


NGU Rapport 2011.003

**Undersjøiske landformer og  
skredprosesser langs strandsonen  
i Drammensfjorden.**

Rapport nr.: 2011.003	ISSN 0800-3416	Gradering:
Tittel: Undersjøiske landformer og skredprosesser langs strandsonen i Drammensfjorden		
Forfatter: Louise Hansen, Jean-Sebastien L'Heureux, Oddvar Longva, Raymond Eilertsen		Oppdragsgiver: NGU og NVE
Fylke: Vestfold; Buskerud	Kommune: Svelvik, Drammen, Lier, Røyken, Hurum	
Kartblad (M=1:250.000) Vestfold; Buskerud	Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) Drøbak 1814 II; Drammen 1814 III; Lier 1814 IV	
Forekomstens navn og koordinater:	Sidetall: 35 Kartbilag: 7	Pris: 350 NOK
Feltarbeid utført: Juni 2005	Rapportdato: 14. april 2011	Prosjektnr.: 301807, 301804 og 333000
Ansvarlig: 		
<p><b>Sammendrag:</b></p> <p>Leire og andre løsmasser i strandsonen fortsetter ofte utenfor strandlinjen og skred som starter under havnivå kan potensielt forplante seg inn på land. I tillegg kan undersjøiske skred utløse flodbølger med ødeleggende virkning på land. Dette understreker at forholdene i sjøen kan ha avgjørende betydning for stabiliteten langs strandsonen. Med multistråleekkolodd eller interferometrisk sidesøkende sonar kan man effektivt samle inn data over lange strekninger av strandsonen med informasjon om både dybdeforhold og bunntyper. Disse dataene og seismikk i sjøen kan sammen med topografiske, geologiske og geotekniske data fra land gi et mer komplett bilde av forholdene i strandsonen.</p> <p>Over 40 km av strandsonen fra Drammen til Svelvik er undersøkt. Dataene er sammenstilt og analysert ved hjelp av GIS, og morfologiske elementer er kartlagt og digitalisert. Målet med rapporten er å oppsummere data fra 2005 innsamlet i regi av <u>GEOS</u>-prosjektet og utarbeide en klassifikasjon av morfologien for å øke kunnskapen om prosesser i strandsonen.</p> <p>Detaljerte dybde data viser at det er spor etter undersjøisk skredaktivitet langs mesteparten av strandlinjen i Drammensfjorden. Dette inkluderer sporene etter kjente, historiske skredhendelser. Mange av disse skredene er knyttet til utfylling i strandsonen. Det finnes ulike typer av skredkanter, skredmasser og -blokker, ulike kanalformer og raviner, pockmarks, nedslagsgroper, sedimentbølger og spor etter menneskelig aktivitet. Noen skredkanter har en form som ligner formene dannet ved kvikkleireskred på land. Flakformete skred følger trolig svake lag i sjøbunnen. Det er lange strekk med fjell langs fjorden, noe som naturlig begrenser områder der undersjøiske skred kan forplante seg inn på land. Likevel kan fylling på sjøbunnen ved slike plasser utløse undersjøiske skred. Spesiell aktsomhet bør vises i områder med mange pockmarks og undersjøiske bratte skråninger. Dette gjelder også områder med aktiv erosjon der det er gjentatte ferske spor etter skred og/eller kanalformer etter undersjøiske strømmer.</p> <p>Undersøkelsene viser hvordan prosesser i en del av strandsonen kan påvirke stabiliteten i andre deler. For eksempel ser det ut til at skred som starter innerst i en bukt kan føre til undersjøiske strømmer som eroderer foten av skråninger i andre deler av bukten og utløse nye skred. Slike forhold er tilstede flere steder langs Drammensfjorden. Dette gjelder spesielt i nordøst mellom Gullaugbukta, Engersandbukta, Kinnartangen og Hyggenbukta, og enkelte plasser på motsatt side av fjorden. Refleksjonsseismikk viser at skred er en prosess som gjentar seg i fjorden, men frekvensen er ukjent og må dokumenteres ved prøvetaking.</p> <p>Rapporten kan videre brukes i arbeid med bruk av undersjøiske data til skred-, aktsomhets-, faresone- og risikokartlegging i strandsonen. Data vil også være relevante for andre problemstillinger som vedrører naturgrunnlaget. Registreringer av skipsvrak kan være av historisk interesse.</p>		
Emneord: Batymetri	Strandsone	Skred
Erosjon	Fjordavsetning	Fjord
Maringeologi	Sonar	Seismikk

1.	INNLEDNING .....	2
1.1	Valg av område .....	2
1.2	Geologisk ramme .....	3
2.	METODER.....	8
2.1	Innsamling av data .....	8
2.2	Posisjonering .....	9
2.3	Sammenstilling av data .....	9
2.4	Marin seismikk.....	10
3.	RESULTATER; MORFOLOGISKE ELEMENTER .....	10
3.1	Skredgroper: A) skålformet, B) flakformet, C) utydelig.....	10
3.2	Skredmasser og skredblokker.....	11
3.3	Mulige skredblokker .....	11
3.4	Brede kanalformer og raviner .....	11
3.5	Smale kanalformer .....	11
3.6	Fjellkløft .....	11
3.7	Pockmarks (sirkulære forsenkninger) .....	12
3.8	Nedslagsgroper.....	12
3.9	Sedimentbølger.....	12
3.10	Antropogent.....	12
3.11	Antatt fjell .....	12
4.	RESULTATER; OMRÅDEBESKRIVELSER.....	13
4.1	Drammen Havn (Vedlegg 1) .....	13
4.2	Solumstrand (Vedlegg 2) .....	18
4.3	Hyggen-Tørkopp (Vedlegg 3).....	19
4.4	Hernes (Vedlegg 4) .....	22
4.5	Rørvik (Vedlegg 5).....	22
4.6	Sønsteby (Vedlegg 6).....	23
4.7	Svelvik (Vedlegg 7) .....	23
5.	MARIN SEISMISK STRATIGRAFI .....	24
6.	OPPSUMMERING .....	27
6.1	Skredaktivitet langs strandsonen i Drammensfjorden.....	27
6.2	Forslag til videre arbeid.....	28
7.	KONKLUSJON .....	29
8.	TAKK.....	30
9.	REFERANSER .....	31
10.	Utvalgte kvartærgeologiske symboler.....	32
11.	Detaljbeskrivelse av marinseismiske prinsipper .....	33

**7 kartblad er vedlagt:**

**Vedlegg 1: Drammen Havn**

**Vedlegg 2: Solumstrand**

**Vedlegg 3: Hyggen-Tørkopp**

**Vedlegg 4: Hernes**

**Vedlegg 5: Rørvik**

**Vedlegg 6: Sønsteby**

**Vedlegg 7: Svelvik**

## 1. INNLEDNING

Leire og andre løsmasser i strandsonen fortsetter ofte utenfor strandlinjen og skred som starter under havnivå kan potensielt forplante seg inn på land. I tillegg kan undersjøiske skred utløse flodbølger med ødeleggende virkning på land. Dette understreker at forholdene under havnivå kan ha avgjørende betydning for stabiliteten langs strandsonen. Kunnskapen om slike undersjøiske forhold er ofte svært mangelfull. Et testprosjekt med vurdering av forskjellige undersøkelsesmetoder til integrert skredfarekartlegging ble utført i Finneidfjord (Longva et al. 1999). Den første strandsonkartlegging med interferometrisk sonar ble utført i Trondheimsområdet i 2004 (Hansen et al. 2005). Dette arbeid ble etterfulgt av mer detaljerte studier om grunnforholdene i sjøen ved Trondheim (se for eksempel L'Heureux et al. 2010).

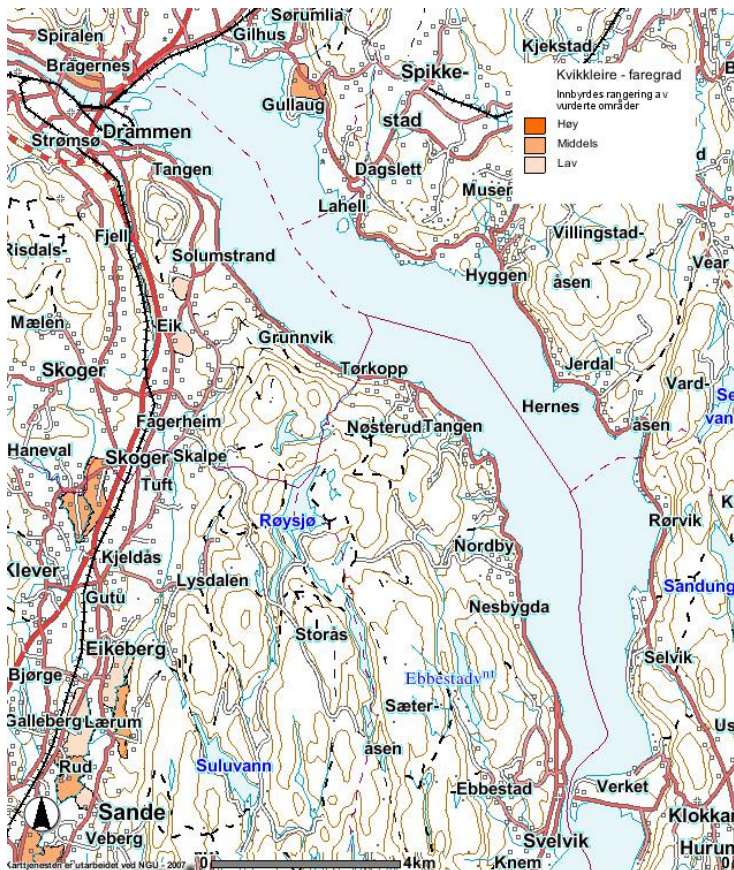
Målet med denne rapporten er å 1) oppsummere data innsamlet fra Drammenfjorden i 2005 og 2) utarbeide en klassifikasjon av morfologien i strandsonen, 3) beskrive skredaktiviteten langs fjorden og 4) gi forslag til videre arbeid. Rapporten kan videre brukes til skred-, aktsomhets-, faresone- og risikokartlegging langs strandsonen i Drammensfjorden.

### 1.1 Valg av område

Mellom Drammen og Svelvik i Drammensfjorden finnes det flere kjente eksempler på skred i strandsonen (Fig. 1). Enkelte kvikkleiresoner er registrert nær sjøkanten (Fig. 2). Det er viktig å påpeke at det også kan forekomme kvikkleire i marine avsetninger utenfor disse sonene. Kjente skredhendelser er: Leirskred ved Drammens Glassverk ved Tangen i 1935 (4 omkomne), undersjøisk skred ved Drammenelvens sørlige utløp i Drammensfjorden i 1974 og undersjøisk skred ved Tangensrenna i 1916 ([www.skrednett.no](http://www.skrednett.no); Fig. 1). Videre er det registrert undersjøiske skred i leire ved Gullaug (1974) og i Hyggenvika (1978) (Karlsrud 1979), se også Fig. 1.



**Figur 1.** Den undersøkte delen av Drammensfjorden med oversikt over skredhendelser ([www.skrednett.no](http://www.skrednett.no)). Områdene med de mest kjente skredhendelsene er fremhevet med rødt.



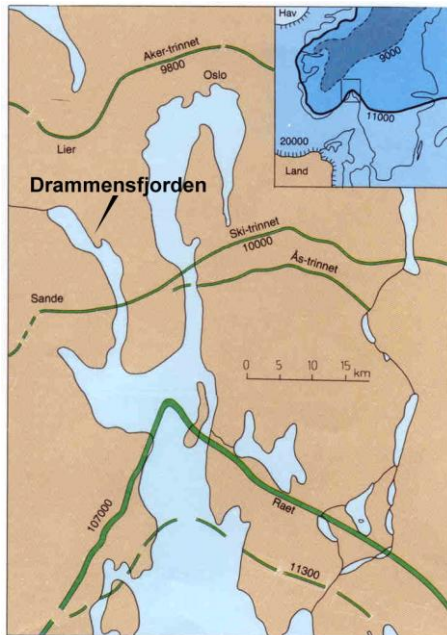
**Figur 2.** Den undersøkte del av Drammensfjorden med oversikt over kvikkleiresoner ([www.skrednett.no](http://www.skrednett.no)).

## 1.2 Geologisk ramme

Drammensfjorden nord for Svelvikryggen er 2-2,5 km bred og nesten 20 km lang. Mot sør krysser Svelvik-ryggen fjorden og kun en c. 200 m bred passasje muliggjør utveksling av vannmasser med hav- og fjordområdene mot sør. Fjordbunnen ligger på c. 60 meters dyp i den nordlige enden av fjorden og heller jevnt ned mot 120 m lengst mot sør. Fjordsidene langs Drammensfjorden er relativt bratte unntatt innerst i fjorden hvor store deltaer har dannet en jevnt hellende fjordbunn.

Berggrunnen omkring Drammensfjorden består hovedsaklig av grov- til finkornet Drammensgranitt. Det kupert landskapet er sterkt oppskåret av nord-sør-gående dype sprekkedaler (Sørensen et al. 1990). Istidens breer har spilt en viktig rolle for utformningen av landskapet og moreneavsetninger finnes i flere deler av området. På slutten av siste istid trakk breene seg trinnvis nordover og dannet randmorenesystemer (randtrinn). Et av disse, Ski-trinnet, ble dannet for ca. 10.000 år siden og krysser den sørlige del av Drammensfjorden (Fig. 3). Her ble den store breelveavsetningen ved Svelvik (Svelvikryggen) dannet. Mindre morenerygger på tvers av fjorden nord for Svelvikryggen er begravd under tykke avsetninger av finkornige hav- og fjordavsetninger som ble avsatt i Drammensfjorden under og etter breenes tilbaketrekking nordover. Disse mindre randtrinnene, mellom annet Hyggen-Hernes trinnene, er beskrevet av Bjerkli og Olsen (1984), Thoresen et al. (1993) og Sørensen (1990). Hav- og fjordavsetninger ble noen steder dekket av strandavsetninger under den påfølgende landhevingen. De marine avsetningene finnes nå på land i forsenkninger mellom fjellknauser opp til den marine grense (MG) på ca. 200 m.o.h. Denne vekslingen av fjellblottinger og løsmasser sees langs Drammensfjorden (Fig. 4). Områder med hav- og fjordavsetninger

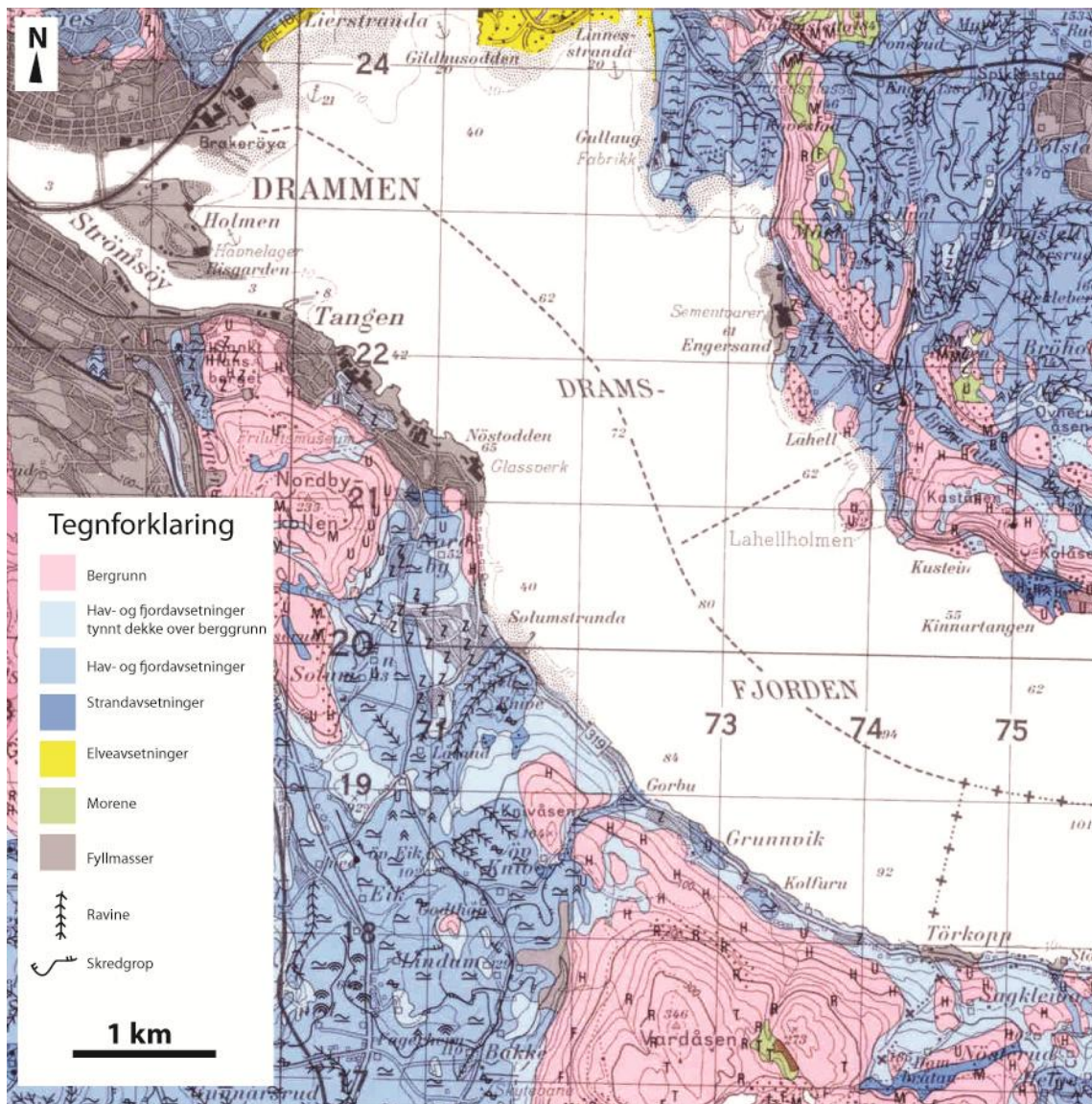
spesielt omkring nordlige del av Drammensfjorden er preget av raviner og skredgroper (Fig. 5). Innerst i Drammensfjorden har deltaer bygget seg ut ved munningen av Drammenselva og Lierelva og disse systemene er stadig aktive. Jordartsfordelingen rundt Drammensfjorden kan sees på følgende kvartærgeologiske kart: Thoresen et al. (1993); Klakegg (1985); Sørensen et al. (1990); Klakegg (1991); Follestad (1986); Follestad (1982); Nordahl-Olsen (1989) (Fig. 5 and 6). Strandsonen i Drammensfjorden er sterkt preget av menneskelig aktivitet med mudring, utbygging og utfylling, særlig i den innerste del av fjorden ved Drammen. Et geologisk tverrsnitt gjennom fjorden og over Svelvikryggen basert på marin seismikk viser at sedimenttykkelsen i fjorden flere steder er opptil 200 m (Fig. 7).



**Figur 3.** De viktigste randtrinn i sørlige Norge fra slutten av siste istid (Sørensen et al. 1990).

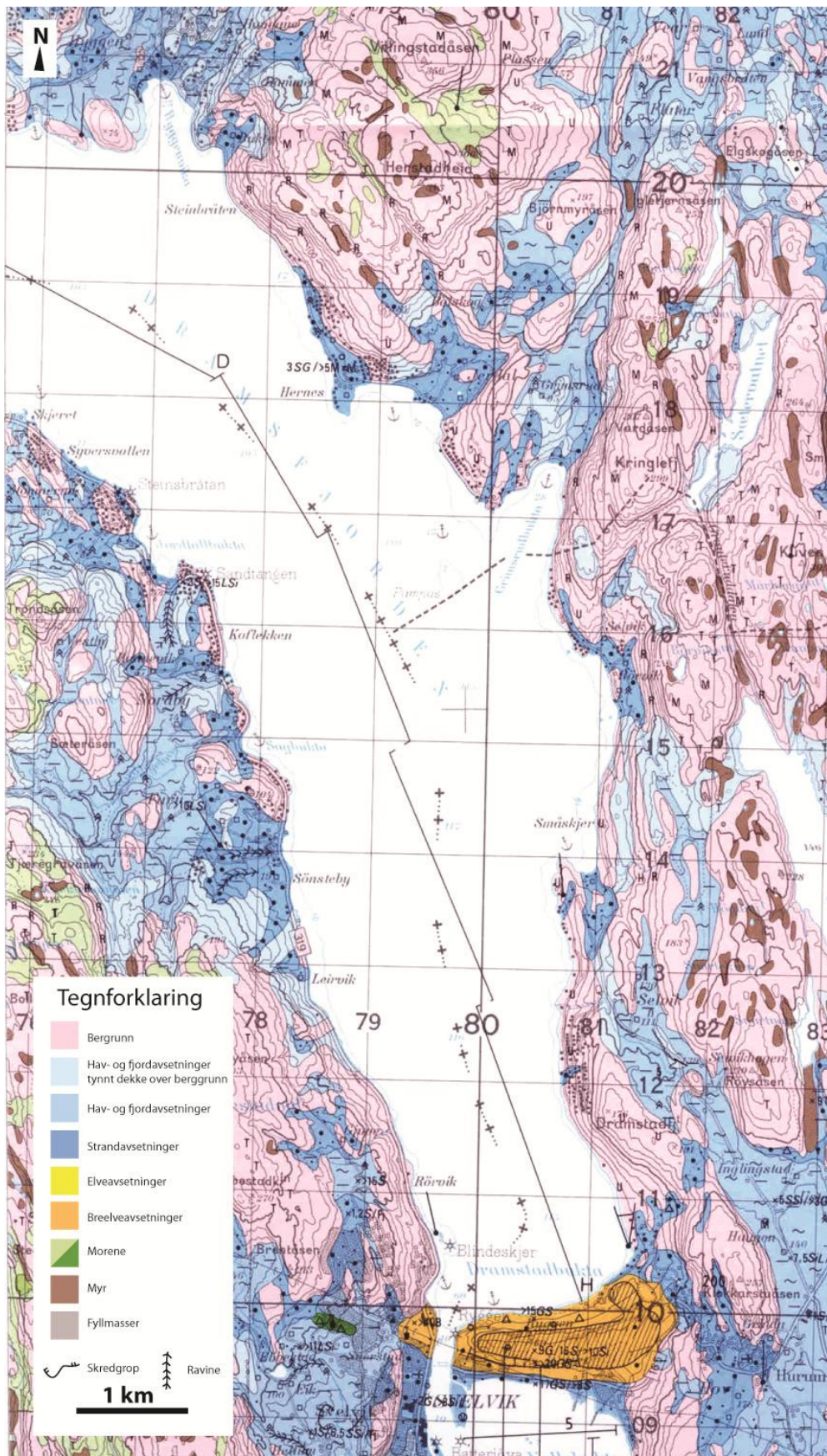


**Figur 4.** Veksling mellom fjell, løsmasser og fyllmasser i strandsonen langs Drammenfjorden. A) Deler av strandsonen på nordøstligsiden av Drammenfjorden. B) Strandsonen nord for Lahellholmen. Foto: Louise Hansen.

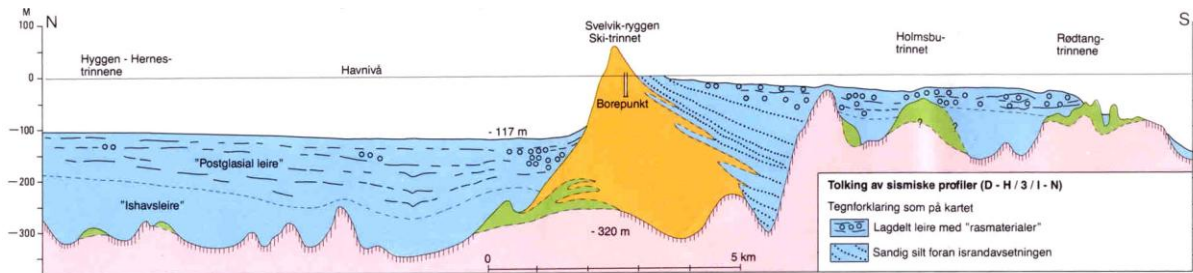


**Figur 5.** Utsnitt fra kvartærgeologisk kart rundt nordligste del av Drammensfjorden (her kartlagt i 1:50.000, se Klakegg 1991). Legg merke til skredgroper nær strandsonen ved Gullaug og Lahell, disse er sannsynligvis fra kvikkleireskred. For flere detaljer, se Klakegg (1991) og detaljkart i 1:20.000 (Follestad 1982, Klakegg 1985, Nordahl-Olsen 1989, Thoresen et al. 1993). Se kapittel 10 for mer utfyllende tegnforklaring.





**Figur 6.** Utsnitt fra kvartærgeologisk kart rundt sørlige del av Drammensfjorden (her kartlagt i 1:50.000, se Sørensen et al. 1990). Seismikklinjer (heltrukne streker) langs fjordaksen er fra Bjerkli og Olsen (1984). For flere detaljer, se Sørensen et al. (1990) og detaljkart i 1:20.000 (Thoresen et al. 1993). Se kapittel 10 for mer utfyllende tegnforklaring.



**Figur 7.** Geologisk tverrsnitt gjennom Svelvikryggen. Legg merke til forekomst av 'rasmaterialer' i de 'postglasiale leirene' i de tykke fjordsedimentene (fra Sørensen et al. 1990 basert på Bjerkli og Olsen 1984).

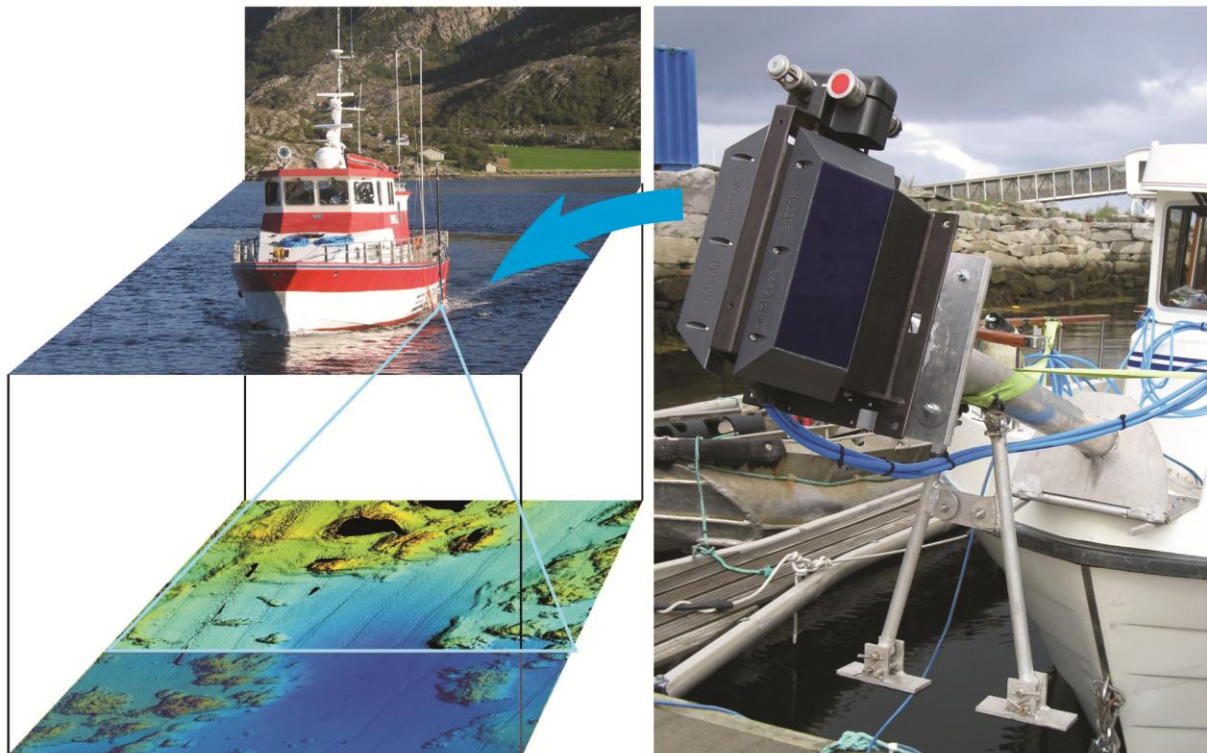
## 2. METODER

### 2.1 Innsamling av data

En 250 kHz GeoSwath interferometrisk sidesøkende sonar montert på F/F Seisma ble brukt til å samle inn detaljerte dybde data (batymetridata) (Fig. 8). Sonaren har en rekkevidde ned til 80-100 m vandndyp og dekker en stripe av bunnen på opptil flere ganger vandndypet. En fordel ved sonaren er at den effektivt kan registrere data fra svært grunt vann, ideelt sett helt opp til stranden.

Sonaren har to sendere montert på en v-formet plate i ca. 30 graders vinkel (Fig. 8). På platen sitter en TSS DM bevegelsessensor som sender kompensasjonsdata for båtens bevegelser til en PC, og et lite ekkolodd som måler dypet rett under platen. I tillegg er det en lydshastighetsmåler (Valeport Mini SVS) som måler lydens 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 blant annet hardhet og porøsitet av bunnen, som igjen reflekterer bunntype (for eksempel sandbunn, berggrunn eller leirbunn). Backscatter er ikke behandlet i denne rapporten.

I forbindelse med profileringen ble det målt flere lydprofiler gjennom vannsøylen med en Valeport 650 SVP (Sound Velocity Profiler) hastighetsmåler. Disse målingene ble utført for å oppnå optimale hastighetsprofiler ved beregning av vandndyp. 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 vannstands måler med sensor som lå på havbunnen samtidig med sonaroppmåling i nærområdene. Sonardataene ble senere kompensert for disse vannstandsendingene. Under toktet ble det også samlet inn data til kalibrering av utstyret.



**Figur 8:** Venstre: Seisma med montert interferometrisk sonar. Høyre: Nærbilde av undervannsdelen av sonaren. De svarte platene sender og mottar lydbølger, Den røde ringen er sender/mottaker for et enkeltstråleekkolodd og instrumentet til venstre er en lydshastighetsmåler.

## 2.2 Posisjonering

Posisjonering av innsamlede data i x-y planet ble bestemt vha. differensiell GPS med en presisjon på  $\pm 1$  m. GPS-en er i tillegg koblet opp mot en gyro, som 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 differensiell GPS med basestasjon. Dette system var ikke tilgjengelig under datainnsamlingen.

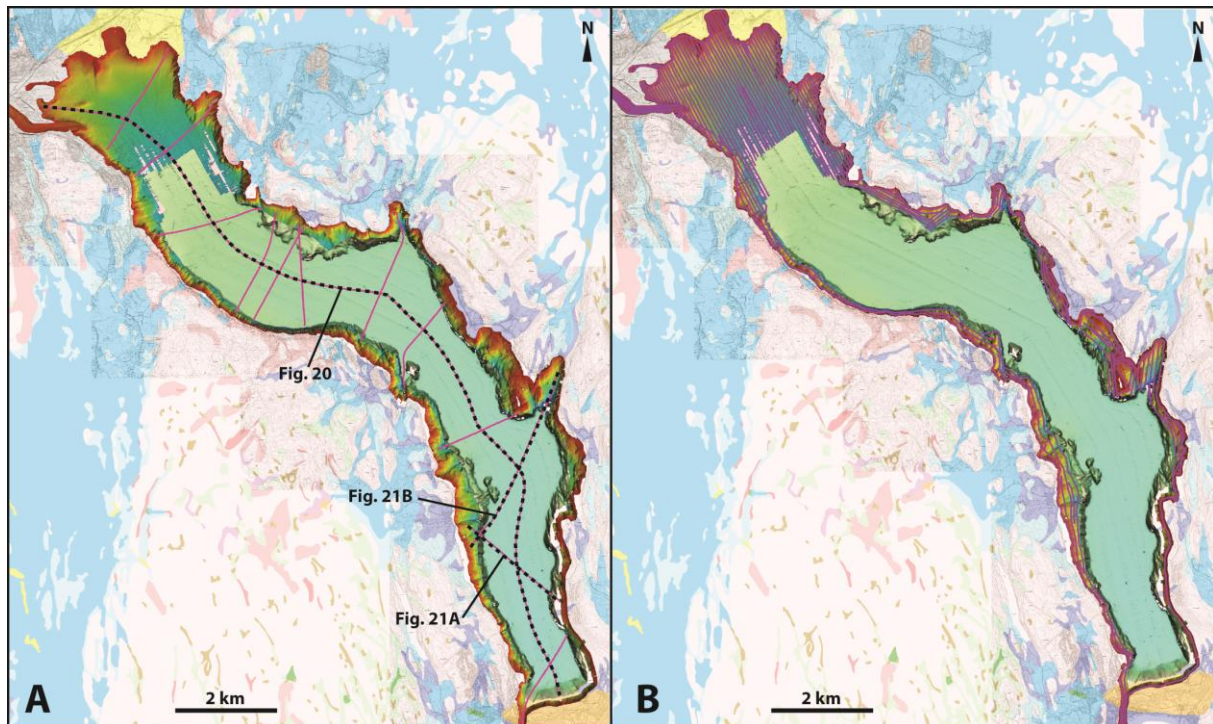
## 2.3 Sammenstilling av data

Rådata ble prosessert med GeoSwath programvare. Datakvaliteten er generelt høy og preges av lite støy. Den viktigste ”støykilden” er striping i dataene langs skipets seilretning. Batymetridataene er visuelt framstilt i ErMapper som skyggerelieff-bilder, som gir en svært detaljert oversikt over formene på havbunnen. Bildene er deretter tatt inn i ArcMap og sammenstilt med grunndata fra land inklusive økonomisk kartverk (1:5.000), polygoner fra NGUs kvartærgeologisk kart ([www.ngu.no](http://www.ngu.no)) og kvikkleiresoner ([www.skrednett.no](http://www.skrednett.no)). Hermed er det produsert i alt 7 kart som inneholder både informasjon fra land og i sjøen (Vedlegg 1-7). Den kvartærgeologiske informasjon fra land i vedlegg 1-5, og øverste halvdel av vedlegg 6, er basert på kart i 1:20.000. I vedlegg 7 og den nederste halvdel av vedlegg 6 er informasjonen basert på kart i 1:50.000. Polygonene fra kvartærkartet er gjort gjennomsiktige. Punkt- og linjesymboler er også tatt med, se tegnforklaring i kapitel 10. Tilsvarende trykte kart fra området i 1: 20.000 og 1: 50.000 er tilgjengelige, noen med beskrivelser (Thoresen et al. 1993; Klakegg 1985; Sørensen et al. 1990; Klakegg 1991; Follestad 1986; Follestad 1982; Nordahl-Olsen 1989). Batymetridata i grovere oppløsning (3 m) fra de sentrale, dypere deler av fjorden er tatt med for å få et mer komplett bilde av sjøbunnen. Disse dataene ble samlet

inn av FFI med multistråleekkolodd (EM1000) i 2005. Fig. 9 gir en oversikt over hvilke deler som er dekket med sonar (regnbuefarger) og multistråleekkolodd (blek turkisblå).

## 2.4 Marin seismikk

I 1984 ble det samlet inn refleksjonsseismikk med ELMA (boomer) (Bjerkli og Olsen 1984), og i 2005 med Sleevegun/luftkanon (0.10-0.60 kHz) og Geopulse Boomer (0.5-10 kHz) (Fig. 9A). Geopulse Boomer ble brukt samtidig med innsamling av batymetridata med GeoSwath (Fig. 9B). Se kapittel 11 for mer detaljert beskrivelse av prinsippene for marin seismikk.



**Figur 9.** Oversikt over de marine datasettene fra Drammensfjorden lagt oppå kvartærgeologiske kart. Regnbuefarget fjordbunn viser de områder der det er samlet inn batymetriske data med en oppløsning på 1 m (NGU). Blek turkisblå fjordbunn viser de områder der det er innsamlet batymetridata med 3 m oppløsning (FFI). A: Rosa linjer viser der det er samlet inn marin seismikk med Sleevegun/luftkanon og Geopulse Boomer. B: Rosa linjer viser der det er samlet inn detaljerte batymetridata med GeoSwath og Geopulse Boomer. Stiplede linjer angir seismiske linjer vist i Fig. 20 og 21.

## 3. RESULTATER; MORFOLOGISKE ELEMENTER

Detaljerte dybde data gir oversikt over sjøbunnens landformer. Nedenfor er det en oppsummering av elementer som kan være viktige ved vurdering av et områdes stabilitet. Elementene er angitt som linjer med forskjellig farge bortsett fra antatt fjell som er angitt som polygoner på de vedlagte kartene (Vedlegg 1-7). Noen elementer er beskrevet av to linjer, for eksempel brede kanalformer, raviner og fjellkløfter. Kun de mest tydelige elementene er markert og det er fokusert på strandsonen der batymetridata har høy oppløsning. Data fra de sentrale deler av fjorden har lavere oppløsning og derfor er kun store og tydelige elementer markert. Noen usikre klassifiseringer er markert med spørsmålstegn.

### 3.1 Skredgroper: A) skålformet, B) flakformet, C) utydelig

Skredgroper gjenkjennes ved grop- og sigdformede kanter på sjøbunnen. Kantene er generelt vendt mot de dypere deler av fjorden der masser er forsvunnet ved brudd i

sjøbunnssedimentene. Kantene kan være skarpe eller mer utydelige, noe som kan henge sammen med alderen på skredet. Skredgropene er inndelt i tre grupper: **A)** Skålformete skredgropene som representerer dypere utglidninger, **B)** Flakformete skredgropene med flat bunn og en bakkant typisk under 2 meter høy og som representerer grunne, flak-type skred. Arealet av disse gropene kan være flere hundre kvadratmeter. **C)** Utydelige skredgropene er drapert av sjøbunnssedimenter og er derfor sannsynligvis av eldre dato.

### **3.2 Skredmasser og skredblokker**

Skredmasser og skredblokker danner uregelmessig bunntopografi, hauger og rygger på fjordbunnen nedenfor skredgropene eller bredere kanalformer. Omrisset av de mest markerte skredmassene og skredblokkene er angitt med linjer der avgrensningen er tydelig. Sentralt i fjordbassenget finnes skredmassene i løber og i flere tilfeller kan man se rygger av sammentrykte skredmasser på tvers av lobene. Løber på fjordbunnen kan også ha jevn overflate og vifteform. På skråningene sees skredmassene ofte i brede belter i forsenkninger eller passasjer mot dypere vann. Lokalt finnes rester av utraste flak på skråningene. Områder med skredmasser og blokker kan være dannet ved gjentatte utglidninger. Noen enkelte, mindre hauger kan bestå av utraste fjellblokker. Det kan i noen tilfeller være vanskelig å skille mellom skredmasser og menneskeskapte objekter. Dette gjelder ikke minst for registreringer i de sentrale deler av fjorden som kan være usikre på grunn av støy og lav oppløsning på data.

### **3.3 Mulige skredblokker**

På skråningene mot de dypere deler av fjordbassenget finnes kanter som muligens avgrensner flak av utrast sediment. Dette kan imidlertid ikke avgjøres med sikkerhet og alternativt kan de representere urørte sjøbunnssedimenter som ligger igjen etter at omkring- og ovenforliggende sedimenter er rast ut.

### **3.4 Brede kanalformer og raviner**

Kantene av forholdsvis brede, grunne kanallignende former med tildels uregelmessig bunn er angitt med linjer. Noen av formene er utydelige og eventuelt drapert av sedimenter. Passasjene/kanalformene er i de fleste tilfeller dannet ved utglidninger, eventuelt i kombinasjon med strømmer, og bidrar/har bidratt til transport av for eksempel skredmasser ut på dypere vann. I flere tilfeller ligger det skredmasser igjen. Noen steder kan de kanallignende formene representere deler av en langstrakt, grunn skredgrop. Enkelte steder i områder med bratt bunn finnes raviner som dype, V-formede erosjonsformer. Ravinene dannes ofte over tid ved gjentatte mindre utglidninger og erosjon fra bunnstrømmer. Lokalt kan de være begrenset av fjell. Det er gradvis overgang til smale kanaler og fjellkløfter (se nedenfor).

### **3.5 Smale kanalformer**

Smale kanal-lignede former er angitt med enkle linjer. Formene kan ha ulik opprinnelse. De kan være resultatet av mindre, undersjøiske strømmer for eksempel i forlengelse av en bekk, de kan representere kanaler på den undersjøiske del av et delta ("chutes") eller de kan representere spor i sjøbunnen etter en utrast blokk.

### **3.6 Fjellkløft**

Forholdsvis brede passasjer som primært er begrenset av fjell og styrt av strukturer i berggrunnen, er angitt med stiplete linjer. Fjellet er kun dekket av et tynt lag av fjordsedimenter.

### **3.7 Pockmarks (sirkulære forsenkninger)**

Pockmarks er små sirkulære forsenkninger på sjøbunnen. De er angitt med sirkulære linjestykker. Pockmarks i de undersøkte områdene varierer i størrelse. Mange har en diameter på 4 til over 10 m og en dybde fra noen desimeter til litt over en meter. Noen få er definert ved en ring og en liten haug i midten. Formene tolkes som dannet ved kortvarige utstrømninger av gass eller væske fra undergrunnen (se for eksempel Hovland & Judd 1988). Noen pockmarks representerer muligens gjentatt eller kontinuerlig utsivning. Fra noen større, noe asymmetriske fordypninger på hellende bunn, med en diameter på opp til 25 m, ser det ut til at sediment har rent ut. Dette representerer trolig en kombinasjon av oppstrømmende væske/gass og utglidning, og det kan være en gradvis overgang fra pockmarks til skredgroper.

### **3.8 Nedslagsgroper**

Nedslagsgroper finnes på fjordbunnen ved foten av skråninger der materiale har sklidd ut, akselerert og truffet fjordbunnen med tilstrekkelig kraft slik at skredmasser, og i de fleste tilfeller også materiale på fjordbunnen, er blitt kastet opp og avsatt i en lav voll rundt nedslagsstedet. Nedslagsgropene er typisk 0,5 - 2,5 m dype. Det finnes to typer: langstrakte, lineære nedslagsgroper ved foten av skrenter og lokale, mer sirkulære nedslagsgroper nedenfor kanalformer. De siste er oftest de dypeste.

### **3.9 Sedimentbølger**

Tversgående bunnformer tolkes som sedimentbølger og finnes der det er/har vært kortere eller lengre perioder med strømmende vann. Dette gjelder i Drammenselven og i det smale sundet ved Svelvik. Tversgående bunnformer finnes også på deltaskråningen ved Lier. Disse representerer sannsynligvis sedimentbølger, men innflytelse fra kryp/sig i sedimentene kan ikke utelukkes.

### **3.10 Antropogent**

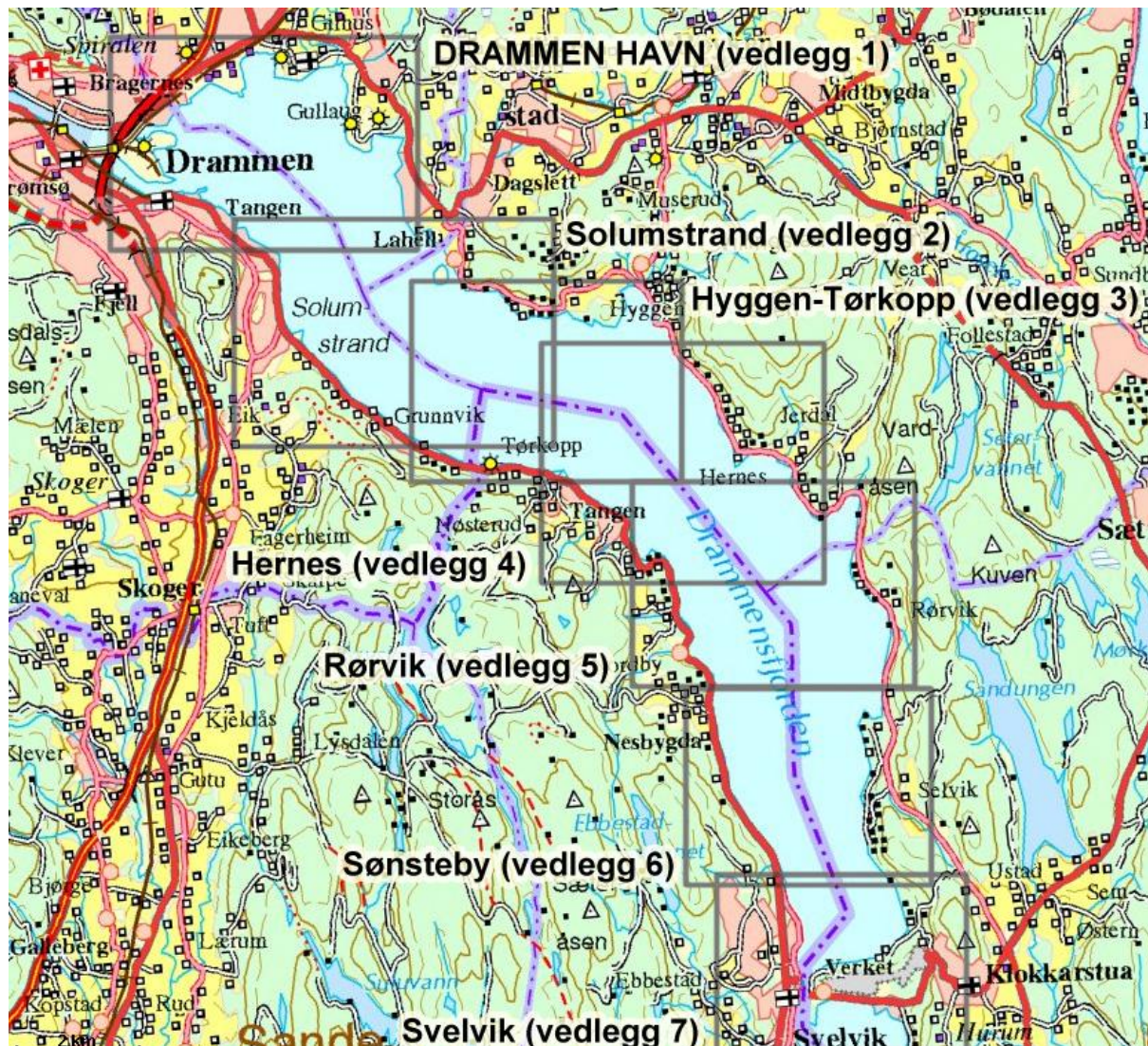
Omrisset av menneskeskapt fenomen er angitt med en linje. Dette gjelder områder som er mudret eller hvor båter har grunnstøtt. Dette gjelder også objekter som båtvrak, fyllmasser eller annet som er dumpet på sjøen. Avlange objekter kan i mange tilfeller vise seg å være skipsvrak. Firkantede objekter kan for eksempel være kjøretøy eller containere. Det kan i noen tilfeller være vanskelig å skille mellom skredmasser og dumpede masser. Dette gjelder også objekter/fenomener i de sentrale deler av fjorden som kan være usikre på grunn av støy og lav oppløsning på data. Det er flere steder registrert ankerspor innerst i Drammensfjorden, men disse er ikke digitalisert.

### **3.11 Antatt fjell**

Antatt fjell gjenkjennes ved uregelmessige former på sjøbunnen der dekket av sjøbunnsedimenter er tynt eller fraværende. Kartleggingen, som hovedsakelig er basert på den høyopløselige batymetri i strandsonen er ikke fullstendig da data i noen områder er preget av støy. Fjellgrunnens morfologi kan likevel anes mange andre steder langs marginen av Drammensfjorden under et tynt sedimentdekke, og fjelloverflaten kan flere steder tolkes fra marin seismikk. Noen tolkninger for Drammensfjorden er presentert i Bjerkli og Olsen (1984). Resultatet er sammenstilt med et kvartærgeologisk kart for landområdene i Thoresen et al. (1993).

#### 4. RESULTATER; OMRÅDEBESKRIVELSER

I det følgende finnes en beskrivelse av delområder med utgangspunkt i vedlagte kart (Vedlegg 1-7). En oversikt over kartutsnittene er vist i Fig. 10.



Figur 10. Kartinndeling (Vedlegg 1-7).

##### 4.1 Drammen Havn (Vedlegg 1)

De indre delene av Drammensfjorden er karakterisert av to større deltaer ved Drammenselvns og Lierelvns utløp. Drammenselva deles i to ved utløpet i fjorden: Strømsløpet og Bragernesløpet. Ved deltaene har fjorden slakere bunn enn tilfellet er for kanten langs den øvrige del av fjorden. Det er fyllmasser langs mesteparten av strandsonen på land unntatt områdene i nord som er preget av elveavsetninger. Det er pockmarks i den nordlige del av bukten ved Lierstranda og enkelte utglidninger.

Drammenelvdeltaet er påvirket av menneskelig aktivitet med tydelige spor etter mudring i Strømsløpet, fyllmasser langs kystlinjen og uregelmessige hauger av materiale eller objekter på fjordbunnen (containere, prammer eller lignende). Ankerspor sees flere steder. Det er spor etter utglidninger og loper som viser at sediment har glidd minst 2 km ut i fjorden langs den slake fjordbunn. Avgrensningen av skredmassene på dypere vann er usikker

på grunn av datastøy. Utglidninger nord for Bragernesløpet kan være knyttet til fyllmasser i strandsonen (Fig. 11).

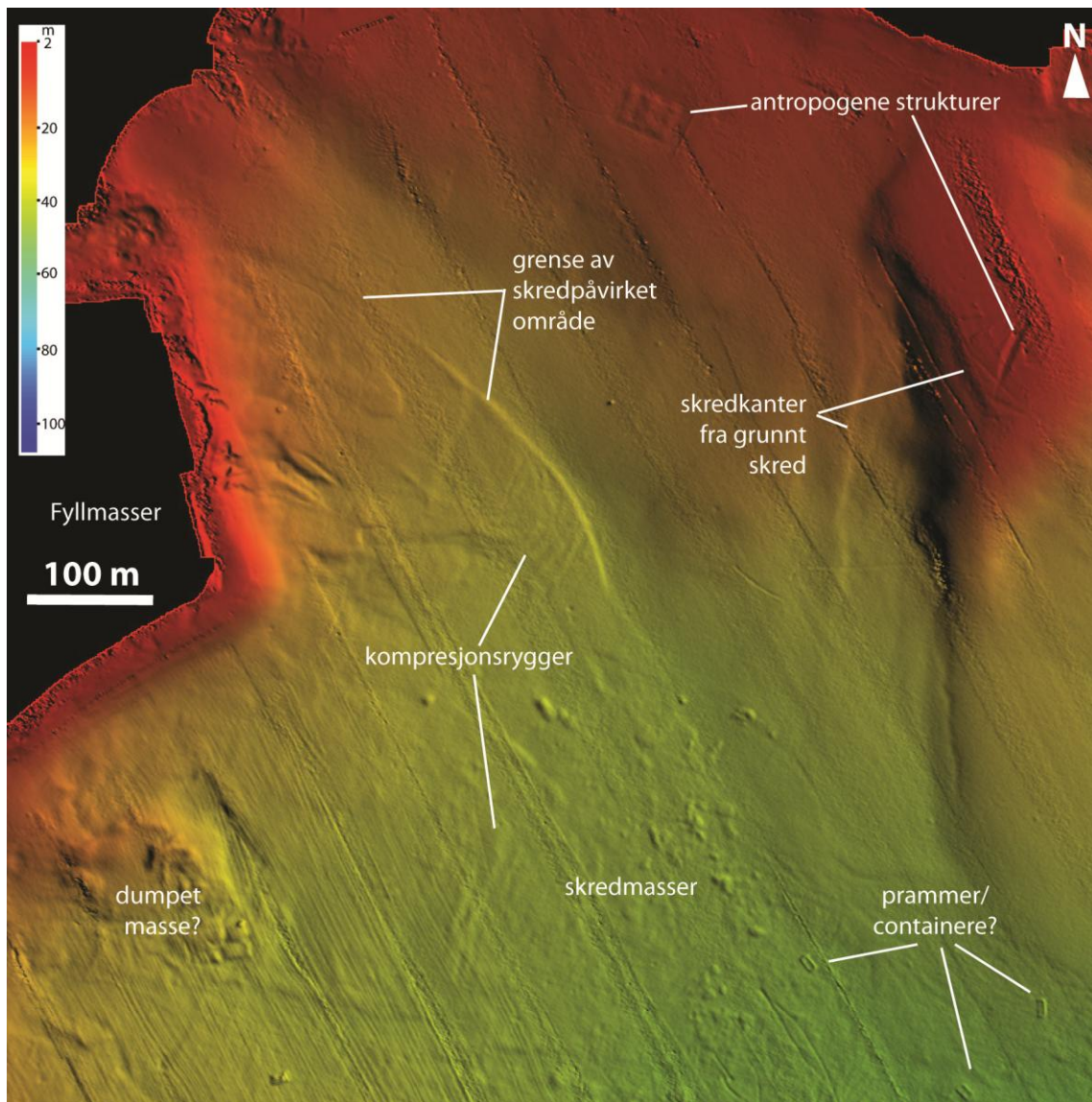
Den inaktive delen av Lierdeltaet har mindre kanalformer og dyner som viser at strømmen fra elven til tider kunne fortsette ut langs bunnen (Fig. 12A). Det kan ha vært påvirkning fra kryp/sig. Dagens Lierelva munner ut i Gullaugbukta mot øst.

Gullaugbukta og strandsonen sørover bærer preg av gjentatt skredaktivitet med mange grunne og dype skredgroper og skredmasser på fjordbunnen (Fig. 12A). Flere av disse skredene ser ut til å være unge fordi formene er tydelige og ikke synes å være drapert av sedimenter. Det finnes skredkanter både ved foten av de undersjøiske skråningene og på grunt vann nær strandlinjen (Fig. 12B). Etter byggarbeid i strandsonen gikk det skred i strandsonen ved Gullaug i 1974 (Fig. 13). Hendelsen oppsummeres i Karlsrud (1979). Batymetridataene viser at skredet sannsynligvis var av større omfang enn hittil antatt og involverte bunnsedimenter lengre sør (Fig. 12A). Det er registrert en kvikkleiresone på land øst for Gullaugbukta (Vedlegg 1).

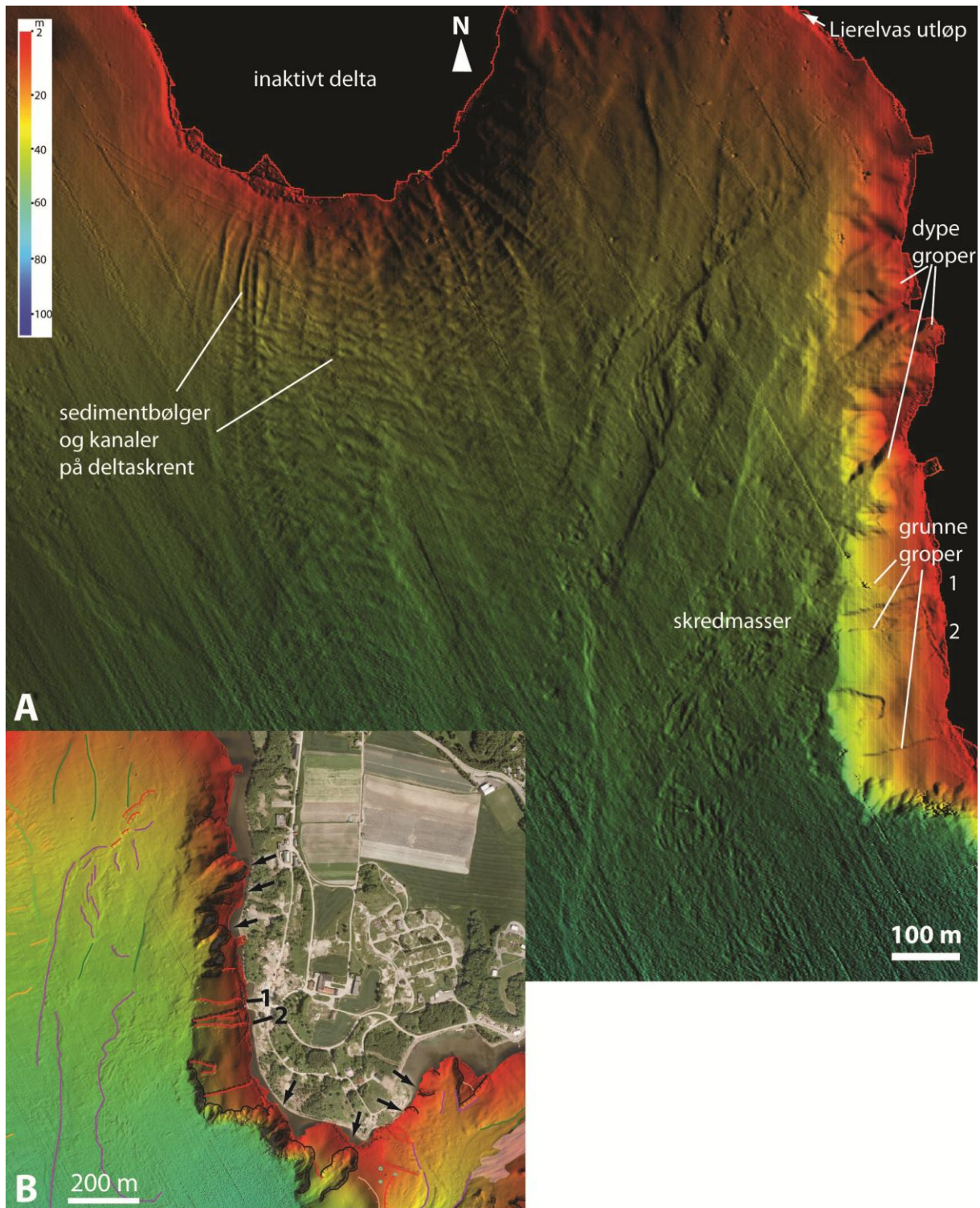
I Engersandbukta er det arr etter mange utglidninger samt en kanal i forlengelse av en bekk innerst i bukten (Fig. 14). Kanalen fortsetter i en bredere fordypning som munner ut i den sentrale del av fjorden. Her, og i bukten er det loper av skredmasser fra utglidningene langs bukten. På dypere vann er det også skredkanter ved foten av skråninger og det er spor etter at masser har beveget seg nedover skråningene mot fordypningen (se eksempler merket \* i Fig. 14). Fjell synes eksponert under sjøen og fjell og fyllmasser dominerer en god del av strandlinjen sør for Berget.

Sørsiden av fjorden, fra Strømsløpet og østover viser spor etter både grunne og litt dypere skred langs strandlinjen og land preges av fyllmasser. Det finnes spor etter et større skred i strandsonen i 1935 der 4 mennesker omkom (se vedlegg 1).

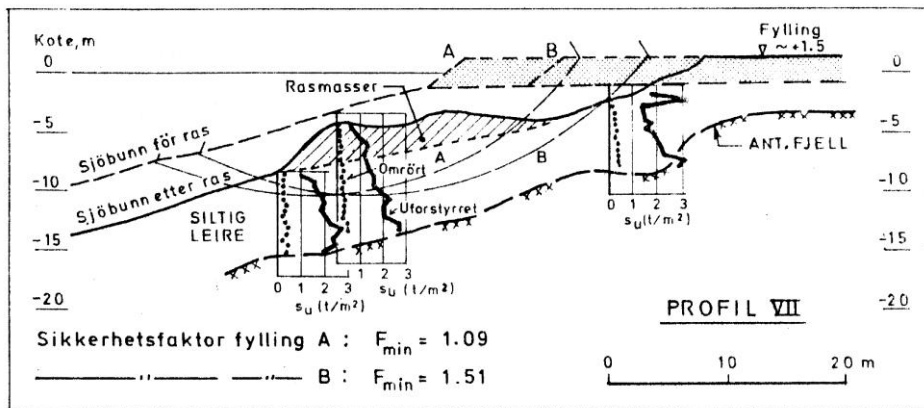
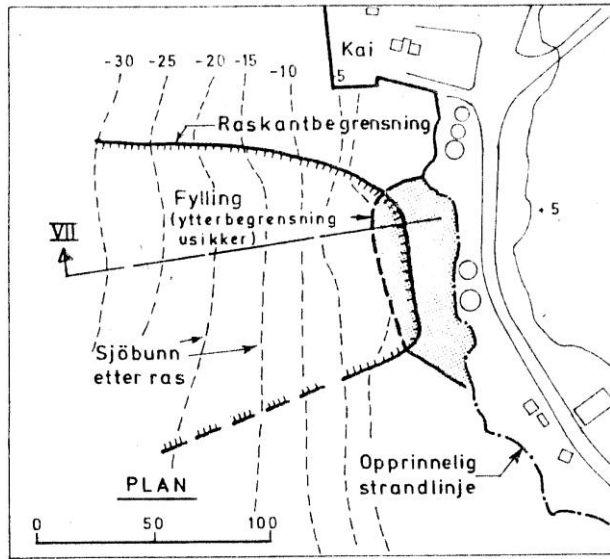




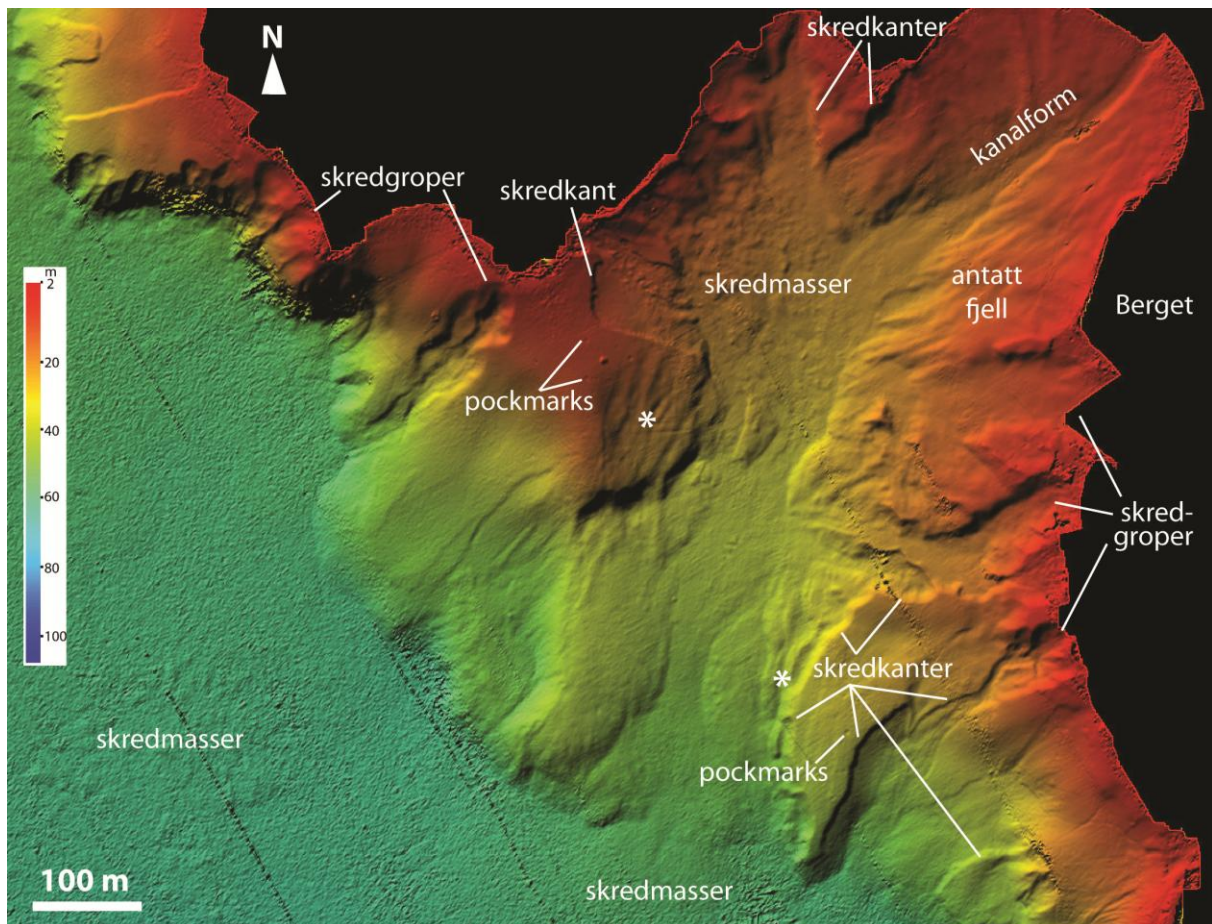
**Figur 11.** Utglidninger nord for Bragernesløpet i Drammen Havn. Detalj fra vedlegg 1. Fargene angir dybde, rødt er grunt og overgangen fra rødt via gult og grønt til blått angir dypere vann.



**Figur 12.** A: Detalj fra det inaktive Lierdeltaet med undersjøiske sedimentbølger og kanaler og utbredt skredaktivitet sør for det nåværende utløpet av Lierelva langs strandsonen i Gullaugbukta (Vedlegg 1). Fargene angir dybde, rødt er grunt og overgangen fra rødt via gult og grønt til blått angir dypere vann. B: Flyfoto (fra Norge digitalt) av landområde øst for Gullaugbukta der piler angir steder der undersjøiske dypere skredgroper er registrert nær strandlinjen ved Gullaug. 1 angir eksisterende kaianlegg mens 2 angir plassen der det skjedde skred under fylling av masser i strandsonen i 1974. De grunne skredgropene registrert i batymetrien kan være dannet på grunn av disse fyllingene.



**Figur 13.** Utglidning ved Gullaug, 29. november 1974 (etter Karlsrud 1979). Kartet viser det da eksisterende kaianlegget (1 i Fig. 12) og lokaliteten der skredet gikk (2 i Fig. 12A).



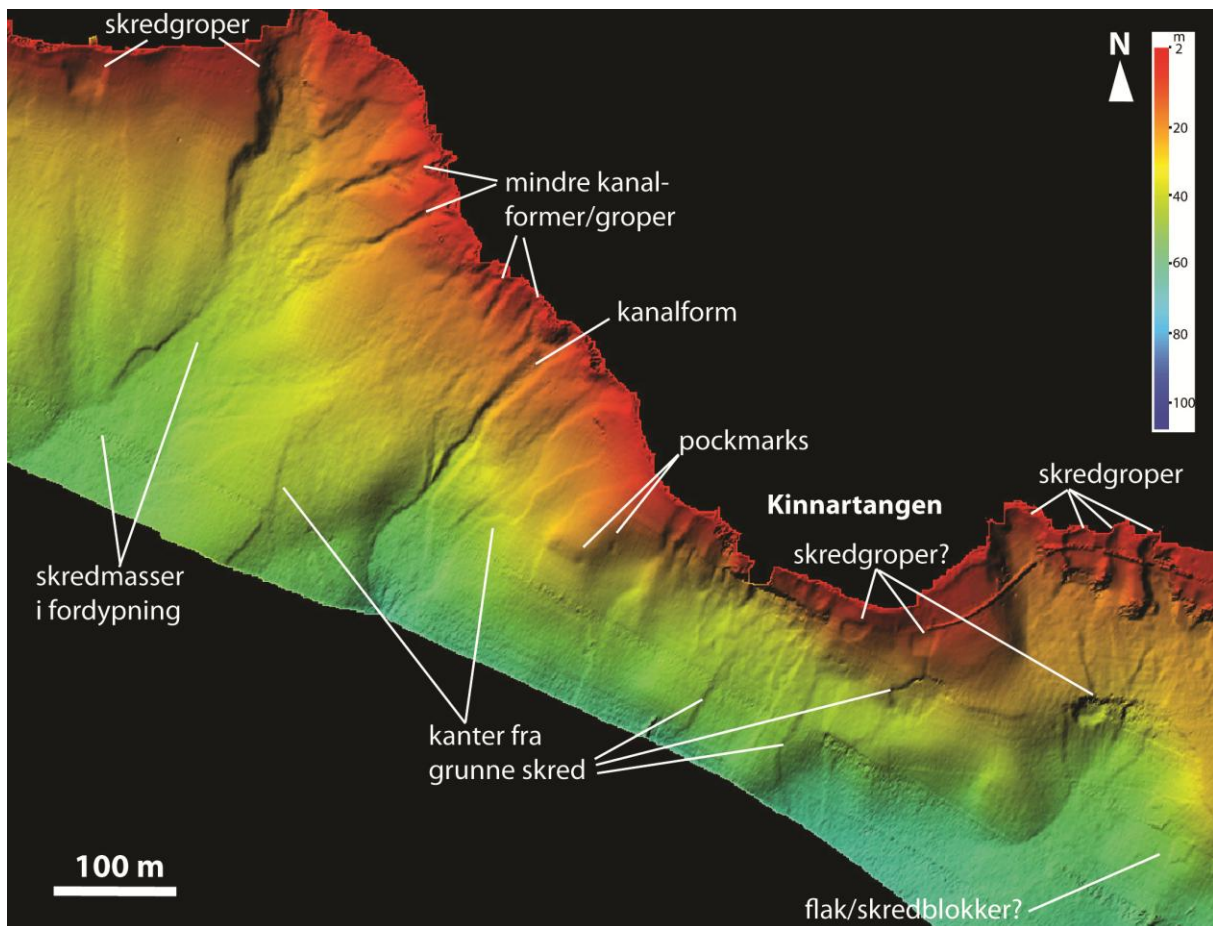
**Figur 14.** Detalj fra Engersandbukta (Vedlegg 1). Se tekst. Fargene angir dybde, rødt er grunt og overgangen fra rødt via gult og grønt til blått angir dypere vann.

## 4.2 Solumstrand (Vedlegg 2)

Den sørvestlige strandsonen mellom Solumstrand og Gorbu er karakterisert av en del fjell med lommer av marine avsetninger på land. Ved Solumstrand er det mye fyllmasser. Det finnes spor etter skred langs det meste av strandsonen. Dette gjelder både dype utglidninger og flak-type skred. Skredmasser er blitt transportert til dypere deler av fjorden og i den sørøstlige delen finnes det flere nedslagsgroper. Avgrensning av skredmasser på dypere vann er usikker på grunn av støy og lav oppløsning på data. Rett nord for Solumstrand, der det er litt slakere bunn ligger det igjen noe skredmasser som ikke nådde helt ut til fjordbunnen (angitt med x i vedlegg 2). I dette området er det også registrert spor etter større og dypere utglidninger nær strandsonen. Kun en enkelt pockmark ble registrert nært land. Et område mellom Solumstrand og Gorbu, dominert av fjell på land, er karakterisert av flere mindre, sammenhengende skredgroper. Lange sammenhengende kanter fra flak-type skred er synlige sørøst for Gorbu.

Den nordøstlige strandsonen mellom Lahellholmen og Kinnartangen er også preget av fjell på land, men det er registrert strand-, hav- og fjordavsetninger nordøst for Lahellholmen og noe ved Kinnartangen. Deler av en antatt delvis begravd morenerygg er registrert i fjorden sør for Kinnartangen. Denne henger sannsynligvis sammen med et morenesystem registrert på tvers av fjorden fra seismikk (Thoresen et al. 1993). Mindre former markert med 'M?' kan også være en del av morenesystemet. Det finnes spor etter skred langs det meste av strandsonen. Belter av skredmasser er registrert i enkelte slakt hellende områder. Det er flere smale kanalformer der det kan ha blitt transportert skredmasser og/eller har gått sedimentstrømmer. Flere sirkulære former finnes i området rundt Kinnartangen (Fig. 15).

Noen av disse er definitivt pockmarks, mens andre er uvanlig store og noen har flat bunn og disse bør sannsynligvis karakteriseres som skredgroper hvor utsivende veske kan ha vært involvert.



**Figur 15.** Detalj fra området rundt Kinnartangen (Vedlegg 2 og 3). Legg merke til de store, sirkulære skredgroper(?) sør for Kinnartangen. Fargene angir dybde, rødt er grunt og overgangen fra rødt via gult og grønt til blått angir dypere vann. Se tekst for Solumstrand kart.

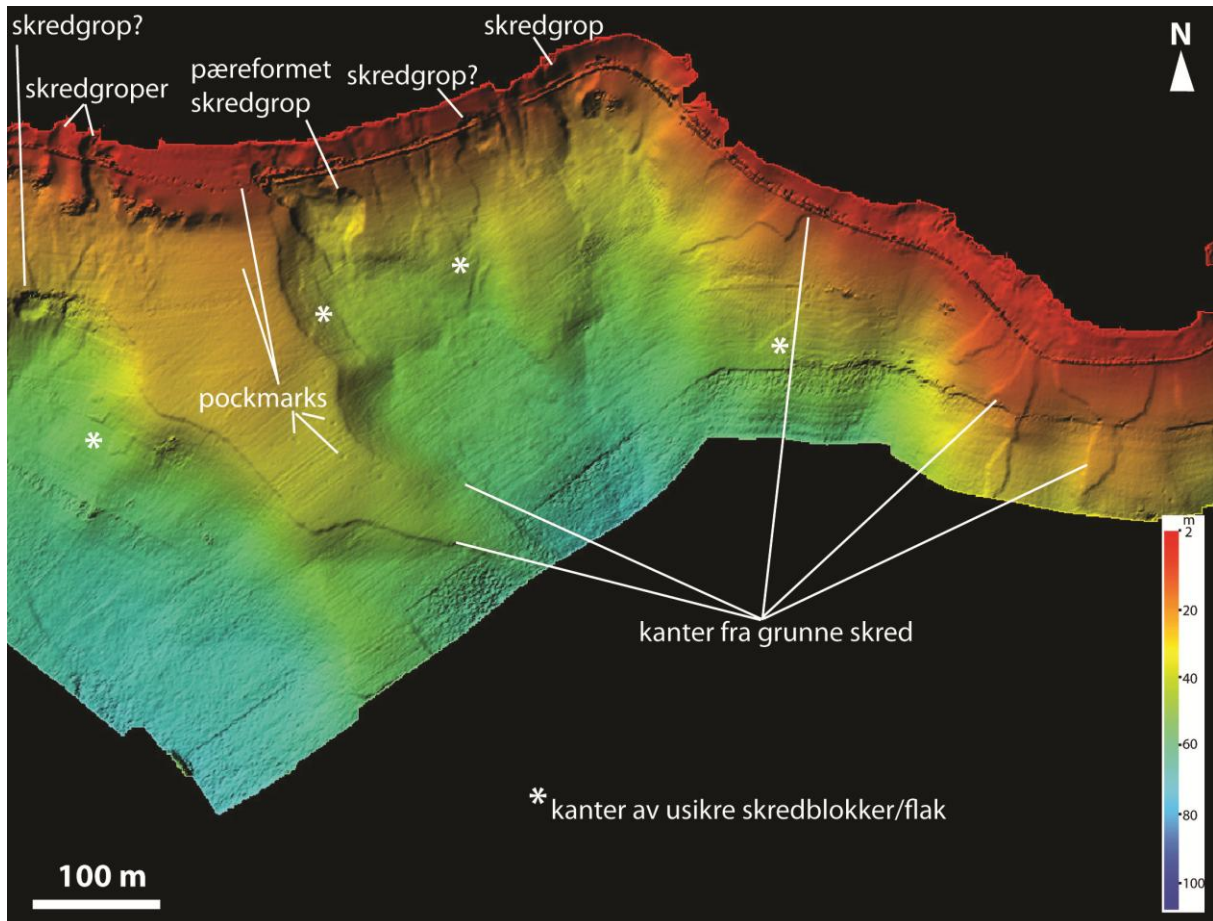
### 4.3 Hyggen-Tørkopp (Vedlegg 3)

Mellom Kinnartangen og Hyggenvika på nordsiden av fjorden er det fjell og noen lommer av strand-, hav- og fjordavsetninger på land. I fjorden er det mange sammenhengende flak-type skredkanter (Fig. 16). Flere steder nedenfor skredkantene ses rester av flak eller i gjenværende bunnsediment (kalt mulige skredblokker i vedlegg 3, merket med \* i Fig. 16). Det er også dypere skredgroper nær land, hvorav en er pæreformet og ligner klassiske kvikkleireskred på land (Fig. 16). Langs den samme fjordstrekningen er det flere ganske store sirkulære former (skredgroper markert med '?' i Fig. 16). Det ser ut til at det nedenfor noen av disse fordypningene er skredkanter og/eller skredmasser og at massebevegelse kan ha vært assosiert med utsiving/utblåsning av grunnvann (kanskje gass).

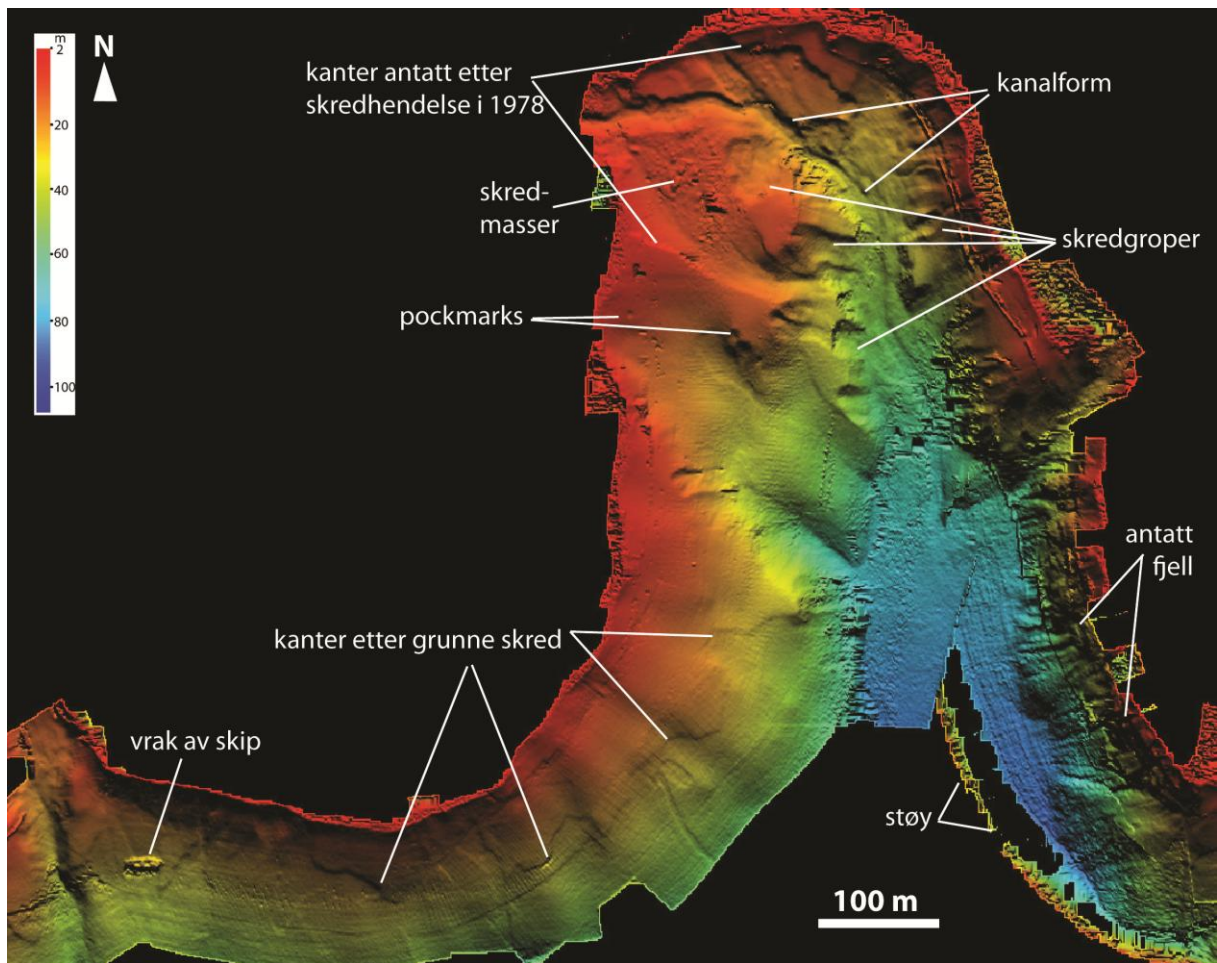
I Hyggenvika, der det er strand-, hav- og fjordavsetninger på land, er det spor etter en del skredaktivitet (skredkanter og skredmasser) med minst en kanalform som har vært transportvei for undersjøiske strømmer og/eller skredmasser. Den mest markerte kanalformen kommer fra området der det i 1978 gikk et skred i strandsonen i forbindelse med fyllingsarbeider (Karlsruud 1979). Skredkanter fra dette skredet er angitt i Fig. 17. Det viste seg at massene som raste ut bestod av bløt, siltig leire som lokalt var meget sensitiv. Fig. 17 viser nåtidens fjordbunn mens Fig. 18 rekonstruerer skredhendelsen. Det er mulig at en del av

skredkantene på dypere vann i bukten er dannet langs kanalen som følge av skredhendelsen. Sørøst for Hyggenvika er det flere skredkanter og noen kanalformer. Det finnes enkelte antatte undersjøiske fjellblotninger.

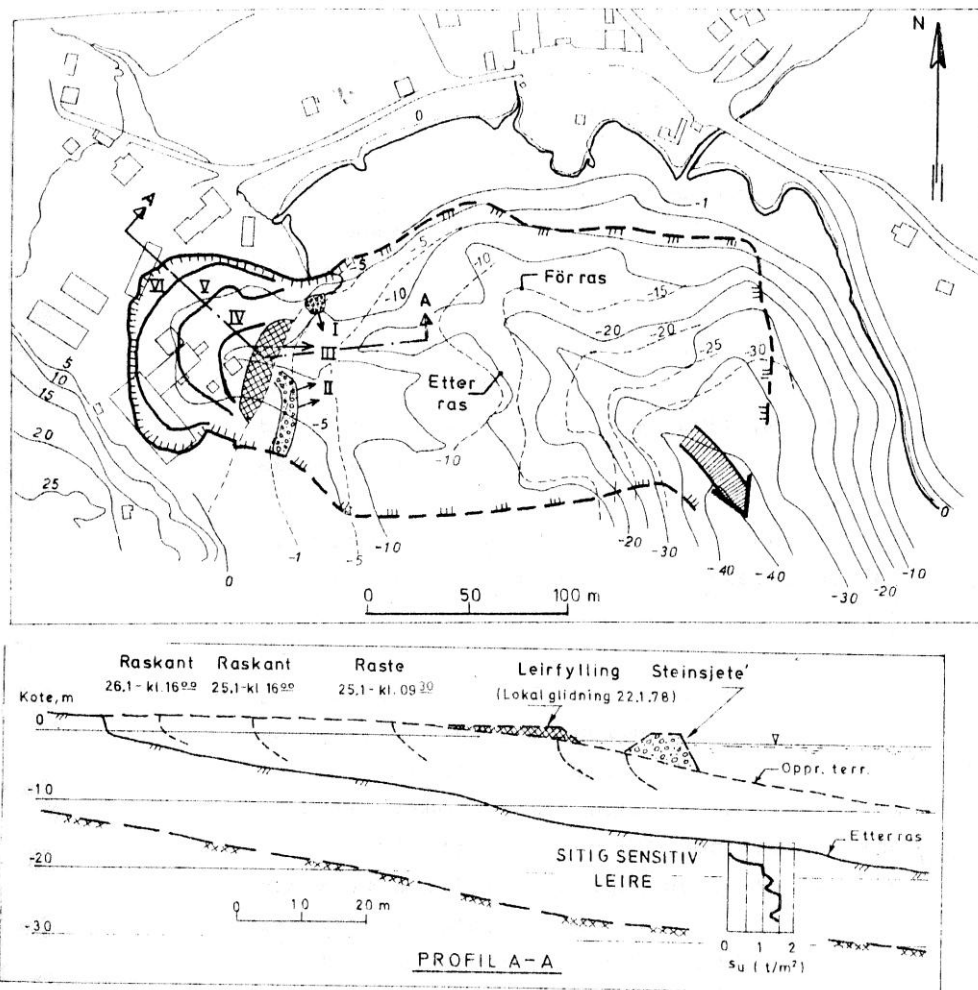
Ved Tørkopp på sørsiden av fjorden er det bratte undersjøiske skråninger med noen dypere skredkanter, flere fjellblotninger og nedslagsgroper. Ved Skjeret er det grunne og enkelte dypere skredkanter nær strandlinjen mens kløfter i fjell dominerer i dypere deler.



**Figur 16.** Detalj fra området øst for Kinnartangen (Vedlegg 2 og 3). Fargene angir dybde, rødt er grunt og overgangen fra rødt via gult og grønt til blått angir dypere vann. Se tekst for Hyggen-Tørkopp kart.



**Figur 17.** Detalj fra Hyggenvika. Det er noe støy i kantene av datasettet især mot øst. Fargene angir dybde, rødt er grunt og overgangen fra rødt via gult og grønt til blått angir dypere vann. Se tekst for Hyggen-Tørkopp kart (Vedlegg 3).



**Figur 18.** Utglidningen i Hyggenvika, januar 1978 (Karlsrud, 1979).

#### 4.4 Hernes (Vedlegg 4)

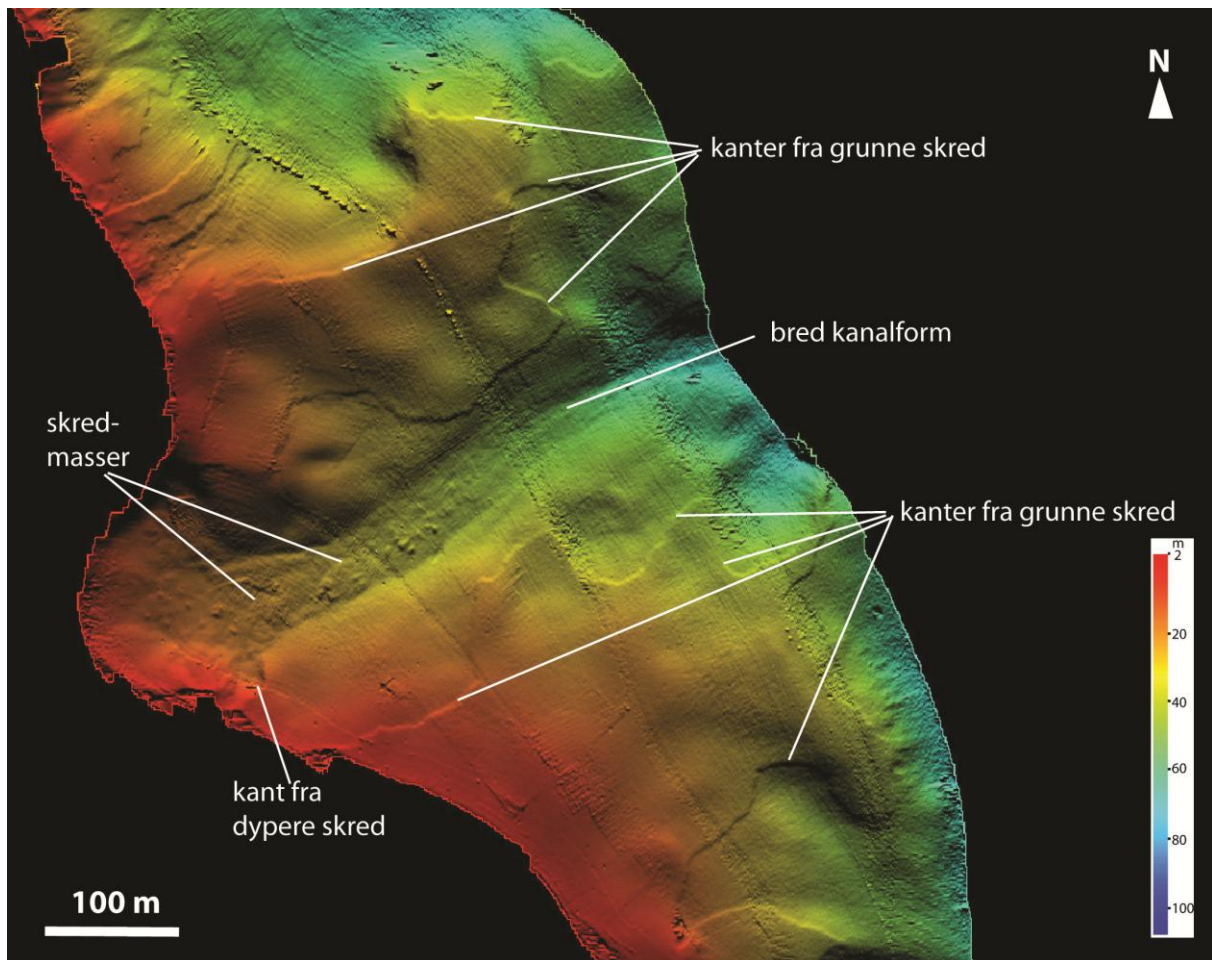
På nordøstsiden av fjorden ved Steinbråten er det bratte skrenter med tynt løsmassedecke over fjellet og smale kanalformer mot den dypere del av fjorden. Mot Hernes er skrentene slakere og det er registrert en del grunne skred. Hernes kan representere en del av et morenesystem på tvers av fjorden registrert på seismikk (Thoresen et al. 1993). Sør for Hernes er skrentene slake og det er registrert en del former som kan representere skred av eldre dato. På land er det fortrinnsvis registrert fjell og strandavsetninger langs strandsonen.

På sørvestsiden av fjorden er det en del grunne skredkanter, enkelte dypere groper og kanalformer, og den underliggende fjelltopografien kan sees igjennom sedimentdekket flere steder. Sør for Jordfallbukta er flere pockmarks registrert. På land finnes det fortrinnsvis fjell og strandavsetninger langs strandsonen. En mindre undersjøisk rygg kan henge sammen med morenesystemet på tvers av fjorden (Thoresen et al. 1993).

#### 4.5 Rørvik (Vedlegg 5)

I dette området er det fjell langs det meste av strandlinjen med noe løsmasser i buktene. På østsiden av fjorden er de fleste spor etter skred knyttet til Grimsrudbukta, mens det lenger sør, omkring Rørvik kun er enkelte spor etter groper, kanalformer og pockmarks. På vestsiden av fjorden er det mange spor etter både grunne og dype skred. Det er skredmasser i bunnen av Sagbukta som delvis kan stamme fra undersjøiske flakskred kombinert med skred som har gått langs strandlinjen innerst i bukten (Fig. 19).





**Figur 19.** Detalj fra Sagbukta, se tekst for Rørvik-kartet (Vedlegg 5). Fargene angir dybde, rødt er grunt og overgangen fra rødt via gult og grønt til blått angir dypere vann.

#### 4.6 Sønsteby (Vedlegg 6)

Det er mye fjell langs strandlinjen på østsiden av fjorden, mens det er registrert flere områder med tynt dekke av hav- og fjordavsetninger og strandavsetninger langs vestsiden av fjorden. På østsiden av fjorden, der det finnes data, er det kun registrert noen få spor etter grunne skred og andre former som for eksempel pockmarks. På vestsiden av fjorden er det en del spor etter grunne skred og noen kanalformer, for eksempel ved Sønsteby. Lengre mot sør blir det flere kanalformer og gruntliggende fjell samtidig med at skrentene blir brattere.

#### 4.7 Svelvik (Vedlegg 7)

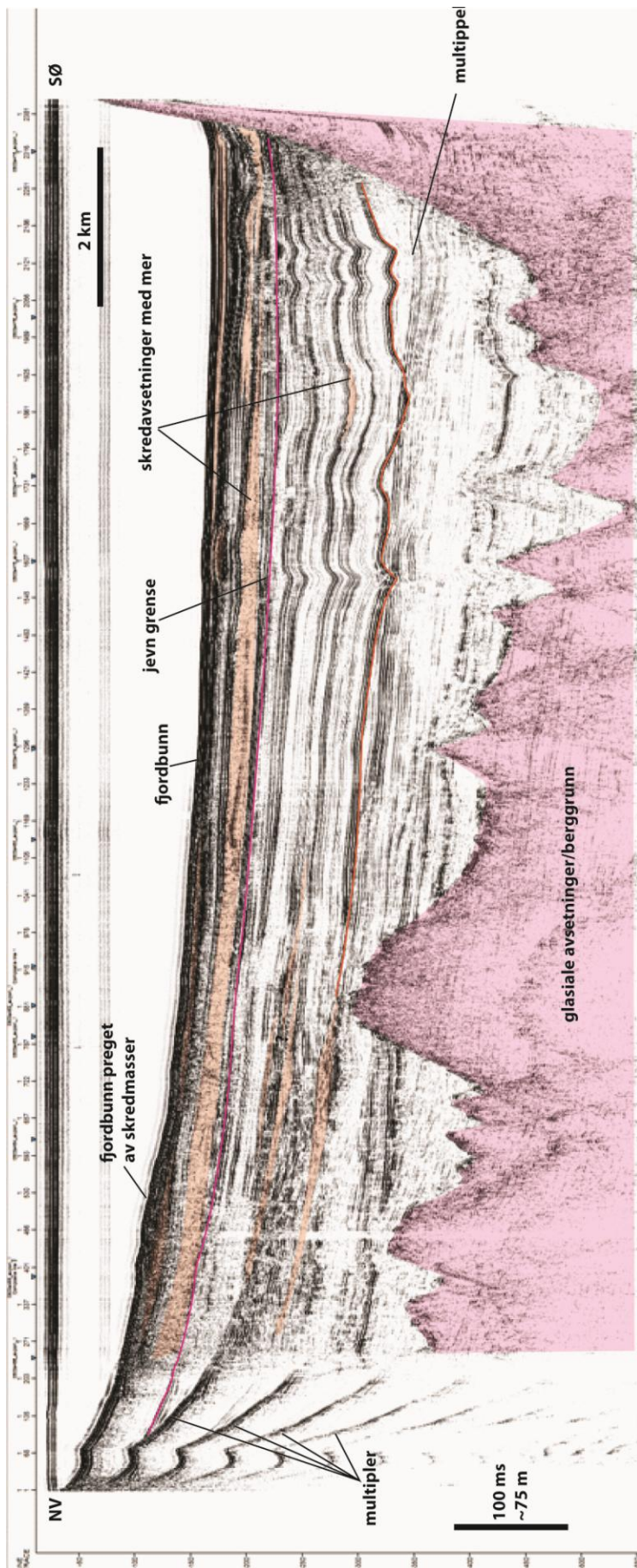
Det er veldig lite løsmasser langs strandlinjen i den sørligste delen av Drammensfjorden unntatt ved Svelvikryggen. Det er spor etter få, mindre skred og noe pockmarks på østsiden av fjorden. På vestsiden av fjorden er det grunt til fjell blant annet ved Blindeskjær. Nord for Svelvikryggen, som består av breelvmateriale, er det mange pockmarks og mange kanter etter grunne skred. I de dypere deler av fjorden ser man spor etter store gropformer på den nordlige side av Svelvikryggen. I Svelvikstrømmen er det spor etter mudring, og sedimentbølger dannet av grunnmarine strømmer.

## 5. MARIN SEISMISK STRATIGRAFI

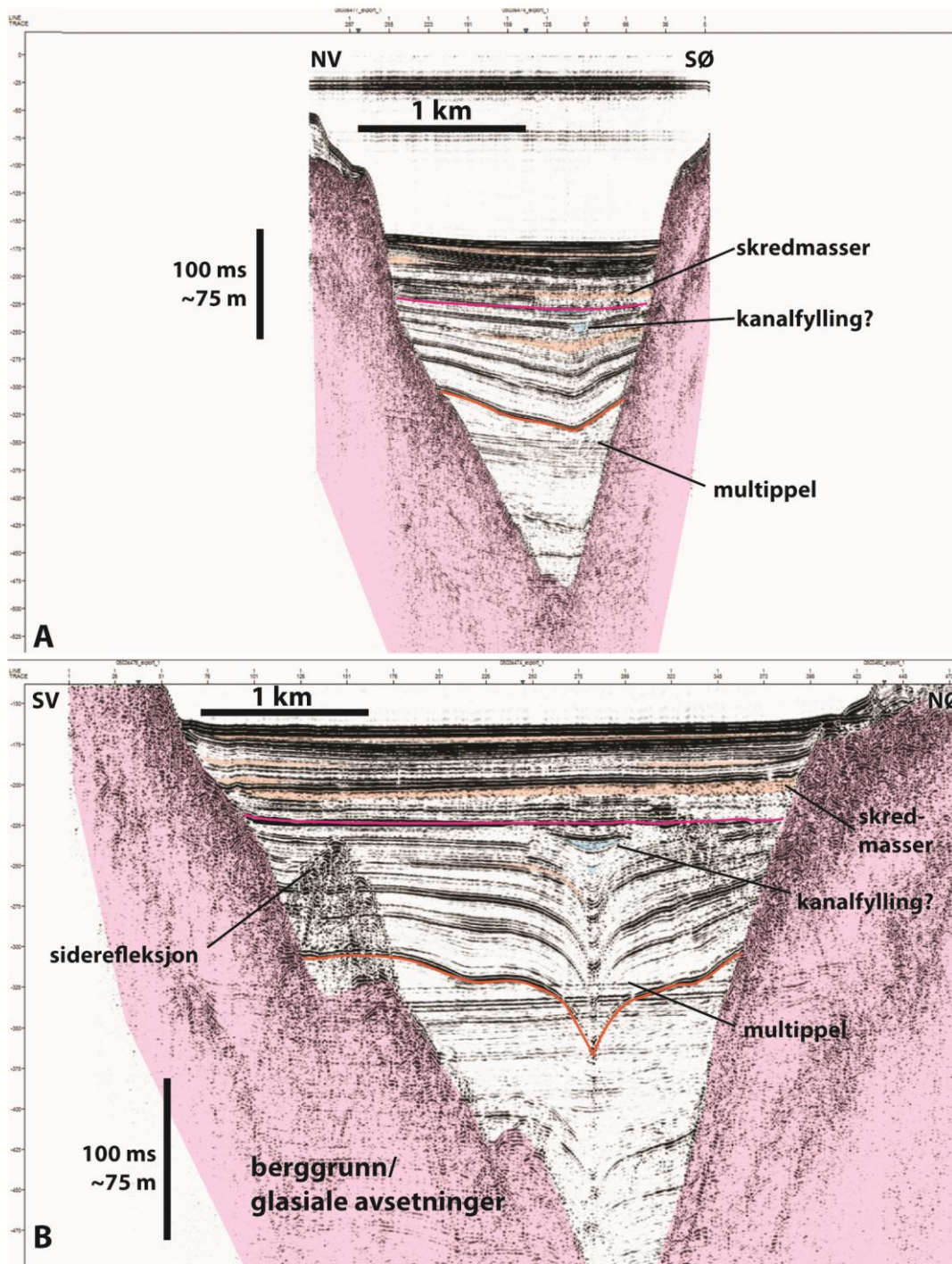
Dekningsgraden av ulike typer seismikk i Drammensfjorden vises på Fig. 9. De seismiske dataene kan gi et første bilde av skredfrekvensen i fjorden etter istiden. Et langsgående profil gjennom hele Drammensfjorden nord for Svelvik vises i Fig. 20 og tversgående profiler vises i Fig. 21. Seismikken viser at fjordsedimentene domineres av noenlunde horisontal lagdeling som er typisk for norske fjorder der sedimenter avsettes jevnt og gradvis. Refleksjoner som krysser hverandre er forårsaket av siderefleksjoner eller er artefakter (multipler) som skyldes at lyden går flere ganger opp og ned mellom bunnen og overflaten av fjorden. Seismikken som presenteres her inneholder vesentlig mer detaljert informasjon enn den som ligger til grunn for modellen i Fig. 7.

På seismikken i Fig. 20 og 21 er fjell og/eller breavsetninger angitt i rosa. Her, og i lagene over, er det en del siderefleksjoner og signaturer som tilsier at lagdelingen er uregelmessig og/eller av varierende tykkelse, både på langs og tvers av fjorden. Dette kan for eksempel være et resultat av en uregelmessig fjelloverflate, breavsetninger og/eller skredmasser eller forstyrrelser generert av breer eller isfjell. Høyere opp er lagdelingen mer regelmessig og draperer den underliggende topografien (for eksempel representert av oransje linje). Noen linser og uregelmessige intervaller, primært i den nordvestlige delen, representerer trolig avsetninger etter skred. I tverrprofilene kan man se at den undulerende fjordbunnen ble gradvis fylt igjen av slam fra suspensjon, bunnstrømmer og noe skredmasser. Blå signatur i Fig. 21 viser mulige kanalfyllinger.

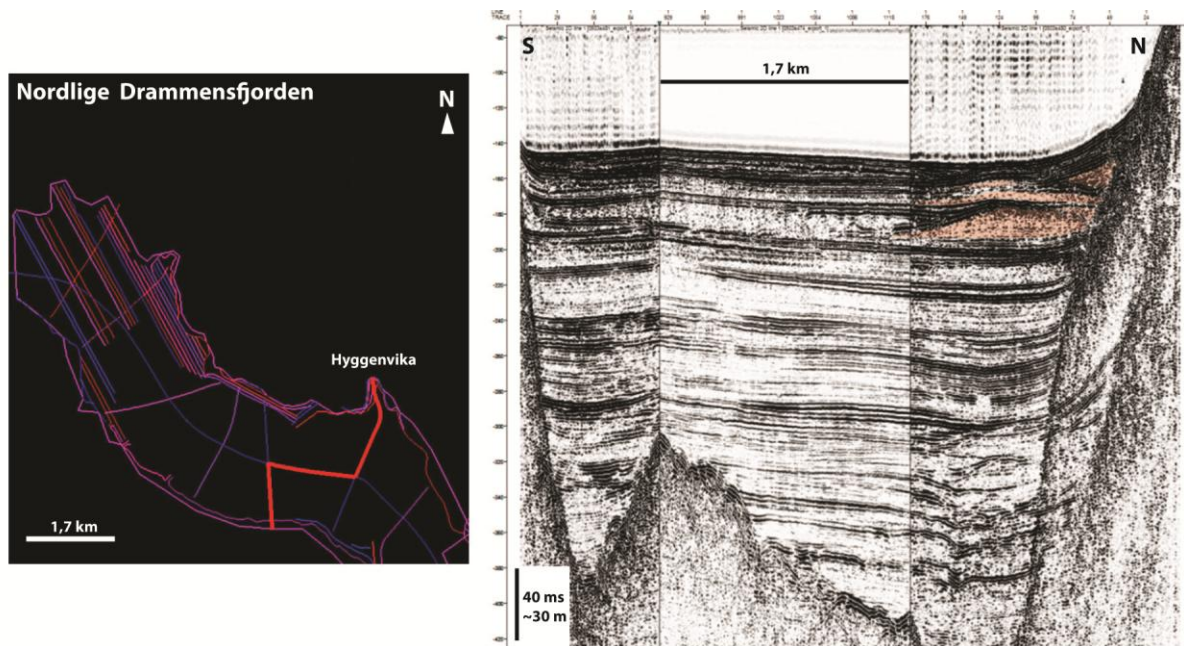
Den jevne grensen markert med rosa linje på figuren, bryter med den undulerende lagdelingen under. Endring i lagdelingens geometri over denne grensen kan være et resultat av økt strøm- og skredaktivitet i takt med at fjorden ble grunnere som følge av sedimentasjon, landheving og fall i relativt havnivå. Terskelen av breelavsetninger ved Svelvik (60-70 moh) må etter hvert ha blitt hevet over havnivå noe som må ha forårsaket et endret sirkulasjonsmønster i fjorden. Skredavsetninger med utgangspunkt i sør (Fig. 20) kan henge sammen med denne hevingen. Det er flere linser av skredrelaterte sedimenter i seismikken. En av skredavsetningene er særlig tykk og kan følges langs det meste av fjorden (Fig. 20). Toppen av seismikken viser også et tverrsnitt av bunntopografien som lokalt er uregelmessig på grunn av unge skredmasser. Dette er mest tydelig i den nordvestlige ende av profilet i Fig. 20. Flere tykke lober av skredmasser kan knyttes til skred i bukter (Fig. 22 og 23).



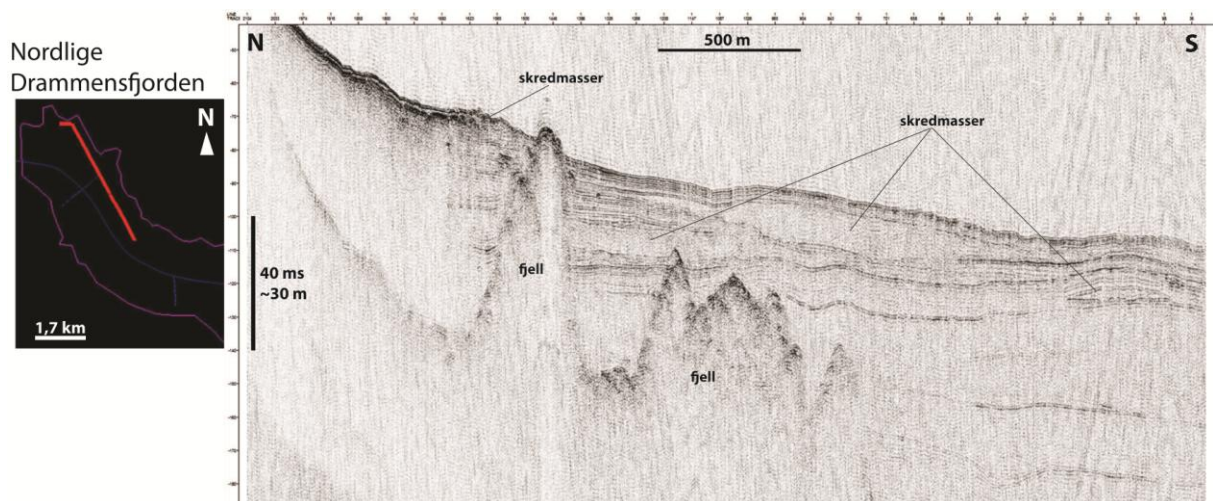
**Figur 20.** Seismisk profil langs hele Drammensfjorden mellom Drammen og Svelvikryggen (Sleevegun/luftkanon). Profilets plassering er vist på Fig. 9.



**Figur 21.** To seismiske profiler på tvers av Drammensfjorden (Sleevegum/Luftkanon). Profilenes plassering er vist på Fig. 9.



**Figur 22.** Seismisk profil gjennom Hyggenvika og på tvers av Drammensfjorden (Sleevegun/luftkanon). Utvalgte skredmasser ved Hyggenvika er markert med oransje farge.



**Figur 23.** Seismisk profil fra nær Lierelvas utløp og sørover forbi Engersandbukta (Geopulse Boomer).

## 6. OPPSUMMERING

### 6.1 Skredaktivitet langs strandsonen i Drammensfjorden

Høyoppløselige batymetridata viser at det er spor etter undersjøisk skredaktivitet langs mesteparten av strandlinjen i Drammensfjorden. Dette inkluderer kjente, historiske skredhendelser, deriblant skredet ved Drammen glassverk i 1935, skredet ved Gullaug i 1974 og i Hyggenvika i 1978. De to siste kan knyttes til utfylling i strandsonen. De undersjøiske landformene er klassifisert, digitalisert og fremstilt på 7 kart (Vedlegg 1-7). Det finnes ulike typer av skred og skredkantene er gitt farge etter type. Flere skredgroper er relativt dype og skålformete. Enkelte av disse har en form som kan sammenlignes med kvikkleireskred på land. Flakformete skred følger trolig svake lag i sjøbunnsedimentene. Disse er karakterisert av en bakkant på noen få meters høyde, men arealet som er involvert i skredet kan være mange hundre kvadratmeter. Videre finnes det skredmasser og skredblokker, ulike

kanalformer og raviner, pockmarks, nedslagsgroper, sedimentbølger, antatt fjell og spor etter menneskelig aktivitet. Det finnes blant annet flere skipsvrak. De kartlagte skredgropene forekommer både i gamle fjordavsetninger, avsatt da det var breer i området, og i yngre fjordsedimenter.

Det er lange strekninger med fjell langs fjorden som begrenser de områdene der undersjøiske skred ville kunne forplante seg inn på land. Likevel kan utfylling på sjøbunnen slike steder utløse undersjøiske skred. Mange undersjøiske brattskråninger, skredkanter og pockmarks, der veske (eller gass) har sivet ut, tilsier at området har generelt dårlig stabilitet og at man bør være spesielt aktsom ved fysiske inngrep. Dette gjelder også områder med gjentatte, ferske spor etter skred og/eller kanalformer etter undersjøiske strømmer. I Drammensfjorden gjelder dette spesielt i nordøst mellom Gullaugbukta, Engersandbukta, Kinnartangen og Hyggenvika, samt noen plasser på motsatt side av fjorden.

Bukter henger ofte sammen med forsenkninger i fjell der det kan være lokale, men ganske tykke lommer av leire. Skredhendelser slike plasser kan avspeiles i stedsnavne som for eksempel Jordfallbukta. Skred og massestrømmer som tar utgangspunkt i én del av bukten kan påvirke stabiliteten i andre deler. For eksempel kan prosesser som starter innerst i bukten føre til undersjøiske strømmer som kan underminere og dermed destabilisere skråninger i andre deler av den samme bukten (se for eksempel områder merket med \* i Fig. 14).

Det er mange pockmarks på grunt vann langs deler av den grusholdige Svelvikryggen (Vedlegg 7). Dette kan henge sammen med lokale artesiske forhold i de underliggende grusmassene og at grunnvannet mates fra et større dreneringsområde. Dette kan også være en av årsakene til at det er ganske mange pockmarks (og dermed mulige artesiske forhold) og flere skred i området rundt Kinnartangen (Vedlegg 2 og 3). Her representerer en rygg i batymetrien sannsynligvis deler av en begravd morenerygg som krysser fjorden (Thoresen et al. 1993). Mengden av strandvasket materiale på land tyder på at det er morene og breelavsatte grusavsetninger i området. Oppsprukket fjell kan også ha spilt inn på grunnvannsforholdene.

Helningen til fjordbunnen og hvor fort sedimentene akkumuleres på bunnen (sedimentasjonsraten) er sannsynligvis medbestemmende for skredaktiviteten over tid. Sediment akkumuleres ikke på de bratteste skråningene. Derimot kan tykke lagpakker av fjordsedimenter bygges opp på moderat hellende skråninger og etter hvert bli kildeområde til undersjøiske utglidninger. Sedimentasjonsraten er generelt høyere i de innerste deler av fjorden enn i de ytre på grunn av sedimenttilførsel fra de store elvene. Lokalt kan sedimenttilførselen være relativt høy ved munningen av mindre bekker langs fjorden.

Refleksjonsseismikk viser at skred i Drammensfjorden har vært en vanlig prosess etter istiden, og det er mange spor fra skred i nyere tid. Enkelthendelser som jordskjelv eller flommer kan også ha spilt inn på skredaktiviteten. Den reelle frekvensen er likevel ukjent og bør undersøkes ved prøvetaking. Det kan se ut til at frekvensen av større skred er høyere i den innerste del av fjorden og i bukter, men dette bør bekrefte ved nærmere studier.

## 6.2 Forslag til videre arbeid

I denne rapporten presenteres nye sjøbunnsdata som gir økt kunnskap om landformer og prosesser i strandsonen rundt Drammensfjorden. Det er flere muligheter for videre å øke denne kunnskapen. For eksempel kan gjentatte oppmålinger med års mellomrom innen samme område hjelpe med til å vise hvordan forholdene endrer seg over tid. Her bør man prioritere områder der det er gjentatte, ferske spor etter skred, pockmarks og/eller kanaler. Dermed kan man få et bedre bilde av hvor, hvordan og hvor hurtig forholdene endrer seg. Derfor har NGU planlagt å kartlegge enkelte deler av fjordbunnen på nytt i 2011 for eksempel ved Gullaug. Hertil vil seismikk og kjerneprøver bidra til å dokumentere utbredelse, egenskaper og opprinnelse til svake lag, som kan ha fungert som glideplan for grunne

flakformete skred. Videre gir de digitale datasettene mulighet for helningsanalyser for å finne grenseverdier for ulike skredtyper.

Andre muligheter for videre studier er skissert herunder. Kjerneprøver fra fjordbunnen og radiokarbondatering kan gi alderen på skredhendelsene som er kartlagt ved hjelp av batymetri og seismikk og gi mulighet for vurdering av skredfrekvenser. Skredmasser i fjorden kan også stamme fra skred fra land. Studier av de mest regionale skredhendelsene kan være med på å sannsynliggjøre om det er tale om jordskjelvsutløste skred eller perioder med særlige forhold, for eksempel klima- eller havnivåendringer. De høyoppløselige sonardataene presentert i denne rapporten har en dybdebegrensning på ca. 100 m. Data fra dypere vann har noe lavere oppløsning hvilket reduserer muligheten for detaljert avgrensning av skredmasser. Data med høyere oppløsning vil gi bedre innsikt i størrelsen på skred og vil være et bedre datagrunnlag for strategisk plassering av seismikk og eventuelle kjerneprøver.

Dreneringsområdet til Drammensfjorden var utsatt for en katastrofal flom, Storofsen, i 1789. Flere av de fenomenene som er kartlagt i fjorden kan sannsynligvis knyttes til denne eller andre flomhendelser. Skredmassene som dominerer fjordbunnen innerst i Drammensfjorden kan for eksempel være avsatt under en flomhendelse (Vedlegg 1). Mer detaljerte studier av seismikk kombinert med kjerner og datering vil være med på å avklare dette. Drammensfjorden kan derfor brukes til å finne ut av i hvilken grad klima og ekstreme nedbørshendelser på kort og lang sikt kan påvirke stabiliteten i en fjord. Det vil også være relevant å finne ut om pockmarks er jevnt aktive eller om de kun er/var aktive under spesielle omstendigheter.

Kartlegging av fjelloverflaten fra seismikkdata viser hvor mye sediment som potensielt vil kunne skli ut eller om det er fjell som blokkerer for dette. Helningen av lagene i sedimentene har betydning for potensiell skredutvikling, men lagdelingen er ikke alltid mulig å kartlegge fordi penetrasjonen av seismiske signaler kan være begrenset i noen områder på grunn av hard bunn. Undersøkelser på land med seismikk, 2D-resistivitet, boring og/eller andre geotekniske undersøkelser kan vise i hvilken grad de marine avsetningene fortsetter inn på land noe som er særlig relevant i områder der det er påvist kvikkleire (for eksempel ved Gullaug). Analyserer av backscatterdata gir informasjon om bunntyper som kan være viktig for kartlegging av skredmasser, pockmarks og strømpåvirkning av sjøbunnen. Dette er også er relevant for studier av biologi og miljø.

## **7. KONKLUSJON**

Drammensfjorden ned til ca 100 m dyp er oppmålt med interferometrisk sonar. Dataene er sammenstilt med multistråleekkolodddata fra den dypere del av fjorden og med landdata i form av kvartærgeologiske kart og kartlagte kvikkleiresoner. Fra den undersjøiske terrengmodellen er morfologiske elementer kartlagt og digitalisert, blant annet mange spor etter undersjøiske skred.

Generell aktsomhet bør utvises overalt i strandsonen med hensyn til inngrep. Spesielt bør det utvises aktsomhet der det er observert flere fenomener som destabiliserer skråningene i strandsonen, som for eksempel pockmarks, erosjon og skredkanter. Aktivitet en plass kan påvirke stabiliteten andre steder, især i bukter. I Drammensfjorden er områdene rundt Gullaugbukta, Engersandbukta, Kinnartangen, Hyggenvika og enkelte plasser på motsatt side av fjorden av særlig interesse i denne sammenheng. Resultatene som presenteres i rapporten viser hvor mye mer informasjon detaljert batymetri kan gi om prosesser i strandsonen i forhold til vanlige sjøkart. Til sammen gir dataene en unik oversikt over skred- og erosjonsprosesser i strandsonen og kan brukes i videre arbeid med bruk av slike data til skred-, aktsomhets-, faresone-, og risikokartlegging.

Dataene kan også brukes mot andre problemstillinger, for eksempel kartlegging av habitater, miljøstatus og til identifisering av skipsvrak.

## **8. TAKK**

Takk til det tekniske personell som var behjelpelig under feltarbeid på Seisma, heriblant Oddbjørn Totland, Eiliv Danielsen og John Anders Dahl. Renata Viola gjorde et stort arbeid med digitalisering av detaljerte kvartærgeologiske kart fra land. Takk til Reidulv Bøe for kommentarer til rapporten. Takk til Forsvarskommandoen i Sør-Norge for frigivelse av dyppedata fra Drammenfjorden i henhold til søknad.



## 9. REFERANSER

- Bjerkli, K., Olsen, H.A. (1984) Refleksjonsseismiske målinger i Drammensfjorden. NGU Rapport 84.123.
- Follestad, B.A. (1982) Drammen, kvartærgeologisk kart CHJ 041042-20. M 1:20.000. Norges geologiske undersøkelse.
- Follestad, B.A. (1986) Lier, kvartærgeologisk kart 1814 IV - M 1:50.000. Norges geologiske undersøkelse.
- Hansen, L., Eilertsen, R., Longva, O. (2005) Skredkartlegging langs kystsonen i Trondheimsområdet, datagrunnlag og morfologi. NGU Rapport 2005.054.  
[http://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Rapporter/2005/2005\\_054.pdf](http://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Rapporter/2005/2005_054.pdf)
- Hovland, M., Judd, A.G. (1988) Seabed Pockmarks and Seepages. Graham and Trotman, London, 293 pp.
- Karlsrud, K. (1979) Skredfare og planlegging. Forelesningsnoter til NIF-kurs. Norske sivilingeniørers forening i samarbeid med Norges geotekniske institutt. Lofthus, Hardanger.
- Klakegg, O. (1985) Skoger, CHJ 039040-20, kvartærgeologisk kart M 1:20.000. Norges geologiske undersøkelse.
- Klakegg, O. (1991) Drammen 1814 III. Kvartærgeologisk kart M 1:50.000, med beskrivelse. Norges geologiske undersøkelse.
- L'Heureux, J.S., Hansen, L., Longva, O., Emdal, A. & Grande, L (2010) A multidisciplinary study of submarine landslides at the Nidelva fjord delta, Mid-Norway – Implications for geohazard assessments. Norwegian Journal of Geology. Vol 90, pp. 1-20.  
[http://www.geologi.no/data/f/0/20/22/3\\_2401\\_0/NJG\\_1\\_2010\\_LHeureux\\_pr.pdf](http://www.geologi.no/data/f/0/20/22/3_2401_0/NJG_1_2010_LHeureux_pr.pdf)
- Longva, O., Blikra, L. H., Muring, E., Thorsnes, T. & Reither, E. (1999) Testprosjekt Finneidfjord; integrert skredfarekartlegging - metodevurdering. Norges geologiske undersøkelse, NGU Rapport 1999.051.
- Nordahl-Olsen, T. (1989) Kjekstadmarka, CKL 041042, kvartærgeologisk kart M 1:20.000. Norges geologiske undersøkelse.
- Sørensen, R., Lie, K.T., Nybakken, S.E. (1990) Drøbak 1814 II, kvartærgeologisk kart M 1:50.000. Norges geologiske undersøkelse.
- Thoresen, M.K., Olsen, H.A. og Sørensen, R. (1993) Røyksjø kvartærgeologisk kart CKL 039040-20, M 1:20.000, med beskrivelse. Norges geologiske undersøkelse.

## 10. Utvalgte kvartærgeologiske symboler

a	UTVASKET OVERFLATELAG, UNDERLIGGENDE MASSER MER FINKORNIGE	⋈	LITEN FJELLBLOTNING
Δ	HØYT BLOKKINNHOLD I OVERFLATEN	M	MORENEMATERIALE
o	STEIN	Ml	MORENELEIRE
•o	GRUSIG STEIN	A	AVSMELTNINGSMORENE
o•	STEINIG GRUS	B	BREELVAVSETNING
•	GRUS	Bs	BRESJØAVSETNING
••	SANDIG GRUS	In	INNSJØAVSETNING
••	GRUSIG SAND	Bi	BRESJØ- OG INNSJØAVSETNING
•	SAND	H	HAV- OG FJORDAVSETNING
┴	SILTIG SAND	U	MARIN STRANDAVSETNING
┴	SANDIG SILT	E	ELVE- OG BEKKEAVSETNING
—	SILT	Fi	FLOMAVSETNING
┆┆	LEIRIG SILT	V	VINDAVSETNING
┆┆	SILTIG LEIR	F	FORVITRINGSMATERIALE
~	LEIR	R	SKREDMATERIALE, USPESIFISERT
┆┆┆┆	ELVE- ELLER BEKKENEDSKJERING	Sp	STEINSPRANGMATERIALE
↘↗	TIDLIGERE ELVE- ELLER BEKKELOP	Ss	SNØSKREDMATERIALE
→	FLOMLØP	Si	LØSMASSESKREDMATERIALE
↔	GJEL UTFORMET AV ELV OG/ELLER BREELV	□	STEINSPRANG OG FJELLSKRED
----	VIFTEFORM	☆	SNØSKRED
↘↗	RAVINE	●	LØSMASSESKRED
┆┆┆┆	TERRASSEKANT	T	TORV OG MYR
↔	STORT GJEL UTFORMET AV ELV OG/ELLER BREELV (1)	t	HUMUSDEKKE / TYNT TORVDEKKE OVER BERGGRUNNEN
↔	STORT GJEL UTFORMET AV ELV OG/ELLER BREELV (2)	Z	FYLLMASSE
oooo	STRANDVOLL	○	SKREDMASSE FRA LEIRSKRED PÅ GAMLE KART: ☞
┴┴	STRANDLINJE I LØSMASSER	⊕	STOR BLOKK
┴┴	STRANDLINJE I FJELL	★	AKTIV ELVE-/BEKKE- ELLER GRUNNVANNSEROSI I ET LITE OMRADE
∇∇	ABRASJONSKANT	⊕	KILDE (GRUNNVANNsutslag)
----	SKREDVIFTE, YTTERKANT	⊕	KILDEHORIZONTAL
----	TYDELIG SKREDLØP	⊕	SKJELLOKALITET
┆┆┆┆	FRONT AV FJELLSKRED	┴	MASSETAK, NEDLAGT ELLER SPORADISK I DRIFT
┆┆┆┆	SKREDKANT	┴	MASSETAK I DRIFT
┆┆┆┆	STEINSTRIPER	∞	BAKKEPLANERING
▭▭▭▭	RYGG	⊙	GROP DANNET AV SNØSKRED
┆┆┆┆	GROP DANNET AV SANDFLUKT		
┆┆┆┆	STRØMGROP		
	MARKERT HAUG ELLER RYGG		
—	ISSKURINGSSTRIPER, BEVEGELSE MOT OBSERVASJONSPUNKTET		
┆┆┆┆	ISSKURINGSSTRIPER INNENFOR SEKTOREN (1)		
—	KRYSSENDE ISSKURINGSSTRIPER, REL. ALDER 1		
┆┆┆┆	KRYSSENDE ISSKURINGSSTRIPER, REL. ALDER 2		
┆┆┆┆	KRYSSENDE ISSKURINGSSTRIPER, REL. ALDER 3		
┆┆┆┆	KRYSSENDE ISSKURINGSSTRIPER, REL. ALDER 4		
┆┆┆┆	KRYSSENDE ISSKURINGSSTRIPER, REL. ALDER 5		
┆┆┆┆	KRYSSENDE ISSKURINGSSTRIPER, REL. ALDER 6		

### STRATIGRAFIPUNKT, eksempler:

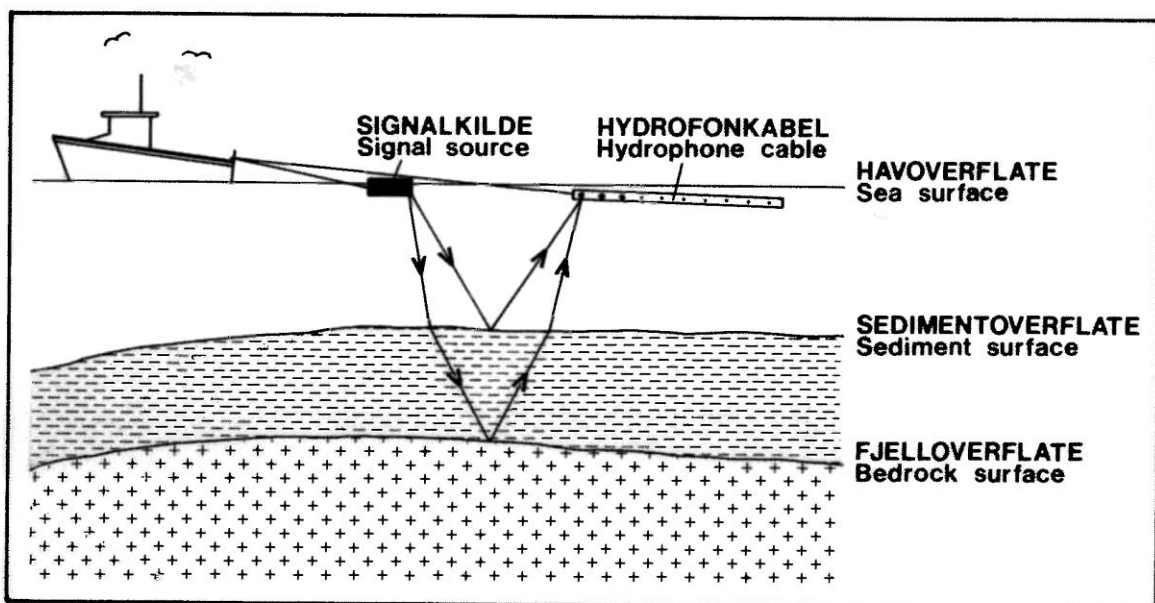
4S/2LSi - 4 m sand over 2 m leirig silt  
 2G/>8SIL - 2 m grus over mer enn 8 m siltig leire  
 >25 - over 25 m av kartlagte løsmasstype

## 11. Detaljbeskrivelse av marinseismiske prinsipper

### REFLEKSJONSSEISMISKE MÅLINGER

Ved den refleksjonsseismiske målemetoden sendes en seismisk bølge (lydpuls) ut fra ett punkt, og mottas i et annet punkt.

I praksis skjer dette ved at det sendes lyd signaler ut fra en signalkilde. Lyden vil forplante seg i det mediet den sendes ut i, for så å reflekteres ved overgangen til et annet medium. Mottak av det reflekterte signalet skjer ved hjelp av en hydrofonkabel (lyttekabel).



Ved refleksjonsseismiske målinger registreres den utsendte lyd pulsens "to-veis gangtid". Dette er tiden lyd pulsen bruker på å forplante seg fra lyd kilden, ned til en reflekterende horisont, og derfra tilbake til hydrofonkabelen. De reflekterende horisontene representerer grenseflater mellom medier med forskjell i tetthet og seismisk lyd hastighet. Eksempel på slike grenseflater er overgangen mellom vann/sediment og overgangen sediment/fast fjell.

Dersom en kjenner den seismiske lyd hastigheten for et lag, kan en ved å måle tiden fra utsendelse til mottak av en lyd puls finne lagets mektighet (tykkelse).

Beregningseksempel:

Lydhastighet for laget:	1600 m/s (meter/sekund)
Målt to-veis gangtid :	100 ms (millisekund) = 0.1 s
Lagets mektighet :	$1600 \text{ m/s} \times 0.1 \text{ s} / 2 = 80 \text{ m}$

Vanlige seismiske lydhastigheter for sedimenter i sjøen vil være:

Vann	:	1500 m/s
Leire	:	1500-1800 m/s
Sand/grus	:	1500-1700 m/s
Morene	:	1500-2800 m/s
Fjell	:	3500-6000 m/s

Penetrasjonsevnen til lydimpulsen (evnen til å trenge ned i løsmasser/bergarter) vil være avhengig av type signalkilde, men også av geologiske forhold. Lydimpulsen vil generelt forplante seg lett gjennom silt- og leirholdige sedimenter, selv om disse kan inneholde en del sand og grus. En større del av energien vil derimot reflekteres fra overflaten av morene og godt sortert sand og grus, f.eks. skjellsand.

Den vertikale oppløsningen (detaljeringsgraden) vil hovedsakelig avhenge av type signalkilde. Seismiske signalkilder som Geopulse, Topas, Boomer, Elma, Sparker, Luftkanon og Sleevegun gir registreringer med vertikal oppløsning på 1-20 ms, alt etter signalkilde.

Den refleksjonsseismiske metoden kan gi en del uønskede reflektorer, som kan være vanskelige å skille fra reelle reflektorer. De viktigste av disse er multipler og sideekko.

**Multipler:** Noe av energien fra en lydbølge som er reflektert til havoverflaten vil bli reflektert ned igjen fra grenseflaten hav/luft. Lydbølgen vil dermed gå en, eller normalt flere ganger ned til underliggende grenseflater, for så å bli reflektert til overflaten og bli registrert på nytt. På de seismiske profilene vil dette bli tegnet ut som nye horisonter mot økende dyp. Disse "falske" horisontene kalles multipler. I mange tilfeller vil det være vanskelig å identifisere geologiske grenseflater under 1. multippel.

**Sideekko:** Sideekko eller siderefleksjoner oppstår fordi lydbølger etter utsending sprer seg i alle retninger i stedet for ideelt sett bare å gå loddrett ned. I smale og dype fjorder kan lyden bli reflektert fra fjordsidene og forårsake uønskede, "falske" reflektorer. Det samme kan skje ved svært kuperte bunnforhold. Slike "falske" reflektorer kan dels skygge helt over, og dels være vanskelig å skille fra reelle reflektorer.

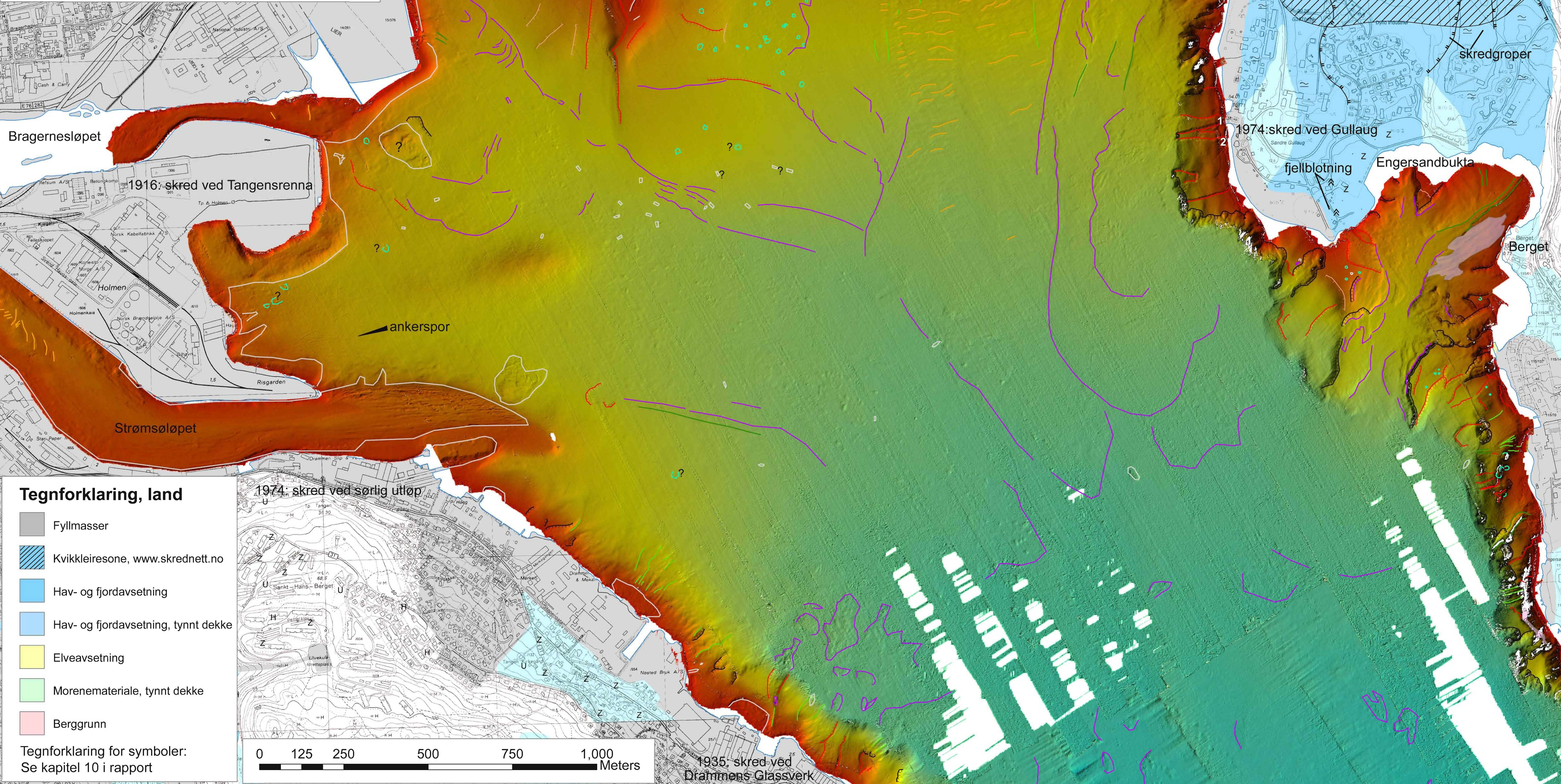
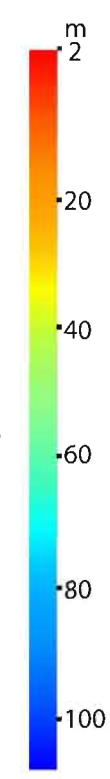
# Drammen Havn

Skyggerelieff med klassifiserte elementer  
Vedlegg 1, NGU rapport 2011.003



## Tegnforklaring, sjø

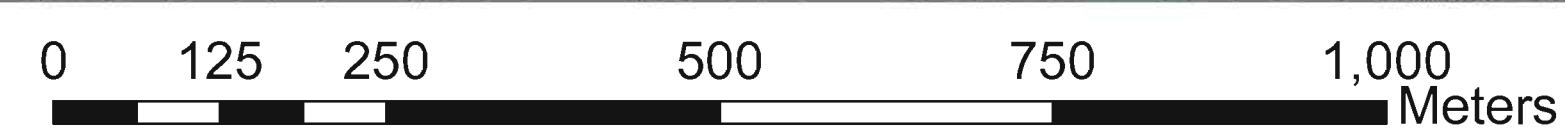
- skredgropp, flakformet
- skredgropp, skålformet
- skredgropp, utydelig
- skredmasser og skredblokker
- mulige skredblokker
- bred kanalform eller ravine
- smal kanalform
- fjellkløft
- pockmarks
- nedslagsgropp
- sedimentbølger
- antropogent
- fjell



## Tegnforklaring, land

- Fyllmasser
- Kvikkleiresone, [www.skrednett.no](http://www.skrednett.no)
- Hav- og fjordavsetning
- Hav- og fjordavsetning, tynnt dekke
- Elveavsetning
- Morenemateriale, tynnt dekke
- Berggrunn

Tegnforklaring for symboler:  
Se kapittel 10 i rapport



1935: skred ved  
Drammens Glassverk

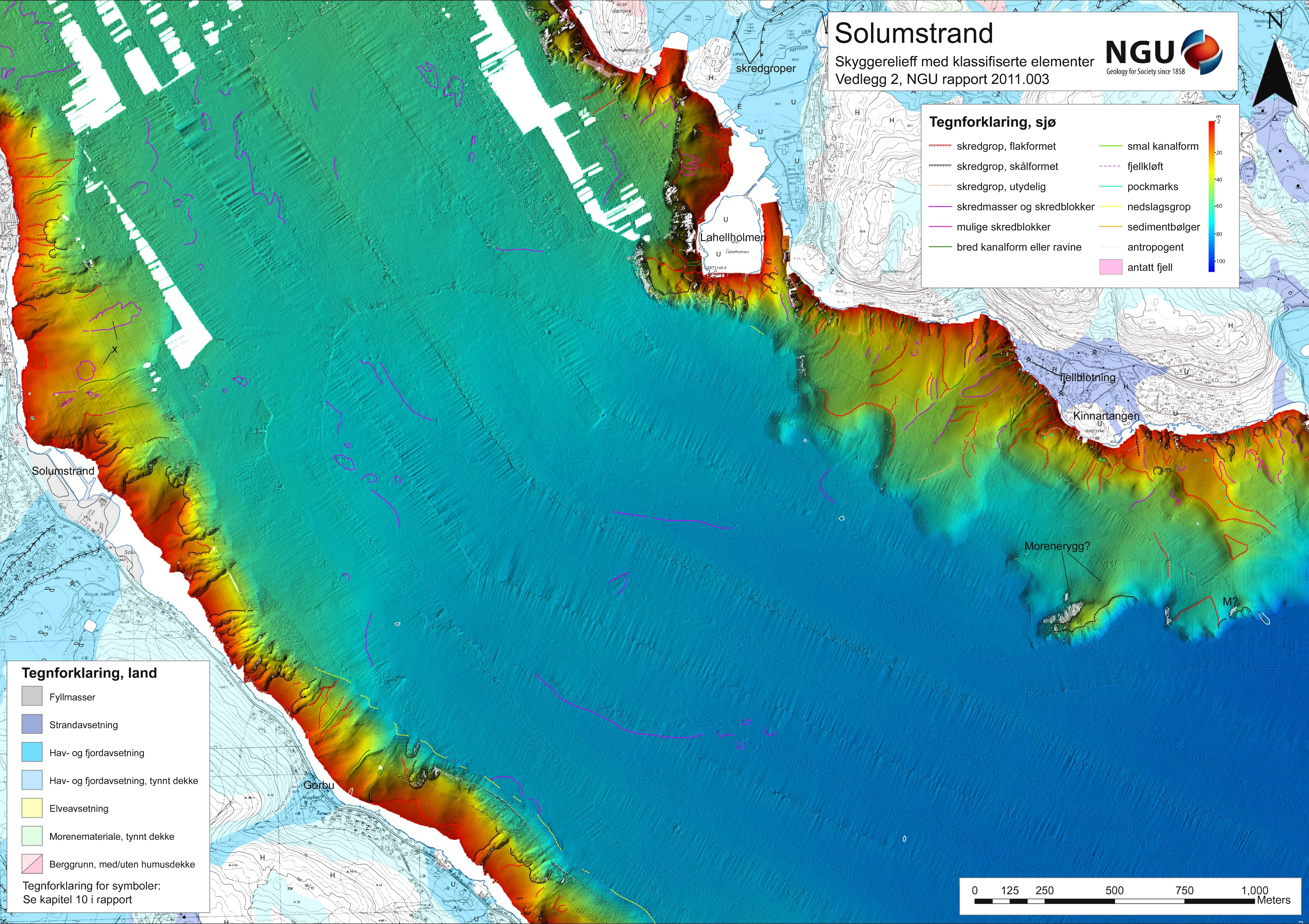
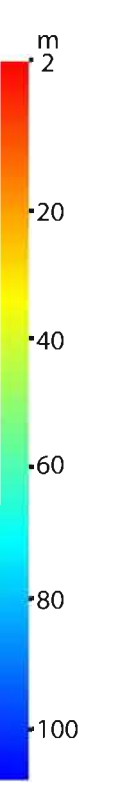
# Solumstrand

Skyggerelieff med klassifiserte elementer  
Vedlegg 2, NGU rapport 2011.003



## Tegnforklaring, sjø

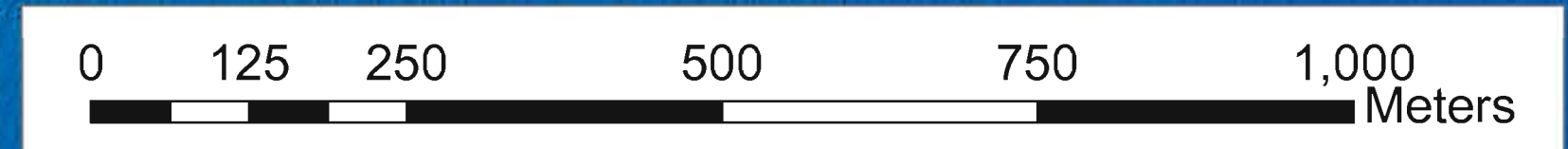
- |                             |                |
|-----------------------------|----------------|
| skredgrop, flakformet       | smal kanalform |
| skredgrop, skålformet       | fjellkløft     |
| skredgrop, utydelig         | pockmarks      |
| skredmasser og skredblokker | nedslagsgrop   |
| mulige skredblokker         | sedimentbølger |
| bred kanalform eller ravine | antropogent    |
|                             | antatt fjell   |



## Tegnforklaring, land

- |                                    |
|------------------------------------|
| Fyllmasser                         |
| Strandavsetning                    |
| Hav- og fjordavsetning             |
| Hav- og fjordavsetning, tynt dekke |
| Elveavsetning                      |
| Morenemateriale, tynt dekke        |
| Berggrunn, med/uten humusdekke     |

Tegnforklaring for symboler:  
Se kapittel 10 i rapport



# Hyggen-Tørkopp

Skyggerelieff med klassifiserte elementer  
Vedlegg 3, NGU rapport 2011.003



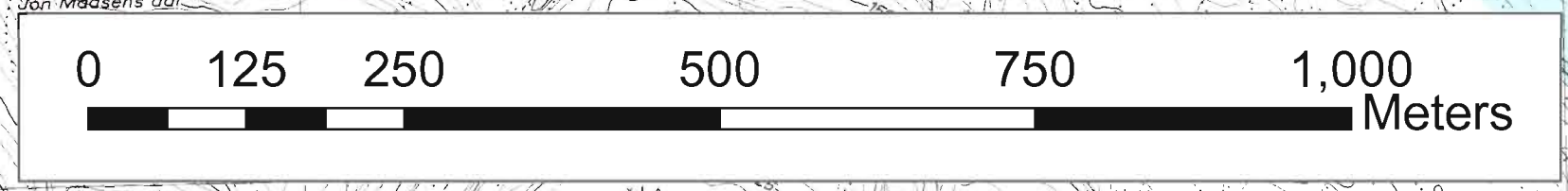
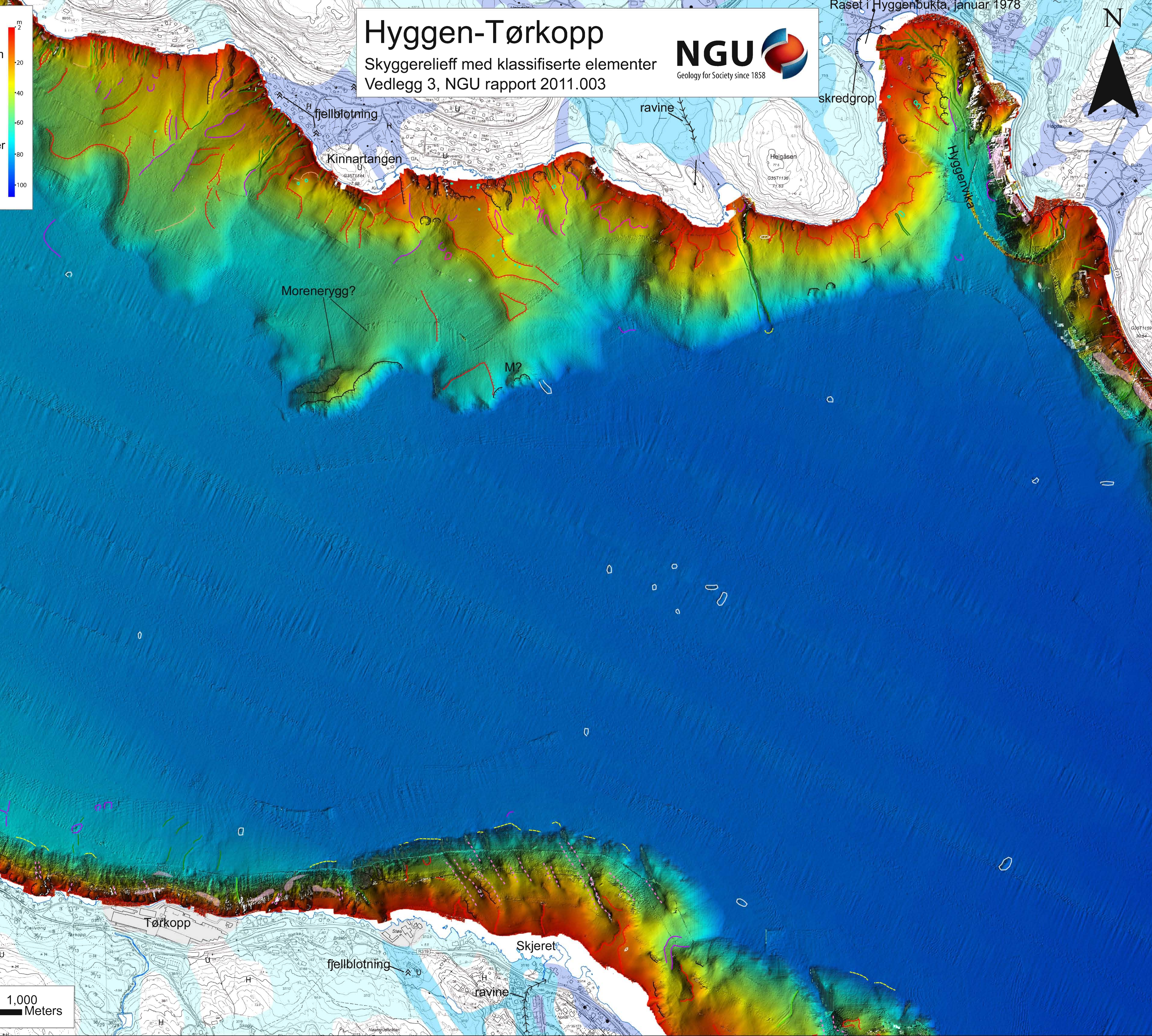
## Tegnforklaring, sjø

- skredgrop, flakformet
- skredgrop, skålformet
- skredgrop, utydelig
- skredmasser og skredblokker
- mulige skredblokker
- bred kanalform eller ravine
- smal kanalform
- fjellkløft
- pockmarks
- nedslagsgrop
- sedimentbølger
- antropogent
- antatt fjell

## Tegnforklaring, land

- Fyllmasser
- Strandavsetning
- Hav- og fjordavsetning
- Hav- og fjordavsetning, tynnt dekke
- Elveavsetning
- Morenemateriale, tynnt dekke
- Berggrunn

Tegnforklaring for symboler:  
Se kapitel 10 i rapport



# Hernes

Skyggerelieff med klassifiserte elementer  
Vedlegg 4, NGU rapport 2011.003



0 125 250 500 750 1,000 Meters

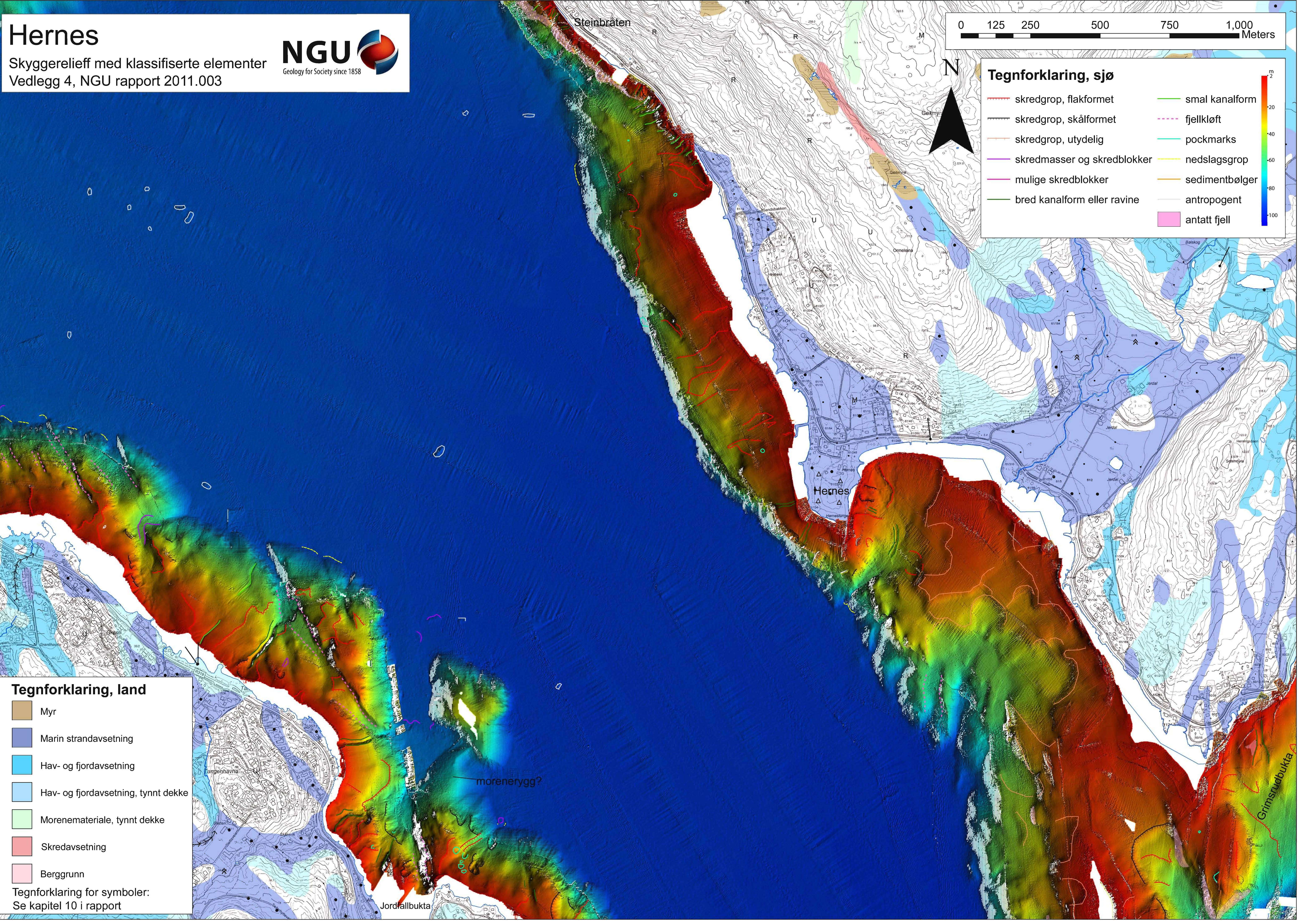
## Tegnforklaring, sjø

- |                             |                |
|-----------------------------|----------------|
| skredgrop, flakformet       | smal kanalform |
| skredgrop, skålformet       | fjellkløft     |
| skredgrop, utydelig         | pockmarks      |
| skredmasser og skredblokker | nedslagsgrop   |
| mulige skredblokker         | sedimentbølger |
| bred kanalform eller ravine | antropogent    |
| antatt fjell                |                |

## Tegnforklaring, land

- |                                     |
|-------------------------------------|
| Myr                                 |
| Marin strandavsetning               |
| Hav- og fjordavsetning              |
| Hav- og fjordavsetning, tynnt dekke |
| Morenemateriale, tynnt dekke        |
| Skredavsetning                      |
| Berggrunn                           |

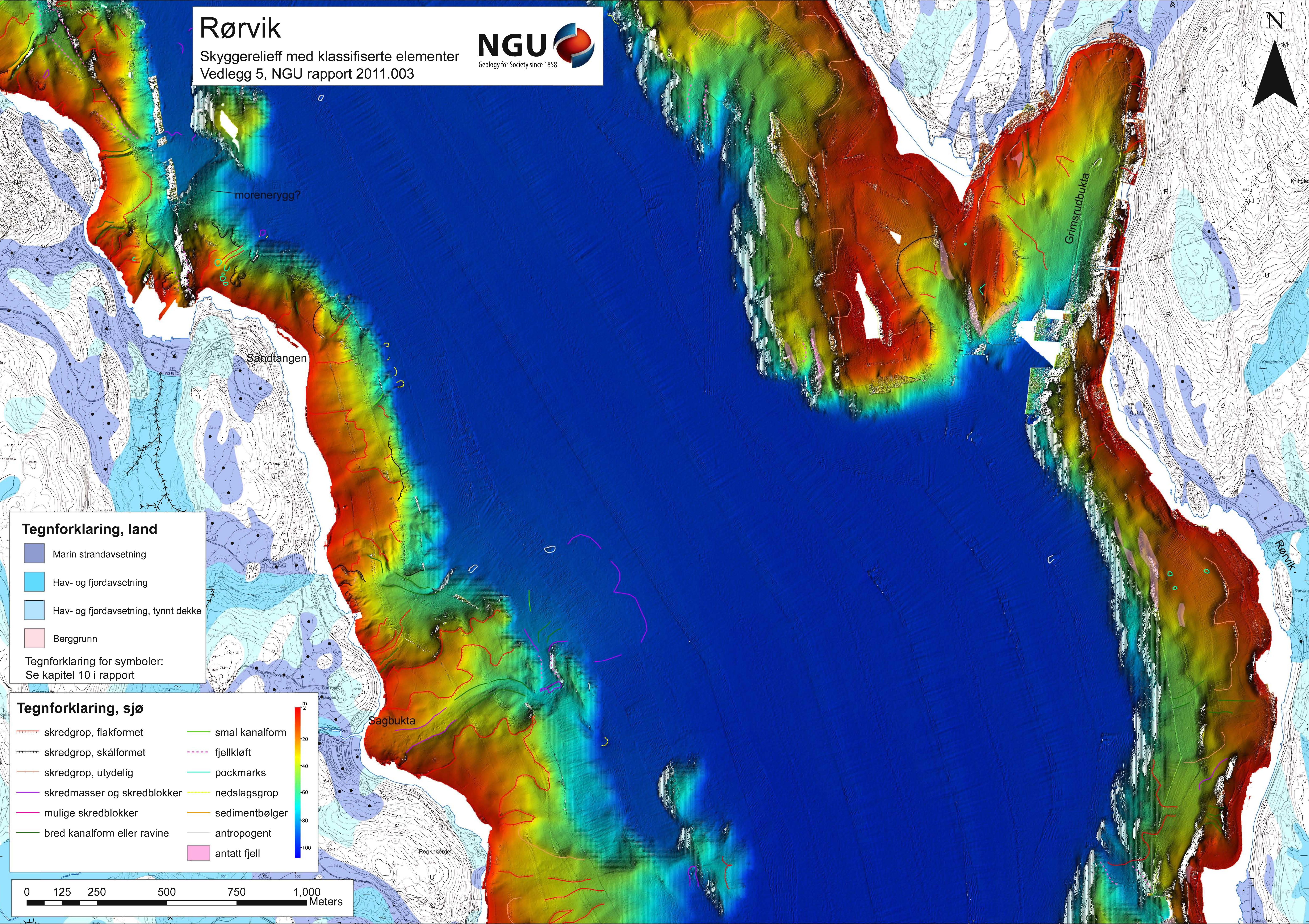
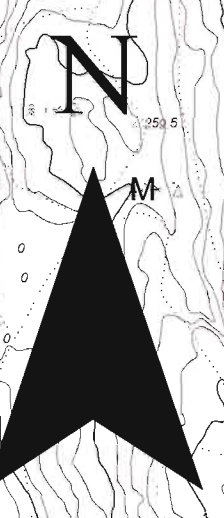
Tegnforklaring for symboler:  
Se kapittel 10 i rapport





# Rørvik

Skyggerelieff med klassifiserte elementer  
Vedlegg 5, NGU rapport 2011.003



**Tegnforklaring, land**

- Marin strandavsetning
- Hav- og fjordavsetning
- Hav- og fjordavsetning, tynt dekke
- Berggrunn

Tegnforklaring for symboler:  
Se kapittel 10 i rapport

**Tegnforklaring, sjø**

skredgrop, flakformet	smal kanalform
skredgrop, skålformet	fjellkløft
skredgrop, utydelig	pockmarks
skredmasser og skredblokker	nedslagsgrop
mulige skredblokker	sedimentbølger
bred kanalform eller ravine	antropogent
	antatt fjell



# Sønsteby

Skyggerelieff med klassifiserte elementer  
Vedlegg 6, NGU rapport 2011.003



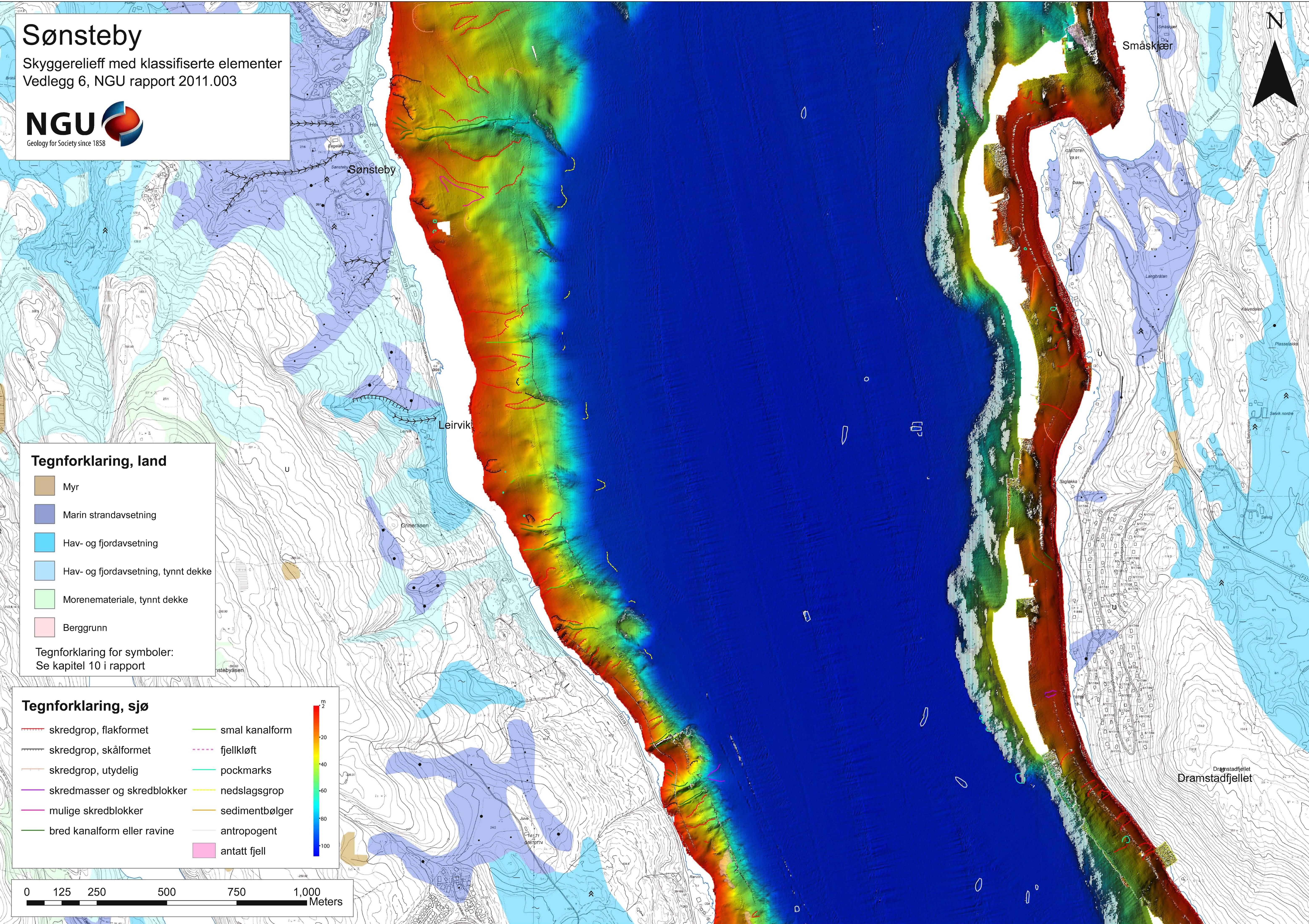
**Tegnforklaring, land**

- Myr
- Marin strandavsetning
- Hav- og fjordavsetning
- Hav- og fjordavsetning, tynt dekke
- Morenemateriale, tynt dekke
- Berggrunn

Tegnforklaring for symboler:  
Se kapittel 10 i rapport

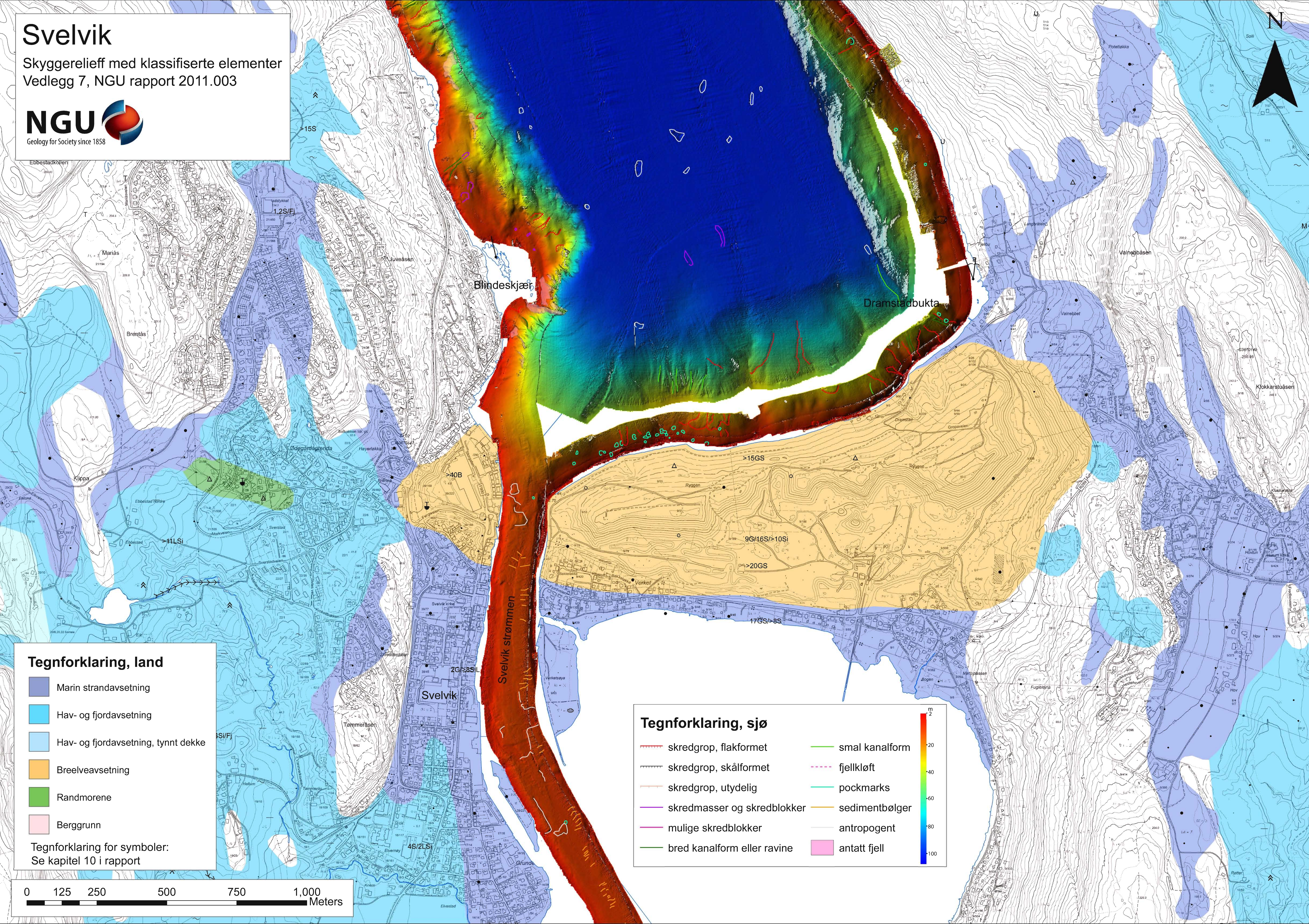
**Tegnforklaring, sjø**

skredgrop, flakformet	smal kanalform
skredgrop, skålformet	fjellkløft
skredgrop, utydelig	pockmarks
skredmasser og skredblokker	nedslagsgrop
mulige skredblokker	sedimentbølger
bred kanalform eller ravine	antropogent
	antatt fjell



# Svelvik

Skyggerelieff med klassifiserte elementer  
Vedlegg 7, NGU rapport 2011.003



## Tegnforklaring, land

- Marin strandavsetning
- Hav- og fjordavsetning
- Hav- og fjordavsetning, tynt dekke
- Breelveavsetning
- Randmorene
- Berggrunn

Tegnforklaring for symboler:  
Se kapittel 10 i rapport

## Tegnforklaring, sjø

- skredgrop, flakformet
- skredgrop, skålformet
- skredgrop, utydelig
- skredmasser og skredblokker
- mulige skredblokker
- bred kanalform eller ravine
- smal kanalform
- fjellkløft
- pockmarks
- sedimentbølger
- antropogent
- antatt fjell

