

BACHELOROPPGAVE

Strukturgeologisk undersøkelse og skredmodellering
av Hallandsberget (Leikanger Kommune)

Structural geological survey and avalanche modelling
of Hallandsberget (Leikanger Municipality)

**Martin Valand Feldmann (106), Emilie Jensen Aamodt
(101) og Johannes Aglen Krakowski (111)**

Geologi og Geofare

Fakultet for ingeniør- og naturvitenskap

Veileder: Thomas Scheiber

Innleveringsdato: 02.06.2019

Jeg bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 10.

Strukturgeologisk undersøkelse og skredmodellering av Hallandsberget (Leikanger kommune)



Veileder: Thomas Scheiber

Skrevet av:

Emilie J. Aamodt

Martin V. Feldmann

Johannes A. Krakowski

Forord

Denne oppgaven markerer slutten på det tre år lange studiet Geologi og Geofare ved Høgskulen på Vestlandet, avdeling Sogndal. Læringsutbyttet fra denne oppgaven har vært stort og læringskurven har vært bratt. Alt i alt ser vi på denne perioden som svært lærerik og interessant, men også utfordrende.

Vi vil gjerne benytte denne muligheten til å takke veilederen vår, Thomas Scheiber. Du har vært en sentral støttespiller i utarbeidingen av denne oppgaven. Tusen takk for ditt engasjement i vårt arbeid, motiverende samtaler, lærdom og ikke minst din åpen-dør politikk.

Vi ønsker også å takke alle andre lærere vi har vært i kontakt med fra FIN: dere har under hele utdanningen imponert med faglig kompetanse og imøtekommende tilnærming. En spesiell takk går til Helge Henriksen og Denise Ruther for gode innspill underveis.

Sammendrag

Hallandsberget i Leikanger kommune er gjenkjent som potensielt skredutsatt helt tilbake til 1959. Området har etter dette blitt undersøkt og sporadisk overvåket fram til 2014. Det er montert boltepar i 1970 og 1974 på begge sider av baksprekken til en sprekkeavgrenset blokk kalt Hallandshammeren, som har et totalvolum på 5 000 m³. I 1974 ble det bygget en skredvoll for å sikre boligfeltet Leite mot blokkutfall.

Denne oppgaven har som mål å gjøre en oppdatert stabilitetsvurdering av hammeren, vurdere om et større område enn tidligere omtalt er i bevegelse og vurdere skredvollens beskyttelse mot skred. For å svare på problemstillingene ble det gjort målinger på sprekkeflater og foliasjon, kartlagt spalter og skrener, gjort oppdaterte avstandsmålinger på boltepar og skredsimuleringer i RocFall, Rockyfor3D og Flow-R.

Basert på det tidligere arbeidet og egne undersøkelser ble det valgt å dele Hallandshammeren inn i tre ulike blokker. Blokk H1 (5 000 m³) er størst og er avgrenset av et foliasjonsparallelt glideplan omlag 15 m under overflaten, laterale avgrensinger og en baksprekk. Oppdaterte bevegelsesmålinger viser at bevegelseshastigheten har akselerert i østre baksprekk fra 1,4 mm/år til 3,6 mm/år, siden forrige måling i 2004. Blokk H2 (200 m³) og H3 (300 m³) er mindre sprekkeavgrensede blokker, som beveger seg relativt til H1. Bevegelsen i disse blokkene har også akselerert siden forrige måling.

Spaltene som er kartlagt på Hallandsberget antyder at det må finnes en dyperegående massebevegelse, som avgrenser en større ustabilitet. Basert på de undersøkelsene som ble foretatt finnes det ikke grunnlag for å bestemme bevegelseshastighet, men det ble fastslått at massebevegelsen må omfatte et område på om lag 28 000 m² sør og øst for Hallandshammeren.

Forslag til faresoner for steinsprang og steinskred er lagt frem og det konkluderes her med at skredvollen gir tilstrekkelig beskyttelse for boligfeltet Leite etter TEK17.

Det anbefales videre at det monteres nye boltepar, som står parallelt med bevegelsesretningen og at boltemålingene gjenopptas med regelmessig måleintervall. Det foreslås også å montere fastpunkter for differensiell GPS for å fastslå omfanget og bevegelseshastigheten til den dyperegående massebevegelsen.

Abstract

Hallandsberget in Leikanger municipality has been recognized as a potential rock fall area since 1959. The area has been investigated and sporadically monitored until 2004. Bolts on each side of a back scarp have been installed in 1970 and 1974 in order to measure the movement of the largest unstable block called Hallandshammeren, with a total volume of 5 000 m³. In 1974 an avalanche embankment was constructed to protect the residential area Leite from rock falls.

The purpose of this thesis was to conduct an updated stability assessment of the block, evaluate if Hallandshammeren is part of a larger unstable rock slope and evaluate if the existing avalanche embankment gives adequate protection. To answer these research questions, we collected structural geological data, including measurements of foliation, folds, joint sets, trenches and crags, took renewed measurements of the established bolts and conducted avalanche simulations in RocFall, Rockyfor3D and Flow-R.

Based on earlier work and our own observations, Hallandshammeren is composed of three individual blocks. Block H1 (5 000 m³) is the largest and is limited by a slope-parallel sliding plane 15 m below the surface, lateral trenches and a back scarp. Renewed distance measurements across the back scarp show an acceleration in the eastern part, which has increased from 1,4 mm/yr to 3,6 mm/yr since the last measurement in 2004. Block H2 (200 m³) and H3 (300 m³) are smaller, crack-limited blocks moving relative to H1. The movement has also accelerated in these blocks since 2004.

Trenches identified in a larger area around Hallandshammeren indicate the presence of a deep-seated gravitational slope deformation. It is not possible to delimit the extent of the mass movement exactly, but an area of approximately 28 000 m² south and east of Hallandshammeren is part of the deep-seated gravitational slope deformation.

Refinements of danger zones for rockfall are presented. According to our modelling results, the avalanche embankment gives sufficient protection to the residential area with reference to TEK17.

Finally, we recommend installing new bolts which are parallel to the direction of movement and to monitor the movement regularly. It is also suggested to install fixed points for a differential GPS, to determine the extent and rate of movement of the deep-seated mass-movement.

Tabelloversikt

Tabell 1: Variabler i Mohr-Coulombs skjærstyrkekriterium.....	2
Tabell 2: Sikkerhetsklasser etter TEK17 §7-3.....	5
Tabell 3: Månednormaler for nedbør og middeltemperatur i Leikanger kommune.	8
Tabell 4: Alle overvåkende og sikrende tiltak som er gjennomført på Hallandsberget	11
Tabell 5: Oversikt over parametere for materialtyper i Rocfall.	15
Tabell 6: Parametere som defineres for utløspolygonet i Rockyfor3D..	16
Tabell 7: Parametere som defineres for kildepolygon og utløspolygon.....	16
Tabell 8: Parametere som defineres for skogparameterene.....	17
Tabell 9: Parametere som inngår i formel for normalspenning.....	19
Tabell 10: Parametere som inngår i formel for ruhetskoeffisient.....	19
Tabell 11: Variabler som inngår i formel for kompressive styrke.	20
Tabell 12: Gjennomsnittlig fallretning og fallvinkel til de gjenkjente sprekkesettene.....	25
Tabell 13: Målinger av 1974 bolteparene i mm fra 1974 frem til 2019.	29
Tabell 14: Målinger av 1970 bolteparene.....	30
Tabell 15: Blokkstørrelser basert på feltmålinger.	34
Tabell 16: Oversikt over parameterverdiene for materialtypene som er brukt i RocFall.	35
Tabell 17: Oversiktstabell over blokkstørrelser brukt i RocFall.	36
Tabell 18: Overflateverdier for simulering i Rockyfor3D.....	40
Tabell 19: Blokkdimensjoner for simulering i Rockyfor3D	40
Tabell 20: Verdier for simulering med skog.	41
Tabell 21. Bergartsparametre som ble brukt i stabilitetsanalysen.	45

Figurliste

Figur 1: Krefter og spenningsakser mellom blokk og bruddflate.....	3
Figur 2: Illustrert effekt av vanntrykk	3
Figur 3: Oversiktskart over feltområdet	5
Figur 4: Tektonisk kart over midtre Sogn	6
Figur 5: Kwartærgeologisk kart over Hallandsberget	7
Figur 6: Helningskart over feltområdet.....	7
Figur 7: Flyfoto av Hallandsberget fra 1964 og 2017	8
Figur 8: Oversiktskart over 1970 bolteparene.....	9
Figur 9: Oversiktskart over 1974 bolteparene	9
Figur 10: Oversiktskart med kjerneboringenes plassering	10
Figur 11: Tverrprofil av kjerneboringene.....	10
Figur 12: Oversiktskart over blokkene ved Hallandsberget	11
Figur 13: Illustrert strukturmåling med kompass	12
Figur 14: Metode for måling av 1970 og 1974 bolteparene.....	13
Figur 15: Fjellskyggekart over Hallandsberget	13
Figur 16: Illustrasjon av spredningsalgoritme brukt i Flow-R	18
Figur 17: Illustrasjon «hydrostatic preassure, GWT on tension crack»	21
Figur 18: Illustrasjon «hydrostatic preassure, GWT on tension crack, max»	21
Figur 19: Bergrartsgrense av kvartsitt og fylitt	22
Figur 20: Oversiktskart av strukturmålinger i felt.....	23
Figur 21: Foliasjonen i kvartsitt	23
Figur 22: Foliasjonsmålinger og stereoplott av foliasjonsmålingene	24
Figur 23: Akseplan og foldeakse til kartlagte folder	24
Figur 24: Observerte folder	25
Figur 25: Feltbilder av prekkesett S1, S2 og S3.....	25
Figur 26: Orienteringen til sprekksett S1, S2 og S3.....	26
Figur 27: Feltbilder av Hallandshammeren og kartlagte spalter.....	26
Figur 28: Feltbilder av skreenter	27
Figur 29: Oversiktskart over skreenter og spalter observert i felt.....	27
Figur 30: Rosediagram av sprekkelater, skreenter og spalter	28
Figur 31: Avstandsmåling av boltepar 17 er umuliggjort.....	28
Figur 32: Målt bolteavstand 1974 - 2019	29
Figur 33: Grafisk fremstilling av bevegelsen 1974 - 2019.....	30
Figur 34: Grafisk fremstilling av målt fall fra 1970 bolteparene.....	30
Figur 35: Oversiktskart over observerte skredavsetninger	31

Figur 36: Feltbilder av skredavsetninger ved Hallandsberget.....	31
Figur 37: Kart over strukturmålinger til den kinematiske analysen.....	32
Figur 38: Kinematisk analyse for planutglidning.....	33
Figur 39: Kinematisk analyse for kileutglidning.....	33
Figur 40: Kinematisk analyse for utvelting.....	33
Figur 41: Oversiktskart over profiler i RocFall.....	35
Figur 42: Rocfall - profil A.....	36
Figur 43: Rocfall - profil B.....	37
Figur 44: Rocfall - profil C.....	37
Figur 45: Rocfall - profil D.....	38
Figur 46: Rocfall - profil C, simulert uten skredvoll.....	38
Figur 47: Inndeling av kilde og utløpspolygon til Rockyfor3D.....	39
Figur 48: Ruhetsverdier basert på terrenget under Hallandsberget.....	39
Figur 49: Rockyfor3D: ordinære blokkstørrelser med skog.....	41
Figur 50: Rockyfor3D: ordinære blokkstørrelser uten skog.....	41
Figur 51: Rockyfor3D: blokkstørrelse 300 m ³ med og uten skog.....	42
Figur 52: Flow-R: maksimalt utløp med cellestørrelse 1 m.....	43
Figur 53: Flow-R: maksimalt utløp med cellestørrelse 5 m.....	44
Figur 54: Feltbilder av overheng under Hallandshammeren.....	44
Figur 55: Rock Stability – blokkdimensjoner av H1, H2 og H3.....	45
Figur 56: Bruddannelse langs foliasjon guidet av folder.....	46
Figur 57: Inndeling av ustabile fjellparti etter Böhme et al. (2011).....	49
Figur 58: Profil av Hallandsberget tegnet parallelt med bevegelsesretningen.....	50
Figur 59: Illustrasjon av 1970 bolteparene med og uten rotasjonsbevegelse.....	51
Figur 60: Faresonekart.....	55

Vedlegg

- Vedlegg 1: Figur 61: RocFall - plassering blokkstørrelse 1 m³ i profil A
- Vedlegg 2: Figur 62: RocFall - plassering blokkstørrelse 7 m³ i profil A
- Vedlegg 3: Figur 63: RocFall - plassering blokkstørrelse 17 m³ i profil A
- Vedlegg 4: Figur 64: RocFall - plassering blokkstørrelse 22 m³ i profil A
- Vedlegg 5: Figur 65: RocFall - plassering blokkstørrelse 1 m³ i profil B
- Vedlegg 6: Figur 66: RocFall - plassering blokkstørrelse 7 m³ i profil B
- Vedlegg 7: Figur 67: RocFall - plassering blokkstørrelse 17 m³ i profil B
- Vedlegg 8: Figur 68: RocFall - plassering blokkstørrelse 22 m³ i profil B
- Vedlegg 9: Figur 69: RocFall - plassering blokkstørrelse 1 m³ i profil C
- Vedlegg 10: Figur 70: RocFall - plassering blokkstørrelse 7 m³ i profil C
- Vedlegg 11: Figur 71: RocFall - plassering blokkstørrelse 17 m³ i profil C
- Vedlegg 12: Figur 72: RocFall - plassering blokkstørrelse 22 m³ i profil C
- Vedlegg 13: Figur 73: RocFall - plassering blokkstørrelse 1 m³ i profil D
- Vedlegg 14: Figur 74: RocFall - plassering blokkstørrelse 7 m³ i profil D
- Vedlegg 15: Figur 75: RocFall - plassering blokkstørrelse 17 m³ i profil D
- Vedlegg 16: Figur 76: RocFall - plassering blokkstørrelse 22 m³ i profil D
- Vedlegg 17: Figur 77: RocFall - plassering blokkstørrelse 1 m³ i profil C, uten skredvoll
- Vedlegg 18: Figur 78: RocFall - plassering blokkstørrelse 7 m³ i profil C, uten skredvoll
- Vedlegg 19: Figur 79: RocFall - plassering blokkstørrelse 17 m³ i profil C, uten skredvoll
- Vedlegg 20: Figur 80: RocFall - plassering blokkstørrelse 22 m³ i profil C, uten skredvoll
- Vedlegg 21: Bjerrum, L. (1959), «*Rapport over befarings i Hallandsgrend i Leikanger 23. september 1959 i anledning steinskredfare*» (NGI).
- Vedlegg 22: Kjærnsli, B. (1972). «*Befaring i Hallandsgrend i Leikanger i anledning steinskredfare og nedsatte målebolter*» (NGI).
- Vedlegg 23: Jørstad, F. (1973). «*Vurdering av stabiliteten av en berghammer i Hallandsgrend, Leikanger og forslag til Sikringstiltak*» (NGI).
- Vedlegg 24: Bergh-Christiensen, J. (1974) «*Ingeniørgeologisk rapport vedrørende diamantkjerneboring i Hallandsberget for Leikanger kommune*» (GEOTEAM).
- Vedlegg 25: Lied, K. (1975). «*Hallandsberget - Leikanger Sikring av byggefelt*» (NGI),
- Vedlegg 26: Lied, K., Larsen, J., (1976) «*Hallandsberget - Leikanger. Befaring av rasfarlig parti og sikringsvoll*» (NGI).
- Vedlegg 27: Lied, K., Larsen, J., (1988). «*Hallandshammeren, Leikanger - Kontroll av oppsprukken fjellparti*» (NGI).
- Vedlegg 28: Gjerland, P. (1993). «*Hallandsberget i Leikanger - kontrollmålinger*» (NGI).
- Vedlegg 29: Gjerland, P. (1994). «*Hallandshammeren - stabilitetsvurdering*». (NGI)
- Vedlegg 30: Grimstad, E. (1996). «*Hallandshammeren i Leikanger Stabilitetsvurdering*» (NGI)

Vedlegg 31: Russenes, R. (2003). «*Leikanger kommune - skredsikring Hallandsberget*» (Leikanger kommune).

Vedlegg 32: Stadheim, R. (2004). «*Hallandsberget - kontrollmålingar*» (NGI)

Vedlegg 33: Leikanger kommune. (2013). «*Saksfremlegg - Innvesteringsbudsjettet 2013-tilleggsøyvingar*». (K-sak: 1/13) (Leikanger kommune).

Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	1
1.1	Problemstillinger	1
1.2	Teoretisk Bakgrunn	2
1.2.1	Stabilitet i fast fjell	2
1.2.2	Ustabile fjellparti	3
1.2.3	Steinsprang og steinskred	4
1.2.4	Sikkerhetsklasser for skred etter byggteknisk forskrift TEK17	4
2	Områdebeskrivelse	5
2.1	Berggrunnsgeologi	6
2.2	Kvartærgeologi.....	7
2.3	Topografi, vegetasjon og drenering.....	7
2.3	Klima.....	8
3	Tidligere arbeid	9
4	Metode.....	12
4.1	Datainnsamling.....	12
4.2	ArcGis	13
4.3	Kinematisk analyse.....	14
4.4	Skredsimulering	14
4.4.1	Steinsprangsimulering	14
4.4.2	Steinskredsimulering	17
4.5	Stabilitetsanalyse	18
5	Resultat.....	22
5.1	Feltdata	22
5.1.1	Berggrunn.....	22
5.1.2	Strukturmålinger.....	23
5.1.3	Avstandsmålinger	28
5.1.4	Skredavsetninger	31
5.2	Kinematisk analyse.....	32

5.3 Skredmodellering	34
5.3.1 Steinsprangsimulering	34
5.3.2 Steinskredsimulering	42
5.4 Stabilitetsanalyse	44
6 Diskusjon	46
6.1 Faktorer som påvirker ustabiliteten ved Hallandsberget	46
6.1.1 Berggrunn	46
6.1.2 Vann	48
6.2 Geometriske forhold i ustabiliteten Hallandsberget	48
6.3 Bevegelse i Hallandshammeren	51
6.4 Utløpsscenarioer	52
6.5 Faresonekart	54
7 Konklusjon	56
8 Videre anbefalinger	56
9 Referanser	57
10 Vedlegg	

1 Innledning

Ødeleggelser som følge av skred er av stor sosial og økonomisk betydning i Norge. De siste 150 årene regner man med at om lag 2000 mennesker har mistet livet som direkte følge av skred (Høeg et al., 2014) og det er bare de siste 10 årene utbetalt over 800 millioner kroner i naturskadeerstatning i skredsaker (Norsk naturskadepool, 2018). I tillegg til tap av menneskeliv og eiendom kommer sekundære konsekvenser, som psykiske påkjenninger for skredutsatte samfunn, deriblant frykt for isolasjon, helse og tap av næringsliv. Slike problemstillinger vil i fremtiden bli mer og mer aktuelle i sammenheng med økende arealetterspørsel og økende nedbørintensitet (Høeg et al., 2014). Av den grunn er kartlegging og overvåking av ustabile fjellparti viktig for å garantere sosial og økonomisk stabilitet.

I den anledning publiserte NGU i 2008 rapporten «Kartlegging av mulige ustabile fjellpartier, Sogn og Fjordane» (Henderson et al., 2008). Et av fjellpartiene som her blir presentert er «Hallandsberget» i Leikanger kommune. I området ligger en sprekkeavgrenset fjellhammer med et anslått totalvolum på om lag 5000 m³. Hammeren er omtalt som «Hallandshammeren» og ligger over boligfeltet Leite.

Partiet er gjenkjent som potensielt skredfarlig helt tilbake til 1959 (Bjerrum, 1959). NGU har i ettertid publisert en rekke rapporter, der hammerens stabilitet diskuteres. Vest på hammeren finnes det to mindre avgrensede blokker med størrelse på henholdsvis 200 m³ og 300 m³. Disse er i bevegelse relativt til hovedblokken. Det er også konstruert en skredvoll i 1974 og montert boltepar i både 1970 og 1974. Avstandsmålingene er oppdatert sporadisk frem til 2004, hvor målingene opphører.

Målet med denne oppgaven er å gjøre en helhetlig og oppdatert stabilitetsvurdering for Hallandshammeren og omliggende område basert på strukturgeologiske målinger, kinematisk analyse, avstandsmålinger på bolter og eksisterende rapporters funn. Vi skal i tillegg vurdere om eksisterende skredvoll tilfredsstillende stiller kravene som stilles etter TEK17 for sikring av boligfeltet Leite, som ligger under hammeren. Dette ved hjelp av skredsimuleringer i programmene RocFall, Rockyfor3D og Flow-R. Oppgaven har bakgrunn i at det er utlyst et behov for å gjøre en oppdatert stabilitetsvurdering og følge opp eksisterende kunnskap om Hallandsberget med strukturgeologiske målinger.

1.1 Problemstillinger

1. Vurdere stabiliteten til Hallandshammeren og ytterlig avgrensede blokker.
2. Vurdere om det finnes større ustabiliteter ved Hallandsberget som ikke tidligere er omtalt.
3. Vurdere om eksisterende skredvoll gir tilstrekkelig beskyttelse mot skred for boligfeltet Leite etter TEK17.

1.2 Teoretisk Bakgrunn

1.2.1 Stabilitet i fast fjell

Mange av metodene som er tatt i bruk for å vurdere stabiliteten til Hallandshammeren har bakgrunn i grunnleggende teori om stabilitet i bergmasser og hvordan krefter virker på dem. Det er derfor hensiktsmessig å legge til grunn den teoretiske bakgrunnen for noen av de begrepene som blir brukt i denne oppgaven.

Spenning (σ) er kraft (F) som virker over et areal (A), og uttrykkes som $\sigma = F/A$. Et gitt plan i et bergmassiv mottar spenning fra alle retninger, der spenningene har forskjellig styrke. Overordnet sett representerer σ_1 den spenningsaksen som er størst i bergmassivet. I et plan som står normalt på den største spenningsaksen, blir σ_1 det samme som normalspenning.

Skjærstyrke (τ) er et mål på et bergmassiv sin evne til å motstå skjærspenning langs et glideplan, og er sentralt i en stabilitetsanalyse. De fleste stabilitetsanalyser er basert på Mohr-Coulombs skjærstyrkekriterium (Fossen, 2016), der skjærstyrken er definert som:

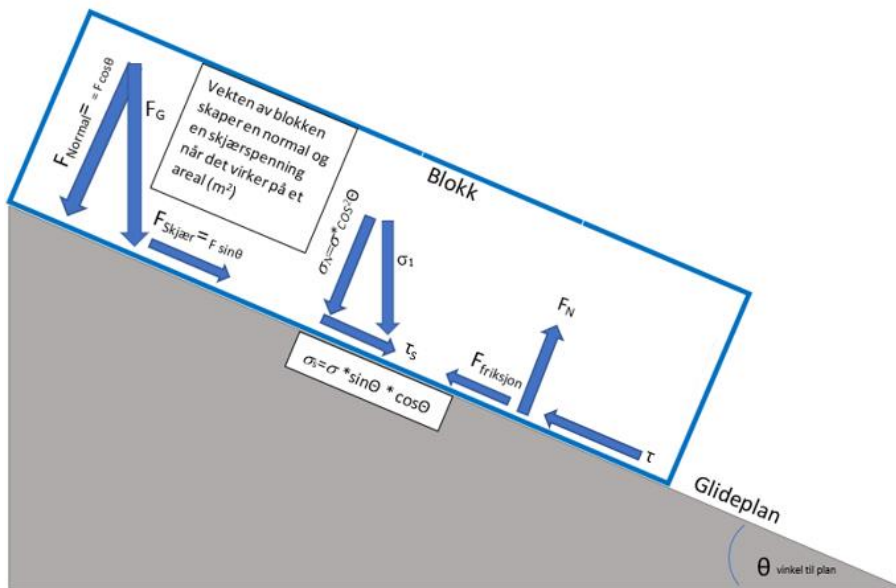
$$\tau = c + \sigma \tan \Phi$$

Tabell 1: Variabler i Mohr-Coulombs skjærstyrkekriterium.

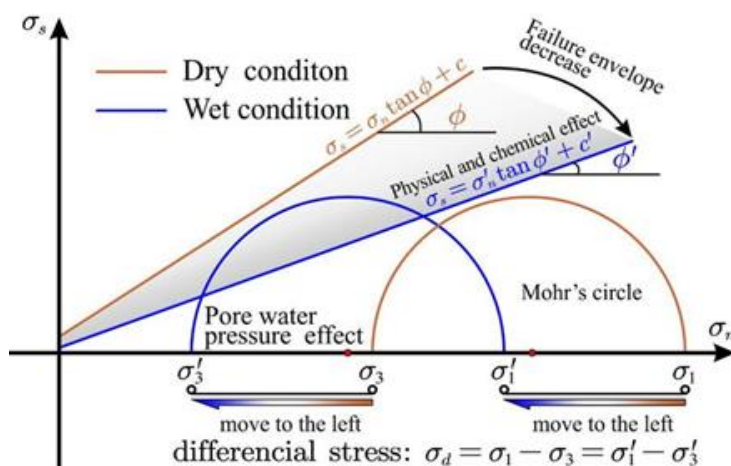
Variabel	Definisjon
σ	Normalspenning
Φ	Bergartens indre friksjonsvinkel
c	Kohesjon

I følge Amontons friksjonslov er skjærspenningen langs et sprekkeplan som skal til for å utløse glidning proporsjonal med normalspenningen på sprekkeplanet (Cutnell og Johnson, 2013). Det vil si at det er skjærkomponenten av vekten til det som ligger oppå planet, som virker drivende og friksjonen til planet som virker stabiliserende. Friksjon (R) avhenger av normalkraften, der $R = \mu(\text{friksjonskoeffisient}) * F_N$.

Skjærstyrken til en bruddflate vil være $\tau = \sigma_N * \tan \Phi$. Et brattere glideplan gir en større skjærkraft og mindre normalkraft og dermed økt skjærspenningen (frem til 45° fordi skjær- og normalspenning ifølge Amontons er avhengige av hverandre, i motsetning til kraft) (figur 1). Vanntrykk og ruhet er eksterne faktorer, som også påvirker skjærstyrken langs et glideplan (figur 2).



Figur 1: Krefter og spenningsakser i et 2D profil imellom en blokk og en bruddflate. Drivende og stabiliserende moment er oppgitt i τ_s og τ .



Figur 2: Effekten av vanntrykket på skjærstyrken langs et glideplan (Wei et al., 2018).

1.2.2 Ustabile fjellparti

Ustabile fjellparti oppstår som oftest i knekkpunkt i topografien. Et vanlig eksempel vil her være kanten på et platå mot en bratt fjellside. De strukturelle egenskapene til et ustabil fjellparti styres vanligvis av allerede eksisterende strukturer i berggrunnen, som foliasjon, skifrihet, sprekkesett og forkastninger. Disse strukturene er vanligvis med på å avgrense et fjellparti og gi grunnlag for bevegelse. Det er geometrien i interaksjonen mellom disse strukturene som bidrar til at fjellparti kan bevege seg. Utglidningen kategoriseres vanligvis etter hvordan geometrien legger til rette for bevegelsen. Planutglidning defineres som utglidning som skjer langs et enkelt plan. Kileutglidning defineres som utglidning langs en falllinje i interaksjonen mellom to eller flere plan. Utvelting defineres som blokkutfall som forekommer på grunn av en tyngdepunktsendring (Oppikofer et al., 2015).

Ustabile fjellparti kan ofte gjenkjennes gjennom morfologiske kjennetegn, som indikerer tidligere bevegelse. Ekstensjonssprekker, grabenstrukturer og sleppesoner er eksempler på slike indikatorer. Hyppig steinsprangaktivitet er også vanlig i området rundt et ustabil fjellparti (Devoli et al., 2011). Et større volum av et ustabil fjellparti vil løsne når skjærspenningen overkommer skjærstyrken langs glideplanet (Terzaghi, 1962).

1.2.3 Steinsprang og steinskred

Skred fra fast fjell er den skredtypen som er aktuell for Hallandsberget. I Norge kategoriseres skred fra fast fjell etter volumet til skredmassene. Det er vanlig å dele inn i tre kategorier: steinsprang, steinskred og fjellskred. NGU definerer alle skred under 100 m³ som steinsprang, skred mellom 100-100 000 m³ som steinskred og over 100 000 m³ som fjellskred (Hermanns et al., 2015).

Skred av størrelsesorden steinsprang og steinskred oppstår som oftest i bratte skråninger med en gradient som vanligvis overstiger 45°. Ved steinsprang faller enkle eller flere mindre blokker ut fra skråningen. Blokkene har relativt lav hastighet i størrelsesorden 35-40 m/s og beholder vanligvis samme størrelse og form gjennom hele skredløpet.

Steinskred har høyere hastighet enn steinsprang og knusning av blokker etter hvert som de faller ut er vanligere. Ettersom steinskred har større potensiell energi enn steinsprang, vil steinskred ha lengre utløpslengde. I steinsprang og mindre steinskred faller, spretter og ruller blokkene ned skråningen (Devoli, 2011). Utglidning forekommer som oftest i svakhetssoner, der enkle eller kryssende sprekkese sett har fall eller fallinje med samme orientering som skråningen, eller ved tyngdepunktsendring i overheng. I større steinskred ligner bevegelsen mer en massestrøm. Blokker av ulik størrelse ruller og sklir ned skråningen og avsetningen er usortert og uorientert (Böhme et al., 2017). Vanlige utløsningsårsaker for steinsprang og steinskred omfatter blant annet forhøyet sprekkvannstrykk og frost- og rotsprengning (Hermanns et al., 2015).

1.2.4 Sikkerhetsklasser for skred etter byggt teknisk forskrift TEK17

Byggt teknisk forskrift (TEK17) er en forskrift om tekniske krav til byggverk og befester grensen for de minimumskravene et byggverk må nå for å kunne oppføres lovlig i Norge. I paragraf §7-3 befestes det at det for byggverk i skredfareområde skal fastsettes sikkerhetsklasse for skred. Byggverk og tilhørende uteareal skal plasseres, dimensjoneres eller sikres mot skred, herunder sekundærvirkninger av skred, slik at største nominelle årlige sannsynlighet ikke overskrides (paragraf §7-3 i Byggt teknisk forskrift, 2017) (tabell 2).

Tabell 2: Sikkerhetsklasser etter TEK17 §7-3 (Byggeteknisk forskrift, 2017).

Sikkerhetsklasse	Konsekvens	Største nominelle årlige sannsynlighet
S1	Liten	1/100
S2	Middels	1/1000
S3	Stor	1/5000

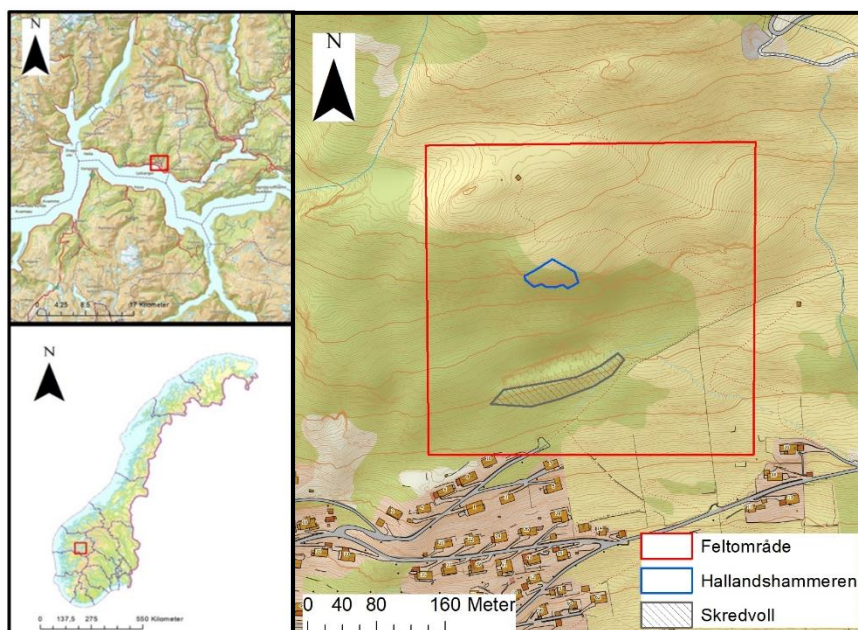
Etter TEK17 er det i områder markert etter sikkerhetsklasse S1 kun tillatt å oppføre byggverk der det normalt ikke oppholder seg personer. For sikkerhetsklasse S2 er det tillatt å oppføre byggverk der det normalt oppholder seg maksimum 25 personer. For sikkerhetsklasse S3 er det tillatt med bygg beregnet for mer enn 25 personer.

2 Områdebeskrivelse

Hallandsberget ligger i Leikanger kommune i Sogn og Fjordane (figur 3). Feltområdet strekker seg over 100 høydemeter, med høyeste punkt 270 m over havet. Boligfeltet Leite er lokalisert under Hallandsberget og ligger om lag 140 m over havet. Den nordøstlige delen av boligfeltet Leite ligger 90 m under skredvollen.

Leikanger kommune er administrasjonssenteret i Sogn og Fjordane, derav vertskommunen for fylkeskommunen og fylkesmannen (Hamre, 2016). I følge ssb.no har befolkningen i kommunen økt de siste tiårene og ventes å fortsette slik fremover.

I denne oppgaven blir feltområdet referert til som «Hallandsberget». For å referere til den sprekkavgrensede fjellhammeren med et totalvolum på 5 000 m³ blir «Hallandshammeren» brukt.



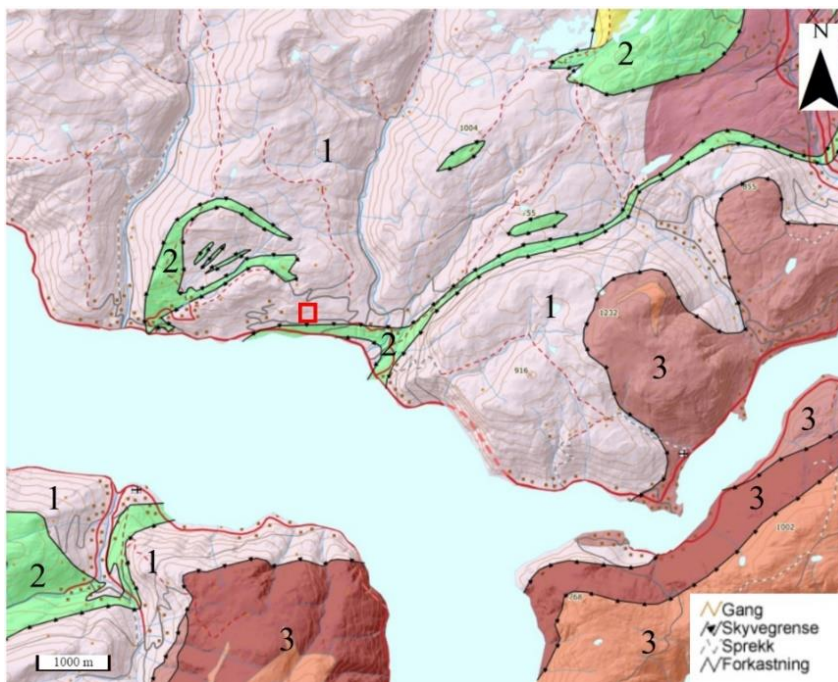
Figur 3: Oversiktskart over feltområdet. Rødt rektangel definerer feltområdet. Blå strek viser omrisset til Hallandshammeren. Grå skravur markerer skredvollen.

2.1 Berggrunnsgeologi

Under den kaledonske orogenesen ble store bergmasser flyttet fra sitt opprinnelige dannelsesområde og skjøvet som koherente dekker over andre bergmasser. Skyvedekkene deles inn i tre hoveddekkserier basert på hvor de ligger relativt til hverandre vertikalt: nedre-, midtre- og øvre dekkserie. I Indre Sogn kan bergartene deles inn i tre hovedenheter (figur 4): (1) grunnfjellet, (2) Fortun-Vangsdekket (nedre dekkserie) og (3) Jotundeppet (midtre dekkserie) (Ramberg et al., 2007).

I bunn ligger det prekambriske grunnfjellet, som hovedsakelig består av granittisk gneis, som ofte har linser og lag av glimmerrik gneis og amfibolitt. Fortun-Vangsdekket er en del av nedre dekkserie og er i hovedsak bestående av fyllitt, noen steder grafittførende og granatglimmerskifer nær undergrensen. Bergartene er opprinnelig avsetnings- og vulkanske bergarter, som ble dannet på det baltiske skjoldet før kollisjonen mellom den Baltiske og Laurentiske kontinentet i Silur/Devon. Jotundeppet er en del av midtre dekkserie og ligger over Fortun-Vangsdekket. Jotundeppet består av gneis av ulike omdanningsgrad og er tonalittisk til granittisk og noen steder mylonittisk. Det finnes også øyegneis og amfibolittisk gneis. Bergartene har sitt opphav som kilometertykke skiver med dypbergarter, som ble revet løs og skjøvet øst i kollisjonen mellom det Baltiske- og det Laurentiske kontinentet (Ramberg et al., 2007).

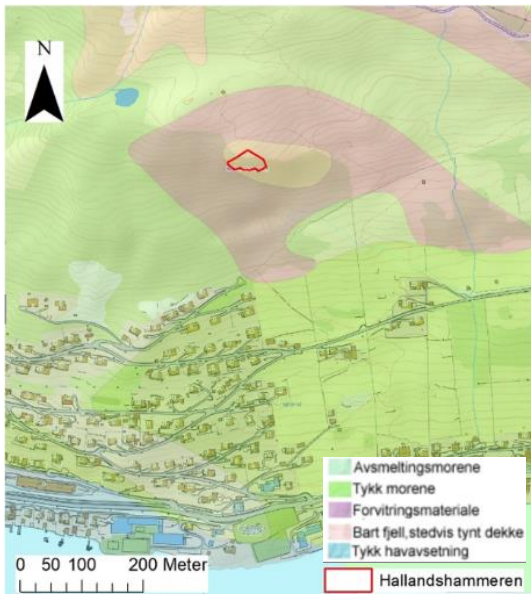
Hallandsberget ligger i Fortun-Vangsdekket nær grensen til grunnfjellet (figur 4). I feltområdet er berggrunnen bestående av fyllitt og kvartsitt. De fleste ustabile fjellparti i Indre Sogn ligger i grensen mellom Fortun-Vangsdekket og grunnfjellet eller Jotundeppet og Fortun-Vangsdekket (Böhme et al., 2011).



Figur 4: Tektonisk kart over midtre Sogn. Det prekambriske grunnfjellet (1) og skyvedekkene Fortun-Vangsdekket (2) og Jotundeppet (3) er markert. Feltområdet er markert med rød firkant (Bryhni et al., 2002)

2.2 Kwartærgeologi

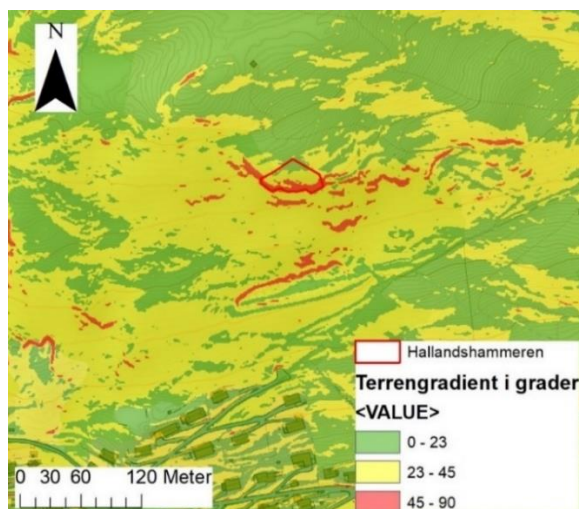
Hallandsberget ligger i tre forskjellige typer løsmasser (figur 5). Rundt Hallandshammeren er løsmassene i NGUs kvartærgeologiske kart (Sønstegaard, 1986) spesifisert som forvittringsmateriale. Utenfor er løsmassene beskrevet som tykk morene og avsetningsmorene. Ved befaring i felt ble området rundt Hallandshammeren bestemt til å være morenedekke av varierende mektighet med spredt forvittringsmateriale. I underkant av Hallandshammeren ble det observert steinskredavsetninger og enkle skredavsatte blokker.



Figur 5: Kvartærgeologisk kart av Hallandsberget (Sønstegaard, 1986). Hallandshammeren er markert med rødt omriss.

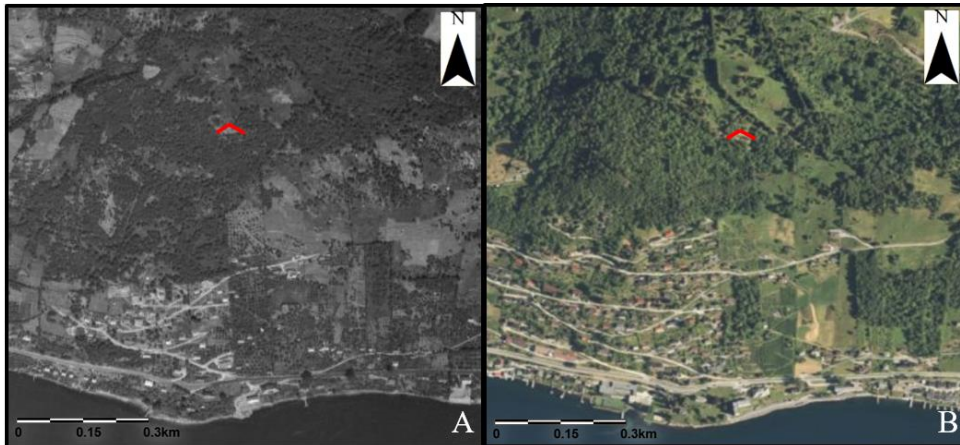
2.3 Topografi, vegetasjon og drenering

Terrenget under Hallandshammeren og ned til skredvollen er generelt bratt med en gjennomsnittlig gradient på rundt 30° (figur 6). Det bratteste partiet ved Hallandsberget er fra skrenten av hammeren og ned mot skredvollen. Her varierer helningen mellom $90-30^\circ$. Fra sikringsvollen og ned til fjorden er gradienten jevnt under 30° .



Figur 6: Helningskart over feltområdet. Hallandshammeren er markert med rødt omriss.

Hallandsberget er preget av slåttemark og skog med middels store og delvis tettvokste trær. Vegetasjonen mellom Hallandshammeren og skredvollen er gjennomgående tykk og tettvokst. I området som er tilpasset i forbindelse med skredvollen og fanggropen bærer skogen preg av tynnere trær og kratt. Vegetasjonen har endret seg lite de siste 50 årene (figur 7). Den største forskjellen ligger i bebyggelse. Boligfeltet har utvidet seg i alle retninger, men spesielt nordover og nærmere Hallandshammeren.



Figur 7: (A) Flyfoto av Hallandsberget fra 1964 og (B) bildet fra 2017 (Norgebilder, 2019). Baksprekken til Hallandshammeren er markert med rød strek.

280 m nord-vest for Hallandshammeren er det bygget en dam (figur 5). Bekkene som går fra dammen går i SV-retning bort fra Hallandsberget. Morenen har lav hydraulisk ledningsevne, som begrenser tilførselen av vann fra bekker, regn og smeltevann i sprekker, der ansamling av morenemateriale er stor (figur 5).

2.3 Klima

Leikanger kommune har en relativt lav årlig nedbørsnormal på 979 mm per år (eklima, 2019). Den tørreste måneden er april med en månedsnormal på 36 mm. Fra april er nedbørsmengden jevnt stigende frem til september med månedsnormal på 129 mm. Fra september synker nedbørsmengden for hver måned helt frem til april (tabell 3). Ettersom Leikanger har en relativt lav årlig nedbørsnormal forventes det at sprekkevannstrykket vil være størst ved ekstreme nedbørsepisoder alene eller i kombinasjon med stor snøsmelting.

Årlig middeltemperatur i Leikanger er 6,6°C (eklima, 2019). Juli er den varmeste måneden med en månedsnormal på 14,9°C. Temperaturen synker utover året, med januar som kaldeste måned med 0,8°C (tabell 3).

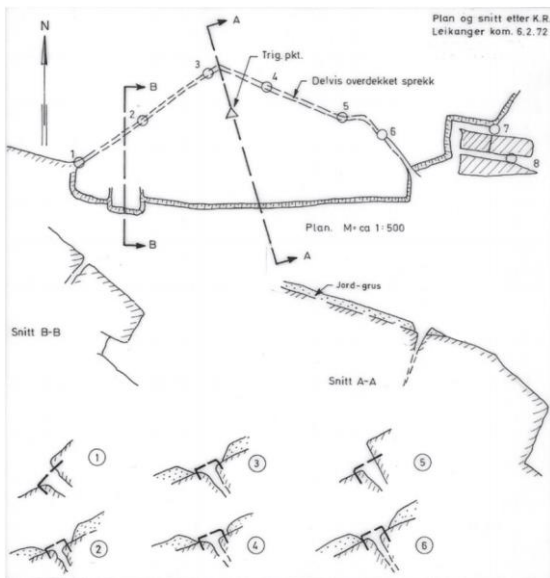
Tabell 3: Månedsnormaler for nedbør og middeltemperatur i perioden i 1961-1990 for Leikanger (eklima.no).

	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	År
Nedbør (mm)	97	63	69	36	38	50	57	75	129	128	118	119	979
Temperatur (°C)	-0,8	-0,5	1,6	5	10,3	13,8	14,9	14,2	10,3	7	2,6	0,3	6,6

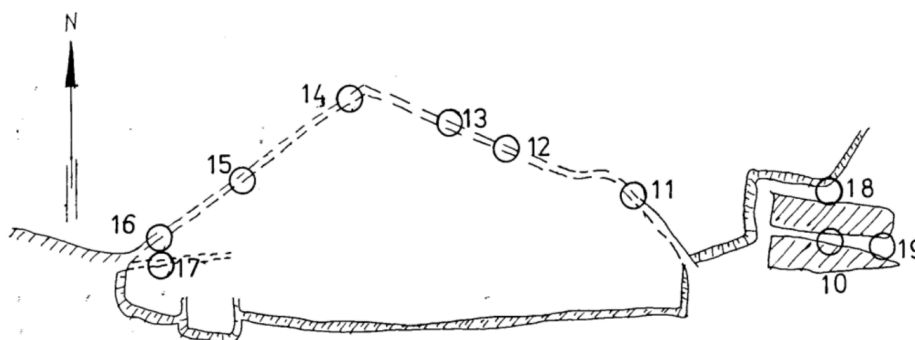
3 Tidligere arbeid

Hensikten med dette kapittelet er å gi en generell oversikt over hvilke undersøkelser som tidligere er foretatt og hvilke funn som blir presentert. Det er produsert totalt seks rapporter av NGI og en av NGU og GEOTEAM. De fullstendige rapportene og annet tidligere arbeid som omhandler Hallandsberget ligger vedlagt (vedlegg 21-34).

I 1970 ble det utplassert seks boltepar, en bolt på hver side av baksprekken for å overvåke Hallandshammerens bevegelse (figur 8). Det ble i 1974 montert syv nye boltepar, som ble montert normalt på baksprekken (figur 9). Boltepar 17 måler avstanden i spalten mellom H1 og H3 (Grimstad, 1996). Bolteparene er målt med varierende tidsintervall etter at de første bolteparene ble oppført i 1970 frem til 2004.



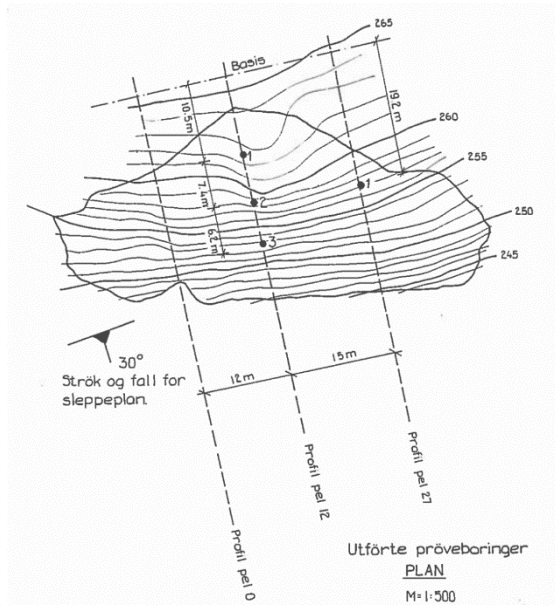
Figur 8: Oversiktskart over boltene som ble montert av NGI i 1970 (Kjærnsli et al., 1972).



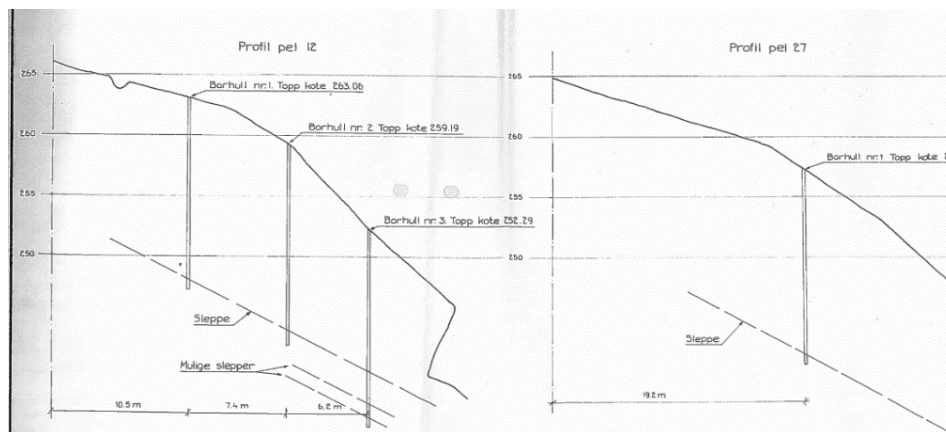
Figur 9: Oversiktskart som viser plasseringen til bolteparene som ble montert i 1974 (Jørstad, 1973).

Vest på Hallandshammeren ble det beskrevet to ytterlig avgrensede blokker (figur 9) på 200 m³ og 300 m³ (Grimstad, 1996). De siste meterne mot fronten er planet avløst av et svakere hellende plan. Gradienten på dette planet ble bestemt til å være 22° (Grimstad, 1996).

Det er gjort fire kjerneboringer på Hallandshammeren (Bergh-Christensen, 1974) (figur 10). I alle borehullene ble det funnet en 6-14 mm mektig sleppe med fallretning rundt 160° og fallvinkel 30° om lag 15 m under overflaten (figur 11). I borehull 3 i profil 12 ble det også funnet indikasjoner på to parallelle 20-30 mm mektige slepper på lavere nivå (Bergh-Christensen, 1974).



Figur 10: Oversiktskart med borehullenes plassering, retning og orientering for tverrprofilen i figur 11 og inntegnet strøk og fall for sleppeplanet (Bergh-Christensen, 1974).



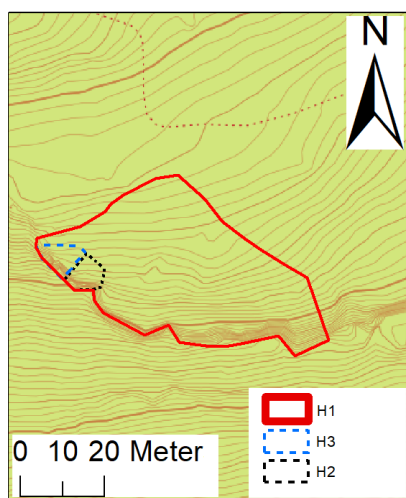
Figur 11: Tverrprofil, med inntegnet borehull og sleppeplan (Bergh-Christensen., 1974).

Alle overvåkende og sikrende tiltak som er gjennomført på Hallandsberget er presentert i tabell 4.

Tabell 4: Alle overvåkende og sikrende tiltak som er gjennomført på Hallandsberget, presentert i kronologisk rekkefølge.

Årstall	Tiltaksbeskrivelse
1970	Seks boltepar ble montert i baksprekken til Hallandshammeren og to bolter ble montert i baksprekken til to utløste blokker øst for hammeren (figur 8).
1974	Seks nye boltepar ble montert i baksprekken til Hallandshammeren og tre bolter ble montert i baksprekken til de to utløste blokkene øst for hammeren (figur 9).
1974	En fangvoll under hammeren ble konstruert. Dimensjoneringen til vollen er presentert i Jørstad (1973).
2013	De to utløste blokkene øst for Hallandshammeren ble sprengt bort (Leikanger kommune, 2013)

For å gjøre omtalen av ustabilitetene som allerede er beskrevet lettere ble det valgt å dele de inn i blokker (figur 12). Avløste blokker vest på Hallandshammeren ble tildelt blokknavn H2 og H3. Hele Hallandshammeren er tildelt blokknavn H1, som også omfatter H2 og H3.



Figur 12: Oversiktskart over de tre definerte blokkene på Hallandsberget.

4 Metode

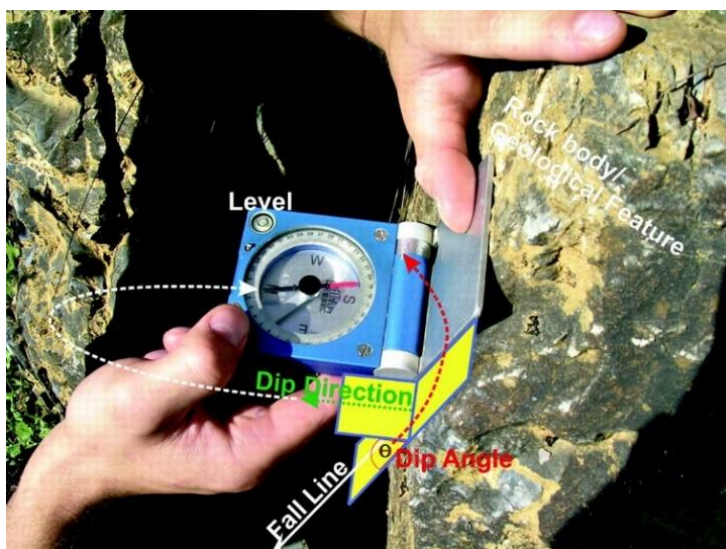
Under metode beskrives alle verktøy som er brukt og alle undersøkelser som er gjort i forbindelse med oppgaven. Dette omfatter fremgangsmåter som er brukt i feltarbeidet, ved fjernanalyse og dataverktøy som er brukt for å fremstille resultater.

4.1 Datainnsamling

Dataene som ble samlet inn og som er bakgrunnen for denne oppgaven er basert på fjernanalyse og feltarbeid.

Fjernanalyse er en metode som baserer seg på å kartlegge topografiske og geologiske strukturer i en høydemodell eller ortofoto. Metoden ble brukt til forberedende arbeid før feltarbeidet og til å kartlegge strukturer som ikke ble kartlagt i felt.

Feltarbeidet gikk ut på å få en generell oversikt over Hallandsberget og arbeidet som tidligere har blitt gjort i området. Det ble gjort strukturmålinger i feltområdet, med fokus på kartlegging av foliasjon, folder, sprekkeplan, spalter og skrenter samt avstandsmålinger på eksisterende boltepar. Alle feltobservasjoner ble markert med GPS mottaker av typen «Garmin etrex touch 25». Det ble også brukt drone til å ta oversiktsbilder. Strukturmålinger ble gjort ved å lese av fallretning og fallvinkel med kompass (figur 13).



Figur 13: Strukturmåling med kompass (Zobl et al., 2007).

For å måle avstanden mellom 1974 bolteparene ble en statisk hyssing satt stramt mellom måleboltene (figur 14 A). Avstanden mellom boltene ble markert på hyssingen og målt med målebånd. Avstand mellom 1970 bolteparene ble målt med målebånd og orienteringen ble målt med kompass (figur 14 B). Målebåndet hadde mm-presisjon.



Figur 14: (A) Metode for avstandsmåling på boltepar fra 1974. (B) Metode for måling av retning og avstand mellom boltepar fra 1970.

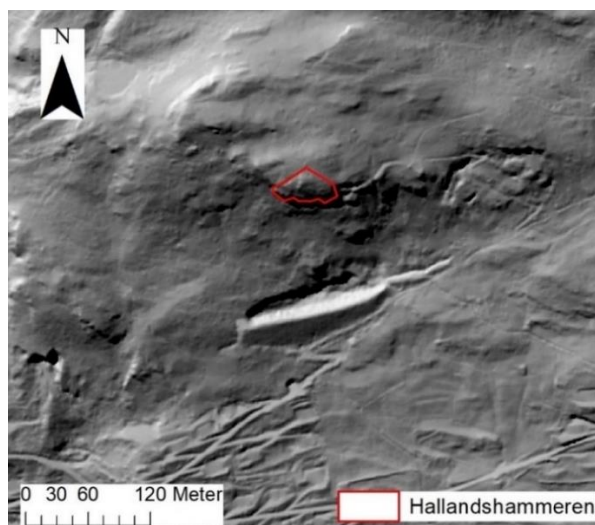
4.2 ArcGis

ArcMap (v.10.6.1) ble brukt i fjernanalysen, framstilling av felldata og til forarbeid for videre skredsimulering.

4.2.1 ArcMap

Som kartgrunnlag ble WMS (Web Map Service) kartet «Topografisk Norgeskart 4» (Kartverket, 2019) benyttet. En terrengmodell er brukt som grunnlag for bratthetskart, fjellskyggekart og terrengprofil med en cellestørrelse på 1 m.

Det ble produsert et helningskart med forhåndsbestemte gradient-klasser, for å få oversikt over potensielle utløsnings- og utløpsområder (figur 6). Fjellskyggekartet (figur 15) ble produsert for å kartlegge interessante morfologiske strukturer og landformer.



Figur 15: Fjellskyggekart over Hallandsberget med azimuth på 315° og altitute på 45° . Hallandshammren er markert med rødt omriss.

For å se nærmere på utløpslengden til steinsprang, var det nødvendig å lage terrengprofiler. Disse ble produsert med funksjonen «create steepest path» i «3D analyst». Funksjonen tegner den bratteste mulige linjen ned en skråning.

4.3 Kinematisk analyse

En kinematisk analyse identifiserer sprekkeplan som kan fungere som glideplan for kile- eller planutglidning eller som gir mulighet for utvelting. Den kinematiske analysen som er presentert i denne oppgaven ble laget i programvaren DIPS (v7.014). DIPS er et dataprogram som brukes til å analysere retningsbasert, geologisk data.

Inndata

Datagrunnlaget for den kinematiske analysen er fallvinkel og fallretningsverdier til plan- eller linjestrukturer. Den kinematiske analysen krever at det oppgis verdier for skråningens fall og fallvinkel, bergartens indre friksjonsvinkel (Φ) og slingringsmonn for kritiske glideplan.

Utdata

I «kinematic analysis» menyen defineres hvilken utglidningstype analysen skal ta utgangspunkt i. I DIPS kan en velge mellom planutglidning, kileutglidning og utvelting. Resultatet blir presentert i et stereoplott med en kritisk sone. Alle polene som faller innenfor den kritiske sonen vil kunne fungere som glideplan for den definerte utglidningsformen.

4.4 Skredsimulering

4.4.1 Steinsprangsimulering

For å beregne utløpslengde for steinsprang er dataprogrammene RocFall (v7.014) og Rockyfor3D (v5.2) brukt. For å bestemme blokkstørrelser til simulering av steinsprang er det kartlagt og målt volum av skredblokker avsatt i underkant av Hallandshammeren.

4.4.1.1 RocFall

I programmet RocFall simuleres steinsprang langs et 2D profil. Parametere tilknyttet skredmaterialet og skredbanen kan legges inn i programmet. Dette gir detaljert informasjon om blokkenes spretthøyde, energi, hastighet og utløpslengde.

Inndata

RocFall baseres på et profil med x (avstand fra utløpsområdet) og y (høyde) verdier. I programmet defineres først de spesifikke betingelsene for simuleringen. I denne oppgaven ble «rigid body» valgt som analysemetode. Dette betyr at programmet analyserer faste blokker og tar hensyn til formen på blokken. Videre økes tidsgrensen for simuleringen til maks, slik at programmet ikke stopper simuleringen før blokken har sluttet å rulle.

Deretter defineres materialegenskapene til underlaget i profilet. For hvert materiale defineres en rekke parametere, som representerer det gitte materialet (tabell 5).

Tabell 5: Oversikt over parameterene for materialtyper i Rocfall.

Parameter	Beskrivelse
Overflateruhet	Definert av amplitude og avstand fra overflaten og avstand mellom ujevnheter [m]. Dette kan bidra til å redusere energien til steinspranget.
Friksjonskoeffisient	Beskriver energien som går tapt til andre faktorer enn dynamisk friksjon, som plastisk deformasjon, glidning langs overflaten og hysteres. Deles inn i «dynamic friction coefficient» og «rolling friction coefficient».
Restitusjonskoeffisient	Forholdet mellom blokkens innkommende og utgående hastighet, for en blokk som treffer underlaget. Parameteren sier noe om hvor mye energi som går tapt når blokken kolliderer med underlaget. Verdiene varierer fra 0-1, der 1 tilsier at ingen energi er tapt. Høye verdier er typisk for harde overflater.
Demping fra vegetasjon	Beskriver energien som går tapt i kollisjon med trær. Dempingen beskrives av trærnes effektive høyde [m] og en friksjonskoeffisient [kg/s].

Videre defineres egenskapene til blokkene. Her defineres blokkens masse [kg], tetthet [kg/m^3] og blokkform. Utløpsområdet defineres videre ved å bruke «add line seeder». Her kan et område langs profilet velges som utløpsområde. Videre defineres det også hvor mange simuleringer som kjøres for hver blokkstørrelse og blokkens starthastighet [m/s].

Utdata

Resultatet i RocFall kan fremstilles forskjellig etter hvilke utdataparametere som det ønskes å fremstille. I denne oppgaven er det valgt å fremstille resultatet med profil der det maksimale utløpet for hver valgt blokkstørrelse er markert. I tillegg er det valgt å legge ved et profilkart, som viser fordelingen av utløpslengder fordelt på simuleringen grafisk.

4.4.1.2 Rockyfor3D

Rockyfor3D er et program som simulerer skredbaner til steinsprang i 3D. For å bestemme utløpsbanene til blokkene bruker programmet en sannsynlighetstilnærming som baseres på de parameterne man setter inn. Resultatet presenteres grafisk.

Inndata

Rockyfor3D bruker en terrengmodell som input. Modellen krever forarbeid i ArcGIS. Prosessen innebærer å avgrense kildeområdet og utløpsområdet som polygoner i en «shapefil», for deretter å konvertere filene til asc-format. Dette kan gjøres i verktøyet «pimpmyrockyfor_v.10». For utløpspolygonet defineres parametere som representerer steinsprangets egenskaper (tabell 6).

Tabell 6: Parametere som defineres for utløpspolygonet (Dorren, 2016).

Parameter	Beskrivelse
Bergartstetthet	Tetthetsverdier for den aktuelle bergarten. [kg/m ³]
Blokkform	Blokkform, med verdier 0-4, der 0 er ingen form. Rektangulær=1, ellipsoid=2, kule=3, diskform=4
Blokkdimensjoner	Hver dimensjon D1, D2 og D3. [m]
Fallhøyde	[m]

Deretter ble utløpsområdet definert. Utløpsområdet er et polygon som kan deles opp slik at hver oppdeling blir tildelt parameterverdier som representerer underlaget (tabell 7).

Tabell 7: Parametere som defineres for kildepolygon og utløpspolygon (Dorren, 2016).

Parameter	Beskrivelse
Overflateruhet	Deles inn i tre kategorier: RG10, RG20 og RG70. RG70 representerer eksempelvis høyden til hindrene som dekker 70 % av arealet i polygonet [m].
Jordtype	Verdier fra 0-7, der hardheten og dempingsgraden til underlaget øker med tallet. Verdi 0 tilsvarer eksempelvis sump, elv, myr og annet fullstendig penetrerbart materiale og 7 tilsvarer asfalt.

Utover de ordinære terrengparametrene er det mulig å legge til parameterverdier for skog og vegetasjon (tabell 8).

Tabell 8: Variabler som defineres for skogparametere (Dorren, 2016).

Parameter	Beskrivelse
Antall trær	Antall trær som står innenfor utløpspolygonet.
Gjennomsnittsdiameter	Gjennomsnittsdiameteren til stammene på trærne ved brysthøyde.
Standardavvik	Standardavviket til trærnes gjennomsnittsdiameter.
Skogtetthet	Prosentandel av utløpspolygonet som inneholder skog.

Utdata

Etter endt simulering lagres ulike rasterfiler. «Number of passages» viser antall simulerte blokker som passere en gitt utløpscelle. Noen av de øvrige aktuelle rasterne er «reach_probability» som viser sannsynligheten for at en simulert blokk avsettes i en gitt utløpscelle og «number deposited» som viser hvor mange blokker som er avsatt i hver utløpscelle. Hver utløpscelle som er tildelt en spesifikk verdi er fargekodet basert på den verdien den tildeles.

4.4.2 Steinskredsimulering

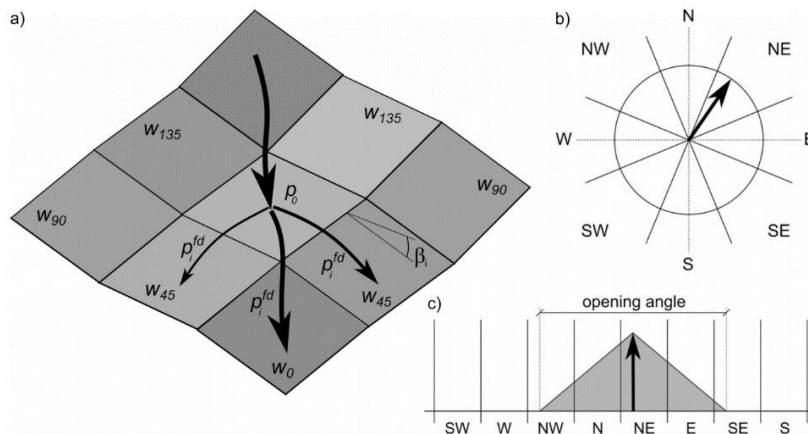
Flow-R (v0.9.8) er et program som simulerer utløpslengde og lateral utbredelse for massestrømmer i 3D, men er også tilpasset bruk i fjellskredmodellering (Horton et al., 2013). For å beregne utløpsbaner baserer programmet seg på algoritmer som tar høyde for skredets utbredelsespotensial og potensielle- og kinetiske energi. Analysen er sannsynlighetsbasert.

Inndata

Flow-R krever en terrengmodell og en fil som markerer det designerte kildeområdet for den skredhendelsen man ønsker å simulere. For å kalkulere skredets utbredelse baseres simuleringen på en «spreading algorithm» og en «energy calculation».

«Spreading algorithm» beregner skredets laterale utbredelse. Horton et al. (2013) sin tilpassede metode for simulering av fjellskred anvender algoritmen «Holmgren (1994) modified». Algoritmen tar høyde for flere strømningsretninger. Med denne modellen sprer skredet seg fra en celle seg videre til en annen, avhengig av høydeforskjellen mellom cellene.

Det blir også tatt hensyn til skredets tendens til å følge samme retning som før, altså massens treghet. For fjellskred er det utviklet en spesialtilpasset treghetsmodell (Horton et al., 2014). Modellen inneholder en «hukommelseffekt» (figur 16). Treghetsmodellen kombineres med den modifiserte Holmgrens (1994) strømningsmodell for å beregne sannsynligheten for at et skred kan spre seg fra en celle til en annen (Oppikofer et al., 2016).



Figur 16: Figuren illustrerer spredningsalgoritmen «Holmgren (1994) modified». (a) Illustrerer spredningsmodellering der en massestrøm med en sannsynlighet p_0 spres videre til nabocellene med ulike sannsynligheter p^{fd} som er avhengige av høydeforskjellen mellom høydemodellcellene, men også en vektning w til å fortsette i samme retning eller andre retning (Horton et al., 2013). (b) «Hukommelseffekten» beregner skredets gjennomsnittlige retning over de siste n høydemodellceller og gir en høyere vekt for å fortsette i samme retning. (c) Vektingen til å fortsette i samme retning eller å endre retningen er gitt med en trekantfordeling og en åpningsvinkel θ (Oppikofer et al., 2016).

I den tilpassede metoden for simulering av fjellskred i Flow-R (Oppikofer et al., 2016), anvendes siktevinkel som energimodell. Det er blitt etablert en empirisk relasjon mellom siktevinkel og skredvolum (Oppikofer et al., 2016). Relasjonen er dårlig for skred med totalvolum under 250 000 m³. For steinskred brukes det derfor en fast siktevinkel (Corominas, 1996).

Utdata

Dataene fra simuleringen fremstilles som to rasterfiler. Begge filene viser den maksimale beregnede lengden til skredet. I den ene filen er utløpscellene tildelt celleverdier tilsvarende den relative sannsynligheten for utbredelse med verdi mellom 1 og 0. Den andre filen gir informasjon om den maksimale beregnede kinetiske energien for skredmassene som beveger seg gjennom den gitte cellen.

4.5 Stabilitetsanalyse

En stabilitetsanalyse sier noe om stabilitetsforholdet til en avgrenset morfologisk struktur. I denne oppgaven ble dataprogrammet Rock Stability (v2019.18) brukt for å beregne sikkerhetsfaktor. Rock Stability er et vektorbasert dataprogram i 2D for stabilitetsanalyse i fast fjell, som beregner sikkerhetsfaktor for individuelle sprekkeavgrensede blokker. Analysen baseres på et skissert vertikalsnitt gjennom strukturen.

Stabilitetsberegningen baseres på et skjærstyrkekriterium. I denne oppgaven er Barton-Bandis skjærstyrkekriterium anvendt. Parameterne er oppgitt i tabell 9-11. Barton-Bandis skjærstyrkekriterium er en empirisk modell (Barton, 1973, 1976), som bygger på Mohr-Coulombs skjærstyrkekriterium og er gitt av formelen:

$$\tau = \sigma_N * \tan \left(\varphi_r + JRC_n \log \left(\frac{JCS_n}{\sigma_N} \right) \right)$$

σ_n er normalspenningen og er gitt av formelen:

$$\sigma_n = \frac{F_n}{A} = \frac{\rho V g * \cos \psi_{slope}}{A}$$

Tabell 9: Parametere som inngår i formel for normalspenning.

Variabel	Definisjon
ρ	Bergartens tetthet
V	Blokkens volum
g	Tyngdeakselerasjon
Ψ_{slope}	Gradient til skråning
A	Overflatearealet til blokken

JRC_n er ruhetskoeffisienten som er korrigert for skalaeffekter og er gitt av formelen:

$$JRC_N = JRC_0 * \left(\frac{L_N}{L_0} \right)^{-0.02 JRC_0}$$

Tabell 10: Parametere som inngår i formel for ruhetskoeffisient.

Variabel	Definisjon
JRC_0	Tilsynelatende ruhetskoeffisient basert på maksimal amplitude til asperiter langs et profil på glideplanet.
L_N	Lengden på hele glideflaten
L_0	Lengden på sprekkeflaten som ble brukt for å måle JRC_0 .

JCS_n er bergartens kompressive styrke som er korrigert for skalaeffekter og er gitt av formelen:

$$JCS_n = JCS_0 * \left(\frac{L_n}{L_0} \right)^{-0.03 JRC_0}$$

Tabell 11: Variabler som inngår i formel for kompressiv styrke.

Variabel	Definisjon
JCS_0	Bergartens tilsynelatende kompressive styrke basert på prelleverdier målt på glideplanet.
L_N	Lengden på hele glideflaten.
L_0	Lengden på sprekkeflaten som ble brukt for å måle JCS_0

Inndata

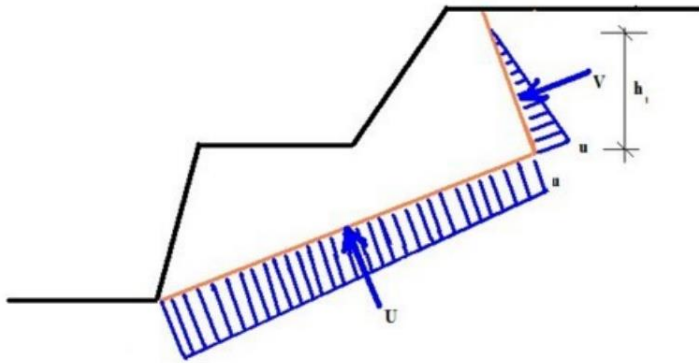
Under fanen «terrain» kan en tegne inn skråningen. I «inclination and length» funksjonen defineres en flates orientering.

Materialeegenskapene til den aktuelle bergarten defineres under «rock». Her defineres bergartens enhetsvekt [kN/m^3]. Barton-Bandis metode krever også verdier for ruhetskoeffisient JRC, bergartens kompressive styrke JCS og residual friksjonsvinkel φ_r .

Glideplan defineres under «sl. surface». Her defineres glideplanetens orientering i koordinatsystemet med verdi for x-, z- og α (gradient). Orientering til eventuell tensjonssprekk kan også defineres her. Denne plasseres i koordinatsystemet med verdier for x og φ (gradient).

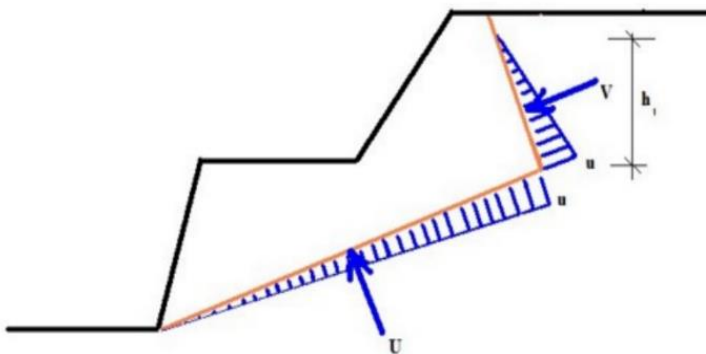
Verdier og egenskaper knyttet til grunnvannsspeilet defineres under «water». Her finnes det flere ulike grunnvannsmodeller, som beregner spenningen som virker fra grunnvannet på blokken ulikt. I denne oppgaven ble to ulike grunnvannsmodeller brukt: «hydrostatic pressure, GWT on tension crack, max» og «hydrostatic pressure, GWT on tension crack».

«hydrostatic preassure, GWT on tension crack, max» regner med at hele glideplanet ligger under grunnvannsspeilet og at det hydrostatiske trykket på glideplanet er størst ved tåen av glideplanet. Trykket som virker normalt på blokken som følge av vann i baksprekken er definert til å være størst i bunn og avtagende opp mot grunnvannsspeilet (Geo 5, 2018) (figur 17).



Figur 17: «Hydrostatic preassure, GWT on tension crack, max» (Fine civil engineering software, 2018). Illustrasjon som viser hvordan funksjonen modellerer kreftene som virker på en blokk som følge av hydrostatisk trykk (U) og trykk (V) fra vann i tensjonssprekken.

«Hydrostatic pressure, GWT on tension crack» regner også med at hele glideplanet ligger under grunnvannsspeilet, men for denne modellen avtar det hydrostatiske trykket ned mot tåen av glideplanet. Trykket som virker normalt på blokken som følge av vann i baksprekken er også her definert til å være størst i bunn og avtakende opp mot grunnvannsspeilet (figur 18) (Geo 5, 2018).



Figur 18: «Hydrostatic preassure, GWT on tension crack» (Fine civil engineering software, 2018). Illustrasjon som viser hvordan funksjonen modellerer kreftene som virker på en blokk som følge av hydrostatisk trykk (U) og trykk (V) fra vann i tensjonssprekken.

Utdata

Resultatet av analysen oppgis i sikkerhetsfaktor F_s . Sikkerhetsfaktor er et mål på stabilitet og er definert av formelen: $F_s = \tau / \tau_s$. τ er sprekkeplanets skjærstyrke og τ_s er den drivende skjærspenningen. Er sprekkeplanets skjærstyrke lik den drivende skjærspenningen er $F_s=1$.

5 Resultat

5.1 Felldata

Under feltarbeidet ble det kartlagt bergarter, sammen med foliasjon, folder, spalter og sprekker og det ble gjort avstandsmålinger på eksisterende bolter. Skreenter og spalter ble kartlagt under fjernanalysen.

5.1.1 Berggrunn

I feltarbeidet ble det observert kvartsitt og fyllitt. Kvartsitten overlager fyllitten (figur 19). Store deler av den eksponerte berggrunnen i feltområdet er av kvartsitt. Det finnes kun enkelte blotninger av den underliggende fyllitten, blant annet i fangvollen og små blotninger sør for fangvollen og øst for Hallandshammeren.

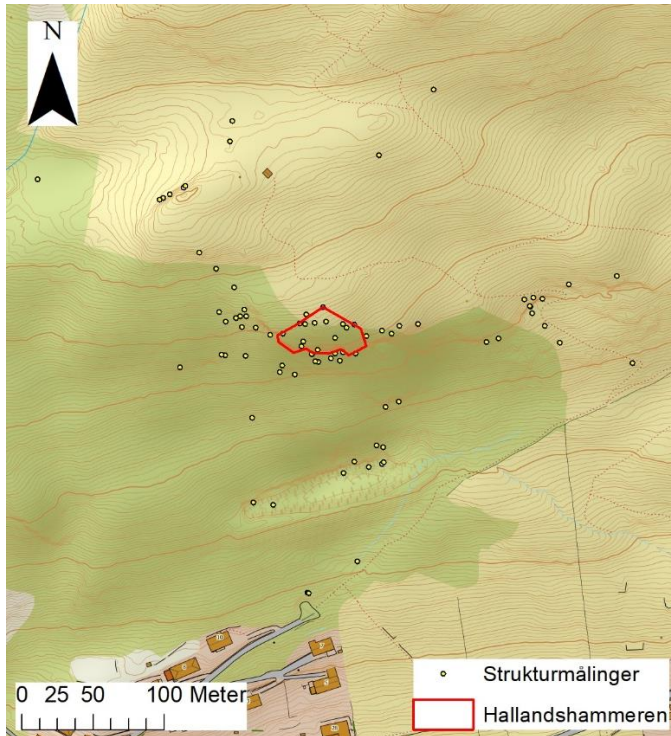
Kvartsitten fremstår som betraktelig mer oppsprukket og har en høyere sprekkeutholdenhet enn fyllitten. Oppsprekkingen langs foliasjonen ble kun observert i kvartsitten.



Figur 19: Blotning av grensen mellom (1) kvartsitt og (2) fyllitt.

5.1.2 Strukturmålinger

Det ble tatt 194 strukturmålinger. 34 av disse er gjort på foliasjon, 10 er gjort på folder, 120 er gjort på sprekkeflater, og 30 er gjort på skrenter (figur 20).

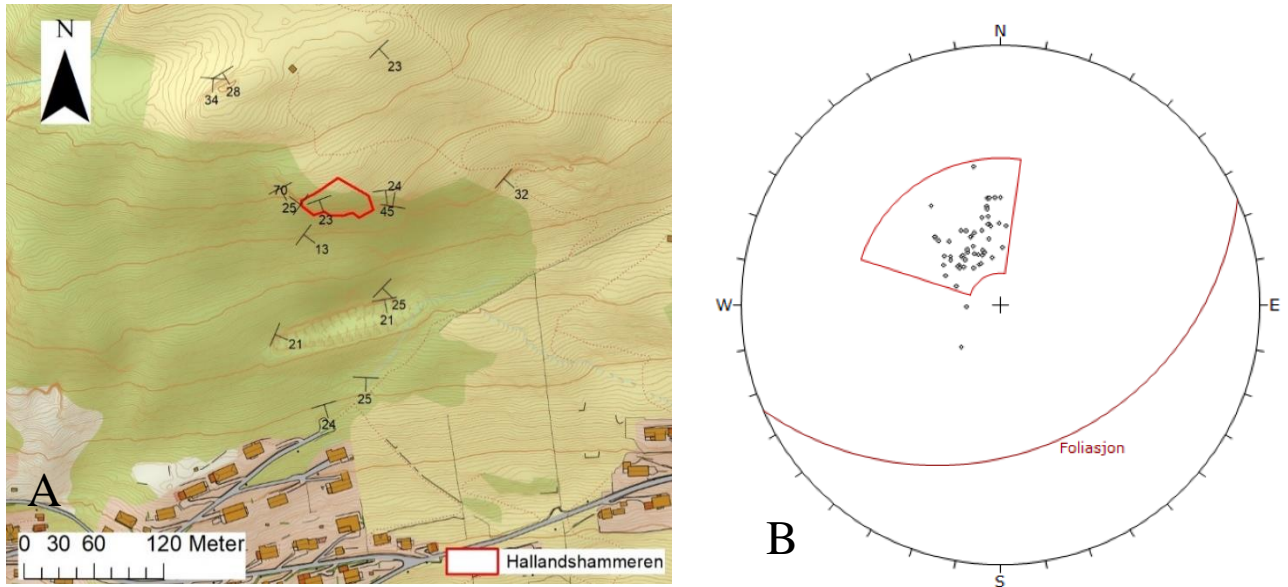


Figur 20: Oversiktskart over hvor strukturmålinger ble gjennomført i feltarbeidet. Hallandshammeren er markert med rødt omriss.

Målingene som er gjort viser at foliasjonen (figur 21) har en dominerende fallretning mot SØ (figur 22 A). Gjennomsnittlig orientering er bestemt til 151/28 (figur 22 B). Foliasjonen varierer lokalt med folding.

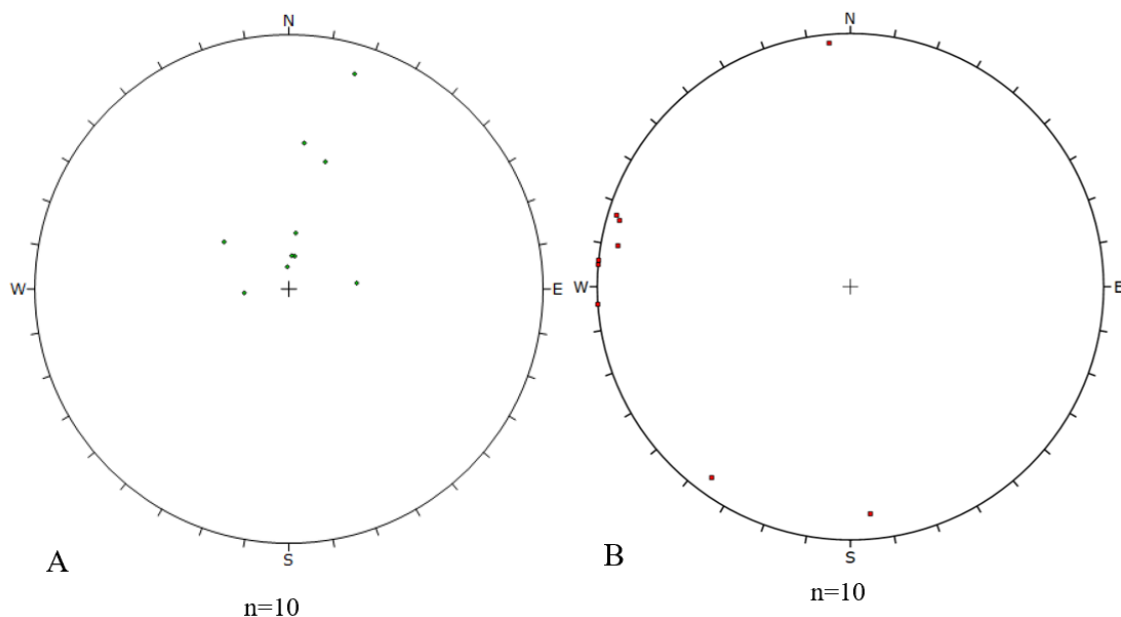


Figur 21: Blotning av foliasjonen i kvartsitten.

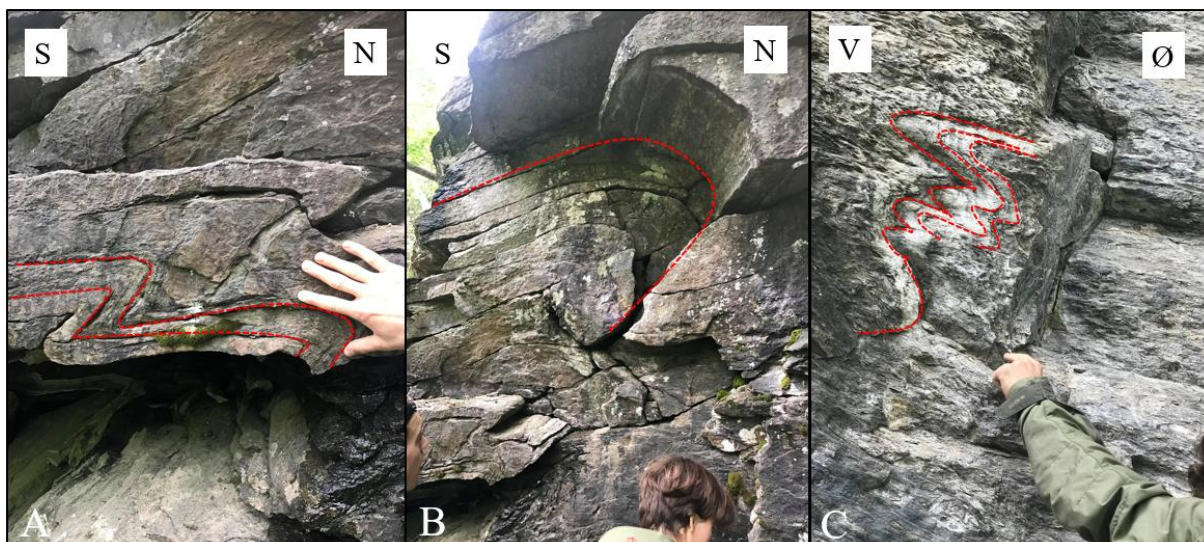


Figur 22: (A) Oversiktskart over foliasjonsmålinger utført under feltarbeid. Hallandshammeren er markert med rødt omriss. (B) Stereoplott som viser gjennomsnittlig orientering til foliasjonen.

I felt ble det gjenkjent to forskjellige orienteringer av folder med akseplan med Ø-V og N-S strøk. Folder med Ø-V strøk har en gjennomsnittlig akseakseplanorientering på 188/37 (figur 23 A) og en gjennomsnittlig foldeakseorientering på 278/02 basert på 7 målinger (figur 23 B). Folder med N-S strøk har en gjennomsnittlig akseplanorientering på 106/28 og en gjennomsnittlig foldeakseorientering på 196/04 basert på 3 målinger. Alle kartlagte folder har en sylindrisk og rundet form. Åpningsvinkelen til de kartlagte foldene varierer (figur 24).



Figur 23: (A) Akseplanene til foldene som ble kartlagt i felt. (B) Foldeaksene til foldene som ble kartlagt i felt.

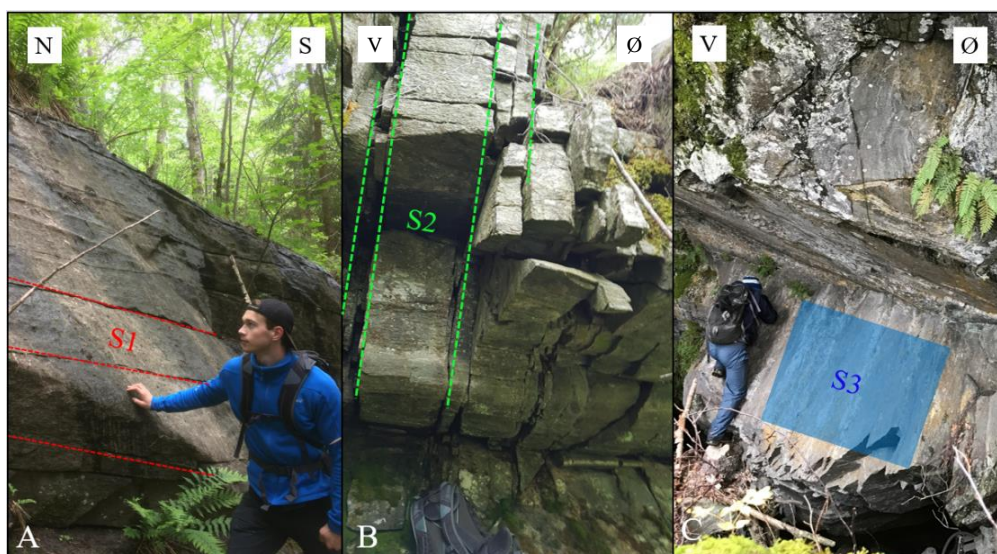


Figur 24: Samling av observerte folder ved Hallandsberget. (A) Isoklinal Z-fold med akseplanorientering 186/60. (B) Større tett fold med akseplanorientering 187/25. (C) Isoklinal S-fold orientert mot 085/20.

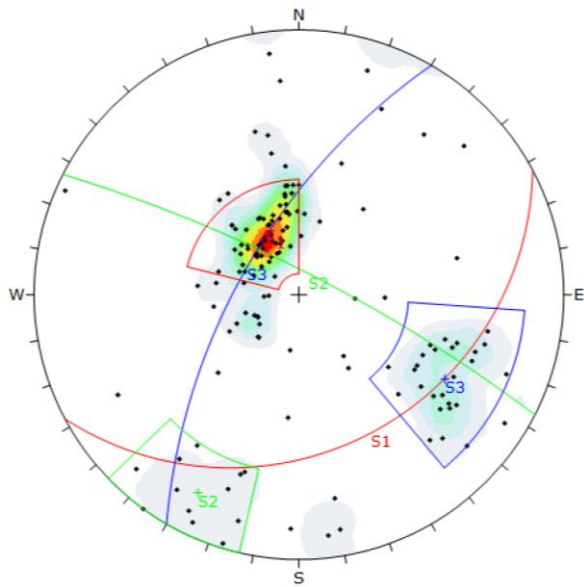
Fra strukturmålingene som ble gjort på sprekkeflater ble det gjenkjent tre dominerende sprekkesett: S1, S2 og S3 (tabell 12, figur 25, 26). Sprekkesett S1 er det største settet og er foliasjonsparallelt.

Tabell 12: Tabellen viser gjennomsnittlig fallretning og fallvinkel til de gjenkjente sprekkesettene, og viser hvor mange målinger snittet er basert på.

	Fallretning/Fall	Målinger
S1	149/31	56
S2	028/79	11
S3	301/67	24



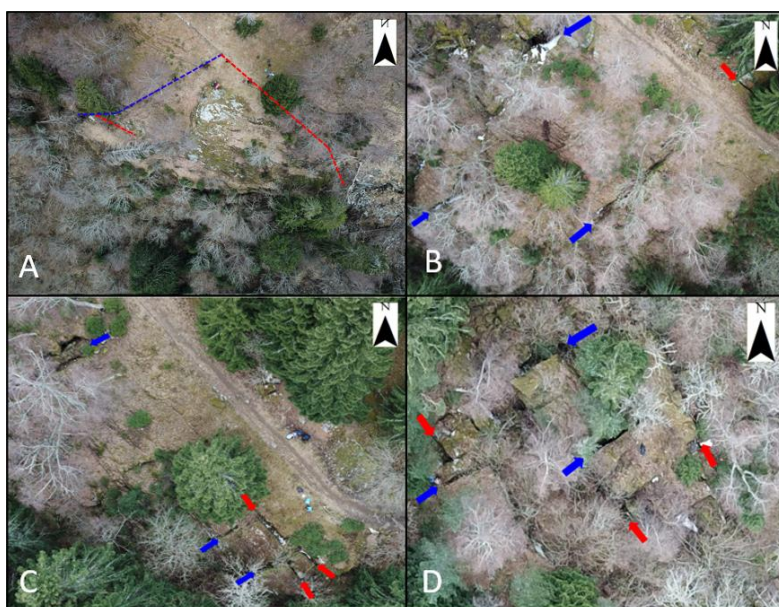
Figur 25: (A) Oppsprekking langs sprekkesett S1, (B) oppsprekking langs sprekkesett S2 og (C) flate parallell med orienteringen til sprekkesett S3.



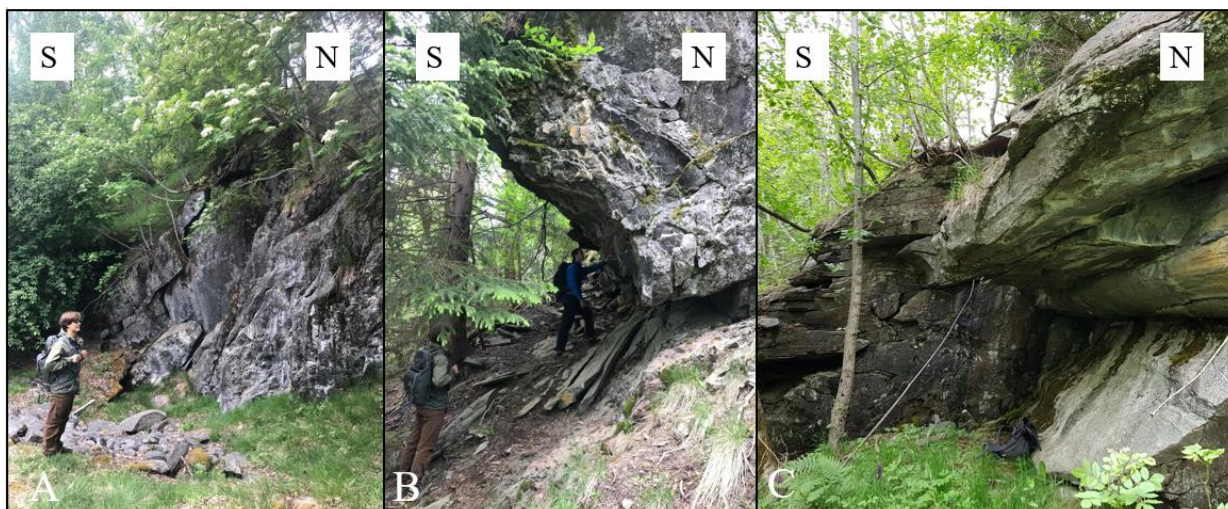
Figur 26: Orienteringen til sprekksettene S1, S2 og S3.

Spalter og skrenter (figur 27, 28) ble kartlagt med feltarbeid og fjernanalyse (figur 29). Spaltene har en dominerende SSV-NNØ og ØSØ-VNV strøkretning (figur 30 A). Baksprekken som avgrensner Hallandshammeren er fylt med løsmasser og er kun eksponert punktvis, der den er gravd frem og i korte segmenter nær skråningen i øst og vest. Tensjonssprekken som avgrensner blokkene i vest er også tildekket av morene og er kun eksponert lengst vest. Fallet til spaltene varierer. Dominerende V-Ø strøkretning for spalter samsvarer til dels med strøket til sprekkesett S2, med et avvik på om lag 30° . Dominerende N-S strøkretning for spalter samsvarer også til dels med dominerende strøkretning for S3, med et avvik på om lag 30° (figur 30 A, B).

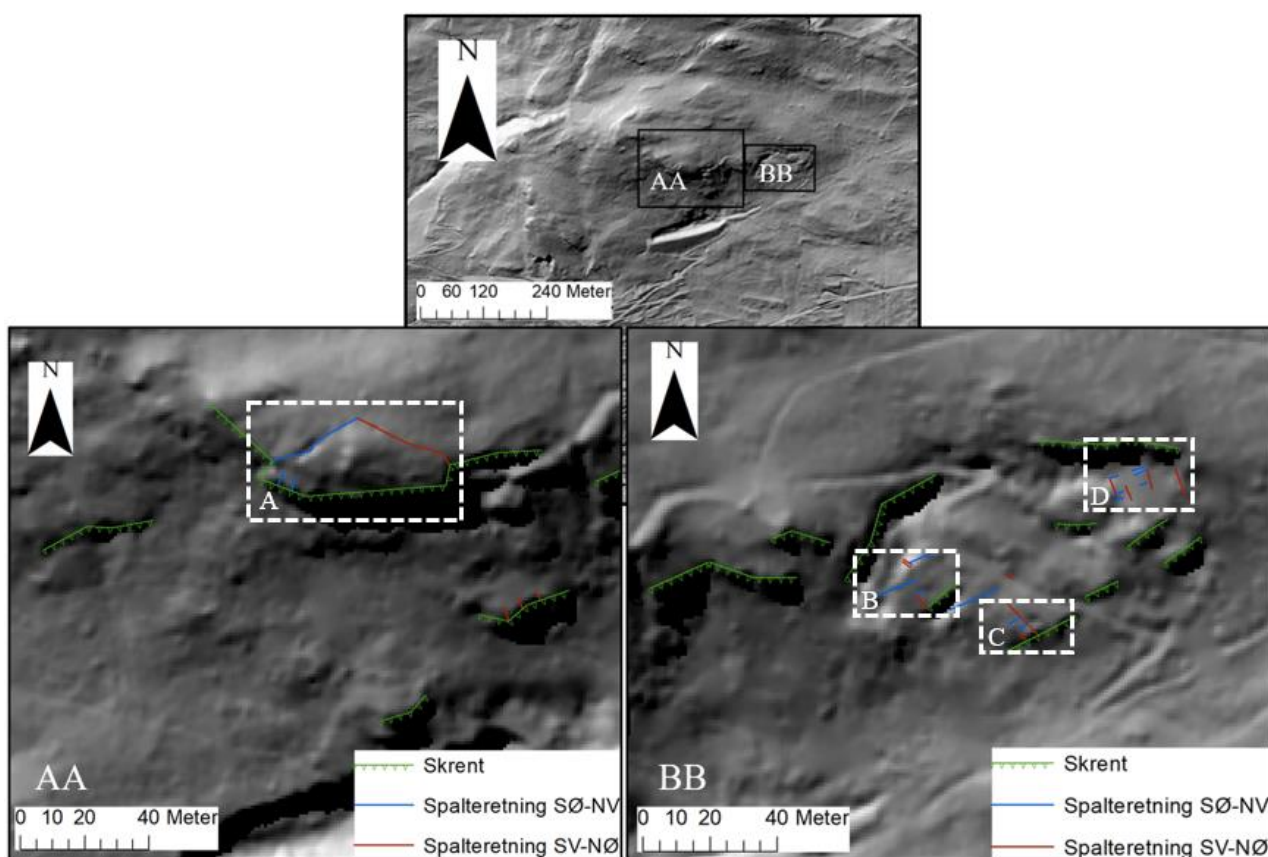
Skrenter har en dominerende VSV-ØNØ strøkretning (figur 30 C). Ved noen av skrentene varierer fallretningen lokalt mellom sør og nord ved overheng. Gjennomsnittlig fallvinkel for skråninger med fall mot sør ble bestemt til 82° basert på 18 målinger og gjennomsnittlig fall for skråninger med fall mot nord ble bestemt til 68° basert på 12 målinger.



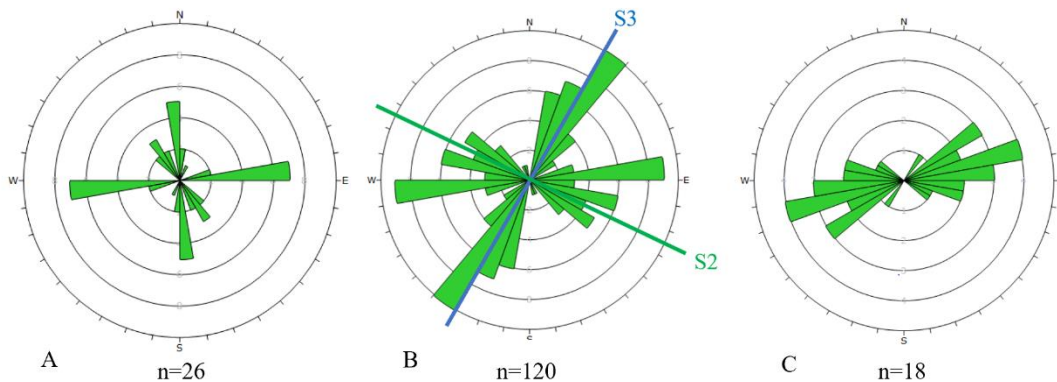
Figur 27: A) Baksprekken til Hallandshammeren markert med stiptet linje. (B, C og D) Kartlagte spalter. Plassering er vist i figur 29.



Figur 28: Bildesamling av observerte skrenter i felt. (A) Skrent sør-øst for Hallandshammeren. (B) Skrent øst for Hallandshammeren. (C) Skrent sør for Hallandshammeren.



Figur 29: Figuren viser skrenter og spalter som ble observert i felt og ved fjernanalyse.



Figur 30: Rosediagram for strukturer kartlagt både i felt og med fjernanalyse. (A) Spalter (figur 27). (B) Sprekkeflater med inntegnet gjennomsnittlig strøk for sprekkesett S2 og S3 og (C) skrenter.

5.1.3 Avstandsmålinger

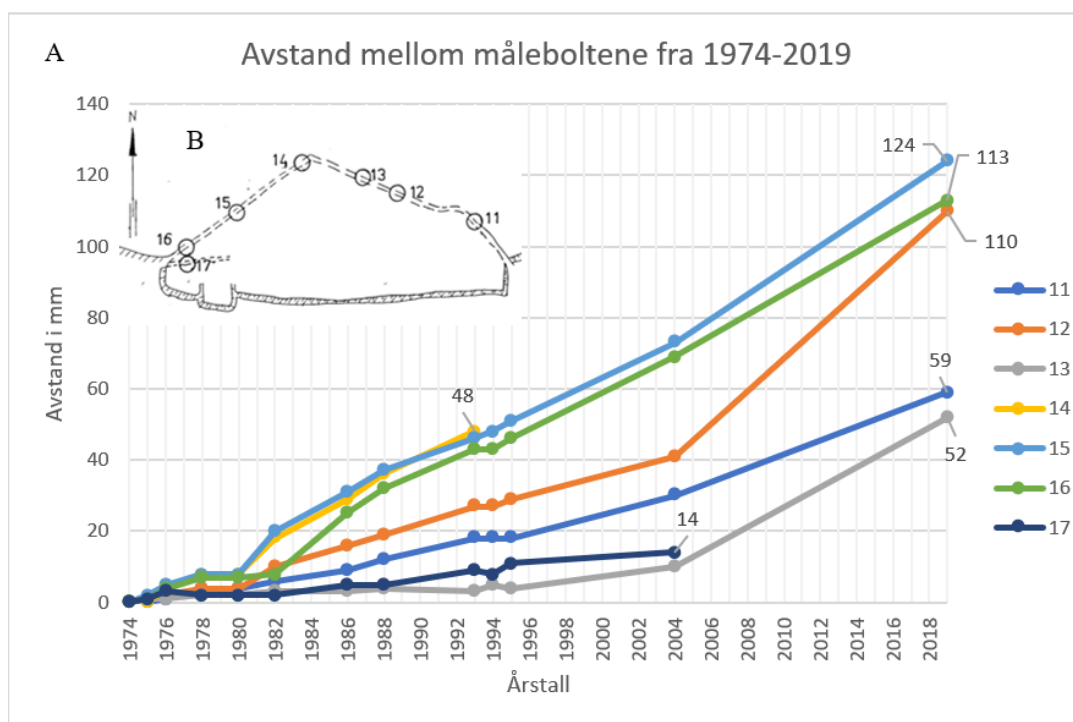
Det ble det gjort boltemålinger under feltarbeidet på boltepar: 11, 12, 13, 15 og 16 (figur 9). Boltepar 10, 18 og 19 er borte ettersom blokken de var festet til ble fjernet i 2013 (Leikanger kommune, 2013). En av boltene i boltepar nr. 14 var borte og målinger på boltepar nr. 17 var umuliggjort av en knaus som var kommet i veien mellom måleboltene (figur 31). Tidligere målinger og målingene som ble gjort under feltarbeidet er vist i tabell 13 og figur 32. Figuren viser tydelig knekkpunkter der hastigheten har akselerert. Hastigheten fra 1974-1980 var på 1,3 mm/år, mens hastigheten fra 1980-1982 var på 5-6 mm/år i midtre og vestre del av baksprekken til Hallandshammeren (bolt 14-15). Den andre økningen er fra 2004-2019, med en gjennomsnittlig økt bevegelse ved hammerens østre baksprekk (bolt 12-13) som er målt til 1,8 mm/år (bolt 13) og 3,6 mm/år (bolt 12), mot det tidligere gjennomsnittet på 0,3 mm/år og 1,4 mm/år fra 1974–2004.



Figur 31: Direkte avstandsmåling ved bolt 17 er umuliggjort av en knaus som er kommet mellom siktelinjen mellom måleboltene.

Tabell 13: Tabellen viser den målte avstanden mellom hvert boltepar i mm fra 1974 frem til 2019.

Bolt/Års tall	Bolt 11	Bolt 12	Bolt 13	Bolt 14	Bolt 15	Bolt 16	Bolt 17
1974	510	1014	781	1052	1111	996	763
1975	510	1015	782	1052	1113	997	764
1976	511	1016	782	1056	1116	1000	766
1978	514	1018	783	1060	1119	1003	765
1980	514	1018	783	1060	1119	1003	765
1982	516	1024	784	1070	1131	1004	765
1986	519	1030	784	1081	1142	1021	768
1988	522	1033	785	1088	1148	1028	768
1993	528	1041	784	1100	1157	1039	772
1994	528	1041	786	-	1159	1039	771
1995	528	1043	785	-	1162	1042	774
2004	540	1055	791	-	1184	1065	777
2019	554	1109	818	-	1220	1094	-

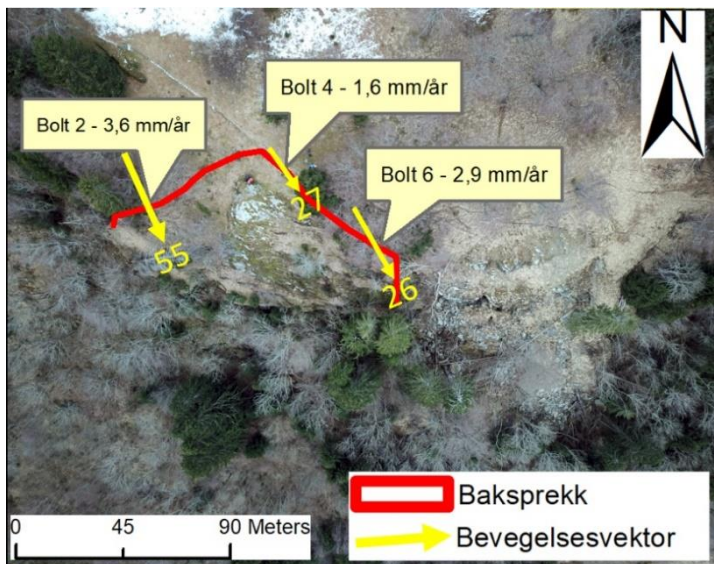


Figur 32: (A) Målt bolteavstand i mm fra 1974 frem til 2019. Bolteavstanden er satt til 0 i 1974. (B) Oversikt over bolteparenes plassering.

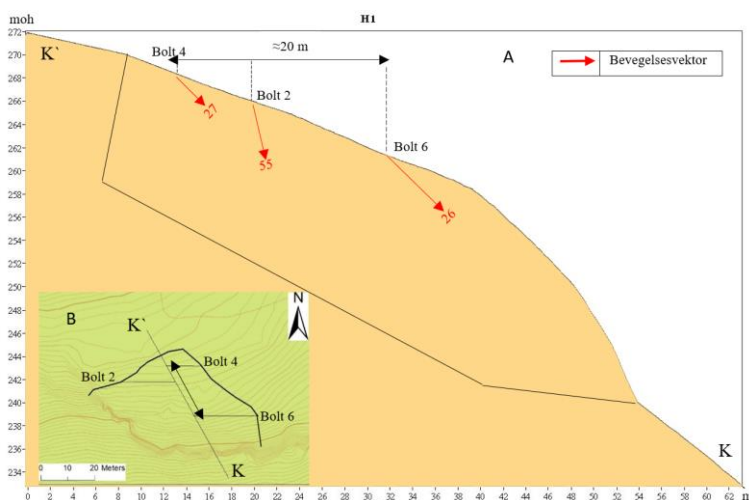
Bolteparene fra 1974 har varierende utgangsløkasjoner. Dette medfører at bolteparene ikke nødvendigvis står parallelt med bevegelsesvektoren og at målt avstand mellom boltene ikke nødvendigvis gir den reelle bevegelseslengden. Bolteparene fra 1970 sto parallelt mot hverandre med utgangsavstand 1 mm da de ble montert (Kjærnsli et al., 1972) (figur 8). Dette betyr at avstanden og orienteringen (tabell 14) vil illustrere den reelle bevegelsesvektoren (figur 33-34). Boltepar 2, 4 og 6 var de eneste bolteparene som ennå var intakte.

Tabell 14: Målinger av 1970 bolteparene.

Boltepar	Fallretning (2019)	Fallvinkel (2019)	Avstand (cm)
6 (11)	152°	26°	14,4
4 (13)	142°	27°	8,0
2 (15)	154°	55°	18,0



Figur 33: Grafisk fremstilling av tabell 14. Bevegelsen til Hallandshammeren er fremstilt med piler som tilsvare retningen og størrelsen på bevegelsen fra 1970 til 2019. Fallvinkelen er oppgitt i gul skrift foran pilene.

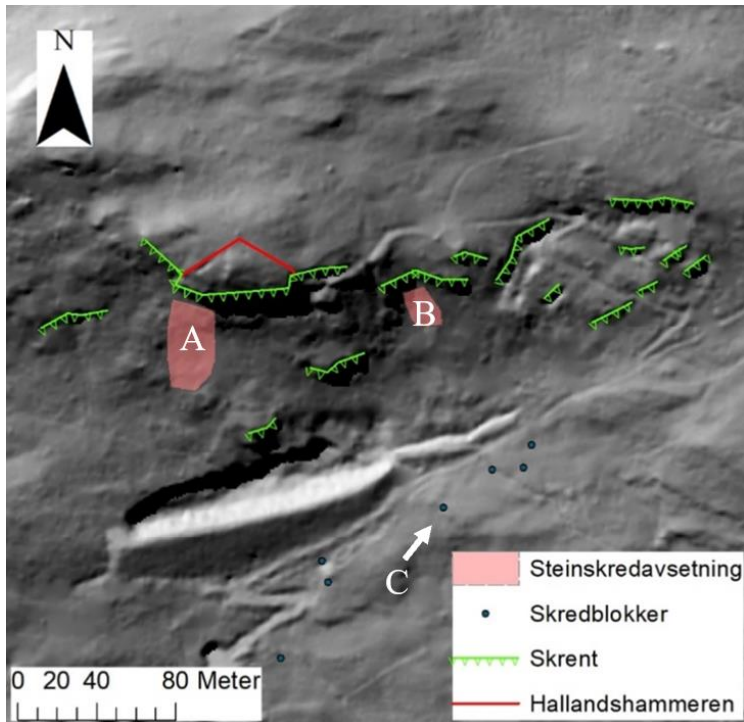


Figur 34: (A) Grafisk fremstilling av tabell 14 i profil som illustrerer variasjon i målt fall. (B) Profilet er tegnet parallelt med bevegelsesretning på $\approx 150^\circ$.

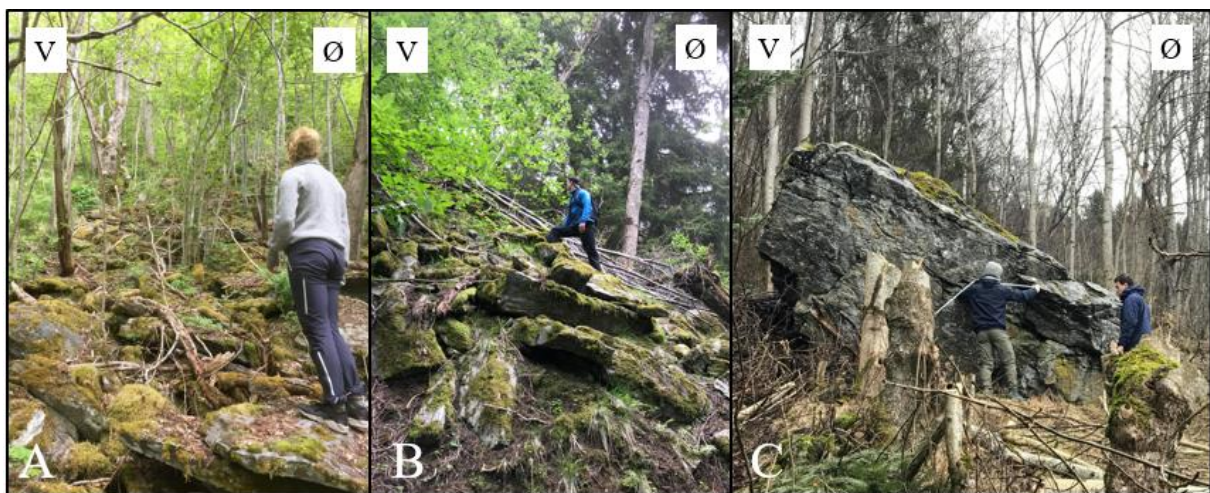
5.1.4 Skredavsetninger

Under feltarbeid ble to steinskredavsetninger kartlagt (figur 35). Steinskredavsetning A dekker et areal på 920 m². Skredavsetning B dekker et areal på 270 m². Avsetningene fremstår usorterte med blokkstørrelser opptil 2 m³. Større blokker forekommer spredt. Begge steinskredavsetningene er gjennomgående dekket av mose og med trær som vokser mellom blokkene (figur 36 A, B).

Enkle skredblokker under skredvollen ble også kartlagt (figur 35 C). Disse blokkene fremstår også som gamle og er tildekket med mose og er omsluttet av trær (figur 36 C).



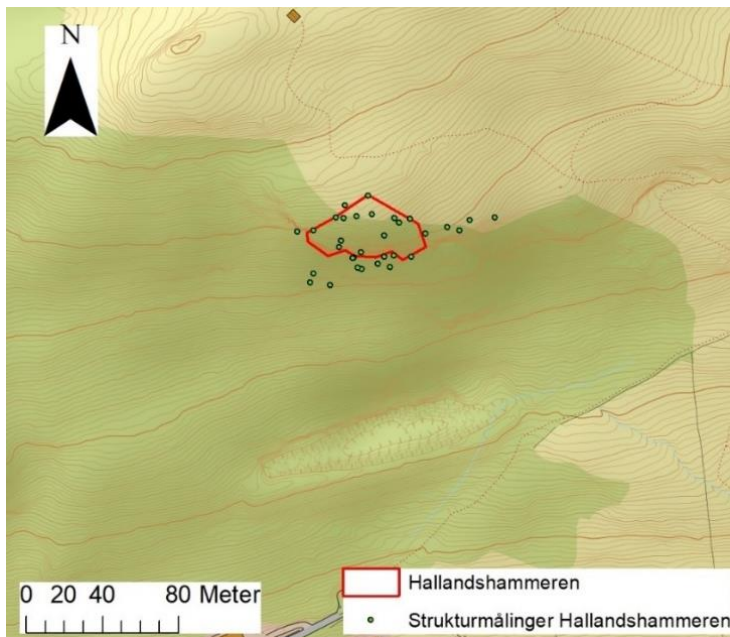
Figur 35: Oversiktskart over kartlagte skredavsetninger..



Figur 36: (A) Skredavsetning under vestre del av Hallandshammeren (figur 35 A). (B) Skredavsetning under skrent øst for Hallandshammeren (figur 35 B). (C) Avsatt blokk nedenfor skredvollen.

5.2 Kinematisk analyse

Basert på orienteringen til sprekkeplan som er kartlagt innenfor området rundt Hallandshammeren ble det utført en kinematisk analyse. Hensikten med analysen er å gi en indikasjon på stabilitetsforholdet med hensyn til utgliding av blokk H1, blokkutfall fra hammeren og vurdere hvilke utglidningsformer som er mest aktuelle. Figur 37 viser punkter der det er tatt strukturmålinger på sprekkeplan som er inkludert i den kinematiske analysen. Her er det valgt å konsentrere analysen rundt målinger gjort rundt Hallandshammeren for å sikre at de sprekkeflatene som ble inkludert, best mulig representerte sprekkegeometrien rundt hammeren.



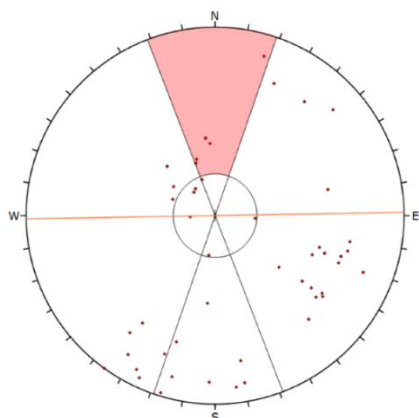
Figur 37: Punkter der det er foretatt strukturmålinger, som er inkludert i den kinematiske analysen. Hallandshammeren er markert med rødt omriss.

Inndata

I analysen ble våt indre friksjonsvinkel satt til 25° basert på Grimstad (1996) og lateral grense ble satt til 20° . Orienteringen til fjellskråningen ble bestemt basert på et snitt av målinger gjort ved fronten av hammeren. Denne ble bestemt til $359/77$. I simuleringen ble skråningens orientering derfor satt til $179/90$, for å korrigere for overhenget.

Utdata

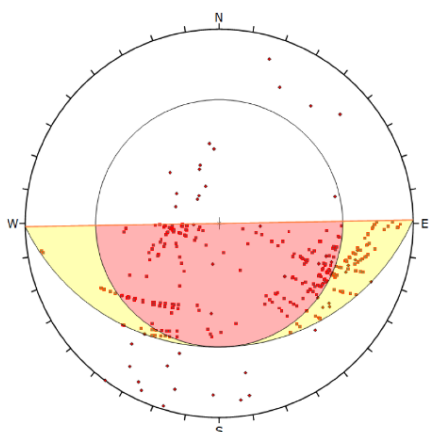
Kinematisk analyse for planutgliding er vist i figur 38. 10,42% av de kartlagte sprekkeplanene havner innenfor det kritiske området.



Symbol	Feature		
•	Pole Vectors		
Kinematic Analysis Planar Sliding			
Slope Dip	90		
Slope Dip Direction	179		
Friction Angle	25°		
Lateral Limits	20°		
	Critical	Total	%
Planar Sliding (All)	5	48	10.42%
Plot Mode	Pole Vectors		
Vector Count	48 (48 Entries)		
Hemisphere	Lower		
Projection	Equal Angle		

Figur 38: Kinematisk analyse for planutglidning. 5 av 48 kartlagte sprekkeplan er markert som kritiske.

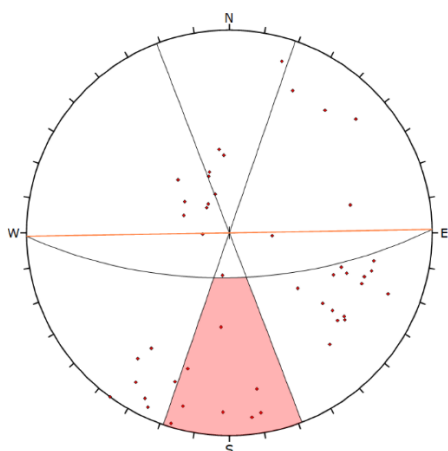
Kinematisk analyse for kileutglidning er vist i figur 39. 25,89 % av kryssningene mellom sprekkeplanene er markert som kritiske.



Symbol	Feature		
•	Pole Vectors		
•	Critical Intersection		
Kinematic Analysis Wedge Sliding			
Slope Dip	90		
Slope Dip Direction	179		
Friction Angle	25°		
	Critical	Total	%
Wedge Sliding	292	1128	25.89%
Plot Mode	Pole Vectors		
Vector Count	48 (48 Entries)		
Intersection Mode	Grid Data Planes		
Intersections Count	1128		
Hemisphere	Lower		
Projection	Equal Angle		

Figur 39: Kinematisk analyse for kileutglidning. 292 av 1128 kryssninger mellom kartlagte sprekkeplan er markert som kritiske.

Kinematisk analyse for utvelting er vist i figur 40. 16,67 % av kartlagte sprekkeplanene er markert som kritiske.



Symbol	Feature		
•	Pole Vectors		
Kinematic Analysis Flexural Toppling			
Slope Dip	90		
Slope Dip Direction	179		
Friction Angle	25°		
Lateral Limits	20°		
	Critical	Total	%
Flexural Toppling (All)	8	48	16.67%
Plot Mode	Pole Vectors		
Vector Count	48 (48 Entries)		
Hemisphere	Lower		
Projection	Equal Angle		

Figur 40: Kinematisk analyse for utvelting. 8 av 48 kartlagte sprekkeplan er markert som kritiske.

5.3 Skredmodellering

Dimensjonering av blokkstørrelser er basert på observasjoner i felt (tabell 15). De fastsatte blokkstørrelsene er brukt til skredmodellering i RocFall og Rockyfor3D.

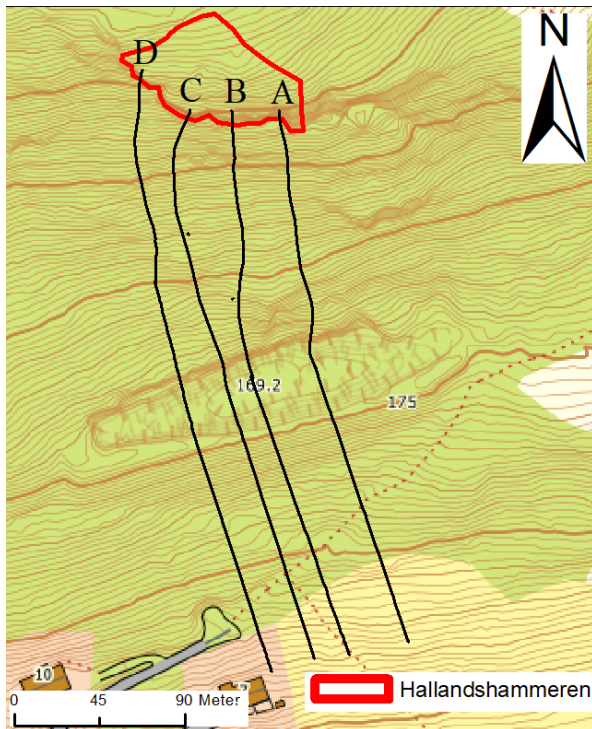
Tabell 15: Blokkstørrelser basert på feltmålinger.

Mål [m]	Inndeling i blokkstørrelse [m ³]	Kategorier etter blokkstørrelse [m ³], brukt i steinsprangsimuleringer.
1,8x2,6x4,7	21,90	22
1,8x2,6x4,7	21,90	(21,9+17,47+17,13+12,5)/4 =17,25 ≈ <u>17</u>
2,6x1,2x5,6	17,47	
1,6x2,55x4,2	17,13	
1,6x1,7x4,6	12,50	
1,7x1,8x3,4	10,40	(10,4+7,59+6,83+3,13)/4 =6,98 ≈ <u>7</u>
1,5x2,2x2,3	7,59	
2,1x1,05x3,1	6,83	
1,1x1,5x1,9	3,13	
1,5x0,6x2,2	1,98	(1,98+1,38+1,07+0,38+0,14)/5 =0,99 ≈ <u>1</u>
1,1x1,8x0,7	1,38	
1,45x0,97x0,76	1,07	
1,32x0,7x0,42	0,38	
0,6x0,3x0,8	0,14	

5.3.1 Steinsprangsimulering

5.3.1.1 RocFall

I RocFall ble det simulert steinsprang gjennom fire forskjellige profiler (figur 41). De valgte profilene ble bestemt for å gi best mulig dekning over Hallandshammeren. Utløsningsområdet ble definert basert på feltobservasjoner og topografisk kart. I profilene fremsto kildeområdet slakere enn det som ble målt og observert i felt. Dette skyldes at overheng ikke er fremstilt i terrengmodellen på grunn av terrenginterpolering. Profilene som er brukt er derfor manipulert for å få utløsningsområdet mest mulig realistisk.






Figur 41: Oversiktskart over profilene som er brukt i RocFall.

Inndata





Inndata i RocFall er basert på feltobservasjoner. Til de fire terrengprofilene ble det valgt tre forskjellige materialtyper. Parameterverdiene ble bestemt ut fra «rock density table» (Rocscience, 2019a), «dynamic friction and rolling friction coefficients table» (Rocscience, 2019b) og «coefficient of restitution table» (Rocscience, 2019c) (tabell 16). Parameterverdier for materialtype er like for alle profilene.

Tabell 16: Oversikt over parameterverdiene for materialtypene som er brukt i RocFall.

Material Name	Color	Normal Restitution	Tangential Restitution	Dynamic Friction	Rolling Friction	Effective Forest Height (m)	Forest Drag (kg/s)
Bedrock or boulders with little soil or vegetation		Normal Mean: 0.35 Std Dev: 0.04 Rel. Min: 0.12 Rel. Max: 0.12	Normal Mean: 0.85 Std Dev: 0.04 Rel. Min: 0.12 Rel. Max: 0.12	Normal Mean: 0.6 Std Dev: 0.04 Rel. Min: 0.12 Rel. Max: 0.12	Normal Mean: 0.4 Std Dev: 0.02 Rel. Min: 0.06 Rel. Max: 0.06		
Talus with some vegetation		Normal Mean: 0.3 Std Dev: 0.04 Rel. Min: 0.12 Rel. Max: 0.12	Normal Mean: 0.8 Std Dev: 0.04 Rel. Min: 0.12 Rel. Max: 0.12	Normal Mean: 0.55 Std Dev: 0.04 Rel. Min: 0.12 Rel. Max: 0.12	Normal Mean: 0.12 Std Dev: 0.04 Rel. Min: 0.12 Rel. Max: 0.12		
Vegetated soil slope		0.35	0.85	0.6	0.9	10	350

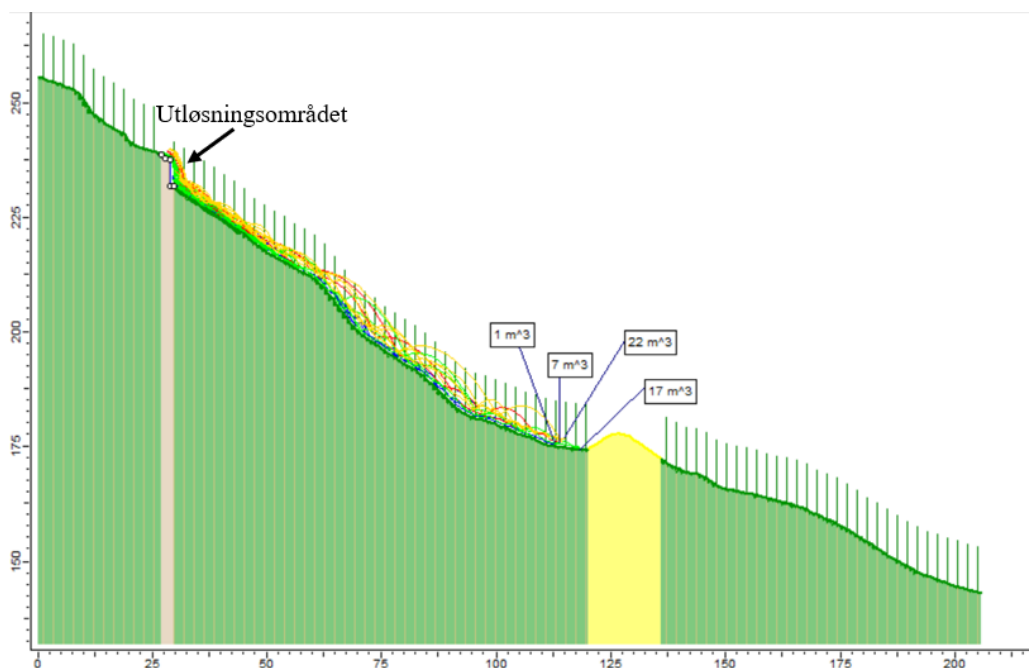
Blokkform ble satt til rektangulær og bergartstettheten ble satt til 2812 kg/m^3 (tabell 17). Antall simuleringer per profil ble satt til 50 og med utgangshastighet 1,5 m/s.

Tabell 17: Oversiktstabell over blokkstørrelser brukt i RocFall.

Rock Name	Color	Mass (kg)	Density (kg/m ³)	Shapes
1m ³		2812	2812	Polygon Rectangle (5:6), Polygon Rectangle (2:3), Polygon Rectangle (1:2)
7m ³		19684	2812	Polygon Rectangle (5:6), Polygon Rectangle (2:3), Polygon Rectangle (1:2)
17m ³		47804	2812	Polygon Rectangle (5:6), Polygon Rectangle (2:3), Polygon Rectangle (1:2)
22m ³		61864	2812	Polygon Rectangle (5:6), Polygon Rectangle (2:3), Polygon Rectangle (1:2)

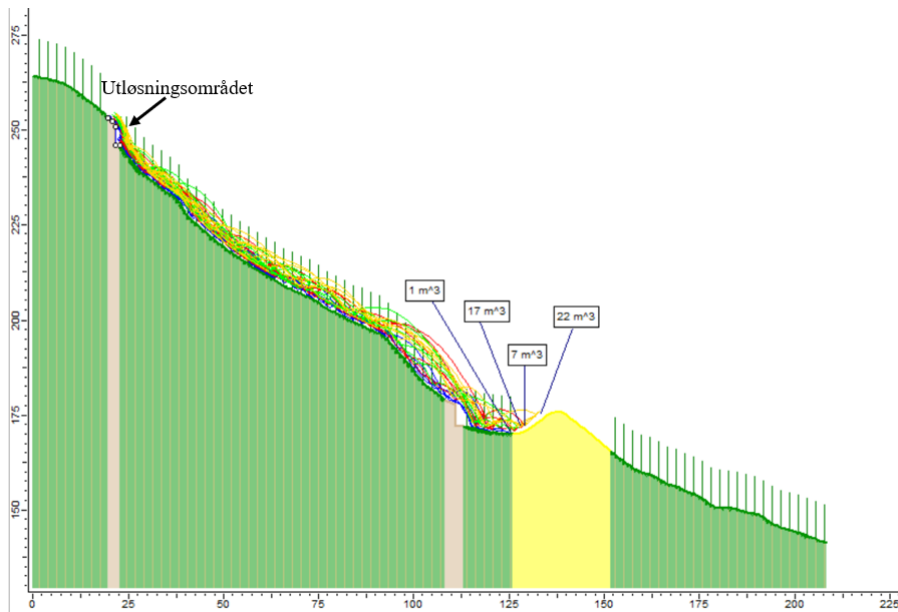
Utdata

Maksimalt utløpt til de fire blokkstørrelsene i profil A har en differanse på under 10 m. Blokkstørrelse 1 m³ har kortest utløp og 17 m³ går lengst i profilet øst på hammeren. Alle simuleringene stopper før skredvollen (figur 42).



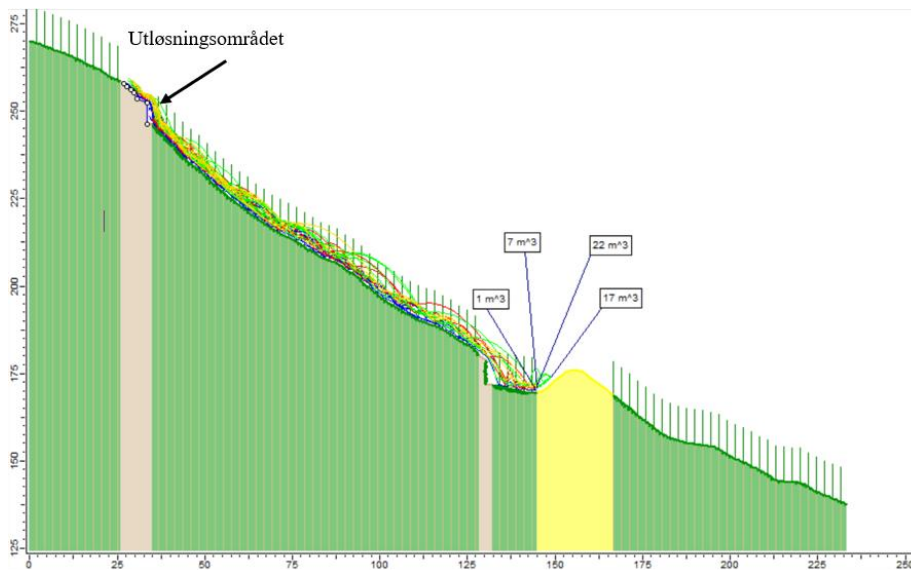
Figur 42: Modellering i RocFall i profil A. Utløsningsområdet og maksimal utløpslengde for hver blokkstørrelse er markert i profilet.

Det maksimale utløpet til alle blokkstørrelsene i profil B når helt ned til foten av skredvollen. 1 m³ blokkstørrelsen går kortest og 17 m³ blokkstørrelse går lengst. Blokkstørrelse 17 m³ går 8 m lengre enn 1 m³ (figur 43).



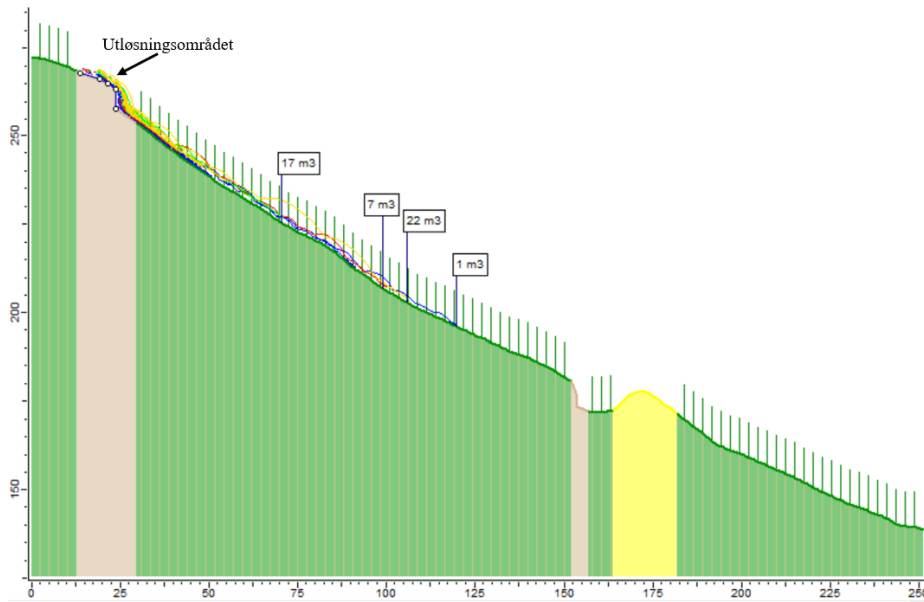
Figur 43: Modellering i RocFall i profil B. Utløsningsområdet og maksimal utløpslengde for hver blokkstørrelse er markert i profilet.

Maksimalt utløp for alle blokkstørrelsene i profil C rekker ned til fanggropen. Blokkstørrelsen 1 m³ har kortest utløpsdistanse. Differansen fra kortest til lengste utløp er på 5 m, med blokkstørrelse 17 m³ som lengste (figur 44).



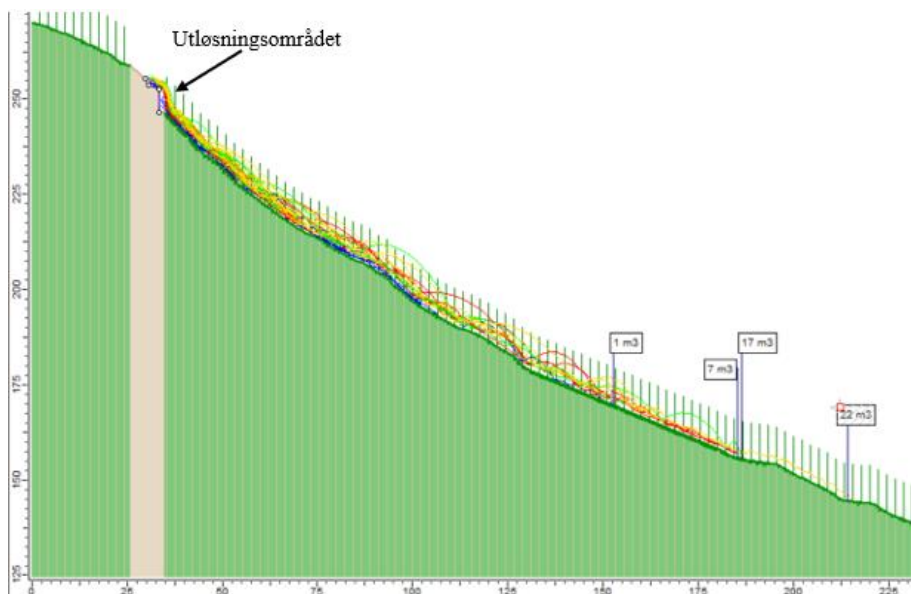
Figur 44: Modellering i RocFall i profil C. Utløsningsområdet og maksimal utløpslengde for hver blokkstørrelse er markert i profilet.

Utløpsdistansen i profil D er kortere enn profil A-C. Blokkstørrelse 1 m³ har lengst utløpslengde og stopper 100 m fra kildeområdet. Blokkstørrelse 17 m³ har det korteste utløpet og når 50 m ut fra utløsningsområdet (figur 45).



Figur 45: Modellering i RocFall i profil D. Utøsningsområdet og maksimal utløpslengde for hver blokkstørrelse er markert i profilet.

Resultatet fra simulering i profil C uten skredvoll viser at utløpsdistansen øker med økt blokkstørrelse. Blokkstørrelse 7 og 17 m³ passerer skredvollens nåværende plassering med 5 m. Blokkstørrelse 22 m³ har lengst utløp og løper 40 m forbi skredvollen (figur 46).



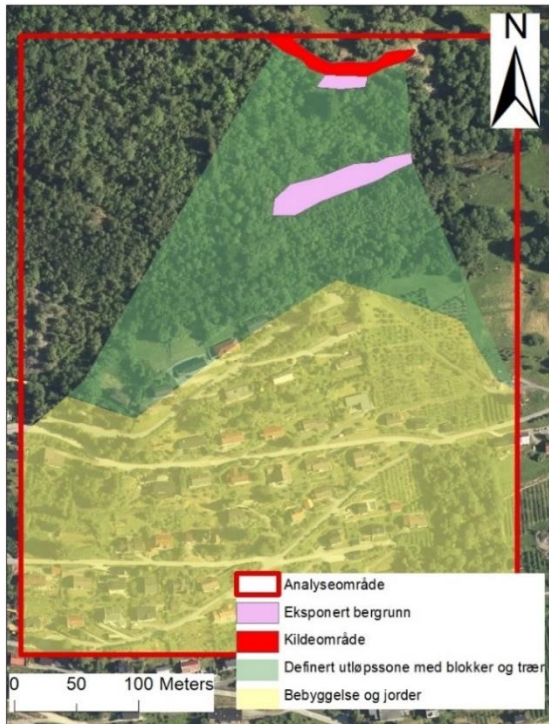
Figur 46: Modellering i RocFall i profil C, uten skredvoll. Utøsningsområdet og maksimal utløpslengde for hver blokkstørrelse er markert i profilet.

5.3.1.2 Rockyfor3D

Inndata

Kildeområdet ble definert basert på feltobservasjoner og avgrensning i terrenngskyggekart.

Ruhetsverdier og jordtypene til underlaget i utløpsområdet er basert på feltobservasjoner (figur 47, 48, tabell 18).



Figur 47: Inndeling av kilde og utløpspolygon til Rockyfor3D.



Figur 48: Terrenget under Hallandsberget som er brukt som referanse for ruhetsverdier og jordtype. Berggrunn med tynt jorddekke (<100cm).

Tabell 18: Overflateverdier for simulering i Rockyfor3D.

Polygon Parametere	Kildeområde	Ekspontert berggrunn	Blokker og trær	Jorder og bebyggelse
Rg10	0	0,1	0,1	0,1
Rg20	0	0,3	0,2	0,3
Rg70	0,05	0,5	0,4	0,5
Jordtype	6 (fast fjell)	6 (fast fjell)	2 (berggrunn med tynt jorddekke >100cm)	2 (berggrunn med tynt jorddekke >100cm)

Blokkform ble satt til rektangulær (tabell 19) og det ble bestemt å legge inn en variasjon i blokkstørrelse på 10%. Det ble også valgt å simulere med blokkstørrelse 300 m³, som tilsvarer størrelsen til blokk H3. Det ble simulert med blokkdimensjoner oppgitt i Grimstad (1996) og med symmetriske dimensjoner. For alle simuleringer, med unntak av blokkdimensjon på 300 m³ ble fallhøyden bestemt til 3 m på bakgrunn av at hammeren har en høyde på 4-7 m i fronten. For blokkdimensjon 300 m³ ble fallhøyden satt til 0 m. Dette ble gjort på bakgrunn av at de avgrensede blokkene vest på Hallandshammeren vil gli ut fra foten av hammeren og vil dermed ikke ha noe fall.

Tabell 19: Blokkdimensjoner for simulering i Rockyfor3D.

Simulering	Blokkdimensjoner [m]: D1, D2, D3	Volum [m ³]	Blokkform	Fallhøyde [m]
1	1	1	1 (rektangulær)	3
	1			
	1			
2	1,9	7	1 (rektangulær)	3
	1,9			
	1,9			
3	2,6	17	1 (rektangulær)	3
	2,6			
	2,6			
4	2,8	22	1 (rektangulær)	3
	2,8			
	2,8			
5	6,7	300	1 (rektangulær)	0
	6,7			
	6,7			
6	12	300	1 (rektangulær)	0
	5			
	5			

Det ble gjort simulering med og uten skog. Konsentrasjonen av trær og trærnes tykkelse varierer i utløpsområdet. Det var nyttig å simulere med og uten skog, for å vurdere skogparameterens innvirkning på resultatet. Verdiene er basert på feltarbeid (tabell 20).

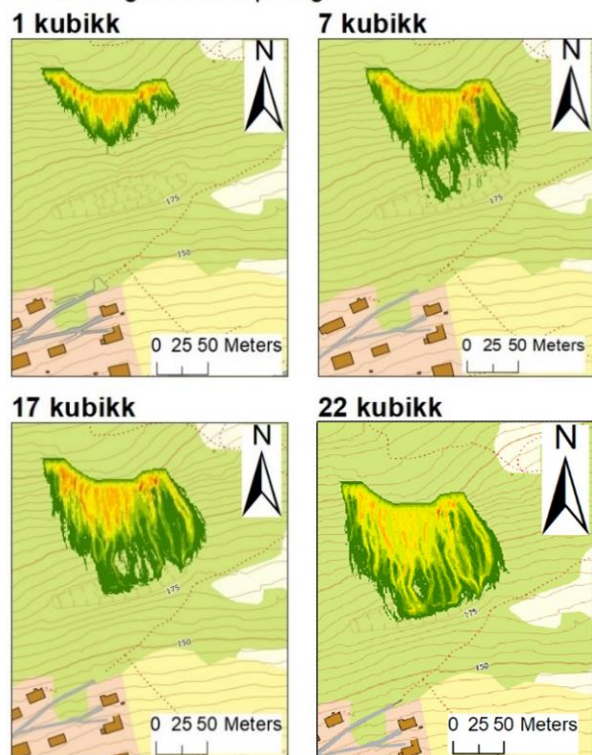
Tabell 20: Verdier for simulering med skog.

Raster:	Verdier:
Antall trær	1732
Trærnes diameter ved brysthøyde (gjennomsnitt)	29 cm
Trærnes diameter ved brysthøyde (standardavvik)	20 cm
Prosent av areal som er skog	60%

Utdata

Blokkstørrelse 1m^3 avsettes der terrenget under hammeren flater ut til rundt 20° , omlag 50-70 m fra utløpsområde. Blokkstørrelse 7m^3 har et gjennomsnittlig utløp på 50-70 m fra skredvollen, med maksimalt utløp helt ned til vollen. Flere av de simulerte skredbanene for blokkstørrelse 17 og 22m^3 når helt ned til skredvollen. Effekten av skog øker med økt blokkstørrelse (figur 49-50). Ingen simulerte blokkstørrelser passerer over skredvollen.

Simulering av steinsprang

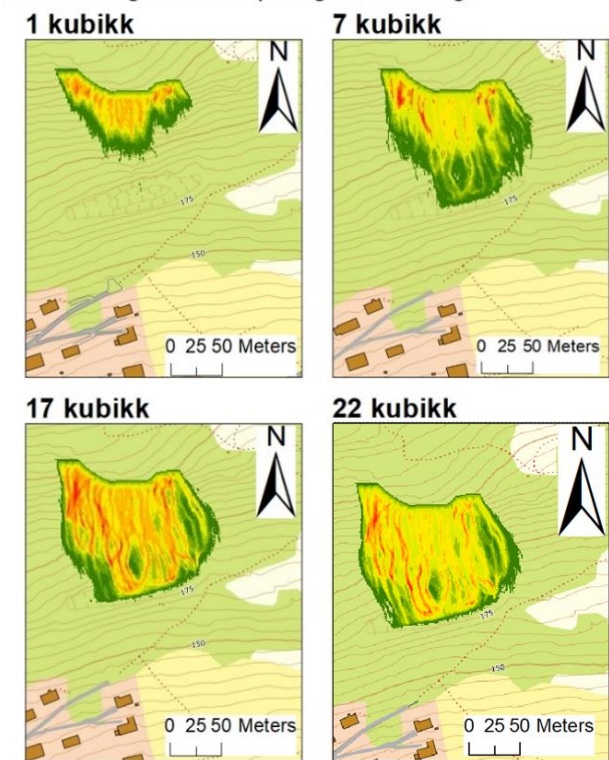


Antall passeringer



Figur 50: Simulering med ordinære blokkstørrelser. Virkning av skog er tatt med i simuleringen.

Simulering av steinsprang. Uten skog.

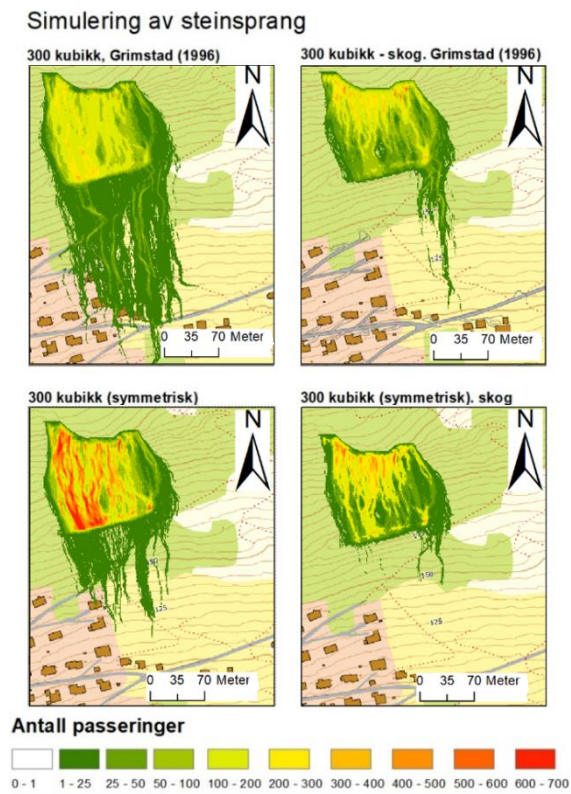


Antall passeringer



Figur 49: Simulering med ordinære blokkstørrelser. Virkning av skog er tatt vekk i denne simuleringen.

For simulering med blokkstørrelse 300 m^3 (figur 51), skog og symmetriske dimensjoner går noen få blokker over på den østlige delen av skredvollen. Lengste simulerte skredløp passerer vollen med 74 m i øst. Uten skog øker antall passeringer til 25-50 og utløpslengden øker til 129 m forbi skredvollen. 1-25 av de simulerte skredbanene når bebyggelsen i vest, under skredvollen. Med dimensjonering etter Grimstad (1996) og skog går <50 passeringer over skredvollen. Lengste blokk passerer med 188 m. Simulering uten skog viser en økning i antall passeringer og det maksimale utløpet går 270 m forbi skredvollen. Flere av de lengste utløpene når bebyggelsen vest og øst under skredvollen.



Figur 51: Simulering med blokkstørrelse 300 m^3 . Uten og med virkning av skog.

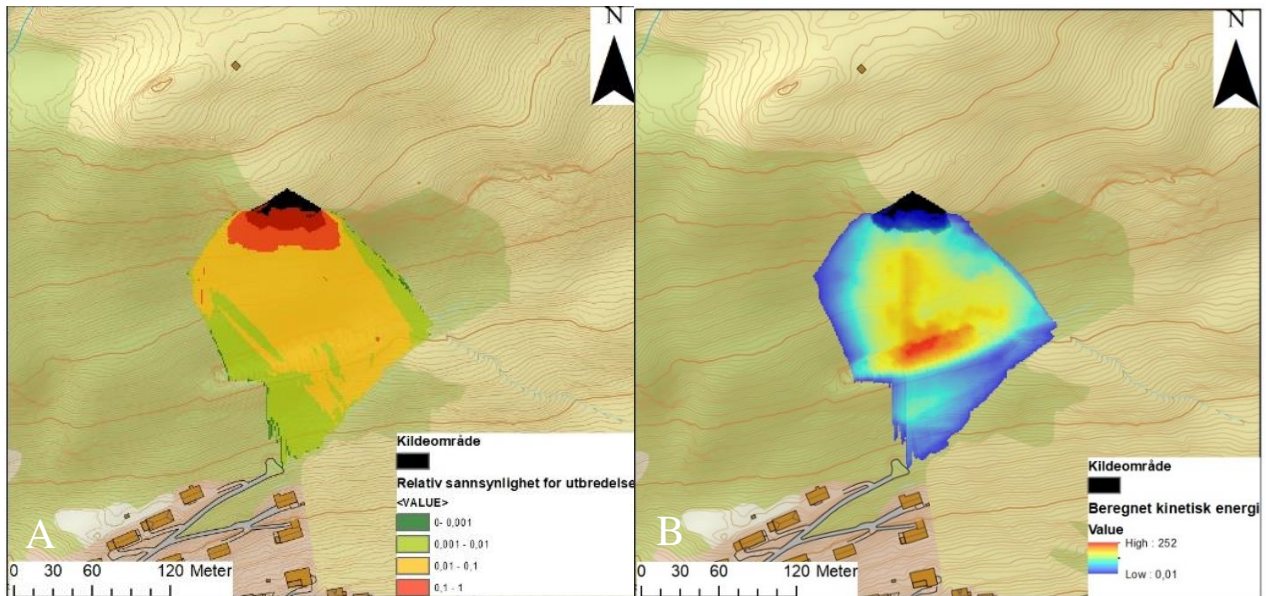
5.3.2 Steinskredsimulering

Inndata

Parameterverdiene er valgt etter Oppikofer et al. (2016). Eksponent i Holmgrens strømningsalgoritme $dh=10$, eksponentverdi $exp=1$, hukommelseffekt $n=25$ og åpningsvinkel $\theta=120$. For skred under $250\,000 \text{ m}^3$ blir det anbefalt å bruke en fast siktevinkel på 31° . Det ble gjort simuleringer med celledørrelse 1 m og 5 m, for å se om interpolering av mindre terrenglementer med større celledørrelse ville påvirke utløpslengden.

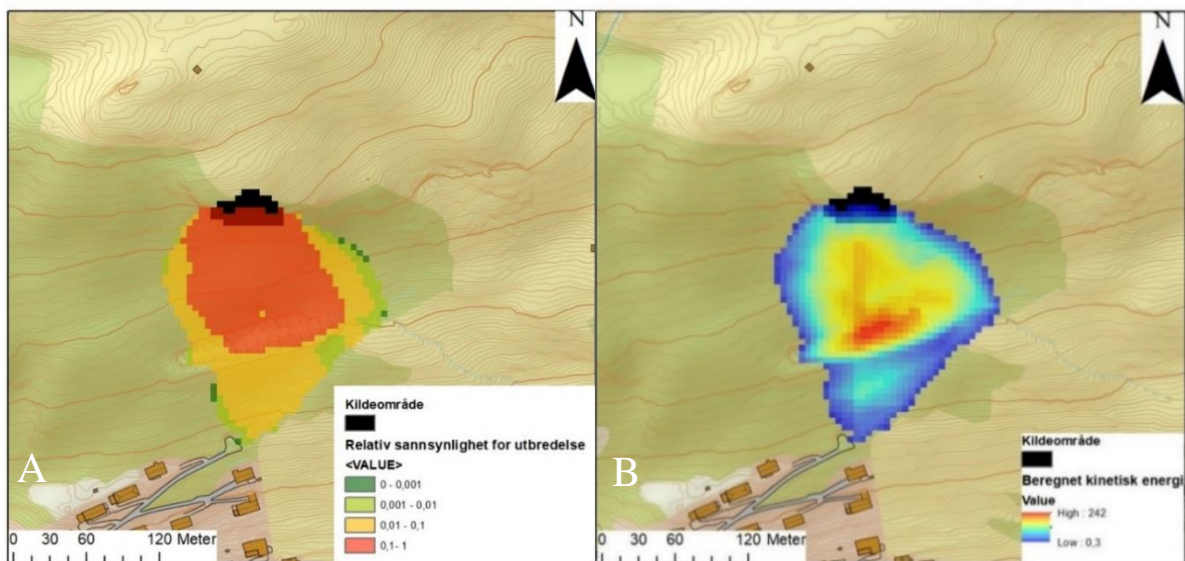
Utdata

Simuleringen med cellestørrelse 1 m beregner det maksimale utløpet til 70 m forbi skredvollen i øst. Det beregnede utløpet med relativ sannsynlighet mellom 0,1 og 1 har en maksimal utløpslengde på om lag 15 m. Relativ sannsynlighet mellom 0,01 og 0,1 er beregnet til å nå 50 m over skredvollen i øst. Med relativ sannsynlighet mellom 0 og 0,001 når skredet om lag 70 m over skredvollen i vest. Resultatet viser at skredets kinetiske energi etter skredvollen avtar (figur 52).



Figur 52: Maksimalt beregnet utløp for steinskred simulert i Flow-R, med cellestørrelse 1 m. (A) Utløpsceller er tildelt celleverdier tilsvarende den relative sannsynligheten for utbredelse. (B) Den maksimale beregnede kinetiske energien for et skred som beveger seg gjennom den gitte cellen.

Den maksimale utløpslengden til modelleringene med cellestørrelse 1 og 5 m er lik. Den laterale utbredelsen er om lag 20 m bredere mot øst i modellen med 5 m cellestørrelse. Figuren viser at simulering med cellestørrelse 5 m beregner utløpet med sannsynlighet 0,1 - 1 betydelig lengre enn simulering med cellestørrelse 1 m. Med cellestørrelse 5 m går utløpet med sannsynlighet 0,1 - 1 helt ned til skredvollen. Med relativ sannsynlighet mellom 0,01 og 0, 1 når utløpet 70 m sør for vollen i vest. Den maksimale beregnede kinetiske energien med cellestørrelse 1 og 5 m er lik (figur 53).

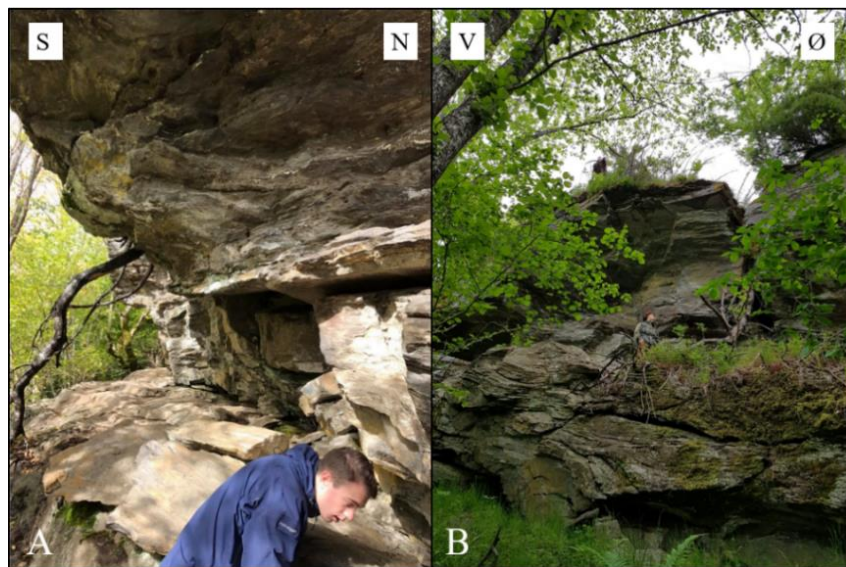


Figur 53: Maksimalt beregnet utløp for steinskred simulert i Flow-R, med cellestørrelse 5 m. (A) Utløpsceller er tildelt cellev verdier tilsvarende den relative sannsynligheten for utbredelse. (B) Den maksimale beregnede kinetiske energien for et skred som beveger seg gjennom den gitte cellen.

5.4 Stabilitetsanalyse

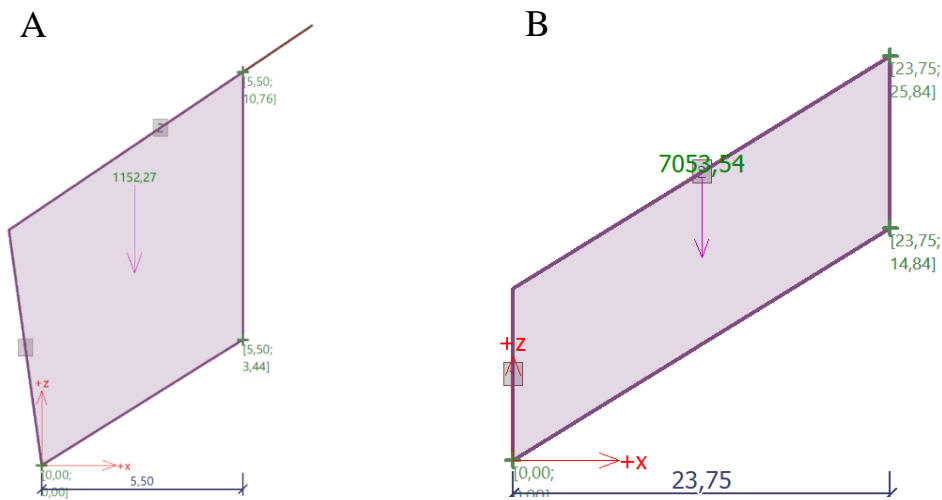
Inndata

Det ble gjort en stabilitetsanalyse for å beregne sikkerhetsfaktor for blokk H1, H2 og H3. Blokk H2 og H3 har gjennomgående like dimensjoner i tverrsnitt og det ble derfor bestemt at en stabilitetsanalyse vil være tilstrekkelig for å bestemme sikkerhetsfaktor for begge blokkene. Dimensjonene for blokk H2 og H3 er basert på observasjoner gjort i felt (figur 54, 55). Høyden til skråningen ble satt til 6,5 m og gradienten ble satt til 82° (overheng). Gradienten til toppflaten ble satt til 34° . Dimensjoneringen av glideplanet er basert på verdier fra Grimstad (1996). Gradienten til glideplanet ble satt til 32° og lengden ble bestemt til 5,5 m (figur 54). Baksprekken ble definert som vertikal.



Figur 54: (A) Overheng under H2. (B) Overheng under H1.

Dimensjoneringen av blokk H1 er basert på mål fra Grimstad (1996). Det ble bestemt å sette en fast vertikal høyde lik 11 m og lengde på glideplanet ble satt til 28 m. Baksprekken ble satt til å være vertikal (figur 55).



Figur 55: Blokkdimensjonene som er brukt i stabilitetsanalysen i Rock Stability. (A) Blokk H2 og H3. (B) Blokk H1.

Bergartsparameterne som ble valgt er også basert på verdier fra Grimstad (1996) (tabell 21).

Tabell 21. Bergartsparametre som ble brukt i stabilitetsanalysen i Rock Stability.

Parameter	Verdi
Enhetsvekt (γ) [kN/m ³]	27
JRC [-]	8,9
JCS [mPa]	40
Residual friksjonsvinkel [°]	28 (tørr tilstand), 25 (våt tilstand)

Utdata

Med tørre forhold ble sikkerhetsfaktoren for blokk H2 og H3 beregnet til $F_{tørr} = 1,88$. Med våte forhold med grunnvannsmodell «hydrostatic pressure, GWT on tension crack» ble $F_s = 1$ med grunnvannspeil i tensjonssprekken lik $h_t = 6$. Denne modellen vil imitere den spenningsfordelingen en vil forvente med fri drenering fra glideplanetens tå. Med grunnvannsmodell «hydrostatic pressure, GWT on tension crack, max» ble $F_s = 1$ med $h_t = 3,7$. Denne modellen vil imitere den spenningsfordelingen en vil forvente uten drenering fra glideplanetens tå.

For blokk H1 ble $F_{tørr} = 1,79$. Våte forhold med grunnvannsmodell «hydrostatic pressure, GWT on tension crack» ble $F_s = 1,03$ med $h_t = 11$ og med grunnvannsmodell «hydrostatic pressure, GWT on tension crack, max» ble $F_s = 1$ med $h_t = 1,6$.

6 Diskusjon

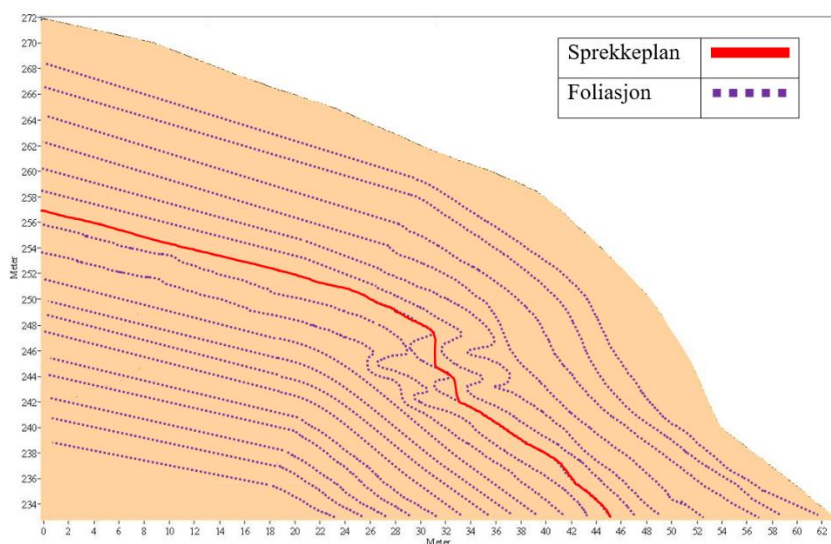
6.1 Faktorer som påvirker ustabiliteten ved Hallandsberget

6.1.1 Berggrunn

I Sogn og Fjordane ligger de fleste ustabile fjellparti i svake bergarter, som fyllitt og forvitret gneis. På Hallandsberget er litologien bestående av kvartsitt og fyllitt (figur 19). Fyllitt har en lav friksjonsvinkel på grunn av sin lave kornstørrelse og høye glimmerinnhold, der de plateformede krystallene står parallelle med foliasjonen (Wyllie og Mah, 2004).

I 72 av de ustabile fjellpartiene studert av Böhme et al. (2011) i Norge har 30 av disse et glideplan parallelt med foliasjonen. På Hallandsberget ble foliasjonen kartlagt til å ha et gjennomsnittlig fall på 28° , som varierer lokalt med foldinger i foliasjonen. Skråningen og foliasjonens orientering er begge sørvendt. Sammenlignet med friksjonsvinkel bestemt av Grimstad (1996) er det mulig å få dannet glideplan langs svakheter i foliasjonen. Dette støttes opp av det kartlagte foliasjonsparallelle sprekkesettet S1 og den foliasjonsparallelle sleppen som er registrert og beskrevet i underkant av Hallandshammeren av Bergh-Christensen (1974).

I tillegg til foliasjon vil også folding kunne påvirke ustabiliteten i en fjellside. Dette skyldes strekking og utflating av mineraler, som vil kunne svekke strukturen rundt foldingen. Svekkingen er med på å styre geometrien og utviklingen til bruddplanet og kan legge til rette for et trinnvis glideplan (figur 56). I feltarbeidet ble det kartlagt en foldegeometri, som vil kunne tillate en slik trinnvis bruddutvikling (figur 24).



Figur 56: Sprekkeplan langs foliasjonen, som er styrt av foldingen.

Denne geometrien legger også til rette for dannelsen av overheng i skråninger (figur 30). Overheng vil kunne forekomme der folding med liknende strøketretning som skråningen er utgående (figur 24 B).

De kartlagte sprekkesettene S1, S2 og S3 (figur 25) og interaksjonen mellom dem legger også til rette for utglidning. Dette kommer frem i den kinematiske analysen. Her ble kileutgliding gjenkjent som den mest aktuelle utglidingsformen med 25,89 % av krysningene mellom sprekkeplanene innenfor den kritiske sonen (figur 39). Planutgliding ble gjenkjent som den minst sannsynlige utglidingsformen med 10,42% av kartlagte sprekkeplanene innenfor den kritiske sonen (figur 38).

Til tross for at planutgliding gjenkjennes som den minst sannsynlige utglidningsformen, er det på bakgrunn av kjerneboring omtalt av Bergh-Christensen (1974) vurdert som det mest sannsynlige glideplanet for bevegelsen som er registrert i Hallandshammeren. Dette kan være et resultat av at slingringsmonnen som er definert, kan utelukke plan med orientering som i realiteten kan fungere som glideplan. En annen mulighet er at analysen baseres på et datasett som er for lite til å representere de faktiske geometriske forholdene tilstrekkelig.

Den kinematiske analysen er basert på målinger av strukturer som forekommer på overflaten og vil dermed ikke nødvendigvis representere storskala variasjoner i geometrien som finnes i en større ustabilitet. Spaltene som er kartlagt sør og øst for Hallandshammeren dekker et område på om lag 28 000 m². Områdets omfang sannsynliggjør at spaltene står i sammenheng med en ekstensjonsbevegelse i større skala. Liknende massebevegelser er tidligere beskrevet i Norge, ved blant annet Stampa i Sogn og Fjordane (Böhme et al., 2012) og i Nordvikmandalen i Troms (Redfield et al., 2018). Stor-skala bevegelser av fjellsider omtales som «deep-seated gravitational slope deformation» (DSGSD) og er beskrevet av blant annet Agliardi et al. (2000) og Crosta et al. (2013). Fenomenet defineres av Crosta et al. (2013), som en stor og saktegående massebevegelse, som kan påvirke hele lengden av en dalside med høyt relieff og som kan være så mye som 200-300 m dyp.

Böhme et al. (2012) foreslår at bakgrunnen for en slik bevegelse kan knyttes til tilbaketrekningen etter siste istid. Glasial undergraving, postglasial tektonisk aktivitet inkluderende «isostatic rebound» og større jordskjelv har generert mange store gravitasjonsdrevne strukturer i Vest-Norge (Blikra et al., 2006 og Saintot et al., 2011). Avlastingen av ismasser under deglasiasjonen kan også ha dannet sprekker parallelt med topografien eller reaktivert eksisterende sprekker (Agliardi et al., 2001). Forhøyet sprekkevannstrykk som følge av rask isavsmelting under deglasiasjonen blir også pekt ut som en mekanisme i dannelsen av gravitasjonsdrevne massebevegelser i Norge (Saintot et al., 2011).

6.1.2 Vann

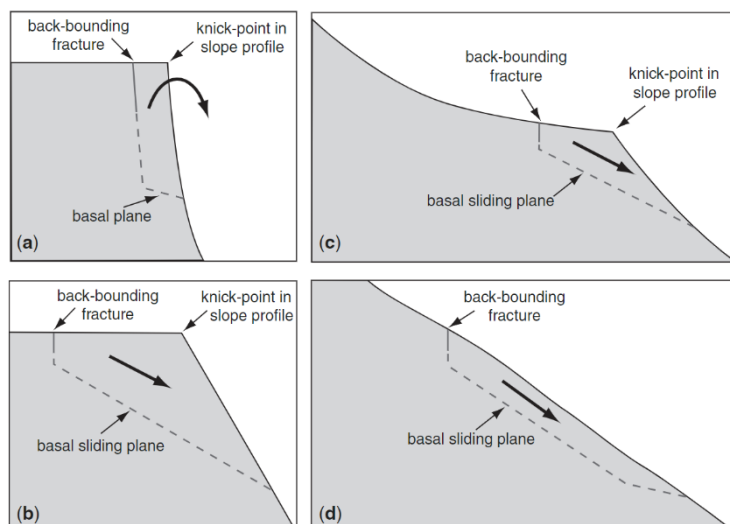
Stabilitetsberegningene presentert i resultat vil kunne være med på å beskrive forholdene som tillater bevegelse i H1, H2 og H3. Beregningene peker mot at blokk H1, H2 og H3 alle er stabile under tørre forhold. Dette medfører at en spesifikk grunnvannshøyde h_t kreves for at sikkerhetsfaktoren skal nå 1. Med fri drenering kreves $h_t=6$ m for blokk H2 og H3. For blokk H1 ble sikkerhetsfaktoren beregnet til 1,03 m med maksimal grunnvannshøyde h_t . Resultatet foreslår at bevegelse i blokk H1 ikke vil forekomme ved drenerte forhold. For udrenerte forhold kreves en betydelig lavere h_t . Med $h_t=3,7$ m for blokk H2 og H3 og $h_t=1,6$ m for blokk H1. Ettersom dreneringsforholdene og normal grunnvannsstand ikke er kjent er det ikke mulig å kommentere hvor mye nedbør eller smeltevann som må tilføres for å få bevegelse. Parameterverdier, blokkdimensjonene og generelle antakelser som tas i sammenheng med en stabilitetsberegning er også med på å påvirke stabilitetsvurderingen.

Som påpekt av Grimstad (1996) vil det kunne oppstå tilfeller ved ekstrem nedbør eller snøsmelting alene eller i sammenheng med frysing i dreneringssprekker, som vil kunne gjøre at bevegelsen går raskere enn vanlig. Her bemerkes det også at større bevegelse vil gi større sprekkeåpning på glideplanet. Større sprekkeåpning gir lave vanntrykk og vil dermed ha en stabiliserende effekt.

6.2 Geometriske forhold i ustabiliteten Hallandsberget

I feltarbeidet ble det gjenkjent tre dominerende sprekkesett. Sprekkesett S2 har strøk på NV-SØ og S3 har strøk på NØ-SV med bratt gradient (figur 25, tabell 12). Orienteringene opptrer i baksprekken til blokk H1 og øst for Hallandshammeren i de kartlagte spaltene. Den gjennomsnittlige retningen til sprekkesett S2 og S3 har en noe annerledes orientering enn spaltene, som ble kartlagt under og øst for Hallandshammeren (figur 27, figur 29). En mulig årsak til dette kan ligge i metoden for innsamling av data i fjernanalysen, eller at tettheten av strukturmålinger i området der spaltene ble kartlagt er lav. Sprekkesett S1 sin orientering og fall stemmer godt overens med orienteringen til sleppen som er kartlagt under blokk H1 (Bergh-Christensen, 1974).

Blokk H1 er avgrenset av et knekkpunkt i topografien (figur 6). Av de ustabile fjellpartiene som er kartlagt i Sogn og Fjordane av Böhme et al. (2011) forekommer 22 av 28 i sammenheng med et knekkpunkt i topografien. Her beskrives en generell denudasjonsprosess, som jobber for å gjøre fremstikkende topografiske elementer lik resten av den omliggende skråningen. Det presenteres en grov oversikt over ustabile fjellparti som er kartlagt i Sogn og Fjordane, etter typisk geomorfologi. De fleste ustabile fjellparti som ble kartlagt havnet innenfor kategori a-c (figur 57) (Böhme et al., 2011). Hallandshammerens topografi passer kategori c (figur 57 c).



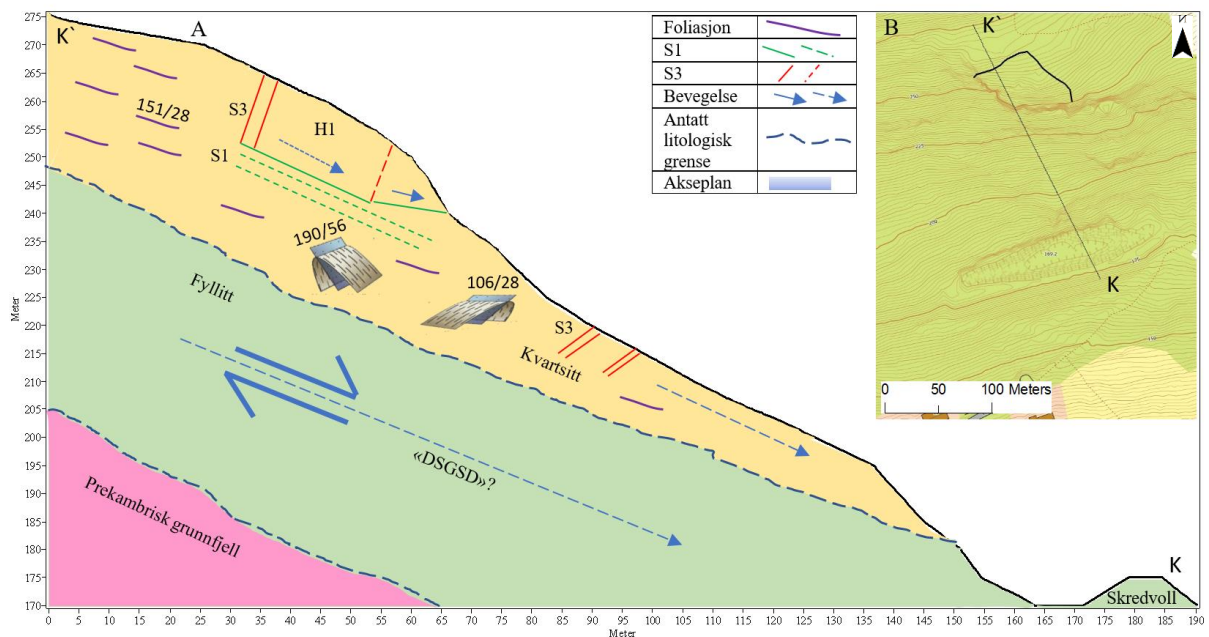
Figur 57: Generell inndeling av ustabile fjellparti basert på geomorfologi (Böhme et al., 2011).

Som påpekt av Grimstad (1996) blir den øvre sleppen avløst av et slakere plan på 22°. Sprekkene som avgrensner blokk H2 og H3 vil trolig kunne sees i sammenheng med avløsningsplanet. For at bevegelse i overgangen mellom planene skal kunne forekomme må kvartsitten sprekke opp. Det avløsende planet vil ha en stabiliserende effekt for blokk H2 og H3 (Grimstad, 1996). Det er ikke tatt høyde for dette i stabilitetsanalysen. Hvor stor stabiliserende effekt planet har er dermed ikke kjent. Blokk H3 beskrives av Grimstad (1996) som den mest stabile av de to vestre blokkene. Denne blokken må gli ytterlige 2 m ut på det avløsende planet før den kan falle. Blokk H2 har stort overheng og vil dermed kunne nå et vippepunkt med videre bevegelse. H2 hviler seg mot en oppsprukken blokksamling. Når denne svikter vil blokken sannsynligvis falle ut (Grimstad, 1996).

I feltarbeidet ble det ikke kartlagt spalter, eller utløste blokker over de øverst kartlagte skrentene (figur 26), med unntak av blokk H1. Over skrentene slaker terrenget ut til under 23° (figur 6). Dette knekkpunktet i topografien vil kunne fungere som en bakre avgrensning for en storskala ustabilitet, slik som beskrevet av Böhme et al. (2011) (figur 57 c). Laterale og nedre avgrensinger kan ikke fastsettes basert på eksisterende kunnskap, men det vil være mulig å fastslå at en større ustabilitet på Hallandsberget må omfatte området der det er kartlagt spalter sør og øst for Hallandshammeren. Dette omfatter et område på om lag 28 000 m².

Dybden til glideplanet er heller ikke kjent. De geometriske forholdene kan legge til rette for bevegelse ved forskjellige dybder (figur 57). Kjerneboringen beskrevet av Bergh-Christensen (1974) vitner om at det finnes slepper i kvartsitten, som kan fungere som glideplan. Den litologiske kontakten mellom kvartsitten og fyllitten er en diskontinuitet, som vil fungere som et svakhetsplan og som dermed vil kunne legge til rette for bruddannelse (Stead og Wolter, 2015). At bevegelsen forekommer langs en eller flere slepper i fyllitten kan heller ikke utelukkes. Overgangen mellom Fortun-Vangsdekket og det prekambriske grunnfjellet foreslås også som mulig glideplan.

I feltarbeidet ble berggrunnen bestemt til å være av fyllitt og kvartsitt (figur 19). Dette må bety at Hallandsberget er en del av Fortun-Vangsdekket og at bergartsgrensen ligger nord for Hallandsberget. I NGUs berggrunnskart (Bryhni et al., 2002) er bergartsgrensen mellom det prekambriske grunnfjellet og Fortun-Vangsdekket tegnet inn sør for Hallandsberget (figur 4). Ettersom Hallandsberget ligger nært opp mot bergartsgrensen kan det hende at mektigheten til den underliggende fyllitten ikke er for stor til at bergartsgrensen ikke kan fungere som glideplan.

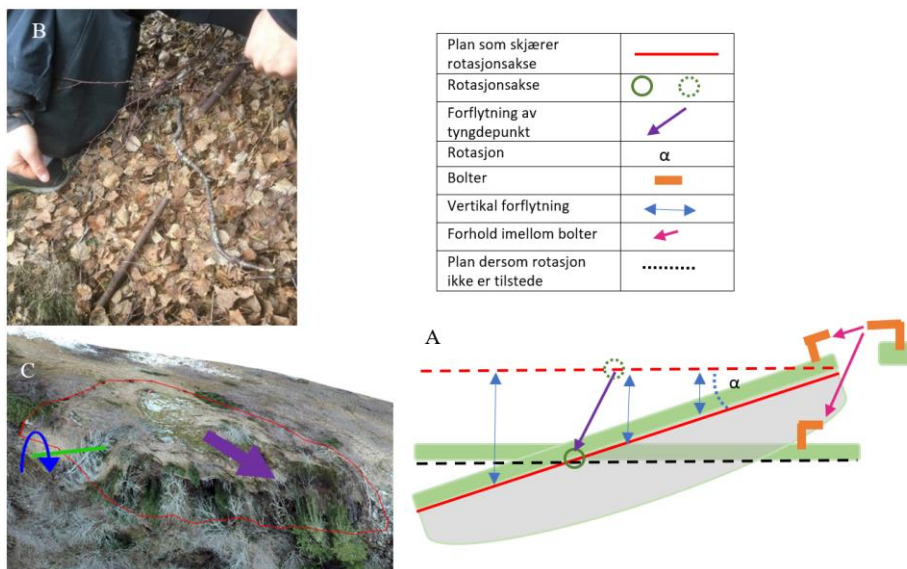


Figur 58: (A) Profil av Hallandsberget tegnet parallelt med bevegelsesretningen på $\approx 150^\circ$. De forskjellige sleppene under hammeren er tegnet inn på bakgrunn av figur 11. Stiplede linjer og piler er antatte sprekker og bevegelsesretninger. (B) Oversiktskart over profilet.

6.3 Bevegelse i Hallandshammeren

De målte bevegelsesvektorene til blokk H1 (figur 33, 34) viser at den totale bevegelsen har omtrent samme retningen som den foliasjonsparallele sleppen (Bergh-Christensen, 1974). Fallet varierer mellom boltepar 2 og 4 og boltepar 6 (figur 34). Dette kan være et resultat av at fallvinkelen i bolteparene er påvirket av en rotasjonsbevegelse rundt en horisontal rotasjonsakse i tillegg til forflytning langs et glideplan. Målinger på bolteparene som befinner seg lengst bort fra rotasjonsaksen vil dermed være mest påvirket av forflytning som følge av rotasjonsbevegelsen (figur 59 A). Orienteringen mellom boltene i boltepar 2 vitner om rotasjon mot fjorden (figur 59 B, C). Dermed vil 1970 bolteparene som befinner seg lengst borte fra rotasjonsaksen måle en lavere fallvinkel og vise en lavere vertikal forflytning. En annen forklaring på forskjellen i fallvinkel til vektorene vil kunne være lokale variasjoner i sleppens orientering, for eksempel i sammenheng med foldingen (figur 24).

Basert på boltemålingene ble det klart at bevegelsen i perioden 1980-1982 akselererte i boltepar 14, 15 og 16, mens hastigheten ved boltepar 11, 12 og 14 var stabil. For å tillate differensiell bevegelse må blokken rotere rundt en vertikal rotasjonsakse, eller sprekke opp i biter. Oppdaterte målinger i perioden 2004-2019 viser tegn til akselerasjon ved boltepar 12 og 13, med stabil bevegelseshastighet i boltepar 14, 15 og 16 i samme periode (figur 32). Dette kan vitne om en endring i bevegelsesmønster over tid, der bevegelsen i vestre del av hammeren først har akselerert og har gitt rotasjon rundt en vertikal rotasjonsakse med klokken mellom 1980 og 1982, for så å akselerere i øst og rotere mot klokken mellom 2004 og 2019. Oppsprekking av blokk H1 er ikke observert i felt, eller ved fjernmåling.



Figur 59: (A) Illustrasjon som viser forholdet mellom 1970 bolteparene med og uten rotasjonsbevegelse. Rotasjonsbevegelsen kan maskere målingen og gi en vektor som ikke representerer den reelle forflytningen (forflytningen av tyngdepunktet). (B) Feltbilde av boltepar 2. (C) 3D ansikt av Hallandshammeren fra SV med mulig horisontal rotasjonsakse i blokk H1.

Ettersom det ikke var mulig å måle avstanden mellom boltene som står på tvers av ekstensjonssprekken som avgrenser blokk H2 og H3, var det ikke mulig å fastslå den relative bevegelsen mellom H1 og de avgrensede blokkene. Knausen som umuliggjorde målinger på boltepar 17 (figur 31), vitner om bevegelse siden forrige måling.

Sammenlignet med bevegelse som er omtalt i andre ustabiliteter i Fortun-Vangsdekket, kan den målte bevegelsen i blokk H1 anses som lav. En bevegelseshastighet under 5 mm/år ved ustabiliteten Stampa i Sogn og Fjordane anses å være ikke signifikant (Böhme et al., 2013). En økning i målt bevegelseshastighet vil derimot kunne bety at stabilitetsforholdet i H1 er endret siden forrige måling. Måleintervallet er for lavt til at det er mulig å sette den i sammenheng med faktorer som vil kunne påvirke stabiliteten, som for eksempel vanntilførsel.

Øvrige feilkilder på 1970 bolteparene kan heller ikke utelukkes fra å ha en effekt på resultatet. I feltarbeidet ble det avklart at 1970 bolteparene kan være sårbare for visse feilkilder, som kan påvirke avstands- og orienteringsmålingene. Boltene var blant annet rustne og lett bøyelige. Det ene av stagen tilhørende boltepar 3 og 7 var borte. Boltene kan også være for lange til å gi pålitelige avstandsmålinger (Kjærnsli et al., 1972).

6.4 Utløpsscenarioer

Ingen av simuleringene med blokkstørrelse 1, 7, 17 eller 22 m³ i RocFall (figur 42-46) eller Rockyfor3D (figur 49-51) går over skredvollen. De fleste av blokkene stopper raskt etter kildeområdet. Dette kan være et resultat av lav fallhøyde og blokkdimensjonene som ble valgt. Ettersom blokkene er dimensjonert med rektangulær form, er det mulig at blokkene vil starte med en glidende bevegelse, fremfor å rulle og sprette. Mye av energien vil her gå tapt til friksjon med underlaget og vil dermed resultere i en kort utløpsdistanse.

Fordelingen av avsetningen til de ulike blokkstørrelsene langs profilene i RocFall var ikke alltid som forventet. Teoretisk sett ville de største blokkstørrelsene beveget seg lengst, ettersom disse vil ha størst kinetisk energi. Dette er ikke alltid tilfellet. Mindre blokkstørrelser har i noen av profilene lengre utløpsdistanse enn større blokkstørrelser. En mulig forklaring kan ligge i at større blokker penetrerer dypere i bakken eller at mindre blokkene i større grad påvirkes av kollisjon med terrenglementer, som større blokker eller kanter (Petje et al., 2005). Fordelingen kan også være en effekt av at resultatet er basert på for få simuleringer, slik at «heldige» enkeltsimuleringer påvirker resultatet. Det er mulig at flere simuleringer vil kunne korrigert for denne effekten.

Det ble også valgt å simulere med blokkstørrelse 300 m³ i Rockyfor3D. Dette ble valgt på bakgrunn av at blokk H2 og H3 ligger ved foten av skråningen og at blokken dermed ikke vil falle ut fra skråningen, men skli og dermed gå rett ut i en rullende bevegelse ved enden av glideplanet. Kvartsitten, som blokk H2 og H3 er bestående av er kompetent. Kompetente bergarter tåler større

krefter før de sprekker opp i motsetning til mindre kompetente bergarter, som for eksempel fyllitt. Jevn terrenggradient i utløpssonen med demping fra vegetasjon kan dermed bidra til at blokken ikke sprekker opp og dermed vil bevege seg som et steinsprang. Blokkens sprekketetthet og utholdenheten til sprekkekanaler kan være med på å styre hvor lett bergarten sprekker opp i skredløpet. Ettersom asymmetriske blokker vil sprette mer, vil en asymmetrisk blokk ha lavere sannsynlighet for å holde formen gjennom hele skredløpet. Dersom blokken sprekker opp vil ikke simuleringen i RockyFor3D representere den reelle utløpslengden, ettersom mindre enkeltblokker vil ha en betydelig lavere utløpslengde.

Fordelen med parameterverdiene som brukes som inndata i Rockyfor3D er at alle verdier knyttet til underlag og skog kan fastsettes basert på kvantitative feltobservasjoner. Dette vil sammenlignet med RocFall kunne gi verdier som bedre representerer det spesifikke terrenget, ettersom verdiene her er basert på generelle kvalitative observasjoner. For å teste hvor godt den utarbeidede modellen i RocFall representerte de faktiske forholdene ble det simulert uten skredvoll i profil C (figur 46). Om modellen er tilstrekkelig kalibrert vil det maksimale beregnede utløpet i RocFall ligge nært opp mot den kartlagte blokken i felt som har gått lengst. Avstanden i profilretning mellom sørligste kartlagte skredblokk og lengste simulerte skredløp er 20 m. Dette ble bestemt til å være en akseptabel feilmargin. En svakhet med denne tilnærmingen er at større blokker med lengre utløp kan ha blitt fjernet i sammenheng med landbruk eller boligutbygging. Ettersom det mangler historisk dokumentasjon for dette, kunne det ikke tas med i beregningen.

Ettersom det ble valgt å simulere med en fast siktevinkel for steinskred under $250\,000\text{ m}^3$ i Flow-R, er det knyttet usikkerhet til hvorvidt en slik generell siktevinkel vil kunne være representativ for et skred av så lav størrelsesorden, som blokk H1. Som påpekt av Oppikofer et al. (2016) vil en spissere siktevinkel i Flow-R resultere i en lengre utløpsdistanse for skred der alle andre parametere holdes konstant. Det vil derfor være mulig at en lavere siktevinkel ville vært mer representativt for blokk H1. Effekten av siktevinkel vil øke med økende fallhøyde. Ettersom fallhøyden til H1 er lav, vil effekten av siktevinkel ha en mindre påvirkning på resultatet

Parameterne som inngår i strømningsalgoritmen har ifølge parameteresting fra Oppikofer et al. (2016) størst innvirkning på skredets laterale utbredelse. Det ble ikke gjort simuleringer med forskjellige strømningsverdier og det er dermed ikke kjent hvilken innvirkning det ville hatt på resultatet. Ettersom skråningens relieff er lavt, kan en anta at effekten i likhet med siktevinkel ikke vil ha stor innvirkning på resultatet.

6.5 Faresonekart

Faresonekartleggingen er basert på resultater fra skredsimulering i Rockyfor3D, RocFall og Flow-R og faglig kjønn knyttet til feltobservasjoner. Faresonene er bestemt med bakgrunn i TEK 17 §7-3. Faresonekartet som er utarbeidet er fremstilt i figur 60.

Ettersom det ikke kjennes til noen tidligere skredhendelser etter skredvollen ble konstruert, er det ikke mulig å si noe om hvor eksponert boligfeltet Leite er for flogstein fra steinsprang og steinskred. Dette medfører at flogstein ikke er tatt høyde for i faresonekartleggingen.

1/100 – Største årlige sannsynlighet

Det ble valgt å ikke definere største nominell årlig sannsynlighet 1/100, ettersom gjentakelsesintervallet for steinsprang anses å være for lite. Steinskredavsetningene som ble kartlagt i felt anses å være gamle og skredblokkene som er kartlagt forbi hammeren må være avsatt før skredvollen ble bygget. Ettersom det heller ikke er funnet noe historisk dokumentasjon for at det er gått steinsprang fra løsneområdet i nyere tid, vurderes gjentakelsesintervallet for steinsprang som lavt. Mangelen på en talus under kildeområdet er også en klar indikator for et lavt gjentakelsesintervall.

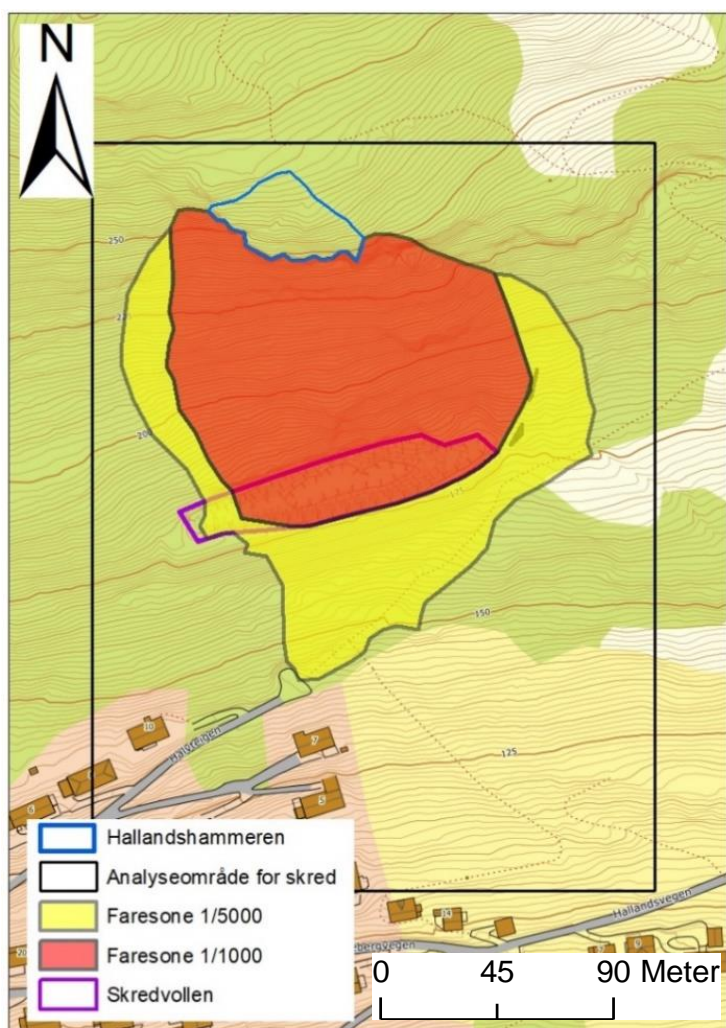
1/1000 – Største årlige sannsynlighet

Grensen for største nominelle årlige sannsynlighet 1/1000 ble satt etter det maksimale utløpet for steinsprang med blokkstørrelse 1,7, 17 og 22 m³ i Rockyfor3D og RocFall. Ingen av simuleringen med disse blokkstørrelsene når over skredvollen. Skredblokkene som er kartlagt sør for vollen i feltarbeidet må derfor være avsatt før skredvollens konstruksjon.

Ettersom det ikke var mulig å ta oppdatert bevegelsesmåling på boltepar 17 er det ikke mulig å bedømme om bevegeshastigheten i H2 og H3 har akselerert de siste årene. Basert på funn i stabilitetsanalysen og funn presentert av Grimstad (1996) ble det bestemt at det er lite sannsynlig at blokk H3 vil kunne skli ut i nær fremtid. Det er derimot knyttet størst usikkerhet til stabiliteten til blokk H2. Simulering i Rockyfor3D viser at blokkutfall med løsneområde nært plasseringen til blokk H2 og H3 høyst sannsynlig ikke vil nå over skredvollen. Det vurderes også som lite sannsynlig at blokk H2 og H3 vil kunne oppføre seg som steinsprang. Det ble derfor valgt å se bort ifra simuleringene som ble gjort i Rockyfor3D med blokkstørrelse 300 m³ i kartleggingen.

1/5000 – Største årlige sannsynlighet

Grensen for største nominell årlig sannsynlighet 1/5000 er satt til det maksimale utløpet for steinskred, som er simulert i Flow-R. Basert på Hallandshammerens målte bevegelse, stabilitetsberegninger og funn presentert av Grimstad (1996) vurderes sannsynligheten for at blokk H1 utløses i en enkel skredhendelse som svært lav. Ettersom steinskredsimuleringen foreslår et utløp som går over skredvollen, kan det ikke utelukkes at enkeltblokker kan nå helt ned til bebyggelsen sør-vest for skredvollen.



Figur 60: Faresonekart for skred fra Hallandshammeren.

7 Konklusjon

Oppdaterte boltemålinger av blokk H1 viser to perioder med høy bevegelseshastighet mellom 1980-1982 med 5-6 mm/år i vestre del av baksprekken og med 3,6 mm/år i perioden 2004-2019 i østre del av baksprekken. Dette kan forklares med at bolteparene ikke er montert parallelt med bevegelsesretning, rotasjonsbevegelse eller intern oppsprekking. Bevegelsen vurderes likevel som liten sammenlignet med andre ustabile fjellparti i Fortun-Vangsdekket. Det var ikke mulig å utføre bevegelsesmåling på bolteparet i ekstensjonssprekken til H3. Dette må bety at blokken har beveget seg relativt til H1 etter forrige måling. Blokkene H2 og H3 vurderes som stabile på bakgrunn av stabilitetsanalysen. Avløsende plan i fremkant av blokkene vil også ha en stabiliserende effekt.

Åpne spalter sør og øst for Hallandshammeren antyder bevegelse i større skala i et område på om lag 28 000 m². Flere faktorer i berggrunnen kan legge til rette for bevegelse ved forskjellige dybder. De kartlagte foliasjonsparallelle sleppene i kvartsittlaget åpner for et eller flere glideplan i kvartsitten. Den litologiske kontakten mellom kvartsitten og fyllitten er et svakhetsplan, som kan legge til rette for bruddannelse. En eller flere slepper i fyllitten og bergartsgrensen mellom Fortun-Vangsdekket og det prekambriske grunnfjellet foreslås som mulige glideplan. Det fastslås at området der det er kartlagt spalter må inngå i massebevegelsen. Knekkpunktet i topografien i overkant av de kartlagte spaltene foreslås som en mulig bakre avgrensning.

Boligfeltet Leite er å betrakte som trygt i henhold til byggeteknisk forskrift (TEK17) §7-3. Dette på bakgrunn av at skredvollen er vurdert til å være tilstrekkelig dimensjonert til å fange opp alle skredhendelser med største nominelle årlige sannsynlighet 1/100 og 1/1000.

8 Videre anbefalinger

Vi vil anbefale å få til en mer strukturert og oversiktlig målerutine for bevegelsen til Hallandshammeren, slik at en eventuell akselerasjon i bevegelse kan oppdages. Det bør monteres nye boltepar parallelt med bevegelsesretningen. Det foreslås også å montere fastpunkter for differensiell GPS for å fastslå omfanget og bevegelseshastigheten til den dyperegående massebevegelsen.

9 Referanser

Agliardi, F., Crosta, G., Zanchi, A. (2000), «*Structural constraints on deep-seated slope deformation kinematics*». ScienceDirect

ArcMap, (v.10.6.1), 2019. [Dataprogram]. Redlands, California, Esri

Barton, R. (1973). «*Review of a new shear strength criterion for rock joints*». (NGI engineering geology, 7) Oslo: Norges Geotekniske Institutt

Barton, R. (1976). «*The shear strength of rock and rock joints*». Int. J. Mech. Min. Sci. & Geomech Abstract. 13 (10).

Bergh-Christiensen, J. (1974) «*Ingeniørgeologisk rapport vedrørende diamantkjerneboring i Hallandsberget for Leikanger kommune*» (GEOTEAM Rapport nr: 3880-01) Oslo: GEOTEAM.

Bjerrum, L. (1959), «*Rapport over befaring i Hallandsgrend i Leikanger 23. september 1959 i anledning steinskredfare*». (NGI Rapport nr: S.181). Oslo: Norges Geotekniske Institutt.

Blikra, L., Longva, O., Braathen, A., Anda, E., Dehls, J., Stalsberg, K., (2006). «*Rock Slope Failures in Norwegian Fjord Areas: Examples, Spatial Distribution and Temporal Pattern*». SpringerLink.

Byggteknisk forskrift (2017) §7-3 «*Forskrift om tekniske krav til byggverk*». Direktoratet for Byggkvalitet.

Böhme, M., Dehls, J., Hermanns, R., Oppikofer, T., Redfield, T., Rønning, J... Kristensen, L. (2013) «*The unstable phyllitic rocks in Stampa – Flåm, western Norway: Compilation, scenarios, risk and recommendations*». (NVE Rapport nr: 35-2013). Oslo: Norges Vassdrags- og Energidirektorat.

Böhme, M., Hermanns, R., Oppikofer, T., Fischer, L., Bunkholt, H., Eiken, T ... Nilsen, B. (2012) «*Analyzing complex rock slope deformation at Stampa, western Norway, by integrating geomorphology, kinematics and numerical modeling*». ScienceDirect.

Böhme, M., Saintot, A., Henderson, I., Henriksen, H. (2011) «*Rock slope instabilities in Sogn and Fjordane County, Norway: a detailed structural and geomorphological analysis*». Geological Society, London.

Bryhni, I., Brastad, K. og Jacobsen, V. W. (2002) *Berggrunnskart Leikanger 1317, M 1:50 000*. Norges Geologiske Undersøkelse. Hentet 19.04.2019 fra:
<https://www.ngu.no/upload/Publikasjoner/Kart/B50/leikanger.pdf>

Crosta, G. B., Frattini, P. og Agliardi, F. (2019) «*Deep seated gravitational slope deformations in the European Alps*». Tectonophysics.

Corominas, J. (1996) «*The angle of reach as a mobility index for small and large landslides*». Canadian Geotechnical Journal.

Cutnell, J. Johnson, K (2013) «*Introduction to Physics*» (9. Utg) John Wiley & Sons Singapore Pte. Ltd.

Devoli, G., Eikenæs, O., Taurisano, A., Hermanns, R, Fischer, L., Oppikofer, T., Bunkholt, H. (2011). «*Plan for skredfarekartlegging delrapport steinsprang, steinskred og fjellskred*». (NVE Rapport nr:15/2011) Oslo: Norges Vassdrags- og Energidirektorat.

Dorren L.K.A., 2016. «*Rockyfor3D (v5.2) revealed – Transparent description of the complete 3D rockfall model*». ecorisQ

DIPS v (7.014) [Dataprogram]. (2019). Toronto: Rocscience Inc.

Fossen. H (2016) «*Structural Geology*» (2 utg). Cambridge: Cambridge university press.

Zobl, F., Brunner, F., Wieser, A. (2015) «*Development of a digital geological compass*». Hentet 12.02.2019 fra <http://qjgeh.lyellcollection.org/content/40/3/301/tab-figures-data>

Eklima (2019) hentet 04.02.2019 fra:

http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?_pageid=73,39035,73_39080&_dad=portal&_schema=PORTAL

Geo 5 (2018), «*User's guide*». Fine Civil Engineering Software.

Grimstad, E. (1996). «*Hallandshammeren i Leikanger Stabilitetsvurdering*» (NGI Rapport nr: 9540691) Oslo: Norges Geotekniske Institutt.

Hamre, A. (2016). «*Om leikanger*», Leikanger kommune. Hentet 26.05.2019 fra: <http://www.leikanger.kommune.no/om-leikanger.391358.nn.html>

Hermanns, R., Sandøy, G., Oppikofer, T. (2015) «*Steinsprang og Steinskred*». Norges Geologiske Undersøkelse.

Henderson, C., Saintot, A., Bøhme, M., Henriksen, H. (2008). «*Kartlegging av mulig ustabile fjellpartier, Sogn og Fjordane*». (NGU Rapport nr: 2008:026) Trondheim: Norges Geologiske Undersøkelse.

Holmgren, P. (1994) «*Multiple flow direction algorithms for runoff modelling in grid based elevation models: An empirical evaluation*». Researchgate.

Horton, P., Jaboyedoff, M., Rudaz, B. og Zimmermann, M. (2013) «*Flow-R, a model for susceptibility mapping of debris flows and other gravitational hazards at a regional scale*». Natural Hazards and Earth System Sciences

Høeg, K., Karlsand, K., og Lied, K. (2014). «*Skred, skredfare og sikringstiltak*», Oslo: Norges Geotekniske Institutt.

Jørstad, F. (1973). «*Vurdering av stabiliteten av en berghammer i Hallandsgrend, Leikanger og forslag til Sikringstiltak*». (NGI Rapport nr: 72611-2) Oslo: Norges Geotekniske Institutt.

Kartverket (2019) «*Topografisk Norgeskart 4*» (Geonorge), Hentet 28.01.2019 fra:
<https://openwms.statkart.no/skwms1/wms.topo4?service=wms&request=getcapabilities>

Kjærnsli, B. (1972). «*Befaring i Hallandsgrend i Leikanger i anledning steinskredfare og nedsatte målebolter*». (NGI Rapport nr: 72611-1) Oslo: Norges Geotekniske Institutt.

Labuz, J., Zarf, A. (2012). «*Mohr–Coulomb Failure Criterion*». Hentet 16.02.2019 fra:
https://www.researchgate.net/publication/257445185_Mohr-Coulomb_Failure_Criterion

Leikanger kommune, (2013) «*Saksfremlegg - Innvesteringsbudsjettet 2013- tilleggsløyvingar*». (K-sak: 1/13). Hentet 16.02.2019 fra:
http://www.leikanger.kommune.no/cpclass/run/cpesa62/file.php/def/13014734d13014734o3fd93c/investeringsbudsjettet2013tilleggsloeyvingar.pdf?fbclid=IwAR0I_0bZwg69g4tITDN8WPAyVwCDcCSRk6suPO0nKRxqOaDhJCvJNJVjyTk

Lied, K. (1975). «*Hallandsberget - Leikanger Sikring av byggefelt*». (NGI Rapport nr.:72611-3) Oslo: Norges Geotekniske Institutt.

Norsk Naturskadepool (2018). «*Naturskadestatistikk*». Hentet 20.01.2019 fra:
<https://www.nve.no/klimatekna/klimatekna-na-og-i-framtiden/>

Norsk Naturskadepool, (2018) «*Statistikk*». Hentet 20.01.2019 fra:
<https://www.naturskade.no/statistikk/>

Oppikofer, T., Böhme, M., Hermanns, R. (2015) «*Strukturelle og kinematiske analyser*». Norges Geologiske Undersøkelse.

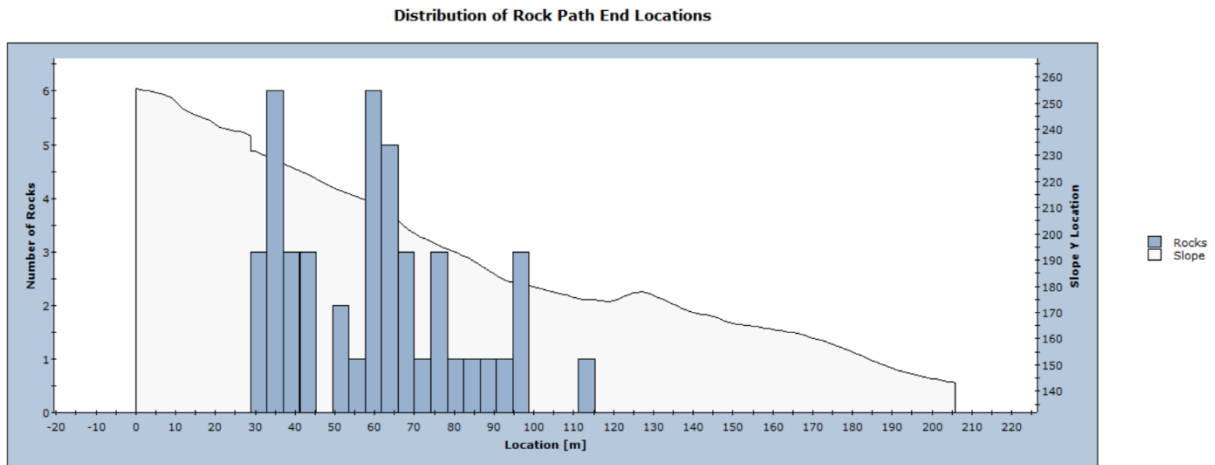
- Oppikofer, T., Böhme, M., Nicolet, P., Penna, I., Hermanns, L. (2016). «*Metodikk for konsekvensanalyse av fjellskred*». Norges Vassdrags- og Energidirektorat.
- Ramberg, B., Bryhni, I., Nøttvedt, A. (2007) «*Landet blir til, Norges Geologi*». (2. utg) Trondheim: Norges Geologiske Forening.
- Redfield, F., Hermanns, L. (2016), «*Gravitational slope deformation, not neotectonics: Revisiting the Nordmannvikdalen feature of northern Norway*». Geological Society of Norway.
- RocFall (v7.014) [Dataprogram]. (2019, 01 30). Toronto: Rocscience Inc.
- RockStability (v2019.18) [Dataprogram]. (2019, 03 13), Praha: Fine civil engineering software.
- Rockyfor3D (v5.2) [Dataprogram]. (2016, 03 30). Geneve: ecorisQ.
- Rocscience (a) (2019) «*Rock Density Table*». Hentet 03.03.2019 fra: https://www.rocscience.com/help/rocfall/baggage/Rock_Density_Table.htm
- Rocscience (b) (2019) «*Dynamic Friction Friction, Rolling Friction Table*». Hentet 03.03.2019 fra: https://www.rocscience.com/help/rocfall/baggage/Dynamic_Friction_Rolling_Friction_Table.htm
- Rocscience (c) (2019) «*Rocscience Coefficient of Restitution Table*». Hentet 03.03.2019 fra: https://www.rocscience.com/help/rocfall/baggage/rn_rt_table.htm
- Saintot, A., Henderson, I., Henriksen, H. (2011) «*Rock slope instabilities in Sogn and Fjordane County, Norway: a detailed structural and geomorphological analysis*». ResearchGate.
- Stead, S. og Wolter, A. (2015) «*A critical review of rock slope failure mechanisms: The importance of structural geology*». ScienceDirect.
- Sønstegaard, E. (1986) *HENJADALEN AUV075076-20, kvartærgeologisk kart – M 1:20.000*. Norges Geologiske Undersøkelse. Hentet 28.04.2019 fra: <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/>
- Terzaghi, K. (1962) «*Stability of steep slopes on hard unweathered rock*». Geotechnique.
- Wei, J., Yang, T., Zhu, W., Li, L., Zhang, P. (2018) «*The Mohr–Coulomb failure criterion considering the effect of water pressure*». ResarchGate.
- Zobl, F., Brunner, F. K. og Wieser, A. (2007) «*Development of a digital geological compass*». Hentet 01.02.2019 fra <http://qjgeh.lyellcollection.org/content/40/3/301/tab-figures-data>

Wyllie, D., Mah, C. (2004) «*ROCK SLOPE ENGINEERING CIVIL AND MINING*» (4.utg.). Oxon:
The Institute of Mining and Metallurgy and E. Hoek and J. W. Milton Park.

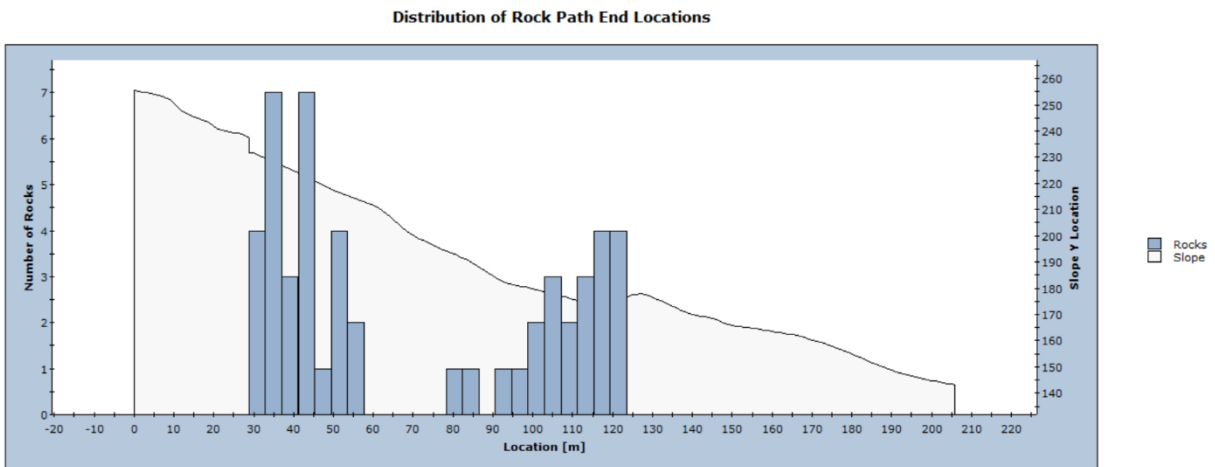
10 Vedlegg

Resultat – RocFall.

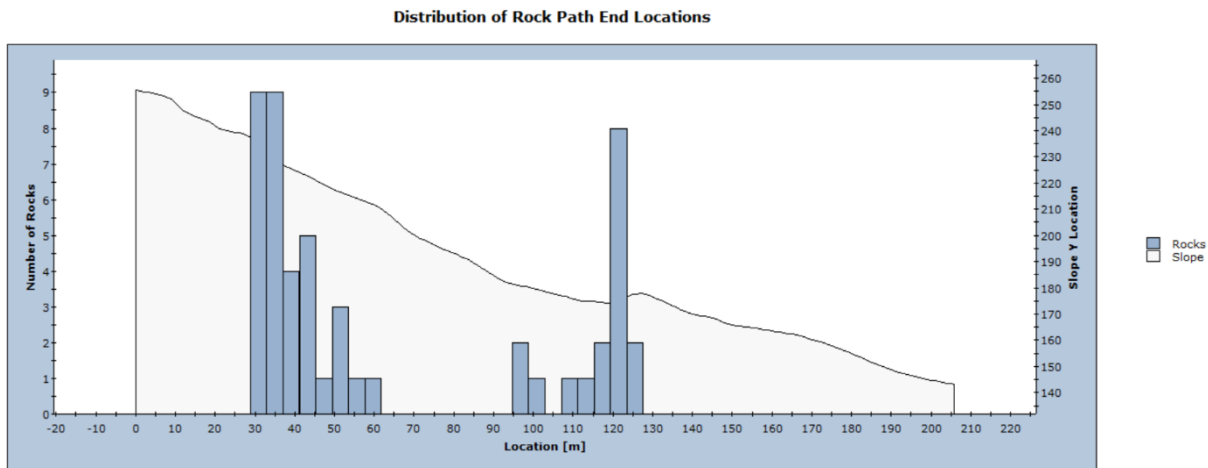
Profil A:



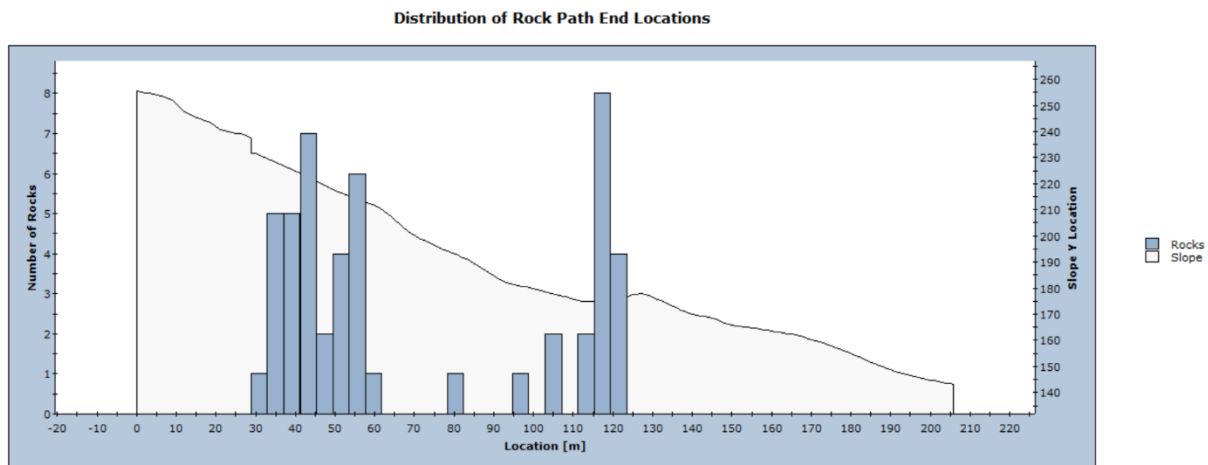
Figur 61: Oversikt over hvor blokkene med blokkstørrelse 1 m³ i profil A Hallandsberget.



Figur 62: Oversikt over hvor blokkene med blokkstørrelse 7 m³ i profil A Hallandsberget.

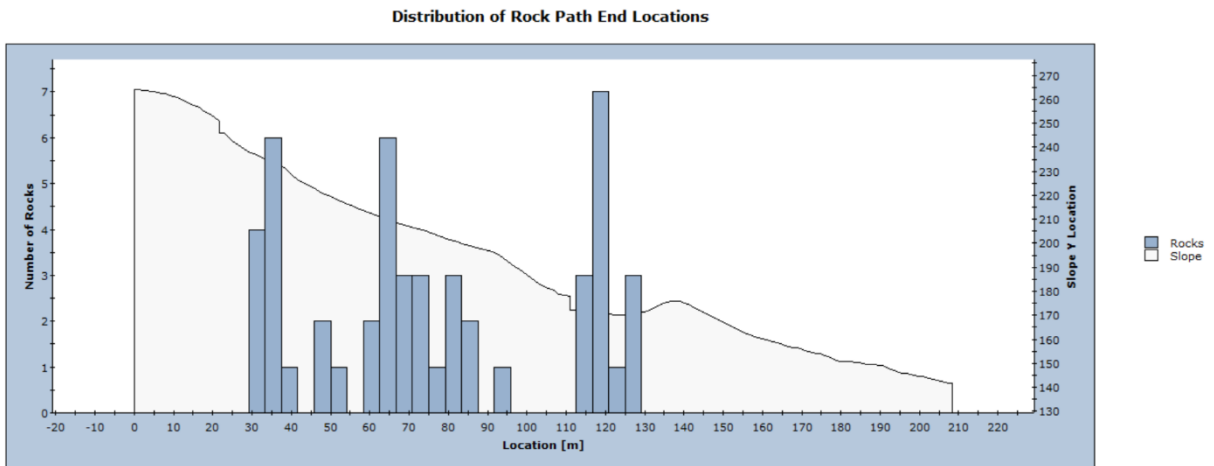


Figur 63: Oversikt over hvor blokkene med blokkstørrelse 17 m³ i profil A Hallandsberget.



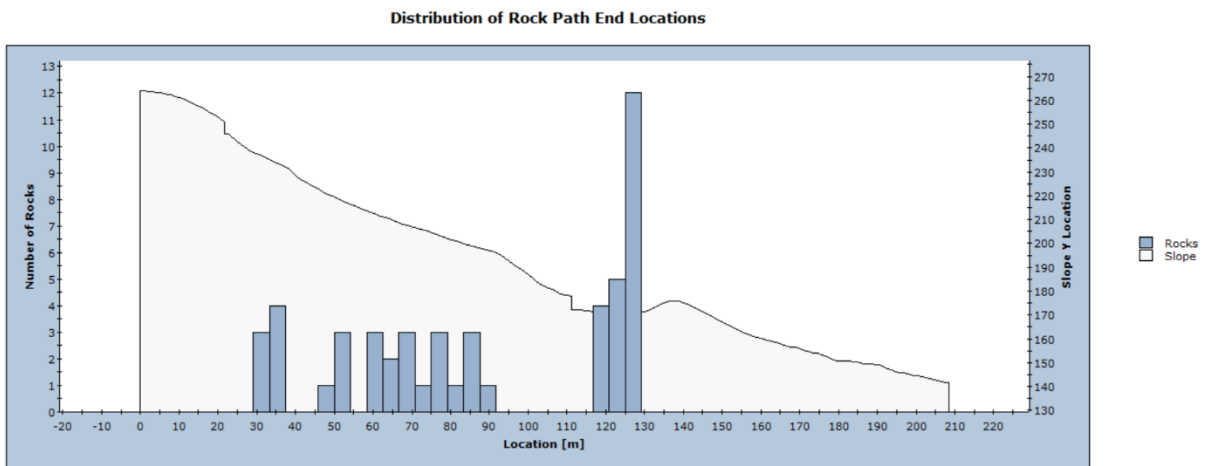
Figur 64: Oversikt over hvor blokkene med blokkstørrelse 22 m³ i profil A Hallandsberget.

Profil B

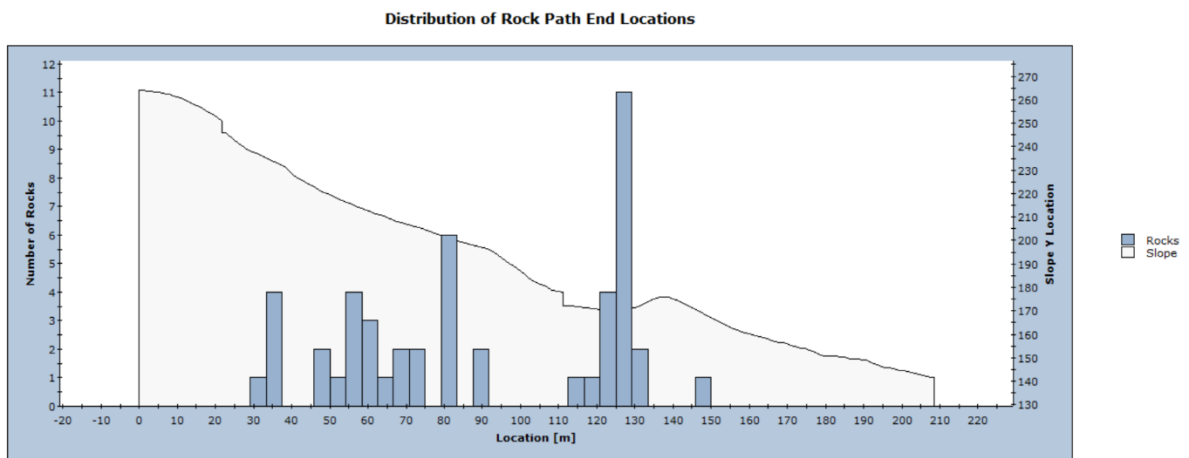


Figur 65: Oversikt over hvor blokkene med blokkstørrelse 1 m³ i profil B Hallandsberget.

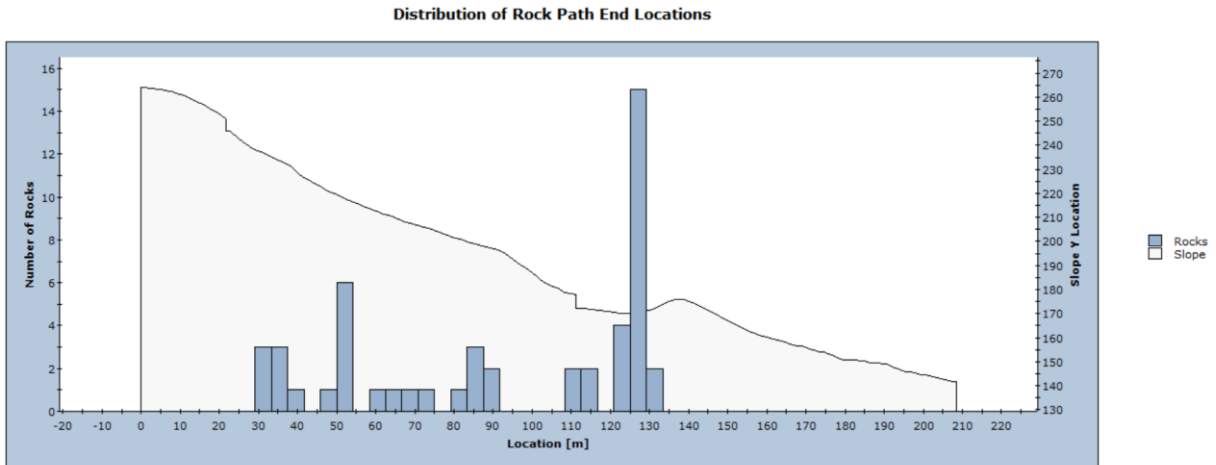
4



Figur 66: Oversikt over fordelingen av avsetningene for med blokkstørrelse 7 m³ i profil B Hallandsberget..

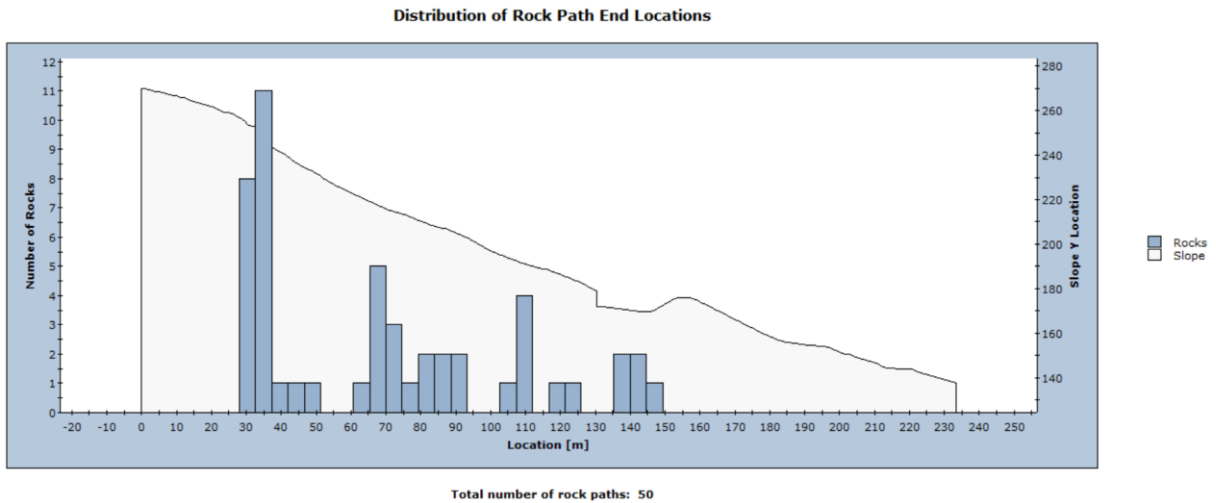


Figur 67: Oversikt over hvor blokkene med blokkstørrelse 17 m³ i profil B Hallandsberget.

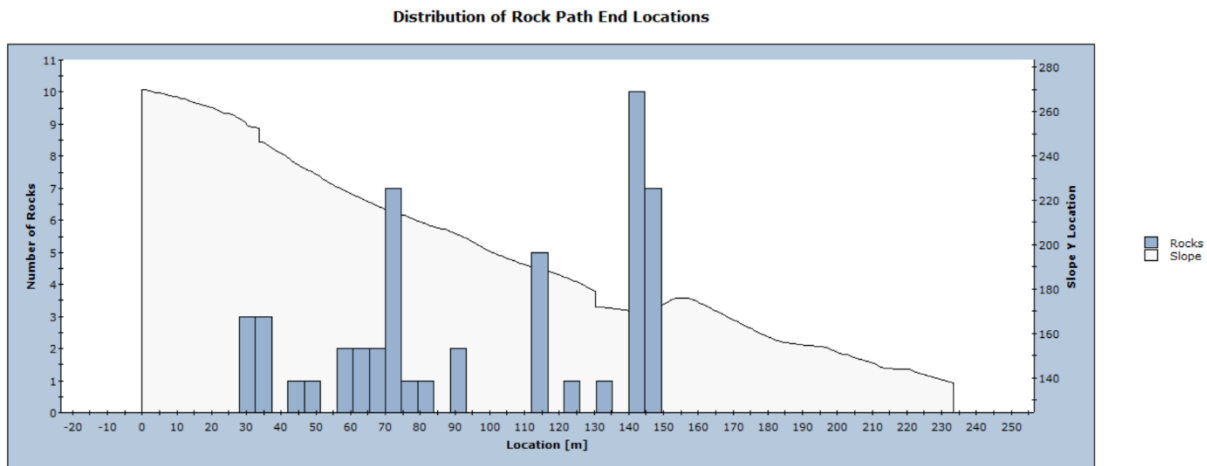


Figur 68: Oversikt over hvor blokkene med blokkstørrelse 22 m³ i profil B Hallandsberget..

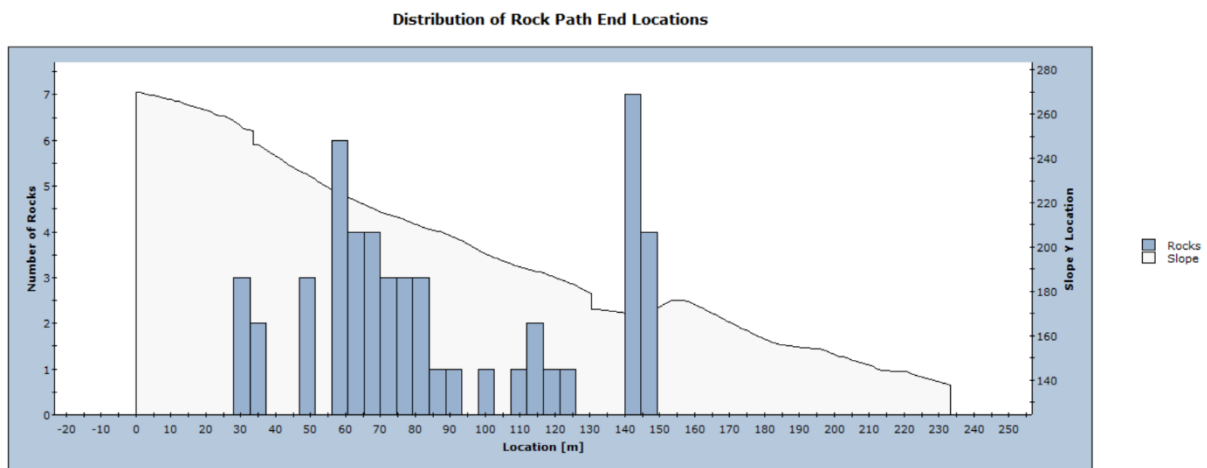
Profil C



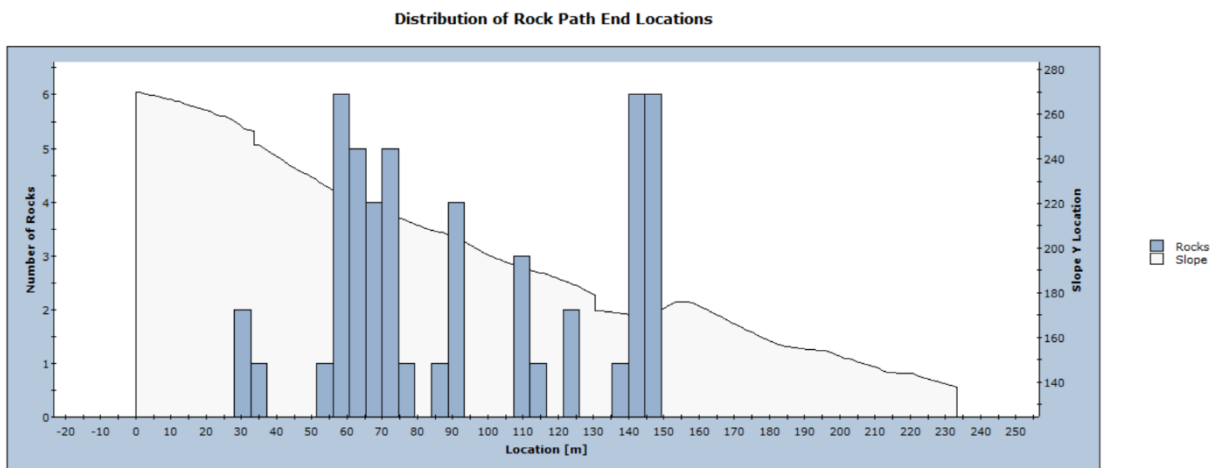
Figur 69: Oversikt over hvor blokkene med blokkstørrelse 1 m³ i profil C på Hallandsberget.



Figur 70: Oversikt over hvor blokkene med blokkstørrelse 7 m³ i profil C på Hallandsberget.

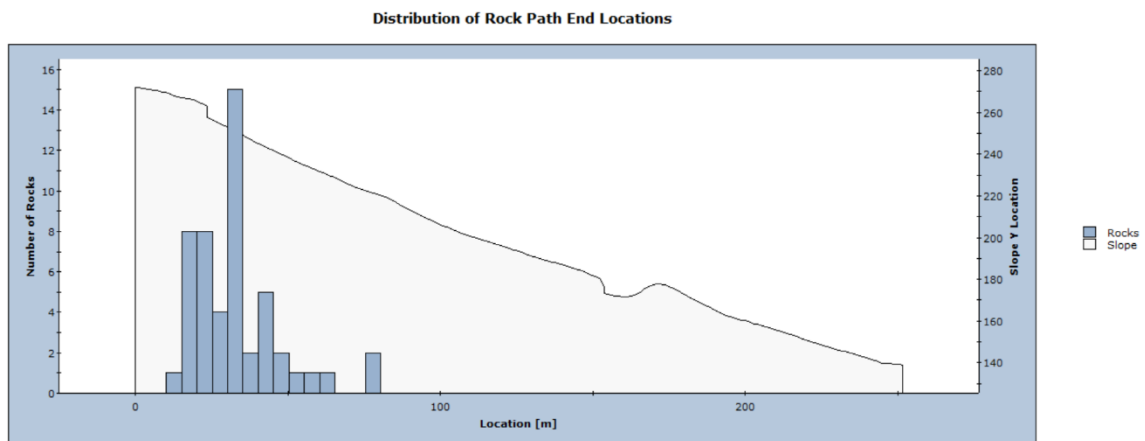


Figur 71: Oversikt over hvor blokkene med blokkstørrelse 17 m³ i profil C på Hallandsberget.

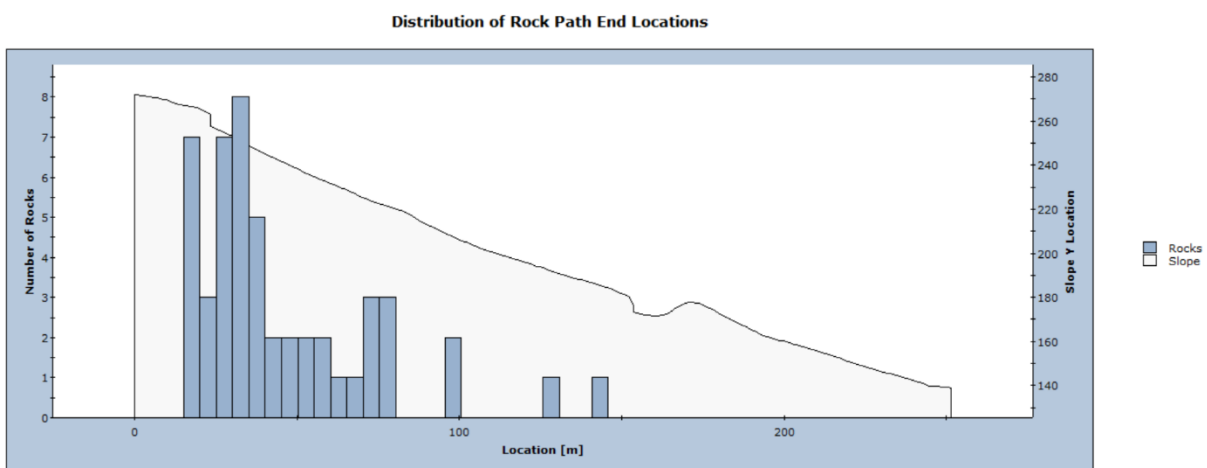


Figur 72: Oversikt over hvor blokkene med blokkstørrelse 22 m³ i profil C på Hallandsberget.

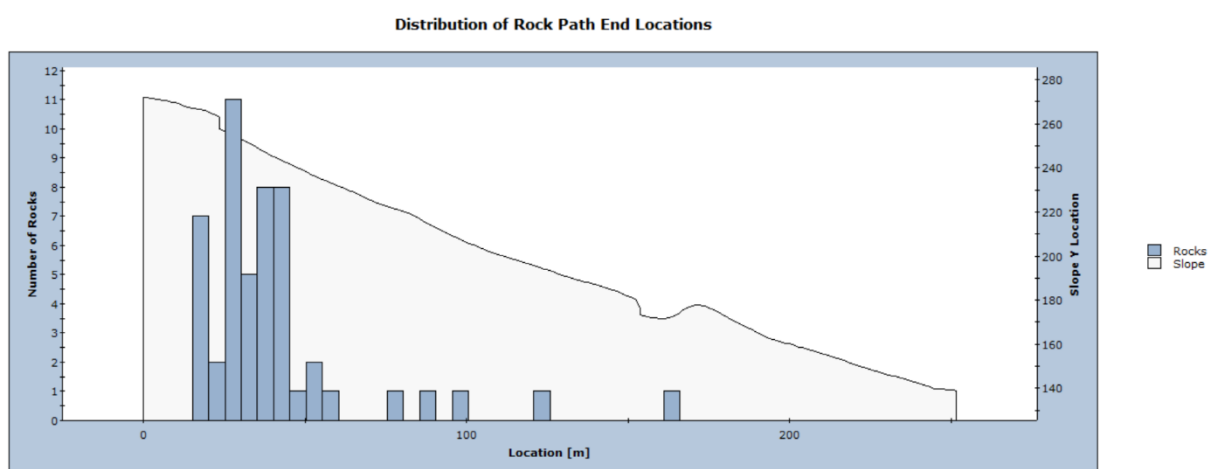
Profil D



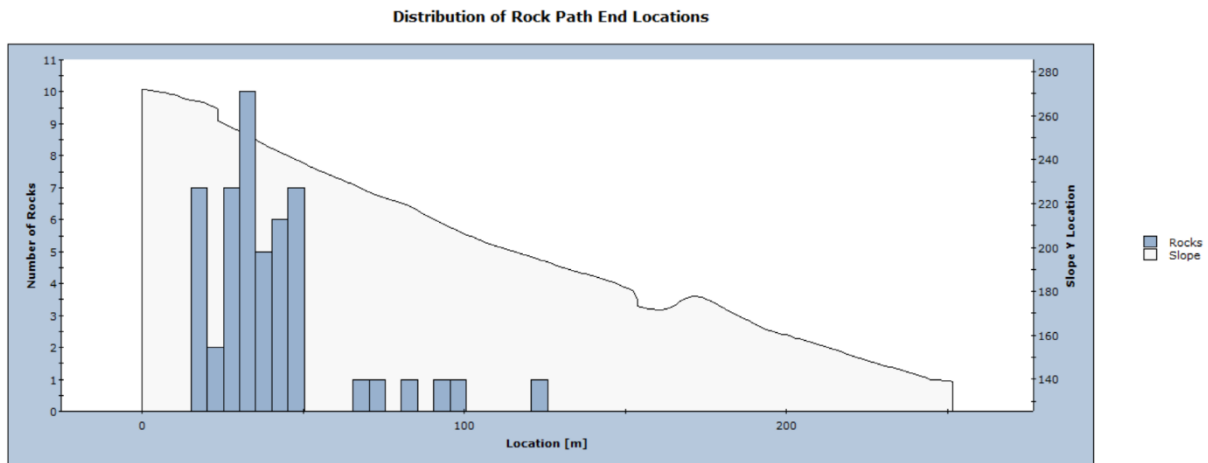
Figur 73: Oversikt over hvor blokkene med blokkstørrelse 1m³ i profil C på Hallandsberget.



Figur 74: Oversikt over hvor blokkene med blokkstørrelse 7 m³ i profil C på Hallandsberget.

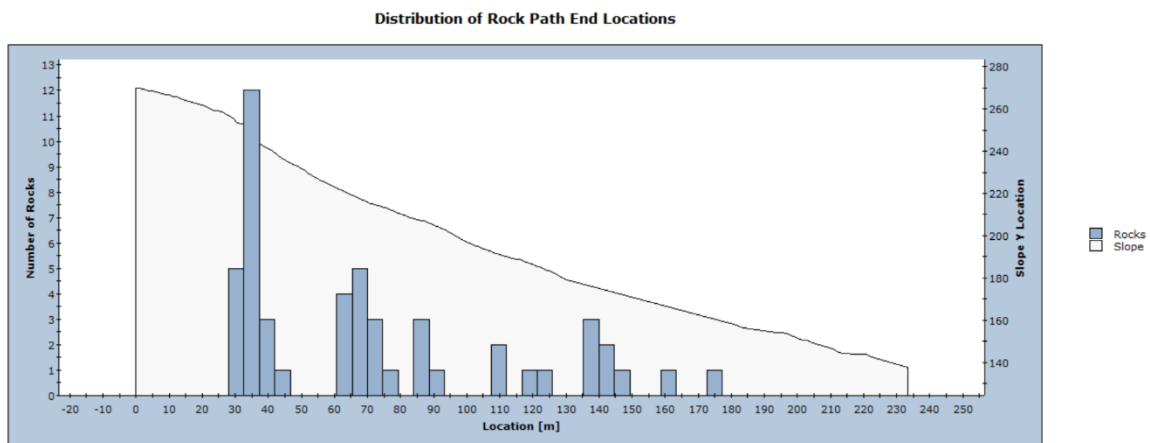


Figur 75: Oversikt over hvor blokkene med blokkstørrelse 17 m³ i profil C på Hallandsberget.

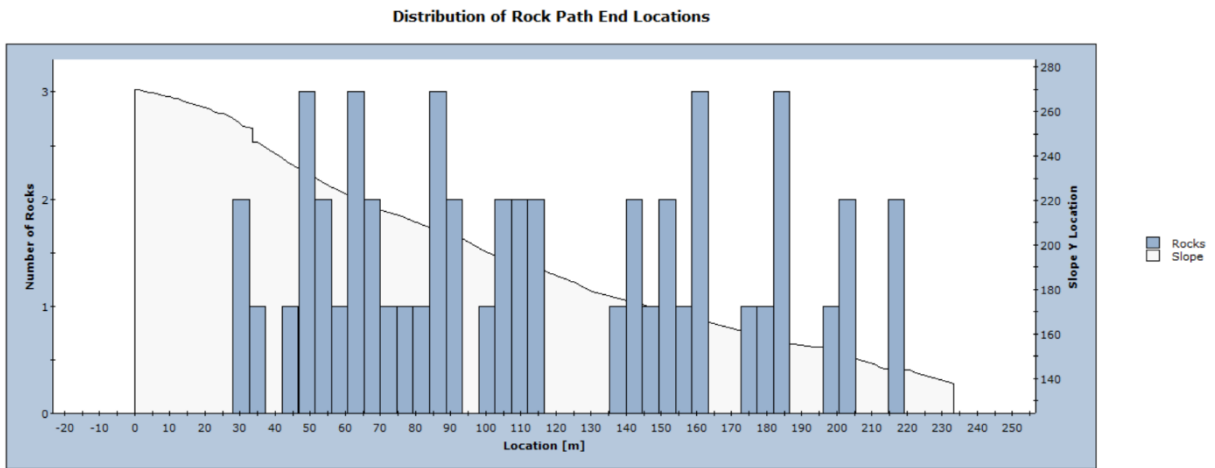


Figur 76: Oversikt over hvor blokkene med blokkstørrelse 22 m³ i profil C på Hallandsberget.

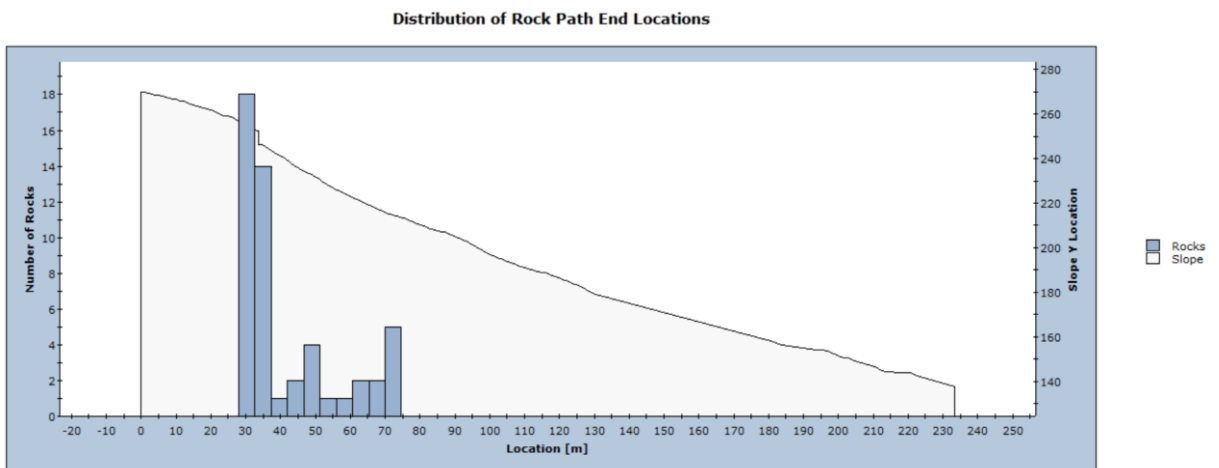
Profil C – Uten skredvoll



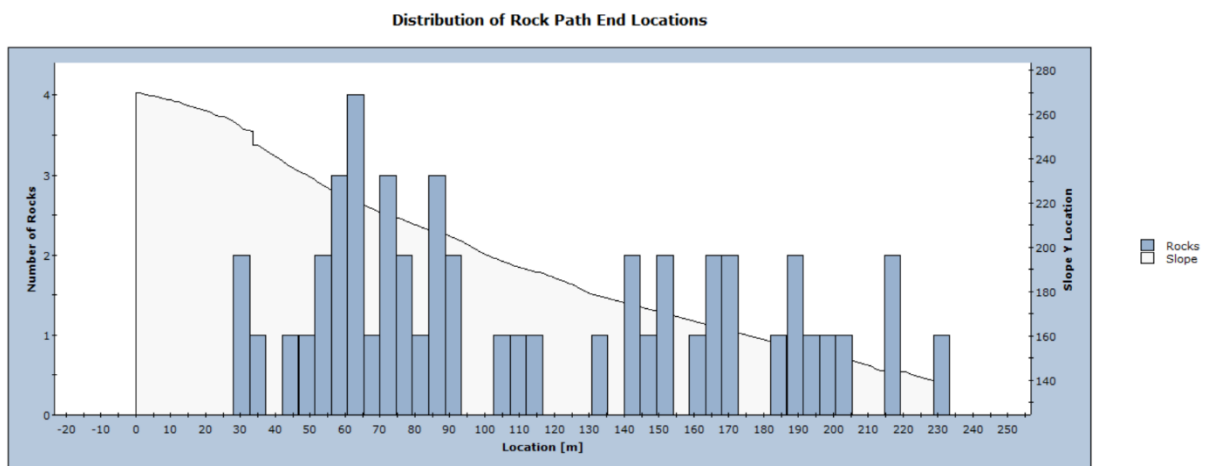
Figur 77: Oversikt over hvor blokkene med blokkstørrelse 1m³ i profil C på Hallandsberget. Profilet er simulert uten skredvoll.



Figur 78: Oversikt over hvor blokkene med blokkstørrelse 7 m³ i profil C på Hallandsberget. Profilet er simulert uten skredvoll.



Figur 79: Oversikt over hvor blokkene med blokkstørrelse 17 m³ i profil C på Hallandsberget. Profilet er simulert uten skredvoll.



Figur 80: Oversikt over hvor blokkene med blokkstørrelse 22 m³ i profil C på Hallandsberget. Profilert er simulert uten skredvoll.

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT
Norwegian Geotechnical Institute

•
Rapport over •

befaring i Hallandsgrend i
Leikanger 23. september 1959
i anledning steinskredfare.

S. 181.

6. nov. 1959.

•
OSLO — BLINDERN — TLF. 69 58 80 •

Bilag: Skisse.

INNLEDNING.

Efter oppdrag fra Landbruksdepartementet har Norges geotekniske institutt foretatt befaring i Hallandsgrend i Leikanger i anledning faren for steinskred. Befaringen foregikk 23. september 1959 og kommunetekniker K. Risnes og en av oppsitterne deltok.

Foranledningen til søknad om befaring var at en stor blokk oppe i skrenten ovenfor bebyggelsen og ovenfor fruktfeltene hadde glippet fra fjellet forøvrig og seget ca. 40 cm de siste årene.

DEN AVLØSTE BLOKK.

Filag 1 viser planskisse av blokken samt terrenget omkring. Bergarten på stedet er nærmest kvartsitt med mest tynne glimmerrike lag og enkelte likeledes tynne, muligens sekundære kvartslag. Strøk og fall varierer, gjennomgående er strøket W - E og fallet ca. 20 g sørover. Lokale småfolder finnes. En viss avløsning foregår parallell lagdelingen. De mest markerte sprekker har retning N 40-50 g med ca. 90 g fall nordvest og retning N 150 g og vertikalt fall. To sprekker tilhørende disse system har avløst en blokk på ca. 150 m³. Eredden på den SE-gående sprekk er 1-1,5 m og dybden ned til bunnen er 5-7 m. Eredden på den NE-gående sprekk er opp til 3 m og dybden avtar fra 6-7 m i nordøst til omtrent ingen i sørvest. I bunnen av sprekken ligger nedrast materiale. Blant dette er tydeligvis også helt ny-avløste stein og blokker. På toppen av sprekken går det her og der trerøtter og lengst øst er en gammel ask blitt stående midt over sprekken.

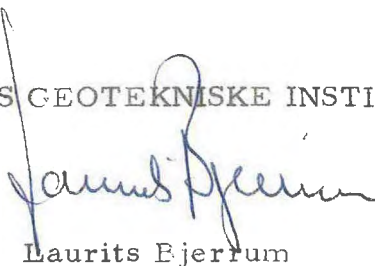
Sørvest for denne blokken, og adskilt ved en mot sørvest fallende åpen sprekk, ligger en lavere blokk som synes å ha blitt avløst tidligere. Nedenfor disse to blokkene mot sør og sørøst, er et lite trinn i terrenget og anstånde fjell. Det er ikke mulig her å se tegn eller merker etter en fremskyvning av blokkene. Den vestligste blokk er såvidt lav at den neppe kan innebære særlig fare. Anderledes er det med den østligste.

Denne kan imidlertid neppe bevege seg særlig utover så lenge den andre ligger foran. Det er imidlertid vanskelig å få noe inntrykk av selve foten på denne blokken.

SIKRINGSTILTAK.

Oppstøtting eller fastbolting av den østligste blokken kan neppe være hensiktsmessig. Vi foreslo på stedet for kommuneteknikeren at to eller tre målebolter ble innsatt i østligste sprekk på de smaleste stedene nederst og øverst. Man kan herigjennom få kontroll på hvorvidt blokken er i bevegelse. Hvis det viser seg at den er det, på en slik måte at det er fare for utrasning, bør iallfall den øvre halvdel av blokken sprenges istykker ovenfra og nedover. En forsiktig sprengning her skulle ikke medføre særlige vanskeligheter eller fare.

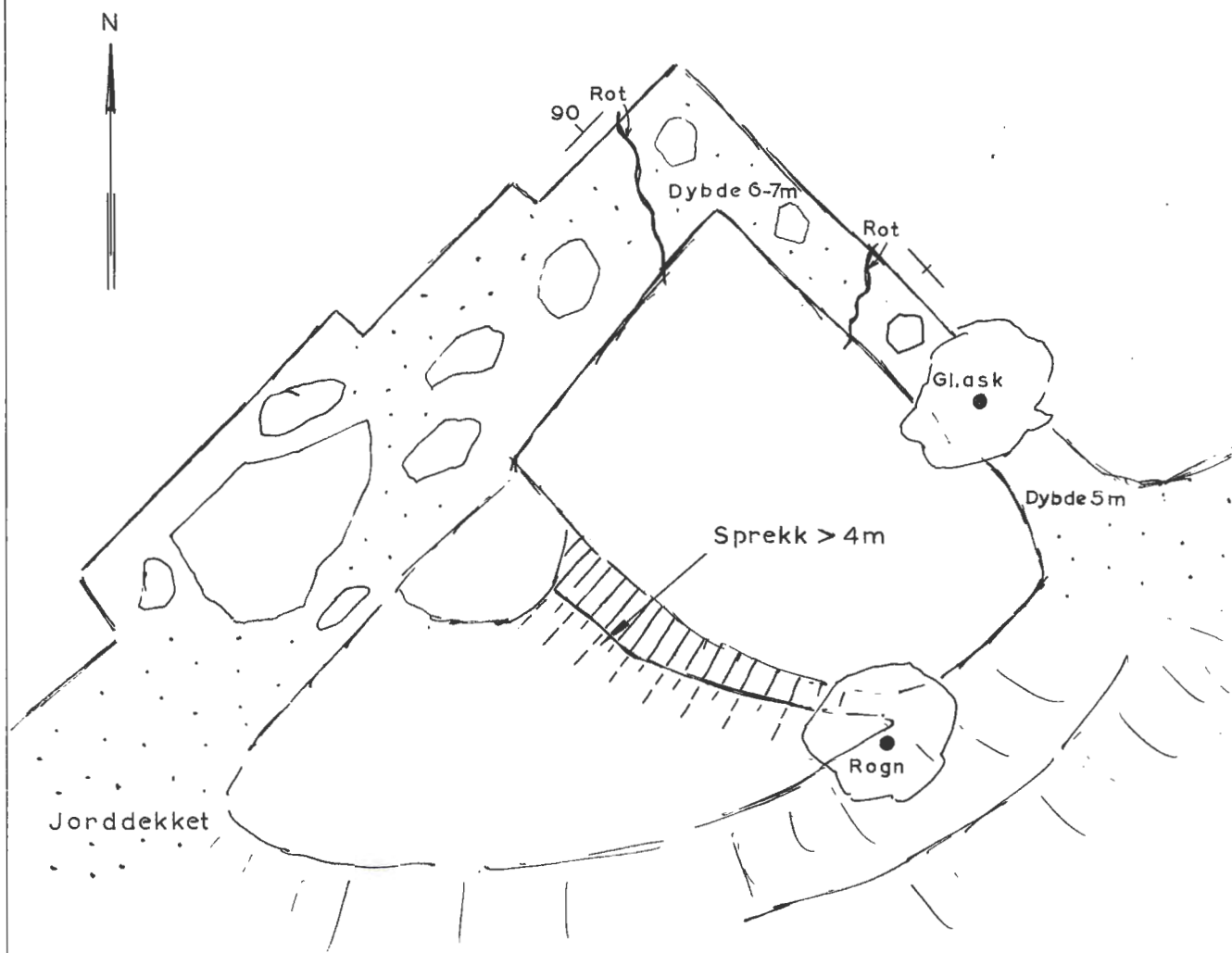
NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT



Laurits Bjerrum

Finn Jørstad
Finn Jørstad

FJ/mr.



Planskisse av avdelt blokk
Ca. 1:100

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT
Norwegian Geotechnical Institute

Rapport

Befaring i Hallandsgrend
i Leikanger i anledning
steinskredfare og nedsatte
målebolter

72611-1

30. oktober 1972

FORSKNINGSVEIEN 1, OSLO 3 — TLF. 69 58 80

Tegning nr. 001

002

003

31/10-72

30.10.72

BK/FJ

72611

Skj. nr. 029 3-71. 500. Sch.

INNLEDNING

Den 23. september 1959 foretok geolog Finn Jørstad ved Norges geotekniske institutt befaring av en ca. 150 m³ stor avløst blokk i Hallandsgrend i Leikanger p.g.a. frykt for utrasning. Kommuneingeniør K. Risnes deltok i befaringen. I rapport S.181, datert 6. nov. 1959, ble det foreslått at målebolter ble nedsatt over østre sprekk for å få konstatert eventuell bevegelse.

I desember 1970 ble målebolter nedsatt over østre og vestre sprekk ved den 150 m³ store blokken. Samtidig ble det også nedsatt målebolter på seks forskjellige steder ved sprekker som avdelte et langt større parti noe lenger mot vest. Dette partiet ble ikke angitt for å være skredfarlig i 1959 og ble derfor ikke besøkt eller undersøkt dengang.

I brev av 7.3.1972 til Statens Naturskadefond ber Komm.ing. i Sogndal om at det blir foretatt en geoteknisk undersøkelse av forholdene på stedet samtidig med at resultatene av bolte-målingene ble oversendt. Dette ble oversendt NGI fra Statens Naturskadefond i brev av 13.3.1972.

Nedenfor skal de to partiene kort beskrives. Det henvises til tegn. nr. 001 som viser beliggenheten.

BLOKKEN

Tegning nr. 002 viser øverst planskisse av blokken tatt fra rapport S.181, men med tilføyde lokaliteter for måleboltene samt snitt. De to røttene som i 1959 krysset sprekken var nå borte, enten råtnet eller revet over.

Det er satt opp enkle målebolter på innsiden og på utsiden av den største østligste blokken. Resultatet av bolte-målingene fremgår av tabellen nederst på tegning nr. 002. Det innerste målepunkt (MP7) viser en antatt horisontal bevegelse på 2-3 mm siden 1970, samtidig som det viser en antatt vertikal bevegelse på 55-60 mm. Det andre målepunktet (MP8) viser en antatt horisontal bevegelse på omtrent 35 mm og en antatt vertikalbevegelse på ca. 40 mm. Selv om dette er enkle målinger, er den antatte bevegelse så

31/10-72

30.10.72

BK/FJ

72611

stor at det neppe kan bety annet enn virkelig bevegelse av blokkene. Den ytterste blokken ligger på skrå og vil neppe kunne begynne å rulle; bolting eller betongklosser i foten vil derfor kunne forhindre at den begynner å gli. Dette vil sannsynligvis også kunne forhindre at blokken innenfor vil fortsette å bevege seg. Dette vil imidlertid kunne avgjøres ved fortsatt måling av boltene.

HAMMEREN

Tegning nr. 003 viser planskisse av hammeren samt en rekke snitt. Volumet av hammeren er anslagsvis mellom 5000 og 8000 m³.

Det er sannsynligvis det samme sprekkesystem som avdeler både hammeren og blokkene beskrevet ovenfor. Baksprekken ved hammeren er dekket av løsmasser, unntatt lengst øst og vest. De fleste steder har man derfor måttet grave seg gjennom morene-dekket for å kunne få satt opp målebolter.

Lengst vest (ved MP1) går sprekken ut i dagen, her er den omtrent 10 m dyp. Ved MP2 sees at det ligger ca. 1 m med morene (og litt torv) over fjelloverflaten. Sprekken er her 40-50 cm bred og delvis fylt med moreneblokker som må ha falt ned fra morenedekket under sprekkes utvidelse. Ved MP3 er sprekken fylt med jord, men åpning sees mot vest. Ved MP4 er sprekken også fylt (p.g.a. graving?), men man ser at den er åpen både ovenfor og nedenfor. Ved MP5 er sprekken 10-70 cm bred og mange m dype. Ved MP6 er sprekken ca. 30 cm bred og delvis fylt. Mellom MP6 og 7 ligger det en flyttblokk over sprekken.

Måleboltene nr.1-6 er antagelig for lange til å kunne gi pålitelige resultater. Målingene viser heller ikke så entydige resultater som ved målingene av MP7 og 8. Likevel synes målingene å antyde at det må være bevegelse i hammeren, slik som tabellen over måleresultatene nederst på tegning nr. 003 viser.

51/10-72

30.10.72

BK/FJ

72611

FORHOLDSREGLER

Blokken og hammeren ligger ca. 250 m.o.h. i et skrentparti. Nedenfor er det først skog, deretter fruktbeplantning. Den øverste boligbebyggelse ligger på vel 100 m.o.h. Terrengets helning er her gjennomgående 20-30°.

Da de to blokkene åpenbart er i bevegelse, må noe gjøres. De kan støttes opp ved hjelp av betongklosser, men prinsipielt vil man foreslå at de sprenges i stykker. Målingene av hammerens bevegelse har ikke gitt entydige resultater, og bevegelsen er i alle fall liten. Det foreslås at hammeren holdes under oppsikt og at boltene blir målt minst to ganger i året. Resultatet av de fortsatte målinger må avgjøre hva som eventuelt skal gjøres.

for
NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT

Bjørn Kjærnsli
Bjørn Kjærnsli

.....
Finn Jørstad
Finn Jørstad

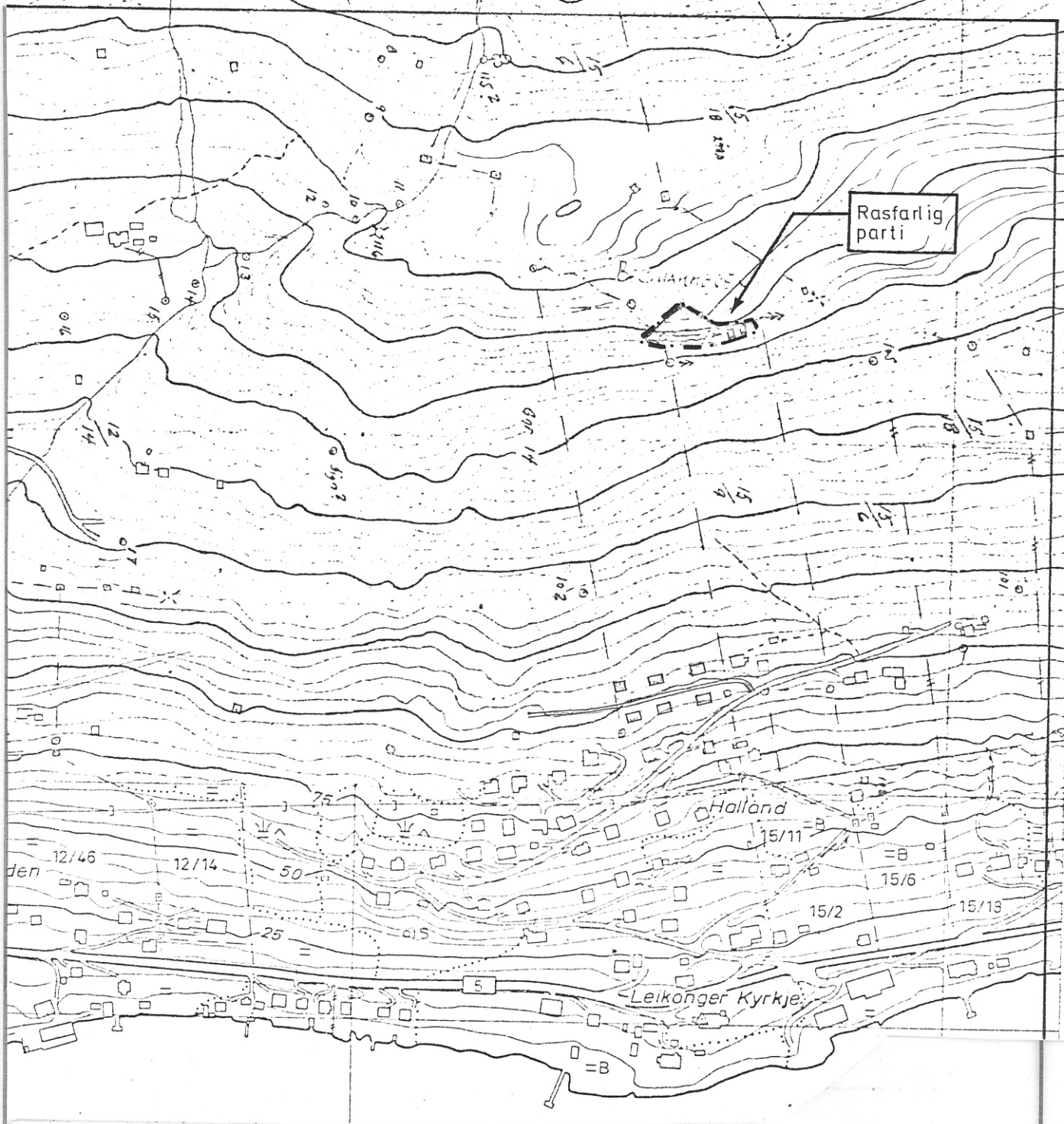
FJ/tj

31/10-72

30.10.72

BK/FJ

72611



31/10-72
77

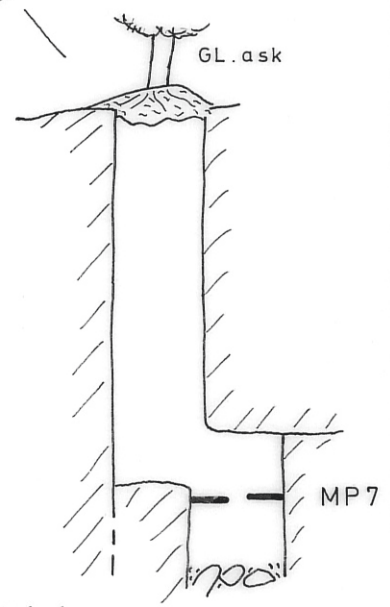
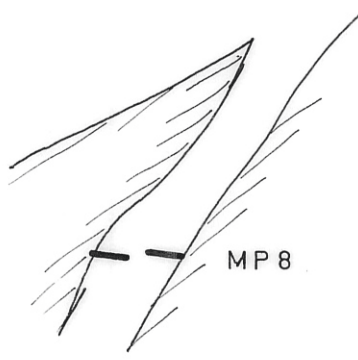
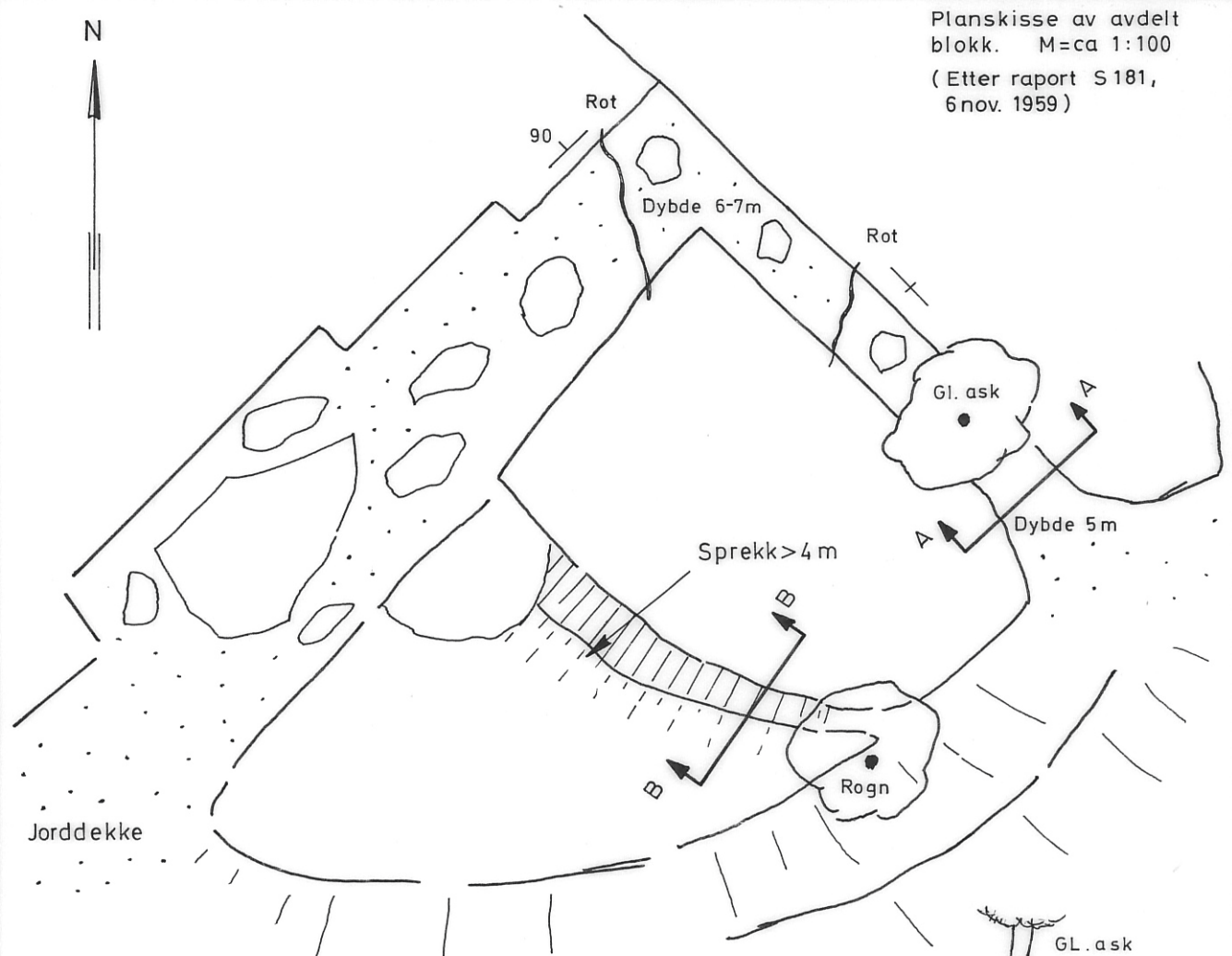
STEINSKREDFARE HALLANDSGREND LEIKANGER

UTSNITT AV ØKONOMISK KART SOM VISER
BELIGGENHETEN AV DET UNDERSØKTE PARTIET
M = 1 : 5000

Norges geotekniske institutt

Dato	2.10.72	Tegner	B. F.
Godkjent	<i>[Signature]</i>		
Oppdr. nr.	72611	Tegn. nr.	001

Planskisse av avdelt
blokk. M=ca 1:100
(Etter rapport S 181,
6 nov. 1959)



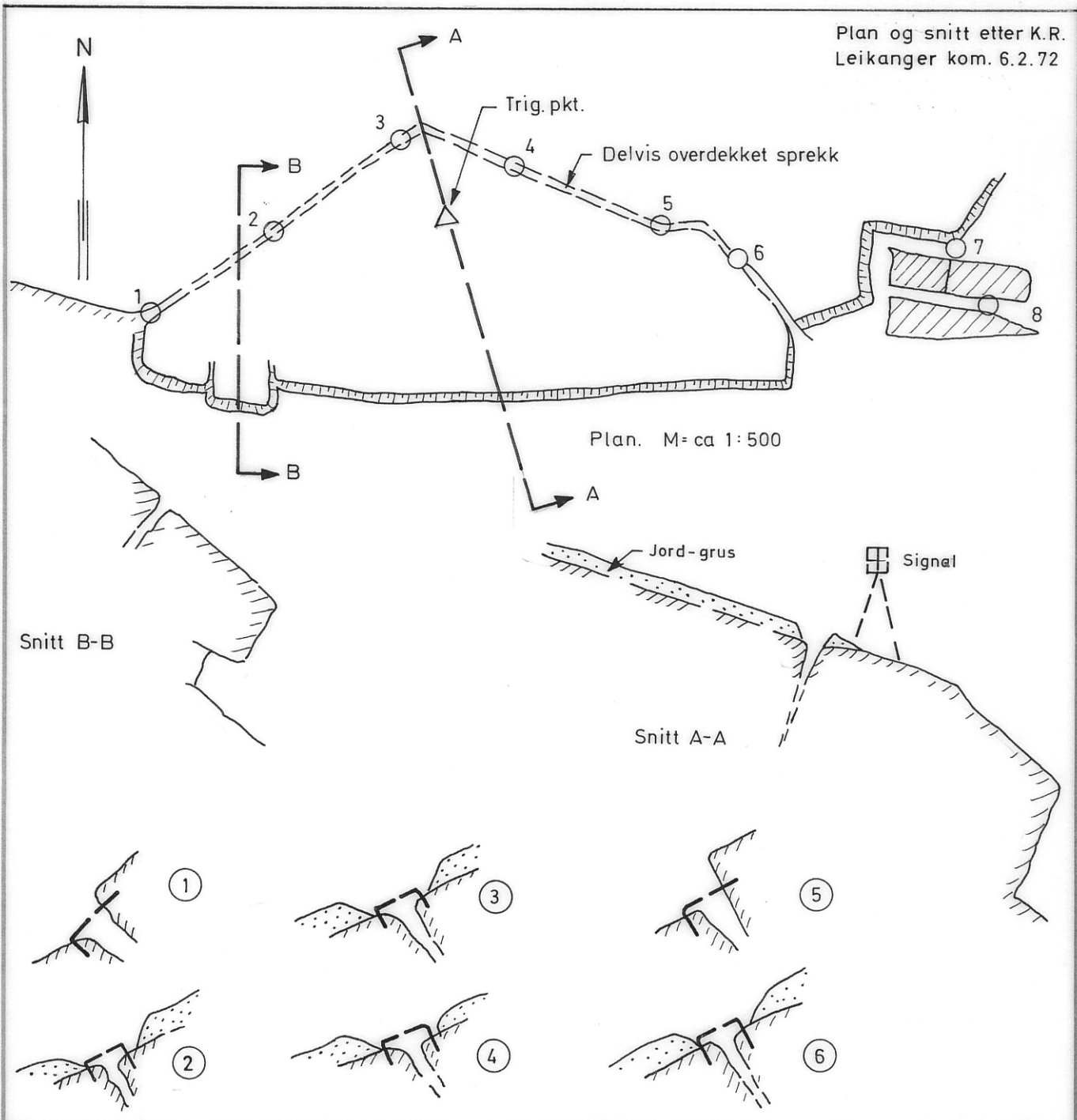
År	1970	1971	1972												
Dato	1.12	28.4	6.1	6.3	27.7										
MP 7	3.0	4.2	6,0	6,0 (60)	5,0 (55-60)										
MP 8	1,0	11,0	34,0	35,0	35 (40)										

STEINSKREDFARE HALLANDSGREND LEIKANGER

DEN UNDERSØKTE BLOKKEN MED BOLTER OG MÅLERESULTATER

Dato 3.10.72 Tegner B. F.
Godkjent *F.J.*
Oppdr. nr. 70611
Tegn. nr. 002

FJ 31/10-72



Ar	1970		1971			1972		
	Dato	1.12	24.4	6.1	6.3	27.7		
MP 1	1,0	2,0	4,0	4,0	4,0 (2-3)			
MP 2	1,0	2,5	3,0	3,5	2,5 (3)			
MP 3	1,0	2,8	5,5	5,5	4,5 (4)			
MP 4	1,0	0	1,5	2,0	0 1)			
MP 5	1,0	3,0	5,0	4,0	2)			
MP 6	1,0	1,0	1,5	2,0	1,0 (3)			

Avstand mellom bolte ender.
Tall i parentes angir sideforskyvning. Mål i mm.

1) Bolte-endene i beknip
2) Ikke målbar; søndre bolt løs

STEINSKREDFARE HALLANDSGREND LEIKANGER

DEN SKREDFARLIGE HAMMEREN MED BOLTER
OG MÅLERESULTATER

Norges geotekniske institutt

Dato	3.10.72	Tegner	B.F.
Godkjent	<i>F. J.</i>		
Oppdr. nr.	72 611		
Tegn. nr.	003		

31/10-72

F3

förrkopi

Skjema nr. 001. Jan. 72. 3000. 1

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT
Norwegian Geotechnical Institute

Vurdering av stabiliteten av en
berghammer i Hallandsgrend,
Leikanger, og forslag til sikrings-
tiltak.

72611-2

6. august 1973

FORSKNINGSVEIEN 1, OSLO 3 — TLF. 69 58 80

Tegning nr. 004
005
006
007
008
009
010
011

Foto.

INNLEDNING

Berghammeren i Hallandsgrend i Leikanger ble undersøkt for Statens Naturskadefond av overing. R. Lien og dr. N. Barton fra Norges geotekniske institutt den 14. juli 1973. Kommuneingeniøren i Leikanger og ing. R. Børstad fra Statens Naturskadefond deltok i befaringen og ga de ønskede opplysninger. En mer detaljert undersøkelse av stabiliteten av hammeren ble utført av N. Barton den 15. juli. For resultatene av de tidligere målinger av sprekkeutvidelse samt detaljer vedrørende de to avløste blokkene øst for hammeren, henvises til Instituttets tidligere rapport 72611-1, datert 30. oktober 1972. Det foreligger planer om sikringstiltak som omfatter bygging av en fanggrav og nedsprenning av hammeren.

GENERALLE STABILITETSBETRAKTNINGER

Hammeren (tegn. nr. 004) ligger mellom 245 og 265 m o.h. Umiddelbart nedenfor den 5-6 m høye skrenten som markerer fronten av hammeren, har terrenget en helning på ca. 45° . Denne store helningen reduseres betraktelig 25-35 m nedenfor foten av skrenten. Mellom 180 og 250 m av skråningen (regnet langs bakken) ovenfor de høyestliggende hus har en helning på bare 20° . To terrengprofiler av skråningen, AA og BB, er vist på tegn. nr. 005.

Store terningformede blokker som allerede er, og som i fremtiden kan bli, avløst fra hammeren vil på grunn av den potensielle fare for tyngepunktsendring være ustabile på den øvre del av skråningen som har en helning på 45° . Ved en kombinasjon av glidning og rulling vil de ha en tendens til, når de først er kommet i bevegelse, å aksellerere over de første 50 m av skråningen for derefter å retardere der skråningen har en helning på 20° . Den skråningslengde som er nødvendig for full retardasjon er vanskelig å forutsi. I forbindelse med de foreslåtte sikringstiltak og eventuelle kontrollerte forsøk med å utløse blokker vil det imidlertid være mulig å beregne den. I betraktning av den planlagte boligbebyggelse nedenfor er dette er viktig spørsmål.

DETALJERTE STABILITETSBETRAKTNINGER

Før vi går over til detaljer vedr. bergart og struktur i hammeren er det verd å merke seg at hammeren er den siste rest av en engang større og brattere skrent vesentlig bestående av fyllitt. Store blokker og sprekker kan også sees andre steder i området, særlig sydøst for hammeren. Forvitring og denudasjon er kontinuerlige prosesser som også kan være resultat av dypere liggende bevegelser. På mange måter ligner forholdene i Hallandsgrend på forholdene i den østre fjellsiden av Ovriseggi i Vik hvor det er tilsvarende sprekkedannelser i fyllitten (Piteau 1966). Hammeren i Hallandsgrend er den indre bruddkant for masser som allerede er rast ut. Fallet på skifriheten, som varierer mellom 18° og 36° , er likesom ved Ovriseggi ugunstig for stabiliteten.

13/B-73

En planskisse og tre profiler av hammeren er vist på tegn.nr. 006 og 007. Den vestre delen av hammeren (vestenfor profil pel 0), synes å hvile på relativt jevne avløsningsflater med fall utover på mellom 31° og 36° . Den 20 til 60 cm brede baksprekken synes å antyde at det også allerede er brudd langs basis av hammeren, i allfall til en viss grad. Hammeren som helhet er imidlertid blitt stående på grunn av at det ved foten ikke er gjennomgående, utoverhellige avløsningsflater, men tvertimot en oppstøttende effekt av fjellet umiddelbart nedenfor. Dette vil fremgå av profil pel 12 og pel 27 på tegn.nr. 007. Det er bare lengst vest og lengst øst at denne effekt ikke gjør seg gjeldende og hvor det derfor er virkelig ustabile masser.

Vestre delen av hammeren

Tegn.nr. 008 viser vestre del av hammeren hvor detaljerte strukturundersøkelser er foretatt. De skraverte felter, merket A, B og C, representerer overheng hvor det var mulig å måle fallet (helningen) på bruddplan for tidligere skred. Under A, B og den øvre del av C skyldes de tidligere skred en 20-40 cm tykk sone av kvartsitt som åpenbart representerer en endring i de opprinnelige sedimentasjonsbetingelser for bergarten og som har resultert i en mer kompetent sone enn hva fyllitten utgjør. Dette laget gir en jevnere skifrihetsflate mot den omkringliggende fyllitt enn skifrihetsflatene innen fyllitten, noe som vil fremgå av de detaljerte profiler i tegn.nr. 009, En vurdering av skjærfastheten av det jevneste skifrihetsplan er gitt i tillegget.

EU

Det er sannsynlig at det med tiden på grunn av forvitring, frostsprengning og vanntrykk vil gli ut flere blokker på disse jevne skifrihetsplan. De vil trolig rase ut når vertikale sprekker er blitt fullt utviklet bak dem. Den østre del av vestsiden av hammeren er sannsynligvis mer stabil enn vestenfor, noe som snitt 2 på tegn.nr. 008 viser.

Østre del av hammeren

72611-2 av 6/B-73

Ved den østre del av hammeren er det to store blokker som har beveget seg noen meter fremover. En skisse av disse blokkene med målebolter er gitt i Instituttets tidligere rapport (72611-1, tegn.nr. 002). Like bak blokken ved MP7 var det vannsig på en $13-18^{\circ}$ hellende skifrihetsflate som inneholdt en 5-10 cm tykk sprekkefylling av siltig sand og fliser av fyllitt. Finfraksjonen er blitt undersøkt og viste seg å inneholde vesentlig glimmer.

Denne skifrihetsflaten er sannsynligvis den samme som de to blokkene ligger på. Det er derfor viktig å merke seg at disse ikke har sklidd videre ut på denne sterkt forvitrede overflaten.

13/6-73

At det imidlertid er bevegelse i blokkene synes klart fra boltemålingene. På hvilken måte bevegelsene foregår er vanskeligere å si. Selv om disse blokkene er relativt store tyder de på mer tendens til mindre avløsninger slik som i vestre del av hammeren.

FORESLÅTTE SIKRINGSTILTAK

Et studium av flyfotos (Widerøe, oppdrag 1614, bilde A9 og A10, M: 1 : 6000) synes å indikere at på grunn av den lokale topografi vil blokker fra hammeren ikke rulle utenfor det området nedenfor hammeren som er beplantet med frukttrær og som synes å være begrenset til gnr. bnr. 15/9. Profilene AA og BB (tegn.nr. 005) er lagt langs eiendomsgrensene for 15/9. Den foreslåtte fanggrav med voll som også fremgår av tegn.nr. 004, har en lengde på 150 m og strekker seg noe utenfor denne eiendom på begge sider. Et tverrsnitt av de foreslåtte sikringstiltak er vist på tegn.nr. 010. Volumet av utgravningen (fanggraven) er omtrent 5000 m^3 og dette er det samme som for den foreslåtte voll nedenfor. Den øvre grense for fanggraven ligger omtrent på kote 150 m. Etter flyfotoene antas det at fjell ikke vil bli påtruffet i denne relativt grunne fanggraven (3 m), i allfall ikke i nevneverdig grad. Den nedre begrensnig av vollen vil såvidt gå klar av den planlagte vei her, noe som fremgår av tegn.nr. 004.

KONKLUSJON

I betraktning av at hammeren har en god fot i fronten (unntatt lengst øst og lengst vest) ansees en nedsprenngning som et ikke nødvendig sikringstiltak. Selvom hele hammeren ble nedsprengt helt inn til baksprekken ville det på grunn av den lokale skifrihet sannsynligvis fremdeles være en like høy ustabil skrent igjen og nu trolig uten noen støtte i foten. Ut fra dette vil Instituttet foreslå følgende :

- 1) Det graves en 150 m lang fanggrav på ca. 5000 m^3 med en tilsvarende stor voll på nedsiden. Denne skal oppfange eventuelle rullende blokker som ikke har klart å stanse på den 20° skråningen ovenfor.

- 13/8-73
- 2) Fanggravens effektivitet kontrolleres ved å nedrase (ved sprengning eller utkiling) enkelte store blokker under kontroll. Da de to blokkene lengst øst i alle fall synes å være i bevegelse bør disse eller deler av dem nedrases. For også å undersøke forholdene lengst vest bør en eller to blokker nedrases her.
 - 3) For kontrollens skyld bør boltemålingene fortsette. Da de eksisterende bolter stort sett er for lange til å kunne gi helt pålitelige resultater, anbefales at korte stålbolter som måles med målebånd settes opp i tillegg.

for

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT



Finn Jørstad

FJ/hc

APPENDIX

Rock samples were obtained from beneath the overhanging blocks from locations A, B and C (tegn.nr. 008) at the west end of berghammeren. Point load tests (reference 2) were performed to obtain an estimate of compressive strength. These values were used to estimate the shear strength of the smooth, nearly planar foliation joints as shown by profile XX, tegn.nr.009, using the method described in reference 3.

	Compressive strength (Kg/cm ²)
Phyllite (parallel to foliation)	Minimum = 212
	Medium = 328
	Maximum = 636
Quartzite (parallel to foliation)	Minimum = 472
	Medium = 1237
	Maximum = 1740

For shear strength estimates the compressive strength range for the weakest rock (phyllite) was used together with the following assumptions :

Roughness : Class C (smooth, nearly planar) JRC = 5
 Basic friction angle : $\phi_b = 25^\circ$ (mica rich rock)

The shear strength envelope obtained (reference 1) is shown in tegn.nr. 011. The approximate range of normal stress was obtained assuming a mean cross-section of the slope at the westend of hammeren.

Mean rock overburden	5.5 metres
Assumed rock density	1.70 tons/m ³
Mean dip of shear plane	34 ^o (31 ^o to 36 ^o measured)

The analysis shows that several blocks must be very close to failure at the west end of hammeren. Slightly steeper dip angles, or **small** water pressures would be sufficient to dislodge blocks, provided they were separated from stable rock by tension cracks.

REFERANSER

1. Piteau, D. R. Investigation of rock slide area in Ovrís Valley, West-Norway.
NGI Int. Rep. F. 299- July 13th, 1966
2. Broch, E. and J. A. Franklin. The point-load strength test. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Vol. 9, pp. 669-697, 1972
3. Barton, N. R. The shear strength of rock joints in theory and practice.
Engineering Geology, Elsevier, 1973

13/8-73

RJ

72611-2 av 6/8-73

Skj. nr. 036. 3-73. 5000. Sch.

13/8-73



Jevnt skifrighetsplan under felt C (tegn.nr.008). Profil XX (tegn.nr. 009) ble målt her.



Ujevnt skifrighetsplan under felt C. Profil YY ble målt her.

13

72611-2 av 6/8-73



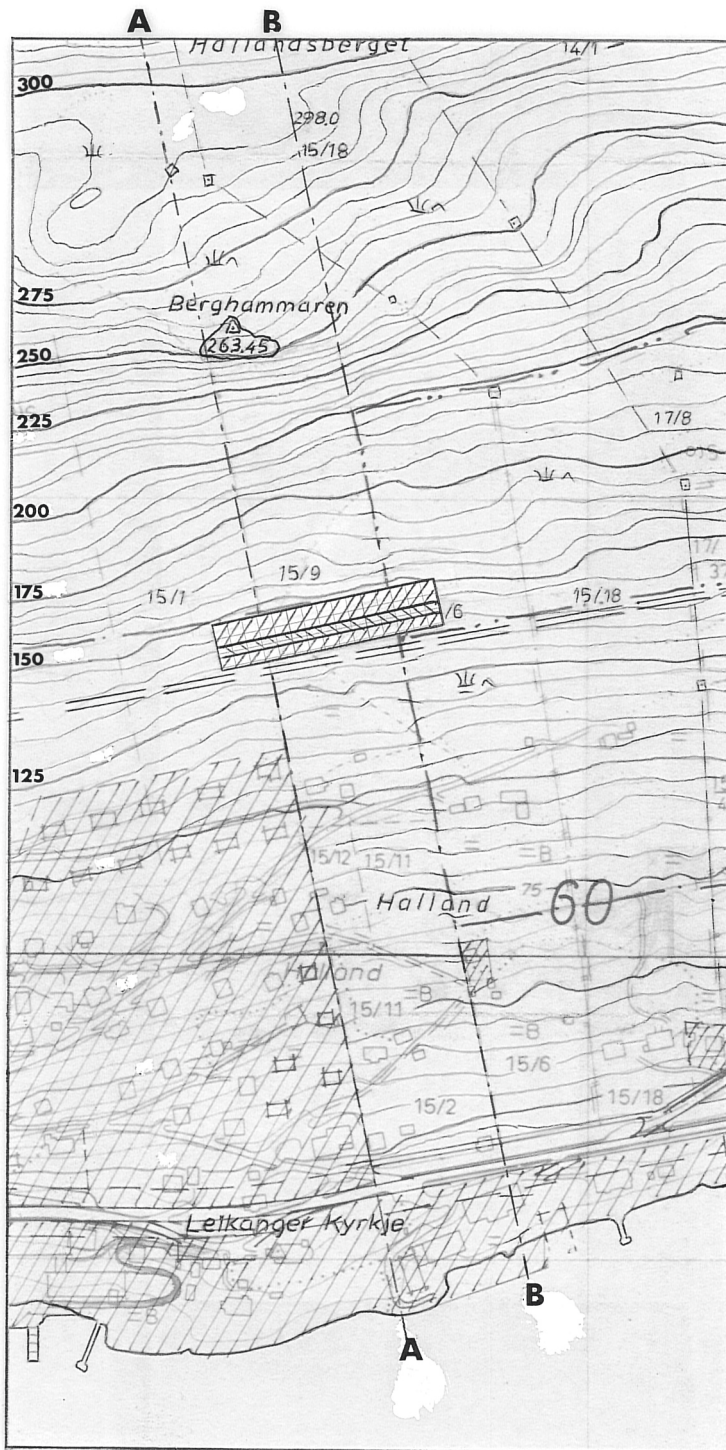
Fot av skrenten mellom pel 0 og 12 (tegn.nr. 006). Tilsynelatende stabil uten den oppstøttende effekt som finnes 10 m lenger ut.



Fot av skrenten mellom pel 0 og 12 (tegn.nr. 006) sett mot vest.

13/8-73

F3



STEINSKREDFARE HALLANDSGREND LEIKANGER

Dato 24-7-73 Tegner NB

UTSNITT AV ÖKONOMISK KART SOM VISER BELIGGENHETEN AV DET UNDERSÖKTE PARTIET OG DEN FORESLÅTTE FANGGRAV MED VOLL

Godkjent

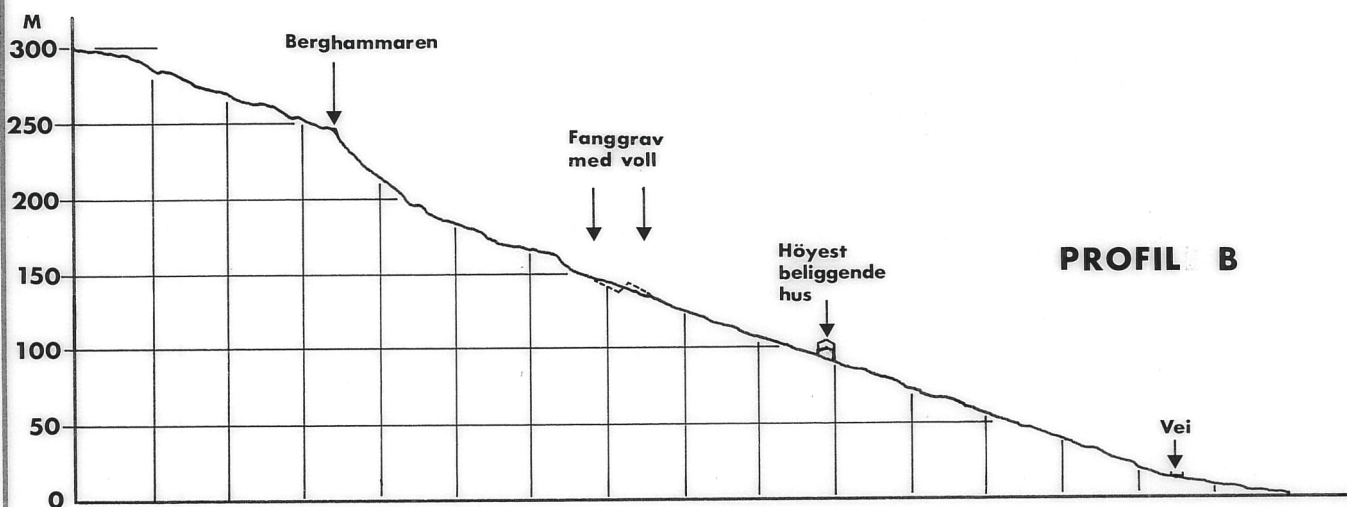
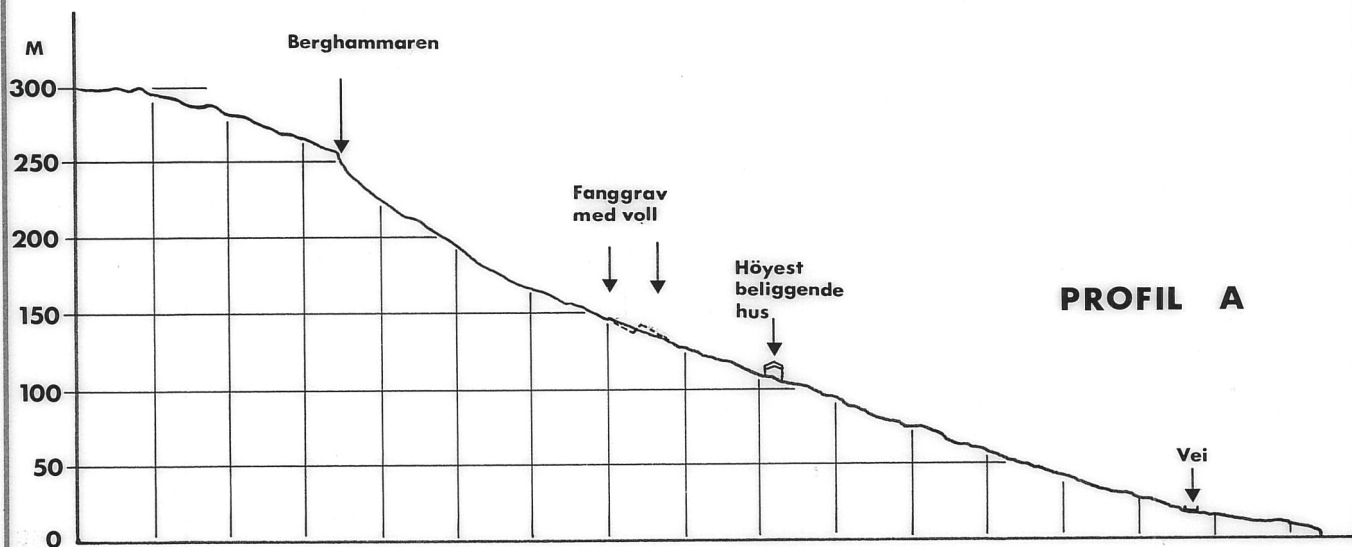
M = 1:5000

Oppdr. nr. 72611-2

Norges geotekniske institutt

Tegn. nr. 004

13/8-73

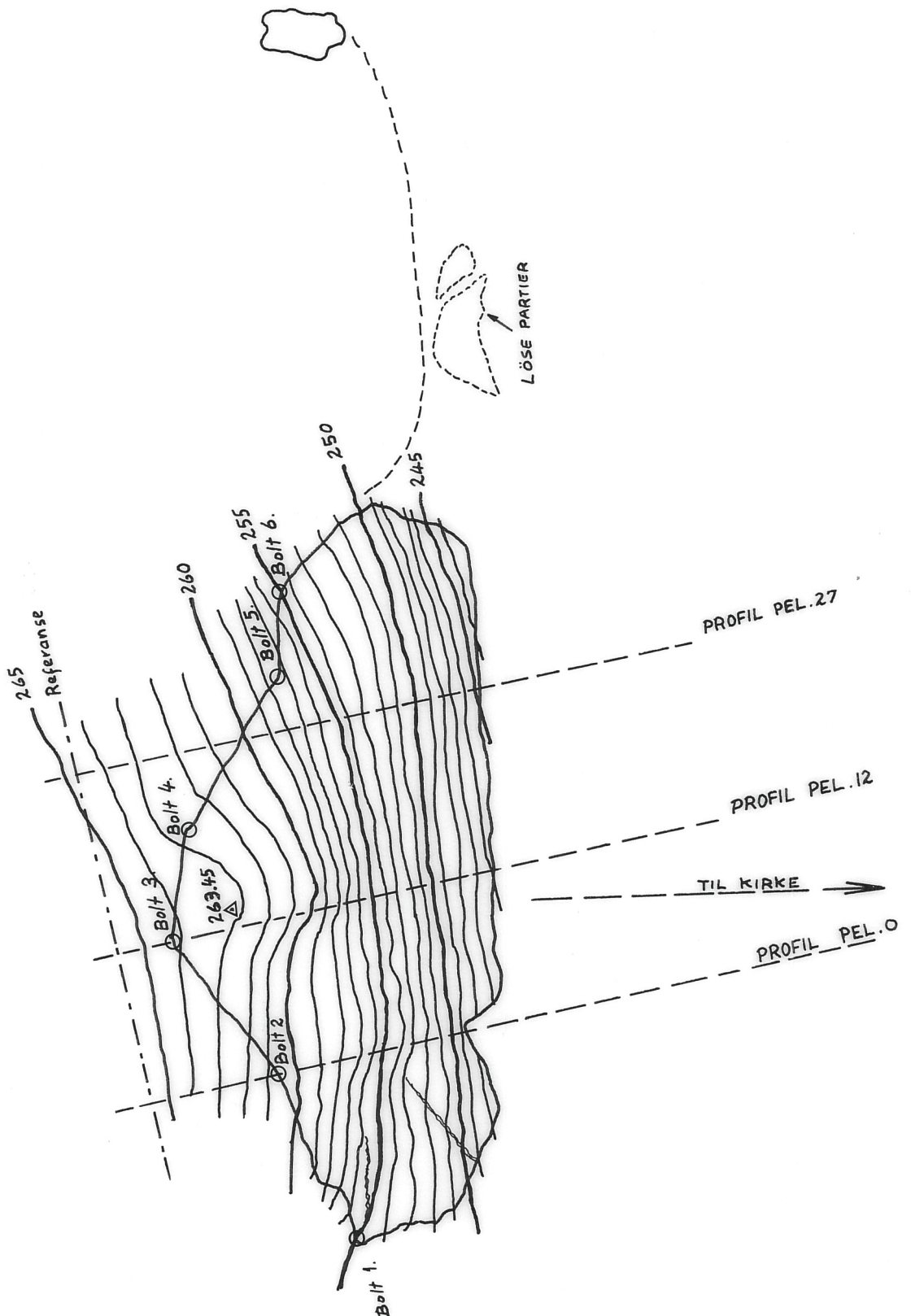


F7

STEINSKREDFARE HALLANDSGREND LEIKANGER	Dato	Tegner
	24-7-73	NB
PROFILER AA OG BB BASSERT PÅ TEGN. NR. 004	Godkjent	
	Oppdr. nr.	72611-2
M = 1:5000	Tegn. nr.	005
Norges geotekniske institutt		

Skjema nr. 001. Jan. 72. 3000. Tørrkopi

13/8-73



FJ

STEINSKREDFARE HALLANDSGREND LEIKANGER

PLANSKISSE AV HAMMEREN

M=1:500

Norges geotekniske institutt

Dato 24-7-73	Tegner N.B
-----------------	---------------

Godkjent

Oppdr. nr. 72611-2

Tegn. nr. 006

13/8-73

FJ

m.o.h.

265

255

245

31-36

Profiler etter Ø. Johnsen
Leikanger kom. 15/5-73

PROFIL PEL 0.

265

255

245

PROFIL PEL 12.

265

255

245

235

m.o.h.

PROFIL PEL 27.

STEINSKREDFARE HALLANDSGREND LEIKANGER

Dato 24-7-73 Tegner MB

PROFILER AV HAMMEREN

Godkjent

M = 1:400

Oppdr. nr. 72611-2

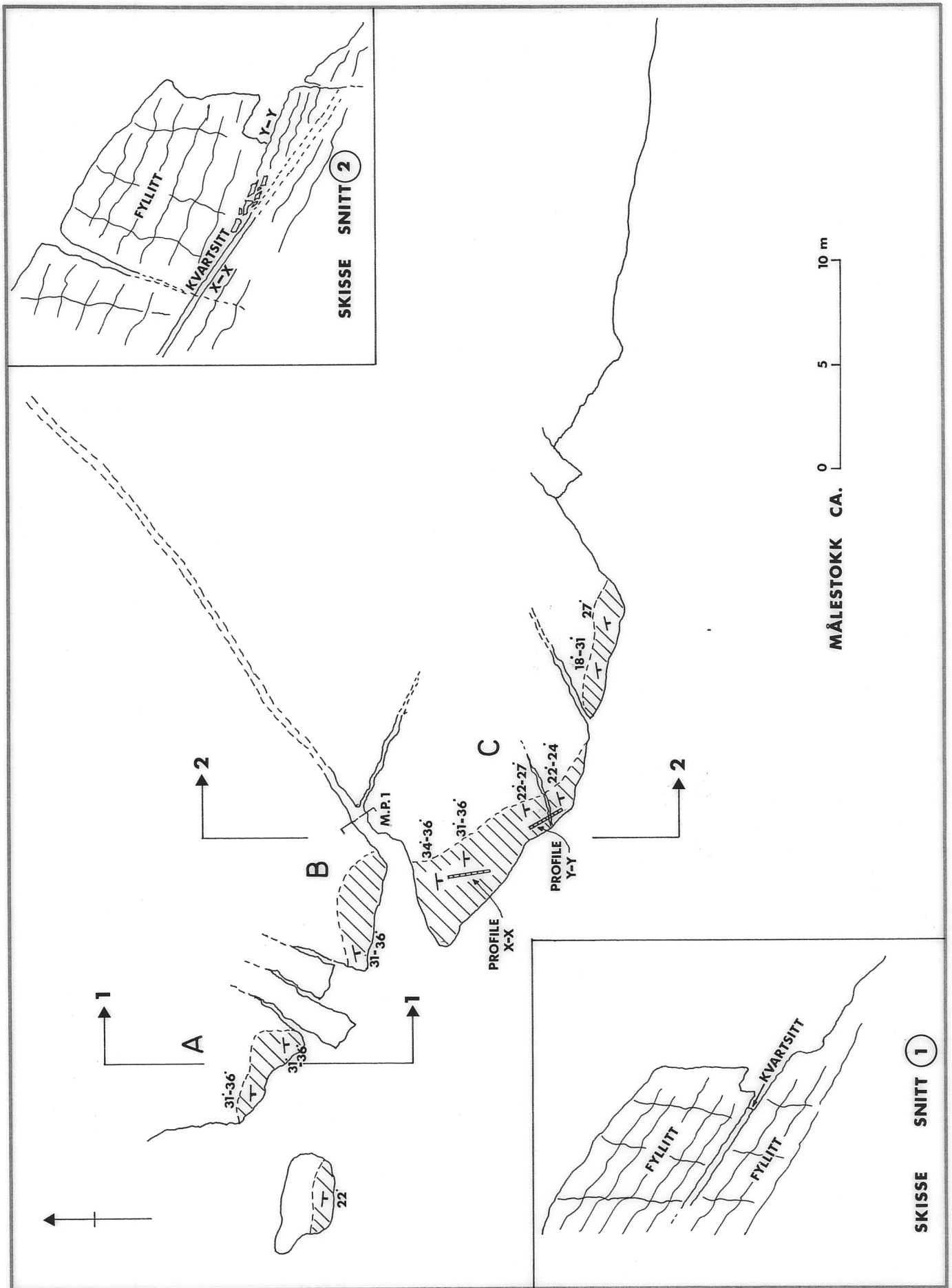
Norges geotekniske institutt

Tegn. nr. 007

Skjema nr. 001. Jan. 72. 3000. Tørrkopi

F7

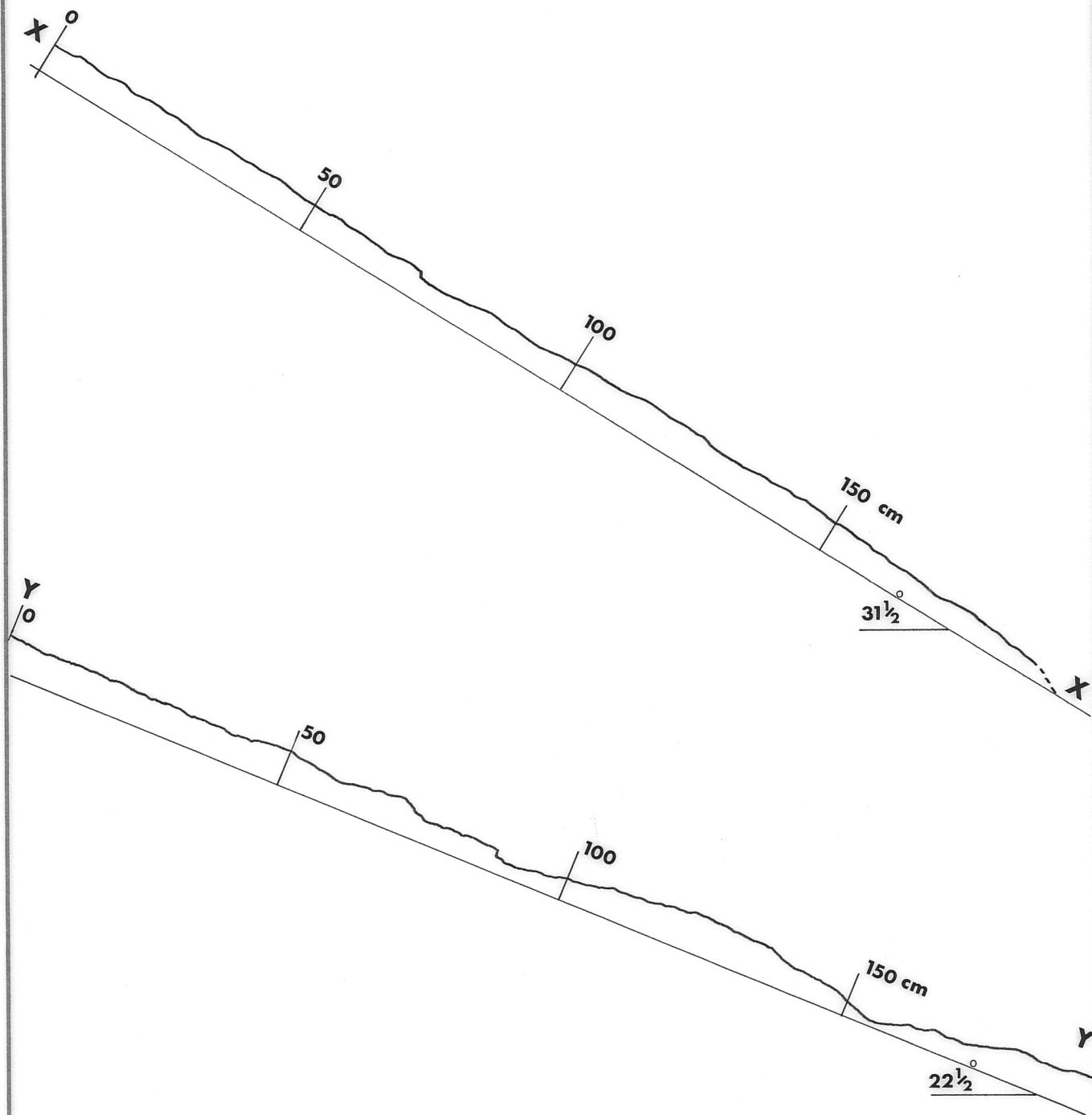
Skjema nr. 001. Jan. 72. 3000. Tørrkopi



STEINSKREDFARE HALLANDSGREND LEIKANGER		Dato 24-7-73	Tegner NB
PLANSKISSE OG PROFILER AV VESTRE DEL AV HAMMER- EN VISENDE Kritiske SPREKKER		Godkjent	
		Oppdr. nr. 72611-2	
Norges geotekniske institutt		Tegn. nr. 008	

13/8-73

FJ



STEINSKREDFARE HALLANDSGREND LEIKANGER

Dato
24-7-73

Tegner
NB

PROFILER SOM VISER FORSKJELLIG SKIFRIGHETSPLAN
PROFIL XX: MELLOM KVARTSITT OG FYLLITT
PROFIL YY: I FYLLITTEN

Godkjent

Oppdr.
nr. **72611-2**

Norges geotekniske institutt

Tegn.
nr. **009**

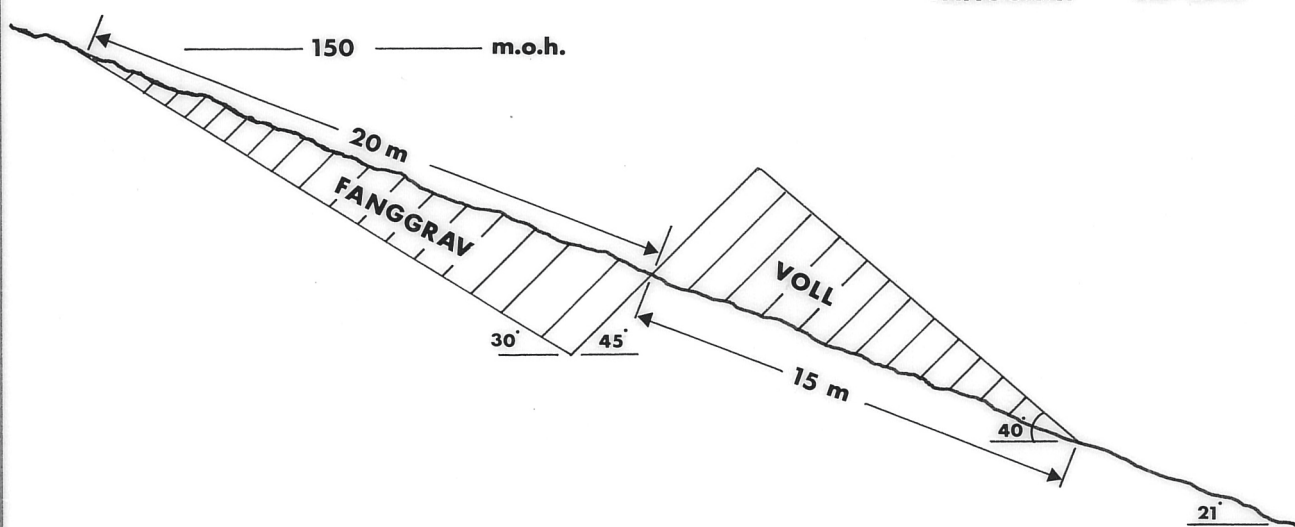
13/8-73

FJ

DIMENSJONER I PLANET

VOLL 150*15 m

FANGGRAV 150*20 m



STEINSKREDFARE HALLANDSGREND LEIKANGER

Dato
24-7-73

Tegner
NB

OMTRENTLIGE DIMENSJONER PÅ DEN
FORESLÅTTE FANGGRAV MED VOLD

Godkjent

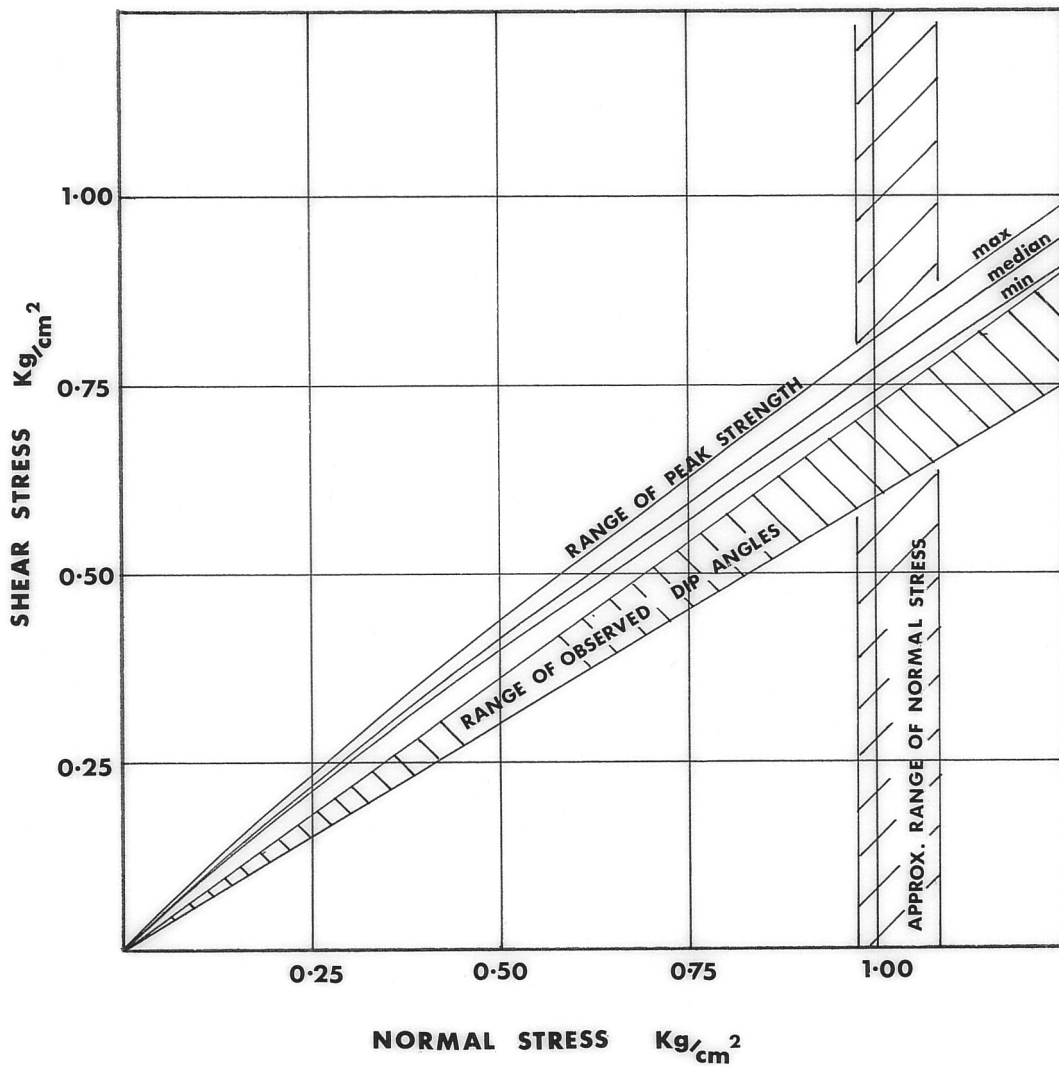
M=1:250

Oppdr.
nr. 72611-2

Norges geotekniske institutt

Tegn.
nr. 010

13/8-73



FJ

<p>STEINSKREDFARE HALLANDSGREND LEIKANGER</p>	<p>Dato 24-7-73</p>	<p>Tegner NB</p>
<p>APPENDIX: ESTIMATE OF SHEAR STRENGTH AND NORMAL STRESS DEMONSTRATES THE POSSIBILITY OF FURTHER BLOCK SLIDES AT WEST END OF THE CRAG, (hammeren).</p>	<p>Godkjent</p>	
<p>Norges geotekniske institutt</p>	<p>Oppdr. nr. 72611-2</p>	<p>Tegn. nr. 011</p>

Rapport 3880.01 25.3.1974.

Ingeniørgeologisk rapport
vedrørende diamantkjerneboringer
i Hallandsberget,
for Leikanger kommune.

A/s GEOTEAM

GEODESI GEOFYSIKK GEOTEKNIKK INGENIØRGEOLOGI

1. INNLEDNING

Etter oppdrag fra Leikanger kommune har A/S Geoteam på vegne av kommunen besørget gjennomført diamantkjerneboringer i en antatt rasfælig fjellhammer i Hallandsberget, Leikanger. Hensikten med boringene har vært å fastslå tilstedeværelse og forløp av en undersleppe under hammeren.

Boreprogrammet er lagt opp i samråd med Statens Naturskadefond ved konsulent J. Børstad.

2. UTFØRTE BORINGER

Diamantkjerneboringene er utført av firma A/S Grunnboring, Oslo. Boringene ble gjennomført i perioden 26.11.1973 - 26.1.1974. Det ble boret 4 diamantborhull med en samlet lengde på 64,6 m. Ved boringene ble benyttet 56 mm krone (42 mm kjernediameter).

Plasseringen av borhullene fremgår av tegning nr. 3880-05. Utsetting og innmåling av borhullene er foretatt av Leikanger kommune.

3. KJERNEBESKRIVELSE

Geologisk beskrivelse av borkjernene er foretatt av A/S Geoteam. Kjernebeskrivelsen er gitt på tegning nr. 3880-1 til -4. I bilag nr. 1 - 4 er vist fargefotografier av kjernebassene. Bergarten i borkjernene er fyllitt. Enkelte partier i fyllitten er kvartsrike.

I alle fire borhull er det registrert en 6 - 14 cm mektig sleppe. I hull 1 og 2 i profil pel 12 og hull 1 i profil pel 27 har sleppen gitt kjernetap samt tap av borvann. I hull 3 i profil pel 12 har sleppen karakter av et 6 cm mektig oppsprukket og forvitret parti. I hull 3 har man for øvrig indikasjoner på to parallelle 2 - 3 cm mektige slepper i lavere nivå.

Ut fra boringene kan utledes at den registrerte sleppe har et nær plant forløp med strøkretning som antydnet på tegning 3880-5 og en fallvinkel på ca. 30° mot syd, at sleppen har en åpen og forvitret karakter, og at den må forventes å underkjøre hele den aktuelle sprekkeavgrensede fjellhammer.

4. STABILITETSFORHOLD

Detaljerte undersøkelser og vurderinger av stabilitetsforholdene ved den aktuelle fjellhammer er utført av Norges geotekniske institutt og beskrevet i deres rapport 72611-2 datert 6.8.1973. Rapporten konkluderer med at nedsprenkning av hammeren ansees som et ikke nødvendig sikringstiltak, og gir forslag om etablering av en fanggrav og voll i dalsiden nedenfor hammeren, kontrollert nedrasning av enkelte blokker for kontroll av fanggravens effektivitet, samt fortsatte kontrollmålinger av sprekkebredder.

De foretatte diamantkjerneboringer bekrefter antakelsen i nevnte rapport om at det foreligger en sleppe eller bruddplan langs basis av hammeren. Videre viser boringene at denne sleppen har en fallvinkel på ca. 30° , d.v.s. noe slakere fall enn de $31 - 36^{\circ}$ som er antatt i nevnte rapport.

A/S Geoteam har ikke foretatt noen befaring i marken for vurdering av stabilitetsforholdene. Ut fra de beskrivelser som er gitt i rapport nr. 72611-2 fra NGI samt de opplysninger som er fremkommet ved diamantkjerneboringen, finner vi det usannsynlig at fjellhammeren plutselig kan rase ut som en monolittisk enhet.

Derimot finner vi det sannsynlig at avløsning og utrasing av enkelte fjellblokker med tiden kan forekomme, som omtalt i NGI's rapport.

De foreslåtte sikringstiltak med etablering av fanggrav og voll samt kontroll av sprekkebredder ved hjelp av målebolter synes

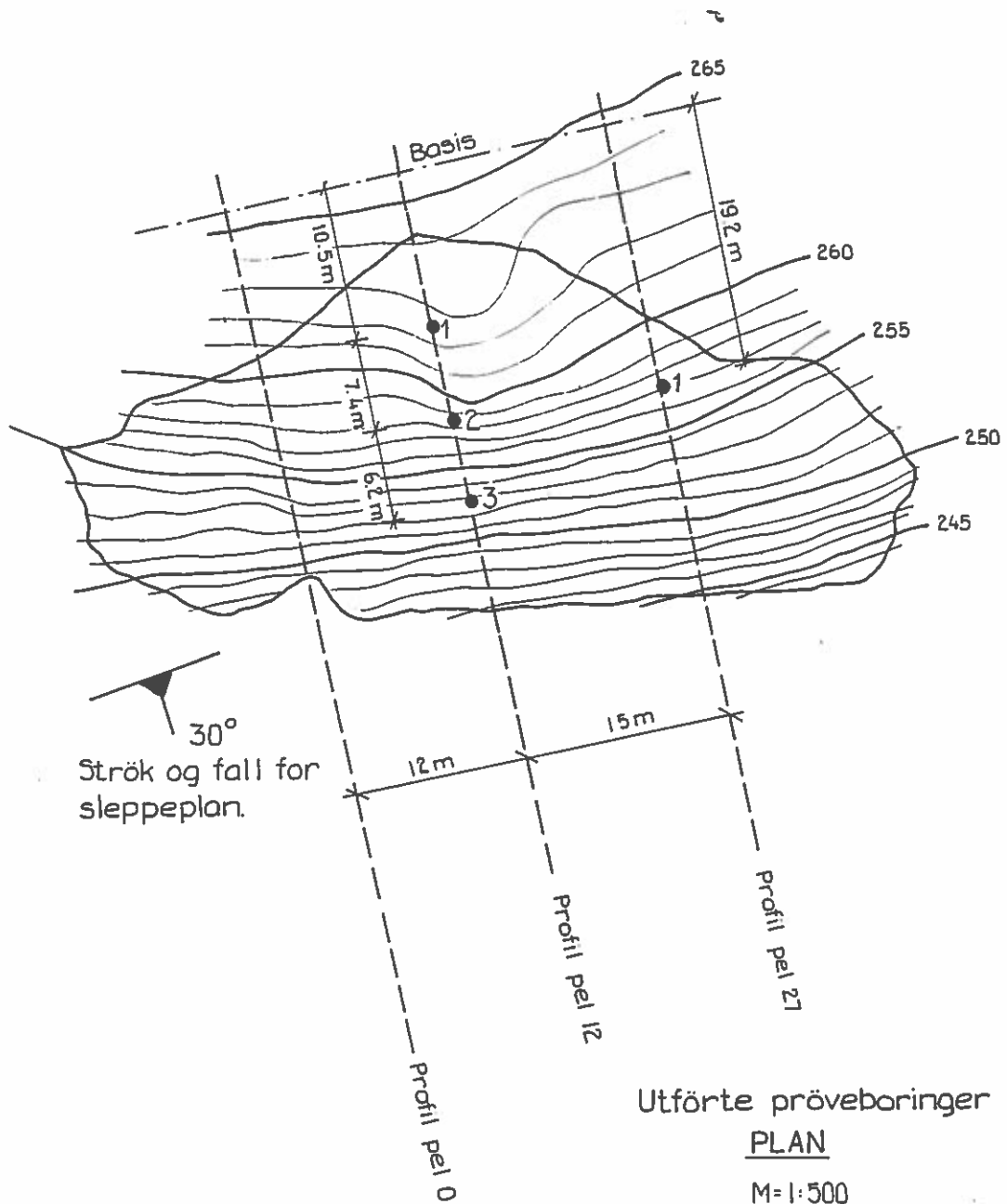
hensiktsmessige, og opplysningene fra de foretatte diamantkjerneboringer gir, etter vår vurdering, ikke grunnlag for å foreslå endringer i dette opplegget.

Oslo, den 25. mars 1974

A/S GEOTEAM



Jan Bergh-Christensen



Utförte prøveboringer
PLAN
 M=1:500

Plan målt 15.5.73 og profiler målt 21.1.74
 av Leikanger kommune.

c			
b			
a			
Rev.	Dato	Sign.	

Oppdragsgiver: Leikanger kommune

Anlegg: Diamantboringer, Hallandsgrend

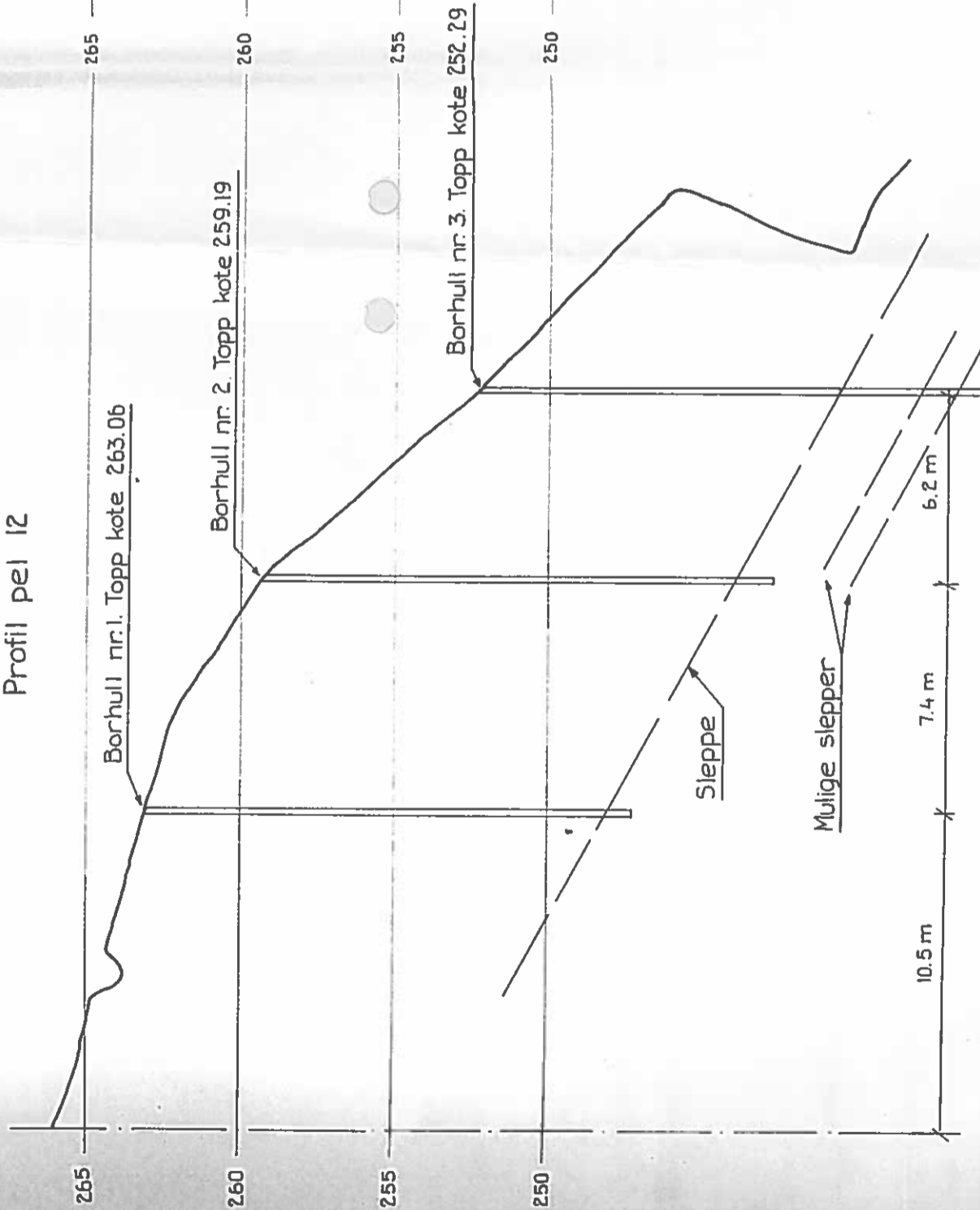
Sted: Leikanger

Plan og profiler	Målestokk	Målt	
	1:500	Beregn.	
	1:200	Tegn. JBC/AS	22.3.74
		Klr.	

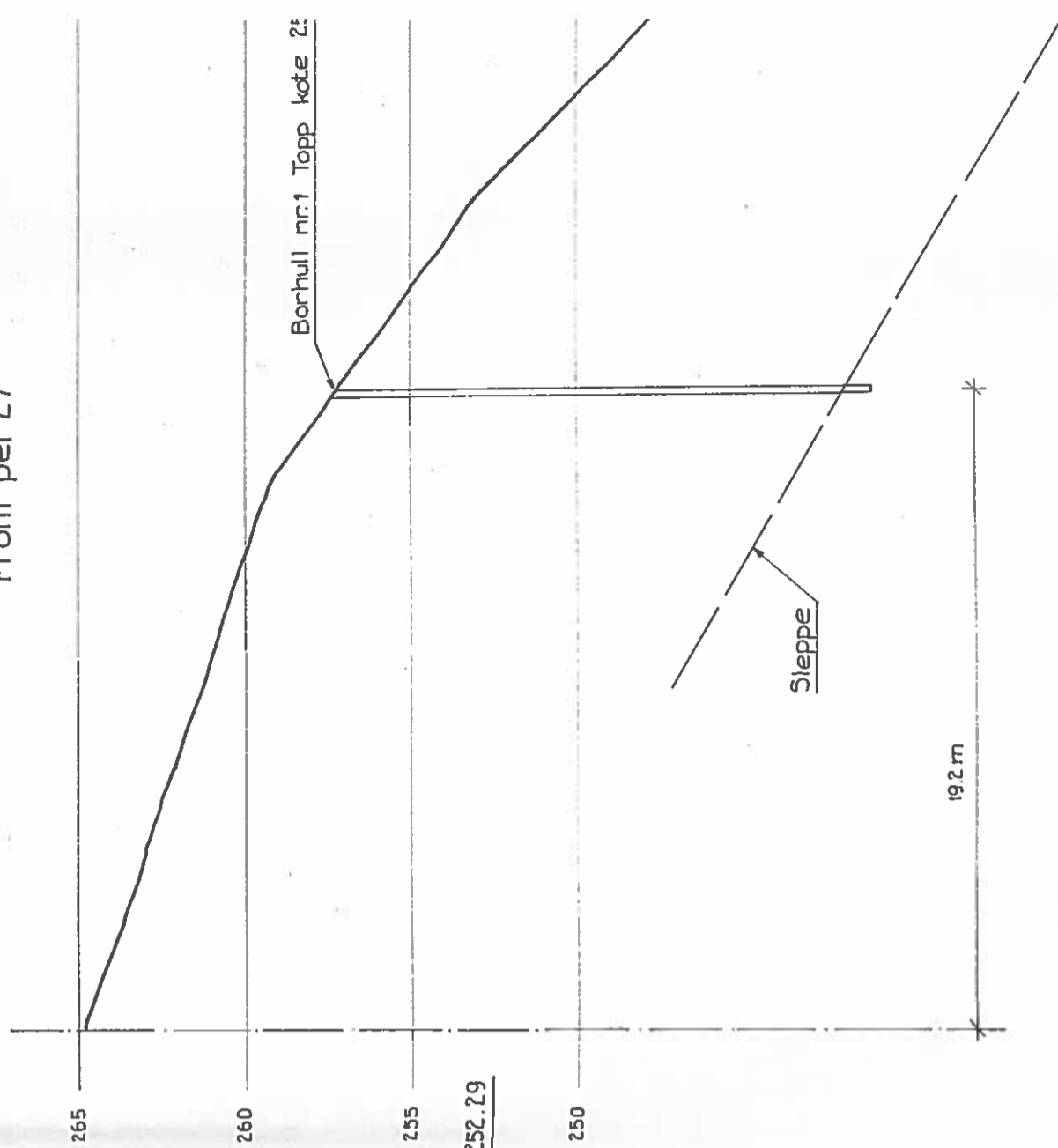
A/s GEOTEAM
 GEODESI GEOFYSIKK GEOTEKNIKK INGENIØRGEOLGI

Tegn. nr. 3880-5

Profil pel 12



Profil pel 27



NGI



HALLANDSBERGET - LEIKANGER

SIKRING AV BYGGEFELT

72611-3 13. FEBRUAR 1975

Norges geotekniske institutt

10/3-75

HALLANDSBERGET - LEIKANGER
SIKRING AV BYGGEFELT

72611-3 18. FEBRUAR 1975

SPREKKENE I HALLANDSHAMMEREN BØR KONTROLLMÅLES 2 GANGER
I ÅRET, VED REGISTRERING AV EVENTUELL BEVEGELSE BØR SPØRS-
MÅLET OM KONTROLLERT NEDSPRENGING VURDERES.

KL/SOL

FAREN FOR RAS FRA HAMRENE VEST FOR SIKRINGSVOLLEN MOT
PLANLAGT UTBYGGINGSOMRÅDE ANSEES LITEN.

Ved det rasfarlige partiet i Hallandshammeren har vi
plassert nye målebolter for å kunne få registrert eventuelle
bevegelser.

Vest for sikringsvollen er det et oppsprukket fjellparti
ovenfor et planlagt byggefelt. Muligheten for nedfall er
til stede, men de topografiske forhold er slik at eventuelle
blokker sannsynligvis vil stoppe ovenfor utbyggingsområdet.
Det tilrås likevel at en avstår fra bebyggelse av tomt 123,
se tegning nr. 013.

10/3-75

Det planlagte boligområdet ansees sikret mot ras fra Hallands-
hammeren når sikringsvollen er fullført.

BEFARINGEN BLE FORETATT I SEPTEMBER OG OKTOBER 1974

18. september 1974 ble det foretatt en befaring av sikrings-
vollen under Hallandshammeren på Leikanger. Befaringsdeltakere
var:

Leikanger kommune - Kommuneing. K. Risnes
 - Ing. Ø. Johnsen

Statens Naturskadefond - Tekn. konsulent J. Børstad

NGI - Lic.techn. Reidar Lien
 - Siviling. J. O. Larsen

KL/SOL

Ved befaringen ble man enige om å sette ned nye målebølter ved
sprekkene i Hallandshammeren for fortsatt å holde det ras-
farlige partiet under oppsikt. Naturskadefondets tekniske kon-
sulent ba dessuten NGI om en vurdering av rasfaren fra en hammer
vest for sikringsvollen.

Måleboltene ble satt ned av Ø. Johnsen og J. O. Larsen i tids-
rommet 30. september til 2. oktober, og kontrollmålt 25. oktober.
Måleresultatene er vist på tegning nr. 012.

Befaringen i det rasfarlige området ved kote 200 vest for
sikringsvollen ble foretatt av J. O. Larsen den 2. oktober.

22611-3

*SJU MÅLEBOLTER BLE PLASSERT VED HALLANDSHAMMEREN OG TRE VED DE
STORE BLOKKENE PÅ ØSTSIDEN*

Det ble plassert sju målebølter ved spaltene som danner bakre
begrensning av det rasfarlige massiv i Hallandshammeren.

10/3-85

Boltene, med nummer 11, 12 og 13 ved den SØ-NV-gående spalte, og boltene nummerert 14, 15 og 16 langs den SV-NØ-gående spalte. Bolt nr. 17 står ved en observert Ø-V-gående spalte som danner bakre begrensning av sprekkeavgrensede blokk på hammerens vestsida, se tegning nr. 012.

Ved de store blokkene på hammerens østside er det satt ned en målebolt ved spalten mellom indre blokk og bakenforliggende fjell, og to bolter mellom blokkene.

BOLTENE BØR KONTROLLMÅLES 2 GANGER I ÅRET

For å få registrert eventuelle bevegelser i de løse partier, bør det foretas rutinemessige kontrollmålinger vår og høst.

KL/JOL

Dersom det registreres forskyvninger som indikerer progressiv bevegelse, bør man ta opp til fornyet overveielse om det kan være hensiktsmessig å fjerne det utglidende parti ved kontrollert nedsprenning.

RASFAREN FRA HAMRENE VED KOTE 200 VEST FOR SIKRINGSVOLLEN ER LITEN

Ca. 100 m vest for sikringsvollen under Hallandshammeren er det et oppsprukket parti der muligheten er til stede for blokkutfall, se fotoene 1 og 2.

72611-3

Området består av en kvartsittisk bergart gjennomskåret av et lag med fyllitt. Lagstillingsretningen er N65°Ø med 25-30°S fall.

Kvartsitten er utpreget skifrig og i enkelte av skifrighetsplanene opptrer sprekker av sleppe- og spaltekarakter.

Ved nedsiden av hammeren skjærer en vannførende spalte inn under en sprekkeavgrenset 25-30 m³ blokk (foto 1). Oppe på vestsiden av hammeren ligger en ca. 5-6 m³ sprekkeavgrenset blokk med svak fot i den forvitrede fyllittsonen (foto 2).

Den 25-30 m³ store blokken kan bare løsne og gli ut under spesielt ugunstige forhold, og muligheten for velting er ikke til stede før glidning har inntruffet. Det er lite sannsynlig at man vil få farlige utfall fra dette parti.

Oppe ved vestsiden av hammeren kan det med tiden komme utfall av størrelsesorden 5-6 m³. Terrenget er på dette sted så bratt (30-35^o) at det vil være mulig at blokk av denne størrelse kan komme i rullende bevegelser og representere fare ved vestre del av det planlagte byggefelt.

Terrenget ned mot det planlagte boligfelt ved kote 125 er vist på vedlagte profil, tegning nr. 014. Oppe ved hammeren er helningen 31^o, og den avtar ned mot eksisterende lekeplass på kote 136 der den gjennomsnittlige helning er ca. 20^o.

Eventuelle utfall fra hammeren vil sannsynligvis ikke oppnå så stor fallenergi at den har mulighet for å nå lenger enn ned mot lekeplassen. Sannsynligvis vil utfall som får rullende bevegelse stoppe omkring kote 160 der det ligger en del blokker i dag. En kan likevel ikke utelukke muligheten av at enkeltblokker kan passere vest for lekeplassen og gå ned mot vestre del av det planlagte byggefelt.

DET PLANLAGTE BOLIGOMRÅDE MÅ ANSEES SIKRET MOT RAS FRA HALLANDS-HAMMEREN NÅR SIKRINGSVOLLEN STÅR FERDIG

Ved eventuelle utfall fra Hallandsberget vil skogen og sikringsvollen beskytte området på nedsiden. Det antas at rasmassene bare ruller og glir, og at de enkelte fraksjoner ikke gjør større hopp. Situasjonen slik den er i dag må derfor betegnes som tilfredsstillende.

Dersom rasfaren skulle øke i framtiden, kan en til tross for sikringsvollen likevel ikke se helt bort fra at mindre roterende og hoppende fragmenter kan passere på siden eller over. Det er derfor av viktighet å vurdere rasfaren på grunnlag av utførte målinger, og eventuelt kunne utføre utrasningen kontrollert dersom rasfaren øker i framtiden.

Utbyggingsplanen av juli 1974 med boligfelt på nedsiden av framtidig fylkesveg Njøs-Valbrekke bør kunne aksepteres da sannsynligheten for eventuelle rasfragmenter i dette området synes meget liten.

KONTROLLERT UTRASNING ANSEES UNØDVENDIG FOR Å FORSIKRE SEG OM SIKRINGSVOLLENS EFFEKTIVITET

KL/JOL

Hensikten med kontrollert utrasning på nåværende tidspunkt ansees å ha minimal verdi. Vollen er dimensjonert for å fange opp rasmassene, og en må forutsette at den vil virke tilfredsstillende.

Forsøket vil være vanskelig å filme, og således av liten verdi for studier av blokkenes bevegelser etter utfall.

Forøvrig vil forsøkene være beheftet med så mye arbeid i forbindelse med varsling og evakuering av befolkningen i boligområdet nedenfor at forsøk av denne art helst bør begrenses til mindre folkerike områder.

for NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT

72611-3

Karstein Lied
Karstein Lied

Jan Otto Larsen

Jan Otto Larsen

10/3-75



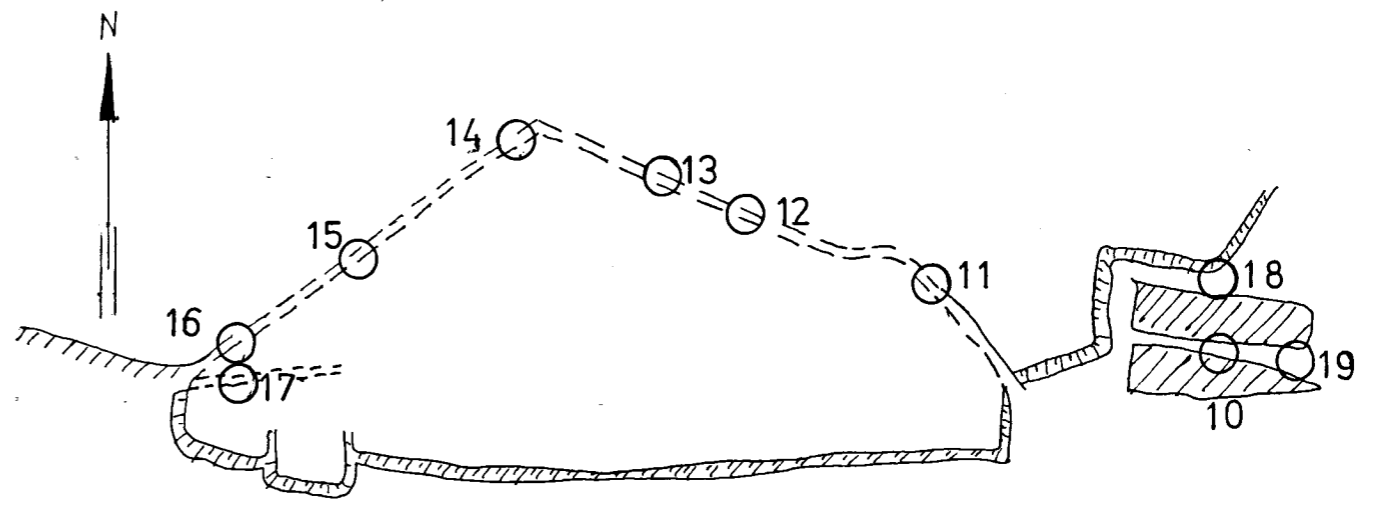
FOTO 1 RASFARLIG HAMMER
VEST FOR SIKRINGSVOLLEN

HL/JOL



FOTO 2 RASFARLIG PARTI
VED HAMMERNES VESTSIDE.

72611-3



BOLTEPLASSERING M ca 1:500

SKJEMA FOR MÅLERESULTATER

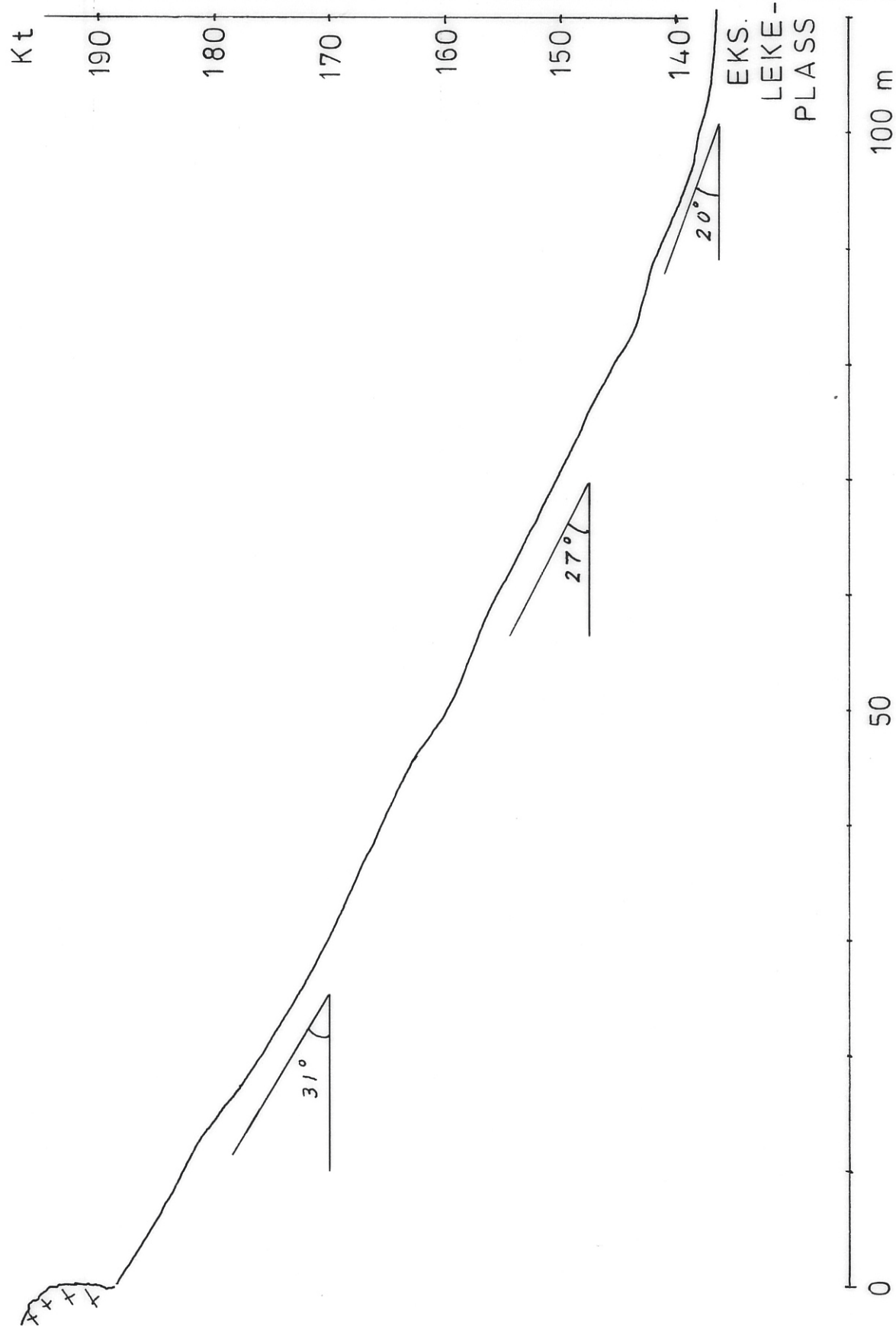
Alle mål i mm.

DATO	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	DATO	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
1974																							
2-10- "	980	510	1014	781	1052	1111	996	763	1510	1103													
1975																							
1976																							
1977																							
1978																							

HALLANDSHAMMEREN - LEIKANGER		Dato	14-1-75	Tegner
Skisse av det rasfarlige parti med målebolter Skjema for måleresultater		Godkjent		
		Oppdr. nr. 72611-3		
Norges geotekniske institutt		Tegn. nr.	012	

10/3-75

RASFARLIG PARTI



HALLANDSBERGET - LEIKANGER

Profil av terrenget under det rasfarlige parti
M 1:500

ETTER PROFIL AV ING. JOHNSEN. LEIKANGER KOM.

Norges geotekniske institutt

Dato	Tegner
10/2-75	
Godkjent	
Oppdr. nr.	72611-3
Tegn. nr.	014

14/10-76

HALLANDSBERGET-LEIKANGER

BEFARING AV RASFARLIG PARTI OG SIKRINGSVOLL.



72611-4

6. OKTOBER 1976

DET ER ØNSKELIG MED HYPPIGERE KONTROLL AV MÅLEBOLTENE FOR Å KUNNE FØLGE EVENTUELLE BEVEGELSER OG VURDERE STABILITETEN.

PÅ GRUNN AV DEN RELATIVT STORE FORSKYVNING SOM ER REGISTRERT VED DE AVLØSTE BLOKKER UNDER HALLANDSBERGET, VIL KONTROLLERT NEDSPRENGNING BLI Å ANBEFALE DERSOM BEVEGELSEN FORTSETTER.

SIKRINGSVOLLENS ØSTRE DEL ANSES FOR Å VÆRE LAV PÅ GRUNN AV EN FRAMSTIKKENDE FJELLKNAUS I FANGGRAVEN (se foto 2). KNAUSEN ANBEFALES FJERNET.

De 10 nye målepunktene i Hallandshammeren og nedenforliggende blokker er målt 4 ganger i tidsrommet 02.10.74 til 15.06.76. Det er registrert liten bevegelse i selve Hallandshammeren, men relativt stor bevegelse mellom de avløste blokkene nedenfor.

Den registrerte bevegelsen av hammeren anses å være av liten stabilitetsmessig betydning, men det anbefales økt målehyppighet for å følge med i en eventuell bevegelsesutvikling. Den

Norges geotekniske institutt NGI

Postadresse:
Postboks 40 Tåsen
Oslo 8

Vareadresse:
Sognsveien 72

Telegramadresse:
GEOTEKNIKK

Telefon:
(02) 23 03 88

Telex:
19787 ngi n



registrerte forskyvning mellom blokkene anses å være så stor at nedsprenkning kan bli aktuell dersom bevegelsen fortsetter.

Sikringsvollens høyde og beliggenhet anses tilfredsstillende, bortsett fra i østre parti der en framstikkende fjellknaus reduserer vollhøyden (foto 1 & 2). Da det er mulig at blokker kan passere vollen på dette parti, bør knausen fjernes.

BEFARING I HALLANDSBERGET BLE GJORT 15.JUNI 1976.

I brev fra Statens Naturskadefond av 1.juni 1976 ble Norges Geotekniske Institutt bedt om å vurdere kontrollmålingene av boltene i Hallandsberget 10.mai 1976.

Da det var registrert forskyvning i 9 av 10 målepunkter, fant vi det tilrådelig å gjøre en befaring i området i samband med et oppdrag i Jølster kommune 16.-17.juni.

Befaringens hensikt var kontrollmåling av boltene og vurdering av de rasfarlige partiens stabilitet. Samtidig ble sikringsvollen og fanggraven besikttet.

Ved samtale med konsulent Hamre i Statens Naturskadefond 29.september 1976 ble Norges Geotekniske Institutt anmodet om å utarbeide befarringsrapport i denne sak.

MÅLINGENE I HALLANDSBERGET VISER LITEN FORSKYVNING AV SELVE HAMMEREN, MEN BETYDELIG BEVEGELSE AV YTRE BLOKK NEDENUNDER.

I samsvar med fastsatt måleplan for Hallandshammeren, kontrollmålte ingeniør Johnsen ved kommuneingeniørkontoret bolteavstandene 10.mai 1976 (Tegn.nr.014). Måleresultatene viser at ytre avløste steinblokk har beveget seg fram inntil 20 mmm (målepkt.19), mens de registrerte bevegelser ved indre steinblokk (målepkt.18) og selve hammeren var henholdsvis 1 mm og varierende fra 0 til 4 mm. Våre målinger 15.juni 1976 antyder at ytre blokk ytterligere har beveget seg i det mellomliggende tidsrom på 35 dager (Tegn.nr.014).

14/10-76

22611-4

Skj.nr.036.Okt.74.5000.Reclamo.



Måleresultatene for målepunktene langs baksprekken på hammeren dokumenterer en langsom bevegelse av denne. Forflytningen siste år er imidlertid ikke jevnt framadskridende, men kan best karakteriseres som en "pendelbevegelse omkring målepunkt 13". Et slikt forhold kan vanskelig tilskrives målemetodiske feil eller svakheter, men må ha rent fysiske årsaker.

YTRE BLOKK UNDER HALLANDSHAMMEREN BØR HOLDES UNDER SPESIELL OPPSIKT.

Det anbefales at målehyppigheten ved de ytre blokkene økes for å kunne følge bevegelsesutviklingen. Vi vil foreslå at det i tillegg til måleprogrammet etter rapport 72611-3 med måling høst og vår suppleres med nye målinger senhøstes og tidlig vår. Målingene bør innberettes for NGI, som vil analysere resultatene og eventuelt vurdere ytterligere tiltak.

FJELLKNAUS I DEN ØSTLIGE DEL AV FANGGRAV BØR FJERNES.

Fanggravens dybde og bredde er nær lik i hele sikringsvollens lengde, bortsett fra østre del, der en fjellknaus stikker fram (se foto 2). Knausen reduserer fanggravens effekt i dette parti, da rasblokker kan treffe knausen og hoppe over vollen med relativt liten spranghøyde.

Knausen bør derfor fjernes for å gjøre hele sikringsvollen fullt virksom.

for

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT

Karstein Lied
Karstein Lied

Jan Otto Larsen (s)

14/10-26

72611-4

Skj.nr.036.Okt.74.5000.Reclamo.

14/10-86

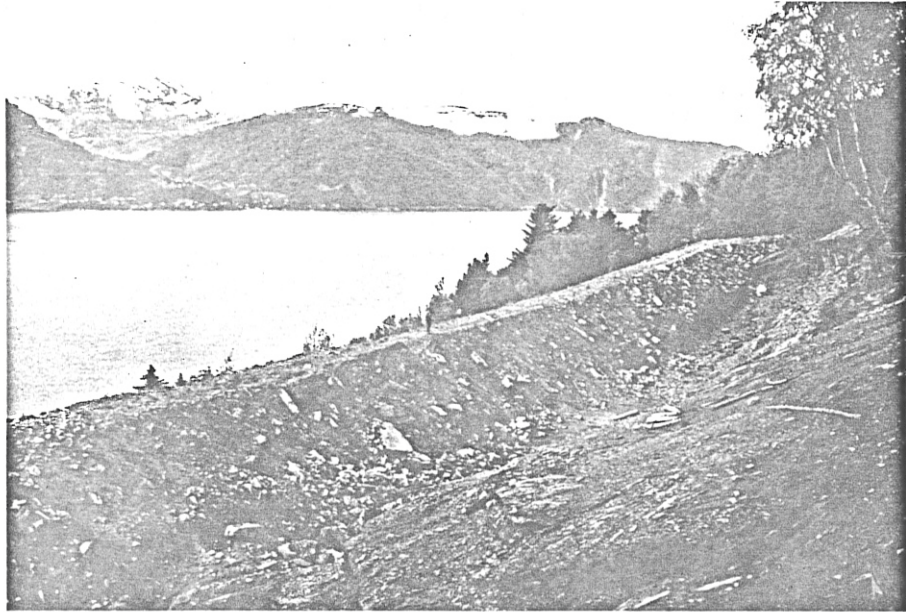
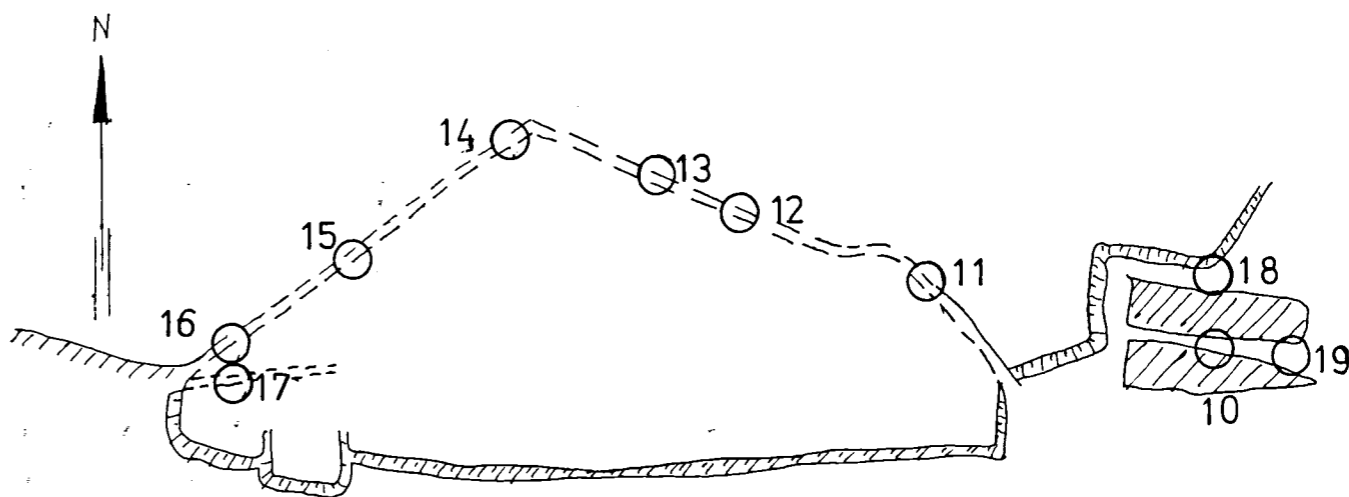


Foto nr. 1. Sikringsvallen under Hallandsberget.



Foto nr. 2. Framstikkende fjellkravis i fanggravaes østre del reduserer vollhøgden og fanggravaes effekt.

Skj.nr.032.Sept.75.5000.Reclamo. 72611-4



BOLTEPLASSERING M ca 1:500

SKJEMA FOR MÅLERESULTATER

Alle mål i mm.

DATO	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	DATO	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
1974																						
2-10- "	980	510	1014	781	1052	1111	996	763	1510	1103												
1975	983	510	1015	782	1052	1113	997	764	1510	1109												
10-5-1976	997	511	1016	782	1056	1116	1000	766	1511	1129												
15-6	998	512	1017	783	1055	1115	1000	764	1511	1131												
1977																						
1978																						

HALLANDSHAMMEREN - LEIKANGER		Dato	Tegner
Skisse av det rasfarlige parti med målebolter Skjema for måleresultater		14-1-75	
		Godkjent	
Norges geotekniske institutt		Oppdr. nr.	72611-4
		Tegn. nr.	012 I

NGI



RAPPORT

HALLANSHAMMEREN, LEIKANGER

KONTROLL AV OPPSPRUKKET
FJELLPARTI

Oppdragsgiver: STATENS NATURSKADEFOND

72611-5

31 OKTOBER 1988

Norges Geotekniske Institutt

RAPPORT

HALLANSHAMMEREN, LEIKANGER

KONTROLL AV OPPSPRUKKET
FJELLPARTI

Oppdragsgiver: STATENS NATURSKADEFOND

72611-5

31 OKTOBER 1988

Norges Geotekniske Institutt

Norwegian Geotechnical Institute



RAPPORT

HALLANSHAMMEREN, LEIKANGER

KONTROLL AV OPPSPRUKKET
FJELLPARTI

Oppdragsgiver: STATENS NATURSKADEFOND

72611-5

31 OKTOBER 1988

Hallandshammeren opp for kirken i Leikanger har et 5000 - 10 000 m³ stort avløst parti der det har vært utført målinger av utvidelse på baksprekkene siden 1970. Øst for det avløste partiet og i fremkant av hammeren ligger to store blokker som også kontrolleres med målebolter. Figur 1 viser hammerens beliggenhet og bolteplasseringen. Foto 1 viser sikringsvollen som er bygd nedenfor. NGI har tidligere beskrevet og gjort en analyse av stabiliteten på det avløste partiet i rapport 72611-2 av 6. august 1973. Dessuten har vi foretatt flere befaringer i området, sist i 1986 og samlet inn og vurdert målinger på sprekkene etterhvert som vi har fått de oversendt fra kommunen.

Målingene på målebolter nedsatt i 1974 er vist på figurene 2 og 3. Figur 2 viser at det avløste partiet er i bevegelse med en midlere utvidelse av den nordvestre sprekk på 3-4 mm pr. år. Utvidelsen av den nordøstre sprekk er mindre, så partiet har tydeligvis en svak roterende bevegelse samtidig som det glir utover.

Ut fra målingene på figur 2 ser vi at bevegelsene målt på nordvestre sprekk har økt fra perioden 1974-80 da utvidelsen var ca. 2 mm/år til perioden 1980-88 da utvidelsen var 3-4 mm/år. Det er ingen markert akselerasjon i bevegelsene de siste årene.

Vi anser det som en fordel om målefrekvensen økes, og vil anbefale at det legges opp til et helkontinuerlig måleprogram der minimum ett

791/g

Postal Address:
P.O.B. 40 Tåsen
N-0801 Oslo 8
Norway

Street Address:
Sognsveien 72
Oslo

Telephone:
National
(02) 23 03 88
International
+ 47 2 23 03 88

Telex:
19 787 ngi n

Facsimile:
National
(02) 23 04 48
International
+ 47 2 23 04 48

*Postal Giro
Account No.*
516 06 43

Bankers:
Bergen Bank
Account No.:
5096.05.01281

boltepar blir utstyrt med registreringsutstyr. Sammen med meteorologiske data fra stasjonen Leikanger kan det være mulig å analysere årsaken til bevegelsene. Vi vil dessuten få en bedre kontroll med tanke på varsling dersom en brå akselerasjon forut for eventuell utglidning skulle finne sted.

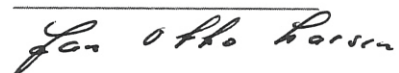
En ny bergmekanisk analyse basert på den forskning som er utført og den erfaring som er samlet de siste 15 år vil gi grunnlag for en mer eksakt stabilitetsvurdering enn det som ble gjort i 1973 (NGI-rapport 72611-2 av 6. august 1973). Dessuten vil vi anbefale at det gjøres en modell-analyse av steinblokkers bevegelse etter de prinsipper som er beskrevet i NGI-rapportene [1] og [2] for å etterregne sikringsvollens effekt.

Blokkene på østsiden av hammeren (fig. 1) har hatt en relativt stor bevegelse de siste 14 årene. Måleboltene ved indre blokk viser en totalforskyvning på 85 mm (fig. 1 og 3) og måleboltene mellom blokkene viser at målepunktene på ytre blokk har beveget seg 130 mm i forhold til målepunktene på indre blokk. En ny befaring for å vurdere sikring/nedsprengning kan være hensiktsmessig. Det kan også gjøres en modell-analyse for å finne disse blokkenes bevegelsesmønster etter eventuelt utfall og ny vurdering av vollens effekt i forhold til blokkenes mulige bevegelsesbaner.

NGI kan om ønskelig være behjelpelig med nærmere vurdering av sikkerheten i området. Vi kan også utarbeide kostnadsforslag for måleutstyr med tanke på kontinuerlig overvåking.

for NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT


Karstein Lied



Jan Otto Larsen

REFERANSELISTE

- [1] Schieldrop, B.
Rullende steinblokkers forsering
av beskyttelsesroller belyst ved
en forenklet modell.
NGI-rapport 58500-2
av 27. januar 1987.
- [2] Schieldrop, B.
Dynamiske regnemodeller
for steinskred.
NGI-rapport 58500-3
av 26. september 1988.

VEDLEGG

FOTO 1 Sikringsvoll under Hallandshammeren i Leikanger.

FIG. 1 Oversiktskart M = 1:50 000
Kart-skisse over målepunkters plassering
M \approx 1:500.

FIG. 2 Utvidelse av baksprekk registrert på målebolter.

FIG. 3 Forskyvning av blokker øst for selve hammeren.



STATENS NATURSKADEFOND

Foto 1. Sikringsvoll under Hallandshammeren
i Leikanger.

Rapport nr.
72611-5

Figur nr.

Tegner

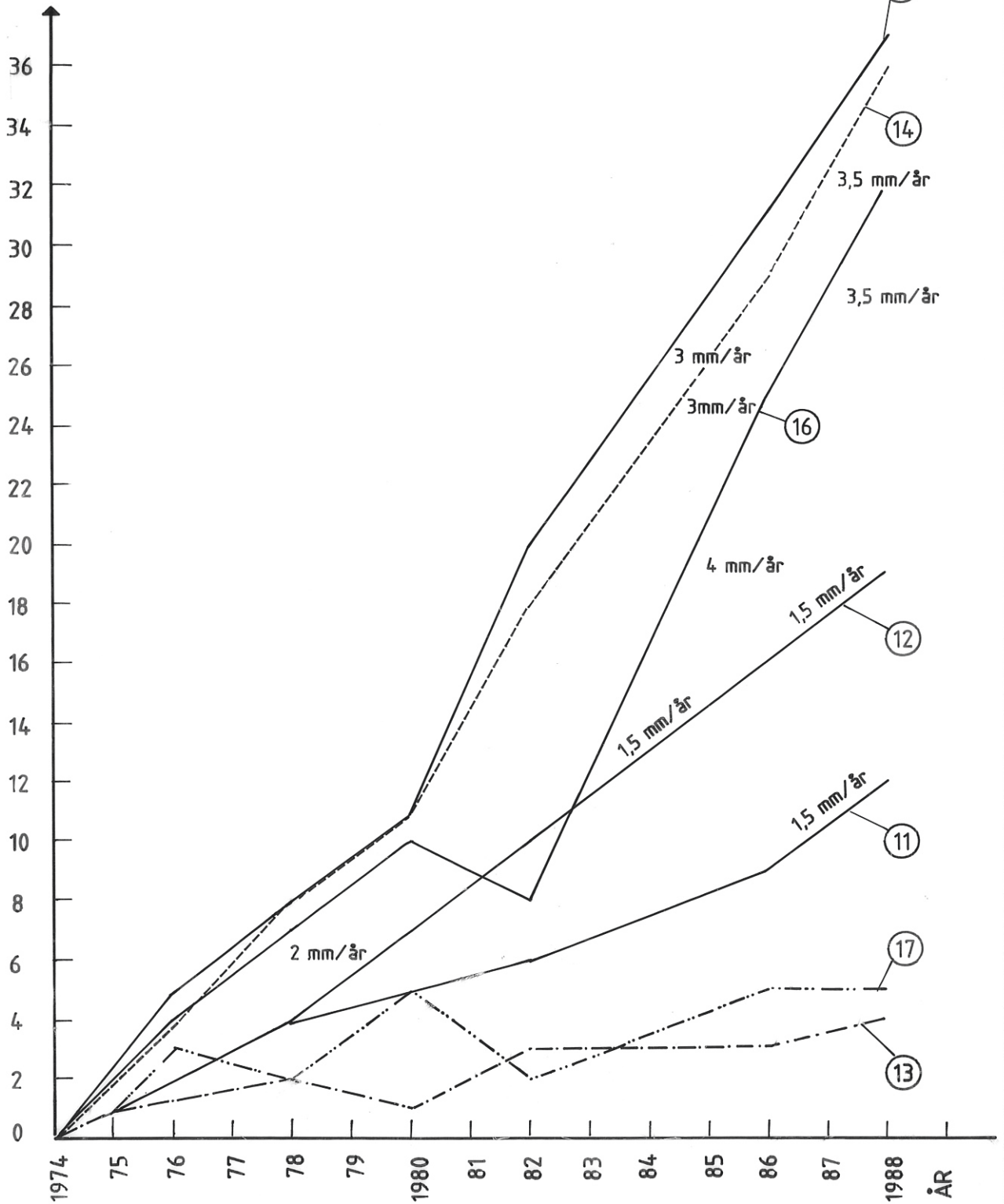
Dato
88-11-01

Kontrollert

Godkjent



Forskyvning, mm



STATENS NATURSKADEFOND

HALLANDSHAMMEREN, LEIKANGER
 Utvidelse av baksprekk registrert
 på målebolter.

Rapport nr.
 72611-5

Figur nr.
 2

Tegner

Dato
 88-11-01

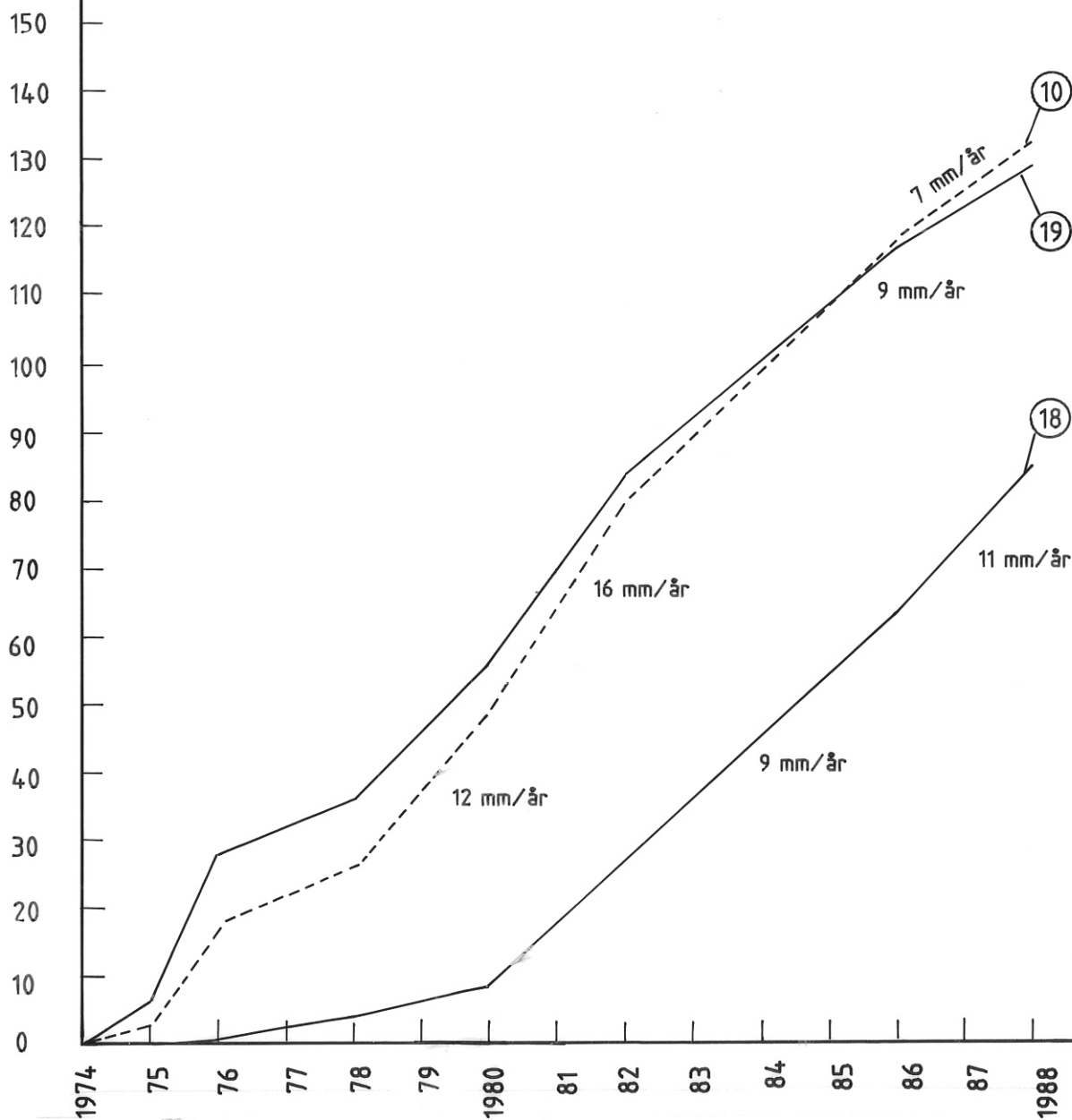
Kontrollert

Godkjent



NGI

Forskyvning, mm



STATENS NATURSKADEFOND

HALLANDSHAMMEREN, LEIKANGER
Forskyvning av blokker øst for selve hammeren.

Rapport nr.
72611-5

Figur nr.
3

Tegner
27

Dato
88-11-01

Kontrollert
MD

Godkjent



DOKUMENTKONTROLLSIDE

OPPDRAGSGIVER / PROSJEKT Statens naturskadefond KONTRAKTNR. NGIs PROSJEKTNR. 72611	<input type="checkbox"/> NS 5801 <input type="checkbox"/> NS 5802 <input checked="" type="checkbox"/> NS 5803 <input type="checkbox"/> Egen kontroll Sign. <i>YOL</i>
---	---

DOKUMENTTITTEL Hallandshammeren, Leikanger Kontroll av oppsprukket fjellparti. Utarbeidet av Jan Otto Larsen	Dokument nr. 72611-5 Dato 31.10.88
--	--

Skal kontrolleres av Sign.	KONTROLLTYPE	DOKUMENT		REVISJON 1		REVISJON 2	
		Godkjent		Godkjent		Godkjent	
		Dato	Sign.	Dato	Sign.	Dato	Sign.
<i>YOL</i>							
	Helhetsvurdering*						
UD		4/11-88	<i>MD.</i>				
UD		4/11-88	<i>MD.</i>				
UD	Logisk	4/11-88	<i>MD.</i>				
	Teknisk: <ul style="list-style-type: none"> • skjønn • total • tverrfaglig 						
UD		4/11-88	<i>MD.</i>				
UD		4/11-88	<i>MD.</i>				
JOL	Slutt	4/11-88	<i>YOL</i>				
	Kopiering						

* Gjennomlesning av hele rapporten og skjønsmessig vurdering av innhold og presentasjonsform.

DOKUMENT GODKJENT FOR UTSENDELSE	DATO <i>4/11-88</i>	SIGN. <i>Aliel</i>
---	----------------------------	---------------------------

REFERANSESIDE / Documentation page

RAPPORTNUMMER / Report Number 72611-5	<input checked="" type="checkbox"/> RAPPORT Report <input type="checkbox"/> INTERN RAPPORT Internal Report
RAPPORTTITTEL / Report title Hallandshammeren, Leikanger Kontroll av oppsprukket fjellparti. OPPDRAKSGIVER / Client Statens naturskadefond PROSJEKTLEDER / Project Manager Jan Otto Larsen UTARBEIDET AV / Prepared by Jan Otto Larsen	DISTRIBUSJON (Distribution) <input type="checkbox"/> FRI Unlimited <input checked="" type="checkbox"/> BEGRENSET Limited <input type="checkbox"/> INGEN None DATO / Date 31.10.88 REVISJON / Revision SIDER / Pages
EMNEORD / Keywords Fjellparti Kontroll Sikring	
GEOGRAFISKE OPPLYSNINGER / Geographical information	
LANDOMRÅDER (Onshore) LAND, FYLKE / Country, County Sogn og Fjordane KOMMUNE / Municipality Leikanger STED / Location Systrond KARTBLAD / Map N60: 1317 II Leikanger UTM-KOORDINATER / UTM-coordinates	HAVOMRÅDER (Offshore) HAVOMRÅDE / Offshore area FELTNAV N / Field name STED / Location FELT, BLOKKNR. / Field, Block No.

**LEIKANGER KOMMUNE
TEKNISK KONTOR**

Kontoradr: 5842 Leikanger
Telefon: 57 65 56 20
Telefax: 57 65 56 08

**Norges Geotekniske Institutt
Sognsv. 72
Ullevål hageby**

0806 OSLO

Dykkar ref.

Vår ref.

Dato

09.12.93

HALLANDSBERGET I LEIKANGER - KONTROLLMÅLINGAR.

Vedlagt følger kopi av dei siste målingane for Hallandsberget, Leikanger kommune i Sogn og Fjordane.

Kopi er sendt Statens Naturskadefond.

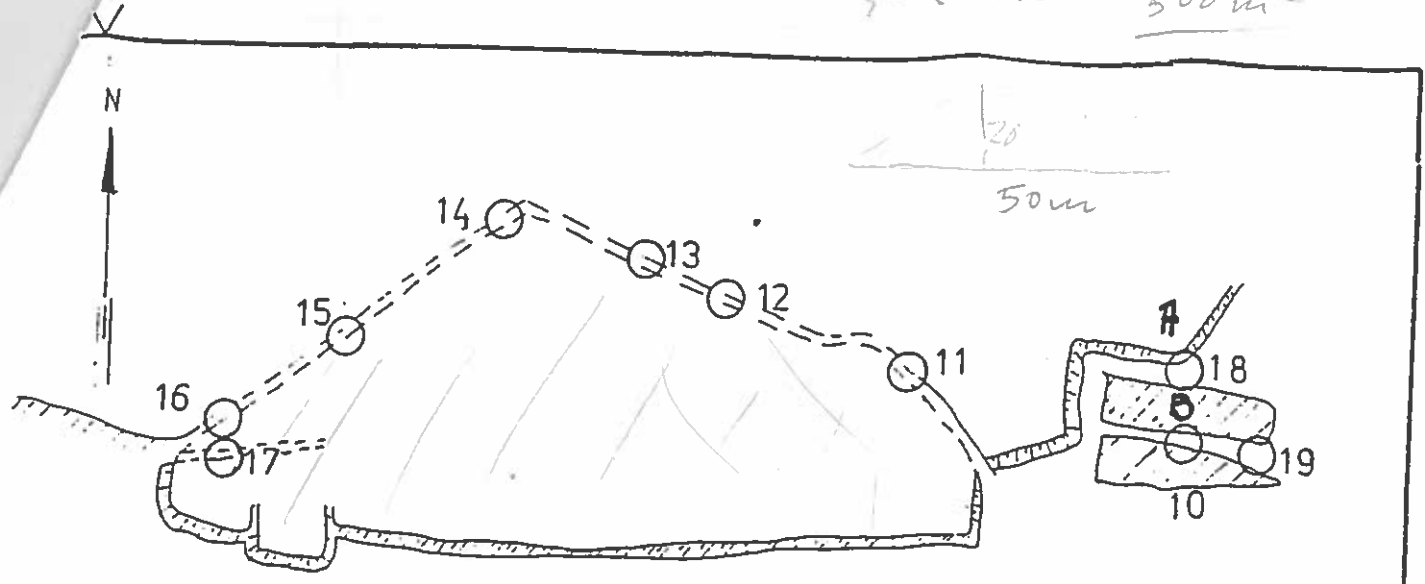
Helsing


Per Gjerland

teknisk sjef

1/2 · 50 x 10

500 m²



BOLTEPLASSERING M ca 1:500

m.	19	DATO	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
0	1103	1993 08.M	1149	528	1041	784	1100	1157	1039	772	1664	1270
0	1109											
1	1129											
3	1132											
2	1132											
4	1139											
1	1159											
1	1187											
3	1220											
	1232											

RG;
+ A.T

HALLANDSHAMMEREN - LEIKANGER		Dato	Tegner
Skisse av det rasfarlige parti med målebolter Skjema for måleresultater		14-1-75	
		Godkjent	
		Oppdr. nr.	72611-3
Norges geotekniske institutt		Tegn. 012	

SKJEMA FOR MÅLERESULTATER

Alle mål

DATO	10	11	12	13	14	15	16	17
1974								
2-10- "	980	510	1014	781	1052	1111	996	763
<i>P.F.</i> 3-6-1975	983	510	1015	782	1052	1113	997	764
<i>P.F.</i> 10-5-1976	997	511	1016	782	1056	1116	1000	766
<i>Ø.S. Ø.T.S.</i> 30-11 - 76	999	512	1017	782	1056	1117	1000	764
11-3-1977	999							
<i>Ø.S. og P.G.</i> 31-10-1978	1006	514	1018	783	1060	1119	1003	765
<i>Ø.S. og P.G.</i> 23-5-1980	1029	514	1021	782	1063	1122	1006	768
<i>P.G. og P.H.</i> 15-10-1982	1060	516	1024	784	1070	1131	1004	765
<i>P.G. og P.H.</i> 22-7-1986	1098	519	1030	784	1081	1142	1021	768
<i>P.G.-A.H.</i> 7-10-88	1112	522	1033	785	1088	1148	1028	768

ARKIV	SAKSHANDSAMAR	MØTEDATO	ORGAN	SAK NR.
152	Per Gjerland	16.11.94	HUTS	84/94
		01.12.94	Formannskap	141/94
		14.12.94	KOMMUNESTYRET	60/94

HALLANDSHAMMAREN - STABILITETSVURDERING

SAKSDOKUMENT: Rapport frå NGI av 1959 Ikkje utsendt
 Rapport frå NGI av 1973 Ikkje utsendt
 Rapport frå NGI av 1975 Ikkje utsendt
 Rapport frå NGI av 1976 Ikkje utsendt
 Rapport frå NGI av 1988 Ikkje utsendt
 Skriv frå NGI av 27.12.93. Tidlegare utsendt.

SAKSUTGREIING:

Første rapport på Hallandsberget er frå 1959. Denne omfattar lause blokker på austsida av Hallandsberget.

I rapporten frå 1973 er Hallandsberget med blokker på austsida vurdert. Etter utgreiing frå 1973 vart sikringsvollen bygd. Fangvollen nedanfor Hallandsberget er dimensjonert for å ta imot eventuelle rasmassar. Frå 1974 er det utført pålitelege målingar på Hallandsberget og blokkene i aust. Målingane blir sende til NGI for vurdering.

I 1975 vart det utarbeidd ny rapport i samband med utviding av byggefeltet på Øvre Leite. Området vart vurdert tilfredsstillande sikra. Ei tomt gjekk ut av planen.

I rapporten frå 1976 viser Hallandsberget liten bevegelse, men betydelig bevegelse i ei av steinblokkene på austsida av hammaren. Rapporten peika på at det burde vore sprengt bort ein fjellknaus innanfor sikringsvollen i den austlege enden. Slik det er i dag kan det vera fare for at skredblokker kan treffa knausen for å spretta over vollen.

I rapporten frå 1988 viser det liten bevegelse i Hallandsberget og relativt store bevegelsar i dei austlege blokkene. Det vart peika på at blokkene burde sikrast. Rapporten anbefalte og montering av automatisk registreringsutstyr. Automatisk registreringsutstyr vart ikkje montert p.g.a for store kostnader.

I bakgrunn i målingar utført i 1993 har NGI anbefalt kommunen å utføre ny stabilitetvurdering av Hallandsberget og vurdere å fjerne blokkene. Siste målingane viser at blokkene har relativ

stor bevegelse. Blokkene har sida 1974 bevega seg 17 cm. Hallandsberget har i same tidsrom forandra seg med 5 cm. Fare for utgliding av Hallandsberget i nær framtid er vurdert som liten.

Det er innhenta tilbod frå NGI på stabilitetsvurdering av Hallandsberget og vurdering av blokkene på østsida. Tilbodet er på kr. 54.000.- (i 1993)

Kostnaden med nedsprengeing av blokkene og sprenging av fjellknausen i fangvollen er vurdert til kr. 300.000.-

I juni månad vart det utført synfaring på Hallandsberget saman med fylkesgeolog B.F. Russenes. Han var bedt om ein førebels uttale om stabiliteten i området og vurdering av nedsprengeing av blokkene. Rapporten frå fylkesgeologen ligg ikkje føre.

Sprenging av dei lause blokkene og fjellknausen i fangvollen har vore påpeika av NGI gjentatte gonger. For å få område sikrast mogleg må dette arbeidet utførast saman med ny stabilitetsvurdering.

TILRÅDING:

Kostnader med stabilitetsvurdering av Hallandsberget kr. 60.000.- og sprenging av blokkene og fjellhammaren i fangvollen kr. 300.000.- må førast opp i budsjettet for 1995. Arbeidet skal utførast i 1995.

HOVUDUTVALET FOR TEKNISK SEKTOR SITT VEDTAK:

Framlegg frå Ove Kristian Lunden:

1. Stabilitetsvurdering av Hallandsberget vert utført omgåande, og tilbod frå NGI vert akseptert.
2. Kostnader med stabilitetsvurdering av Hallandsberget kr. 60.000.- og sprenging av blokkene og fjellhammaren i fangvollen kr. 300.000.- må førast opp i budsjettet for 1995.

Framlegget frå Ove Kristian Lunden vart samrøystes vedteke.

FORMANNSKAPET SITT FRAMLEGG:

Representanten Kjell Helleland gjorde framlegg om fylgjande:

- "1. Stabilitetsvurdering av Hallandsberget vert utført omgåande, og tilbod frå NGI vert akseptert.
2. Kostnaden med stabilitetsvurdering, kr.60.000,-, vert å innarbeide i budsjettet for 1995."

FRAMLEGG, samr.:

- I samsvar med framlegget frå representanten Kjell Helleland. -

KOMMUNESTYRET SITT VEDTAK:

Representanten Ingebjørg Wiken gjorde framlegg om å ENDRE pkt.2 i formannskapet sitt framlegg til:

"Kostnader med stabilitetsvurdering av Hallandsberget, kr.60.000, og sprenging av blokkene og fjellhammaren i fangvollen, kr.300.000, må først opp i budsjettet for 1995."

Framlegget FALL med 16 mot 5 røyster.

VEDTAK, samr.:

- I samsvar med formannskapet sitt framlegg. -

BETT UTSKRIFT
LEIKANGER FORMANNSKAP
20.12.94


Bjarne Njøs

Går til teknisk sjef for vidare handsaming.

LEIKANGER FORMANNSKAP
20.12.94


Bjarne Njøs



Hallandshammaren i Leikanger

Stabilitetsvurdering

954069-1

15 februar 1996



rapport

Hallandshammaren i Leikanger

Stabilitetsvurdering

954069-1

15 februar 1996



rapport

Hallandshammaren i Leikanger

Stabilitetsvurdering

954069-1

15 februar 1996

Oppdragsgiver: **Leikanger Kommune**

Kontaktperson: Per Gjerland
Kontraktreferanse: Brev av 18.11.94

For Norges Geotekniske Institutt

Prosjektleder:


Jan Otto Larsen

Rapport utarbeidet av:


Eystein Grimstad

Kontrollert av:


Jan Otto Larsen

Arbeid også utført av:

Jan Otto Larsen

Sammendrag

Under befaringen ble det påvist to partier i Hallandshammaren som ser mer ustabiloer ut enn resten av området. Disse befinner seg henholdsvis i vestsiden av selve hammaren, og som adskilte løse blokker øst for hovedblokken.

Avlesninger på måleboltene de senere årene viser at de østligste blokkene flytter seg raskere enn resten av de registrerte områdene.

Beregninger viser at de blokkene som ligger lengst vest i hovedblokken har en estimert sikkerhetsfaktor på 1,7 i tørr tilstand, og 1,0 med vanntrykk i bakkant og på glideplanet med gradvis avtagende trykk til fri drenering i fronten av skrenten hvor glideplanet går ut. Med lukning i fronten blir den beregnede sikkerhetsfaktoren 0,75.

Tilsvarende beregninger for hovedblokken med estimert høyde 11 m og lengde på glideplanet på 28 m viser at sikkerhetsfaktoren i tørr tilstand er 1,2. Ved vannfylt baksprekk og vanntrykk på glideplanet med avtagende trykk mot glideplanet utgående i fronten blir den beregnede sikkerhetsfaktoren 0,89.

Ved bevegelse vil sprekkeåpningen langs glideplanet utvide seg, slik at dreneringsforholdene blir bedre, og sprekkevannstryket vil kunne avta. Dette kan være årsaken til at bevegelsene er relativt små og jevne fra år til år.



Innhold

1 INNLEDNING	4
2 BESKRIVELSE AV USTABILE OMRÅDER	4
3 STABILITETSBEREGNING	5
4 KONKLUSJON OG FORSLAG TIL FORBEDRET SIKKERHET	7
5 FIGUROVERSIKT	8

Kontroll- og referanseside.

1 INNLEDNING

På bakgrunn av forespørsel fra Leikanger Kommune ved teknisk sjef Per Gjerland foretok Jan Otto Larsen og Eystein Grimstad fra NGI en undersøkelse på Hallandshammaren sammen kjentmann fra Leikanger Kommune. Denne hammaren har vært under observasjon med avlesning av målebolter med ulike mellomrom siden måleboltene ble satt inn i to omganger, med 8 bolter i desember 1970, og 10 bolter i oktober 1974. Se figur 1. Noen av boltene montert i 1974 ble montert på samme sted som boltene fra 1970. Bolt 15 erstatter bolt 2, bolt 14 erstatter bolt 3, bolt 13 erstatter bolt 4, bolt 11 ligger 0,5 m fra bolt 6, og bolt 18 erstatter bolt 7. Fra NGI er det tidligere skrevet fire rapporter i perioden 30.10.72 til 06.10.76. Det er i rapporten av 30.10.72 vist til rapport S 181 av 06.11.59. I 1993 ble det også skrevet et brev med vedlagte måleresultater fra avleste målebolter fram til og med 1988.

2 BESKRIVELSE AV USTABILE OMRÅDER

De ulike delen av Hallandshammaren er beskrevet i detalj i de tidligere rapportene fra NGI. Ut fra disse beskrivelsene ble det foretatt en rask gjennomgang av hele det beskrevne ustabile området. Denne undersøkelsen ble konsentrert om den vestlige delen av hovedblokken som beveger seg utover mot fjorden. Denne delen av hammeren har et betydelig overheng og er delt inn i flere mindre delblokker, som teoretisk kan gli ut hver for seg. Det ble observert knusning i fronten av foten til den vestlige delen av hammeren der hvor det antatte hovedglideplanet kommer ut. Det er også sprekker 1-1,5 m over foten etter utsplitting av blokker i foten.

Det ble i tillegg til hovedblokken og blokksamlingen øst for denne observert åpne tensjonssprekker i berggrunnen nedenfor og øst for dette partiet. Dette tyder på at det har vært bevegelse i bergmassen også i dette området. Dybden til glideplanet er ikke kjent, da det ikke er noen skarp sidekant eller forkant som kunne observeres. Omfanget av bergmassene som har beveget seg er også ukjent. Hvis en vil vite om disse bevegelsene er aktive nå, eller om de har skjedd for lenge siden, må det settes opp målebolter også her.

Skissen i figur 1 viser hovedinndelingen av blokker i det vestlige partiet. Tegning 03 i NGI-rapport 72611-1 av 30.10.72, (også vist øverst på figur 1 «Bolteplassering») og tegning 08 i NGI-rapport 72611.2 av 06.08.73 (gjengitt øverst på figur 2) viser samme området sett med ulike tegnerses øyne.

Det ble også sett litt nærmere på blokksamlingen lengst øst (øst for hovedblokken). Disse blokkene beveger seg 2-3 ganger raskere enn hovedblokken og har totalt beveget seg i størrelsesorden 2 m fra bakenforliggende fjell. Siden målingene startet i 1974 har hver av sprekken



åpnet seg 16-18 cm. Den ytterste blokken må da ha beveget seg tilsvarende summen av bevegelsene på måleboltene 10 og 18, dvs. 33.7 cm mellom årene 1974 og 1995.

3 STABILITETSBEREGNING

Bergmassen i hele hammeren består av en migmatittisk gneis med sterk bånding, som gir en veksling mellom glimmerrike bånd og kvarts/feltspatrike bånd. Bergartene er krystallinske og forskjellig fra fyllitt, som finnes andre steder i Leikanger. I den vestlige delen, som ble undersøkt spesielt med hensyn til stabilitet, består hovedsakelig av glimmerrik gneis til dels fyllonittisk glimmerskifer i de mest markert skjærbåndene. Både de kvarts/feltspatrike båndene og de glimmerrike båndene går parallelt med foliasjonen. Bergartene er foldet, slik at enkelte bergartslag kiler ut eller er bøyet om. På undersiden av glideplanet for de undersøkte blokkene sett inn fra vestsiden, går et bånd av kvartsrik gneis, som er foldet om, slik at det ikke fortsetter utover mot glideplanet utgående. Den ytterste delen av underlaget på glideplanet består derfor av glimmerrik gneis. Oversiden av glideplanet består av glimmerrik gneis i sin helhet. Dette gjelder vestsiden av glideplanet.

Det er både mulig og sannsynlig at det opptrer vekslinger mellom bånd av kvarts/feltspatrik gneis og glimmerrik gneis på glideplanet andre steder under blokkene som glir ut. Det er derfor vanskelig å gi noe eksakt tall på trykkfastheten i glideplanet. Glimmergneis og glimmerskifer har normalt en trykkfasthet som varierer mellom 30 og 150 MPa, avhengig av kornstørrelse og glimmermengde. Den kvartsrike gneisen kan variere mellom 60 og 180 MPa. Da den svakeste bergarten vanligvis vil skjæres av først ved bevegelse langs sprekken, må vi legge den svakeste bergartens trykkfasthet til grunn for beregning av skjærfastheten på glideplanet.

Hvis vi setter trykkfastheten til å være mellom 40 og 70 MPa burde vi ligge på et sannsynlig nivå for dette tilfellet. De eksponerte delene av glideplanet i vest hadde ikke noen synlig forvitring. Derfor velges sprekkeflatens trykkfasthet, JCS lik bergartens trykkfasthet. JCS = 40-70 MPa.

Glideplanetets ruhetskoeffisient, JRC er bestemt ut fra målte amplityder i 16 cm og 1 m skala. Målt JRC i 16 cm skala er 6, 7, 18 og 20. Målt i 1 m skala er JRC: 10, 12, 14, 14, og 20. Gjennomsnittsverdien blir $JRC_{1m} = 14$. For bevegelse som går over størrelsesorden 10 cm, vil amplityder i småskala være uinteressante fordi dilatansen (sprekkeåpningen) på grunn av skjærbevegelsen vil være større enn amplityden. Vi bruker derfor JRC i 1 m skala, redusert med skalaeffekt til 5 m skala. Vi får da Verdien $JRC_{5m} = 8.9$.

For å finne normalspenningen kan vi betrakte tykkelsen på bergmassen over glideplanet. I sidekant og framkant er denne tykkelsen 5-6 m. Ved å bruke

5,5 m og spesifikk vekt $\gamma_{bs} = 27 \text{ kN/m}^3$ får vi en vertikalspenning, $\sigma_v = 148,5 \text{ kN/m}^2 = 0,149 \text{ MPa}$. Glideplanetets helling varierer mellom 31 og 34° i mesteparten av den vestvendte eksponeringen av planet. Lengst framme mot fronten av blokkene avtar hellingen til 22° den siste meteren langs den vestvendte eksponeringen. Hvis vi bruker 32° som hellingsvinkel, får vi at normalspenningen mot glideflaten er $\sigma_n = \sigma_v \cdot \cos 32^\circ = \underline{0,1286 \text{ MPa}}$. Residual friksjonsvinkel settes lik basis friksjonsvinkel, $\varphi_b \approx 25^\circ$ for våt sprekkeflate og $\varphi_b \approx 28^\circ$ for tørr sprekkeflate i glimmerrik gneis.

Skjærfastheten, τ , langs glideplanet kan beregnes etter formelen:

$$\tau = \sigma_n \cdot \tan \left[JRC \cdot \log \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) + \varphi_b \right] = 0,126 \cdot \tan \left[8,9 \cdot \left(\frac{40}{0,126} \right) + 25 \right] = \underline{\underline{0,136 \text{ MPa}}}$$

Den drivende spenningen, P , langs glideplanet er:

$$P = \sigma_v \cdot \sin 32^\circ = \underline{0,079 \text{ MPa}}$$

Dette viser at sikkerhetsfaktoren uten vanntrykk på sprekkeflatene, er

$$F = \tau/P = 1,72$$

Økende vanntrykk på sprekkeflatene, eller litt mindre ruhet på sprekken vil kunne endre denne brukbare sikkerhetsfaktoren til under 1,0.

Ved oppbygging av et vanntrykk langs glideplanet lik høyden av blokkens bakkant på 5,5 m, får vi en hydraulisk løfting som motvirker normalspenningen med $0,055/2 = 0,028 \text{ MPa}$, slik at den aktive normalspenningen da blir lik $0,126 - 0,028 = \underline{0,098 \text{ MPa}}$.

Hvis vi regner ut skjærspennningen ut fra dette tilfellet får vi:

$$\tau_{\text{vann}} = \underline{0,11 \text{ MPa}}$$

Hvis baksprekken er full av vann, vil trykket mot baksprekken gi et tillegg til den drivende kraften lik:

$$v = \gamma \cdot g \cdot h \cdot h/2 = 151 \text{ kN/m} = 0,15 \text{ MN/m}, \text{ slik at summen av drivende krefters spenning blir:}$$

$$P + v/l = 0,079 + 0,15/5 = 0,109 \approx 0,11 \text{ MPa} \text{ når lengden av glideplanet er 5 m}$$

I dette tilfellet blir sikkerhetsfaktoren lik:

$$F_{\text{vann}} = \underline{0,11/0,11 = 1,0}$$

Vi ser av dette at oppfylling av vann i baksprekken og med avtagende trykk langs glideplanet ved fri drenering i framkant, kan disse blokkene bli ustabile. Enda høyere vanntrykk mot glideplanet kan oppstå vinterstid med frysing av utgående vannstrøm i framkant av glideplanet. Da vil skjærmotstanden bli:

$$\tau_{\text{vann}} = \underline{0,083 \text{ MPa}}. \text{ Sikkerhetsfaktoren blir da:}$$

$$F_{\text{vann}} = \underline{0,083/0,11 = 0,75}$$

Den østligste av disse to blokkene som er skissert på figur 2, har et stort overheng, slik at den kun kan gli kort vei fram til den når et vippepunkt. På østsiden hviler denne blokken seg mot en oppsprukken blokksamling i 2-3 m lengde. Når denne svikter, vil blokken etter all sannsynlighet falle.

Dersom den bikker over, vil den kunne rulle videre nedover lia. Da blokken ha et stipulert volum på vel 200 m^3 , vil den kunne få stor energi, slik at er svært usikkert hvor langt den vil gå.

Den vestligste av blokkene må bevege seg vesentlig lengre ut (ca. 2 m) før den kan falle. Dette vil sannsynligvis ikke skje samtidig med utfall av den østlige blokken, og antagelig på et langt senere tidspunkt.

Tilsvarende beregninger for hovedblokken med beregnet vertikal høyde 11 m og lengde langs glideplanet på 28 m, viser at skjærfastheten på glideflaten i tørr tilstand, τ , er 0,191 MPa, og skyvespenningen fra den gravitative drivende kraft, P , er 0,157 MPa. Sikkerhetsfaktoren blir da $F = \tau/P = 1,2$.

Ved å legge inn et vanntrykk med 10 m vannsøyle i baksprekken, og fri dreinasje i fronten, samt hydraulisk gradient fra 10 m vanntrykk i bakkant til 0 m i fronten av glideflaten, får vi en skjærspenning $\tau_{\text{vann}} = 0,156 \text{ MPa}$. Tilsvarende spenning fra drivende kraft inkludert et vanntrykk på baksprekken er $P + v/l = 0,157 + 0,5/28 = 0,175 \text{ MPa}$. Sikkerhetsfaktoren $F_{\text{vann}} = \tau_{\text{vann}}/P = 0,89$.

Disse beregningene viser at stabiliteten ser ut til å være bra under tørre forhold. Det antas at bevegelsene primært skjer i forbindelse med sterk nedbør eller ved snøsmelting. Ved spesielle vær-situasjoner som sterk nedbør etter streng kulde, hvor vanntrykket på sprekkene kan stige uvanlig mye, kan bevegelsene gå raskere enn ellers. Store bevegelser vil imidlertid gi større sprekkåpning på glideplanet, slik at vanntrykket da vil gå ned som følge av bedre dreinasje. Dette vil vanligvis hindre plutselige utglidninger av store bergmasser.

4 KONKLUSJON OG FORSLAG TIL FORBEDRET SIKKERHET

Den sprekkavgrensede hammeren som omfatter flere tusen kubikkmeter er i langsomt sig utover. Imidlertid er bevegelsen i storparten av hammeren meget begrenset, og faren for at denne bevegelsen brått skal tilta synes å være liten. Rutinemessig kontroll vil likevel være å anbefale for å holde bevegelsene under oppsikt.

Den ytre delen av hammeren er i vesentlig større bevegelse enn hovedmassivet, og det første mulige utfall vil høyst sannsynlig skje ved at det 200 m^3 store partiet vist på figur 2 glir ut. Når dette første partiet er løsnet vil det 300 m^3 store partiet ved siden av miste sin sidestøtte, og bli det neste partiet som glir ut.

Sikringsvollen nede ved kote 175, som ligger 75 m lavere enn hammeren, er dimensjonert for å ta utfall av denne størrelsen. Spørsmål om enkeltblokker likevel kan springe over vollen er undersøkt ved en CRSP-modell-analyse (ref. 1), og funnet lite sannsynlig. Eventuell mulighet for blokkpassering av vollen

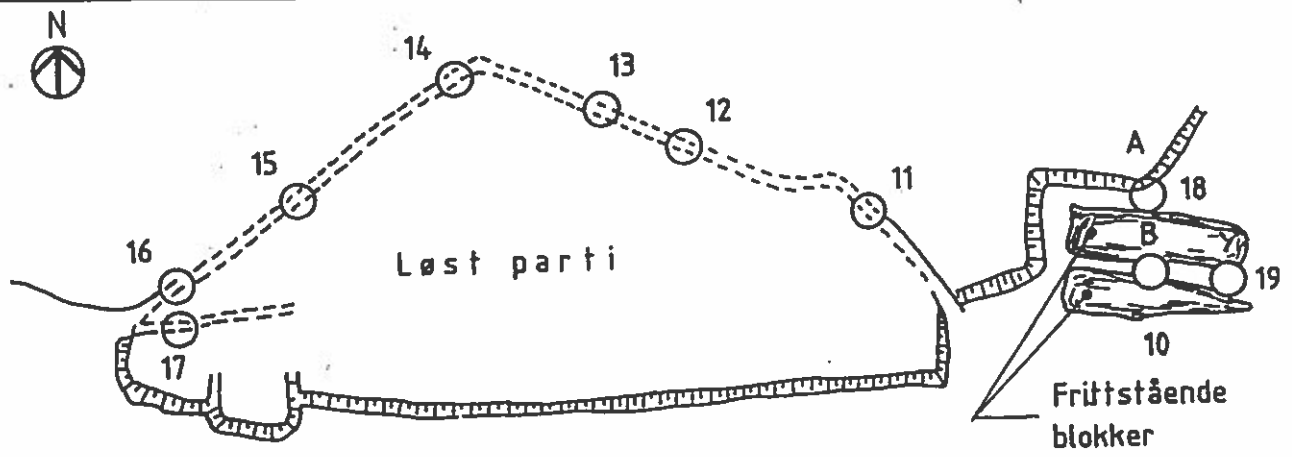


måtte være at blokkene knuses og at fragmenter slynges over denne, eller at blokker går til side for vollen. Slik vollen er plassert og dimensjonert, anses dette for lite sannsynlig. Konklusjonen er at vollen anses som god nok sikring for utfall av de blokkstørrelser som er mest sannsynlig fra Hallandsbergets vestsida.

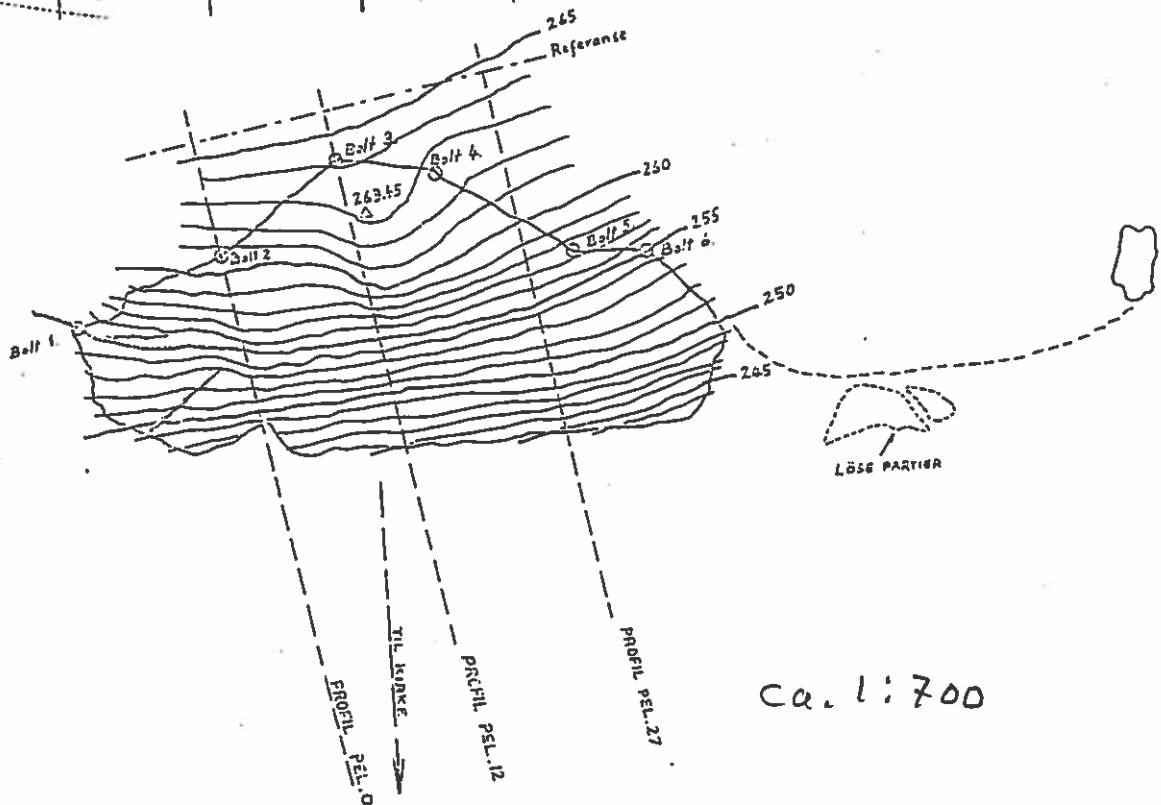
De store blokkene øst for hovedmassivet beveger seg raskere enn blokkene i selve hammeren. Faren for utfall anses å være stor på sikt, og utfallene fra dette området vil gå så langt øst at det er fare for at skredblokker vil passere på østsida av sikringsvollen. Det er gjort en simulering av blokkbevegelse også i dette området, og analysen viser at dersom større blokker passerer vollen vil de kunne nå ned til bebyggelsen nedenunder ved kote 100. Blokkene bør derfor fjernes for å eliminere denne faren. Knusing av blokkene ved sprengning vil være en måte å sikre seg mot utfall.

5 FIGUROVERSIKT

- | | |
|---------|---|
| Figur 1 | Bolteplassering 1:500, og oversiktskart |
| Figur 2 | Planskisser og profil Hammerens vestlige del |
| Figur 3 | Foto 1 og Foto 2 |
| Figur 4 | Foto 3 og Foto 4 |
| Figur 5 | Bevegelseskurver for måleboltene 16 og 17 |
| Figur 6 | Bevegelseskurver for måleboltene 11 til 15 |
| Figur 7 | Faksimile fra NGI-rapport 72611-4 av 6.10.76, Fotografier av sikringsvollen |



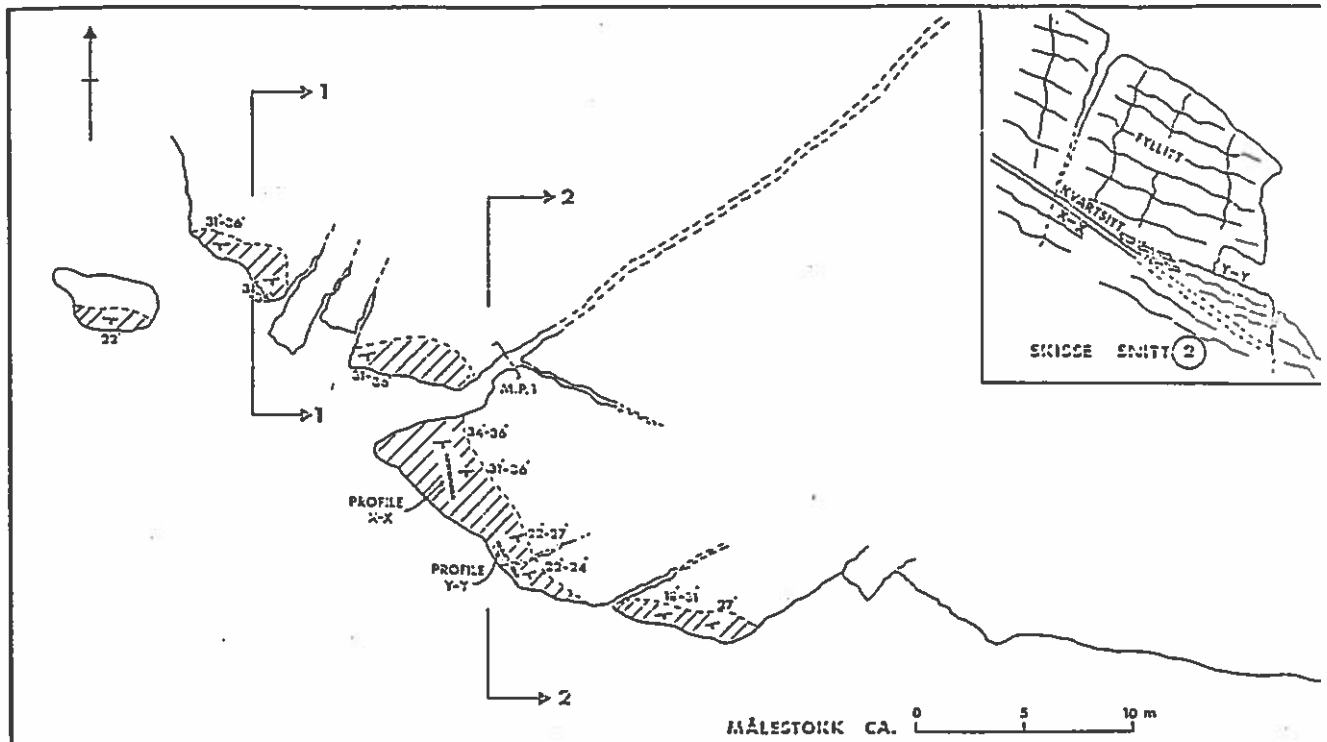
BOLTEPLASSERING M=1:500



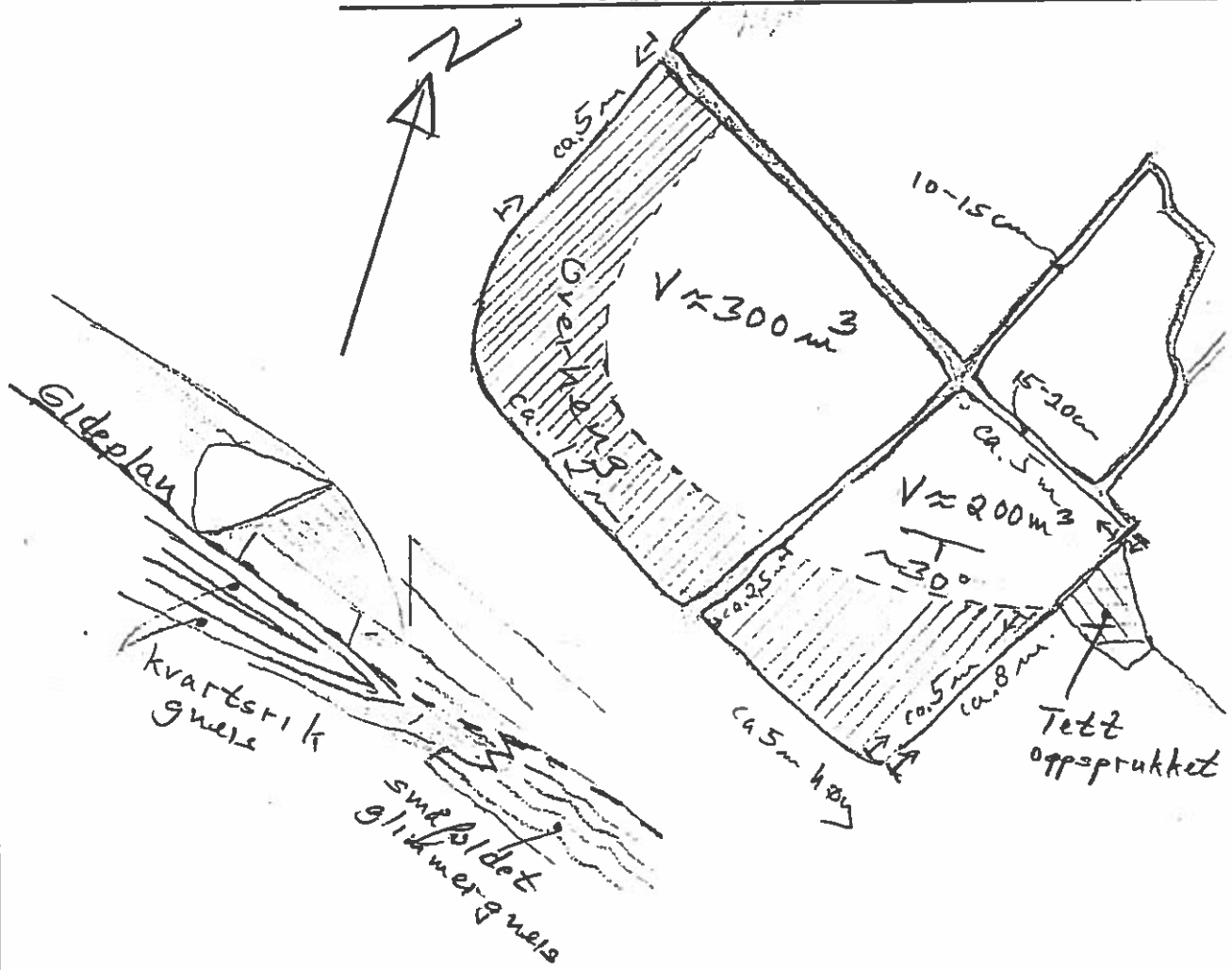
Plan etter O. Johansen
Leikanger komm. 95-72

ca. 1:700

LEIKANGER KOMMUNE	Rapport nr.	Figur nr.
	954069-1	1
HALLANDSHAMMAREN	Tegner	Dato
	EG	96-02-1
Bolteplassering Målestokk ca. 1: 500 Oversiktskart 1: 50.000, og ca. 1: 700	Kontrollert	
	Godkjent	



Etter NGI-rapport 72611-2, tegning 08.



LEIKANGER KOMMUNE	Rapport nr. 954069-1	Figur nr. 2
HALLANDSHAMMAREN	Tegner EG	Dato 96-02
Planskisser og profil fra Hammerens vestlige del	Kontrollert <i>[Signature]</i>	
	Godkjent <i>[Signature]</i>	

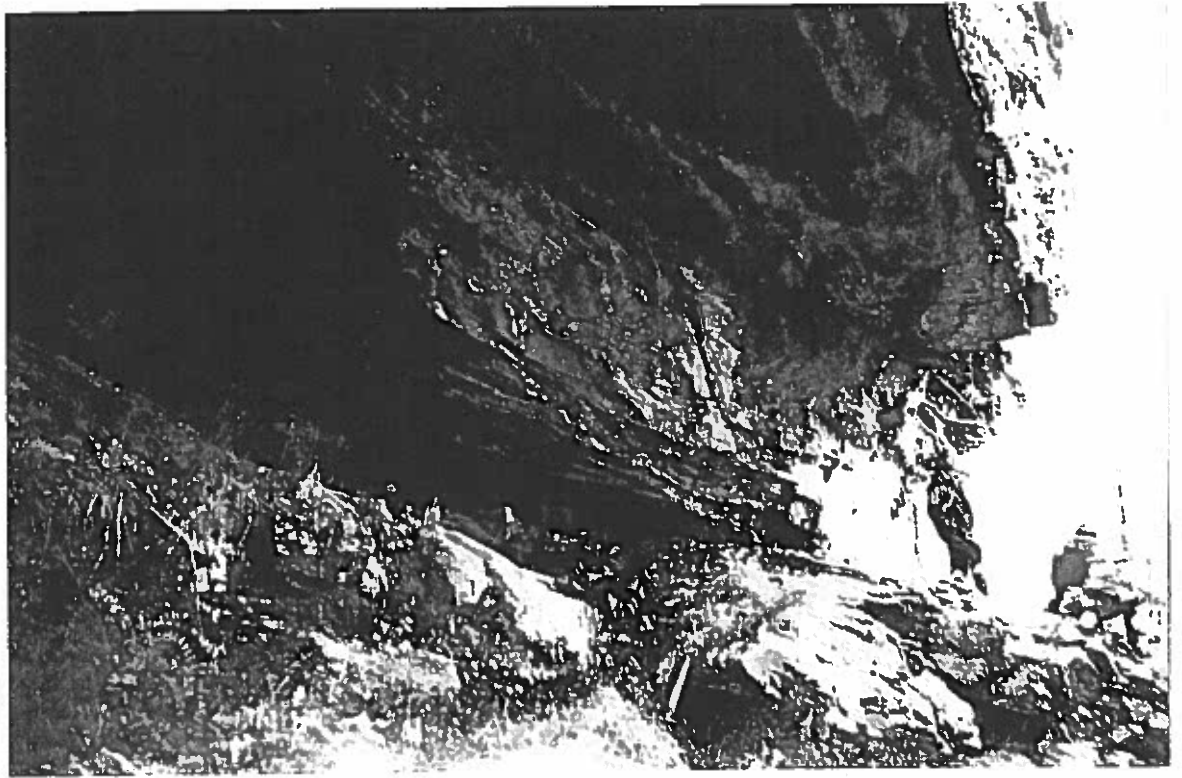


Foto 1

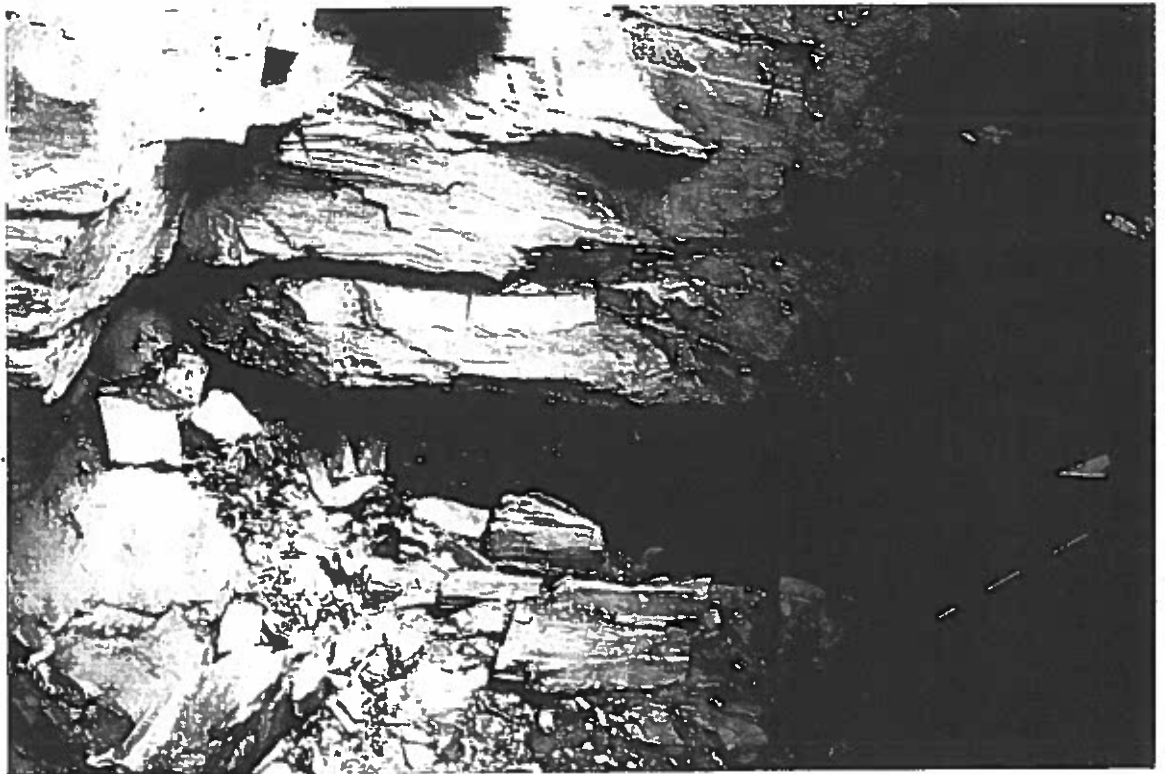




Foto 2

LEIKANGER KOMMUNE	Rapport nr. 954069-1	Fi
HALLANDSHAMMAREN	Tegner EG	D 9t
Foto 1 Vestsiden av glideplanet Foto 2 Bruddkant bak den østlige blokk B	Kontrollert 	
	Godkjent 	

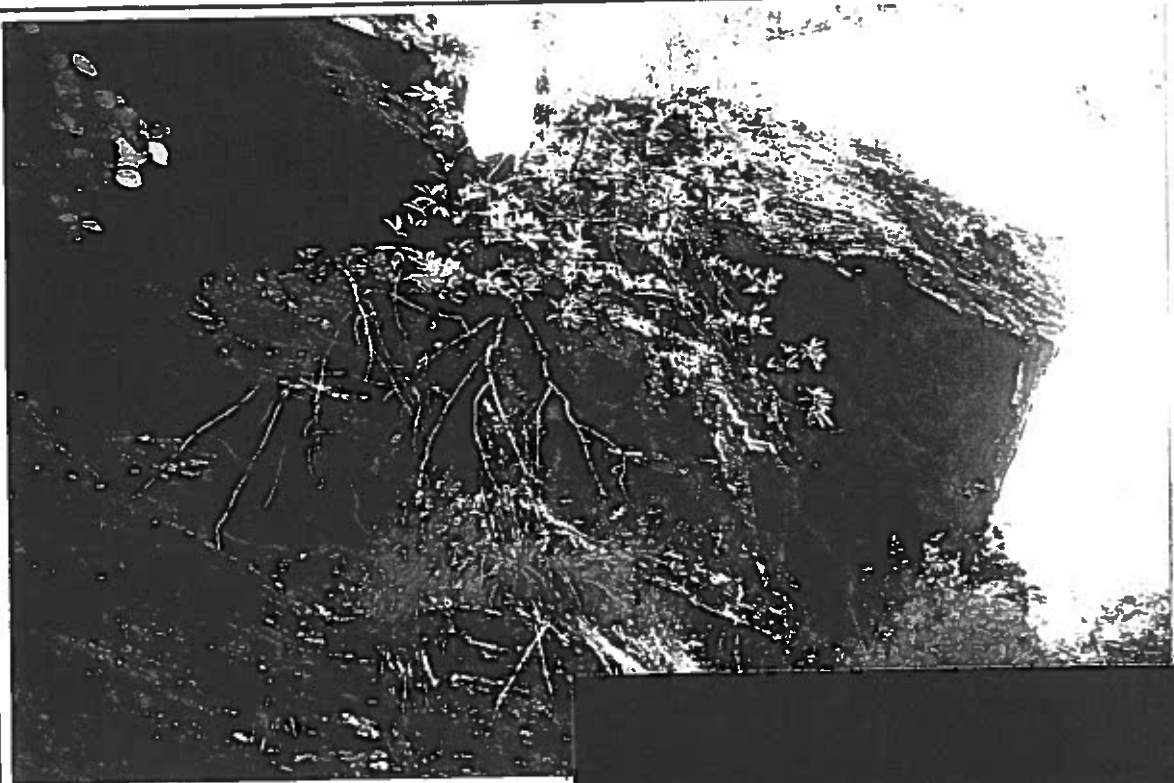



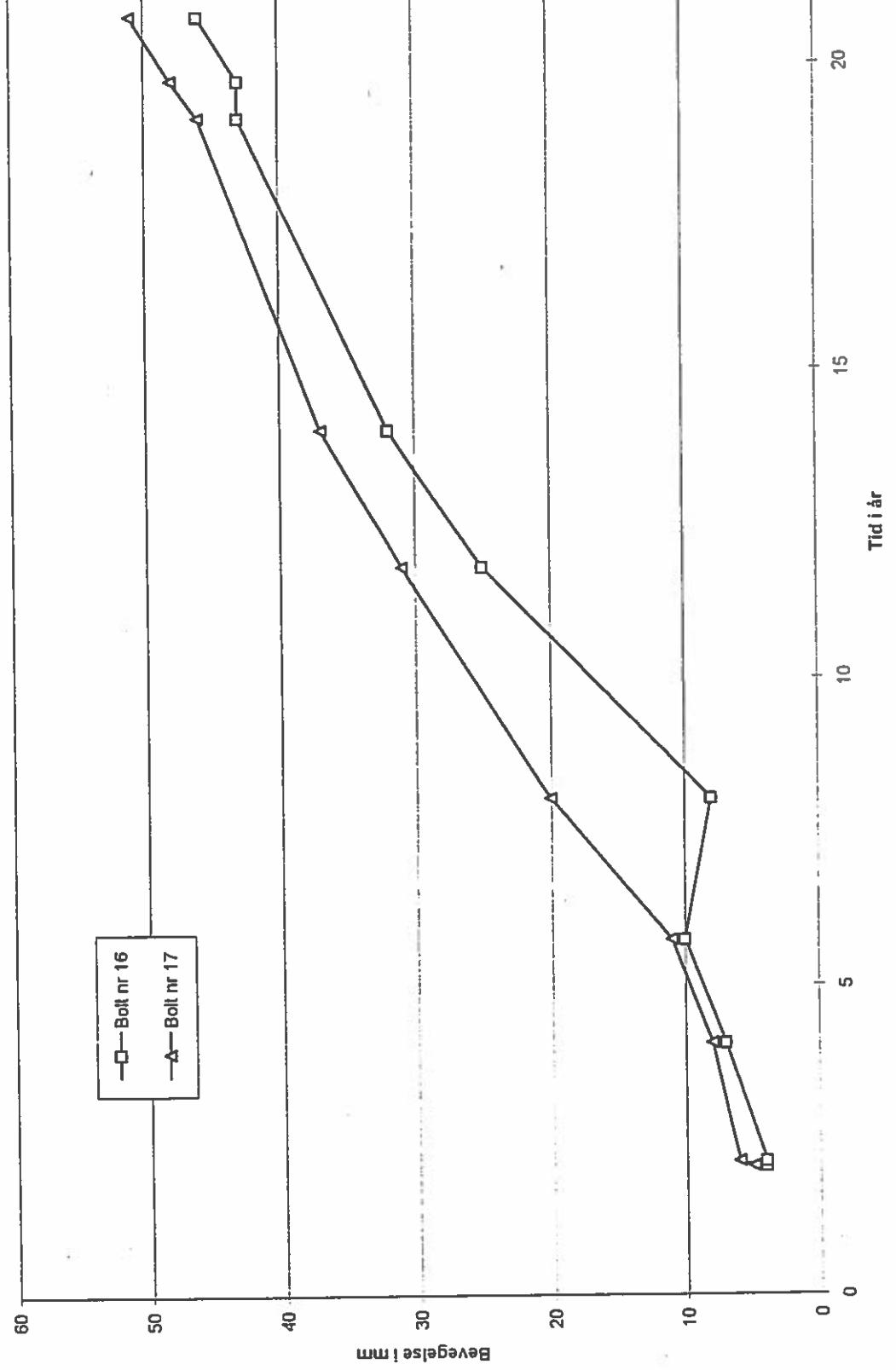
Foto 3



Foto 4

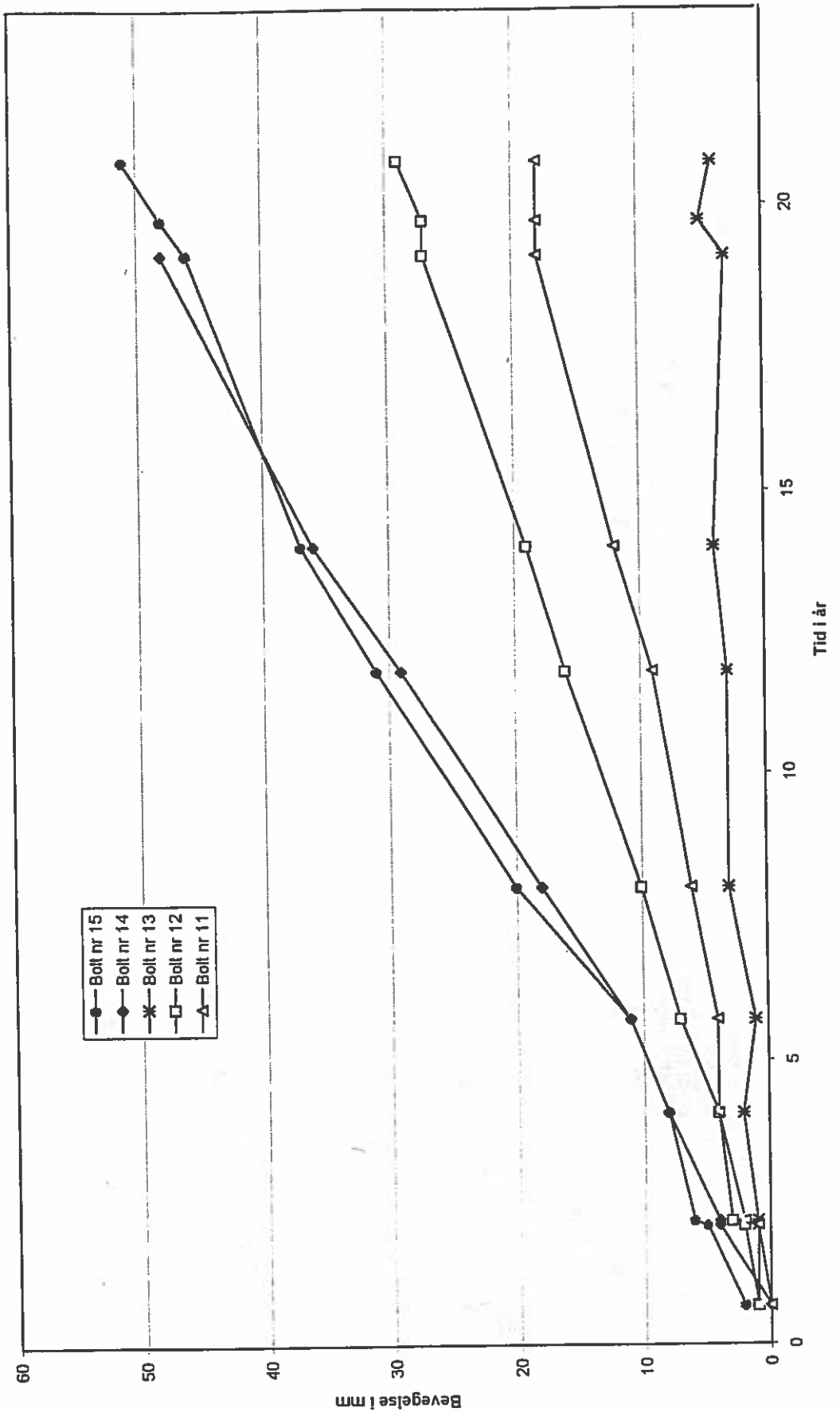
LEIKANGER KOMMUNE	Rapport nr. 954069-1	Figur nr. 4
HALLANDSHAMMAREN	Tegner EG	Dato 96-02
Foto 3 Fronten av hammerens vestlige del sett nedenfra Foto 4 Fronten av hammerens vestlige del sett fra vest	Kontrollert <i>[Signature]</i>	
	Godkjent <i>[Signature]</i>	

Deformasjoner ved måleboltene 16 - 17



LEIKANGER KOMMUNE	Rapport nr. 954069	Fig.
HALLANDSHAMMAREN	Tegner EG	Dat. 96-
Deformasjoner ved måleboltene 16 og 17 siden 02.10.1974	Kontrollert <i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
	Godkjent <i>[Signature]</i>	

Deformasjoner ved måleboltene 11 - 15




LEIKANGER KOMMUNE	Rapport nr. 954069	Figur nr. 6
	Tegner EG	Dato 96-03-c
HALLANDSHAMMAREN	Kontrollert <i>[Signature]</i>	
	Godkjent <i>[Signature]</i>	
Deformasjoner ved måleboltene 11 - 15 siden 02.10.1974		



Foto nr.1. Sikringsvollen under Hallandsberget.



Foto nr.2. Framstikkende fjellknaus i fanggravens østre del reduserer vollhøyden og fanggravens effekt.

LEIKANGER KOMMUNE	Rapport nr. 954069	Figur nr. 7
HALLANDSHAMMAREN	Tegner EG	Dato 96-03-06
Faksimile fra NGI-rapport 72611-4 av 6.10.76. Fotografier av sikringsvollen	Kontrollert <i>[Signature]</i>	
	Godkjent <i>[Signature]</i>	

SOGN OG FJORDANE FYLKESKOMMUNE
SENTRALADMINISTRASJONEN
Regionalavdelinga

Leikanger kommune
Teknisk etat

6861 LEIKANGER

Sakshandsamar: Bjørn Falck Russenes tlf.dir.: 57 65 62 53 E.post: bjorn.falck.russenes@sf-f.kommune.no

Arkivkode	Vår ref.	Dykkar ref.	Dato
K55	Arkivsnr.: 03/00754 L.nr: 002972/03		13.02.2003

LEIKANGER KOMMUNE - SKREDSIKRING HALLANDSBERGET

Etter avtale med Leikanger kommune, blei det 12. februar gjort ei synfaring i Hallandsberget (Hallandshammaren).

Føremålet med synfaringa var å vurdere mogelege metoder for sikring av ein del av Hallandsberget mot utfall. Per Gjerland møtte på vegner av kommunen. So langt har hovudideen vore å fjerne blokkene ved sprenging.

Saka har vorte aktuell i kommunen på grunn av ei konkret søknad om byggjeløyve. Noko kommunen har stilt i bero, inntil vidare.

BAKGRUNN

Hallandsberget har lenge vore vurdert som trugande og ustabil, med stor fare for utfall av til dels store blokker. Jfr. Rapportar frå NGI. Første gang nemnd i rapport frå 06.11.1959. Hallandsberget har vore under observasjon sidan 1970. Det er sett ut måleboltar i 1970 og i 1974. NGI har rapportert frå området pr. 30.10.1972, 06.08.1973, 06.10.1976 og seinast 15.02.1996.

Med bakgrunn i NGI rapportane, er det i løpet av 70 tallet bygd opp ein større sikringsvoll på nedsida av Hallandsberget, med toppen av vollen om lag på kote 175. Hallandsberget i seg sjølv ligg på kote 250. Det er ikkje kjent om denne sikringskonstruksjonen er sett på prøve. Så langt vi kjenner til, har sikringsarbeidet vore finansiert med støtte frå Statens Naturskadefond.

Gjennom avlesing av målepunkt, veit vi at dei avløyste fjellblokkene er i rørsle. Det er eit vekslende sig i massivet ovanfor fangvollen. Faren for utfall av utoverhengjande blokker er stor.

Ved synfaring og rapportering på midten av 90 talet, rapportert 15. februar 1996, blei sikringstiltaka vurdert. NGI meiner at vollen er dimensjonert for å ta utfall av ein slik storleik som kan påreknast frå Hallandsberget. NGI skriv vidare følgjande:

Postadresse:	Askedalen 2, 6863 LEIKANGER	Telefon:	57 65 61 00	Telefaks:	57 65 61 01
Besøksadresse:	Fylkeshuset	Org.nr.:	941 388 841		
Bankgiro:	3781.07.00050	E.post:	postmottak.sentraladm@sf-f.kommune.no		
		Internettadr.:	http://www.sf-f.kommune.no		

”Eventuell mulighet for blokkpassering av vollen måtte være at blokkene knuses og fragmenter slynges over denne, eller at blokker går til side for vollen. Slik vollen er plassert og dimensjonert, anses dette for lite sannsynlig. Konklusjonen er at vollen anses som god nok sikring for utfall av de blokkstørrelser som er mest sannsynleg fra Hallandsbergets vestsida”.

NGI peiker likevel på at det i austre flanke av Hallandsberget, er påvist ei blokksamling. Desse blokkene har ei rørsle som er 2 – 3 ganger raskere enn hovudblokka i vest. Om desse blokkene heiter det:

”Faren for utfall anses å være stor på sikt, og utfallene fra dette området vil gå så langt mot øst at det er fare for at skredblokker vil passere på østsida av sikringsvollen. Det er gjort en simulering av blokkbevegelse også i dette området, og analysen viser at dersom store blokker passerer vollen, vil de kunne nå ned til bebyggelsen nedenunder på kote 100”.

NGI tilrår derfor som sikring å fjerne blokkene ved sprenging.

NYE TILTAK

Frå kommunen si side ser det ikkje ut til at ein har følgd opp tilrådingane frå NGI, når det gjeld sikring av den austlege blokksamlinga. Saka har likevel fått ny aktualitet i samband med konkret søknad om byggjeløyve på garden Halland.

På denne bakgrunn er det av kommunen no reist spørsmål om kva som kan gjerast for å sikre Hallandsberget og samstundes legge til rette for å gje byggjeløyve for utbyggingsprosjekt på nedsida av Hallandsberget.

KONKRET VURDERING

Synfaringa 12. februar viser at det framleis må påreknast stor fare på sikt for utgliding av til dels store avløyste blokker i austlege ende av Hallandsberget. Saman med sprengingskyndig er det gjort vurderingar omkring praktisk utføring, dersom blokkene skal fjernast og sprengjast ned.

Terrenget er svært bratt, slik at det vil kunne bli vanskeleg å modellere, samle opp og ta vare på sprengsteinen. Slik sprenging vil vera teknisk krevjande, samstundes som effekten ikkje vil vera heilt eintydig. I bakkant av dei avløyste blokkene er det ei stor og høg brotflate, med eit markert overheng. I tillegg er det påvist glideplan ut mot fjorden, og avløysingssprekker som vil kunne bli aktivisert fram mot brot.

Ved vurdering av terrenghøva på staden, kan det derfor vera like aktuelt å sjå nærare på om det er mogeleg å etablere ein effektiv fangvoll som sikring av desse blokkene. Eventuelt ved at ein først byggjer ein fangvoll, for så i etterkant å ta ned dei mest ustabile blokkene.

Om lag i nivå med eksisterande fangvoll, ved kote 175, flater terrenget ut. Det er som ei lita terrasse, der ein og kjem i kontakt med dyrka mark på Halland. Det kan vera ei god løysing å plassere ei permanent fangvoll på denne staden. I så fall vil det bety at ein kan forlenga

eksisterande voll mot aust. Storleik og dimensjoner må ein vurdere ut frå kva behov som skal dekkjast. I den samanheng vil vi tilrå at det blir utarbeidd eit betre kartmateriale over området, slik at ein får oversyn over dei ymse komponentane; skredområde, bustadområde, vegar og sikringstiltak.

I samband med eit slikt tiltak, vil det truleg vera behov for ei fordjuping av eksisterande voll i austleg ende. Det vil også vera eit sterkt behov for å fjerne ei stor fjellblokk som i dag tar opp plass inne i eksisterande fangvoll. Denne blokka reduserar effekten av dagens sikringstiltak i betydeleg grad. Blokka kan i verste fall fungere som eit spretthopp ved framtidige steinskred.

Vi vil også rå til at skredmateriale og tilkomen vegetasjon inne i fanggropa blir rydda bort.

Med helsing

Magne Skaar
fylkesdirektør

Bjørn Falck Russenes
fylkesgeolog



Leikanger kommune
Sektor for Næring og utvikling

ARKIV : 72611

Innkomet	NGI
26 JULI 2004	
Levert til	FS

Norges Geotekniske Institutt
Sognsv. 72
0855 OSLO

Vår sakshandsamar:
Runar Stadheim

Innvalsnummer:
57 65 56 21

Dykkar ref.:

Vår ref.:
02/00782/RST

Dato
21.07.2004

A

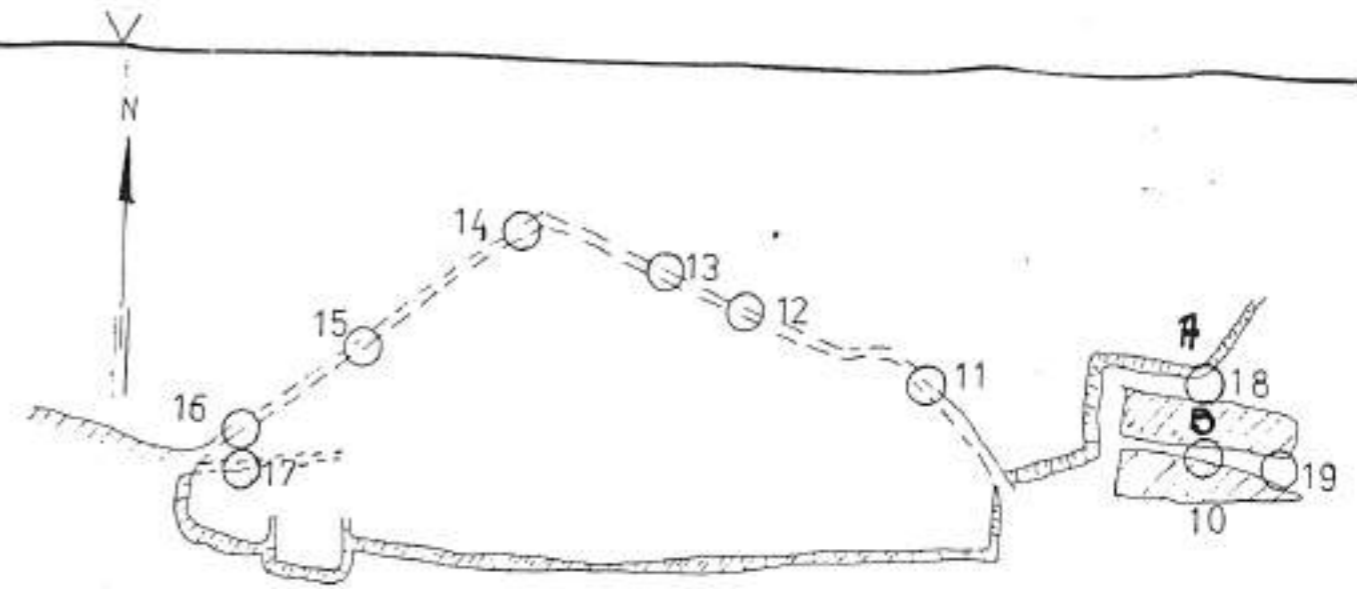
HALLANDSBERGET –KONTROLLMÅLINGAR

Vedlagt fylgjer kopi av dei siste målingane for Hallandsberget i Leikanger kommune, Sogn og Fjordane.

Med helsing

Runar Stadheim
Avdelingsing.

Kopi:
Statens Landbruksforvaltning



SKJEMA FOR MÅLERESULTATER

Alle mål i mm.

BOLTEPLASSERING M ca 1:500

DATO	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	DATO	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
1974											1993											
2-10-1974	980	510	1014	781	1052	1111	996	763	1510	1103	08.11	1149	528	1041	784	1100	1157	1039	772	1664	1270	
3-6-1975	983	510	1015	782	1052	1113	997	764	1510	1109	1994											
10-5-1976	997	511	1016	782	1056	1116	1000	766	1511	1129	16.06.	1152	5285	1041	786		1159	1039	771	1665	1271	
30-11-76	999	512	1017	782	1056	1117	1000	764	1513	1132	1995											
11-3-1977	999								1512	1132	04.07	1155	528	1043	785		1162	1042	774	1672	1274	
31-10-1978	1006	514	1018	783	1060	1119	1003	765	1514	1139	20.07	1167	540	1055	791		1184	1065	777	1695	1286	
25-5-1980	1029	514	1021	782	1063	1122	1006	768	1519	1159												
15-10-1982	1060	516	1024	784	1070	1131	1004	765	1537	1187												
22-7-1986	1098	519	1030	784	1081	1142	1021	768	1573	1220												
7-10-88	1112	522	1033	785	1088	1148	1028	768	1595	1232												

W. S.T.S.

W. S.T.S.

W. S.T.S.

W. S.T.S.

W. S.T.S.

W. S.T.S.

RG
+ A.H.
P.G. pda
B.F. Rost
P.G. pda
P.H.
RST

HALLANDSHAMMEREN - LEIKANGER		Date	14-1-75	Tegner
Skisse av det rasfarlige parti med målebolter		Godkjent		
Skjema for måleresultater		Oppdr. nr.	72611-3	
Norges geotekniske institutt		Tegn. nr.	012	

NGI	Innkommert: 18/11/88
	Levares til: KH ✓

KLied ✓
JOL

Leikanger kommune
Teknisk etat
5842 LEIKANGER

J.nr. 4153/88

Na/GL

10. november 1988

KONTROLLMALINGAR/SIKRINGSTILTAK I HALLANDSBERGET -
LEIKANGER KOMMUNE.

Vi viser til brevbyte i nemnde sak.

Vedlagt følger rapporter i saka utarbeidd av NGI dagsett
31.10.88.

Etter det ein kan sjå av rapporten rår den til at ein
gjeng vidare med oppfølging/registreringsutstyr for sjelve
hømmaren (berget) og ei sikring/nedsprenning ev. analyse
av sprengretning for dei store lausblokkene mot aust.

Ein ber Dykk difor om ein uttale/syn på dette og rapporten
forevrig.

Med helsing

Johan Nakken
avd.ing.

Vedlegg.

Gjenpart: NGI, Postboks 40 Tåsen, Oslo 8.

K O P I

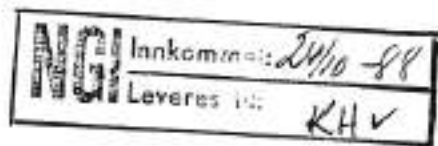
STATENS NATURSKADEFOND SEKRETARIATET

POSTADRESSE: POSTBOKS 8140 DEP., 0033 OSLO 1

TELEFON: (02) 90 59 00

7. 279 / 88

Norges Geotekniske Institutt
Postboks 40 Tåsen
0801 OSLO 8



KLied ✓
JOL

Deres ref.

Vår ref. (bes oppgitt ved svar)

Dato

J.nr. 3605/88 Na/go

. 21. okt. 1988

KONTROLLMÅLINGAR/TILTAK I HALLANDSBERGET I LEIKANGER KOMMUNE.

Vi viser til de siste målinger/uttalelser fra Leikanger kommune ved kopi til Dem av 13.10.88.

Vi ber om Deres uttalelse i saken i henhold til brevet/målingene og i saken forøvrig.

Med hilsen

Johan Nakken
Johan Nakken e.f.
avd.ing.

Kopi: Leikanger kommune, Tekn.etat, 5842 Leikanger

LEIKANGER KOMMUNE

TEKNISK ETAT

Kontoradr.: 5842 Leikanger

Telefon: (066) 53222

KOPI

7. 267 / 88



Statens Naturskadefond
Postboks 8140
Dep
OSLO 1

Innkomet: 14/10-88
Leveres til: KHV

KLied ✓
JOL

Dykkar ref.

Dykkar brev av

Vår ref. KR/br.

Dato 13.10.88.

HALLANDSBERGET I LEIKANGER. - Kontrollmålingar - Tiltak.

Vedlagt fylgjer resultatet av kontrollmålingar utført, den 07.10.88.

I tillegg til målingane den 07.10 vart området under hamaren synfare den 12.10 ved fylkesgeolog Russenes og kommuneingeniøren.

For hovudblokka syner målingane ikkje større endringar. For dei lause blokkene i aust, - målepkt. 10, 18 og 19 -, derimot er både den utviklinga målingane syner, og det som kom fram ved synfaringa, slik at det no etter kommuneingeniøren si vurdering neppe bør ventast lenger med tiltak.

NB!

Ved rapport dagsett 06.10.76 har NGI komme med framlegg til sikring for dette området. Kommuneingeniøren meiner at dersom ikkje anna skulle komme fram etter nyare granskingar, bør tiltaka etter dette framlegget gjennomførast no.

Detaljane i tiltaka må då spesifiserast nærare av NGI slik at kostnadsoverslag kan utarbeidast.

I ei mellomtid bør det nedsettast fleire målepunkt.

Kommunen ber Naturskadefondet å ta saka opp til vurdering snarast.

Kaare Risnes
Kaare Risnes
komm.ing.

Vedlegg: Måledata av 07.10.88.

Kopi til: Ordføraren
Fylkesgeolog Bjørn Falck Russenes
N.G.I. Postboks 40, Tåsen

38-51

Vedlegg hos JOL

1028
17
1712
280
132

1061 Jnr. 258/82

STATENS NATURSKADEFOND
SEKRETARIATET

KONTOR: DANNEVIGGSVEIEN 10, SAGENE - TELEFON (02) 360485
POSTADRESSE: POSTBOKS 8140 DEP., OSLO 1

POSTADRESSE:
POSTBOKS 8140 DEP.,
NY KONTORADRESSE:
DRAMMENVEIEN 158
(EGGENGÅRDEN), SKO
NYTT TELEFONNR.:
02 - 55 99 94

Norges geotekniske institutt
Postboks 40 Tåsen

OSLO 8

Inn	19/11-82
L	Lied

J.O.L. ✓

Deres ref.
JOL/et

Vår ref. (bes oppgitt ved svar)
J.nr. 3334/82 Ha/gt

Dato
17. november 1982

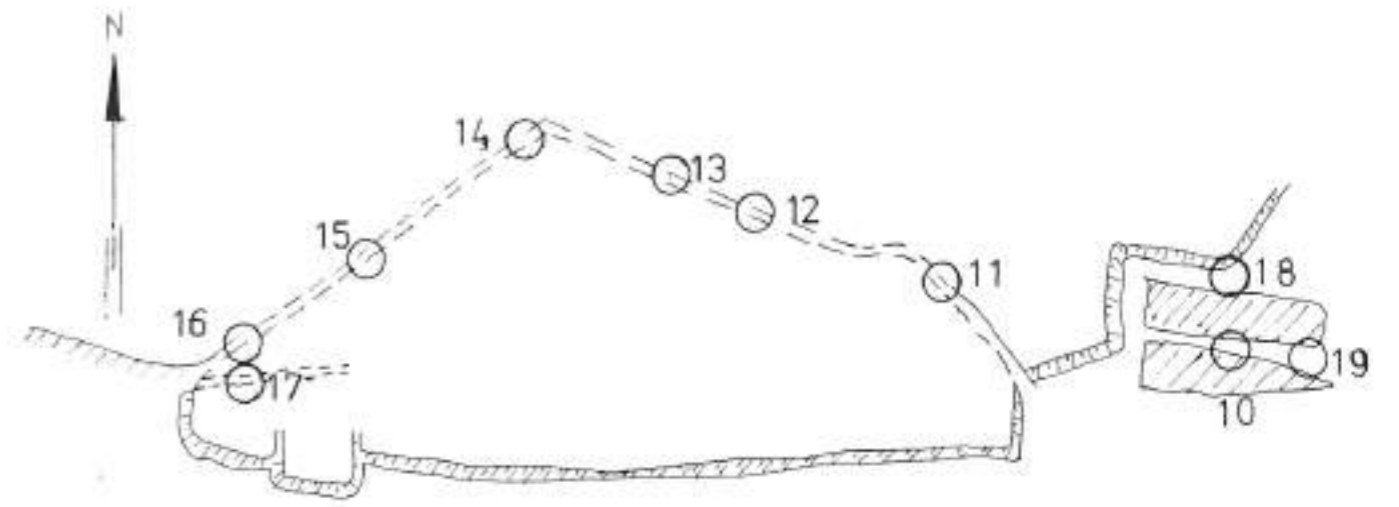
VURDERING AV BEHOV FOR SIKRING AV FJELLBLOKKER I
HALLANDSBERGET - LEIKANGER - SOGN OG FJORDANE.

Det vises til tidligere korrespondanse vedrørende resultat av kontrollmålinger i Hallandsberget, senest ekspedisjon av 15.10.82 fra teknisk etat i Leikanger.

Under henvisning til telefonsamtale 15.11.82, mellom Dem og avdelingsingeniør Joar Børstad, ber en med dette om at det for fondets regning blir foretatt befaring på stedet, for vurdering av behovet for å sikre deler av Hallandsberget.

R.B. Henriksen

Gjenpart:
Leikanger kommune, Kommuneingeniøren, 5842 Leikanger.



BOLTEPLASSERING M ca 1:500

SKJEMA FOR MÅLERESULTATER Alle mål i mm.

DATO	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	DATO	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
1974																						
2-10- "	980	510	1014	781	1052	1111	996	763	1510	1103												
1975	983	510	1015	782	1052	1113	997	765	1510	1109												
10-5-1976	997	511	1016	782	1056	1116	1000	766	1511	1129												
10-6	998	512	1017	783	1055	1115	1000	764	1511	1131												
30-11-1976	999	512	1017	782	1057	1117	1000	764	1513	1132												
31-10-1978	1006	514	1018	783	1060	1119	1003	765	1514	1139												
23-5-1980	1029	514	1021	782	1063	1122	1006	768	1519	1159												
15-10-1982	1060	516	1024	787	1070	1131	1004	765	1537	1187												
22-7-1986	1098	519	1030	784	1081	1142	1021	768	1573	1220												
7-10-88	1112	522	1033	785	1088	1148	1028	768	1595	1232												

HALLANDSHAMMEREN - LEIKANGER		Dato	14-1-75	Tegner
Skisse av det rasfarlige parti med målebolter		Godkjent		
Skjema for måleresultater		Oppdr.	nr. 72611-3	
Norges geotekniske institutt		Tegn.	nr. 012	

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT
Norwegian Geotechnical Institute

Rapport over

befaring i Hallandsgrend i
Leikanger 23. september 1959
i anledning steinskredfare.

S. 181.

6. nov. 1959.

OSLO — BLINDERN — TLF. 69 58 80

Bilag: Skisse.

*Skisse av den gamle steinveggen og påfølgende
med en rekonstruksjon av fundamentet
i Leikanger 23. 9. 1959.
E. J.*

INNLEDNING.

Efter oppdrag fra Landbruksdepartementet har Norges geotekniske institutt forstatt befaring i Hallandsgrend i Leikanger i anledning faren for steinskred. Befaringen foregikk 23. september 1959 og kommunetekniker K. Risnes og en av oppsitterne deltok.

Foranledningen til søknad om befaring var at en stor blokk oppe i skrenten ovenfor bebyggelsen og ovenfor fruktfeltene hadde glippet fra fjellet forøvrig og seget ca. 40 cm de siste årene.

DEN AVLØSTE BLOKK.

Filag 1 viser planskisse av blokken samt terrenget omkring. Bergarten på stedet er nærmest kvartsitt med mest tynne glimmerrike lag og enkelte likeledes tynne, muligens sekundære kvartslag. Strøk og fall varierer, gjennomgående er strøket W - E og fallet ca. 20 g sørover. Lokale småfolder finnes. En viss avløsning foregår parallell lagdelingen. De mest markerte sprekker har retning N 40-50 g med ca. 90 g fall nordvest og retning N 150 g og vertikalt fall. To sprekker tilhørende disse system har avløst en blokk på ca. 150 m³. Eredden på den SE-gående sprekk er 1-1,5 m og dybden ned til bunnen er 5-7 m. Eredden på den NE-gående sprekk er opp til 3 m og dybden avtar fra 6-7 m i nordøst til omtrent ingen i sørvest. I bunnen av sprekken ligger nedrast materiale. Ellant dette er tydeligvis også helt ny-avløste stein og blokker. På toppen av sprekken går det her og der tretrøtter og lengst øst er en gammel ask blitt stående midt over sprekken.

Sørvest for denne blokken, og adskilt ved en mot sørvest fallende åpen sprekk, ligger en lavere blokk som synes å ha blitt avløst tidligere. Nedenfor disse to blokkene mot sør og sørøst, er et lite trinn i terrenget og anstående fjell. Det er ikke mulig her å se tegn eller merker etter en fremskyvning av blokkene. Den vestligste blokk er såvidt lav at den neppe kan innebære særlig fare. Anderledes er det med den østligste.


Denne kan imidlertid neppe bevege seg særlig utover så lenge den andre ligger foran. Det er imidlertid vanskelig å få noe inntrykk av selve foten på denne blokken.

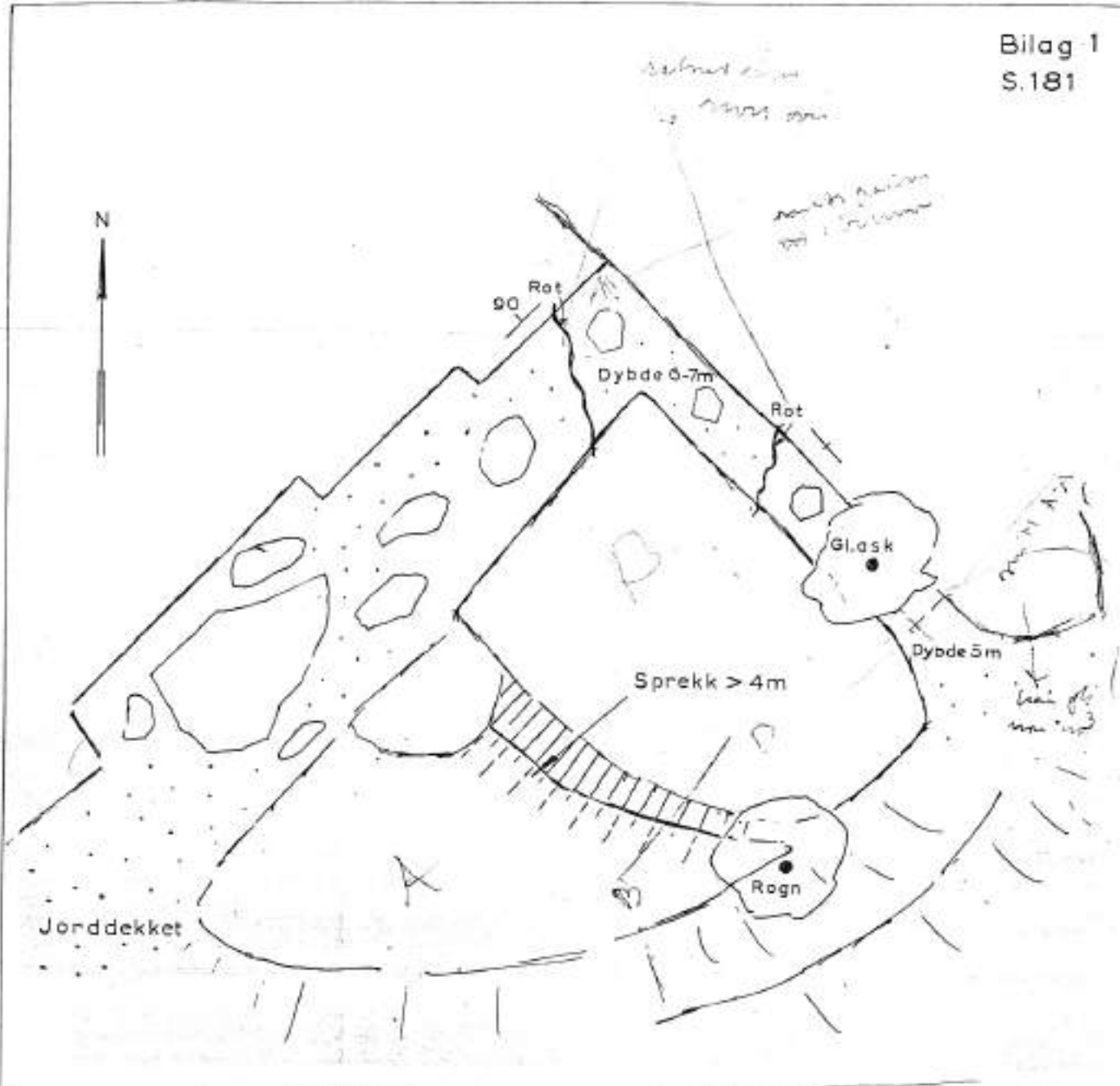
SIKRINGSTILTAK.

Oppstøtting eller fastbolting av den østligste blokken kan neppe være hensiktsmessig. Vi foreslo på stedet for kommuneteknikeren at to eller tre målebolter ble innsatt i østligste sprekk på de smaleste stedene nederst og øverst. Man kan herigjennom få kontroll på hvorvidt blokken er i bevegelse. Hvis det viser seg at den er det, på en slik måte at det er fare for utrasning, bør iallfall den øvre halvdel av blokken sprenges istykker ovenfra og nedover. En forsiktig sprengning her skulle ikke medføre særlige vanskeligheter eller fare.

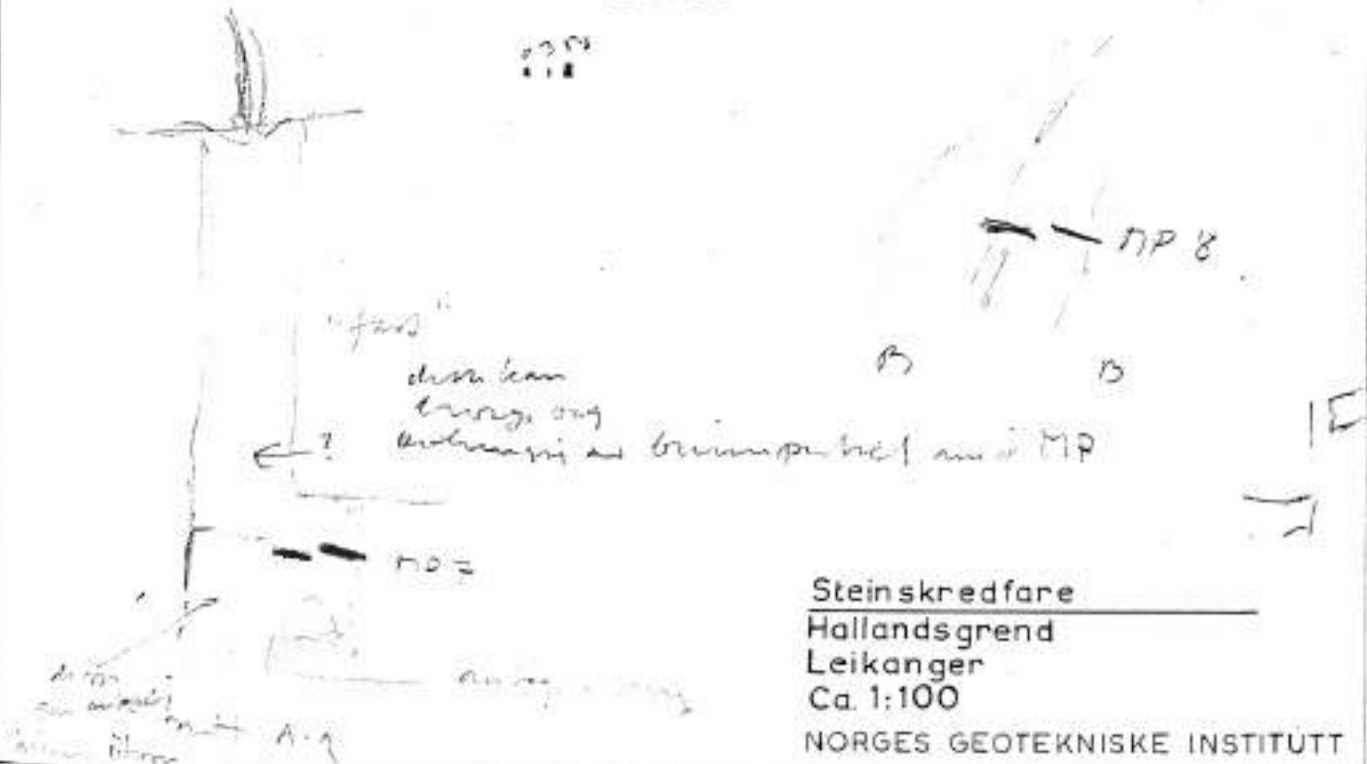
NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT


Laurits Ejerrum


Finn Jørstad



Planskisse av avdelt blokk
Ca. 1:100



Steinskredfare
Hallandsgrend
Leikanger
Ca. 1:100
NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT

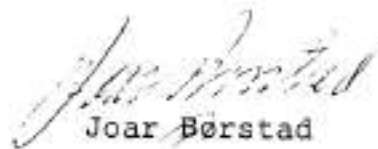
Befaring av utrygg steinformasjon i
Hallandsberget, Leikanger kommune.

Befaringen viste at det var en viss bevegelse i steinformasjonen, men det kunne ikke påvises noen direkte fare for utfall med det første. På sikt må en vel tenke på en nedsprenning av partiet. En forutsetter at måling av blokkene fortsetter.

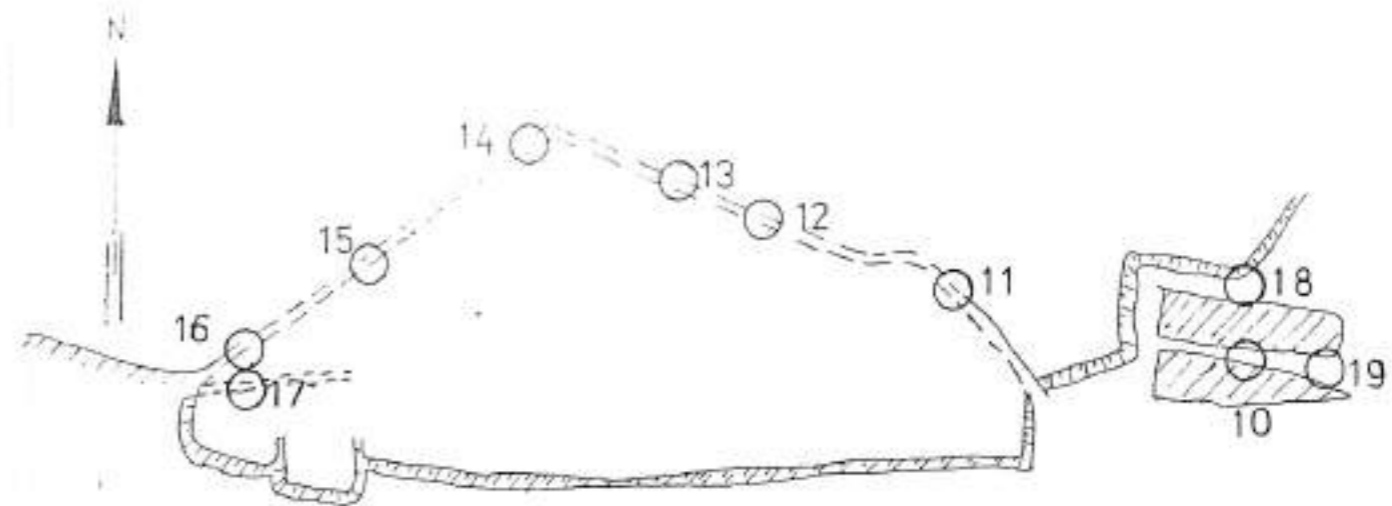
Oslo 13. august 1986.



Jan Otto Larsen
ing.geolog



Joar Børstad
overingeniør.



BOLTEPLASSERING M ca 1:500

SKJEMA FOR MÅLERESULTATER

Alle mål i mm.

DATO	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	DATO	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
1974																						
2-10- "	980	510	1014	781	1052	1111	996	763	1510	1103												
1975	983	510	1015	782	1052	1113	997	765	1510	1109												
10-5-1976	997	511	1016	782	1056	1116	1000	766	1511	1129												
15-6	998	512	1017	783	1055	1115	1000	764	1511	1131												
30-11-1976	999	512	1017	782	1057	1117	1000	764	1513	1132												
31-10-1978	1006	514	1018	783	1060	1119	1003	765	1514	1139												
23-5-1980	1029	514	1021	782	1063	1122	1006	768	1519	1159												
15-10-1982	1060	516	1024	784	1070	1131	1004	765	1537	1187												
22-7-1986	1098	519	1030	784	1081	1142	1021	768	1573	1220												
7-10-1988	1112	522	1033	785	1088	1148	1028	768	1595	1232												

HALLANDSHAMMEREN - LEIKANGER

Skisse av det rasfarlige parti med målebolter
Skjema for måleresultater

Dato
14-1-75

Tegner

Godkjent

Oppdr.
nr 72611-3

Tegn.
nr 012

KOPI

NGI	Innkomet: 25/7-86
	Leveres til: NBV ✓

KL
Sec ✓

KVIKK- BREV

TIL	NGI
	Postboks 40
	Tåsen
	OSLO 8

<input type="checkbox"/> ETTER AVTALE	<input checked="" type="checkbox"/> TIL ORIENTERING	<input type="checkbox"/> VER VENLEG, RING TLF.: _____
<input type="checkbox"/> TIL GODKJENNING	<input type="checkbox"/> KAN BEHALDAST	<input type="checkbox"/> BER OM SVAR FRÅ DYKK
<input type="checkbox"/> TIL UNDERSKRIFT	<input type="checkbox"/> TIL UTLÅN	<input type="checkbox"/> IFLG. BREV/TLF. FRÅ DYKK _____
<input type="checkbox"/> TIL BEHANDLING	<input type="checkbox"/> TILBAKE MED TAKK FOR LÅNET	<input type="checkbox"/> HASTAR

Vedlagt følger kopi av dei siste målingane for Hallandsberget, Leikanger kommune, Sogn og Fjordane.

STAD - DATO:	UNDERSKRIFT:
Leikanger 23.07.86	Per Holen

Bilag hos JOL

På bestilling hos Oskar Randsbry A/S, Oslo, Tlf. 20 23 38, Skj. 71797

Det vedlagde vert sendt utan fyljeskriv.

Til

M.G. 1.

Saka gjeld — Referanse

Måleresultat for
rasferleg parti Helligandsberget
i Resbanger.

Til orientering

Etter avtale

Til gjennomsyn og retur

Til fråsegn

Til godkjenning og retur

Til påskrift og retur

Til handsaming

Med referanse til Dykkar skriv dagsett

Attende med takk for lånet.

Feilsendt hertil

Til retting

Til Dykk som rette vedkomande.

Til arkivering

For sending til

Kan sending til

Skal sendast til

For retur innan

Leggjast ved saker til neste møte

Innkomet	2/2-76
Leveres til	Lied

Stad

Dato

Underskrift

Leik. 30/11-76

G. Johansen.

1061 Jnr. 222/82

STATENS NATURSKADEFOND
SEKRETARIATET

KONTOR: DANNEVIGSVÆIEN 10, SAGENE - TELEFON (02) 380485

POSTADRESSE: POSTBOKS 8140 DEP., OSLO 1

POSTADRESSE:
POSTBOKS 8140 DEP., OSLO
NY KONTORADRESSE:
DRAMMENVEIEN 168
(EGGENGÅRDEN), SKOYEN
NYTT TELEFONNR.:
02 - 55 99 94

Norges geotekniske institutt
Postboks 40 Tåsen

OSLO 8

Innlemmet: 19/11-82
Løst nr.: Lied

JOL.

Deres ref.
JOL/et

Vår ref. (bes oppgitt ved svar)
J.nr. 3334/82 Ha/gt

Date
17 november 1982

VURDERING AV BEHOV FOR SIKRING AV FJELLBLOKKER I
HALLANDSBERGET - LEIKANGER - SOGN OG FJORDANE.

Det vises til tidligere korrespondanse vedrørende resultat av kontrollmålinger i Hallandsberget, senest ekspedisjon av 15.10.82 fra teknisk etat i Leikanger.

Under henvisning til telefonsamtale 15.11.82, mellom Dem og avdelingsingeniør Joar Børstad, ber en med dette om at det for fondets regning blir foretatt befaring på stedet, for vurdering av behovet for å sikre deler av Hallandsberget.

R.B. Henriksen

Gjenpart:
Leikanger kommune, Kommuneingeniøren, 5842 Leikanger.

Innkommert: 18/10-82
Leveres til: Leid ✓

lynes du til dette? ✓

KVIKK-JOL BREV

TIL: NGI
Postboks 40
Tåsen
Oslo 1

- | | | |
|--|---|---|
| <input type="checkbox"/> ETTER AVTALE | <input checked="" type="checkbox"/> TIL ORIENTERING | <input type="checkbox"/> VSR VENLEG, RING TLF.: |
| <input type="checkbox"/> TIL GODKJENNING | <input type="checkbox"/> KAN BEHALDAST | <input type="checkbox"/> BER OM SVAR FRÅ DYKK |
| <input type="checkbox"/> TIL UNDERSKRIFT | <input type="checkbox"/> TIL UTLÅN | <input type="checkbox"/> IFLG. BREV/TLF. FRÅ DYKK |
| <input type="checkbox"/> TIL BEHANDLING | <input type="checkbox"/> TILBAKE MED TAKK FOR LÅNET | <input type="checkbox"/> HASTAR |

Vedlagt følger dei siste målingane på Hallandsberget
Lekanger Sogn og Fjordane

STAD - DATO: Lekanger 15/10-82
UNDERSKRIFT: Bjørstand

STATENS NATURSKADEFOND
SEKRETARIATET

POSTADRESSE: OSLO-DEP., OSLO 1 - TELEFON 39 04 85
KONTOR: DANNEVIGSVEIEN 10, SAGENE

Norges geotekniske institutt,
Postboks 40 Tåsen,
OSLO 8.

Innkommet	9/12-76
Leveres til	Lied ✓

Fol.

Deres ref.

Vår ref. (bes oppgitt ved svar)

Dato

K.Lied.

Jnr. 8310/76 Ha/IN

8. desember 1976.

KONTROLL AV MÅLEBOLTENE I HALLANDSBERGET -LEIKANGER -
SOGN OG FJORDANE.

En viser til tidligere korrespondanse vedrørende kontroll
av målebolter i Hallandsberget, senest Deres rapport 72611-4,
av 06.10.1976.

En ber om Deres kommentar til de vedlagte måleresultater av
30.11.1976.

Etter fullmakt

Edgar Hamre.
Edgar Hamre
konsulent

Vedlegg.

STATENS NATURSKADEFOND

08310 02.12.76



SKJEMA FOR MÅLERESULTATER

Alle mål i mm

BOLTEPLASSERING M ca 1500

DATE	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	DATE	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
1976																					
2-10-76	980	510	1014	781	1052	1111	996	762	1510	1103											
3-6-1975	983	510	1015	782	1052	1113	997	764	1510	1109											
10-5-1976	997	511	1016	782	1056	1116	1000	766	1531	1129											
30-11-76	999	512	1017	782	1057	1117	1000	764	1513	1132											
1977																					
1978																					

Handwritten notes:
 6-7
 10-5-1976
 30-11-76

HALLANDSHAMMEREN - LEIKANGER		Date	14-1-75
Skisse av det rasfarlige parti med målobster		Prosjekt	
Skjema for måleresultater		Geogr	nr 72611-3
Norges geotekniske institutt		Tege	nr 012

Statens Naturskadefond
Oslo Dep.

OSLO 1

Oslo, 24. juni 1975
JOL/emb

72611 HALLANDSBERGET - LEIKANGER
-----Kontrollmåling av bolter.-----

De 10 måleboltene som er plassert i Hallandsberget ble kontrollmålt av kommuneingeniøren i Leikanger 3. juni d.å. Resultatene er vist på vedlegg.

Det er registrert en forskyvning av den ytre av de østliggende blokker, og en svak glidning av hovedmassivet. Ved blokken er det registrert en forskyvning på 3 og 6 mm. Registreringene ved hovedmassivet er fra 0 - 2 mm.

Vi anser utviklingen som normal. Den langsomme forskyvning og glidning som har pågått i noen år ser ut til å fortsette.

Vi vil presisere at måleprogrammet er av største betydning for å få kartlagt bevegelsene og bør fortsette som planlagt.

for NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT

Jan Otto Larsen

Vedlegg

Det vedlagde vert sendt utan fylgjeskriv.

Til

M.G.I.

Saka gjeld — Referanse

*Måleresultat for
rasfarleg parti, Halvandsberget
i Leikanger.*

Til orientering

Etter avtale

Til gjennomsyn og retur

Til fråsegn

Til godkjenning og retur

Til påskrift og retur

Til handsaming

Med referanse til Dykkar skriv dagsett:

Attende med takk for lånet

Feilsendt hertil

Til retting

Til Dykk som rette vedkomande

Til arkivering

For sending til

Kan sending til

Skal sendast til

For retur innan

Leggjast ved osaker til neste møte

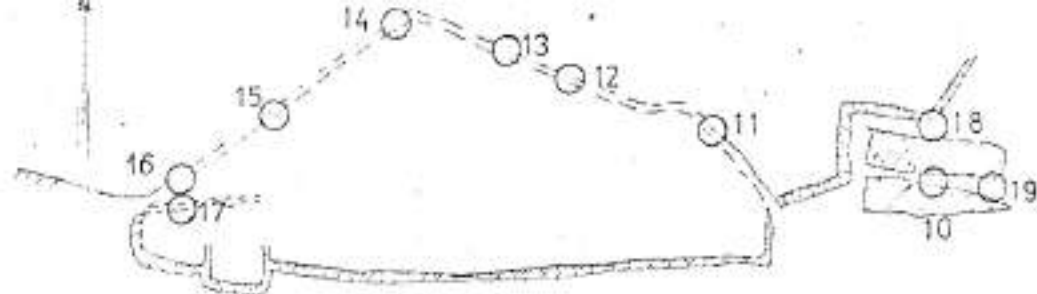
Stad

Dato

Underskrift

Leikanger 1/6-75 E. Johnson

Innkommen	<i>11/6-75</i>
Lavorde til	<i>H.H. Lied</i>



BOLTEPLASSERING M ca 1:500

SKJEMA FOR MÅLERESULTATER

Alle mål i mm

DATO	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	DATO	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
1974																						
2-10- "	960	510	1014	781	1052	1111	996	763	1510	1103												
3-6-1975	983	510	1015	782	1052	1113	997	764	1510	1109												
9-5-1976	997	511	1016	782	1056	1116	1000	766	1531	1129												
1977																						
1978																						

HALLANDSHAMMEREN - LEIKANGER

Dato 14-1-75 Tegner

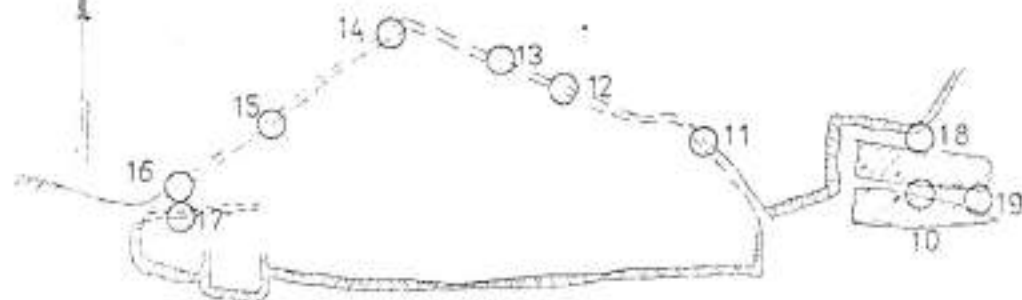
Skisse av det rasfurlige parti med målebolter
Skjema for måleresultater

Gedkjent

Geogr. nr. 72611-3

Norges geotekniske institutt

Tegn. nr. 012



BOLTEPLASSERING M ca 1:500

SKJEMA FOR MÅLERESULTATER

Alle mål i mm.

DATO	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	DATO	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
1974																							
2-10- "	980	510	1014	781	1052	1111	996	753	1510	1103													
3-6-1975	983	510	1015	782	1052	1113	997	764	1510	1109													
10-5-1976	997	511	1016	782	1056	1116	1000	766	1511	1122													
1977																							
1978																							

HALLANDSHAMMEREN - LEIKANGER

Date 14-1-75 Tegner

Skisse av det rasfarlige parti med målebolter
Skjema for måleresultater

Godkjent

Oppdr. nr. 72611-3

Norges geotekniske institutt

Tegn. nr. 012

Statens naturskadefond

Innkommot	17/4-75
Levert til	Lied

Rek.

Leikanger kommune
Formannskapet,
5842 LEIKANGER

J.nr. 933/75 Ha/Als

16. april 1975

L.NR. 338/75 STEINSKREDFARE I HALLANDSBERGET - LEIKANGER - SOGN OG FJORDANE.

Ein viser til tidlegare brevbyte i høve sikringstiltak mot rasfare i Hallandsberget, seinast brev horifrå av 14.2.75.

Saka vart lagt fram for fondsstyret på møte 7.4.75, under l.nr. 338/75. Det vart gjort slikt vedtak:

" Fondsstyret viser til vedtak om sikringstiltak i Hallandsberget under l.nr. 152/74 og finner å kunne heve tilskottgrunlaget til kr. 600.000.- (kr. 581.536.- + kr. 18.466.-), slik at det bevilges tilleggstilskott med kr. 50.000.-. Beløpet utbetales straks til kommunen, da sikringsarbeidene er utført.

På grunnlag av de utførte sikringstiltak og under henvisning til rapport av 18.2.75 fra NGI har fondsstyret, med unntak for tomt 123, ingen innvendinger mot bebyggelse av Øvre Leite, mellom planlagt fylkesveg og tilkomstveg fra pel 0 til pel 30.

Det forutsettes at Leikanger kommune sørger for at det regelmessig utføres minst 2 årlige kontrollmålinger av de innstalerte måleboltene i Hallandsberget og at fondet og NGI blir gjort kjent med måleresultatene omgående. Vurdering av måleresultatene forutsettes gjort av NGI. Fondsstyret har intet å innvende mot at spørsmålet om sprenging av den store hammeren beror, så lenge resultatet av målingene ikke viser at det er nødvendig å sprenges"

I samsvar med ordlyden i vedtaket vil det ein av dei første dagane verta tilvist kr. 50.000.- for utbetaling over postgiro til kommunekassereren i Leikanger.

To eksemplar av rapport 72611-3 vert sendt som vedlegg til dette brevet.

R.B. Henriksen

Gjenpart:

1. Kommunekassereren i Leikanger, 5842 Leikanger
2. Kommuneingeniøren i Leikanger, 5842 Leikanger
3. Norges geotekniske institutt, Postboks 40, Tåsen, Oslo 8

STATENS NATURSKADEFOND

SEKRETARIATET

POSTADRESSE: OSLO-DEP., OSLO 1 - TELEFON 38 04 85
KONTOR: DANNEVIGSVEIEN 10, SAGENE

Innkomet	25/6-75
Løvros til	Lied

Norges geotekniske institutt
Postboks 40, Tåsen

OSLO 8

*Svar Brev sendt 24/6-75
E.O.L.*

Deres ref.

Vår ref. (bes oppgitt ved svar)

Dato

J.nr. 2916/75 Ha/Als

24 juni 1975

L.NR. 338/75 STEINSKREDFARE I HALLANDSBERGET - LEIKANGER -
SOGN OG FJORDANE.

En viser til vedlagte kopi av måleskjema for Hallandshammeren
og ber om Deres kommentar til måleresultatene av 3.6.75.


R.B. Henriksen

Vedlegg



BOLTEPLASSERING M ca 1:500

SKJEMA FOR MÅLERESULTATER

Alle mål i mm.

DATO	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	DATO	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
1974																						
2-10-74	880	510	1014	781	1052	1111	996	783	1510	1103												
3-6-1975	923	510	1015	782	1052	1113	997	764	1510	1109												
1975																						
1976																						
1977																						
1978																						

HALLANDSHAMMEREN - LEIKANGER		Dato	Tegner
Skisse av det rasfurlige parti med målebolter Skjema for måleresultater		14-1-75	
		Godkjent	
Norges geotekniske institutt		Oppdr. nr.	72611-3
		Tegn. nr.	012

Statens Naturskadefond
Oslo - Dep.
Oslo 1

LH/hc 5. juli 1973

72611-1. Befaring i Hallandsgrend i
Leikanger i anledning steinskredfare

Vi henviser til tidligere korrespondanse om denne saken og
til vår befaring 27. juli 1972 av skrentpartiet i Hallandsgrend
som fremgår av vår rapport 72611-1 datert 30. oktober 1972
og oversendt samme dag.

For vår bistand tillater vi oss å beregne :

1. Arbeidsomkostninger (lønn og generalomk.) 26.5 t	kr. 2.636.-
2. Reise- og dietutgifter	„ 460.-
3. Kopiering	„ <u>55.-</u>
	kr. 3.151.-
20% merverdiavgift	„ <u>630.-</u>
	<u>kr. 3.781.-</u>

Statens Naturskadefond
Oslo Dep.

OSLO 1

Oslo, 24. juni 1975
JOL/emb

72611 HALLANDSBERGET - LEIKANGER
Kontrollmåling av bolter.

De 10 måleboltene som er plassert i Hallandsberget ble kontrollmålt av kommuneingeniøren i Leikanger 3. juni d.å. Resultatene er vist på vedlegg.

Det er registrert en forskyvning av den ytre av de østliggende blokker, og en svak glidning av hovedmassivet. Ved blokken er det registrert en forskyvning på 3 og 6 mm. Registreringene ved hovedmassivet er fra 0 - 2 mm.

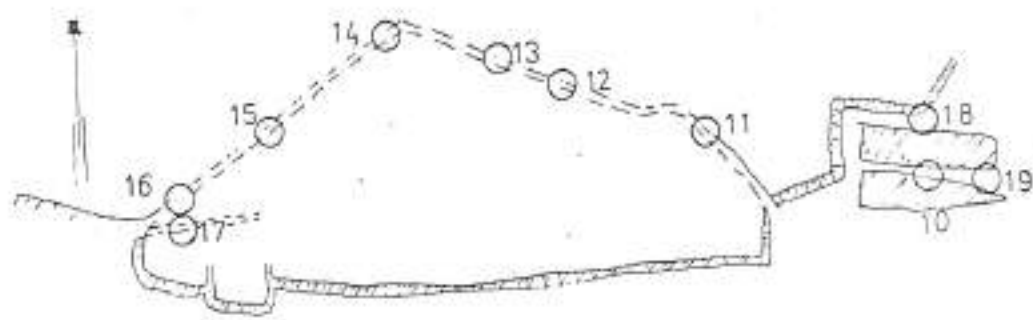
Vi anser utviklingen som normal. Den langsomme forskyvning og glidning som har pågått i noen år ser ut til å fortsette.

Vi vil presisere at måleprogrammet er av største betydning for å få kartlagt bevegelsene og bør fortsette som planlagt.

for NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT

Jan Otto Larsen

Vedlegg



BOLTEPLASSERING M ca 1:500

SKJEMA FOR MÅLERESULTATER

Alle mål i mm

DATO	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	DATO	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
1974																						
2-10-	980	510	1014	781	1052	1111	996	763	1510	1103												
3-6-1975	983	510	1015	782	1052	1113	997	764	1510	1103												
1976																						
1977																						
1978																						

HALLANDSHAMMEREN - LEIKANGER	Dato 14-1-75	Tegner
Skisse av det rasfurlige parti med målebolter Skjema for måleresultater	Godkjent	
Norges geotekniske institutt	Oppdr. nr 72611-3	Tegn. nr 012

72611

STATENS NATURSKADEFOND
SEKRETARIATET

POSTADRESSE: OSLO-DEP., OSLO 1 - TELEFON 38 04 85
KONTOR: DANNEVIGSVEIEN 10, SAGENE

Norges geotekniske institutt
Postboks 40 Tåsen
OSLO 8

Innkommet	4/10-74
Løstpris til	Lied ✓

Joar

Deres ref.
Rapport 72611-2

Vår ref. (bes oppgitt ved svar)
J.nr.2228/74 Ha/JR

Dato
3. oktober 1974

RASFARE I HALLANDSBERGET - LEIKANGER - SOGN OG FJORDANE.

En viser til tidligere korrespondanse vedrørende rasfare i Hallandsberget i Leikanger, spesielt Deres rapport 72611-2 av 6.8.73.

Etter befaring i september d.å. har teknisk konsulent Joar Børstad gitt melding om at en nå er blitt enig om hvorledes arbeidet på fanggraven skal avsluttes.

En ønsker derfor å legge fram saken for fondsstyret til endelig avgjørelse om de tilskott som skal utbetales fra fondet. I denne forbindelse ønsker en å få tilsendt nærmere planer og kostnadsoverslag for det måleprogram og den kontroll av fanggravens effektivitet, som er nevnt i Deres rapport.

R.B. Henriksen

LEIKANGER KOMMUNE

KOMMUNEINGENIØREN

Kontoradr.: 5842 Leikanger

Telefon: Systrond 5651



Ingeniør Larsen,
5840 HERMANSVERK.

Dykkar ref.

Dykkar brev av

Vår ref.
ØJ/DT


Dato
17/10-1974.

VEDKOMANDE RASFARLIG PARTI OVER NYTT TOMTEFELT ØVRE LEITET,
LEIKANGER.

Etter tidlegare avtale ved synfaring i ovannemnde område, oversendes etterspurde profil frå fjellparti og ned til eksisterande leikeplass.

Også vedlagt kopi av plan for tomtedeling under dette partiet.

Leikanger kommune


Ø. Johnsen
ass.ing.

Kopi til Statens Naturskadefond,
v/tekn.kons. Joar Bjørstad,
Oslo - Dep., Oslo 1.

Statens Naturskadsfond

Oslo Dep.

Oslo 1

Oslo 8, 30. august 1973

FJ/hc

72611. Rasfare Hallandsgrend.

Deres ref.: Jnr.3822/73 Ha/Ifa

Vi har mottatt Deres brev av 17. august bilagt kopi av Dynokonsulents notat av 8. august, samt anmodning om vurdering av de momenter som er nevnt i notatet.

Vi skal i det følgende kommentere Dynokonsulents uttalelse om at

1) fanggraven er for kort, at 2) prøveboring bør utføres, og i tillegg svare på den muntlige forespørsel fra Fondet ved ing. J. Børstad om 3) å flytte fanggraven lenger opp.

- 1) Etter et fornyet studium av flyfotos i stereoskop mener vi fortsatt at den opprinnelige lengde av 150 m på fanggraven er tilstrekkelig, forutsatt at ikke rent lokale forhold tilsier noe annet. Det er imidlertid klart at absolutt sikker kan man ikke være selvom vollen skulle være både 200 og 250 m lang. Det er også derfor man ønsker en kontrollert prøve på vollens virkning ved å nedrase blokker fra øst- og vestsiden av hammeren. Vi tror at topografien gjør at blokker vil bevege seg tilnærmet mot den midterste del av den foreslåtte voll. Hvis blokker skulle få større hastighet enn antatt vil de imidlertid lett gå utenom.
- 2) En prøveboring gjennom hammeren ville uten tvil øke vårt kjennskap til beliggenhet og utforming av bruddplanet under hammeren. Man måtte imidlertid ha minst 3 boringer hvis det skulle hjelpe noe. Slike boringer ble ikke foreslått i vår rapport 72611-2 fordi verdien av dem er vanskelig å forutsi og fordi vi mente en nedsprenkning bare ville gi et nytt stabilitetsproblem som idag ikke eksisterer.
- 3) Instituttet har ingen prinsipielle innvendinger mot at fanggraven med voll blir flyttet lenger opp. Grunnen til at man foreslo en plassering like ovenfor planlagt vei var at man mente den her lettest kunne tjene sin hensikt og derfor utføres billigst. Hvis den av hensyn til fruktbeplantningen ønskes flyttet oppover, kan den godt bygges 50 m lenger opp hvor den i plan må få en V-form på grunn av terrenget. Da hastigheten på rullende blokker vil være større her, mener vi at vollen må være tilsvarende høyere, minst 5 m, og fortrinnsvis lages av store blokker. Da det her åpenbart er mer fjell i dagen antas det at byggingen av fanggraven og vollen på dette sted vil bli vesentlig dyrere enn lenger nede. Den nøyaktige plasseringen bør imidlertid naturligvis avgjøres på stedet.

for NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT

F. Jørstad

Oppdrag :

Dato :

Forsøk/beregning :

Sign. :

1) concerning the length of the wall relative to the length of Berghammera and loose blocks:

After ^{a second} careful study of the air photos in 3 dimensions we are of the opinion that the original length of wall (150 metres) relative to the 80 metres length of Berghammera is adequate. However it is obvious that absolute 100% safety cannot be guaranteed, even if the length is increased to 200 or 250 metres. Two slight ridges in the slope would tend to channel blocks towards a central 50 metres - roughly ^{to} the centre of the proposed 150 m wall. ~~However~~ ^{Only} if blocks attained larger velocities than anticipated, ^{would} there be deviation from the direction of the maximum slope angle or thereabouts.

2) concerning an alternative location for the wall, thereby avoiding fruit tree plantation:

If the value of ^{monetary} compensation for excavating the ^{proposed} fangrav and wall at the top of the tree plantation is very high, then an alternative ~~design~~ ^{could} be considered - placed with one limb (to the east) along the crest of the slight rock ridge and approx. 150 metres long, and the other limb to the west approx 50 metres long. This "V" shaped wall would be some 50 metres further up the slope than the original proposal, ^{since} ~~due~~ the velocity of any rolling blocks would be correspondingly higher we consider that such a wall would need to be constructed with large blocks of rock and be at least 5 metres high. In this location the cost of excavation ^{would} be higher ^{since} it appears from the air photos that bedrock would be encountered nearly everywhere. However a decision on the exact

Oppdrag

:

Dato

:

Forsøk/beregning

:

Sign.

:

Location of an alternative rock wall would have to be based on a local inspection of the ground.

- 3) Concerning a ~~possible~~ trial boring in the berghammeren:
 we are of the opinion that ~~the~~ a trial boring programme would be a useful method of improving our knowledge of the location of the sliding plane that is assumed beneath the berghammeren. However to be of value at least three holes would need to be drilled which would then give an indication of the orientation of the sliding plane. Such an investigation was not proposed in report 72611-2 since the value of such information is difficult to estimate. It is true that the volume of the berghammeren (with respect to blasting) could be ^{more} ~~more~~ accurately determined. However, as stressed in the report, we believe that the stability of the rock lying above berghammeren, (which would be left ~~as~~ in situ) would ~~be~~ probably be less than that of berghammeren itself in view of the ^{apparently stable} present footing. Thus blasting of berghammeren would lead to a second stability problem which at present does not exist.

4)

~~A much higher roll would be needed if the whole of~~

A much higher roll would be needed if the whole of berghammeren were to be ~~the~~ blasted with safety — for example more than 10 metres high and with a wider tangvar in front.

72611

STATENS NATURSKADEFOND

POSTADRESSE: OSLO-DEP., OSLO 1 - TELEFON 38 04 85
KONTOR: DANNEVIGSVEIEN 19, SAGENE, OSLO 4

Norges Geotekniske Institutt
Forskningsveien 1

OSLO 3

FJ

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT	
Dato 19/7-71	J. nr.
Art B	Ann.
Prosj.	Arb.

Deres ref.

Vår ref. (bes oppgitt ved svar)

Dato

Jnr. 1192/71 Ha/Ifa

17. juli 1971

STEINSKREDFARE I HALLANDSGRENDA, LEIKANGER KOMMUNE.

Viser til Deres rapport nr. S 181 av 6.11.1959 over befaring i Hallandsgrend i Leikanger 23. september 1959 i anledning steinskredfare.

Rapporten konkluderer med at det skulle settes ned målebølter for å få kontrollert om steinblokkene er i bevegelse.

Fra Leikanger kommune har en nå fått tilsendt resultat av kontrollmåling. Skjemaet med måleresultatene sendes vedlagt over til Dem.

Hermed ber en om en uttalelse om hvorvidt måleresultatene gir grunn til å sette i verk eventuelle sikringstiltak på stedet.

Edgar Hamre
E. Hamre
førstesekretær

Vedlegg

Dollar avsett för undersökning 1970

Gränsmätningar Hallandsberget

År	Stads	MP 1	MP 2	MP 3	MP 4	MP 5	MP 6	MP 7	MP 8	Ytterväder
1970	1/2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0	1.0	Alla mät i m.m.
1971	28/4	2.0	2.5	2.8	0.0	3.0	1.0	4.2	11.0	— . —

10/5-71 K.R.

STATENS NATURSKADEFOND
 1452 119 571

72611

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT

Norwegian Geotechnical Institute

FORSENINGSVN. 1 - OSLO 3

TELEGRAMADR.: GEOTEKNIKK - TELEFON 69 56 80

Statens Naturskådefond

Oslo Dep,
Oslo 1

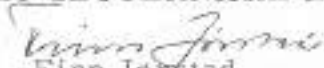
Oslo 3, 22. juli 1971
FJ/hc

S. 181 Steinskredfare Hallandsgrenda, Leikanger

Vi har mottatt Deres brev av 17. juli vedr. ovennevnte og med resultater av kontrollmålingene med forespørsel om målingene gir grunn til å foreta sikringstiltak.

Da det ikke er mulig å si noe om dette uten å vite hvor målingene er foretatt, tillater vi oss å spørre om det foreligger kartskisse og profil som viser dette. Hvis ikke ville vi være taknemlige om Statens Naturskådefond kunne ordne med at målepunktene ble inntegnet, gjerne på kartskissen som fulgte med vår rapport fra 1959 og helst på profiler også.

for NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT


Finn Jørstad

72611

Gjenpart til: Norges Geotekniske Institutt, Forskningsveien 1
OSLO 3

Statens naturskadefond

Leikanger kommune
Formannskapet

5842 LEIKANGER

NORGES GEOTEKNISKE INSTITUTT

11/12-72	
Jorstad?	

J.nr. 4807/72 Ha/Als

8. desember 1972

STEINSKREDFARE I HALLANDSGRENDA, LEIKANGER - SOGN OG FJORDANE.

Ein viser til brevet Dykkar av 11.5.72, vedkomande steinskredfare i Hallandsgrenda.

Resultata av kontrollmålingane er sendt til Norges Geotekniske Institutt og instituttet har gjeve fråsegn i saka i rapport 72611-1, dagsett 30.10.72.

Eit eksemplar av rapporten ligg ved dette brevet.

Dersom kommunen ynsker ei synfaring i samband med dei tiltak som kjem på tale, t.d. nedsprengring vil fondet sin tekniske konsulent truleg kunne ta denne utpå våren eller sumaren 1973.

Gjenpart av dette brevet er sendt Norges Geotekniske Institutt.

R.B. Henriksen
kontorsjef

Vedlegg

LEIKANGER KOMMUNE

KOMMUNEINGENIØREN

Kontoradr.: 5842 Leikanger

Telefon: Systrond 5651

7. 3. 72, 0.1

Ha

72611



STATENS NATURSKADEFOND
01400 | -9.3.72

Statens Naturskadefond,
Oslo den,
O s l o l.

Mål nr. 1972

Dykkar ref.

Dykkar brev nr

Vår ref.

KO/BN

Dato

7/3 1972

Rasfære Mellandsberget, Leikanger.

Vedlagt sender ein måle-dato nr. 6/1 og 6/3 1972 for måleboltar innsette på forskjellige stader i det rasfærlige parti.

Det synes utvilsomt at der er ei viss rovere i fjellet, særleg i dei lause blokkene mot sør-ast.

Ein må ha øy at det særast blir foreteke ei geoteknisk prøvking av tilhøva.

forLEIKANGER KOMMUNE

K. Risnes
K. Risnes

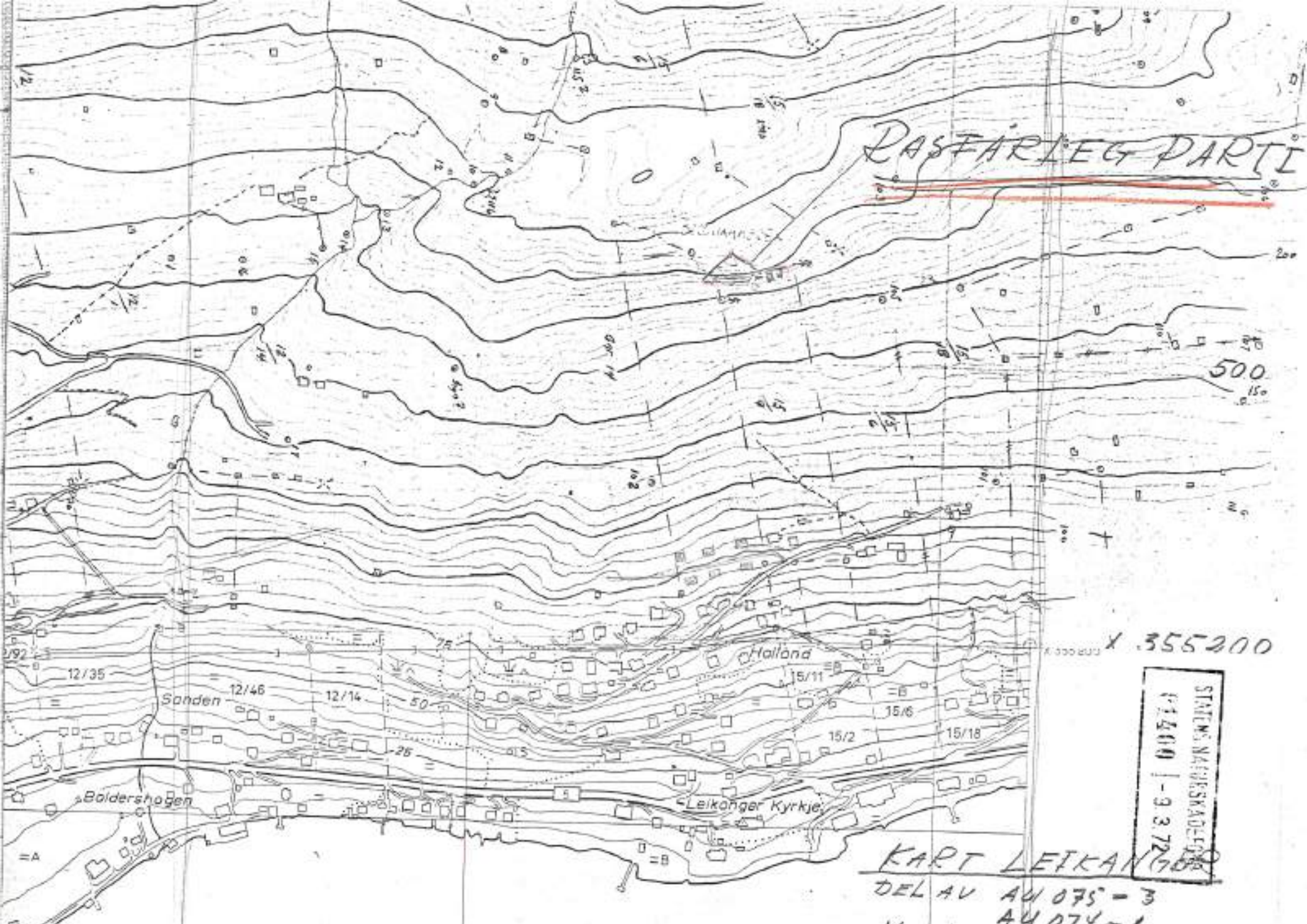
Vedlagt:

Oversiktskart M=1:5000

Skisse N=ca. 1:500

Wieskiema.

DASTARLEG PARTI



500

X 355200

STATENS NÆRSKAPSDIENST
14500 | -9372

KART LEIKANGER

DEL AV A4075-3

A4074-1

M=1:5000

72.611

7.3.72, 2.3

STATENS NATURSKADEFOND
1400 | -9.3.72

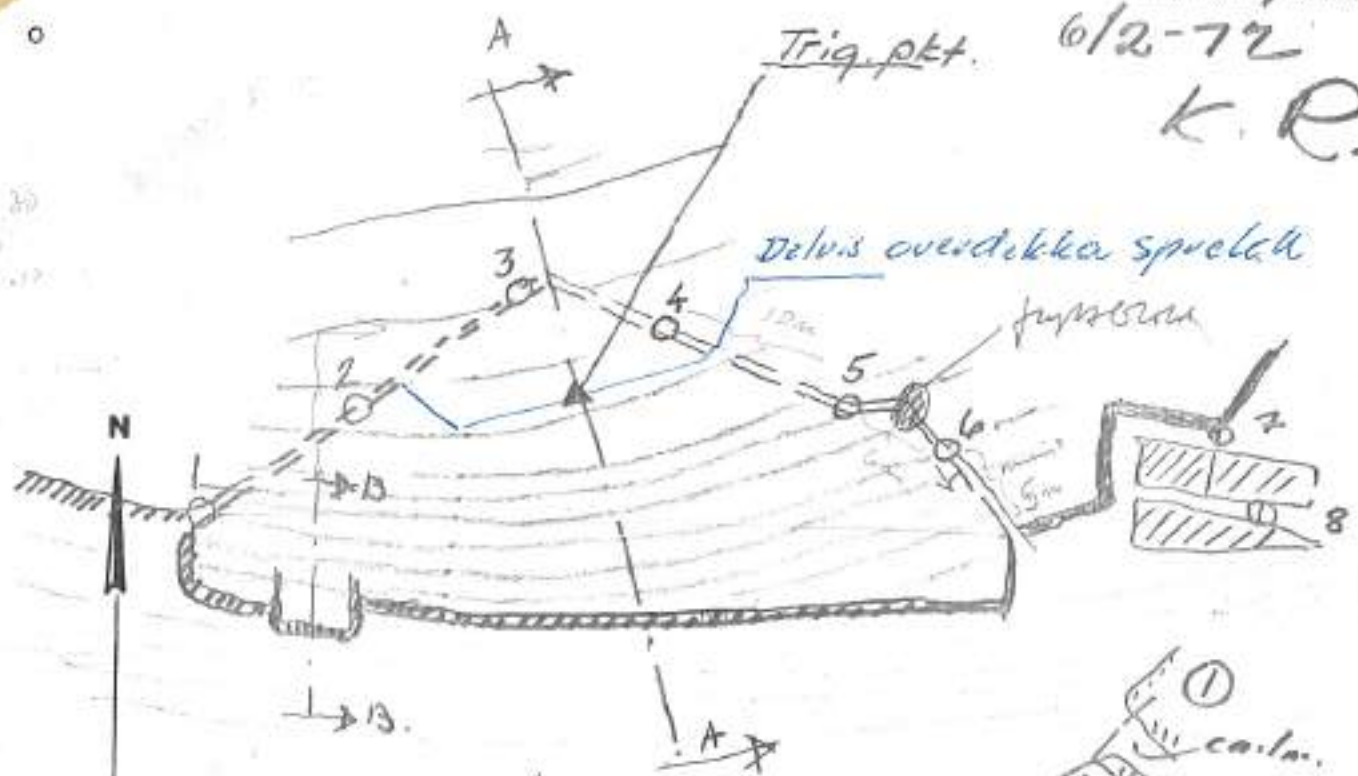
~~MÅLEBREV~~ KART

Skisse HALLANDS-BERGET

Parcell _____ av _____ gnr. _____ bnr. _____
 Bruksnavn _____ gnr. _____ bnr. _____
 Areal _____ Leikanger

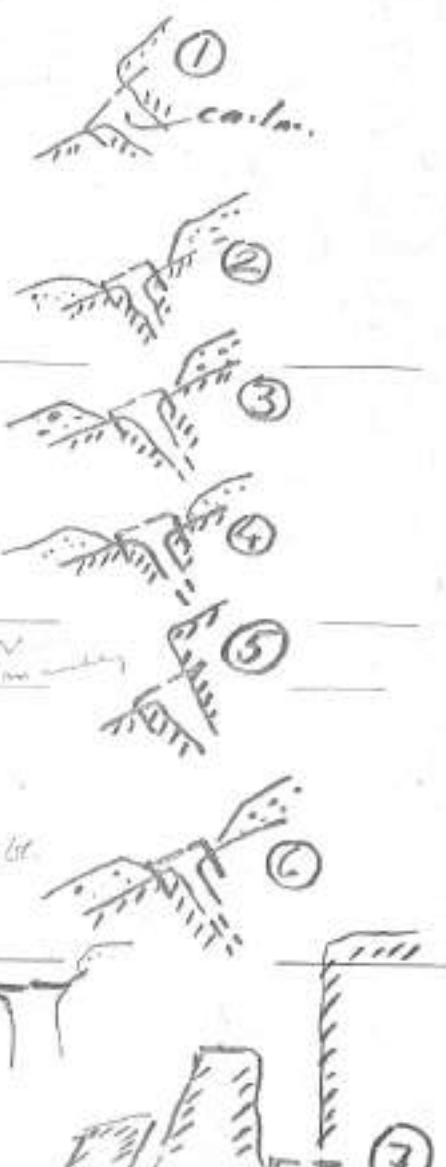
Trig. pkt. 6/2-72
 K.R.

30.20
 4.10
 500.17



Plan. M.C.A 1:500

- 1. sprøttak 20cm bred
- 2. sprøttak 10-20cm bred
- 3. sprøttak 10-20cm bred
- 4. sprøttak 10-20cm bred
- 5. sprøttak 10-20cm bred
- 6. sprøttak 10-20cm bred
- 7. sprøttak 10-20cm bred
- 8. sprøttak 10-20cm bred



SNITT
B-B

Jord-gräs

Signal

SNITT A-A

bølter nedsett og innmål 1/12.70

Grünnmålinger Hallandsberget

År	dato	MP 1	MP 2	MP 3	MP 4	MP 5	MP 6	MP 7	MP 8	Merknader
1970	1/12	6.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0	1.0	Alle mål i m.m.
1971	28/4	2.0	2.5	2.8	0.0	3.0	1.0	4.2	11.0	J. Bekken
1972	6/1	4.0	3.0	5.5	1.5	5.0	1.5	6.0	34.0	J. Bekken
-11-	6/3	4.0	3.5	5.5	2.0	4.0	2.0	6.0	35.0	J. Bekken
-L	27.7	4.0	2.5	4.5	0	3	1.0	5.0	35	pkt. nr. 7 side forskyvning ca. 60 m.m. ✓ 55-60 m.m. ✓ pkt. nr. 8 forskyvning 40 m.m. ✓
										Ørinder best løst
										Problemløst gjennom litt + litt for å få mål

Ørinder best løst
Problemløst gjennom
litt + litt for å få mål

4.0(2-3) 2.5(3) 4.5(4) 0 (3) 1.0(20) 5.0 35(10)

STATENS NADDELSKADDEPART
01460 - 9372

9.3.2014

Prøve og måling Avstand mellom bakk. ender.
Tall i parentes angir sideforskyvning

STATENS NATURSKADEFOND
SEKRETARIATET

POSTADRESSE: OSLO-DEP., OSLO 1 - TELEFON 38 04 85
KONTOR: DANNEVIGSVEIEN 10, SAGENE

RL/AB/RT ✓

Norges Geotekniske Institutt
Postboks 40 Tåsen

OSLO 8

07 ✓

Innkømt	20/8-73
Leveres til	lejeruol. ✓

Deres ref.

Vår ref. (bes oppgitt ved svar)

Dato

Jnr. 3822/73 Ha/Ifa

17. august 1973

FARESAK 21/73 NR. 5. RASFARE I HALLANDSGRENDA - LEIKANGER - SOGN OG FJORDANE.

En viser til tidligere korrespondanse vedrørende rasfaren i Hallandsgrenda, senest Deres rapport 72611-2 av 6.8.1973.

Rapporten er blant annet lagt fram for avd.ing. John Johansen i Dynokonsulent A/S, da han tidligere har gitt vurdering i saken.

Vedlagt sendes en kopi av Dynokonsulent A/S notat i saken av 8.8.1973.

En ber om Deres vurdering av de momenter som er nevnt i notatet, idet en spesielt viser til forslaget om å utføre prøveboringer i det rasfarlige partiet.


R. B. Henriksen

Vedlegg

Statens Naturskadefond
Oslo Dep.
Oslo 1

Damanid.

Nr 5764

LH/hc

21. november 1973

72611-2. Stabilitet av berghammer i
Hallendagrend. Forslag til sikringstiltak

Efter oppdrag fra Dem har instituttet v/ing. geol. Lien og
siv. ing. Barton deltatt i befaringer på stedet den 14. og
15. juli d. å. for å vurdere stabiliteten og fremkomme med
forslag til sikringstiltak. Kfr. vår rapport 72611-2 av
6. august samt brev av 30. august d. å.

For vår bistand tillater vi oss å berge :

1. Arbeidsomkostninger (lønn- og generalonk.) 93 t	kr. 10.410.-
2. Reise- og dietutgifter	" 1.502.-
3. Fotos og kopieringsutgifter	" 184.-
	<u>kr. 12.096.-</u>

DENNE FAKTURA ANSEES Å VÆRE
AVGIFTSFRI ETTER ENDREKKELENE I
MERVERDIAVGIFTSLOVENS § 13
AV 1. JULI 1973.





SAKSFRAMLEGG

Saksbehandler: Per Holen
Arkivsaksnr.: 13/1146-1

Arkiv: 153

Investeringsbudsjettet 2013 - tilleggsøyvingar

TILRÅDING:

1. Leikanger kommunestyre vedtek tilleggsøyving på 50.000 kr til prosjektet Riverdalen – veg.
2. Leikanger kommunestyre vedtek tilleggsøyving på 59.000 kr til prosjektet sikringstiltak Hallandshammaren.

Tilleggsøyvingane vert dekkja ved låneopptak.

DOKUMENT:

- Investeringsbudsjett 2013
- K-sak 1/13

SAKSUTGREIING:

Leikanger kommune gjekk i 2012 inn avtale med Byggseneteret Hundere om finansieringa av bygginga av veg, vatn og avløp frå den kommunale vegen Riverdalen og fram til bustadblokka Hundere har bygt i Reinevegen i samsvar med reguleringsplan. Den delen av avtalen som vedkjem vatn og avløp er tidlegare utbetalt. I budsjettet for 2013 vart det ført opp feil sum for vegen. Summen i avtalen er 150.000 kr, medan det i budsjettet vart ført opp 100.000 kr. Dei resterande 50.000 kr må difor finansierast som tilleggsøyving.

I K-sak 1/13 gjorde kommunestyret vedtak om å frita dei tre grunneigarane for eigendelen deira på 49.000 kr til sikringa av Hallandshammaren. Finansiering skulle takast med i sak om budsjettendring for 2013. Prosjektet er avslutta hausten 2013. Prosjektet vart 10.000 kr dyrare enn budsjettet.