

Skred i strandsonen: Studie av skredet i Indre Sokkelvik

Synnøve Wiger Austefjord

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2016

Hovedveileder: Steinar Nordal, BAT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for bygg, anlegg og transport



NORGES TEKNISK-
NATURVITENSKAPELIGE UNIVERSITET
INSTITUTT FOR BYGG, ANLEGG OG TRANSPORT

Oppgavens tittel: Skred i strandsonen: Studie av skredet i Indre Sokkelvik 1959	Dato: 10.06.2016		
	Antall sider (inkl. bilag): 104		
	Masteroppgave	X	Prosjektoppgave
Navn: Synnøve Wiger Austefjord			
Faglærer/veileder: Prof. Steinar Nordal			
Eventuelle eksterne faglige kontakter/veiledere:			

<p>Ekstrakt:</p> <p>Etter et skred i Sørkjosen 2015 ble det satt ned en undersøkelsesgruppe for å se på årsaken til skredet. Undertegnede hadde en prosjektoppgave knyttet til denne skredhendelsen. Gjennom arbeidet dukket det opp ny informasjon om skredet som gikk i Indre Sokkelvik 1959. Denne masteroppgaven ser nærmere på skredet i Indre Sokkelvik i lys av de nye opplysningene.</p> <p>Våren 2016 er det søkt og funnet informasjon og dokumentasjon på veifyllingen. Det er forsøkt å kartlegge omfanget av det arbeidet som ble gjort før skredulykken. En fylling med økende høyde har blitt lagt ut på løsmasser i flomålet og går inn på fjell på kote 7. Denne utfyllingen er trolig en av årsakene til at skredet gikk. Omfanget og betydningen av vegarbeidet ble ikke sett på som medvirkende årsak til skredhendelsen i rapportene fra 1960.</p> <p>I Indre Sokkelvik er det også flere svakhetssoner i fjellet som strekker seg ned til vika. Gjennomstrømning i disse lagene kan ha ført til oppdrettede gradienter og ugunstige poretrykksforhold i løsmassene. Strømningen har også ført til utvasking av leira, som har gjort den kvikk.</p> <p>At skredet gikk akkurat kvelden 07.09.59 kan antagelig skyldes at det kom uvanlig mye nedbør i tiden før hendelsen.</p>
--

Stikkord:

1. Indre Sokkelvik
2. Strandsoner
3. Progressive skred
4. Kvikkleire

Synnøve Wiger Austefjord

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet for Geoteknisk avdeling ved Norges teknisk-naturvitenskaplige universitet. Litteraturstudie, batymetrianalyse og resultater fra numeriske simuleringer er inkludert i denne oppgaven.

Oppgavens overordnede tema er undersjøiskskred i strandsonen med spesielt fokus på skredet som gikk i Indre Sokkelvik 7. mai 1959. Under arbeidet har jeg virkelig fått øynene opp for de geotekniske problemstillingene man står over når man gjør inngrep i strandsonen. Bare denne våren har det gått to skred i strandsonen et i Tosbotn og et i Granvin.

Jeg vil rette en stor takk til professor Steinar Nordal som har veiledet meg gjennom denne oppgaven. Vil også takke Dr. Jean-Sebastien L'Heureux for nyttige innspill og tilgang på data. Jeg er også meget takknemlig for at Statens vegvesen i Sørkjosen tok seg tid til å ta meg med på båttur ut til Sokkelvik. En takk går også til tidligere professor Asbjørn Hovd som løste oppgaven med å tolke Statens vegvesens gamle prosjekterings blanketter. Til slutt vil jeg takke kjernefamilien for at de har heiet på meg gjennom 18 år på skolebenken.

Sammendrag

Skred i strandsonen har fått økt fokus på grunn av flere skredhendelser knyttet til menneskelig aktivitet i disse områdene. Bare noen ti-år tilbake hadde man meget begrenset kunnskap om slike skred og mekanismene som ligger bak. I begynnelsen av 2000-tallet fikk man muligheten til å skanne sjøbunn med multistråle-ekkolodd. Avanserte dataprogrammer gjør det også lettere og mer nøyaktig å regne på stabilitet, enten under prosjektering eller for å tilbakeregne tidligere skred.

I strandsonen er det ikke uvanlig å finne kvikkleire i Norge. Dette er et sensitivt materiale, som kan miste betydelig skjærstyrke etter brudd. For slike materialer kan bruddet utvikle seg suksessivt etter flyt ved et lokalt område. Dersom det benyttes en modell med lineært elastisk perfekt plastisk materialoppførsel på et material som gjennomgår strain-softening kan beregningen gi en kunstig høy sikkerhet. Sikkerheten bør da skaleres ned med en faktor for å bli representativ.

En alvorlig skredhendelse rammet bygda Indre Sokkelvik i Nordreisa kommune den 7. mai 1959. I 20-tiden på kvelden gikk 4 av husene i vika på sjøen og store deler av den opprinnelige strandsonen forsvant ned i fjorden. Det var 9 personer som omkom i hendelsen. Indre og Ytre Sokkelvik ble evakuert, og innbyggerne fikk aldri flytte tilbake.

I 1960 kom en rapport fra hendelsen. Her ble skredets utvikling forklart, men en entydig årsak til skredets opprinnelse ble ikke fastsatt. Siden den gang har mye innen geoteknikk endret seg, og batymetridata fra området samt ny informasjon om omfattende veiarbeid har gjort det mulig å vurdere skredet igjen.

Av de destabiliserende faktorene man kan trekke frem og har fått kunnskap om i ettertid er:

- Veibygging og fylling
- Uvanlig mye nedbør
- Svakhetssoner, oppsprukket berg i flere forkastninger
- Erosjon fra bekker og havstrømmer

Disse faktorene er analysert opp mot skredhendelsen. Det er funnet at lavest stabilitet er helt nord i Indre Sokkelvik. I dette området ble en veifylling lagt ut omtrent et år før skredet gikk. Denne ble for første gang utsatt for ekstremnedbør kvelden 07.05.59. Nedbøren som kom har økt poreovertrykket i grunnen og redusert effektivspenningene, som videre har ført

til at skråningen ikke tålte vekten av fyllingen. Skråningen ved veifyllingen gled først ut i et translationalt skred. Så gikk resten av vika retrogressivt. Hendelsen skjedde meget hurtig fordi de tykke lagene av kvikkleire i vika blir flytende og mister betydelig skjærstyrke.

Profiler fra Indre Sokkelvik viser at drenerte stabilitetsberegninger med hydrostatisk poretrykksfordeling gir tilfredsstillende sikkerhet mot utglidning, med Mohr-Coulomb materialmodell. Udrenerte beregninger gir marginal sikkerhet. Modellen som er brukt til beregninger er basert på mange antagelser, og sikkerheten mot utglidning er i stor grad påvirket av leirlagets dybde og utbredelse. For drenerte beregninger synker sikkerhetsfaktoren ved å øke poretrykket. Størrelsen av poreovertrykket som fører til at stabiliteten blir kritisk er avhengig av hvor i skråningen poreovertrykket oppstår.

60 år etter skredet i Indre Sokkelvik gikk et tilsvarende skred 3 km lengre syd, i Sørkjosen. Etter noen timer med intenst nedbør forsvant deler av en nylig utfylt molo ned i fjorden. Dette skredet tok foten til massene som lå langs fjellsidene under fjorden slik at disse også raste ut. Disse to skredhendelsene har oppstått under relativt like forhold. Noen av de innvirkende faktorene er gjengitt i tabellen under.

	Dato	Volum (*10 ⁶ m ³)	Trigger/Forhold
Sørkjosen	10.05.2015	1,1-1,4	<ul style="list-style-type: none"> • Utfylling og veiarbeid • Initialskred • Lavvann • Poreovertrykk (10kPa) • Nedbør (24,9 mm)
Indre Sokkelvik	07.05.1959	2-3	<ul style="list-style-type: none"> • Utfylling og veiarbeid • Initialskred • Nippfjære • Poreovertrykk (ukjent størrelse) • Kvikkleire (store forekomster, meget sensitiv) • Nedbør (46,7mm)

Summary

Slides along the shoreline has been and is today a problem because of human activity in these areas. Only decades ago we had very limited understanding about the mechanisms behind submarine landslides. In the beginning of the 21-century multibeam sonar made it possible to get high resolution images of the seafloor terrain. Advanced computer software makes it easier and can also sometimes give more accurate results for calculating stability.

Quick clay is commonly found in certain areas of the shoreline in Norway. This is a sensitive material, and may loose significant shear strength after failure. A local disturbance can trigger the failure to evolve successively. Using conventional material models with a linear-elastic perfectly-plastic behavior on materials that undergoes strain-softening can give higher shear strength than the occurring one. To obtain a representative factor of safety it should therefore be scaled down.

On May 7th 1959 a severe landslide occurred by the shoreline in the small village Indre Sokkelvik in Nordreisa kommune. Around eight o'clock in the evening four houses slid out into the sea and large areas of the original seashore disappeared in the fjord. 9 people where killed in the incident. After the landslide Indre and Ytre Sokkelvik was evacuated, and the habitants never moved back.

A report on the incident was published in 1960. In this report the development of the landslide was explained, but a clear cause of the landslide was not found. Since the 1960's a lot has changed in geotechnics, and high resolution bathymetry data from the area as well as new information about a large fill by the shore has made it interesting to analyze the slide again.

The following destabilizing factors occurred the night of the slide:

- Road works and filling
- Heavy precipitation
- Faults with highly fractured rock
- Erosion from streamlet and ocean currents

These factors are analyzed in relation to the landslide in Indre Sokkelvik. The lowest stability is found north in Indre Sokkelvik. This is the area where the fill was placed about a year before the landslide occurred. The night of May 7th was the first time the fill was exposed

to heavy precipitation. The rain caused increased porepressures in the ground which lead to reduced effective stresses. The slope is then failing by the weight of the fill. This situation triggered retrogressive slides further back. The entire slide propagates fast due to the fact that the thick layer of sensitive clay liquefies after it has been remoulded.

Drained analyses with hydrostatic porepressure distribution on profiles from Indre Sokkelvik give a satisfactory safety against sliding, using Mohr Coulomb. Undrained analysis on the same profiles gives marginal safety. The model used for calculations is based on several assumptions. The factor of safety is highly influenced by the depth and continuity of the clay layer. The magnitude of the excess porepressure is dependent on where the pressure is located.

60 years after the submarine landslide in Indre Sokkelvik an equivalent event just 3 km further south occurs in Sørkjosen. Only a couple of hours after heavy precipitation a recently expanded mole disappeared into the sea. The erosion from this event removed the toe of the affected slopes, and this caused retrogressive slides along the fjord-walls. The slide event in Indre Sokkelvik and in Sørkjosen occurred under relatively similar conditions. Some of the destabilizing factors are given in the table below:

	Date	Volume (*10 ⁶ m ³)	Triggers/Conditions
Sørkjosen	10.05.2015	1,1-1,4	<ul style="list-style-type: none"> • Filling and roadworks • Initial slide • Low tide • Excess porepressure (10kPa) • Precipitation (24,9 mm)
Indre Sokkelvik	07.05.1959	2-3	<ul style="list-style-type: none"> • Filling and roadworks • Initial slide • Neap tide • Excess porepressure (unknown) • Precipitation (46,7 mm) • Quick clay (large deposits, very sensitive)

Innholdsfortegnelse

Kapittel 1	2
Introduksjon.....	2
1.1 Bakgrunn.....	2
Problemstilling.....	3
Studie.....	3
Kapittel 2	6
Skred i strandsonen	6
2.1 Undersjøisk skred.....	6
2.1.1 Kvikkleire i strandsonen.....	6
2.1.2 Skredmorfologi.....	7
2.2 Geologisk utvikling og geomorfologi: Fjord-delta	9
2.3 Skredmekanisme.....	11
2.4 Faktorer for stabilitet.....	15
2.4.1 Svake lag	16
2.4.2 Leirlag	16
2.4.3 Sand- og gruslag	17
2.4.4 Poretrykk	18
2.4.5 Noen skred i strandsonen i Norge	21
2.5 Skråningsstabilitet.....	22
Kapittel 3	26
Indre Sokkelvik.....	26
3.1 Geologisk setting.....	26
3.2 Triggere og forhåndsbestemte faktorer	28
3.2.1 Svakhetssoner.....	28
3.2.2 Vær og sjø.....	30
3.2.3 Svake lag/glideplan	33
3.2.4 Erosjon	35
3.2.5 Fyllingen på Bertelneset.....	37
3.3 Geotekniske parametere.....	41

3.4	<i>Beregninger:</i>	43
3.4.1	<i>Parametere</i>	43
3.4.2	<i>Geometri for profiler</i>	44
3.4.3	<i>Profil: S01 (lokalt)</i>	47
3.4.4	<i>Profil: S01 (globalt)</i>	52
3.4.5	<i>Profil S04</i>	54
3.4.6	<i>Profil: 2 Ytre Sokkelvik</i>	55
3.5	<i>Sjøbunnsanalyse etter skredet</i>	57
3.6	<i>Sammendrag fra Sørkjosen, 10.05.2015</i>	62
Kapittel 4	64
	Diskusjon	64
Kapittel 5	68
	Konklusjon	68
	<i>Videre arbeid</i>	69
	Referanser	70
	Vedlegg 1	74
	Vedlegg 2	82
	Vedlegg 3	84
	Vedlegg 4	88

Figurliste:

Figur 1 Storegga: Gigantisk skred på norsk kontinentalsokkel. (Kvalstad et al., 2005)	6
Figur 2 Prinsippskisse, snitt (Aunaas et al., 2016)	8
Figur 3 Prinsippskisse, overflate. (Edgers and Karlsrud, 1982)	8
Figur 4 Prinsippskisse innfylling under og etter sist istid. Figur basert på illustrasjon av Geoffrey Corner. (Corner, 2006).	9
Figur 5 Generell modell, snitt av fjord-delta. Lignende figur i NIFS rapport (L'Heureux et al., 2012a)	10
Figur 6 Profil og oversiktsbilde av retrogressivt skred. Venstre:(Andresen and Bjerrum, 1967) Høyre: (Karlsrud et al., 1985).....	11
Figur 7 Seismisk profil og batymetribilde fra Storegga skredet viser retrogressiv utvikling.(Kvalstad et al., 2005).....	12
Figur 8 Fastheten i sprøbruddsmaterialet endrer seg under pålastning. Utover maksimal fasthet mister materialet betydelig fasthet. (Schanche and Haugen, 2014)	12
Figur 9 Øverst er utviklingen av et bakoverrettet progressivt brudd. Nederst fremoverrettet progressiv utvikling.(Schanche and Haugen, 2014)	13
Figur 10 Effekt av sprøbruddsoppførsel. Samme bruddlast når maksimal fasthet reduseres med 20 % for perfekt plastisk analyse. (Fornes, 2014)	14
Figur 11 Et generelt delta snitt. Leirlagene har lavere styrke og danner fokus for brudd.(L'Heureux and Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet Institutt for bygg, 2009)	17
Figur 12 Eksempel på hvordan poreovertrykket kan øke med dybden og redusere effektivspenningene. (Talling et al., 2014)	18
Figur 13 Poreovertrykk i strandsonen. (Masson et al., 2010).....	19
Figur 14 Skjematisk illustrasjon av de ulike faktorene som kan påvirke skråningsstabiliteten. (L'Heureux et al., 2012b).....	20
Figur 15 Krefter som virker på et jordelement i skråningen.	22
Figur 16 Bæreevne på su-basis, bruddmønster.....	23
Figur 17 Vilkårleg punkt under en jevnt fordelt last.....	23
Figur 18 Første flyt oppstår i en halvsirkel.	24
Figur 19 Satellittbilde, Sokkelvik.(http://www.norgebilder.no)	26
Figur 20 Løsmassekart, Indre Sokkelvik og området rundt. (http://geo.ngu.no/kart/losmasse/).....	27
Figur 21 En generell fremstilling av geologisk avsetning i Reisafjorden. (Nordal et al., 2016).....	27
Figur 22 Oversikt svakhetssoner (A, B, C, D).	29
Figur 23 Nedbør 24 mm i Nordreisa i perioden 1896-2016. Kilde www.eklima.met.no	30
Figur 24 Nedslagsfelt for Indre Sokkelvik. (http://gis3.nve.no/link/?link=hydrologiskedata)	31

Figur 25 Beregnet tidevannsnivå for 20.april-20.mai 1959. Referansenivå: Middelvann. (http://www.kartverket.no/sehavniva/ 05.03.2016).....	32
Figur 26 Profiler fra Ytre Sokkelvik. Basert på resultater fra dreievekstsondering og prøvetaking, se Vedlegg 1.	33
Figur 27 Havstrøm inn mot Ytre Sokkelvik, tykke leiravsetninger nord i vika.	34
Figur 28 Erosjon fra bekker og bølger. (http://www.norgebilder.no/).....	35
Figur 29 Prosjektert Riksvei 1939. Strekning Jubelen-Langsett.	37
Figur 30 Tidligere strandlinje, skredkant og plassering av vei gjennom Sokkelvik. E6 er i dag gamle Riksveg 50.	37
Figur 31 Bertelneset. Fyllingen slik det er i dag. (foto: 21.04.2016)	38
Figur 32 Bertelneset. Slik det antagelig så ut før raset i 1959.....	38
Figur 33 Snitt fra fyllingen. Snittet som er inkludert i beregningene er fylling 3. (Vedlegg 3).....	39
Figur 34 Opptegnet profil etter skredet, fra nord i Indre Sokkelvik.	40
Figur 35 Indre Sokkelvik før skred. (http://digitaltmuseum.no/)	41
Figur 36 Skjerm bilde fra video på NRK.(http://www.nrk.no/troms/56-ar-siden-rastragedien-i-sokkelvik-1.12353680 10.03.2016) Helning er funnet ved hjelp av høydekoter på norgeskart.no.....	44
Figur 37 Profiler brukt til beregning. Profiler. S01, S04 og S1, S4 er samme profil, bare før og etter skred.	44
Figur 38 Profiler fra Bertelneset. Høyde over havet er basert på høydedata fra www.norgeskart.no	45
Figur 39 Profil fra midten av Indre Sokkelvik.	46
Figur 40 Dimensjon av modell.....	47
Figur 41 Elementinndeling i modell.....	47
Figur 42 Bruddmekanisme før og etter fylling. $S_u=20\text{kPa}$	48
Figur 43 Bruddmekanisme for drenerte beregninger, med og uten fylling. Hydrostatisk. Profil S01. .	48
Figur 44 Drenert beregning med gradvis økende poreovertrykk. Profil S01.	49
Figur 45 Hydrostatisk og poreovertrykk for snitt a-a*.	50
Figur 46 Øvre lag har høyt poreovertrykk på 19kPa.....	51
Figur 47 Nedre lag har poreovertrykk på 58 kPa.	51
Figur 48 Profil S01(globalt).	52
Figur 49 Elementinndeling Profil S01 (globalt).....	52
Figur 50 Bruddmekanisme for udrenert analyse. $s_u = 20\text{ kPa}$	53
Figur 51 Bruddmekanisme drenert analyse. Med og uten fylling.	53
Figur 52 Profil S04.	54
Figur 53 Bruddmekanisme for $s_u=20\text{ kPa}$	54
Figur 54 Profil 2, Ytre Sokkelvik.	55
Figur 55 Udrenert beregning med $s_u=20\text{ kPa}$	55
Figur 56 Bruddmekanisme for drenerte beregninger.	56

Figur 57 Batymetriefoto, Indre- og Ytre Sokkelvik.....	57
Figur 58 Skredmassenes utløpssone.....	58
Figur 59 Eldre skred i Ytre Sokkelvik.....	59
Figur 60 Eldre skred i Ytre Sokkelvik, snitt y-y*.....	59
Figur 61 Dybde av skredhendelser i Ytre Sokkelvik.....	60
Figur 62 To små bekker renner ut nord i Ytre Sokkelvik. (www.norgebilder.no).....	60
Figur 63 Skredets utvikling.....	61
Figur 64 Satellittbilde (http://www.norgebilder.no).....	62
Figur 65 Profil 31 fra Sørkjosen, viser også moloutfylling.....	63
Figur 66 Først går initialskredet ved moloen i Sørkjosen. Deretter går sekundærskredet langs sideveggene.(Nordal et al., 2016).....	63

Tabelliste:

Tabell 1 Oversikt over ulike destabiliserende faktorer for skred. (Masson et al., 2010, Eilertsen et al., 2012, Høeg et al., 2014).....	15
Tabell 2 Oversikt over noen norske skred som har gått i strandsonen. H=Høst, S=Sommer, V=Vår. .	21
Tabell 3 Jordparametere for topplag og kvikkleire.	42
Tabell 4 Geotekniske parametere brukt til beregning i Plaxis.....	43
Tabell 5 Resultater fra udrenerte beregninger. Profil S01.....	48
Tabell 6 Resultater fra drenerte beregninger. Profil S01 (lokalt).....	48
Tabell 7 Resultater fra beregninger Profil S01. (globalt).....	52
Tabell 8 Resultater beregninger Profil S04.	54
Tabell 9 Resultater: beregninger Ytre Sokeklvik.	55

Kapittel 1

Introduksjon

1.1 Bakgrunn

Denne masteroppgaven tar for seg et undersjøisk skred som gikk i Nordreisa i 1959. Skredet gikk ved den lille grenda i Indre Sokkelvik. Bebygde arealer i strandsonen forsvant på sjøen og ni mennesker omkom i hendelsen. Skredårsak har aldri blitt skikkelig utredet.

Skred kan oppstå under vann så vel som på land. Det har gått flere undersjøiske skred i Norge. Noen er veldig godt undersøkt og andre vet man derimot lite om. Før man fikk teknologien til å skanne store arealer av sjøbunnen, visste man lite om form og størrelse til undersjøiske skred. Da baserte man seg på utsagn fra øyevitner, begrenset data fra enkeltstråleekkolodding og enkle geotekniske grunnundersøkelser. (Bornhold et al., 2011) Først rundt år 2000 begynte man med multistråleekkolodding av sjøbunn.

Selv om man vet mer i dag enn man gjorde før, kan det være lettere å forstå hvordan et undersjøiskskred har oppført seg enn å forstå hvorfor det oppsto. Under tolkning må man ofte basere seg på antagelser som kan være vanskelig å teste i praksis. Sedimentasjonsprosessen, ytre påvirkninger (utvasking, erosjon, bølger osv.) og eldre skred kan gjøre stratigrafien kompleks. Poretrykksforholdene kan også være meget varierende. Man trenger derfor rikelig med grunnundersøkelser og laboratorietester fra slike områder. Det kan være kritisk å anta generelle forhold.

Denne masteroppgaven er en fortsettelse på prosjektoppgaven som ble skrevet høsten 2015. (Austefjord, 2015) Den omhandler et undersjøisk skred i Sørkjosen i Nordreisa som gikk 10.05.2015. Denne oppgaven ser på hvilke faktorer som ble årsaken til at skredet i Indre Sokkelvik (07.05.1959) gikk, og sammenligner skredhendelsene.

I 1959 konkluderte man med at skredet i Indre Sokkelvik gikk i en naturlig skråning. Av ytre påvirkninger som kunne bidra til skredets utløsning var lavvann, nedbørsmengde og veibygging nevnt. Disse ble ikke sett på som medvirkende årsaker til skredet da de representerte en meget liten økning av skjærspenninger langs glideflaten. Stor usikkerhet var

den gang rettet til skredet som oppsto et par år før 7.mai og hvorvidt man kunne betegne dette som et initialscred til hendelsen 3-4 år senere. Skredutviklingen den gang ble ikke sett på som retrogressiv. Det meste av skredet ble antatt å være en samlet utglidning som oppsto etter et initialscred i den nordlige del av Indre Sokkelvik. (Bjerrum and Eide, 1960b)

Problemstilling

Årsaken til skredet i Indre Sokkelvik har vært et mysterium. Drenerte beregninger fra 1959 har gitt høye sikkerhetsfaktorer for utglidning. Kan man i dag, nesten 60 år etter hendelsen konkludere med en årsak til skredet?

Utfylling i nærheten av strandsonen knyttet til veibygging i forkant av skredhendelsen har vist seg å være mer omfattende enn tidligere antatt. Hva hadde denne utfyllingen å si for stabiliteten i området? Eventuelt hvilke andre faktorer kan være medvirkende for utløsning av skredet.

Hvordan kan skredet i Sokkelvik 1959 sammenlignes med skredet som gikk i Sørkjosen 2015?

Studie

Teoridelen i begynnelsen av rapporten baserer seg på både gamle og nyere artikler. Ny forskning på progressive skred i kvikkleire er også tatt med.

I Indre Sokkelvik finner man store forekomster av kvikkleire, og skredet som gikk var et kvikkleirescred. Derfor inneholder denne rapporten også de mekanismene som oppstår ved brudd i sensitivt materiale.

Konklusjoner funnet i dette arbeidet bygger på stabilitetsberegninger, batymetri, tolkning av grunnundersøkelser, satellittbilder, bilder, hydrometeorologiske data, befaringsinformasjon funnet på Statsarkivet Tromsø og Interkommunalt arkiv Troms. Der hvor grunnundersøkelsene er manglende er rimelige antagelser gjort for å komme i mål.

Til beregningene er elementmetodeprogrammet Plaxis 2D brukt for å sjekke stabilitet av ulike skråninger i Indre Sokkelvik mot utglidning. Batymetri er behandlet i programmet ArcGIS og ArcScene. Dataene er fremstilt i 2D og 3D. Batymetribildene tilhører NGU.

Min befaring i Sokkelvik ble utført 21.04.16. Statens vegvesen bisto med båt og GPS. Det ble foretatt høydemålinger av gjenværende fylling nord i Indre Sokkelvik.

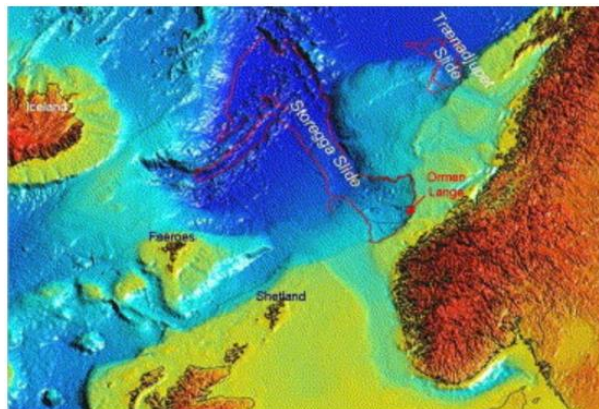
To dager (19-20.04) ble brukt på å finne informasjon om Sokkelvikveien på Statsarkivet i Tromsø og hos Interkommunalt arkiv i Troms. Relevant funn på arkivet var blant annet blanketter fra den prosjekterte veien gjennom Sokeklvik, samt akkordprotokoller med datoer over når noe av arbeidet i Indre Sokkelvik ble utført.

Kapittel 2

Skred i strandsonen

2.1 Undersjøisk skred

Undersjøisk skred er en mekanisme hvor sedimenter raser ut og legger seg i dypere havområder. De undersjøiske skredene oppfører seg noe annerledes enn skred som går på land. Skred under vann har blant annet vist seg å være mer transportable tross viskøs motstand og redusert tyngdekraft. Utløpslengden til undersjøiske skred kan nå opp til flere hundre kilometer. Volumet til et gjennomsnittlig undersjøisk skred pleier også å være større enn for et gjennomsnittlig skred på land. (Elverhøi et al., 2002) Det største kjente undersjøiske skredet er Storegga skredet. Skredet oppsto på den norske kontinentalsokkel, skråningshelningen var under 1°. Utraste masser er beregnet til å være 6000 km³. (Kvalstad et al., 2005)



Figur 1 Storegga: Gigantisk skred på norsk kontinentalsokkel. (Kvalstad et al., 2005)

2.1.1 Kvikkleire i strandsonen

Undersjøiske skred i strandsonen er i dag en reell problemstilling på grunn av menneskelig aktivitet i slike områder. Strandsonen definert i sammenheng med skred og naturfare er de land- og sjøområder langs kysten som kan påvirkes av løsmasseskred. Særlig på Østlandet, i Trøndelag og Nord-Norge finner man forekomster av kvikkleire langs

strandsonen. (L'Heureux et al., 2012a) Denne leira er betegnet som et sprøbruddsmateriale og vil miste betydelig styrke etter brudd, mer om dette i kapittel 2.3.

Leiravsetningene i strandsonen ble avsatt i sjøen under og etter siste istid. Etter istiden førte landhevingen til en senkning av relativ havnivå. Marin leire som ble liggende i strandsonen kunne da bli utsatt for gjennomstrømning av ferskvann. Etter langvarig gjennomstrømning vil saltionene i leira vaskes ut, og slik dannes kvikkleire. Områder med bratte fjellsider ned til strandsonen kan øke grunnvannsgjennomstrømningen slik at kvikkleire kan dannes flere ti-talls meter ute i sjøen. (L'Heureux et al., 2012a) Skred som går i områder med stor utbredelse av kvikkleire kan bli katastrofale.

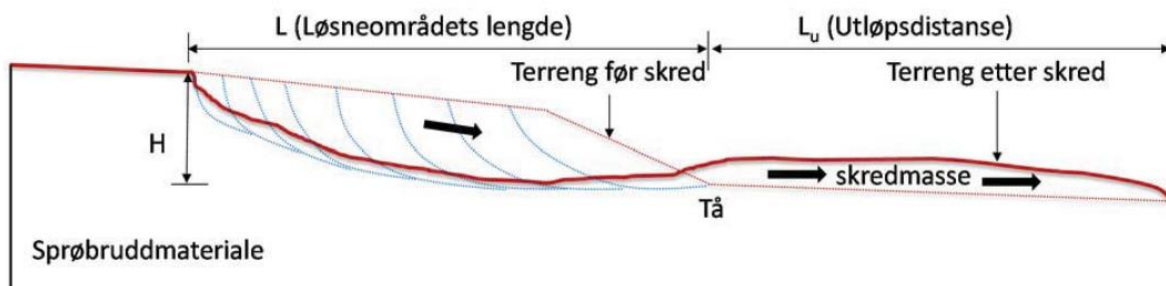
Et stort antall kvikkleireskred i strandsonen har vært en sekundæreffekt av et initialscred utløst i bratte skråninger lengre ute i sjøen. (L'Heureux et al., 2014b)

2.1.2 Skredmorfologi

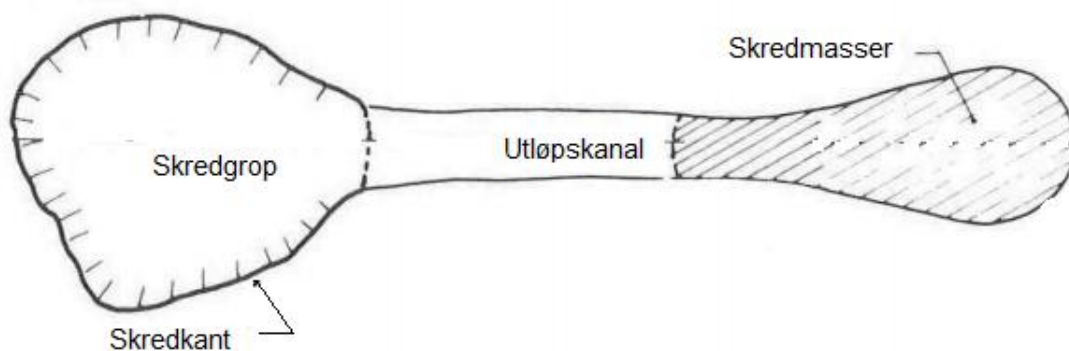
Den morfologien som er typisk etter en skredhendelse består ofte av tre karakteristiske formasjoner, skredgrop, utløpskanal og avsetningsområde. (Hampton et al., 1996) Disse formasjonene kan sees når man foretar mulitstråleekkolodding og seismiske målinger. For et progressivt skred er skredgropen det stedet hvor utglidningen startet. Skredgropen til et retrogressivt skred vil være siste utgliding før skredet innstiller seg i ny likevekt. Mer om progressive og retrogressive skred i delkapittel 2.2. Den første utglidningen vil ofte bli begravd av den påfølgende skredhendelsen og vises derfor ikke på batymetri.

I fjordene er sedimentene avsatt lagvis og skred i slike områder vil ofte følge spesifikke lag. Lagdelingen og svake lag hvor bruddet har oppstått kan oppdages på seismiske data. (L'Heureux, 2013)

Når skredmassene har lagt seg til ro vil man ofte se store teksturer og formasjoner av uttraste masser ved foten av skråningen eller lengre nede i dalbunnen. Formasjonen etter en skredhendelse kan gi opplysninger på hvordan og hvorfor skredet ble utløst. (Bernander and Luleå tekniska, 2011)



Figur 2 Prinsippskisse, snitt (Aunaas et al., 2016)



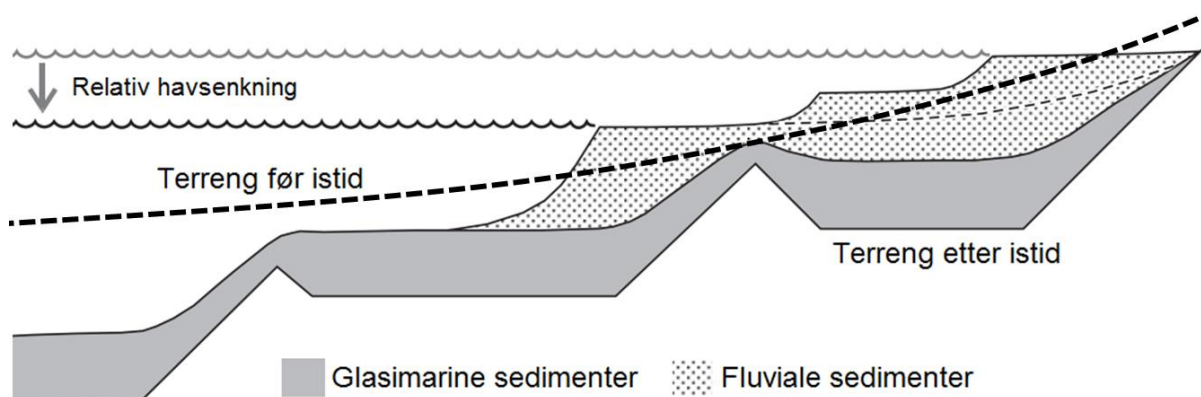
Figur 3 Prinsippskisse, overflate. (Edgers and Karlsrud, 1982)

Det finnes flere typer undersjøiske skred. Noen kan oppstå på veldig slake helninger langt ute i havet, som Storegga, andre i marbakker ved strandsonen. Sokkelvik skredet oppsto i strandsonen langs Reisafjorden. Det er slike typer skred som vil bli diskutert og fokusert på videre.

2.2 Geologisk utvikling og geomorfologi: Fjord-delta

Den geologiske utviklingen i et område har mye å si for hvilke forutsetninger som ligger til grunn for potensielle skred. (L'Heureux and Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet Institutt for bygg, 2009) Geologiske prosesser foregår på tidsskalaer fra titalls til flere tusen år. Geologisk historie er en forhåndsbetinget faktor for skråningsstabilitet. Den setter grunnlaget for om stabiliteten er god eller dårlig. (Masson et al., 2006) Dagens eksisterende forhold bestemmes av havbunnens formasjon, når og hvor man har og har hatt sedimenttilførsel og relativ havnivåendring. (Conor 2006)

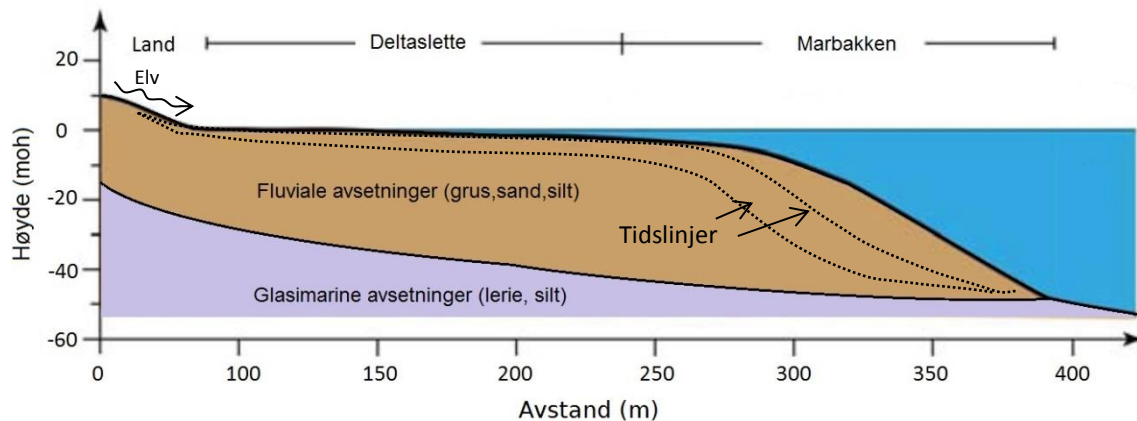
Fjordene i Norge er hovedsakelig formet under og etter sist istid. Der hvor dalbunnen har erodert under havnivå har havet trengt inn i dalen. Slik er fjordene dannet. Innerst i fjorden finner man ofte et delta. (Hampton et al., 1996) Deltaer er karakteristiske geologiske formasjoner som dannes der en elv munner ut i en innsjø eller ut i havet. Så lenge elva fører med seg vann former den deltaet. Deltaet kalles da aktivt. Sedimenter som kommer med elva blir avsatt på deltasletten og ved marbakken. Denne avsetningen fører til at deltasletten stiger og marbakken vokser utover. (Slatt, 2006) Sedimentasjonsraten avgjør hvor raskt et delta vokser. I Norge vokser deltaene raskest om våren, da vannføringen i elva ofte er størst. (Eilertsen et al., 2012)



Figur 4 Prinsippskisse innfylling under og etter sist istid. Figur basert på illustrasjon av Geoffrey Corner. (Corner, 2006).

Sedimentene som kommer med elva vil bli avsatt i hele fjorden. Hovedavsetningen skjer ved deltaet. De norske deltaene har generelt en lik stratigrafisk oppbygging. Øverst på deltasletten har de et topplag som består av elvas avsetninger, et sandig til grusig materiale. Sletten faser ut ved starten av en bratt skråning eller marbakke som hovedsakelig består av sand. Bunnlaget eller prodeltaet begynner hvor helningen på marbakken avtar. Dette består generelt av et sandig-leirig materiale, som ble avsatt under og etter sist istid. (Bornhold et al., 2011)

Deltasletten blir krysset av elvas hovedkanal som også kan forgrene seg til smalere kanaler. Sletten vil vokse utover ettersom sedimenter blir avsatt foran marbakken. (Corner, 2006) Lagdelingen i deltaet blir skråstilt mellom horisontale topp og bunnlag. Figur 5 viser et generelt snitt som viser oppbyggingen av et delta. Tidslinjene illustrer tidligere sjøbunn.



Figur 5 Generell modell, snitt av fjord-delta. Lignende figur i NIFS rapport (L'Heureux et al., 2012a)

I Norge får deltaene ofte uregelmessige former ettersom dalsidene er for trange til at den normale trekantviften får utviklet seg. Fjordene har en U-form og ofte bratte fjellsider. De finere partiklene som ikke blir avsatt ved deltaet vil følge havstrømmen og bli avsatt på sideveggene og i vikene langs fjorden. Disse avsetningene kan i noen tilfeller være veldig ustabile da de avsattes på bratte fjellsider. (Corner, 2006)

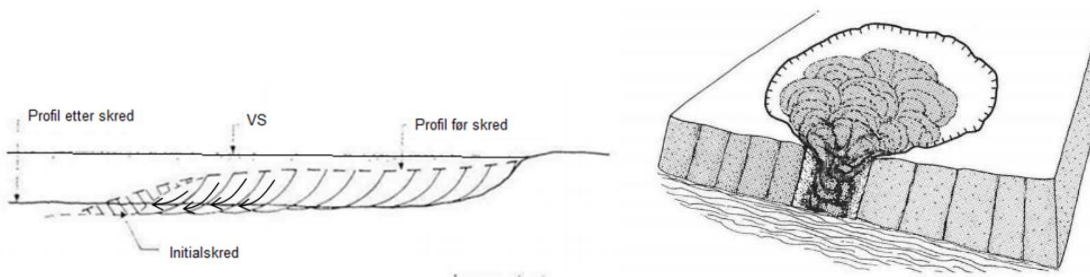
Forekomster av kvikkleire finner man ved norske deltaer i dag, men man har ofte grovere deltamasser over som gir et falskt inntrykk av grunnforholdene. (L'Heureux et al., 2012a). Det er derfor veldig viktig at det gjøres nok grunnundersøkelser i slike områder.

2.3 Skredmekanisme

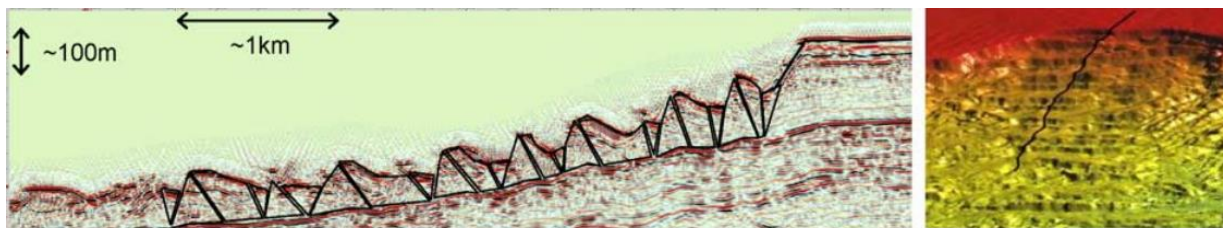
Et skred oppstår når spenningene langs en kritisk flate i skråningen (drivende krefter) overstiger skjærstyrken (stabiliserende krefter) til materialet. Utglidning kan oppstå langs en eller flere konkave til plane bruddflater. (Hampton et al., 1996) Styrken til jorda kan beregnes som drenert eller udrenert. For å finne ut hvor godt jorden tåler den påkjenningen den blir utsatt for beregnes en materialfaktor. Så lenge denne faktoren er over 1 vil skråningen være stabil. (Emdal et al., 2013)

$$\gamma_m = \frac{\text{Stabiliserende krefter}}{\text{Drivende krefter}} = \frac{\tau_f}{\bar{\tau}}$$

Et skred kan utvikle seg progressivt eller retrogressivt. Retrogressive skred glir ut i en serie av skalker. Initialskredet fører til at massene bak får redusert eller helt fraværende støtte, og skredet griper bakover. Denne prosessen kan føre til at hele skråningen løses opp og skalker sprekker ut i forskjellige tidsrom. Dersom et slikt skred oppstår i et sprøbruddsmateriale vil det typisk etterlate seg en pæreformet skredgrop. (Schanche and Haugen, 2014) Dersom skredmassene ikke blir flytende vil skredoverflaten i etterkant ha en sag-mønstret overflate. (Bernander and Luleå tekniska, 2011)

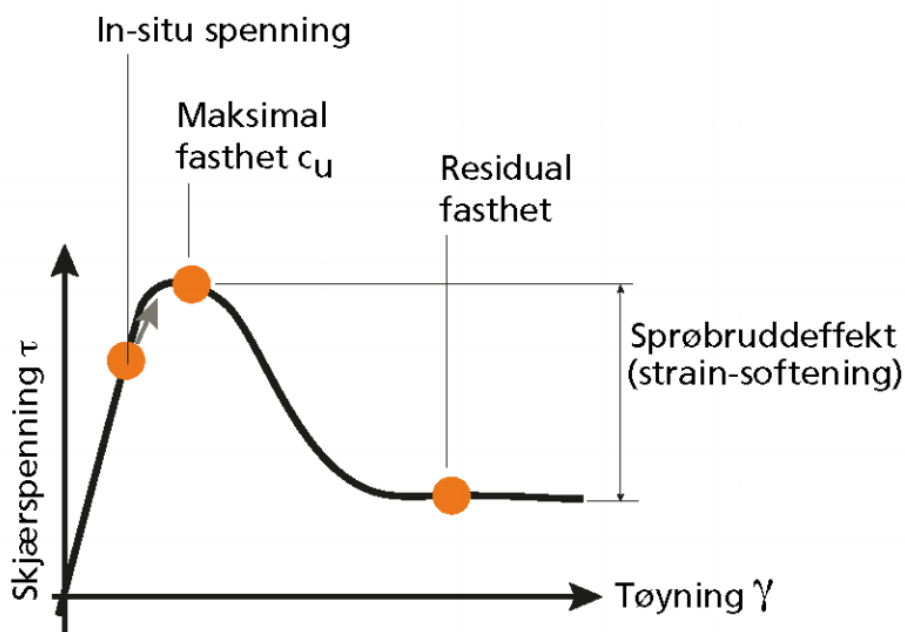


Figur 6 Profil og oversiktsbilde av retrogressivt skred. Venstre: (Andresen and Bjerrum, 1967) Høyre: (Karlsruh et al., 1985)



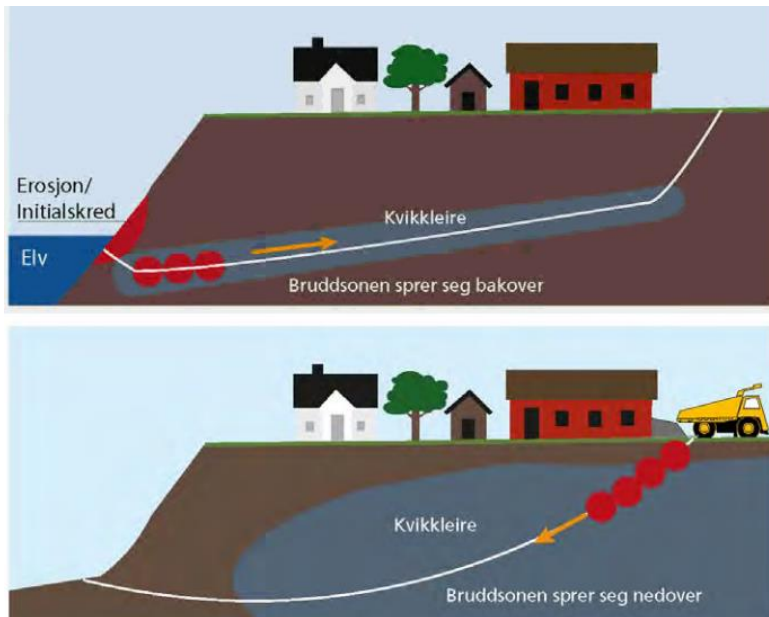
Figur 7 Seismisk profil og batymetribilde fra Storegga skredet viser retrogressiv utvikling. (Kvalstad et al., 2005)

Under en progressiv bruddutvikling vil bruddet i jordmaterialet utvikle seg suksessivt langs et glideplan og føre til en samlet utglidning av massene. I et sprøbruddsmateriale vil tøyninger utover maksimal fasthet føre til en varig reduksjon av fasthet (strain-softening). Dette kan medføre fare for progressive brudd i slike materialer. (Schanche and Haugen, 2014) Den progressive utviklingen oppstår når overbelastning av et punkt fører til at styrken blir mindre enn det den startet med. Da overføres last til nabopunktet som gjør at det også blir overbelastet og mister fasthet. Lasten overføres til det tredjepunktet osv. Kjedereaksjonen forplanter seg langs bruddsonen og vil resultere i fullt utviklede glideplan. Skredet går samlet når alle punktene langs glideplanet er overbelastet. (Gylland and Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet, 2012)



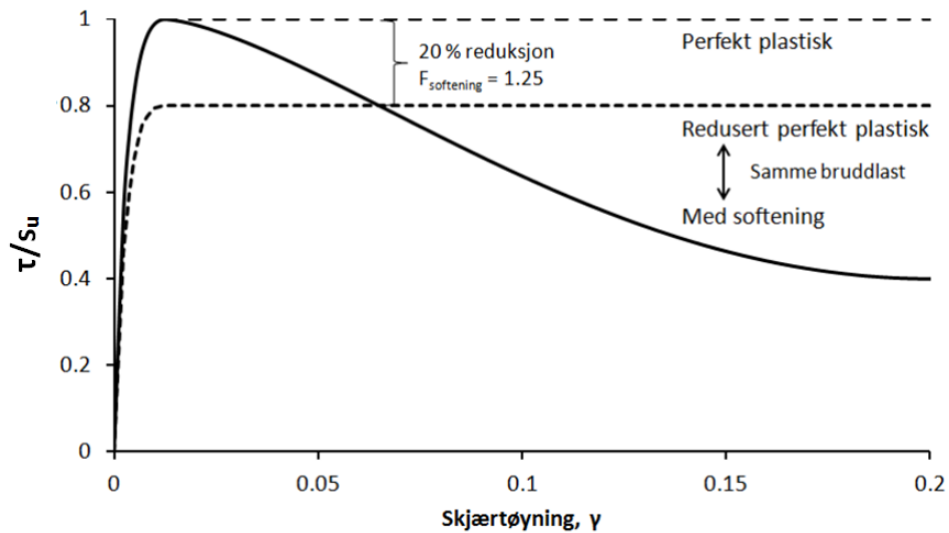
Figur 8 Fastheten i sprøbruddsmaterialet endrer seg under pålastning. Utover maksimal fasthet mister materialet betydelig fasthet. (Schanche and Haugen, 2014)

Fremoverrettet progressive skred er utviklet i bakkant og bruddsonen utvikler seg nedover skråningen. I et bakoverrettet progressivt brudd starter bruddutviklingen i skråningsfoten, og propagerer i motsatt retning av utglidningen. Det svake lagets helning, utbredelse og dybde vil avgjøre om skredet får bakoverrettet progressiv utvikling eller en retrogressiv. (Schanche and Haugen, 2014)



Figur 9 Øverst er utviklingen av et bakoverrettet progressivt brudd. Nederst fremoverrettet progressiv utvikling. (Schanche and Haugen, 2014)

Dersom man foretar analyser med en lineært elastisk perfekt plastisk materialoppførsel på et materiale som egentlig har strain-softening egenskaper vil sikkerheten for utglidning overestimeres. Slike analyser krever derfor høyere sikkerhet ved dimensjonering.



Figur 10 Effekt av sprøbruddsoppførsel. Samme bruddlast når maksimal fasthet reduseres med 20 % for perfekt plastisk analyse. (Fornes, 2014)

Dersom man gjør en analyse med perfekt plastisk materialoppførsel må man redusere styrken med en faktor på 1,25 for å oppnå samme bruddlast som man ville gjort dersom man brukte en materialmodell som tok hensyn til strain-softening.

I grenselikevektsberegninger antar man at alle jordelementene langs skjærflaten samtidig opplever situasjonen som like kritisk, de har altså utnyttet sin styrke i samme grad. Dersom situasjonen blir kritisk vil bruddtilstand oppstå samtidig langs hele skjærflaten. (Emdal et al., 2013)

2.4 Faktorer for stabilitet

For at et skred skal gå må de drivende kreftene bli større enn de stabiliserende. Dette kan enten skje ved at de drivende kreftene øker, eller ved at de stabiliserende kreftene avtar. (se delkapittel 2.3) Ofte er det når flere destabiliserende faktorer inntreffer samtidig at skredet går. Faktorene kan deles inn i forhåndsbestemte faktorer og triggere. Triggere er relativt korte hendelser som kan oppstå av naturlige prosesser eller menneskelige inngrep. (Masson et al., 2010, Masson et al., 2006) Forhåndsbestemte faktorer er relatert til sedimentenes egenskaper som dannes eller utvikler seg etter avsetningen. Dette utgjør den stedlige oppbygningen av den naturlige skråningen. (Masson et al., 2010)

Destabiliserende faktorer		
Forhåndsbestemte faktorer	Naturlige triggere	Menneskeskapte triggere
<ul style="list-style-type: none"> • Tilstedeværelse/ fravær av sedimentlag • Svake lag • Vanninnhold • Poretrykk (relatert til avsetning) • Avsetningsprosesser • Erosjonskanaler • Utvasking • Topografi • Akkumulasjon av gass og gasshydrater • Strømning i skråning 	<ul style="list-style-type: none"> • Jordskjelv • Tidevann • Uværsbølger • Tektoniske bevegelser • Endringer i gass og gasshydrater • Havstrømmer • Erosjon fra bekker • Initialskred (?) 	<ul style="list-style-type: none"> • Bygging og fylling • Sprenging el. trafikk • Endring av elveløp og oppdemming • Endring i dreneringsforhold • Masseutskiftning • Masseuttak • Mudring • Påvirkning av trykk og temperatur

Tabell 1 Oversikt over ulike destabiliserende faktorer for skred. (Masson et al., 2010, Eilertsen et al., 2012, Høeg et al., 2014)

Siden det ofte er flere destabiliserende faktorer som inntreffer samtidig kan det være vanskelig å avgjøre hvilken faktor som startet skredet. Det er fortsatt mye man ikke vet om de forhåndsbestemte faktorene og det er disse man kan ha størst problemer med å få oversikt over når man foretar grunnundersøkelser. (Masson et al., 2010)

Globalt er jordskjelv en av de vanligste årsakene til undersjøiske skred. Denne triggeren blir det ikke fokusert på i denne oppgaven, siden man har generelt lite jordskjelv i Norge. (Elverhøi et al., 2002)

Undersjøiske skred går ofte ved lavvann. Dette fordi da er mottrykket fra vannet inn på skråningen lavest, og strømmingstrykket i løsmassene øker (Andresen and Bjerrum, 1967) De drivende kreftene i jordskråningen er maksimale. Ved lavvann kan gass i sedimenter med organisk materiale ekspandere og føre til brudd. (Talling et al., 2014)

2.4.1 Svake lag

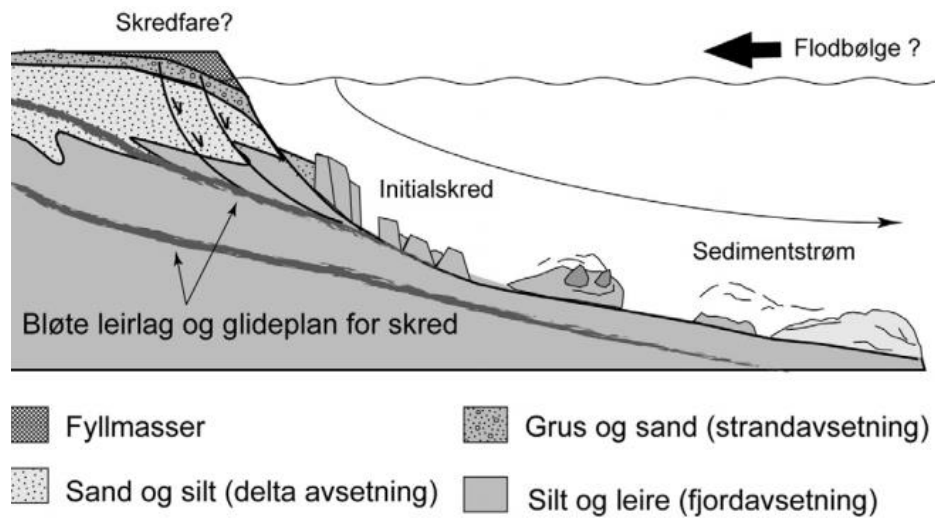
Et svakt lag er et bånd i stratigrafien som består av løsmasser som potensielt kan få eller faktisk har betydelig lavere styrke enn nærliggende løsmasser. Dette laget medfører en strykekontrast i strata. Lagene kan være kontinuerlige over store arealer og følge stratigrafien i området. Under kritiske omstendigheter kan glideflaten til et brudd oppstå her (Locat et al., 2014) Svake lag kan dannes av sedimenterings-, geotekniske og geokjemiske prosesser. (L'Heureux and Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet Institutt for bygg, 2009) Geotekniske undersøkelser kombinert med høyoppløselig batymetri og data fra seismiske refleksjoner er de beste metodene for å identifisere svake lag.

2.4.2 Leirlag

Studier har vist at enkelte store undersjøiske skred i fjordomgivelser har oppstått i nærheten av eller langsmed svake leirelag. Disse leirelagene har vanligvis blitt dannet av hurtige endringer i omgivelsene. Enten under en kort periode med unormalt rask sedimentering, (Locat et al., 2014) eller så kan de ha oppstått i etterkant av en hendelse som har ført til rask avsetning av masser; tidligere skred, jordskjelv, flom eller storm. (Hansen et al., 2011) I tykke avsetninger av leire kan man finne lag av kvikkleire, og dersom bruddet går her vil skredet bevege seg hurtig. Lag av kvikkleire kan man finne i sidevegger langs fjorden og ved marbakken i et delta. (Locat et al., 2014) Disse lagene kan være veldig vanskelig å oppdage ettersom de kan være tynne. Lagene kan oppdages på seismisk refleksjon og på CPTU.

I Trondheimsfjorden er det funnet kontinuerlige lag med kvikkleire som har blitt dannet av sedimentstrømmen til tidligere skred. Disse lagene har høyere vanninnhold og sensitivitet, er mer plastiske og har lavere skjærstyrke enn de omliggende sedimentene. Av de

skredene som har gått i Trondheimsfjorden er flere funnet til å ha gått langs svake leirlag. (L'Heureux and Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet Institutt for bygg, 2009)



Figur 11 Et generelt delta snitt. Leirlagene har lavere styrke og danner fokus for brudd. (L'Heureux and Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet Institutt for bygg, 2009)

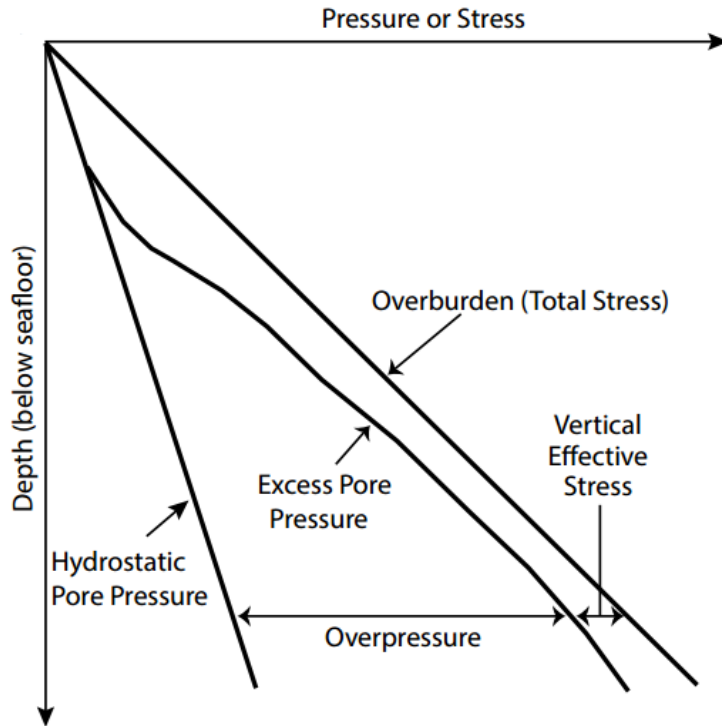
2.4.3 Sand- og gruslag

Lag som har lav eller ingen kohesjon kan også utvikle seg til glideplan. Friksjonsjordarter har ofte en mer åpen struktur enn kohesjonsjordarter. Dette gjør at gasshydrater kan akkumuleres i den åpne strukturen. Dersom poretrykket øker kan gassen som ligger i disse lagene strømme ut og laget kan kollapse. Økt poretrykk i slike lag vil også føre til at effektivspenningene avtar og styrken til skråningen synker. Et lag av grus og sand kan også danne en strømningskanal dersom nærliggende løsmasser er mindre permeable. Vannstrømningen vil redusere effektivspenningene, og kan i verste tilfelle gjøre at kornkontakten forsvinner helt og laget mister all sin skjærstyrke. (Locat et al., 2014) Rystelser eller vibrasjoner i løstlagrede sand og gruslag kan også potensielt resultere i at skjærstyrken forsvinner. (Andresen and Bjerrum, 1967)

Skred som har gått i friksjonsjordarter kan være vanskelig å gjøre gode stabilitetsberegninger på ettersom beregningene kan gi en urealistisk høy materialfaktor. (Andresen and Bjerrum, 1967) Kunnskap om poreovertrykk i slike jordarter er derfor nødvendig.

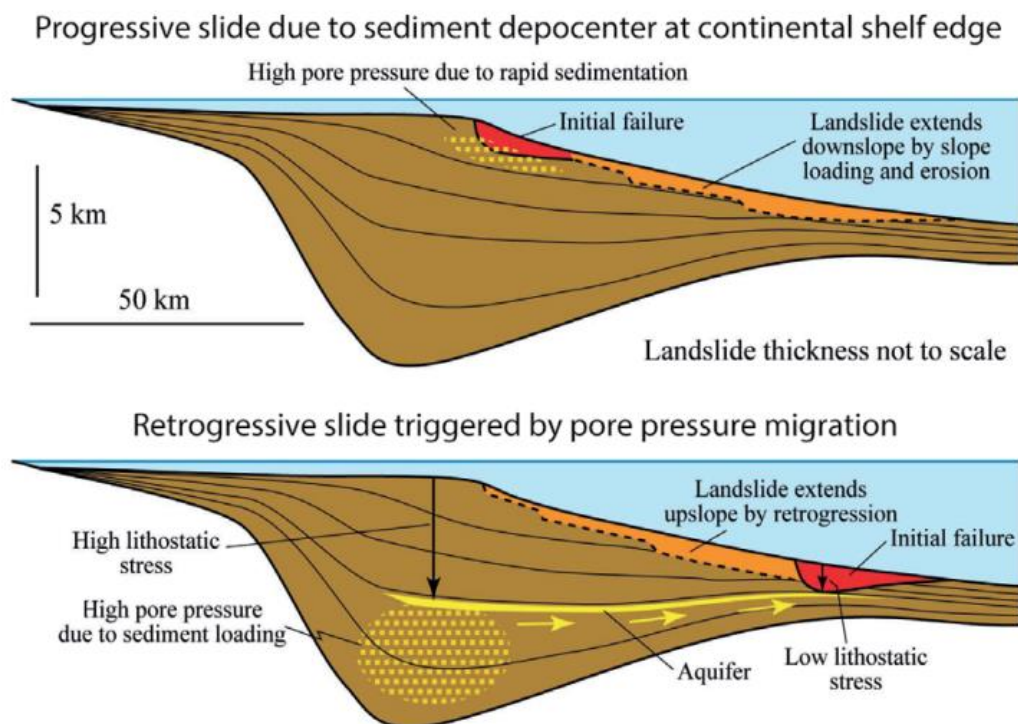
2.4.4 Poretrykk

En avgjørende faktor for stabilitet er poretrykksfordelingen i skråningen. Økning i poretrykk fører til reduserte effektivspenninger, se Figur 12. Når poretrykket blir så stort at det bærer hele den overliggende vekten vil brudd oppstå. Slike forhold kan føre til skred på nesten helt horisontale skråninger. (Talling et al., 2014)



Figur 12 Eksempel på hvordan poreovertrykket kan øke med dybden og redusere effektivspenningene. (Talling et al., 2014)

Poreovertrykk oppstår når væsken i et lag eller område ikke kan strømme til et annet område med lavere potensiale. Lag med lav permeabilitet hindrer denne strømmingen. Økt poretrykk kan komme av rask sedimentering eller strømming i løse lag som ligger under tette/impermeable lag. (Talling et al., 2014) Økt poretrykk kan initiere retrogressive og progressive skred, se Figur 13.



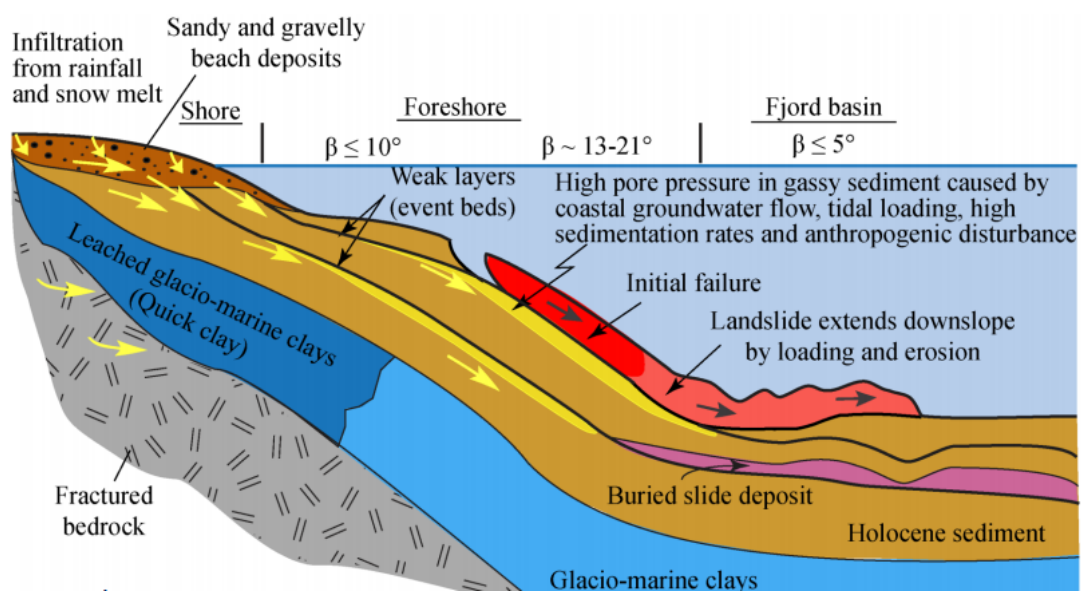
Figur 13 Poreovertrykk i strandsonen. (Masson et al., 2010)

Dersom man ikke har noe data fra poretrykksmålinger må poretrykkssituasjonen estimeres på grunnlag av topografi og annen kunnskap om grunnforhold. I områder hvor man har overtrykk i dypere lag, vil man av og til kunne se «pockmarks» utenfor strandlinjen. Pockmarks dannes ved kortvarig utstrømning av gass eller grunnvann fra dypere lag, de kan sees på batymetri som sirkulære hull. Pockmarks kan bli flere titalls meter i diameter. (L'Heureux et al., 2014b)

Mange naturlige skråninger kan være nær utrasing, spesielt dersom en bekk eller bølger graver i skråningsfoten. Kritisk tilstand kan da oppstå ved høye poretrykk i grunnen, for eksempel ved kraftig regnvær eller snøsmelting. (Emdal et al., 2013)

Studier fra 2003 beskriver at skredet i Finneidfjord skal ha blitt utløst da et initialscred gikk i et svakt lag med høyt poreovertrykk. Laget var kontinuerlig og lå mellom 1-9 meter under sjøbunn. Initialskredet har påvirket kvikkleira i strandsonen, ved avlastning, gitt en ugunstig skråningsvinkel og/eller erodert i kvikkleira. Initialskredet trigger en retrogressiv skredutvikling i Finneidfjord. (Longva et al., 2003)

Senere forskning har vist at det svake laget skredet skal ha oppstått langs er et lag av sensitiv leire (L'Heureux et al., 2012b), slike lag har også vært observert i Trondheimsfjorden. (L'Heureux and Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet Institutt for bygg, 2009) I Finneidfjord har det også oppstått artesiske poreovertrykk i grunnen. Dette poreovertrykket har blant annet samlet seg under de impermeable leirlagene og ført til en reduksjon i effektivspenninger. Et overtrykk på 8kPa er funnet 3 meter under sjøbunn i Finneidfjord. (L'Heureux et al., 2012b) Årsaken til skredet i Finneidfjord er funnet å være en kombinasjon av høye poretrykk i grunnen og menneskelig aktivitet i strandsonen, fylling.



Figur 14 Skjematisk illustrasjon av de ulike faktorene som kan påvirke skråningsstabiliteten. (L'Heureux et al., 2012b)

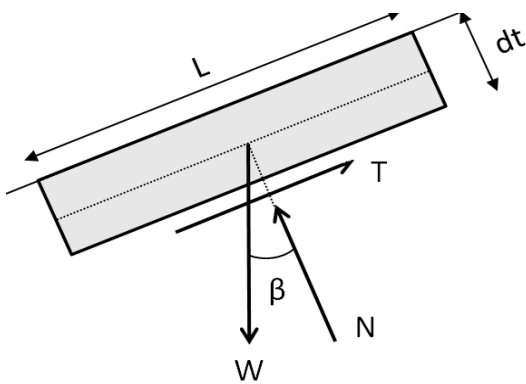
2.4.5 Noen skred i strandsonen i Norge

Skred	År (Årstid)	Volum (m ³)	Utløps- lengde	Destabiliserende faktorer	Kilde:
Indre Sokkelvik	1959 (V)	2-3*10 ⁶	5,5-6 km	<ul style="list-style-type: none"> • Poreovertrykk • Ekstremnedbør og snøsmelting • Fylling • Svakhetssoner • Erosjon fra bekker og havstrømmer 	Se Figur 58
Sørkjosen	2015 (V)	1,1- 1,4*10 ⁶		<ul style="list-style-type: none"> • Fylling • Nedbør og snøsmelting • Lavvann (1 time før skred) • Erosjon fra stikkrenne 	(Nordal et al., 2016)
Finneidfjord	1996 (S)	1*10 ⁶	1,6 km	<ul style="list-style-type: none"> • Fylling • Sprenging • Sandlag, inneholder gass 	(Vardy et al., 2012)
Storegga	~6000 fvt.	3*10 ¹²	50 km	<ul style="list-style-type: none"> • Poreovertrykk 	(Kvalstad et al., 2005)
Trondheims- fjorden	1888 (V)	3*10 ⁶	5 km	<ul style="list-style-type: none"> • Lavvann • Lokalt bratte skråninger • Svake lag 	(L'Heureux and Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet Institutt for bygg, 2009)
Trondheims- fjorden	1950 (H)	2-3*10 ⁶	5 km	<ul style="list-style-type: none"> • 12 m høy fylling • Svakt lag • Erosjon 	(L'Heureux and Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet Institutt for bygg, 2009)
Trondheims- fjorden	1990 (V)	5-6*10 ⁶	4,8 km	<ul style="list-style-type: none"> • Sprenging • Fylling • Intenst nedbør dagene før • Svakt lag • Erosjon 	(L'Heureux and Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet Institutt for bygg, 2009)
Orkdalsfjorden	1930 (V)	18,5*10 ⁶	18 km	<ul style="list-style-type: none"> • Svakt lag • Lavvann • Fylling • Bratte skråninger 	(L'Heureux et al., 2014a)

Tabell 2 Oversikt over noen norske skred som har gått i strandsonen. H=Høst, S=Sommer, V=Vår.

2.5 Skråningsstabilitet

Sikkerhet mot brudd er gitt ved en partialfaktor for materialfasthet γ_M , materialkoeffisienten. For leire og siltige materialer gjør man som regel beregninger på drenert (langvarig) eller udrenert (kortvarig) oppførsel. Konsolideringstiden avgjør om materiale er drenert eller udrenert. In situ vil som regel materiale være delvis drenert. (Bernander and Luleå tekniska, 2011) Videre i denne masteroppgaven er beregningene gjort enten udrenert eller drenert. Sikkerheten for en skråning kan bestemmes ut i fra grenselikevekt. Ved å betrakte et jordelement i en skråning kan man sette opp ligninger for likevekt.



Figur 15 Krefter som virker på et jordelement i skråningen.

Jordelementet har en lengde L , tykkelse dt , tyngdetetthet γ og ligger med en vinkel β . Man kan uttrykke tyngden (W), normalkraften (N) og skjærkraften (T) som følger:

$$W = L * dt * \gamma \quad (2.1)$$

$$N = W * \cos(\beta) \quad (2.2)$$

$$T = W * \sin(\beta) \quad (2.3)$$

Materialkoeffisienten er forholdet mellom skjærstyrken og skjærspenningen ($\tau=T/L$). Effektivspenningsanalyse med Mohr-Coulomb gir sikkerheten mot brudd som angitt i ligning (2.4). Denne modellen tar ikke hensyn til strain-softening.

$$\gamma_M = \frac{\tau_f}{\tau} = \frac{(\sigma' + a) \tan \varphi}{\gamma dt \sin \beta} = \frac{(\sigma - u + a) \tan \varphi}{\gamma dt \sin \beta} \quad (2.4)$$

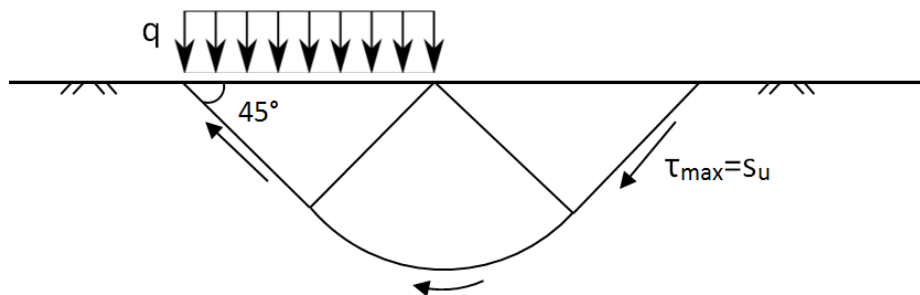
Materialkoeffisienten angir hvor jordas styrke må reduseres for at brudd skal inntreffe. Ved å se på likevektsbetraktninger ser man at det er poretrykket som virker inn på

sikkerhetsfaktoren. Så lenge en strømningsanalyse har samme potensiale (GV er uendret) som for analyse uten strømning vil sikkerhetsfaktoren være lik.

For udrenerte beregninger er τ_f lik den udrenerte skjærstyrken (s_u) til materialet.

For sensitive materialer med strain-softening oppførsel blir sikkerheten for høy med Mohr-Coulomb. For å illustrere dette problemet er det vist et eksempel med bæreevne.

Bæreevnen til et horisontalt terreng utsatt for en last q .

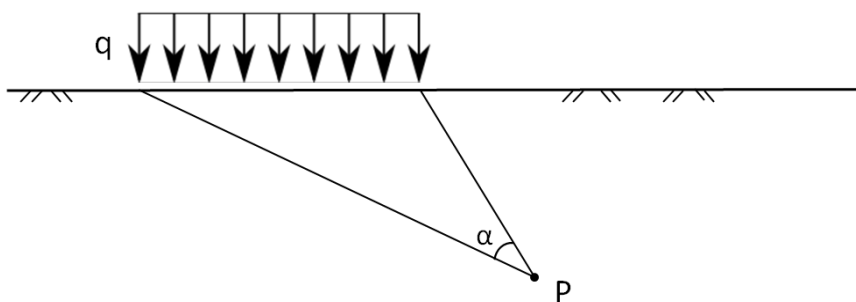


Figur 16 Bæreevne på s_u -basis, bruddmønster.

For $\gamma_M=1$ gir momentlikevekt følgende bæreevne.

$$q = (\pi + 2) * s_u = 5,14 * s_u \quad (2.5)$$

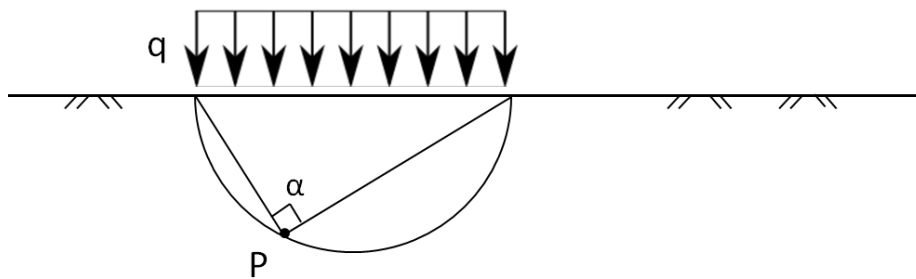
I strain-softening materialer kan bruddet utvikle seg når «ett punkt» har opplevd flyt. Det er derfor interessant å se på hvilken last som skal påføres før første flyt oppstår.



Figur 17 Vilkårilig punkt under en jevnt fordelt last.

Et vilkårilig punkt P , under en jevnt fordelt last. Maksimal skjærspenning for dette punktet er gitt ved ligning 2.6.

$$\tau_{max} = \frac{q}{\pi * \sin(\alpha)} \rightarrow q = \frac{\pi * \tau_{max}}{\sin(\alpha)} \quad (2.6)$$



Figur 18 Første flyt oppstår i en halvsirkel.

Laveste last blir for $\alpha=90^\circ$ ($\sin\alpha=1$). Alle punktene hvor $\alpha=90^\circ$ danner en halvsirkel under lasten. Her vil flyt oppstå først. Siden $\gamma_M=1$ vil $\tau_{\max}=s_u$.

$$q = \pi * s_u \quad (2.7)$$

For et materiale med lineært elastisk perfekt plastisk oppførsel kan bæreevnen uttrykkes som i ligning (2.5). For sensitive leirer som mister skjærstyrke etter å ha oppnådd maksimal fasthet vil bæreevnen tilsvare en last mellom ligning (2.5) og ligning (2.7).

Når man regner på stabilitet er det viktig og forstå hvilke faktorer som er avgjørende for stabiliteten. Modellen blir en forenkling av de faktiske forhold. Kvaliteten på den numeriske modelleringen er bestemt av den numeriske tilnærmingen.

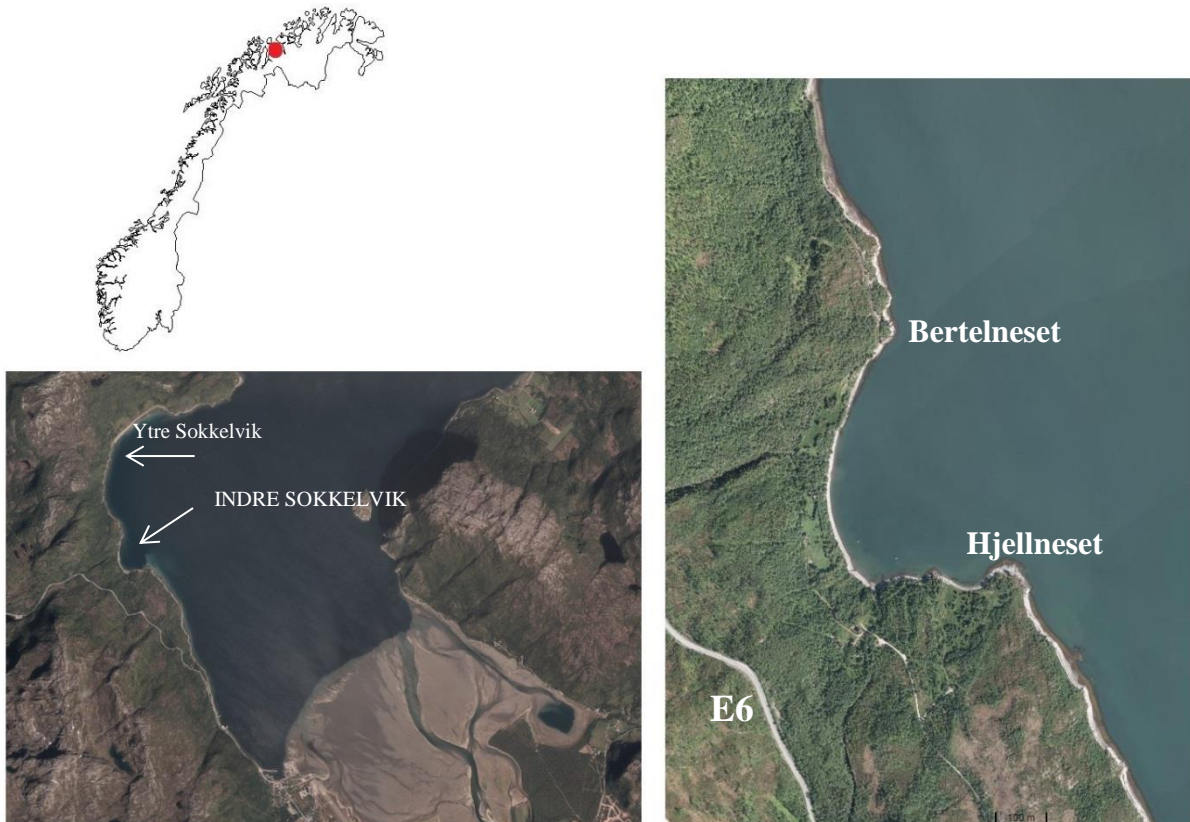
Når skråningsstabilitet skal beregnes er det normalt å se på lokalstabilitet og områdestabilitet. Områdestabilitet for sprøbruddsmaterialer er en tilstand hvor initialt brudd kan igangsette en progressiv frem- eller bakoverrettet bruddutvikling i tilstøtende materialer. Skredet kan bli meget omfattende dersom sprøbruddsmaterialet har fritt utløp og ligger på hellende terreng. Lokalstabilitet angir stabilitet i et lokalt avgrenset område hvor man har mulighet for brudd i grunnen. Typiske eksempler på lokale brudd er under fylling eller lokal utglidning i naturlig skråning som følge av poretrykksendringer eller erosjon. (Aunaas et al., 2014)

Stabilitetsberegninger i dag utføres ofte ved bruk av dataprogram. I Plaxis vil beregningen bli avbrutt dersom materialkoeffisienten viser seg å være under 1. Beregningen kan da fullføres ved å skalere opp kohesjon og attraksjon, og deretter skalere ned sikkerheten tilsvarende etter fullført beregning.

Kapittel 3

Indre Sokkelvik

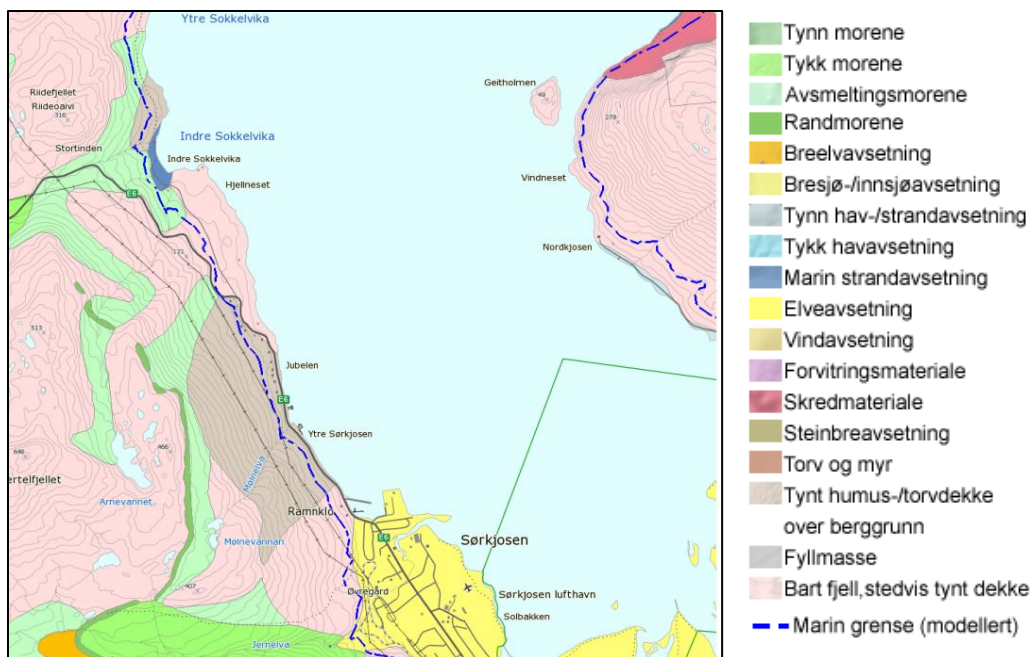
3.1 Geologisk setting



Figur 19 Satellittbilde, Sokkelvik. (<http://www.norgebilder.no>)

Indre Sokkelvik ligger østvendt ut mot Reisa fjorden, og har en strandlinje på omtrent 500 meter. De grunnforholdene man finner ved Indre Sokkelvik avspeiler de forholdene løsmasseavleiringene ble avsatt under, samt de geologiske prosessene som har påvirket området frem til i dag. Skråningshelningen bestemmes av forholdene under avsetningen, fjellets helning, strømningsretning og type avleiringer.

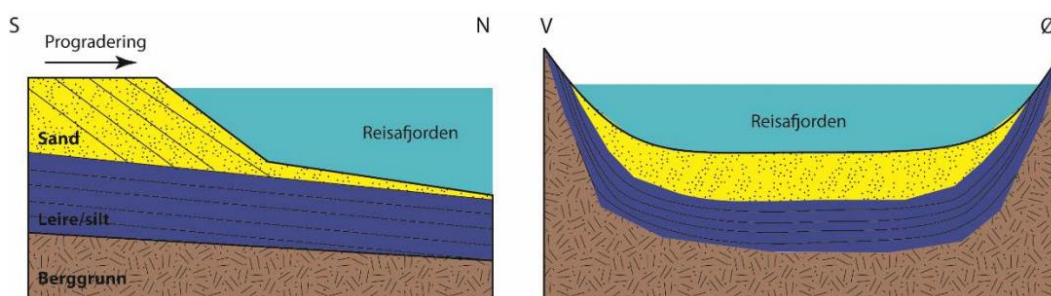
Før skredet var terrenget svakt hellende (5°) de første 50 meterne inn fra flomål. Videre innover var helningen omtrent 15° opp til skogkant. Utenfor strandkanten var det langgrunt, og ved fjære sjø var det mulig å se stranden 50 meter utover, sør i vika. Sjøbunnen ut 90 meter fra flomålslinjen hadde en helning på $3-4^\circ$. (Bjerrum and Eide, 1960b)



Figur 20 Løsmassekart, Indre Sokkelvik og området rundt. (<http://geo.ngu.no/kart/losmasse/>)

Indre Sokkelvik ligger 3 km fra det store Reisdeltaet. Sedimenttransporten herfra har påvirket materialtilførsel og lagdeling i Indre Sokkelvik. Indre Sokkelvik danner en bakevje for havstrømmen. Her mister strømmen hastighet og sedimenter avsettes raskere.

De stedlige løsmasser før skredet kan grovt deles inn i to lag. Øverst hadde man et topplag bestående av sand og grus. Dette laget varierte i tykkelse fra 1-3 meter. Under dette laget var det meget sensitiv leire. Mektigheten av leira var økende ut i fjorden, tykkelse rundt 1-30 meter. (Jørstad, 1959)



Figur 21 En generell fremstilling av geologisk avsetning i Reisa fjorden. (Nordal et al., 2016)

I Sørkjosen førte moloutfyllingen i sjøen til en betydelig redusert stabilitet i området. (Nordal et al., 2016) I Indre Sokkelvik kan et lignende tilfelle være aktuelt. Riksvei 50 Jubelen-Langsllett ble anlagt helt i strandsonen ved Indre Sokkelvik i årene før skredet, se Figur 29 og Figur 30. I dette området finner man tykke marine avsetninger, det er påvist at disse sedimentene er kvikke.

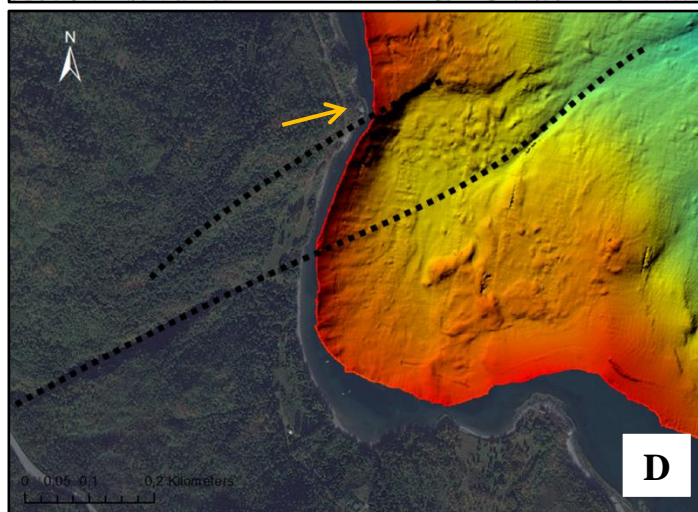
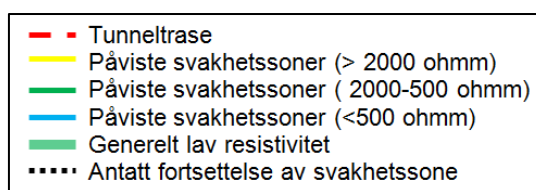
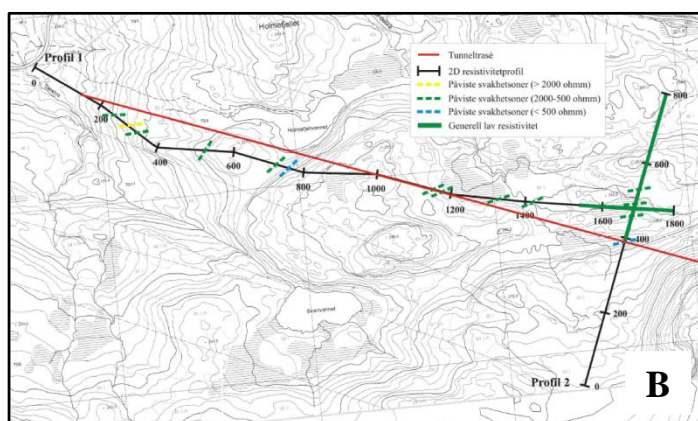
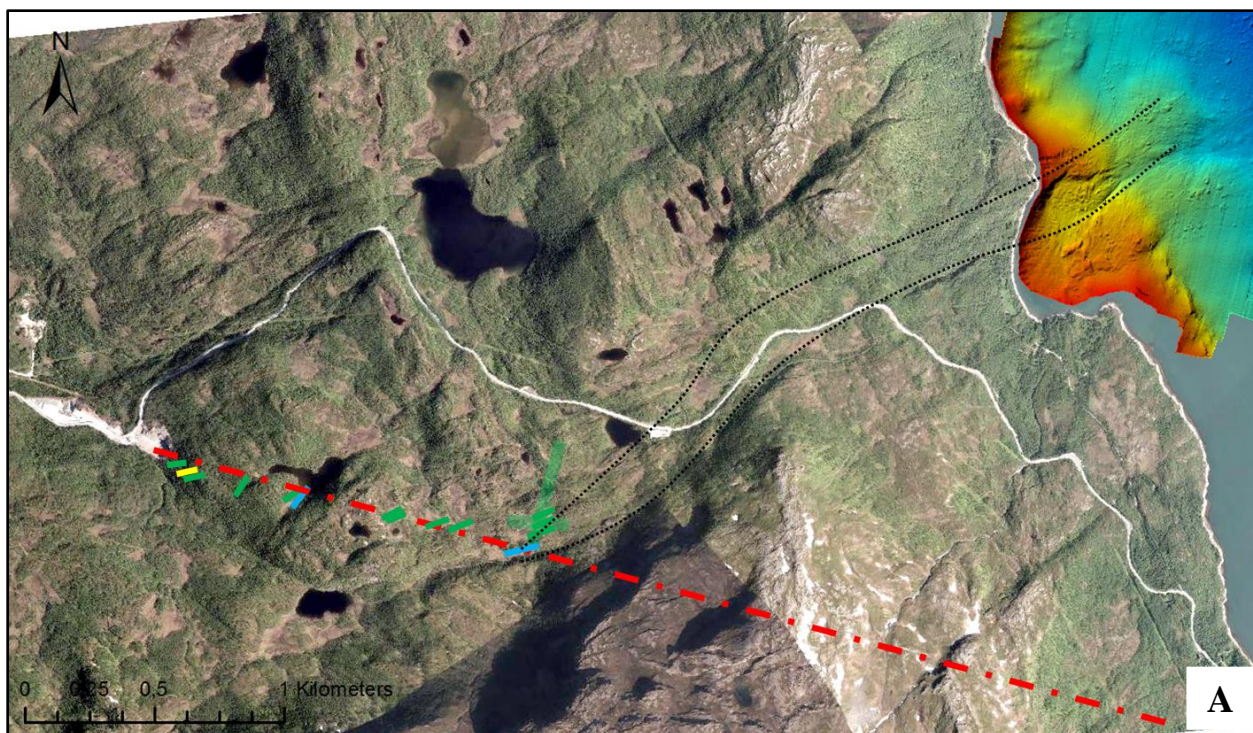
3.2 Triggere og forhåndsbestemte faktorer

3.2.1 Svakhetssoner

I 2012 gjennomførte NGU geofysiske målinger i Sørkjosenfjellet for å kartlegge svakhetssoner i forbindelse med prosjektering av tunneltraseen Sørkjosen-Langslett, se Figur 22. Resultatet av målingen viser flere soner som består av oppsprukket fjell, trolig med økt vanninnhold knyttet til forkastninger og/eller svakhetssoner (Dalsegg, 2012). I to av de målte sonene (innteignet med blått i figur, <500 ohm) er resistiviteten så lav at det er grunn til å anta at det er leire i sprekke. Fra satellittbilder og topografiske kart kan man følge retningen til de kartlagte svakhetssonene nedover mot Indre Sokkelvik. Under befaring ble også skiferlag og sprekker observert i strandsonen ved Indre Sokkelvik. Figur 22 bilde D ble tatt under befaring og viser to dype sprekker på Bertelneset. Skiferen her kunne man grave ut med hånda.

På bilde C ser man at de inntegnede svakhetssonene sammenfaller med skredets utstrekning.

Det ble også funnet en avisartikkel i Statens vegvesens papirer i Riksarkivet Tromsø hvor det sto følgende « En liten elv som kommer rennende ned mellom to av gårdene, rente noen dager før ulykken ned i et hull i fjæra hvor den forsvant». Dette kan bety at noe allerede var i gang med å skje før det tunge regnværet inntraff. Om hullet i fjæra er relatert til svakhetssonene er vanskelig å si. Etter skredet i 1959 skal en dykker også ha kommentert at havbunnen hadde flere sprekker.



A: Oversiktsbilde. Inntegnet tunneltrasé (Sørkjosen-Langslett), påviste svakhetssoner og antatt utbredelse av svakhetssonene. (kart.finn.no)

B: Bilde fra NGU rapport. Geofysiske målinger i Sørkjosenfjellet. (Dalsegg, 2012)

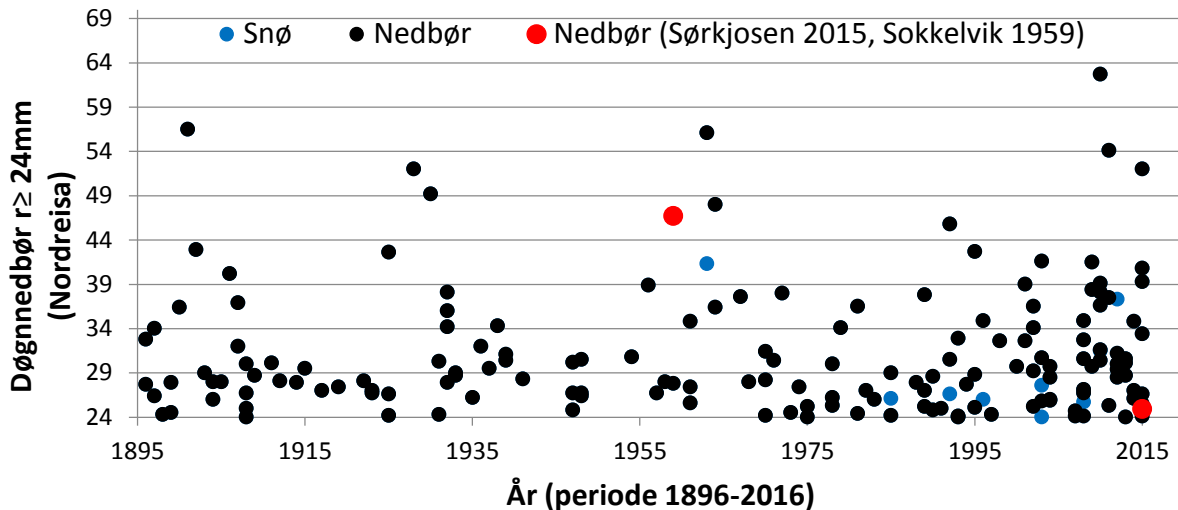
C: Indre Sokkelvik, oransje pil viser retning og sted hvor bilde D er tatt.

D: Bilde av svakhetszone i fjellet ved enden av Bertelneset.

Figur 22 Oversikt svakhetssoner (A, B, C, D).

3.2.2 Vær og sjø

I Nordreisa finnes det nedbørsdata tilbake til 1896. Den største registrerte målingen ble gjort høsten 2010 da det kom 62,7mm i løpet av et døgn.

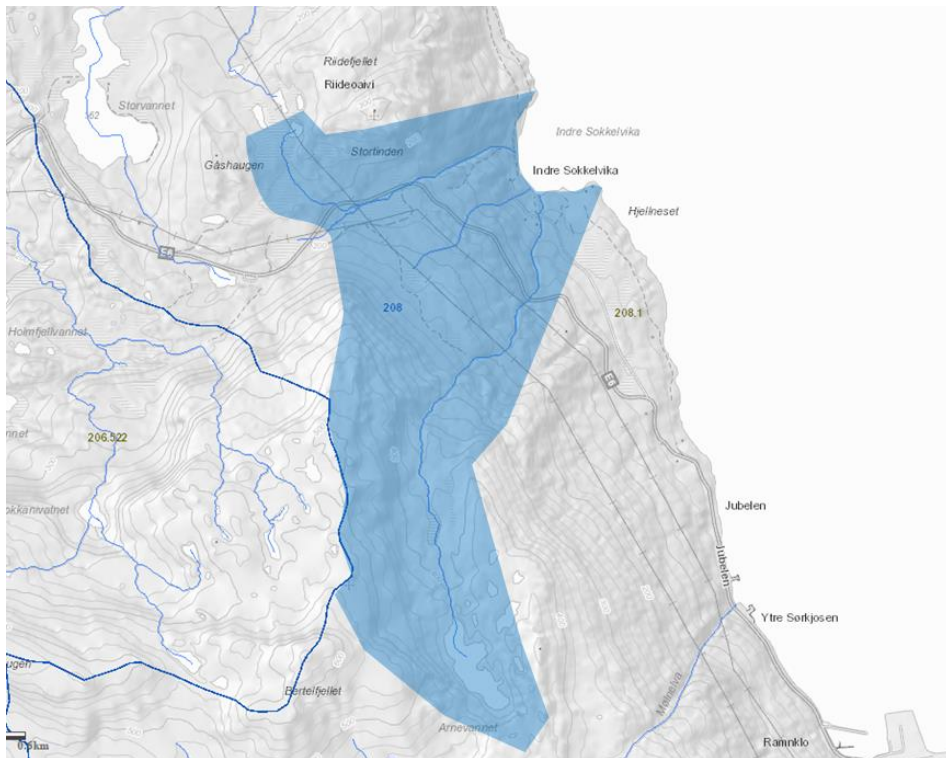


Figur 23 Nedbør 24 mm i Nordreisa i perioden 1896-2016. Kilde www.eklima.met.no

Diagrammet er basert på data fra e-klima. Diagrammet er basert på målinger gjort ved 3 stasjoner. I perioden 1896- 1992 er dataene fra en stasjon som står noen kilometer nord for Storeslett, i perioden 1992- 2005 samme sted, men ny stasjon (Øyeng) og 2005-2016 fra Sørkjosen Lufthavn. Et døgn går fra midnatt til midnatt. For nedbøren som kom før skredet i Sørkjosen kom 17,2 mm før midnatt og 7,7 mm etter midnatt, disse verdiene er lagt sammen for å representere dem på Figur 23 . Fra høsten 1958 er det dokumentert temperatur i tillegg til nedbør. De dagene med lavere temperatur er det derfor antatt at nedbøren har kommet som snø (symbolisert som blå punkter Figur 23).

I en periode fra oktober-1944 til november 1946 mangler alt av nedbørsdata. Det er også enkelte dager som mangler målinger fra perioden 1896-1980.

Av over 40 000 nedbørsmålinger gjort fra 1896-2016 har 175 av disse en døggnedbør på over 24mm. Nedbørsmengden som kom før skredet i Sokkelvik og Sørkjosen er markert med rødt i diagrammet. Datatene fra eklima.met.no er hentet ut med høyeste kvalitetsnivå «ok sikkerhet».



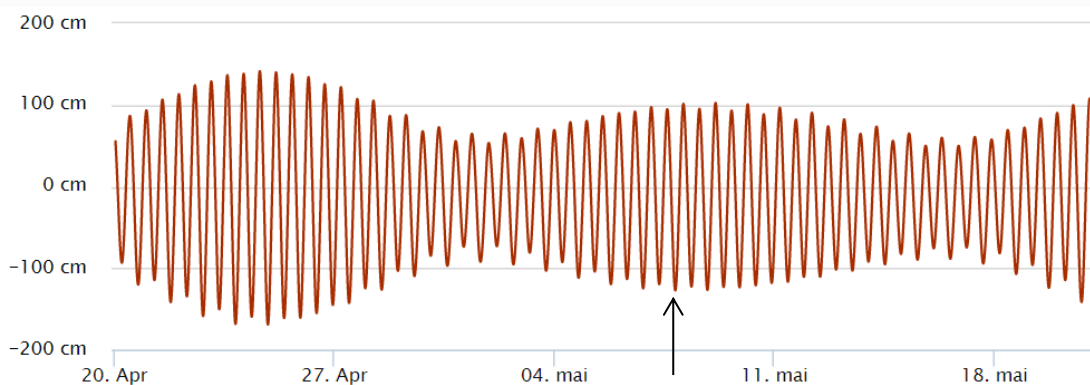
Figur 24 Nedslagsfelt for Indre Sokkelvik. (<http://gis3.nve.no/link/?link=hydrologiskedata>)

Nedslagsfeltet til Indre Sokkelvik er omtrent 3 km². Det kom da i løpet av døgnet 7. mai i underkant av 150 millioner liter vann inn i dette feltet. Dette ser bort fra eventuell avrenning fra snøsmelting i fjellet som kommer i tillegg.

En varmeperiode startet i slutten av april 1959 og varte ut i mai. De første dagene smeltet snøen som lå i Indre Sokkelvik. I 12 dager før hendelsen smeltet det i fjellet (400 moh) mellom 12-18 mm hver dag. (<http://www.senorge.no/> 30.05.2016)

Skredet i Indre Sokkelvik gikk i 20-tiden. Nippfjære er beregnet til å ha inntruffet 20:40, altså like etter skredhendelsen. Beregnet havnivå klokken 20:40 er 127 cm under middelvannstand. Havnivå da skredet gikk må ha ligget rundt 120 cm under middelvannstand.

20. april - 20. mai 1959



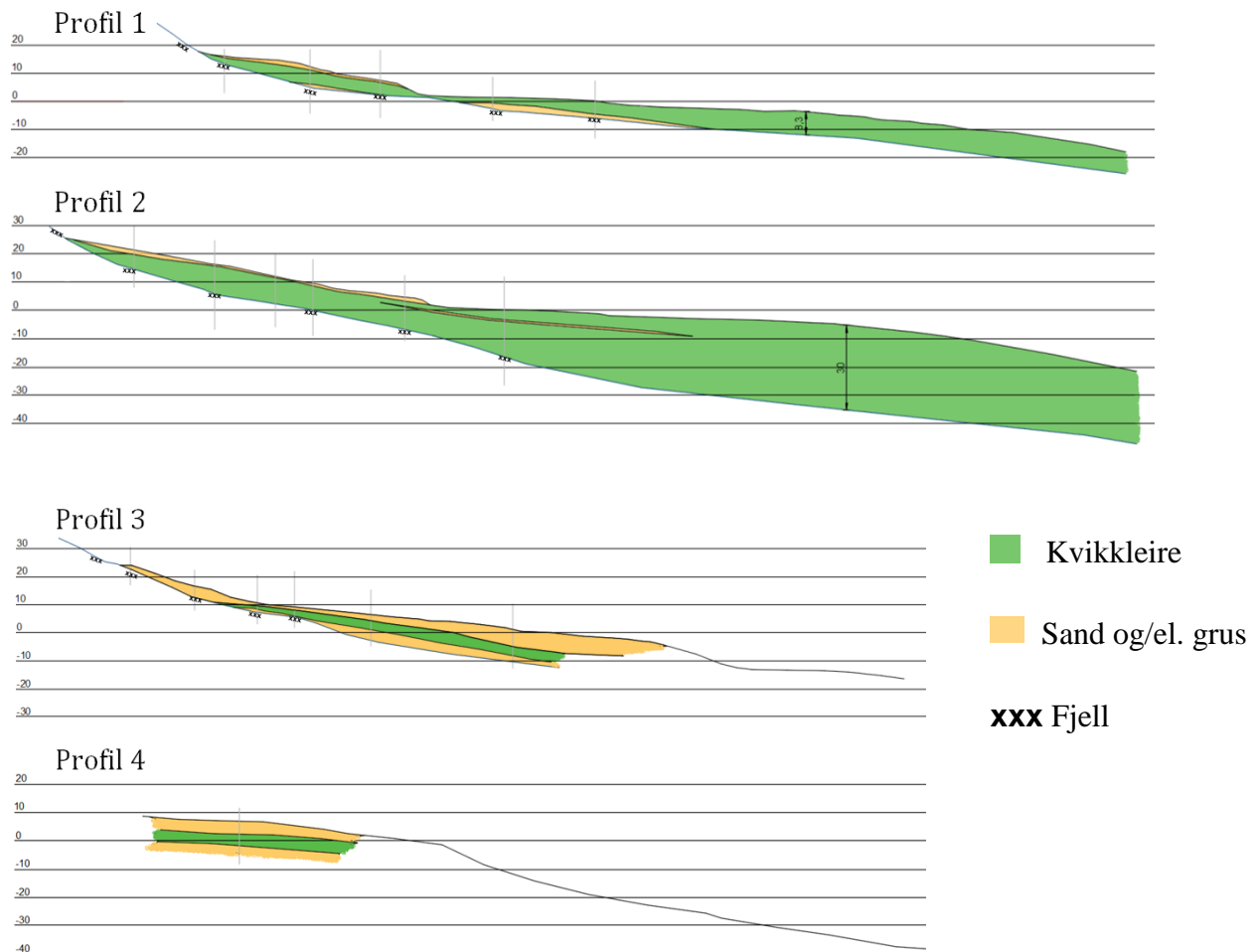
Figur 25 Beregnet tidevannsnivå for 20.april-20.mai 1959. Referansenivå: Middelvann.
(<http://www.kartverket.no/sehavniva/> 05.03.2016)

Springfjære ligger på 170 cm under 0-nivå. Dette er mer kritisk enn situasjonen som inntraff 7. mai. Dette kan altså ikke være en faktor alene til at skredet gikk.

3.2.3 Svake lag/glideplan

I rapporten er det observert et lag med forvitret leire, det er mulig at dette er et tynt sjikt som går kontinuerlig over store arealer. Her kan udrenert skjærstyrke ha vært lokalt lavere enn ellers i leira.

I Ytre Sokkelvik gjorde man i etterkant av skredet i Indre Sokkelvik flere grunnundersøkelser for å regne på stabilitet. Skisserte profiler basert på prøvetagning og dreievektsonderinger viser enkelte gruslag i løsmassene, se Figur 26. Det kan også antas at det har eksistert permeable lag i Indre Sokkelvik. Dersom eventuelle gruslag i stratigrafien kommuniserer med svakhetssoner i fjellet, hvor det strømmer mye vann, kan disse lagene ha høye poretrykk, se beregninger kapittel 3.4. Mektigheten på gruslagene kan ha vært varierende, og der man ikke gjorde boringer ble geometri antatt. I Ytre Sokkelvik ble det funnet et gruslag inne i kvikkleira (Profil 2) og det er funnet gruslag som ligger helt inn mot fjellet (Profil 1).



Figur 26 Profiler fra Ytre Sokkelvik. Basert på resultater fra dreievektsondering og prøvetaking, se Vedlegg 1.

Profilene fra Ytre Sokkelvik viser også hvor store forskjeller det er på løsmassemengden i vika. I Profil 2 er det antatt opp mot 30 meter tykkelse på kvikkleirelaget, og i Profil 3 og 4 er kvikkleira bare funnet til å ha en tykkelse på omtrent 5 meter. Dette kan komme av at profil 1 og 2 ligger lengst inne i vika og danner et brytningspunkt for havstrømmen.



Figur 27 Havstrøm inn mot Ytre Sokkelvik, tykke leiravsetninger nord i vika.

3.2.4 Erosjon

Tre bekker har sitt utløp i Indre Sokkelvik. Erosjon fra bekker innebærer ofte en kontinuerlig forverring av stabilitet. Erosjonen kan være ekstra kraftig under snøsmeltingen om våren. Da er ellevannet kaldt og bærer med seg eroderte partikler som gjør vannet i elva tyngre enn saltvannet, noe som gjør at det graver mer i utløpskanalen.

Fra Figur 28 kan man se at bekken lengst syd i vika avsetter en del masser der hvor den munner ut. Det var også her vika ble tørrlagt flere meter ved fjære. Bekkene lengst nord og sør er størst. (Bjerrum and Eide, 1960b) Nøyaktig hvordan bekkene har gravd seg ned i sjøbunn er uvisst.

Det er dokumentert tydelige tegn på erosjon i strandkanten i Ytre Sokkelvik, et vitne har kommentert at bare i hans tid har erosjon i strandkanten fjernet mange meter. (Rosenquist, 1959) Det er ikke urimelig å anta at Indre Sokkelvik har vært utsatt for lignende erosjonsforhold.



Figur 28 Erosjon fra bekker og bølger. (<http://www.norgebilder.no/>)

Et vitne skal i etterkant av skredet i Indre Sokkelvik ha uttalt at det i tiden før skredet var dannet en del «leirhøl». (Jørstad, 1959) I tegningene over de prosjekterte veiprofilene er det også noen kommentarer som beskriver de løsmassene man finner i Indre Sokkelvik. Et område er beskrevet som «enkelte store kuppel i jorden».

Det var også som nevnt tidligere en elv som rant ned i et hull i bakken. Før skredet. 7. mai må bekkene ha fraktet med seg betydelige mengder vann så det var med stor sannsynlighet et uvanlig høyt poretrykket i grunnen denne kvelden.

Indre Sokkelvik ligger ikke veldig skjermet for store bølger i fjorden. Havstrømmen bryter ved Bertelneset og strømmens hastighet avtar innover mot Hjellneset.

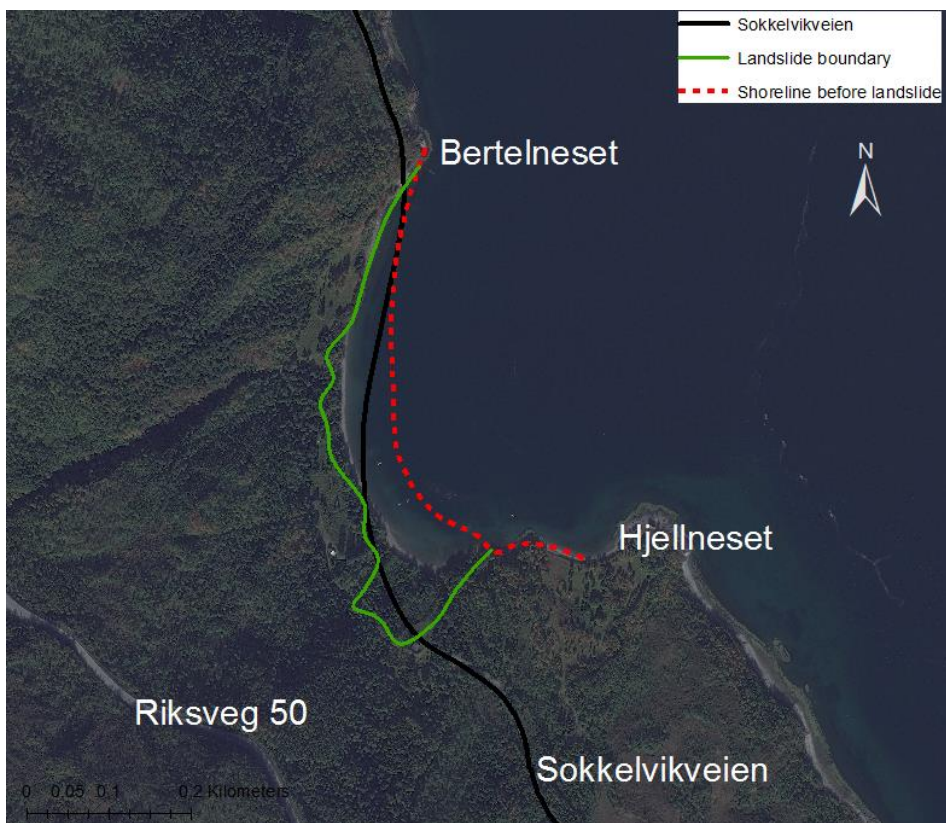
Et par år før skredet i Indre Sokkelvik skal en fisker ha hørt en larm og sett en vannvirvel. Nøyaktig tidspunkt for denne hendelsen er ikke oppgitt. Det er mulig at dette skredet oppsto etter at deler av fyllingen på Bertelneset var lagt ut. Det er dokumentert arbeid på neset på nyåret 1957. Initialskredet kan ha oppstått i forbindelse med overbelastning av terreng da det ble fylt ut i 1957, men det kan også være uavhengig av arbeid i denne perioden. Hendelsen tyder uansett på at det er dårlig stabilitet i nordlig del av Indre Sokkelvik. Dette skredet kan ha fjernet deler av skråningsfoten til massene lengre bak i Indre Sokkelvik og forverret stabiliteten slik.

3.2.5 Fyllingen på Bertelneset

Allerede i 1939 var det prosjektert en 5 meter bred riksveg som skulle gå fra Jubelen til Langslett. Veitraséen skulle gå langs strandkanten hvor det er relativt flatt terreng. Enkelte steder har man svaberg som stikker ut, her hadde man planlagt fjellskjæringer og fyllinger i strandsonen. I 1946 ble veien prosjektert på nytt, men denne gangen med ny bredde på 4 meter. Den delen av veistrekningen, Jubelen-Langslett, som går gjennom Indre Sokkelvik er videre også nevnt som Sokkelvikveien.



Figur 29 Prosjektert Riksvei 1939. Strekning Jubelen-Langslett.



Figur 30 Tidligere strandlinje, skredkant og plassering av vei gjennom Sokkelvik. E6 er i dag gamle Riksveg 50.

I Indre Sokkelvik var veien hovedsakelig planlagt til å gå på svakt hellende løsmasser, se Figur 30. Helt nord i Indre Sokkelvik skulle veien stige rolig oppover på fyllmasser før den kom inn på fjellgrunn ved Bertelneset som ligger 7-8 meter over havet. Fyllingen skulle bestå av sprengt stein fra fjellskjæringene i området.

Akkordprotokoller og notater på veitegningene tyder på at arbeidet med veien ikke startet før 1947. Veiarbeidet startet ved Jubelen. I Indre Sokkelvik ble hovedsakelig veien anlagt fra 1951 til 1953. Dette gjelder den delen av veien som ligger gjennom bebyggelsen i Sokkelvik. Først i 1957 blir arbeidet med veien gjenopptatt. Da fortsatte byggingen fra Indre Sokkelvik og nordover mot Ytre Sokkelvik. Litt utover januar 1957 ble det jobbet med fyllingen og skjæringene på Bertelneset. I hele november 1958 var det også noe arbeid på neset. Hva som ble gjort da er ikke presisert. Omtrent 6 måneder etter dette arbeidet gikk skredet i Indre Sokkelvik.



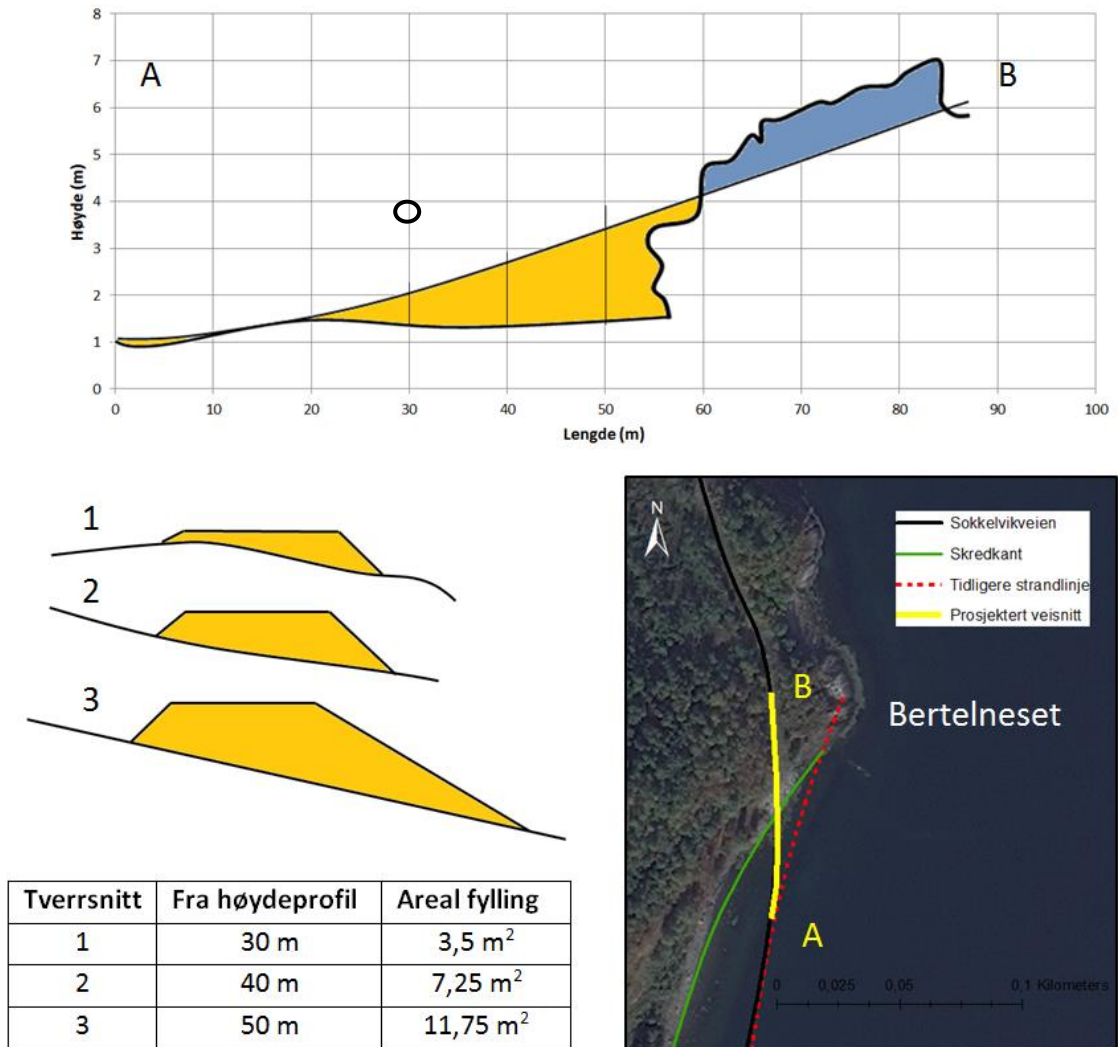
Figur 31 Bertelneset. Fyllingen slik det er i dag. (foto: 21.04.2016)



Figur 32 Bertelneset. Slik det antagelig så ut før raset i 1959.

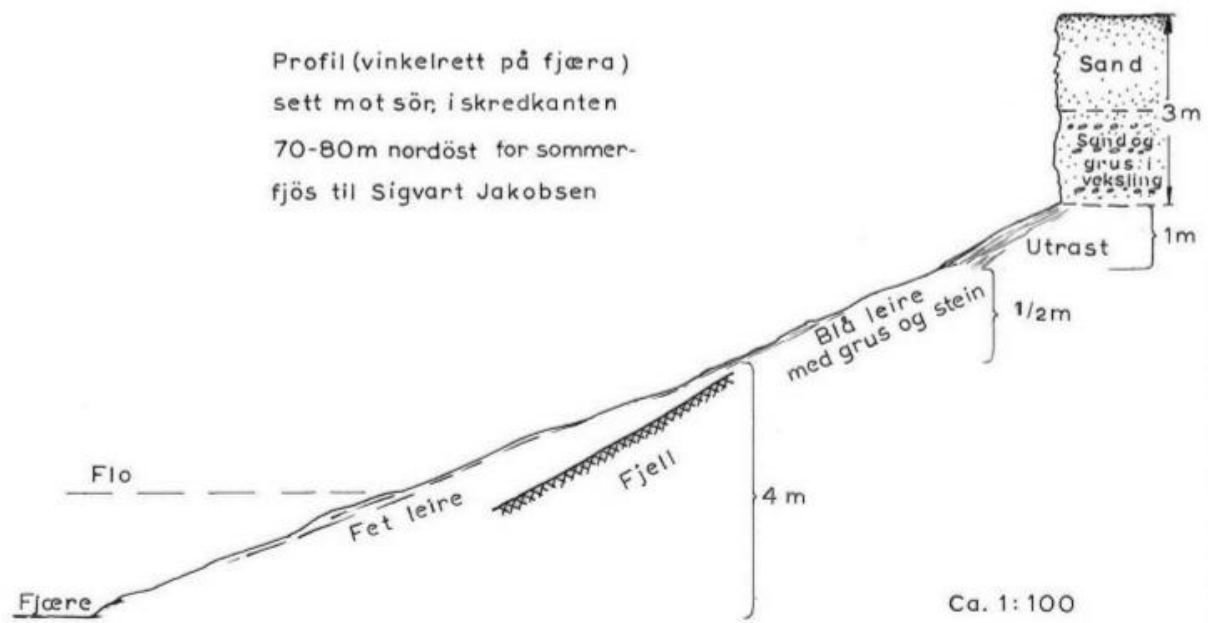
Det er prosjektert med en stikkrenne med diameter på 60 cm i bunn av fyllingen.

Mye av den fyllingen som ligger igjen i dag ligger på fjell. Det totale volumet av det som var lagt ut er beregnet til å være ca. 250 m³, dette tilsvarer 500 tonn.



Figur 33 Snitt fra fyllingen. Snittet som er inkludert i beregningene er fylling 3. (Vedlegg 3)

Forklaring til høydeprofilet: Oransje er fylling og lilla er sprenging og skjæring. Ring i høydeprofil viser den prosjekterte plassering av stikkrenne i lengderetningen.



Figur 34 Opptegnet profil etter skredet, fra nord i Indre Sokkelvik.

Fra det opptegnet profilet ser man at fjellet nesten kommer i dagen, og at fet leire ligger over fjellet. Fjellet her er tegnet inn med en vinkel på 30° . Den fete leira er beskrevet som så fast at det er vanskelig å få den løs. Det er også kommentert at det ikke er noe vann i sjiktet mellom leira og fjellet. (Jørstad, 1959)

3.3 Geotekniske parametere

En oversikt over de ulike testene, borhull og profiler som er brukt er vist i Vedlegg 1, samt tidligere diagrammer over resultater.

For å fastsette de geotekniske parameterne for Indre Sokkelvik er det brukt grunnundersøkelser fra områdene Indre Sokkelvik (1959) Ytre Sokkelvik (1959) og Jubelen (2013), (Bjerrum, 1960, Jørstad, 1959, Multiconsult, 2013, Skotheim, 2015). Det er lagt hovedvekt på de testene fra Indre Sokkelvik når endelige parametere er valgt for beregninger.



Figur 35 Indre Sokkelvik før skred. (<http://digitaltmuseum.no/>)

Løsmasser i området kan forenklet deles inn i to lag. Øverst ligger et lag med sand og grus, etterfulgt av et mektig lag med kvikkleire som øker i dybde utover i fjorden. Det er antatt at denne leira ligger rett på fjell.

	Lag 1			Lag 2		
Jordart	Sand/Grus (Topplag)			Kvikkleire		
Parametere	ϕ (°)	a (kPa)	γ (kN/m ³)	ϕ (°)	a (kPa)	γ (kN/m ³)
Tolkede verdier	31-35	0-5	19,0	23-30*	0-10*	19,0
				$s_{ua} = 15-22$ kPa (konstant) $s_{ua} = 10,25 + 1,25z$ kPa (økende med dybde)		

Tabell 3 Jordparametere for topplag og kvikkleire.

Parameterne for topplaget (sand/grus) er basert på de samme parameterne som ble funnet for sand-/gruslaget ved Sørkjosen (Skotheim, 2015). Dette fordi det er nesten ingen grunnundersøkelser og tester fra topplaget i Ytre og Indre Sokkelvik. I tegningene fra den prosjekterte veien Jubelen-Langslett er topplaget identifisert som sandjord med noe småstein, se Vedlegg 3.

Ettersom fyllingen ble lagt ut 6-18 mnd før skredet ble utløst kan man regne med at skjærfastheten til løsmassene under fyllingen har økt noe på grunn av konsolidering. Primær konsolideringstid for leirer kan vare opp til flere 10-år. (Emdal et al., 2013)






Vingeborundersøkelsene fra 1959 viser masser som har en styrke mellom 13 kPa -21 kPa, se Vedlegg 1. Grafene gir en liten antydning til økende styrke, men den er ikke på mer enn 1 kPa/m for leira. Konus- og enaksforsøk fra leira i området viser at den er meget sensitiv (Vedlegg 1).

3.4 Beregninger:

3.4.1 Parametere

Det er sett på flere profiler for å regne på stabiliteten i Indre Sokkelvik, se Figur 37.

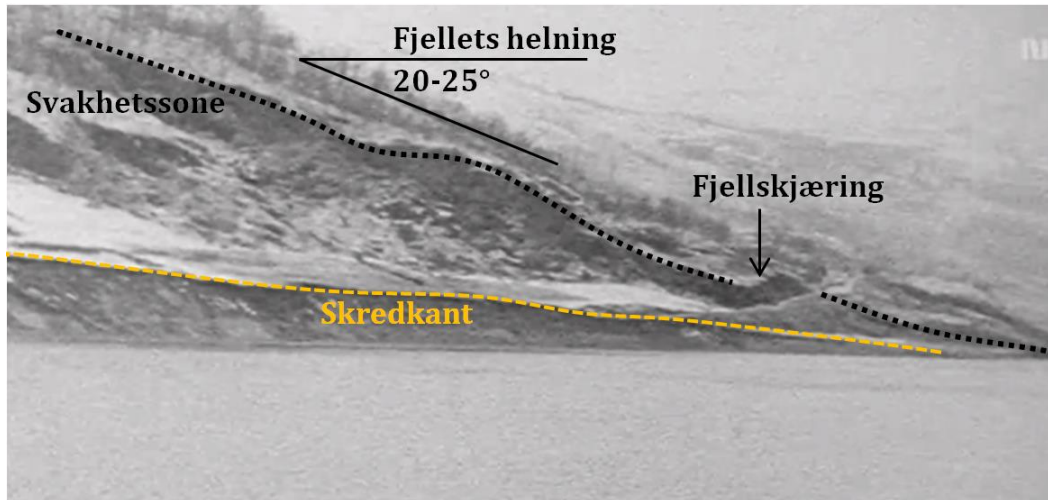
Beregningene er gjort for drenert og udrenert oppførsel. Alle analyser er gjort med beregningsmodellen Mohr-Coulomb. Parameterne for beregninger er gjengitt under.

	Navn	Fylling	Topplag	Leire	Grus/ Sand	Fjell	Enhet
Generelt							
Material modell	<i>Model</i>	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb Drained/ Undrained (B)	Mohr-Coulomb	Linear elastic	-
Material oppførsel	<i>Type</i>	Drained	Drained		Drained	Drained	-
Umettet jord	γ_{unsat}	20	19	19	18	27	kN/m ³
Mettet jord	γ_{sat}	20	19	19	18	-	kN/m ³
Parametere							
Youngs modul (konstant)	<i>E</i>	10000	10000	10000	10000	1,00E+8	kPa
Tverrkontraksjonstall	<i>v</i>	0,33	0,33	0,33	0,33	0,2	-
Kohesjon	<i>c</i>	20	0	5	0	-	kPa
Friksjonsvinkel	ϕ	40	33	25	30	-	°
Dilatans vinkel	ψ	0	0	0	0	-	°
Udrenert skjærstyrke	<i>su</i>	-	-	15-20	-	-	kPa
Farge i modell	-	 Oransje	 Lys blå	 Grønn	 Lys gul	 Grå	-

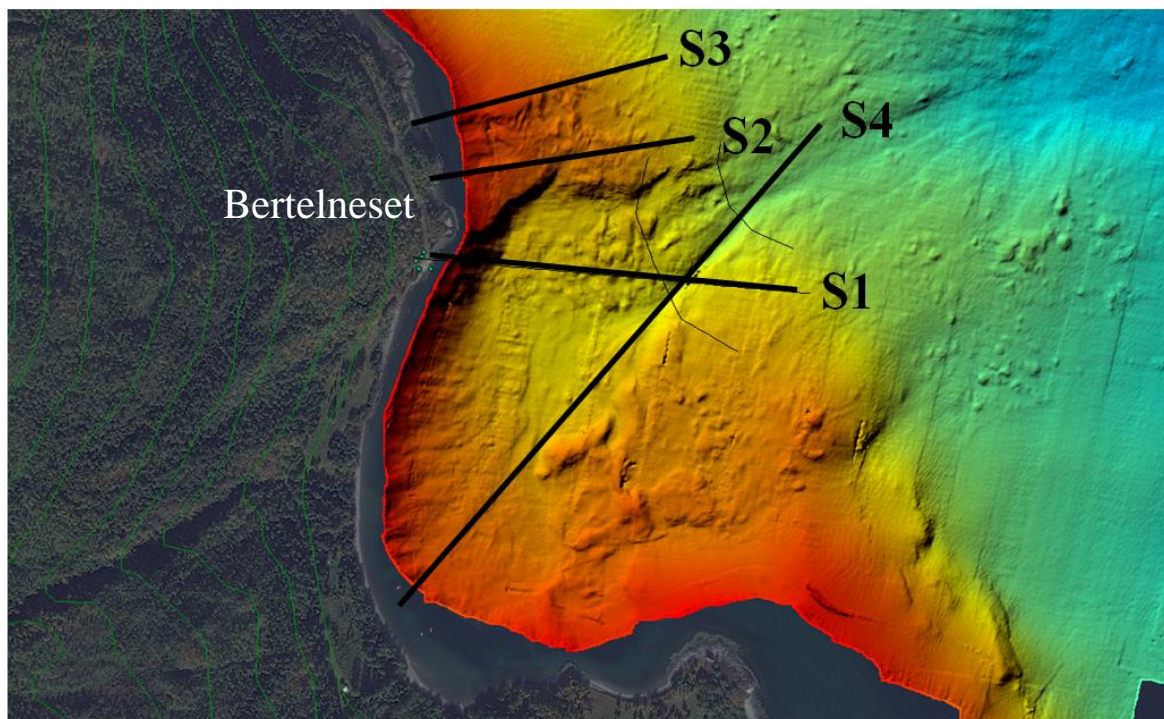
Tabell 4 Geotekniske parametere brukt til beregning i Plaxis.

3.4.2 Geometri for profiler

Siden man ikke har mye informasjon om hvordan havbunnen var før skredet eller hvordan fjellet ligger. Er mye av modellen basert på antagelser. Det norske militæret gjorde målinger i området i 1956 langs tre profiler. Ingen av disse er i nærheten av Bertelneset så disse dataene er ikke brukt i stor grad. Fjellets helning over sjø er omtrent 20-25°, se Figur 36.



Figur 36 Skjermfoto fra video på NRK. (<http://www.nrk.no/troms/56-ar-siden-rastragedien-i-sokkelvik-1.12353680> 10.03.2016) Helning er funnet ved hjelp av høydekoter på norgeskart.no



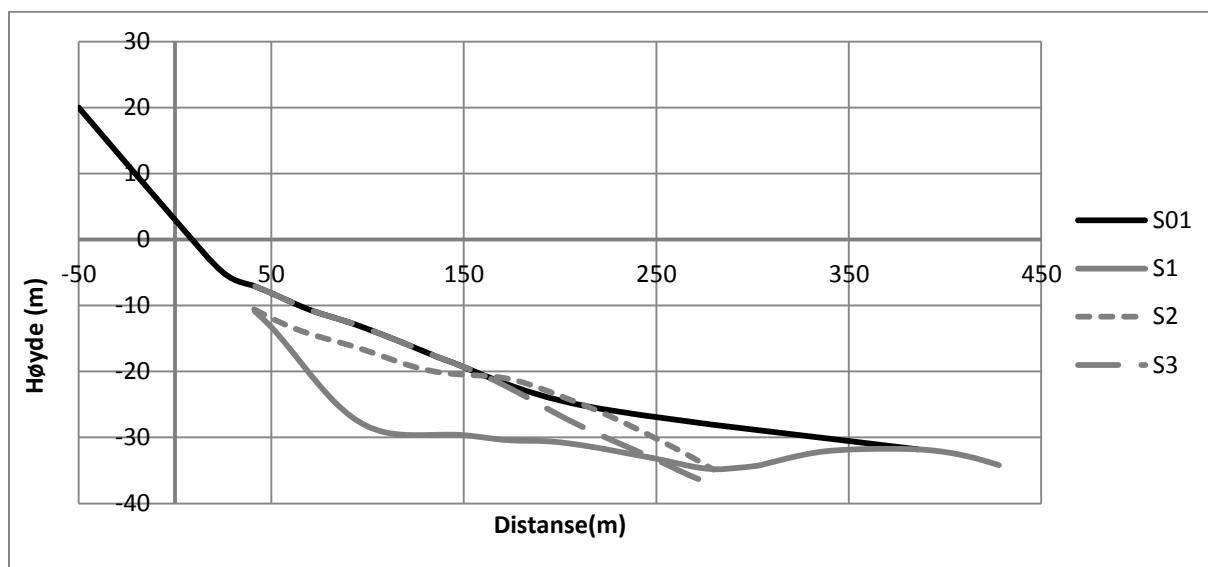
Figur 37 Profiler brukt til beregning. Profiler. S01, S04 og S1, S4 er samme profil, bare før og etter skred.

Havets vannstand i modellen ligger på $y=-1,25$ m ettersom dette er beregnet vannstand på skredtidspunktet. I det hellende terrenget over havet ligger vannstanden like under topplaget. Det er sett på beregninger med hydrostatisk poretrykk og overtrykk i ulike lag.

Størrelsen på fyllingen samsvarer med den prosjekterte fra 1956, se Vedlegg 3, samt høydemålinger med GPS fra 21.04.2016.

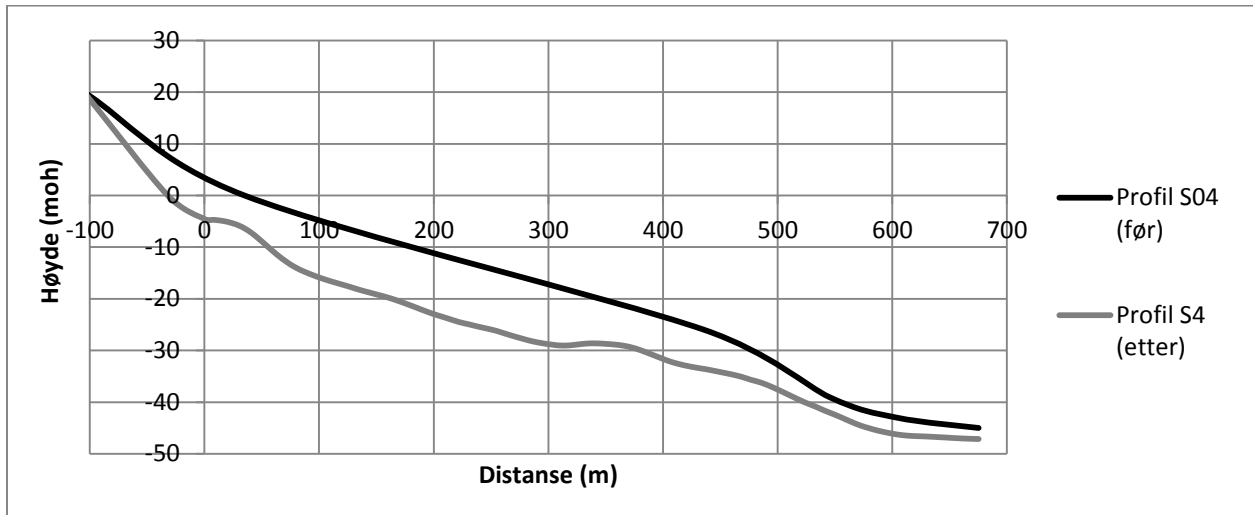
Dersom man ser på profilet S1 etter skred, står det igjen en skråning med en helning på ca. 20° de første hundre meterne, se Figur 36. På bakgrunn av dette er det antatt at fjellets helning er ca. 20° også videre ut i fjorden. Helningen blir slakere omtrent 100 meter fra fyllingen.

For å skape en modell med realistisk løsmassemekting før skred, er det sett på tre profiler som er påvirket av skredet i ulik grad. Profil S1 går igjennom den store skredgropa og over utløpskanalen. S2 er litt påvirket av skredet og S3 er i hovedsak ikke påvirket. Disse profilene er brukt for å lage et rimelig profil før skred, S01. Det er gjort beregninger på en lokal del av S01 og en lengre (global) del.



Figur 38 Profiler fra Bertelneset. Høyde over havet er basert på høydedata fra www.norgeskart.no

Det er også gjort en beregning på et profil som går igjennom skredet, Profil 4. Dette profilet er regnet som drenert og udrenert. Her er dybde og vinkel til fjell antatt ut i fra hvordan skredmassene ligger. Løsmassenes mektighet er antatt ved å se på høydekoten til massene ved siden av skredkanalen.



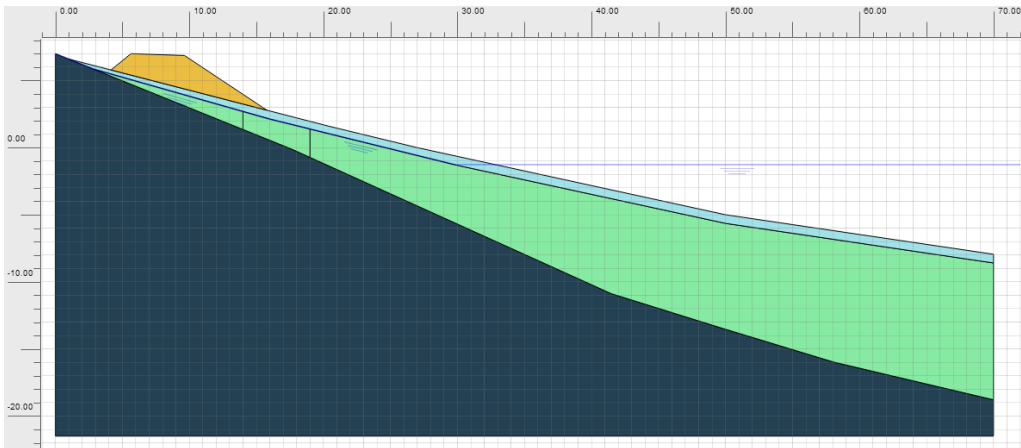
Figur 39 Profil fra midten av Indre Sokkelvik.

Starthelningen er ca. 8 grader. Fra 100-400m er helningen 4 grader. Så blir helningen ca. 7 grader. Dette stemmer overens med de rapportene som beskriver terrenget fra 1960. (Jørstad, 1959, Rosenquist, 1959, Bjerrum and Eide, 1960a)

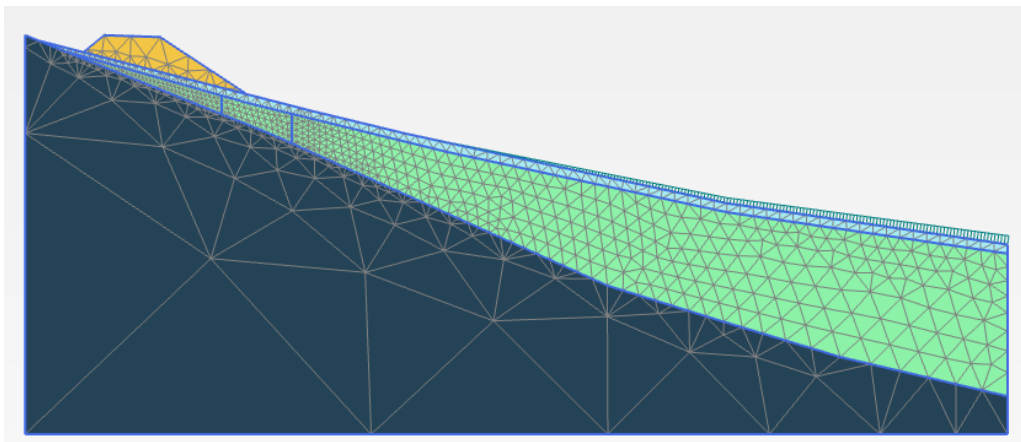
De stabilitetsberegningene som ble gjennomført for Indre Sokkelvik i etterkant av skredet ble gjort med antagelse om at dette var et skred i en naturlig skråning og er derfor bare regnet drenert. (Bjerrum and Eide, 1960b)

3.4.3 Profil: S01 (lokalt)

I de rapportene som ble utarbeidet i etterkant av skredet forklarer flere av vitnene at skredet ble først observert lengst nord i Indre Sokkelvik. Skredet skal ha utviklet seg hurtig sørover. (Jørstad, 1959) Dersom skredet da startet ved Bertelneset, nord i Indre Sokkelvik, vil det være her stabiliteten er dårligst. Det er derfor foretatt en beregning i Plaxis for å finne stabilitet før og etter fyllingsarbeidet.



Figur 40 Dimensjon av modell.

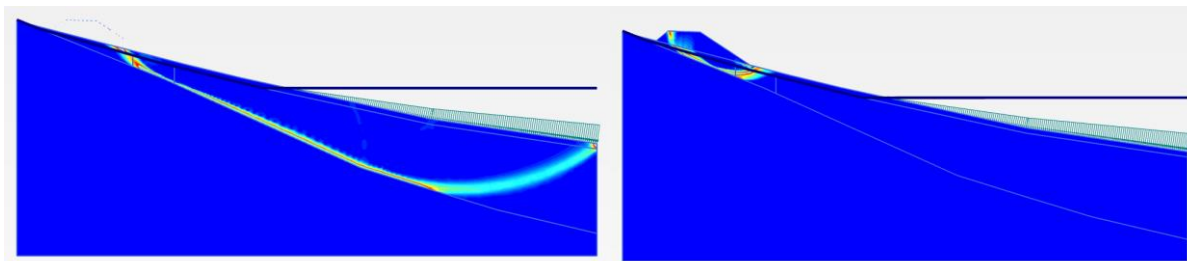


Figur 41 Elementinndeling i modell.

Massene under fyllingen hadde med stor sannsynlighet konsolidert for denne lasten da skredet gikk. Allikevel kan man argumentere for at dette skredet gikk udrenert dersom nedbøren som kom denne dagen førte til en betydelig økning av fyllingsvekten.

	Udrenert su=15 kPa	Udrenert su=20 kPa
Poretrykksfordeling	Hydrostatisk	Hydrostatisk
Før fylling	1,57	2,09
Etter fylling	1,05	1,34

Tabell 5 Resultater fra udrenerte beregninger. Profil S01



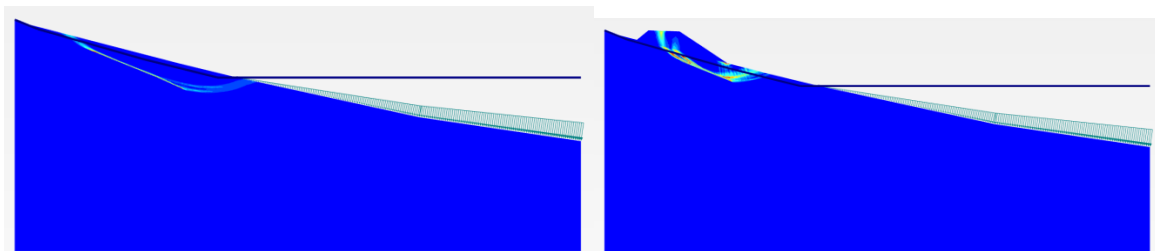
Figur 42 Bruddmekanisme før og etter fylling. $S_u=20\text{kPa}$

Denne figuren viser bruddmekanismen til su 20 kPa. For 15 kPa oppstår tilsvarende.

Det er også nødvendig å regne denne skråningen drenert, ettersom fyllingen hadde ligget i 6-18 måneder.

Drenert				
Poretrykk:	Hydrostatisk	Poreovertrykk (1) (jevn økning)	Poreovertrykk (2) (lag over)	Poreovertrykk (3) (lag under)
Før fylling	1,78	-	-	-
Etter fylling	1,39	1,00	1,00	1,00

Tabell 6 Resultater fra drenerte beregninger. Profil S01 (lokalt)



Figur 43 Bruddmekanisme for drenerte beregninger, med og uten fylling. Hydrostatisk. Profil S01.

Dersom vinkelen til fjellet økes og endringen kompenseres ved å øke tykkelsen av leirlaget, synker sikkerheten mot utglidning. Det er også nødvendig å redusere sikkerhet med 10-20 % dersom man antar progressiv bruddutvikling.

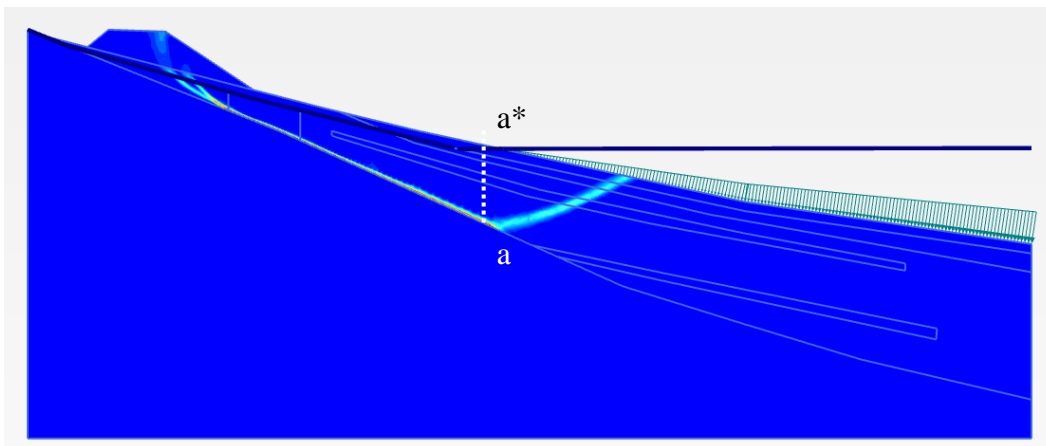
Drenerte beregninger med hydrostatisk poretrykk gir høy sikkerhet mot utglidning. Ulike poreovertrykkssituasjoner er prøvd for å senke sikkerheten.

Poreovertrykk (1) – jevn økning

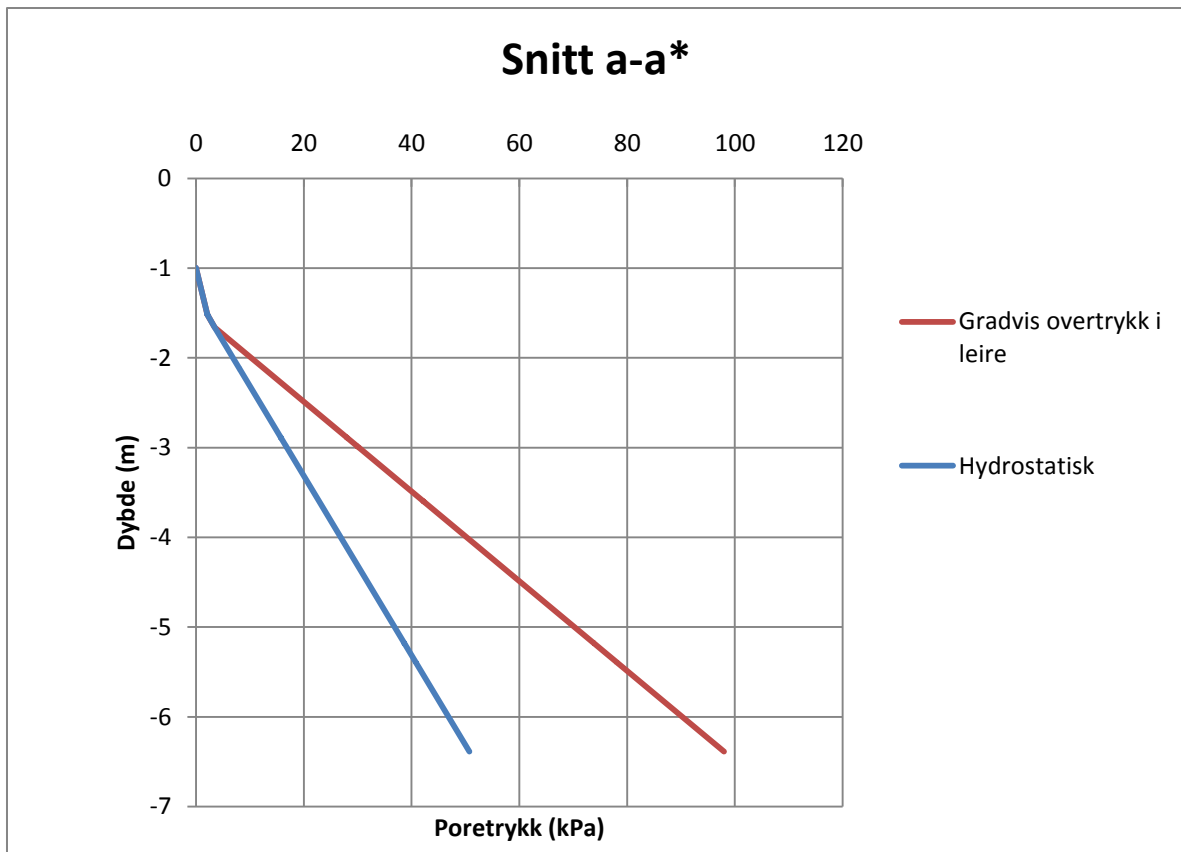
Her øker poreovertrykket gradvis i leira. Poreovertrykket i lagdelingen mellom fjell og leire er satt til å øke slik at det i bunnen av leirlaget er et overtrykk på ca. 50 kPa, se figur i Vedlegg 3. Det er ikke overtrykk under fyllingen. For denne situasjonen blir stabiliteten kritisk.

Dersom poretrykket minker litt gjør det fort utslag på sikkerhetsfaktoren.

Siden sedimenteringen skjer gradvis og man får ganske definerte lag vil det antageligvære mer riktig og se på poreovertrykk i en del av skråningen og ikke et økende poreovertrykk for hele skråningen.



Figur 44 Drenert beregning med gradvis økende poreovertrykk. Profil S01.

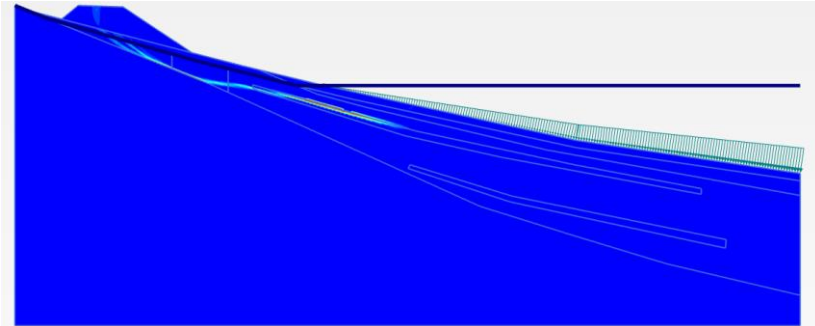


Figur 45 Hydrostatisk og poreovertrykk for snitt a-a*.

I Figur 26 viser profilene fra Ytre Sokkelvik sand- og gruslag i stratigrafien. Det kan også tenkes at slike lag også har eksistert i Indre Sokkelvik. Antagelig har da disse lagene hatt høyere poretrykk en den omliggende leira. Dette kan modelleres i Plaxis ved å legge inn nye lag i modellen og gi disse lagene et høyere poretrykk. Lagene blir ikke tilegnet nye materialer, det er fortsatt leire med $\phi = 25^\circ$ og $c = 5 \text{ kPa}$.

Poreovertrykk (2) – øvre lag

I poretrykksituasjon (2) er poreovertrykket bare satt til et øvre lag i skråningen, se figur i Vedlegg 2. Tilleggs-poretrykk i laget er satt til 19kPa. (Head er $y_{ref}=0,655\text{m}$).



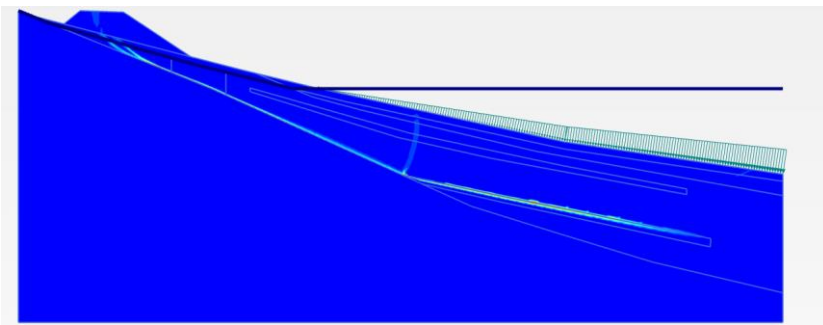
Figur 46 Øvre lag har høyt poreovertrykk på 19kPa

Bruddmekanismen under fyllingen brer seg inn i laget med høyt poretrykk.

Høyt poretrykk i lag nær overflaten kan føre til et initialskred. Da blir massene under hurtig avlastet og overbratte slik at det er fare for sekundære skred i disse massene.

Poretrykk (3) – nedre lag

Poreovertrykket i nedre lag er 58kPa. (Head er $y_{ref}=4,6\text{ m}$)

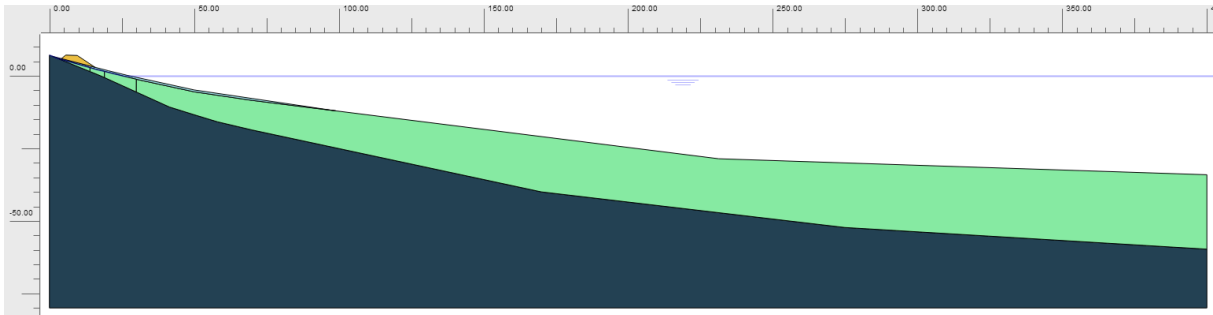


Figur 47 Nedre lag har poreovertrykk på 58 kPa.

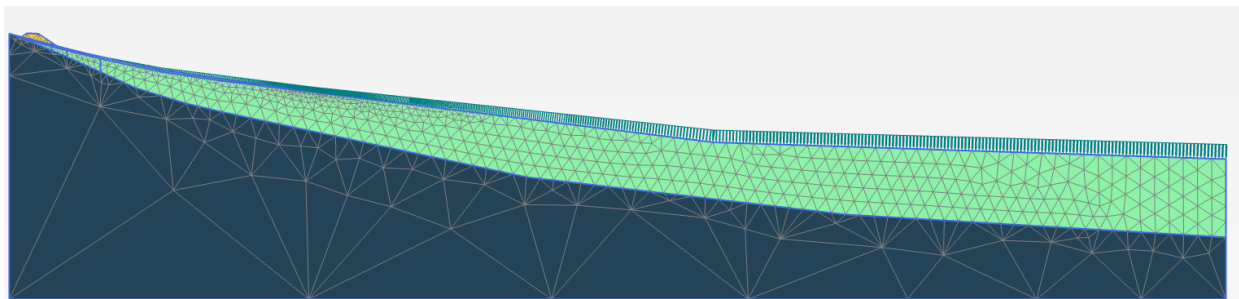
Hovedsakelig går modellen til brudd når poreovertrykket i disse lagene blir store nok til at kornkontakten nesten forsvinner. Overlagringen avgjør hvor høyt poretrykket må være før brudd.

3.4.4 Profil: S01 (globalt)

Det er foretatt beregninger på et lengre snitt av profil S01 også for å se hvordan dette påvirker stabiliteten.



Figur 48 Profil S01(globalt).

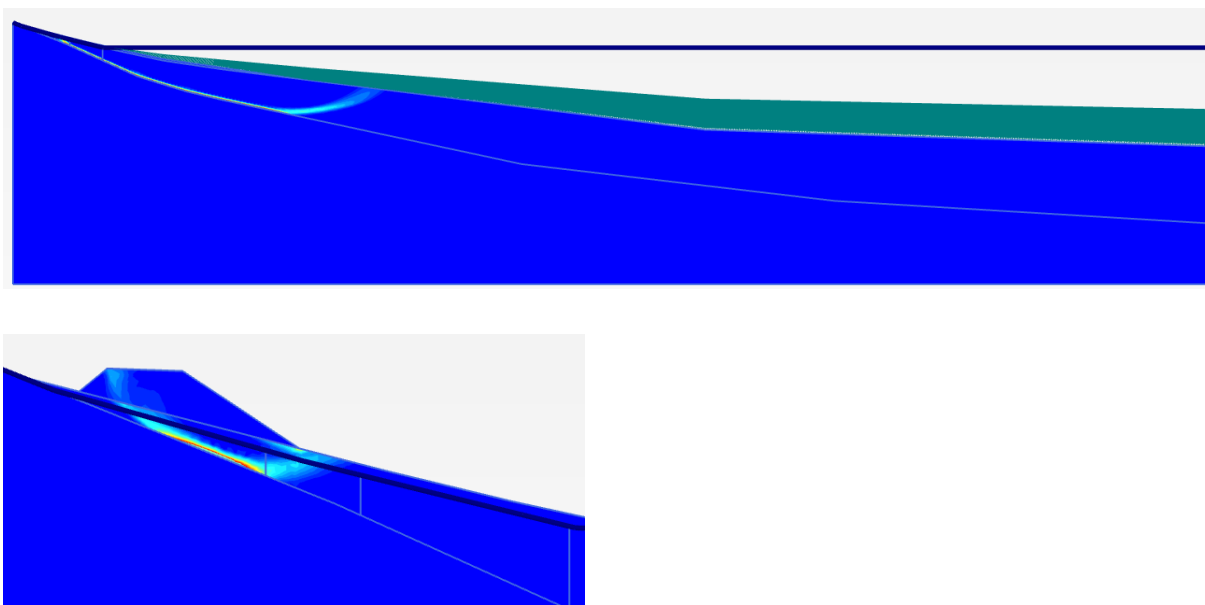


Figur 49 Elementinndeling Profil S01 (globalt)

	Udrenert $s_u=15$ kPa	Udrenert $s_u=20$ kPa	Drenert
Poretrykk:	Hydrostatisk	Hydrostatisk	Hydrostatisk
Før fylling	1,40	1,87	1,82
Etter fylling	1,08	1,37	1,41

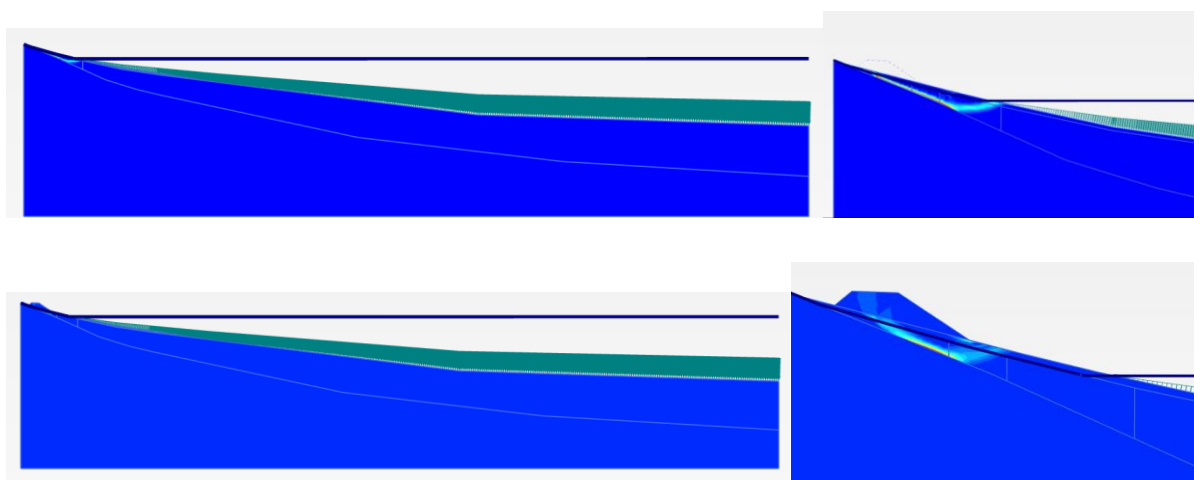
Tabell 7 Resultater fra beregninger Profil S01. (globalt)

For udrenerte beregninger etter fylling blir sikkerhetsfaktorene tilsvarende som for S01 (lokal). De er litt høyere, men det kommer antagelig av at elementinndelingen er noe grovere her. Dette gjelder også de drenerte beregningene, både før og etter fylling.



Figur 50 Bruddmekanisme for udrenert analyse. $su = 20 \text{ kPa}$.

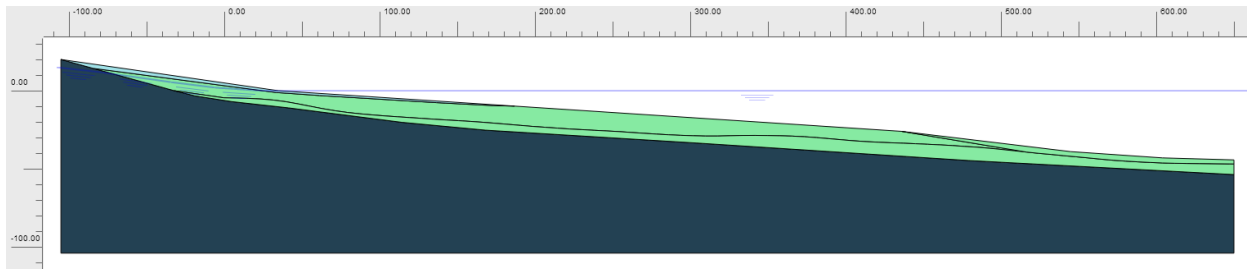
Bruddmekanismen for $su=15 \text{ kPa}$ er tilsvarende som for $su=20 \text{ kPa}$



Figur 51 Bruddmekanisme drenert analyse. Med og uten fylling.

Etter fyllingen er lagt er det fortsatt her bruddet oppstår, som for i beregningene gjort i kapittel 3.4.3.

3.4.5 Profil S04

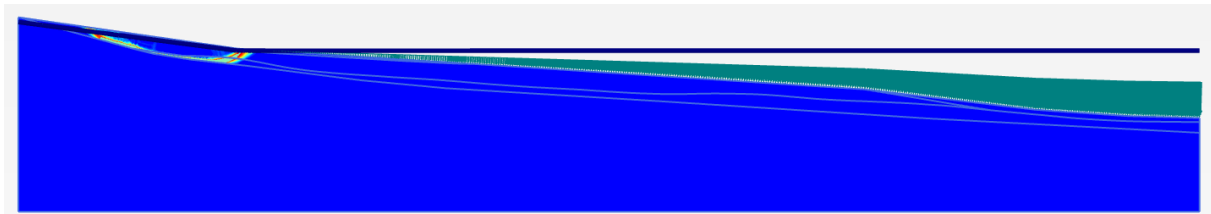


Figur 52 Profil S04.

Svart linje som er tegnet opp mellom leira er sjøbunn etter skred, altså tilsvarende profil S4.

	Udrenert su=15kPa	Udrenert su=20 kPa	Drenert
	Hydrostatisk	Hydrostatisk	Hydrostatisk
Materialfaktor	0,75	1	2,33

Tabell 8 Resultater beregninger Profil S04.

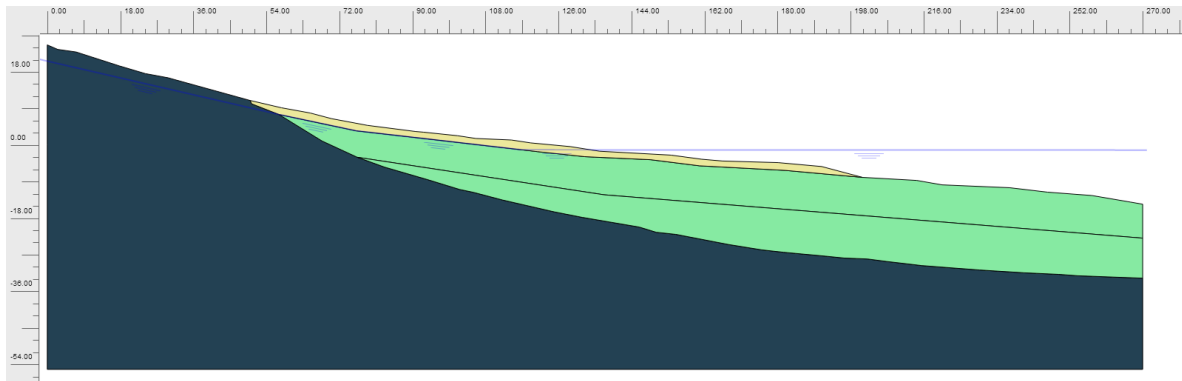


Figur 53 Bruddmekanisme for su=20 kPa.

Bruddmekanismen for udrenert beregning og drenert oppstår på samme sted i modellen. Drenert beregning gir høy sikkerhetsfaktor, også etter nedskalering for progressiv bruddutvikling, da 1,86.

3.4.6 Profil: 2 Ytre Sokkelvik

Det er også gjort en stabilitetsberegning på profil fra Ytre Sokkelvik for å sjekke stabilitet her.

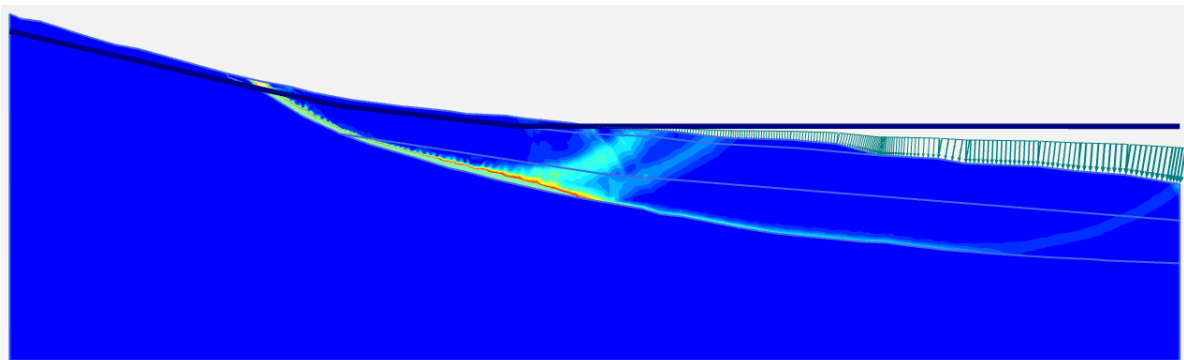


Figur 54 Profil 2, Ytre Sokkelvik.

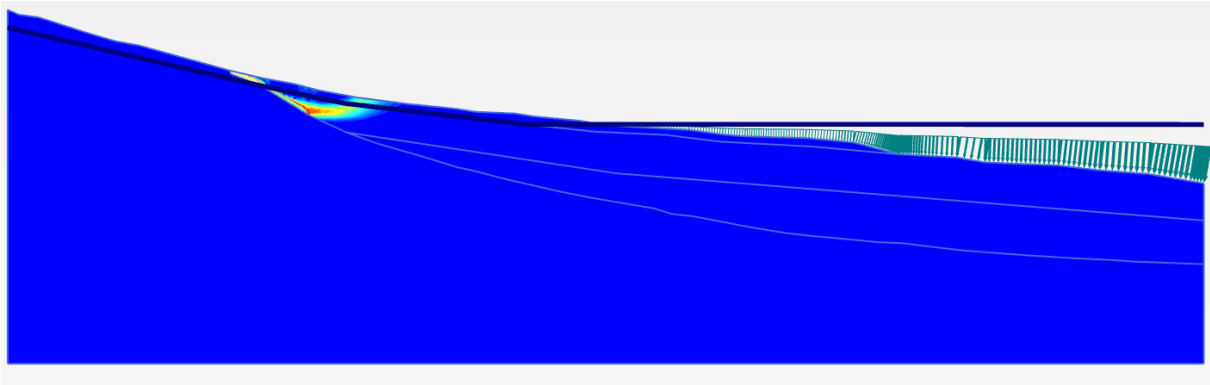
En beregning på dette profilet er gjennomført med de samme parameterne som ble funnet for Indre Sokkelvik i Tabell 4.

	Udrenert su=15kPa	Udrenert su=20kPa	Drenert
	Hydrostatisk	Hydrostatisk	Hydrostatisk
Materialfaktor	0,92	1,22	2,05

Tabell 9 Resultater: beregninger Ytre Sokkelvik.



Figur 55 Udrenert beregning med su=20 kPa.



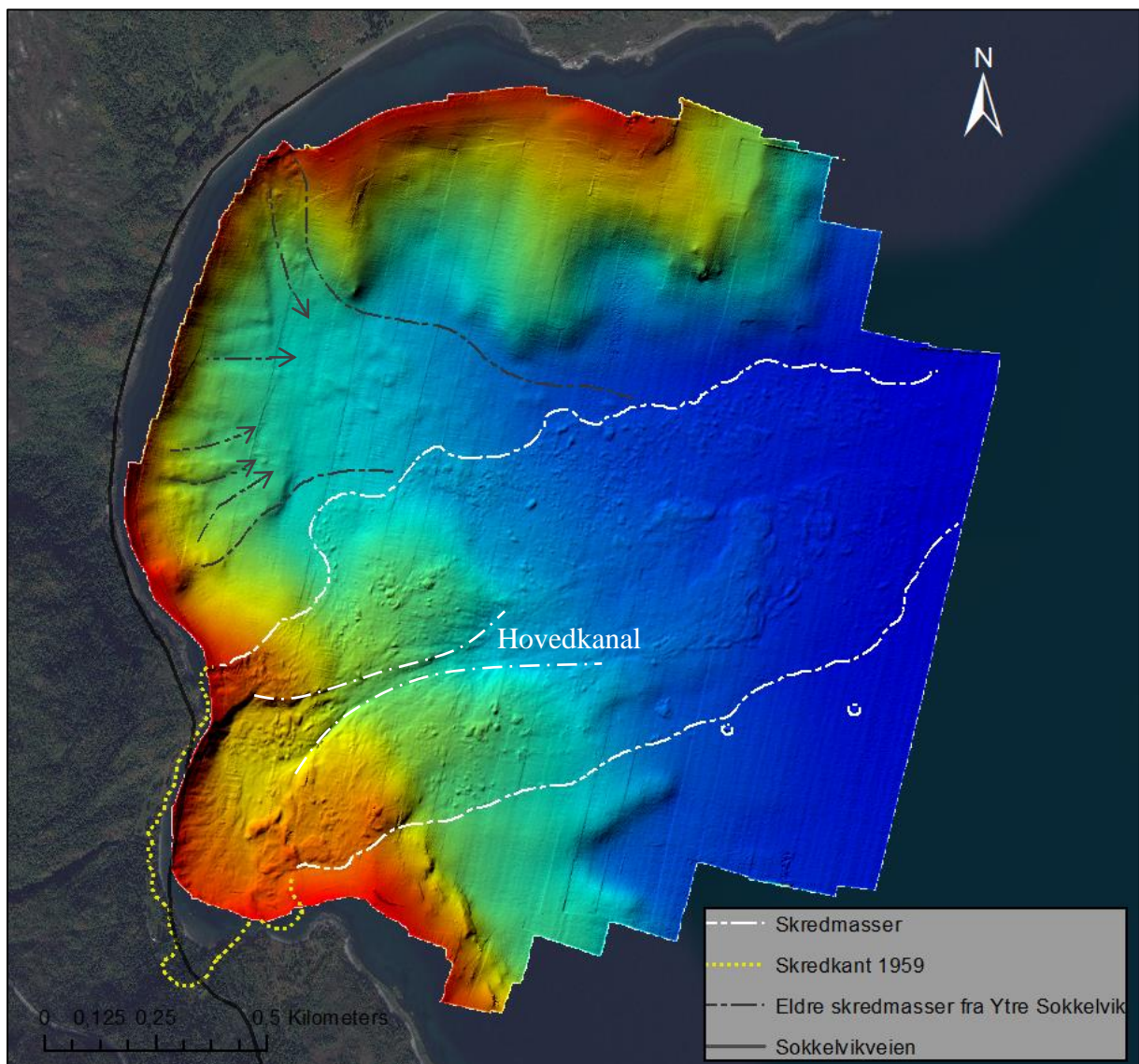
Figur 56 Bruddmekanisme for drenerte beregninger.

Disse bruddene ligner ikke på det som har vært de faktiske utglidningene i Ytre Sokkelvik, se batymetri Figur 59. Disse bruddene kan mulig heller ha oppstått av store poretrykk i høyere liggende lag.

3.5 Sjøbunnsanalyse etter skredet

Batymetri fra fjorden utenfor Indre og Ytre Sokkelvik viser at store arealer er berørt av skredet. Tidligere skredmasser fra Ytre Sokkelvik ligger under skredmassene fra Indre Sokkelvik 7.mai. Sedimenteringen i etterkant av de eldste skredene har gjort dem mindre tydelige. Disse skredene kan ha rørt ved foten til massene som ligger ved Indre Sokkelvik, men dette har da ikke utløst skredet.

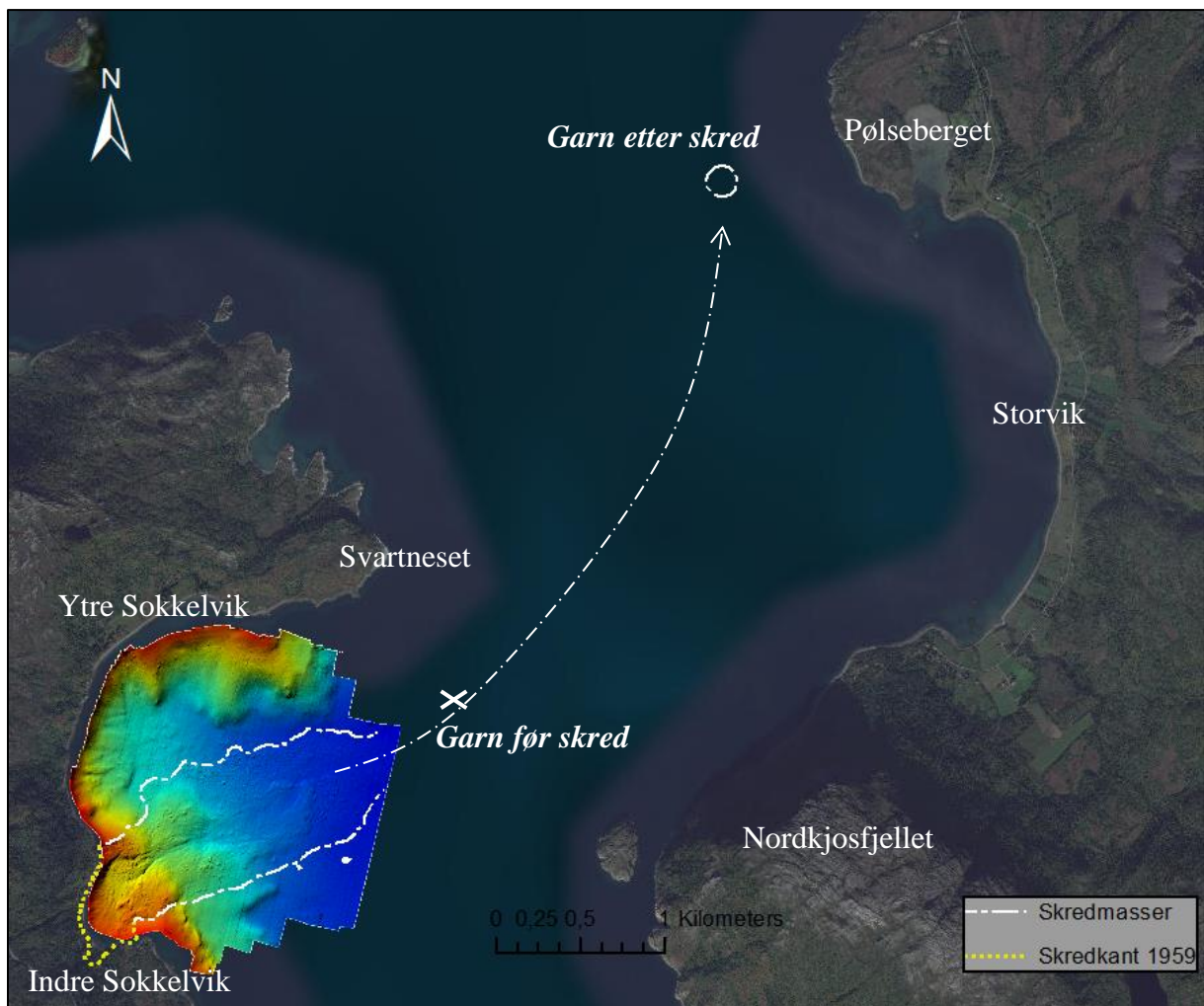
Ved å se på hvordan skredmassenes skygge er på batymetrien kan man anta hvilken retning de kom fra.



Figur 57 Batymetrisjoto, Indre- og Ytre Sokkelvik.

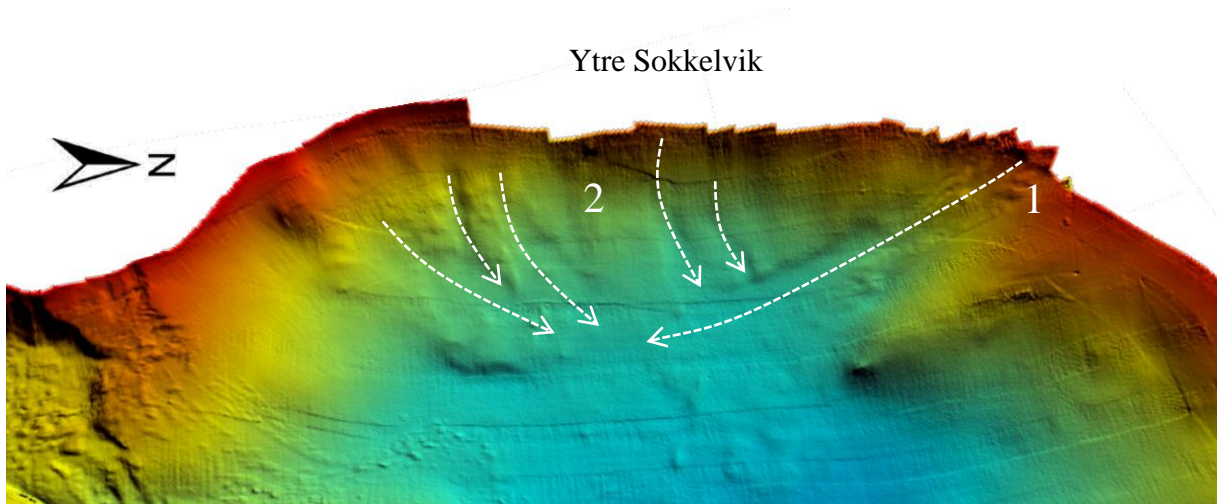
Skredmassene som sees på batymetrien utgjør bare en liten del av hele utløpssonen. Før skredet ble utløst var det lagt ut garn i fjorden mellom Svartneset og Nordkjosfjellet. (Jørstad, 1959) Dette garnet ble senere funnet utenfor Pølseberget, se Figur 58. Sedimentstrømmen fra skredet har da flyttet garnet omtrent 3,5 km bort fra der de opprinnelig sto. Da garna ble dratt opp etter skredet var de innfiltret i leire, greiner og røtter. (Jørstad, 1959)

Utløpssonen frem til garnas posisjon etter skredet er 5,5 km, allikevel kan sedimentstrømmen være enda lengre.



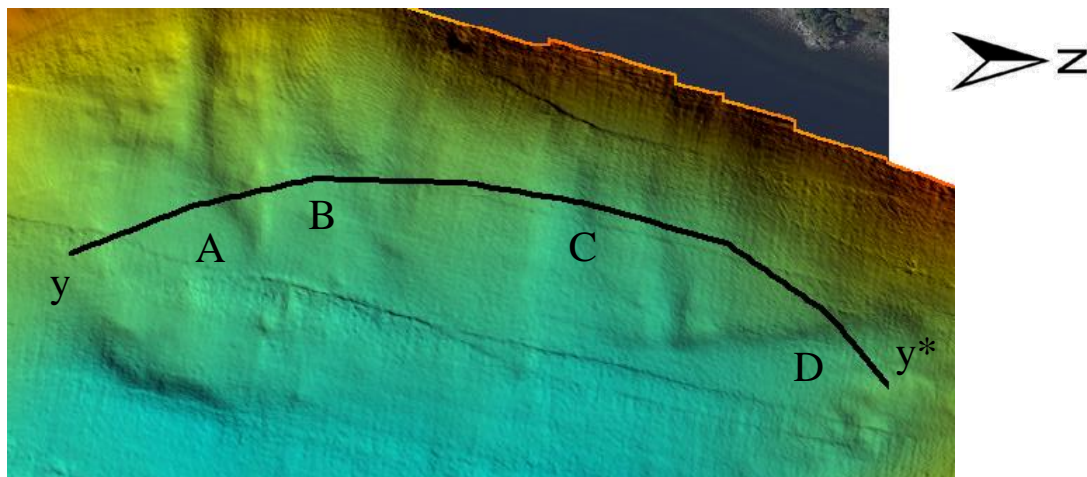
Figur 58 Skredmassenes utløpssone.

Prøve å forstå hvorfor de eldre skredene i Ytre Sokkelvik har gått kan hjelpe når man skal forstå hvorfor skredet i Indre Sokkelvik gikk.

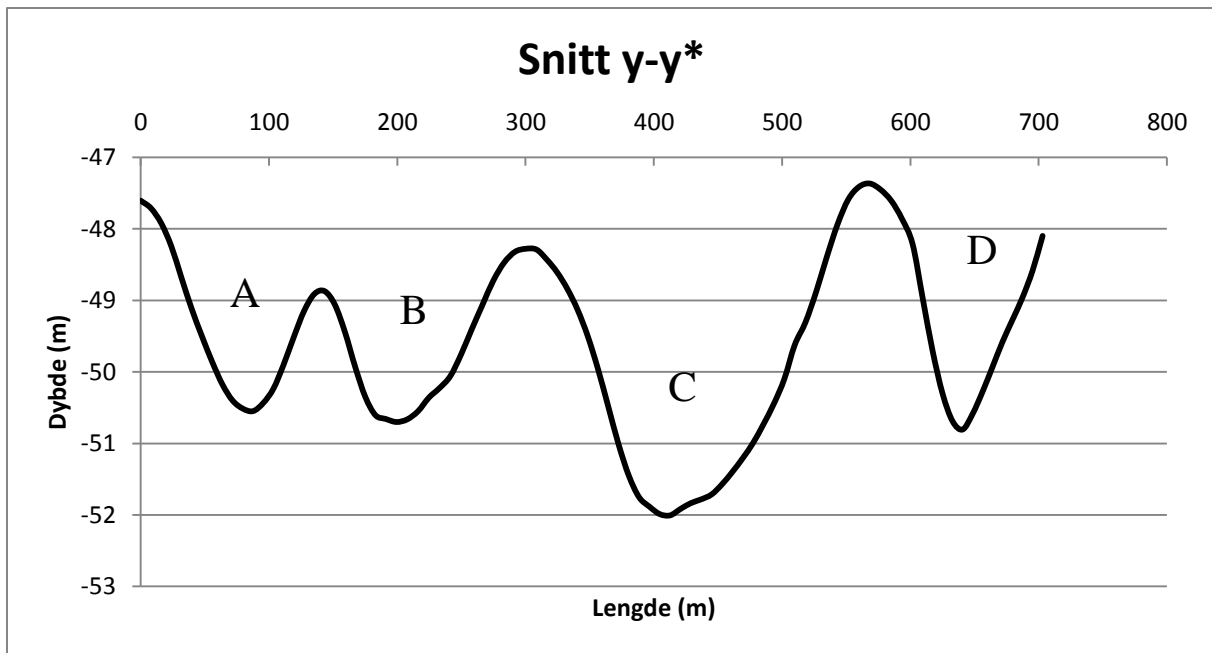


Figur 59 Eldre skred i Ytre Sokkelvik.

I Ytre Sokkelvik kan det se ut som et initialscred har gått helt nord i vika og rast ut i sørlig retning. Denne hendelsen har tatt foten på enkelte deler av skråningen lengre sør i vika. Skredene har bare gått i de øverste massene. Fra Figur 26 ser man at det er omtrent 30 meter med kvikkleire i område hvor initialscredet i Ytre Sokkelvik gikk. Initialscredet har ikke ført til at kvikkleira her har blitt ustabil.



Figur 60 Eldre skred i Ytre Sokkelvik, snitt y-y*.



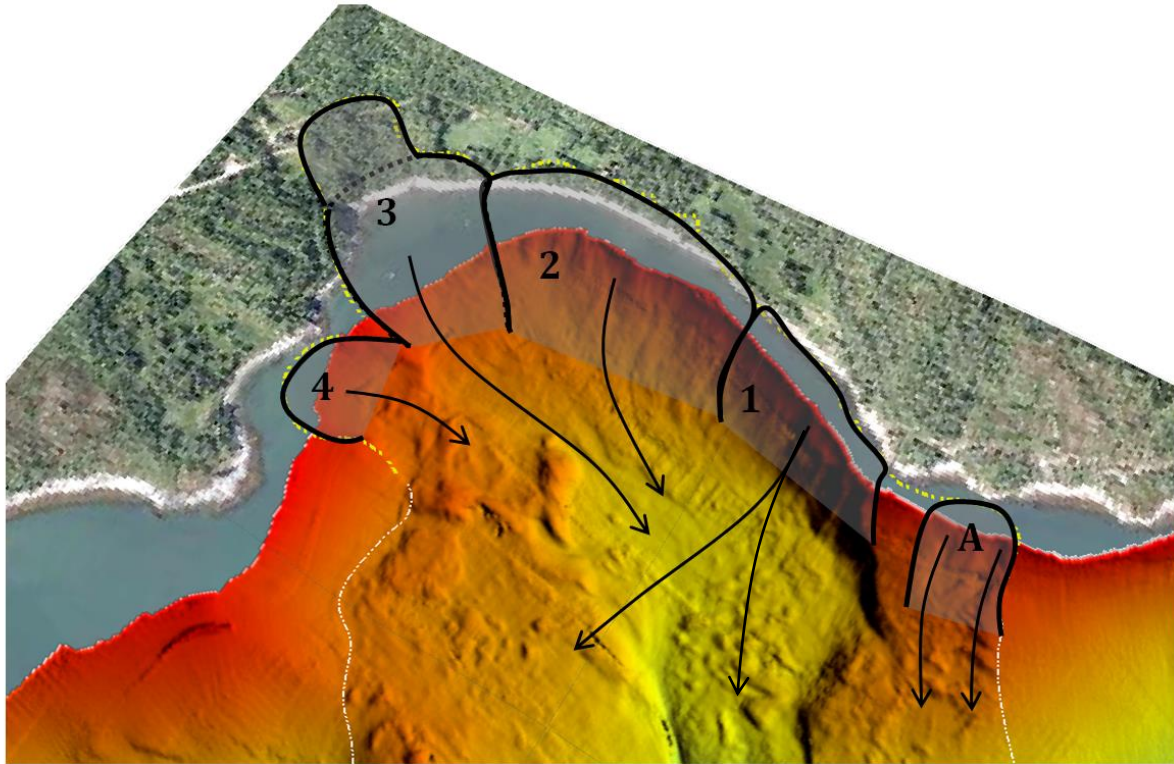
Figur 61 Dybde av skredhendelser i Ytre Sokkelvik.

Fra Figur 61 tyder det på at skredene som har gått i Ytre Sokkelvik har blitt utløst ved samme plan. Det kan ligge et svakt lag her, eller et siltig lag med poreovertrykk som skaper utglidningene. Laget ligger antagelig litt dypere enn 2-3 meter ned da det har sedimentert masser her siden skredene gikk.



Figur 62 To små bekker renner ut nord i Ytre Sokkelvik. (www.norgebilder.no)

To små bekker renner ut i Ytre Sokkelvik, men disse har trolig veldig lite vannføring. Det er heller ikke tegn til noe erosjon fra disse bekkene fra dagens satellittbilder. Hvor lenge det er siden disse skredene gikk er vanskelig å anta, men det er antagelig noen hundre år.



Figur 63 Skredets utvikling.

Et skred et par år før hendelsen i 1959 ble omtalt på side 28 i denne rapporten. Nøyaktig plassering av dette skredet er ikke kjent, men ytre del av Indre Sokkelvik er omtalt. (Jørstad, 1959) Dette er tolket som området utenfor Bertelneset. Massene fra dette skredet kan være undergravet av skredet fra 1959, eller så kan dette være utrasing A som er markert i Figur 63 . Skred A skiller seg også fra skredet lengre inne i vika, ved at det er et betydelig grunnere skred. Bruddet i skred A ser ut til å ha gått langs et definert lag da massene under de utraste skredmassene som ligger igjen på skråningen ser jevnt ut.

Skredet i A ligger også 2-3 meter dypt, og kan tenkes å ha gått langs samme plan som skredene i Ytre Sokkelvik.

Hendelse A kan også ha rast ut udrenert etter at fyllingen bak Bertelneset ble lagt. Dette er en stor fylling som kan ha ført til mindre utglidninger før den store skredhendelsen.

3.6 Sammendrag fra Sørkjosen, 10.05.2015



Figur 64 Satellittbilde (<http://www.norgebilder.no>)

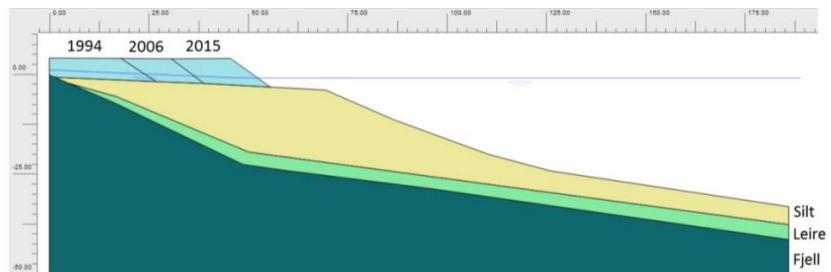
Sørkjosen er en liten bygd 2 km sør for Indre Sokkelvik. Her gikk det, den 10. mai 2015, et undersjøisk skred som tok med seg en nylig utlagt molo og deler av massene som lå ved strandsonen.

I februar 2016 kom en rapport (Nordal et al., 2016) som konkluderte med at utfyllingen av moloen var årsaken til skredet. Utbyggingen gjorde stabiliteten i område så lav at utglidning oppsto på grunn av den ekstra belastningen av intenst nedbør før skredet. Skredet oppsto i etterkant av lavvann, det var ikke uvanlig lavt tidevann. Det første skredet oppsto ved moloen og tok foten av massene langs sideveggene utover mot Jubelen. Det totale skredvolumet var 1,1-1,4 millioner m³.

Moloen i Sørkjosen ble bygd i 1977 og videre utfylt på 90-tallet. Leira som ligger under denne mololasten antas å ha vært fullt konsolidert og har økt litt i styrke. Den siste moloen-utfyllingen ble lagt 6 måneder før skredet gikk. Leira som ligger under her anses å ha opplevd en liten grad av konsolidering. (Skotheim, 2015)

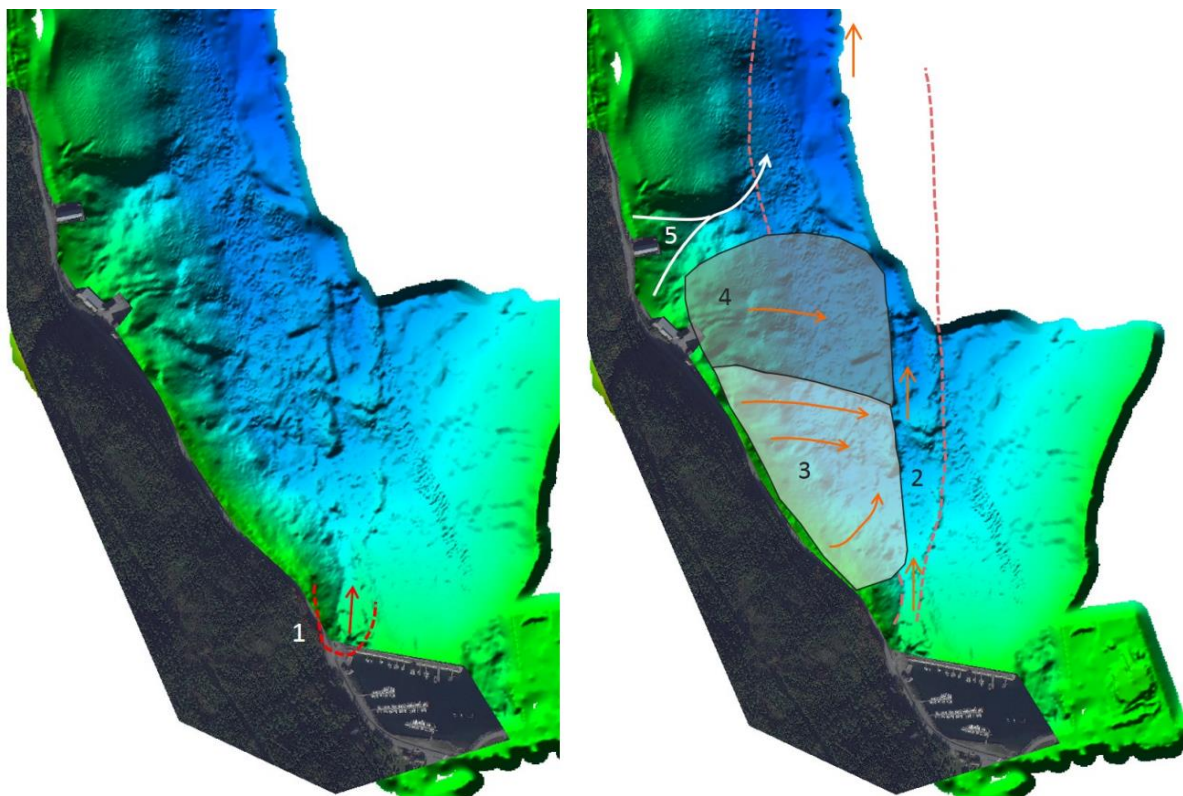
Grunnundersøkelser fra området har vist et poreovertrykk i sandlag og i leirlag på ca 10 kPa. Effekten av dette poreovertrykket ble funnet til å være liten. Stabilitetsberegningene ble derfor gjort med hydrostatisk poretrykksfordeling.

I stabilitetsberegningene er det skjærstyrken redusert med 10 % på grunn av rate effekt og kompensasjon for progressiv bruddutvikling i sensitive leirer. Beregninger på profiler gjort ved moloen viser at stabiliteten var kritisk etter oppfylling. Tykkelsen og utbredelsen av leira var avgjørende for stabiliteten.



Figur 65 Profil 31 fra Sørkjosen, viser også moloutfylling.

Det er tatt med en økning i udrenert styrke i leira fordi leira under disse utfyllingene har hatt tid til å konsolidere. For profilet vist på Figur 65 var styrken i leira funnet til å være $su_a=25+1,5z$. Lengre nord, ved Jubelen, var styrken $su_a=10+2,5z$.



Figur 66 Først går initialskredet ved moloen i Sørkjosen. Deretter går sekundærskredet langs sideveggene.(Nordal et al., 2016)

Grundigere beskrivelse av skredet kan leses i Skredet i Sørkjosen 10.05.2015 (Nordal et al., 2016) eller i prosjektoppgaven Skredet i Sørkjosen (Austefjord, 2015).

Kapittel 4

Diskusjon

Som nevnt tidligere i oppgaven er det flere skred i strandsonen som har oppstått i nærheten av svake lag, blant annet Trondheimsfjorden og i Finneidfjord. I hvilken grad lag av sensitiv leire eksisterer i Indre Sokkelvik og størrelsen på poreovertrykket krever videre grunnundersøkelser. Allikevel kan man se på batymetri at strandsonen i Sokkelvik er utsatt for tidligere skred. Forholdene ligger altså til rette for dannelse av sensitive leirlag. De eldre skredene fra Ytre Sokkelvik og skredhendelse A fra nord i Indre Sokkelvik gir antydninger til at det eksisterer et svakt lag omtrent 2-3 meter under sjøbunnen.

Fra batymetribildene kan man se at sjøbunnen sør for Indre Sokkelvik er uberørt. Dette gir indikasjoner på at skredet ikke startet på grunn av instabiliteter eller utrasinger ved Reisadeltaet. Årsak må derfor ha vært en lokal hendelse i Indre Sokkelvik.

Det undersjøiske skredet som ble observert 3-4 år før skredet i 1959 kan ikke beregnes som et initialskred til skredet i Indre Sokkelvik. Det kan allikevel antas at denne hendelsen reduserte stabiliteten i området.

Fyllingen i Indre Sokkelvik er plassert ugunstig i forhold til flere faktorer. Den ligger på et tynt lag av løsmasser. Løsmassene øker i tykkelse nedover i fjorden og har strain-softening egenskaper. Skråningen utenfor fyllingen er også den bratteste ut fra vika og den som er mest utsatt for erosjon fra havstrømmer og bølger. Det kan være en mulighet at det har gått små utglidninger i fyllingen etter at den ble utlagt i 1957 som gjorde at man måtte tilbake i 1958 for å fylle opp. Men dette er ikke oppgitt noen steder og blir spekulasjoner.

Det er vanskelig å avgjøre i hvor stor grad svakhetssonene har bidratt til skredhendelsen i Indre Sokkelvik. Dersom det er stor gjennomstrømning i det oppsprukkede berget vil det senke stabiliteten.

På batymetrien er det ikke funnet noe tegn til pockmarks på sjøbunnen, hverken i Indre eller Ytre Sokkelvik. Dersom det var pockmarks i Indre Sokkelvik kan de ha blitt begravet av skredmassene. Det kan være høyt poretrykk i grunnen selv om man ikke ser tegn til pockmarks. Dette betyr bare at poretrykket er helt inkapslet mellom tette lag, og ikke har

sluppet ut. Vitner har nevnt flere hull og kupler i strandlinja før skredhendelsen i Indre Sokkelvik. Det er mulig at disse også finnes i sjøen, men er for små til å synes på batymetri.

Historiske nedbørsmålinger viser at det kom ekstremt mye nedbør kvelden da skredet i Indre Sokkelvik gikk. Man må helt tilbake til 1930 for å finne en tilsvarende registrert måling. Det var altså den 7.mai at skråningen med fyllingen for første gang opplevde ekstemnedbør med resulterende høye poretrykk.

Det er bare prosjektert en stikkrenne nederst i fyllingen. Det er mulig at denne ikke var stor nok til å ta unna alt vannet som kom 7. mai. Vannet kan da ha samlet seg bak fyllingen og muligens funnet nye strømningsveier gjennom fyllingen.

For fyllingen er det rimelig å anta at den ble lagt over flere dager, da man ikke hadde maskinelle hjelpemidler. Da har antagelig styrkeøkningen som følger av konsolideringen vært nok for hvert påfyllingstrinn slik at massene under har tålt påkjenningen av neste lasttrinn. Derfor har ikke dette skredet gått udrenert etter at fyllingen ble lagt.

De drenerte beregningene på ulike profiler i Sokkelvik har ikke gitt kritisk sikkerhet. Dersom man skalerer faktorene ned 20 % for å kompensere for progressiv bruddutvikling blir sikkerheten lavere. For det lokale profilet S01 blir faktoren da 1,11. Det er mulig denne faktoren er noe for høy da det er knyttet usikkerhet til styrkeparametere og utbredelse/dybde av leira i profilet. Tar man også hensyn til at poretrykket i grunnen ikke var hydrostatisk, synker sikkerhetsfaktoren ytterligere. Enda finere elementinndeling ville også muligens gitt lavere sikkerhetsfaktor.

Hvor riktig det blir å anta kvikkleire under fyllingen ved Bertelneset er uvisst, ettersom rapportene fra 1960 beskriver en veldig fet leire i dette området, Figur 34. Allikevel ser man tydelig på batymetribilder at store masser har forsvunnet herfra. Spor på batymetrien tyder også på at massene herfra har rent nedover. Det har derfor vært rimelig å anta kvikkleire også under fyllingen.

I hvilken grad skredet er knyttet opp mot bølgeerosjon og erosjon fra bekker er vanskelig å få kunnskap om i dag. Antagelig har ikke disse faktorene vært veldig avgjørende for at skredet gikk 7.mai.

Man kan trekke flere paralleller mellom det som skjedde i Indre Sokkelvik 1959 og Sørkjosen 2015. Begge skredene oppsto langs Reisafjorden, og størsteparten av skredene

oppsto under vann. Områdene inneholder friksjonsmaterialer og kvikkleire. Kvikkleira er mye mektigere i Sokkelvik enn i Sørkjosen. I Sørkjosen gikk initialscredet ved en molo som var fylt ut 6 måneder før skredhendelsen. Ved Indre Sokkelvik hadde man også utfyllinger i forbindelse med vegarbeid som ble utført 6-18 måneder før skredet. Fyllingene i begge tilfeller har påvirket stabiliteten og avrenningsforholdet. Begge hendelser gikk i tidsrom hvor det var eller akkurat hadde vært lavvann. Hendelsene skjedde også i mai, en måned med mye snøsmelting og høy sedimentering i fjorden. Mengden nedbør som kom dagen skredene oppsto er utløsende faktor for at skredene i Indre Sokkelvik og Sørkjosen hendte akkurat på den gitte dagen.

Det er altså flere faktorer som er med å påvirker at skredene i Indre Sokkelvik og Sørkjosen går, men at skredene utløses der man har lagt ut fyllinger er sannsynligvis ingen tilfeldighet.

Kapittel 5

Konklusjon

Skredet i Indre Sokkelvik gikk da mye nedbør kombinert med avrenning fra snøsmelting skapte en uheldig poretrykkssituasjon i skråningen nord i Indre Sokkelvik. En fylling som sannsynlig aldri hadde opplevd en slik nedbørmengde raste først ut på sjøen da skredet oppsto.

Beregninger gjort på profiler nord i Indre Sokkelvik viser at stabiliteten ble forverret etter at veifyllingen ble lagt ut. Bruddflaten oppstår i leira under fyllingen. Av de drenerte beregningene gjort i Indre Sokkelvik er det i nord at stabiliteten er dårligst, altså under fyllingen. En plutselig økning i fyllingsvekten etter regnværet den 7.mai kan ha ført til at utglidningen har startet her, og deretter grepet om seg bakover inn i vika.

Bruddet kan også ha oppstått da poreovertrykket i underliggende lag ved veifyllingen har økt i den grad at effektivspenningene i laget har blitt betydelig redusert. Svakhetssonene, med meget oppsprukket berg, og de bekkene som renner «ned i hull» tyder på at det må ha vært store poreovertrykk i grunnen også før skredhendelsen.

Kombinasjonen av et høyt poretrykksforhold og en ugunstig plassering av veifylling i strandsonen er sannsynlig den utløsende årsak til skredet i Indre Sokkelvik.

Batymetri og dokumenterte utsagn fra vitner støtter opp om at skredet gikk først i nord. Skredet forplantet seg retrogressivt og dannet en pæreformet skredgrop. Disse hendelsene oppstår hurtig og udrenert. Udrenerte beregninger fra Indre Sokkelvik er helt marginale.

Det omtalte skredet som gikk 3-4 år før 1959, har mulig forverret stabiliteten nord i Indre Sokkelvik, men kan ikke regnes som et initialskred til den senere hendelsen. Skredet 3-4 år før tyder på at stabiliteten nord i Indre Sokkelvik var kritisk også da.

I Ytre Sokkelvik ser man også skredmasser fra et eldre skred. Disse er ikke like dominerende som 7.mai skredet. Her har det gått flere små skred. Det virker som disse har gått langs samme plan da de ikke er veldig dype. Dette er antagelig også skred som er utløst av et ugunstig poreovertrykk, da hydrostatisk poretrykksfordeling gir høyere sikkerhet.

I Sørkjosen var det den ekstra utfyllingen av moloen som trigget skredet. Her gikk mye av skredet langs de bratte fjellveggene da initialscredet tok foten. Skredet i Indre Sokkelvik og Sørkjosen har flere likheter. I begge hendelsene har det gått et initialscred ved en utlagt fylling etter en periode med mye nedbør. Det som skiller hendelsene mest fra hverandre er de store kvikkleireforekomstene i Indre Sokkelvik. Disse var avgjørende for utviklingen og omfanget av skredet. I Sørkjosen var det betydelig mindre leire, og kvikkleire var bare funnet ved Jubelen.

Videre arbeid

Det er fortsatt mye vi ikke vet om skred i strandsonen. Forhåndsbestemte faktorer som påvirker stabiliteten er ofte vanskelig å identifisere uten omfattende grunnundersøkelser. Det er flere skred som ikke har blitt dokumentert og analysert grundig. Flere analyser vil gi et bedre datagrunnlag og mer forståelse til neste gang man skal gjøre inngrep i lignende områder.

For Indre Sokkelvik ville det være interessant å se på hva stabiliteten blir for en beregning med strain-softening oppførsel. Videre grunnundersøkelser i området vil også gi svar på om det finnes svake lag i stratigrafien som kan ha vært en forhåndsbestemt faktor for skredutvikling. Grunnundersøkelser kan også gi et innblikk i de eksisterende poreovertrykk.

Referanser

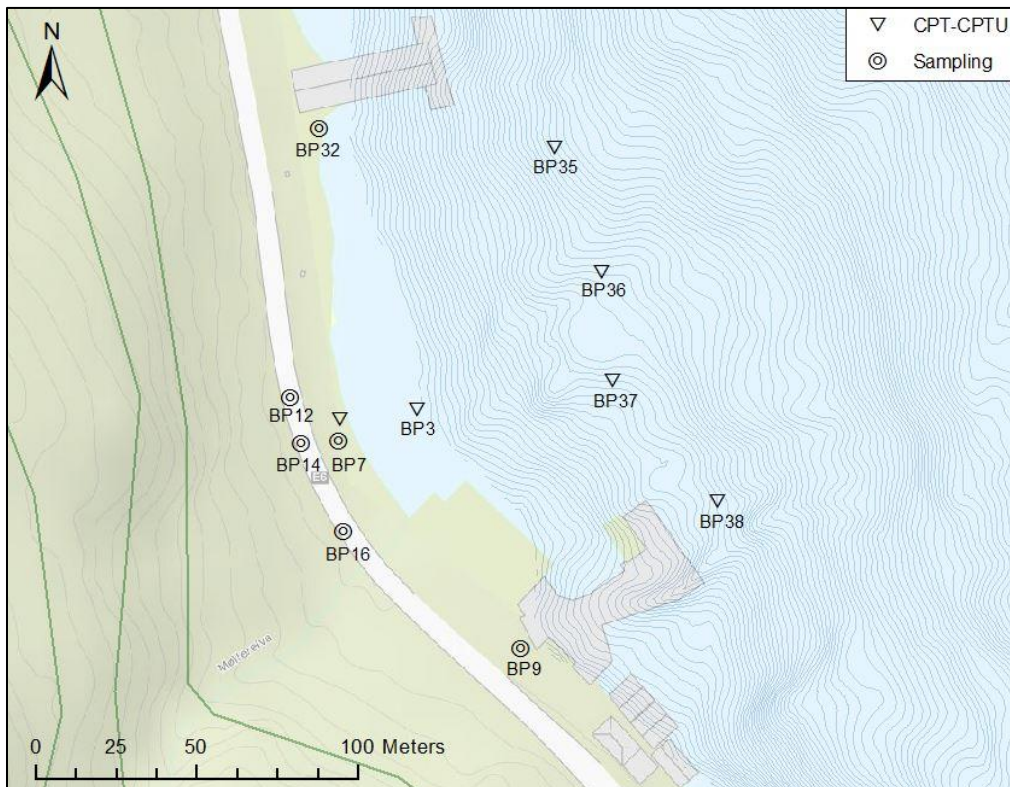
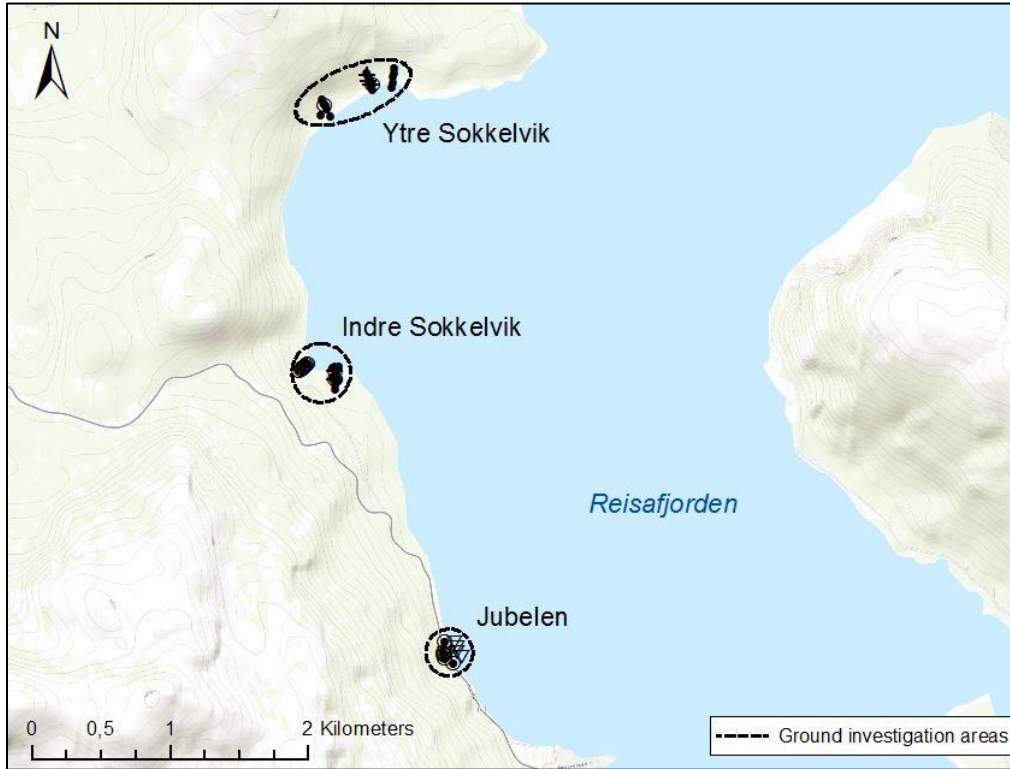
- ANDRESEN, A. & BJERRUM, L. 1967. Slides in subaqueous slopes in loose sand and silt. *Norwegian Geotechnical Institute Publication 81*.
- AUNAAS, K., OSET, F., OTTESEN, H. B., STRAND, S.-A., LYCHE, E., HAVNEN, I., VIKLUND, M., ABOKHAKIL, M., FAUSKERUD, O. A., CHRISTENSEN, S., GJELSVIK, V. & THAKUR, V. 2014. Grense mellom lokal- og områdestabilitet: Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6. Kvikkleire.
- AUNAAS, K., OTTESEN, H. B., OSET, F., NYHEIM, T., STRAND, S.-A., LYCHE, E., FAUSKERUD, O. A., KARLSRUD, K., L'HEUREUX, J.-S., GJELSVIK, V. & THAKUR, V. 2016. Rapport nr 14-2016: Metode for vurdering av løsne – og utløpsområder for områdeskred. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat.
- AUSTEFJORD, S. W. 2015. Skredet i Sørkjosen. *Prosjektoppgave*. Trondheim: NTNU.
- BERNANDER, S. & LULEÅ TEKNISKA, U. 2011. Progressive landslides in long natural slopes : formation, potential extension and configuration of finished slides in strain-softening soils. Luleå: Luleå Univ. of Tech.
- BJERRUM, L. 1960. Rapport: Grunnundersøkelser i Ytre Sokkelvik, Nordreisa. O.805-3. *Norwegian Geotechnical Institute*.
- BJERRUM, L. & EIDE, O. 1960a. Grunnundersøkelser på Hjellnes ved Indre Sokkelvik, Nordreisa. O. 805-2. *Norwegian Geotechnical Institute*.
- BJERRUM, L. & EIDE, O. 1960b. Orienterende undersøkelser i forbindelse med skredet i Indre Sokkelvik, 7. mai 1959 O.805-1. *Norwegian Geotechnical Institute*.
- BORNHOLD, B. D., EARTH, A., GEORGE, E. P. & COLUMBIA, B. 2011. Submarine Failures and Associated Tsunamis, Norway.
- CORNER, G. D. 2006. A transgressive-regressive model of fjord-valley fill: stratigraphy, facies and depositional controls.
- DALSEGG, E. 2012. Geofysiske målinger langs tunneltrasèen Sørelva - Sørkjosen, Nordreisa kommune, Troms. *NGU-rapport*. Trondheim: Norges geologiske undersøkelse.
- EDGERS, L. & KARLSRUD, K. 1982. Soil flows generated by submarine slides: Case studies and consequences. *Nor. Geotech. Inst. Bull*, 143, 1-11.
- EILERTSEN, R. S., HANSEN, L. & L'HEUREUX, J.-S. 2012. Submarine mass-wasting and deposition in selected Norwegian fjord deltas. *Landslides and Engineered Slopes*, 1.
- ELVERHØI, A., DE BLASIO, F. V., BUTT, F. A., ISSLER, D., HARBITZ, C., ENGVIK, L., SOLHEIM, A. & MARR, J. 2002. Submarine mass-wasting on glacially-influenced continental slopes: processes and dynamics. *Geological Society, London, Special Publications*, 203, 73-87.

- EMDAL, A., GRANDE, L., NORDAL, S. & NORGES TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE UNIVERSITET FAGGRUPPE FOR, G. 2013. *Geoteknikk : beregningsmetoder : kompendium for bruk i emne TBA4105 : D. 1*, Trondheim, Norwegian University of Science and Technology, Geotechnical Division.
- FORNES, P. 2014. Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6 kvikkleire. NGIs anbefalinger for krav til effekt av sprøbruddoppførsel: .
- GYLLAND, A. S. & NORGES TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE UNIVERSITET, F. F. I. O. T. I. F. B. A. O. T. 2012. Material and slope failure in sensitive clays. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Fakultet for ingeniørvitenskap og teknologi, Institutt for bygg, anlegg og transport.
- HAMPTON, M. A., LEE, H. J. & LOCAT, J. 1996. Submarine landslides. *Reviews of geophysics*, 34, 33-59.
- HANSEN, L., L'HEUREUX, J. S. & LONGVA, O. 2011. Turbiditic, clay-rich event beds in fjord-marine deposits caused by landslides in emerging clay deposits—palaeoenvironmental interpretation and role for submarine mass-wasting. *Sedimentology*, 58, 890-915.
- HØEG, K., LIED, K., KARLSRUD, K., GREGORY, T. & NORGES GEOTEKNISKE, I. 2014. *Skred : skredfare og sikringstiltak : praktiske erfaringer og teoretiske prinsipper*, Oslo, NGI Universitetsforl.
- JØRSTAD, F. 1959. Intern rapport: Notat fra befaring 9.-12. mai 1959, i Sokkelvik, Nordreisa, i anledning leirskredet den 7. mai 1959. F.174.3. *Norwegian Geotechnical Institute*.
- KARLSRUD, K., AAS, G. & GREGERSEN, O. 1985. *Can we predict landslide hazards in soft sensitive clays? : summary of Norwegian practice and experiences*, Oslo.
- KVALSTAD, T. J., ANDRESEN, L., FORSBERG, C. F., BERG, K., BRYN, P. & WANGEN, M. 2005. The Storegga slide: evaluation of triggering sources and slide mechanics. *Marine and Petroleum Geology*, 22, 245-256.
- L'HEUREUX, J.-S. 2013. Naturfareprosjektet: Delprosjekt 6 kvikkleire. Vurdering av kartleggingsgrunnlaget for kvikkleire i strandsonen
- L'HEUREUX, J.-S., LONGVA, O., HANSEN, L., VANNESTE, M., KRASTEL, S., BEHRMANN, J.-H., VOELKER, D., STIPP, M., BERNDT, C., URGELES, R., CHAYTOR, J., HUHNS, K., STRASSER, M. & HARBITZ, C. B. 2014a. The 1930 landslide in Orkdalsfjorden; morphology and failure mechanism. Dordrecht: Dordrecht, Netherlands: Springer.
- L'HEUREUX, J.-S. & NORGES TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE UNIVERSITET INSTITUTT FOR BYGG, A. O. T. 2009. *A multidisciplinary study of shoreline landslides : from geological development to geohazard assessment in the bay of Trondheim, Mid-Norway*. 2009:143, Norwegian University of Science and Technology, Department of Civil and Transport Engineering, Faculty of Engineering Science and Technology.
- L'HEUREUX, J.-S., NORGES VASSDRAGS- OG, E., JERNBANEVERKET & STATENS, V. 2012a. Vurdering av kartleggingsgrunnlaget for kvikkleire i strandsonen: naturfareprosjektet : delprosjekt 6 kvikkleire. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat.
- L'HEUREUX, J.-S., NORGES VASSDRAGS- OG, E., JERNBANEVERKET & STATENS, V. 2014b. Skredfarekartlegging i strandsonen - videreføring : naturfareprosjektet : delprosjekt 6 kvikkleire. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat.

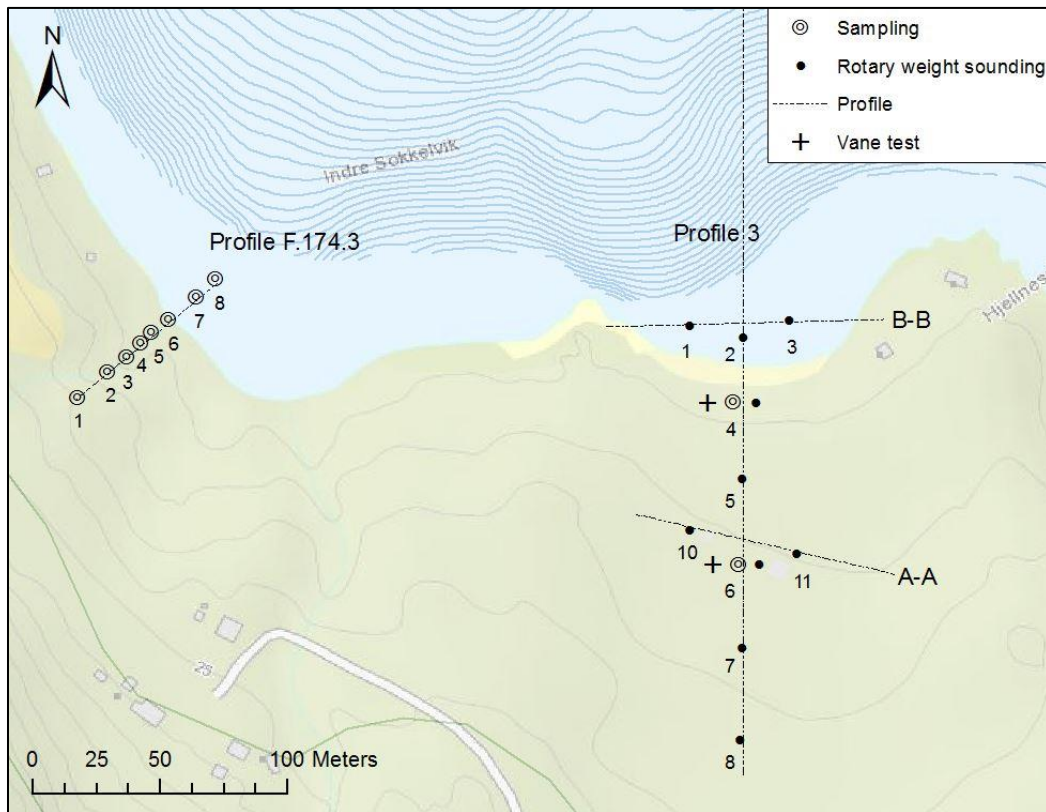
- L'HEUREUX, J. S., LONGVA, O., STEINER, A., HANSEN, L., VARDY, M. E., VANNESTE, M., HAFLIDASON, H., BRENDRYEN, J., KVALSTAD, T. J., FORSBERG, C. F., CHAND, S. & KOPF, A. 2012b. Identification of weak layers and their role for the stability of slopes at Finneidfjord, Northern Norway.
- LOCAT, J., LEROUEIL, S., LOCAT, A. & LEE, H. 2014. Weak layers: their definition and classification from a geotechnical perspective. *Submarine mass movements and their consequences*. Springer.
- LONGVA, O., JANBU, N., BLIKRA, L. & BØE, R. 2003. The 1996 Finneidfjord slide; seafloor failure and slide dynamics. *Submarine Mass movements and their consequences*. Springer.
- MASSON, D., HARBITZ, C., WYNN, R., PEDERSEN, G. & LØVHOLT, F. 2006. Submarine landslides: processes, triggers and hazard prediction. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 364, 2009-2039.
- MASSON, D., WYNN, R. & TALLING, P. 2010. Large landslides on passive continental margins: processes, hypotheses and outstanding questions. *Submarine mass movements and their consequences*. Springer.
- MULTICONSULT 2013. Statens vegvesen. E6 Langslett-Sørkjosen. Geoteknisk vurdering - Påhugg Jubelen.
- NORDAL, S., L'HEUREUX, J. S., SKOTHEIM, A. Å., EMDAL, A., LYCHE, E. & CHRISTENSEN, S. 2016. Skredet i Sørkjosen 10.mai 2015.
- ROSENQUIST, I. T. 1959. Befaring av Indre og Ytre Sokkelvik 11. og 12. juli 1959. F.174.2. *Norwegian Geotechnical Institute*.
- SCHANKE, S. & HAUGEN, E. E. D. 2014. Sikkerhet mot kvikkleireskred : vurdering av områdestabilitet ved arealplanlegging og utbygging i områder med kvikkleire og andre jordarter med sprøbruddegenskaper. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat.
- SKOTHEIM, A. Å. 2015. Skred Sørkjosen 10. mai 2015. Oppsummering geometriske parametere.: Norconsult.
- SLATT, R. M. 2006. Chapter 4 Geologic time and stratigraphy. *Handbook of Petroleum Exploration and Production*, 6, 135-158.
- TALLING, P., CLARE, M., URLAUB, M., POPE, E., HUNT, J., WATT, S. & TALLING, P. 2014. Large Submarine Landslides on Continental Slopes: Geohazards, Methane Release, and Climate Change. *Oceanography*, 27, 32-45.
- VARDY, M. E., L'HEUREUX, J.-S., VANNESTE, M., LONGVA, O., STEINER, A., FORSBERG, C. F., HAFLIDASON, H. & BRENDRYEN, J. 2012. Multidisciplinary investigation of a shallow near-shore landslide, Finneidfjord, Norway. *Near Surface Geophysics*, 10, 267-277.

Vedlegg 1

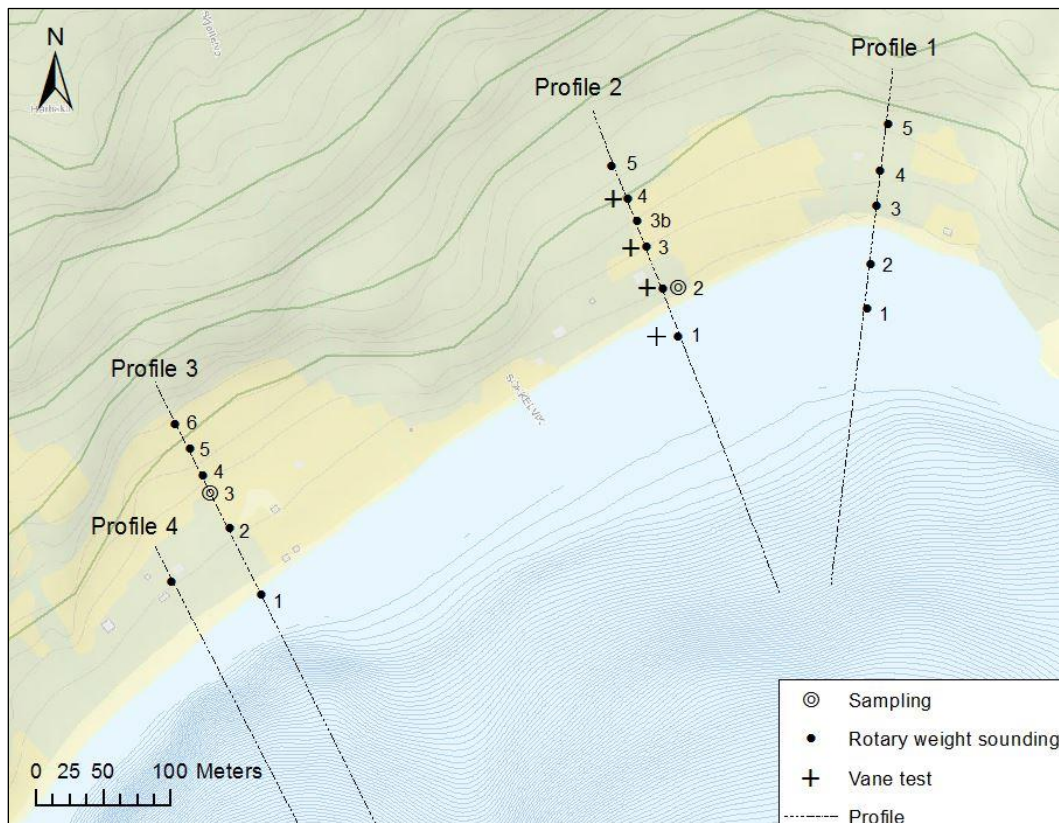
Geotekniske parametere og grunnundersøkelser



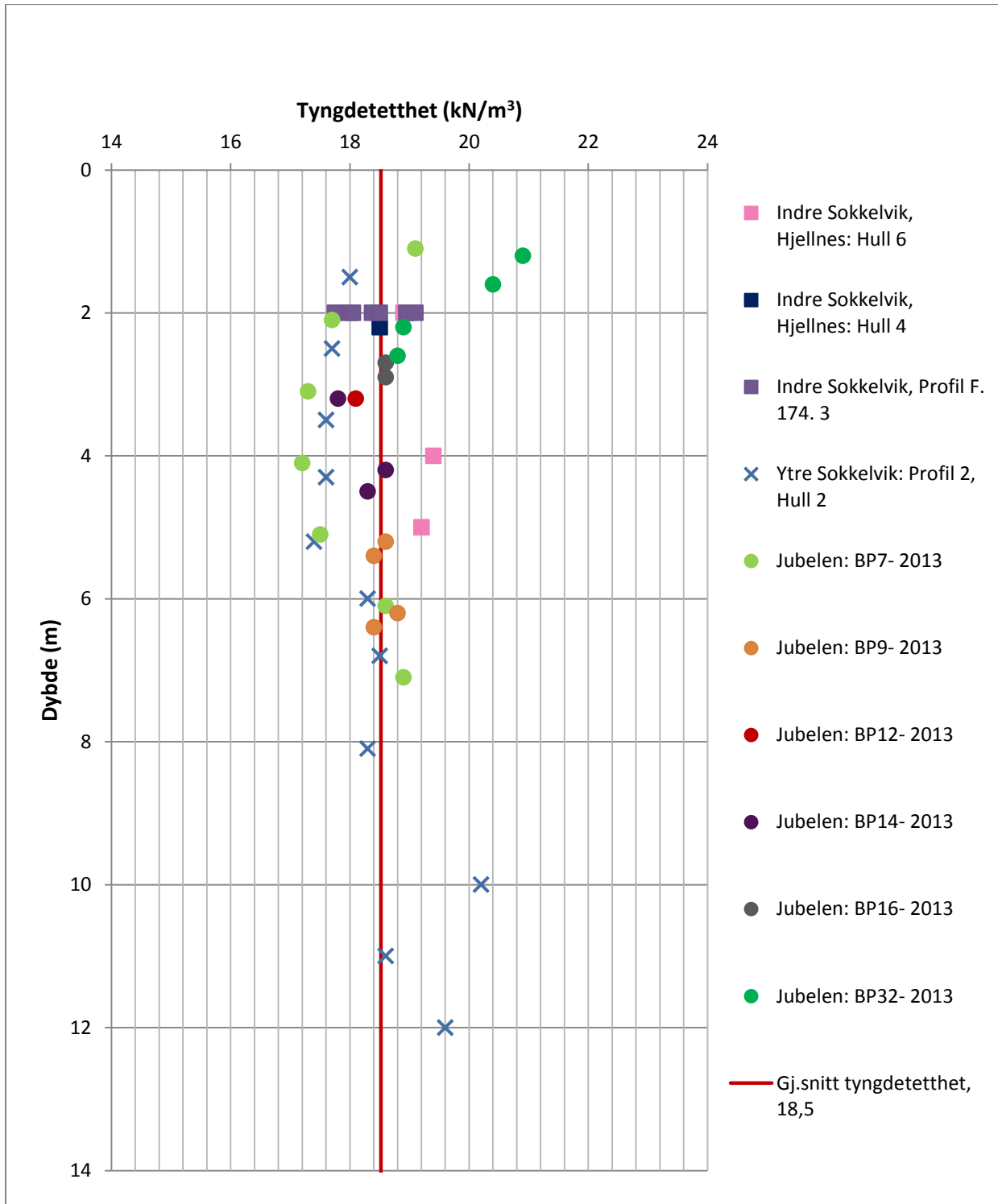
INDRE SOKKELVIK



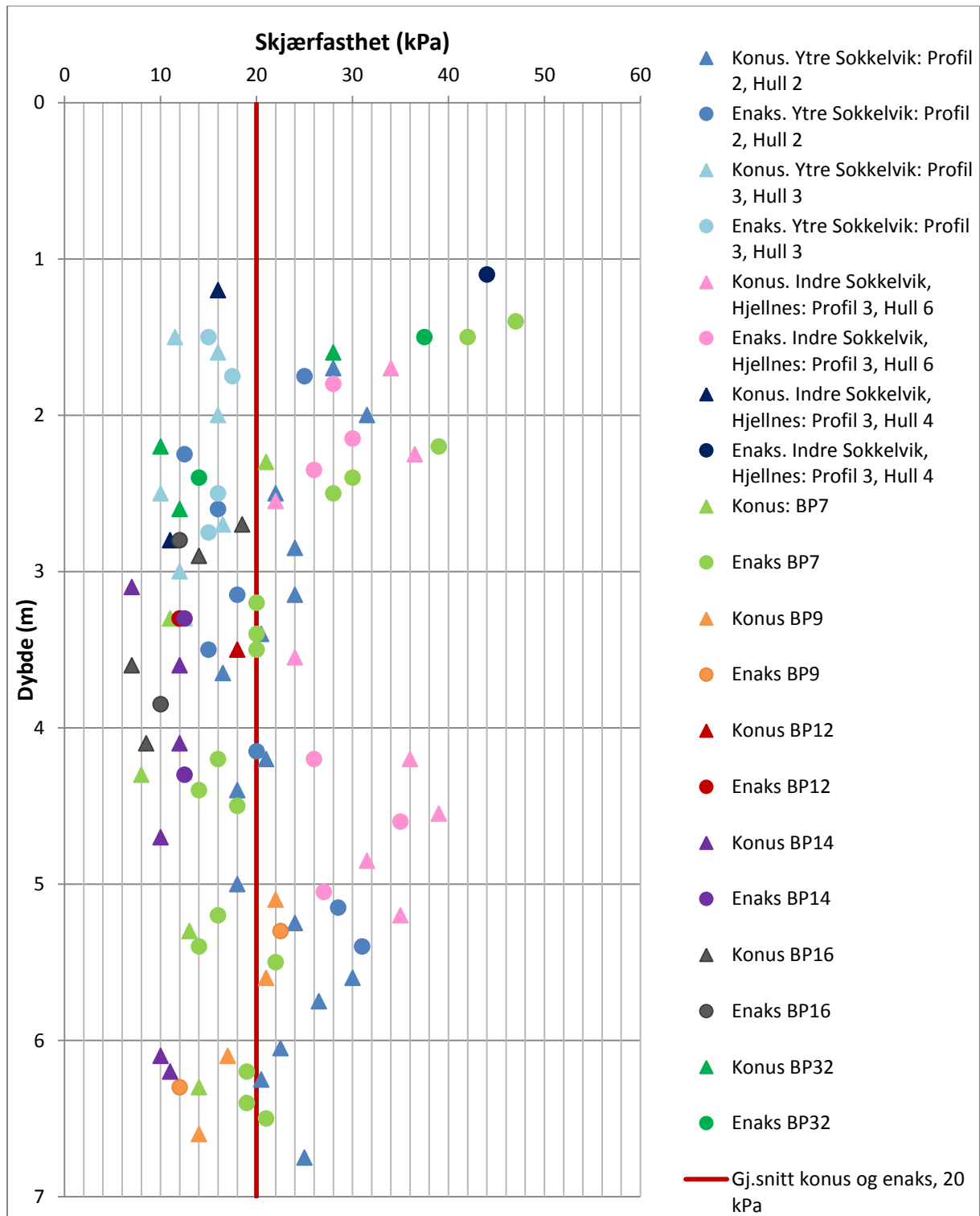
YTRE SOKKELVIK



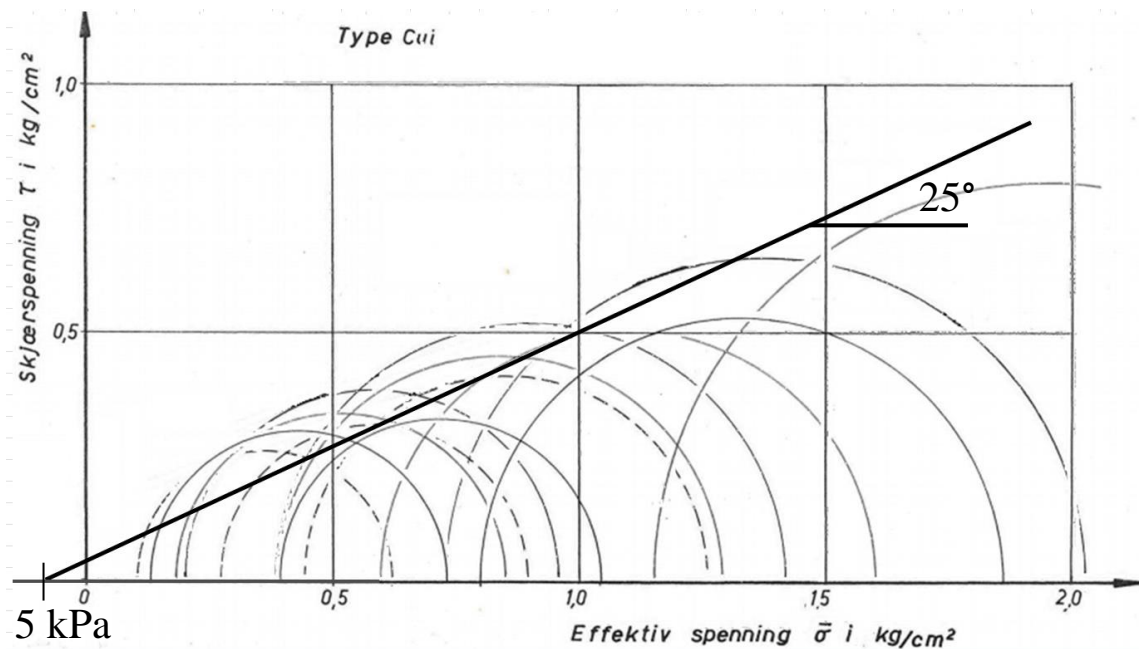
Lag 2 – Kvikkleire



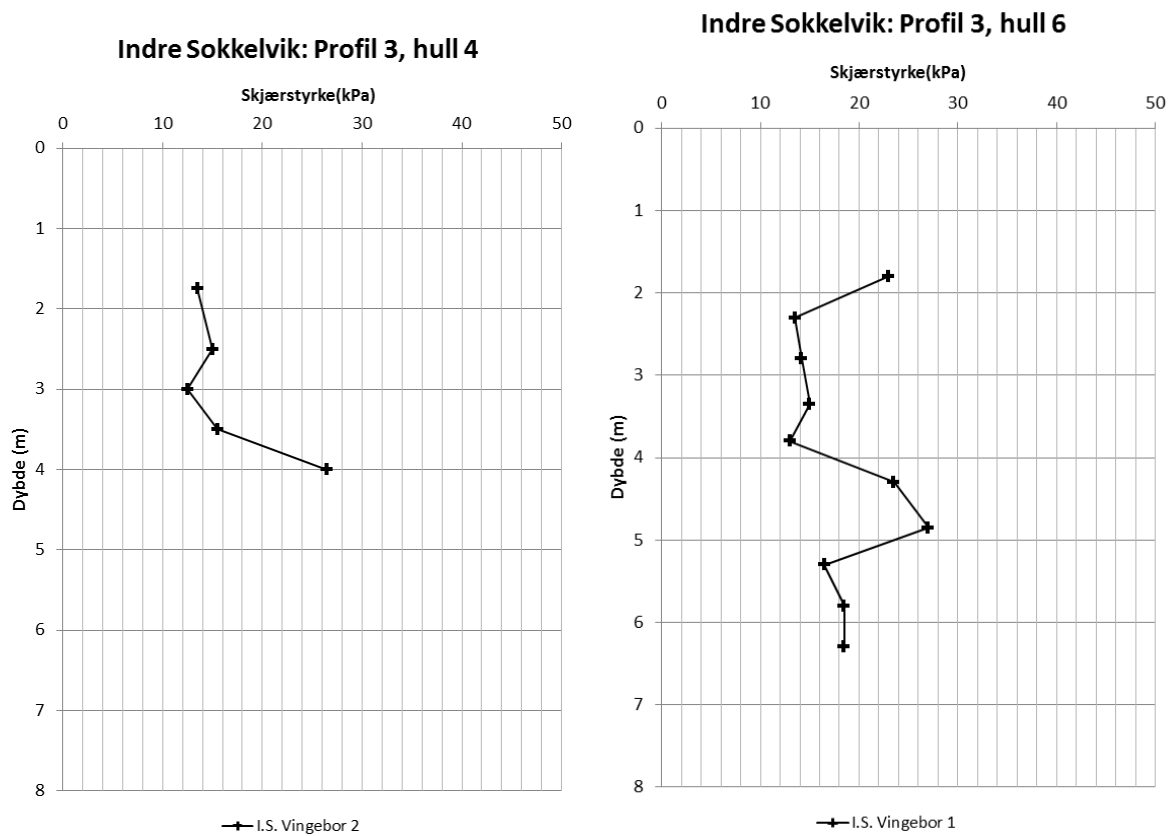
Lag 2 – Kvikkleire



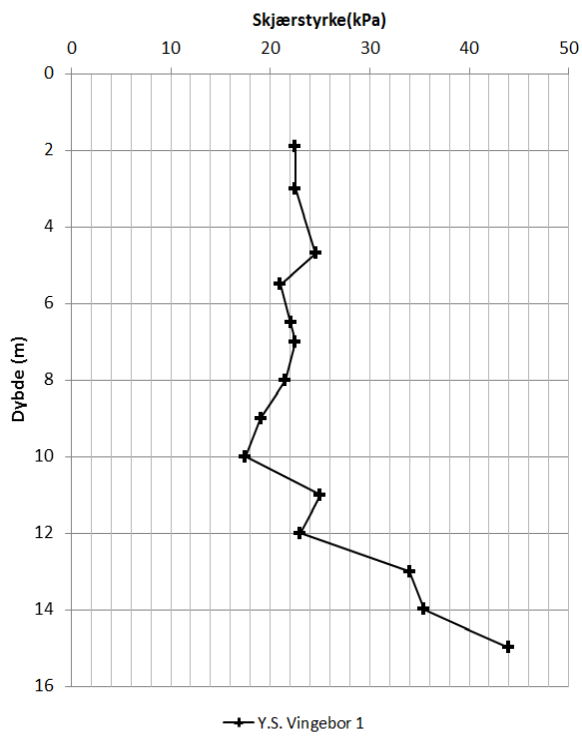
Lag 2 – Kvikkleire



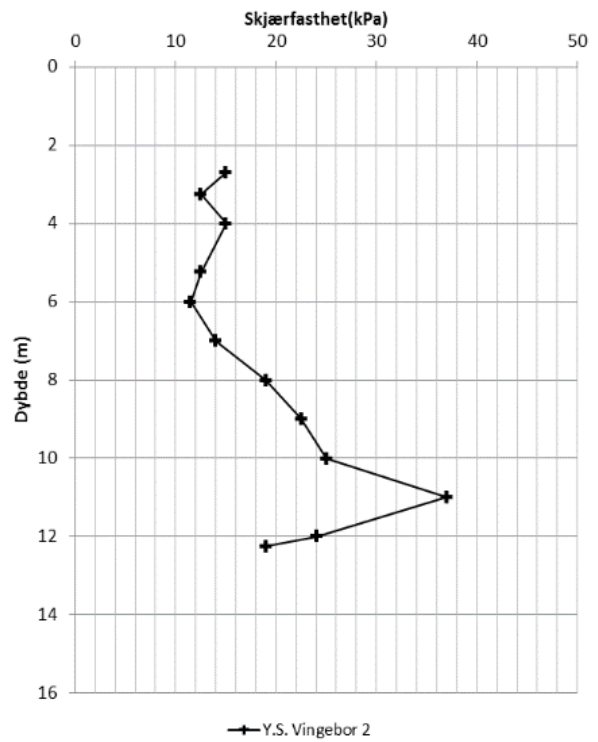
Dette er en samling av de treksresultatene som er utført i leiren fra Ytre Sokkelvik og Hjellneset i Indre Sokkelvik.



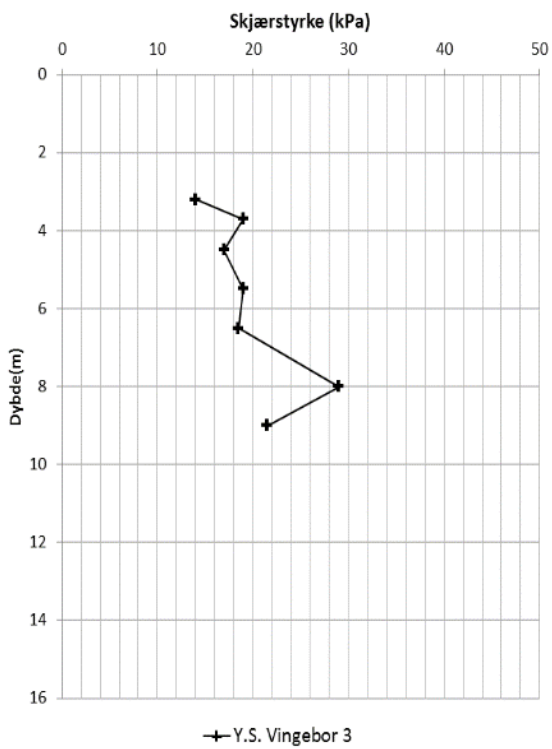
Ytre Sokkelvik: profil 2, hull 1



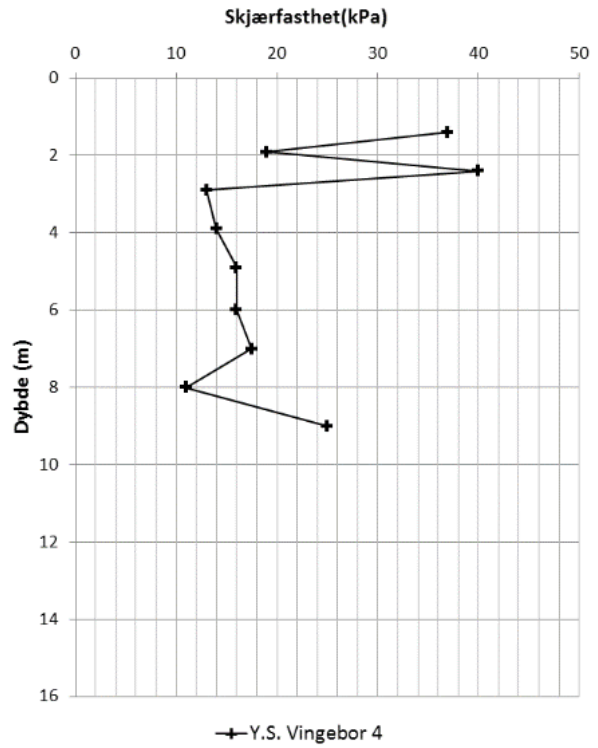
Ytre Sokkelvik: profil 2, hull 2



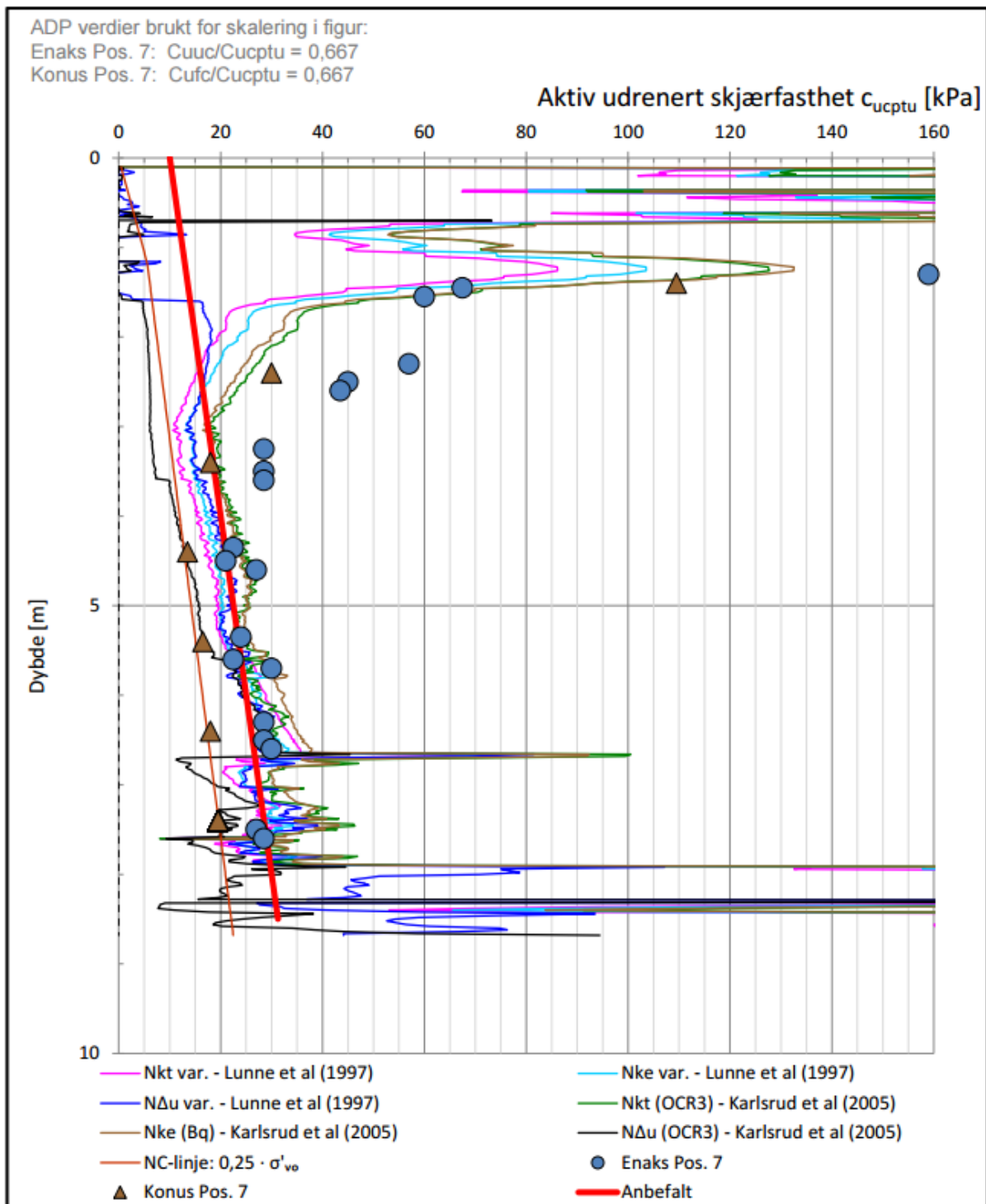
Ytre Sokkelvik: profil 2, hull 3



Ytre Sokkelvik: profil 2, hull 4



Aktiv udrenert skjærfasthet ved Jubelen. (Skotheim, 2015) Leira har en økende udrenertskjærstyrke. $Su_a=10+2,5 \text{ kPa}$



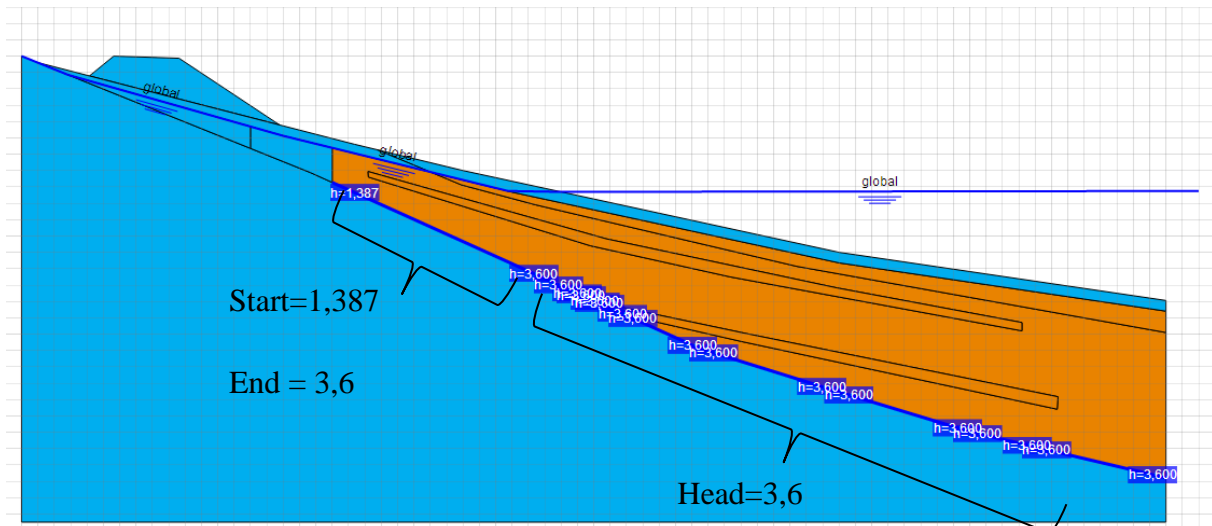
Figur 8 – Anbefalt aktiv udrenert skjærfasthet i Posisjon 7 (MC7) er $C_{uc}=10+2,5 \cdot z$ [kPa]

Vedlegg 2

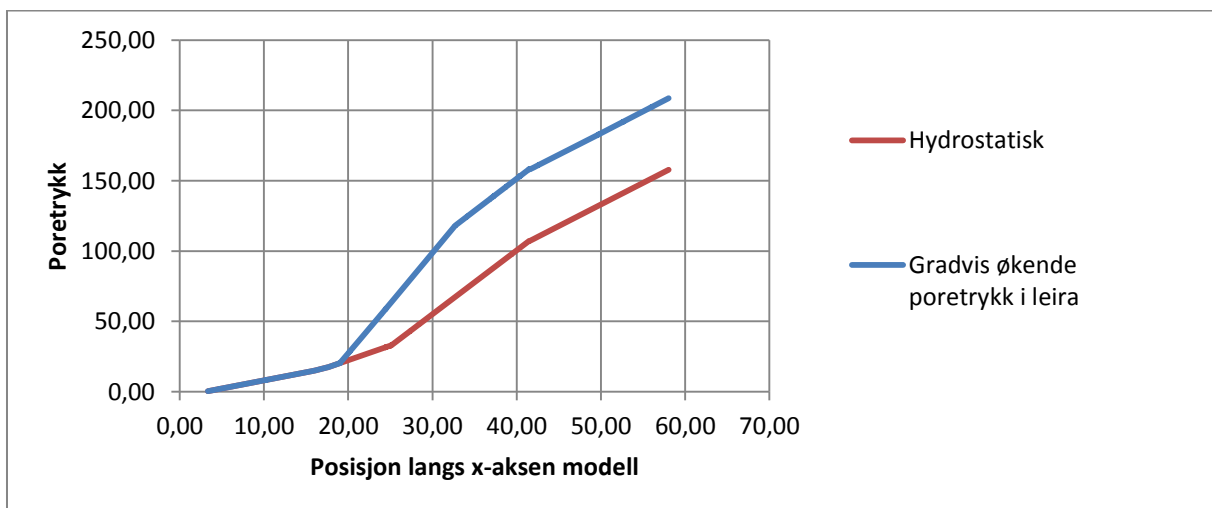
Beregninger

Profil S01 (lokalt)

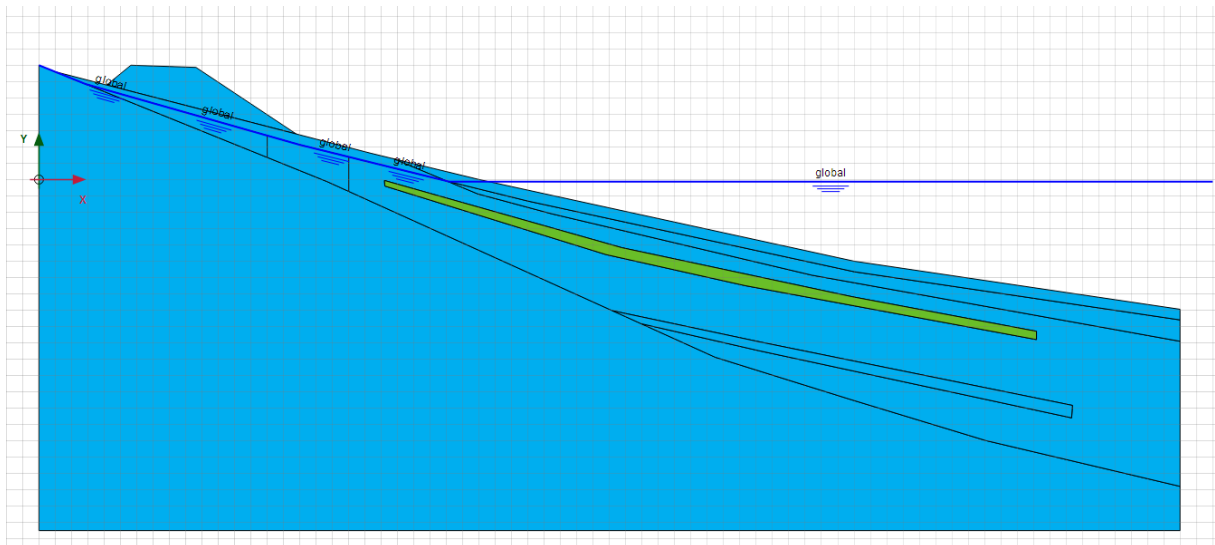
Poretrykk (1): Gradvis økning



Poreovertrykket øker gradvis i leira til ca. 50 kPa poreovertrykk i grensa mellom fjell og leire.

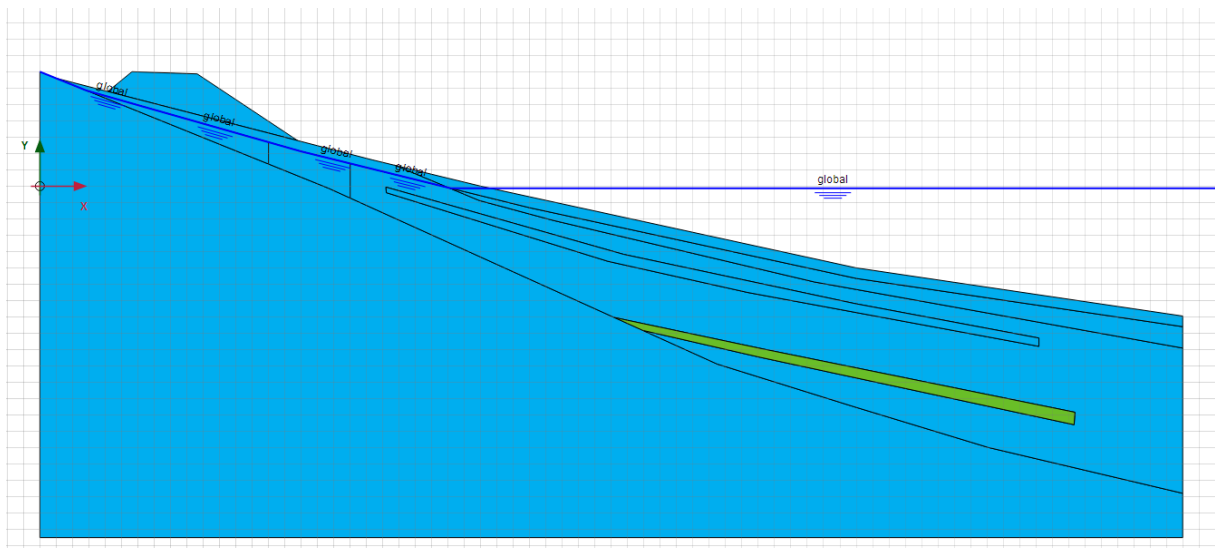


Poretrykk (2): Øvre lag



Poreovertrykket i hele laget er på $head_{y_{ref}}=0,655$ m, 19 kPa

Poreovertrykk (3) Nedre lag

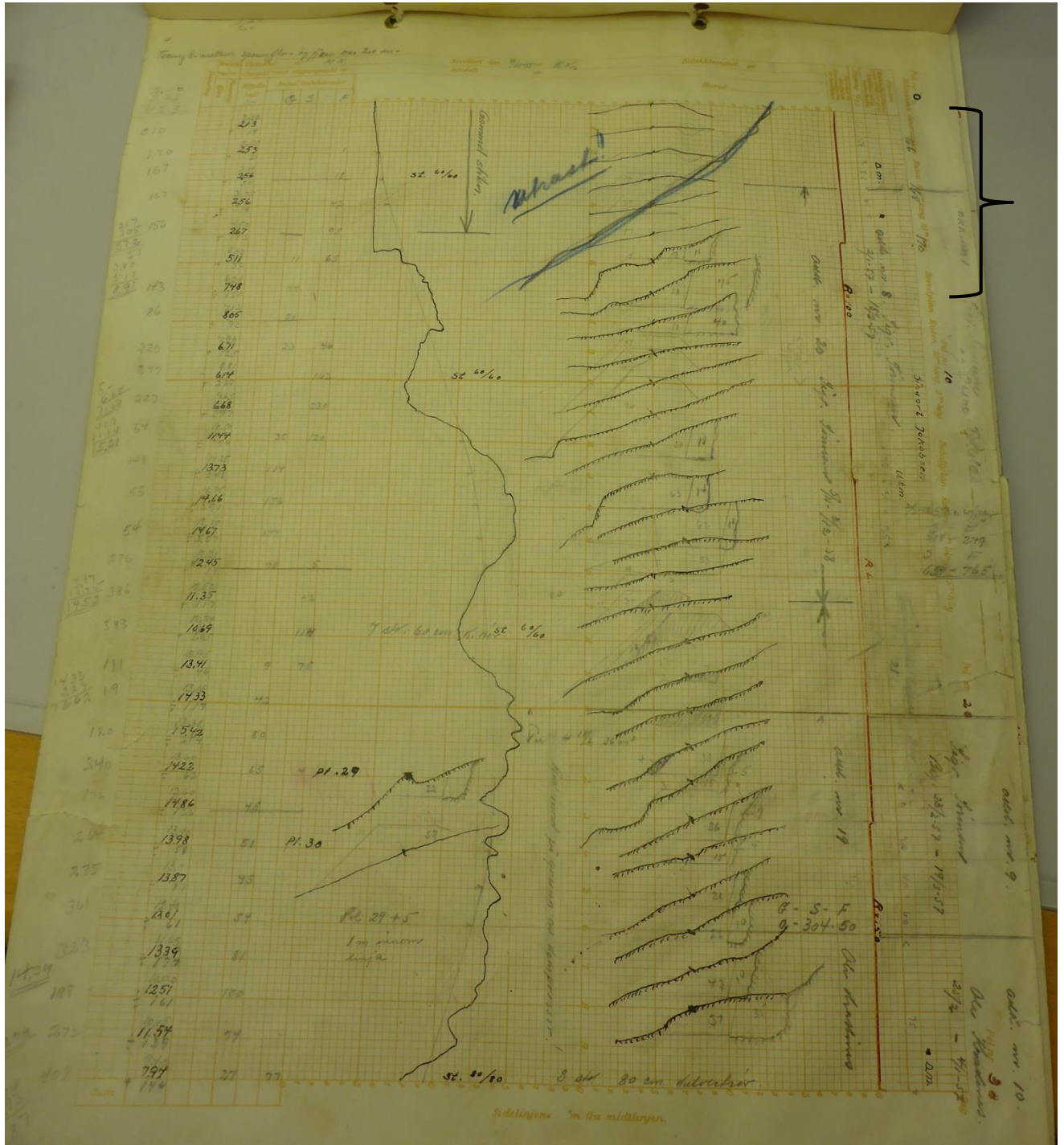


Poreovertrykket i hele laget er på $head_{y_{ref}}=4,6$ m, 58 kPa.

Vedlegg 3

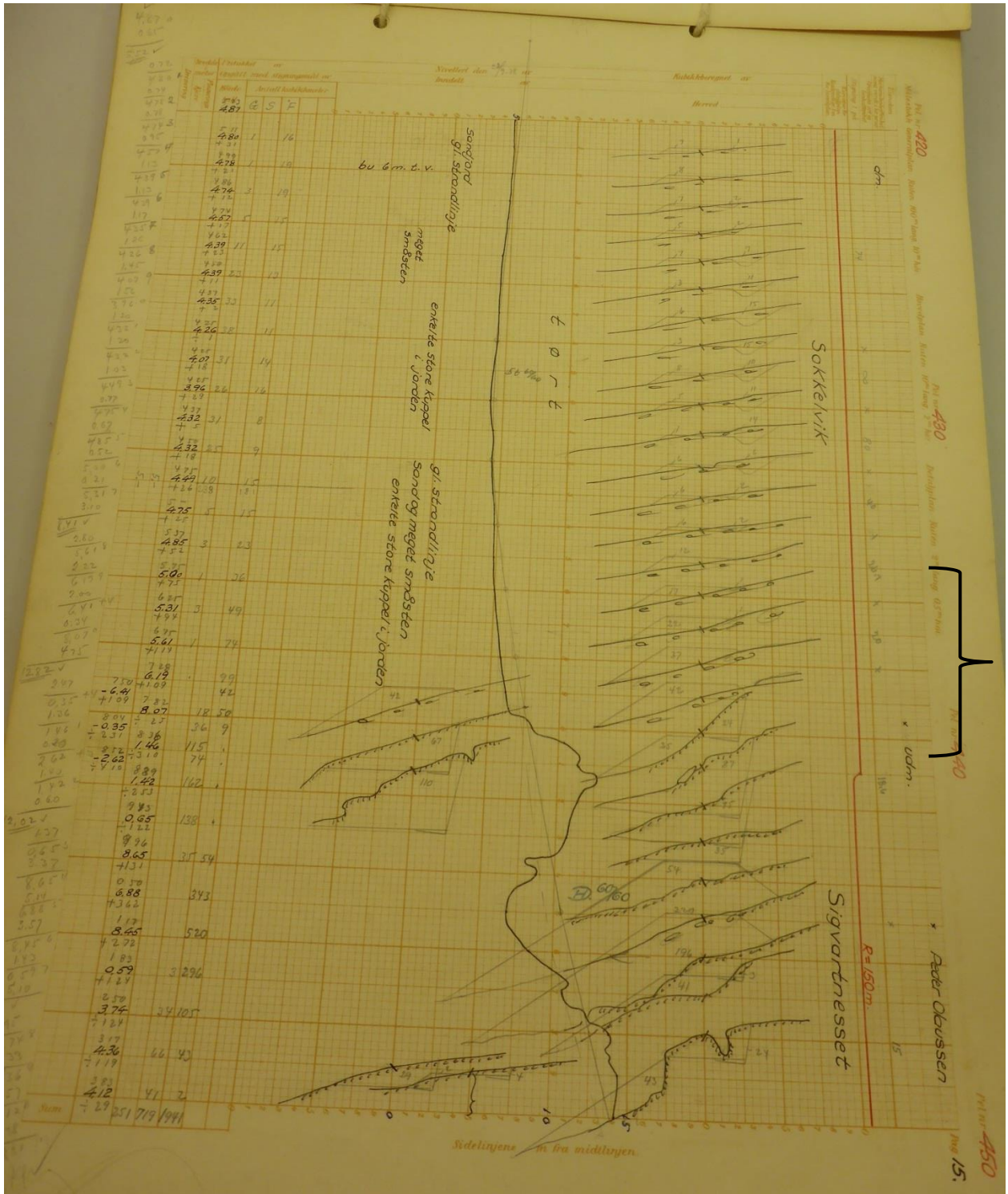
Materiale funnet på Statsarkivet Tromsø og Interkommunalt arkiv Troms (IKAT).

Prosjektert veiprofil på 4 meter. Nivellert november 1955. Bygd i perioden 1955-1959



Posisjonen til de øverste veiprofilene vises på Figur 33.

Prosjektert veiprofil på 5 meter fra april 1939. Bertelneset er vist på tegningen. Disse ble aldri bygd.



Liten pike vil ulykken skulle skje i Sokkelvik

Kjærlige mennesker har tatt vare på barna, så får tiden og alle sår

Sokkelvik (H.T.s uts. medarb.):
Langt oppe i fjellet overfor Sokkelvik kommer riksveien og svinger nedover, fortsetter forbi sideveien til venstre som går til det lille stedet som er blitt så sørgelig bekjent i den senere tid. Bilene brukte å stanse der oppe for å nyte den strålende utsikten over fjorden, og blikket fanget også inn de syv gårdene som lå så idyllisk til nede i viken. Akkurat på dette stedet kjørte en svær 5 tonners lastebil utfor for noen måneder siden, kast i kast

nedover fellsiden og ble fullstendig ødelagt. — Sjøføren fulgte med bilen og ble funnet fastlemt ved siden av motoren. Han ble sagt løs med skjærfil, men etter hva det fortelles fikk han ikke noen skade av betydning. — Han skulle leve.

Dampskipspeditoren på stedet Bakkeby som ligger flere kilometer fra Sokkelvik var ulykkeskvaldet. Kristi himmelfartsdagen 7. mai akkurat ute for å se etter lokalbåten som var ventende. Plutselig blir det likesom et synk i sjøen. Det var jo fjære — og han fikk se et syn som han aldri vil glemme, idet sjøen ble trukket utover, og kom så igjen som en skummende vannmur, som brøt langt oppover flomålet. En av sidene på den store ekspedisjonsbåten ble knust i brottsjøene. Den motsatte veien, i Sørkjosen, hendte det samme. Og befolkningen forsto da at det måtte være skjedd noe et eller annet sted. Et overhending vær har det, og det økte også uhyggesstemningen som sprang ut i et skjærende gru da de ikke lenge etter fikk høre at hele Sokkelvika var sunket i sjøen.

En liten pike fra et sted i nærheten kom løpende til sin mor 14 dager før ulykken og sa at hun hadde hatt en slik ond drøm. — «Mamma, kan du si meg når dommedag kommer». Moren syntes det hele var så nifst og forsøkte å prate det hele bort. Piken gikk til sin bestemor og spurte om det samme. Hun fortalte vel også om drømmen. Datteren spurte moren om det samme et par dager etterpå, og hun forsto da at drømmen plaget den lille. Hun fikk henne til å fortelle om et sted som skulle forsvinne 7. mai, fordi det var dommedag. Moren kom

(Forts. 6. side).

Liten pike visste datoen —

(Forts. fra 1. side).

plutselig på datterens drøm dagen etter ulykken. Hun sprang opp av stolen og spurte hvilken dato Kristi himmelfartsdag var på. Kalenderen viste 7. mai.

For et par år siden var det en mann ute på bukta og fisket. Plutselig sprenget en strømhvirvel opp fra sjøen inn mot Sokkelvik og laget så mye strøm at det var merkbart for båtene som lå lenger ut.

En liten elv som kommer rennende ned mellom to av gårdene, rente noen dager før ulykken ned i et hull i fjæra hvor den forsvant.

Som utenforstående virket ulykken nesten lammende på tankegangen. Jeg ble oppmerksom på at det var helt umulig å sette seg inn i tilnærmelesvis det de nærmest pårørende følte. For ikke å snakke om de som var hovedpersonene i dette ulykkelige skuespillet.

Befolkningen omkring var kommet til for å redde det som reddes

kunne, tanken på at det kanskje lå to barn i ett av husene som var dratt opp i fjæra, var nesten utholdelig, og spenningen var trykkende og tragisk da folkene var kommet så langt at de kunne begynne å bryte opp takbordene. De fant ingenting.

De døde dyrene var blitt liggende langs med fjæra: hest, kyr, sauer, hønse og en hund. Et makabert bilde som man gjerne vil forsøke å glemme.

De tre husene på den andre siden av fjorden lå og duppet opp og ned. De minnet om båter på lang avstand, og da hadde det vært hjem for lykkelige og slit-somme mennesker. — En ildrød kjøkkenstol lå strandet langt inne i Nordkjosen og fortalte sitt.

Konen på den besteste av de to gårdene på Hjelnes i Sokkelvik, som sto igjen, fortalte at det var blitt et kraftig rykk i huset da inntaket for lysledningen ble rykket ut av veggen. Hun sprang da bort i vinduet og fikk se ett av tabohusene i Sokkelvik ute på sjøen. Det seilte som om man satte en kasse på en stille elv, sa hun. En av guttene hennes ropte: — der kommer, de to andre hus, — og så gikk det opp for dem i all sin gru at noe ufattelig var skjedd.

Der hvor husene før sto hadde noen av befolkningen loddet på lørdag. På det ene stedet var det 18 meter, og på det andre 30 meters dybde. Geologene fra Oslo får nok her et vanskelig arbeide, men det kan vel ikke være tvil om at det har skjedd et eller annet undervanns, som var årsaken til hele katastrofen.

Befolkningen omkring og den stedlige myndighet har vist en enestående deltagelse til å hjelpe. Det er så uendelig vanskelig å vite hvordan den skal lindre det verkende såret, og de smerter som tynger de gjenlevende, når tankene velter frem.

Hjemkomsten for de to som kom fra fisket i Finnmark var taust og tungt. De små barna kunne smile av og til. Det gikk ikke opp for dem livet bitre alvor i all sin gru. Kjærlige mennesker har tatt vare på dem; og så får da tiden litt om litt lege alle sår.

Ingen tilbakeflytning -

reløpige undersøkelser av forholdene i Ytre Sokkelvik. Dette stedet med i alt fire væningshus, er nå evakuert, og geolog Jørstad sier i en samtale med «Nordlys» i går kveld at de foreløpige undersøkelser ikke har gitt noe grunnlag for å anbefale at evakueringsordren for Ytre Sokkelvik blir trukket tilbake.

Denne slutningen er bygget på en del enkle tekniske undersøkelser av grunnforholdene i Ytre Sokkelvik og på samtaler geologen har hatt med folk fra stedet.

— Såvidt jeg kan se er det ikke fare for skred i dette området, men det er en viss bevegelse i jordlaget som gjør at den øverste delen av jordlaget har lett for å sige nedover, sier geolog Jørstad. Nettopp dette har folk vært redd for og også plaget av i det siste, og jeg har funnet eksempler på dette under de undersøkelsene som jeg har foretatt.

— Denne jordglidningen er et forholdsvis alminnelig fenomen i områder hvor slike jordarter finnes, og såvidt jeg kan se er jorda i Ytre Sokkelvik omtrent av samme beskaffenhet som på rasstedet.

— Betyr dette at man ikke kan se bort fra mulighetene for jordras også i Ytre Sokkelvik?

— Man kan si det slik at det godt kan gå skred der, men det kan det også gjøre mange andre steder både her i Nord-Norge og sør i landet. Men om man skal avgjøre dette spørsmålet helt sikkert, så må det andre og adskillig mer omfattende undersøkelser til, og da er det naturligvis helt nødvendig å vite hva som egentlig var årsaken til raset i Indre Sokkelvik.

— Jeg for min del kommer nå til å skrive en foreløpig rapport om det jeg har sett og hørt — og om de undersøkelsene som jeg har foretatt. Siden må grunneierne selv avgjøre om de

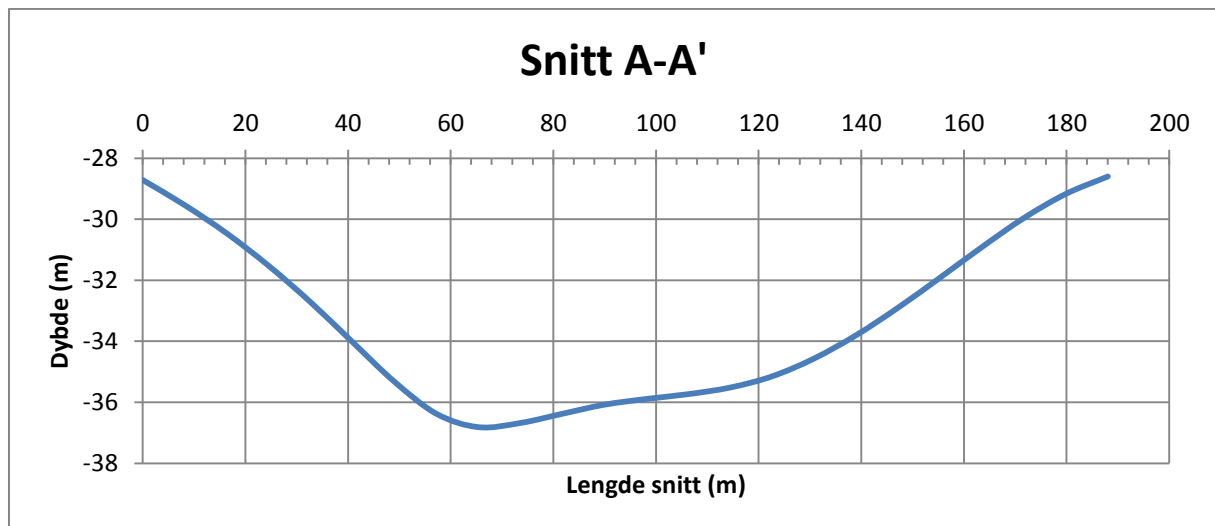
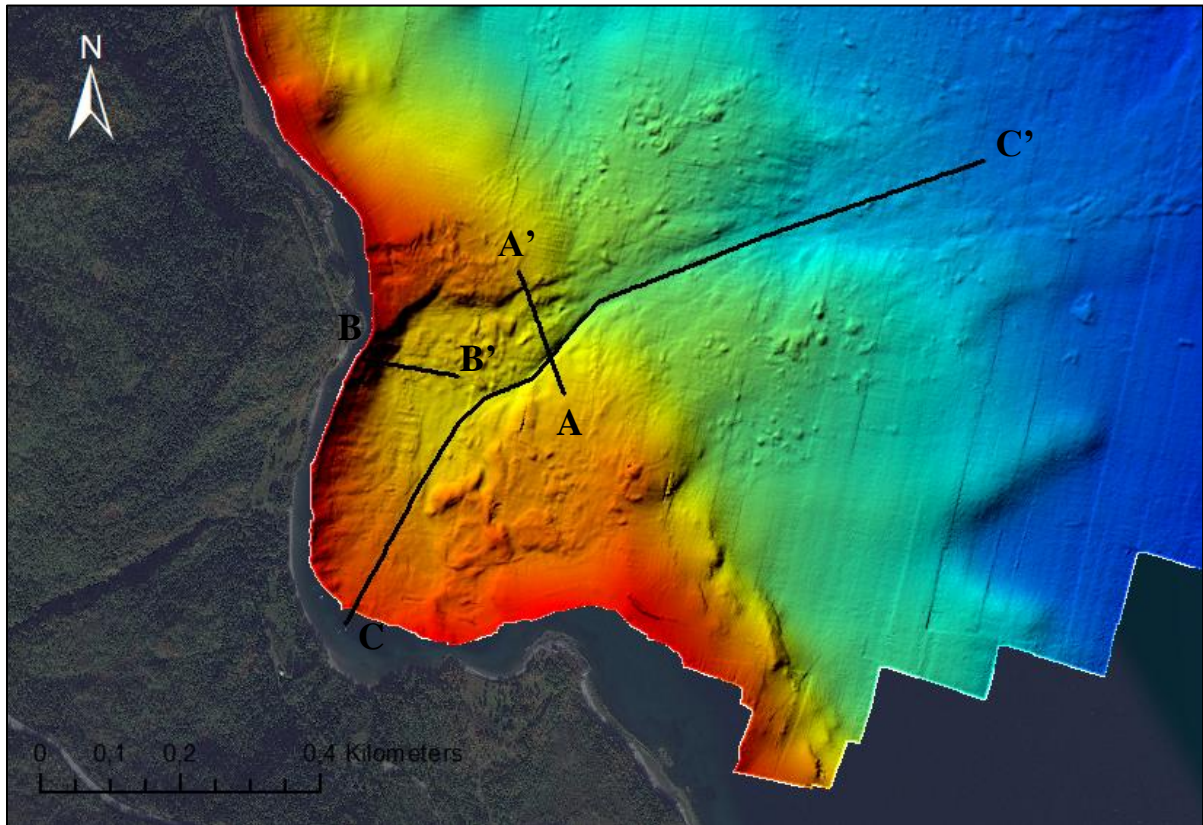
vil ha grunnforholdene undersøkt nærmere og da må de naturligvis søke om det gjennom kommunen, fylket og til Landbruksdepartementet. — Men som sagt, foreløpig kan jeg ikke anbefale tilbakeflytting til Ytre Sokkelvik.

I alt er det fire bruk i bygda, men det ene av dem står ubebodd. I de tre andre husene bodde det tilsammen 17 mennesker som nå er anskaffet opphold andre steder. Et av de forholdene som gjør at folk ikke vil flytte tilbake til Ytre Sokkelvik er at vegen til stedet nå er blitt ødelagt av raset. Folk har dermed faktisk ingen forbindelse med omverdenen.

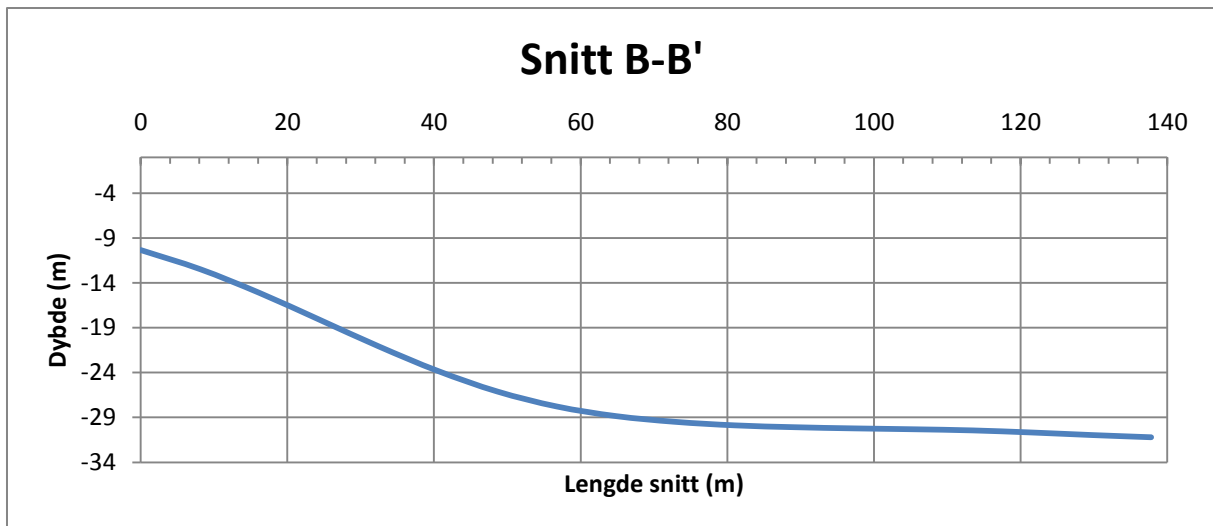
Geolog Jørstad har også sett på Stefanus Richardsens hus som ennå står igjen i Indre Sokkelvik. Det er nå en stor sprekk i jorda på øversiden av huset, og stadig ramler det jord og leire utfor den dype avgrunnen. Man må nok regne med at det fremdeles vil løsne jord- og leirflak i flere dager framover. Det er forøvrig ennå vanskelig å si om det er noen direkte fare for Stefanus Richardsens hus.

Vedlegg 4

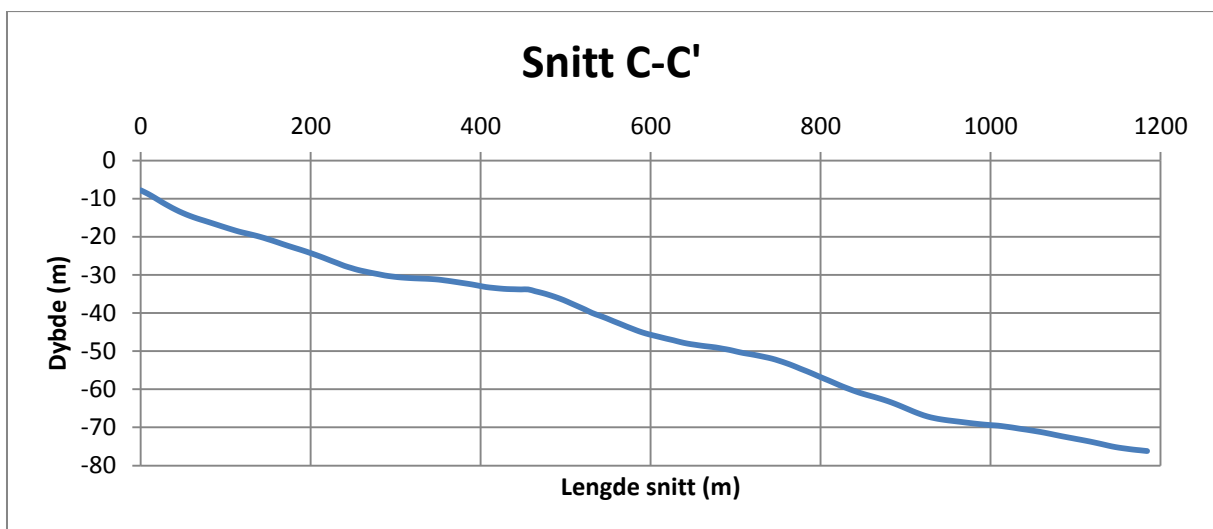
Sjøbunnsanalyse:



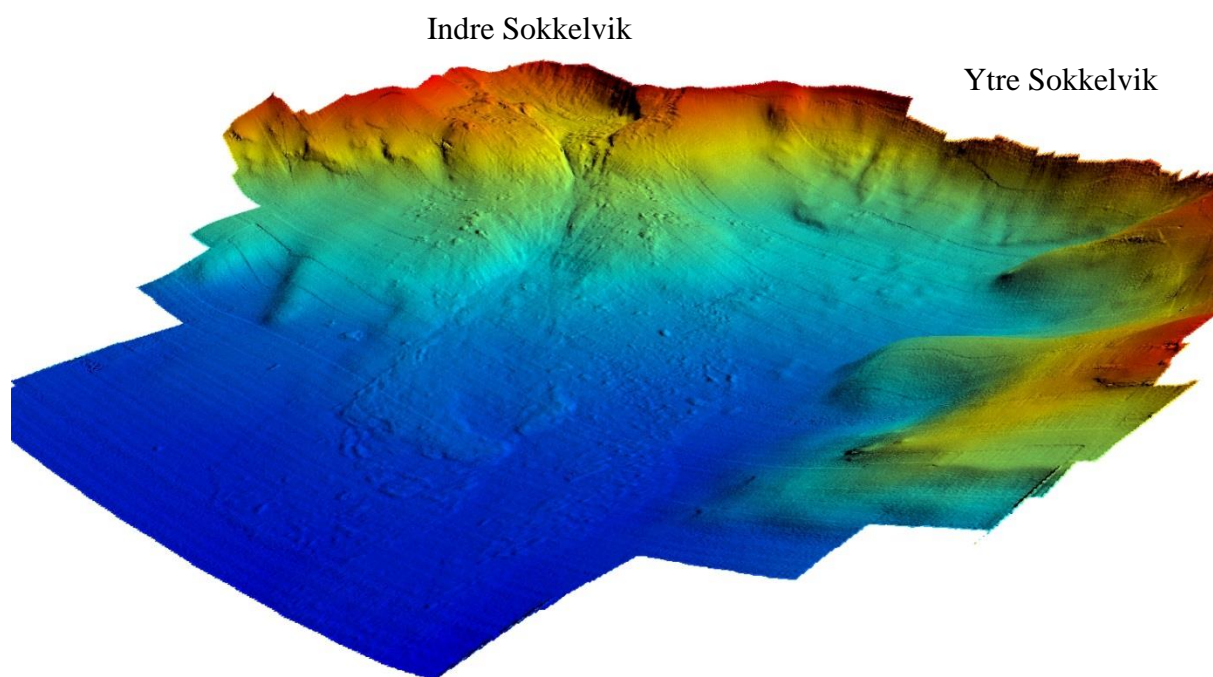
Hovedutløpskanalen er markert tydelig på batymetrien. Den er omtrent 8 meter dyp.



Starten av grafen har en helning på 19° så flater den ut til 1° .



Den gjennomsnittlige skråningen gjennom hovedutløpskanalen er på $3,2^\circ$.



Vertikalaksen er forstørret 3 ganger for å få frem terrenget bedre.

