utløpsdistanser og litt mer spredning. Utløpslengde kan bli tilpasset for større og mer flytende flomskredhendelser. Kalibreringen av utløpsmodellen for startsonene fra den utvidete modellen er basert på feltobservasjoner, registrerte hendelser og flybilder. De valgte verdiene er henholdsvis 7° for utløpsvinkelen (siktevinkel) og 18 m/s for den kinetiske energibegrensingen.

		Spredning	Utløpsvinkel [°] (siktevinkel)	Kinetisk begrensning [m/s]
Testete verdier	alle soner	1-15	4-10	15-25
Endelig verdi	alle soner	4	7	18

Tab. 2. Testede og endelige verdier for utløpsmodelleringen av mellomstore flomskred.

5. FELTARBEID OG MODELLVALIDERING I TESTOMRÅDER

5.1 Utført feltarbeid

Dette prosjektet har involvert feltarbeid for både metodeutvikling, uttestning av terskelverdier i modellen og validering av modellresultat i flere iterasjoner gjennom hele prosjektperioden. Fig. 21 viser de forskjellige områdene hvor feltarbeid ble utført av NGU og skiller mellom to forskjellige typer feltarbeid.

I første delen av prosjektet ble detaljert feltarbeid utført i mindre testområder, for å utvikle og tilpasse modelleringsmetoden. Etter at modelleringsmetode ble fastsatt, ble modellresultatene validert og terskelverdiene i startzone- og utløpsmodelleringen justert basert på feltkontroll over større områder (mest langs veier).

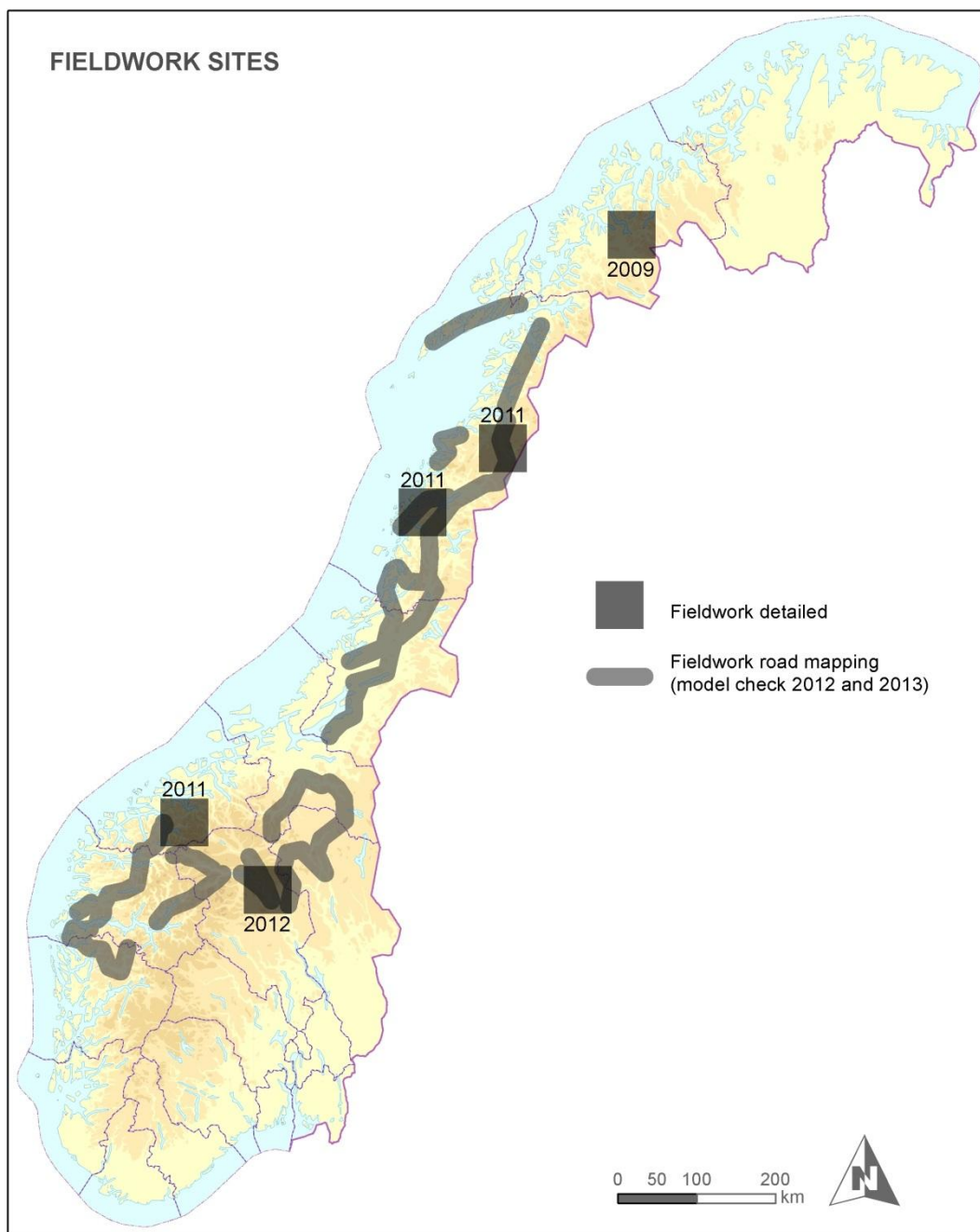


Fig. 21. Oversikt over områdene hvor detaljert feltarbeid og feltkontroll av modelleringen er utført. Markeringen er ikke skalert på størrelse av feltarbeidsområdet, men viser omtrentlig plassering.

5.1.1 Detaljert feltarbeid på mindre områder

5.1.1.1 Kort beskrivelse av feltarbeidsområdene (Fig. 21):

Geografiske, geologiske og klimatiske forhold for hvert område er beskrevet av Fischer et al. (2012). Dette kapittelet sammenfatter arbeidene som ble utført i de respektive områdene.

Balsfjordområdet (Troms), feltarbeid 2009: Detaljstudie av jord- og flomskredhendelser og kartlegging og undersøkelse av skredbaner. Resultatene ble brukt i første fasen av prosjektet for metodeutviklingen og parametriseringen av både startsoner- og utløpsmodellen.

Junkerdalen – Saltdalen (Nordland), feltarbeid 2011: Detaljstudie av jord- og flomskredhendelser; detaljert kartlegging og undersøkelse av skredbaner. Kontrollgjennomgang av de første modellresultatene. Test av forskjellige terskelverdisett for startsonemodellering og utløpsmodellering, men ennå ikke noe soneringsfiler involvert (Fischer et al., 2012).

Nesnaområdet (Nordland), feltarbeid 2011: Detaljstudie av jord- og flomskredhendelser; kartlegging og undersøkelse av skredbaner i områder med forskjellige geologiske og morfologiske forhold samt skredaktivitet. Kontrollgjennomgang av de første modellresultatene. Forskjellige terskelverdisett for startsonemodellering og utløpsmodellering. Soner med hhv løsmasse og bart fjell ble vurdert som soneringsdata i startsonemodellen (Fischer et al., 2012).

Norddalområdet, Møre og Romsdal, feltarbeid 2011: Kontrollgjennomgang av de første modellresultatene. Forskjellige terskelverdisett for startsonemodellering og utløpsmodellering. Soner med hhv løsmasse og bart fjell ble vurdert som soneringsdata i startsonemodellen.

Ottaområdet, Oppland, feltarbeid 2012: Kontrollgjennomgang av modellresultatene. Detaljstudie av jord- og flomskredhendelser; detaljert kartlegging og undersøkelse av skredbaner.

5.1.1.2 Resultater og konklusjoner etter feltarbeid i 2011

Resultatene av 2011-feltarbeid viser at det trengs sterkt varierende terskelverdisett for ulike regioner for å tilpasse modelleringen til lokale/regionale geologiske, klimatiske, topografiske forhold og tilsvarende skredaktivitet.

5.1.2 Omfattende feltkontroll av modelleringer over større områder

I 2012 og delvis i 2013 ble feltkontroll av den videreutviklede modelleringen (inkl. sonering) gjennomført. Modellkontrollen ble utført langs veier, enten fra bilen eller med kort feltbefaring. Lange strekinger i forskjellige deler av Norge ble kontrollert. Det ble vurdert om modelleringsresultatene stemte overens med observasjonene i felt. Et passende kartleggingsskjema ble utviklet for å gi en rask og systematisk kartlegging. Følgende punkter ble vurdert og kartlagt i ArcGIS:

- Geomorfologisk aktivitetsklasse
- Størrelse på modellert utløpsområde
- Om det modellerte området er helt feil – dvs. ingen tegn til eller potensiale for løsmasseskred (modellen har generert for mange startsoner)
- Om det finnes spor etter hendelser som modellen ikke har fanget opp (utelatelse av startsoner)
- Faktiske utløpslengde i forhold til modellerte utløpslengder
- Kartlegging av typiske flomskredhendelser; forekomst og utløpslengde

5.2 Videre metoder og datasett som ble brukt

I tillegg til feltarbeid ble også andre metoder og datasett brukt for modellparametriseringen og validering. Fig. 22 viser en oversikt over de forskjellige områder, hvor eksisterende faresonekart (røde punkter), analyser av aktuelle hendelser (grønne punkter), og NVE-feltarbeidssted med modellsjekk (blå punkt) ble brukt for modellutviklingen.

Parametertest ble også utført basert på analyser av hendelser registrert i skrednett (visuell og statistisk) og ortofotoanalyser. Over 5300 hendelser er registrert som jordskred, flomskred eller løsmasseskred fra hele Norge. Ulempen med dette datasettet er at plasseringen av punktinformasjon ofte er upresis, og oftest er det ikke noen informasjon om lokaliseringen av kildeområdet. I tillegg er problemet at en stor andel av disse registrerte hendelsene kommer fra Statens vegvesen og Jernbaneverket, som registrerer små utglidninger langs vei og bane. Slike små utglidninger er ofte mer geotekniske svikt i en menneskeskapt fylling, og er ikke relevant for aktsomhetskartet.

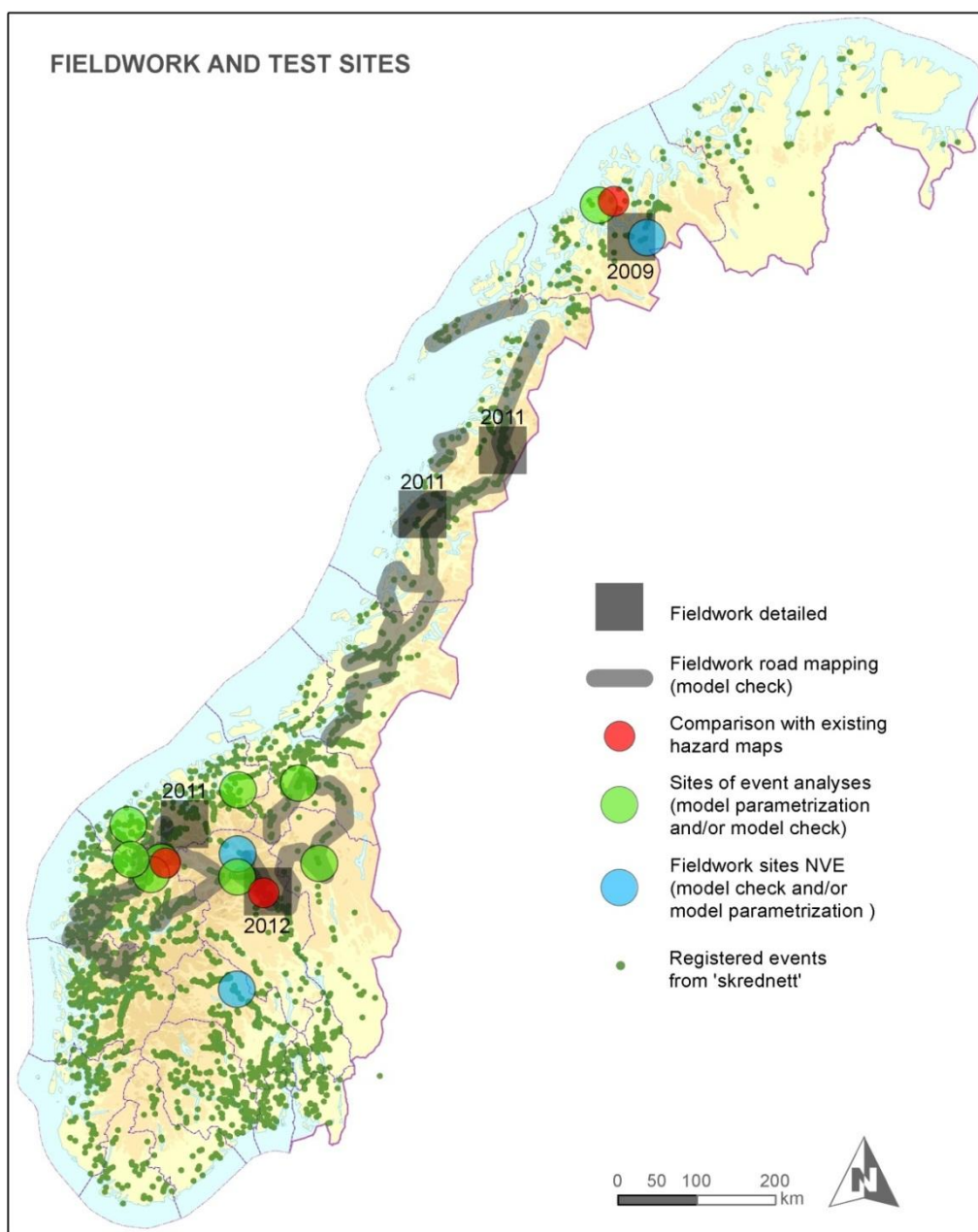


Fig. 22. Oversikt over områdene hvor detaljert feltarbeid og feltkontroll av modelleringen er utført. Markeringen er ikke skalert til størrelse på feltarbeidsområdet, men viser omtrentlig plassering.

6. RESULTATER

Hovedresultatet av prosjektet som helhet er et landsdekkende kart med utløpsmodelleringen (Fig. 23) som inneholder en kombinasjon fra modellkjøringer for både jord- og flomskred (se Fig. 24 og Fig. 25). Det er dette datasettet som fra mai 2014 finnes som et nasjonalt aktsomhetskart for jord- og flomskred på skrednett.no og varsom.no i NVEs regi. I tillegg eksisterer resultatfilene av de kombinerte startsonene. Videre er alle separate resultatfiler av hhv startsoner og utløpsmodellen for jord- og flomskredmodelleringen tilgjengelige. Alle basisdatafilene for soneringen er tilgjengelig på NGU i .shp-format.

Fig. 23 viser at fordelingen og tettheten av aktsomhetsområder varierer sterk over landet. Dette stemmer godt med den faktiske variasjon av skredaktivitet.

Fig. 24 og Fig. 25 viser for to forskjellige områder resultatene av jord- (Fig. 24.1 og 25.1) og flomskredmodelleringen (Fig. 24.2 og 25.2) og kombinasjonen av de to delresultatene (Fig. 24.3 og 25.3).

Fig. 28 - Fig. 31 viser en sammenligning av modelleringen med dokumenterte hendelser. Eksemplene viser at det endelige, kombinerte resultatet av modelleringene har god identifisering og dekning av forskjellige skredtyper.

Fig. 32 dokumenterer en situasjon hvor vi har en flomskredhendelse registrert i skrednett-databasen, med identifiserte startsoner allerede i jordskredmodelleringen, men for kort utløpslengde (blå). Kombinert med tilleggsmoelleringen for mellomstore flomskred dekker aktsomhetskartet begge prosessene tilfredsstillende.

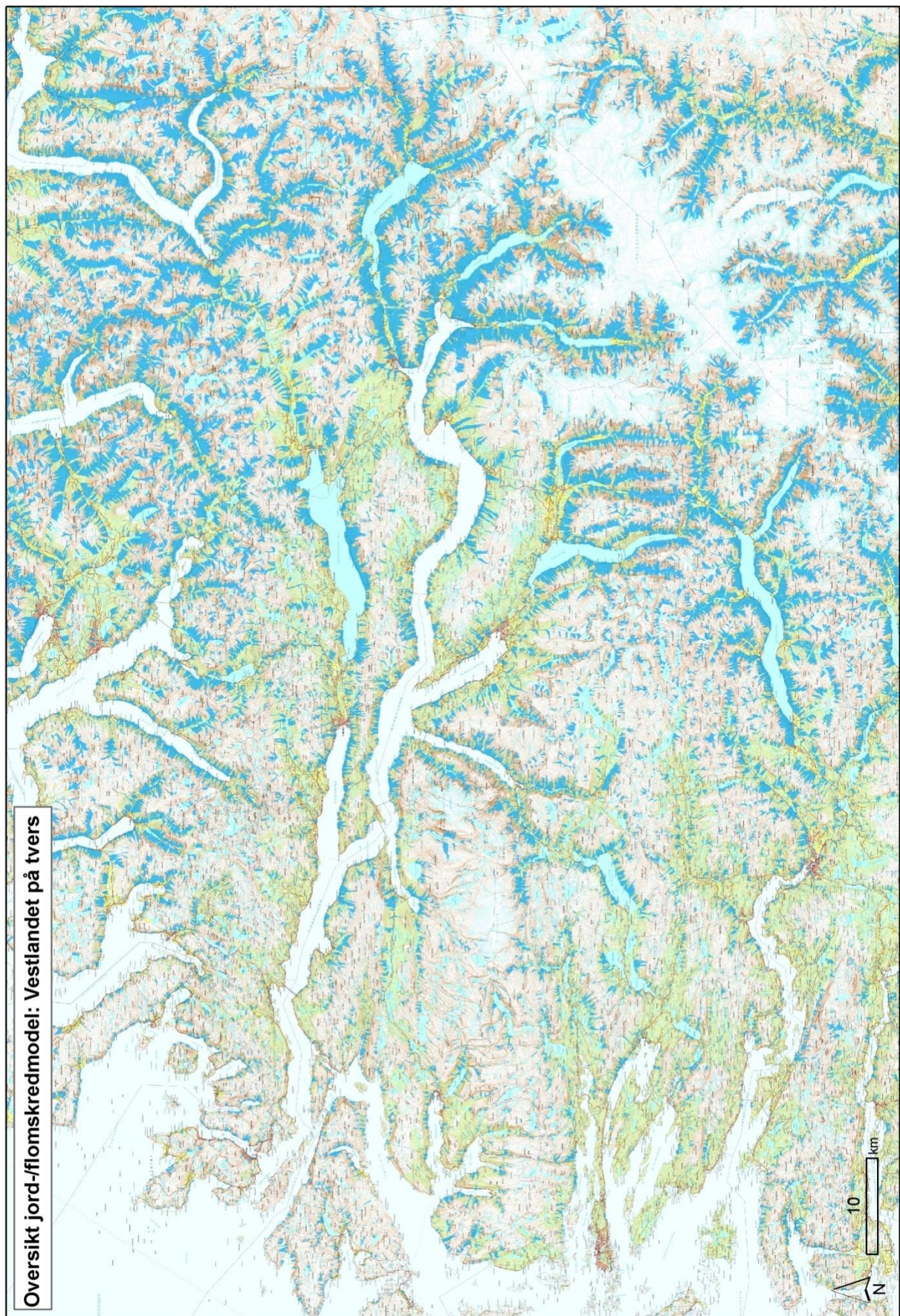


Fig. 23. Eksempel på jord/flomskredmodelleringen i området Nordfjord, Sogn og Fjordane.

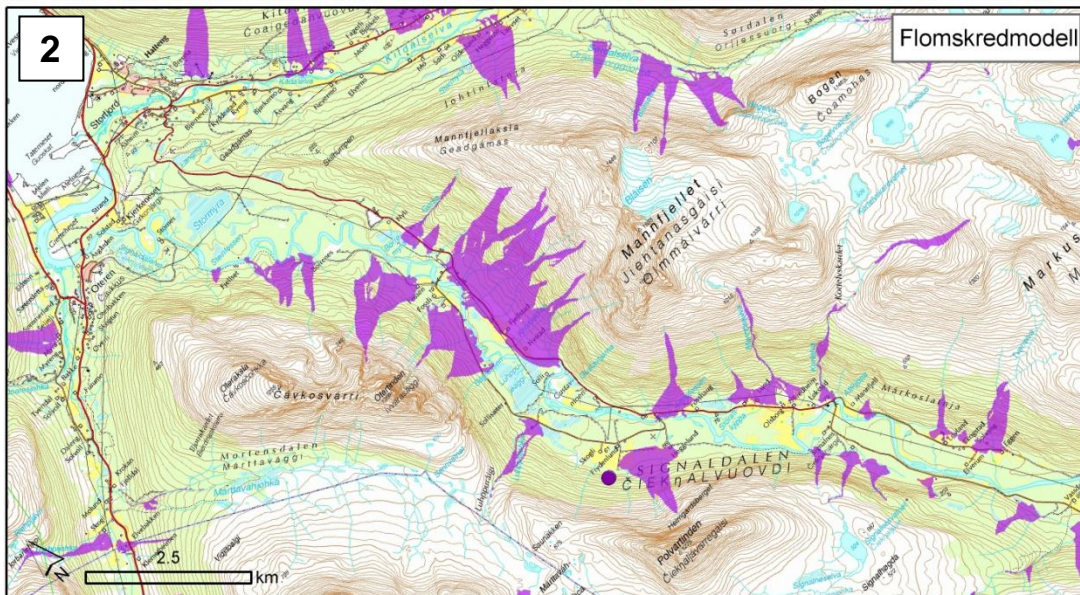
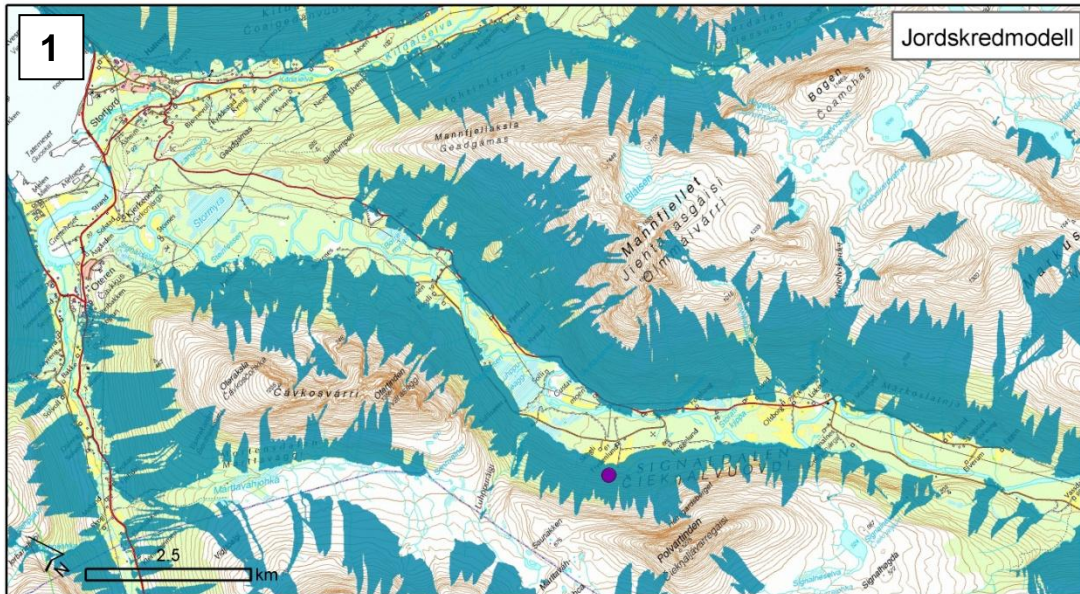


Fig. 24: Eksempel på modellresultat; Jordskred og små flomskred (øverst) og mellomstore flomskred (midten) og kombinert modell (nederst).

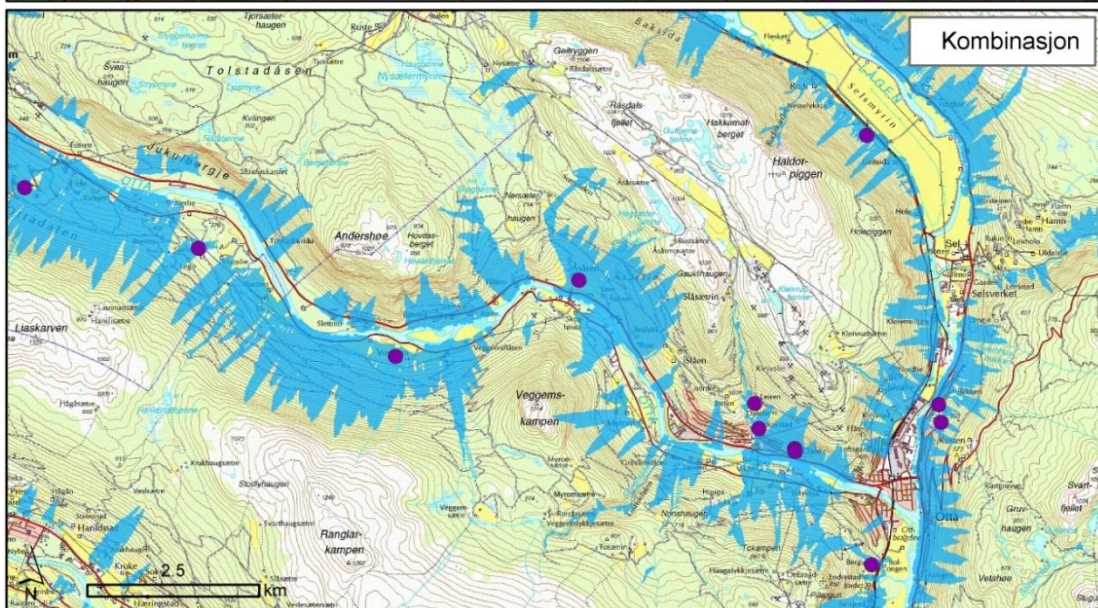
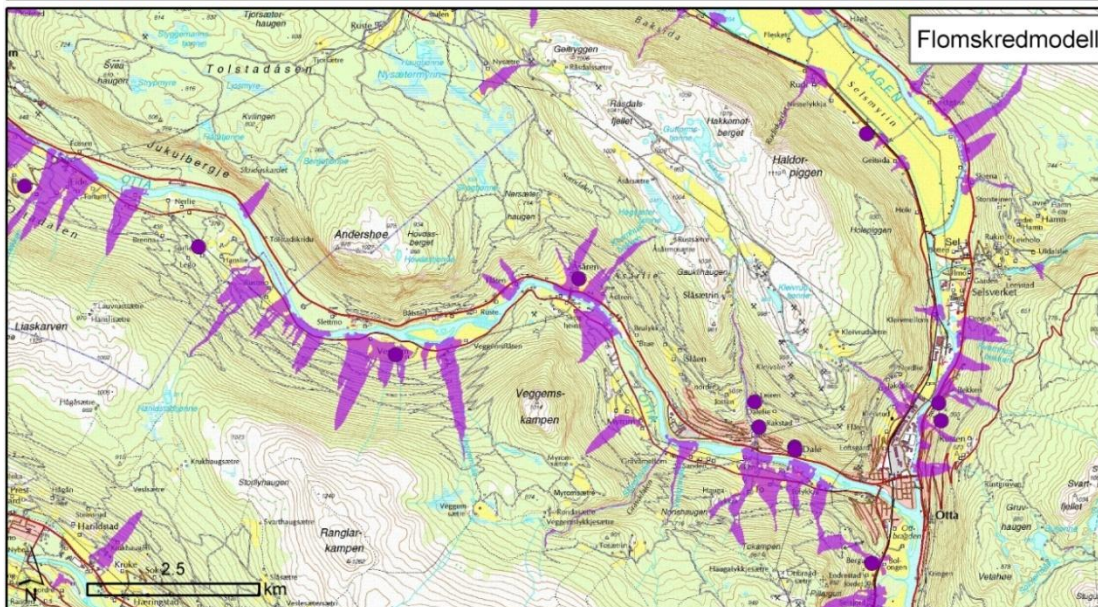
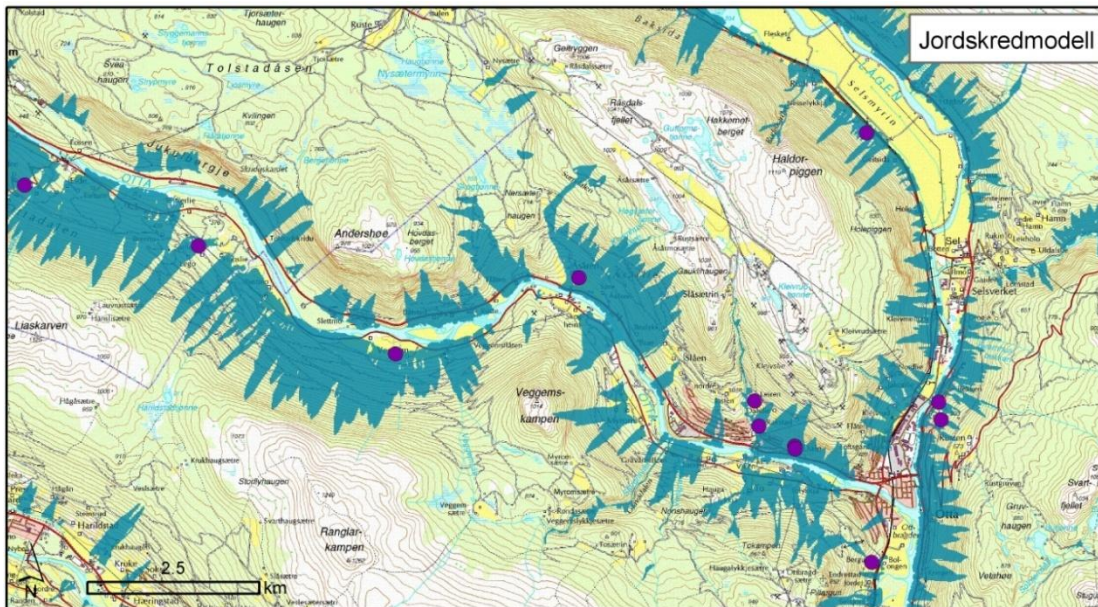


Fig. 25: Jord- og små flomskred (øverst) og mellomstore flomskred (midten) og kombinert modell (nederst).

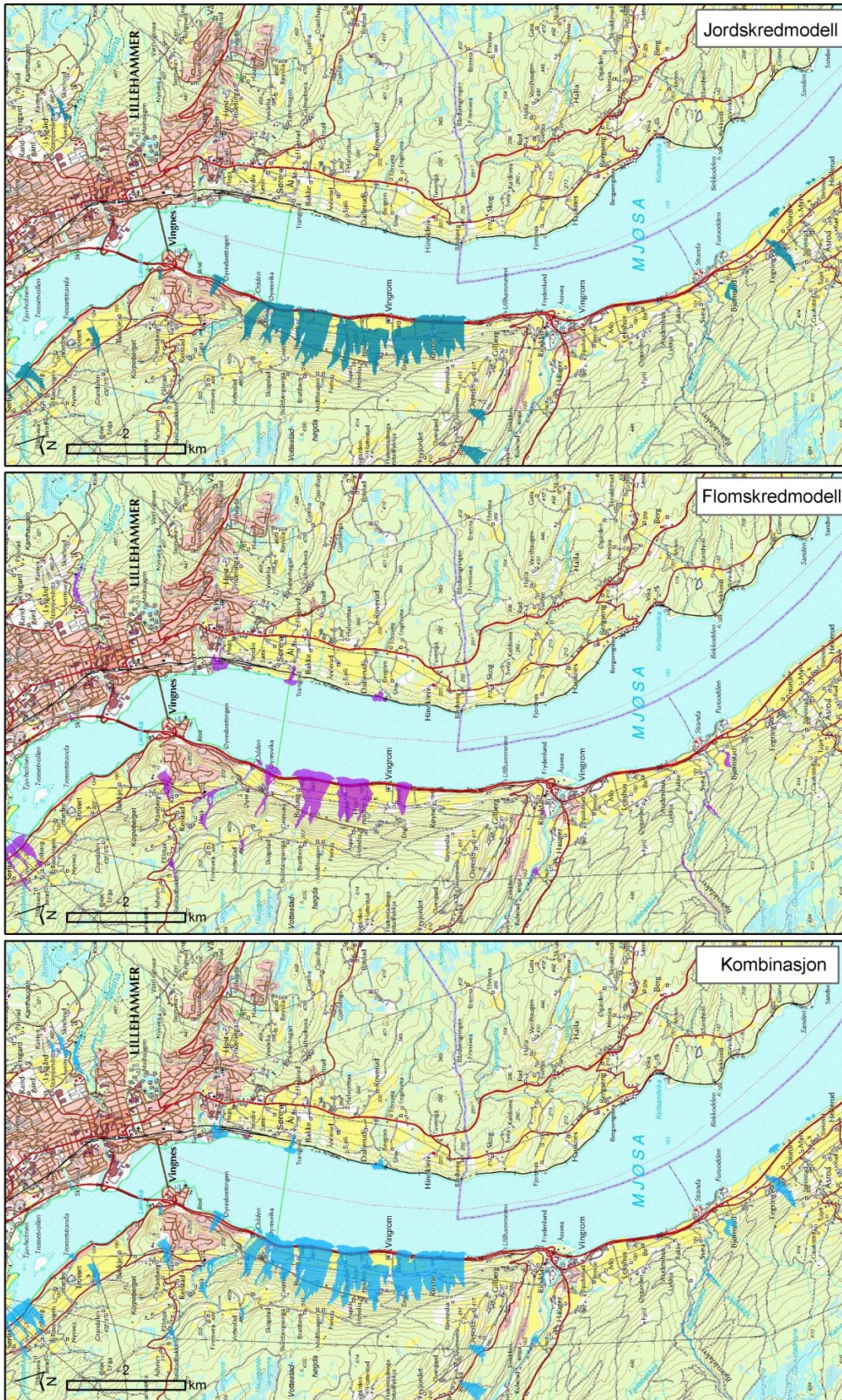


Fig. 26: Jord- og små flomskred (øverst) og mellomstore flomskred (midten) og kombinert modell (nederst).

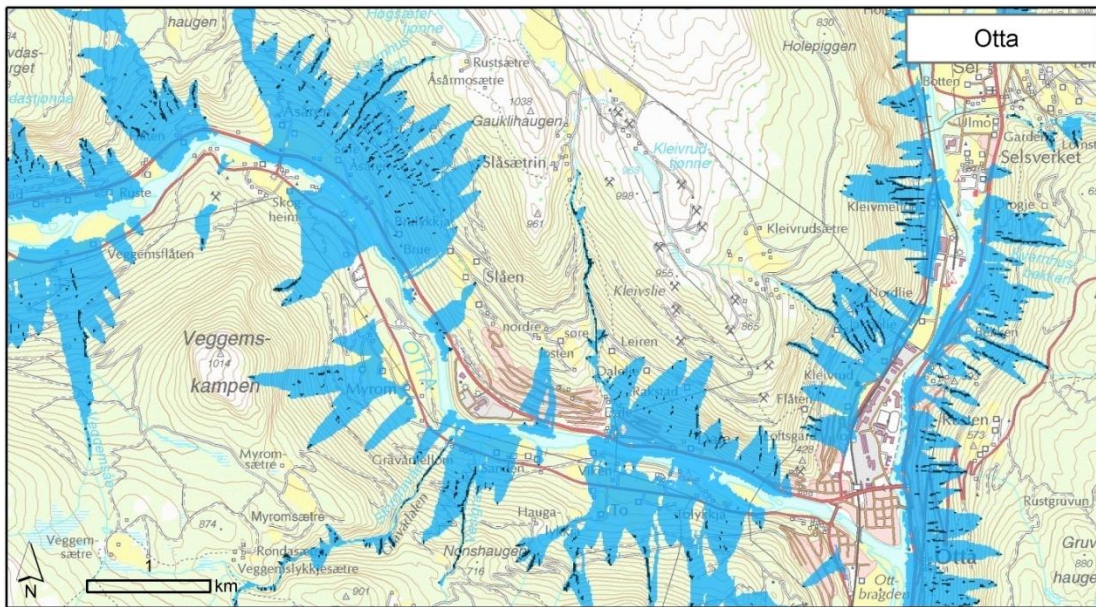
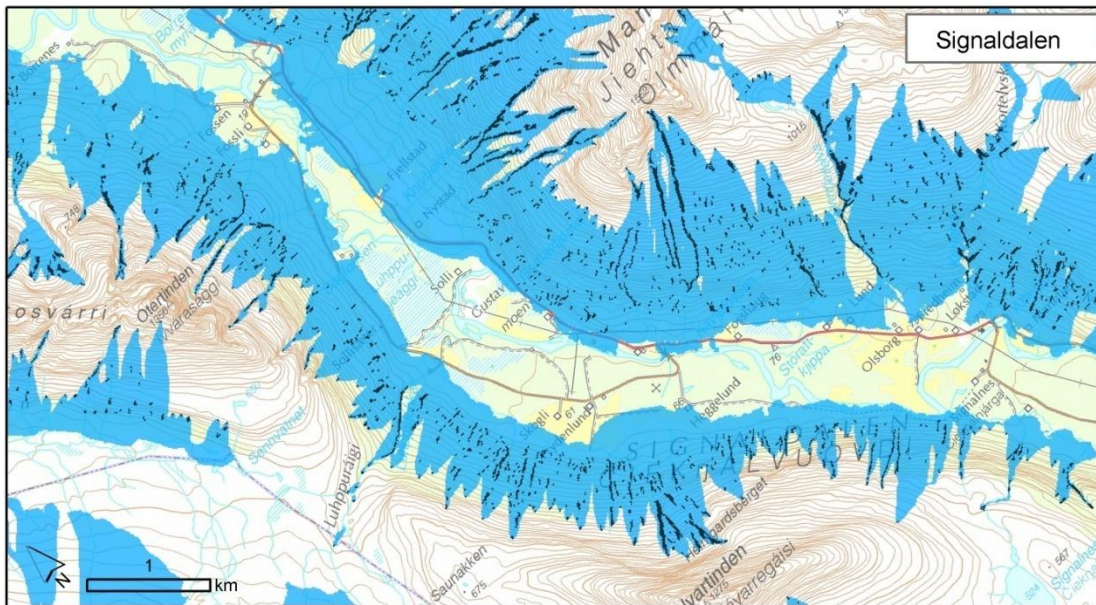


Fig. 277: Eksempler fra områdene i fig. 24-26, med modellerte startsoner inkludert.



Fig. 28: Flomskredhendelse på sørsiden av Vågåvatnet, Vågå kommune, Oppland, og tilsvarende kartutsnitt av aktsomhetsmodelleringen. Blå: endelig utløpsmodellering, rød markering viser plasseringen av bildet, og de fiolette punktene er registrerte hendelser fra skrednett.no. (Foto: NGI)



Fig. 29. Bilder av en stor hendelse i 2013, Surnadal kommune, Møre og Romsdal, og tilsvarende utsnitt av aktsomhetskartet med hendelsesområdet med markert med rød ring (foto: Anders Aal, Stig Lillevik, SVV).

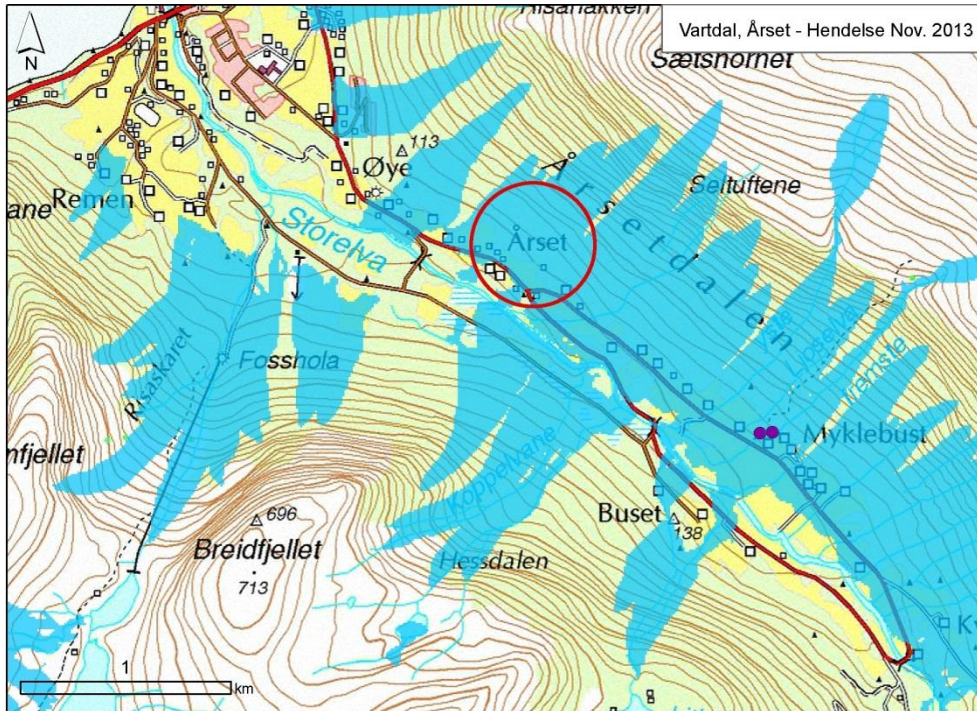


Fig. 30. Bilder av en stor skredhendelse i 2013, Vartdal, Ørsta kommune, Møre og Romsdal (foto: Kari Nygard Tvilde, NRK) og tilsvarende utsnitt av aktsomhetskartet med hendelsesområdet markert med rød ring.

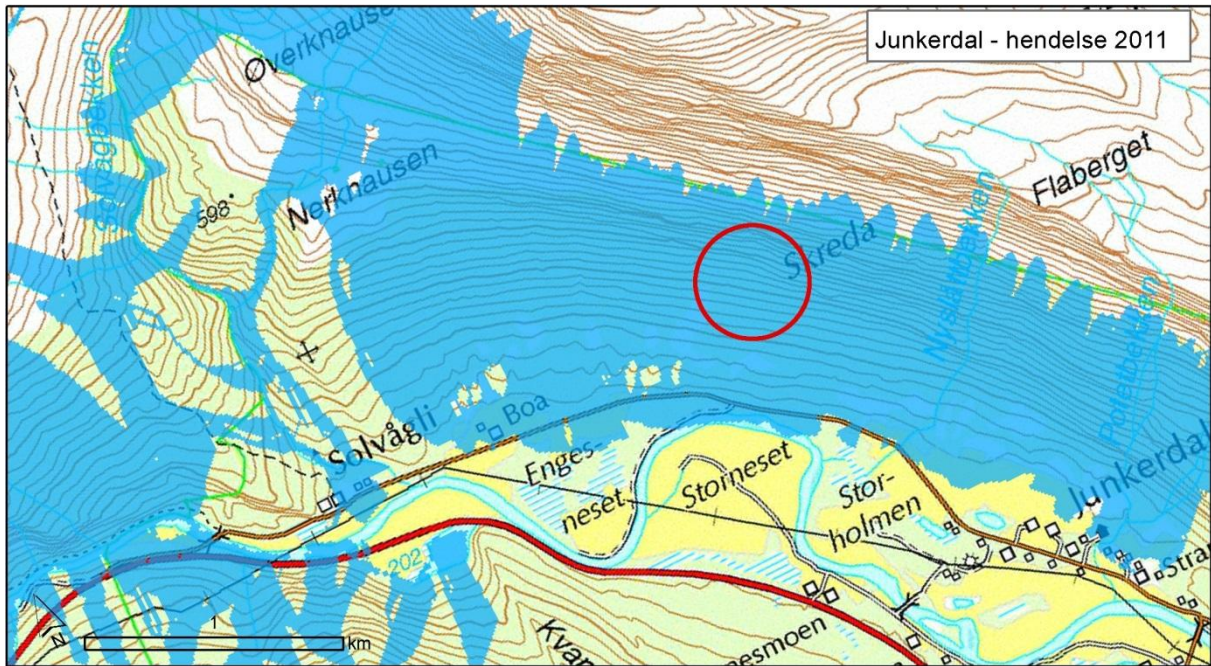


Fig. 31. Bilder av en jordskredhendelse i 2011 i Junkerdalen, Saltdal kommune, Nordland, og tilsvarende utsnitt av aktsomhetskartet med hendelsesområdet med markert med rød ring.

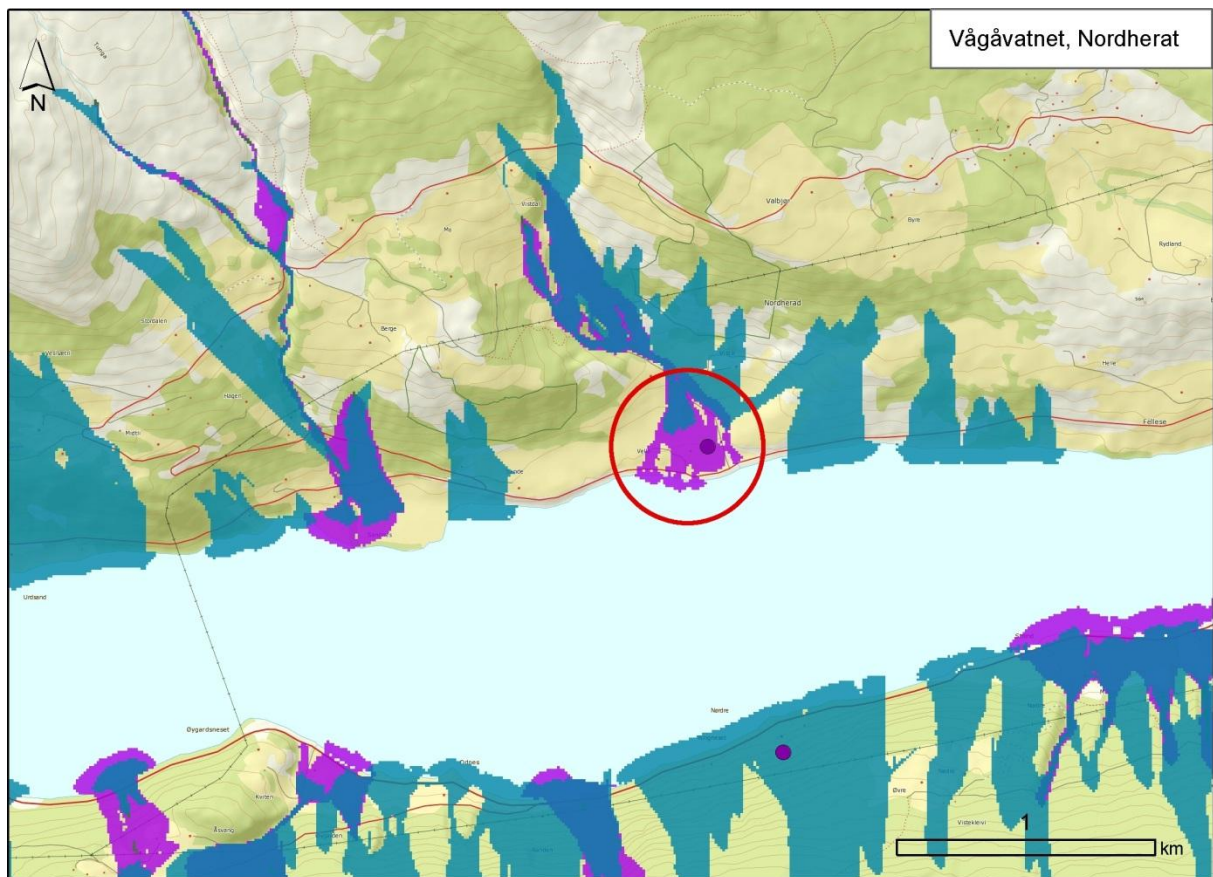


Fig. 32. Eksempel på de separate jord- og flomskredmodelleringsresultatene, før kombinasjonen av resultatene. Mørk blå: Resultat av jordskredmodellen, lilla resultat av flomskredmodellen

7. KONKLUSJONER

Modelleringene viser områder som potensielt kan bli rammet av et jordskred, mindre flomskred og mellomstore flomskred. Modelleringen viser IKKE kvikkleireskred, små utglidninger og store flomskred i slake elveløp. Sluttresultatet av dette prosjektet er et aktsomhetskart over hele landet til bruk i skala 1:50 000. Arbeidet med utviklingen av aktsomhetskartet for jordskred og små- til mellomstore flomskred innebar en vurdering og testing av eksisterende modelleringstilnærminger, påfølgende tilpassning og videreutvikling av eksisterende metoder og programvarer og utviklingen av en landsdekkende modelleringsmetode. Hovedmålet om å dekke hele Norge med en enkel og robust modelleringstilnærming er oppnådd.

Modelleringen er basert på eksisterende metoder, men disse metodene var opprinnelig utviklet mer for flomskred enn jordskred. Oppdraget som NGU fikk fra NVE var å gjøre en modellering av prosesser som innebærer mest jordskred, men også små til mellomstore flomskred. Derfor måtte modellen og parameteriseringen tilpasses ganske mye for å også fange opp jordskredprosesser. Ett problem var at den valgte tilnærmingen fokuserer på identifisering av startsoner i kanalisert morfologi, og justeringen av parametrene for å modellere startsoner i åpne skråninger er vanskelig og veldig sensitiv for endringer. Siden modellen må dekke et veldig bredt spekter av prosesser, dekke hele landet og likevel være robust og mulig å tilpasse til forskjellige forhold, måtte vi utvikle en flertrinns soneringsmetode som tillater noen kompromisser.

Soneringen, basert på tre basisdatasett (løsmasseklasser, skredaktivitetsklasser og DHM-kilde), resulterte i 18 klasser som brukes i startsonemodellen. Denne videreutviklingen av modelleringsmetoden for startsonidentifisering tillater en veldig detaljert finjustering av modellparametrene for ulike områder av Norge. Også skillet mellom jordskredmodellen og flomskredmodellen gir mulighet til å tilpasse modellparameteriseringen med høyere nøyaktighet for de gjeldende prosesser. At metodeutvikling, modellparameterisering og modellvalidering er basert på feltobservasjoner i flere iterasjoner gjennom hele prosjektperioden har vært avgjørende for å få gode resultater.

Til tross for tilpassningen av terskelverdier for startsonidentifisering i områder der DHM er basert på N50 data, er det fortsatt ikke mulig å fange opp alle «open slope» -startsoner i disse områdene. Men så snart et potensielt skred starter i terreng som viser litt kanal morfologi, er det ikke noe problem å fange opp startsoner på N50-basert DHM. Dermed er det mest planarkurvatur som er avgjørende for om detaljeringsgraden i DHM er høy nok til å identifisere alle mulige startsoner. Kontroll av modelleringsresultatene har imidlertid vist at de meste aktuelle områdene (beboede områder, ferdselsårer, etc.) er dekket av gode nok høydemodelldata til å kunne kalibrere modelleringsparametrene tilfredsstillende.

Kalibreringen av utløpsmodellen viste seg å være enklere enn for startsonedeteksjonen fordi mer kartlagt informasjon er tilgjengelig for kvantitativ sammenligning og justering. Men også for utløpsmodelleringen spiller DHM-kilden en rolle. Utløpsmodellering basert på N50-basisdata kan gi en lateral økning av det berørte området (mer spredning), men har liten påvirkning på selve utløpslengden.

Konklusjonen er at modelleringsresultatene viser god korrelasjon mellom feltobservasjoner og registrerte hendelser, og at vi har utviklet en metode og resultater som viser de relevante aktsomhetsområdene uten å være for konservative.

MEDVIRKENDE

Forfatterne ønsker å takke K Sletten fra Norges geologiske undersøkelse for hjelp med feltarbeid, fruktbare diskusjoner og gjennomlesning av rapport. I den innledende fasen av arbeidet ble modellforsøk og feltsammenligning utført av C Melchiorre. T Testud og M Maset takkes for sine verdifulle studier som del av sine 'internships' ved NGU. Resultatene av disse mindre delprosjekt vises i Vedlegg 2 og 3. B Husteli bidro med feltarbeid.

REFERANSER

- Bathurst, J. C., Burton, A., and Ward, T. J.: Debris flow run-out and landslide sediment delivery model tests, *Journal of Hydraulic Engineering*, 123, 410–419, 1997.
- Blahut, J., Horton, P., Sterlacchini, S. & Jaboyedoff, M. 2010. Debris flow hazard modeling on medium scale: Valtellina di Tirano, Italy. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 10: 2379–2390.
- Brunsdon, D. 1979. Mass movements. In: Embleton C., Thornes J., editors. *Process in Geomorphology*. London: Edward Arnold, pp. 131–186.
- Dahl, S., Berg, K. & Nålsund, R. 1983. Stabilitetsforholdene i skråninger med morene og lignende jordarter. p. 21.
- Etzelmüller, B., Romstad, B. & Fjellanger, J. 2007. Automatic regional classification of topography in Norway. *Norwegian Journal of Geology*, Vol. 87, pp.167-180.
- Fischer, L., Rubensdotter, L., Sletten, K., Stalsberg, K., Melchiorre, C., Horton, P. & Jaboyedoff, M. (2012). Debris flow modeling for susceptibility mapping at regional to national scale in Norway. In: eds. Eberhardt, E., Froese, C., Turner, A.K., Leroueil, S., *Landslide and engineered slopes: Protecting society through improved understanding*, Taylor & Francis Group, London. pp. 723-729
- Heinimann, H.R., Hollenstein, K., Keinholz, H., Krummenacher, B. & Mani P. 1998. *Methoden zur Analyse und Bewertung von Naturgefahren*, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), (ed), Bern, 1998.
- Holmgren, P. 1994. Multiple flow direction algorithms for runoff modeling in grid based elevation models: An empirical evaluation. *Hydrol. Processes* 8(4): 327–334.
- Horton, P., Jaboyedoff, M. & Bardou, E. 2008. Debris flow susceptibility mapping at a regional scale. *Proceedings of the 4th Canadian Conference on Geohazards*, 20–24 mai 2008 Quebec.
- Huggel, C., Käab, A., Haerberli, W. & Krummenacher, B. 2003. Regional-scale GIS-models for assessment of hazards from glacier lake outbursts: evaluation and application in the Swiss Alps. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 3: 647–662.
- Jaedicke, C., Solheim, A., Blikra, L.H., Stalsberg, K., Sorteberg, A., Aaheim, A., Kronholm, K., Vikhamar-Schuler, D., Isaksen, K., Sletten, K., Kristensen, K., Barstad, I., Melchiorre, C., Høydal, Ø.A. & Mestl, H. 2008. Spatial and temporal variations of Norwegian geohazards in a changing climate, the GeoExtreme Project. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 8, 893–904.
- Jaedicke, C., Lied, K. & Kronholm, K. 2009. Integrated database for rapid mass movements in Norway. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 9: 469–479.
- Lorente, A., Beguería, S., Bathurst, J.C. & García-Ruiz, J.M. 2003. Debris flow characteristics and relationships in the Central Spanish Pyrenees. *Nat Hazards Earth Syst. Sci.* 3: 683–691.
- NGU: http://www.ngu.no/upload/Aktuelt/Produktark_LosmasseN50N250_NGU.pdf
- Norkart: <http://www.norgei3d.no/>
- NVE, 2011.14. Plan for skredfarekartlegging: Status og prioriteringer innen oversiktskartlegging og detaljert skredfarekartlegging i NVEs regi. Rapport 2011.14, E. Øydvin et al., 92 s., <http://www.nve.no/no/flom-og-skred/farekartlegging/skredfarekartlegging/>.
- Puschmann, O. 2005. Nasjonalt referansesystem for landskap - Beskrivelse av Norges 45 landskapsregioner. NIJOS rapporter 10/05: 204 s.
- Rickenmann, D. & Zimmermann, M. 1993. The 1987 debris flows in Switzerland: Documentation and Analysis. *Geomorphology* 8: 175–189.
- seNorge.no. Snow, weather, water and climate in Norway. <http://www.senorge.no>, 28.09.2011.
- skrednett.no. National landslide database. <http://skrednett.no>, 28.09.2011.

statkart.no. Digital terrain model DTM <http://www.statkart.no/nor/Land/Fagomrader/Terrengmodell>, 14.10.2011.

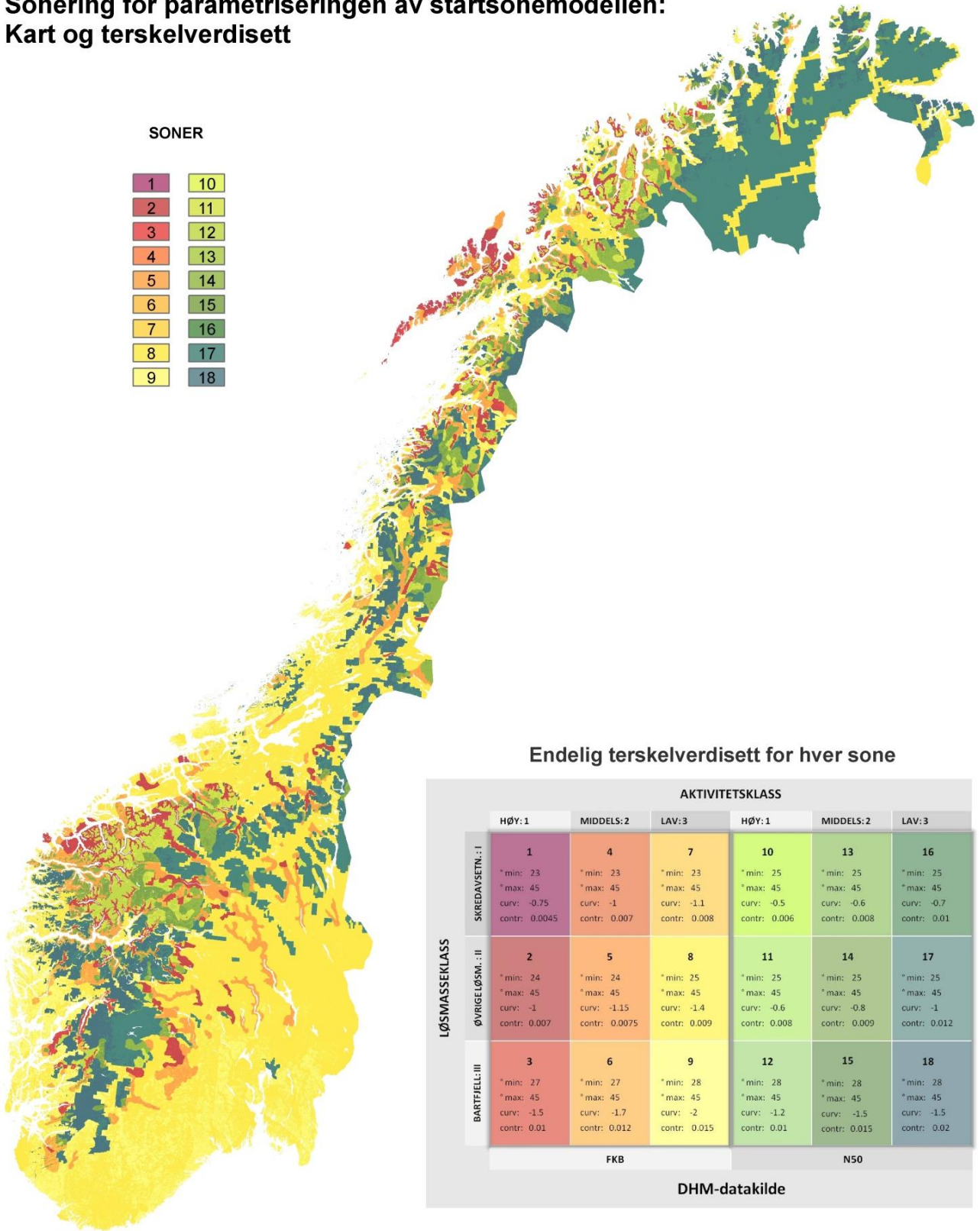
Zimmermann, M., Mani, P., Gamma, Patrick, Gsteiger, P. Heiniger, O. & Hunziker, G. 1997. Murganggefahr und Klimaänderung—ein GIS basierter Ansatz. Schlussbericht NFP31. Vdf. Hochschulverlag ETH Zürich.

VEDLEGG 1 – Landedekkende sonering

Sonering for parametriseringen av startsonemodellen: Kart og terskelverdisett

SONER

1	10
2	11
3	12
4	13
5	14
6	15
7	16
8	17
9	18



Endelig terskelverdisett for hver sone

		AKTIVITETSKLASS					
		HØY: 1	MIDDELS: 2	LAV: 3	HØY: 1	MIDDELS: 2	LAV: 3
LØSMASSEKLASS	SIKREDAVSETN.: I	1	4	7	10	13	16
	* min: 23	* min: 23	* min: 23	* min: 25	* min: 25	* min: 25	
	* max: 45	* max: 45	* max: 45	* max: 45	* max: 45	* max: 45	
	curv: -0.75	curv: -1	curv: -1.1	curv: -0.5	curv: -0.6	curv: -0.7	
	contr: 0.0045	contr: 0.007	contr: 0.008	contr: 0.006	contr: 0.008	contr: 0.01	
	ØVRIGELØSM.: II	2	5	8	11	14	17
	* min: 24	* min: 24	* min: 25	* min: 25	* min: 25	* min: 25	
	* max: 45	* max: 45	* max: 45	* max: 45	* max: 45	* max: 45	
	curv: -1	curv: -1.15	curv: -1.4	curv: -0.6	curv: -0.8	curv: -1	
	contr: 0.007	contr: 0.0075	contr: 0.009	contr: 0.008	contr: 0.009	contr: 0.012	
	BARTPELLE: III	3	6	9	12	15	18
	* min: 27	* min: 27	* min: 28	* min: 28	* min: 28	* min: 28	
	* max: 45	* max: 45	* max: 45	* max: 45	* max: 45	* max: 45	
	curv: -1.5	curv: -1.7	curv: -2	curv: -1.2	curv: -1.5	curv: -1.5	
	contr: 0.01	contr: 0.012	contr: 0.015	contr: 0.01	contr: 0.015	contr: 0.02	
		FKB			N50		
		DHM-datakilde					

VEDLEGG 2 - Fieldwork 2011 and analyses of modelled starting zones

Tiphaine Testud, internship-rapport desember 2012

This work was performed within the framework of the project “Aktsomhetskart Jordskred” at NGU, which is aiming to develop susceptibility maps for shallow landslides and debris flows for the whole Norwegian territory.

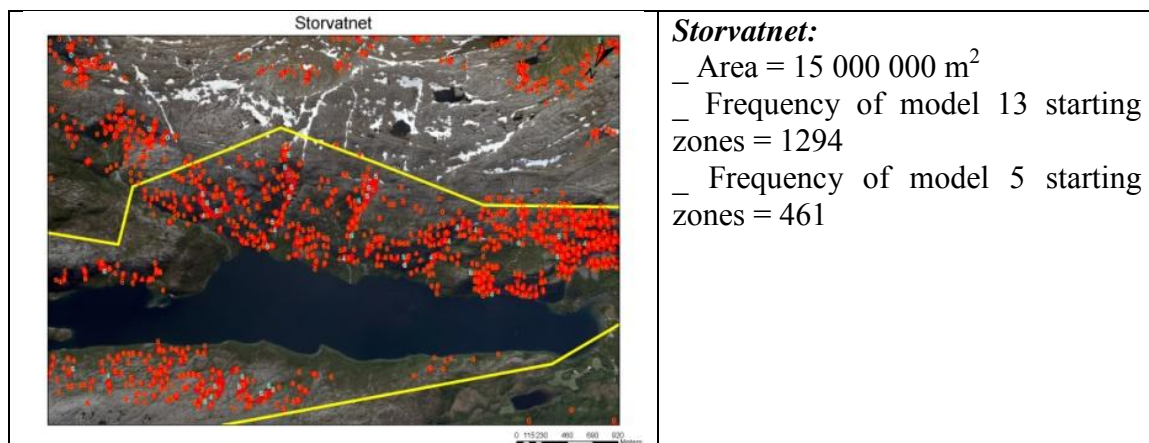
This study included the analysis of aerial images in order to determine the substratum type for modeled starting zones of debris flow at five different sites: Storvatnet and Lussidalen in Nesna area, Junkerdalen, and Skitnskarddalen and Tromsdalen in Tromsø area.

As in this first models, no zonation was included to adapt the model parameters, two models of starting zones with different parametersets have been analysed and compared. Model 13 with parameters of a slope angle from 30 to 45 degrees, a curvature of -0.5 m^{-1} , and a contributing area of 0.002 km^2 ; and model 5 with parameters of a slope angle from 30 to 45 degrees, a curvature of -1 m^{-1} , and a contributing area of 0.005 km^2 .

1. Substratum

For each of the five sites, the substratum was investigated, to get more information about the possible influence of substratum type on debris flow activity. Substrata have been divided in five categories: grassland (2), forest (3), scree slope (4), bedrock (5), and bushes (6). Each of the categories has a different behaviour, and is more or less susceptible to start a debris flow.

At each site, model 5 shows less starting zones than model 13, and covers smaller cells, all of them being in model 13 starting zones. The classification for model 5 is therefore more precise than for model 13, as the cells are more likely to cover only one type of substratum. Despite this, results from the two models are similar in each of the sites investigated.



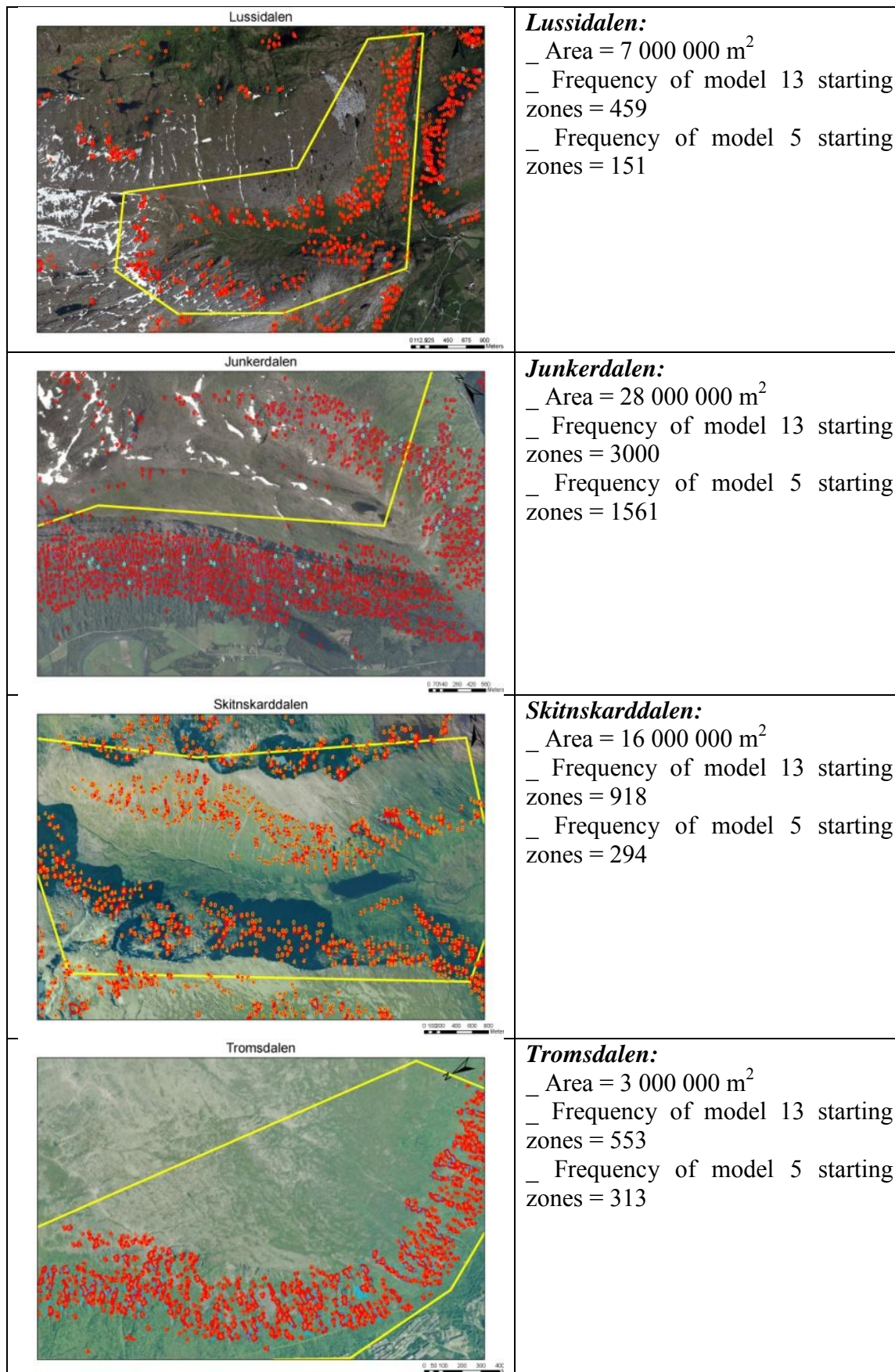


Fig. 2: Aerial photograph of each site showing the area studied and the starting zones, and a short description.

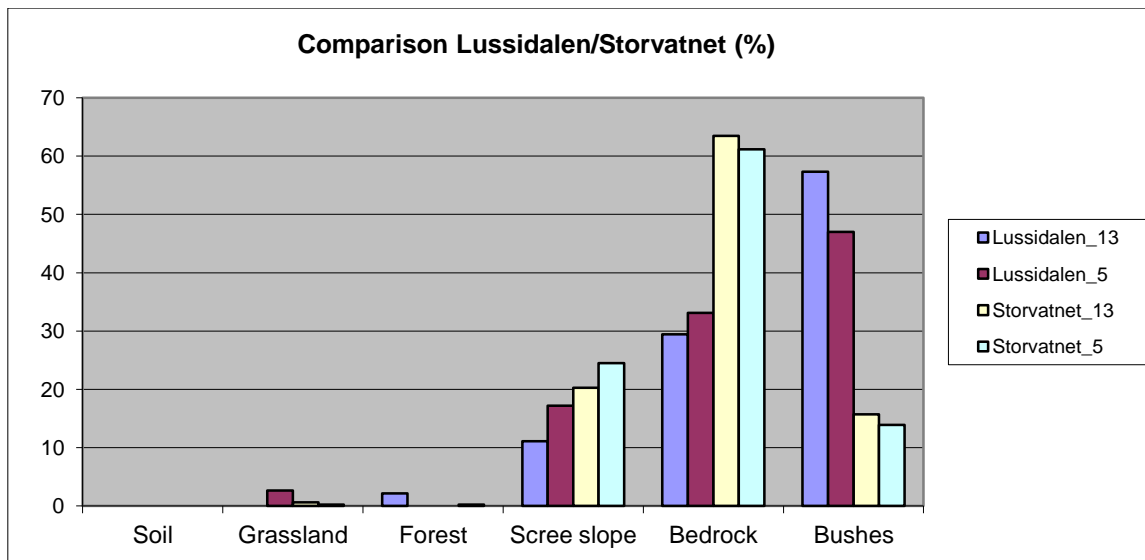


Figure 3: Comparison substrata type for the two models (5 and 13) in two different sites: Lussidalen and Storvatnet, in Nesna area.

A comparison for the two models in the Nesna area (Lussidalen and Storvatnet) is presented below (Figure 3). The results show only slight differences between the two sites for each model. Both models show a high percentage of starting zones on bedrock in Storvatnet, whereas in Lussidalen the majority of starting zones are on bushes.

The statistical results for the classification of starting zones according to the substratum are presented in Figure 4. The figure displays variable distributions for each of the five sites. Skitnskarddalen shows an equal distribution of the starting zones on the different substratum, in the other regions one substratum is majority: bushes in Lussidalen, Junkerdalen, and Tromsdalen, and bedrock in Storvatnet.

At some sites, especially in Storvatnet, a high frequency of starting zones are on bedrock, however, debris flow cannot start on massive bedrock, because of the lack of sedimentary material. So the model parameters have to be changed for those specific sites.

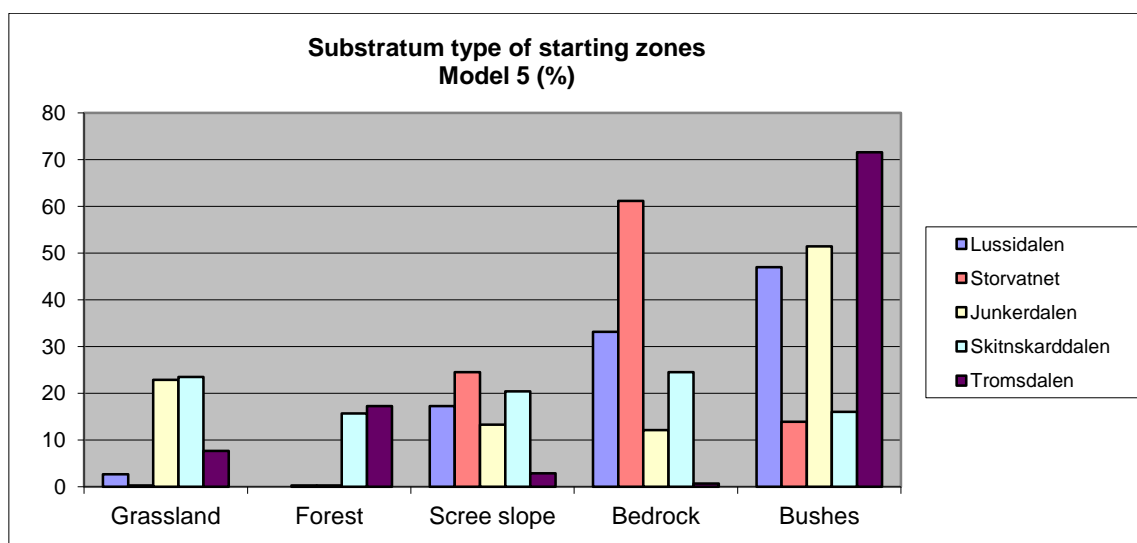


Figure 4: statistical results for the substratum type for the five sites.

2. Tracks

The presence of debris flow tracks morphology for each starting zones was also investigated. The number of existing tracks varies depending on the region. In Junkerdalen, using model 5, 43.5 % of the modeled starting zones are lying within debris flow tracks observed from aerial image (and 30% using model 13). In Tromsø area, model 5 displays 14% of starting zones lying on tracks, and model 13 displays 11%; in Tromsdalen, there are 24 % with model 5 and 12 % with model 13. Whereas in Nesna area fewer tracks are present, in Storvatnet there are about 1% of starting zones lying on tracks with both models, and none are visible in Lussidalen.

The distribution of tracks according to the substratum type of the starting zones is shown as follows (Figure 5).

The distribution of the substratum of the modeled starting zones within observed tracks is not the same in all regions. In Storvatnet, all the starting zones with tracks are on scree slope. In Junkerdalen and Skitnskarddalen, tracks are distributed between grassland, scree slope, and bushes, more or less equally. And in Tromsdalen the majority of tracks are on bushes.

The number of tracks also depends on the slope. For example in Skitnskarddalen, one of the slopes displays a really regular surface and many tracks, whereas the slope opposite has a rough, undulating surface, and shows no tracks at all (Figure 6).

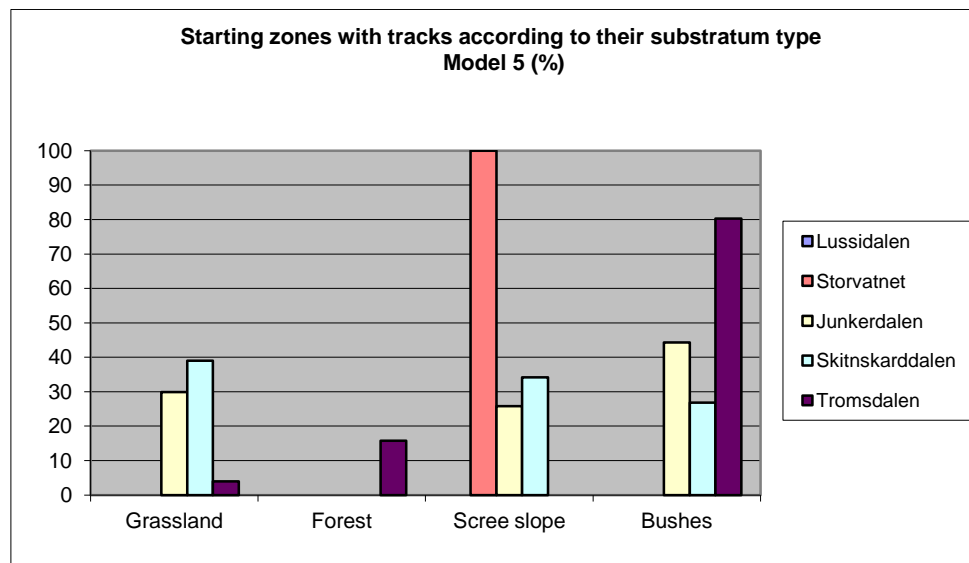


Figure 5: tracks distribution for the five sites.

Aerial image of Skitnskarddalen

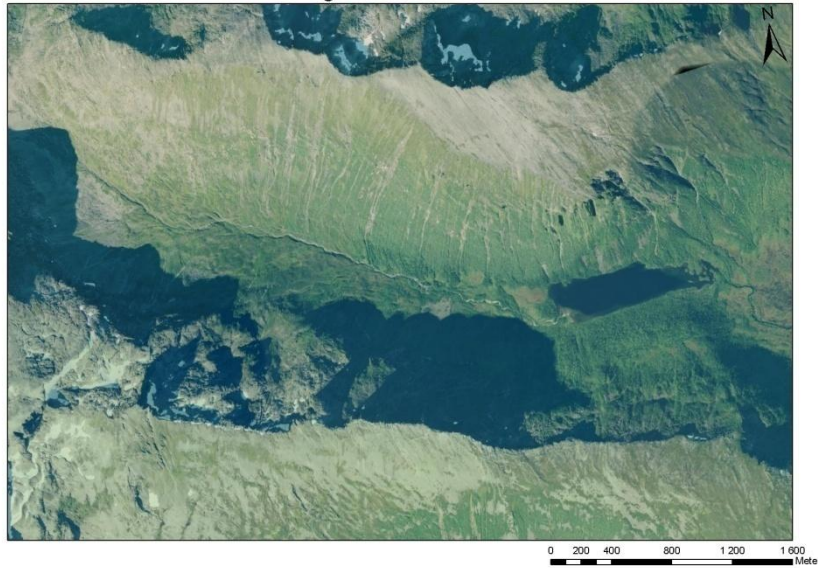


Figure 6: aerial photograph of Skitnskarddalen showing the different morphology of two slopes with opposite aspects.

The number of tracks according to the number of starting zones in each particular substratum for each site is shown as follows (Figure 7). This allows getting a more accurate idea on the real frequency of tracks in each site. Figure 7 displays more existing tracks according to the total number of modeled starting zones in Junkerdalen than in other regions. In Junkerdalen, more than 80% of starting zones on scree slope are on track morphology, as well as 56 % of starting zones on grassland, and 38% of starting zones on bushes. In the other sites, the number of tracks is not as high compared with the number of starting zones. In Skitnskarddalen, more than 20% of starting zones on grassland and bushes display tracks. The others sites, Lussidalen, Storvatnet, and Tromsdalen, display less than 10 % of starting zones on each substratum.

The study of Skitnskarddalen shows there are starting zones in nearly all the visible tracks with model 13, but starting zones with model 5 do miss some tracks (Figure 8).

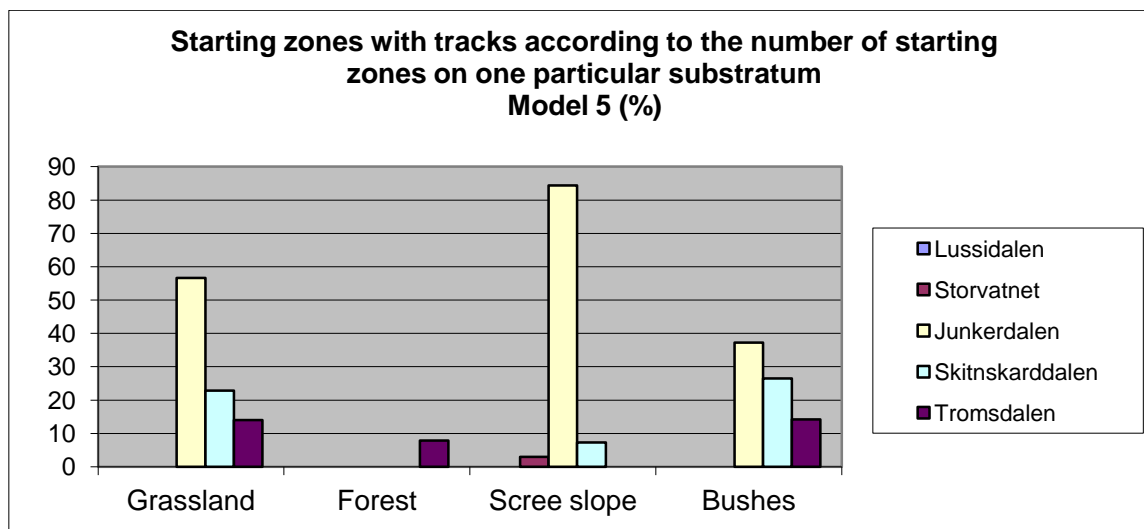


Figure 7: distribution of tracks according to the number of starting zones in each substratum.

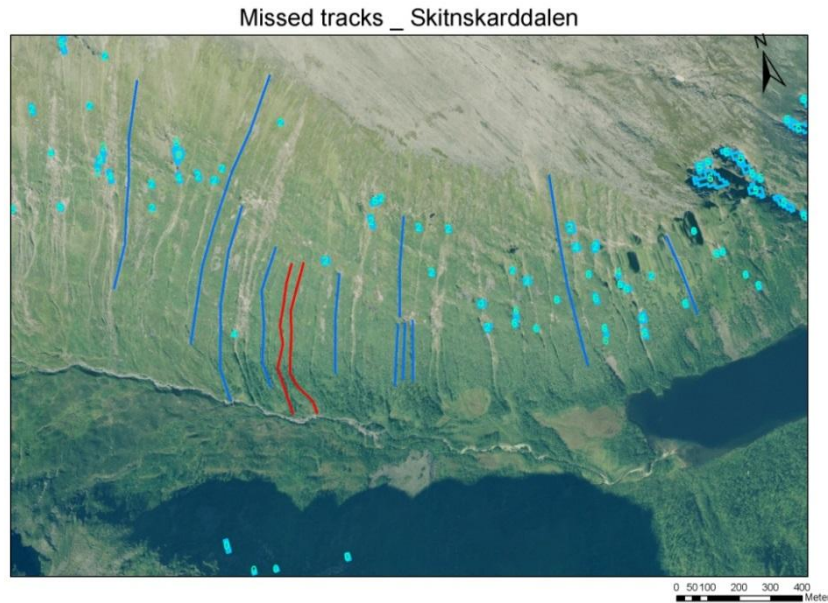


Figure 8: aerial photograph of Skitnskarddalen showing the missed tracks. Red lines show tracks missed by model 13, blue lines show tracks missed with model 5.

3. Fieldwork

Fieldwork was conducted at three of the five sites, including: Lussidalen and Storvatnet in Nesna area, and Junkerdalen.

In contrast to the aerial photograph analyses, some tracks were found in Lussidalen, as well as many snow avalanche channels, forming depressions that could be used as path for possible future debris flows.

At the western end of Storvatnet, were many fans with boulders as large as several meters in diameter. Most of the fans displayed a sorting of material size with small particles at the top and large boulders at the bottom in the forest. However some fans were quite uniform in the boulders size from top to bottom, containing mainly large boulders. Most of the fans were derived from rock fall. However, the size of the boulders in the scree slopes was too big to initiate debris flows.

In Junkerdalen some really fresh tracks were identified, and some slopes in this region display frequent mass-movement activity. More loose sediment is available on these slopes indicating a higher weathering of bedrock.

A comparison of the two regions is shown below (Figure 9).

Storvatnet:



Junkerdalen:



Figure 9: comparison of Storvatnet and Junkerdalen area using a picture of an overview of the slope, and a picture of a detail of the slope, for both region.

Correlation of the two models to field observations is not exactly the same in the two different regions. In Nesna, model 13 shows too many starting zones in comparison with the potential ones that have actually been found during fieldwork. The model 5 shows a better correlation. In Junkerdalen model 13 also displays too many starting zones, while model 5 has not enough, thereby missing a number of actual starting zones. This shows that the modeling parameters for the starting zones have to be adjusted to different values for different areas, depending mainly on the lithology of the area.

4. Lithology

The lithology of each area is described as follows:

- _ Lussidalen: granite and granodiorite in the bedrock; mica gneiss, mica schist, metasediment, and amphibolite in the valley.
- _ Storvatnet: granite and granodiorite.
- _ Junkerdalen: phyllite and mica schist; marble; dioritic to granitic gneiss, migmatite.
- _ Skitnskarddalen: dioritic to granitic gneiss, migmatite.
- _ Tromsdalen: banded gneiss (amphibolite, hornblendegneiss, mica gneiss) locally migmatitic.

Some lithologies are more prone than others to form debris flows, due to the steepness of the slope they create, and depending on the weathering susceptibility that will produce small grains, more sediment is available for a debris flow. The fact that in some regions many different lithological layers are present can also be a potential parameter that helps to create a debris flow. Indeed, the different lithologies will not have the same behaviour with weathering, and the morphology will be different.

In the studied sites, two different groups of lithologies can be distinguished: granite to granodiorite, and gneiss to schist. The former is more frequent in Nesna area. It is massive bedrock with a very low weathering rate, therefore producing very little sediments. That type of lithology is not prone to debris flows; however, the slope angle that it creates in the studied areas is usually around 30° to 45°, which is the one picked up by the models as possible starting zones.

The other type of lithology, gneiss and schist, is more easily weathered. Indeed, the composing minerals, especially the micas, are not really resistant to alteration, and the pre-existing foliation and planes they present are also weaknesses in the rock, and are therefore easily weathered. The bedrock is not massive, but breaks into small pieces, creating a significant amount of loose material. With heavy rains that material can be transported and become a debris flow.

The area with more tracks, Junkerdalen, corresponds with the lithology that is more prone to produce small grains, and therefore more debris flows. Lithology appears to be one of the main variables responsible for the formation of debris flows, as it determines the quantity of material available, as well as the slope angle. Thus debris flows are limited in an area composed of granite, whereas they are more frequent in slopes of gneiss or schist. It is therefore important to include information about lithology in models used to create a susceptibility map.

VEDLEGG 3- Statistiske analyser av løsmasstyper og skredhendelser i utvalgte områder - Magni Mausest, internship-rapport desember 2012

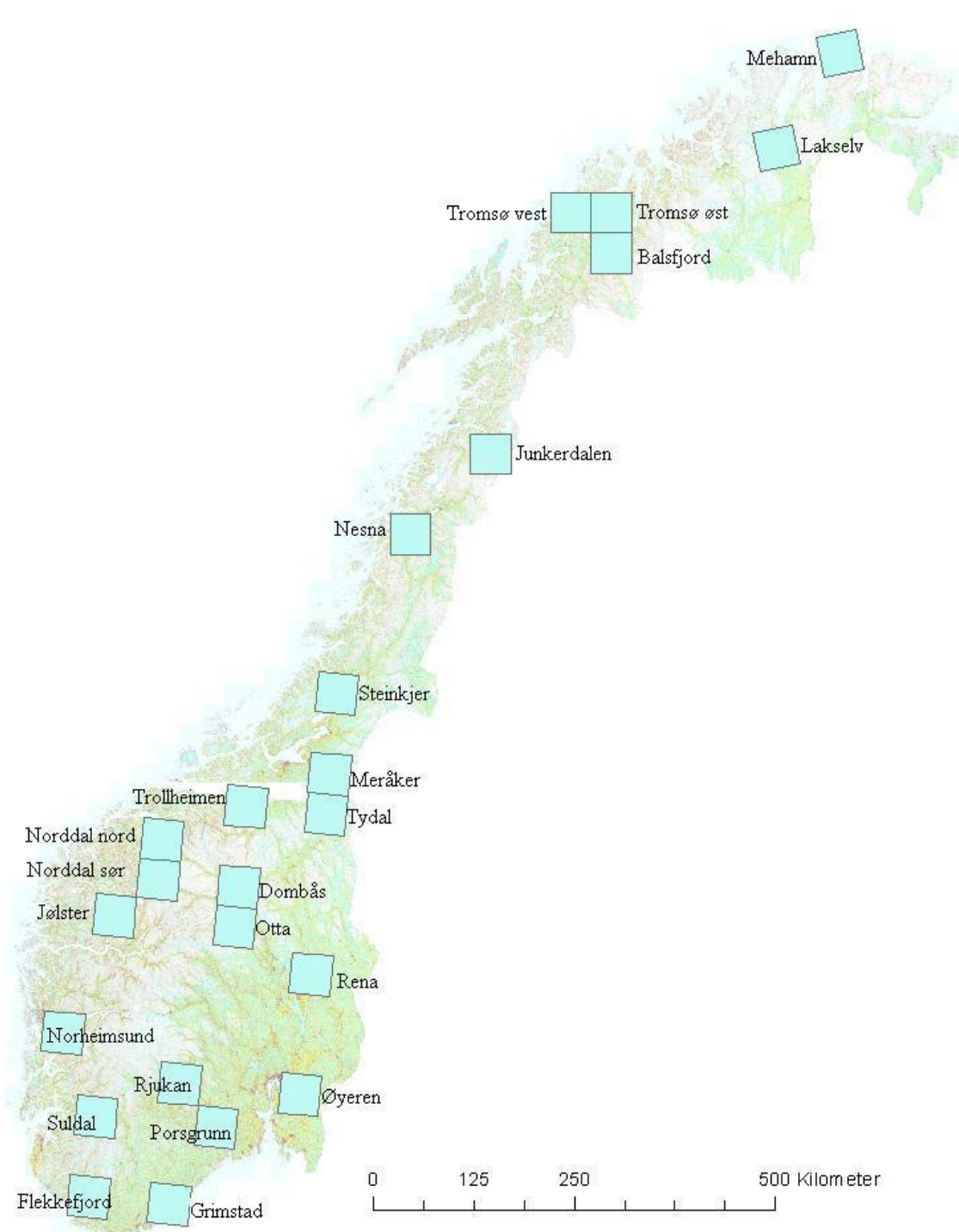
Det ble satt opp fordeling av løsmasser, og forsøkt med en inndeling av landet ut i fra dominerende løsmasstyper. Til sammen 24 områder på 50 x 50 km, 2500 km², blitt analysert. Lokaliseringen av områdene med navnsetting vises i figur 1. Det har først blitt gjort en analyse på løsmassene på hele området, og så en analyse kun for skråninger med en helningsvinkel mellom 20°-50°.

Det ble først forsøk å få en statistikk ut i fra registrerte hendelser. Skredhendelser registrert i databasen er som oftest registrert ved veier og bebyggelse, da de fleste er registrert av Statens Vegvesen dersom det har vært en hendelse som har påvirket deres veidrift. Dette gjør at en ikke har registrering av utløsningsområdet for hendelsen, men et punkt langs en vei som ligger nede i en dalbunn. Variasjonene i løsmasstypene er store fra potensielle utløsningsområder i skråninger, som ofte kan bestå av morene, forvitningsmateriale, gamle skredmasser eller tynt humusdekke over berggrunn, og ned til dalbunnen, som ofte kan bestå av elve- og havavsatte sedimenter. Dette gjorde at det ble forsøkt å "flytte" hendelsen opp til sannsynlig løsneområde for å få korrekt løsmasse- og berggrunnsregistrering, men dette gjør også at resultatene ikke kan anees som objektive observasjoner og dermed ble denne statistikken forkastet. I stedet ble det utarbeidet statistikker på løsmasse- og berggrunnsfordeling ved registrerte hendelser, og forsøkt sett i sammenheng med løsmasse- og berggrunnsfordeling ellers i området.

Fremgangsmåte

Det ble først tatt utgangspunkt i de allerede eksisterende test sites: Balsfjord, Tromsø, Norddal, Junkerdalen og Nesna. Her bestod Tromsø og Norddal av et dobbelt så stort areal som de andre, så disse ble delt inn i Norddal sør og nord, og Tromsø øst og vest. De neste områdene ble plukket ut på grunnlag av hvor det finnes kart i 50.000-målestokk for løsmasser, for å få så korrekte tall som mulig. Siden det finnes ganske begrenset med disse kartene, og de fleste er lokaliserte på indre østland, så ble flere områder plukket ut uavhengig av om områdene var kartlagt i 50.000- eller 250.000-målestokk, men det ble forsøkt å velge områder som en vet har høy aktivitet med jordskred. Etter hvert som det ble satt opp statistikker over løsmassefordelingen begynte et mønster å tre frem, og de siste ti områdene som ble plukket ut ble valgt på grunnlag av geografisk plassering i Norge, for å se om mønsteret ville fremheves mer.

Det ble hentet ut data både fra berggrunnskart og løsmassekart, og laget statistikker for hver av disse. For løsmassekart ble det i tillegg laget statistikk for løsmassefordeling i skråninger med en helningsvinkel mellom 20°-50°. Det ble også hentet ut informasjon om løsmasser og berggrunn ved registrerte hendelser (hentet fra versjonen *quarternery without humanmade*), som ble satt inn i diagram sammen med statistikker over fordeling av berggrunn og løsmasser for hele området. Alle verdier er omregnet til prosent for å lettere kunne sammenligne fordelingene direkte. Se under Resultat for de forskjellige diagrammene med statistikker.



Figur 1: Alle analyserte områder med navnsetting

Løsmassekartene inneholder veldig mange forskjellige klasser. For våre analyser, flere løsmassetyper slått sammen for å forenkle sammenligningsprosessen (Tab. 1).

	Kodenavn og kodennummer
Løsmasser/berggrunn under vann, uspesifisert	Kode 1: Løsmasser/berggrunn under vann, uspesifisert
Morenemateriale, samlet	Kode 11: Morenemateriale, sammenhengende dekke Kode 12: Morenemateriale, usammenhengende eller tynt dekke Kode 13: Moreneleire Kode 14: Avsmeltingsmorene Kode 15: Randmorene Kode 16: Drumlin Kode 17: Rogenmorene
Breelvavsetning, samlet	Kode 20: Breelvavsetning Kode 22: Ryggformet breelvavsetning (esker)
Bresjø- og innsjøavsetning	Kode 30: Bresjø-/ eller brekammeravsetning Kode 35: Innsjøavsetning (lakustrin avsetning) Kode 36: Bresjø-/brekammer og innsjøavsetning (glasilakustrin og lakustrin avsetning)
Marine avsetninger	Kode 40: Hav og fjordavsetning, uspesifisert Kode 41: Hav- og fjordavsetning Kode 42: Marin strandavsetning Kode 43: Hav- og fjord og strandavsetning, usammenhengende eller tynt dekke over berggrunnen
Elveavsetning	Kode 50: Elve- og bekkeavsetning (fluvial avsetning) Kode 54: Flomavsetning, sammenhengende
Forvittringsmateriale, stein- og blokkrikt	Kode 73: Forvittringsmateriale, stein- og blokkrikt, dannet ved frostsprenging
Forvittringsmateriale, samlet	Kode 70: Forvittringsmateriale, ikke inndelt etter mektighet Kode 71: Forvittringsmateriale, sammenhengende dekke Kode 72: Forvittringsmateriale, usammenhengende eller tynt dekke over berggrunnen
Skredmateriale, samlet	Kode 80: Skredmateriale, ikke inndelt etter mektighet Kode 81: Skredmateriale, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet Kode 82: Skredmateriale, usammenhengende eller tynt dekke over berggrunnen Kode 301: Jordskred, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet Kode 304: Leirskred, usammenhengende eller tynt dekke Kode 307: Steinsprang, sammenhengende dekke, stedvis med stor mektighet Kode 308: Steinsprang, usammenhengende eller tynt dekke Kode 313: Snø- og jordskred, sammenhengende dekke Kode 315: Jordskred og steinsprang, sammenhengende dekke Kode 316: Jordskred og steinsprang, usammenhengende eller tynt dekke
Torv og myr	Kode 90: Torv og myr
Humusdekke/tynt torvdekke over berggrunnen	Kode 100: Humusdekke/tynt torvdekke over berggrunn
Fyllmasse	Kode 120: Fyllmasse (antropogent materiale) Kode 122: Menneskepåvirket materiale, ikke nærmere spesifisert
Bart fjell	Kode 130: Bart fjell

Tabell 2: Oversikt over forenkling av løsmassetyper

Grupperinger

Områdene ble delt inn ut i fra løsmassefordelingen (hovedsakelig totalt areal) i fire grupper (A-D). Inndelingen er ikke direkte basert på hvilke løsmasser det finnes mest av, men likheter i fordeling av løsmasser. For alle finnes det allikevel en fellesnevner som ansees som den viktigste for klassetildelingen, denne er uthevet i tabell 1. Unntaket her er klasse D, som skiller seg ut ved å ha en større andel skred- og forvittringsmateriale enn de andre klassene, men som ellers har flere løsmassetyper som finnes i betydelig mengde (over 15-20 %).

	Klasse A	Klasse B	Klasse C	Klasse D
Morenemateriale	10 – 30 %	> 45 %	5 – 15 %	20 – 40 %
Marine sedimenter	5 – 40 %	< 5 %	0 – 10 %	0 – 10 %
Bart fjell og tynt torvdekke	> 40 %	0 – 40 %	> 60 %	20 – 60 %
Forvittrings- og skredmateriale	< 5 %	< 5 %	0 – 10 %	5 – 25 %
Torv og myr	3 – 10 %	2 – 15 %	< 5 %	< 5 %

Tabell 1: Løsmassefordeling i de ulike klassene

Diagram og figurer

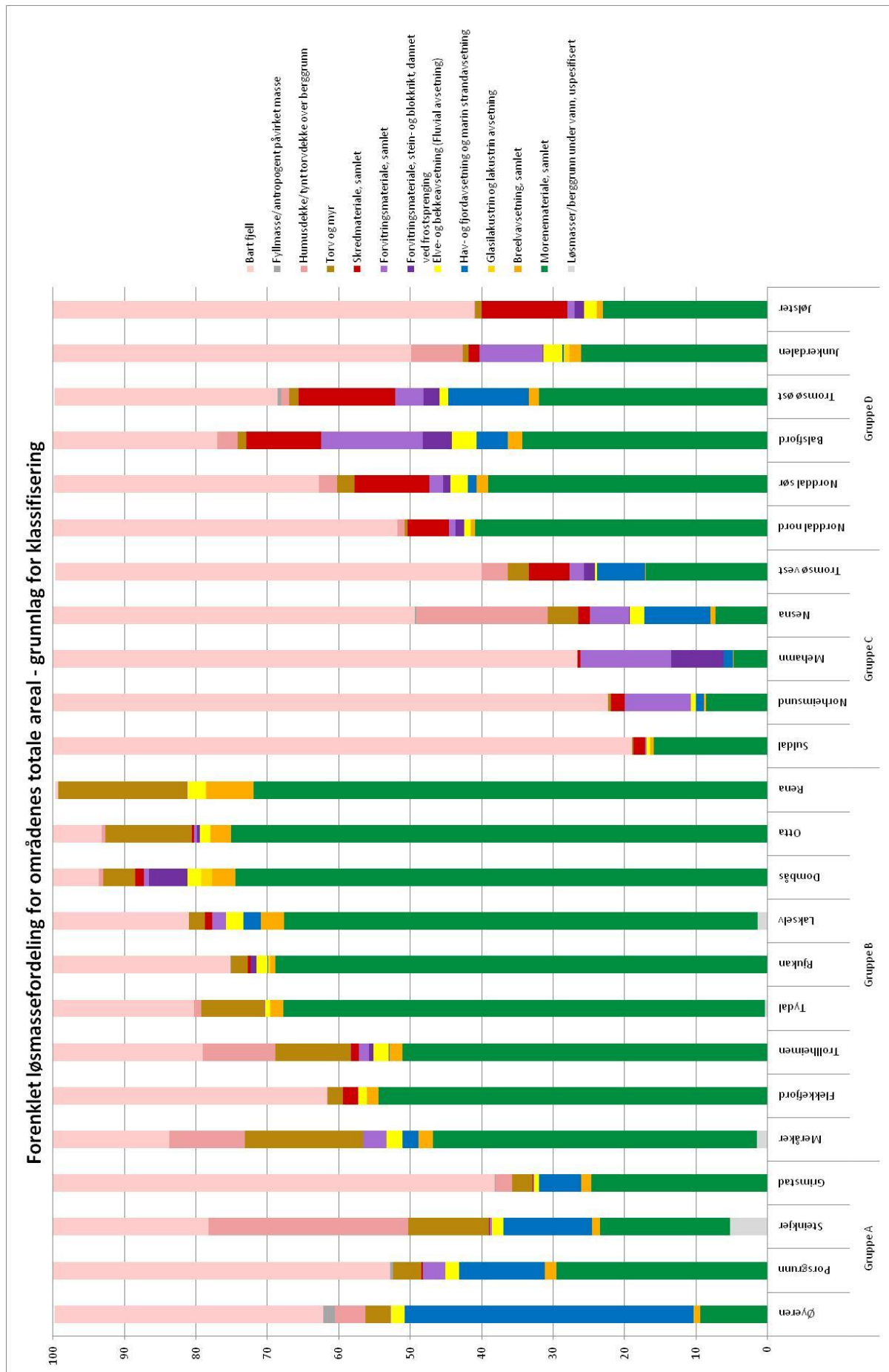
Fordeling av løsmasser og berggrunn

Alle diagram er satt opp ut i fra de inndelte klassene, for lettere å kunne se eventuelle likheter. Figur 2 viser løsmassefordelingen for områdenes totale areal, som var grunnlaget for klassifiseringen.

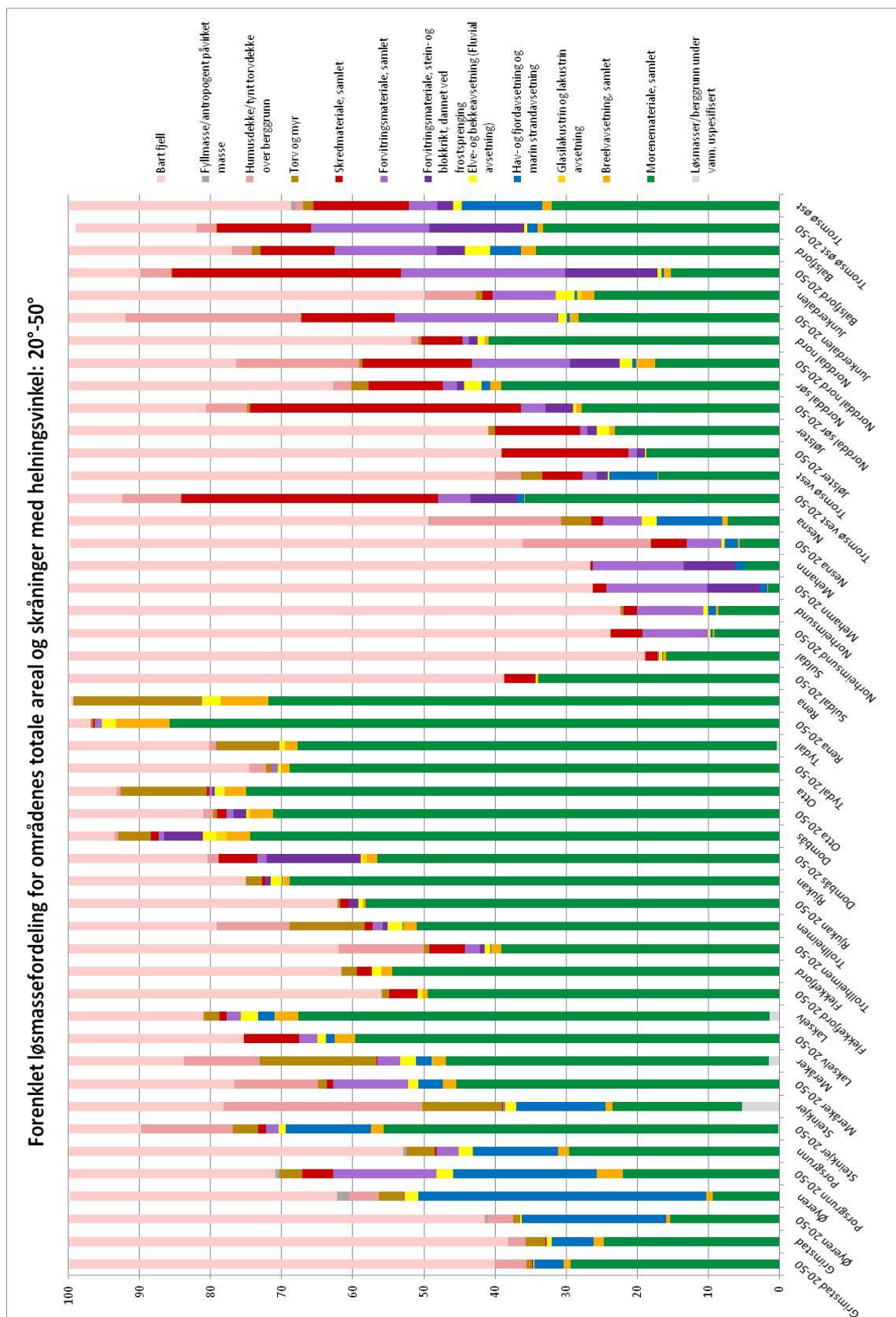
Figur 3 viser løsmassefordelingen for områdenes totale areal og løsmassefordelingen i skråninger med en helningsvinkel på mellom 20°-50°.

Figur 4 viser løsmassefordelingen for områdenes totale areal, løsmassefordelingen ved de registrerte hendelsene og totalt antall hendelser.

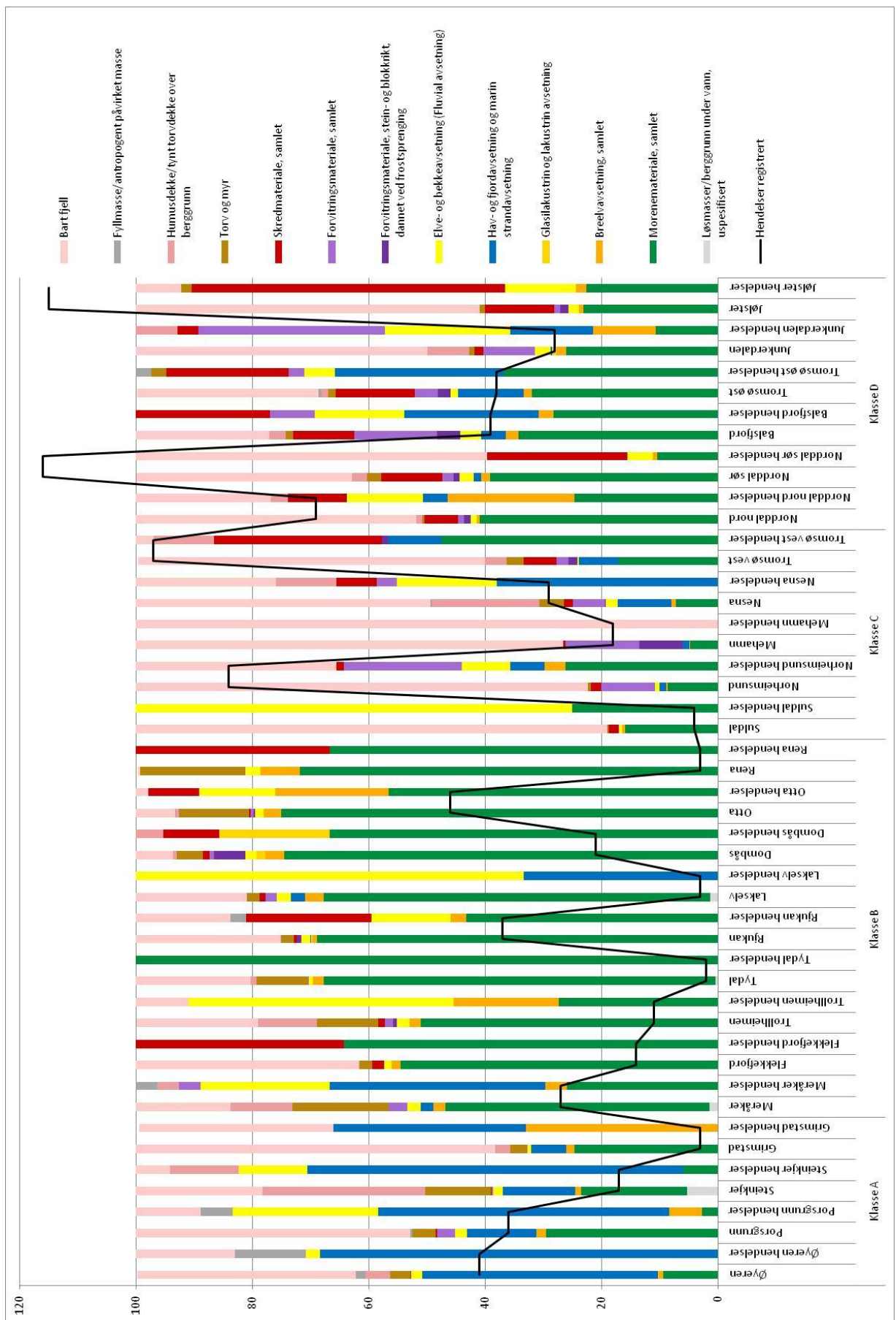
Figur 5 viser berggrunnsfordelingen for områdenes totale areal, berggrunnsfordelingen ved de registrerte hendelsene og totalt antall hendelser.



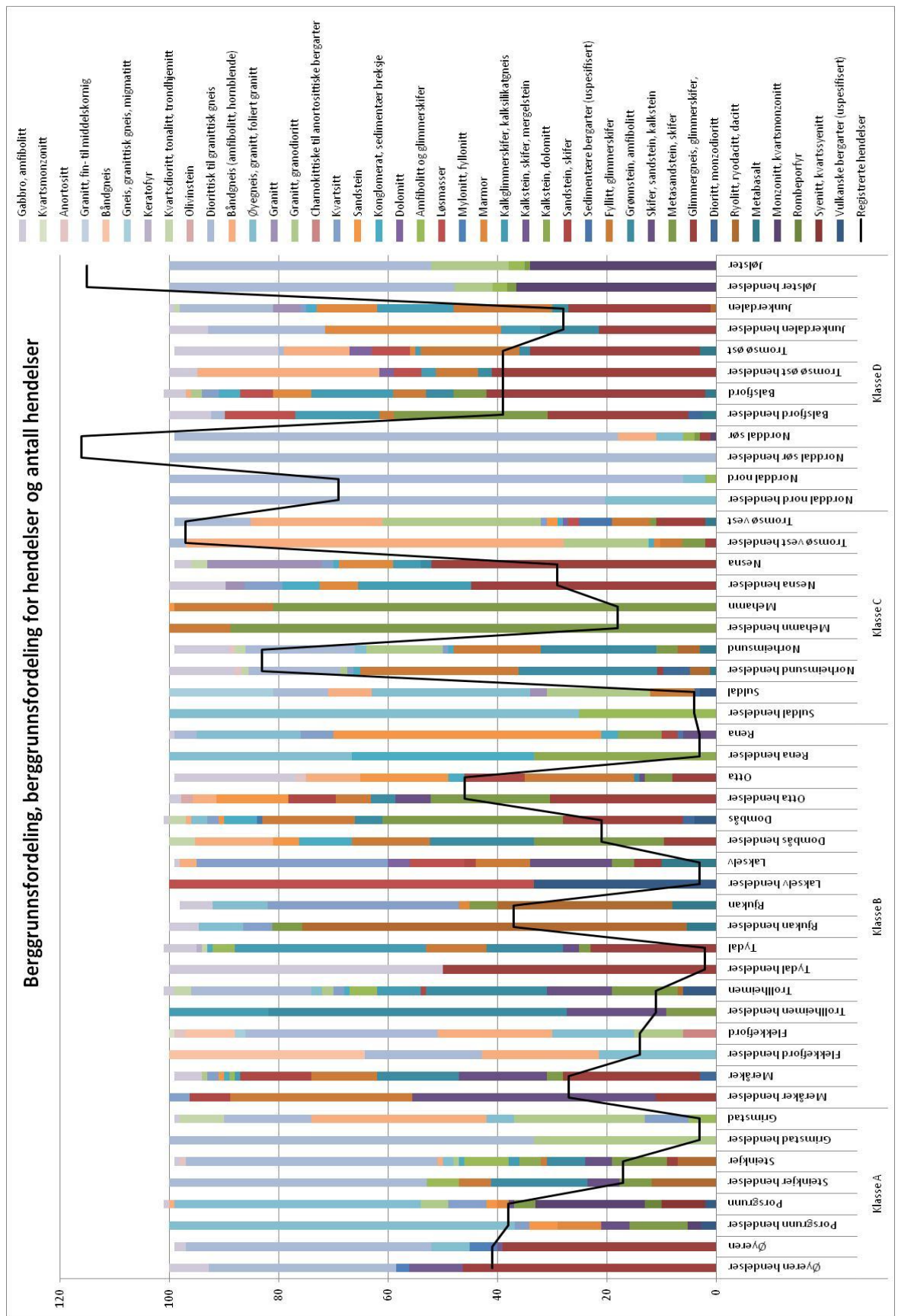
Figur 2: Løsmassefordeling for områdenes totale areal



Figur 3: Løsmassefordelingen for totalt areal og i skråninger med en helningsvinkel mellom 20°-50°



Figur 4: Løsmassefordelingen for totalt areal og ved de registrerte hendelsene, og antall hendelser



Figur 5: Berggrunnsfordelingen for totalt areal og ved de registrerte hendelsene, og antall hendelser

Klassifisering av områdene

Klasse A

Lavtliggende områder i overgangen fra kyst til innland, preges av havavsatte sedimenter, morene og bart fjell.

- Øyeren
- Porsgrunn
- Steinkjer
- Grimstad

Klasse B

Høytliggende områder, delvis i overgangen fra kyst til innland, til kun innlandet. Har store moreneavsetninger og lite havavsatt materiale.

- Meråker
- Flekkefjord
- Trollheimen
- Rydal
- Rjukan
- Lakselv
- Dombås
- Otta
- Rena

Klasse C

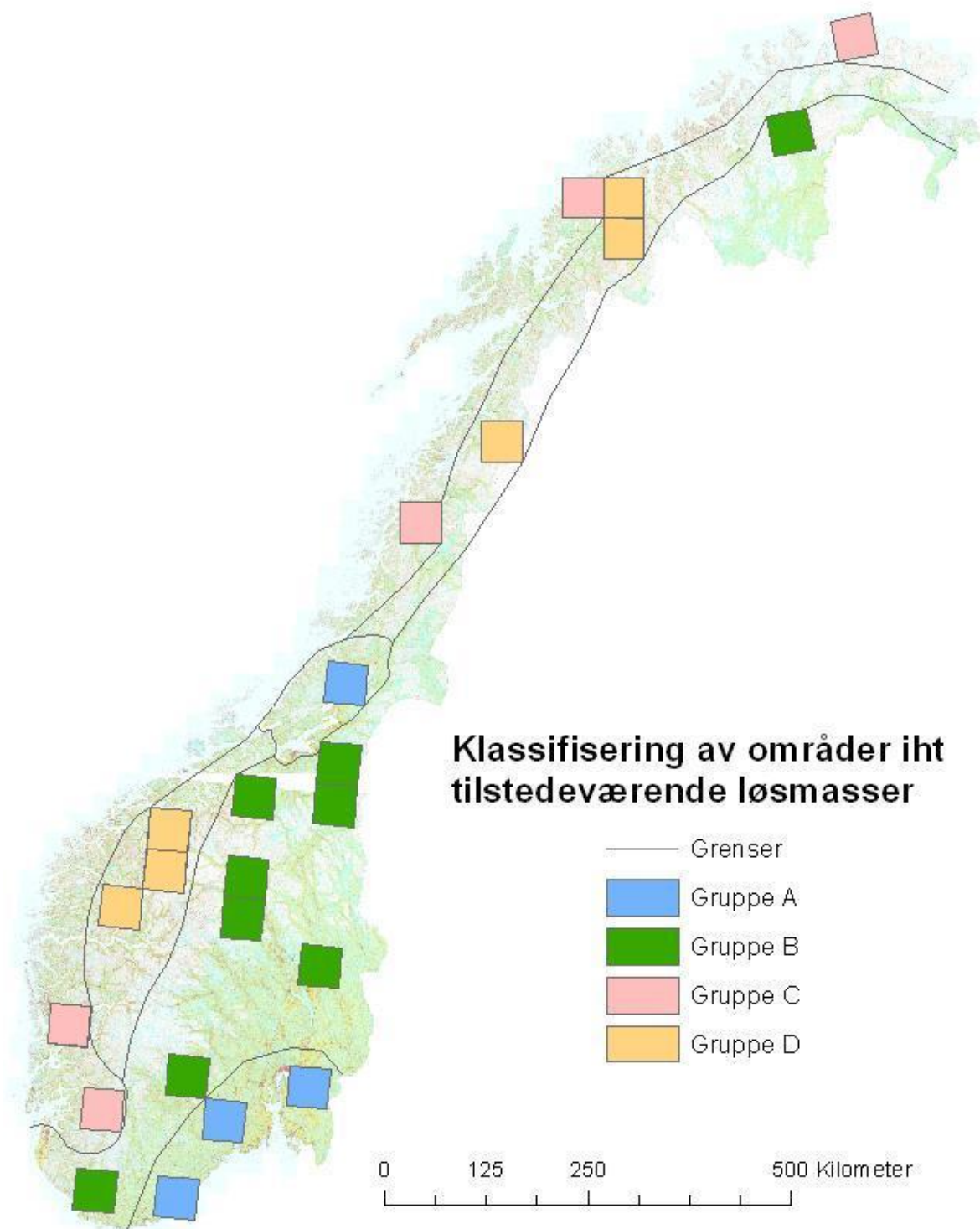
Kystnære, forholdsvis lavtliggende områder med over 60 % bart fjell og tynt humusdekke.

- Suldal
- Norheimsund
- Mehamn
- Nesna
- Tromsø vest

Klasse D

Forholdsvis kystnære, høytliggende områder.

- Norddal sør
- Norddal nord
- Balsfjord
- Tromsø øst
- Junkerdalen
- Jølster



Figur 6: Grafisk framstilling av klassifiseringen av områdene, med inntegnet grense mellom de forskjellige klassene

Kommentarer

Klassifiseringen

Klassifiseringen ble som tidligere nevnt bare delvis gjort på grunnlag av de mest dominerende løsmassene – det ble også like mye vurdert hvordan fordelingen av løsmassene var. Områder som f.eks Grimstad med over 60 % bart fjell skulle vært plassert i C i stedet for A om en kun hadde sett på dominerende løsmasstype. Det som ble ansett som like viktig var at Grimstad har en forholdsvis lik tilstedeværelse av forskjellige typer løsmasser som de andre i gruppe A – selv om Grimstad har større andel bart fjell. Å vurdere kun ut i fra andel bart fjell ble også sett på som uaktuelt på grunn av den utstrakte bruken av symboler på bart fjell for enkelte områder (f.eks Øyeren), noe som gjør at dersom en annen person hadde kartlagt område kunne det blitt en god del mindre bart fjell. Bruken av symboler er også grunnen til at typen ”Humusdekke/tynt torvdekke over beggrunn” har blitt vurdert sammen med bart fjell, fordi grensene for disse er så vage og varierende for hvert område. For flere områder er ikke den sistnevnte typen brukt i det hele tatt.

I utgangspunktet var klasse B, med indre, høytliggende områder, fullstendig uten marine sedimenter. Dette endret seg med Meråker og Lakselv. Disse har små mengder marine sedimenter (<5 %), noe som kommer av disse ligger i et område hvor topografien endrer seg sterkt. Her er det fjordarmer som strekker seg langt inn i landet, og dermed fører til forekomster av marine sedimenter, men samtidig endrer landskapet seg drastisk noen kilometer lenger inn. Dette gjør at dersom områdene hadde blitt delt i to, med en fjord-del og en indre del, ville nok disse sannsynligvis blitt klassifisert i henholdsvis klasse A og B.

Elv- og breelvavsatte sedimenter finnes det i små mengder for alle områder (med unntak av Mehamn), så disse har ikke blitt vektlagt i klassifiseringen.

Det har blitt dratt en grense mellom de ulike områdene for å forsøke å dele Norge inn i ulike soner i henhold til klassifiseringen av de ulike områdene.

Grensene for de inndelte områdene vil nok måtte flyttes litt ved nærmere undersøkelser av grenseområder. Mindre områder, spesielt i områder som ligger i overgangen mellom to forskjellige miljøer (f.eks Meråker og Lakselv) ville nok ført til en deling i to klasser innad i områdene. Grovinndelingen med oppsatte grenser kan, sammen med en vurdering av aktivitetsnivå i de forskjellige områdene, gi en mulighet for å dele Norge inn i soner med varierende aktivitetsnivå som igjen kan være nyttig ved modelleringen.



Norges geologiske undersøkelse
Postboks 6315, Sluppen
7491 Trondheim, Norge

Besøksadresse
Leiv Eirikssons vei 39, 7040 Trondheim

Telefon 73 90 40 00
Telefax 73 92 16 20
E-post ngu@ngu.no
Nettside www.ngu.no

*Geological Survey of Norway
PO Box 6315, Sluppen
7491 Trondheim, Norway*

*Visitor address
Leiv Eirikssons vei 39, 7040 Trondheim*

*Tel (+ 47) 73 90 40 00
Fax (+ 47) 73 92 16 20
E-mail ngu@ngu.no
Web www.ngu.no/en-gb/*