

Rapport nr.: 2005.054		ISSN 0800-3416	Gradering:
Tittel: Skredkartlegging langs kystsonen i Trondheimsområdet, datagrunnlag og morfologi			
Forfatter: Louise Hansen, Raymond Eilertsen, Oddvar Longva		Oppdragsgiver: NGU og ICG (International Centre for Geohazards)	
Fylke: Sør-Trøndelag		Kommune: Malvik, Trondheim, Melhus, Skaun, Orkdal	
Kartblad (M=1:250.000) Trondheim		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) Orkanger 1521 I; Trondheim 1621 IV; Stjørdal 1621 I	
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 27 Kartbilag: 5	Pris: 305 kr
Feltarbeid utført: Vår 2004	Rapportdato: 18. oktober 2005	Prosjektnr.: 300700; 300505	Ansvarlig:
Sammendrag:			
<p>Leirområdene i strandsonen fortsetter ofte utover på sjøbunnen. Mange skred har startet under havnivå og forplantet seg inn på land. I tillegg kan undersjøiske skred utløse flodbølger med ødeleggende virkning på land. Skred i strandsonen kan bli spesielt ødeleggende dersom det finnes kvikkleire i grunnen. Dette understreker at forholdene i sjøen kan ha avgjørende betydning for stabiliteten langs strandsonen.</p> <p>Med NGU's anskaffelse av en interferometrisk sidesøkende sonar i 2003 er det blitt mulig effektivt å kunne innsamle geologiske data over store strekninger langs strandsonen med informasjon om både batymetri og bunntyper. Data kan sammen med topografiske, geologiske og geotekniske data fra land, samt marine multistråleekkoloddata fra dypere vann og seismikk gi et mer komplett bilde av forholdene i strandsonen. Prosjektet er en videreførsel av et testprosjekt om forholdene langs strandsonen i Finneidfjord med klassifisering av soner for videre skredfarevurdering og kartlegging (Longva mfl. 1999).</p> <p>Over 50 km av kystsonen i Trondheimsfjorden er inkludert i nærværende undersøkelse. Dette gjelder kyststrekninger fra Gaulosen til Orkdalsfjorden samt fra Trondheim til Hommelvika. Data er sammenstilt og analysert vha GIS og morfologiske elementer er kartlagt og digitalisert. Målet med denne rapporten er å oppsummere data fra arbeidet i 2004 og utarbeide en første klassifikasjon av morfologi og bunnforhold i utvalgte strandsoner. Til sammen gir dataene en unik oversikt over skred- og erosjonsprosesser i strandsonen. Dataene kan inngå som deler av fase 1 og 2 i foreslåtte programmer for kartlegging av skredfare i strandsonen (Emdal mfl. 1997; Longva mfl. 1999). Rapporten danner grunnlag for videre diskusjon om bruk av denne type data sammen med geoteknisk og annen geofysisk informasjon til risiko- og faresonekartlegging i strandsonen.</p>			
Emneord: Batymetri	Sonar		Skred
Erosjon	Fjordavsetning		Fjord
Maringeologi	Løsmasser		Fagrapport

1.	INNLEDNING	3
1.1	Valg av område	3
2.	METODER.....	4
2.1	Innsamling av data	4
2.2	Posisjonering	5
2.3	Sammenstilling av data	5
3.	RESULTATER; MORFOLOGISKE ELEMENTER	6
3.1	Fjell (polygon).....	6
3.2	Skredkanter og -groper (linjer).....	6
3.3	Skredmasser (polygon eller linjer)	7
3.4	Kanaler (linjer)	8
3.5	Raviner (linjer)	9
3.6	Kanalsider (linjer)	9
3.7	Pockmarks med mer (linjer).....	10
3.8	Bølgemodifikasjon (polygon)	14
3.9	Morene (polygon).....	14
3.10	Vrak og andre menneskeskapte fenomener (linjer).....	14
4.	RESULTATER; BESKRIVELSE AV ENKELTOMRÅDER	14
4.1	Gaulosen 1:15.000.....	14
4.1.1	Steinshylla-Mule	14
4.1.2	Mule-Øysandan: Gauldeltaet.....	15
4.1.3	Øysandan-Buvika	15
4.1.4	Buvika-Lykkjeneset	15
4.1.5	Lykkjeneset-Svalnestangen.....	15
4.1.6	Svalnestangen-Børse	15
4.1.7	Børse-Lundneset.....	15
4.1.8	Lundneset-Viggja	16
4.2	Orkdalsfjorden 1:15.000.....	16
4.2.1	Viggja- Kvitskjeret	16
4.2.2	Kvitskjeret-Storsanden	16
4.2.3	Storsanden-Litlsanden	16
4.2.4	Litlsanden-Thamshavn	16
4.2.5	Thamshavn-Råbygda.....	16
4.2.6	Råbygda-Almlia	16
4.3	Trondheim 1:15.000	17
4.3.1	Munkaunet-Høvringen-Fagervika- Iilsvika-Skansen	17
4.3.2	Skansen-Brattøra-Pirsenter.....	17
4.3.3	Pirsenter-Ladehammeren-Østmarkneset	18
4.3.4	Østmarkneset-Leangbukta-Rotvoll	18
4.3.5	Rotvoll-Ranheim	18
4.4	Malvik 1:15.000	19
4.4.1	Ranheim-Hundhamar	19
4.4.2	Hundhamar-Saksvikbukta-Malvik	19
4.4.3	Malvik-Torp-Midsandan	19
4.5	Hommelvika 1:6.000	20
4.5.1	Midsandan-Blåhåmmåren	20
4.5.2	Blåhåmmåren-Hommelvik	20
5.	MORFOLOGISK KLASSIFIKASJON AV STRANDSONEN	21
5.1	Diskusjon og videre arbeid.....	24
6.	KONKLUSION.....	24
7.	TAKK.....	25

8. REFERANSER	25
---------------------	----

Fem kartblad vedlagt:

Orkdalsfjorden	1 : 15 000
Gaulosen	1 : 15 000
Trondheim	1 : 15 000
Malvik	1 : 15 000
Hommelvika	1 : 6 000

1. INNLEDNING

Leirområdene i strandsonen fortsetter ofte utover under havbunnen. Mange skred har startet under havnivå og forplantet seg inn på land. I tillegg kan undersjøiske skred utløse flodbølger med ødeleggende virkning på land. Skred i strandsonen kan bli spesielt ødeleggende dersom det er kvikkleire involvert. Dette understreker at forholdene under havnivå kan ha avgjørende betydning for stabiliteten langs strandsonen. For eksempel viste undersøkelsene etter skredet i Finneidfjord hvor 4 mennesker mistet livet, at flere undersjøiske skred hadde gått i dette området tidligere uten at disse berørte landområdene (Longva mfl. 1999). Kunnskapen om slike undersjøiske forhold er svært mangelfull. Et program for kartlegging av stabilitet i strandsonen ble foreslått av Emdal mfl. (1997). Et testprosjekt med vurdering av forskjellige undersøkelsesmetoder til integrert skredfarekartlegging ble utført i Finneidfjord-Balsfjordområdet (Longva mfl. 1999). Med NGUs anskaffelse av en interferometrisk sidesøkende sonar i 2003 er det blitt mulig effektivt å kunne innsamle geologiske data over store strekninger langs strandsonen med informasjon om både batymetri og bunntyper. Disse data kan sammen med topografiske, geologiske og geotekniske data fra land, samt multistråleekkoloddata fra dypere vann og seismikk gi et mer komplett bilde av forholdene i strandsonen. Målet med denne rapporten er å oppsummere data fra arbeidet i 2004 og utarbeide en første klassifikasjon av morfologi og bunnforhold i utvalgte strandsoner. Det er hensikten med dataene å kunne inngå som deler av fase 1 og 2 innen de forslåtte programmer for kartlegging av skredfare i strandsonen (Emdal mfl. 1997; Longva mfl. 1999). Rapporten danner grunnlaget for en videre diskusjon om bruk av disse dataene sammen med geoteknikk og annen geofysisk informasjon i et slikt kartleggingsprogram.

1.1 Valg av område

Strandsonen langs to kyststrekninger i Sør-Trøndelag nær Trondheim er kartlagt (Fig. 1): a) Strekningen fra Trolla til Hommelvik, og b) Orkdalsfjorden til Gaulosen. Områdene ble valgt ut av flere grunner: 1) det finnes flere kjente eksempler på skred i strandsonen, 2) flere kyststrekninger har tett bebyggelse og det finnes planer om utbygging, 3) flere kvikkleiresoner er registrert nær kysten, 4) sammenfallende interesser med andre prosjekter (International Centre for Geohazards) og 5) kostnadseffektiv datainnsamling fordi området er lett tilgjengelig for NGUs fartøy.



Figur 1. De to undersøkte kystsonene i Trondheimsområdet: Trondheim og Gaula-Orkanger.

2. METODER

2.1 Innsamling av data

En 250 MHz GeoSwath interferometrisk sidesøkende sonar montert på F/F "Seisma" ble brukt til å samle inn batymetriske data (Fig. 2). Sonaren har en rekkevidde ned til 80-100 m vanddyb og gir en dekning av bunnen på ca. 8-12 ganger vanddybet. En fordel ved sonaren er at den effektivt kan registrere data fra svært grunt vann og ideelt sett helt opp til vannoverflaten.

Sonaren har to sendere montert på en v-formet plate i ca. 30 graders vinkel (Fig. 2). På platen sitter en TSS DM bevegelsessensor som sender kompensasjonsdata for båtens bevegelser til en PC, og et lite ekkolodd som måler dybet rett under platen. I tillegg er det en lyd hastighetsmåler (Valeport Mini SVS) som måler lydets fart i vannet rundt senderne. Sonaren sender en stråle vekselvis til hver side, og bruker tid og faseforskyvning for det returnerte signalet til å regne ut avstander til objekter (havbunnen), som så blir omregnet til dyp. Datadekningen er minst rett under båten i rommet mellom de to strålene, men dette blir delvis kompensert for med ekkoloddet på platen. Data kan inndeles i to: 1) batymetridata og 2) backscatterdata. Førstnevnte er detaljerte dybde data, mens sistnevnte gir informasjon om bunnenes refleksivitet som er et mål for ulike bunntyper (for eksempel sandbunn, berggrunn eller leirbunn).

I forbindelse med profileringen ble det målt flere lydprofiler gjennom vannsøylen med en Valeport 650 SVP (Sound Velocity Profiler) hastighetsmåler. Disse målingene ble utført minst en gang samtidig med toktet for å oppnå optimale hastighetsprofiler ved beregning av vanddyb. Flere målinger ble utført i områder der det kunne forventes laterale variasjoner i hastighetsprofilet, f.eks nær utløpet av en elv. Tidevannsvariasjonene ble registrert ved bruk av en Valeport 740 vannstandsmåler med sensor som ble senket ned til havbunnen hhv. ved kai i Buvika og i Trondheim samtidig med sonaroppmåling i nærområdene. Absolutte tidevannsverdier ble jevnlig avlest på det regionale navigasjonssystem (Olex) til kalibrering av de kontinuerlige vannstandsmålingene. Sonardataene ble senere kompensert for disse vannstands endringer. Under toktet ble det også innsamlet data til kalibrering av utstyrets oppsetning. Under toktet deltok Oddbjørn Totland, Eiliv Danielsen og John Anders Dahl (teknisk personell).



Figur 2: Sendere (transdusere) til utsendelse og mottak av lydbølger. Øverst sees et enkeltstråleekkolodd (rød) og en lydhastighetsmåler.

2.2 Posisjonering

Posisjonering av innsamlede data i x-y planet ble bestemt vha. differensiell GPS med en presisjon på ± 1 m. GPSen er i tillegg koblet opp mot en gyro, hvilket gir en konsistent retningsangivelse under innsamlingen. Det anvendte datum er sjøkartets null.

Dybdepresisjonen under måling er i centimeter, men begrenses ved datasammenstillingen av nøyaktigheten til x-y posisjoneringen. X-y posisjonering kan forbedres til cm nøyaktighet ved å bruke såkalt RTK, det vil si en differensial GPS med basestasjon. Dette system var ikke tilgjengelig under datainnsamlingen.

2.3 Sammenstilling av data

Rådata blev prosessert med GeoSwath programvarer. Batymetri- og backscatterdata ble visuelt framstilt i ErMapper Versjon 6.3. I tillegg er tidligere innsamlede data fra de sentrale, dypere deler av fjorden satt sammen med de nye dataene for å få et mer komplett bilde av sjøbunnen. Sistnevnte data er tidligere innsamlet vha. multiståleekkolod (Lyså mfl. 2001, 2002; Bøe mfl. 2004, se også referanser i disse arbeidene). Batymetriske data er fremstilt som et skyggerelieff, som gir en svært detaljert oversikt over formene på havbunnen. 10 m dybdekurver fra Sjøkartverket er også angitt. Grunneste kurve angir -10 m. Etter bearbeidelse i ErMapper ble dataene importert i ArcMap og sammenstilt med grunndata fra land inklusive 1-5 m's høydekoter, veier, hus, med mer og med løsmassedata og kvikkleiresoner.

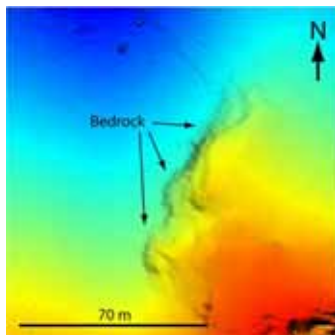
3. RESULTATER; MORFOLOGISKE ELEMENTER

Til sammen gir batymetri- og backscatterdata en oversikt over sjøbunnens morfologi og sammensetning og nedenfor er det oppsummert elementer/faktorer som kan være viktige ved vurdering av et områdes stabilitet. I tillegg til nedenstående beskrivelser og tolkningsforslag gir dataene mulighet for en mer detaljert vurdering av sedimenttyper og for en detaljert batymetrisk analyse av sjøbunnens helningsgradierer.

3.1 Fjell (polygon)

Fjell gjenkjennes ved uregelmessige former på sjøbunnen med relativ høy reflektivitet (Fig. 3).

Fjelloverflatens beliggenhet i forhold til løsmasser er viktig ved skredfarevurderinger idet Fjellrygger kan begrense de skredutsatte områder dersom de ligger slik at de låser de ustabile massene. Derimot kan leire på fjell være utsatt for skred fordi grunnvannet trenger ut fra sprekker i fjellet og medvirker til forhøyet poretrykk og/eller kan vaske ut saltet i leira med dannelse av sensitiv leire eller kvikleire, hvilket påvises ved geoteknisk boring.



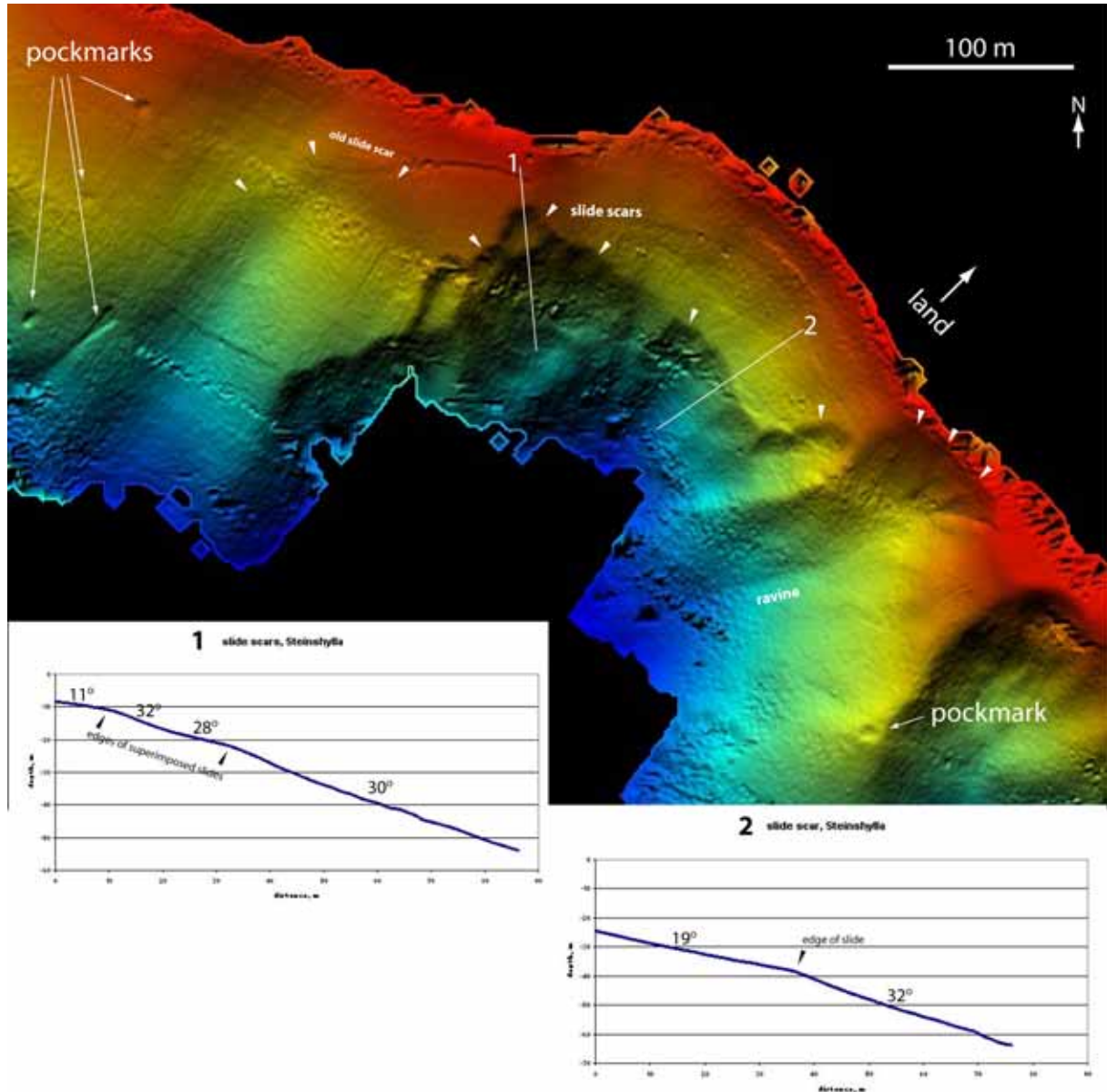
Figur 3. Typisk fjellblotning under vann. Fargeskalaen avspeiler dybder fra c. 0 m (rød) og ned til c. 70 meters dyp (blå).

3.2 Skredkanter og -groper (linjer)

Skredgroper gjenkjennes ved grop- og sigdformede kanter på sjøbunnen. Kantene kan være skarpe eller utydelige hvilket kan henge sammen med alderen på skredet. Eldre skredgroper kan typisk være delvis dekket av yngre sedimenter eller utjevnet av diverse erosjonsprosesser. Til gjengjeld kan noen prosesser, f.eks. bølgeerosjon, effektivt utjevne sporene, så delvis utviskede groper er ikke nødvendigvis ensbetydende med meget gamle skredgroper. Omvendt kan eldre skredgroper, som finnes på mer beskyttede plasser, være relativt vel bevart. På dypere vann er noen kanter på skredgropene utydelige på grunn av lavere oppløsning i multistråldataene.

Skredgropene er inndelt i tre grupper: **A)** skredgroper med markert morfologi. Gropene anses som resultat av unge skred og noen av gropene kan knyttes til kjente historiske skredhendelser. Flere av formene er sammensatt av flere groper. Noen groper er dypere og konkave med tydelige bakkanter som avgrensner steile skråninger på noen steder 30-32° (Fig. 4). Det finnes også grunnere skredgroper med forholdsvis jevn bunn og en markert skråning langs gropkanten på typisk 1-4 m. Et eksempel i Buvika viser en flakformet gropbunn med en helling på 10°, en bakkant på 23° og en fjordbunn på 7° over gropen (Fig. 5). **B)** skredgroper som er nesten utvisket eller drapert av yngre sedimenter (Fig. 4). Disse skredgropene er sannsynligvis gamle. **C)** eldre skredgroper med en morfologi i grenseområdet mellom gruppe A) og B). Et enkelt sted ble det funnet spor etter noe som kan tolkes som et undersjøisk mudderskred på slak bunn. Gropbunnens helling er 1°, se nærmere beskrivelse under avsnittet om pockmarks.

Skredgropene gir viktig informasjon om hvilke områder som har vært og som fortsatt kan bli utsatt for skred. Det er viktig å kunne sette skredgropene i et historisk perspektiv for å kunne vurdere skredfrekvenser og for å kunne skille aktive områder fra områder som er mer inaktive



Figur 4. Skredgropene ved Steinshylla i Gaulosen. To profillinjer viser skredkantene. Legg merke til de spredte pockmarks. En enkelt pockmark i venstre side av bildet går over i en kanal ned skråningen. Fargene angir dyp ned til c. 70 m (blå).

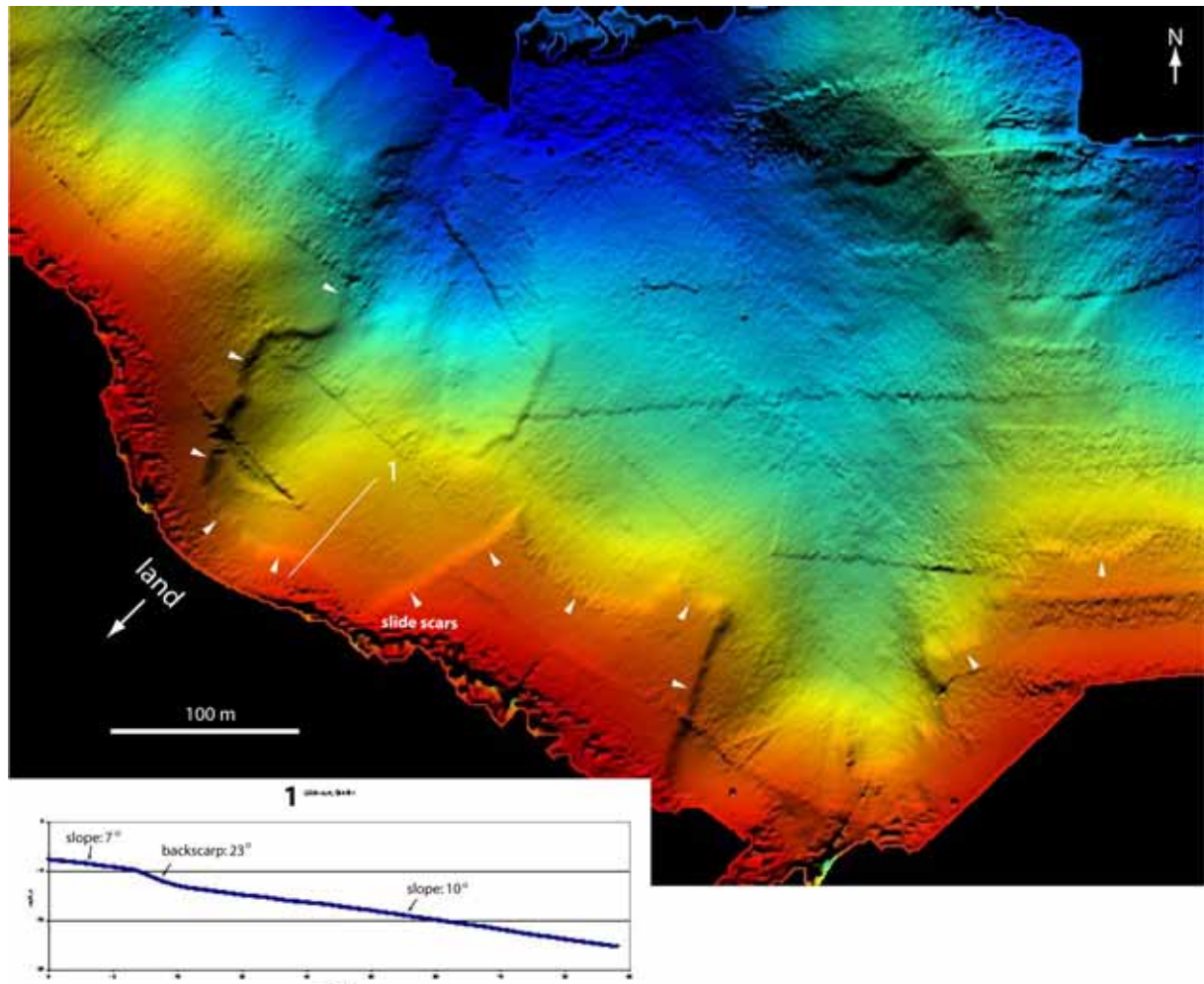
mht skred. Skredgropene gir også noe informasjon om skredenes størrelse. Undersjøiske skred kan bre seg inn på grunnere vann og de kan generere ødeleggende bølger. Dersom det er kvikkleire i grunnen kan konsekvensene bli store. Kvikkleire påvises ved boring.

3.3 Skredmasser (polygon eller linjer)

Skredmasser er avsetninger karakterisert av uregelmessig bunntopografi og hauger nedenfor skredgropene, raviner eller kanalformer. Skredmassene kan bestå av hele flak av utglidde

sedimenter eller av loper av oppbrutte skredmasser ofte dannet ved gjentagende utglidninger. Noen hauger kan bestå av utraste fjellblokker.

Skredmassene kan, i likhet med skredgropene, gi en indikasjon på skredaktivitet, skredtype, skredstørrelse og skredenes rekkevidde.

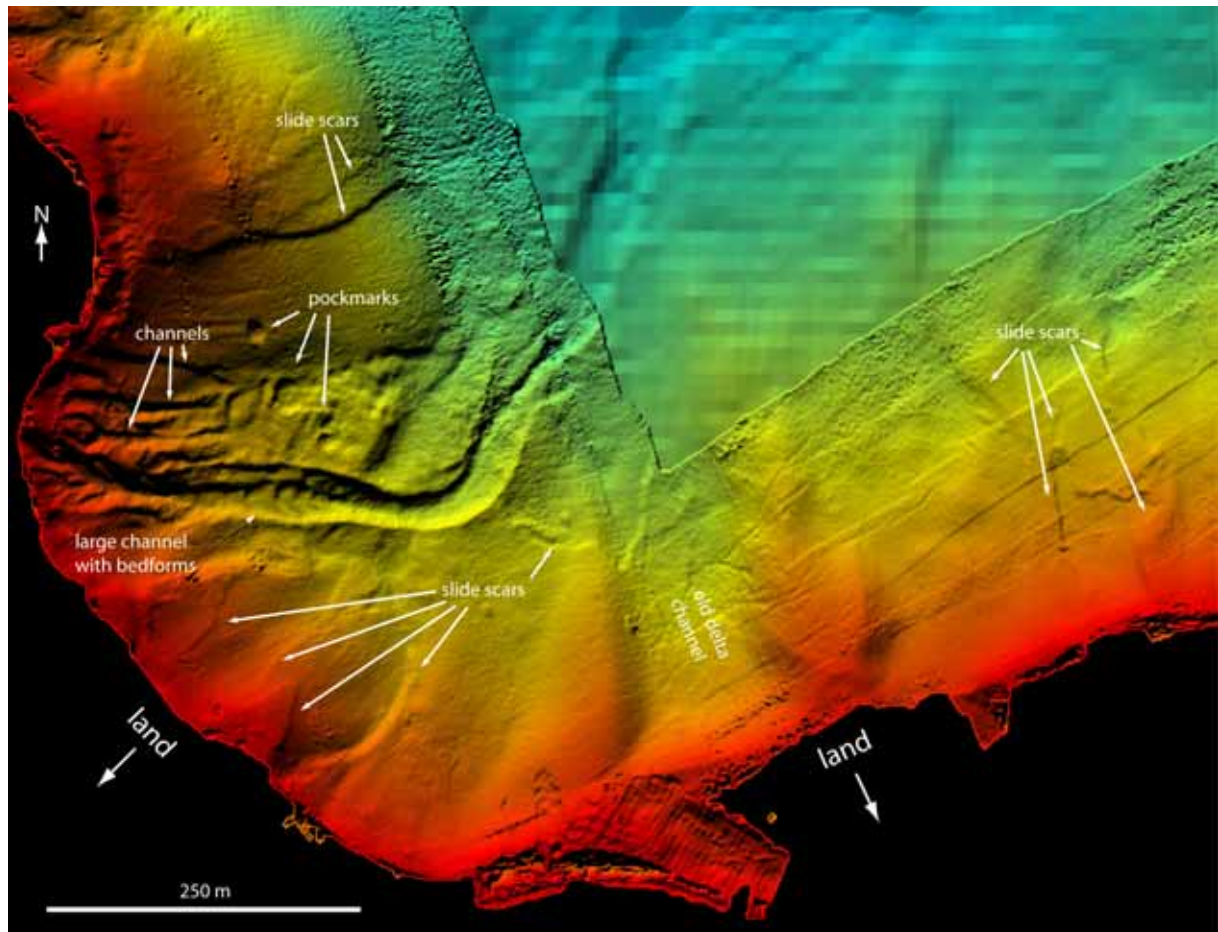


Figur 5. Skredkanter ved Buvika i Gaulosen. Legg merke til den markante bakkant på skredet som er ca. 3 m høy og den relativ slake vinkel i sammenligning med skrentene i skredene på Fig. 4. Fargene angir dyp ned til ca. 80 m (blå).

3.4 Kanaler (linjer)

Det finnes to former for kanaler: **1)** enkle kanaler og **2)** bredere kanaler med riflet bunn. Kanalene dannes typisk ved elveutløp og formes av turbulente bunnstrømmer i forlengelse av elve- og bekkekanaler. Bredere kanaler med riflet bunn avspeiler mer langvarige bunnstrømmer som oftest under flomsituasjoner. Noen kanaler på ravinerte deltaskrenter kan være dannet ved en blanding av utglidning og bunnstrømmer ('chutes'). Noen kanalformer finnes i områder utenfor bekker og elver og kan være spor etter utraste fjellblokker eller andre utglidninger. Mindre kanaler kan også være dannet ved grunnvannsutslag (for eksempel ved en av de viste pockmarks i Fig. 4)

Kanalene viser områder der det er transport av sedimenter samt aktiv erosjon. I noen områder er de tegn på grunnvannsutslag og kan visse i områder finnes sammen med pockmarks. Pockmarks bevares på flat bunn mens kanaler ved grunnvannsutslag dannes i områder der bunnen har noen helling. Det er gradvis overgang fra kanaler til større kanalformer og raviner. Kanalformer som er glidespor etter for eksempel en utrast fjellblokk, kan gi informasjon om hvor det er skredaktive områder. Grunnvannsutslag kan være en destabiliserende faktor.



Figur 6. Kanaler, pockmarks og skredgroper ved Ilsvika, Trondheim.

3.5 Raviner (linjer)

Raviner er dypere V-formede erosjonssår og finnes typisk i områder med brattere bunnforhold (Fig. 4). Ravinene dannes ofte ved gjentagende erosjonsprosesser som for eksempel mindre utglidninger og bunnstrømmer. Noen raviner er tydelige mens andre er drapert med yngre sedimenter og derfor inaktive. Raviner kan også være begrenset av fjell.

Ravinene angir områder med erosjon fra gjentatt utglidninger og bunnstrømmer (Fig. 4).

3.6 Kanalsider (linjer)

Kanalsider avgrensner forholdsvis brede kanalformer og forsenkninger med tildels uregelmessig bunn. Noen av kanalformene er utydelige og eventuelt drapert av sediment. I noen tilfeller er kun den ene siden av formen bevart. Mange er ganske grunne. Noen av kanalformene/forsenkningene begrenset av fjell er relativt dype.

Kanalsider avgrensner grunne kanaler og forsenkninger dannet ved passasje av større utglidninger eventuelt i kombinasjon med strømmer. I enkelte tilfeller kan disse brede kanalformer ha utløp fra et område med sirkulære bunnstrukturer (se neste avsnitt). I noen tilfeller kan det være tale om større kanaler dannet på en tidligere deltaskrent som nå er inaktive (gamle 'chutes'). Utydelige former har vært inaktive i lengre tid. Dypere forsenkninger og kanaler begrenset av fjell avspeiler fjellets topografi under fjordsedimentene. Det er gradvis overgang til raviner og kanaler. De brede kanalene/forsenkningene kan bidra til transport av f.eks. skredmasser ut på dypere vann.

3.7 Pockmarks med mer (linjer)

Pockmarks er små kratre på sjøbunnen dannet ved kortvarige utstrømninger av gass eller veske fra undergrunnen (Hovland & Judd 1988). Noen pockmarks kan representere gjentakende eller kontinuerlig utsivning. Pockmarks i de undersøkte områdene har typisk en diameter mellom 5 og 12 meter og et dyp på 0,25 til 2 m (Fig. 4, 6, 7, 8, 9 og 10). Pockmarks finnes primært på slakt hellende bunn (Fig. 7). Dette henger sannsynligvis sammen med at formene hurtig jevnes ut av gravitasjonsprosesser på steilere hellende fjordbunn. I noen områder har pockmarks avlang form og det er tilsynelatende overgang fra pockmarks til kanaler der veske og sediment kan renne ut på noe hellende bunn (Fig. 4). Ved en analyse av profilet til de enkelte pockmarks er det noen som er plassert i en liten haug på sjøbunnen (Fig. 8). Selve bunnen av hullet kan være konkavt rundet eller V-formet, sistnevnte er kanskje de mest ferske. Noen har en mindre oppbulning i bunnen.

Det finnes to andre sirkulære fenomener på sjøbunnen i kystsonen. Disse er kun observert mellom Østmarkneset og Malvik (se vedlagte kart: Trondheim og Malvik). Dette gjelder **A**) ringer på sjøbunnen typisk med en diameter på 10-40 m. Selve ringen har ofte et relieff på bare 10-25 cm. I ringene er ofte en mindre haug sentralt eller litt skjevt plassert. Flere ringer er sammenvoksede (Fig. 9). Reflektiviteten av strukturene varierer men er typisk litt høyere enn den omkringliggende fjordbunn. Selve ringen har høyeste reflektivitet mens sentret har lavere reflektivitet. Dette kan bety at selve ringen består av grovere materiale mens sentrum har en blandet sammensetning. **B**) Den andre typen sirkulære fenomener er sirkulære hauger, flate kjegler eller 'vulkaner' med størrelser opp til 75 m i diameter og 3 m i høyden. Toppen av de store formene kan ha mindre forhøyninger eller 'spiss' på seg (Fig. 9). De fleste hauger er dog mindre og mer uregelmessige. Reflektiviteten av disse fenomener er generelt høy hvilket tilsier at det i overflaten finnes grovere sediment (sand/grus/stein). Det finnes dog enkelte hauger med lavere reflektivitet. I noen områder er det ikke mulig å skille enkelte hauger, men hele arealer synes å være påvirket av samme prosesser hvilket ses av sammenvoksede hauger og ujevn bunn med høy reflektivitet ('haugfelter', Fig. 9 og 10). Et enkelt haugfelt har lav reflektivitet og kun litt høyere enn omkringliggende sjøbunn. Disse felter er uregelmessige men noen er avlange og vinkelrette på kysten. Noen har sigdformede kanter.

Det er mulig det er en sammenheng mellom dannelsen og tilstedeværelsen av pockmarks, ringer og hauger. Dannelsen av pockmarks er beskrevet ovenfor. Dannelsen av ringer kan kanskje være et resultat av (gass?)utstrømninger med lite sediment mens noen sirkelformede hauger kan være dannet ved oppadgående bevegelse av sediment blandet med veske/gass i en slags 'sediment vulkan'. Er dette riktig involverer 'vulkanismen' grovere sediment fra underliggende lag og er kanskje blandet med disse. På sjøbunnen kan bølgeprosesser etter hvert fjerne noe av finstoffet mens de grovere partikler vil bli oppkonsentrert på fjordbunnen og er medvirkende til dannelse av 'haugfeltene'. At de 'grovere' høyreflektivitets bunn sedimenter stedvis ligger oppå myke lavreflektivitets sediment, muligvis marin leire, fremgår av det foreslåtte 'mud slide' på Fig. 10. Bunnen av denne 'skredgrop', som er 1 m dyp,

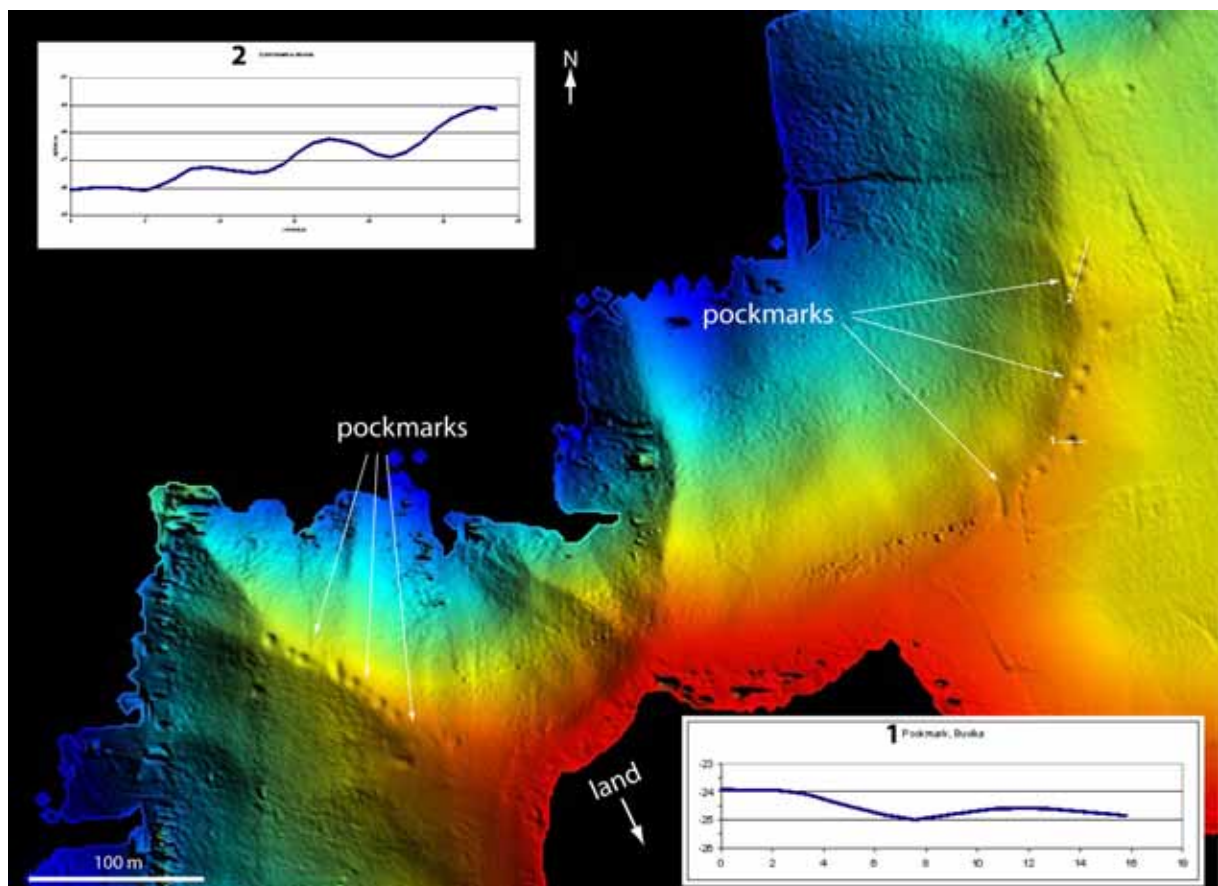
har lav reflektivitet. Videre er det utført mudring i et 'haugfelt' på lavt vann (Fig. 9). Bunnen av mudringsarealet har nedsatt reflektivitet i forhold til de omkringliggende hauger.

Skredmassene neden for gropen i Fig. 10 involverer sedimenter med høy reflektivitet. I bunnen av skredgropa finnes det små lobeformer som kan tolkes som mudderstrømmer fra bakkanten av skredet (lav reflektivitet). Grunnvannsutslag og/eller kvikkleire kan være involvert i disse mudderstrømme. Dyneformene langs kysten er i bevegelse langs kysten og vil etter hvert utjevne/utfylle gropen. Dette synes påbegynt.

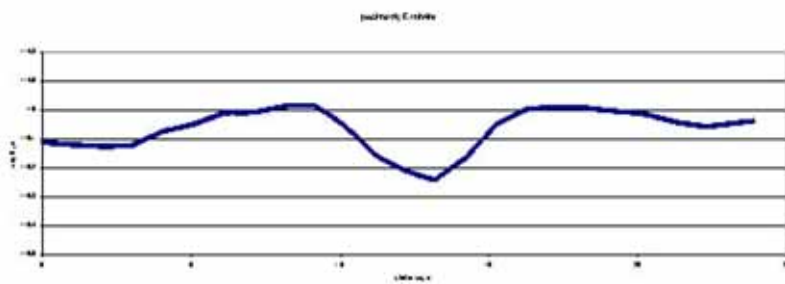
At det i dette område skulle være utstrømning av veske og/eller gasser fra undergrunnen kan henge sammen med berggrunnen som her er karakterisert av bl.a. forkastet grunnstein/sedimentære bergarter. Forkastninger og bergartsstrukturer har høy vinkel på kysten. Noen strukturer på sjøbunnen kan avspeile strukturer i berggrunnen (Fig. 9). Samme type bergarter finnes i Buvika, hvor det er en del pockmarks.

Ovenstående tolkninger er ideer om dannelse av ringer og hauger. Tolkningene er basert på morfologi og reflektivitet alene. Det krever derfor flere feltundersøkelser for å bekrefte/avkreft ovenstående tolkning. I noen tilfeller er menneskelig aktivitet også en mulig årsak til fenomenene (mudring/dumping/bombekratre), eller kan være relatert til underliggende glasiale avsetninger eller en kombinasjon av flere faktorer.

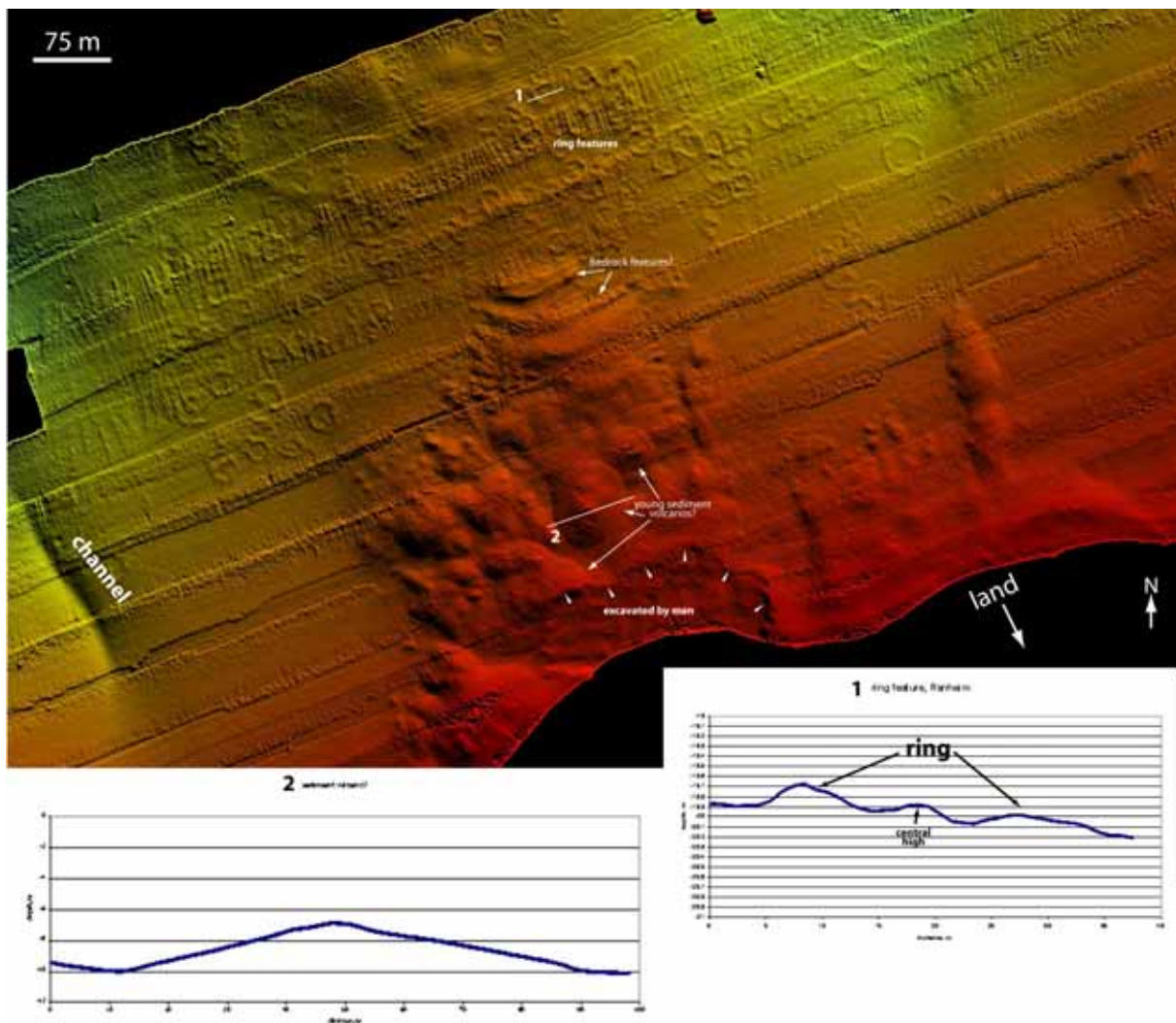
Pockmarks, og sannsynligvis også ringer og noen hauger, angir områder med oppstigende vann og/eller gass. Dette er en destabiliserende faktor for sedimenter på hellende bunn og kan sannsynligvis utløse skred også ved lave gradienter (Fig. 10). Det kan i noen tilfeller være involvert likvifisert leire i ovenstående, spesielt i forbindelse med de sirkulære hauger og mudderskred.



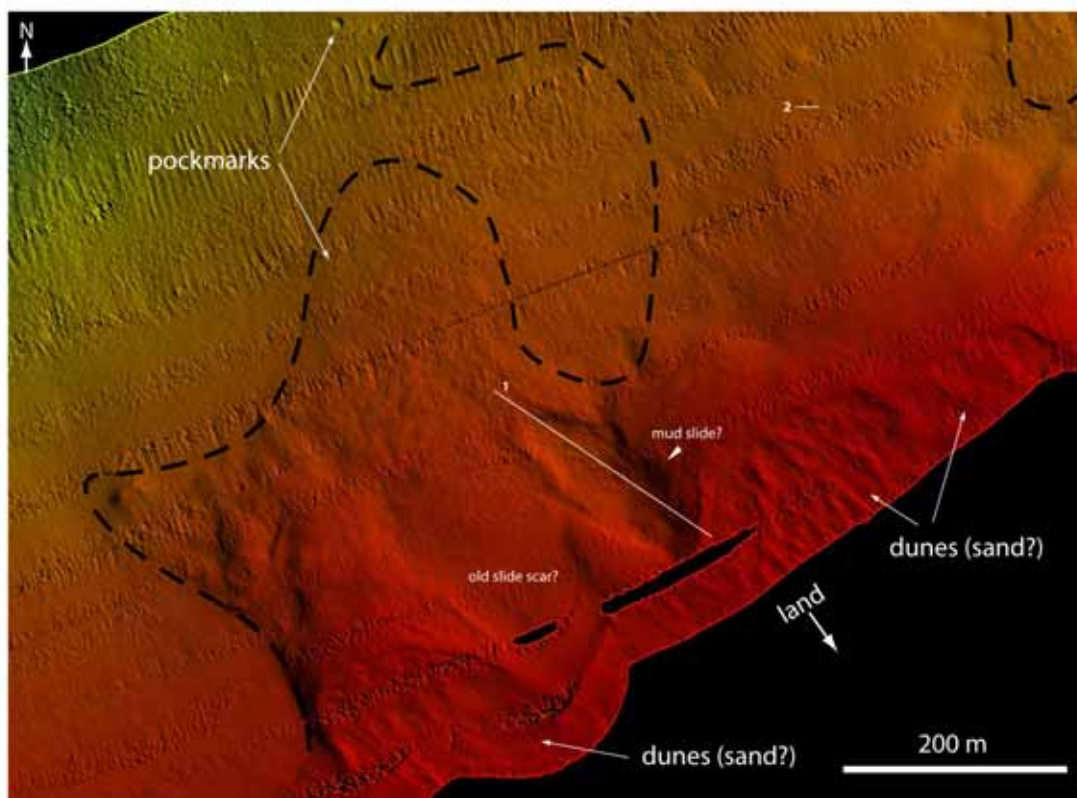
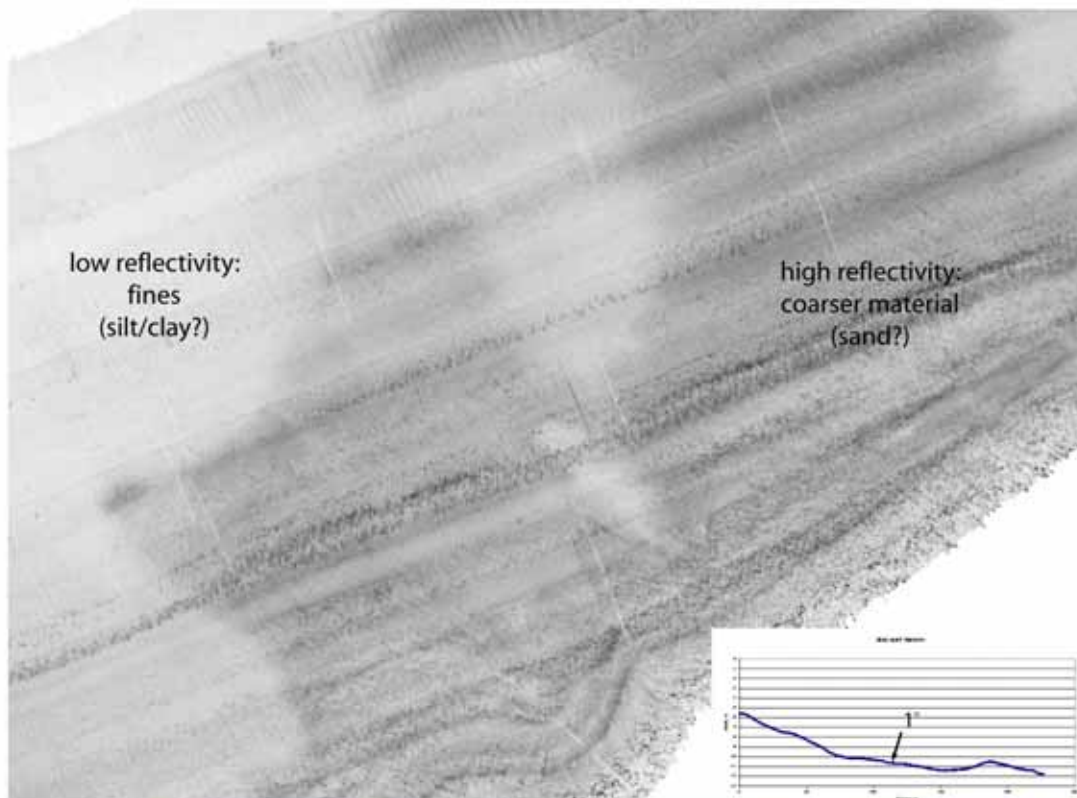
Figur 7. Pockmarks ved Buvika, Gaulosen. Fargene angir dyp ned til 80 m (blå).



Figur 8: Profil gjennom pockmark ved Ranheim (Fig. 10, profil 2)



Figur 9. Ringer og hauger på fjordbunnen mellom Ranheim og Hundhamar. Dybdene går ned til vel 25 m (grønt). Noen store hauger er vulkanformede, men de fleste er mindre og uregelmessige. Haugene finnes i større haugfelter, hvorav noen ligger vinkelrett på kysten. Legg merke til kanalen til venstre i bildet som muligvis skyldes grunnvannsutslag.



Figur 10: Nederste bilde viser haugfeltet mellom Ranheim og Hundhamar. Feltene avgrensas av den stiplede linjen. Legg merke til flatene med dyneformer på grunt vann (rød, ca. 5 meters vanddyb) dannet av bølger og kyststrømmer. Legg merke til at haugfeltene og flater har høy refleksivitet, hvilket avspeiler grovere sedimenttyper. Den omkringliggende lave refleksivitet avspeiler mer finkornet sediment. Gropformen kan være et mudderskred på lavthellende sjøbunn, se profil 1. Bunnen av gropen har lav refleksivitet. Profil 2, se Fig. 8.

3.8 Bølgemodifikasjon (polygon)

Disse områder er horisontale flater, eller plattformer, med riflet/bølget overflate og finnes på 5-7 meters dyp. Grensen til de dypere liggende flater er relativt skarp. Områdene utsettes for aktiv erosjon og omlagring fra bølger og kystnære strømmer. Bølgene/riflenes rygger er vinkelrette på strømmen som løper parallelt med kysten. Dette gjelder til eksempel området mellom Ranheim og Hundhamar (Fig. 10. Se videre kartet fra Malvik). I sistnevnte område er bølgeformene 10-80 cm høye, svakt asymmetriske og med høy refleksivitet, hvilket tilsier grovere sediment som sand eller grus.

Bølgeerosjon av kysten kan i noen tilfeller nedsette stabiliteten.

3.9 Morene (polygon)

Et enkelt område langs de kartlagde kyststrekninger er relativt grunt og er karakterisert av grovere materiale, uregelmessig bunntopografi og mindre ryggformer (ved Midtsandan, se kart for Malvik og Hommelvika). Dette grunne området er en del av et større randmorenesystem som krysser fjorden og som delvis kan følges på land (Tautratrinnet).

Randmorener demmer i enkelte tilfeller bakenforliggende leirer og kan være en stabiliserende faktor i kystsonen.

3.10 Vrak og andre menneskeskapte fenomener (linjer)

Interferometrisk sidesøkende sonar og multistråleekkolodd er effektive metoder for å finne vrak og andre menneskeskapte fenomener. Vrak som fly og båter er angitt av en ring. Andre fenomener som kan identifiseres er mudring og mulige emner dumpet på sjøen. Bombekratre fra krigens tid kan kanskje finnes på noen plasser.

4. RESULTATER; BESKRIVELSE AV ENKELTOMRÅDER

Beskrivelsen av delområder følger inndelingen av området i fire kartblad i 1:15.000, Gaulosen, Orkdalsfjorden, Trondheim, Malvik og et i 1:6000 Hommelvika (se vedlegg).

4.1 Gaulosen 1:15.000

Bunnen av Gaulosen ligger på ca. 120 til 400 meters vandyp. Bunnen karakteriseres av en stor kanal i forlengelse av Gaulas utløp og av skredmasser, primært i forbindelse med fjordsidene. Den store kanalen settes i forbindelse med store flomhendelser i Gaula (Bøe et al. 2004). Sidene i fjorden er ganske bratte med mange spor etter skred samt kanaler og raviner. I flere områder er det pockmarks.

4.1.1 Steinshylla-Mule

Det er flere fjellblotninger på land langs dette kyststrekket med lommer av hav- og fjordavsetninger. Kvikkeleire er registrert på land nær Mule. Fjell er også eksponert på sjøbunnen i den vestligste del av området. Skredgroper i løsmassedekket over fjell er alminnelig ned til 50 meters dyp. Skredgropene er ofte skålformede og sammensatte (Fig. 4). Under 50 m dominerer raviner som kan transportere skredmassene ut på dypere vann. Spredte pockmarks på grunne, relativt flatliggende partier viser at det er/har vært oppadgående porevann (evt. gass) i området.

4.1.2 Mule-Øysandan: Gauldeltaet

Denne kyststrekning dekker Gauldeltaet, som under sjøen karakteriseres av mange tettliggende raviner og kanaler ('chutes'). I de bredeste av kanalene er det tversgående banker. Disse kanaler står i forbindelse med aktive eller tidligere tilførselskanaler i deltaet. Ravinene kan transportere massene fra gjentagende, mindre skred som avspeiles av flere mindre skredgroper i ravinene. De tettliggende raviner med mange mindre skredgroper avspeiler sannsynligvis en tilførsel av grovere sediment fra Gaula, hvor en høy sedimentasjonsrate resulterer i dannelsen av bratte skråninger med utrasning.

4.1.3 Øysandan-Buvika

Denne kyststrekning karakteriseres av et bratt fjellparti på land flankert av deltaavsetninger ved Øysand og tykke hav- og fjordavsetninger med kvikkleire ved Buvika. I grunne deler av fjorden sees skredkanter samt enkelte kanaler og raviner, primært i Buvika. Skredenes bakkenter går helt inn til marbakken i områder med kvikkleire. I den nordligste del av området utviser forholdsvis flattliggende områder (rygger) mange pockmarks, hvilket viser at det i denne kystsonen er/har vært oppadgående porevannsbevegelse (eller gassutsivning). Kanalene i den østlige del av Buvika kan være forlengelsen av mindre bekkeløp eller tidevannskanaler. Alternativet kan de være dannet i forbindelse med mindre utglidninger og/eller grunnvannsutslag i kystsonen. Ravinene i Buvika har sannsynligvis transportert gjentagende utglidninger i forbindelse med Viggjas delta.

4.1.4 Buvika-Lykkjeneset

Den kyststrekning er karakterisert av fjellblotninger vekslende med hav- og fjordavsetninger samt kvikkleire. Det er spor etter ganske grunne, undersjøiske utglidninger. Nærmest Buvika forekommer sammensatte, ferske skredkanter, hvilket er ganske nær en kvikkleiresone på land (Fig 5). På kyststrekningen nærmest Lykkjeneset forekommer nesten utviskede spor av tilsvarende skred og er sannsynligvis drapert av sediment.

4.1.5 Lykkjeneset-Svalnestangen

Denne kyststrekning er karakterisert av en bratt bunntopografi men batymetridata mangler mellom c. 100 og 200 meters vanddyp. Fjell dominerer på land og er også eksponert flere steder under vann. I grunnområdene er det tallrike spor etter utglidninger. Noen avspeiler grunne utglidninger i løsmasser. Flere kanaler kan avspeile spor etter utrase fjellblokker etter som en del kanaler er lokalisert nedenfor ganske bratte fjellpartier, og ikke umiddelbart kan settes i forbindelse med bekker på land. Alternativet er erosjon fra grunnvannsutslag.

4.1.6 Svalnestangen-Børsa

Denne kyststrekning er også karakterisert av bratte fjellpartier på land samt fjell blottet under vann. Ved Børsa finnes tykke hav- og fjordavsetninger med kvikkleire. Der finnes spor etter grunne utglidninger og til dels utviskede spor etter utrasninger utenfor Børsa. Kanaler kan knyttes til bekker på land.

4.1.7 Børsa-Lundneset

Langs denne kyststrekning finnes det hav- og fjordavsetninger av varierende mektighet og partier med blottet fjell. Det finnes få spor etter erosjon og skred langs den sydlige del av denne kyststrekning. I den nordligste del er bunntopografien brattere og fjell er eksponert under vann. Her finnes noen kanalformer som kanskje delvis er dannet ved utrase fjellblokker.

4.1.8 Lundneset-Viggja

Denne kyststrekningen, som karakteriseres av tykke hav- og fjordavsetninger, er relativt slak med lange undersjøiske raviner og enkelte kanaler.

4.2 Orkdalsfjorden 1:15.000

Orkdalsfjorden er 150 til 400 m dyp med bratte undersjøiske skrenter og spor etter flere skred samt et relativt flat bunnparti med spor etter skred og banker i forbindelse med kanaler i Orkladeltaet.

4.2.1 Viggja- Kvitskjeret

Langs denne kyststrekningen er det relativt tykke hav- og fjordavsetninger samt områder med kvikkleire. Kysten er relativt slak med lange undersjøiske raviner og enkelte kanaler. En enkelt forsenkning i den østligste del kan være dannet ved utglidning og passasje av skredmasser. Dette understøttes av spor etter gamle skredkanter.

4.2.2 Kvitskjeret-Storsanden

Denne kyststrekning er bratt og karakteriseres av fjell med forholdsvis tynt dekke av hav- og fjordavsetninger. Det er spor etter noen kanaler og utglidninger på dypere vann.

4.2.3 Storsanden-Litlsanden

Dette område karakteriseres som ovenstående av bratte skrenter på land, med hovedsakelig tynt dekke med hav- og fjordavsetninger, samt flere ferske, grunne utglidninger under vann med utspring nær kystlinjen. Det er også større skredkanter på dypere vann nær fjordbunnen der gradienten av sjøbunnen er mer bratt.

4.2.4 Litlsanden-Thamshavn

Denne kyststrekningen er karakterisert av mektige hav- og fjordavsetninger på land med kvikkleire samt små grunne utglidninger under vann så vel som kilometerlange ferske skredkanter. Det ses også spor etter skredkanter på dypere vann samt tykke skredmasser. En stor del av utglidningene fant sted i 1930 etter at 1000-1500 m³ fyllmasser ble plassert i strandkanten syd for Litlsanden. Få minutter senere ble et skred utløst i Thamshavn og på kyststrekningen mellom Råbygda og Almlia (Brandtzæg et al. 1957).

4.2.5 Thamshavn-Råbygda

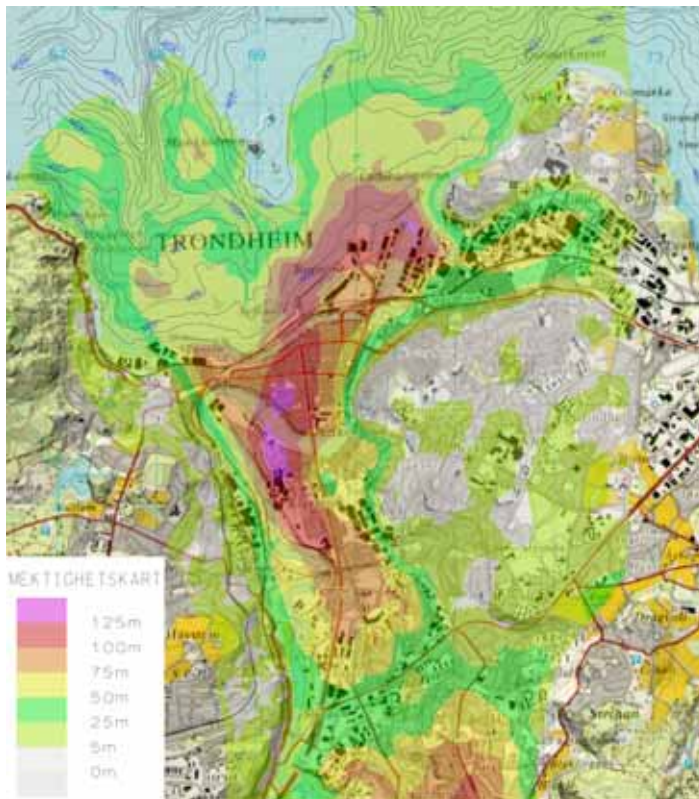
Denne kyststrekning utgjør Orkladeltaet og karakteriseres av tettliggende mindre skredgroper og kanaler (chutes) i deltaavsetningene. Noen kanaler har tversgående banker og strekker seg helt ut på fjordbunnen.

4.2.6 Råbygda-Almlia

Denne kyststrekning karakteriseres av vekslende hav- og fjordavsetninger, morene og fjellblotninger. I den sydlige del finnes tettliggende raviner, og mindre skredgroper mens der i den nordlige del er tydelige skredkanter og store skredgroper. Flere skredkanter rekker helt inn til kystlinjen. Disse skred ble sannsynligvis utløst som en konsekvens av skredet i Thamshavn i 1930. Det er også spor etter spredte, tilsynelatende eldre skred på dypere vann nordøst for Almlia.

4.3 Trondheim 1:15.000

Fjordbunnen ved Trondheim er 250 til 450 m dyp. Batymetrien mot land varierer betraktelig med fjellblotninger, grunne partier, større forsenkninger/kanaler og stedvis mektige sedimentdekker (Fig. 11). Forsenkningene kan fungere som effektive transportkanaler der sediment fra de mange skred utløst på grunnere vann føres ut til fjordbunnen.



Figur 11. Mektighetskart for sedimenter i og utenfor Trondheim. Kartet er basert på tolkninger av seismikk og tyngdemålinger og sammensatt av Eyolf Erichsen, NGU. Det blå feltet i sjøen mangler mektighetsdata.

4.3.1 Munkaunet-Høvringen-Fagervika- Ilsvika-Skansen

Dette området er karakterisert av hav- og fjordavsetninger som er dekket av et lag med strandavsetninger. Det er påvist flere soner med kvikkleire i hav- og fjordavsetningene. I sjøen er det spor etter flere grunne skred helt opp til havnivå. En bred kanalform avspeiler sannsynligvis en gammel deltakanal fra Nidelvens tidligere utløp i området. Syd for Fagervika finnes det flere mindre og større kanaler og former som ser ut som pockmarks. Kanaler og pockmarks, spesielt sistnevnte, er uttrykk for undersjøiske grunnvannsutslag. Dette kan også gjelde kanalene som ikke kan settes direkte i forbindelse med et bekkeløp. Utstrømning fra avløp kan også spille inn. I skredmassene er det kartlagt utraste murstein!!

4.3.2 Skansen-Brattøra-Pirsenter

Dette området består av mektige deltaavsetninger som ligger på leire og er dekket av fyllmasser. Det mest markante for området er de dype kanalene som henger sammen med Nidelvens tidligere utløp. Langs kanalkantene er det spor etter flere generasjoner med skred. Noen av dem har gått inne i strandkanten, som for eksempel skredet på Brattøra i 1888, og et skredflak som starter ved cruisekaia. Overflateformene på dette skredet tyder på at raset er ferskt og trolig bare år eller tiår gammelt. Dette viser at skred er en aktiv prosess i området.

4.3.3 Pirsenter-Ladehammeren-Østmarkneset

Dette området er som området mot vest dominert av Nidelvas delta som er bygget ut over til dels mektige leirlag og hvor man de siste hundre og femti år har vunnet nytt land ved å fylle masser ut over deltaets tidevannsslette. Ved Ladehammeren stikker fjellet frem og kystprofilen blir brattere over og under vann mot Østmarksneset. Langs land på denne strekningen ligger fjellet under et tynt dekke av hav- og fjordavsetninger. Den originale deltaskråningen er synlig på kartet mellom Pirsenteret og østenden av Lade molo. Her finnes det spor etter Nidelvens utløp for c. 100 år siden. Det er verd at notere seg at det i forbindelse med en lengre, bred kanal finnes forholdsvis ferske spor av grunne, retrograderende skred på dypere vann. I 1990 gikk et stort ras ved Nidelvas nåværende utløp. Skredmassene, som ligger i skråningen fra land og ut mot en dyp kanal med mot fjordbunnen, sees tydelig på detaljerte dybdekart. De viser en retrogressiv skredprosess som involverer setning av store $>1\text{million m}^3$ sedimentflak som deretter delvis er brutt opp i mindre blokker i en sekundær retrogressiv rasprosess. Totalt omfatter raset $0,6\text{-}1,1\text{ km}^2$ og $3\text{-}4\text{ mill m}^3$. Glideplanet for raset ligger i et løst pakket sandlag på 15 m dyp. Dette laget er påvist i borkjerner langs deltakanten fra raset og videre mot vest (Sand 1990, Emdal m.flere 1996, Kristiansen 2003). I den vestligste del av raset finnes en over 100 m bred blokk av delvis intakte sedimenter som har satt seg 2 -3 meter i en svakt roterende bevegelse. På ekkoloddoppmålinger gjennomført noen få år før raset vises en brattkant som omtrent faller sammen med vestkanten av denne blokken og som trolig er en skredkant etter et grunnere skred. I dag er skredkanten 'dobbel' dvs at setningen skjedde omtrent langs det grunne rasets vestlige skredkant. Det er spor etter flere undersjøiske, grunne skred mellom Ladehammeren og Østmarksneset og også spor etter skred på dypere vann.

4.3.4 Østmarkneset-Leangbukta-Rotvoll

I dette området finnes flere fjellblottninger under vann samtidig som fjellet i store områder er dekket av et tyntlag av hav- og fjordavsetninger. Fjordbunnen er relativt slak med enkelte pockmarks og et uregelmessig haugfelt. Brattkanter på litt dypere vann avspeiler muligvis spor etter gjentagende utglidninger av løsmasser nærmere land, blant annet nær feltet med pockmarks, erodert ut av skredmassenes passasje ut mot dypere vann. Tydelige skredkanter på dypere vann avspeiler også gjentagende skred. Muligvis kan oppadgående porevannsbevegelse kan ha hatt innvirkning på stabiliteten i området.

4.3.5 Rotvoll-Ranheim

Dette området ligner naboområdene med fjellblottninger på land og slak helning av fjordbunnen, især nær kystlinjen. Her er det spor etter enkelte pockmarks og 'haugfelter' nær kysten hvor det muligvis er tale om grovere sedimenter (høy refleksivitet/backscatterverdi) som muligvis er påvirket av bølgeslag. Det kan være tale om en kombinasjon av prosesser hvilket krever flere feltundersøkelser at avklare, men som er viktige å forstå med tanke på betydningen for stabilitetsvurderinger. Det er flere gamle skredkanter i samme område som er delvist drapert av sediment. Formen på 'haugfeltet' kan avspeile gamle skredkanter. På dypere vann finnes det kanaler som ikke kan følges inn til land og settes derfor i forbindelse med grunnvannsutslag og ikke vanntilførsel fra bekker. Det finnes videre tallrike spor av skred på dypere vann. En pockmark er observert i bakkanten av en av skredgropene. Tidligere seismiske undersøkelser indikerer mye eldre rasavsetninger på fjordbunnen uten for området mellom Østmarkneset, Rotvoll, Ranheim og Hundhamar (Lyså m. flere 2002).

4.4 Malvik 1:15.000

Fjordbunnen i dette område ligger på 140 til 240 meters vandndyp.

4.4.1 Ranheim-Hundhamar

Denne kyststrekning karakteriseres av hav- og fjordavsetninger av varierende tykkelse samt spredte fjellblotninger. Det er mange kvikkleiresoner i området. Fjordbunnen nær kysten er ganske grunn og heller slakt mot fjordbunnen. I et område langs kysten er det utført mudring (Fig. D). De dypere deler av skråningen mot fjordbunnen er brattere. Det finnes mange pockmarks på grunt vann samt flere 'haugfelter'. Flere av disse har høy refleksivitet/backscatterverdi som tyder på grovere sedimenter og kanskje bølgepåvirkning. Her finnes noen pockmarks, men ringformer og haugfelter dominerer. Som beskrevet i et innledende avsnitt om disse fenomener, kreves det flere feltundersøkelser å forstå prosessene. Et enkelt sted synes noen av disse haugfelter at være knyttet til grunne utglidninger av mykt, finkornet sediment med en gropbunn som heller 1° (Fig. 10). På dypere vann finnes det flere gamle spor etter utglidninger som er delvis utvisket og sannsynligvis drapert av yngre sedimenter. Ennå dypere ses tydeligere skredgroper. Et par av disse har pockmarks ved skredenes bakkant. I området finnes større og mindre brede kanalformer som sannsynligvis er dannet ved transport av større skredmasser. Det flotteste eksempel er den brede kanalformen ved Ranheim som fortsetter fra kysten og helt ned til fjordbunnen, hvor det ligger mektige skredmasser. Det finnes spredte pockmarks i den øverste delen av den brede kanalformen. Denne brede kanalen er sannsynligvis dannet under utglidning av et større (kvikkleire?)skred fra land eller i kystsonen. Det er tankevekkende at en bred, grunn kanal midt på denne kyststrekning strekker seg fra et av de mer markante haug- og ringfelter og ut til fjordbunnen. Er dette et resultat av et skred utløst i områder med ringer og hauger på grunn av bevegelse av gass og/eller veske? Det finnes også mindre kanaler som kanskje er et resultat av grunnvannsutslag fordi de ikke klart kan settes i forbindelse med bekker på land.

4.4.2 Hundhamar-Saksvikbukta-Malvik

Også denne kyststrekning er karakterisert av fjellblotninger og vekslende dekke av hav- og fjordavsetninger. På land er det registrert noen kvikkleiresoner. Det er enkelte pockmarks i Saksvikbukta. Det er flere bredere kanalformer/forsenkninger. Noen av disse er tydelig begrenset av fjell ved for eksempel Malvik. En lengre kanalform strekker seg fra land og helt ut til fjordbunnen hvor der er kartlagte skredmasser. Skredmassene stammer tilsynelatende fra et skred langs kysten eller på land. Tidligere seismiske undersøkelser viser at det finnes både yngre og eldre rasavsetninger på fjordbunnen uten for området mellom Hundhamar, Malvik og Torp (Lyså m. flere 2002).

4.4.3 Malvik-Torp-Midtsandan

Dette område er karakterisert av spredte fjellblotninger, et tynt dekke av hav- og fjordavsetninger samt strandavsetninger. Det er flere kanaler og noen enkelte brede kanalformer. Det er registrert pockmarks i de dypere liggende områder på fjordbunnen.

4.5 Hommelvika 1:6.000

Området er lokalisert på og øst for den markante morene rygg på tvers av fjorden som knyttes til Tautra-Trinnet. Bunnen av Hommelvika ligger på 30-40 meters vanddyb.

4.5.1 Midtsandan-Blåhåmmåren

Midtsandan er en grunn kyststrekning hvor undersjøiske rygger er del av morenen. Enkelte hull kan være pockmarks. På land dominerer strandavsetninger. Mot øst ved munningen av Hommelvika finnes en ca. 1 km lang kyststrekning karakterisert av mange kanaler, noen med tversgående banker, samt en uregelmessig sjøbunn tolket som skredmasser. På land finnes et tynt dekke av hav- og fjordavsetninger over fjell i forholdsvis bratt terreng. Kanalene kan være dannet ved utrastninger av morene, fjell eller andre avsetninger kombinert med strømmer.

4.5.2 Blåhåmmåren-Hommelvik

Den indre del av Hommelvika ved Hommelvik er på land karakterisert av hav- og fjordavsetninger av varierende tykkelse vekslende med fjellblotninger. Det er flere kystområder med fyllmasser. Det er et delta innerst i viken. Tynne hav- og fjordavsetninger med fjellblotninger samt strandavsetninger og et delta. I fjorden er der spor etter ganske store skred. Ganske ferske skredmasser i den sydvestligste del av området stammer fra skredet i Hommelvik i 1944. Spor etter et eldre skred finnes i den sydøstlige del av området. Skredmasser er mer utydelige siden de er delvis dekket av sediment. Generelt tilsier batymetrien at skredmasser kan vise seg å utgjøre en god del av fjordfyllet. Flere steder langs kystlinjen er der spor etter mindre skred og/eller erosjonsformer.

5. MORFOLOGISK KLASSIFIKASJON AV STRANDSONEN

Datamaterialet i rapporten øker forståelsen for hvordan de kartlagte skred- og erosjonsfenomener opptrer og henger sammen. Dette kan sammen med tilgjengelig geoteknisk og geofysisk informasjon danne grunnlag for videre prioriteringer mht grunnundersøkelser og skredfarevurderinger. Dette gjelder både i fase 1 og fase 2 innen denne type kartlegging (jmf. Emdal mfl. 1997 og Longva mfl. 1999). Det er viktig å skjelne mellom forskjellige typer/størrelser av skred eller hvilken type erosjon som skjer i strandsonen, som utglidning, bølgeerosjon eller kanalisering. Dette har betydning for hvordan et område vil endre seg over tid mht stabilitet eller for vurdering av eventuelle stabiliserende tiltak eller overvåking. Forekomsten av pockmarks nær bakkanten av enkelte skredgroper antyder at grunnvanns- og/eller gassbevegelser kan være skredutløsende i noen områder. Videre synes det å være sammenheng mellom de områder der det er tydelige tegn på gass-/grunnvannsbevegelse, og områder der det er kjennskap til kvikkleire og særlige berggrunnstyper.

Rapporten gir en første klassifikasjon av kystsonens morfologi ut i fra sonardata, og de prosesser som virker/har vært aktive i strandsonen og som kan være relevante ved skredfarevurderinger (figur 12 og 13). Klassifikasjonen baseres på en subjektiv mengde av spor etter skred og/eller (andre) potensielt destabiliserende prosesser. Sistnevnte er primært observasjoner av pockmarks, bølgeerosjon, og strømerosjon. Det er gjort en vis prioritering mht. skredgroper, hvor tilsynelatende ferske groper vektlegges i forhold til utydelige/draperte groper. Store og eller mange (gjentagne) skredgroper vektlegges i forhold til små spredte groper. Videre gjøres det høyere vektlegging av pockmarks og bølgeerosjon i forhold til noen former for kanalisering.

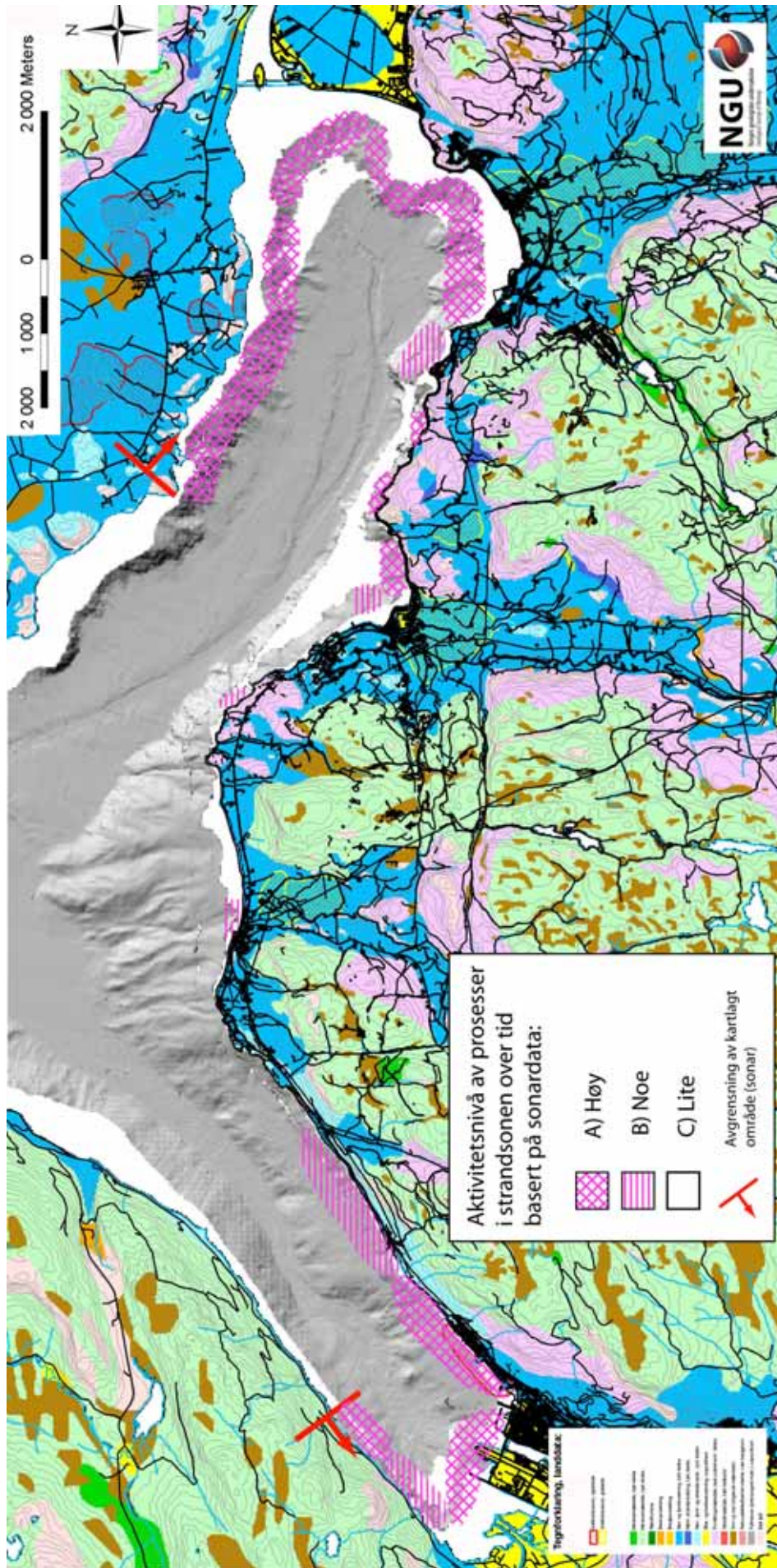
Kystsonen er inndelt i tre etter aktivitetsnivået av prosessene gjennom tid:

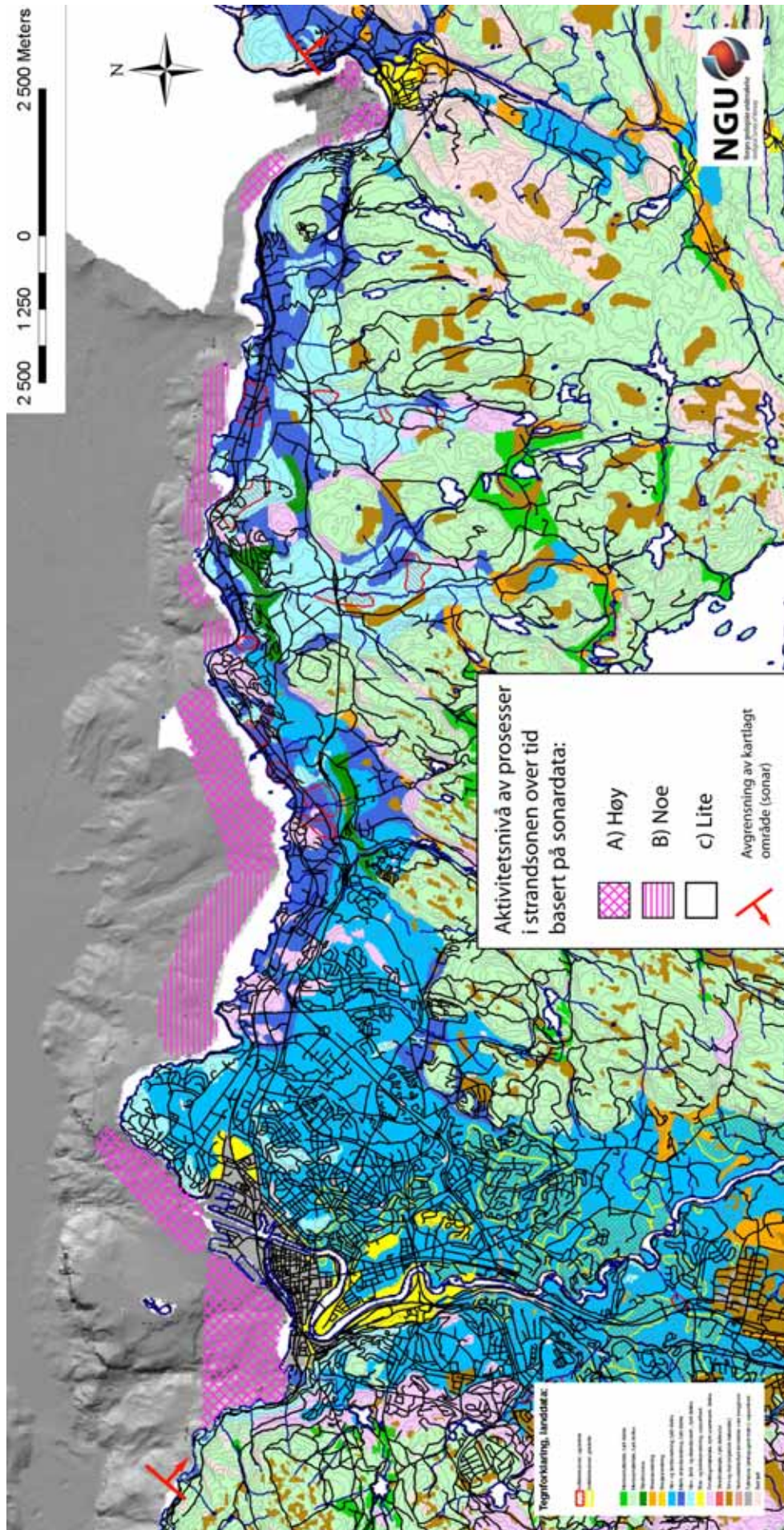
**A) Høy: mange spor etter skred og/eller potensielt destabiliserende prosesser
(kryss-skravur)**

**B) Noe: noe spor etter skred og/eller potensielt destabiliserende prosesser
(horisontal-skravur)**

**C) Lite: ingen/meget få spor etter skred og/eller potensielt destabiliserende prosesser
(ingen skravur)**

Det må understrekes at en videre/mer detaljert klassifikasjon er mulig ved å inkludere flere faktorer og med mer detaljert innbyrdes vektlegging av disse. Da må man gjøre en analyse av gradienten og høydeforskjeller av strandsonen og størrelsen, alder og type av registrerte skred. Eksisterende kvartærgeologiske landkart kan i tillegg gi relevant informasjon om former og prosesser i kystsonen som deltaer og/eller andre sedimentkilder hvor lokale høye sedimentasjonsrater er relevant for stabiliteten i kystsonen. Noen steder mangler vi sonardata spesielt der hvor det er langgrunt, men denne delen må også tas med i vurderingene. Kystlinjens form kan i seg selv vise om et område utsettes for bølge/strømerosjon eller sedimentasjon.





Figur 13. Oversikt over strandsonen mellom Trolle og Hommelvika med overordnet klassifisering av morfologi ut fra sonardataen som et grovt mål for aktiviteten av ulike prosesser gjennom tid med relevans for skredfarevurderinger.

5.1 Diskusjon og videre arbeid

Kartene i figur 12 og 13 er ikke faresonekart. Kartene gir derimot en oversikt over de områder der det er eller har vært aktive prosesser som tydelig påvirker/har påvirket strandsonen. Det er hensikten med både oversiktskart og de detaljerte data å bidra med informasjon som kan brukes ved skredfarevurderinger.

Kartene kan for eksempel brukes som et redskap ved prioritering av områder for nærmere geoteknisk oppfølging. Dette gjelder områder som synes å være utsatt for erosjon, konsentrert grunnvannsbevegelse samt gjentagende skred i nyere tid. Områder der skredgropene strekker seg inn mot land der det finnes kvikkleire vil være i spesiell fokus. Områder uten kvikkleire eller nevneverdige spor etter skred, erosjon og/eller konsentrert grunnvannsbevegelse, vil oftest prioriteres lavt for videre stabilitetsvurdering. Det er også viktig å skille mellom forskjellige typer av skred (grunne flakformede/gropformede) og, i det omfang det er mulig, å anslå utløsningsårsaker og skredfrekvenser. Noen undersjøiske skred kan også ha konsekvenser for undersjøiske installasjoner.

Områder rundt elveløp, i grunne viker og steder med bratt marbakke bør få særlig oppmerksomhet (Emdal mfl. 1997). I deltaområdene kan det typisk både være løst lagret silt og sand og innslag av leire. Høy vannføring/flom kan føre til erosjon på deltaskrenten og på dypere vann. Videre er det (dis)kontinuerlig sedimentasjon i de grunnere områder nær deltaene som etter hvert kan resultere i utglidning. Disse forhold avhenger også av strømmen langs deltaet. Ikke bare de kortsiktede deltaprosesser er viktige, men også hele deltaets utvikling som for eksempel Nidelvens utløp ved Trondheim. Her har utløp gjennom 3000 år forflyttet seg fra den vestligste til den østligste del av dalføret og spor etter gamle kanaler og chutes kan tydelig sees og styrer til en vis grad retningen av utraste masser i bevegelse. Disse kanalområdene synes å være særlig utsatte for skred. Fortsettelsen av kanalene til brede kanalfomer på dypere vann ned mot fjordbunnen gjør det effektivt å transportere utraste masser bort så de ikke, eller kun midlertidig, kan fungere som stabiliserende motvekt på den nederste del av deltaskråningen.

6. KONKLUSION

Over 50 km av kystsonen i Tondheimsfjorden er oppmålt ved hjelp av interferometrisk sonar. Dataene sammenstilles med multistråleekkolodddata fra den dypere del av fjorden og med landdata i form av kvartærgeologiske kart og kartlagte kvikkeleiresoner. Data er analysert og morfologiske elementer er kartlagt og digitalisert. Flere av elementene er/kan være viktige ved skredfarevurdering. Disse er primært: batymetri/gradienter, spor etter tidligere skred (forskjellige typer), tegn på konsentrert grunnvannstrømning evt. gassutslipp (blant annet pockmarks), erosjon (bølger/kanaler mv.) samt indikasjon på bunntyper (sedimenttype/fjell). Det synes å være noen sammenheng mellom de områder der det er tydelige tegn på gass-/grunnvannsbevegelse, og områder der det er kjennskap til kvikkleire og særlige berggrunnstyper.

Det er gjort en første klassifisering av kystsonens morfologi ut fra de kartlagte elementer og kan ses som et grovt mål for de ulike prosessers samlede aktiviteten i strandsonen. Kystsonen inndeles i tre typer av områder: A) Områder der det er mange spor etter potensielt destabiliserende prosesser og/eller skred. B) Områder der det er noe spor etter skred eller potensielt destabiliserende prosesser. C) Områder uten eller med få spor av aktivitet. Til sammen gir dataene en unik oversikt over skred- og erosjonsprosesser i strandsonen som grunnlag for en videre diskusjon om risiko- og faresonekartlegging i strandsonen. Data må kombineres med landdata samt geofysisk og geoteknisk informasjon i en helhetlig skredfarevurdering.

7. TAKK

Kartleggingsarbeidet er finansiert via det statlige skredprogrammet administrert av NGU med tilskudd fra ICG (International Centre for Geohazards). Entreprenørselskapet Skanska og Trondheim kommune takkes for hjelp ved fremskaffelse av grunnlagsdata. Einar Lycke (Rambøll) var behjelpelig med informasjon om Hommelvika. Forsvaret takkes for at ha frigitt figurer og kart til offentliggjørelse i denne rapport. Mannskapet på 'Seisma' takkes for deres innsats under datainnsamling.

8. REFERANSER

Brandtszæg, A., Holmsen, G., Møen, G. Bjerrum, L. & Skaven-Haug, S. 1957. Innstilling fra komiteen 1953/1957 for grunnundersøkelser i Trondheim Havneområde.

Bøe, R., Bugge, T. Rise, L., Eidnes, Eide, A. & Mauring E. 2004: Erosional channel incision and the origin of large sediment waves in Trondheimsfjorden, central Norway. *Geo-Marine letters* 24. 225-240.

Emdal, A., Nordal, S. & Janbu, N. 1997: Videreføring av kartlegging av fare for løsmasseskred i Norge. Høringsutkast. Rapport O.97.03-1. Fakultetet for bygg- og miljøteknikk, Institutt for geoteknikk, NTNU, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.

Hovland, M., Judd, A.G., 1988. *Seabed Pockmarks and Seepages*. Graham and Trotman, London, 293 pp.

Longva, O., Blikra, L. H., Mauring, E., Thorsnes, T. & Reither, E. 1999: Testprosjekt Finneidfjord; integrert skredfarekartlegging - metodevurdering. *Norges geologiske undersøkelse*, NGU Rapport 1999.051.

Lyså, A., Lundin, E. & Nowacki, F. 2001: Forstudie – skredvurdering knyttet til mulig grenrør inn til Trondheim. NGU rapport 2001.099. (Begrenset distribusjon)

Lyså, A., Olsen, H., & Nowacki, F. 2002: Skredvurderinger knyttet til mulig grenrør inn til Trondheim (fase 1b). NGU rapport 2002.058

Kristiansen, B. 2003. Trondheim Havn, Lade Molo. Grunnundersøkelser. Datarapport. Scandiaconsult, 630030A Rapport 1, 07.03.03

Sand, K. 1990. Raset ved Ladehammeren 25.04.90. Rapport R. 795-2. Trondheim kommune.

Emdal, A., Janbu, J. og Sand, K. 1996. The shoreline slide at Lade. I; Senneset, K. (Redaktør) Landslides. A.A.Balkema/Rotterdam/Brookfield.

ORKDALSFJORDEN, skyggerelieff multistråledata og sonardata

Vedlegg til NGU rapport 2005.054

1:15 000

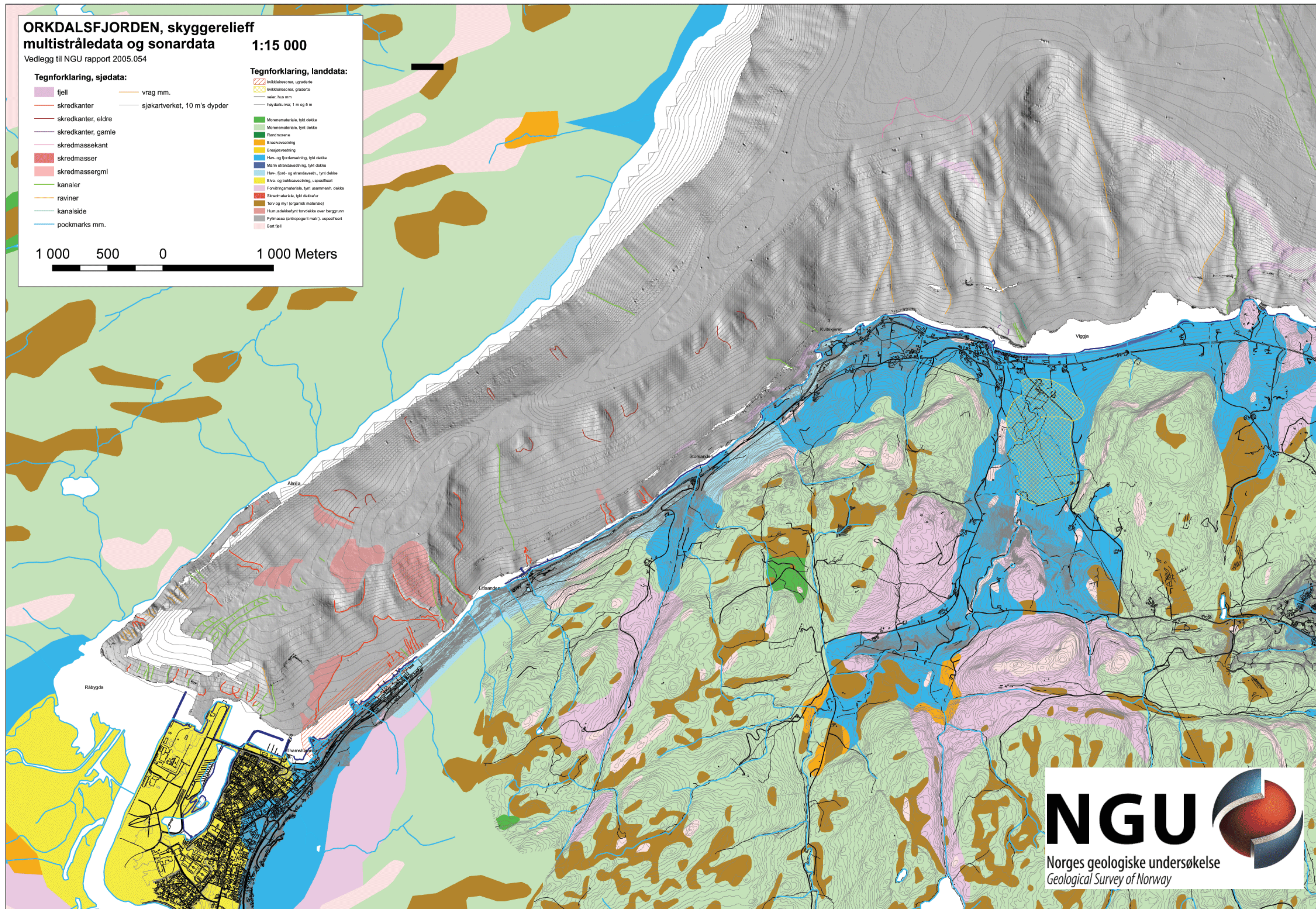
Tegnforklaring, sjødata:

- fjell
- skredkanter
- skredkanter, eldre
- skredkanter, gamle
- skredmasekant
- skredmasser
- skredmassergml
- kanaler
- raviner
- kanalside
- pockmarks mm.
- vrage mm.
- sjøkartverket, 10 m's dypder

Tegnforklaring, landdata:

- kvikkleiersoner, ugraderte
- kvikkleiersoner, graderte
- valler, hus mm
- høydekurver, 1 m og 5 m
- Morenemateriale, tykt dekke
- Morenemateriale, tynt dekke
- Randhorane
- Brøkkvassetning
- Brøkkvassetning
- Hav- og fjordvassetning, tykt dekke
- Marin strandvassetning, tykt dekke
- Hav-, fjord- og strandvassett, tynt dekke
- Elve- og bekkevassetning, uspesifisert
- Forvitringsmateriale, tynt usammenhengende dekke
- Skredmateriale, tykt dekke/ur
- Torv og myr (organisk materiale)
- Humusdekket tynt torvdekke over berggrunn
- Fyllmasse (artrapogent mat.), uspesifisert
- Bært fjell

1 000 500 0 1 000 Meters



1:15 000 GAULOSEN, skyggerelieff multistråledata og sonardata

Vedlegg til NGU rapport 2005.054

Tegnforklaring, sjødata:

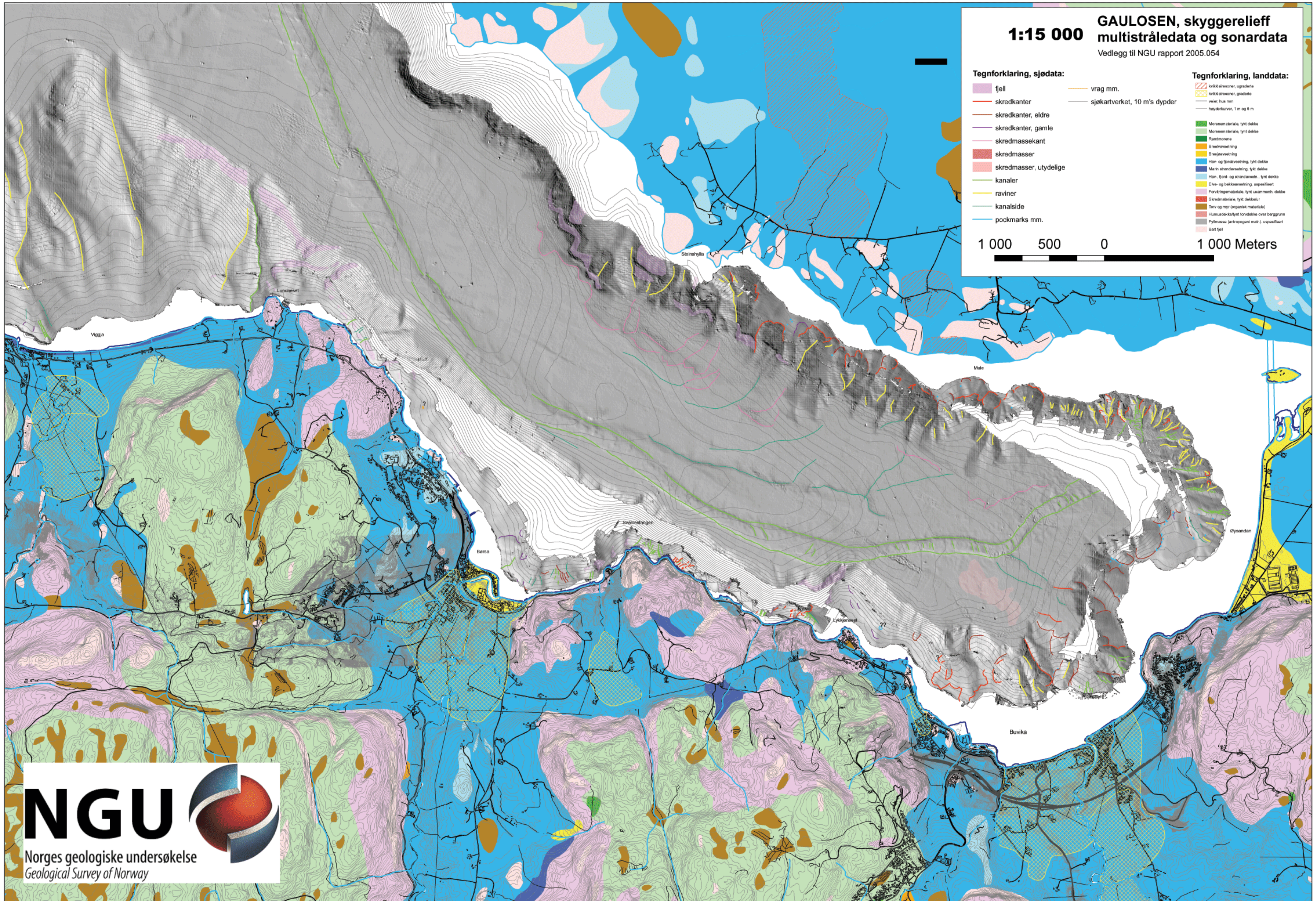
- fjell
- skredkanter
- skredkanter, eldre
- skredkanter, gamle
- skredmassekant
- skredmasser
- skredmasser, utdelige
- kanaler
- raviner
- kanalside
- pockmarks mm.
- vrug mm.
- sjøkartverket, 10 m's dybde

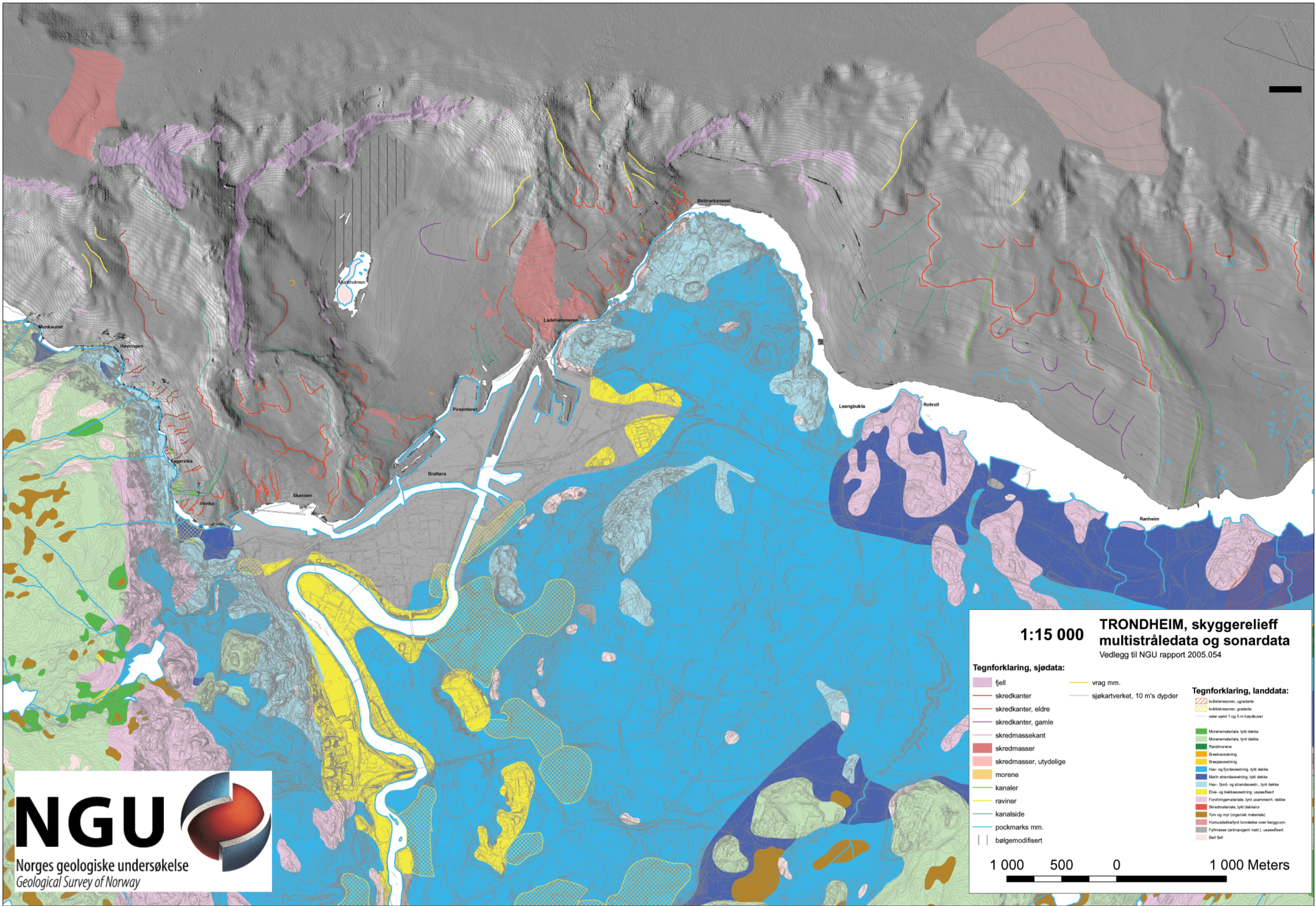
Tegnforklaring, landdata:

- kvikkleiresoner, ugaderte
- kvikkleiresoner, graderte
- vøer, hue mm
- høydekurver, 1 m og 5 m
- Morenemateriale, tykt dekke
- Morenemateriale, tynt dekke
- Randmorene
- Bredvæsetning
- Bredvæsetning
- Hav- og fordevæstning, tykt dekke
- Marin strandvæstning, tykt dekke
- Hav-, fjord- og strandvæstn., tynt dekke
- Elve- og bekkevæstning, uspesifisert
- Forvringmateriale, tynt usammenh. dekke
- Skredmateriale, tykt dekke/ur
- Torv og myr (organisk materiale)
- Humusdekket/tynt torvdekk over berggrunn
- Fyllmasse (artropopt mstr.), uspesifisert
- Barf fjell

1 000 500 0

1 000 Meters

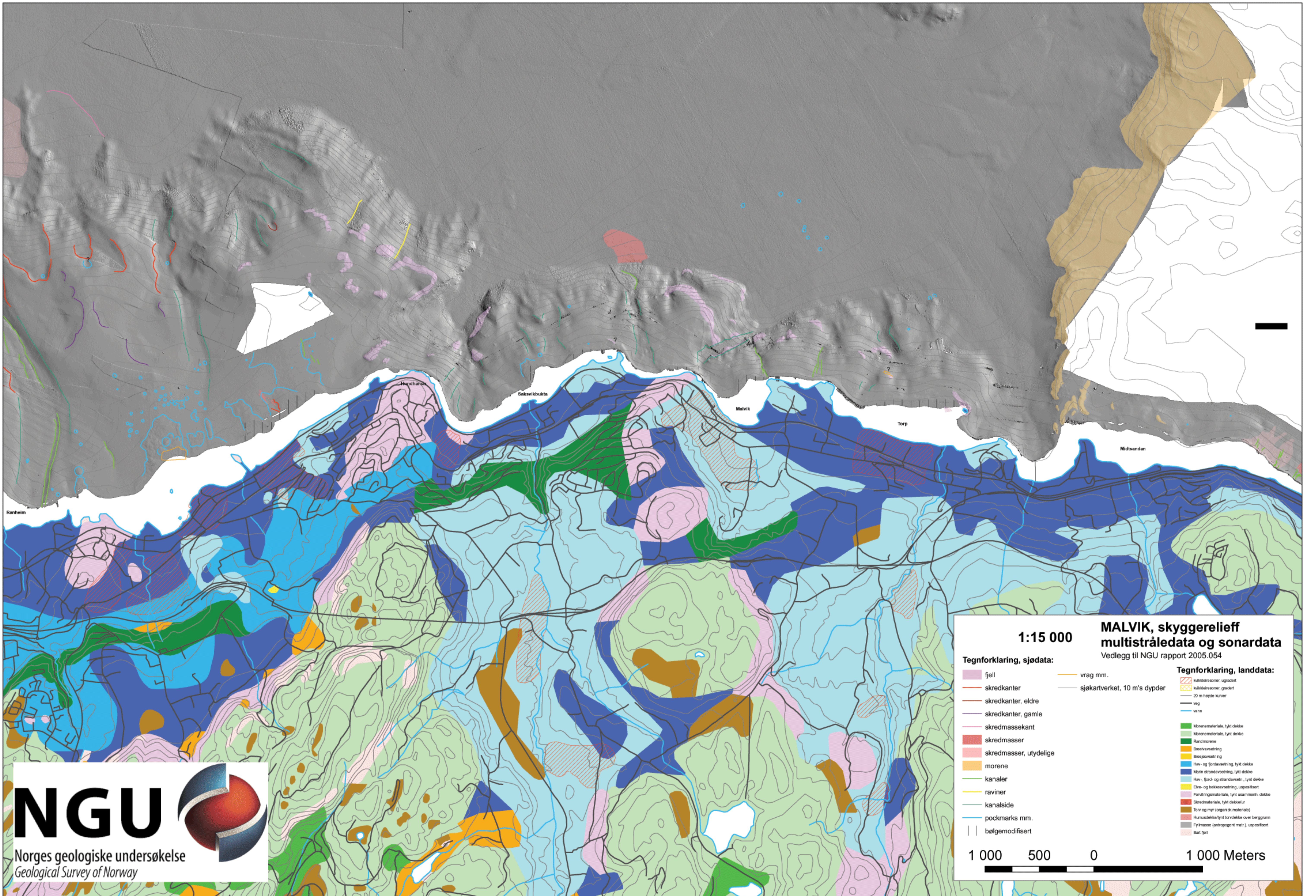


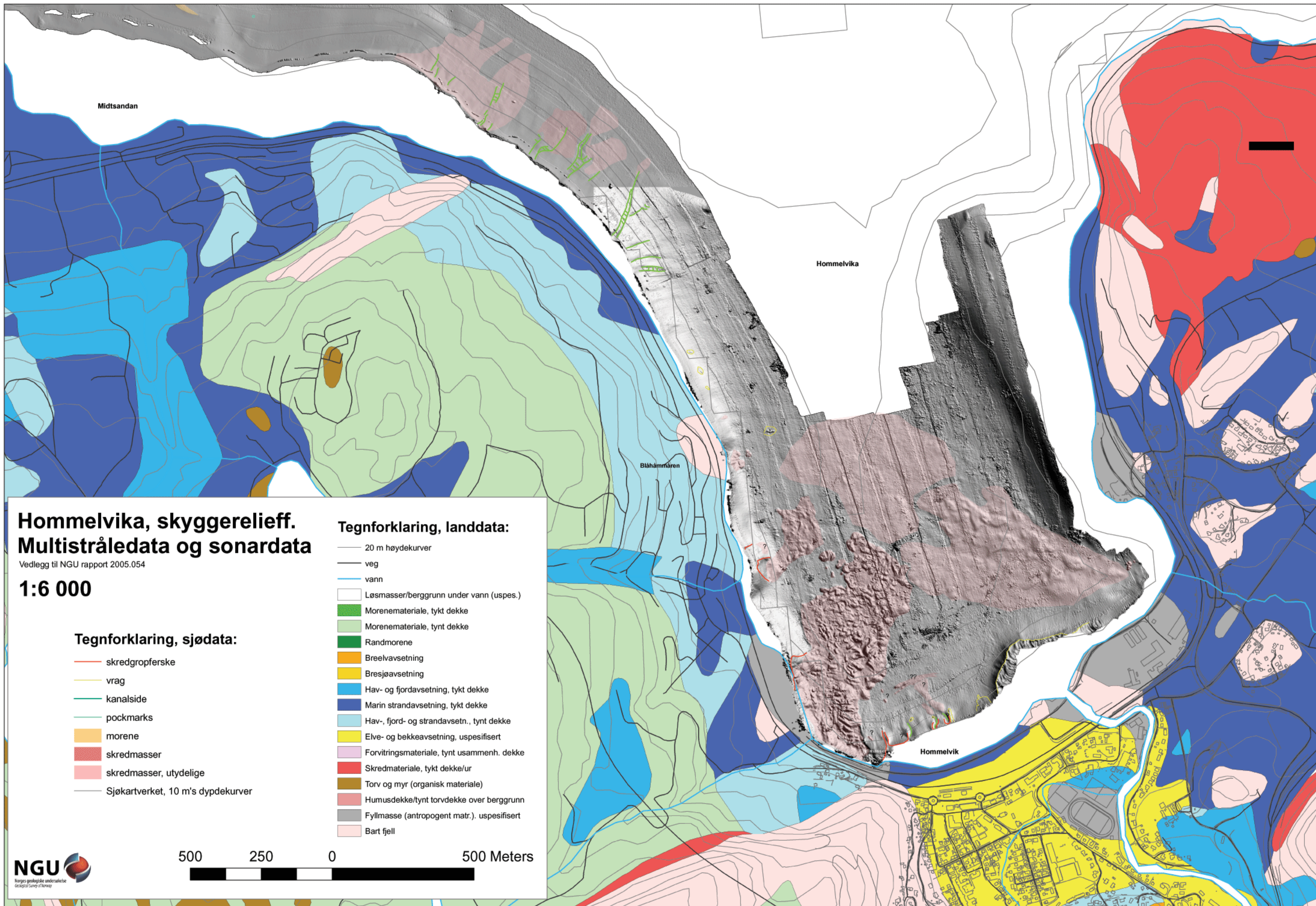


1:15 000 TRONDHEIM, skyggerelieff multistråledata og sonardata
 Vedlegg til NGU rapport 2005.054

- Tegnforklaring, sjødata:**
- vrug mm.
 - sjøkartverket, 10 m's dypder
- Tegnforklaring, landdata:**
- kvikkleiresone, ugraderte
 - kvikkleiresone, graderte
 - veier samt 1 og 5 m høydeover
 - Morenemateriale, tykt dekke
 - Morenemateriale, tynt dekke
 - Randmorene
 - Breddeavsetning
 - Breddeavsetning
 - Hav- og forandavsetning, tykt dekke
 - Marin strandavsetning, tynt dekke
 - Hav-, fjord- og strandavsetning, tynt dekke
 - Elv- og bakkeavsetning, usammenhengende
 - Forvitringsmateriale, tynt usammenhengende dekke
 - Sedimentmateriale, tynt dekket
 - Torv og myr (organisk materiale)
 - Humusdekket tynt torvdekket over berggrunn
 - Fyllmasser (arkeologisk matt), uspesifisert
 - Dert fjell







Hommelvika, skyggerelieff. Multistråledata og sonardata

Vedlegg til NGU rapport 2005.054

1:6 000

Tegnforklaring, sjødata:

- skredgropferske
- vrag
- kanalside
- pockmarks
- morene
- skredmasser
- skredmasser, utydelige
- Sjøkartverket, 10 m's dypdekurver

Tegnforklaring, landdata:

- 20 m høydekurver
- veg
- vann
- Løsmasser/berggrunn under vann (uspes.)
- Morenemateriale, tykt dekke
- Morenemateriale, tynt dekke
- Randmorene
- Breeelvavsetning
- Bresjøavsetning
- Hav- og fjordavsetning, tykt dekke
- Marin strandavsetning, tykt dekke
- Hav-, fjord- og strandavsetn., tynt dekke
- Elve- og bekkeavsetning, uspesifisert
- Forvittringsmateriale, tynt usammenh. dekke
- Skredmateriale, tykt dekke/ur
- Torv og myr (organisk materiale)
- Humusdekke/tynt torvedekke over berggrunn
- Fyllmasse (antropogent matr.) uspesifisert
- Bart fjell