ALLE KURS OG ARRANGEMENTER
Stabilitet og sikring av bergskjæringer | 2021
ARRANGØR
NORSK BERGMEKANIKKGRUPPE

Multiconsult

Stabilitet og sikring av bergskjæringer

- Introduksjon

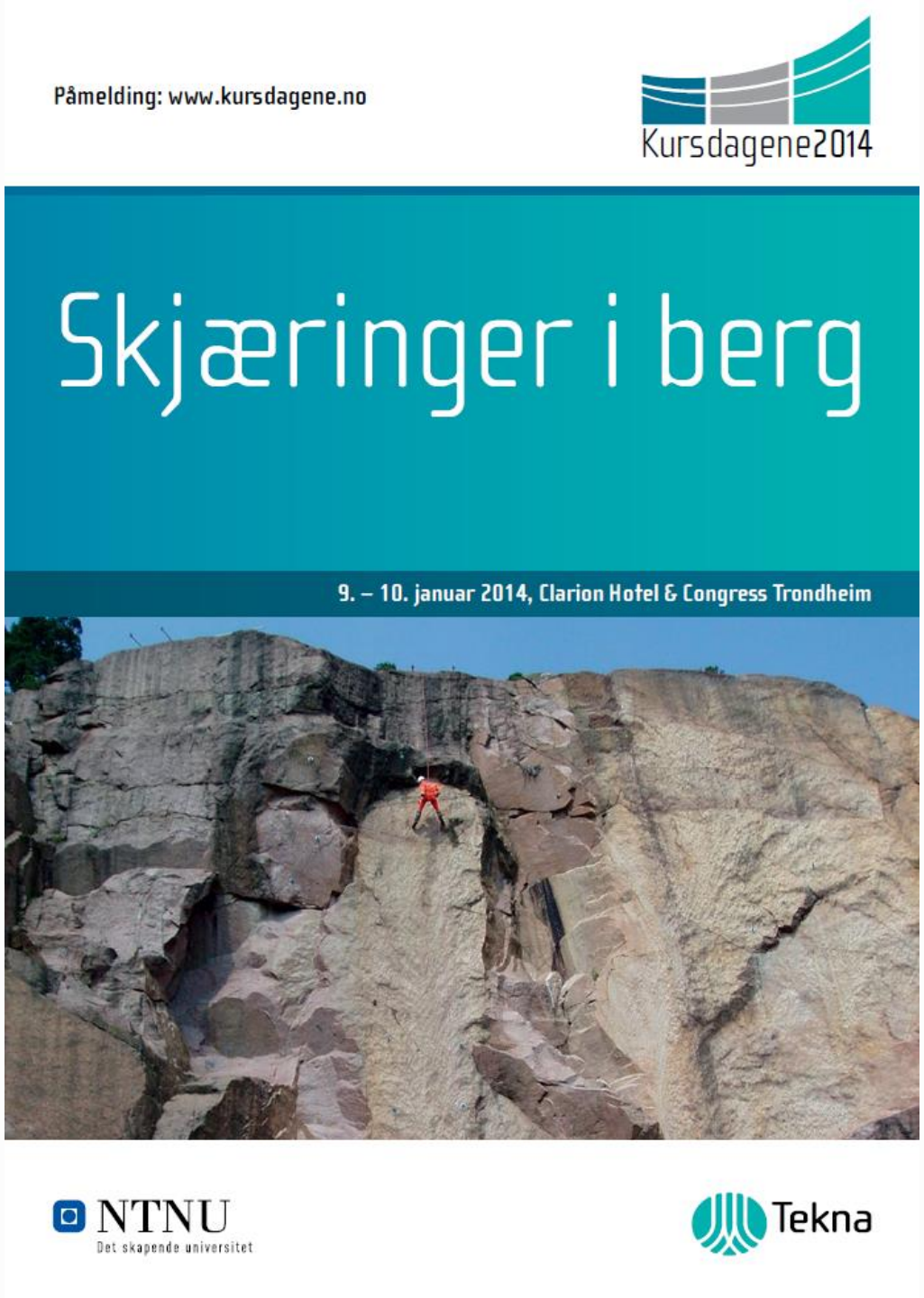
- Kjetil Moen, Multiconsult Norge AS

Bakgrunn og motivasjon for kurset

- Litt kurs-historikk (bergskjæringer)
- Hvorfor er dette fortsatt et aktuelt tema?
- Innhold (overordnet)
- Målsetning
- Programkomitéen

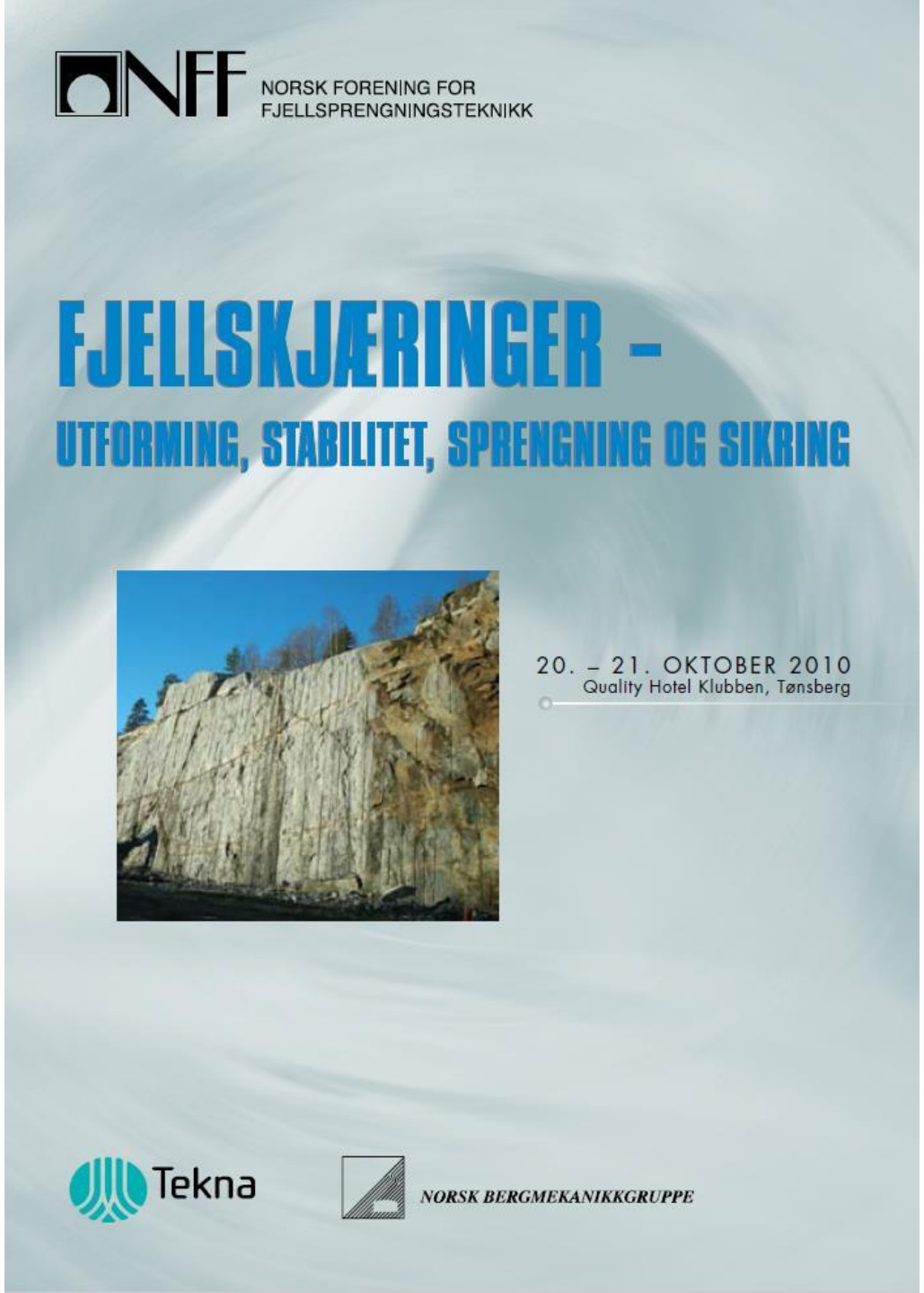
Litt kurs-historikk (bergskjæringer)

- Januar 2014, Trondheim



Litt kurs-historikk (bergskjæringer)

- Oktober 2010, Tønsberg



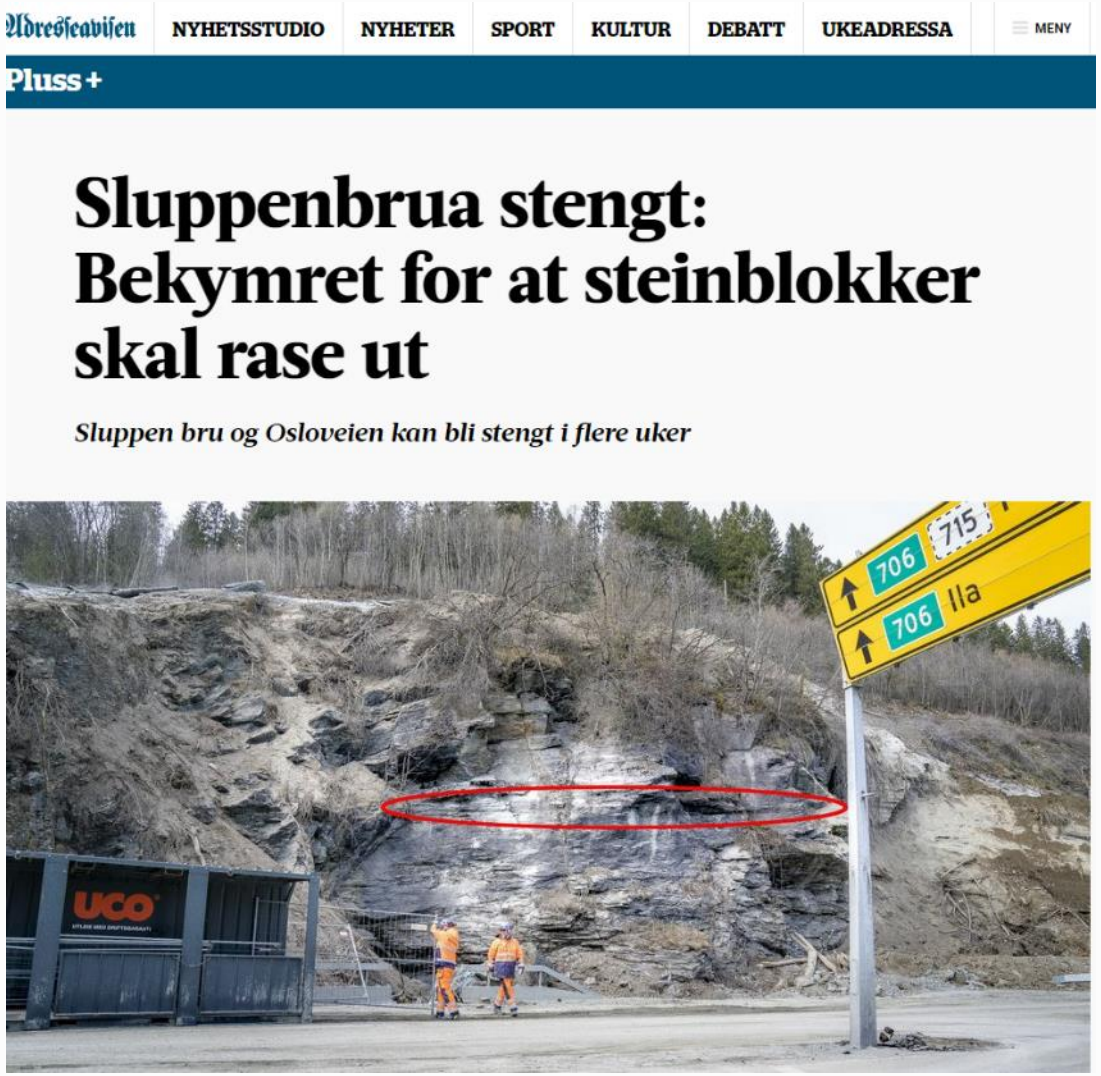
Litt kurs-historikk (bergskjæringer)

- «Stabilitetsanalyser av skråninger og skjæringer», mai 2003, Trondheim
- «Stabilitet av fjellskjæringer», november 1993, Storefjell

Hvorfor er dette fortsatt et aktuelt tema?

- Hendelser vi ønsker å unngå (eksempler)…

- Trondheim, 5. mai 2021



Adresseavisen NYHETSSTUDIO NYHETER SPORT KULTUR DEBATT UKEADRESSA MENY

Pluss +

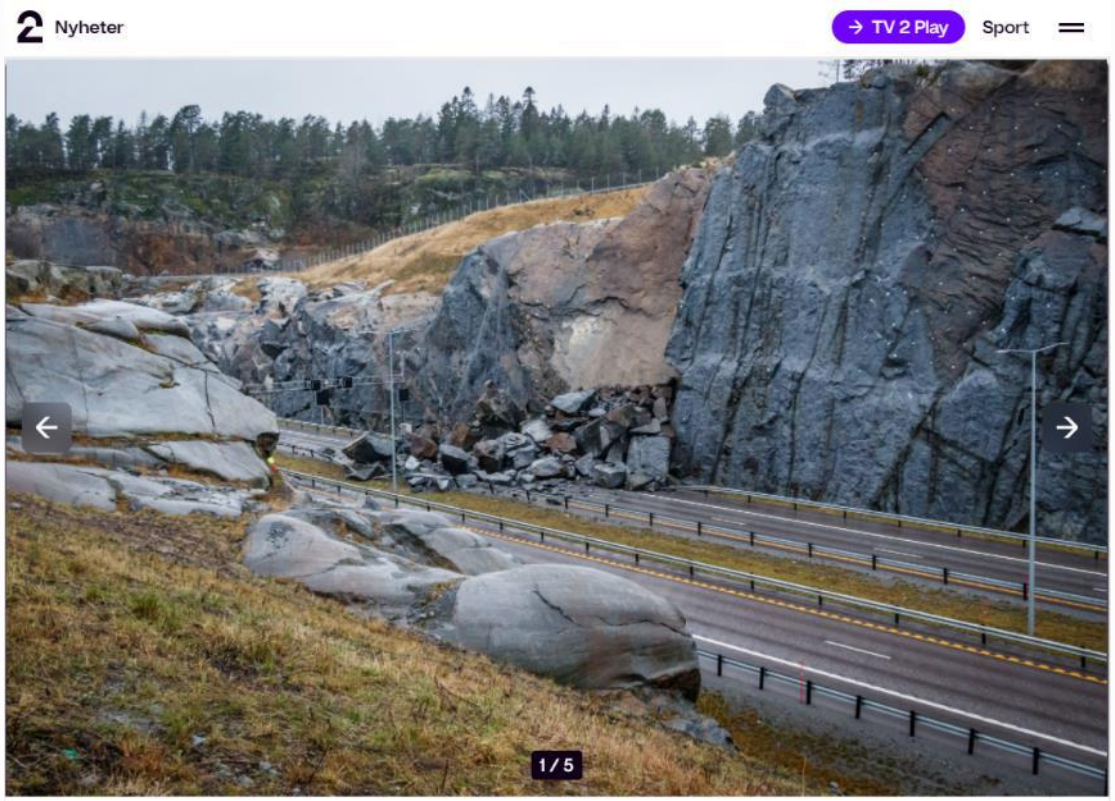
Sluppenbrua stengt: Bekymret for at steinblokker skal rase ut

Sluppen bru og Osloveien kan bli stengt i flere uker

Hvorfor er dette fortsatt et aktuelt tema?

- Hendelser vi ønsker å unngå (eksempler)…

- E18 Bommestad (Larvik), <u>fredag 13.</u> des. 2019



E18 er lørdag fortsatt sperret av steinraset som gikk ved Bommestad i Larvik sent fredag kveld. Foto: Alexander Vestrum / NTB scanpix Fo... Les mer

Fare for nye ras – E18 stengt på ubestemt tid

En geolog undersøkte lørdag fjellforholdene ved Bommestadkrysset der et stort steinras sperrer E18 ved Larvik.

Hvorfor er dette fortsatt et aktuelt tema?

- Hendelser vi ønsker å unngå (eksempler)…

- E6 / Nordlandsbanen, Løsberga, Steinkjer,
  - 9. mai 2007
  - 30. juni 2008

(i forbindelse med sprengningsarbeid)

Uklart når E6 åpnes etter ras

Det kan ta lang tid før E6 forbi rasstedet ved Steinkjer kan åpnes for trafikk igjen.

FOTO: MAGNAR BRANDSETH / NRK

Kursets innhold (overordnet) og målsetning

- Vurderinger og lærdom etter E18-raset ved Larvik
- Geologi og grunnlag for stabilitetsanalyse
- Kartlegging
- Utforming
- Konstruksjon
- Sikring
- Vedlikehold
- Retningslinjer og regelverk

Målsetning: Gi kjennskap til dagens praksis og "state of the art-løsninger". Balanse teori – praksis. Hovedvekt på bergskjæringer i forbindelse med vei- og jernbaneutbygginger, men også relevant for andre typer prosjekter, som dagbrudd, byggegroper etc.

Programkomitéen

- Bjørn Nilsen, NTNU
- Pål F. Lohne, Skred AS
- Håkon Walter Bjørnsrud, Norconsult AS
- Espen Hugaas, Orica Norway AS
- Kjetil Moen, Multiconsult Norge AS

- Saskia Butler, Tekna (kurssekretær)

STABILITET OG SIKRING AV BERGSKJÆRINGER 2021

(2) E18-raset ved Larvik – ekspertutvalgets vurderinger

Bjørn Nilsen, Institutt for geovitenskap og petroleum, NTNU

- Beskrivelse av rashendelsen
- Utvalgets sammensetning og mandat
- Hva gikk galt?
- Læringspunkter
- Anbefalinger

Kunnskap for en bedre verden

E18 Larvik – 13. desember 2019

Bommestad – sørgående felt

Rasvolum: ca. 1140 m^3

Visse likhetstrekk med rashendelen i Løsberga, E6 ved Steinkjer, juni 2008 – ca. 8000 m^3

Referansegruppe-rapport:
https://www.vegvesen.no/_attachment/82127/binary/76595
=> Strengere krav til skjæringer med høyde > 10 m (NA-rundskriv 2009/11):
«skal i utgangspunktet plasseres i prosjektklasse 3 iht NS 3480»

Ekspertutvalg nedsatt av vegdirektøren 17.12.2019:

- Anders Beitnes, Beitnes Consulting
- Vidar Kveldsvik, NGI
- Øystein Nordgulen, NGU
- Eivind Okstad, SINTEF Digital
- Bjørn Nilsen, NTNU (leder)

1

Raset på E18 ved Larvik 13. desember 2019

Ekspertutvalgets rapport

27. februar 2020

https://www.vegvesen.no/om+statens+vegvesen/presse/nyheter/nasjonalt/larvik-ekspertutvalg-har-undersokt-raset-ved-bommestad

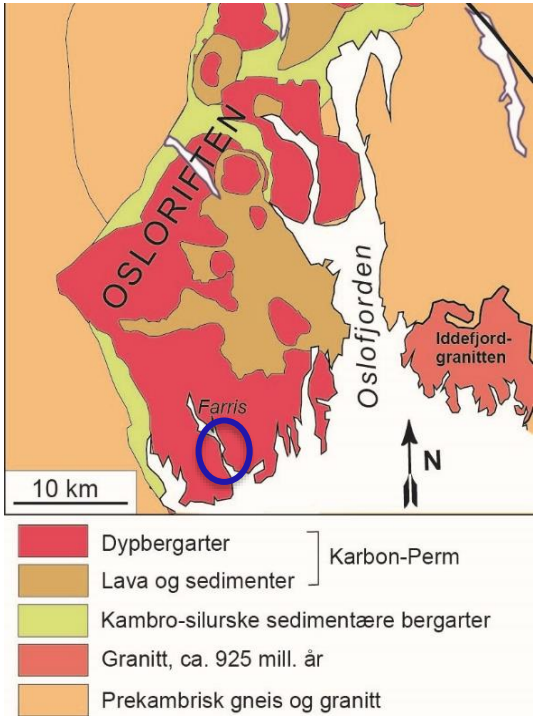
Mandat

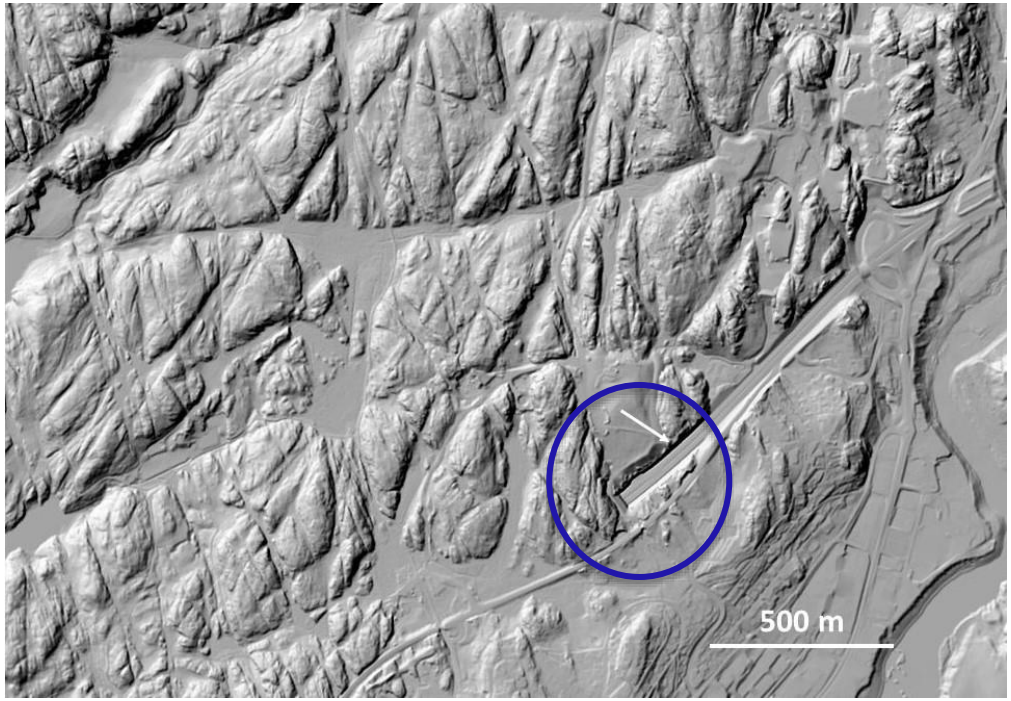
Vurdering av:

1. Utførte forundersøkelser og stabilitetsvurderinger/analyser
2. Geologien i området og utført stabilitetssikring (boltelengder, diameter, retning etc)
3. Byggherrens oppfølging under utførelse:
   a. dokumentasjon av bestilt og utført stabilitetssikring
   b. dokumentasjon av geologiske vurderinger, bestillinger, rapporter fra utvidet (uavhengig faglig) kontroll, geologisk sluttrapport for skjæringer
4. Oppfylling av formelle krav til planlegging, prosjektering og utførelse av bergskjæringer
5. Risiko for framtidige stabilitetsproblemer
6. Mulig effekt av sprenging
7. Mulige tiltak som kan bidra til å forhindre lignende hendelser i framtida

Geologi

- Larvikitt av permisk alder
- Høy mekanisk styrke
- Preget av markerte forkastninger og sprekker/bruddsoner, noen med forvitring og leirfylling





Utrasningstype/geologisk årsak

- Markerte sprekkeflater med orientering som førte til underkutting av stort, kileformet bergvolum
- Sprekkeflate i underkant:
  - fallvinkel ca. 50°
  - tykkelse ca. 50 cm, sterkt oppknust/omdannet
  - inneholder bl.a. kloritt og smektitt
- Drivende krefter > stabiliserende krefter
  => kileutglidning

Forundersøkelser, analyser, prosjektering

- Geologi/bergtekniske forhold omtalt i rapporter fra alle planfaser; Kommunedelplan (2008), Reguleringsplan (2010), Byggeplan (2013) - hele prosjektet plassert i geoteknisk kategori 3 iht. Eurokode 7

- Hovedvekt i prosjektet lagt på tunnelene, men krav om spesiell fokus på skjæringer med H>10 m (konsekvens av Løsberga) også omtalt

- Ingen spesifikke risikovurderinger eller analyser utført for mulige ras i skjæringer

- Ekstern kvalitetskontroll bestilt med utgangspunkt i Hb018-krav til utvidet (U) prosjekterings- og utførelses-kontroll for skjæringer med høyde > 10 m.

Kontroll-klasse	Kontrollform					
	Prosjektering			Utførelse		
	Grunn-leggende kontroll	Kollega-kontroll	Uavhengig eller utvidet Kontroll	Basis kontroll	Intern systematisk kontroll	Uavhengig kontroll
B	kreves	kreves ikke	kreves ikke	kreves	kreves ikke	kreves ikke
N	kreves	kreves	kreves ikke	kreves	kreves	kreves ikke
U	kreves	kreves	kreves	kreves	kreves	kreves

Oppfølging under bygging, utført sikring

- Konkurransegrunnlaget basert på 2012-utgaven av prosesskoden. Ikke lagt inn poster for Ø32 mm bolter, stag og dreneringshull.

- Underentreprenør engasjert for sikring av bergskjæringer. Lagt opp til at permanent bergsikring skulle gjøres i samråd med byggherre.

- I partiet som raste ut var det anvist totalt 7 stk. sikringsbolter (Ø25 og Ø20 mm). Under utførelsen satt inn ytterligere 2 stk. Av disse vurderes 8 stk. å ha vært tiltenkt sikring/låsing av foten av kilen som raste ut.

- Tilsynelatende ikke utført beregninger av stabilitet/sikringsbehov for de høye bergskjæringene.

- Mangler mht. bergsikring ikke påpekt ved uavhengig kontroll, som heller ikke omfattet stabilitetsanalyse eller beregninger.

Utført boltesikring i rasområdet

Bolt nr.	Lengde (m)	Diameter (mm)
1	3	20
2	3	20
3	4	25
4	4	25
5	5	25
6	3	20
7	5	25
8	5	25
9	4	20
10	Festebolt for nett	
11	Festebolt for nett	
12	Festebolt for nett	
13	Festebolt for nett	
14	5	25
15	3	20
16	3	20

Rød polygon: begrensning av raset
Rød + gul: begrensning av potensiell, maksimal kileutglidning.
Boltene 1-5 og 7-9 vurderes av utvalget å ha vært planlagt for å skulle sikre kilen.

Effekt av boltesikring - stabilitetsberegning utført av utvalget

- Beregning utført som likevektsanalyse (SWEDGE).
- SVV's håndbøker Hb274 Grunnforsterkning, fyllinger og skråninger (2008) og V224 Fjellbolting (2014) anbefaler sikkerhetsfaktor SF=1,5-2 for fullt vanntrykk.
- For SF=1,5 og 100% vannfylt glideflate er påkrevd boltekapasitet 13 ganger større enn prosjektert sikring!

SF drenert/tørr	Boltekapasitet (kN)	SF ved 100 % vannfylling	Vannfylling ved SF=1,0	Antall Ø33 mm[1)]	Antall med 1000 kN [2)]
1,5	7110	0,68	85 %	18	7
2,0	14576	1,20	-	37	15
2,3	18948	1,5	-	47	19
2,8	26527	2,0	-	66	27
1,1	1460[3)]	0,29	50 %	-	-

[1)] Kapasitet ved flytning, kamstålbolt: 402 kN. [2)] Kapasitet ved flytning: 1000 kN. Det finnes også stag med langt større kapasitet enn 1000 kN. [3)] Prosjektert sikring med til sammen 8 stk. bolter; 3 stk. Ø20 mm og 5 stk. Ø25 mm

Utført sikring - årsaker til utglidning

- Prosjektert sikring utilstrekkelig, med kun 8 stk. bolter, Ø20-25 mm anvist for sikring av underkuttet, 1140 m^3 bergkile.

- Sikringen tilsynelatende feil utført; med kun en av de anviste 8 boltene forankret i stabilt berg innenfor utglidningsflaten (indikerer mulig feilboring både i horisontal- og i vertikalplanet).

- Mangelfull uavhengig kontroll ved at det ikke ble påpekt behov for beregninger.

Læringspunkter - utvalgets anbefalinger

- Høye bergskjæringer bør få tydeligere «status» i planlegging og beskrivelser, med klare krav til kartlegging, risikovurdering, utforming, sikringstiltak, fagkyndig oppfølging og dokumentasjon.
- Krav til risikovurdering for høye skjæringer bør tas inn i Hb N200 etter tilsvarende mal som for tunneler med lengde over 500 m i Hb N500.
- Relevante krav og veiledninger for høye bergskjæringer bør samles og struktureres i ett konsistent sett av retningslinjer og veiledninger. Funksjonskrav må tilkjennegi meget liten toleranse for svikt/utfall/ras.
- Prosesskoden bør få med normerte krav også til lengre og kraftigere bolter/stag, inkl. krav til tøyningsevne og samvirke. Dreneringshull bør inn som egen post.
- Kvalifisert revurdering av stabilitet og sikring i høye bergskjæringer tas inn i det periodiske vegvedlikeholdet.

Hovedårsakene til E18/Larvik-raset
- og stabilitetsproblemer i vegskjæringer generelt

- Mangelfull prosjektering/uheldig design
  mangelfulle/for dårlige forundersøkelser

- Utfordringen/stabilitetsproblemet ikke observert og/eller ikke forstått under bygging
  for dårlig oppfølging/kontroll under bygging

- Utfordringen undervurdert/for lite sikring
  mangelfull/manglende stabilitetsanalyse

- Dårlig utførelse/feil type av bergsikring
  mangelfull beskrivelse og/eller kontroll

Viktig at høye vegskjæringer har «status» på linje med tunneler!

Statens vegvesen

Hvilke konsekvenser har E18-raset hatt for fremtidige skjæringer?

Ingrid Dahl Hovland, Vegdirektør

Økt oppmerksomhet på høye bergskjæringer

Statens vegvesen

Krav til risikovurdering av høye skjæringer

Statens vegvesen

- Krav til ROS-analyser i vegnormal N200
- ROS-analyser beskrives i veiledning V712 *Konsekvensanalyser* og rapport nr. 632 *ROS-analyser i vegplanlegging*
- Det skal utføres ROS-analyse i utarbeidelse av kommunedelplan/fylkesdelplan og reguleringsplan
- Det er lagt inn «Høye skjæringer over 10 m» i sjekklista for risikoidentifisering i ROS-analysen

Strukturering av relevante krav – veiledning og funksjonskrav

Statens vegvesen

- Eksisterende funksjonskrav er formulert slik: «Bergskjæringer skal etableres slik at det ikke er fare for nedfall av stein og is på veg.»
- Nytt krav om stabilitetsanalyser i forslag til revidert N200

Tabell 221.1 Funksjonskrav for skråninger og skjæringer i berg

Krav til	Krav
Stabilitet, sikkerhet mot utfall og skred	Bergskjæringer skal etableres slik at det ikke er fare for nedfall av stein og is på veg. Bergskjæringer skal etableres slik at man unngår rensk og annen sikring de første 20 årene. Det samme gjelder rensk og sikring av løsmasse på skjæringstopp.
Sikkerhetsnivå skjæringstopp/ skråning	Sikring av skjæring-/skråningstopp skal sikres for å unngå fall av dyr eller mennesker.
Trafikksikkerhetsnivå / Grunnlag for prosjektering	Trafikksikkerhetsnivået i skråninger/skjæringer skal være likt for hele vegstrekningen som bygges ut.

225 Rensk og sikring av bergskjæringer

Det skal gjennomføres tilstrekkelig med stabilitetsanalyser og -vurderinger til å dokumentere at sikkerheten er ivaretatt for vegen, tilstøtende terreng og bebyggelse. Det skal vurderes både lokalstabilitet (sikring av blokker) og totalstabilitet (sikring mot utglidning).

Bergskjæringer skal renskes for løst berg og sikres mot nedfall i vegen.

Gode anvisninger i utgåtte håndbøker

Statens vegvesen

- Ny veiledning V225 *Bergskjæringer* ble utgitt i fjor
- Relevant innhold fra utgåtte håndbøker er tatt inn
- Mye av innholdet er oppdatert
- Mye av innholdet er nytt

Geologisk sluttrapport

Statens vegvesen

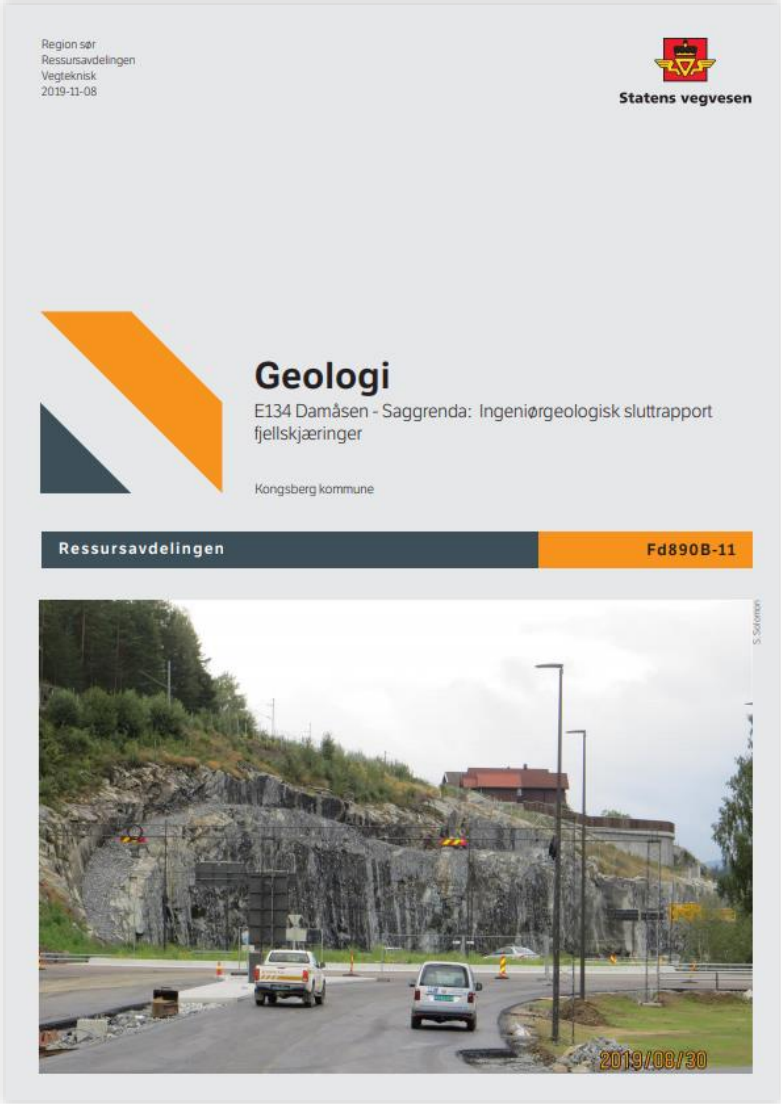
- Prosjektering i byggefasen gjør dette dokumentet meget viktig
- Forslag til innholdsliste i V225 *Bergskjæringer*
- Egen beskrivelse for skjæring i geoteknisk kategori 3

227 Utførelse og geologisk sluttdokumentasjon

For byggefasen skal det sørges for at prosjektet har tilstrekkelig bemanning og den nødvendige bergtekniske/ingeniørgeologiske kompetanse for å håndtere de forventede utfordringene. En person med bergteknisk/ingeniørgeologisk kompetanse skal ha det faglige ansvar for permanentsikringen. Innsatsen skal gjenspeile, og tilpasses, prosjektets geotekniske kategori.

Under etablering av bergskjæringer skal berget fortløpende kartlegges og stabilitetsforholdene vurderes slik at uttaksmetoder, helningsvinkel og metode og omfang av permanent sikring vil kunne bestemmes og utføres på forsvarlig vis. Håndtering av vann og is skal vurderes.

Den utførte sikringen sammen med de geologiske forholdene skal dokumenteres i sluttrapport. Rapporten skal inneholde informasjon for fremtidig vedlikehold.


Region sør
Ressursavdelingen
Vegteknisk
2019-11-08

Statens vegvesen

Geologi

E134 Damåsen - Saggrenda: Ingeniørgeologisk sluttrapport fjellskjæringer

Kongsberg kommune

Ressursavdelingen | Fd890B-11

Multiconsult

Geologi

Hvilken betydning har geologiske forhold for vurdering og etablering av bergskjæringer?

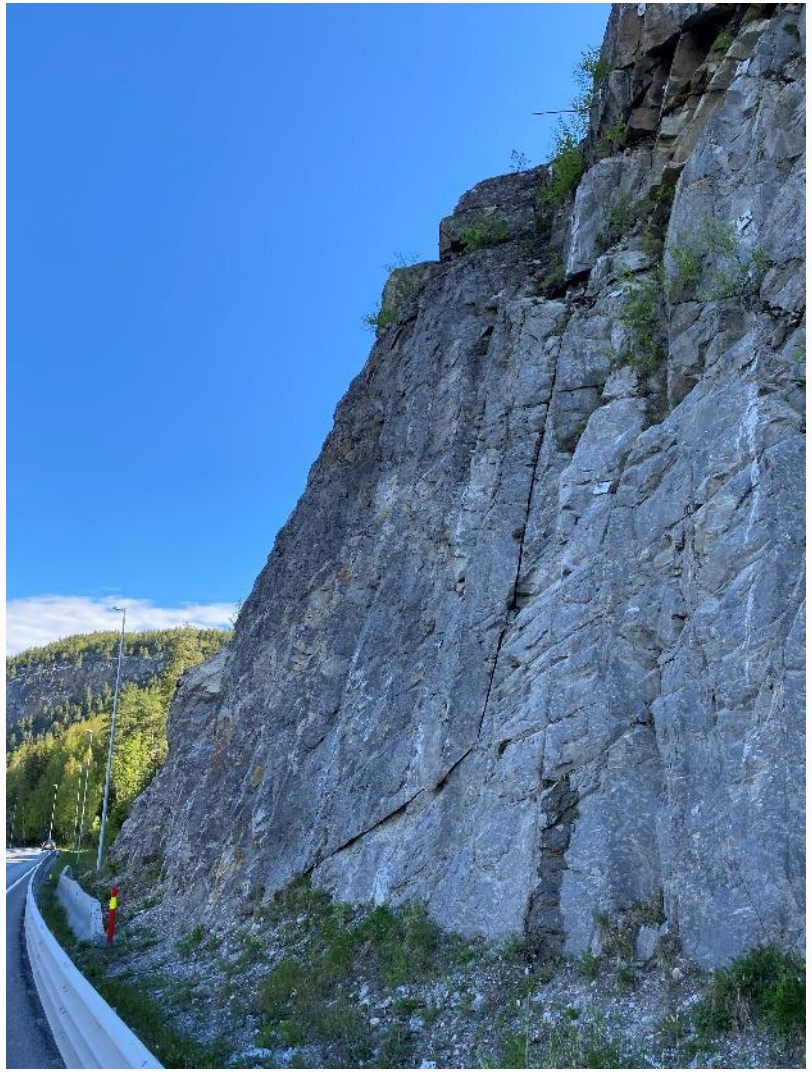
- Kjetil Moen, Multiconsult Norge AS

- Kurs: «Stabilitet og sikring av bergskjæringer», 2021

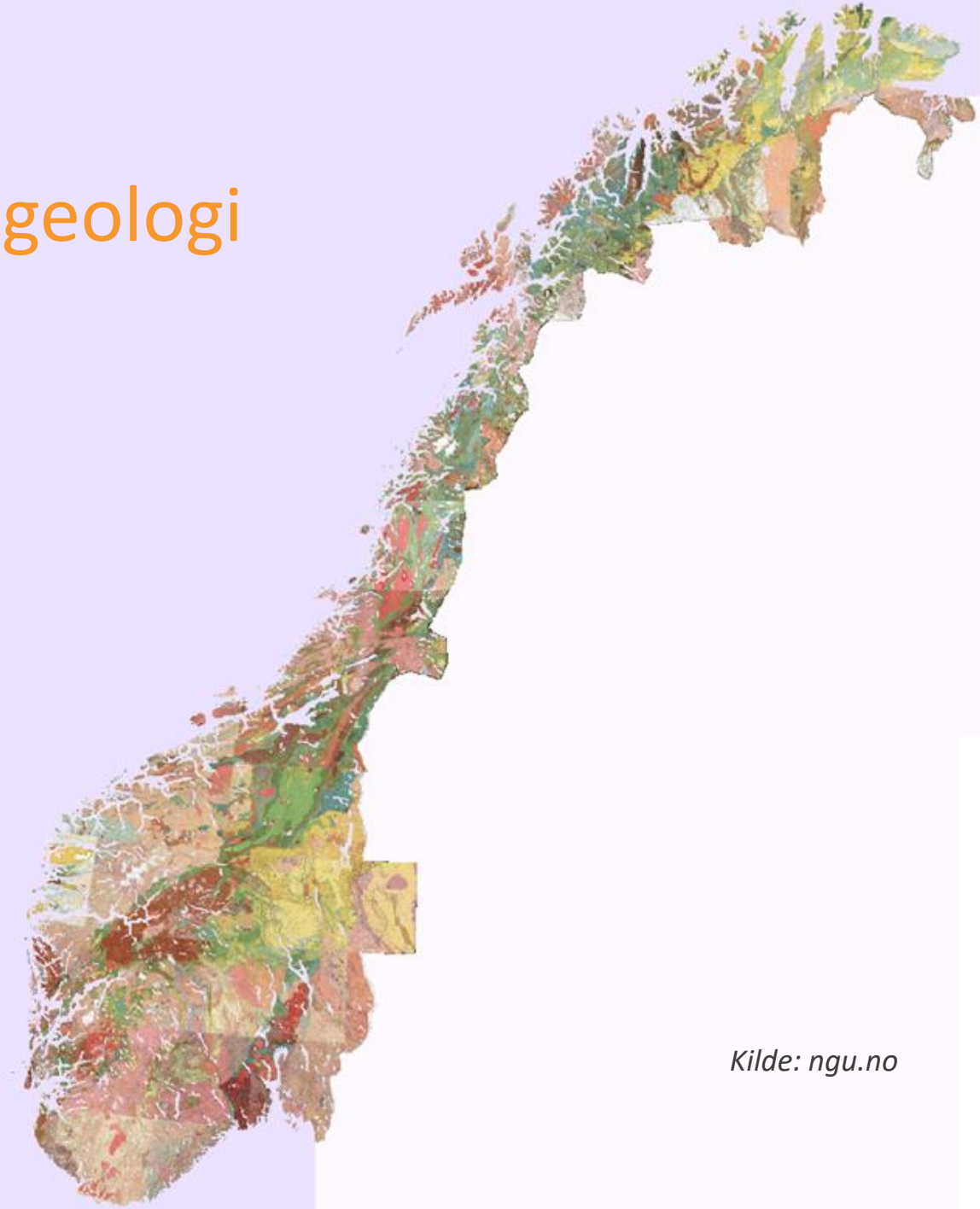
Innhold

…ikke grunnkurs i geologi, men litt om følgende:

- Geologiske forhold som har betydning for resultatet
- Ingeniørgeologiske undersøkelser / vurderinger
- Av og til går det galt… (utglidninger / ras)
- Eksempler (bilder / illustrasjoner)



Norges berggrunnsgeologi



Kilde: ngu.no

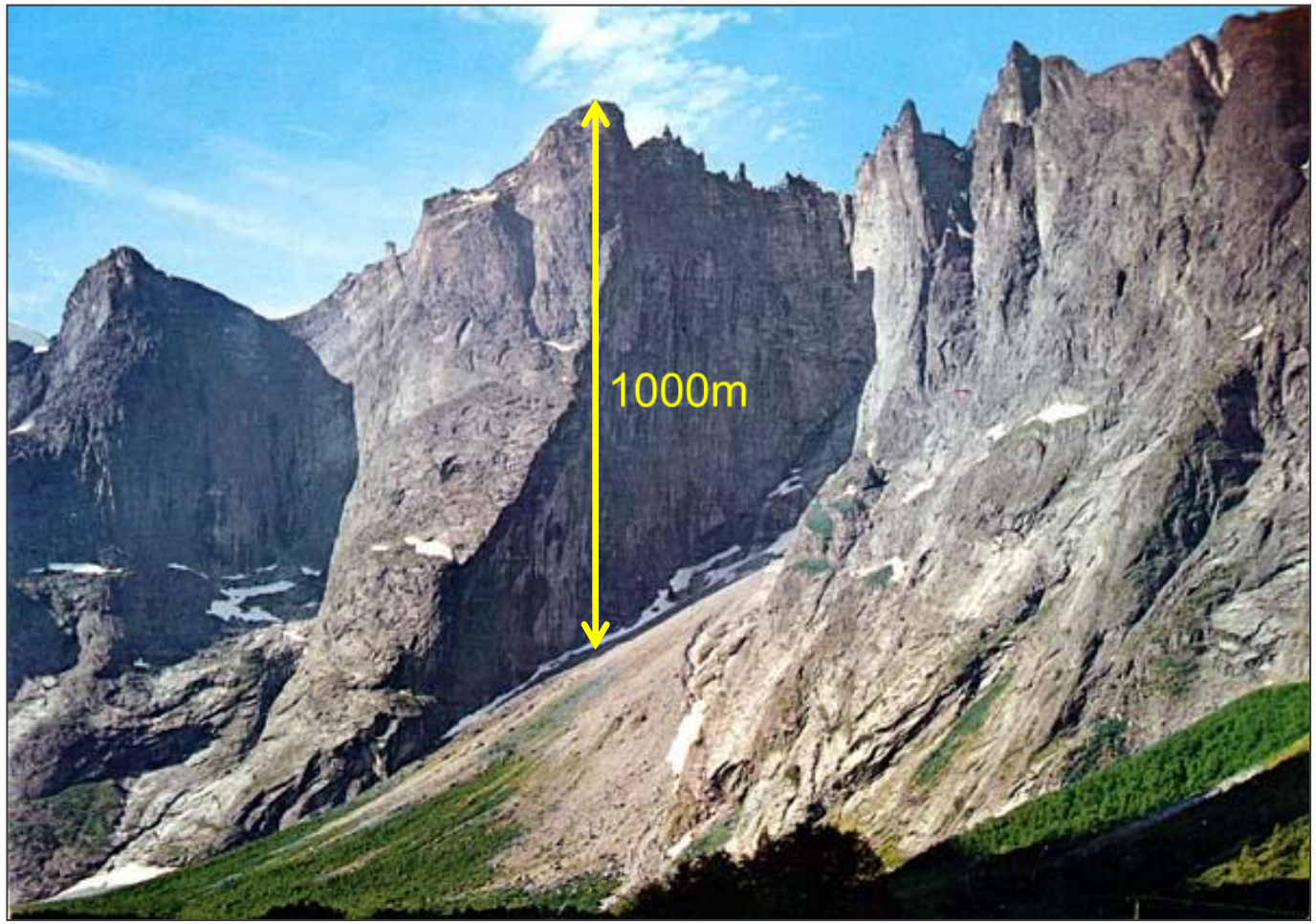
Geologiske forhold som har betydning ved etablering av bergskjæringer

- Bergart
- Oppsprekning
- Slepper / svakhetssoner
- Forvitringsgrad
- Sprekkevann
- Bergspenninger

} Karakteriserer bergmassen (byggematerialet)

Hvor høy kan en bergskjæring være, og samtidig være stabil ?

Trollveggen – Europas høyeste loddrette stup



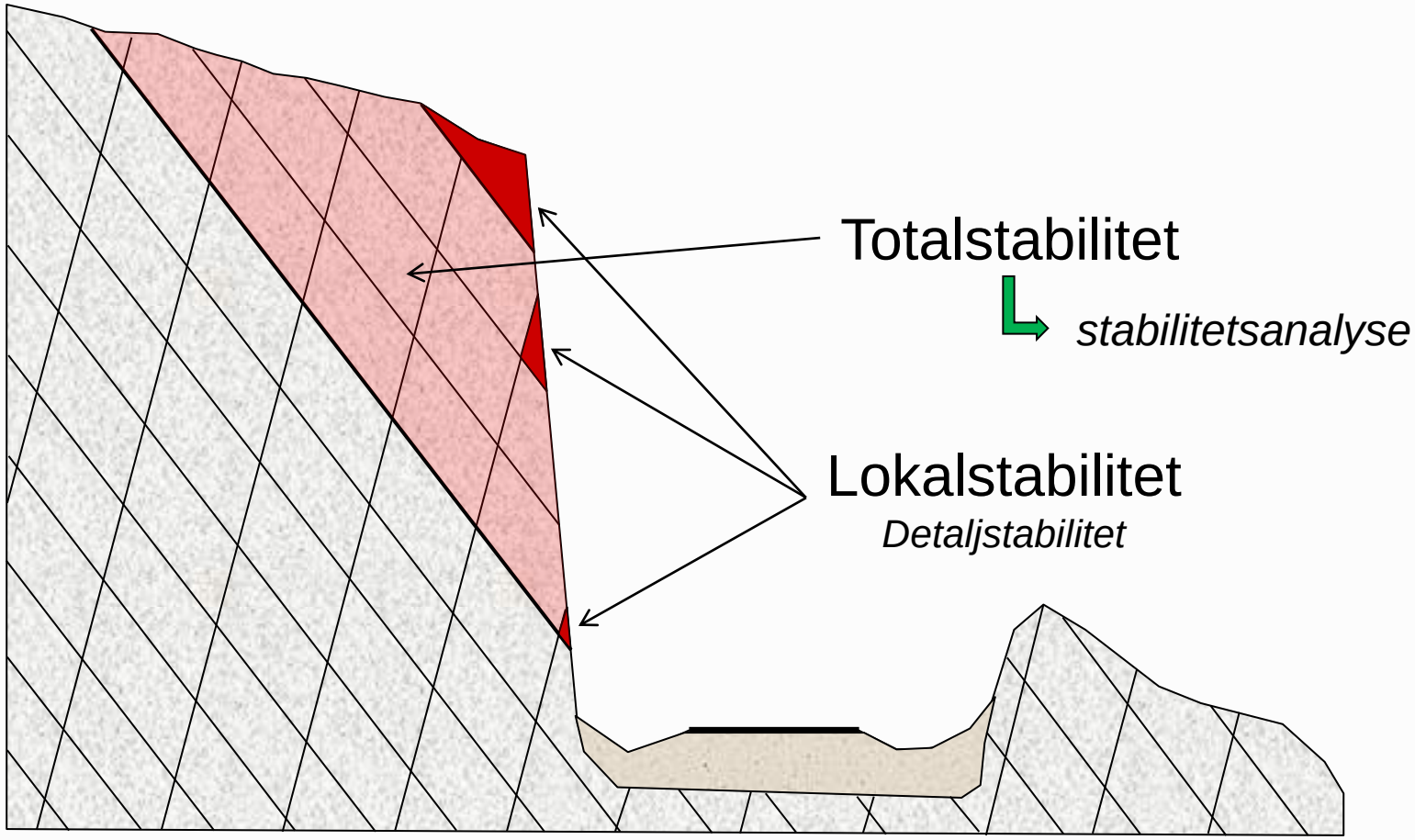
Lokale stabilitetsproblemer forekommer fra tid til annen…

Trollveggen – Europas høyeste loddrette stup

På tross av størrelsen på disse skredene er totalstabiliteten i behold

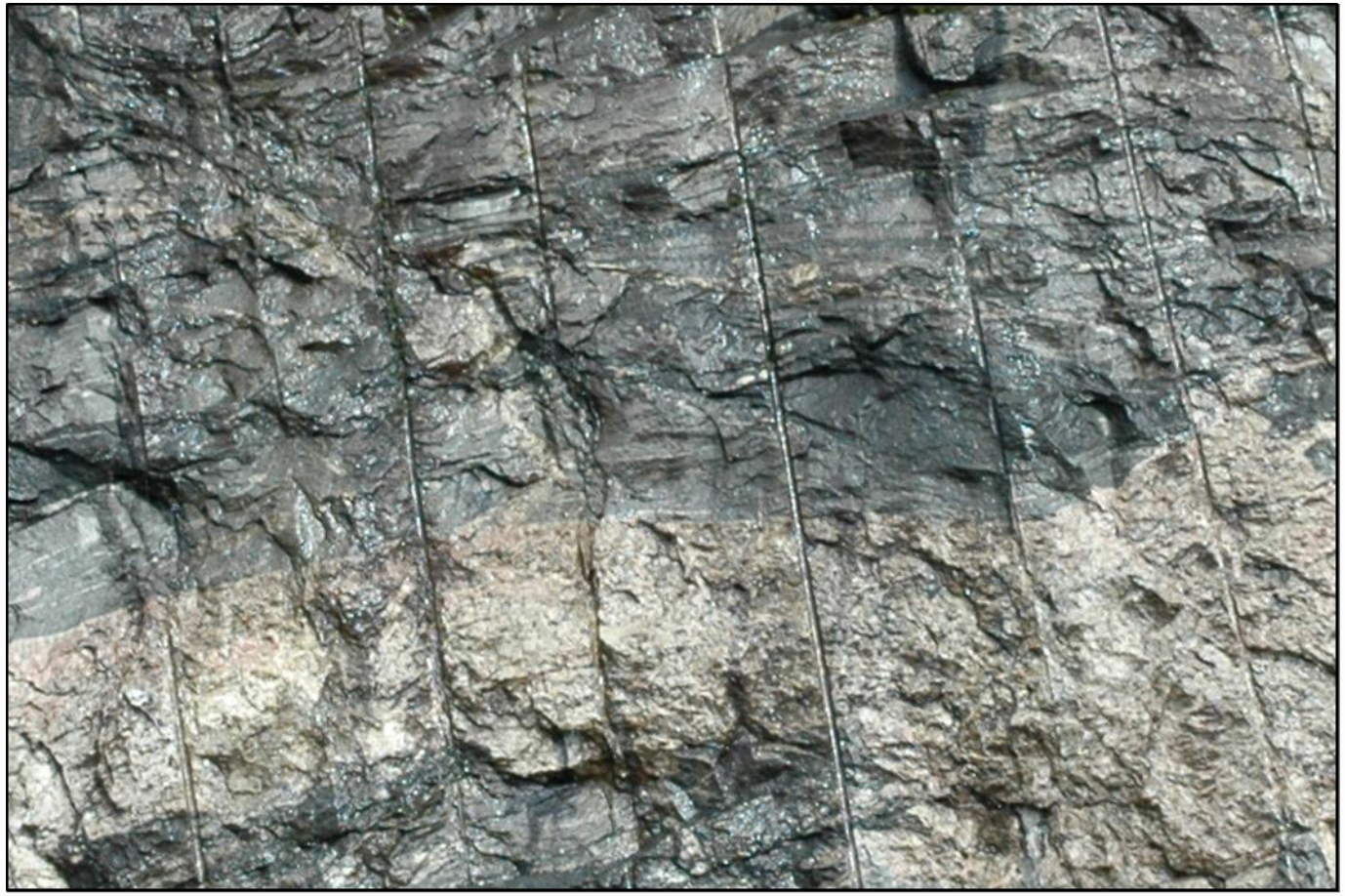
Trollveggen – Europas høyeste loddrette stup

Lokalstabilitet - Totalstabilitet



Eksempel på stabil skjæring (høyde 15 – 20m)

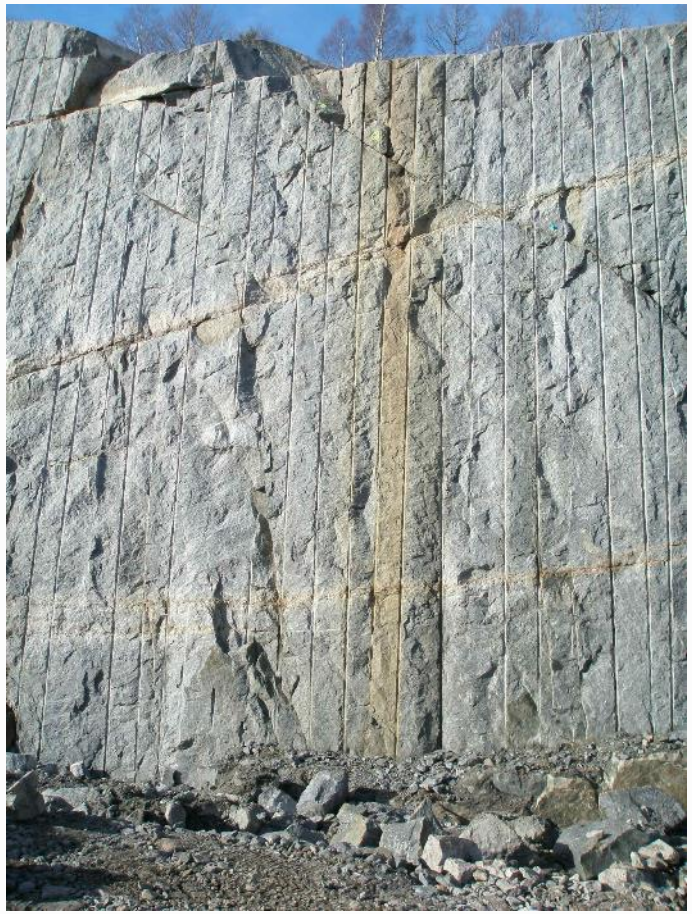
Rv.7 sør for Gulsvik. Båndet gneis. Usikret



Eksempel på ustabil skjæring (høyde 5 – 10m)

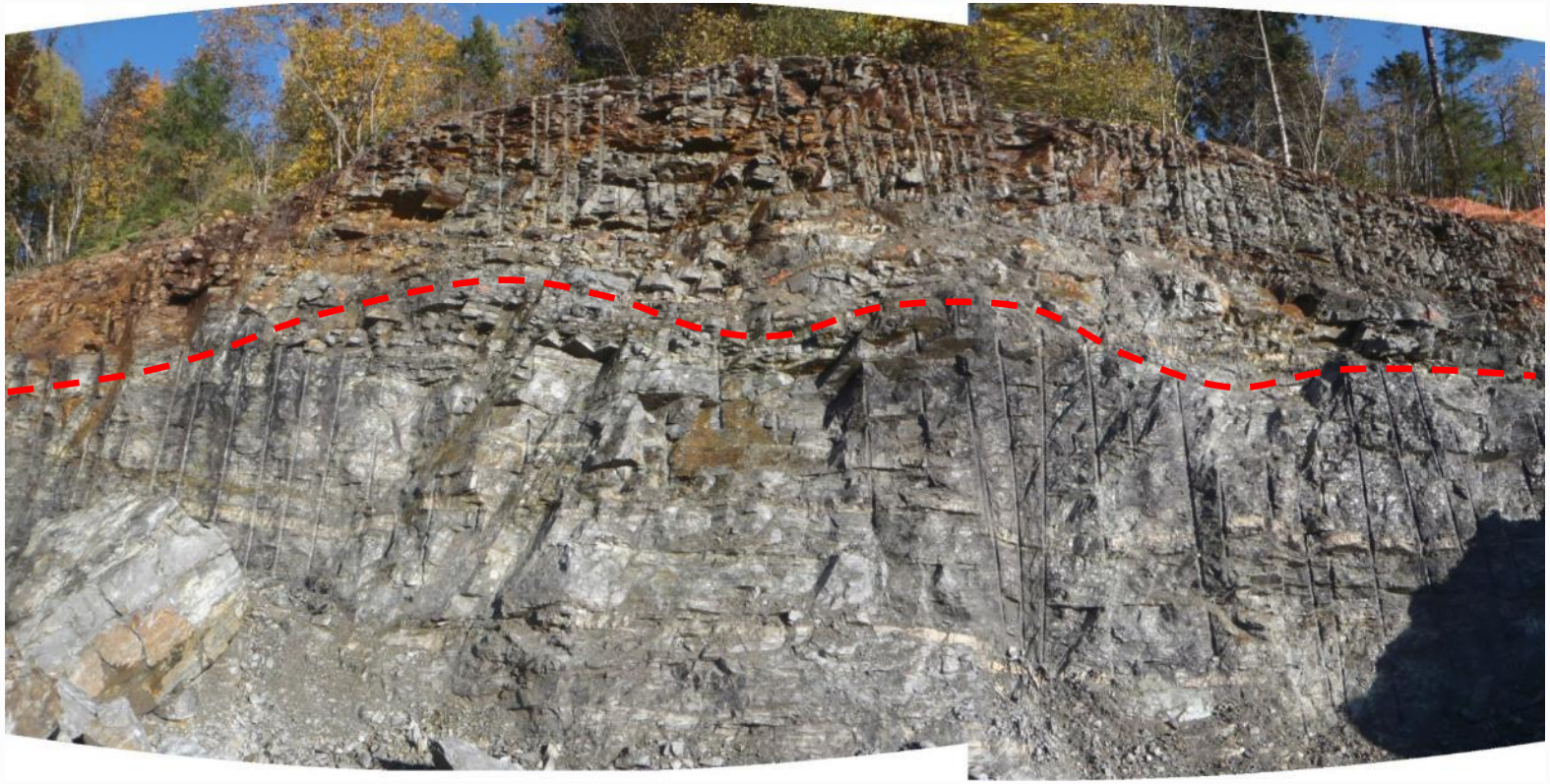
E18 Asker-Lier. Sterkt forvitret hornfels + diabas. Sikring: Fanggrøft – ”la det bare rase”

Samme bergart (larvikitt), samme sted (E18 Bommestad) – Forskjellig kvalitet



Bergkvaliteten er som regel dårligere nær fjelloverflaten (dagfjellsonen)

Vegskjæring v/ Isi avfallsanlegg, Bærum. Hornfels. Sømboring i toppen



Forbolting og sømboring bør ofte gå ”hånd i hånd”

Effekten av sømboring kan være god…

Kalk-leirskifer

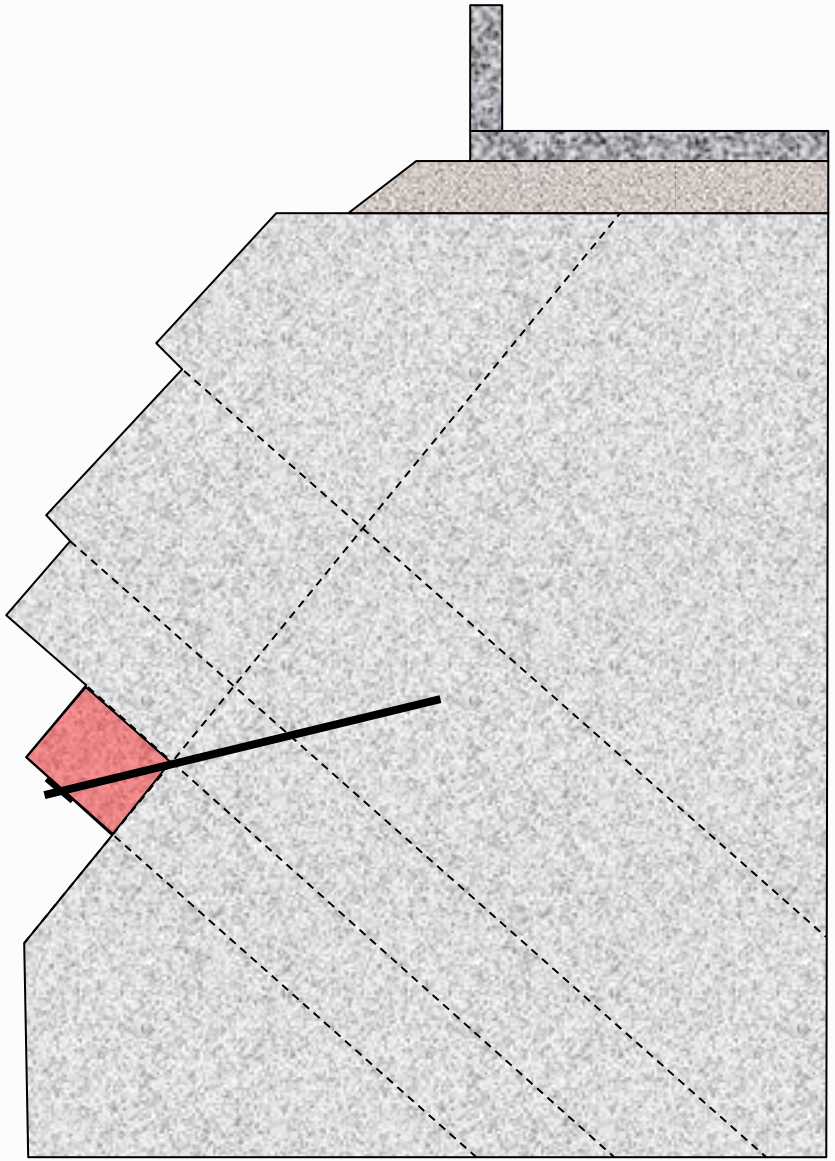
Byggegrop,
Oslo

…eller mindre god…

Båndet gneis

Vegskjæring,
Kristiansand

Låseblokker (prinsipp)



Låseblokker (eksempel)

Nesodden – granittisk gneis

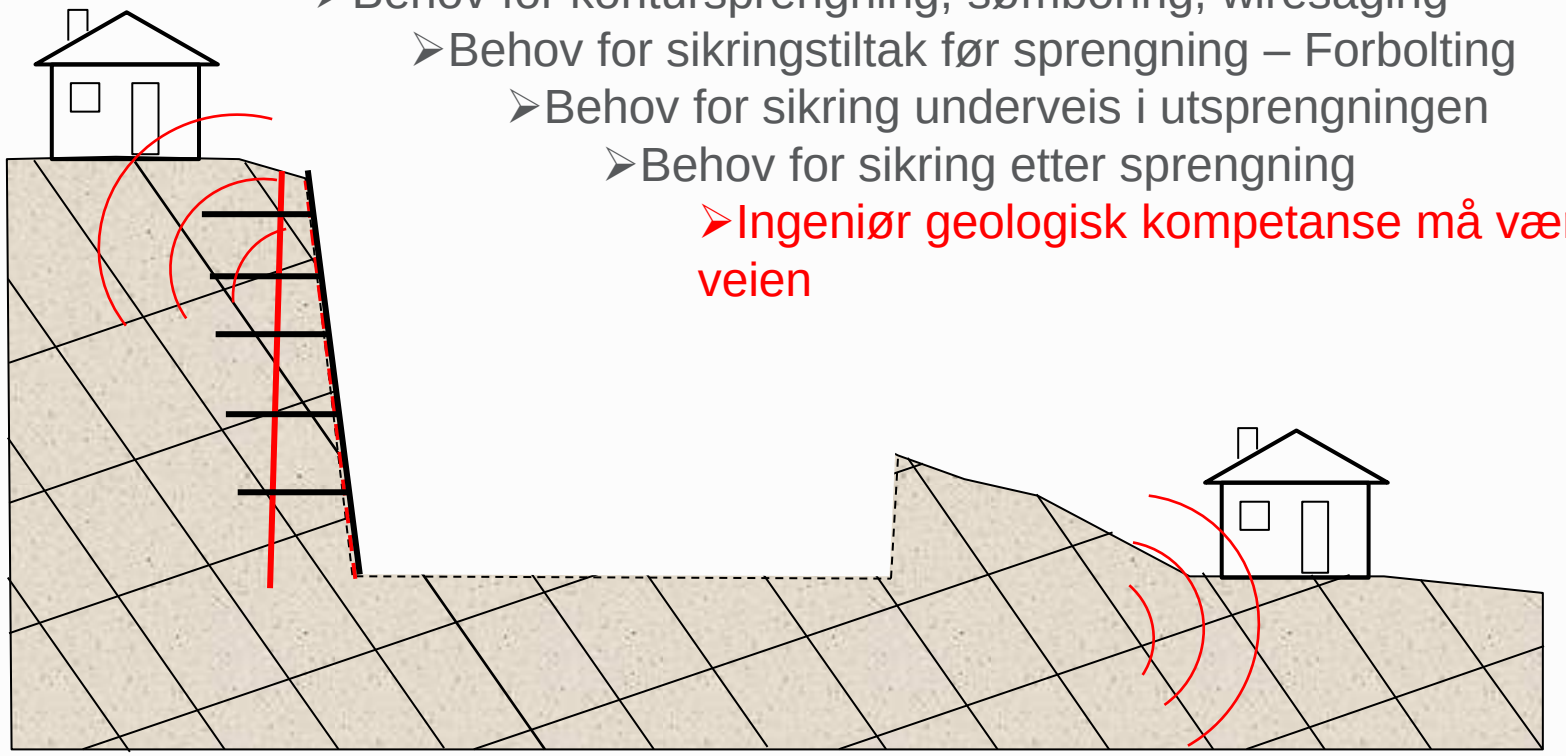
Vurdering av friksjons- og innspenningsforhold står sentralt

kalkstein / leirskifer

Stathelle

Ingeniørgeologiske vurderinger

- Bergmassen, inkl. oppsprekning / svakhetssoner – ingeniørgeologisk kartlegging
- Omgivelsene, bebyggelse
- Krav til sprengningsarbeidene (forsiktig sprengning, rystelser)
- Behov for konturs prengning, sømboring, wiresaging
- Behov for sikringstiltak før sprengning – Forbolting
- Behov for sikring underveis i utsprengningen
- Behov for sikring etter sprengning
- Ingeniør geologisk kompetanse må være med hele veien



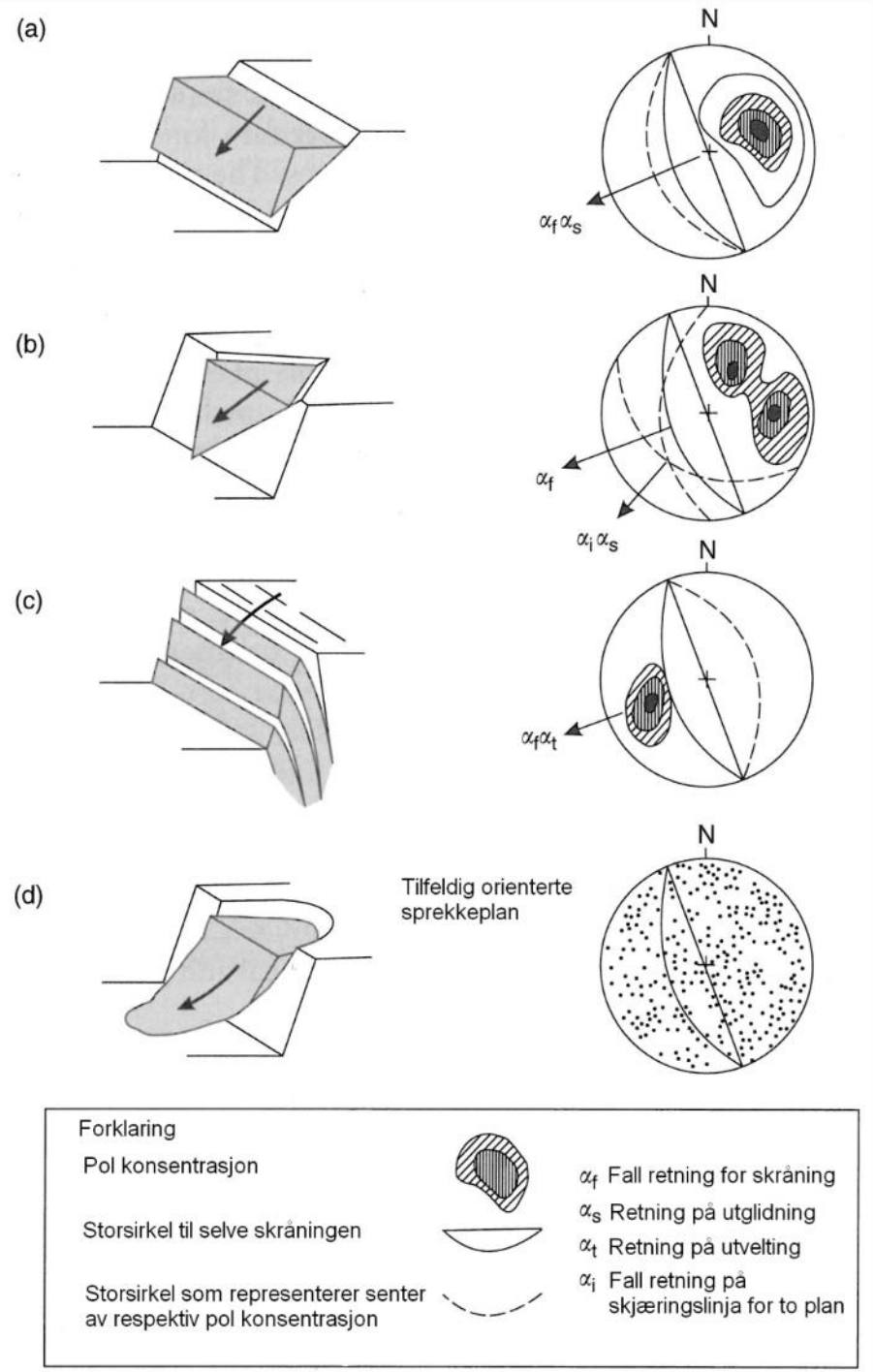
Mye kan gå galt dersom man ikke tar dette alvorlig…

Oslo

Mye kan gå galt dersom man ikke tar dette alvorlig…

Mongstad

Kategorisering av de mest vanlige utglidningstypene



- Plan utglidning
- Kileutglidning
- Utvelting (”toppling”)
- Sirkulær utglidning

Kilde: Rock Slope Engineering (Wyllie/Mah, 2004)

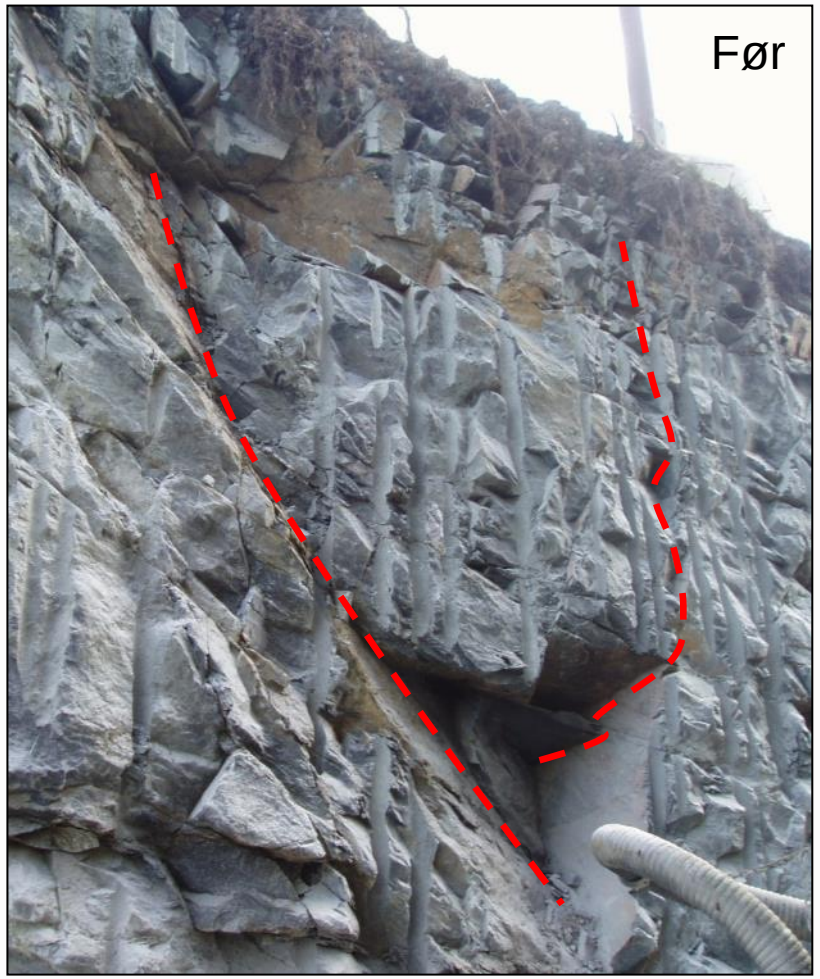
Eksempel: Plan utglidning

Dobbeltspor Lysaker – Sandvika, wiresaget skjæring i leirskifer

Sprekkevann og frost kan være en drivende faktorer…

Dobbeltspor Lysaker – Sandvika, wiresaget skjæring i leirskifer

Eksempel: Kileutglidning

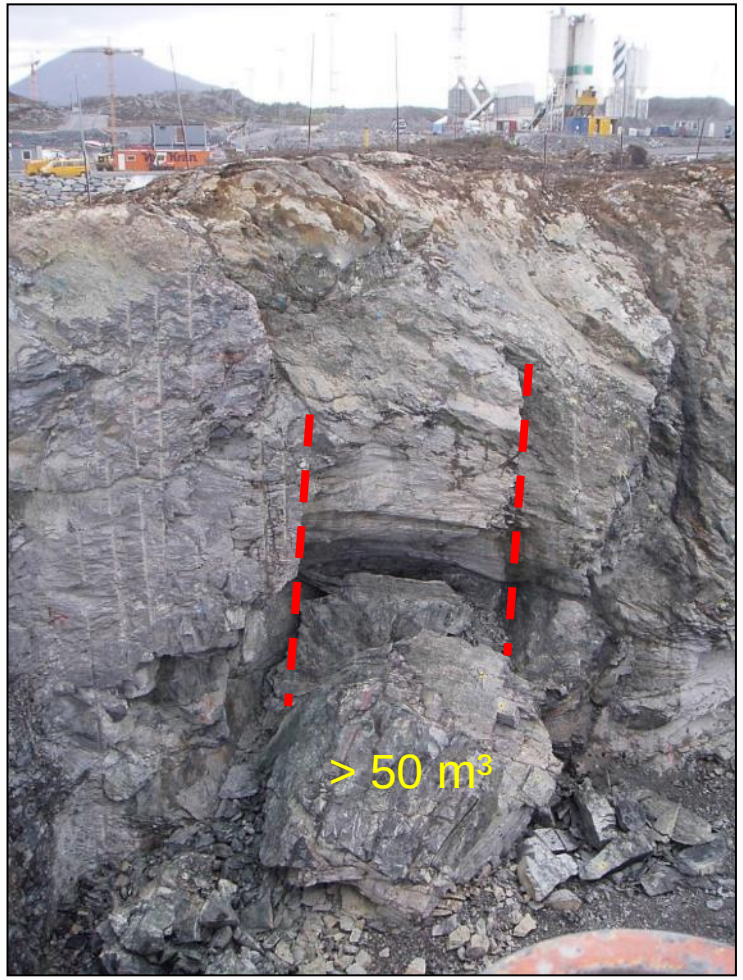


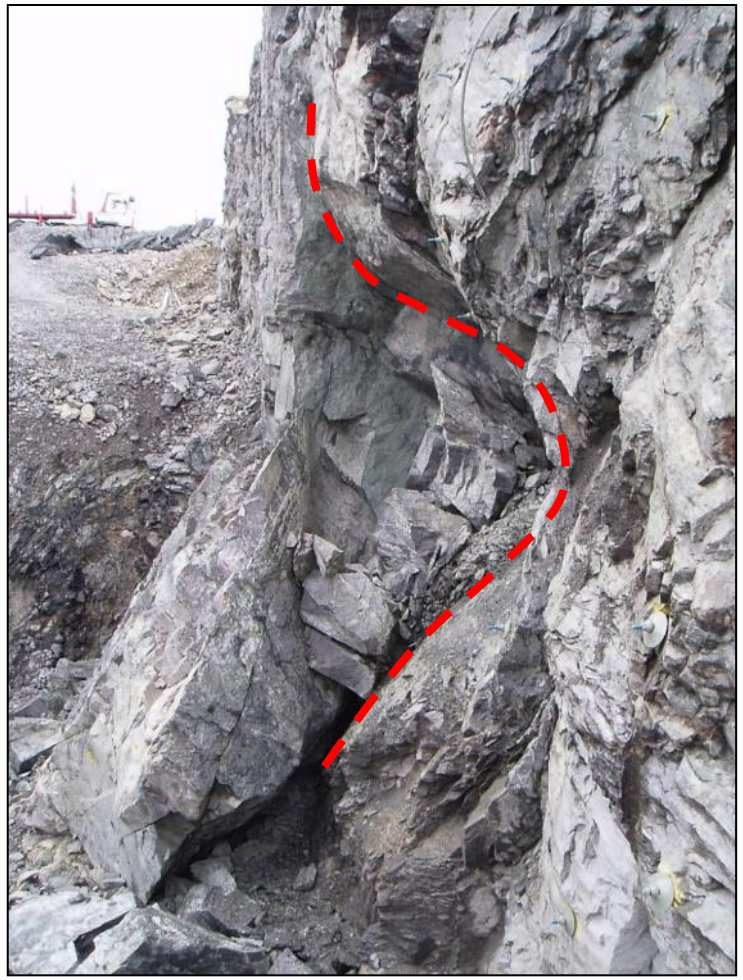
Nordstrand, Oslo
granittisk gneis

Eksempel: Utvelting (toppling)

Nesbru (Asker), kalkleirskifer

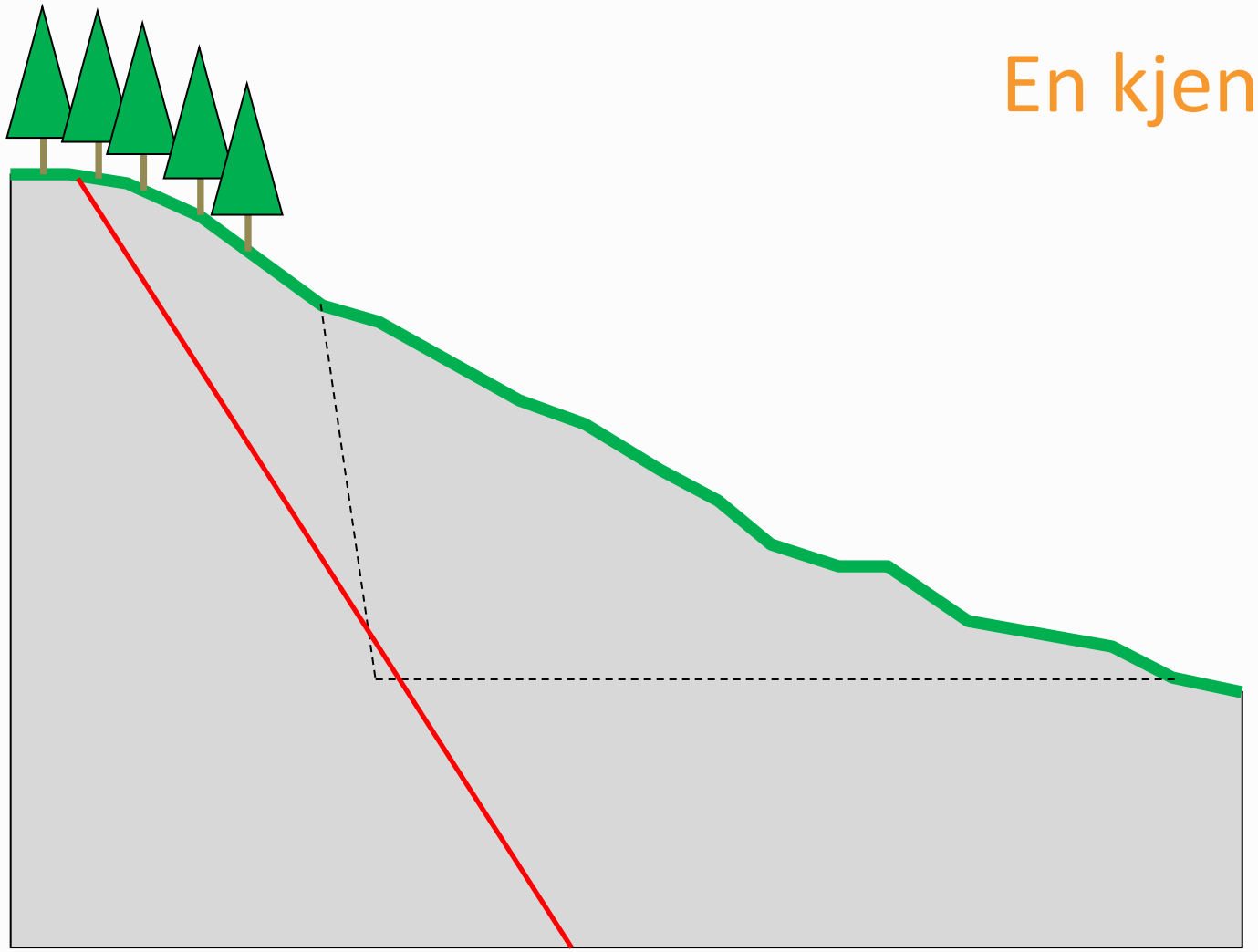
Eksempel: Blokkutfall

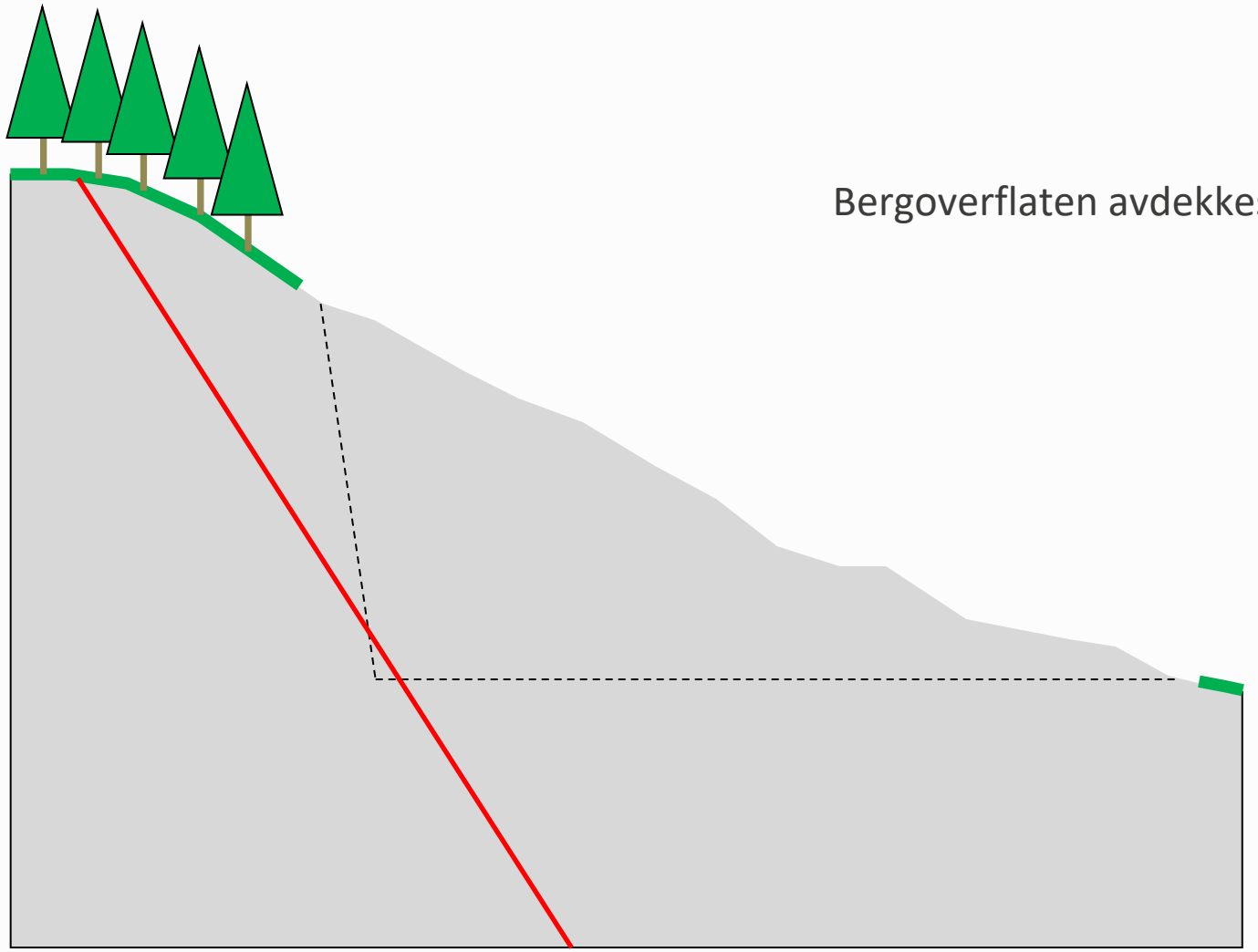




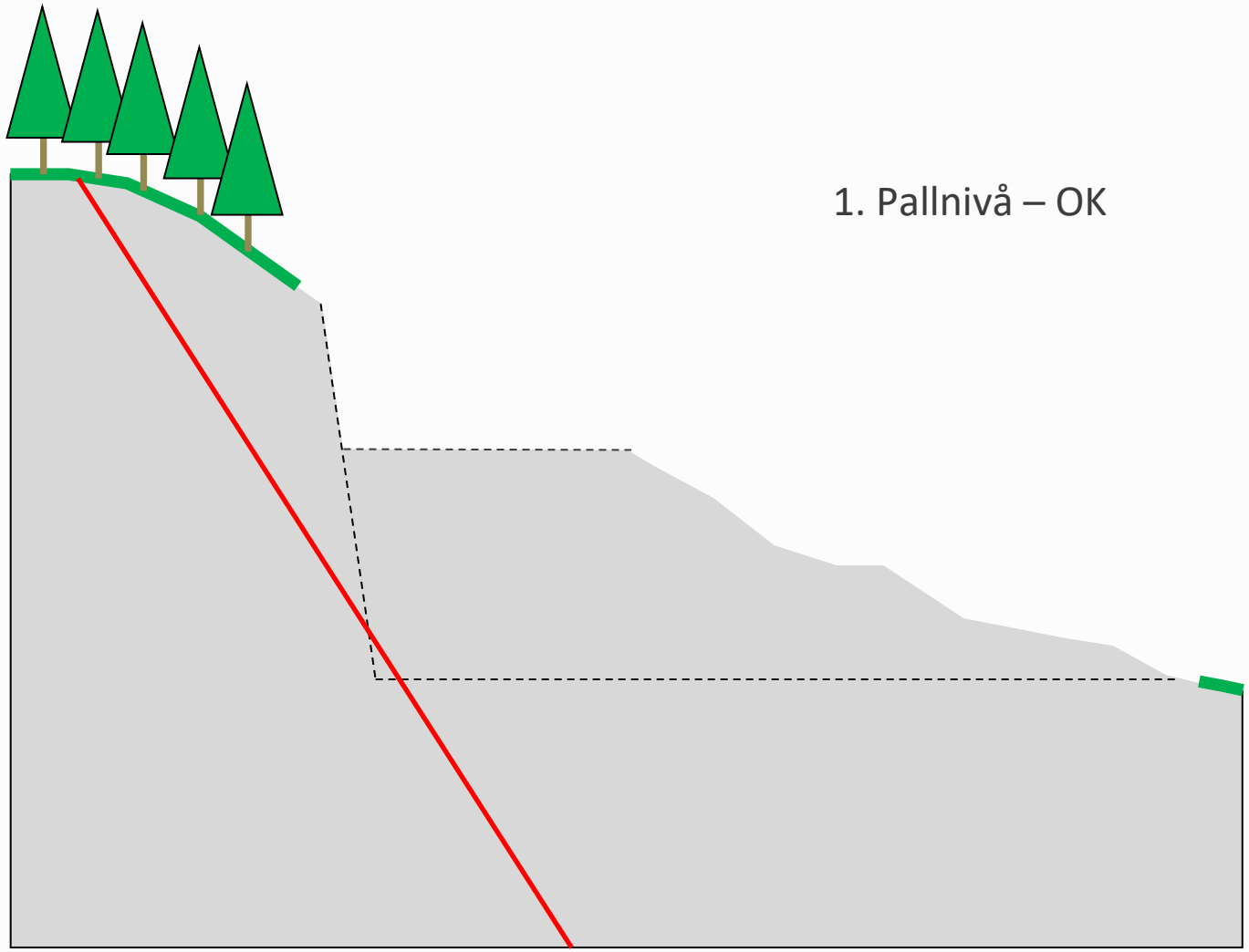
Aukra,
migmatittisk gneis

En kjent problemstilling…

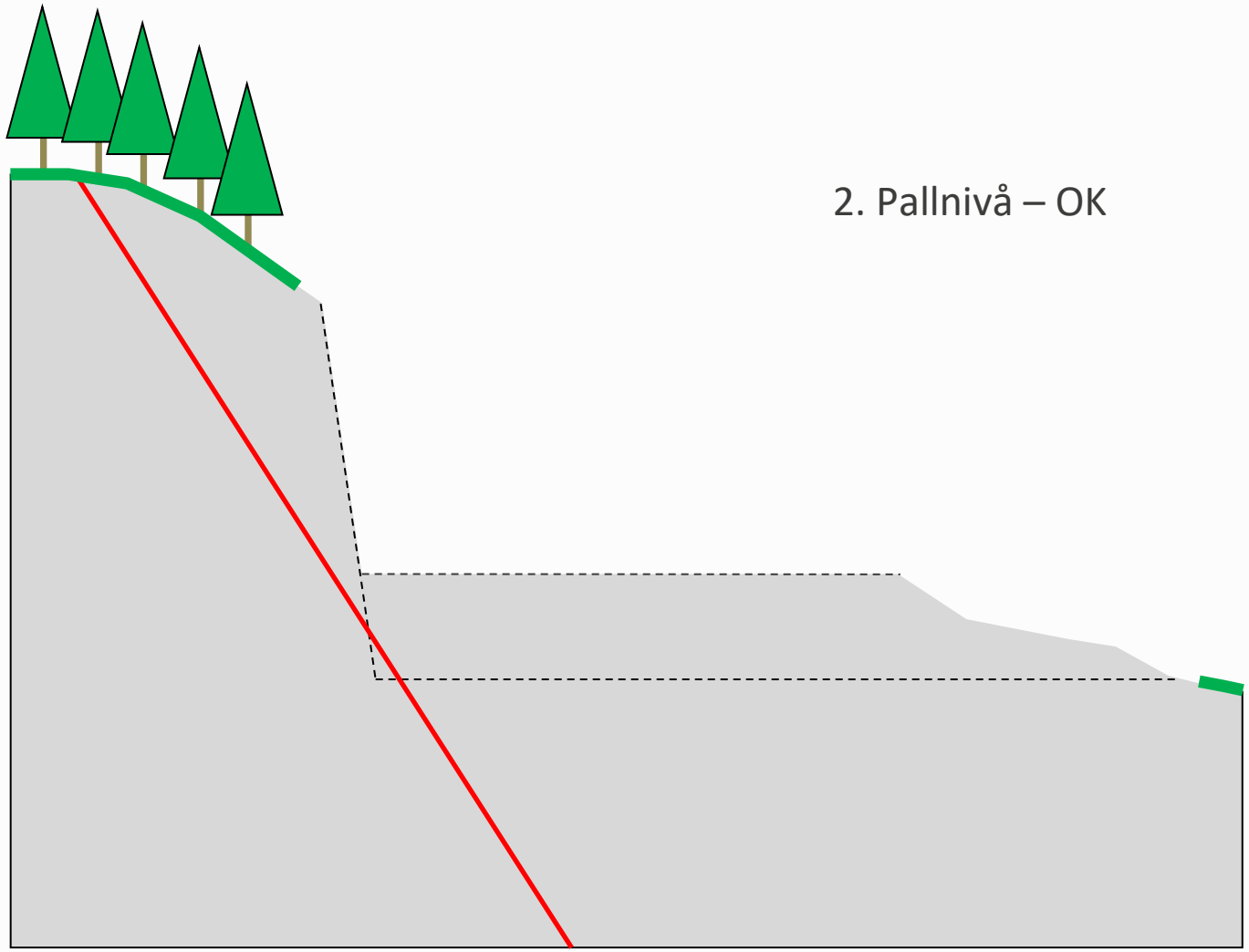




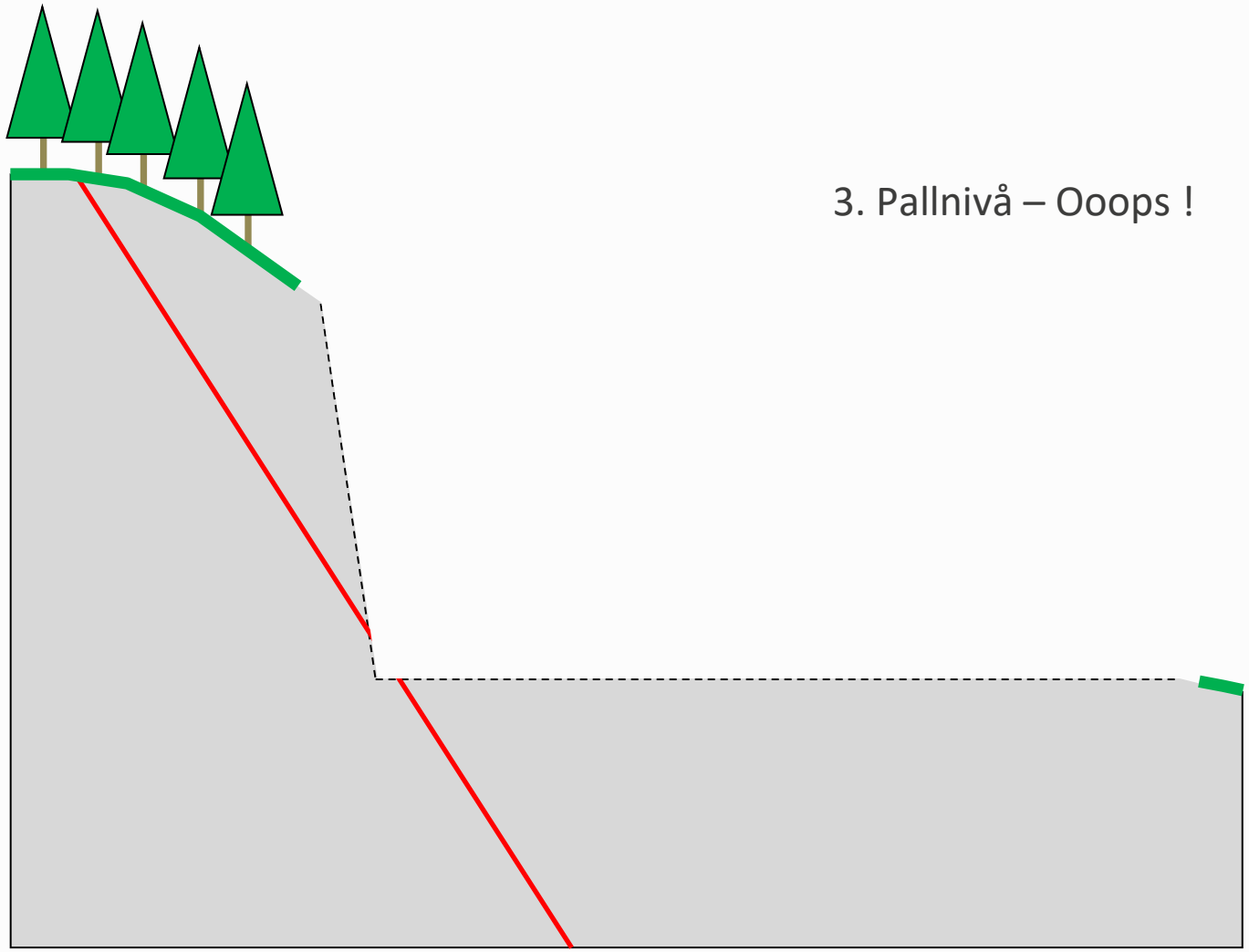
Bergoverflaten avdekkes



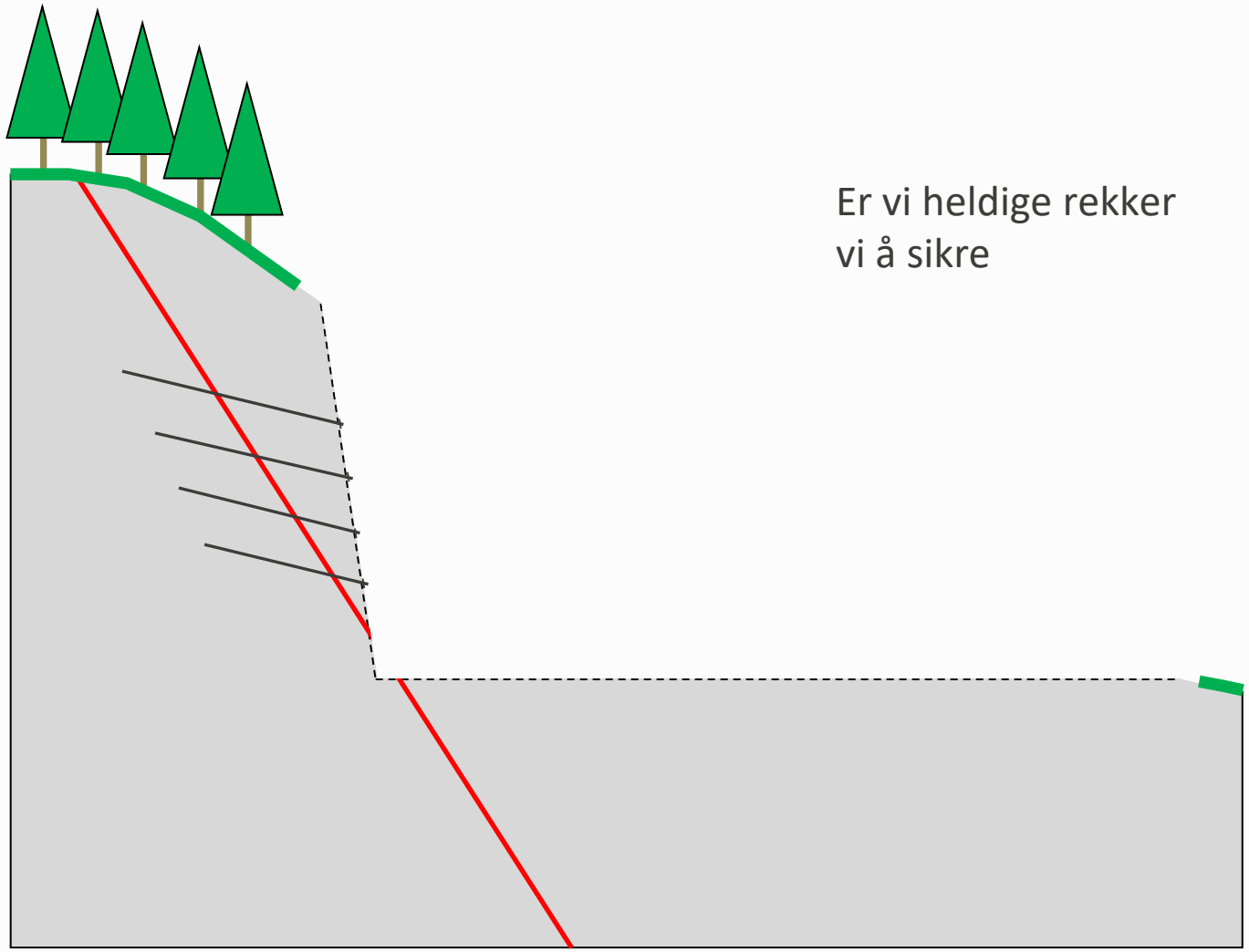
1. Pallnivå – OK



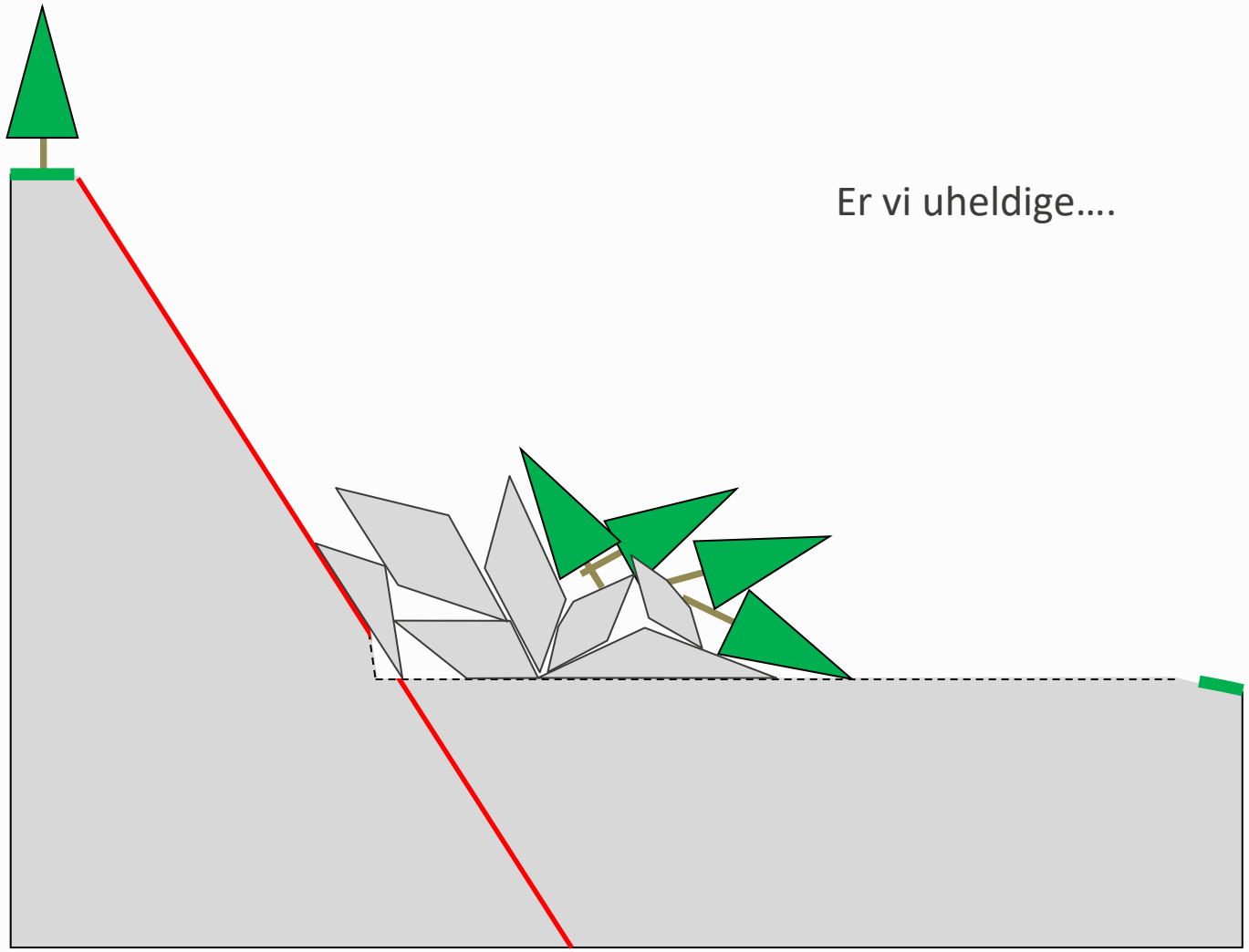
2. Pallnivå – OK



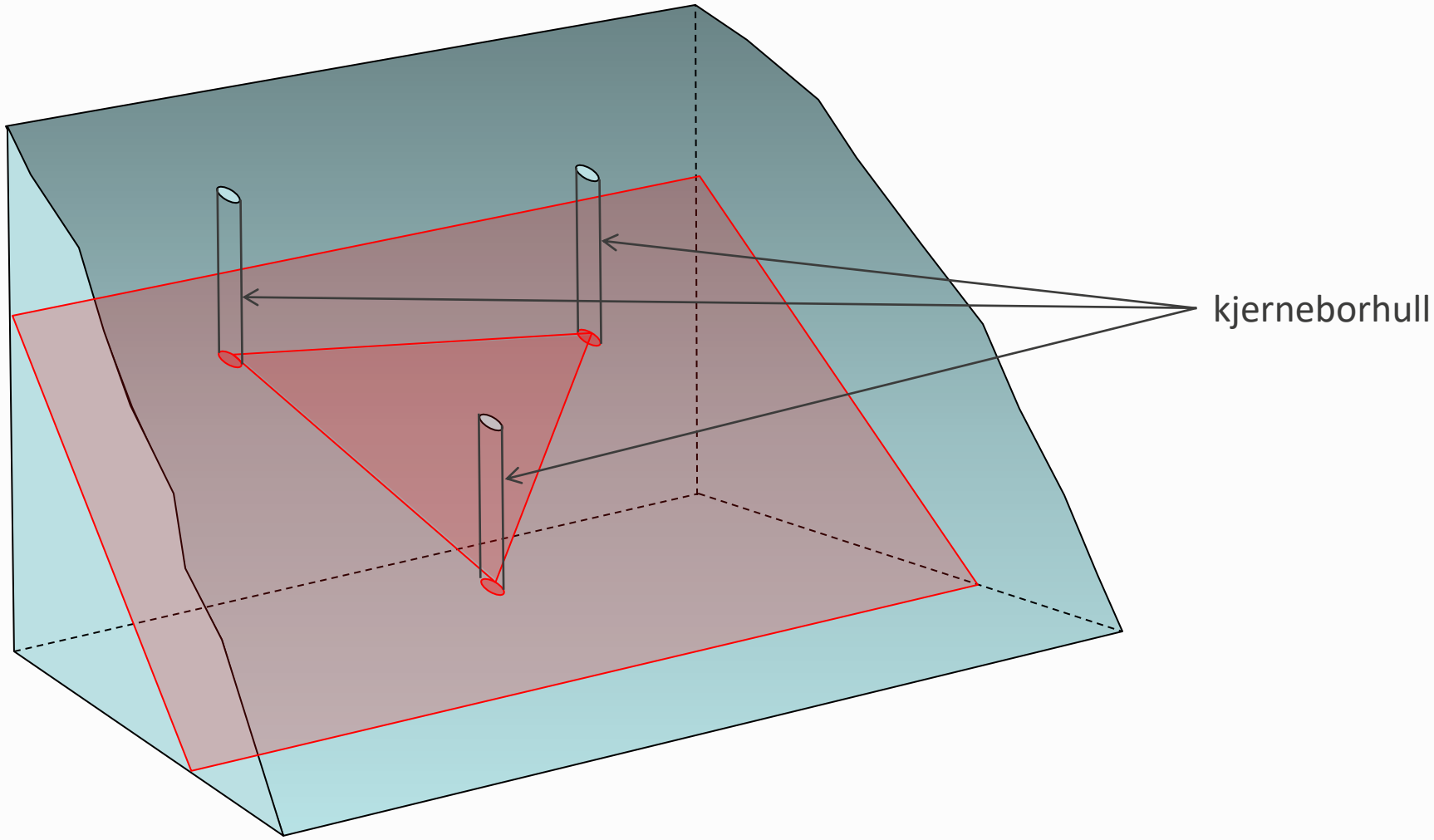
3. Pallnivå – Ooops !

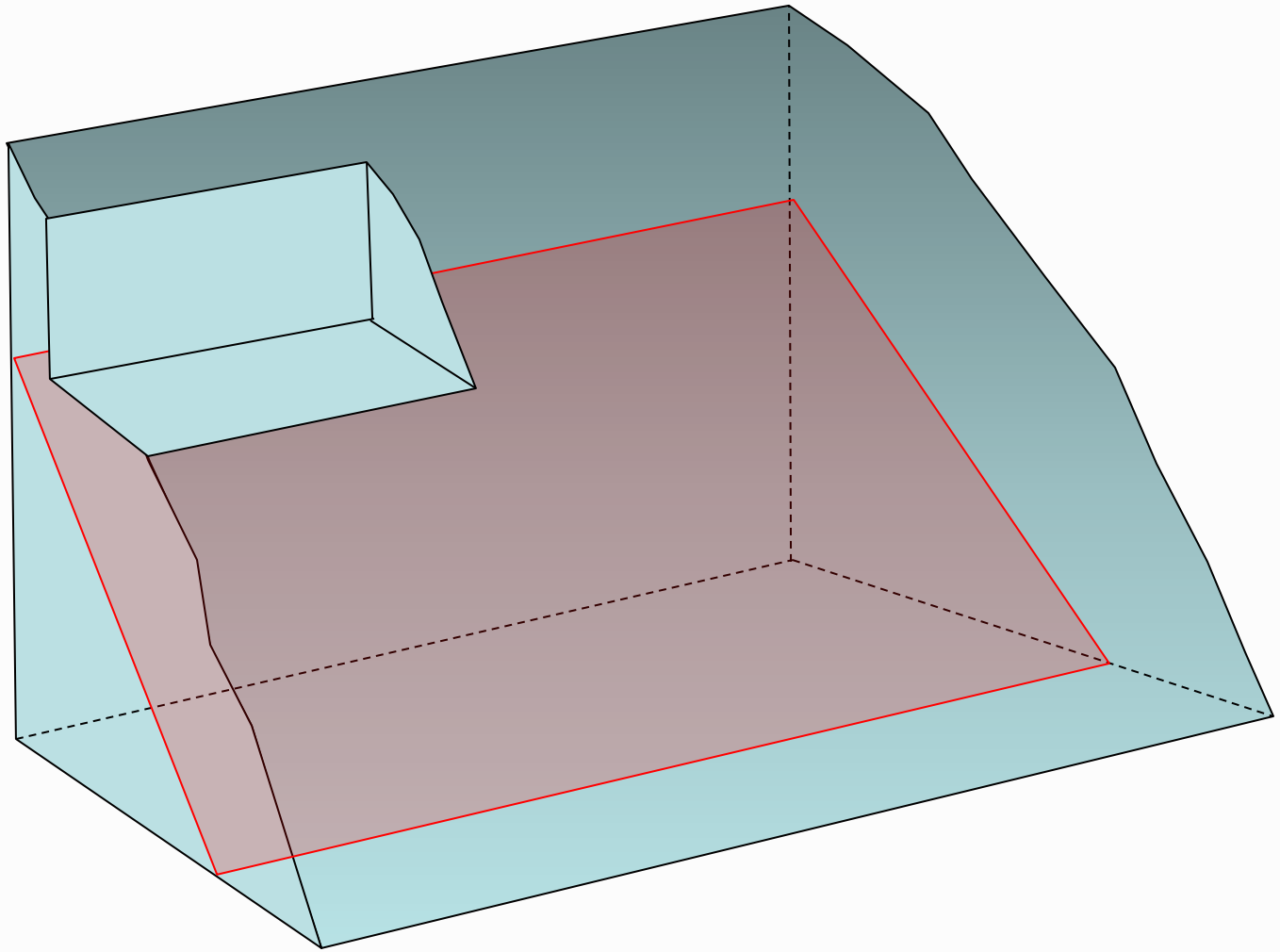


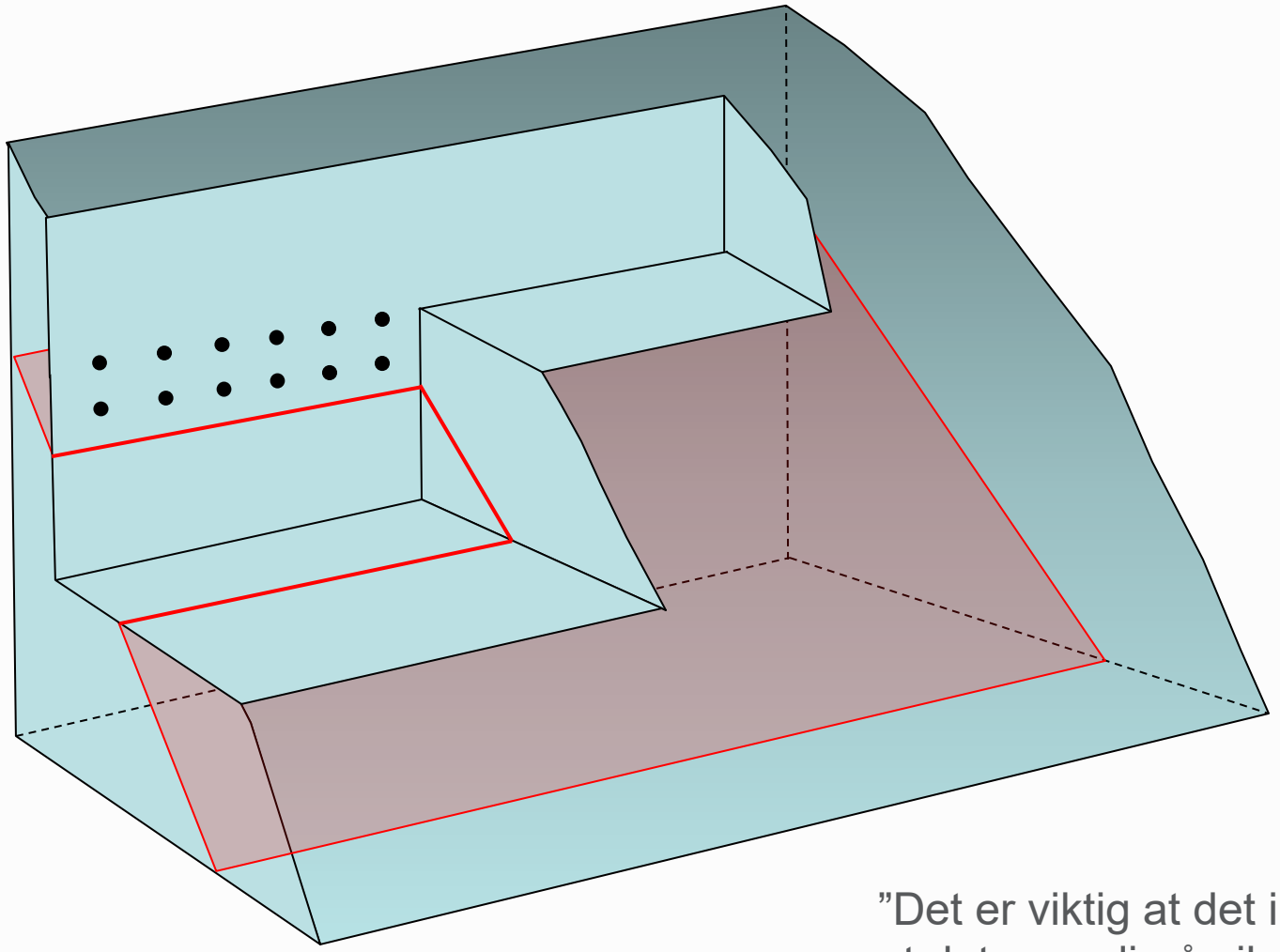
Er vi heldige rekker
vi å sikre



Er vi uheldige….


kjerneborhull

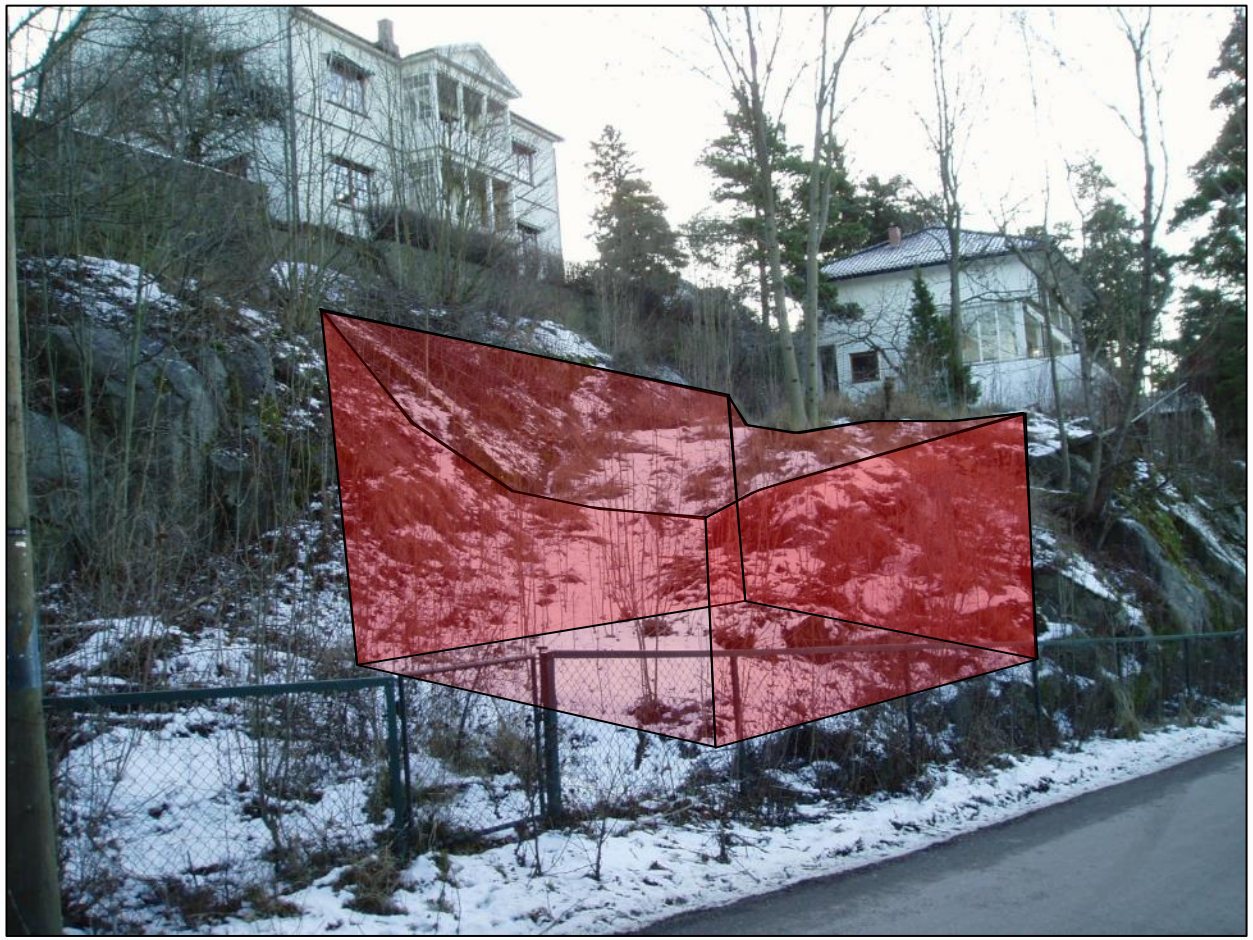




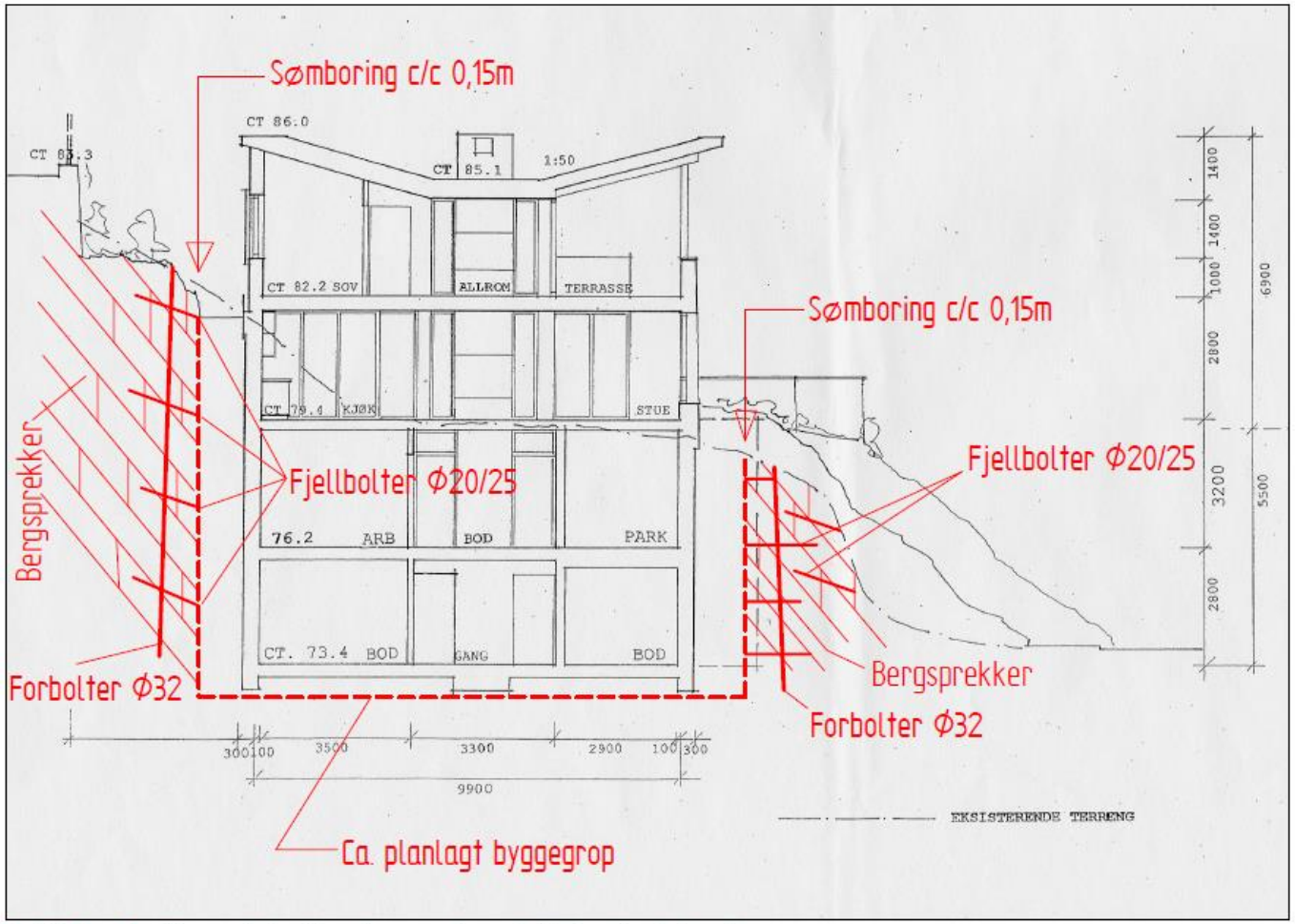
”Det er viktig at det ikke sprenges fri større flater enn at det er mulig å sikre ustabile partier etter hvert”

→ Ingeniørgeologisk oppfølging !

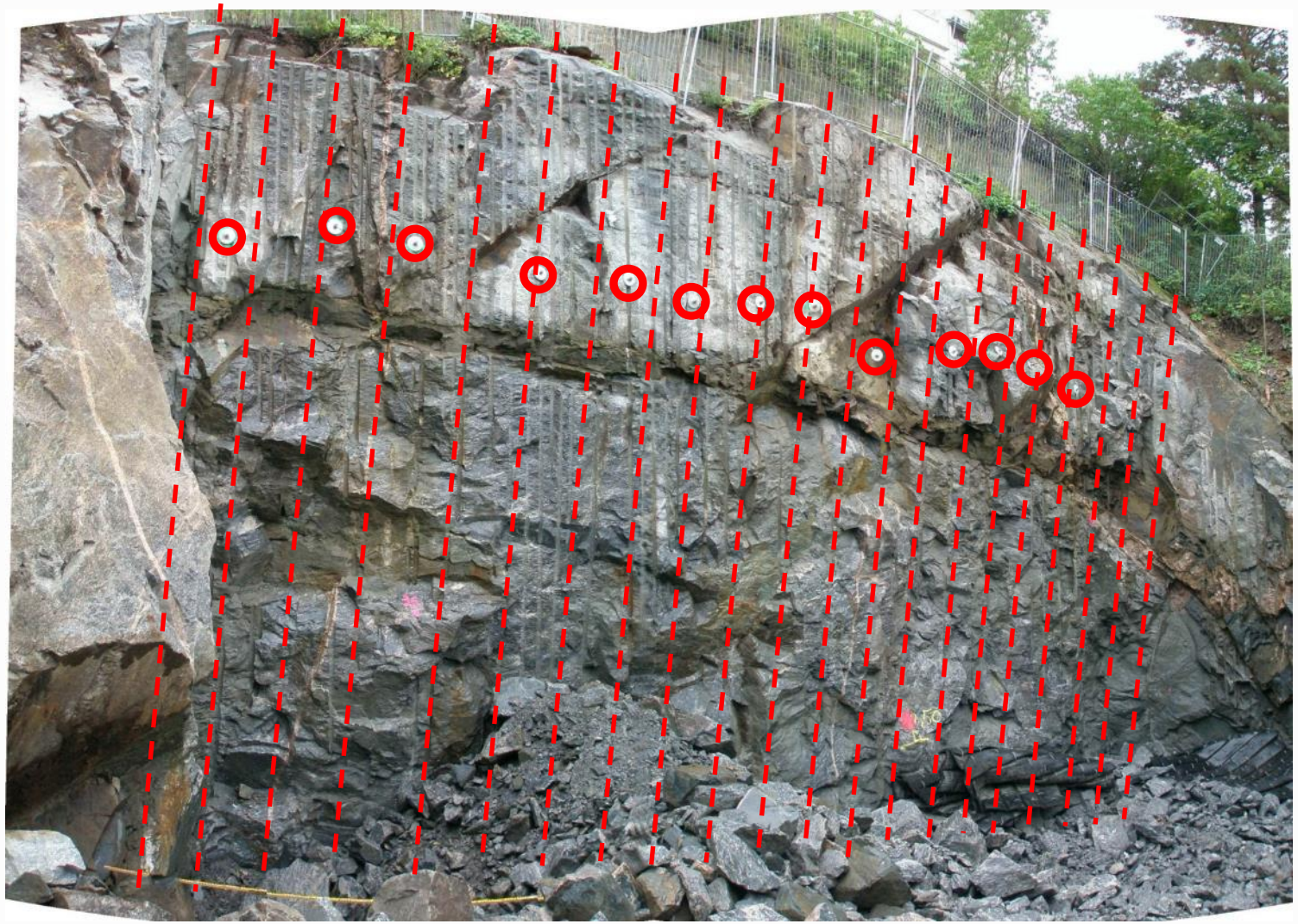
Eksempel: Byggegrop



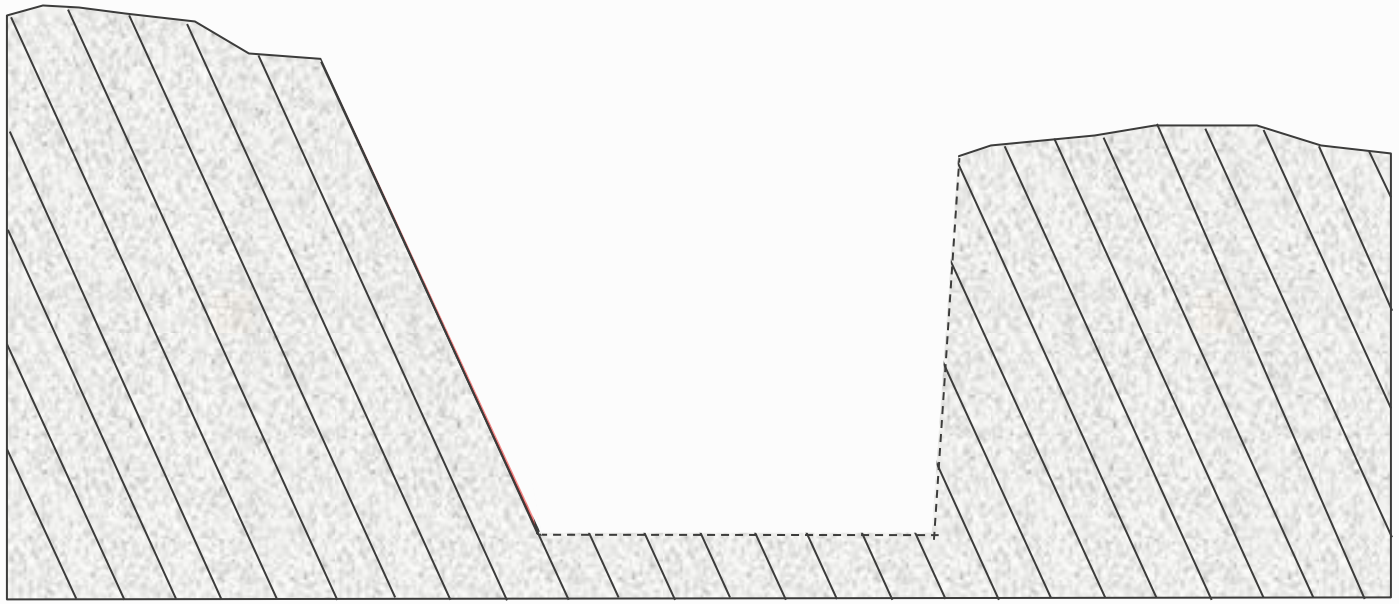
Bekkelaget, Oslo
granittisk gneis



OBS: PRINSIPPSKISSE – Antall, plassering og lengde for forbolter / fjellbolter må anvises på stedet.



Utnytt geologien på mest mulig rasjonell måte…



Eksempel: E18 v/ Kragerø

Bergart: granittisk gneis

Eksempel: E39 v/Helleland (Egersund)

Bergart: Noritt (mørk dypbergart i gabbrofamilien)

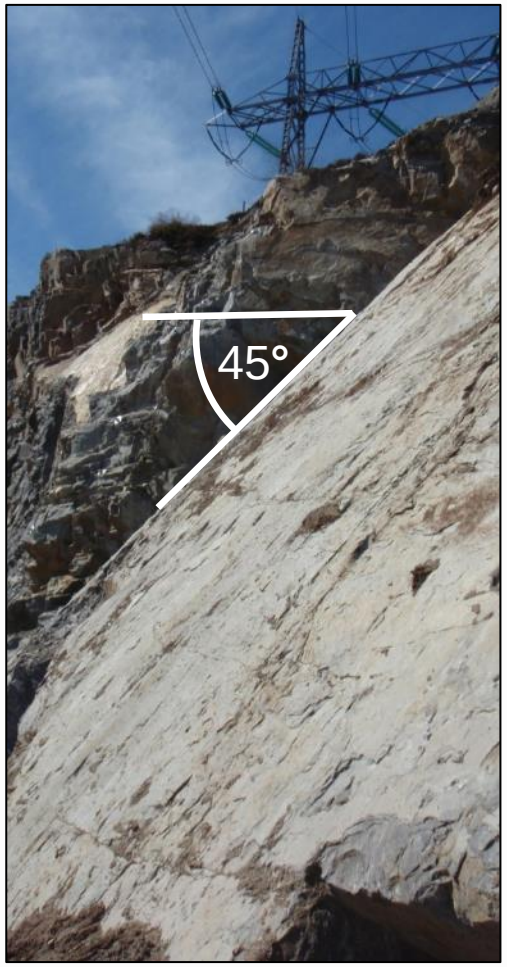
Eksempel: E39 v/Helleland (Egersund)

Eksempel: Skjæring, Bergen

Her er ikke geologien utnyttet optimalt…

Gjelleråsen Bergart: granittisk gneis

Sikret med nesten 50 stk. bolter/stag



Til slutt, et visdomsord…

Karl Terzagi – om det at det ikke alltid er mulig å få tak i relevante grunnlagsdata for ingeniørgeologiske stabilitetsvurderinger:

«… I slike tilfeller blir gjerne analysene basert på forutsetninger som har lite til felles med realitetene. Slike beregninger gjør mer skade enn nytte, fordi de avleder designerens oppmerksomhet fra de uunngåelige, men viktige huller i hans kunnskap om de faktorer som bestemmer stabiliteten i hardt, uforvitret berg»

Fra artikkelen «Stability of steep slopes on hard unweathered rock» (NGI Publ. 50)

Takk for oppmerksomheten !

STABILITET OG SIKRING AV BERGSKJÆRINGER 2021

(5) Grunnlag for stabilitetsanalyse

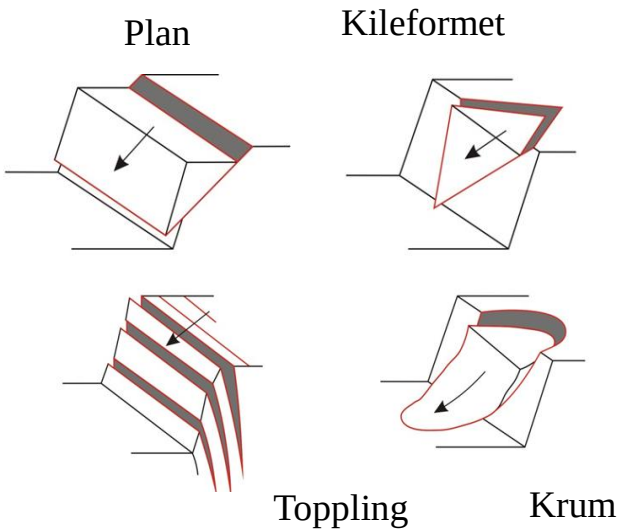
Bjørn Nilsen, Institutt for geovitenskap og petroleum, NTNU

- Grunnleggende metodikk for analyse
- Forhold som innvirker på stabiliteten
- Kvantifisering av inngangsparametre, usikkerheter
- Bruk av parametrene i beregninger
- Likevektsberegning etter partialfaktor-metoden
- Litt om probabilistisk analyse

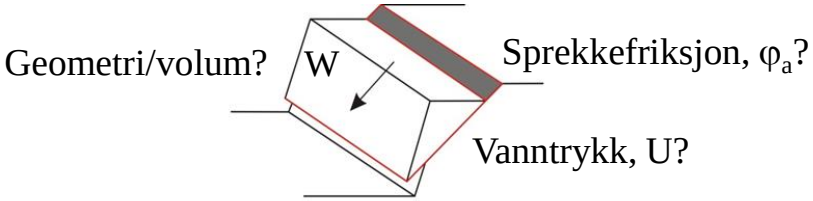
Kunnskap for en bedre verden

Grunnleggende metodikk for stabilitetsanalyse

1) Identifisering av potensielt stabilitetsproblem



2) Kvantifisering av inngangs-parametre



3) Beregning
- likevektberegning
- numerisk analyse

deterministisk eller probabilistisk?

Krav: Σ stab. krefter > Σ drivende krefter =>

$$(W\cdot\gamma_f\cdot\cos\psi_p - U\cdot\gamma_f - F_\alpha\cdot\gamma_f\cdot\sin\psi_p)\cdot(\tan\varphi_a/\gamma_m) > (W\cdot\gamma_f\cdot\sin\psi_p + F_\alpha\cdot\gamma_f\cdot\cos\psi_p)$$

Eks.: Løsberga, E6 ved Steinkjer, juni 2008 – ca. 8000 m^3

Fra referansegruppe-rapport: https://www.vegvesen.no/_attachment/82127/binary/76595

FAKTORER SOM INNVIRKER PÅ STABILITETEN

GEOLOGISKE

- Bergartstype
- Sprekker / svakhetssoner
- Grunnvann / klima
- Bergspenninger

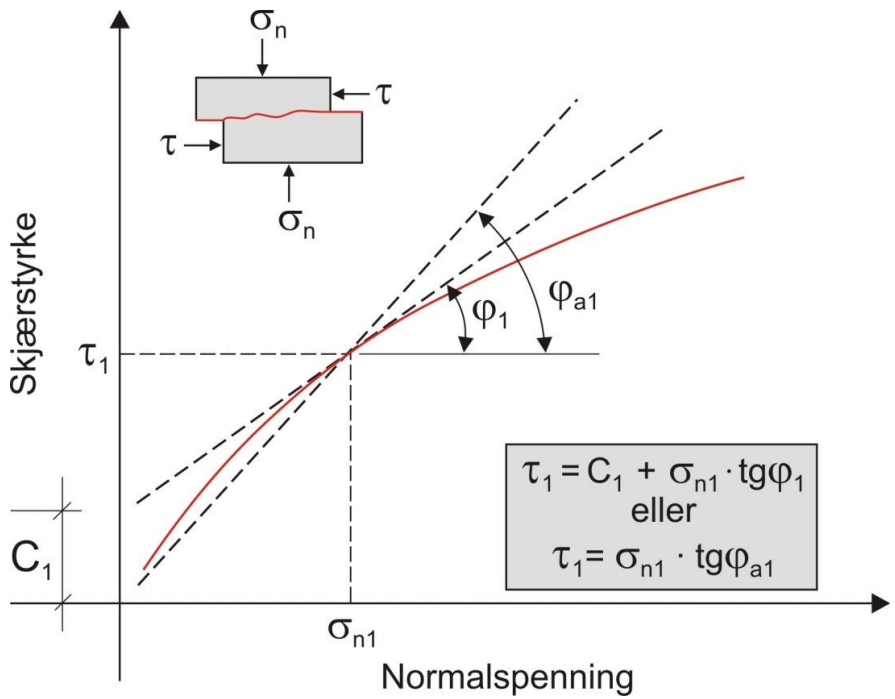
”IKKE GEOLOGISKE”

- Geometri
- Vibrasjoner / rystelser
- Evnt. ytre laster

BERGARTSTYPE

- Strukturen innvirker på utrasningstype
- Styrken innvirker på skjærkapasiteten

UTGLIDNINGSFLATENS SKJÆRSTYRKE



For ru sprekkeflater: ikke-lineært forløp mellom σ_n og τ

=> c, φ and φ_a er funksjoner av σ_n og dermed også av U

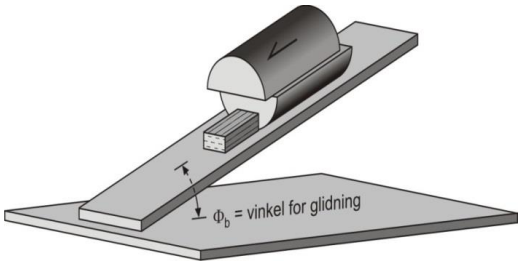
UTGLIDNINGSPLANETS SKJÆRSTYRKE

Barton-Bandis empiriske formel

$$\tau = \sigma_n \cdot \tan [\, JRC \cdot \log(JCS/\sigma_n) + \varphi_r]$$

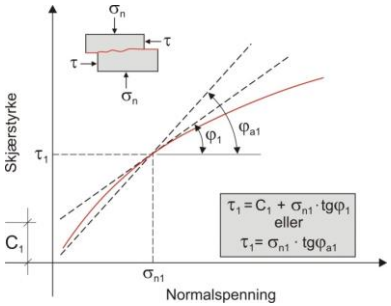
JCS

JRC



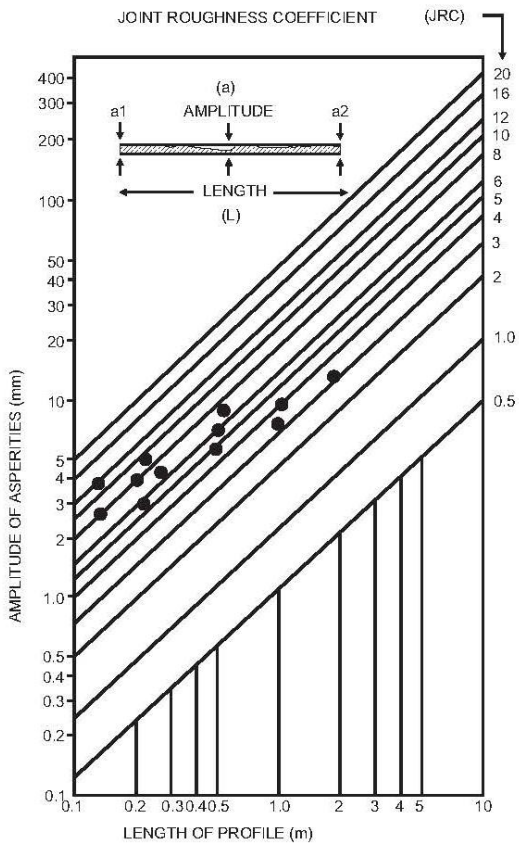
Φ_b

$\Phi_r = (\Phi_b - 20) + 20(r/R)$



DIAGRAMMER FOR FASTLEGGING AV JCS OG JRC

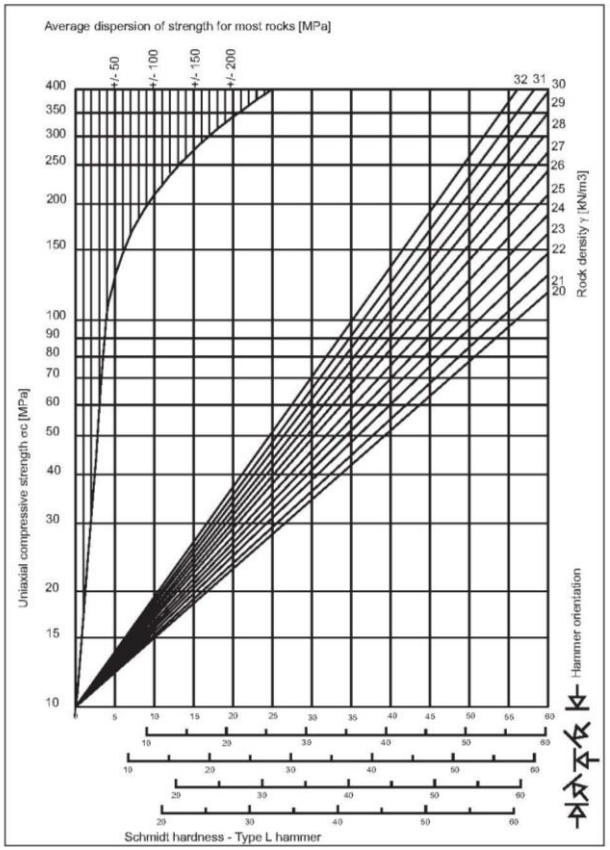
$$\tau = \sigma_n \cdot \tan [\, JRC \cdot \log(JCS/\sigma_n) + \varphi_r]$$



Relationship between Jr and JRCn Subscripts refer to block size (cm)		J_r	JRC_{20}	JRC_{100}
I	rough	4	20	11
II	smooth	3	14	9
III	slickensided	2	11	8
	Stepped			
IV	rough	3	14	9
V	smooth	2	11	8
VI	slickensided	1.5	7	6
	Undulating			
VII	rough	1.5	2.5	2.3
VIII	smooth	1.0	1.5	0.9
IX	slickensided	0.5	0.5	0.6
	Planar			

JRC

Estimation of UCS based on Schmidt hardness



JCS

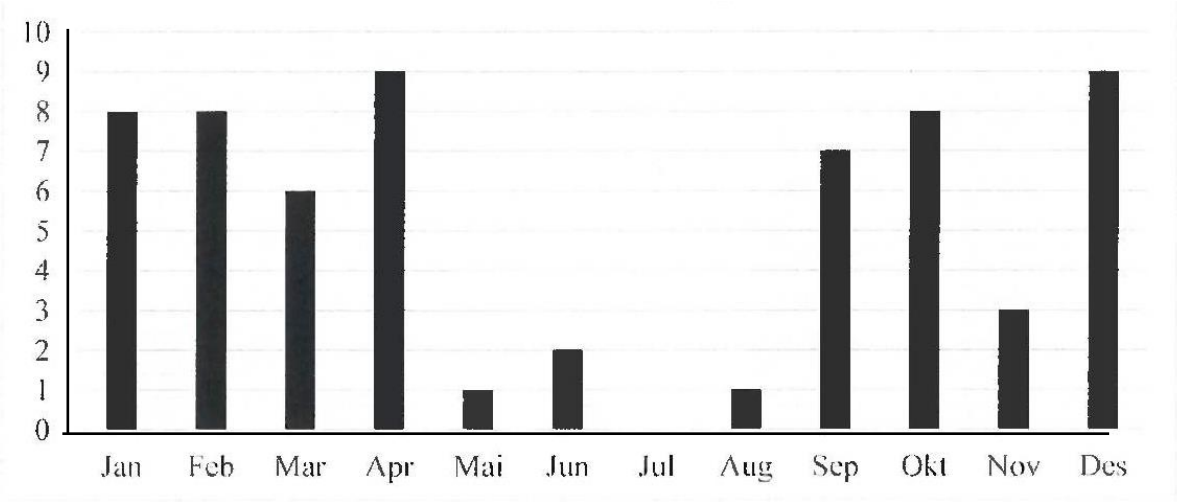
Må skaleres iht. feltforhold:

$$JRC_n = JRC_o\,(L_n/L_o)^{(-0.02JRC0)}$$

$$JCS_n = JCS_o\,(L_n/L_o)^{(-0.03JRC0)}$$

RAS/SKRED-FREKVENS SOM FUNKSJON AV NEDBØR/ÅRSTID

Eks.: Steinsprangfrekvens Bynesveien 1978-2016 (SVV)

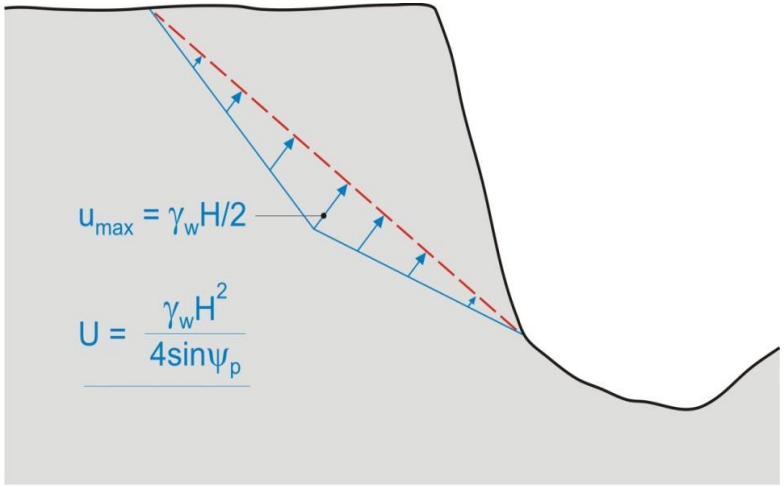


Siste store fjellskred:

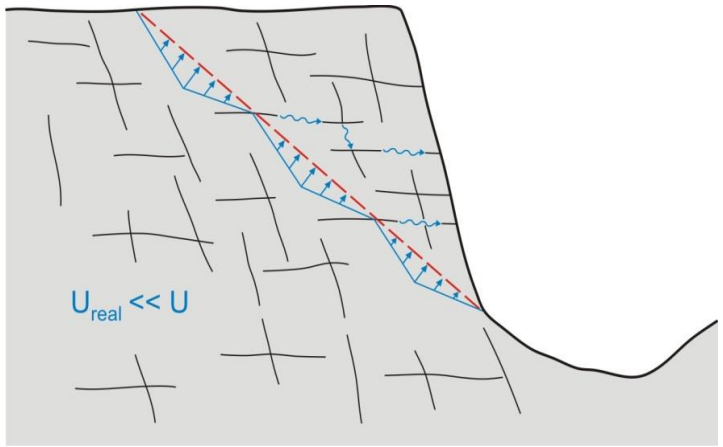
- Tafjord 7.4.1934
- Loen 15.1.1905 og 13.9.1936

=> Regn/nedbør og frysing/tining av stor betydning

GRUNNVANNSTRYKK



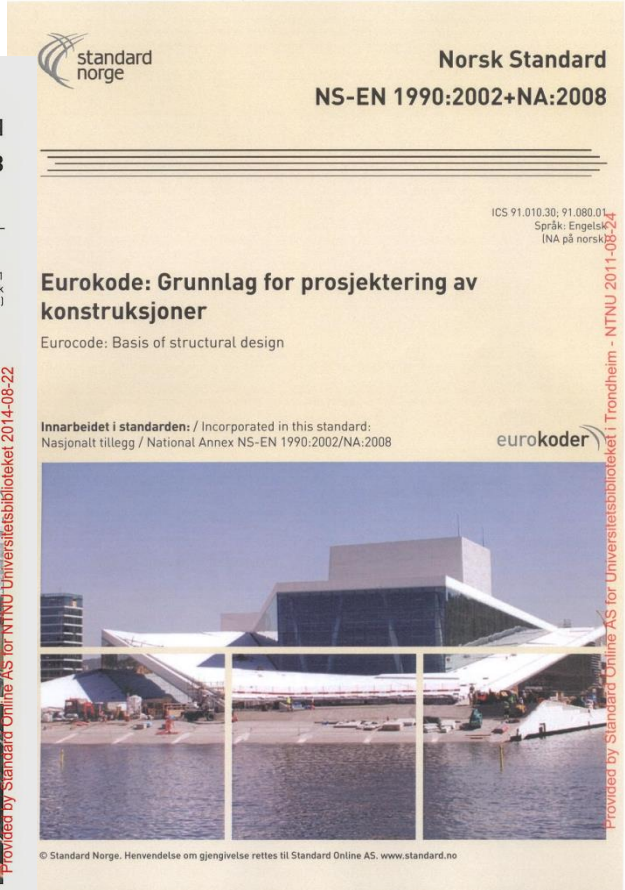
Vanlig brukt som «worst case» scenario, representerer langvarig, kraftig regnvær



Mer realistisk «worst case» scenario?

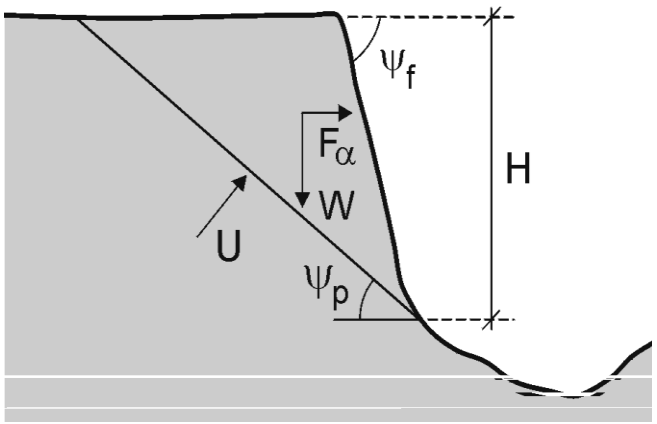
STABILITETSBEREGNING

Skal i dag utføres iht. Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering
- erstattet nasjonal standard NS3480 i 2010



BEREGNINGSEKSEMPEL

Partialfaktor-metoden i henhold til Eurokode 7



$H = 35m$
$\psi_f = 80^o$
$\psi_p = 40^o$
$W = 16.173$ kN/m
$F_\alpha = m\alpha$

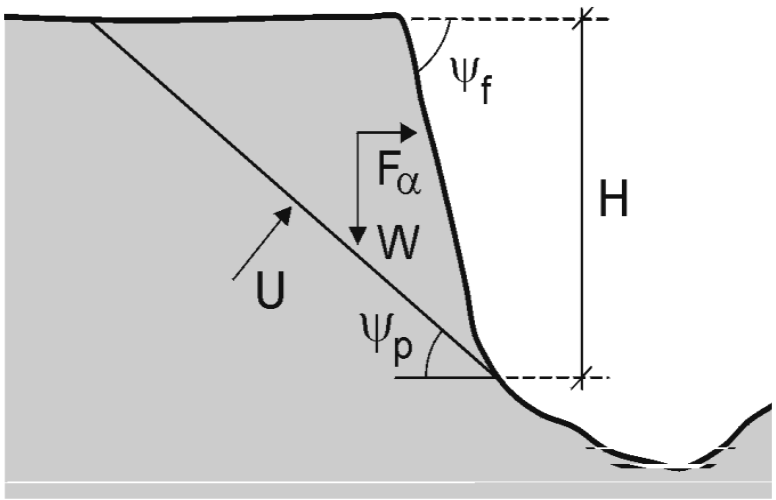
Stabiliserende kraft: $(W \cdot \gamma_f \cdot \cos\psi_p - U \cdot \gamma_f - F_\alpha \cdot \gamma_f \cdot \sin\psi_p)\ tg\varphi_{ka}/\gamma_m$
Drivende kraft: $(W \cdot \gamma_f \cdot \sin\psi_p + F_\alpha \cdot \gamma_f \cdot \cos\psi_p)$
φ_{ka} = karakteristisk aktiv friksjonsvinkel

γ_f = partiell faktor for last
γ_m = materialfaktor
F_k = karakteristisk last
R_k = karakteristisk motstand (styrke)
$M_d = F_k \cdot \gamma_f$ = dimensjonerende last
$F_d = R_k/\gamma_m$ = dimensjonerende motstand (styrke)

Partielle faktorer iht Eurocode 7 (NS-EN 1997-1:2004+NA:2008):
W, U: $\gamma_f = 1{,}0$
F_α: $\gamma_f = 1{,}3$
$tg\varphi_a$: $\gamma_m = 1{,}25$

Konstruksjonen/designen tilfredsstillende dersom $\Sigma M_d > \Sigma F_d$

BEREGNINGSEKSEMPEL, PARTIAL-FAKTOR METODEN



Last: $F_d = F_k \cdot \gamma_f$

Styrke: $M_d = M_k/\gamma_m$

γ_f = 1,0 for W og U

γ_f = 1,3 for F_α

γ_m = 1,25 for $\tan\varphi_a$

$\alpha = 0{,}04g$

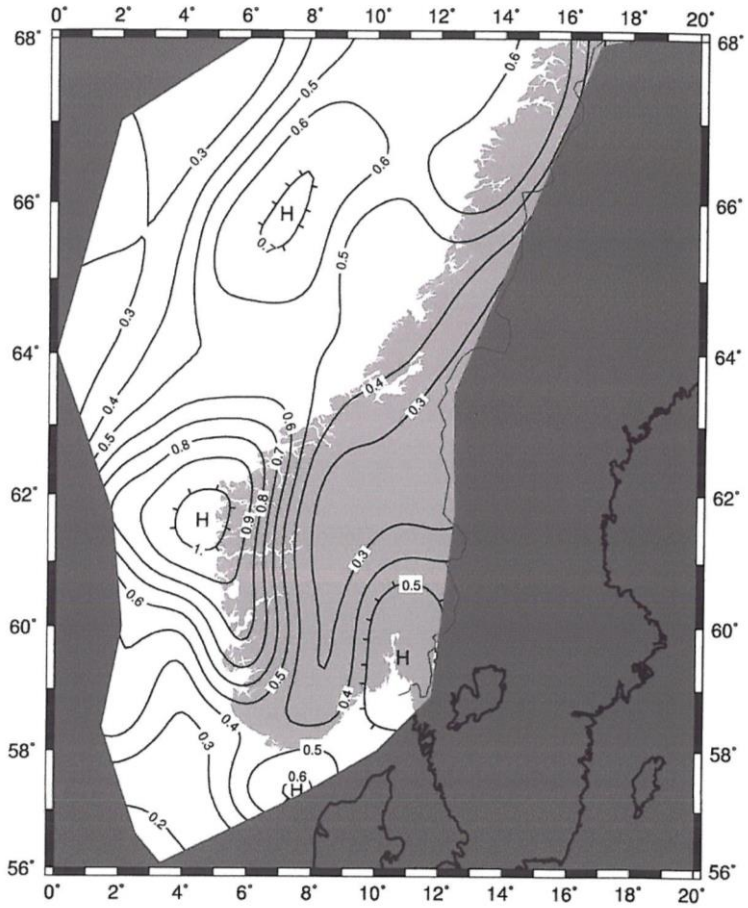
KRAV: $\Sigma M_d > \Sigma F_d \Rightarrow$

$$(W \cdot \gamma_f \cdot \cos\psi_p - U \cdot \gamma_f - F_\alpha \cdot \gamma_f \cdot \sin\psi_p) \cdot (\mathrm{tg}\varphi_{ka}/\gamma_m) > (W \cdot \gamma_f \cdot \sin\psi_p + F_\alpha \cdot \gamma_f \cdot \cos\psi_p)$$

Situasjon	Worst case	Best case	Jordskjelv/ ikke vann	Vann/ikke jordskjelv
$F_\alpha \cdot \gamma_f$	841	0	841	0
σ_n	132	228	220	140
φ_a	65	56	56,5	64
ΣM_d (kN/m)	12126	14682	13784	12490
ΣF_d (kN/m)	11032	10391	11040	10391
$\Sigma M_d/\Sigma F_d$	1,10	1,41	1,25	1,20

SEISMISK AKTIVITET

Hvor relevant å ta med i beregningen i Norge?



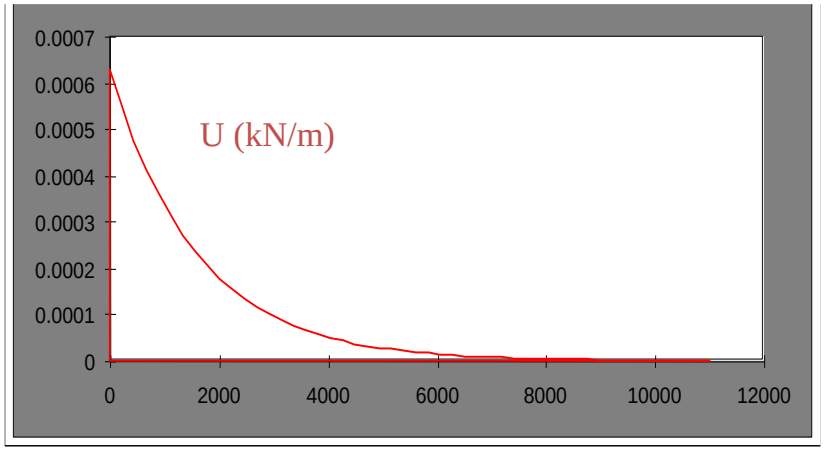
Figur NA.3(901) – Seismiske soner i det sørlige Norge, a_{g40Hz} i m/s^2

Fra NS-EN 1998-1: 2004+NA2008

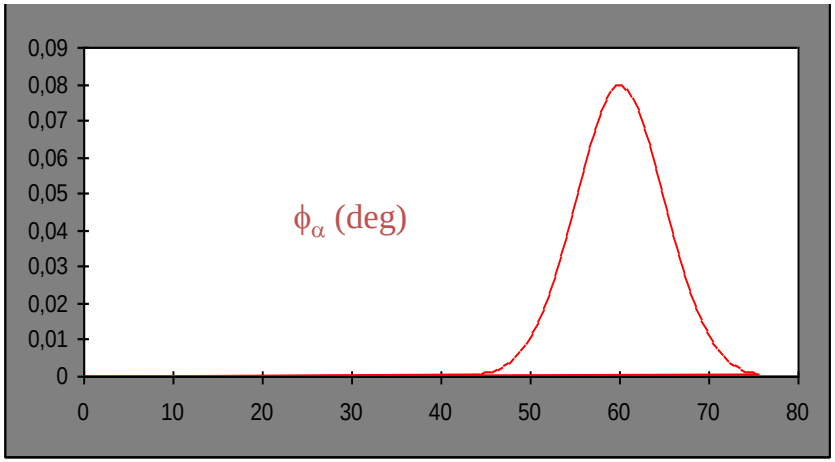
Returperiode 475 år: a_g=0,4 m^{s-2} =0,04 g

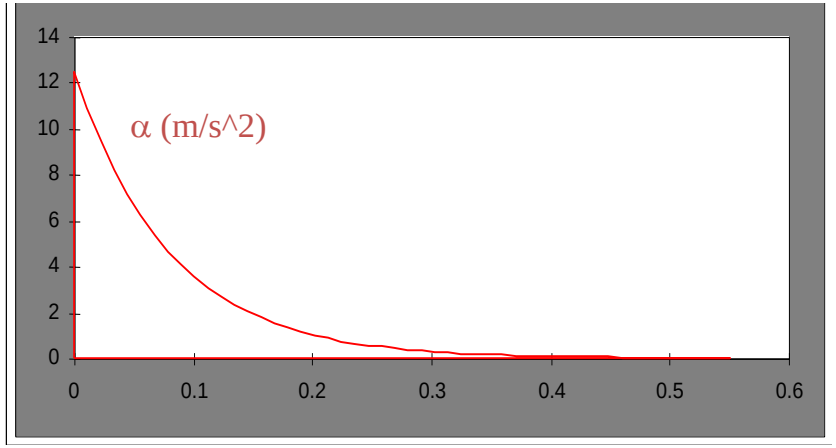
(10.000 år: a_g=1,8 m^{s-2} =0,18 g)

PROBABILISTISK ANALYSE SOM ALTERNATIV TIL DETERMINISTISK – beregningseksempel



Sannsynlighetsfordelinger for inngangs-parametre over en 50-års periode

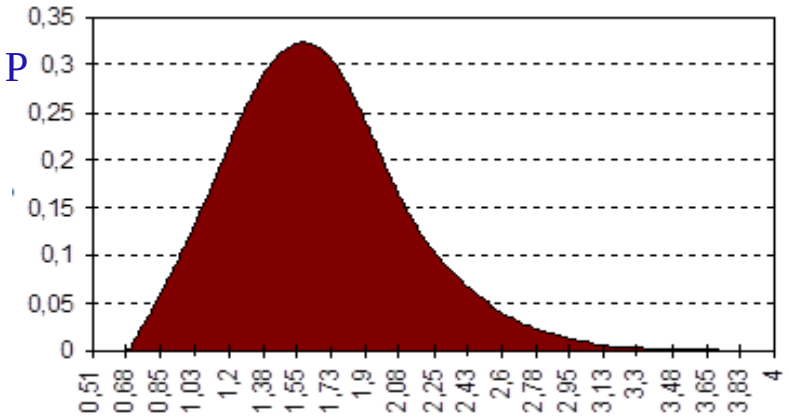




Arealet under kurven er i alle tilfeller 1,0 – dvs. sannsynligheten er 1.0

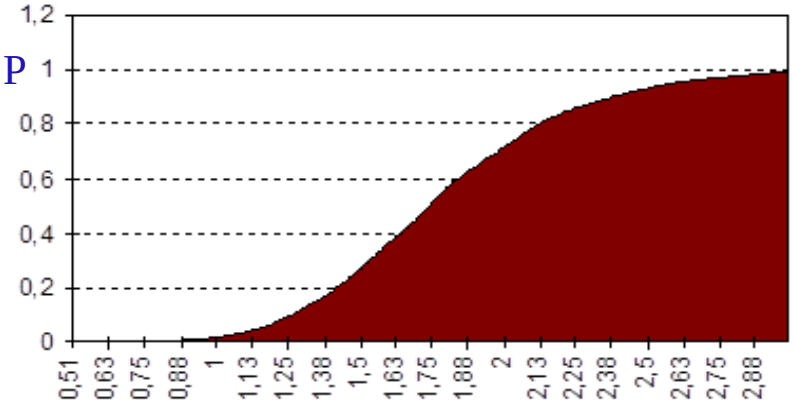
PROBABILISTISK ANALYSE - beregningseksempel

Sannsynlighet P for F = x



Sikkerhetsfaktor FS

Sannsynlighet P for F <= x



Sikkerhetsfaktor FS

Over en 50 års periode:
P (utglidning) = P (F < 1,0) = 0,046
Årlig sannsynlighet: P (utglidning) = $0.92 \cdot 10^{-3}$

Krav iht. TEK-17 (2021):

Sikkerhetsklasse for skred	Konsekvens	Største nominelle årlige sannsynlighet
S1	liten	1/100
S2	middels	1/1000
S3	stor	1/5000

SLUTTKOMMENTARER

God kontroll med stabiliteten forutsetter innsats på flere felter og trinnvis tilnærming:

1) Identifisering av mulig stabilitetsproblem / forståelse av problemstillingen
2) Sikker fastlegging av parametre som inngår i beregning og analyse
3) Riktig/relevant beregningsmodell
4) Oppfølging i form av målinger om nødvendig

- Mest avgjørende for sikker analyse: kvaliteten av inngangsparametrene

- Grundige felt- og lab.undersøkelser av stor betydning!

Norconsult

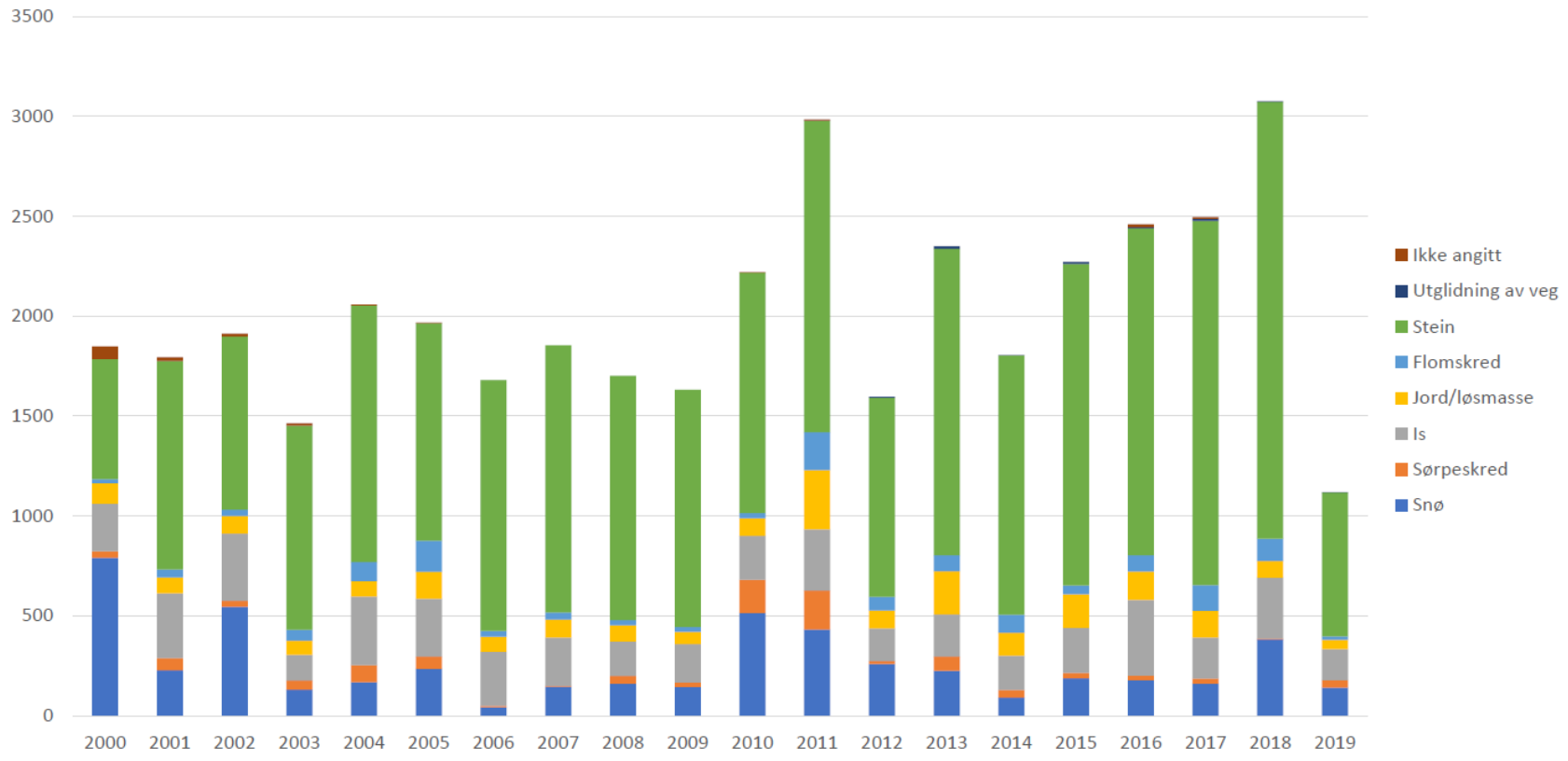
Skjæringsdesign

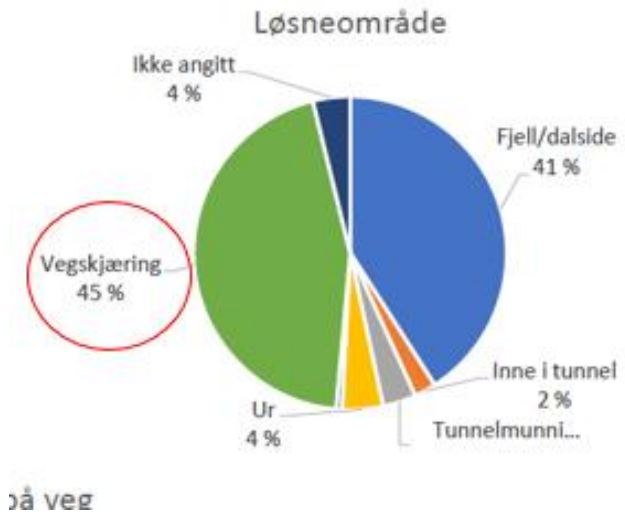
Stabilitet og sikring av bergskjæringer 07.06.2021

Aktuelt
Larvik raset – hva ble gjort

Aktuelt
Skjer steinsprang fra skjæringe?

Registrerte skred og nedfall på veg, hele Norge, perioden 2000-2019





Data fra NVDB august 2019

Temaer

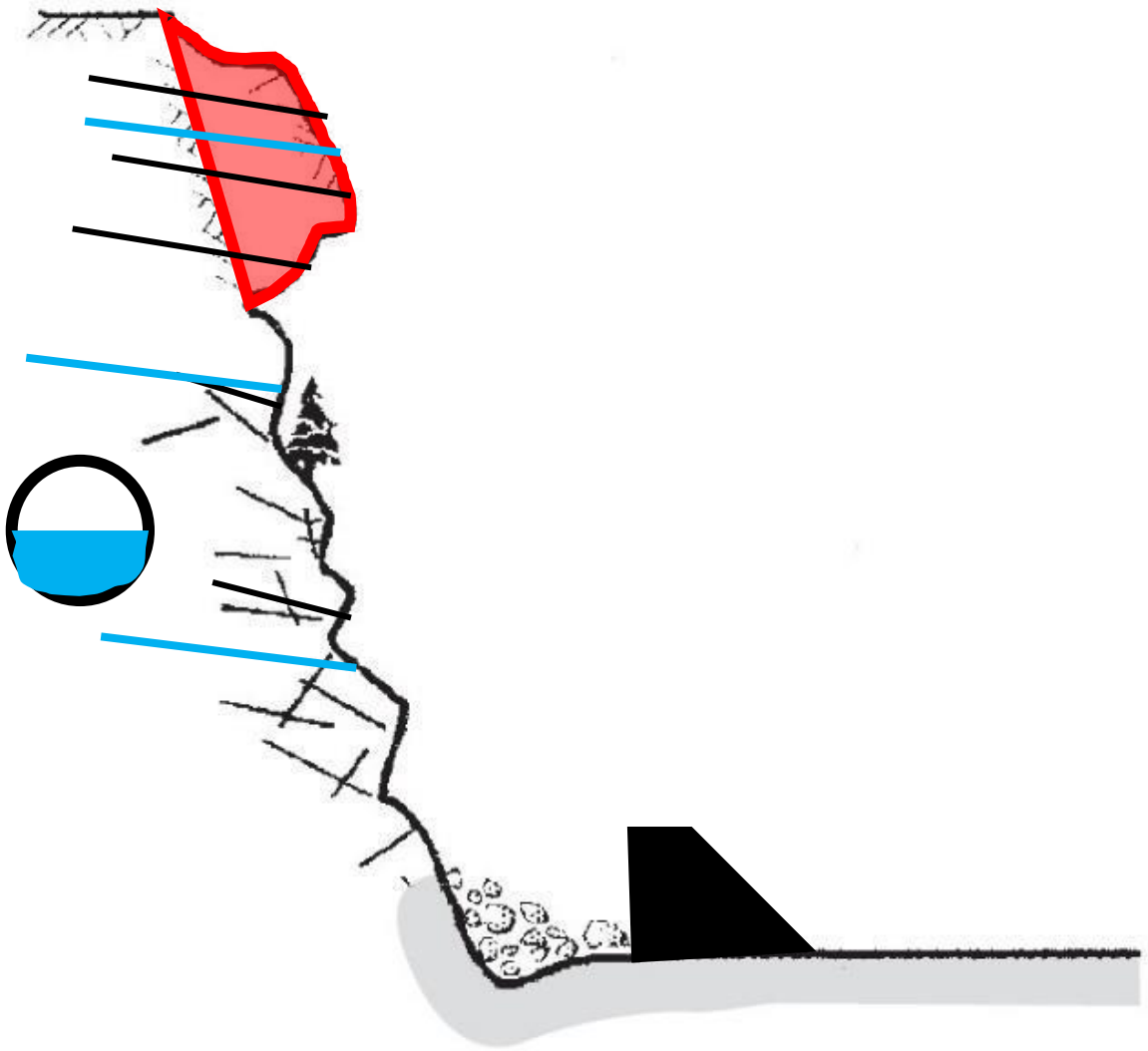
- Utforming og stabilitet av en bergskjæring
- Hvordan hensynta dette i prosjekteringen
- Hva sier regelverket
- Vurdering av spesielle faktorer
  - Fanggrøft vs. tilbakefylling
  - Jevnhet av skjæring

Utforming er avhengig av:

- Formål med arealet under skjæringen
- Landskap
- Geologiske forhold
- Høyden på skjæringen
- Terrenget over skjæringen
- Klimatiske forhold
  - Nedfall av is
  - Fokksnø og lagring av snø
- Anleggtekniske forhold
- Vedlikehold

Stabilisere en bergskjæring

- Fjerne bergmasse / endre geometri
- Forsterke bergmassen
- Drenering
- Beskytte
- God utførelse (forsiktig sprengning)



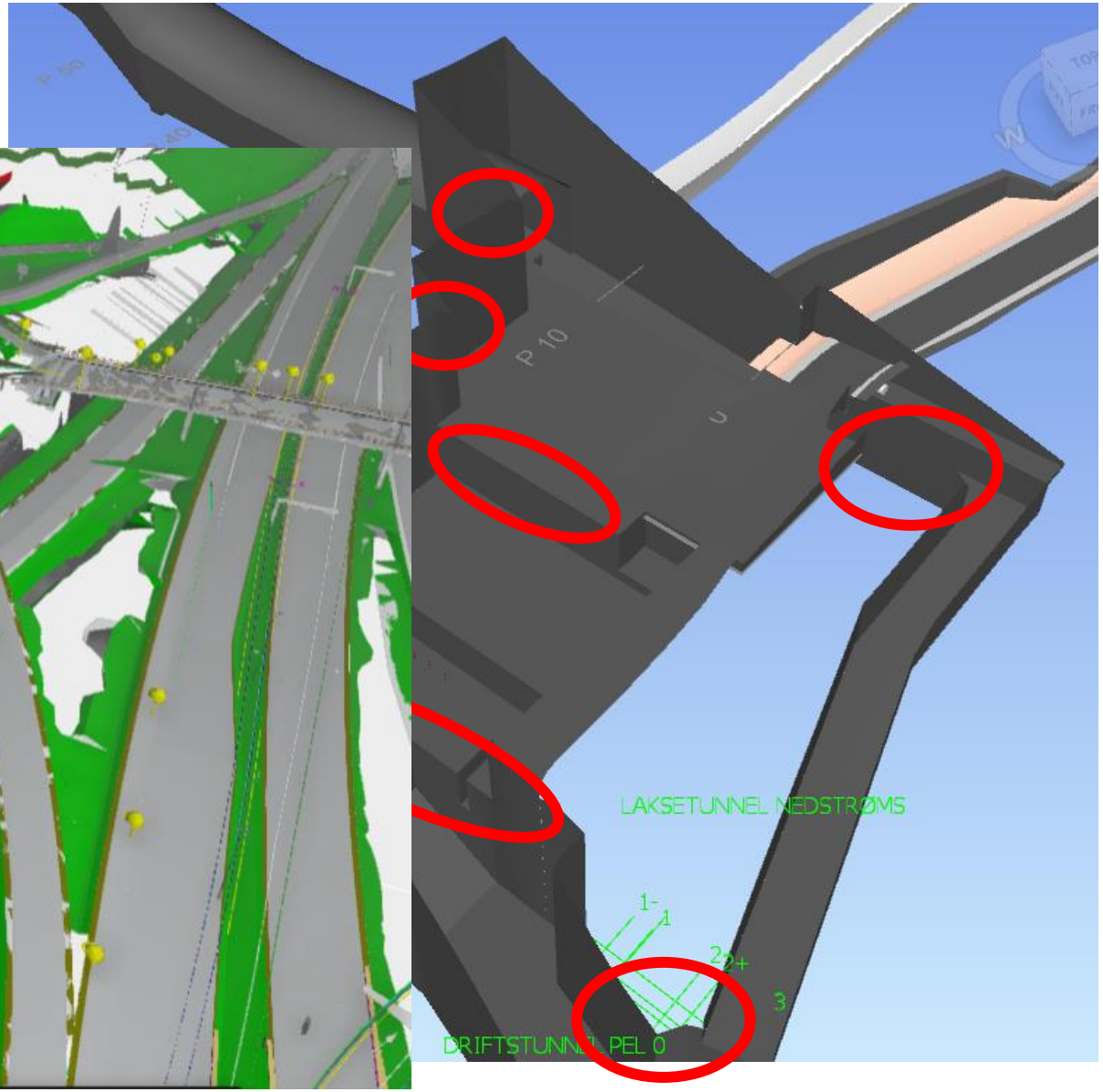
(mod. Etter Wyllie og Mah, 2004).

Skjæringsdesign – tilpasning av skjæringsgeometri

- Skjæringsgeometri
- Skjæringshøyde
- Helning
- Sideterreng
- Grøft
- Jevnhet

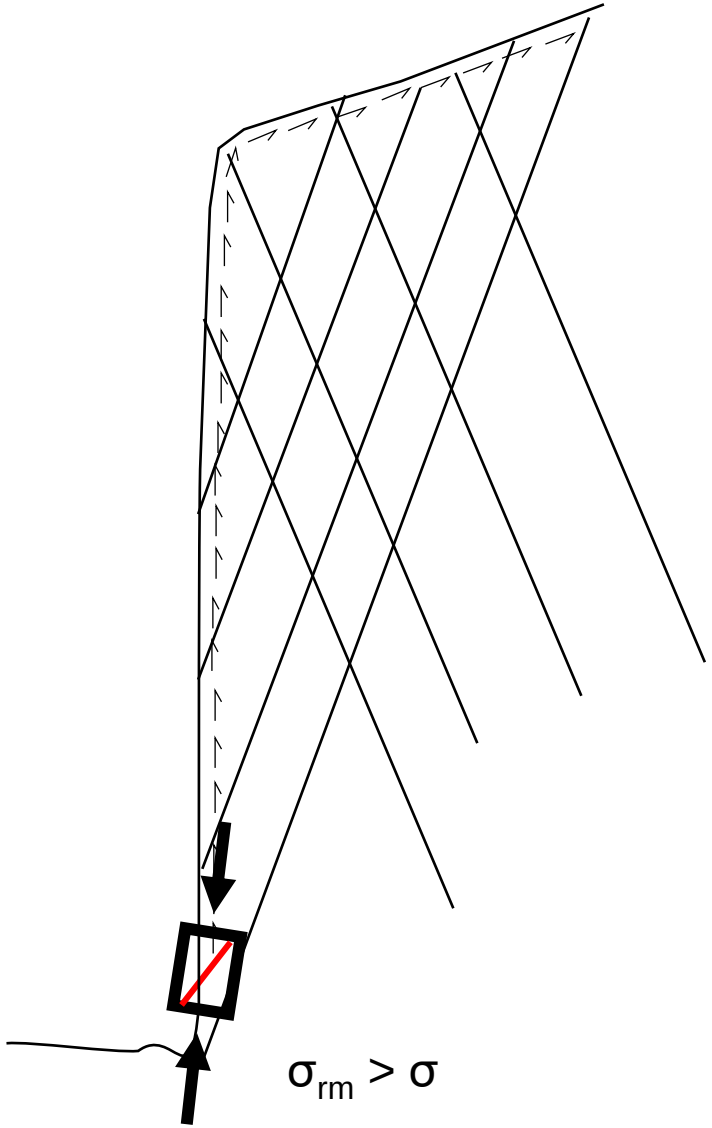
Skjæringsgeometri

- M



Skjæringshøyde

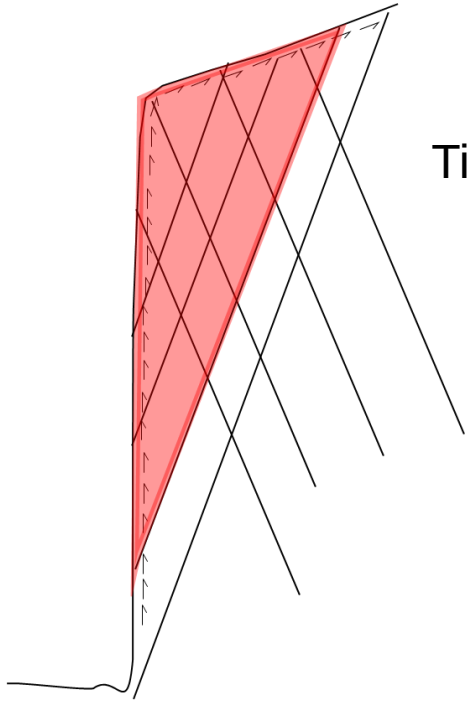
- Hva setter begrensninger
  - styrke av bergmasse
  - Oppsprekking
  - Konkav
  - Anleggtekniske – hva langt kan man bore
- Hva kan man gjøre? Redusere høyden!
  - Redusert vanntrykk
  - Sikringsvolum (potensielt større kiler)
  - Redusert energi av blokker



Skjæringshelning

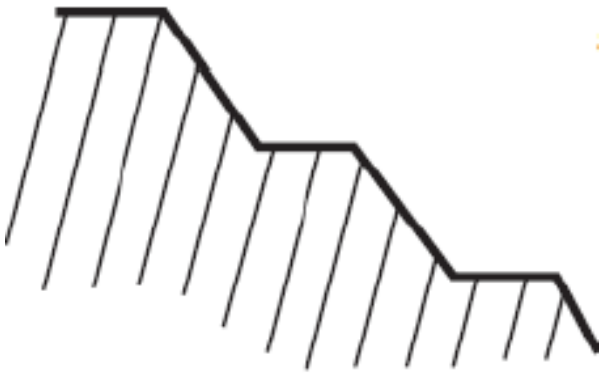
Hva kan man gjøre:

- Sterkt berg
  - Tilpasse helning dominerende bruddplan
- Svakt berg
  - Redusert skjæringshelning



Tilpasning plan og kileutglidning

Tilpasning toppling

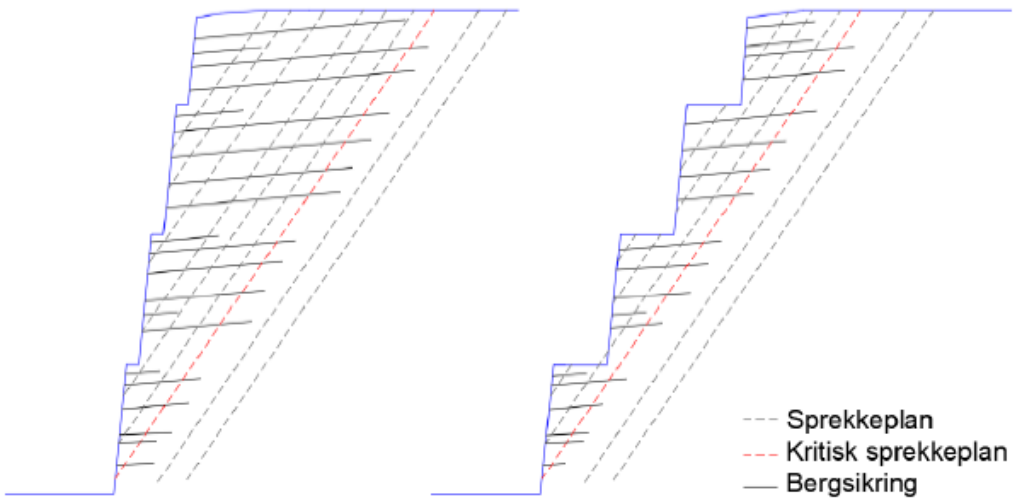


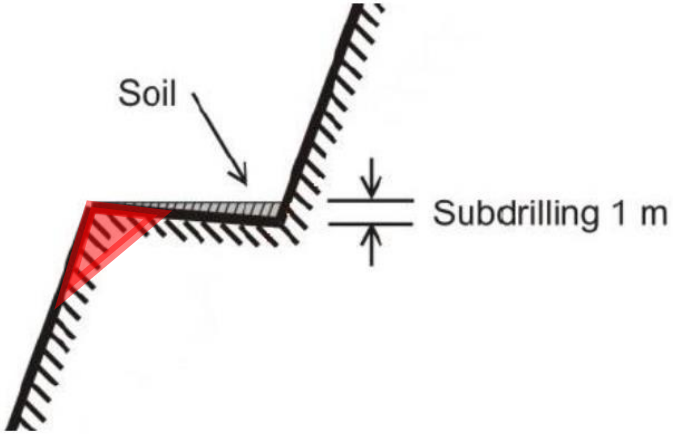
Bjørnegårdsvingen, Sandvika

E18
Google
E18 Lillesand

Hyller

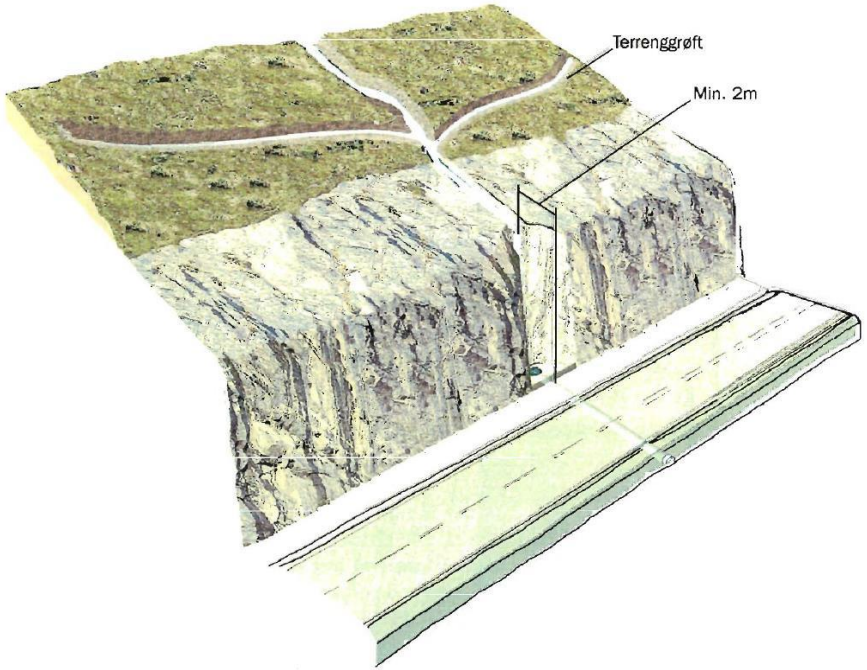
- Totalstabilitet: redusert skråningsvinkel
- Detaljstabilitet: Oppsamlingssted for ovenforliggende skjæring
- Må ha fokus på anleggtekniske for å få til dette:
  - Hyller er spenningsavløste og sprengningsutsatt

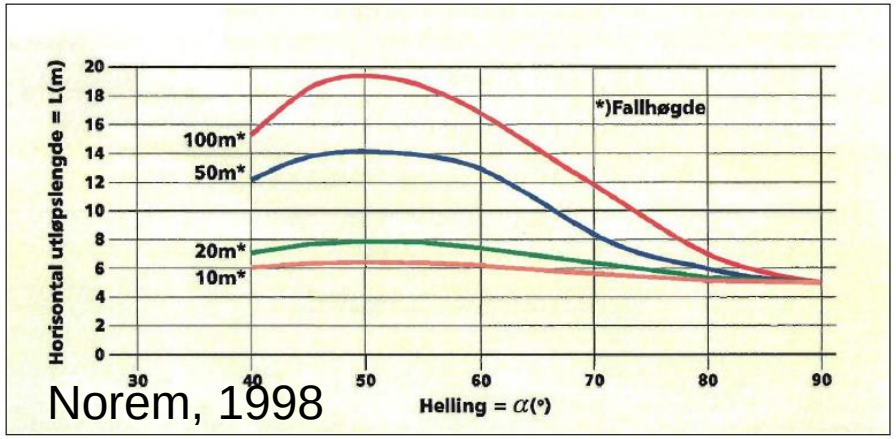




Vannhåndtering

- Redusere iskjøving evt. håndtere det
- Avskjæringsgrøft, hyller med drensgrøfter, nedføringsrenne (nisjer)





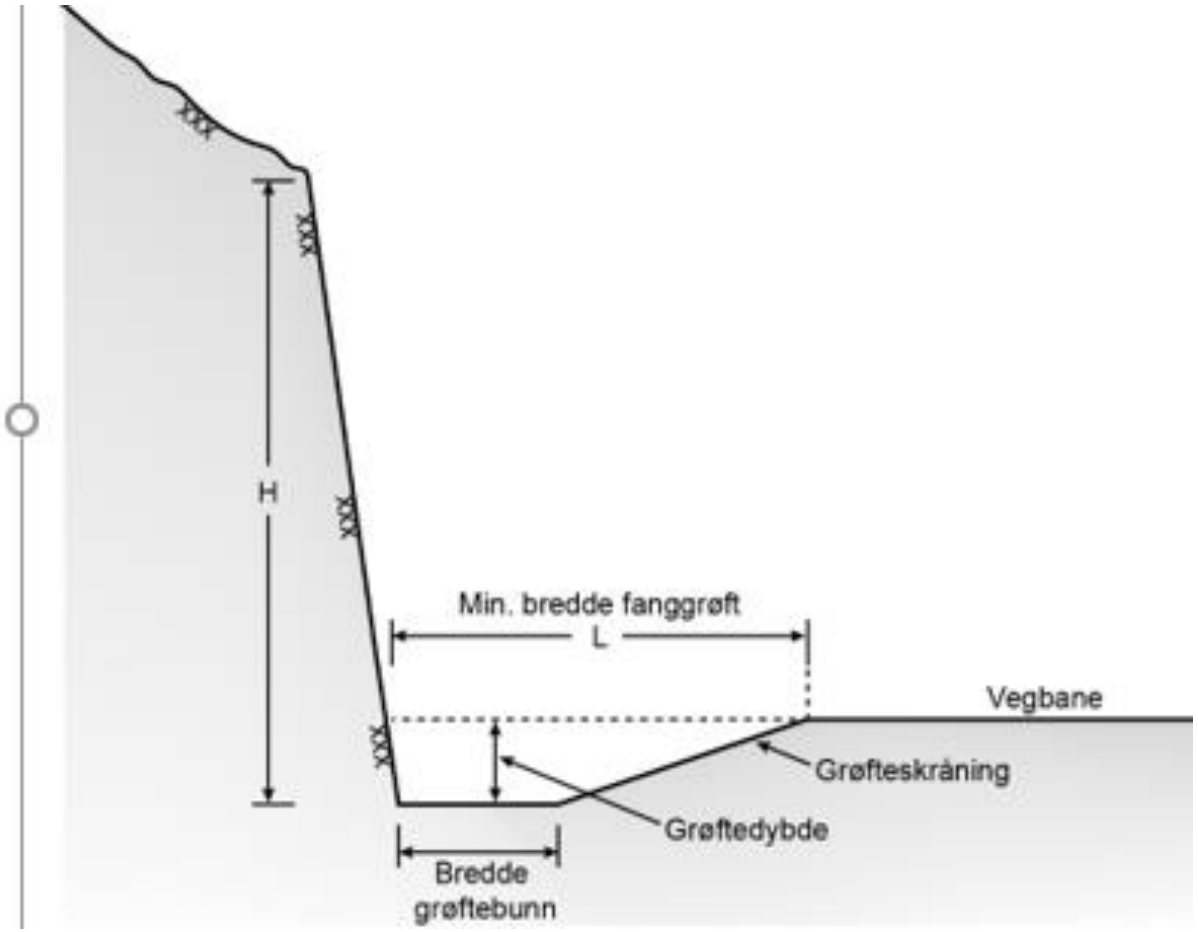
Norem, 1998

Sideterreng

- Stabilt over skjæringstopp
  - Naturlige skred (steinsprang, snøskred, jord og flomskred)
  - Stabile løsmasser på topp skjæringskant

Grøft

- Dimensjonering av fanggrøft:
  - Bredde
  - Dybde
  - Gtøfteskråning
- Tilbakefylling



Jevnhet

- Redusere utstikkende knøler og bergpartier

Jevnhet

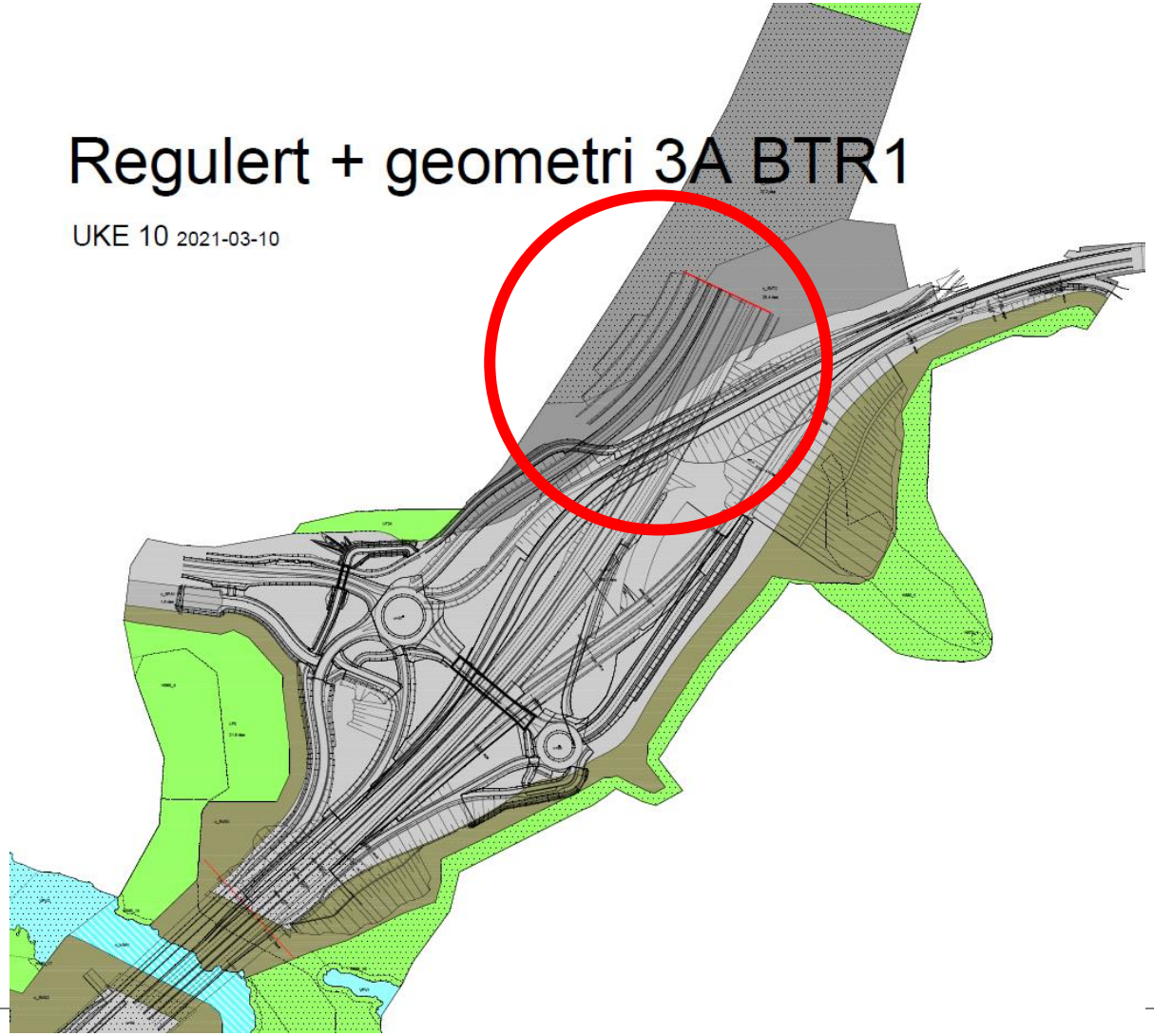
- Gjenstående kant etter boring.

Hvordan ta hensyn til skjæringsdesign i prosjekteringen Tidligfase

- Planlegge med en veitrase som minimerer høye og kompliserte skjæringer
- Spesielt i svake bergarter, svakhetssoner, mye vann, stort sideterreng
- Maks høyde på 30 m (?)
  - pga vedlikehold fra vei og risiko under bygging

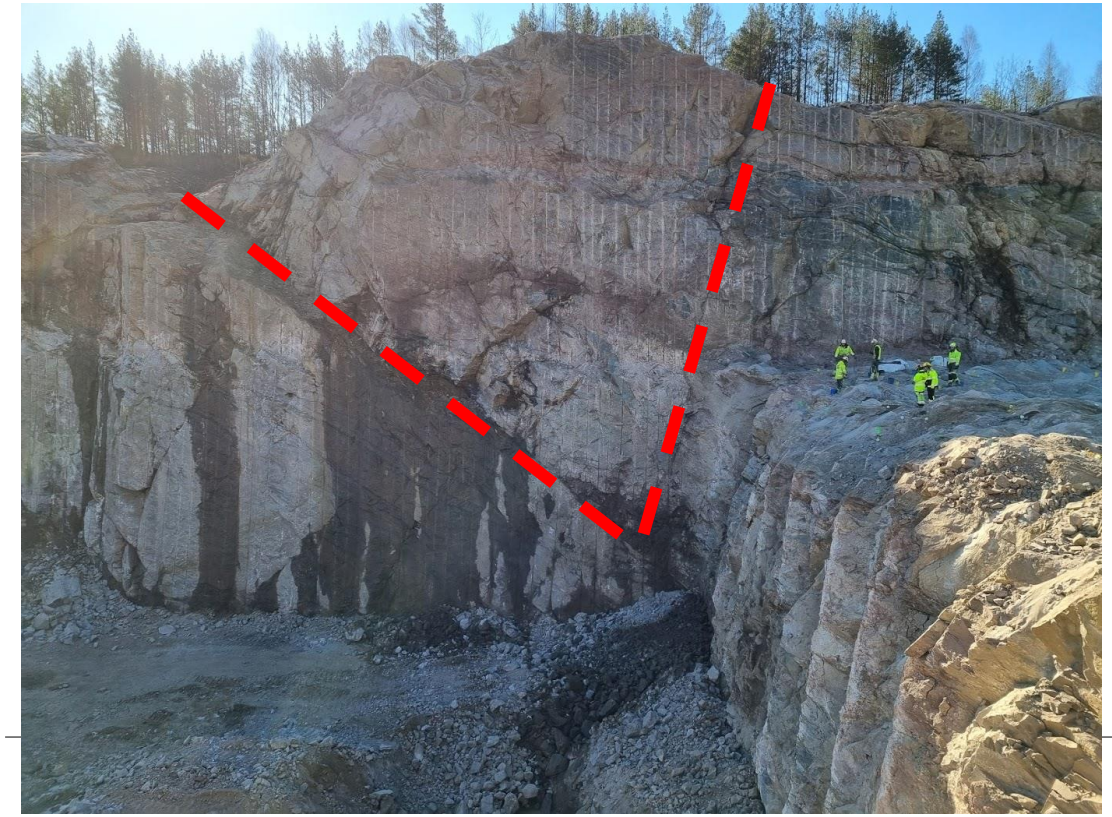
Hvordan ta hensyn til dette i prosjekteringen Reguleringsplan

- Sette av tilstrekkelig bred inngrepsgrense (veikorridor) i områder med høye, forskjæringer og bratt sideterreng.
- Må ha tilstrekkelig areal for å kunne gjøre de tiltakene det er behov for.



Hvordan ta hensyn til dette i prosjekteringen
Under bygging

- Ny befaring ved byggestart
- Vurdering av berget etter det er avdekket
- Vurdering og forløpende oppfølging under sprengning



Regelverk

- Eurokode 7
- PBL /TEK 17
- SVV HB N200
- Bane NOR – Teknisk regelverk

Regelverk
Eurokode 7 kapittel 11 – områdestabilitet

- NBG veileder: kap 11 «Gjelder også sprengte skjæringer i berg.»
- 11.5.2 Skråninger og skjæringer i bergmasser
  - (2) «Stabilitetsanalyser skal bygge på pålitelig kunnskap av diskontinuiteter som krysser bergmassen og av skjærfastheten av intakt berg og av diskontinuitetene»
  - (5) «… Ved skjæring bør glidning unngås ved at retning og orientering av skråningsflaten velges slik at det er kinematisk umulig for isolerte blokker å bevege seg»
  - (8-10)
    - Muligheten for steinsprang skal analyseres
    - Om man ikke kan forhindre skal man benytte egnete tiltak for å fange opp stein som faller
    - Prosjektering av sikringstiltak bør bygge på en grundig undersøkelse av mulige baner for matematerialet som faller.

Regelverk
PBL § 28-1 & TEK17 kap. 7-3 og 10.2

Kapittel 28. Krav til byggetomta og ubebygd areal

§ 28-1. *Byggegrunn, miljøforhold mv.*

Grunn kan bare bebygges, eller eiendom opprettes eller endres, dersom det er tilstrekkelig sikkerhet mot fare eller vesentlig ulempe som følge av natur- eller miljøforhold. Det samme gjelder for grunn som utsettes for fare eller vesentlig ulempe som følge av tiltak.

For grunn som ikke er tilstrekkelig sikker, skal kommunen om nødvendig nedlegge forbud mot opprettelse eller endring av eiendom eller oppføring av byggverk, eller stille særlige krav til byggegrunn, bebyggelse og uteareal.

Departementet kan gi nærmere forskrifter om sikkerhetsnivå og krav til undersøkelser, sikringstiltak for person eller eiendom, dokumentasjon av tiltaket og særskilte sikringstiltak.

0 Tilføyd ved lov 8 mai 2009 nr. 27.

§ 28-2. *Sikringstiltak ved byggearbeid mv.*

Bygge- eller rivingsarbeid, graving, sprenging eller fylling kan ikke igangsettes uten at de ansvarlige på forhånd har truffet nødvendige tiltak for å sikre mot at skade kan oppstå på person eller eiendom, og for å opprettholde den offentlige trafikk.

Maskiner, stillaser og alt utstyr for byggearbeid skal være forsvarlig innrettet og vedlikeholdt, og driften skal være ordnet slik at fare for liv og helse ikke oppstår. Kommunen kan gi de pålegg den finner påkrevd for at disse bestemmelser blir holdt, herunder om grunnundersøkelser.

0 Tilføyd ved lov 8 mai 2009 nr. 27.

Kapittel 7 Sikkerhet mot naturpåkjenninger
§ 7-3. Sikkerhet mot skred

Veiledning til bestemmelsen

(1) Byggverk hvor konsekvensen av et skred, herunder sekundærvirkninger av skred, er særlig stor, skal ikke plasseres i skredfarlig område.

Kapittel 10 Konstruksjonssikkerhet
§ 10-2. Konstruksjonssikkerhet

(1) Materialer og produkter i byggverket skal ha slike egenskaper at grunnleggende krav til byggverkets mekaniske motstandsevne og stabilitet blir tilfredsstilt.

Veiledning til første ledd

(2) Byggverket skal prosjekteres og utføres slik at det oppnås tilfredsstillende sikkerhet mot brudd og tilstrekkelig stivhet og stabilitet for laster som kan oppstå under forutsatt bruk. Kravet gjelder byggverk under utførelse og i endelig tilstand.

Veiledning til annet ledd

(3) Grunnleggende krav til byggverkets mekaniske motstandsevne og stabilitet, herunder grunnforhold og sikringstiltak under utførelse og i endelig tilstand, kan oppfylles ved prosjektering av konstruksjoner etter Norsk Standard NS-EN 1990 Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner og underliggende standarder i serien NS-EN 1991 til NS-EN 1999, med tilhørende nasjonale tillegg.

Veiledning til tredje ledd

Regelverk
HB N200 2018

221 Funksjonskrav

Funksjonskrav for skråninger og skjæringer i berg er vist i tabell 221.1.

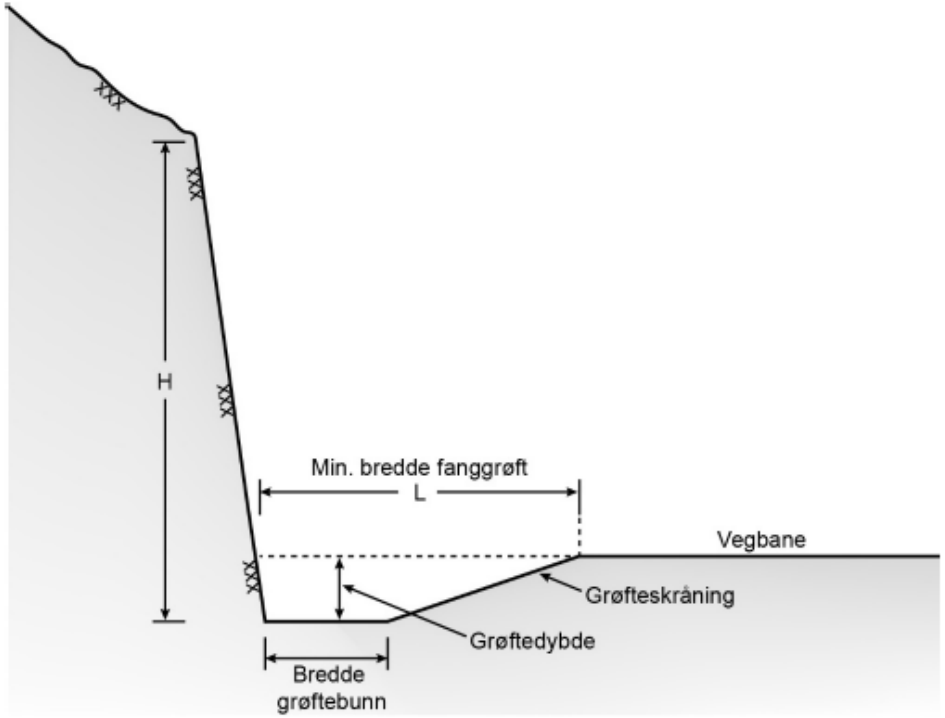
Tabell 221.1 Funksjonskrav for skråninger og skjæringer i berg

Krav til	Krav
Stabilitet, sikkerhet mot utfall og skred	Bergskjæringer skal etableres slik at det ikke er fare for nedfall av stein og is på veg. Bergskjæringer bør etableres slik at man unngår rensk og annen sikring de første 20 årene. Det samme gjelder rensk og sikring av løsmasse på skjæringstopp.
Sikkerhetsnivå skjæringstopp/ skråning	Inngjerding bør vurderes for å hindre fall av dyr eller mennesker fra skjærings-/skråningstopp.
Trafikksikkerhetsnivå / Grunnlag for prosjektering	Sikkerhetsnivået i skråninger/skjæringer bør være likt for hele vegstrekningen som bygges ut.

222 Utforming av bergskjæringer og fanggrøft

Bergskjæringer bør utformes som nær vertikale skjæringer (10:1 eller brattere). Helning og utforming skal tilpasses forhold som geologi, grunnvann og landskap.

Bergskjæringer skal utformes med fanggrøft, se figur 222.1.



Figur 222.1 Prinsippskisse for utforming av fanggrøft i bergskjæring

Minimumsbredde på fanggrøft for steinnedfall (L) skal dimensjoneres i henhold til figur 222.2. Ved behov for andre skjæringshelninger enn de som er oppgitt i figuren benyttes interpolering.

Regelverk
Bane NOR – Teknisk regelverk – underbygning – banelegeme

6 Fjellskjæring

TRV:00901

a) Utforming og størrelse skal minimum tilfredsstille krav i Underbygning/Prosjektering_og_bygging/Profiler_og_minste_tverrsnitt

TRV:00902

b) Det skal tas hensyn til stedlige faktorer knyttet til grunnforhold, snømengder, rasfare, drenering, vannavløp, støy og terrengtilpasninger.

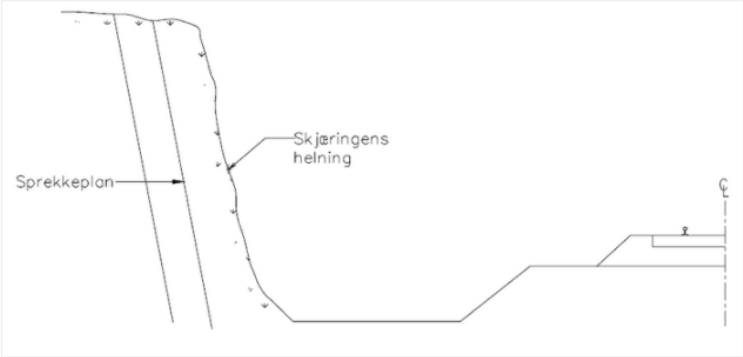
TRV:00903

c) For nyanlegg skal det utføres en ingeniørgeologisk vurdering av fjellet og anvisning av sikkerhetstiltak.

For å få minst mulig masseuttak, brukes tilnærmet vertikal skjæringsvegg. Likevel er lagdeling og brudd i berggrunnen ofte bestemmende for skjæringens helningsvinkel.

TRV:00904

d) Utsprengningen bør utføres slik at sprekkeplan følges. Se figur 5.



Figur 5: Tilpasning av skjæringshelning til sprekkeplan

TRV:00905

e) På linjeavsnitt hvor drivsnø kan være problematisk, skal skråningsvinkel vurderes også ut fra disse forhold.

Regelverk
Bane NOR – Teknisk regelverk – underbygning – banelegeme

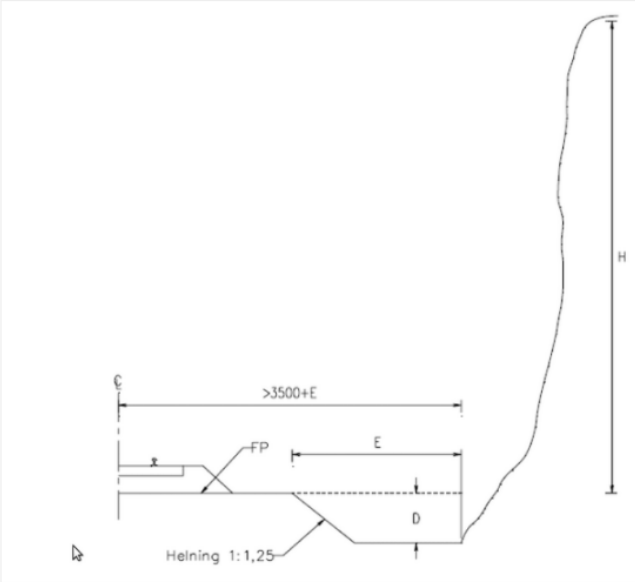
6.1 Fanggrøft

For å sikre linjen mot fallende stein kan det lages en fanggrøft mellom skjæringsveggen og linjen. Der topografien gjør det naturlig, kan fanggrøften også legges oppe i skråningen i større avstand fra linjen. Slik fanggrøft kan kombineres med en barrikade av jord eller stein. I enkelte tilfeller kan det være aktuelt med rasvarslingsgjerde/fanggjerde på toppen av skråningen/skjæringen.

TRV:00906

a) Behovet for utvidet skjæring med fanggrøft skal vurderes på bakgrunn av fjellkvalitet, topografi, og dessuten i forhold til andre sikringsmetoder.

1. Utførelse: Fanggrøfter skal bygges med høyde (H), bredde (E) og dybde (D) som angitt i tabell 4.
2. Unntak: Ved omfattende permanent sikring (med bolter, nett osv.) kan bredde og dybde av grøft reduseres i forhold til veiledende verdier i tabell 4.



Figur 6: Fjellskråning med fanggrøfter

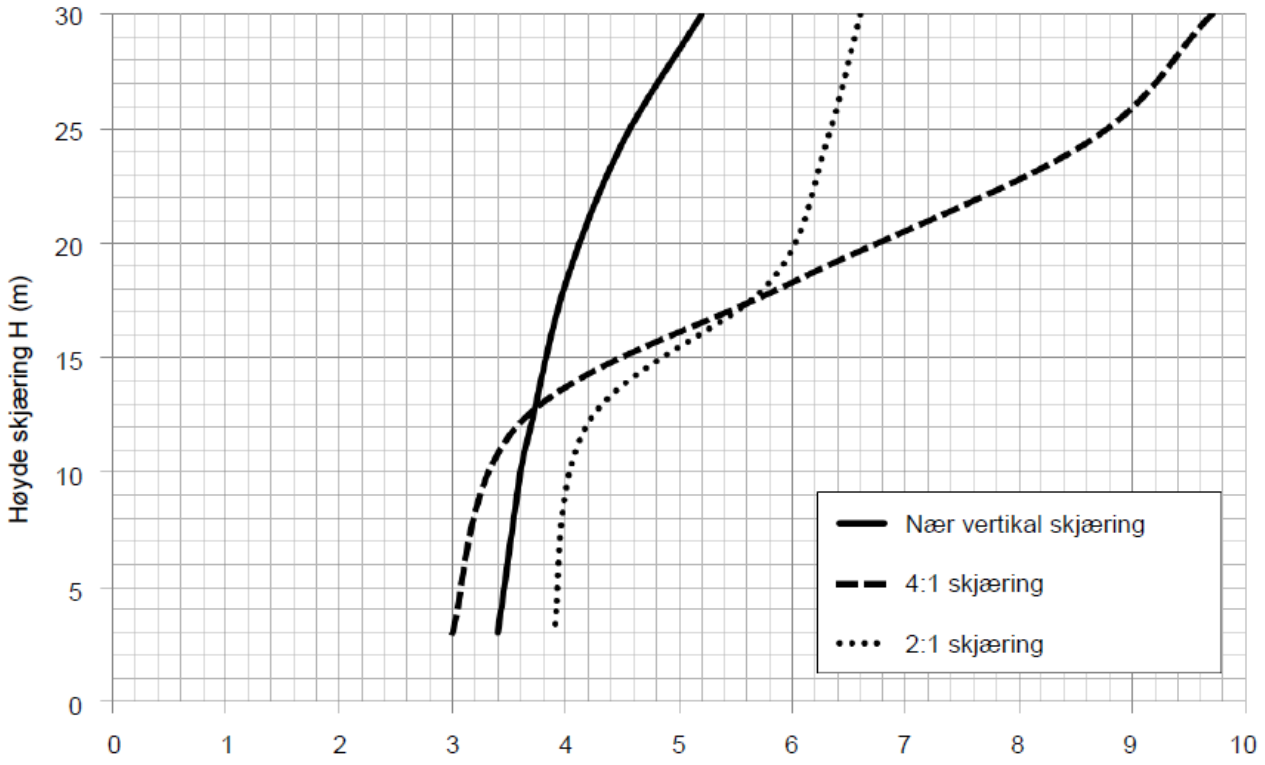
Tabell 4: Veiledende dimensjoner for fanggrøfter

Helning (α)	Høyde H (m)	Grøftens bredde E (m)	Grøftens dybde D (m)
Vertikal ca. (80°-90°)	5-10	3,0	1,0
	10-20	5,0	1,5
	> 20	6,5	1,5
4:1 til 3:1 ca. (75°)	5-10	3,0	1,0
	10-20	5,0	1,5
	20-35	6,5	2,0
	> 35	8,0	2,0
2:1 ca. (65°)	5-10	3,0	1,0
	10-20	5,0	2,0
	20-35	6,5	2,0
	> 35	8,0	3,0
4:3 ca. (55°)	0-10	3,0	1,0
	10-20	3,0	1,5
	> 20	5,0	2,0
1:1 (45°)	0-10	3,0	1,0
	10-20	3,0	1,5
	> 20	5,0	2,0

Design av Grøft

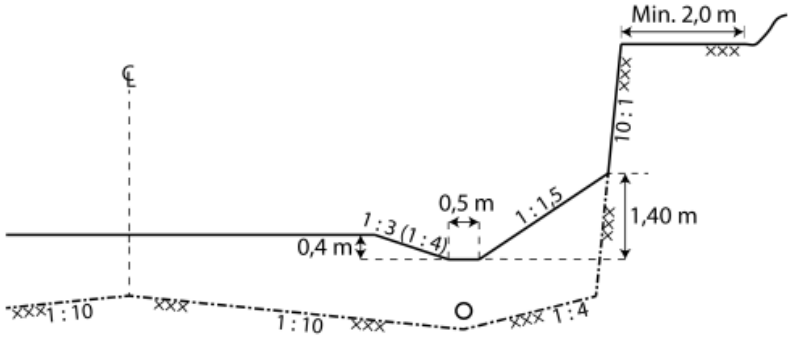
Design av fanggrøft iht. SVV N200

- Arbeid i 2014 av Sandøy og Tyssekvam for SVV for å vurdere utforming av fanggrøft
- Gjennomgang av litteratur
  - Feltforsøk i fra 2001 der 11.000 steinsprangtester ble utført
  - Ulike helninger og 3 ulike høyder (inkl. palldeling på 45 cm)
- Kalibrere rocfall modell mot feltdata
- Resultatet er nytt designkriterium
  - 90% fangevne
  - Grøfteskråning 5:1 (traffiksikkerhet)

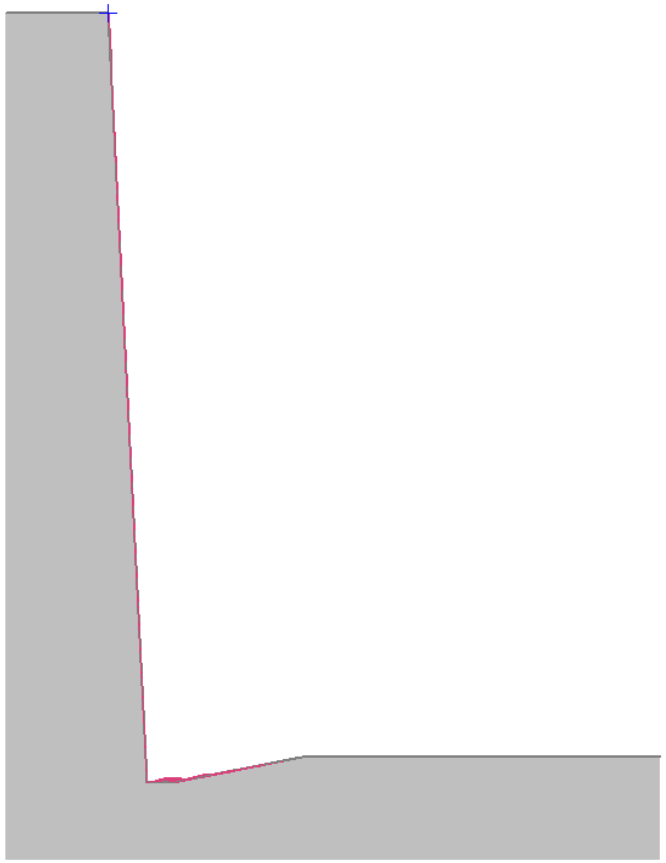


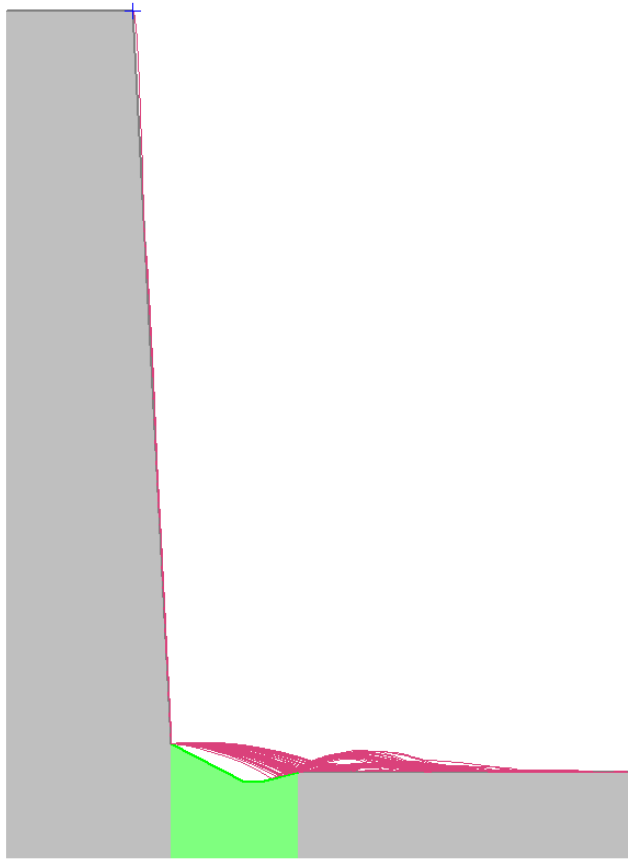
Tilbakefylling

- Stein som faller i tilbakefyllt grøft vil bli tilført en horisontalkomponent som kan øke utløpslengden
- Ingen spesifikke krav til materialer i en tilbakefylling
- Mindre volum til å håndtere snø og is fra brøyting samt nedfall
- Vanskelig/umulig å få modellene til å oppnå fangevne opp mot 90 %. Måtte da benytte materiale med svært gode dempningskoeffisienter
  - I realiteten telefarlig materiale? Iskjøving osv. Store variasjoner i materialets dempingsevne i løpet av året
- En tilbakefyllt grøft er ikke en fanggrøft. Dersom grøft tilbakefylles må skjæring detaljsikres på annen måte!



Figur 225.2 Redusert skjæringsprofil med tilbakefylling mot berg.





Design av grøft

E18 Kristiansand-Lillesand

E6 Frya - Sjoa

Fra konkurransegrunnlag E16 Bjørum – Skaret (2020)

8.3 Utforming av bergskjæringer

Bergskjæringer sprenges med helning iht. håndbok N200:2014 Vegbygging. Det brukes i utgangspunktet helning 10:1 der bergforholdene tillater dette. Grøft og område mot foten av skjæringsveggen skal utformes i samsvar med reguleringsplanen og ikke være i strid med håndbok N200:2014 Vegbygging.

Det skal unngås å sette igjen mindre bergknauser der dette vil se unaturlig og skjemmende ut. Utenfor sikkerhetssonen kan bergnabber med en viss størrelse få stå, der dette skaper bedre tilpasning til eksisterende terreng, vurdert i samråd med byggherren.

Inn mot alle bergskjæringer skal det generelt etableres en tilsådd sone fra grøften med en fylling inn mot fjellfoten. Fyllingen skal ha en helning på 1:2 og. Se illustrasjon.

Figur D1.2.8-01 Eksempel på ønsket uttrykk ved bergskjæring med helling 10:1.

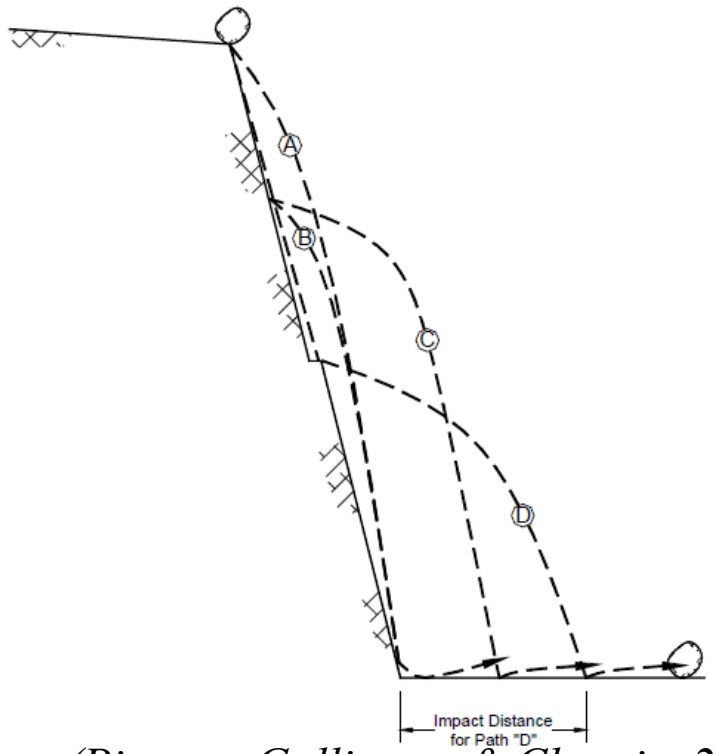
Gjennom Bjørkåsen skal fyllingen mot skjæringsfoten være bredere, med et 3 meter bredt avflatet parti nærmest berget i tillegg til skråning og grøft. Det avflatede partiet skal ha helning 1:10 ned mot skjæringsveggen.

Avstand fra vegkant til foten av skjæringsveggen skal ikke være mindre enn det som er angitt i reguleringsplanen.

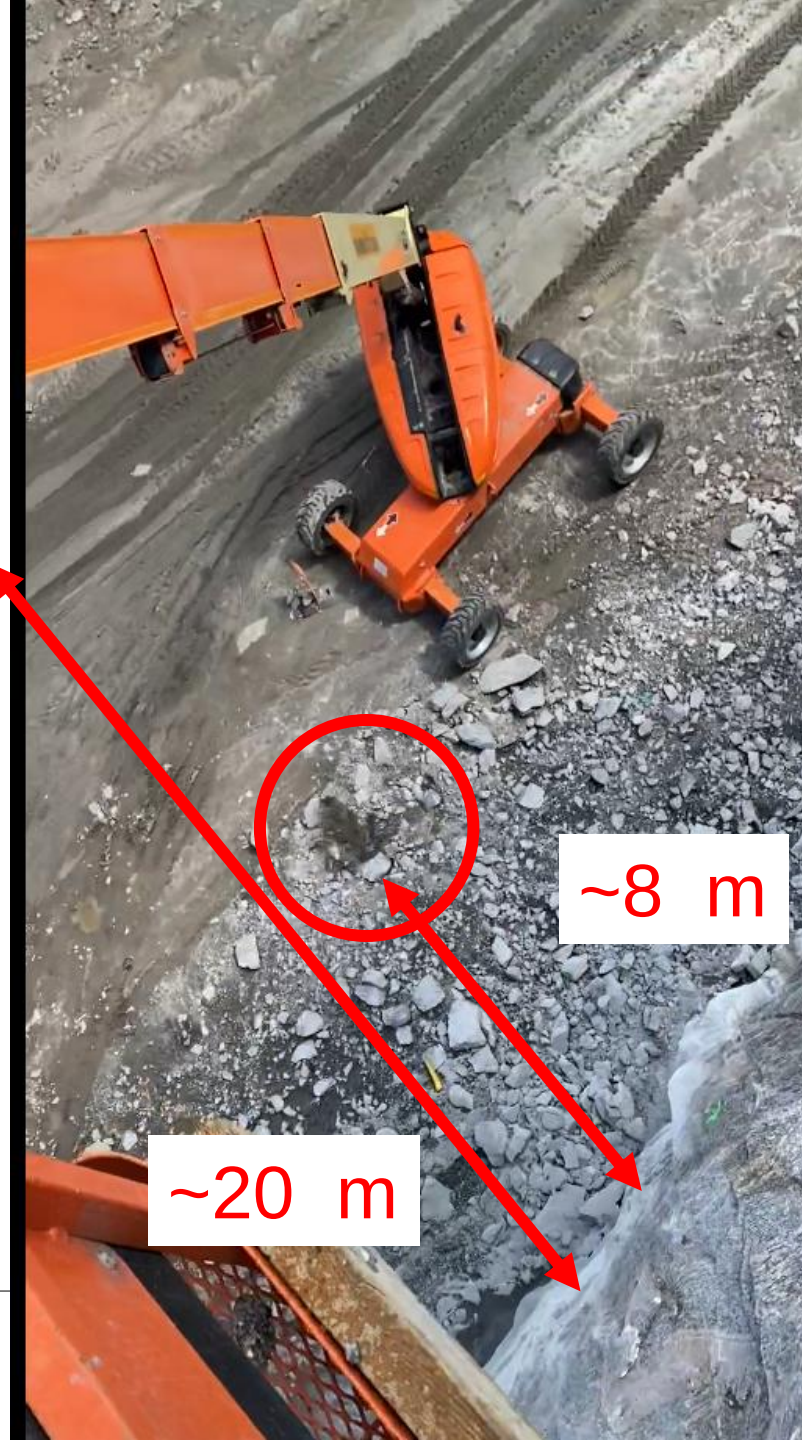
Hvordan påvirker skjæringsdesign utløpslengde av steinsprang
Konturklasse – jevnhet.
Slik har vi drevet på…

Hvordan påvirker skjæringsdesign utløpslengde av steinsprang Konturklasse – jevnhet.

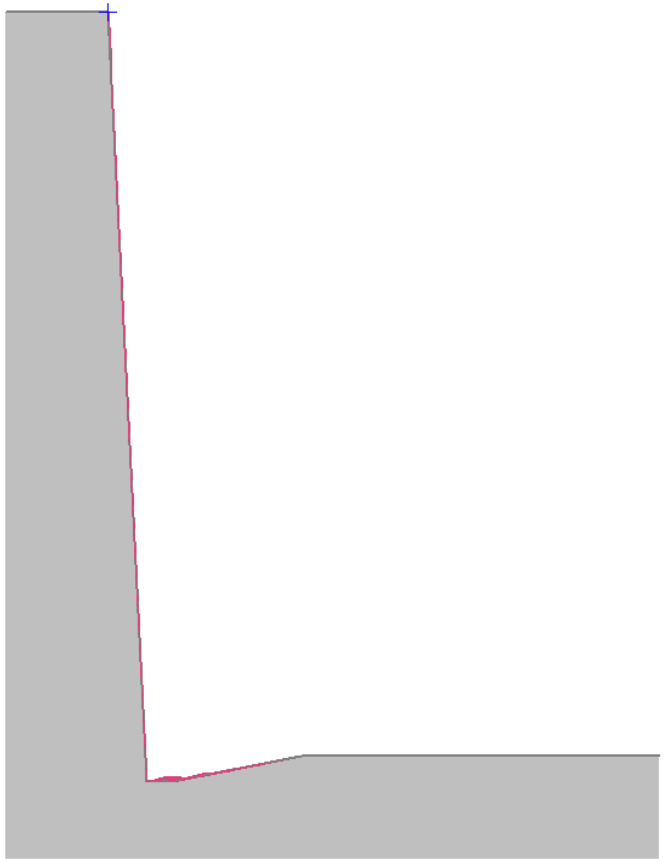
- N200 dimensjonerende fanggrøft
  - For høyde på hhv 18 og 24 er det i feltforsøk hylle på 45 cm.
  - I Rocfallmodellene som ligger til grunn er det jevnflate, men kalibrerte data!
- Egne observasjoner
  - Treffer steinsprang kant gir det et første nedslagspunkt og utløpslengde betydelig lengre

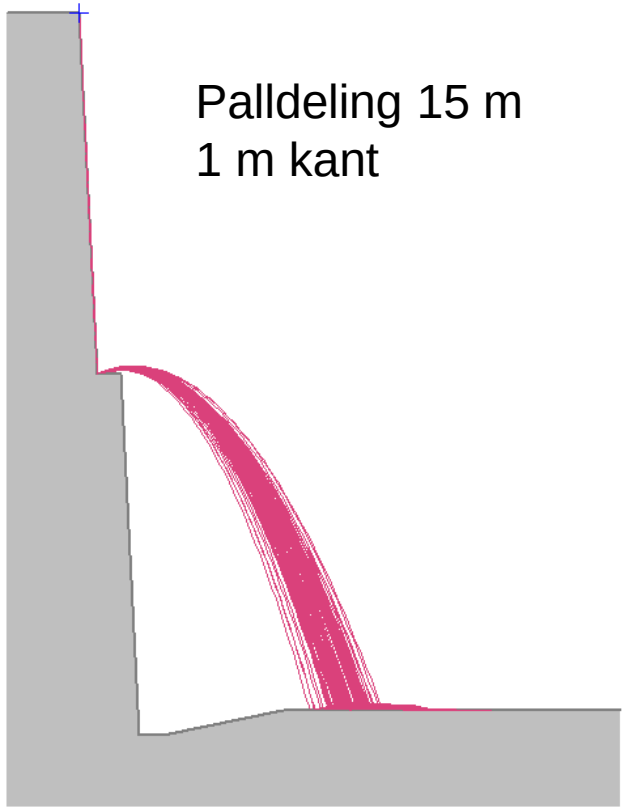


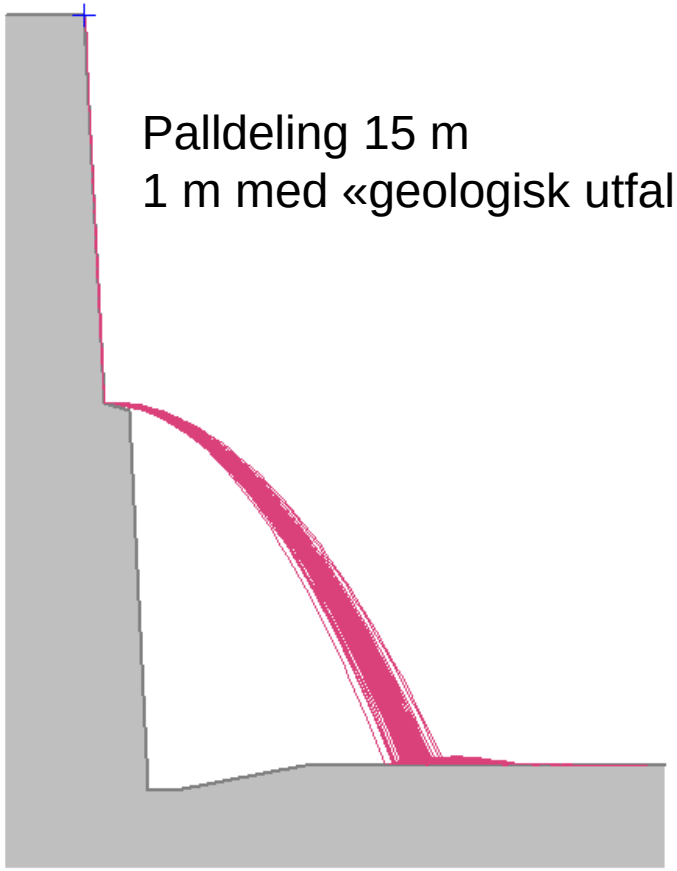
(Pierson, Gullixson, & Chassie, 2001)


~8 m
~20 m

Rocfall 30 m høyde SVV HB N200 grøfteprofil (6 m bredde)







Avsluttende kommentar

- Skjæringsdesign er første sikringsmetode og premissgiveren for videre arbeid og vedlikehold i bergskjæringen
- Bruk geologien til din fordel
- Benytt fanggrøft og etabler jevne skjæringsflater

Norconsult

Vår kunnskap bidrar til et mer verdifullt samfunn

Jordskjelvbelastning i stabilitetsberegninger

Freddy Yugsi
Sweco Norge AS

Stabilitet og sikring av bergskjæringer
Sandefjord 8.-9. Juni 2021

Freddy Yugsi

Engineering Geologist at Sweco

Sweco
6 yrs 1 mo

Engineering Geologist
Full-time
Jan 2019 – Present · 2 yrs 6 mos
Trondheim Area, Norway

Geotechnical Engineer
Jun 2015 – Present · 6 yrs 1 mo
Trondheim Area, Norway

Researcher
Geological Survey of Norway
Aug 2011 – Jun 2015 · 3 yrs 11 mos
Trondheim Area, Norway

Natural Hazards Division, Landslides Department

Postdoc
Norwegian Geotechnical Institute (NGI)
Jan 2011 – Aug 2011 · 8 mos

ETH Zurich
6 yrs 3 mos

Scientific Assistant
Jul 2006 – Dec 2010 · 4 yrs 6 mos
Geological Institute

PhD project: Structural evolution of slope instabilities in massive crystalline rocks (Matter Valley, Switzerland).

Guest Researcher
Oct 2004 – Jun 2006 · 1 yr 9 mos

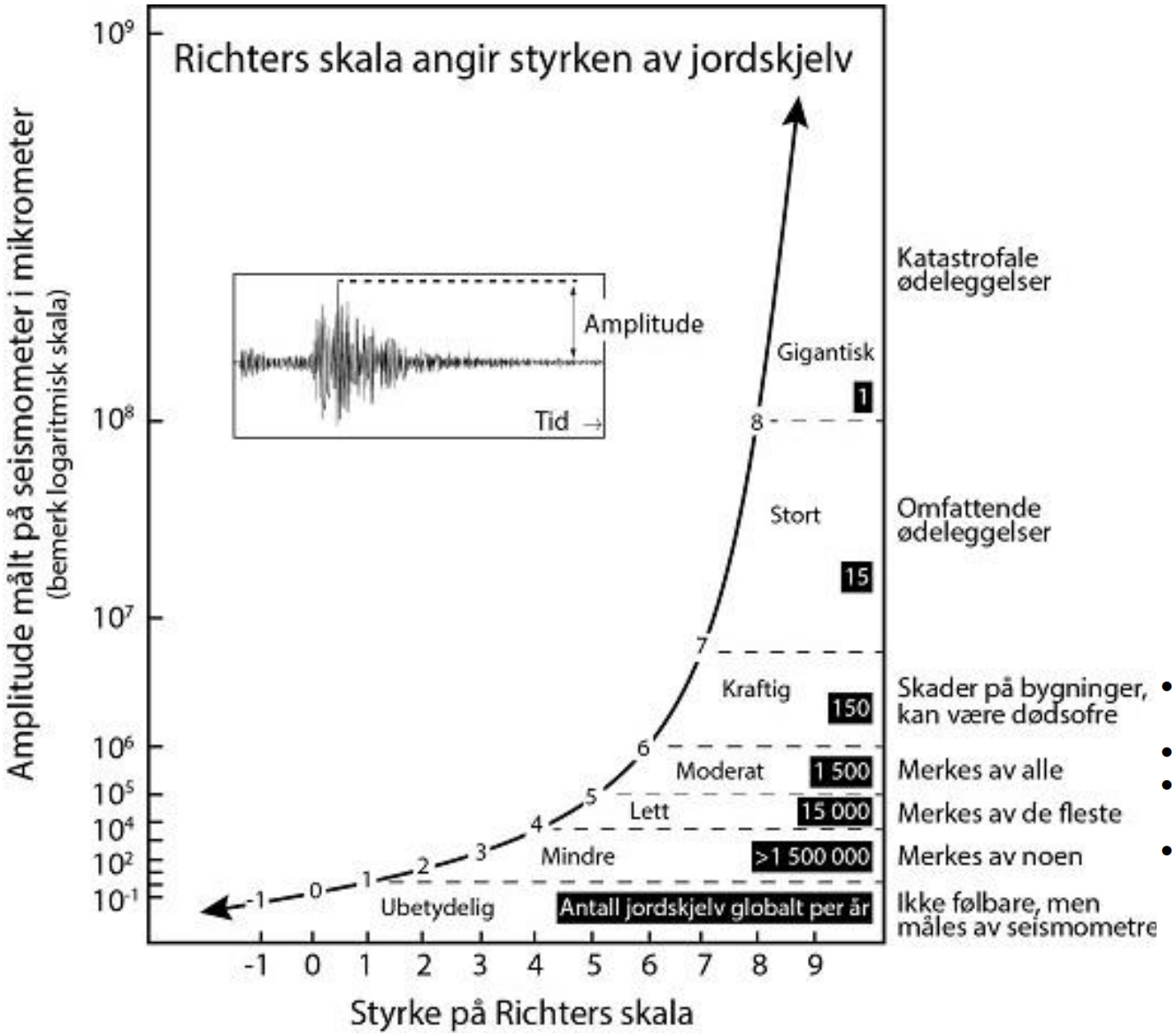
Researcher
HIGEODES
Aug 2000 – May 2004 · 3 yrs 10 mos

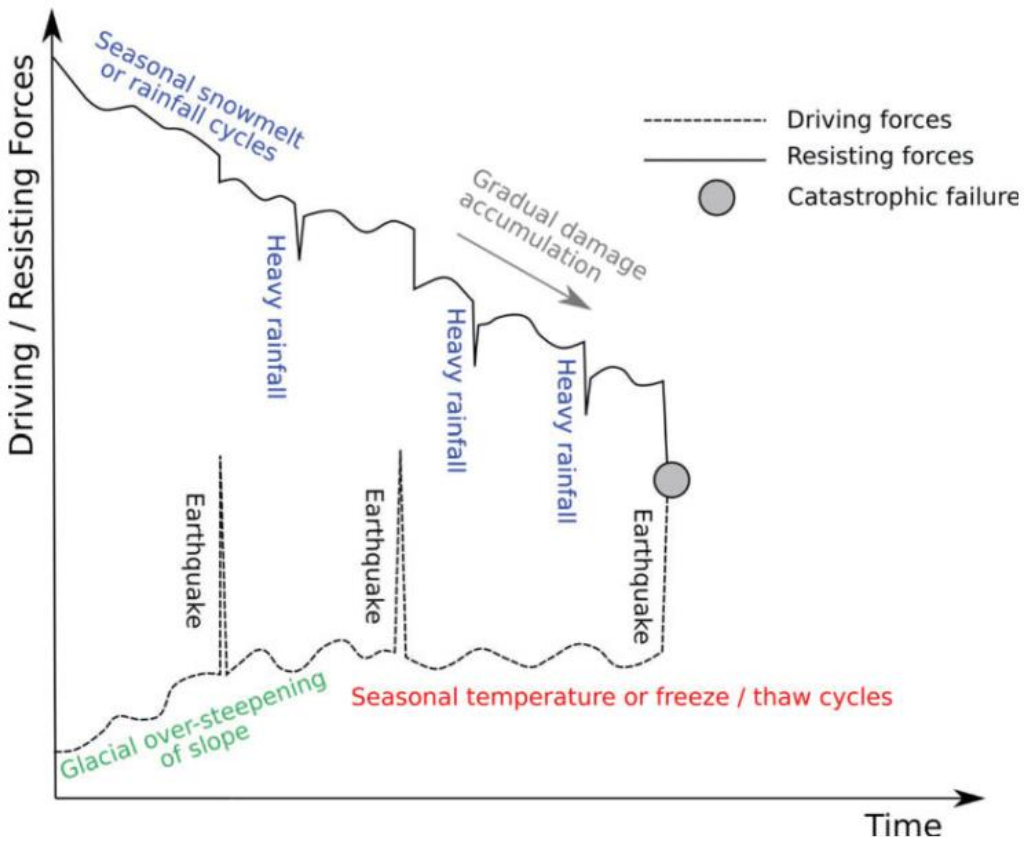
freddy.yugsi@sweco.no

Innhold

- Innledning
- Jordskelv i Norge
- Jordskjelv og skred/bergskråninger
- Regelverk
- Metoder
  - Grenselikevektmetode/pseudo-statisk metode
  - Newmark Analyse/Rigid blokk modell
  - Numerisk modellering

Jordskjelveffekter

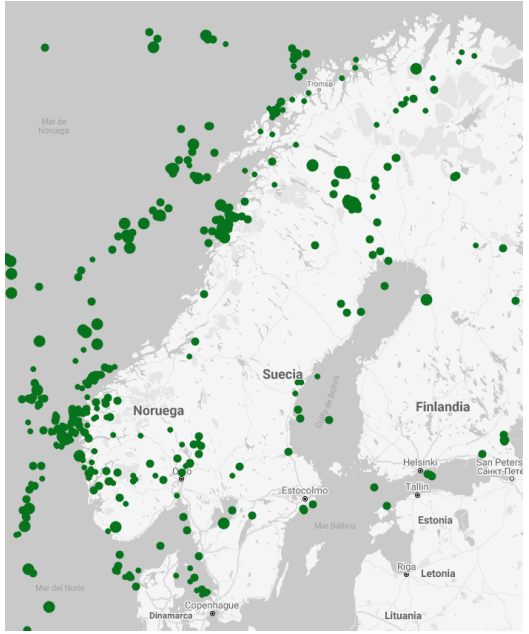




- Very abundant (>100,000 occurrences in 40 earthquakes) – rock falls and slides, and disrupted soil slides
- Abundant (10,000–100,000 occurrences in 40 earthquakes) – soil spreads/slumps
- Moderately common (1000–10,000 occurrences in 40 earthquakes) – soil falls, rapid soil flows, rock slumps
- Uncommon (100–1000 occurrences in 40 earthquakes) – subaqueous slides, slow earth flows, rock block slides, rock avalanches

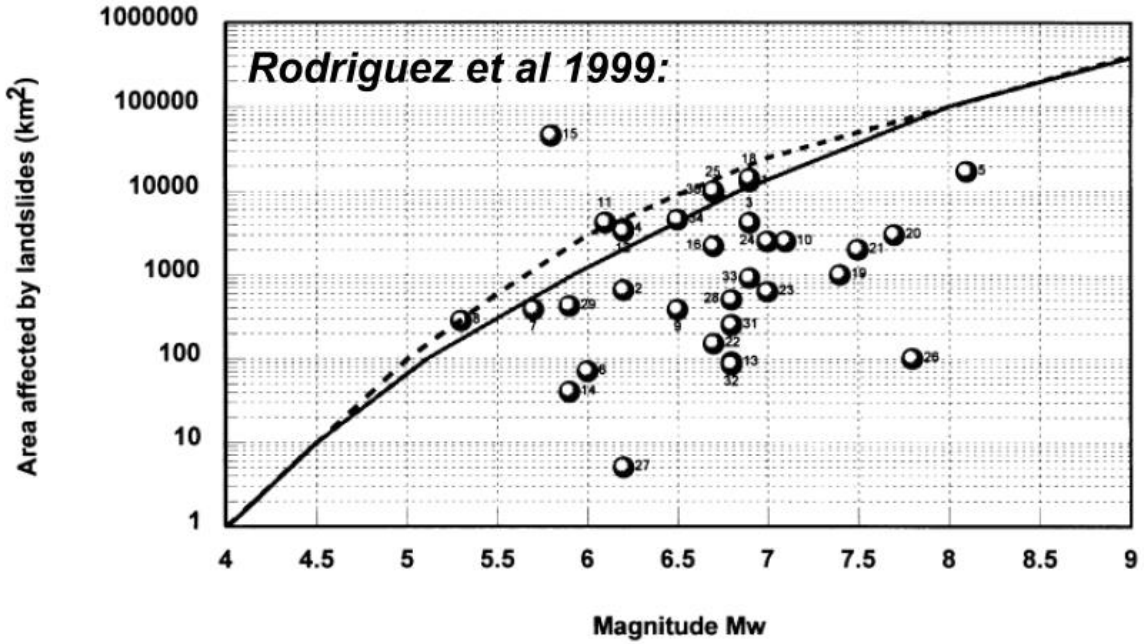
Jordskjelv i Norge

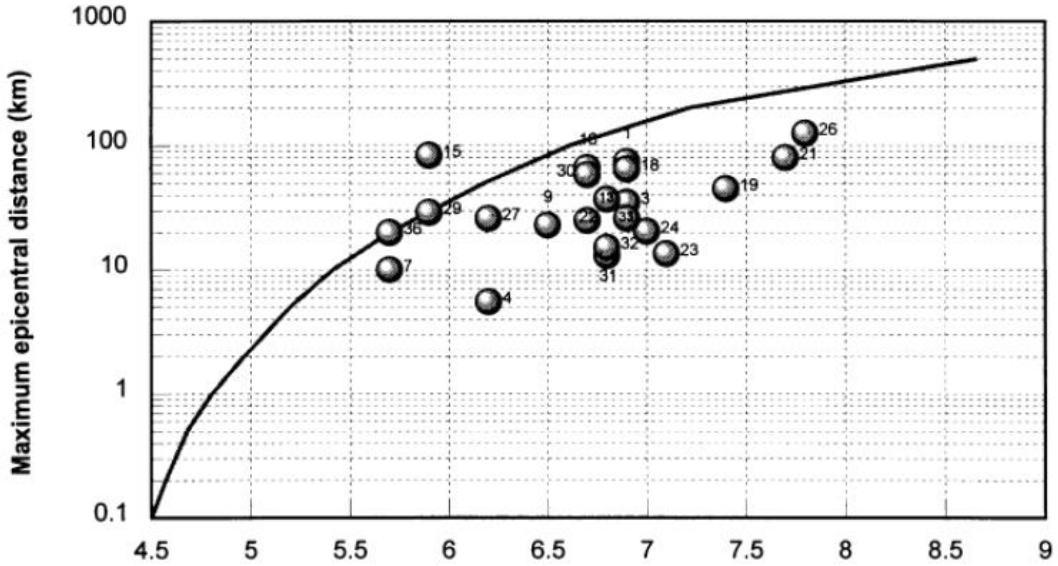
- Det største jordskjelvet i historisk tid skjedde i den ytre del av Ranafjorden på Helgelandskysten i 1819. Jordskjelvet utløste steinsprang fra fjellsidene og jordskred, samt stående bølger i fjorden. Skjelvet ble følt så langt borte som i Troms og Finland. Jordskjelvet hadde en styrke på omkring 5,8, og er sannsynligvis det største skjelvet som har skjedd på fastlandet i det nordlige Europa i historisk tid.
- I 2017 ble det registrert mer enn ti jordskjelv i og utenfor kysten av Norge, blant annet et skjelv i Nordsjøen med styrke 4,5.
- Faren for et stort jordskjelv i Norge er lav. Det forrige store skjelvet i Oslo var i 1904 og målte 5,4 på Richters skala og medførte betydelige materielle skader.
- Oslo ligger i graben, og dette øker sannsynligheten for at det oppstår jordskjelv. I Oslo-graben er det potensial for jordskjelv med styrke på over 5 på Richters skala. Det samme er tilfelle ved Øygarden utenfor Bergen.
- Sjansen for et nytt, stort skjelv i Oslo-området er definitivt tilstede, men det er ikke nok informasjon om returperiodene for jordskjelv i Oslo til å si noe om når det vil skje.



Jordskjelv katalog 1998-2021; www.jordskjelv.no

Jordskjelv og skred





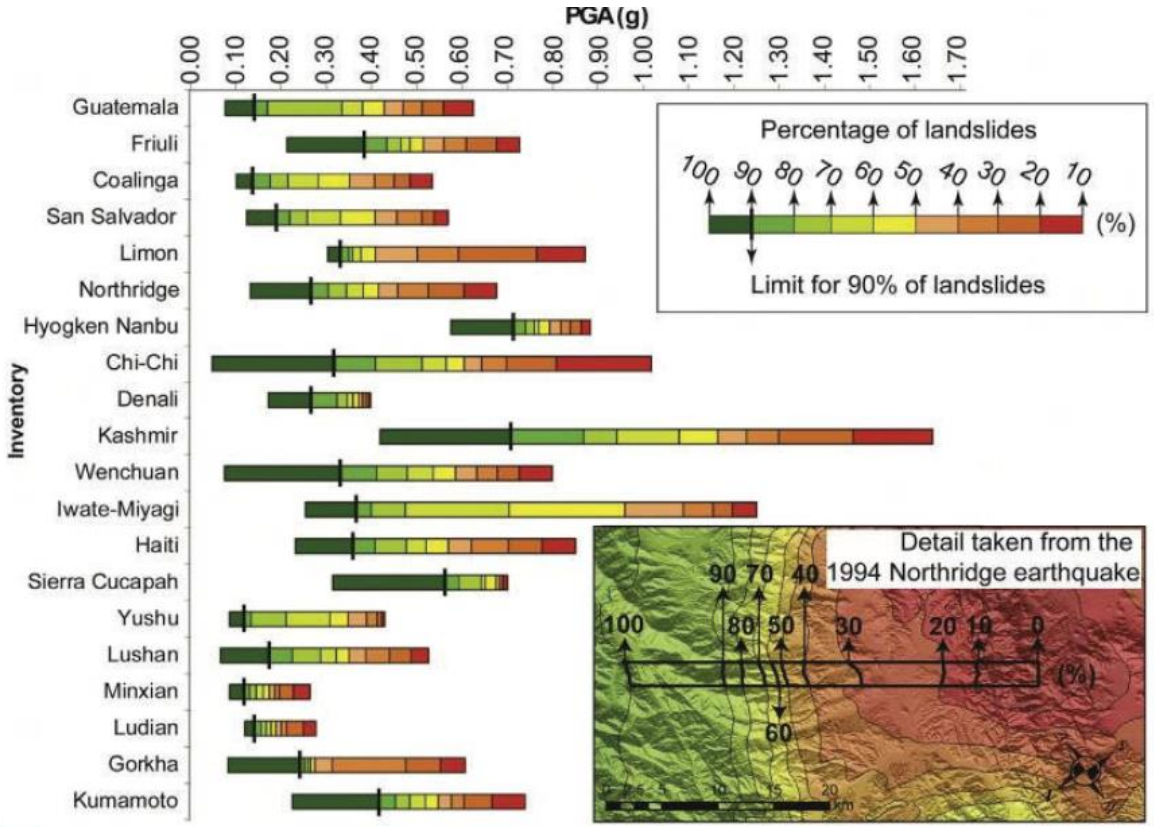
Malamud et al., 2004:

«… we estimate that the minimum earthquake magnitudes that will generate landslides is M=4.3±0.4.»

Rodriguez et al., 1999:

«… The smallest earthquake to have induced landslides (…) the Ledu (Qinghai, China) earthquake of 7 March 1984, with **M2.9**. (…) triggered due to the shallow earthquake source.»

Jordskjelv og skred



Tanyaş and Lombardo, 2017

Jibson and Harp, 2016

« … the minimum PGA values associated with farthest landslide limits ranged from 0.02g to 0.08g.»

Tanyaş and Lombardo, 2017:

«… we identify the 0.12 g as the global minimum PGA (common PGA contour) containing at least 90% of the landslides…»

« … the outermost 0.05 g contour is the minimum PGA value covering the entire landslide population considered among all the investigated inventories… »

Jordskjelv og bergskråninger

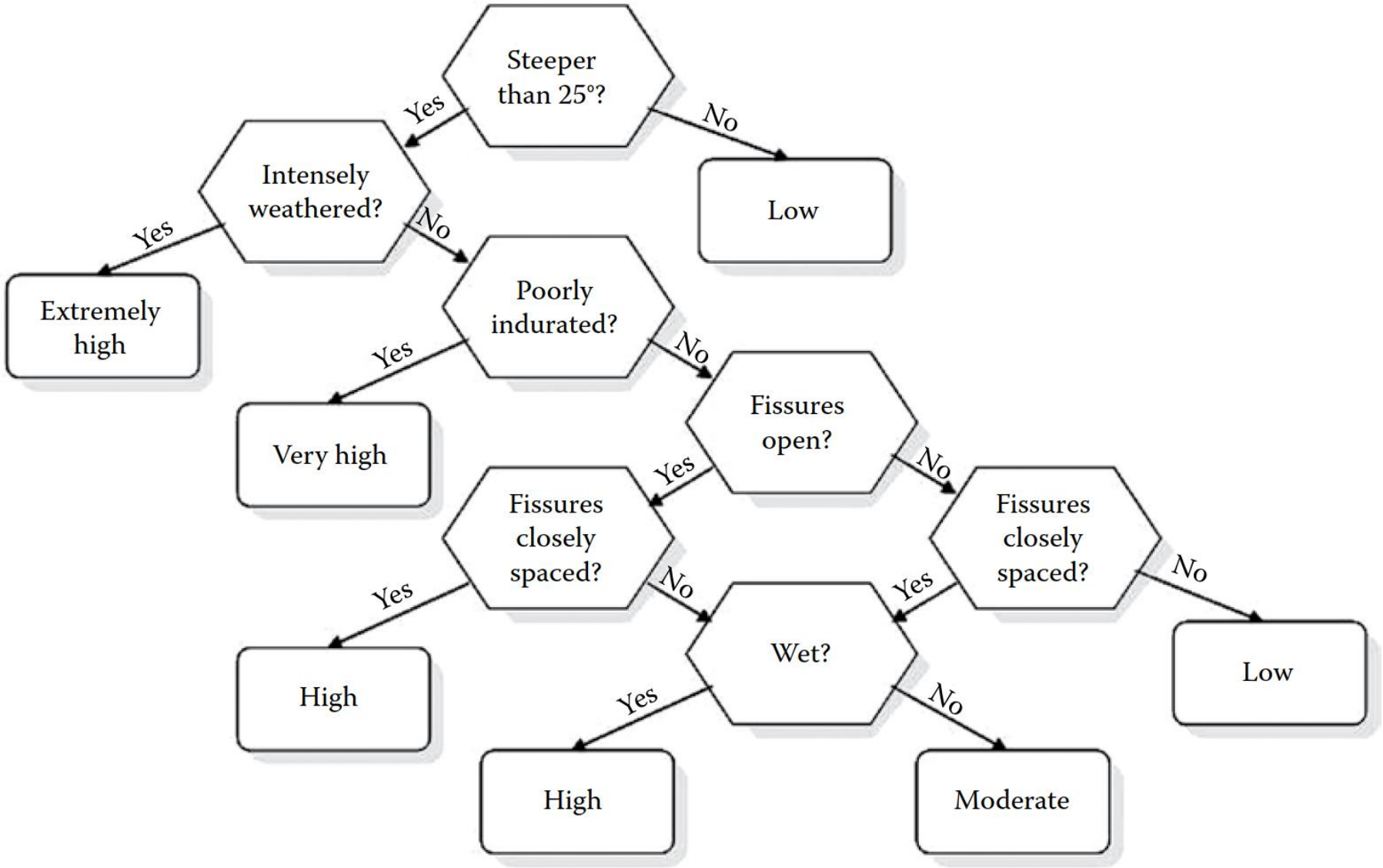
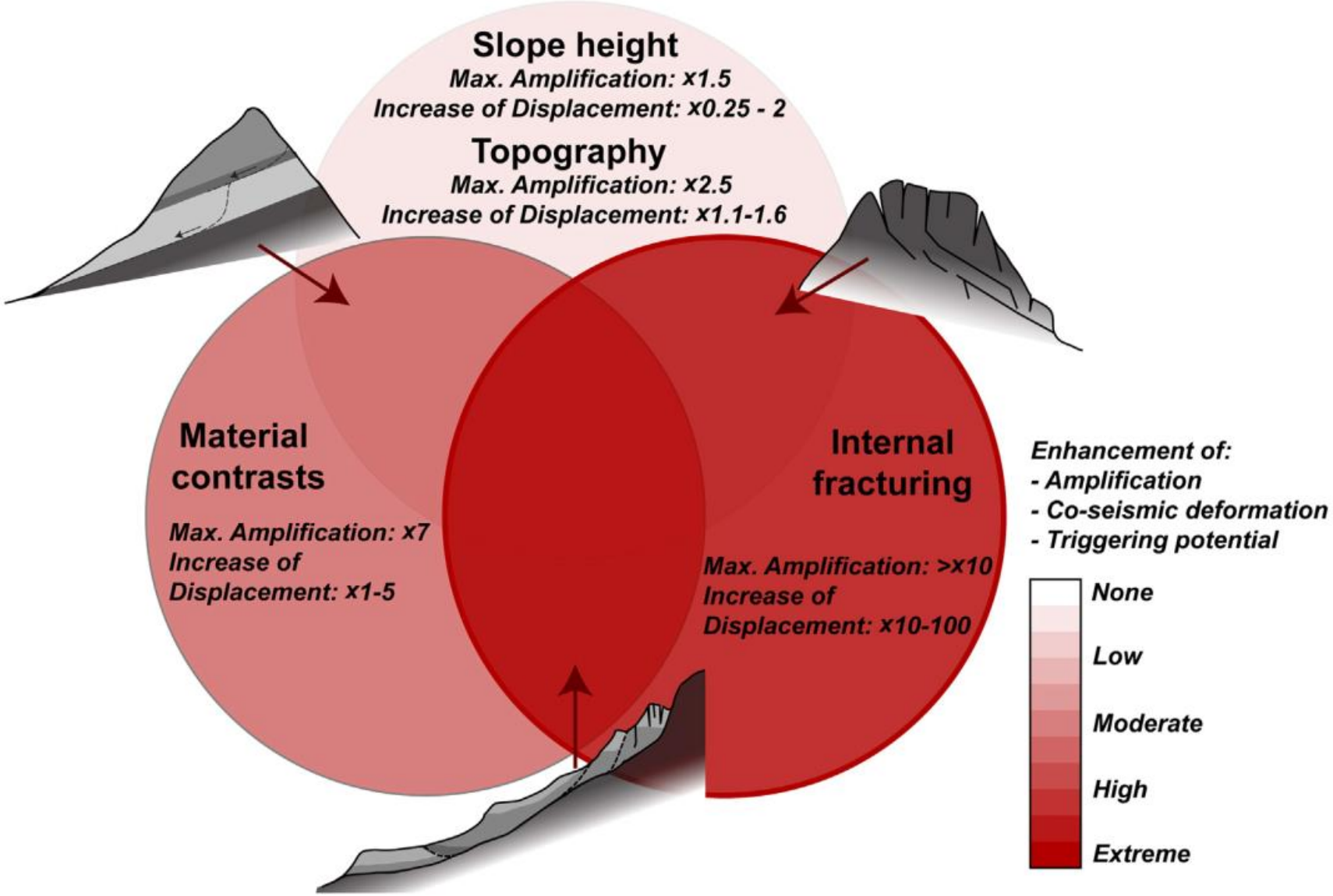


Figure 11.2 Decision tree for susceptibility of rock slopes to earthquake-induced failure (Keefer, 1992).

Jordskjelv og bergskråninger



Gischig et al., 2015

Regelverk om jordskjelvdesign av bergskjæringer

Vegdirektoratet
Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen
Geoteknikk og skred
Mai 2017

Statens vegvesen

Jordskjelvdesign i Statens vegvesen

Anbefalinger for geoteknisk prosjektering av veger og samvirke jord-konstruksjoner

STATENS VEGVESENS RAPPORTER Nr. 604

«Dokumentet er basert på allmenne regler og spesielle krav i relevante deler av Eurokode 8; dvs. NS-EN 1998-1:2004, Del 1 (Allmenne regler, seismiske laster og regler for bygninger) og Del 5 (Fundamenter, støttekonstruksjoner og geotekniske forhold), med tilhørende Nasjonale Tillegg»

«Samferdselsanlegg som veg, fyllinger, **skjæringer** og andre jordkonstruksjoner generelt er ikke nevnt i denne standarden (EC8)»

«Denne rapporten er først og fremst tenkt som et hjelpemiddel og supplement til Eurokode 8 for geoteknikere som jobber med praktisk prosjektering og planlegging av veganlegg og jordkonstruksjoner»

Regelverk om jordskjelvdesign av bergskjæringer

Grensetilstand: «Ulykkes- eller seismisk last beskriver en bruddgrensetilstand»

Lastkombinasjoner for seismiske situasjoner:

En seismisk situasjon beskrives ved en dimensjonerende last som kombinasjon av (jf. EC0, kap. 6.4.3.4):

A. faktorisert karakteristisk verdi for seismisk påvirkning (partialfaktor/seismisk faktor γ_I, jf. EC8-1, kap. NA.4.2.5).
B. faktoriserte variable laster[1)], dvs. trafikklaster og snølaster (faktor $\psi_i < 1{,}0$ jf. EC0, tabell NA.A1.1).
C. karakteristiske permanente laster og forspenningslaster.

Når flere variable laster kan opptre samtidig, tas alle med i aktuelle lastkombinasjoner (EC0, NA.A1.2.1(1)).

[1)] bare de ikke-dominerende variable lastene tas med i lastkombinasjonen

Regelverk om jordskjelvdesign av bergskjæringer

Vegdirektoratet
Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen
Geoteknikk og skred
Mai 2017

Statens vegvesen

Jordskjelvdesign i Statens vegvesen

Anbefalinger for geoteknisk prosjektering av veger og samvirke jord-konstruksjoner

STATENS VEGVESENS RAPPORTER Nr. 604

Seismisk klasser

Byggverk	I	II	III	IV
Byggverk der konsekvensene av sammenbrudd er særlig store				X[1)]
Viktig infrastruktur: sykehus, brannstasjoner, redningssentraler, kraftforsyning og lignende			(X)	X
Høye bygninger, mer enn 15 etasjer		(X)	X	
Jernbanebruer [2)]			X	(X)
Veg- og gangbruer [2)]		(X)	X	(X)
Byggverk med store ansamlinger av mennesker (tribuner, kinosaler, sportshaller, kjøpesentre, forsamlingslokaler osv.)		(X)	X	
Kaier og havneanlegg		X	(X)	
Landbaserte akvakulturanlegg for fisk		X	(X)	
Tårn, master, skorsteiner, siloer	(X)	X	(X)	
Industrianlegg		X	(X)	
Skoler og institusjonsbygg		(X)	X	
Kontorer, forretningsbygg og boligbygg		X	(X)	
Småhus, rekkehus, bygg i én etasje, mindre lagerhus osv.	X	(X)		
Støttemurer med høyde lavere enn 3 m langs veger i klasse II [3)]	X	(X)		
Kulverter	X	(X)	(X)	
Landbruksbygg	(X)			
Kaier og fortøyningsanlegg for sport og fritid	(X)			

Regelverk om jordskjelvdesign av bergskjæringer

Lastfaktorer:

(A) seismisk last: (EC8-1, tabell NA.4(901))

Seismisk klasse	Seismisk faktor γ_I
I	0,7
II	1,0
III	1,4
IV	2,0

(B) variable laster for bygninger (tabell EC0, NA.A1.1)

Nyttelast /last	Faktor Ψ_2
Boliger, kontorer	0,3
Forsamlingslokaler, forretningsarealer	0,6
Lagerarealer	0,8
Trafikk- og parkeringsarealer, kjøretøyvekt ≤ 30 kN	0,6
Trafikkarealer-, kjøretøyvekt ≤ 160 kN på to akslinger	0,3
Snølaster på bygninger	0,2

(C) Permanente laster: γ_G=1,0 (EC0, A1.3.2 (1))

Regelverk om jordskjelvdesign av bergskjæringer

Fasthetsparameter og Materialfaktor:

Massetype	Parameter	Materialfaktor	Verdi
Friksjonsmasser	Syklisk udrenert skjærfasthet / Friksjonsvinkel	$\gamma_{\tau cu}$ / $\gamma_{\varphi'}$	1,1 / 1,1
Kohesjonsmasser	Udrenert skjærfasthet	γ_{cu}	1,1
Kvikkleire	Udrenert skjærfasthet	γ_{cu}	1,2
Fyllmasser	Syklisk udrenert skjærfasthet / Friksjonsvinkel	$\gamma_{\tau cu}$ / $\gamma_{\varphi'}$	1,2 / 1,2
Berg	Trykkfasthet	γ_{qu}	1,3

Grunntyper:

Tabell NA.3.1 – Grunntyper [1)]

Grunn-type	Beskrivelse av stratigrafisk profil	Parametere [2) 3)]		
		$v_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (slag/30cm)	c_u (kPa)
A	Fjell eller fjell-liknende geologisk formasjon, medregnet høyst 5 m svakere materiale på overflaten.	> 800	–	–

Regelverk om jordskjelvdesign av bergskjæringer

standard norge

Norsk Standard

NS-EN 1998-1:2004+A1:2013+NA:2014

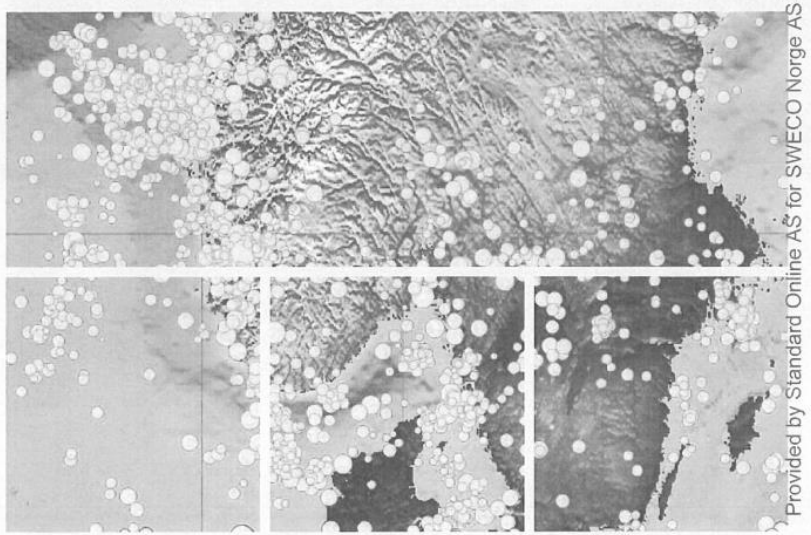
ICS 91.120.25
Språk: Norsk

Eurokode 8: Prosjektering av konstruksjoner for seismisk påvirkning
Del 1: Allmenne regler, seismiske laster og regler for bygninger

Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance
Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings

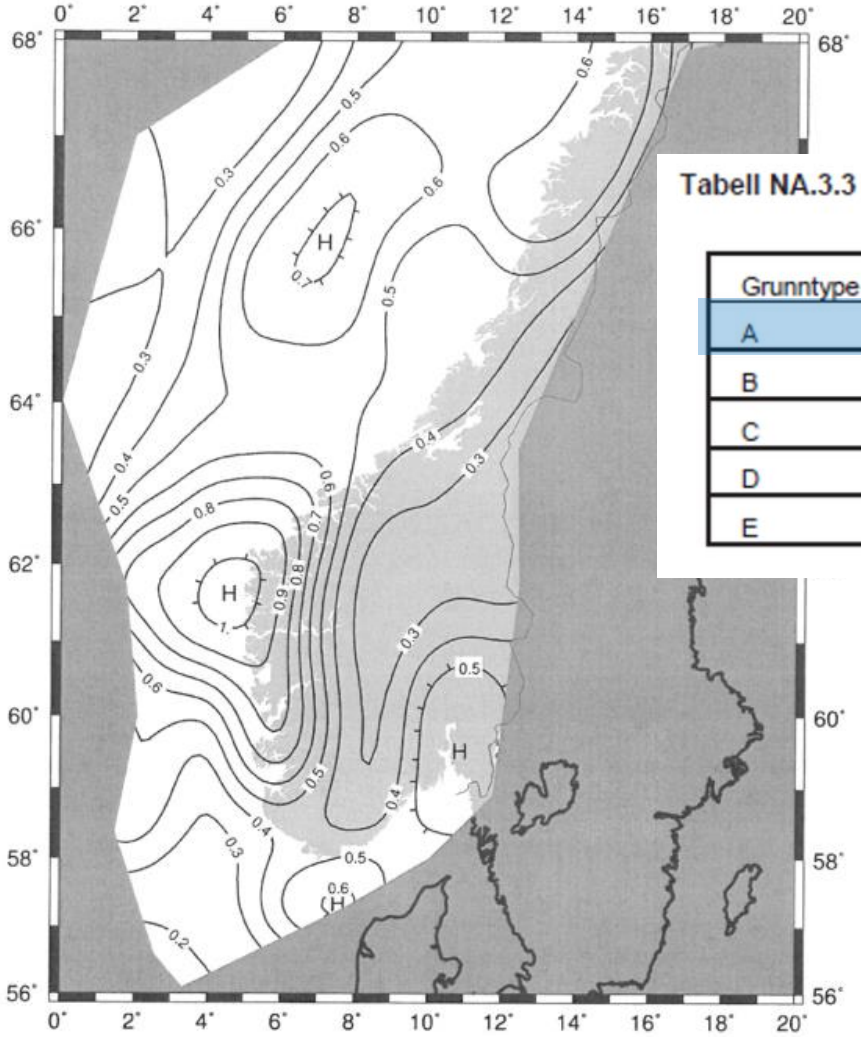
Innarbeidet i standarden: / Incorporated in this standard
Rettelsesblad / Corrigendum NS-EN 1998-1:2004/AC:2009

eurokoder



Provided by Standard Online AS for SWECO Norge AS 2016-05-30

© Standard Norge. Henvendelse om gjengivelse rettes til Standard Online AS. www.standard.no



Figur NA.3(901) – Seismiske soner i det sørlige Norge, a_{g40Hz} i m/s^2

Tabell NA.3.3 – Verdier for parametere som beskriver de anbefalte elastiske responsspektrene

Grunntype	S	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,0	0,10	0,20	1,7
B	1,3	0,10	0,25	1,5
C	1,4	0,10	0,30	1,5
D	1,55	0,15	0,40	1,6
E	1,65	0,10	0,30	1,4

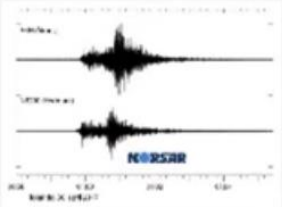
Spissverdi for berggrunnens akselerasjon a_{g40Hz} med en returperiode på 475 år for sørlige Norge. Referansespissverdien for berggrunnens akselerasjon, a_{gR} ,settes lik 0,8 a_{g40Hz}

Nytt soneringskart – hva er gjort?

1

DATA FRA MÅLESTASJONER

2

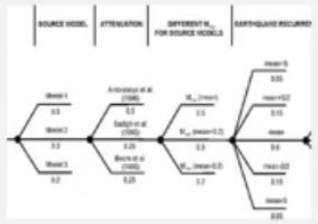


REVIEW JORDSKJELV-KATALOG

3

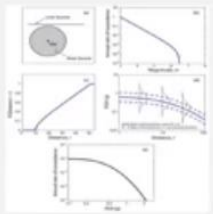
EKSTRAPOLERT SANNSYNLIGHET FOR JORDSKJELV INN I FREMTIDEN

4



ANVENDT FORSKJELLIGE SANNSYNLIGHETS -MODELLER

5



ANVENDT NY GEOLOGISK KUNNSKAP

6

VISUALISERING

NYTT SONEKART

NORSAR

Metoder for stabilitetsberegning

- Grenselikevektanalyse/pseudo-statisk metode
  Forenklet forutsetninger av jordskjelvseffekter for dimensjonering av sikring
- Newmark Analyse/Rigid blokk modell
  Hensynet til hele jordskjelvbølgen, forenklet vurdering av skråningsforhold
- Numerisk modellering/spenning-deformasjon analyser
  Saksspesifikke detaljerte analyser. Vurdering av jordskjelv-skråningsinteraksjon

Kompleksitet

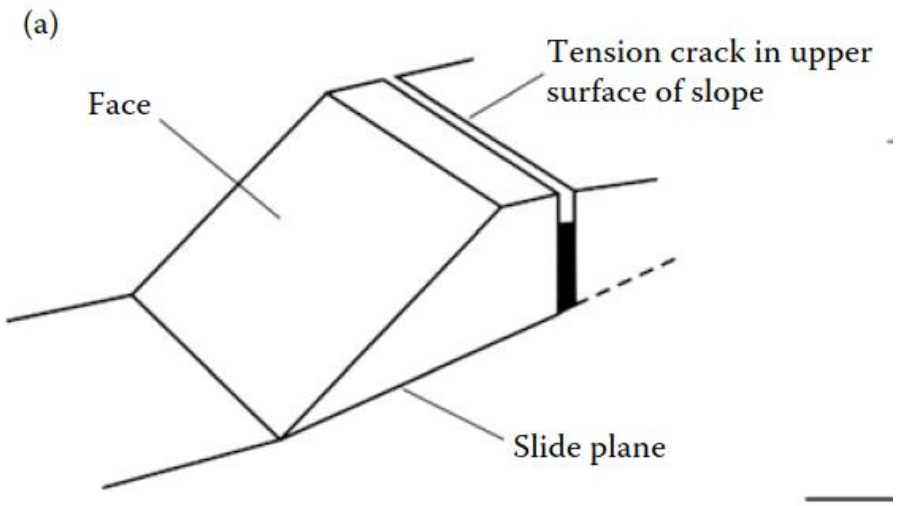
Pseudo-statisk metoden

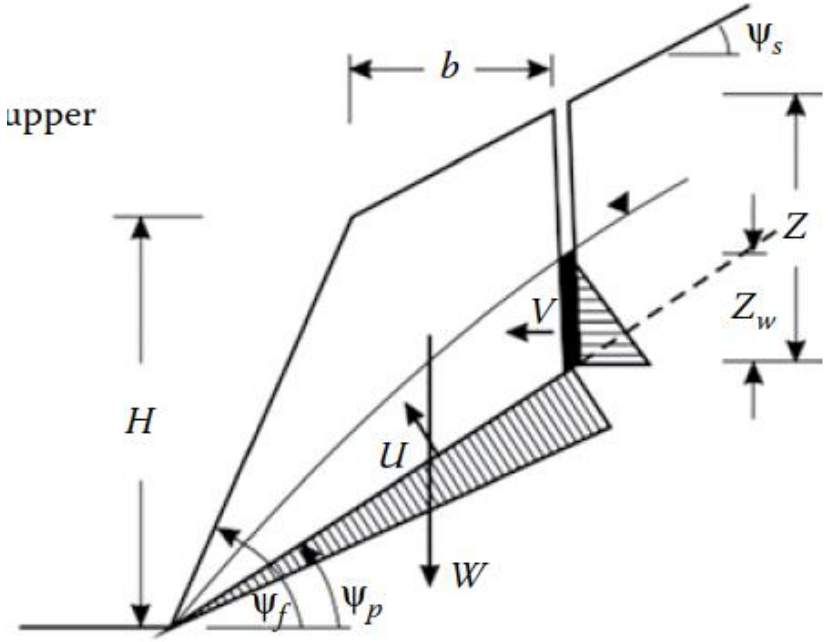
$$FS = \frac{\text{Resisting force}}{\text{Driving force}}$$

$$FS = \frac{c \cdot A + (W \cdot \cos\psi_p - U - V \cdot \sin\psi_p)\tan\phi}{W \cdot \sin\psi_p + V \cdot \cos\psi_p}$$

$$A = (H + b \cdot \tan\psi_s - z)\operatorname{cosec}\psi_p$$

W: vekt av utglidningsmasse
ψ_p: Vinkel utglidningsflate
ψ_f: Vinkel bergskrent
ψ_s: Vinkel toppflate
ϕ: Friskjonsvinkel
c: Kohesjon
U,V: Poretrykk
H: Blokkhoyde





Pseudo-statisk metoden

$$FS = \frac{c \cdot A + (W(\cos\psi_p - k \cdot \sin\psi_p)) \cdot \tan\phi}{W(\sin\psi_p + k \cdot \cos\psi_p)}$$

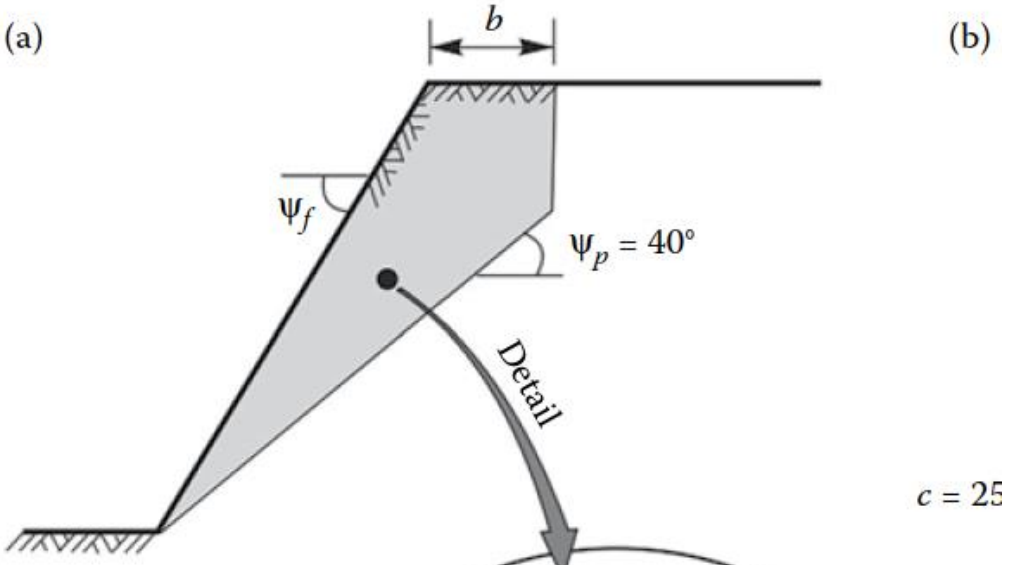
K: Pseudostatisk/seismisk koeffisient

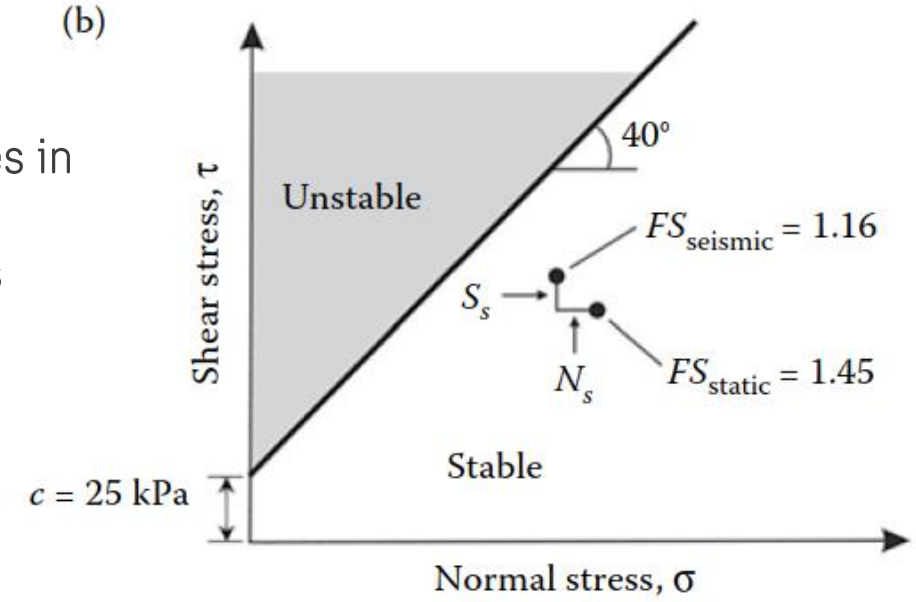
$$k = \left(\frac{\mathrm{PGA} \cdot F_{\mathrm{PGA}} \cdot \alpha}{2}\right) \cong \quad F_{\mathrm{H}} = 0{,}5 \cdot \alpha \cdot S \cdot W$$

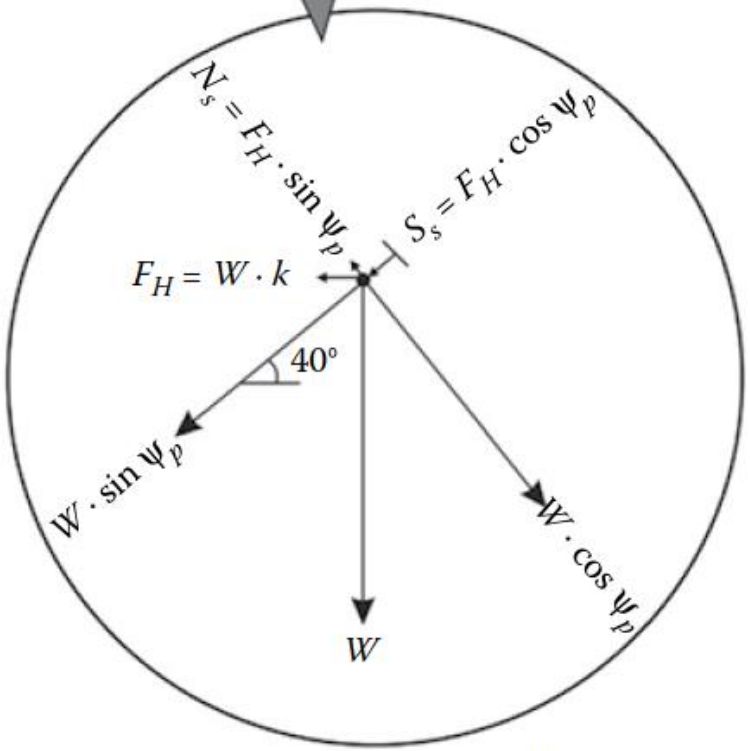
W= vekt av potensielle utglidningsmassene
S = Forsterkningsfaktor (S=1)

$$\alpha = a_g/g$$

Ifølge Wyllie (2018): "In general, slopes in brittle rock have little capacity for deformation and the factor of safety is probably the better measure of slope stability than the magnitude of the deformation".





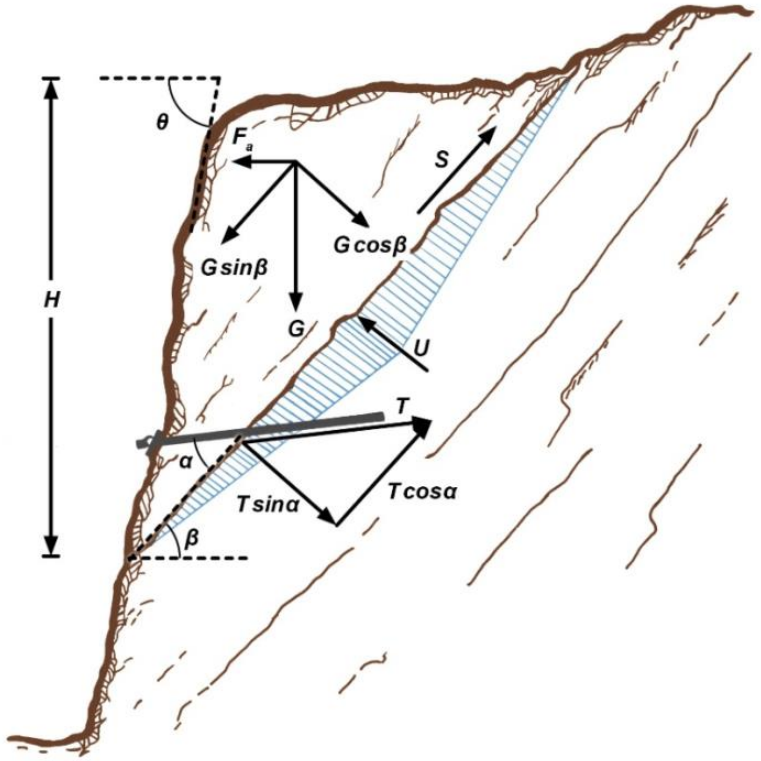


Force vectors at C.G. of block

Regelverk om jordskjelvdesign av bergskjæringer

Seismisk påvirkning:

- Seismisk påvirkning/jordskjelvpåvirkning i utgangspunktet vanskelig å bestemme
- Det kan gi et vesentlig bidrag til stabilitetsvurderingen.
- Regelverket er ikke konsistent på hvordan seismisk påvirkning beregnes.



H	Blokkens høyde
G	Blokkens masse
S	Svakhetsplanets skjærstyrke
U	Sprekkevannstrykk
T	Boltekraft
α	Vinkel m. bolt og svakhetspl.
β	Svakhetsplanets fallvinkel
θ	Skjæringflatens fallvinkel
F_a	Jordskjelvkraft

Figur 5.2 Skisse av et potensielt ustabilt parti i en bergskjæring. Skravert område illustrerer vanntrykk.

Regelverk om jordskjelvdesign av bergskjæringer

- Kraften fra seismisk hendelse legges inn som en horisontal kraft i modellen (Fα).
- Akselerasjonen som brukes (ag40Hz) finnes den på Nasjonalt Tillegg til Eurokode.
- Forsterkningsfaktor for berg - grunntype A= 1.
- Partialfaktoren for seismisk akselerasjon (γ|) varierer for ulike type konstruksjoner. Skjæringer er ikke blant konstruksjonene som er listet opp i EC8 tabell NA.4(902).

Dimensjonerende grunnakselerasjon a_g blir da:

$$a_g = \gamma_| \cdot a_{gR} = 0{,}8 a_{g40Hz} \cdot \gamma_| \qquad (12)$$

Dimensjonerende kraft i horisontalplanet blir da:

$$F_a = m \cdot a_g = \frac{G}{g} \cdot a_g \qquad (13)$$

der F_a = dimensjonerende seismisk horisontal kraft
m = massen av ustabilt parti
g = tyngdens gravitasjon

Videre blir bidraget i retningen i det ustabile planet:

$$F_S = F_a \cos\beta \qquad (14)$$

der F_s = dimensjonerende seismisk kraft i skjærplanet

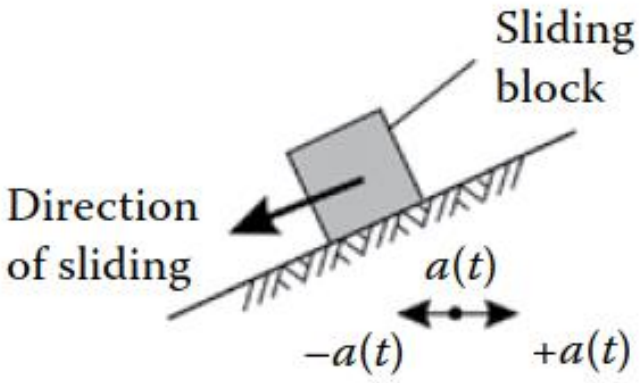
For virkningen på normalspenningen benyttes:

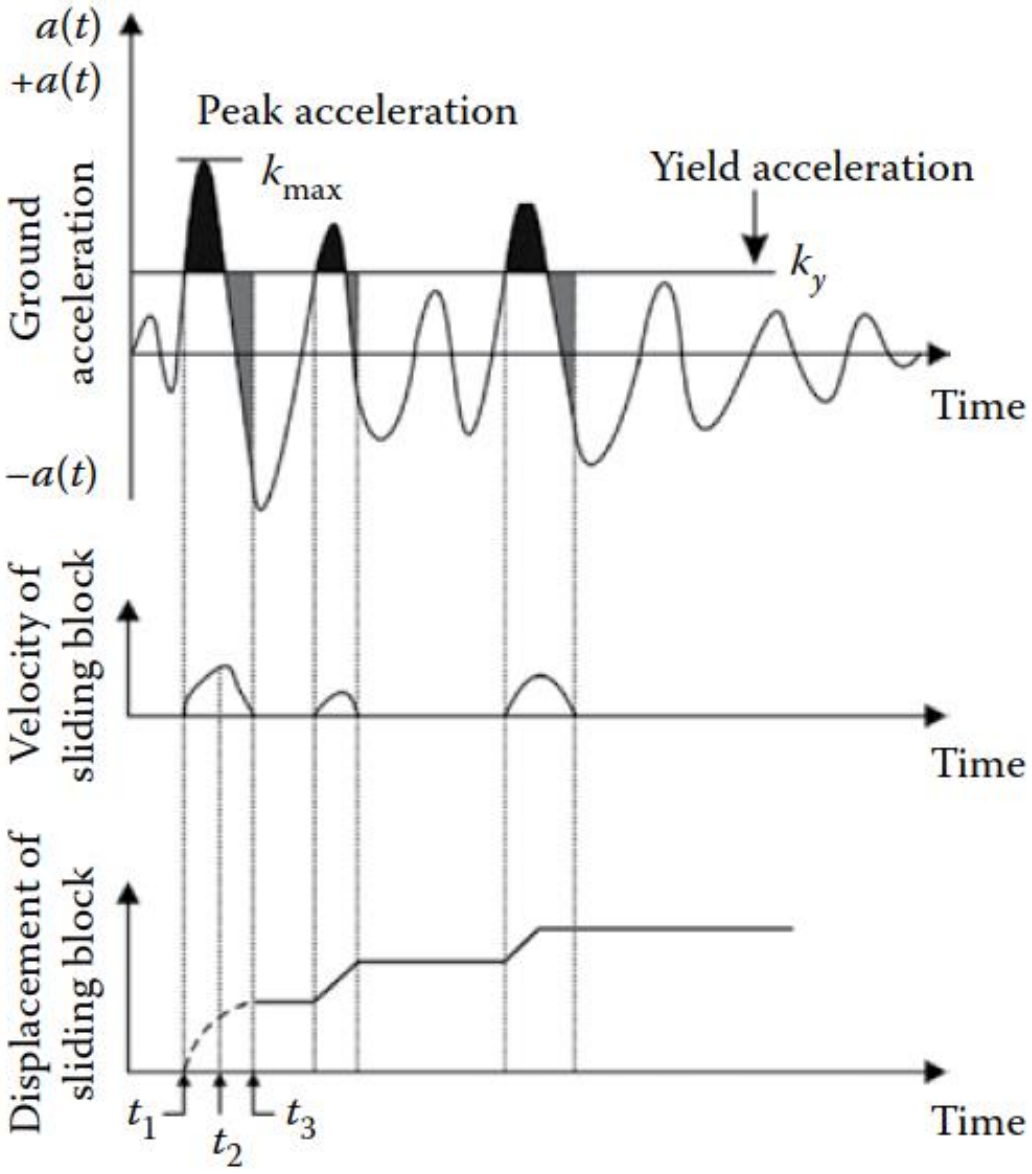
$$F_n = F_a \sin\beta \qquad (15)$$

Newmark Analyse/Rigid blokk modell

Bygget ut over pseudo-statisk metoden.
Forutsetninger:

- Brudd ikke skjer alltid når dynamisk spenning er over skjærfasthet.
- Viktigere er å registrere permanent forskyvning forårsaket på perioder når FS < 1,0.
- Utglidningsmassen representer som en blokk som ligger på en hellende flate.
- Blokken starter bevegelsen etter kritiske akselerasjon (yield acceleration) er oppnådd.





Newmark Analyse/Rigid blokk modell

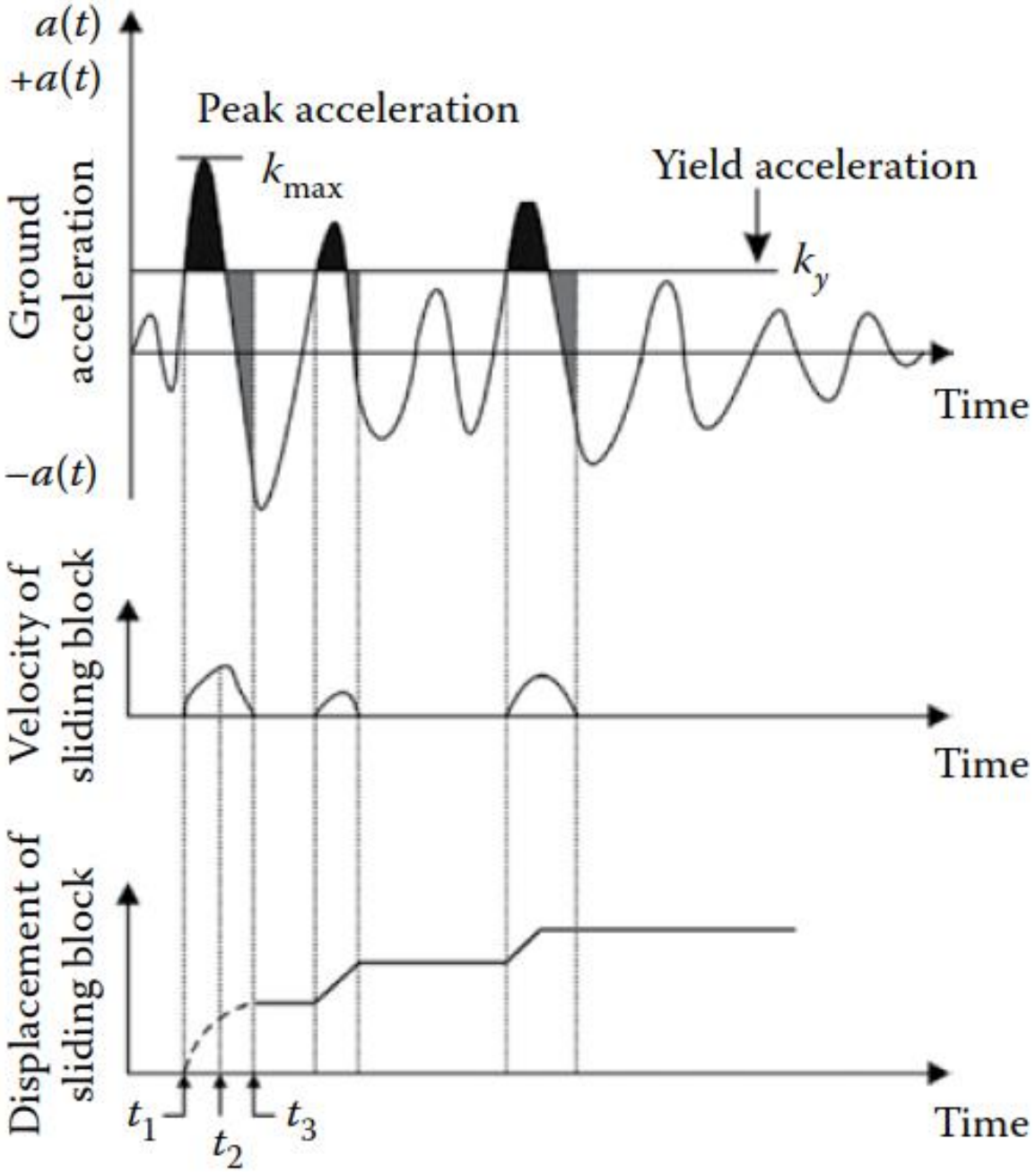
$$a_c = (FS - 1) g \sin \alpha$$

a_c: Kritisk akselerasjon
FS: Sikkerhetsfaktor (statisk metode)
α: Utglidningsflate vinkel

Opprinnelige metode:

- Statisk og dynamisk skjærfasthet er likt
- Kritisk akselerasjon er konstant
- Blokk er stiv
- Oppadgående bevegelse er ikke mulig
- Poretrykk ikke tas i betraktning

Resultater er nøyaktig når det foreligger god kunnskap om utglidningsgeometri, materialegenskaper og jordskelvs responsesspektren

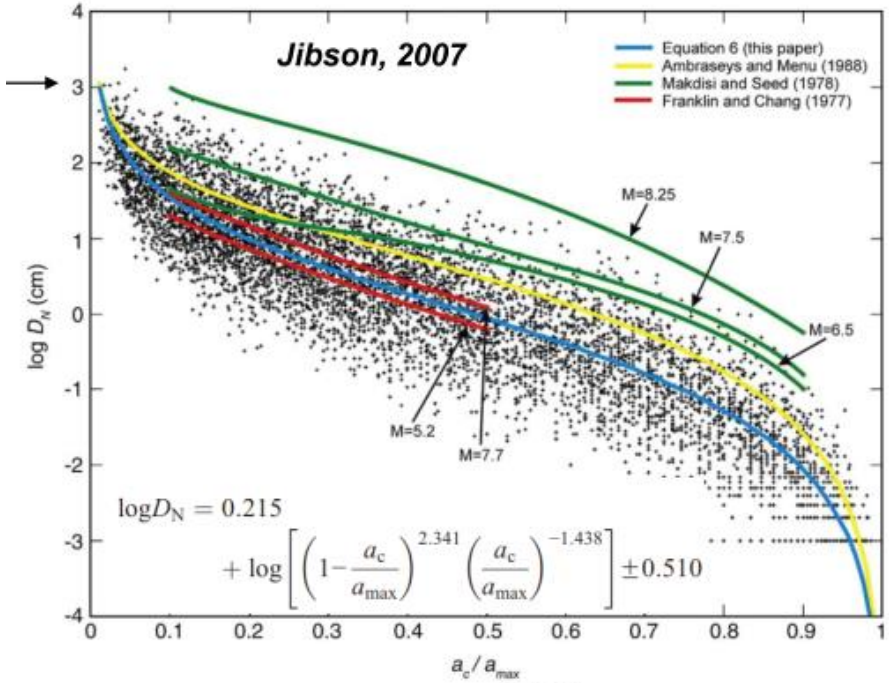


Newmark Analyse/Rigid blokk modell

Table 11.3 Guidelines for relationship between slope displacement and likely slope instability

Calculated displacement	*Slope stability condition*
0–150 mm (0–6 in.)	Unlikely to correspond to serious landslide movement and damage to structures
150–1000 mm (6–40 in.)	Slope deformations may be sufficient to cause serious ground cracking or enough strength loss to result in continuing post-seismic failure
>1000 mm (>40 in.)	Damaging landslide movement and slopes should be considered unstable

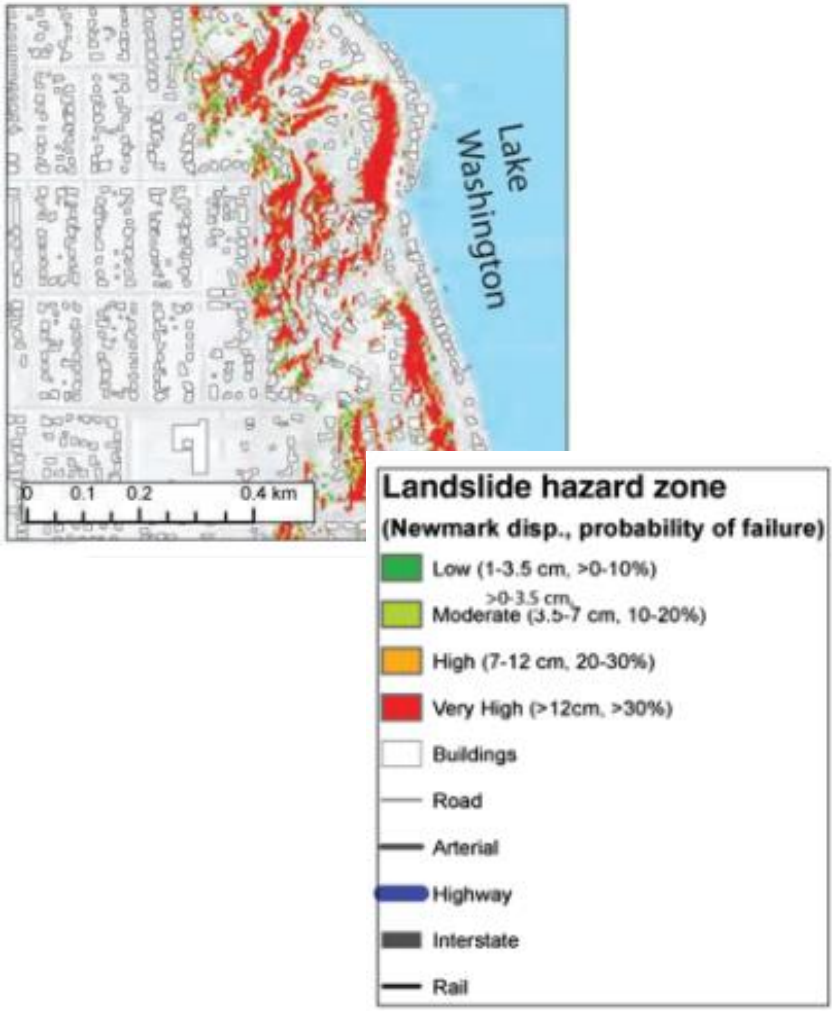
Source: Adapted from California Division of Mines and Geology (CDMG). 1997. *Guidelines for Evaluating and Mitigating Seismic Hazards in California*. Califiornia Div. of Mines and Geology. Special Report 117. www/consrv.ca.gov/dmg/pubs/sp/117/



a_{max}=PGA

$$P(f) = 0.335\left[1-\exp\left(-0.048D_n^{1.565}\right)\right]$$

Jibson, 2011



Numerisk modellering/spenning-deformasjon analyser

- Det er kun behov for en dynamisk analyse når en pseudo-statisk metode gir for lav sikkerhetsfaktor.
- Dynamisk analyse trenger ikke å ha tilfredsstille krav til sikkerhetsfaktor.
- Det er tilfredsstillende om de beregnede deformasjonene er små og kan aksepteres mht. skråningens eller konstruksjonens funksjonalitet.

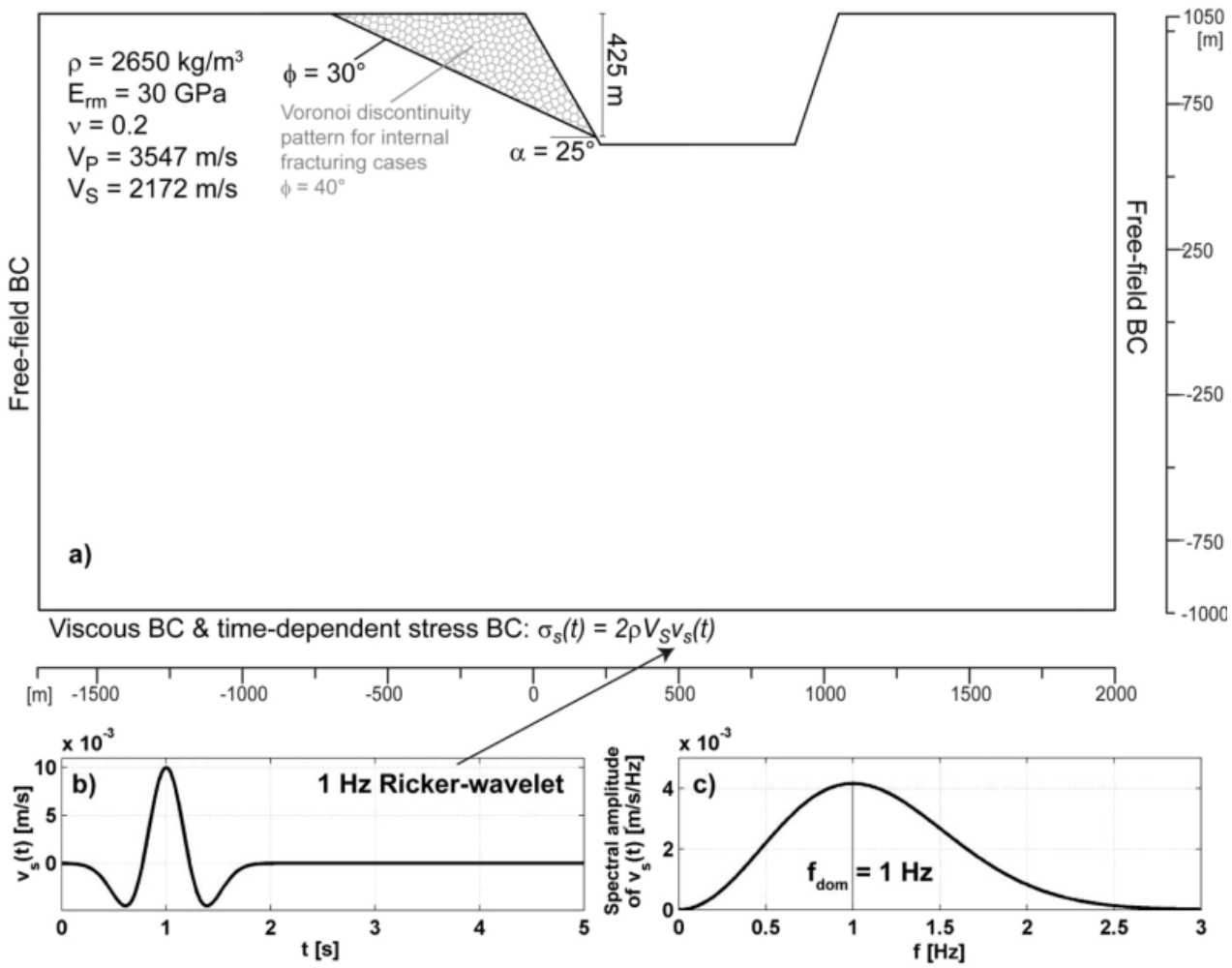
Tabell 7-1 Fordeler og ulemper med forskjellige analysemetoder for skråninger

	Fordeler	Ulemper
Forenklet pseudo-statisk metode	Kan bruke samme verktøy som brukes i statiske stabilitets-analyser (for eks. GeoSuite, og PLAXIS)	- Det er krav på min. sikkerhetsfaktor, *FS*. Merk lavere materialfaktorer for seismisk situasjon. - Må vurdere å tas hensyn til seismisk topografisk forsterkningsfaktor S_T.
Dynamisk analyse	Grensetilstand er basert på akseptable forskyvninger mht konstruksjonens funksjonalitet og ikke min. *FS*.	- Krever avanserte FE analyser. - Spesielle krav for valg av representative jordskjelvtidsserier i analyser.

SVV, rapport 640

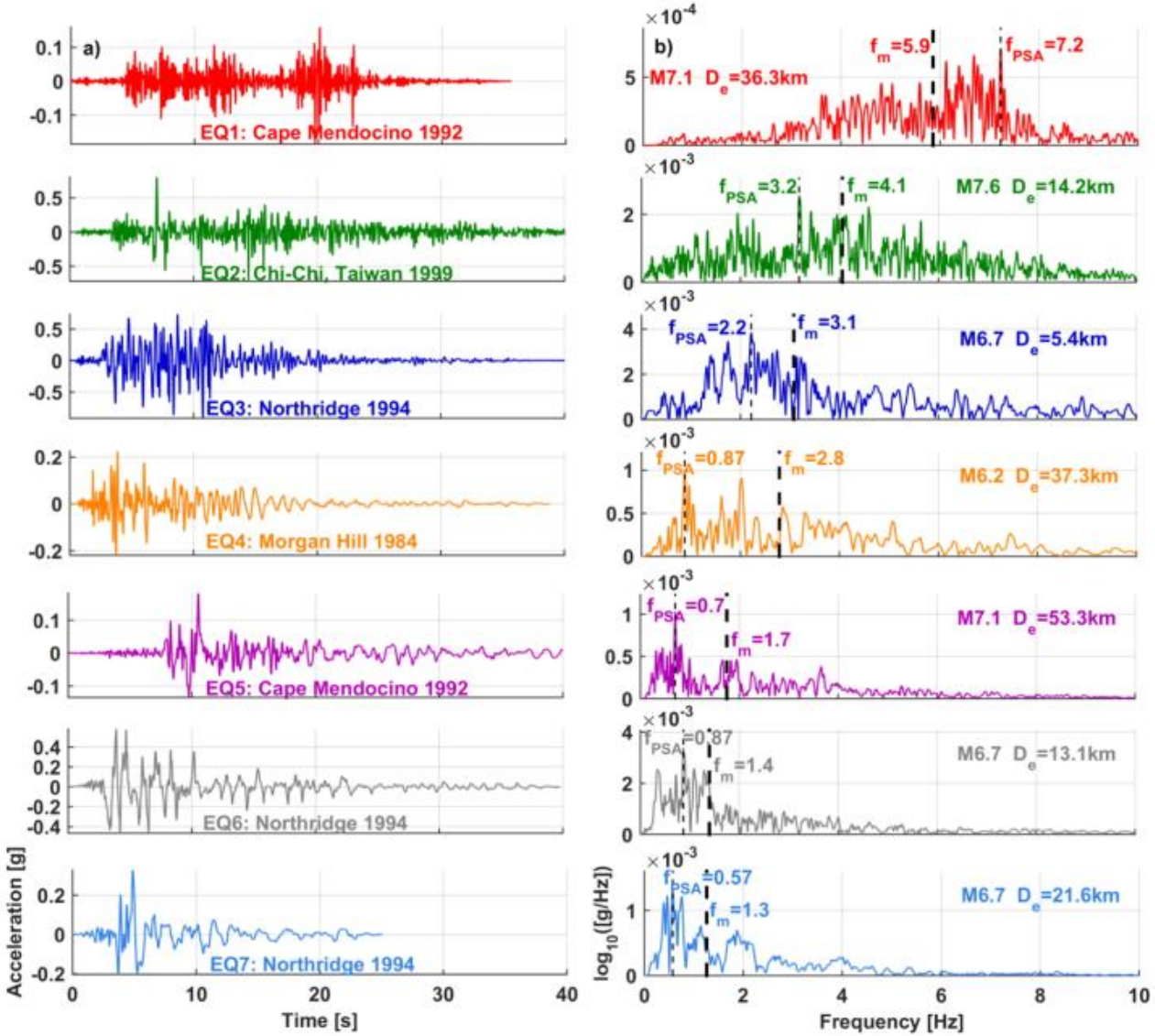
Numerisk modellering/spenning-deformasjon analyser

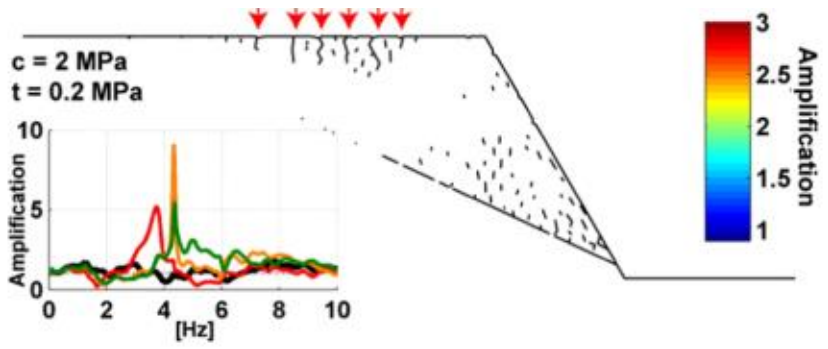
Rock mass	
Density, ρ [kg/m^3]	2650
Young's modulus [GPa]	30 (10–90)
Poisson's ratio	0.2
P-wave velocity V_P [m/s]	3547
S-wave velocity V_S [m/s]	2172
Sliding surface	
Friction angle, ϕ [°]	30
Cohesion [MPa]	0
Tensile strength [MPa]	0
Residual cohesion [MPa]	0
Residual tensile strength [MPa]	0
Fracture normal stiffness [GPa/m]	10
Fracture shear stiffness [GPa/m]	5
Voronoi discontinuities	
Friction angle, ϕ [°]	40
Cohesion [MPa]	Variable (2, 5, 10, 15)
Tensile strength [MPa]	Variable (0.2, 0.5, 1, 1.5)
Residual cohesion [MPa]	0
Residual tensile strength [MPa]	0
Fracture normal stiffness [GPa/m]	10
Fracture shear stiffness [GPa/m]	5

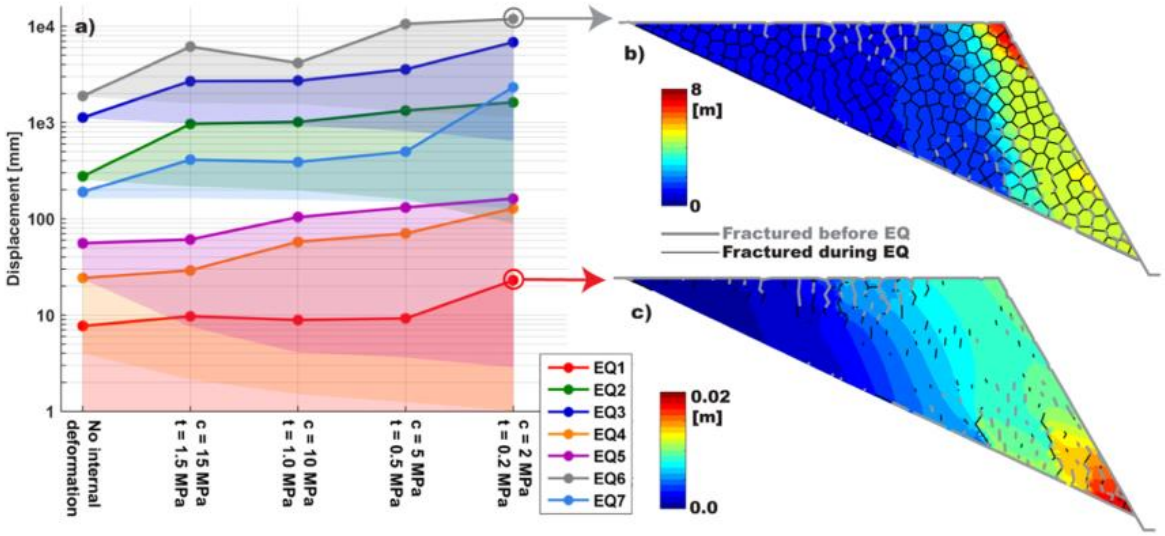


Gischig et al., 2015

Numerisk modellering/spenning-deformasjon analyser

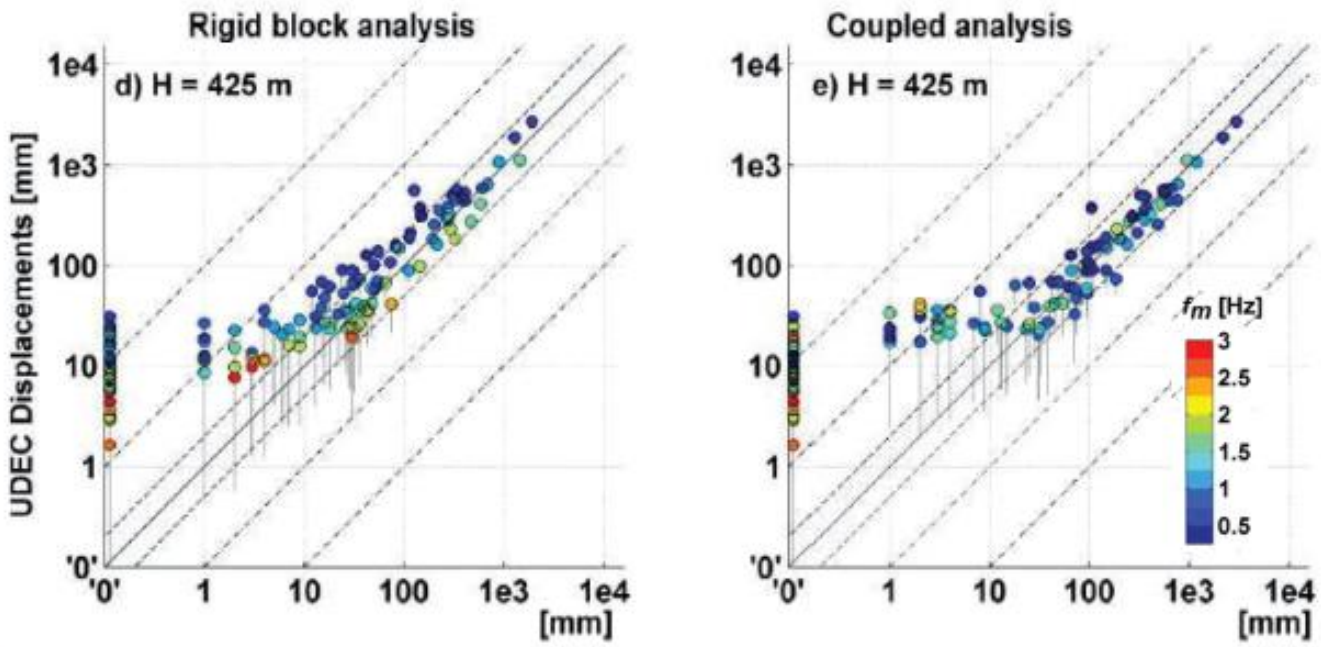


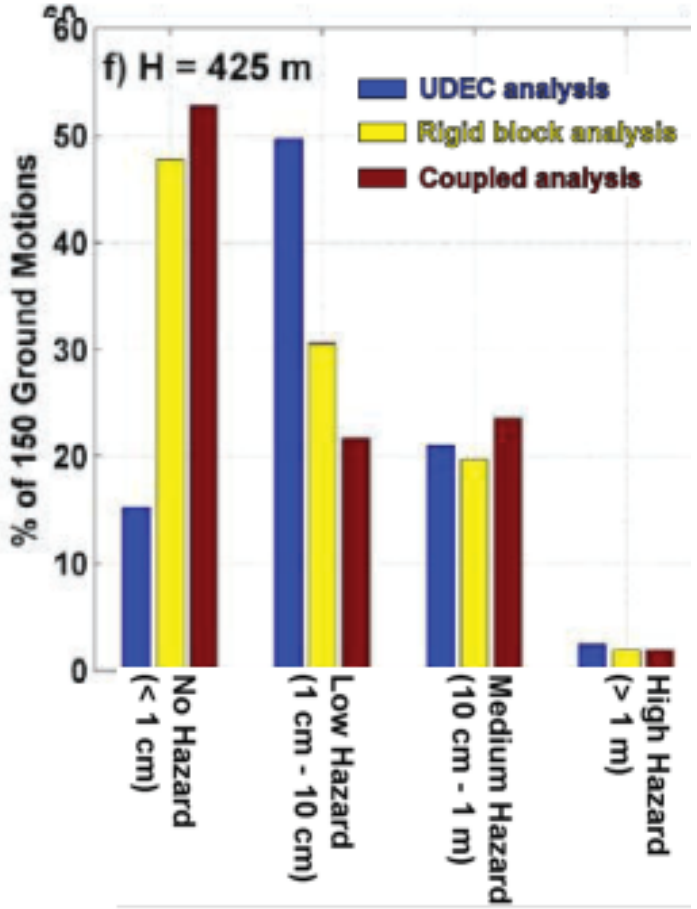




Gischig et al., 2015

Numerisk modellering/spenning-deformasjon analyser





Gischig et al., 2015

SWECO

Sikring av bergskjæringer og tilstøtende områder

Utfordringer

Metoder

Materiell

og kompetanse

UTFORDRINGER
OG
METODER

Utfordring nr. 1

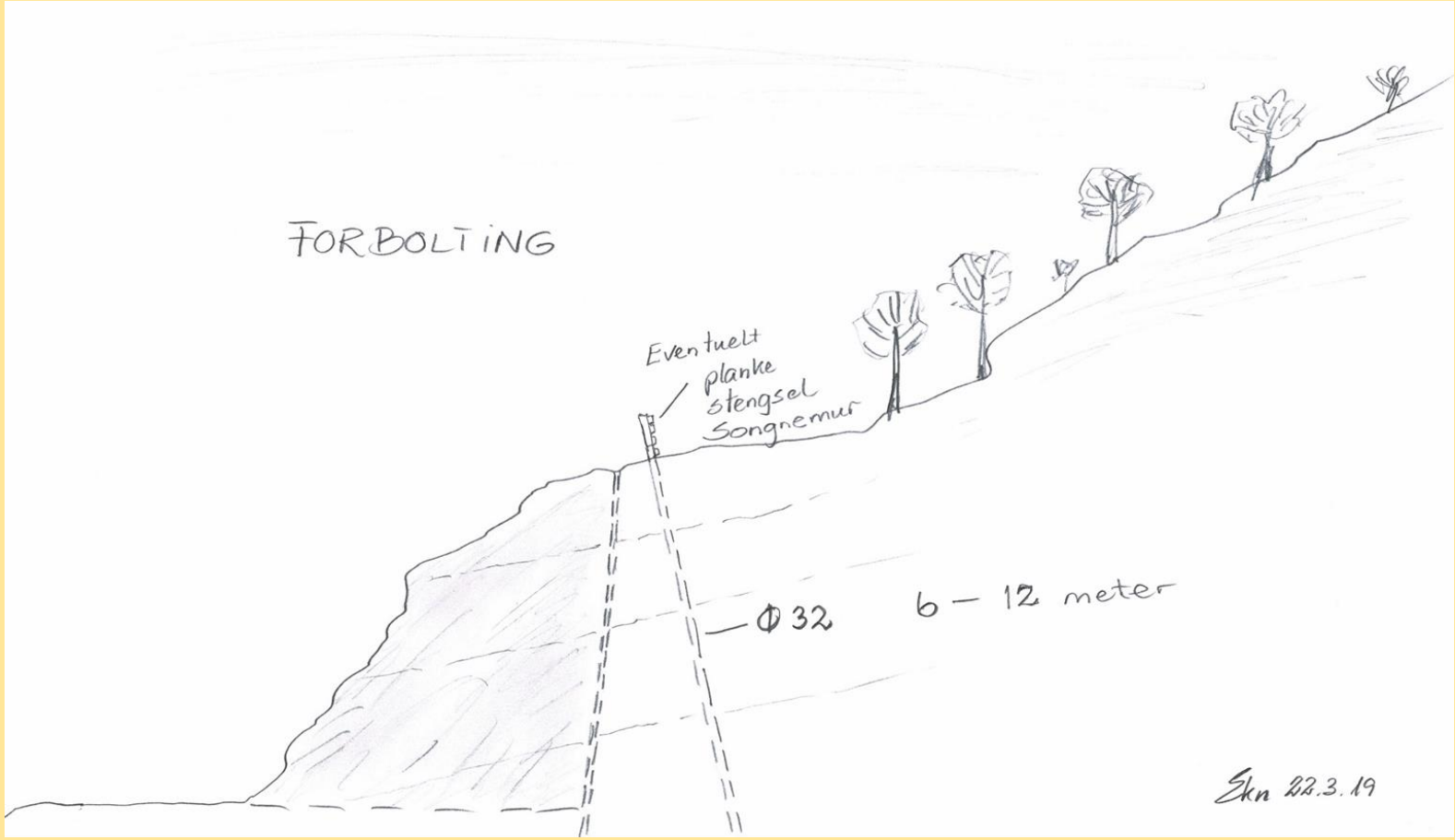
Arbeidsrekkefølge
Sikkerhet / HMS

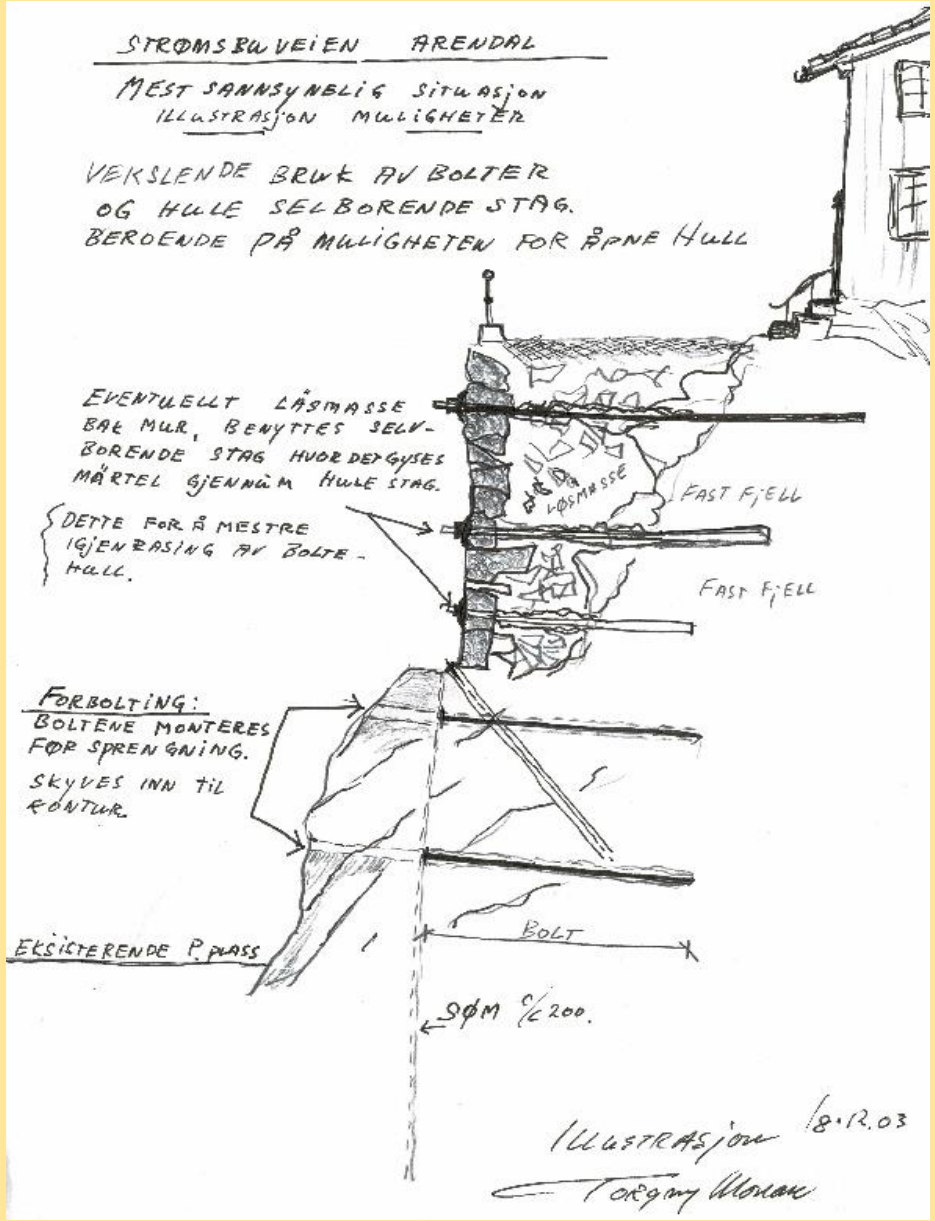
Vi kommer alt for sent inn i planlegginga.

Planlegging av fjellsikring bør inn først, men kommer stort sett inn sist.

Dårlig planlegging / arbeidsrekkefølge / tidspress / kontroll utgjør en god del av bakenforliggende årsaker til feil som gjøres.

Vertikal forbolting er vel de fleste kjent med, men horisontal forbolting kan også være smart i noen tilfeller.





Faglig sett så bør det spyles ovenfra og ned for å få godt resultat.
Og helst med 1000-1200 lit/ min.

Men ser jo at det tillates spyling nedenfra og opp med gjødselvogner.
Er det slik vi vil ha det ?

Foreløpig ikke en bolt eller stag her, men her kan man ikke ta noen sjanser. Som vi har sett blitt gjort på tidligere veianlegg.

Steile slepper kan gi utfordringer og må boltes tilstrekkelig med lange nok bolter eller stag.

Skjæring med forsterket nett-system, sprøytebetong og drenshull.

Uten drenshull kan det bli slik

NORSK BERGKONTROLL AS

Skjæring forsterket med sprøytebetong der det er boret godt med drenshull.

På øvingsfeltet
til Visinor Fjell
I Kristiansand
er det ikke
mye vann igjen
i fjellet ☺

NORSK
BERGKONTROLL AS

Fuglefjellet på Lunde eller bergskjæring ? Tror mange anlegg og entreprenører har opplevd dette.

Hva slags mørtel og hva slags resultat ? Blanding og gysing med mørtel er et fag som bør vektlegges mye mer.

Nonset 50	9-11 lit pr. 25 kg sekk
Zinkbolt	5,7-6,3 lit pr. 25 kg sekk
BoltZink	6-7 lit pr. 25 kg sekk.

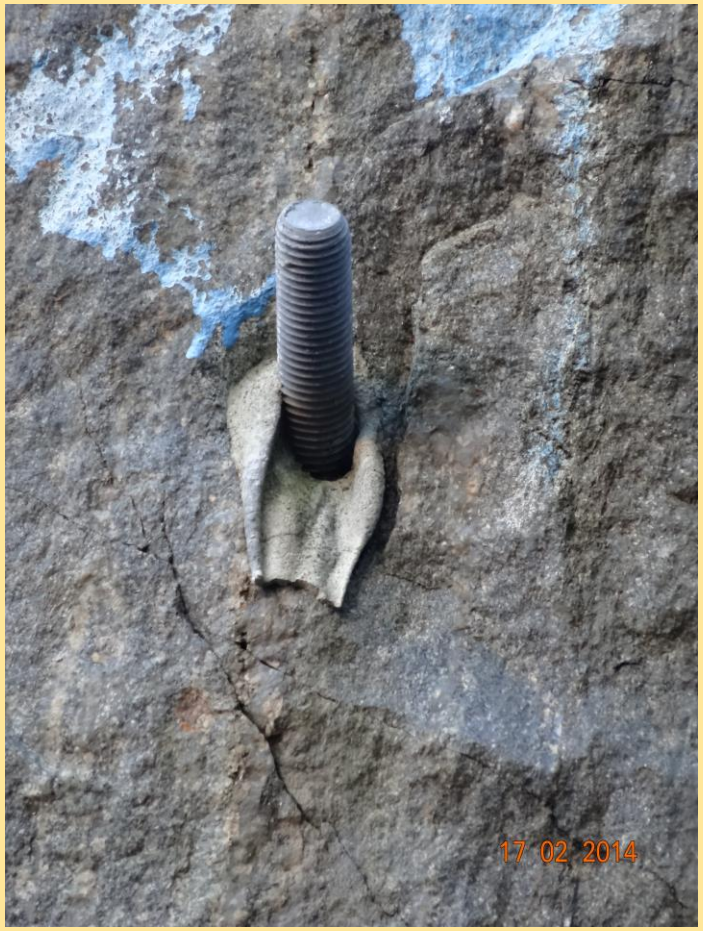
Noen bruker Nonset 50 fordi den blir så flytende og fin.
Lett å blande, men gir det bra nok resultat ?

Det er vel slik konsistens vi ønsker at mørtel skal ha. Hvor mange klarer å få det slik ?

Passiv og aktiv bolt.

Hvorfor har SVV havnet på at passiv fullt innstøpt bolt er best ?

Mistenker at de har tenkt mer på levetid enn på sikkerhet.



Stag i sikringsarbeidet

Bør ikke forvente å få mutter på dette staget

Meget fin kombinasjon, sprøytebetong og stag.

MATERIELL
OG
KOMPETANSE

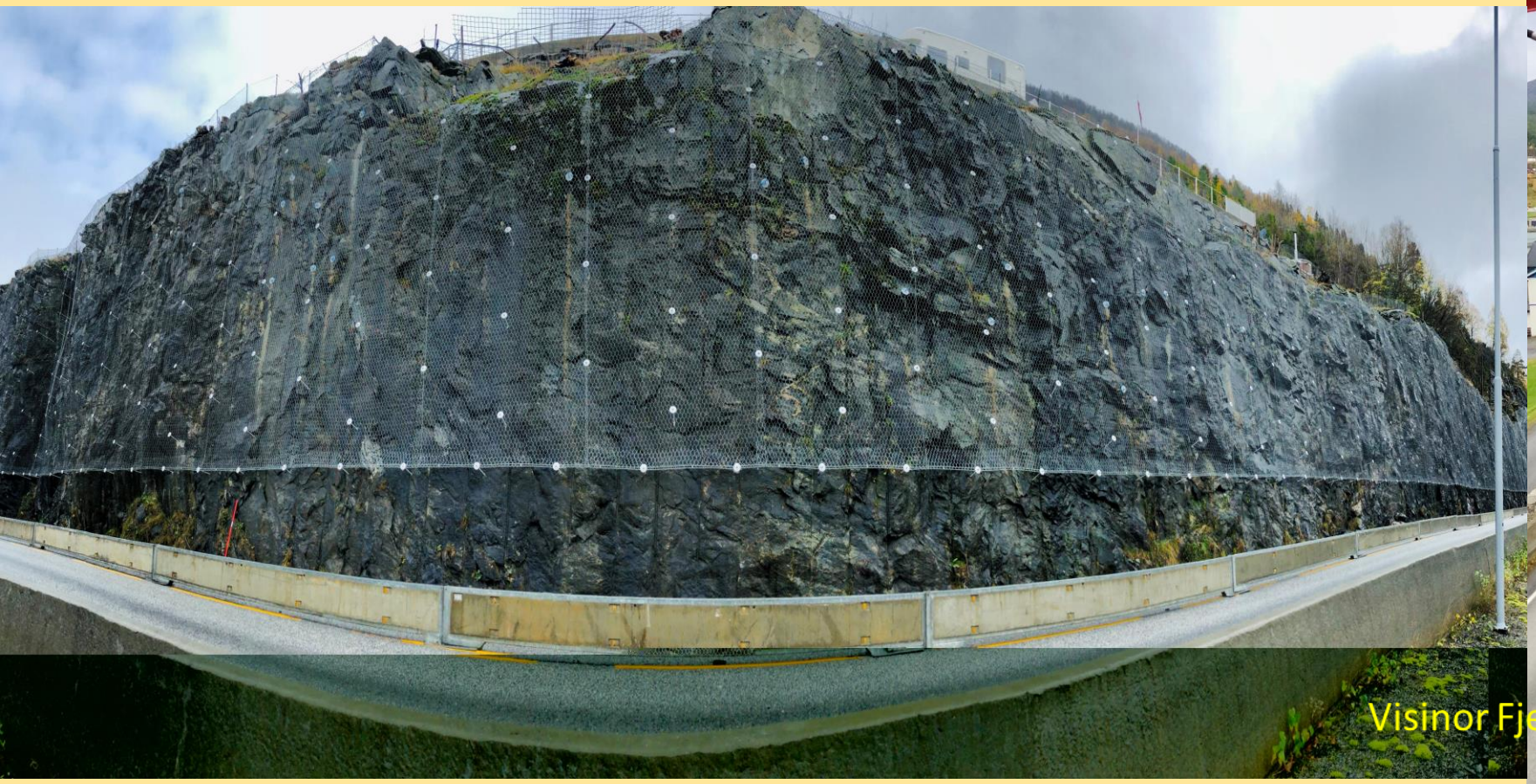
Dette bildet fra Deildo inneholder det meste.

Fanggjerde
Stag
Sprøytebetong
Erosjonsnett stål
Erosjonsnett Kokos
Bergbånd
Lite sikringsgjerde.

NORSK BERGKONTROLL AS

Andre fornuftige løsninger.

Isnett



Isnett
I
aksjon

NORSK
BERGKONTROLL AS

Steinsprangnett
Svart PA6 plast
I stedet for grå
PVC

Nærmest
usynlig
i fjellet.

NORSK
BERGKONTROLL AS

Wireforsterket nett

For store istyngder.

NORSK BERGKONTROLL AS

Wireforsterket nett

Over større bergparti

NORSK BERGKONTROLL AS

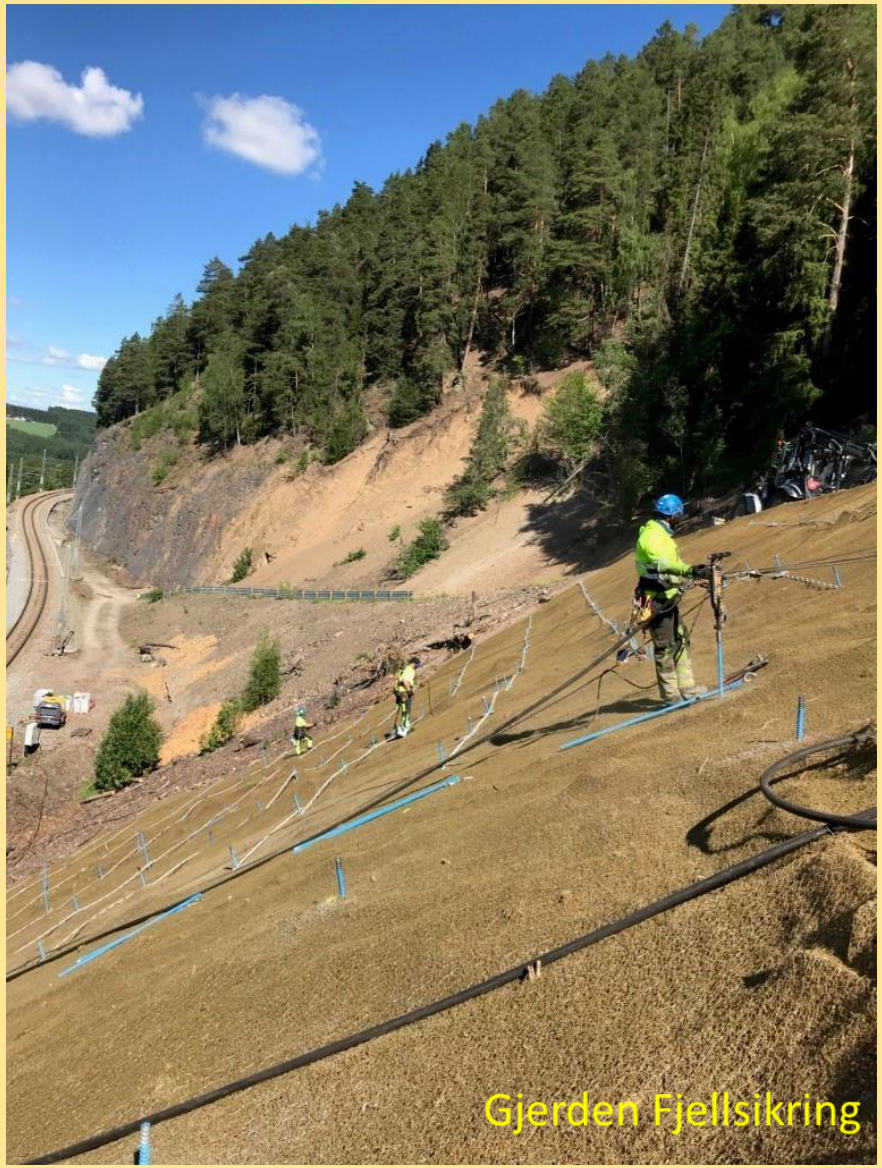
Wirenett over store eller små bergparti

NORSK BERGKONTROLL AS

Ubåtnett
Ringnett

Det sterkeste nettet på markedet

Store eller mindre partier med erosjonsnett



NORSK BERGKONTROLL AS

Ikke undervurder tyngden av våte jordmasser.

Erosjonsnett MÅ festes skikkelig.

Når man legger isnett over flate partier så bør man strekke wirer mellom boltene for å holde oppe nettet

Systemlevetid
Korrosjonsproblematikk.

Wireklemmer, sjakler og til dels wire er svake ledd i systemet. Sannsynligvis må vi over på rustfritt etter hvert for å øke systemlevetida.

NORSK BERGKONTROLL AS

Her ser man to måter å feste wire i hverandre og i øye på stag. Faglig sett synes jeg det til venstre ikke er særlig bra, selv om det tydeligvis er godkjent og blir godtatt. Men er det virkelig slik vi ønsker det ?

OPPSUMMERING

BERG OG FJELLSIKRING ER ET EGET FAG SOM KREVER KUNNSKAP OM HVA SOM SKAL GJØRES.

Bruk firmaer som har kompetanse og som kan levere kvalitet.

KREVER EN MASKINPARK SOM ER TILPASSET ARBEIDET OG ER I SAMSVAR MED ARBEIDSMILJØLOVEN.

Billigste tilbud kan fort gi det dyreste sluttresultatet, og masse krangel.

BERG / FJELL OG RASSIKRING ER FORANKRET I LOVVERKET

Pass på at sikring blir utført på rett tidspunkt. Før bygget er oppe og ikke etter.

IKKE LOV Å BYGGE ELLER GJØRE TILTAK UTEN Å SIKRE OMRÅDET FOR RAS ,SKRED,STEINSPRANG O.L.

Pass på at ansvarlig søker har rett kompetanse

DET ER STOR FORSKJELL PÅ SIKRING I DAGEN OG I TUNNEL

Forskjellige utfordringer gir forskjellig tilnærming og arbeidsmetoder.

FORVALTNING DRIFT OG VEDLIKEHOLD ER MEGET VIKTIG FOR Å OPPRETTEHOLDE DET PÅTENKTE SIKRINGSNIVÅET.

Pass på at FDV og vedlikeholdsplaner er på plass ved overtakelse.

AVSLUTTNING.

Arbeidet til fjellsikringsfirmaer og bruken av forskjellig fjellsikringsmateriell er meget allsidig.

Innovasjon og Kreativitet.

Svært givende arbeid.

NORSK BERGKONTROLL AS

Mange rare plasser vi bruker fjellsikringmateriell

En fjellsikrers hverdag

NORSK BERGKONTROLL AS

Finnes ikke dårlig vær

Bare dårlige klær

NORSK BERGKONTROLL AS

Det heter så fint at en god soldat tar den hvilen han kan få.

Det samme gjelder for en god fjellsikrer.

Dette bildet til minne om en god fjellsikrer

Alex

som gikk bort i kreft så alt for tidlig.

TAKK FOR OPPMERKSOMHETEN

NORSK BERGKONTROLL AS

09.06.2021

SPRENGNINGSTEKNIKK

ESPEN HUGAAS
ORICA NORWAY AS

Innledning

Hvorfor sprenger man fjell?

General

Sprengstoff = Energi

Kjemisk Energi

Mekanisk Arbeid

Sprengstoffets detonasjon genererer en støtbølge i berget som reflekteres som strekkbølger og det dannes ny sprekker rundt hullet. Sprenggasser med høy temperatur og trykk (900 l / kg) strømmer ut i nye og eksisterende sprekker/slepper, berget brytes opp og kastes.

Energi og effekt

En CAT dumper forbruker 400 kg diesel i timen som tilsvarer en energi på:

400 kg x 40 MJ/kg= 16 000 MJ

Dette gir en effekt på 16 000 MJ / 3 600 s = **4.4 MW**

Dieselkost (13 kr/kg) = 4.4 / 5200 = 1182 kr / MW

1 stk Eurodyn 45x540 mm dynamitt har en energi på 4 MJ/kg = 4 MJ

Denne energien omsettes med en hastighet på 5000 m/s dvs. 0.00011 s

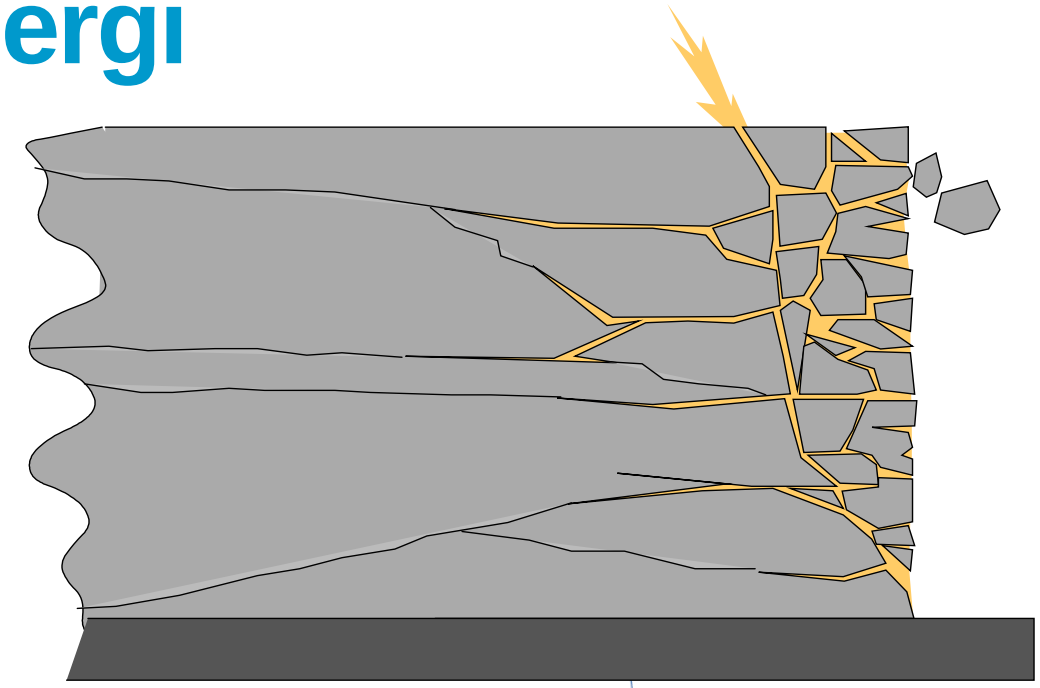
Dette gir en effekt på 4 MJ / 0.00011s = **36 363 MW**

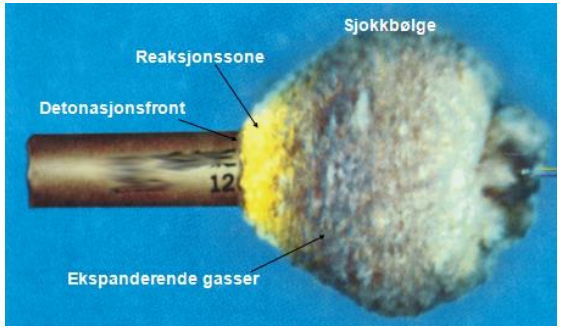
Dynamittkost (34.82 kr/kg) = 0.00096 kr/MW

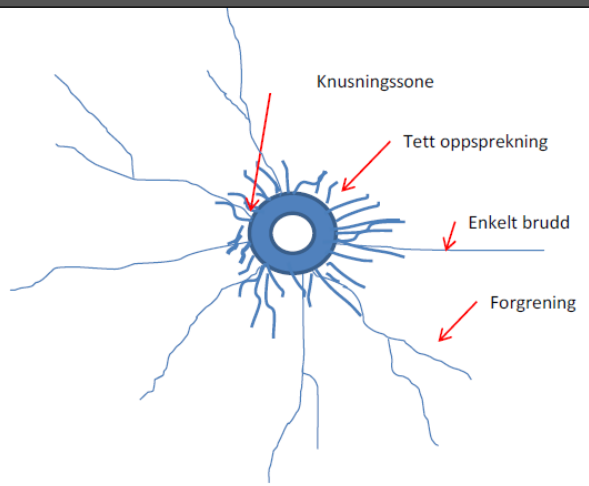
1 kg Dynamitt har samme effekt som 8264 dumpere

Sprengstoff – Effekt og Energi

- Trykk- og strekkbølger overføres fra sprengstoffet til fjellet
- Fjellet sprekker opp
- Sprenggassene utvider sprekkene
- På samme måte som de nydannede sprekkene utvides av gassene, vil også de eksisterende sprekkene i fjellet utvides







Sprengstoff

- Det vi vil utnyttet energien til er:
  - Fragmentere fjellet
  - Flytte fjellet

- Det vi vil unngå er at energien gir:
  - Sprut
  - Rystelser
  - Luftsjokk
  - Ødelegger det gjenstående fjellet

Hvordan løser vi dette?

Sprengningsteknikk - Hva er det?

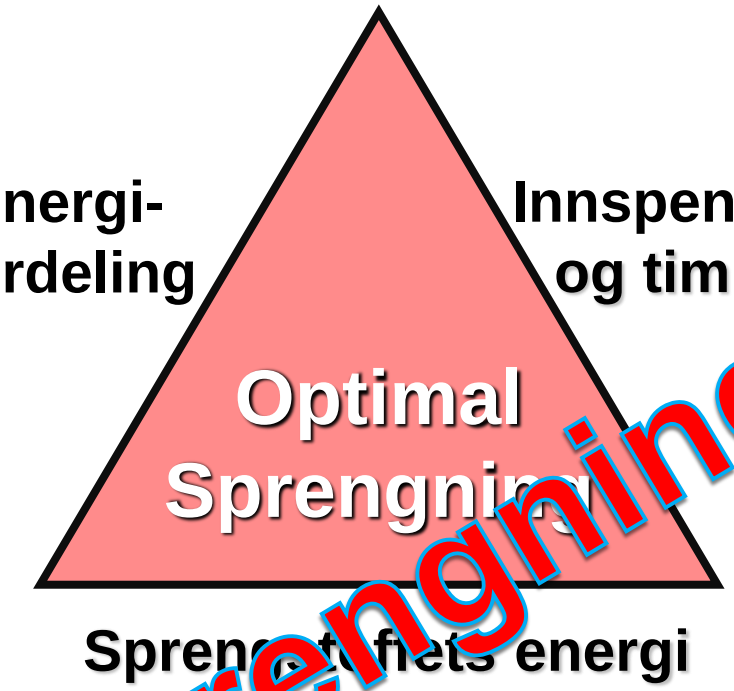
Sprengningsteknikk = Distribuere energien i sprengstoffet korrekt

- Fragmentering
- Masseforflytning

- <u>Avgrense påvirkningen på gjenstående fjell</u>

- Sprengning av fjell er fagarbeid og er i stor grad erfaringsbasert

Sprengningsteknikk – Hva er det?



Sprengstoffets energi må være stor nok til å skape strukturelle endringer og masse - forflyttning

Sprengstoffets energi må være fordelt riktig i fjellet

Sprengningssene må være innspent lenge nok til at vi får nyttegjort deres energi

Sprengningsteknikk

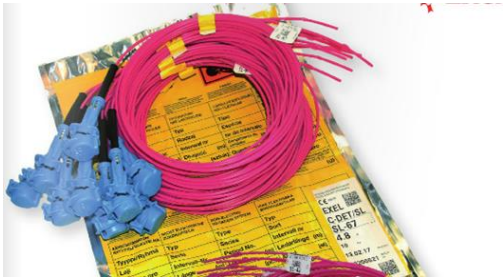
Sprengningsteknikk - Verktøy

Energien i salva styres ved hjelp av å:

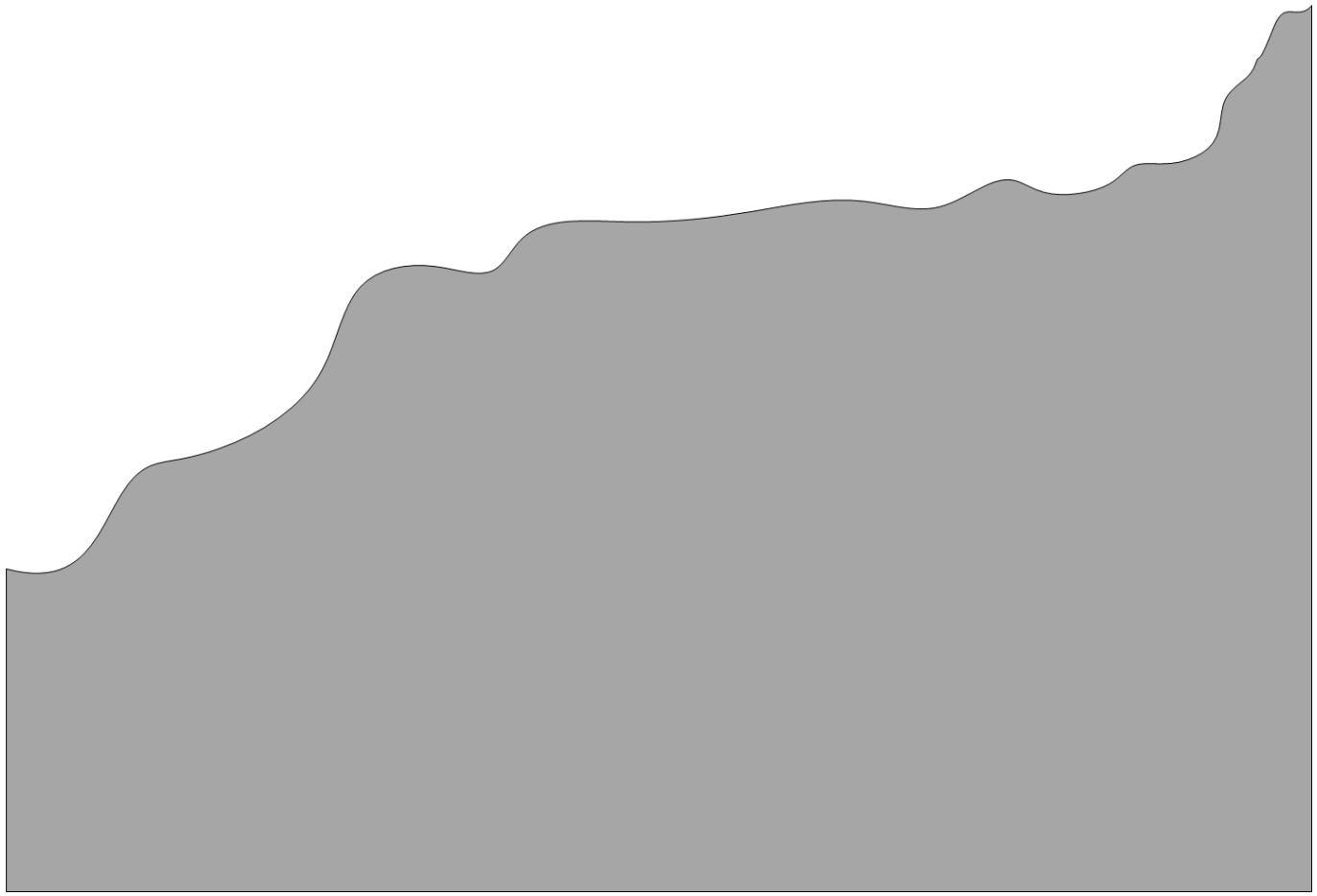
- fordele sprengstoffet i fjellet – Boring

- endre sprengstoffets energi – Valg av produkter
  + hvordan plasseres disse i hullet?

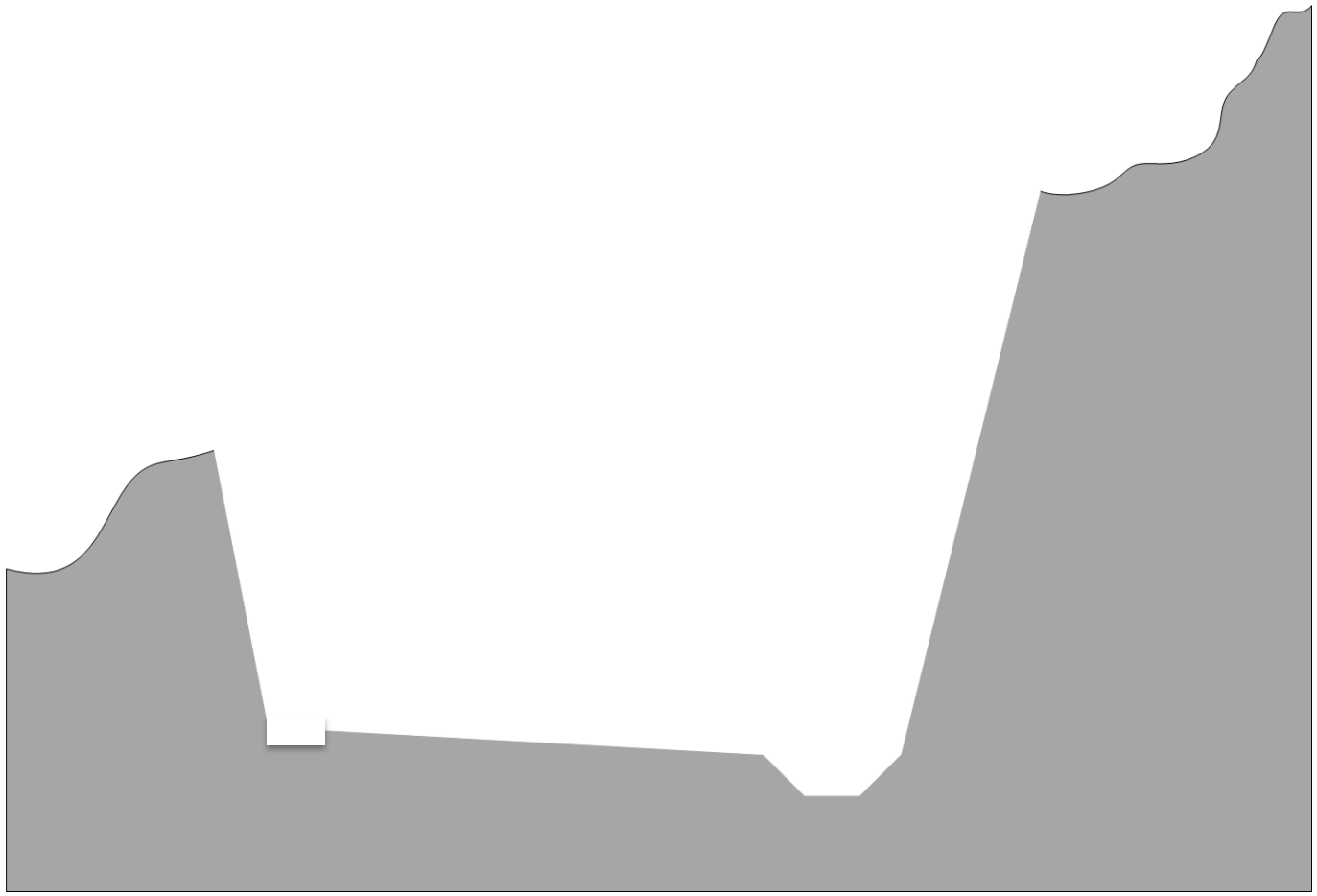
- fordele ladningene pr. tid (Tennsystemer)



Sprengning av en skjæring

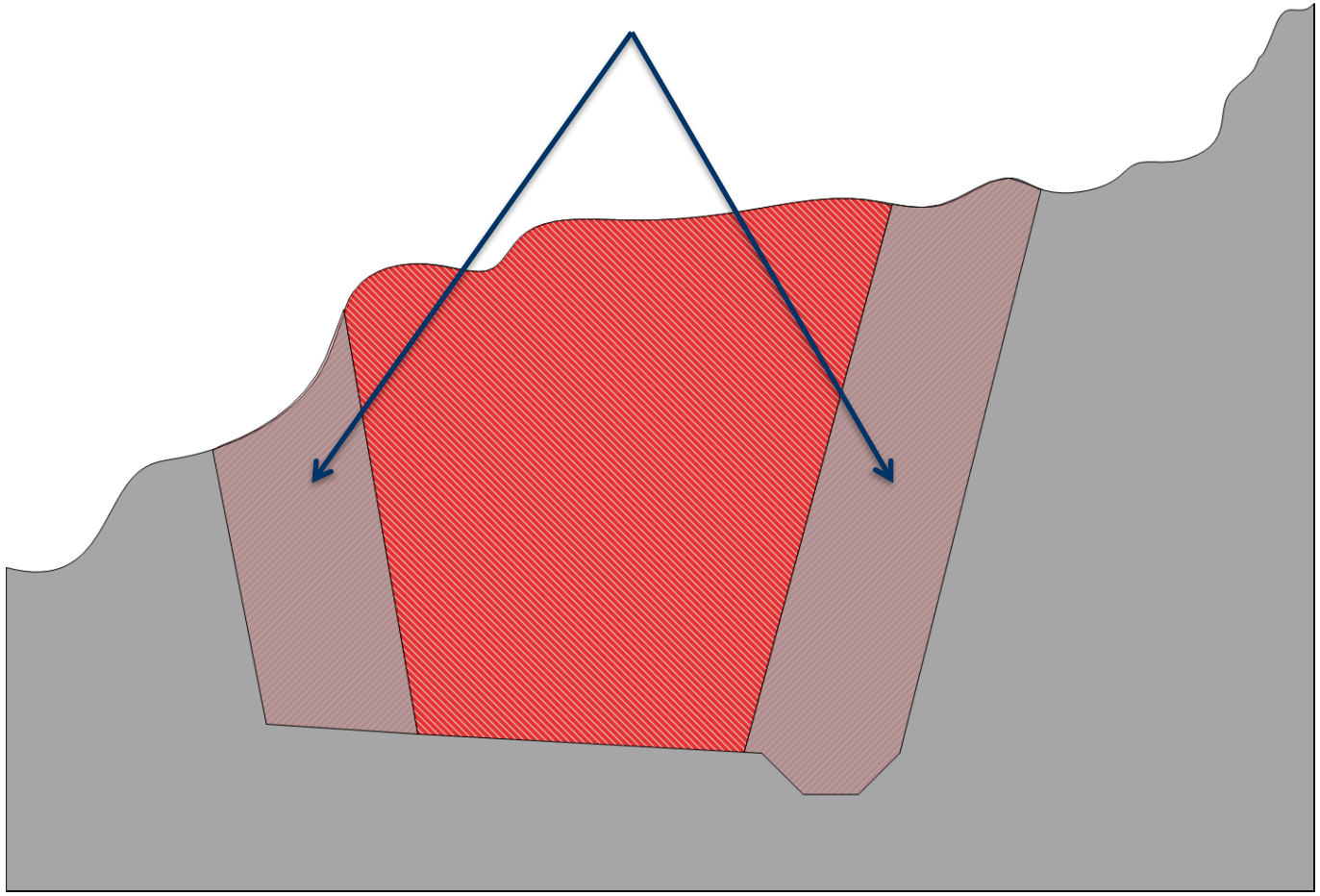


Sprengning av en skjæring

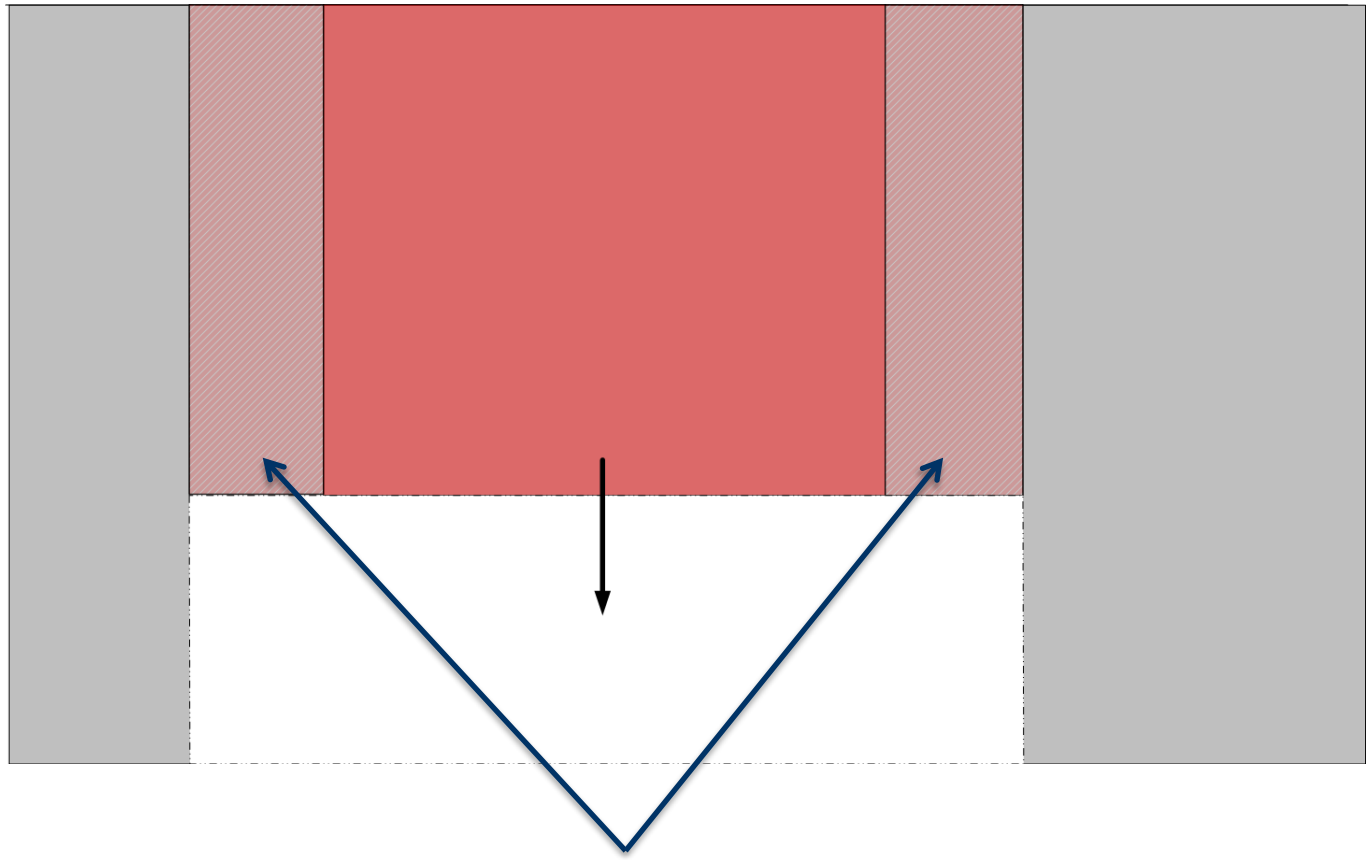


Sprengning av en skjæring

Disse delene må være styrende for sprengningen!



Sprengning av skjæringen

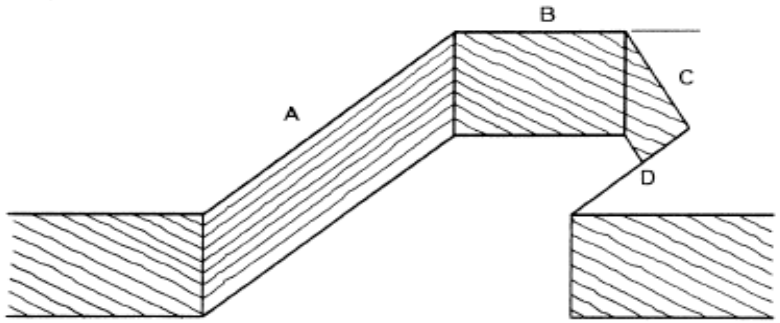


Disse delene må være styrende for sprengningen!

Forutsetninger for god kontur

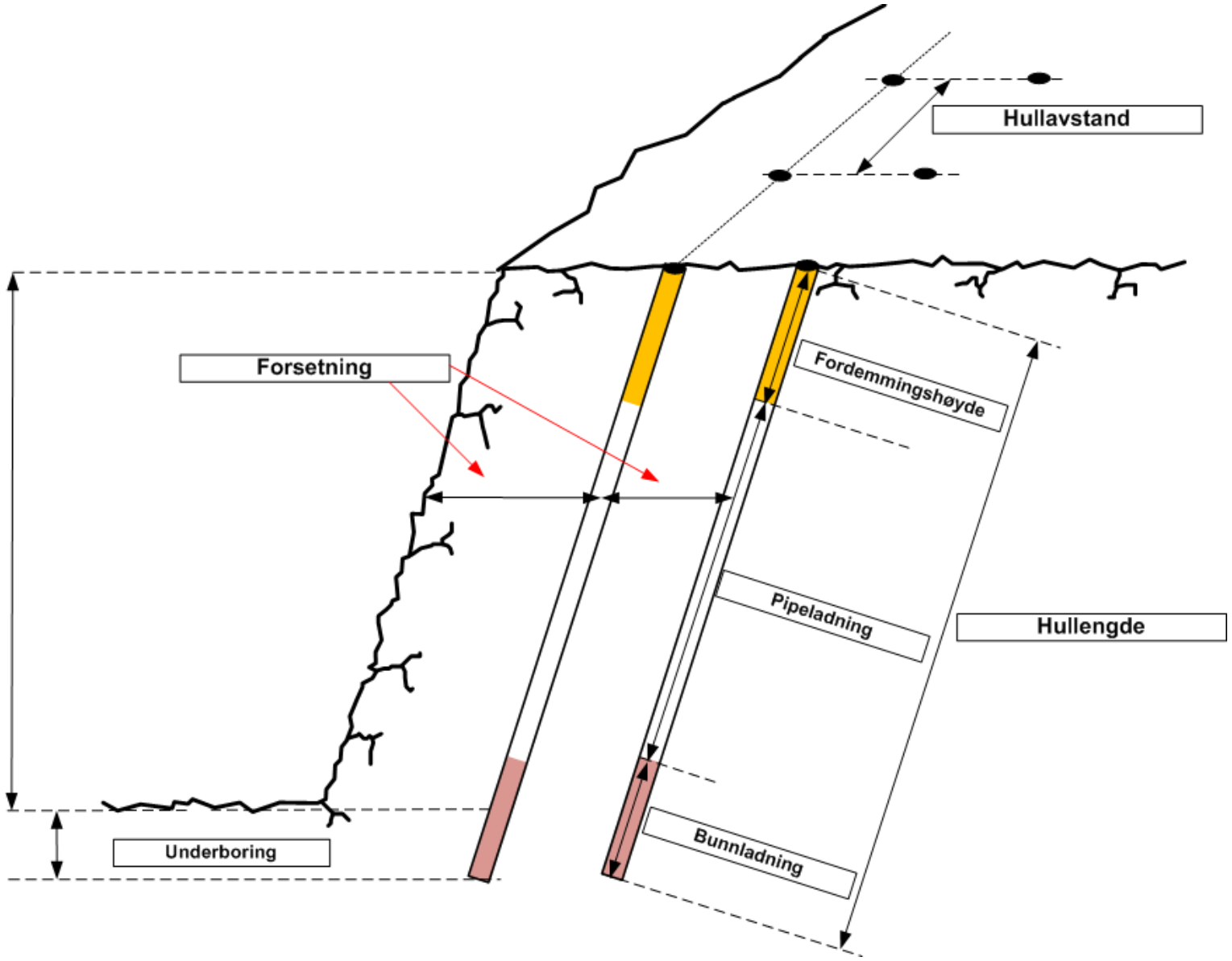
Geologi

Salveplanlegging - Skyteretning



Skyte-etning	Retning	Fragmen-tering	Bakbryting og tåproblemer	Såle-problemer
➔	A	Dårlig	Problemer	Problemer
🡻	B	God	En del problemer	Ok
🡿	C	God	Mindre problemer	Ok
🡸	D	God	Mindre problemer	Mindre problemer

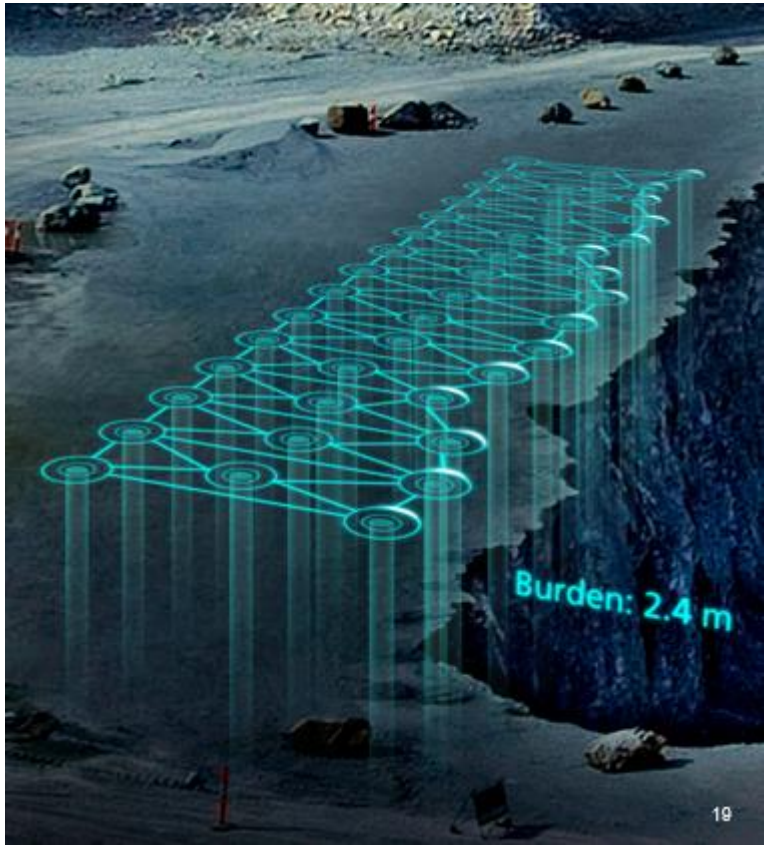
Boring og sprengning - Begreper



Sprengningsteknikk - Bormønster

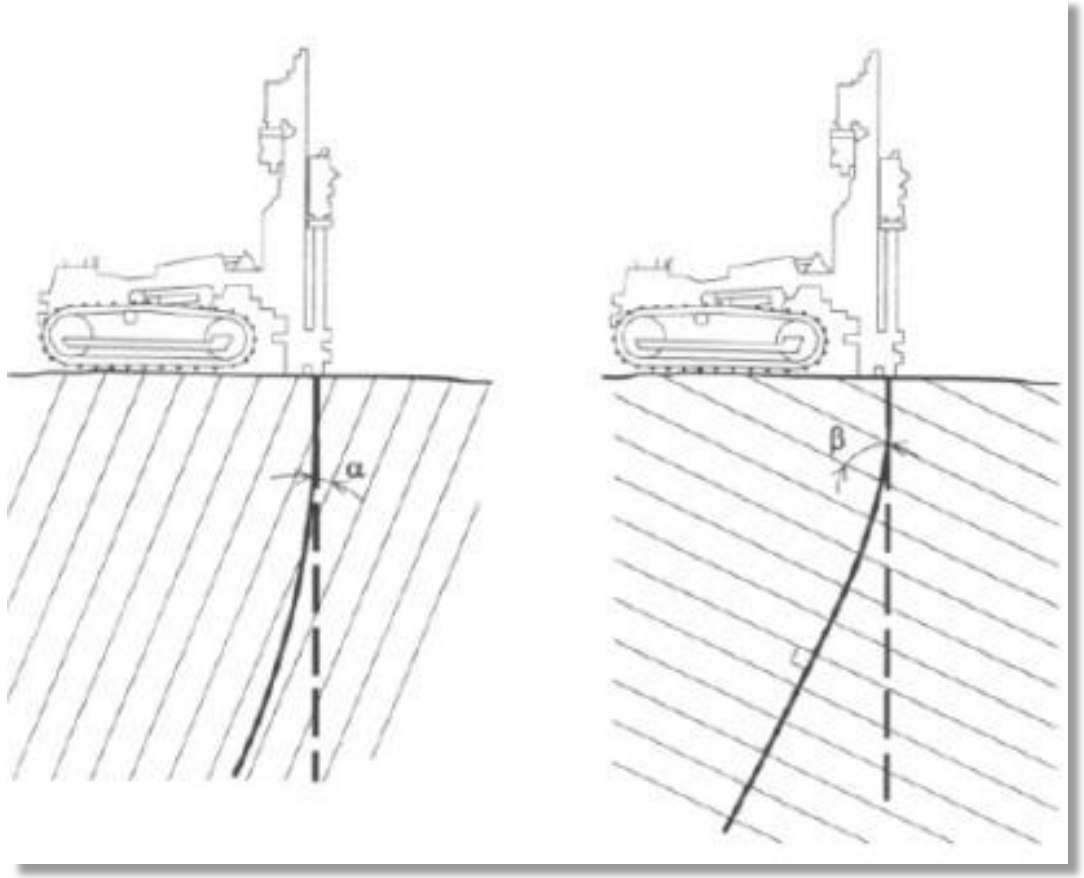
- Bormønster etableres i forhold til:
  - Bordimensjon
  - pallhøyde
  - Definerte kriterier (eks. prosesskoden)

- Typisk i dag vil det benyttes bordimensjoner grovere enn 64 mm på pallsprengning
- Bormønsteret i produksjonshull vil man optimalisere i forhold til fragmentering og fremkast
- Bormønster i kontur og hjelperast vil man optimalisere i forhold til kvaliteten på gjenstående berg



Boreavvik

- Selv med bordimensjoner >70mm vil det ofte være avvik på borhullene
- Sannsynligheten for boravvik øker ved:
  - Økning i hullengden
  - Reduksjon av dimensjonen på borkrone og borstål
  - Økt slagverkstrykk
  - Økt kastvinkel
  - Slitte borkroner
  - Oppsprekning og lagdeling
- Kontroll av boreavviket er helt essensielt for å oppnå et godt salveresultat



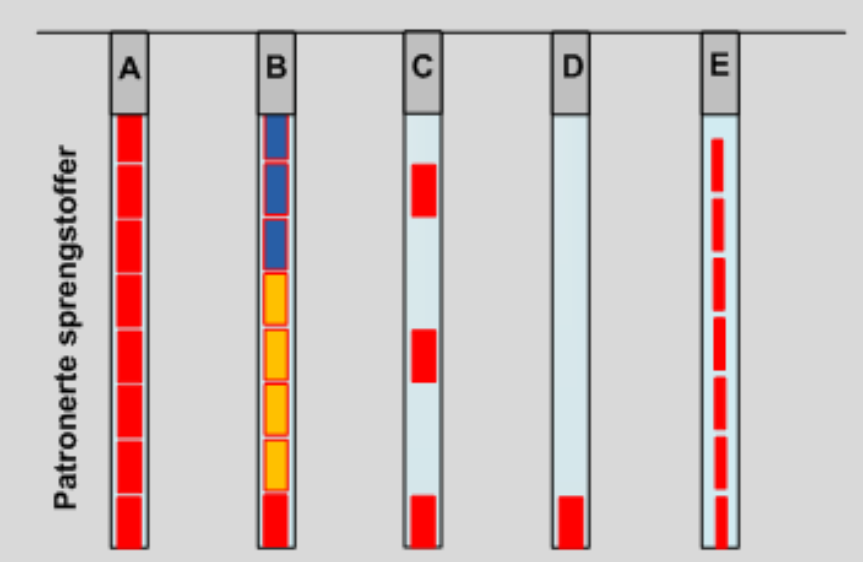
Boreavvik

- Hvilke avvik kan vi leve med?
- Spesifisert av byggherre?
- Dokumentasjonen av boringen er et viktig verktøy i evalueringen av salveresultatet

Endring av energimengden i hullet

Energimengden i hullet endrer vi ved å tilpasse:

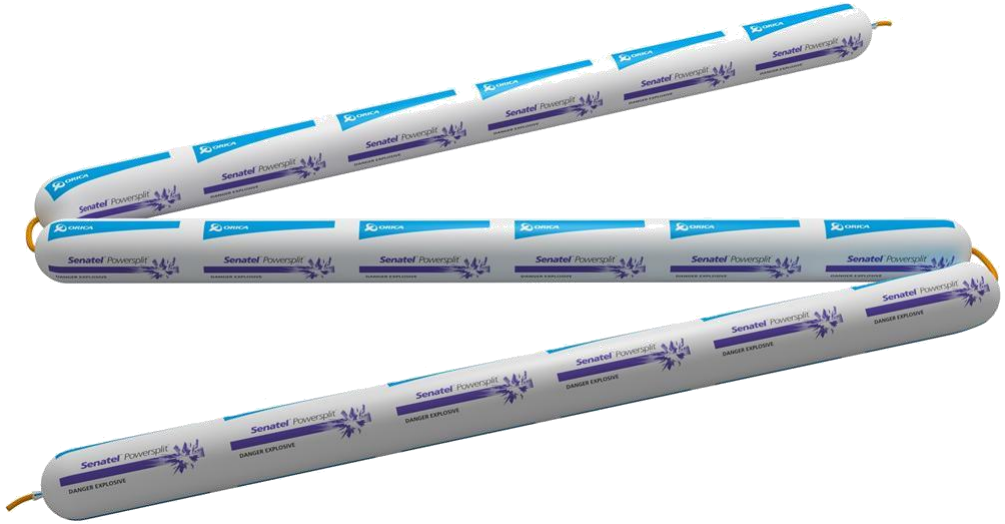
- Hulldiameter
- Bruke sprengstoffer med ulike egenskaper
- Dele opp i flere dekk som adskilles ved help av luft (airdeck) eller fordemmingsmateriale
- Forholdet mellom ladningens diameter og hullets diameter er en viktig parameter (dekoblingseffekt)



Kontursprengning-generelt

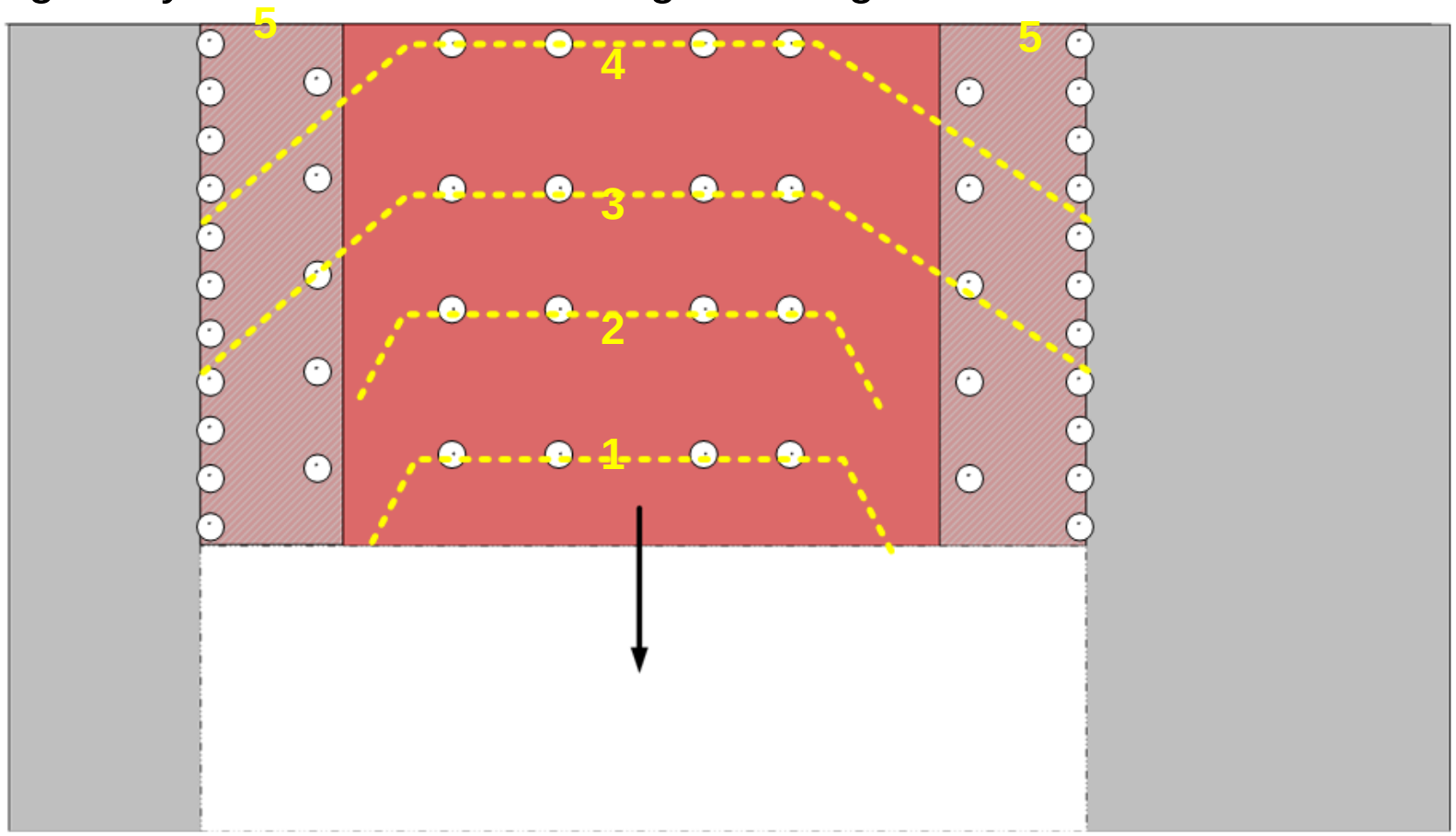
- I en kontur bores det tettere og lades lettere
- Bulksprengstoffer bør unngås i konturen
- Det er en rekke produkter på markedet som kan benyttes til kontursprengstoff
  - Patronerte sprengstoffer
  - Detonerende lunte

Kontursprengning – Patronerte Produkter



Opptenningen - tidsforsinkelse

- Med opptenningen styrer vi hvilken rekkefølge ladningene detonerer



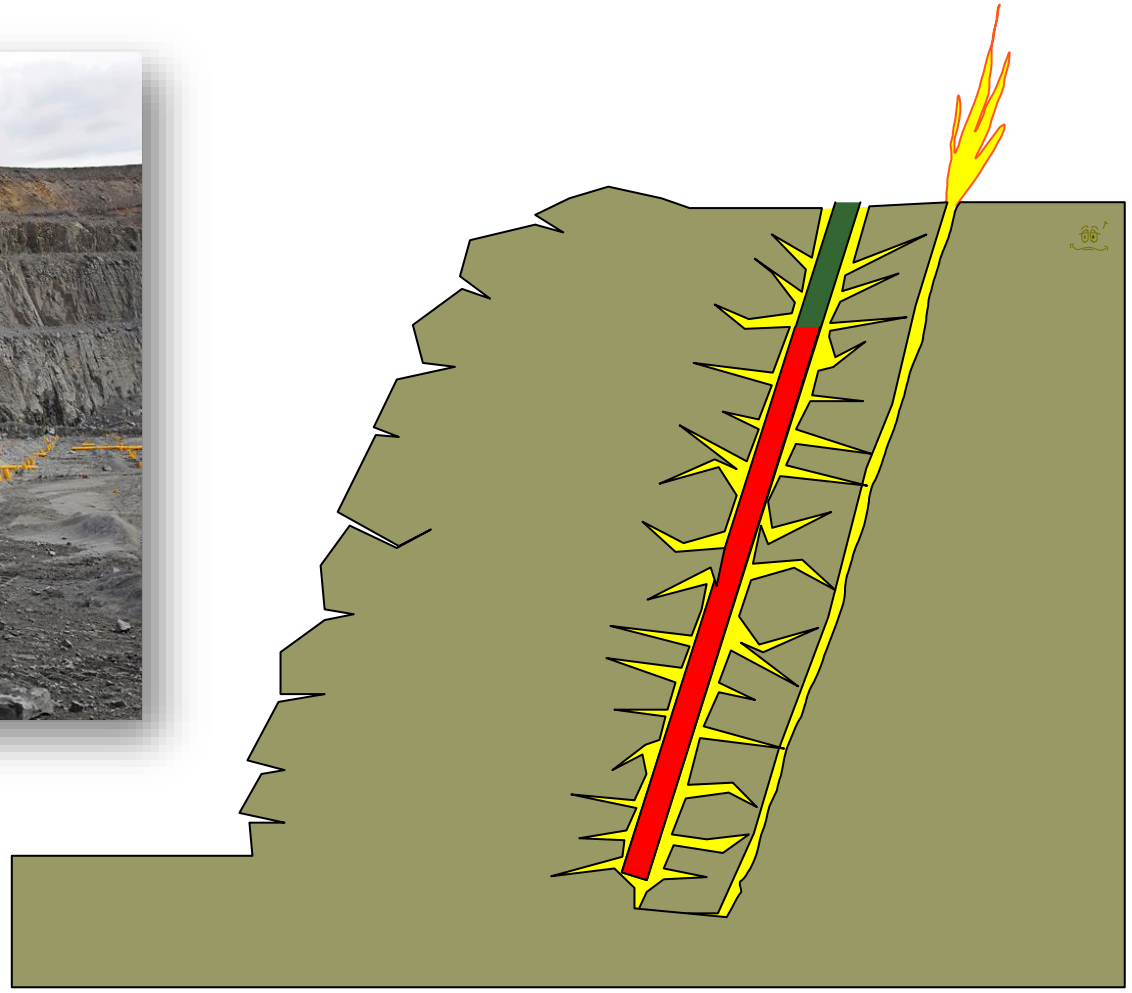
Metode Slettsprengning

- Slettsprengning innebærer at konturhullene sprenges etter resten av salvehullene
- Opptenningen tilpasses resten av tennplanen i salva
- Ofte fordemt
- Lades med redusert ladning
- Hjelperast må ikke ha for stor avstand
- Hjelperast må også lades med redusert ladning

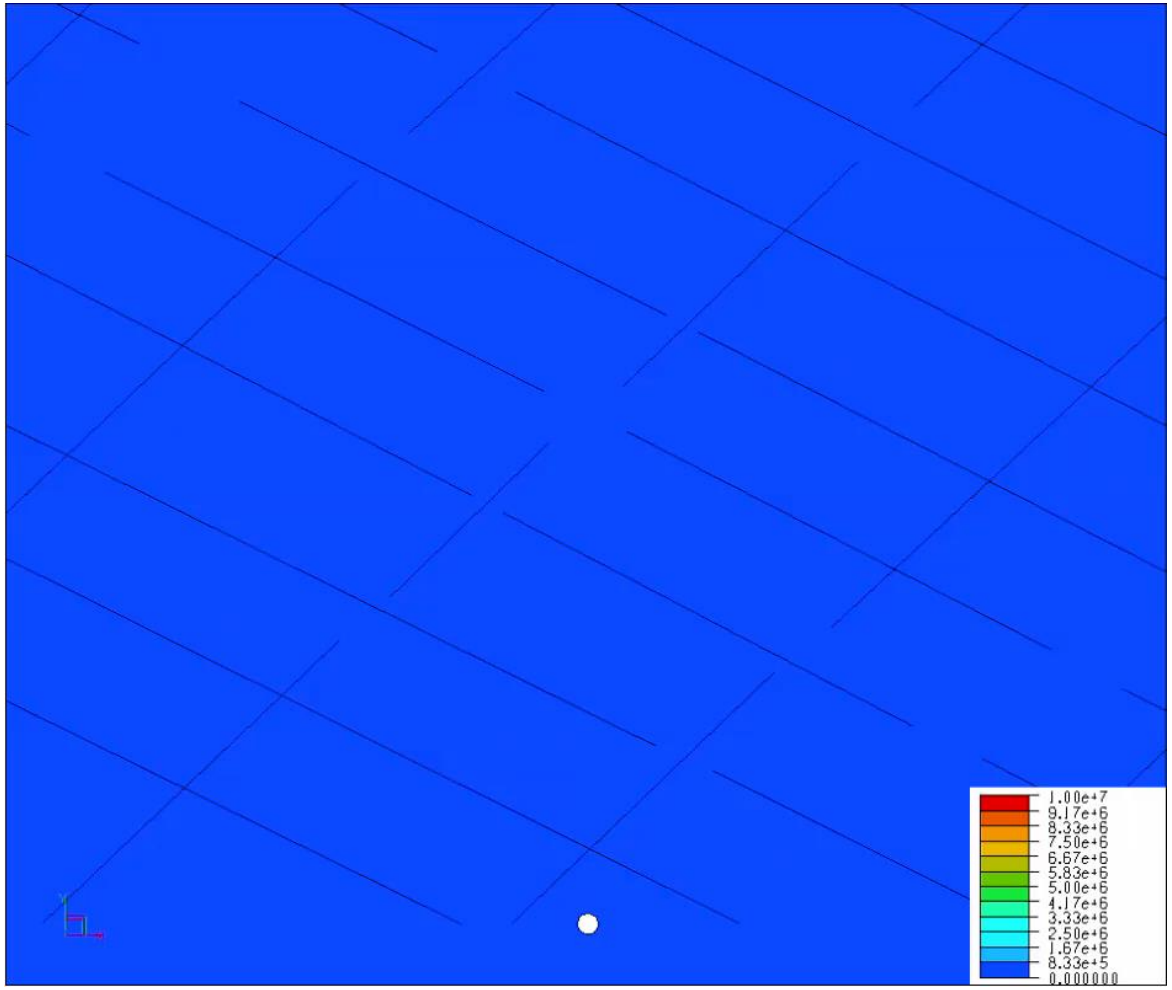
Metode Presplitt

- Forsprekking (preslitt) innebærer at konturhullene sprenges før hjelpehullene og de andre salvehullene.
- Momentan opptenning av alle eller deler av hullene
- Skal skape en bruddanvisning i fjellet og ”kappe” eksisterende sprekkesystemer
- Ingen fordemming – god ventilering av sprenggassene
- Lades med redusert ladning
- Hjelperast må ikke ha for stor avstand
- Gir ingen garantier om redusert skadesone – hjelperast må fortsatt lades med redusert ladningsmengde
- OBS! Vibrasjoner og luftsjokk

Presplitt “stopper” skadesonen

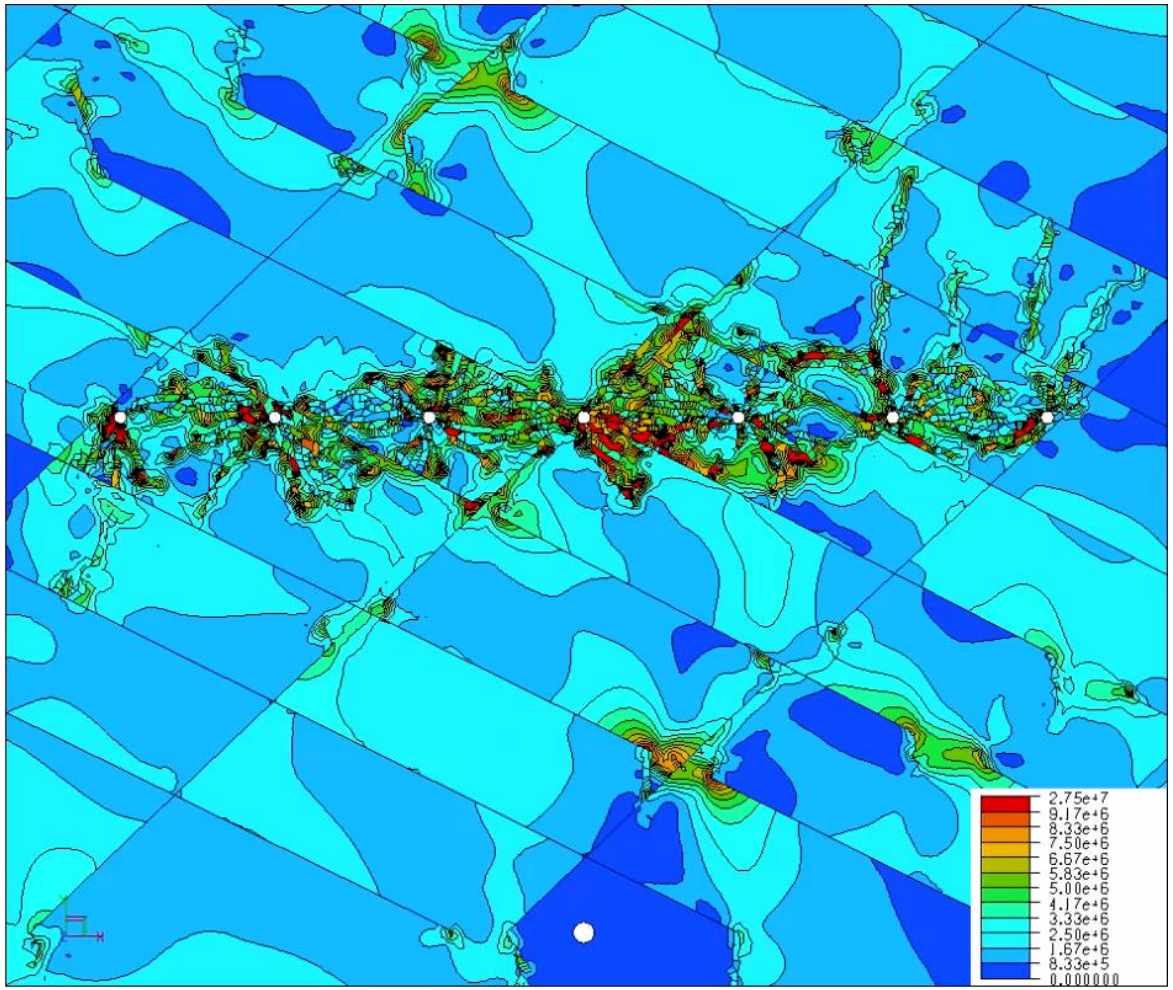


Modellering – uten splitt



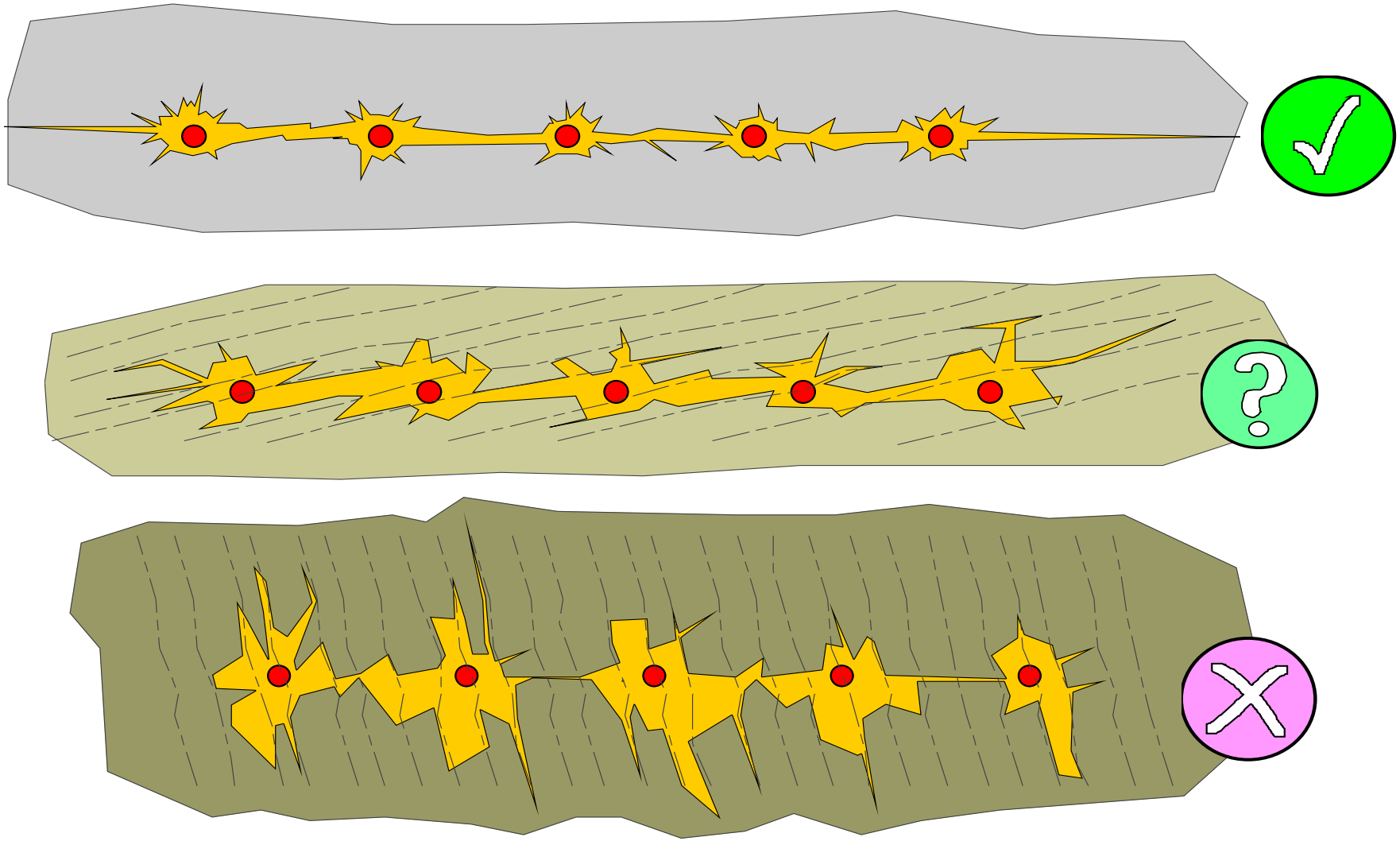
General

Modellering – Presplittet berg



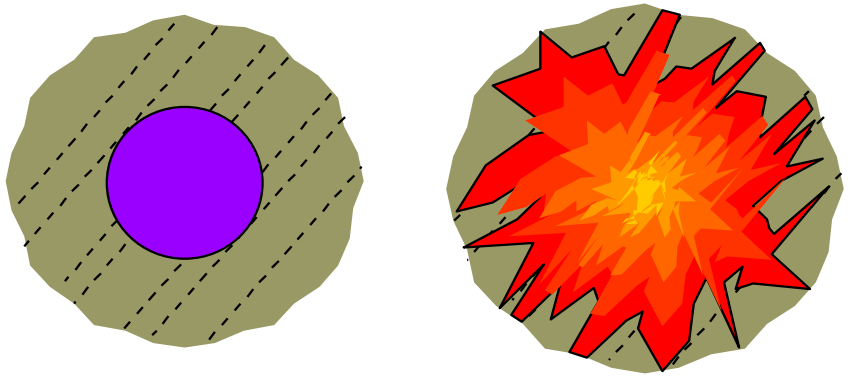
General

Presplittens resultat avhenger av geologien

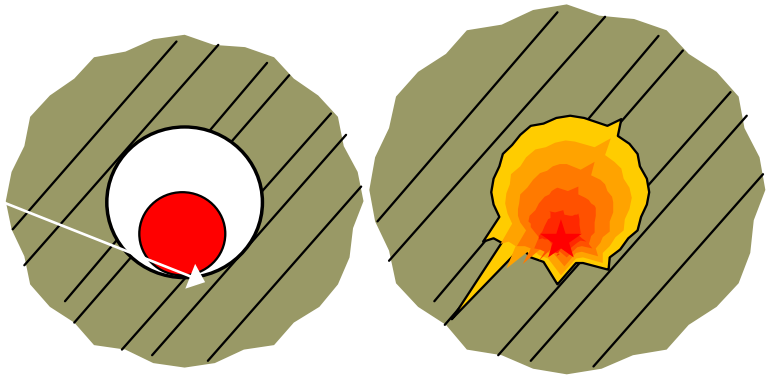


Dekobling

Hullet fyllt

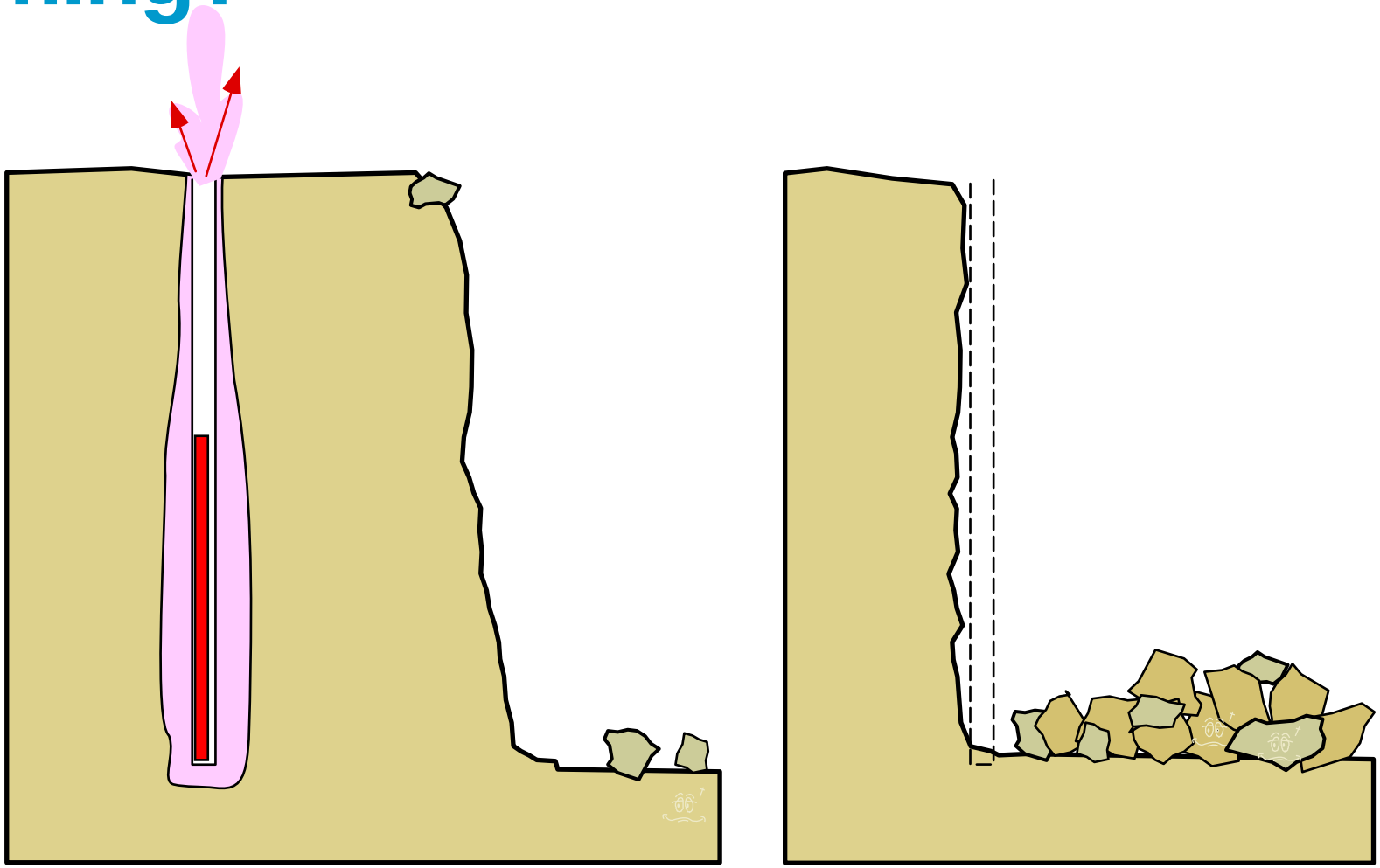


Dekoblet



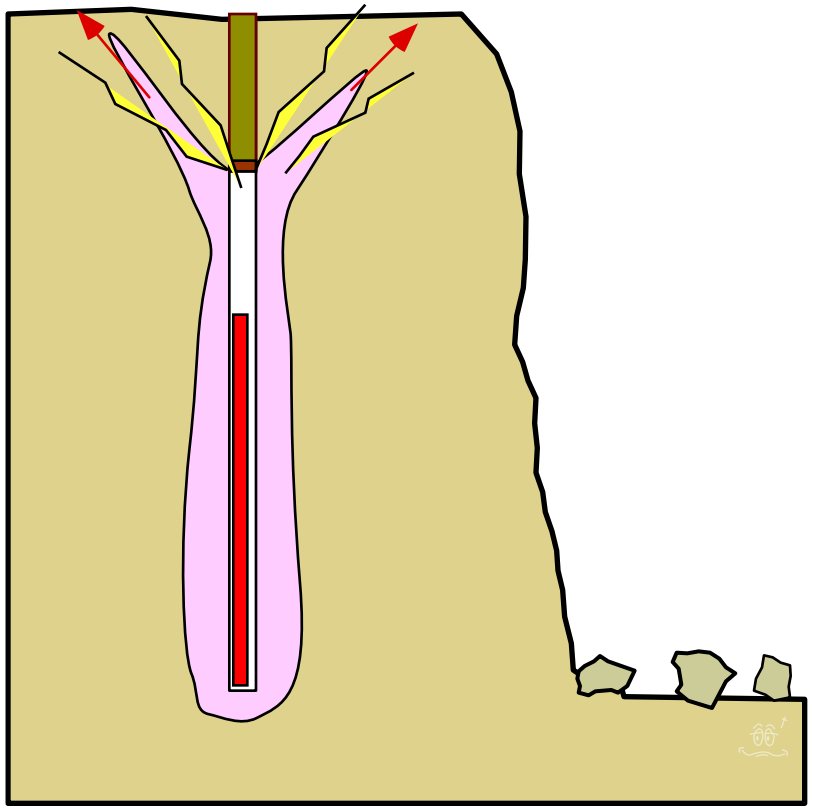
Hull fyllt med mindre energi

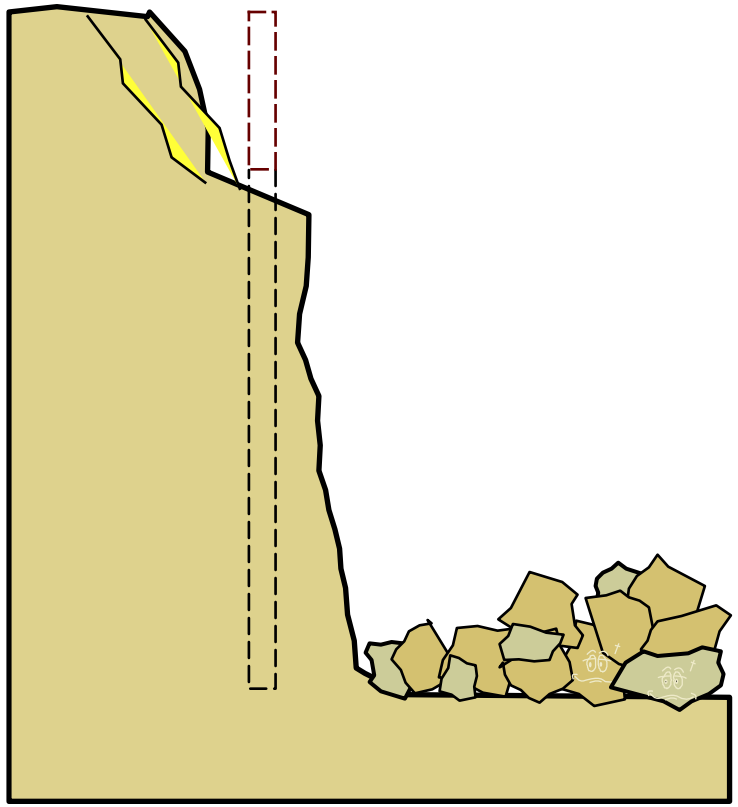
Fordemming?



General

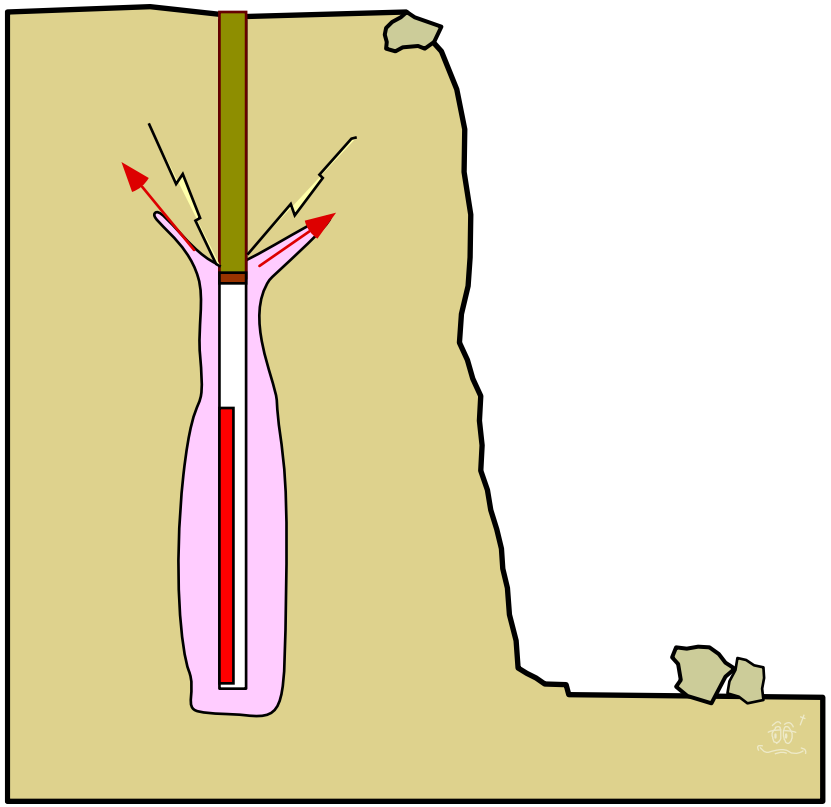
Fordemming?

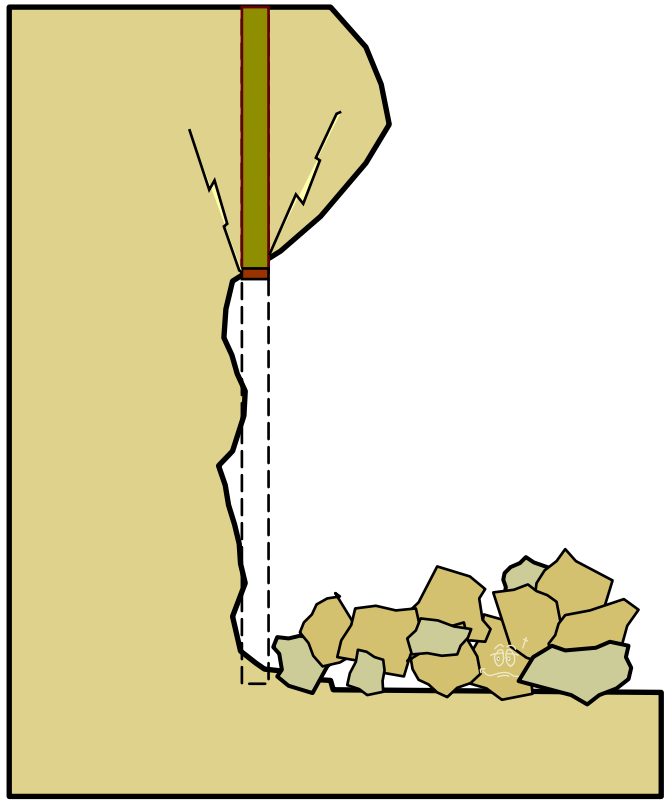




General

Fordemming?

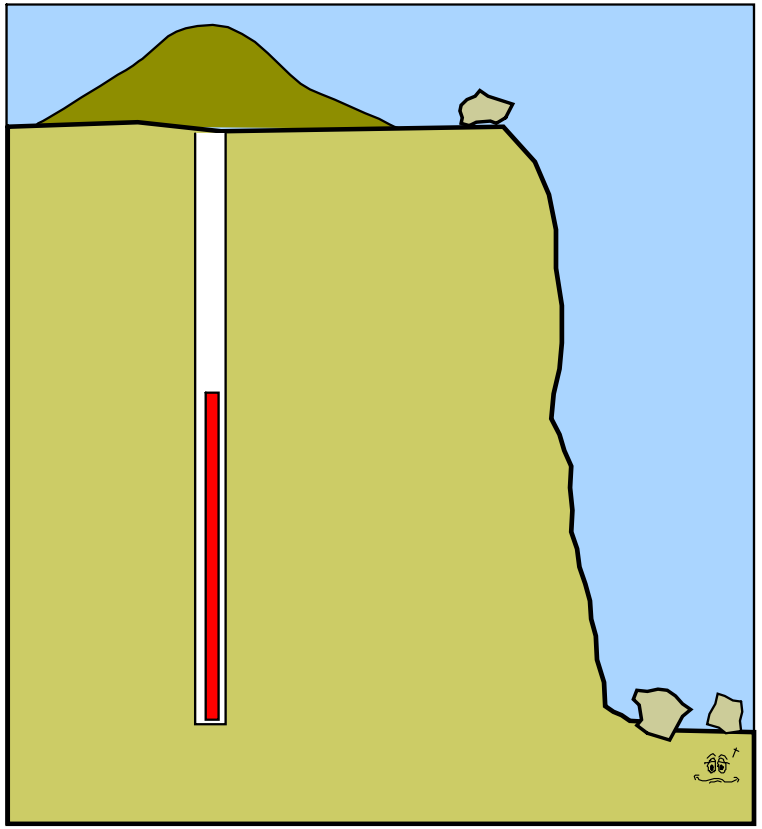


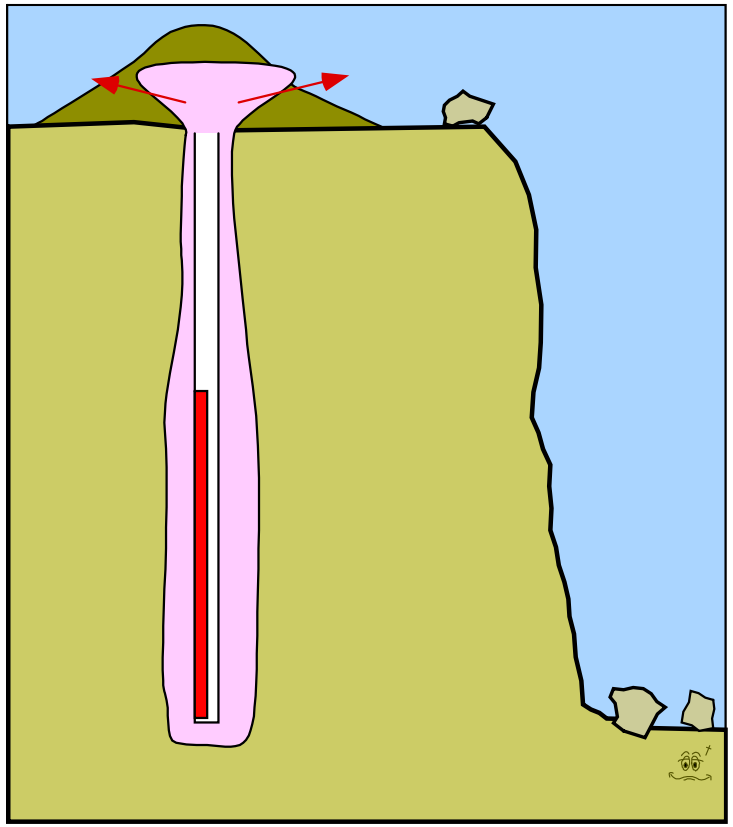


General

Praktisk tilnærming

Airdeck
Ikke fordemming i hullet





Sømboring

- Hensikten med sømboring er å danne en bruddanvisning i fjellet.
- Sømmen vil også ventilere ut sprenggasser
- En søm skal ikke lades med sprengstoff – åpne hull
- Hullavstand: 3 X hulldiameteren (c-c)
- En søm er er ikke en erstantning for redusert ladning i kontur og hjelperast

Sømboring

Til Slutt

- Fjellsprengning er et erfaringsfag for alle involverte

- Kommunikasjon mellom de ulike interessenter er svært viktig
  - Bestiller (byggherre)
  - Geolog
  - Bergsprenger
  - Bergsprengningsleder
  - Borer
  - Stikker
  - Utlastere og maskinførere

Takk for oppmerksomheten!

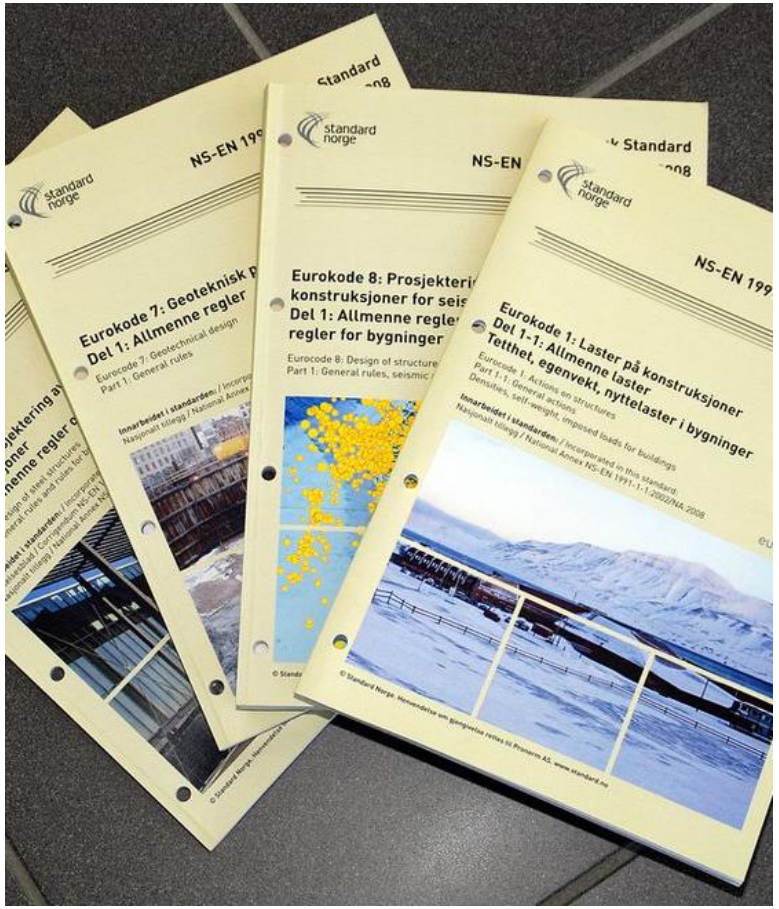
Norconsult

Stabilitet og sikring av bergskjæringer – 9. juni 2021

Eurokode 7

Hva er Eurokode

- *Eurokodene er utviklet med tanke på å ivareta konstruksjonssikkerhet og moderne krav til dokumentasjon og kontroll, og er harmonisert med byggeforskrifter og loveverk i de europeiske landene*
  - **NS-EN 1990, Eurokode 0: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner**
  - NS-EN 1991, Eurokode 1: Laster på konstruksjoner
  - NS-EN 1992, Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner
  - NS-EN 1993, Eurokode 3: Prosjektering av stålkonstruksjoner
  - NS-EN 1994, Eurokode 4: Prosjektering av samvirkekonstruksjoner av stål og betong
  - NS-EN 1995, Eurokode 5: Prosjektering av trekonstruksjoner
  - NS-EN 1996, Eurokode 6: Prosjektering av murkonstruksjoner
  - **NS-EN 1997, Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering**
  - NS-EN 1998, Eurokode 8: Prosjektering av konstruksjoner for seismisk påvirkning
  - NS-EN 1999, Eurokode 9: Prosjektering av aluminiumskonstruksjoner



NS-EN 1990, Eurokode 0: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner

«Fastsetter prinsipper og krav for konstruksjoners sikkerhet, brukbarhet og bestandighet, beskriver grunnlaget for prosjektering og verifikasjon av konstruksjoner, og gir retningslinjer for relaterte forhold når det gjelder konstruksjonens pålitelighet»

- Grunnleggende prinsipper og regler
- Ligger til grunn for de øvrige Eurokodene
- Alle øvrige eurokoder må brukes sammen med Eurokode ”0”

NS-EN 1997, Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering

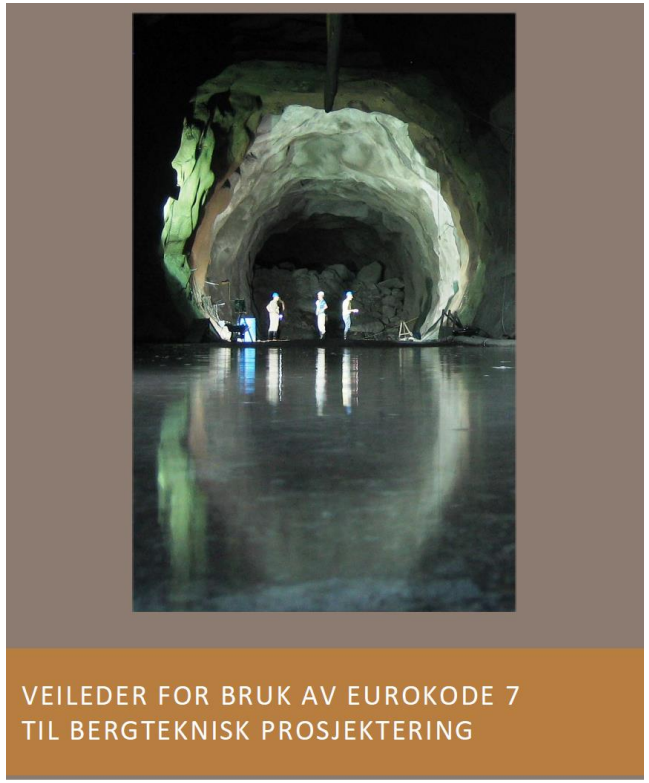
- Grunnlag for geoteknisk prosjektering
  «Beskriver grunnlaget for prosjektering og påvisning av tilstrekkelig sikkerhet og gir retningslinjer for relaterte forhold når det gjelder konstruksjonens pålitelighet»

- Gjeldende Eurokode 7 ble norsk standard (NS-EN) i 2004

- Erstatter tidligere NS 3480

- NBG utarbeidet en veileder til Eurokode 7, utgitt i 2011

- Gjeldende versjon av EC7 består av 2 deler;
  - Eurokode 7-1 Allmenne regler. Geoteknisk prosjektering
  - Eurokode 7-2 Regler basert på grunnundersøkelser og laboratorieprøver

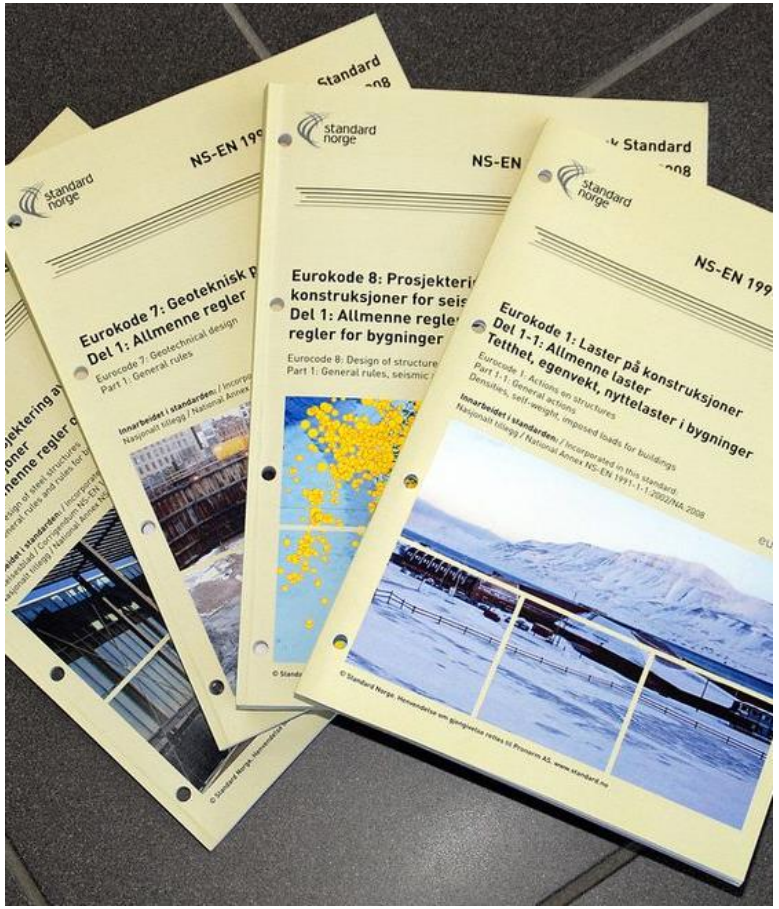


Eurokode 7 – Pågående arbeid med ny revisjon

- Arbeid med revisjon startet i 2011
- Ingeniørgeologi skulle være en del av nye EC7
- Revisjon begrenset til bergarbeider i dagen

- Arbeider under jord er skjøvet fram
  - Nedsatt en gruppe som skulle undersøke hvordan undergrunnsanlegg prosjekteres i Europa i dag
  - Norge var ikke med i denne gruppen, men Sverige og Finland hadde en ingeniørgeolog med
  - Avsluttet sitt arbeid med rapport i 2018

- April 2021 foreligger «*final draft*» av revidert Eurokode 7
  Består av 3 deler;
  - 1997-1 Geotechnical design - General rules
  - 1997-2 Ground properties
  - 1997-3 Geotechnical structures



Eurokode 7 – hva er «nytt» i Del 1 (og ny del 3)

Gjeldende EC7	Revidert EC7
Del 1: Prosjektering av [*alle*] bygg- og anleggsarbeider	**Del 1: Geotekniske strukturer (*som ikke omfattes av Del 3*)**
2. Grunnlag for prosjektering 3. Geotekniske data 4. Utførelseskontroll	4. Basis of design 5. Materials 6. Groundwater 7. Geotechnical analysis 8. Ultimate limit states 9. Serviceability limit states 10. Implementation of design during execution and service life 11. Testing 12. Reporting
5. Fyllingsarbeider, grunnvannssenking, grunnforbedring og grunnforsterkning 6. Sålefundamentering 7. Pelefundamentering 8. Ankere 9. Støttekonstruksjoner 10. Hydraulisk brudd 11. Områdestabilitet 12. Fyllinger	**Del 3**

Revidert Eurokode 0

5.5 Structural models and load models

(1) Limit states shall be verified using appropriate structural models and load models.

(2) The structural models and load models that are used to verify limit states shall be based on design values for:

— actions;

— material and product properties;

— geometrical properties.

(3) All relevant design situations shall be identified.

(4) The structure shall be verified for all critical load cases in each relevant design situation.

(5) Design values for the basic variables given in (2) should be obtained using the partial factor method, given in Clause 8.

(6) As an alternative to (5), design based on probabilistic methods may be used when specified by the relevant authority or, where not specified, agreed for a specific project by the relevant parties.

NOTE Further guidance on probabilistic methods is given in Annex C.

Revidert Eurokode 0

C.3 Basis for reliability analysis and partial factor design

C.3.1 Overview of reliability verification approaches

(4) The reliability-based approach may be applied to design situations where uncertainties in the representation of loads, load effects, material resistances, and system-effects mean that the reliability-based approach gives a significantly better representation of reality than the partial factor design format.

NOTE Design situations that are not covered by the partial factor design format can include:

— situations where relevant loads or hazard scenarios are not covered by EN 1991;

— the use of building materials or combination of different materials outside the usual application domain, e.g. new materials, behaviour at very high temperatures;

— ground conditions, such as rock, which are strongly affected by discontinuities and other geometrical phenomena.

Revidert Eurokode 7 – Del 1

- Revidert EC7 åpner for «*other reliability-based methods*»

0.2 Introduction to Eurocode 7

Eurocode 7 is intended to be used in conjunction with EN 1990 (all parts), which establishes principles and requirements for the safety, serviceability, robustness, and durability of structures, including geotechnical structures, and other construction works.

Eurocode 7 establishes additional principles and requirements for the safety, serviceability, robustness, and durability of geotechnical structures.

Eurocode 7 is intended to be used in conjunction with the other Eurocodes for the design of geotechnical structures, including temporary geotechnical structures.

Design and verification in Eurocode 7 are based on the partial factor method or other reliability-based methods, prescriptive rules, testing, or the observational method.

Revidert Eurokode 7 – Del 3

4. **Slopes, cuttings, and embankments**
5. Spread foundations
6. Piled foundations
7. Retaining structures
8. Anchors
9. Reinforced fill structures
10. **Ground reinforcing elements**
11. Ground improvement
12. Groundwater control

Annex A Slopes, cuttings, and embankments

Annex B Spread foundations

Annex C Piled foundations

Annex D Retaining structures

Annex E Anchors

Annex F Reinforced fill structures

Annex G Ground improvement

Revidert Eurokode 7 – Del 3 – Kapittel 4

- Kapittel 4: Slopes, cuttings, and embankments
  - Tidligere omfattet av kapittel *11 Områdestabilitet*
  - Revidert utgave har noe mer utfyllende tekst, og noe mer spesifikt rettet mot bergskjæringer

Revidert Eurokode 7 – Del 3 – Kapittel 4

- Kapittel 4: Slopes, cuttings, and embankments
  - Litt mer konkrete bestemmelser om grunnvann

4.4 Groundwater

4.4.1 General

NOTE See EN 1997-1, 6.

(1) >REQ> Measures shall be provided to prevent the adverse effects of potential scour leading to erosion of soil around an earth-structure or internal erosion of soil within or around an earth structure.

(2) <REQ> Groundwater pressure at interfaces and in discontinuities shall be determined.

(3) <REQ> Groundwater flow through interfaces and discontinuities shall be determined

4.4.2 Groundwater control systems

NOTE see 12.

(1) <PER> Groundwater control systems may be provided to ensure the design groundwater and piezometric pressures are not exceeded due to unforeseen circumstances.

NOTE Examples of drainage for cuttings and embankments are given in EN 16907-1.

(2) <RCM> If a groundwater control system is not provided, then the design shall be verified to withstand potential increase of groundwater pressures.

(3) <REQ> It shall be verified that the structure has sufficient safety if the groundwater control system fails.

(4) Where the safety and serviceability of the earth-structure depend on the successful performance of a groundwater control system, one or more of the following measures should be taken:

- inspection and maintenance of the system which should be specified in the Maintenance Plan;
- installing a drainage system that will perform adequately without maintenance; and
- installing a secondary ("backup") system.

Where the safety and serviceability of the earth-structure depend on the successful performance of a groundwater control system, one or more of the following measures should be taken:

- inspection and maintenance of the system which should be specified in the Maintenance Plan;
- installing a drainage system that will perform adequately without maintenance; and
- installing a secondary ("backup") system.

Revidert Eurokode 7 – Del 3 – Kapittel 4

- Kapittel 4: Slopes, cuttings, and embankments
  - Stabilitet av berg er løftet opp og omtalt mer spesifikt
  - Referanse til Annex A.4
  - Rensk trekkes frem som et eget spesifikt sikringstiltak

4.5.2.2 Stability in rock mass

(1) <REQ> When verifying the overall stability, all potential failure mechanisms shall be verified.

NOTE Calculation models for stability of rock slopes are given in A.4.

(2) <REQ> The verification of limit states shall also be based on geotechnical mapping and documentation of the rock conditions.

(3) <REQ> The verification of stability of rock mass shall consider, but is not limited to:

- the rock excavation technique and sequence;
- damaging effects of excavation by blasting;
- influence of rock wedges within slopes and cuttings on the local stability;
- effect of possible local instability on the overall stability.

(4) <REQ> Scaling of rock surfaces shall be specified into the design as a key safety measure.

Revidert Eurokode 7 – Del 3 – Annex A

Annex A

(informative)

Slopes, cuttings, and embankments

A.1 Use of this Informative Annex

(1) This Informative Annex provides complementary guidance to Clause 4 regarding slopes, cuttings, and embankments.

NOTE National choice on the application of this Informative Annex is given in the National Annex. If the National Annex contains no information on the application of this informative annex, it can be used.

A.4 Calculation models for analysing the stability of rock mass

(1) <RCM> A calculation method for analysing the stability of rock mass should only be used if it is appropriate for the Ground Model, potential failure surface, and loading conditions.

NOTE Table A.2 provides a non-exhaustive list of calculation models for rock mass based on limiting equilibrium.

(2) <RCM> When choosing a calculation method for analysing the stability of rock masses, the following should be included in the Geotechnical Design Model, but is not limited to:

- weight density;
- rock layering, weakness zones and discontinuities;
- Interfaces with soil and soil layers on top;
- geometrical properties of weakness zones and discontinuities;
- infill of weakness zones and discontinuities;
- seepage and groundwater pressure distribution;
- types of anticipated failure;
- external actions and their duration and direction;
- use of stabilizing measures; and
- adjacent or intersecting structures;

Revidert Eurokode 7 – Del 3 – Kapittel 10

- Kapittel 10: Ground reinforcing elements
  - Omfatter bergsikring (i dagen)
  - Omfatter ikke bergsikring under jord

10 Ground reinforcing elements

10.1 Scope and field of application

(1) <REQ> This clause shall apply to ground reinforcing elements that provide resistance to prevent a limit state of the geotechnical structure.

NOTE 1 Ground reinforcing element include rock bolts; rock anchors; soil nails; sprayed concrete; wire mesh and facing elements.

NOTE 2 For anchors to retain a structure (vertical or horizontal) fixed inro soil or rock 8 applies.

NOTE 3 Other stand-alone nets and safety nets than wire meshes, snow fences or avalanche protections are not covered by this clause.

NOTE 4 Reinforcing elements in underground openings is not covered by this clause.

Revidert Eurokode 7 – Del 3 – Kapittel 10

- Kapittel 10: Ground reinforcing elements

10.2.7 Ground investigation

NOTE See EN 1997-2, 5.

(1) <RCM> The ground investigation should determine potential obstacles for the execution and performance of the ground reinforcement element during the design service life, such as, but not limited to:

- obstruction to drilling;
- the drillability of the ground;
- abrasivity;
- borehole stability;
- potential flow of groundwater in or out of a borehole;
- geometrical properties of discontinuities and weakness zones;
- resistance capacity or lack of it of the resisting ground;
- adhesion at interface surfaces;
- borehole axis deviations; and
- potential loss of grout from the borehole.

Revidert Eurokode 7 – Del 3 – Kapittel 4

- Kapittel 10: Ground reinforcing elements

10.3.5 Steel fibres

(1) <RCM> Steel fibres in sprayed concrete should comply with EN 14487-1.

(2) <PER> Fibres of other materials in sprayed concrete may be used.

(3) <REQ> If other material than steel fibres are used, 10.3.8 shall apply.

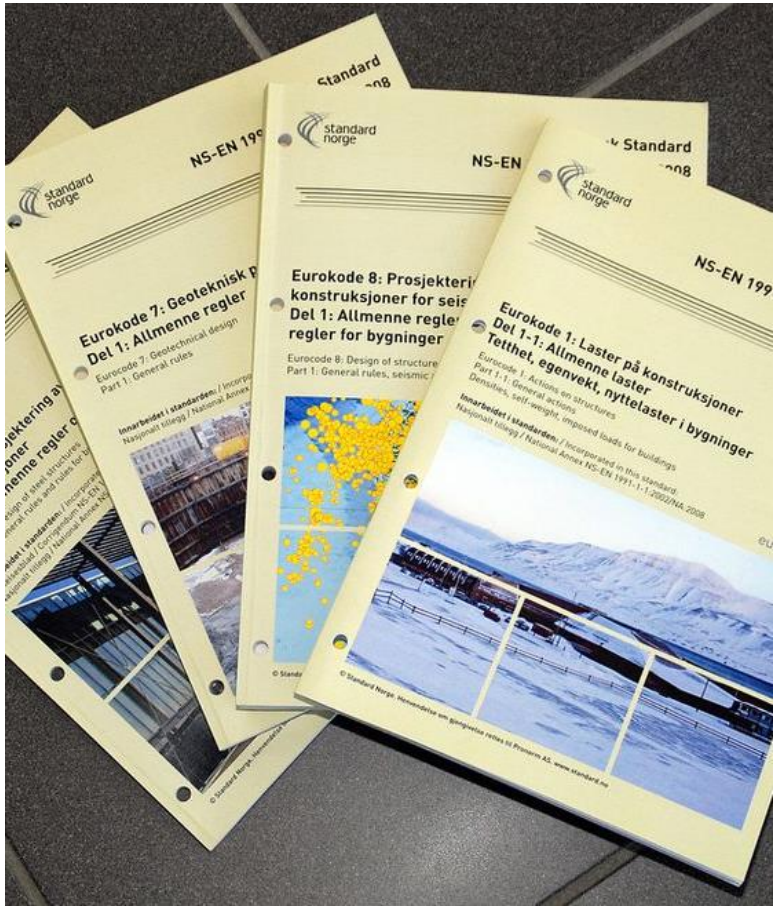
10.3.8 Other materials

(1) <REQ> Materials other than steel, grout, concrete, steel fibres, coatings, shall only be used for reinforcing elements if they comply with a standard specified by the relevant authority or, where not specified, as agreed for a specific project by appropriate parties.

Eurokode 7 – Videre arbeid med revidering av Eurokode 7

- De neste 2,5 år skal draft gjennomgås av 11 arbeidsgrupper
- Skal teste revidert EC7 for egnethet mot reelle case

- Norge deltar med flere geoteknikere i disse arbeidsgruppene
- Pr. nå deltar kun 1 ingeniørgeolog!
- Viktig at norske ingeniørgeologer nå kjenner sin besøkelsestid…



Norconsult

Eurokode 7 – Arbeidsgrupper

A1 The Editor group

- Editere rettelser i dokumentet

A2 The NSB Contact Group

- Kontakt med Standardiseringen
- 1 fra hvert land – Head of delegation
- Bestemme hva som skal tas hensyn til.
- The NSB Contact Group directs the Editor group to put the changes into the Code

B1 Testing ved unge ingeniører

- Alder < 40 år
- Teste på eksisterende oppgaver som er utført

B2 Teste eksempler utarbeidet av EGx (Trevor Orr)

- Ingeniører fra SC7 organisasjonen
- Obervasjonsmetoden og Prescriptive Measures.

C1 Guideline for "From derived to design value"

- Retningslinjer for å komme fra «derived» verdier til design verdier

C2 Guideline on assembling the Ground Model

- Retningslinjer for "Ground Model"

C3 Guideline on Reliability based methods

- Retningslinjer for pålitlighetsmetoder

C4 Guideline on implementation of the design during execution

- Retningslinjer for implementering av prosjektering under utførelse

D1 Slopes

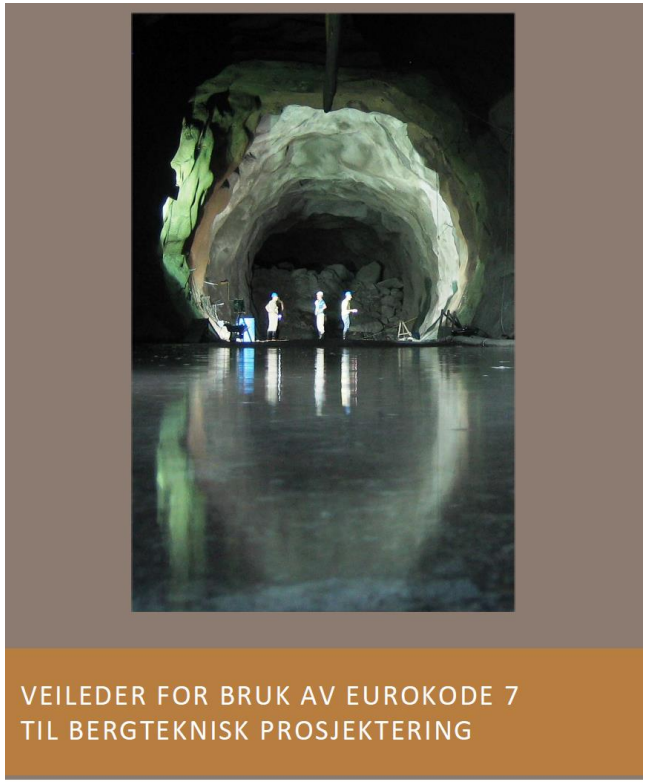
- Retaining Structures
- Anchors

D2 Spread foundations, Piled foundations

D3 Reinforced ground, Ground Improvement

Eurokode 7 – Videre arbeid med revidering av Eurokode 7

- Behov for engasjement fra norske ingeniørgeologer:
  - Deltakelse i de 11 arbeidsgruppene
    - Varighet på ca. 2,5 år
    - Dette arbeidet vil kunne ha stor innflytelse på den endelige teksten i standarden
  - Oppdatert nasjonalt tillegg
    - Oppstart; om et års tid eller så
    - Tillegget vil inneholde tekst direkte knyttet til ingeniørgeologi for norske forhold
  - NBG's veileder til bruk av Eurokode 7
    - Veileder bør revideres
    - Vil kunne bli et viktig dokument i forhold til TEK17s generelle henvisning EC
    - Likeverdig prosjekteringsmetoder - aksept på at forskriften er tilfredsstilt
  - Eurokode 7 – del 4
    - Planlegges startet i løpet av et års tid
    - Omfatter underjordsanlegg



Norconsult

Vår kunnskap bidrar til et mer verdifullt samfunn

Utvidet kontroll av bergskjæringer

Stabilitet og sikring av bergskjæringer

Magni Strøm Mauset

Bakgrunn og erfaring

- Ingeniørgeolog NTNU, master fra geologi realfag. Uteksaminert 2011.

- Fem år i Statens vegvesen
  - Ringveg vest byggetrinn II i Bergen
  - Ryfylketunnelen (Ryfast) fra Stavanger til Strand

- Tre år i Sweco
  - Store og små oppdrag tilknyttet bergskjæringer, tunneler og skredvurderinger
  - 2019 – 2021: Utvidet kontroll ingeniørgeologi PRO og UTF for Nye Veier på prosjektet E39 Kristiansand vest – Mandal øst

Regelverk

- Plan- og bygningsloven (PBL) og byggesaksforskriften (SAK10)

- Veglova - Statens vegvesens vegnormal N200
  – Håndbok V225 Bergskjæringer

- Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner
  – NS-EN 1990:2002+A1:2005+NA:2016

- Eurokode 7 Geoteknisk prosjektering
  – NS-EN 1997-1:2004+A1+NA
  – Utarbeidet for geoteknikk, må tilpasses til ingeniørgeologi
  – Veileder for bruk av Eurokode 7 til bergteknisk prosjektering (november 2011)

Uavhengig eller utvidet kontroll – hva er forskjellen?

- PBL stiller krav til uavhengig kontroll
- Eurokodene stiller krav til utvidet kontroll, men innholdet i kontroll kan differensieres avhengig av kontrollklasse for prosjektering og utførelse

Uavhengig kontroll

- PBL er styrende for nivå av kontrollomfang, men om en følger kravene stilt i Eurokoden (tilsvarende utvidet kontroll) så vil også kravene i PBL være tilfredsstilt.

- SAK 10 § 14-2 Obligatoriske krav om uavhengig kontroll:

Det skal gjennomføres uavhengig kontroll i samsvar med § 14-7 for følgende oppgaver i tiltaksklasse 2 og 3:

[...]

c) Geoteknikk, hvor kontrollkravet for prosjektering begrenses til kontroll av at det er gjort kvalifisert undersøkelse for å bestemme geoteknisk kategori og fastsettelse av pålitelighetsklasse, og kontrollkravet for utførelse begrenses til at geotekniske oppgaver er gjennomført og dokumentert som prosjektert, herunder at de er fulgt opp og rapportert slik som anvist av prosjekterende

Uavhengig kontroll – gjennomføring av kontroll

- Hva skal kontrolleres for prosjektering?
  - At prosjekterende har et styringssystem som inneholder rutiner for kvalitetssikring av arbeidet som skal utføres innenfor kontrollområdet [...], og at rutinene og kravene er fulgt og dokumentert
  - At utarbeidet konsept gir tilstrekkelig grunnlag for detaljprosjektering
  - At detaljprosjektering er tilstrekkelig som produksjonsunderlag for utførelsen
  - At avvik lukkes ved å etterkomme kontrollerendes merknad eller ved verifikasjon av samsvar med tekniske krav

- Hva skal kontrolleres for utførelse?
  - At utførende har gjennomført og dokumentert geotekniske oppgaver som prosjektert, herunder at de er fulgt opp og rapportert slik som anvist av prosjekterende.

- Krav til kontrollerende stilt i PBL § 23-7 og SAK10 §12-5.

Utvidet kontroll

- For geoteknisk (ingeniørgeologisk) prosjektering og utførelse følges Eurokode 0 og 7
- Valg av pålitelighetsklasse styrer kontrollomfang
- Utvidet kontroll er en mer omfattende kontroll enn uavhengig kontroll, men er ikke lovpålagt i PBL
- Kan brukes for bergskjæringer på alle typer anlegg

Tabell NA.A1(901) – Veiledende eksempler for klassifisering av byggverk, konstruksjoner og konstruksjonsdeler

Veiledende eksempler for klassifisering av byggverk, konstruksjoner og konstruksjonsdeler	Pålitelighetsklasse [2] (CC/RC)			
	1	2	3	4
Atomreaktorer, lager for radioaktivt avfall				x
Dammer			x	(x)
Marine konstruksjoner for petroleumsindustrien			x	(x)
Grunn- og fundamenteringsarbeider og undergrunnsanlegg i kompliserte tilfeller [1]		(x)	x	(x)
Veg- og jernbanebruer			x	
Byggverk med store ansamlinger av mennesker (tribuner, kinosaler, sportshaller, kjøpesentre, forsamlingslokaler, osv.)		(x)	x	
Kai- og havneanlegg		x	(x)	
Tårn, master, skorsteiner, siloer		x	(x)	
Industrianlegg		x	(x)	
Kontor- og forretningsbygg, skoler, institusjonsbygg, boligbygg osv.		x	(x)	
Oppdrettsanlegg		x	(x)	
Landbruksbygg	(x)	x		
Feste av kledninger, taktekking og lignende komponenter	x	(x)		
Grunn- og fundamenteringsarbeider og undergrunnsanlegg ved enkle og oversiktlige grunnforhold [1]	x	(x)		
Småhus, rekkehus, mindre lagerhus osv.	x			
Kaier og fortøyningsanlegg for sport og fritid	x			

[1] Ved vurdering av pålitelighetsklasse for grunn- og fundamenteringsarbeider og undergrunnsanlegg skal det også tas hensyn til omkringliggende områder og byggverk.
[2] Kryss uten parentes angir normalt valg av pålitelighetsklasse.

Kilde: Eurokode 0: Nasjonalt tillegg

Utvidet kontroll – bergskjæring ved vei

- Valg av geoteknisk kategori styrer krav til kontrollomfang
  - Pålitelighetsklasse RC
  - Prosjekteringskontrollklasse PKK
  - Utførelseskontrollklasse UKK

Tabell 2.1 Sammenheng mellom geoteknisk kategori og kontrollklasse [1]

Geoteknisk kategori	Konsekvensklasse (CC)	Pålitelighetsklasse (RC)	Prosjekteringskontrollklasse (PKK)	Utførelseskontrollklasse (UKK)
3	CC3	RC3 (RC4)	PKK3	UKK3
2	CC2	RC2	PKK2	UKK2
1	CC1	RC1	PKK1	UKK1

Kilde: Håndbok V225 Bergskjæringer, tabell basert på N200

Utvidet kontroll – bergskjæring ved vei

Tabell 203.5 Krav til kontrollform

Kontroll-klasse	Kontrollform					
	Ved prosjektering			Ved utførelse		
	Egen-kontroll	Intern, system-atisk kontroll (kollegakontroll)	Utvidet kontroll	Egen-kontroll	Intern, system-atisk kontroll (kollegakontroll)	Utvidet kontroll
PKK1/UKK1	Kreves	Kreves ikke	Kreves ikke	Kreves	Kreves ikke	Kreves ikke
PKK2/UKK2	Kreves	Kreves	Kreves [1)]	Kreves	Kreves	Kreves [1)]
PKK3/UKK3	Kreves	Kreves	Kreves [2)]	Kreves	Kreves	Kreves [2)]

1) Utvidet kontroll i prosjekterings- og utførelseskontrollklasse PKK2/UKK2 kan begrenses til en kontroll av at egenkontroll og intern systematisk kontroll (kollegakontroll) er gjennomført og dokumentert.

2) Utvidet kontroll i prosjekterings- og utførelseskontrollklasse PKK3/UKK3 skal utføres som en faglig kontroll.

Kravene til prosjekteringskontroll og utførelseskontroll for prosjekter i pålitelighetsklasse RC4 skal i henhold til Eurokode 0 [21] spesifiseres i hvert enkelt tilfelle.

Utvidet kontroll – prosjektering og utførelse

- Utvidet kontroll i PKK3/UKK3 innebærer en kontroll som bekrefter at egenkontroll og intern systematisk kontroll er gjennomført og dokumentert av det prosjekterende/utførende foretaket. Det utførte arbeidet skal i tillegg kontrolleres tilstrekkelig til å gi tillit til at arbeidet er tilfredsstillende. For UKK3 kan kontroll gjennomføres som stikkprøver.

- Byggherre kan selv gjennomføre utvidet kontroll for PKK3 dersom de ikke er delaktige i prosjekteringen. Tilsvarende kan byggherre selv gjennomføre utvidet kontroll for UKK3 dersom de ikke er delaktige i utførelsen.

- Det skal leveres kontrollrapport/notat for både prosjekteringskontroll og utførelseskontroll til byggherre

- Fra N200:
  - Utvidet kontroll av prosjektering bør være utført før plandokumenter eller konkurransegrunnlag ferdigstilles.
  - For totalentrepriser skal kontrollen være utført, og ferdig kontrollrapport/notat forelegges byggherren, før den aktuelle delen av anleggsarbeidet starter.

Gjennomføring av prosjekteringskontroll - veiprosjekt

- Utvidet kontroll - generelt
  - Kontroll av samme punkt som er angitt for egenkontroll i Eurokode 0 NA.A1 (903.2) og være i et omfang som gir tillit til at prosjekteringen er tilfredsstillende

- Utvidet kontroll – veiprosjekter
  - Utvidet kontroll av prosjektering skal kontrollere at geologisk rapport følger krav til geologiske forundersøkelser og rapporter gitt i N200s kapittel 207

- Flere nivåer av prosjektering for totalentreprise:
  - Prosjekteringsnotat før sprengning
  - Eventuelt beregningsnotat for totalstabilitet
  - Detaljprosjektering

Dokumentasjon av prosjekteringskontroll - veianlegg

- Innhold i kontrollnotat for prosjekteringskontroll:
  - Beskrivelse av dokumenter som legges til grunn for utvidet kontroll
  - Beskrivelse av dokumentasjon mottatt til kontroll
  - Bekreftelse på at det finnes et kvalitetsstyringssystem, og at dette er fulgt i form av egenkontroll og intern systematisk kontroll

  - Faglig kontroll skal bekrefte at krav stilt i håndbok N200 til innhold i geologisk rapport er innarbeidet
    - Sjekkliste basert på N200 innarbeides eller vedlegges notatet som dokumentasjon på at kontrollpunktene er vurdert av ansvarlig kontrollerende

- Notatet må beskrive eventuelle avvik
  - Notatet er en tilbakemelding til byggherre og videre til prosjekterende, som så må svare ut eventuelle avvik.

Så hvor skal en begynne…?

Gjennomføring av utførelseskontroll - veianlegg

- Kontroll av at de geologiske forholdene stemmer overens med forutsetningene i prosjekteringen, og at prosjektert sikring er hensiktsmessig og tilpasset de faktiske forholdene
  - Er det forhold i skjæringen som detaljprosjekteringen ikke hensyntar?
  - Gjelder både totalstabilitet og detaljstabilitet
- Kontroll av at utførelsen er iht. prosjektert
  - Er skjæringsgeometri som prosjektert?
  - Er bergsikring montert (dimensjoner, plassering) som anvist i prosjektering?
  - Er sideterreng sikret som prosjektert?

- Kontroll av prosedyrer for utførelse
  - Foreligger det prosedyrer for montering av bergsikring?
    - Grunnlag for kontroll – produktdatablad for aktuelle sikringsprodukter?
- Kontroll av utført egenkontroll og intern systematisk kontroll
  - Foreligger det dokumentasjon av at prosedyrene er fulgt ved montering av bergsikring?

Dokumentasjon på utførelseskontroll - veianlegg

- Innhold i kontrollnotat for utførelse:
  - Beskrivelse av utførelseskontrollklasse og område/objekt som er kontrollert
  - Beskrivelse av utført sikring og omfang av dette
  - Bekreftelse på at det finnes et kvalitetsstyringssystem, og at utførelsen er dokumentert ved sjekklister som bekrefter at gjeldende prosedyrer er fulgt

- Notatet må beskrive eventuelle avvik
  - Dersom notat utarbeides etter at påpekte avvik er utbedret så beskrives dette.

Sweco notat nr.:		
Kontrollert område/objekt:		
Utførelseskontrollklasse (UKK):		
Referanse produksjonsunderlag:		
Kontroll utført av:		Dato:

Status

	OK.
	OK med merknader (kan være avvik, beskriv og loggfør evt. avvik).
	Ikke OK, avvik (beskriv og loggfør).

1. Rutiner og KS (UKK2 + UKK3)			
Nr	**Kontrollpunkt**	**Status**	**Kommentar**
1.1	Utførende har gjennomført og dokumentert egenkontroll og intern systematisk kontroll.		Sjekklister finnes tilgjengelig på Sharepoint for hver lokasjon. Sjekklistene beskriver utført arbeid og eventuelt restarbeid på lokasjonen, og dokumenterer egenkontroll. Sluttdokumentasjon dokumenterer intern systematisk kontroll.

2. Utførelseskontroll (UKK3).			
Nr	**Kontrollpunkt**	**Status**	**Kommentar**
2.1	De geologiske forholdene i skjæringen stemmer med forutsetningene i prosjekteringen.		OK (prosjekteringsnotat NO-INGGEO-XXX).
2.2	Utførelsen (sprengning og sikring) har blitt fulgt opp av ingeniørgeolog.		Ingeniørgeolog har utarbeidet plan for sikring, inspeksjon fra bakkenivå og lift.
2.3	Tiltak i terrenget over skjæringstopp er utført som beskrevet/prosjektert.		OK.

2.4	Skjæringsgeometrien (kontur, helning og evt. nedpalling) er utført som prosjektert.		OK.
2.5	Permanent stabilitetssikring er utført som prosjektert.		OK. All sikring er gjennomgått på sluttbefaring, avvik er korrigert.
2.6	Uforutsette og/eller kritiske bruddmekanismer er vurdert spesielt og det er utført dimensjonering iht prosjekteringsforutsetningene i et omfang som er tilstrekkelig.		OK.
2.7	Boltelengder, -dimensjoner og -plassering virker fornuftig med hensyn til aktuelle bruddmekanismer.		OK.
2.8	De benyttede sikringsmidlene er hensiktsmessige etter forholdene.		OK.
2.9	Utført permanentsikring virker rimelig og tilpasset de stedlige forholdene.		OK.
2.10	De ovenstående punktene er kontrollert i et omfang som gir tillit til at arbeidet er tilfredsstillende.		Områdene i UK-UTF-102 ble gjennomgått i sin helhet under sluttbefaring 01.07.2020. Befaringen ble utført fra bakkenivå.

Kontroll er basert på stikkprøver iht. NS-EN 1990:2002-A1:2005+NA:2016 punkt NA.A1.3.1(904).

Eventuelle avvik føres over i separat avvikslogg.

Sluttdokumentasjon fra kontrollerende

- For større prosjekt utarbeides en egen sluttrapport for både prosjektering og utførelse
  - Sluttrapport for prosjekteringskontroll
    - Oversikt over kontrollerte dokumenter
    - Eventuelle åpne avvik

  - Sluttrapport for utførelseskontroll
    - Oversikt over kontrollerte områder
    - Eventuelle åpne avvik

Egne erfaringer fra et større prosjekt

- Gjennomføringsplan
  - Varierende arbeidsomfang
- Oppstartsmøte
  - Tidsfrister
  - Kommunikasjon
  - Alle praktiske detaljer
  - Bli kjent med både byggherre, prosjekterende og utførende!
- Ut på anlegg
  - Bli kjent med anlegget
  - Bli kjent med arbeidsledere
- Jevnlige møter

SWECO

Stabilitetsovervåking av skjæringer ved bruk av sensorteknologi

Atle Gerhardsen
atle@cautusgeo.com

Cautus Geo
surveying for safety

© Cautus Geo AS

CAUTUS (latin) *:*
To make safe/ secure
(persons and property)

cautus geo
surveying for safety

© Cautus Geo AS

Forretningside

Cautus Geo AS er et selskap som jobber med **utvikling**, **etablering** og **drift** av ulike **automatiske** målesystemer og **overvåkningsløsninger** for utsatte konstruksjoner, ustabile landområder, klima og miljø.

© Cautus Geo AS

Agenda

Vi skal se på følgende overvåkingsmetoder:

- Lastceller
- Inklinometer
- Totalstasjon
- Laserskanner
- Bakkebasert InSAR
- Datapresentasjon

© Cautus Geo AS

Lastceller

En lastcelle er en sensor som kan måle kraften som spenning. Det kan for eksempel være kraften et anker blir utsatt.

Lastceller kommer i mange forskjellige utforminger. Nøyaktigheten og oppløsning er en funksjon av kapasiteten. Standard levers våre lastceller med maks kapasitet fra 500 til 6000 kN

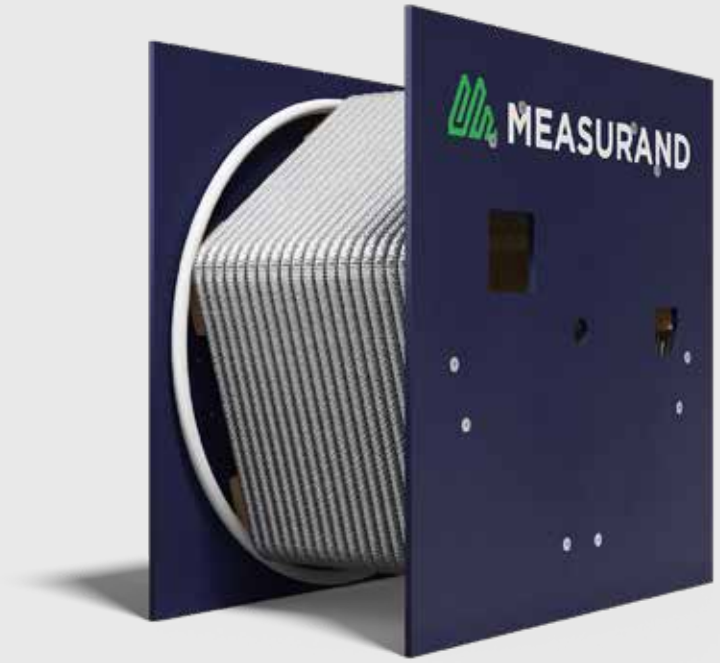
© Cautus Geo AS

Prosjekt – Innføring Oslo S

Inklinometer

Inklinometer er en sensor for å overvåke deformasjoner langs en profil.
Ofte bruker man inklinometer for å overvåke deformasjon i borehull.

Vi er forhandler SAA (ShapeAccelArray) fra Measurand, og vi benytter disse sensoren i våre prosjekter hvor det er behov for automatisk overvåkning med inklinometer.



© Cautus Geo AS

Prosjekt – Flåm

© Cautus Geo AS

Prosjekt – Flåm

Prosjekt – Flåm

Prosjekt – Flåm

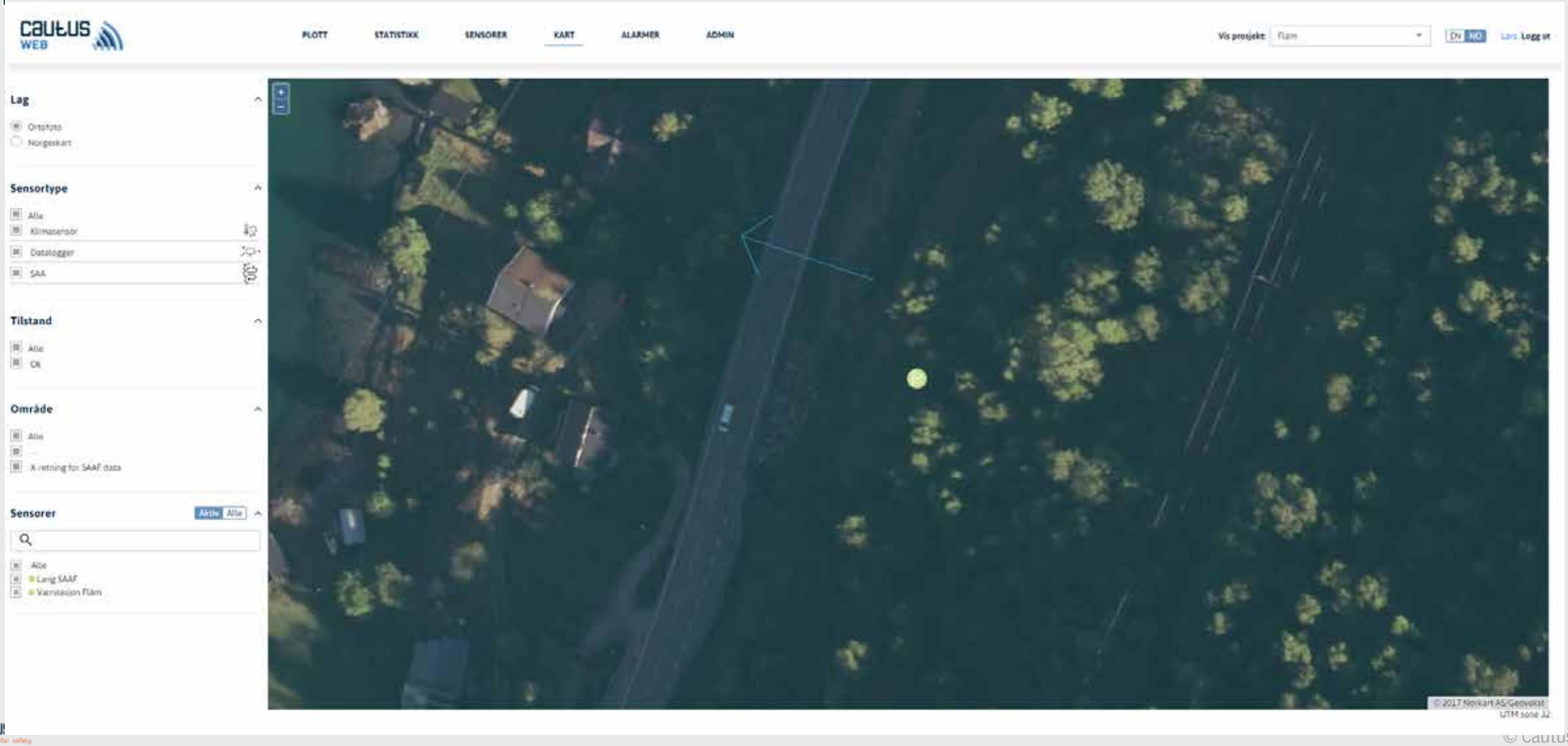
Prosjekt – Flåm

Liten og enkel installasjon

Hele overvåkingen er automatisk og driftes på batteri og solcelle

© Cautus Geo AS

Prosjekt – Flåm



© Cautus Geo AS

Prosjekt – Flåm

Prosjekt – Flåm

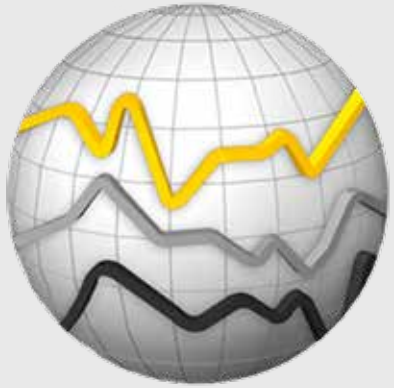
© Cautus Geo AS

Prosjekt – Flåm

Totalstasjon

En totalstasjon er et instrument som måler vinkler og avstander med høy nøyaktighet. Disse observasjonene brukes for å beregne nøyaktige koordinater til punktene den måler til.
Vinkelnøyaktigheten på målingene er gitt av instrumentets kvalitet, mens avstandsnøyaktigheten er en funksjon av avstanden fra totalstasjonen til punktene den måler til.

Med korrekt oppsett og ideelle forholds vil man typisk kunne oppnå en nøyaktighet i millimeterområdet



© Cautus Geo AS

Prosjekt – Ullensvang

Ni vil sikra Rv. 13 ved Deildo

Illustrasjon: Statens vegvesen

Foto Contexo

Foto Contexo

Prosjekt – Ullensvang

© Cautus Geo AS

Prosjekt – Ullensvang

© Cautus Geo AS

Prosjekt – Ullensvang

© Cautus Geo AS

Prosjekt – Ullensvang

© Cautus Geo AS

Prosjekt – Ullensvang

© Cautus Geo AS

Laserskanner

En laserskanner gir deg en nøyaktig og detaljrik modell av objektet man måler.
Resultatet av et laserskann er en georeferert og målestokkriktig punktsky, denne kan være grunnlag for en 3D modell eller andre produkter

Riegl VZ-2000

- Avstand 2000 meter
- 400 000 punkt/sek
- 360°x100°
- Nøyaktighet ned til 8mm

© Cautus Geo AS

Prosjekt – Roan

© Cautus Geo AS

Prosjekt - Roan

Adresseavisen NYHETSSTUDIO NYHETER SPORT KULTUR DEBATT UKEADRESSA MENY

Foreldre tør ikke sende barna med skolebussen

Raset på fylkesvei 14 i Roan har skremt foreldrene. Flere sier de vil nekte å sende barna med skolebussen etter at veien er åpnet.

Fosna-Folket Nyheter Marked Debatt Nyhetsstudio Sport Live Kultur E-avis We MENY

Fylkesvei 14 ved Måvika sør for Roan sentrum er stengt på grunn av et steinras.

Bildet viser steinraset som har gått ved Måvika sør for Roan sentrum. FOTO: ROGER GJESSING

Kommune isolert etter steinskred

Roan i Sør-Trøndelag er isolert etter at et steinras gikk over fylkesvei 14 i kveld.

Et steinras på ca 20 meter sperrer fylkesvei 14 i Roan.
FOTO: JOAR HAUKNES / ROAN KOMMUNE

Randi Lillealtern
@RLillealtern
Journalist

Publisert 14. juni 2013 kl. 20:23

Artikkelen er flere år gammel.

Prosjekt - Roan

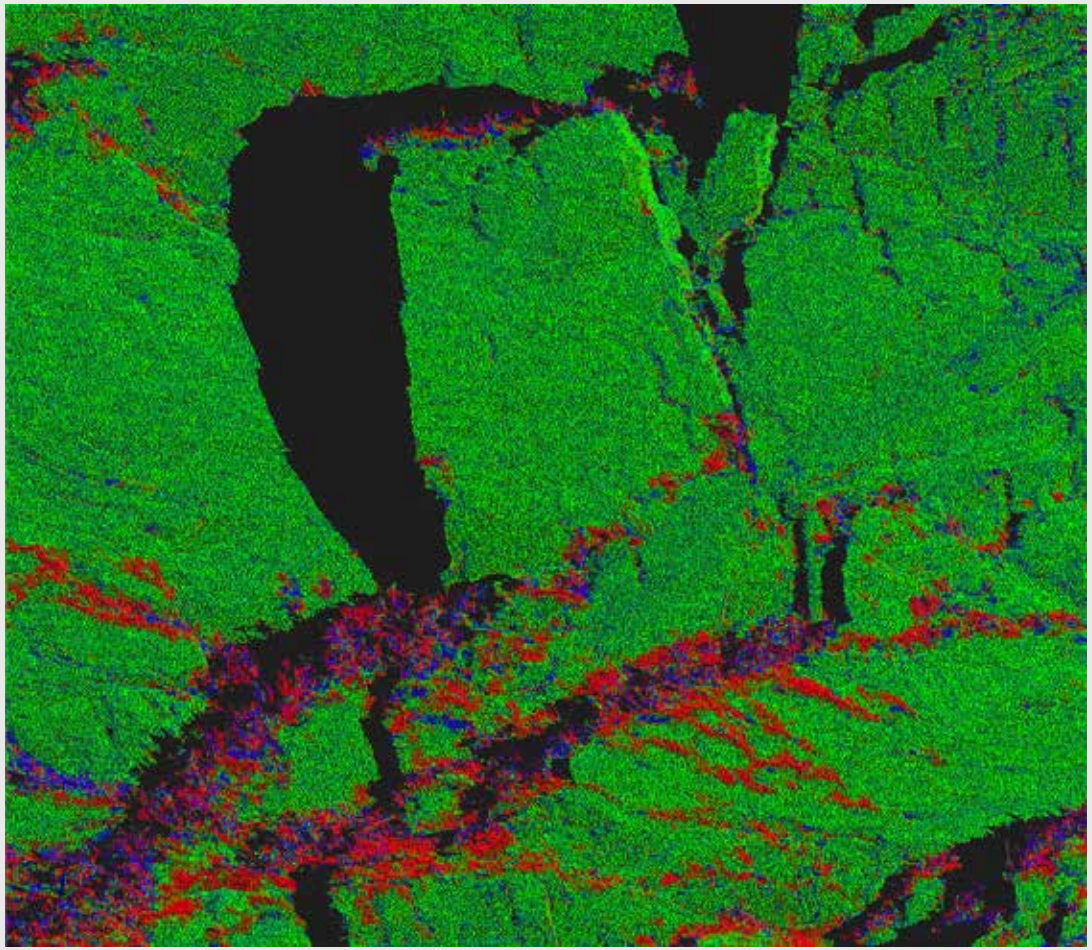
© Cautus Geo AS

Prosjekt - Roan

© Oulus GeoAS

Prosiekt - Roan

Prosjekt - Roan



Punktsky

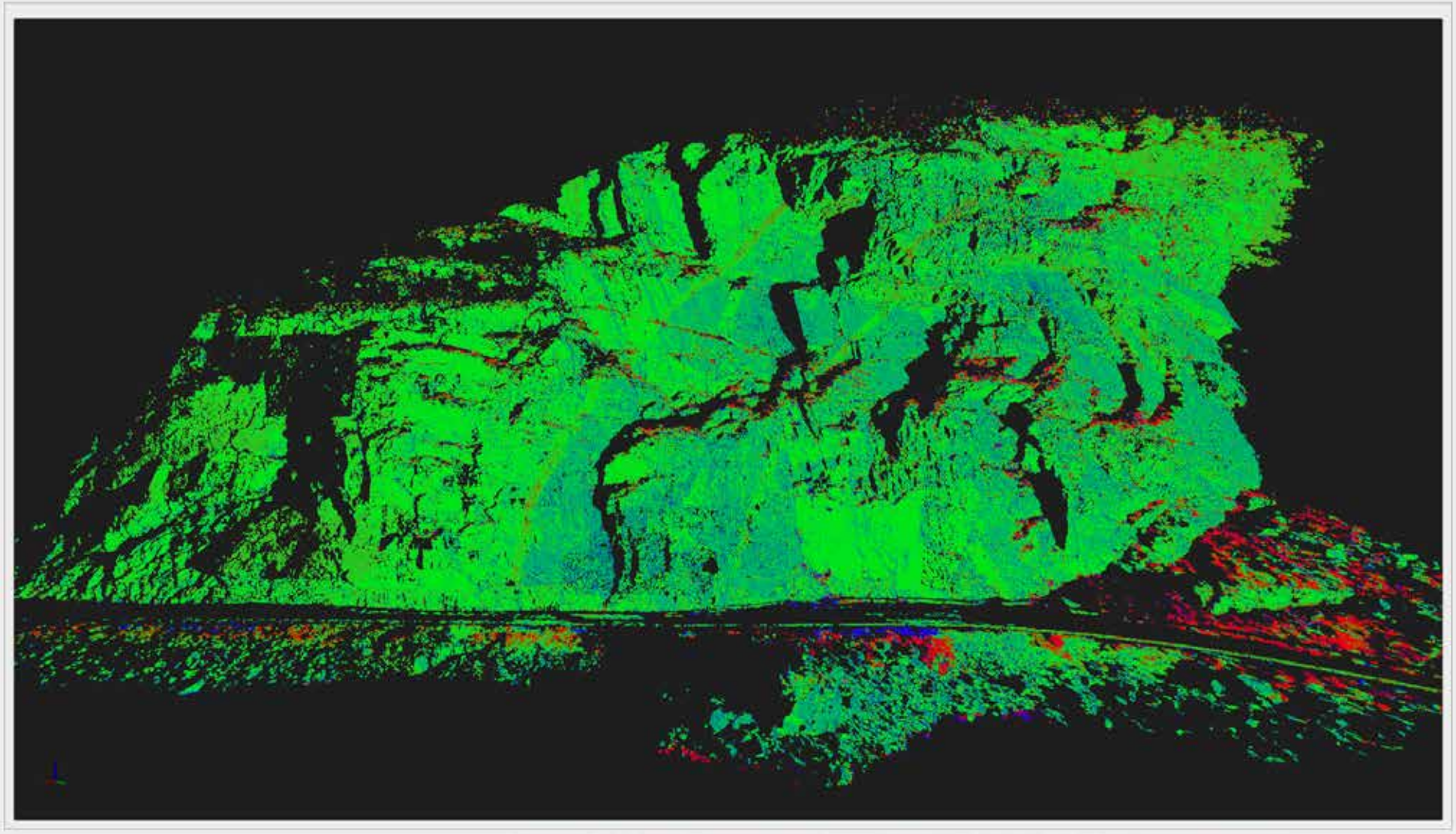
Bilde

© Cautus Geo AS

Prosjekt - Roan

- Endringsanalyse basert på punktsky mot punktsky

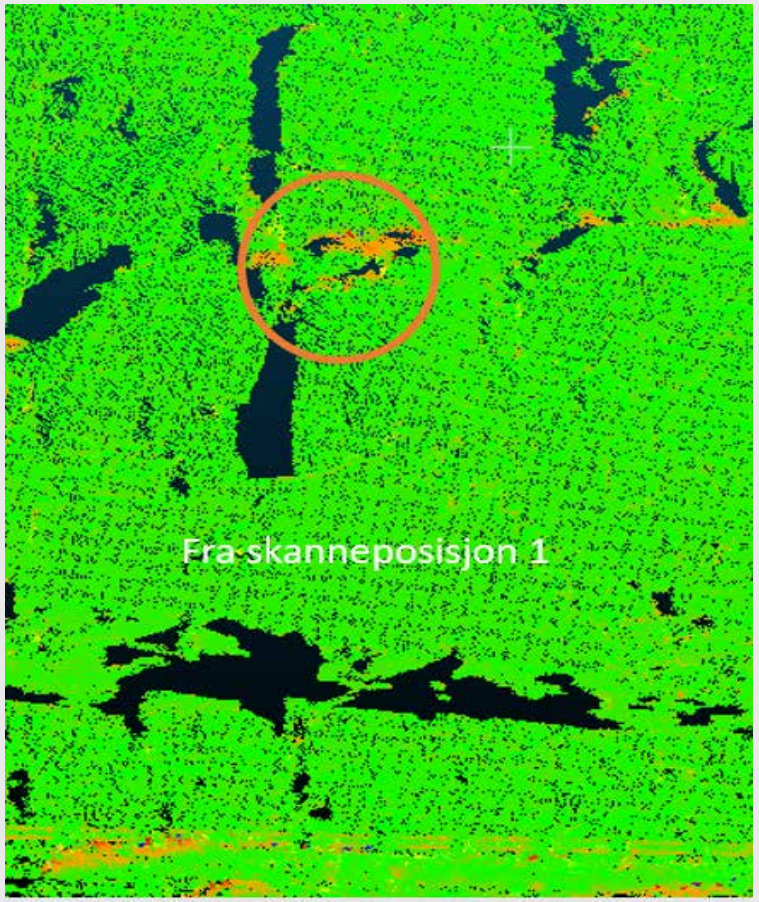
- Grønn ingen endring
- Rød endring fra oss
- Blå endring mot oss



cautus geo

Prosjekt - Roan

Analysen viser hvor steinspranget har skjedd

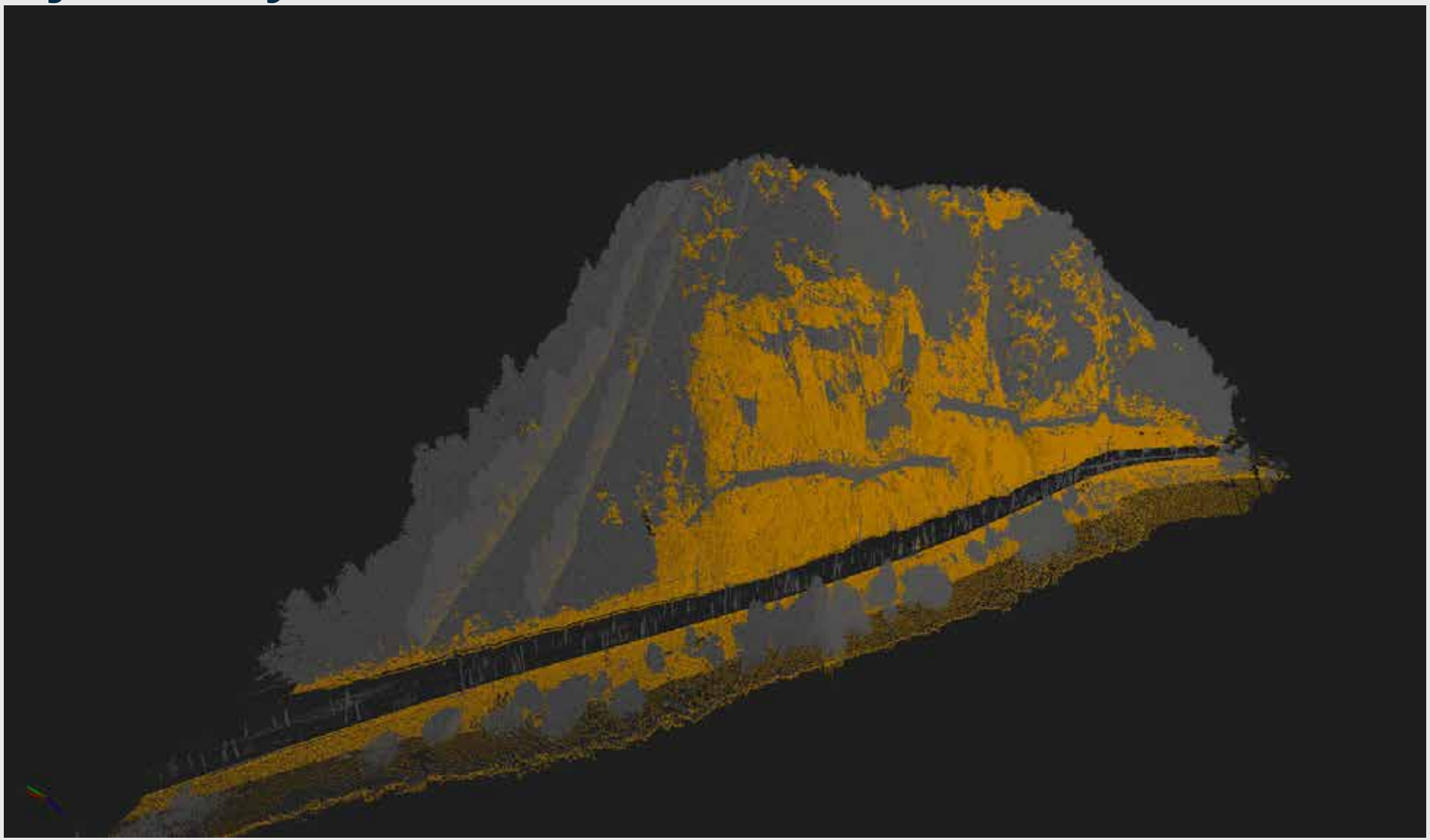


Punktsky - endringsanalyse

Bilde viser stedet hvor steinen løsnet

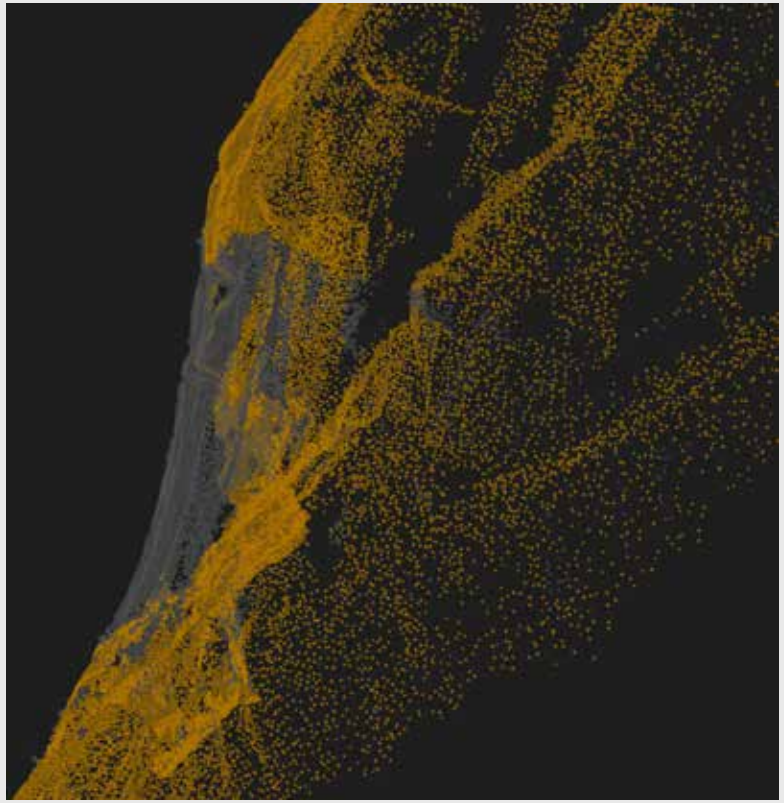
© Cautus Geo AS

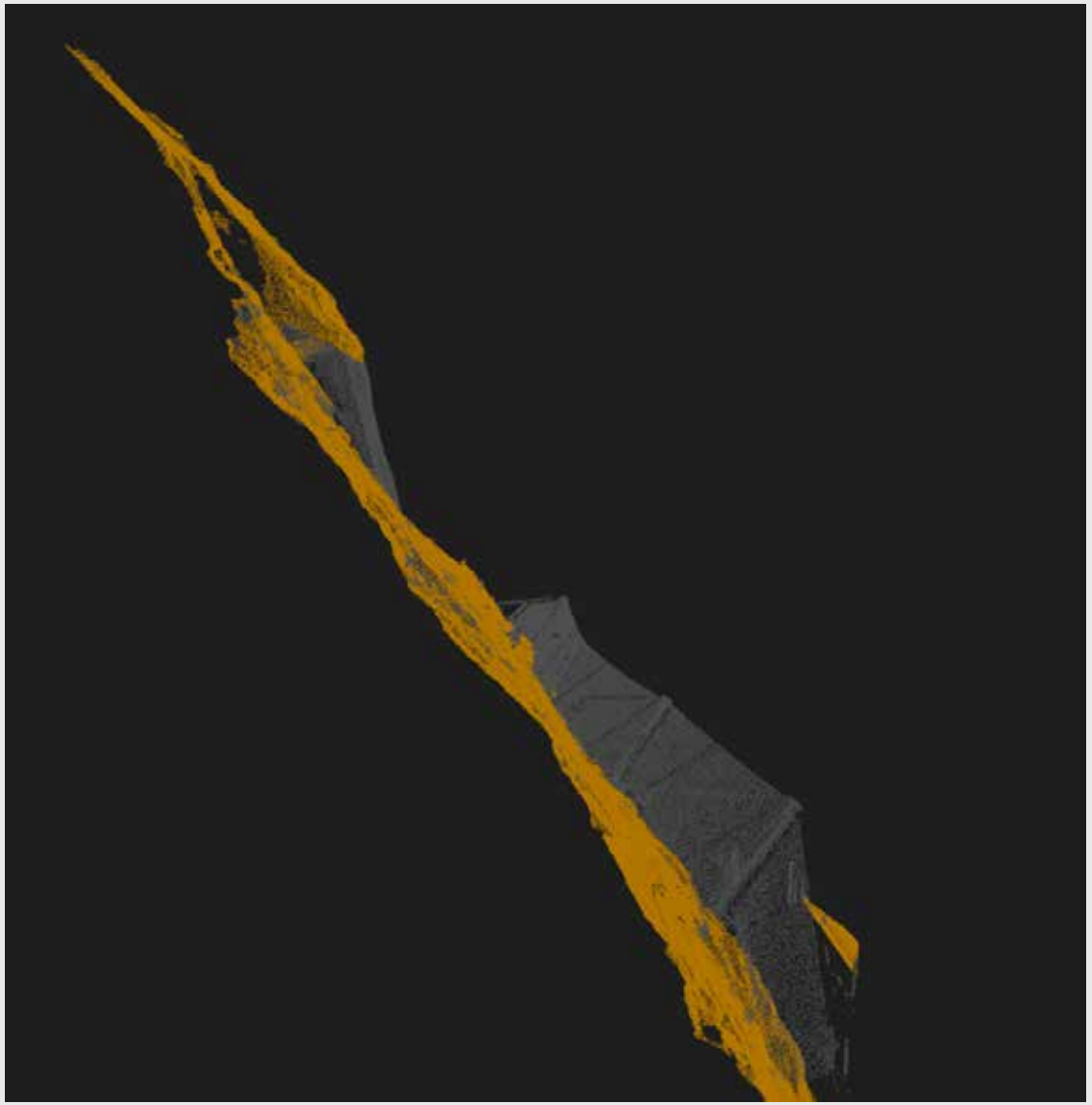
Prosjekt - Trybakkene



© Cautus Geo AS

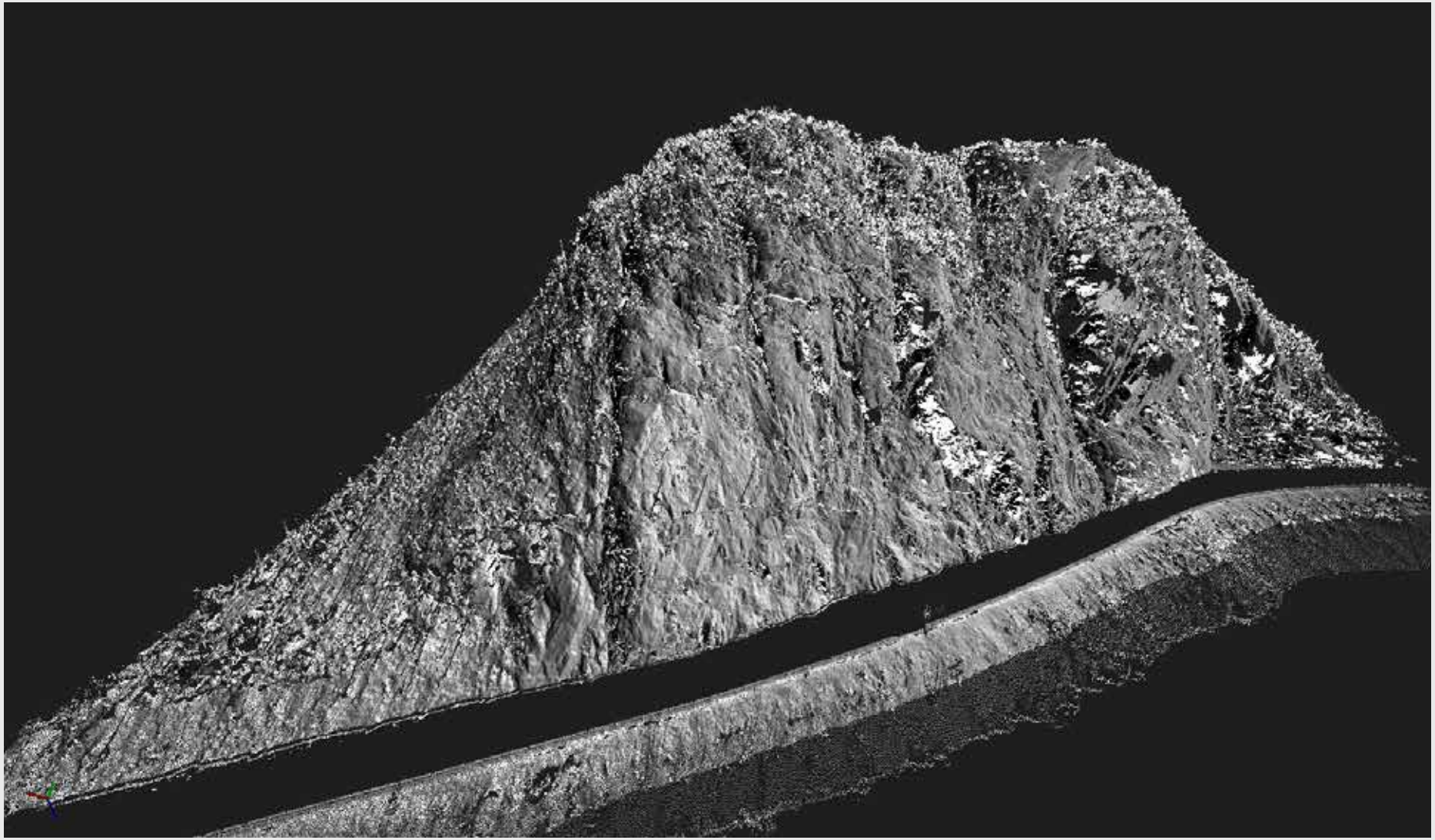
Prosjekt - Trybakkene





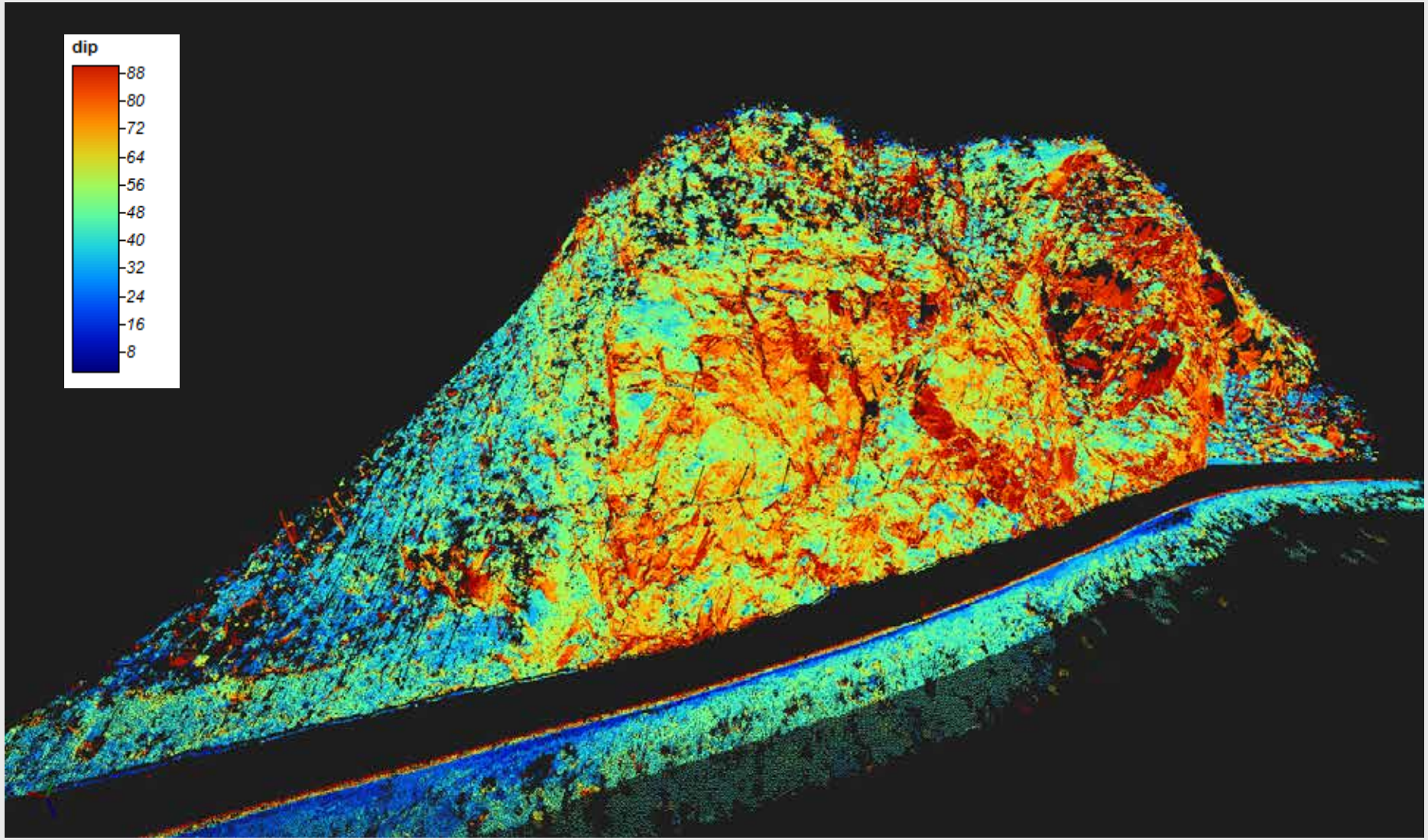
© Cautus Geo AS

Prosjekt - Trybakkene



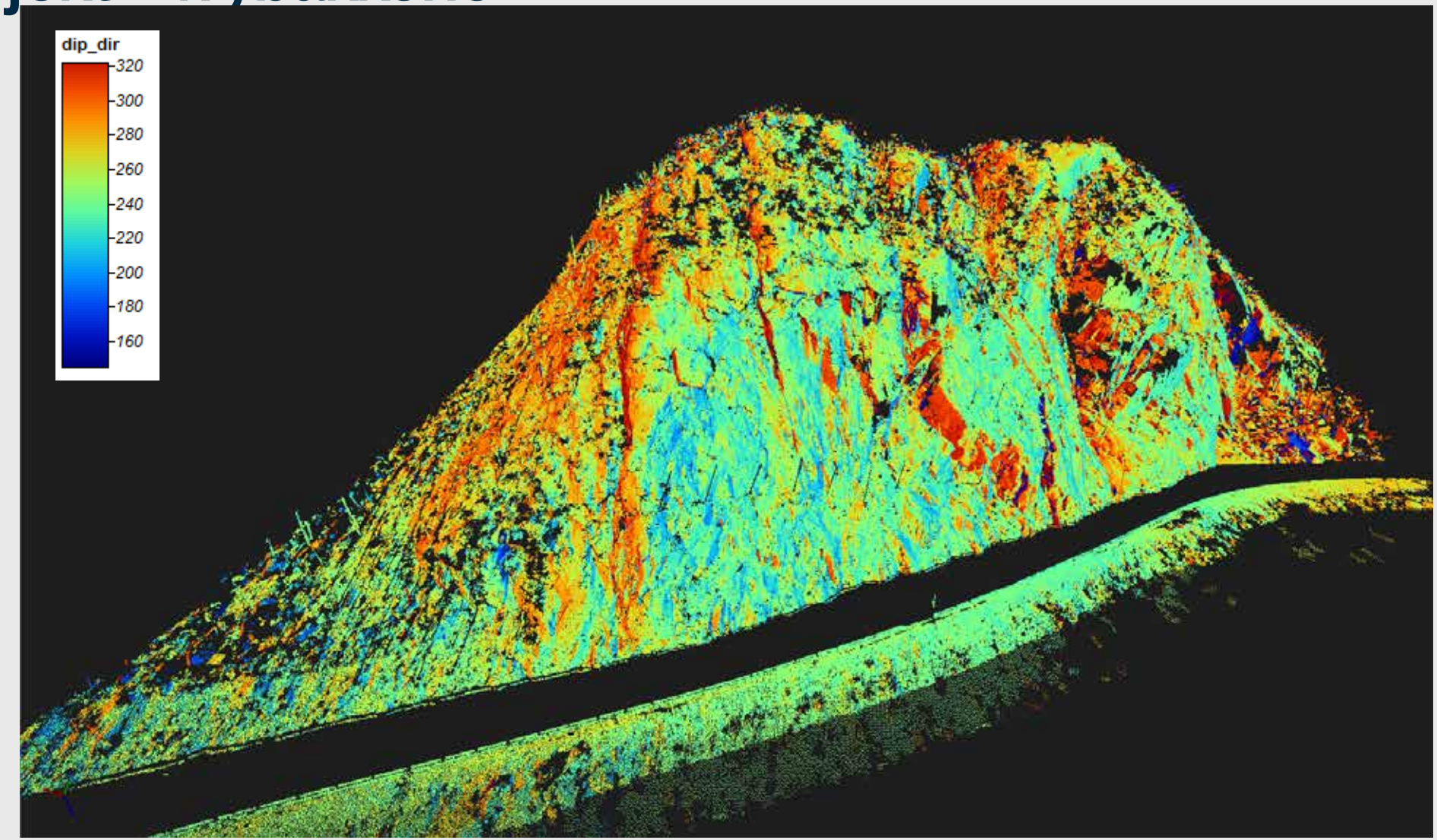
© Cautus Geo AS

Prosjekt - Trybakkene



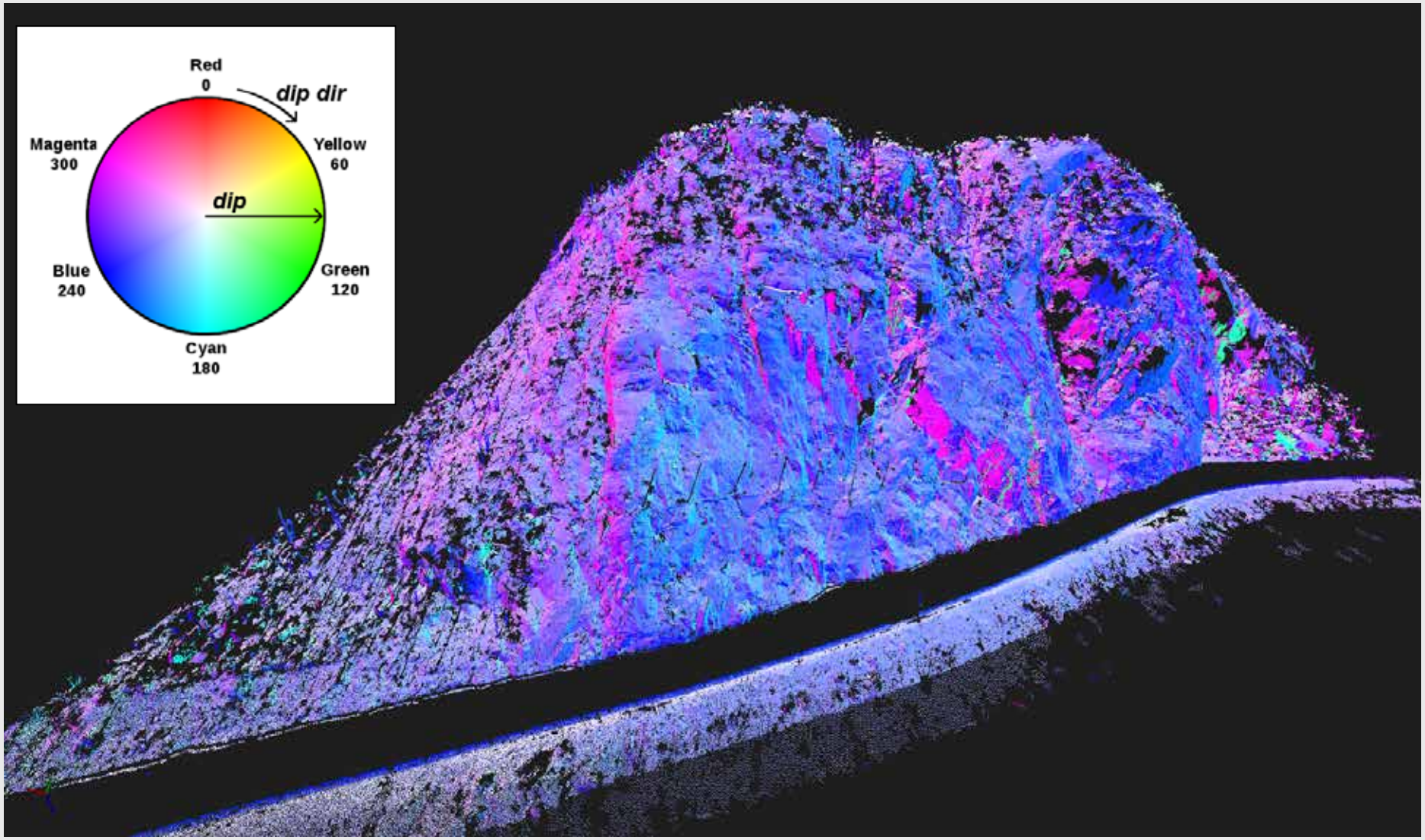
© Cautus Geo AS

Prosjekt - Trybakkene



© Cautus Geo AS

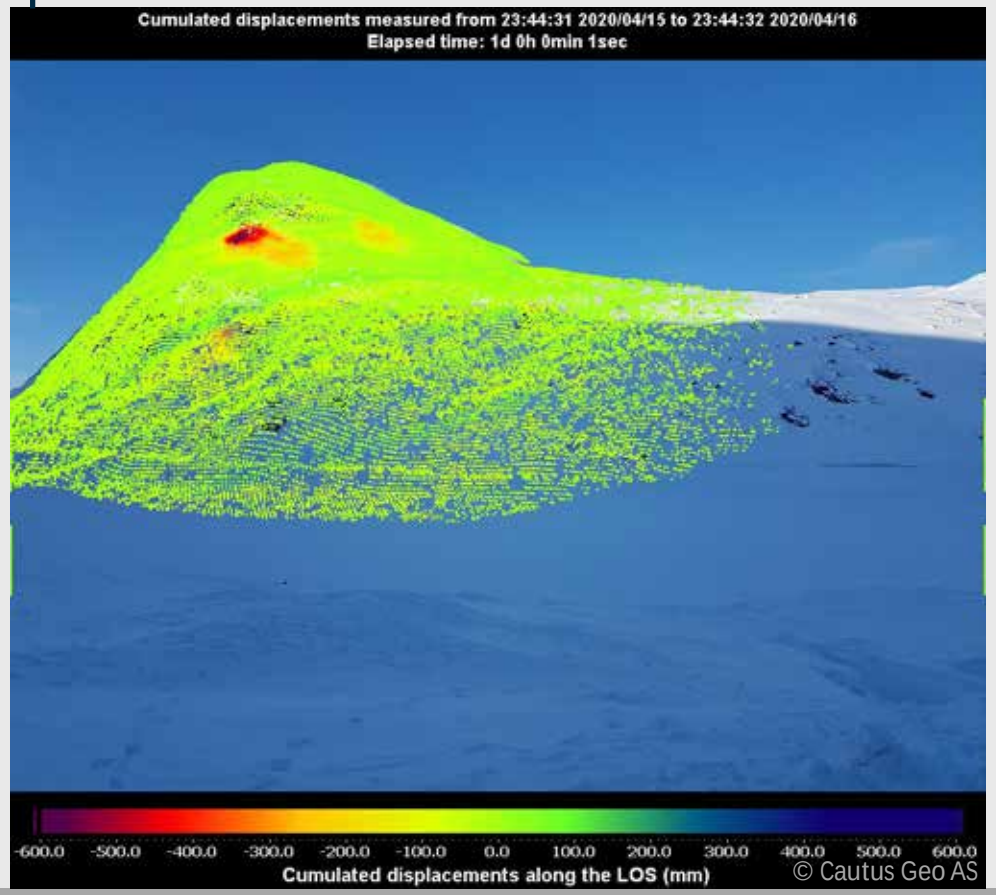
Prosjekt - Trybakkene



© Cautus Geo AS

Bakkebasert InSAR

Bakkebasert InSAR måler endring i avstand gjennom faseforskjeller i reflektert signal mellom to radarbilder på forskjellig tid fra nøyaktig samme posisjon.

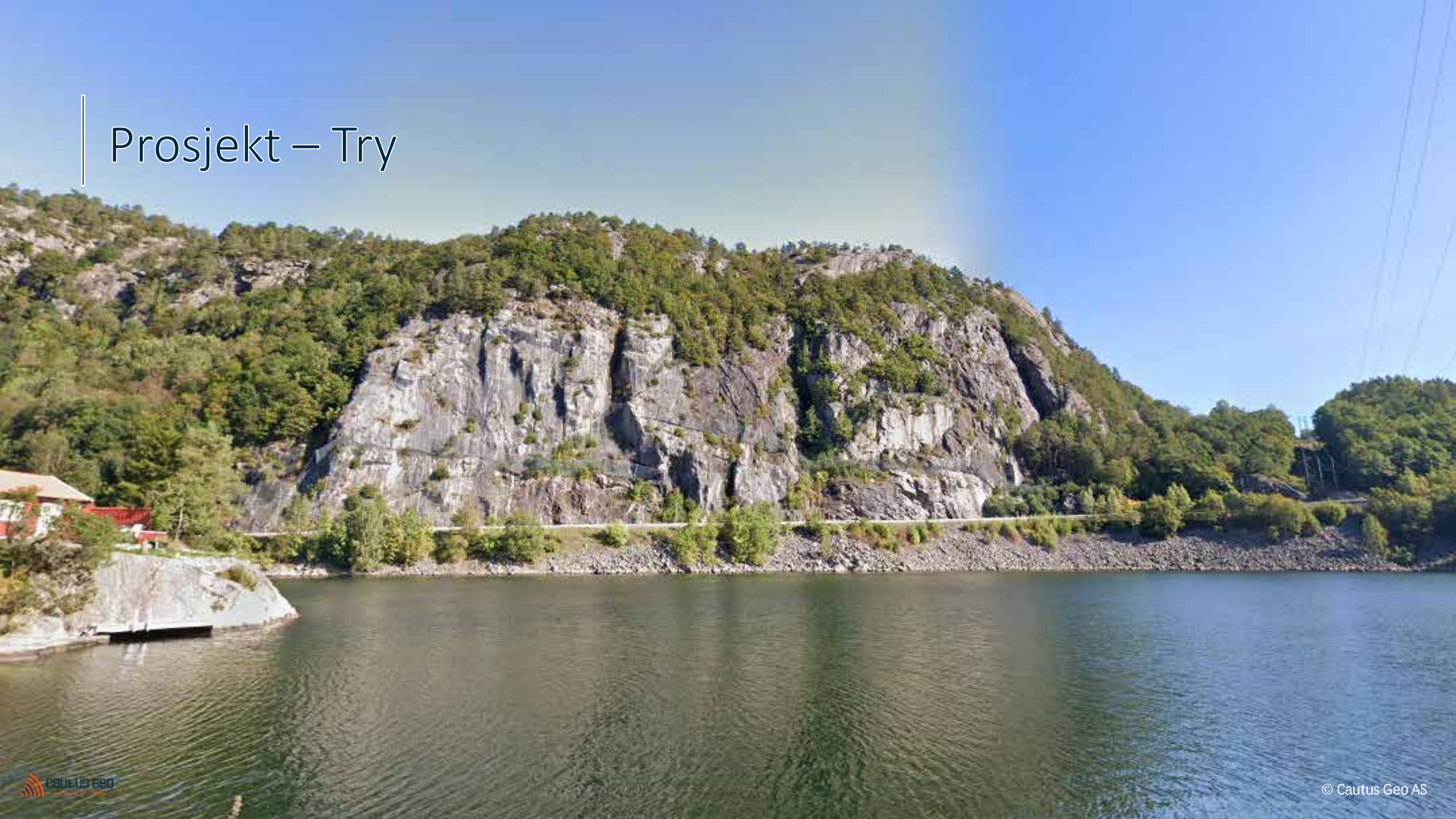


LiSALab GB-InSAR

- Avstand 5000 meter
- Et radarbilde tar under 5 min opptak
- Uavhengig av klimatiske forhold
- Nøyaktighet ned til 0,3 til 0,7 mm

© Cautus Geo AS

Prosjekt – Try



© Cautus Geo AS

Prosjekt - Try

Stein gjennom takluka – mann døde

En person er død etter at bilen han satt i ble truffet av et steinras på E39 i Søgne kommune i Vest-Agder.

AV: NTB

Publisert: 11.07.2010 18:47

ANNONSE

E39 Lindelia–Livold

NÆRINFO NR. 3 Sept. 2013

– Vi trenger ny E39 forbi Trysfjorden så raskt som mulig, sier Johan Mjaaland og seksjonsleder Inger Ann Fidjestøl i Statens vegvesen.

Tryggere E39 forbi Try

E39 langs Trysfjorden i Søgne er blant de dårligste vegstrekningene mellom Stavanger og Oslo. Statens vegvesen ønsker rask planavklaring for å komme i gang med bygging av ny motorveg på delstrekning Lindelia–Døle bru.

Dersom Søgne kommune og Statens vegvesen samler seg om en trasé i løpet av våren 2014, kan byggingen komme i gang i 2018. Valget står nå mellom en ytre trasé med bru over Trysfjorden og en indre trasé med flere tunneler lenger inne .

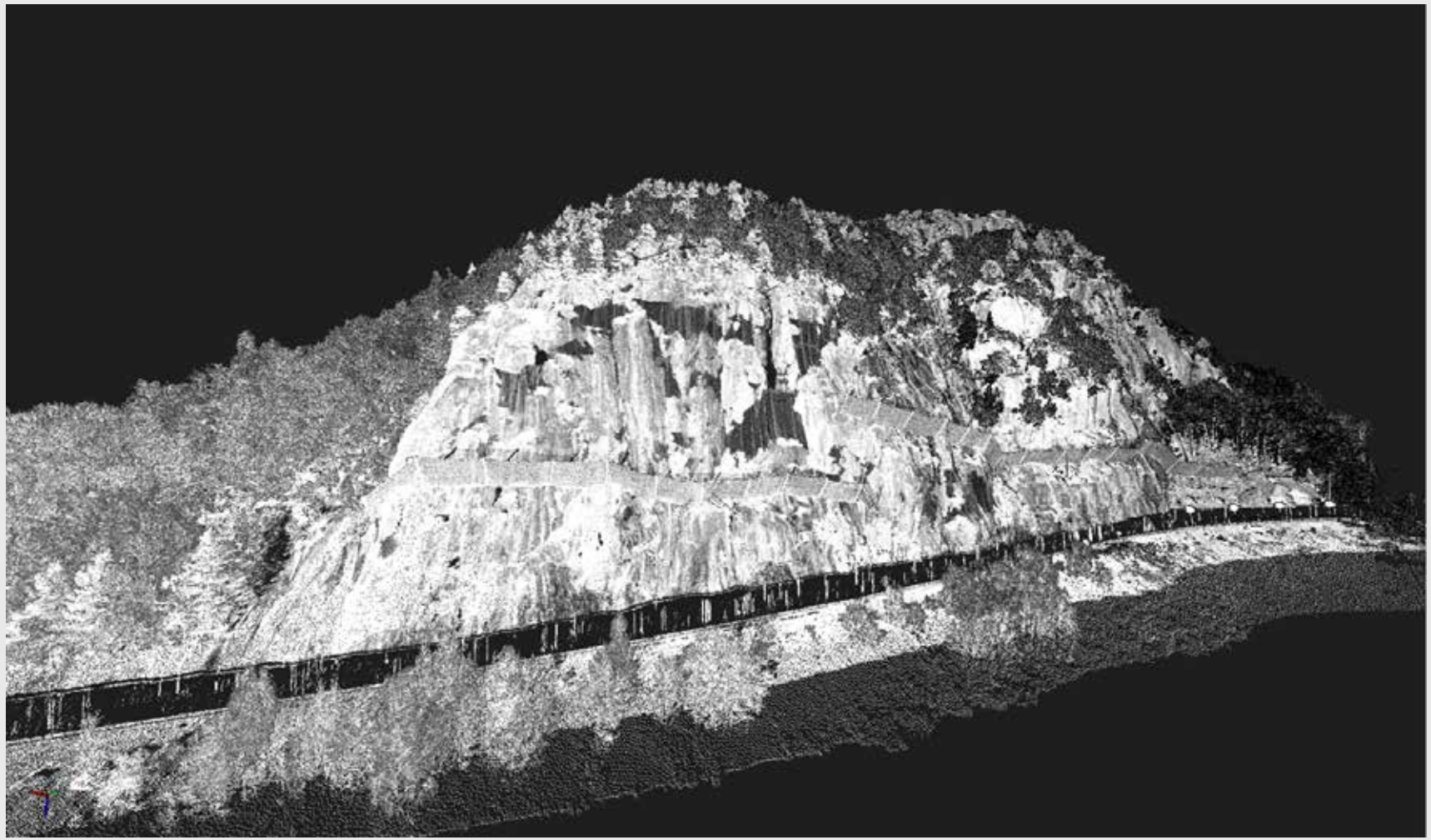
© Cautus Geo AS

Prosjekt – Try

© Cautus Geo AS

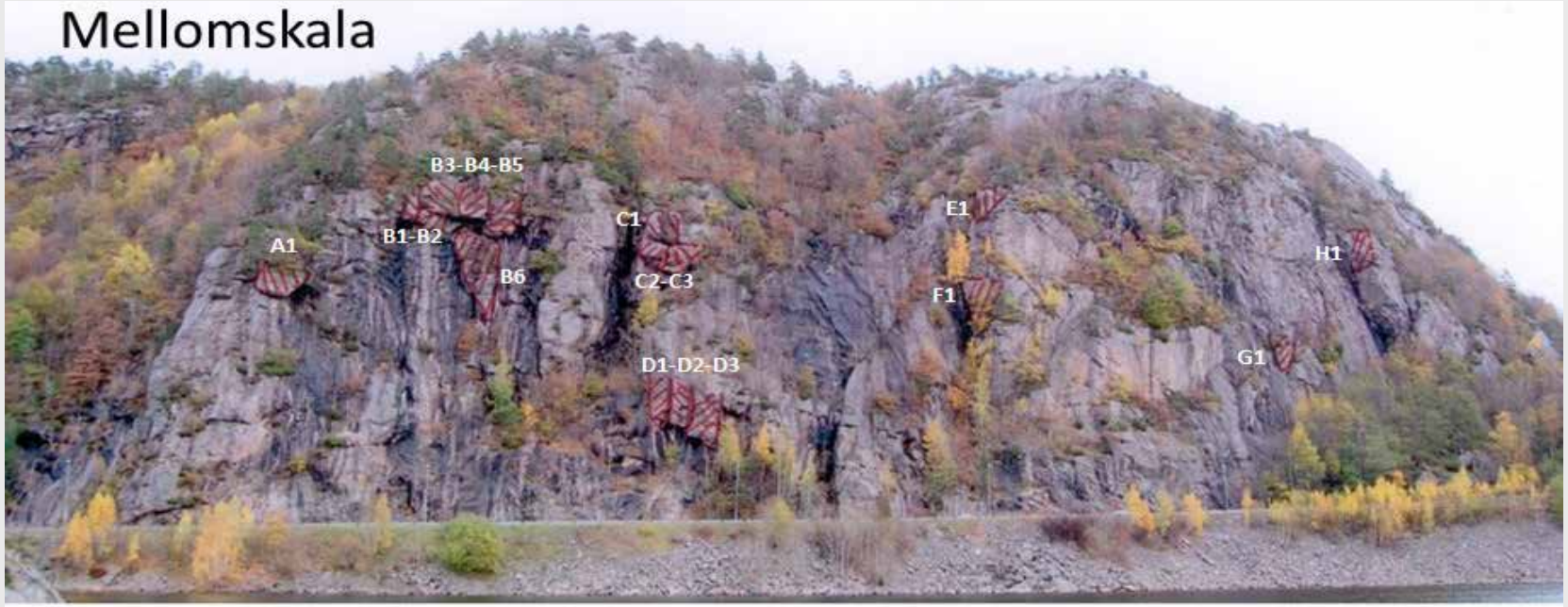
© Cautus Geo AS

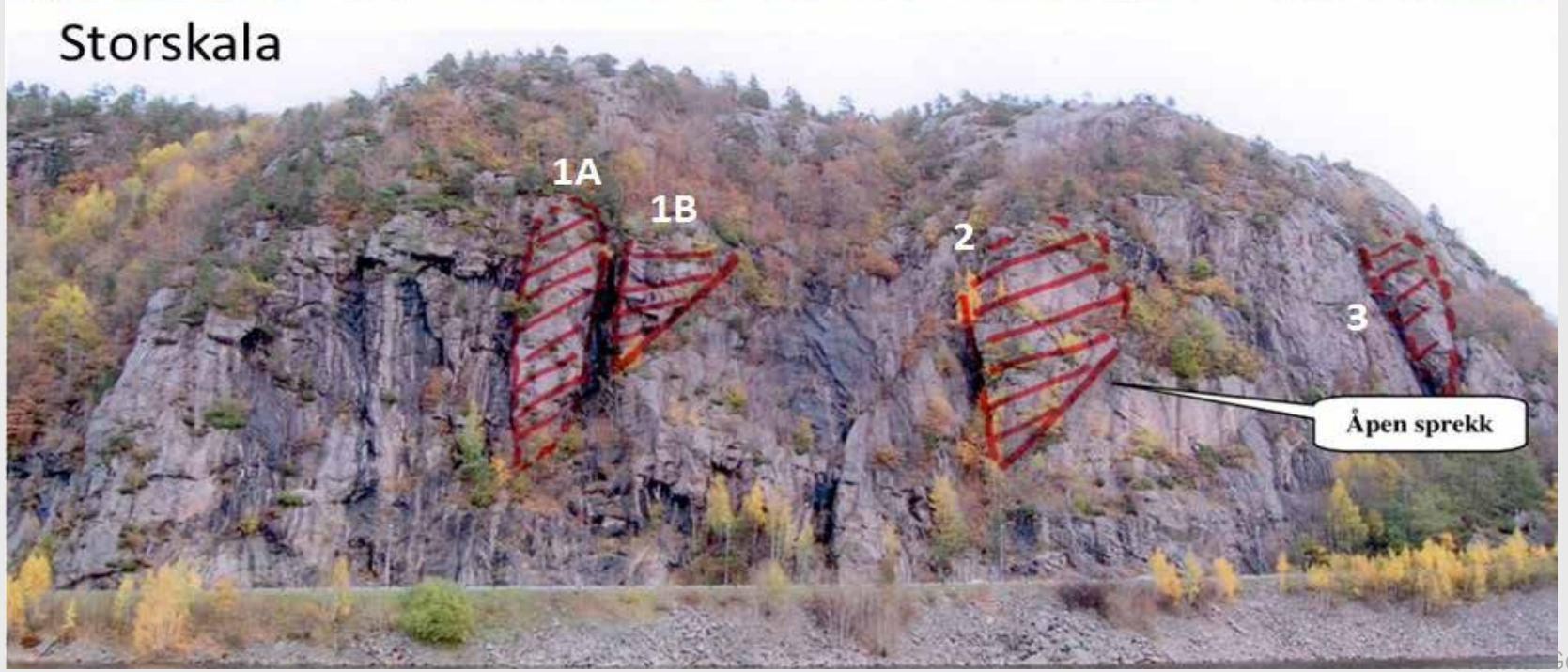
Prosjekt - Try



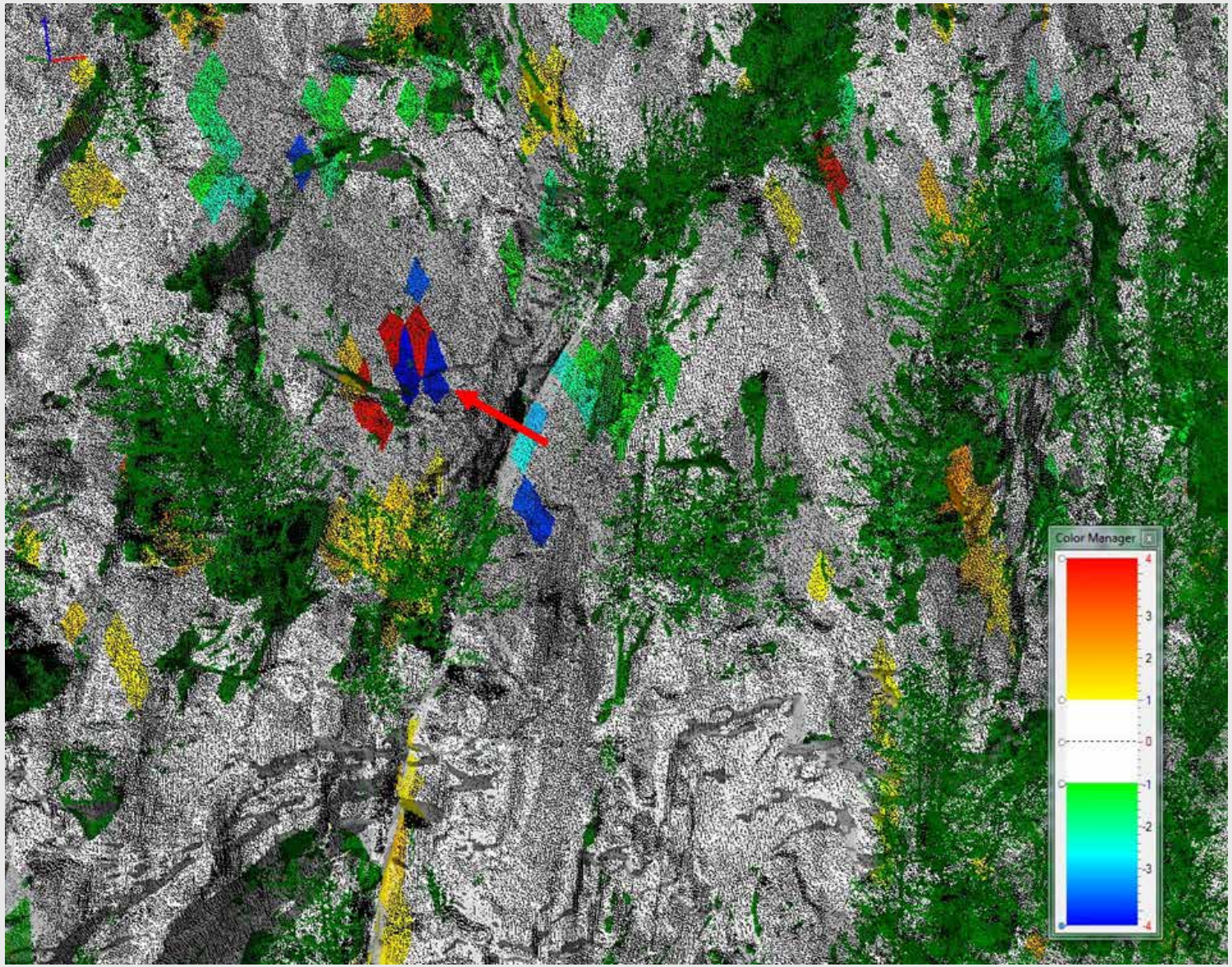
© Cautus Geo AS

Prosjekt - Try





Prosjekt - Try



© Cautus Geo AS

DATAFORVALTNING

CAUTUS WEB

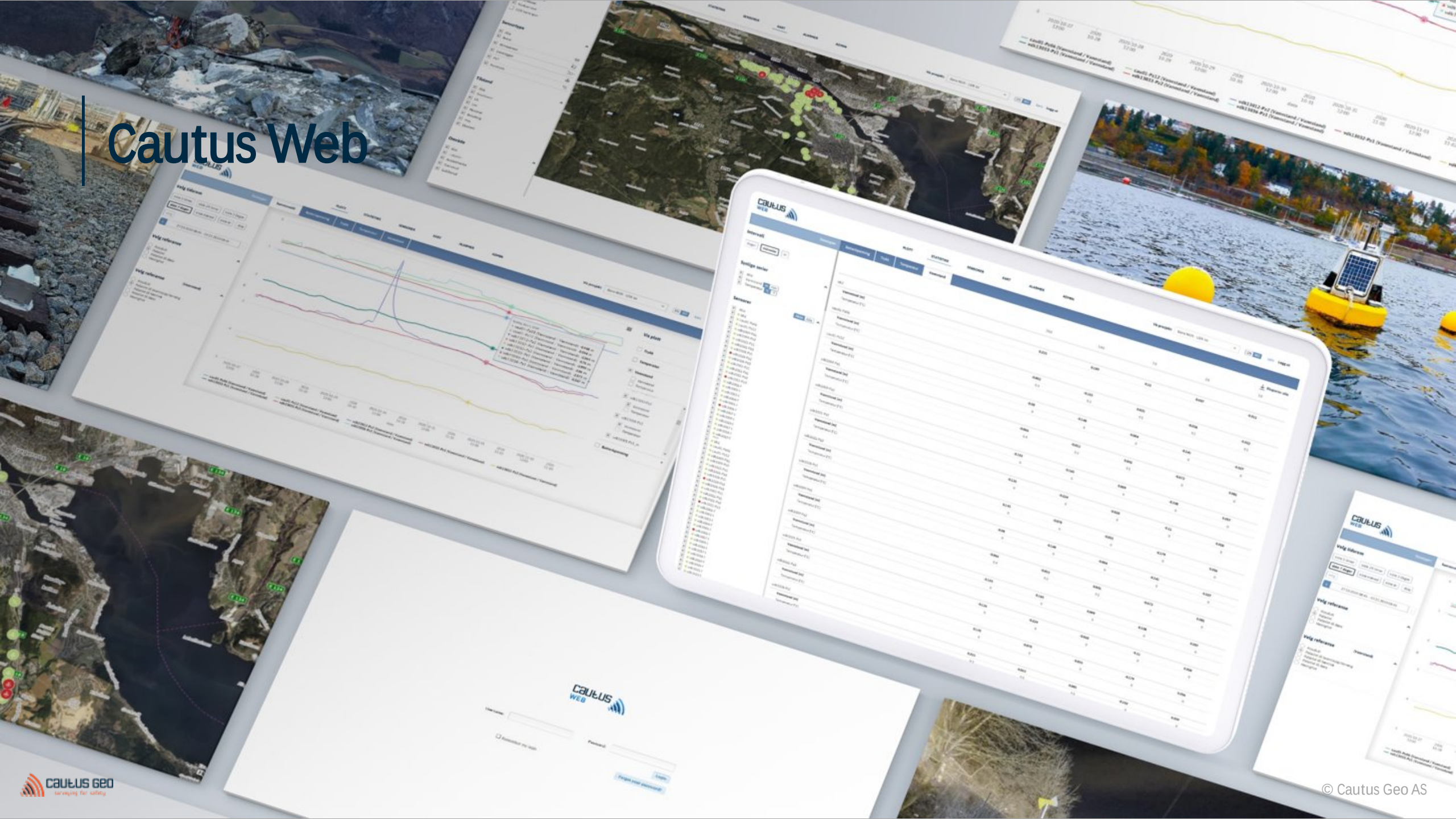
Cautus Web er en webbasert løsning for behandling og presentasjon av data fra en rekke sensorer og målesystemer. Systemet er uavhengig av sensorprodusentene og tilbyr en komplett løsning for sanntidsovervåking av blant annet naturfare, konstruksjoner, klima, vann og landområder.

Cautus Web er en sentral del i et geomonitoreringsprosjekt for å kunne samle dataene og presentere de på en brukervennlig og informativ måte. Den støtter alle plattformer med innlogging via din nettleser, og gir tilgang til de moduler som er nødvendige i prosjektet.

- Støtter mange sensorer og målesystemer
- Modulbasert og skalerbar
- Rask, brukervennlig visning av data
- Støtter alle plattformer
- Fleksibelt og prosjettilpasset
- Data analyser og rapporter
- Epost og SMS alarmer
- Uavhengig av sensorleverandør
- Støtter flere språk

KONSEPTOVERSIKT

Cautus Web



© Cautus Geo AS

"There is nothing permanent except change."

-HERACLITUS, 535-475 BC

© Cautus Geo AS

NGI DIGITAL

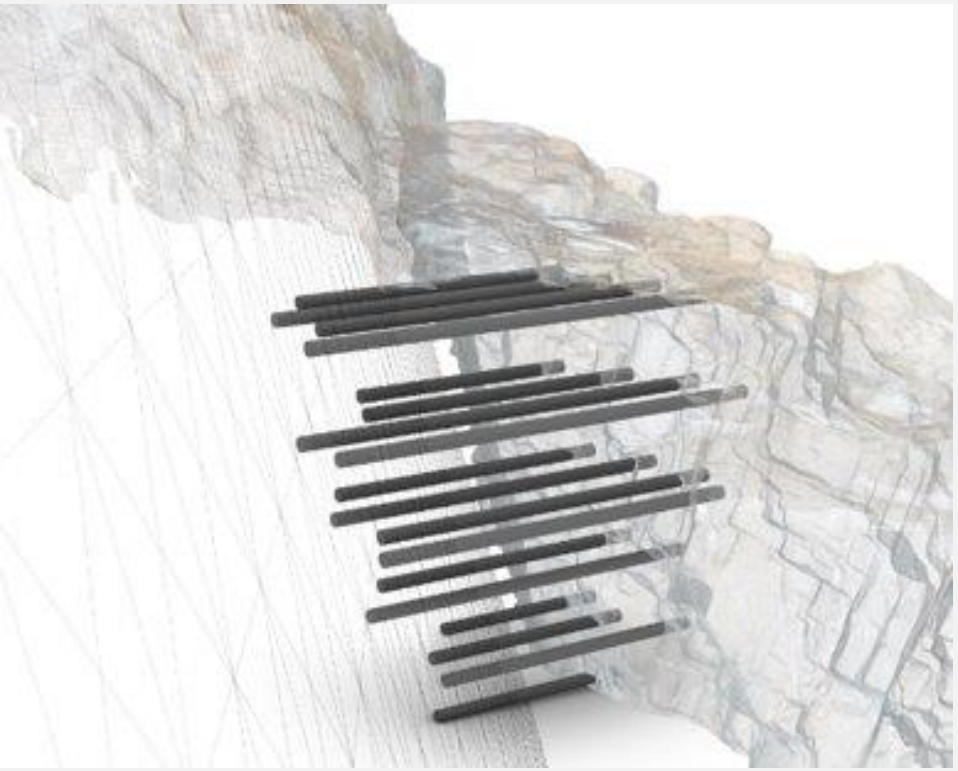
Digital kartlegging og sikring av skjæringer

- Et eksempel fra utbygging IC Vestfoldbanen

Tom F. Hansen, Jessica Ka Yi Chiu

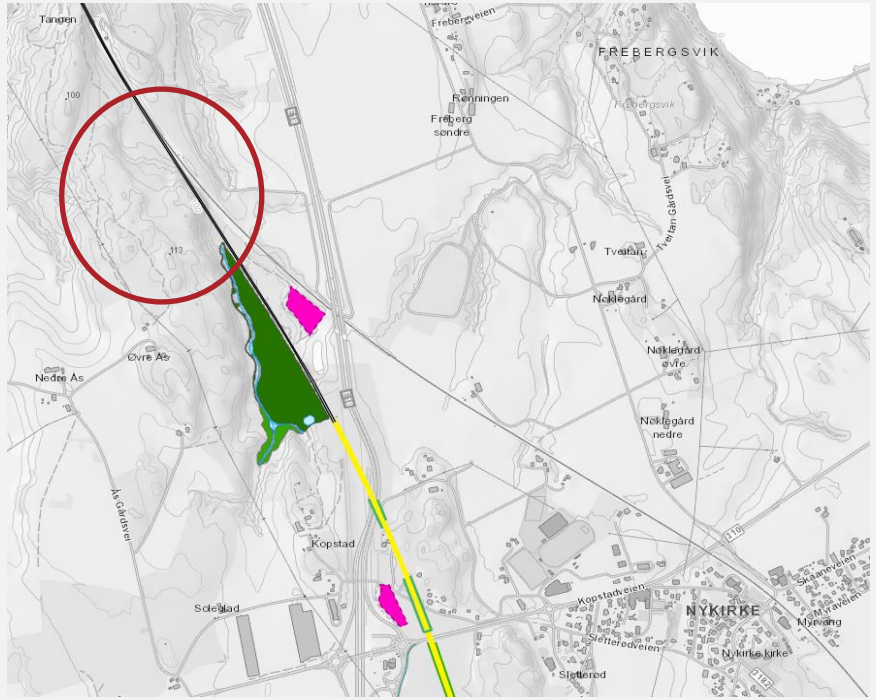
Agenda

- Problemstilling
- Arbeidsflyt
- Datainnsamling
- Fase 1 - designfase:
  - digital modell med oppsprekning og blokkidentifisering
- Fase 2 – oppfølging i byggetid
  - storskala modellering og stabilitetsvurdering
- Fremtidig prosess / videre utvikling



Problemstilling

- Intercity Nykirke – Barkåker (UNB)
- 40 m høy og 200 meter lang bergskjæring skal sprenges ut ved bane i drift
- 2 problemstillinger:
  - Risikovurdere stabilitet for eksisterende bergskjæring
  - Sprengningsplan, stabilitetstvurdering og sikring i ny skjæring



Bilde og kartutsnitt fra Bane NOR

Arbeidsflyt fase 1

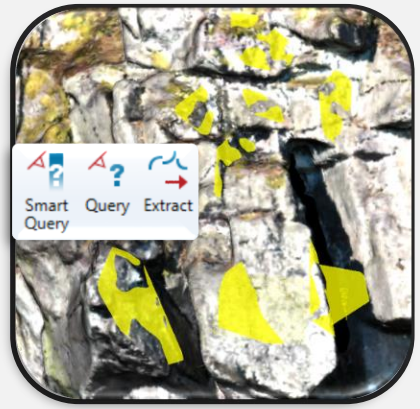
1.og 2. figur til venstre:
Bide og ikon fra Maptek

Scan/bilder samles inn med drone og lidarscanner

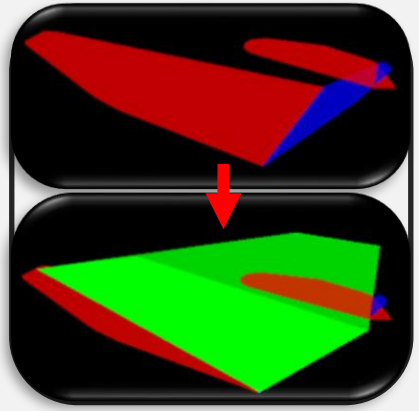
Import av punktsky til Maptek, filtrere, trimme

Meshe og sette sammen 3D-modell fra fotogrammetri og lidar-punktskyer i Maptek

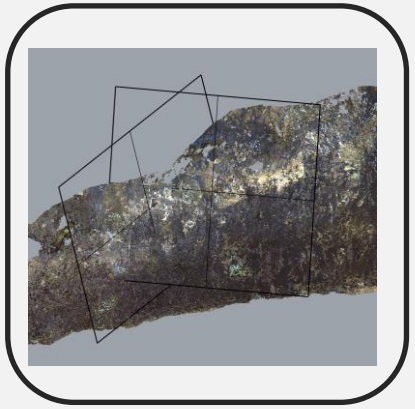
Semi automatisk sprekkegjenkjenning i Maptek



Gruppere sprekker, kinematisk analyse og visualisere potensielt ustabile blokker i Maptek

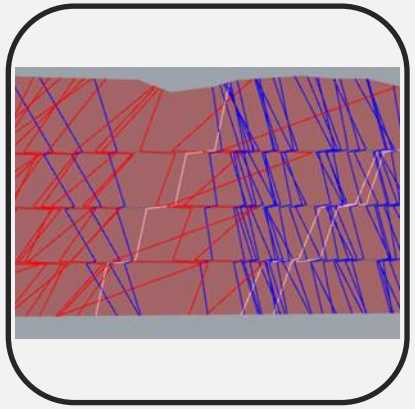


Visualisere sprekkeplan i Grasshopper



Visualisere potensielt ustabile blokker med nødvendig boltekraft i samlet 3D-modell

Visualisere sprekkeplan i planlagt skjæring



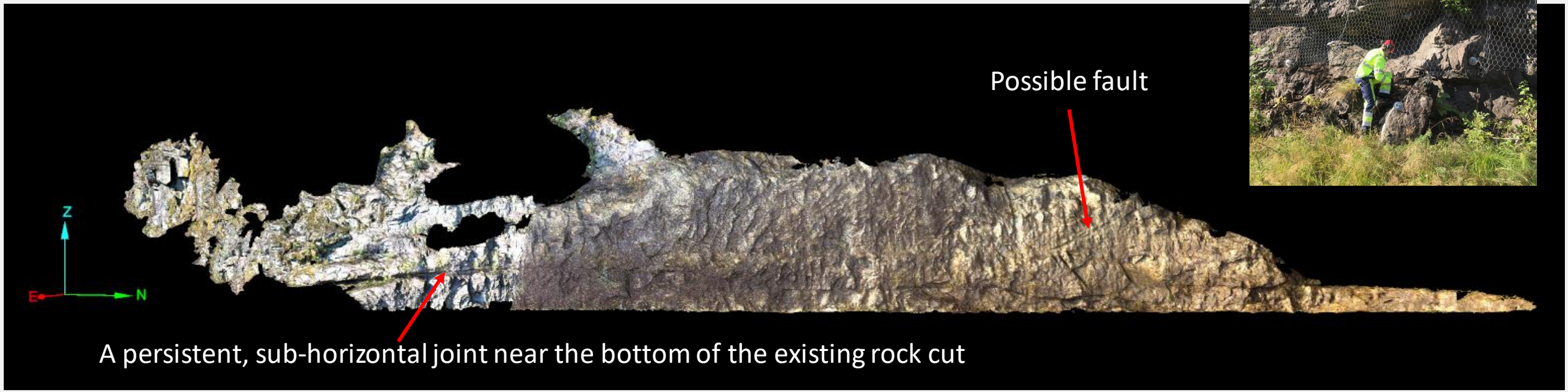
→ Økende grad av FoU

Datainnsamling

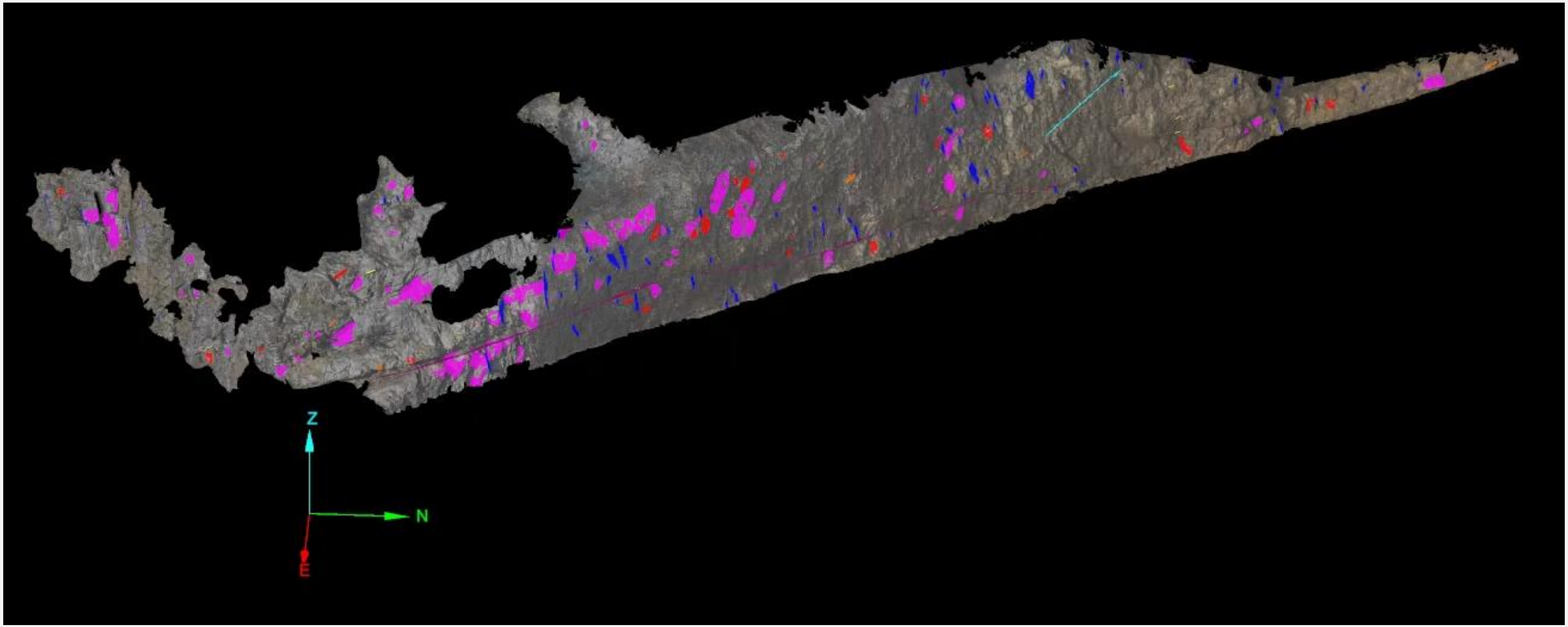
- Drone – bilder
- Lidar-scan
- Utfordringer:
  - Vegetasjon og eksisterende nett, filtreres manuelt ut
  - For mye filtrering gjør at man går glipp av informasjon
- Utfordrende med resultat fra drone i vertikale vegger, z-retning
- QA på målte sprekkeplan i felt
- Fremover: bruk data som samles inn som del av normal annleggsoppfølging:
  - Dronebilder
  - Lidar-scan for dokumentasjonskrav

Fase 1 - designfase

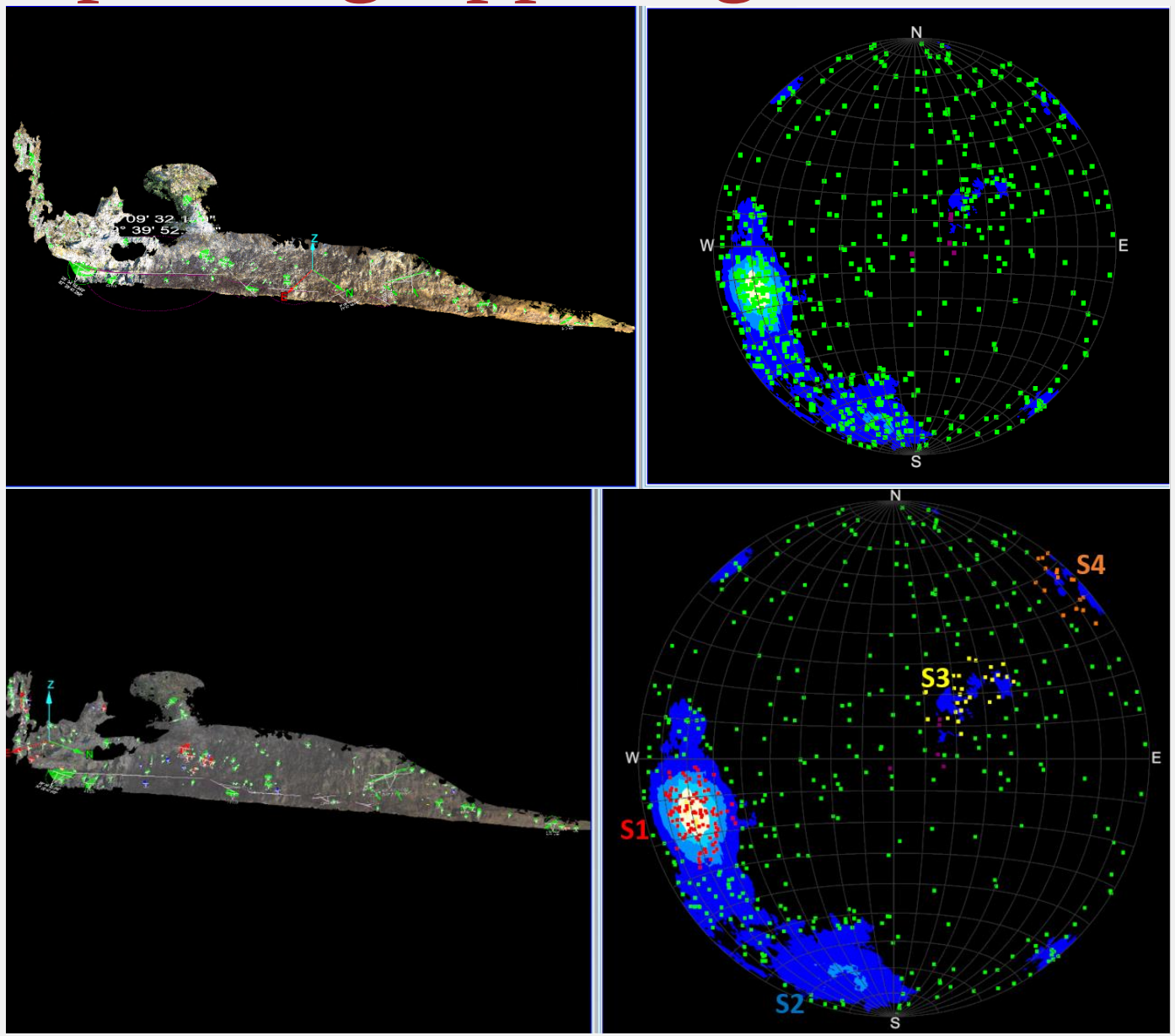
Kartlegging av gjennomsettende sprekker/mulig forkastning i 3D modell



Semiautomatisk sprekkegjenkjenning i Maptek



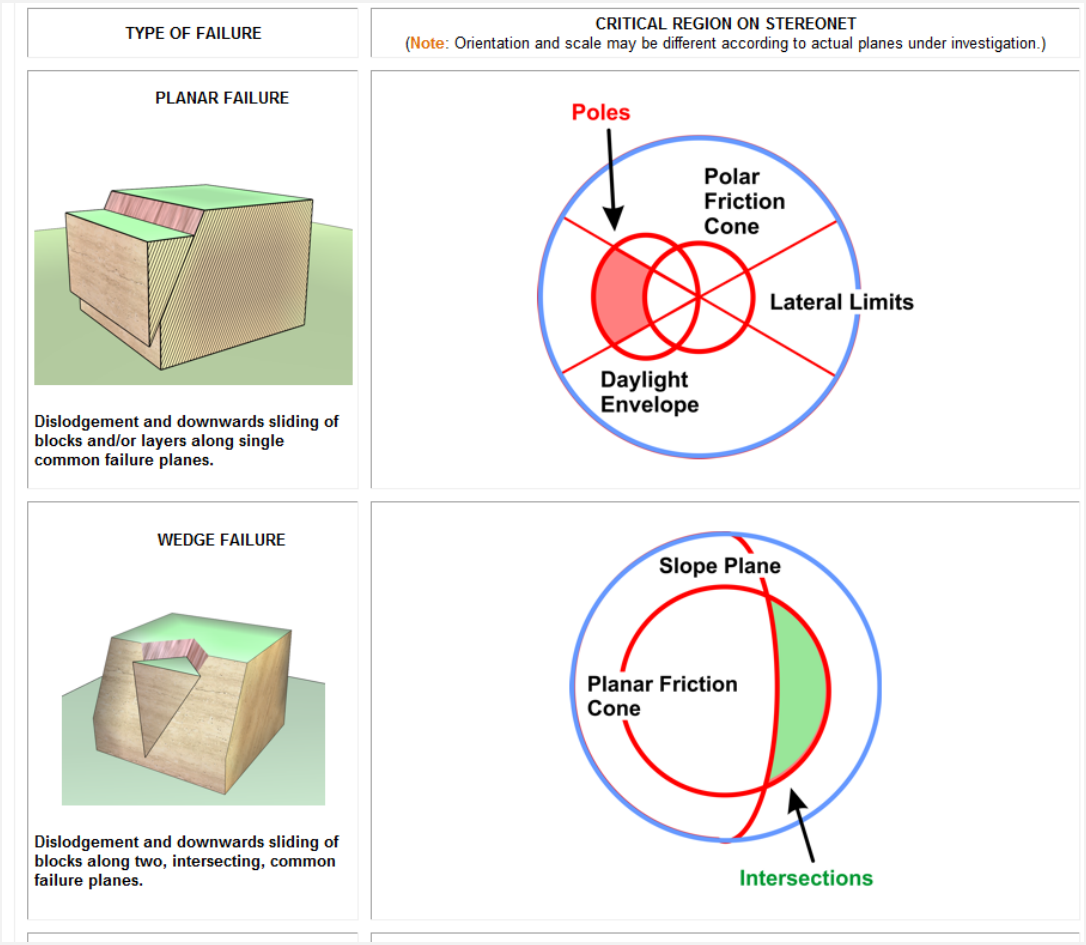
Sprekkegruppering i stereonet



Sprekke-sett	Fall	Fallretning
S1	70°	075°
S2	74°	017°
S3	34°	229°
S4	84°	225°
Gjennom-settende	3-16°	021°/265°-279°
Mulig forkastning	61°	215°

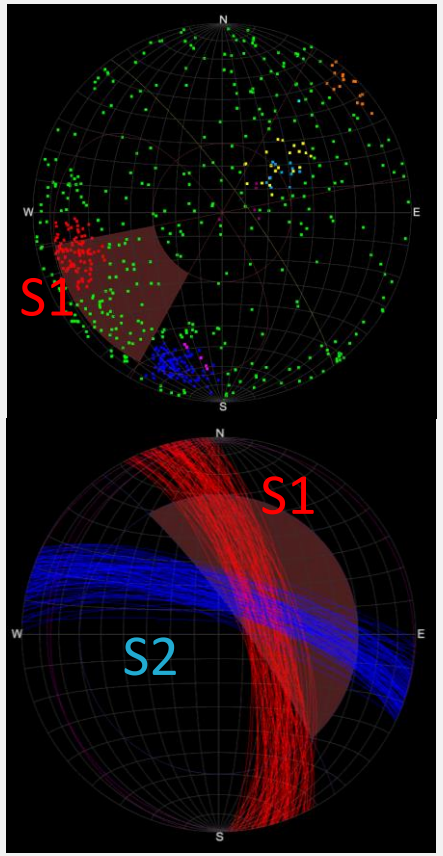
NGI DIGITAL

Kinematisk analyse i Maptek

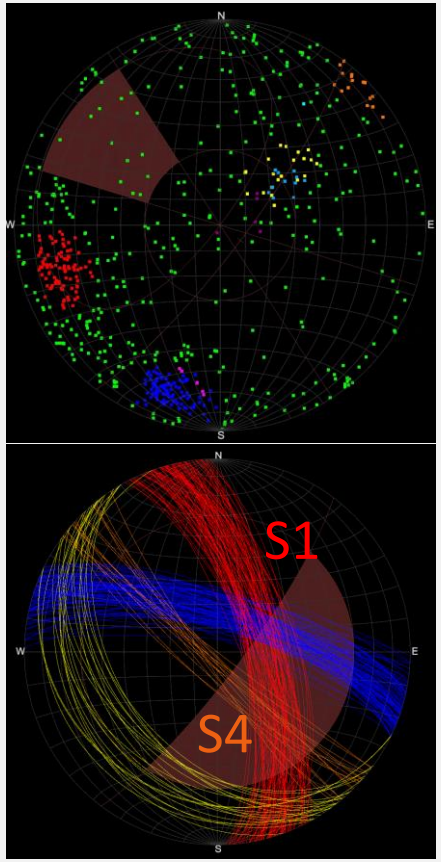


Figur fra Maptek Pointstudio

Eksisterende bergskjæring : Ca. 80° helning ≈ mot N054°

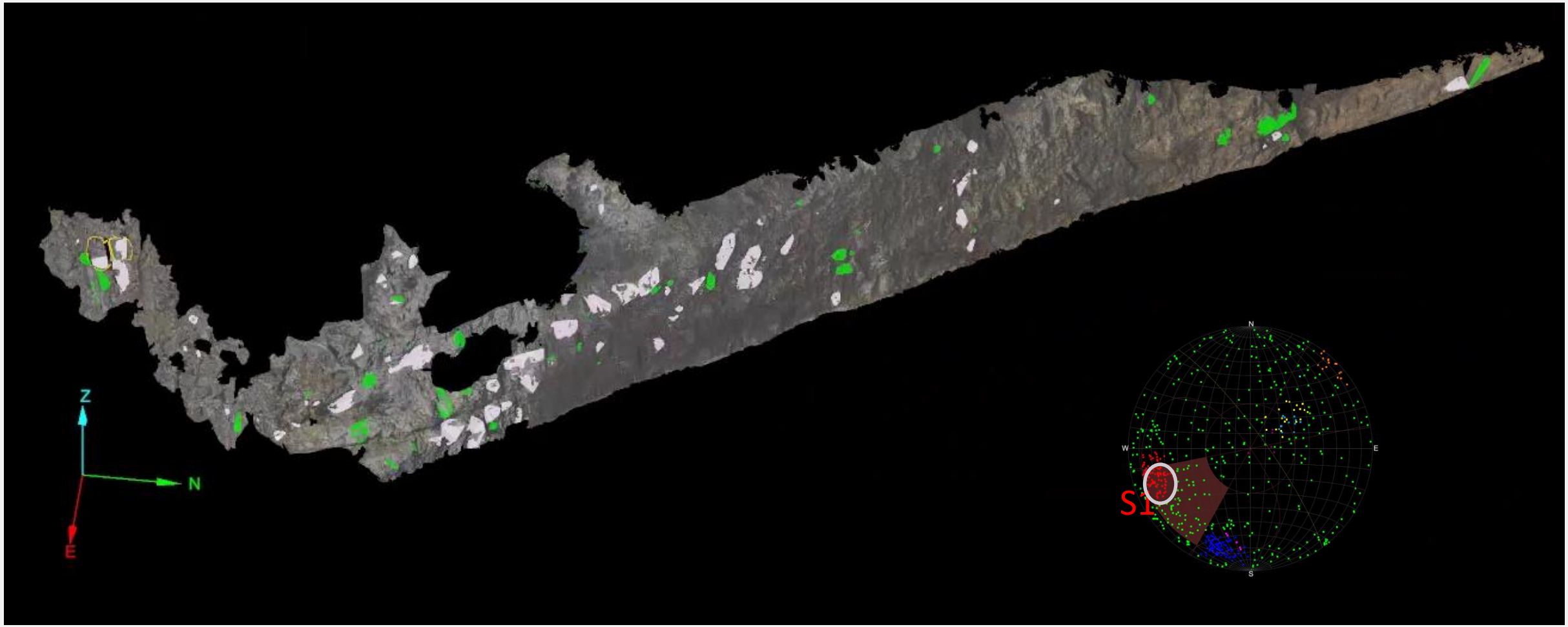


Eksisterende bergskjæring (sør): Ca. 80° helning ≈ mot N127°

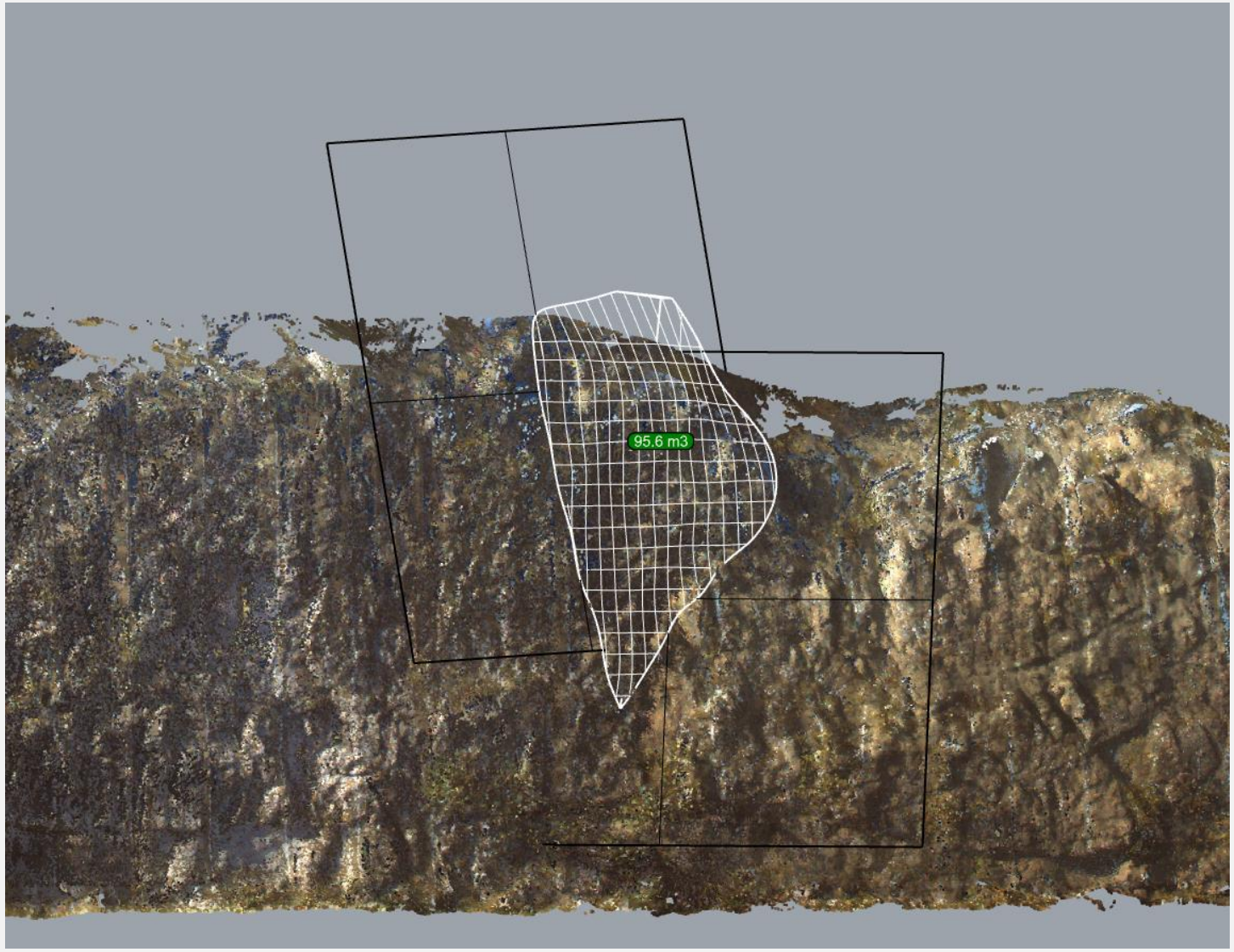


Kileutglidning

Planutglidning



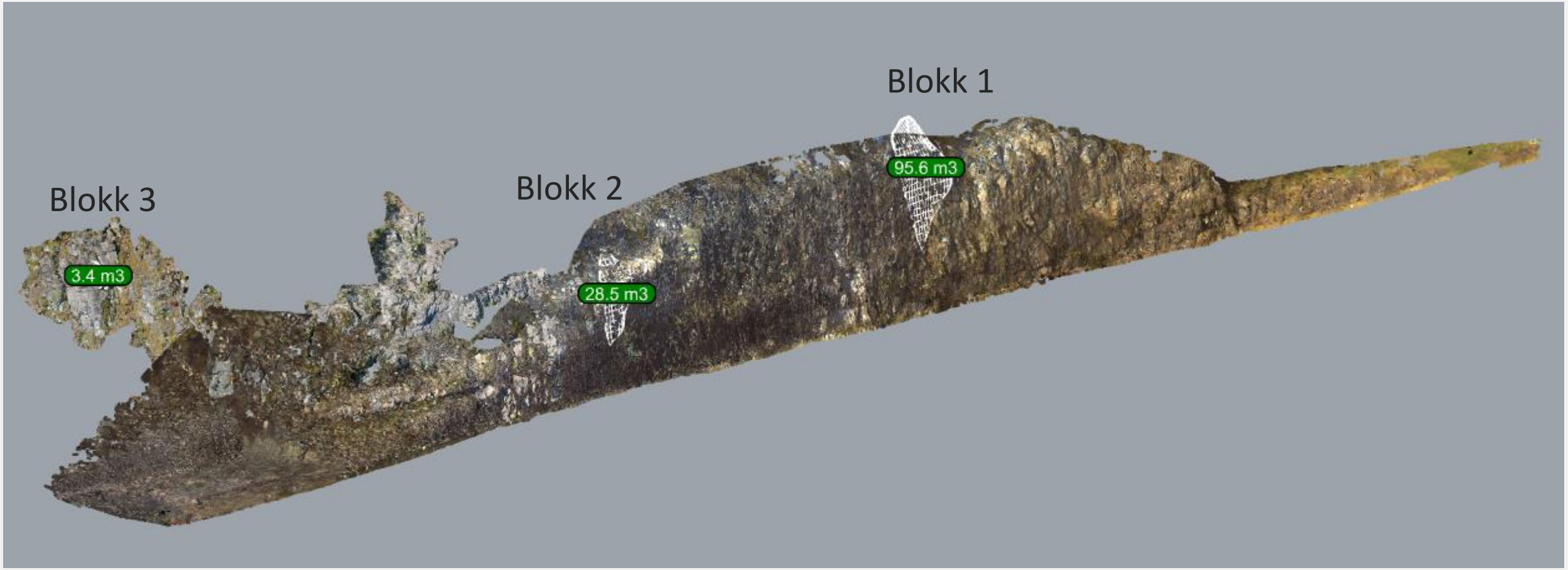
Vurdering av enkeltblokker i Rhino/Grasshopper



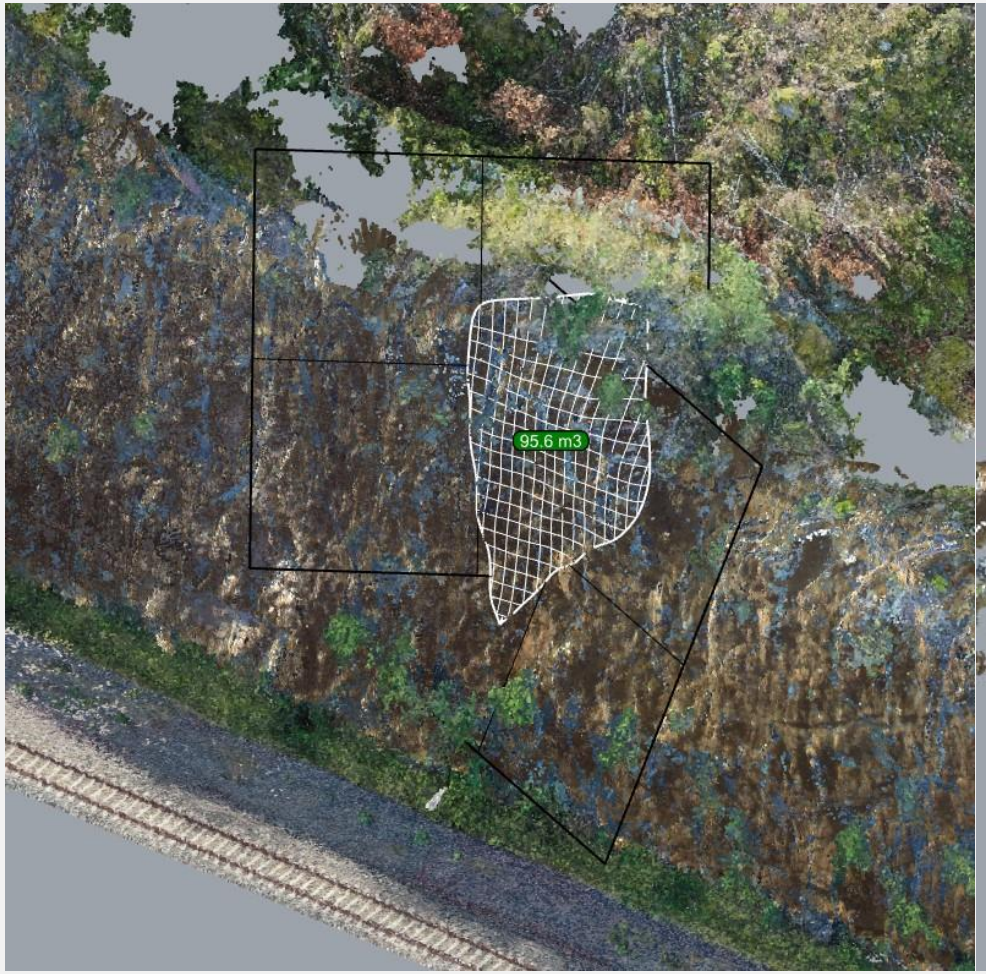
Parametrisk modellering

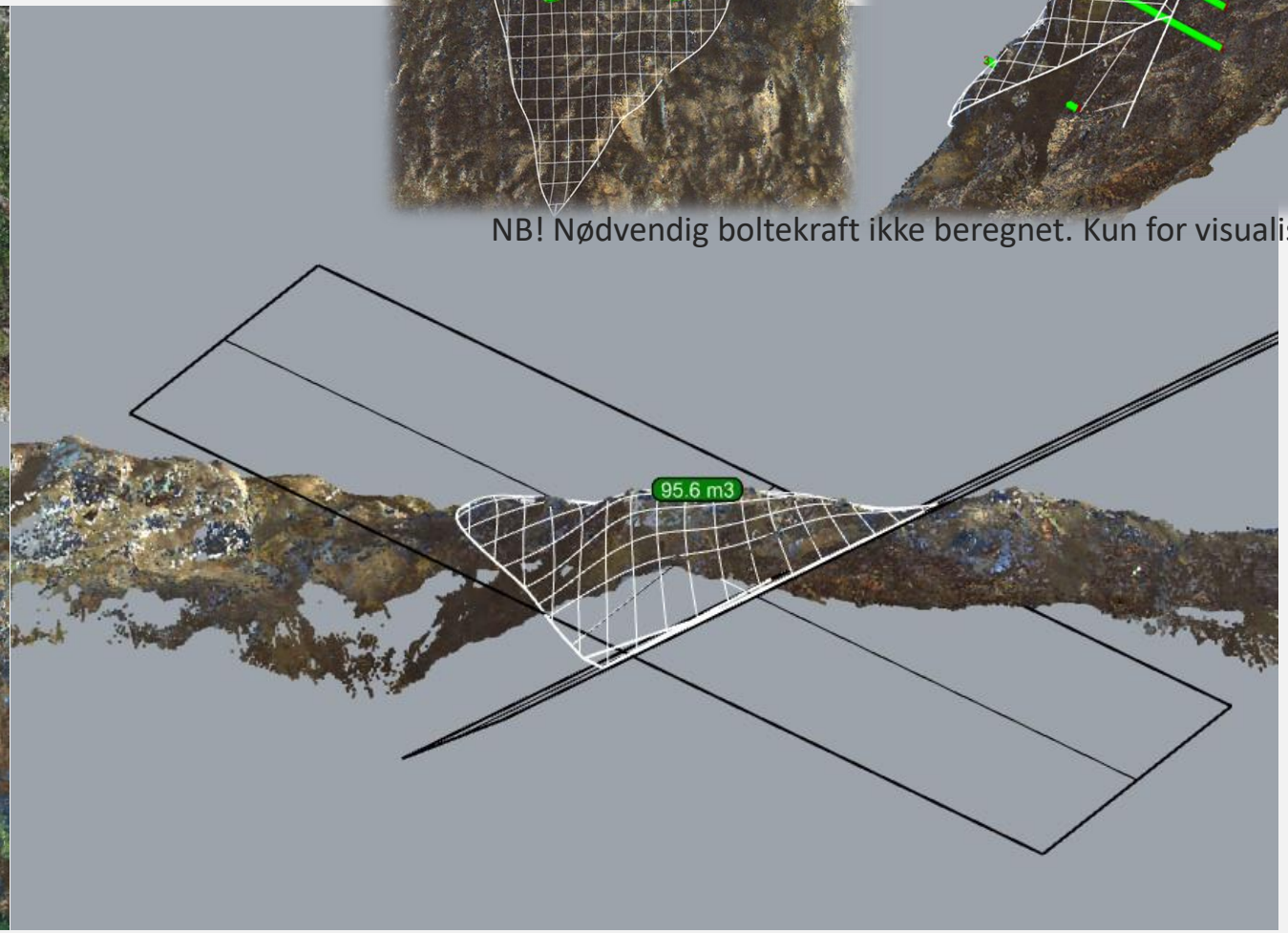
NGI DIGITAL

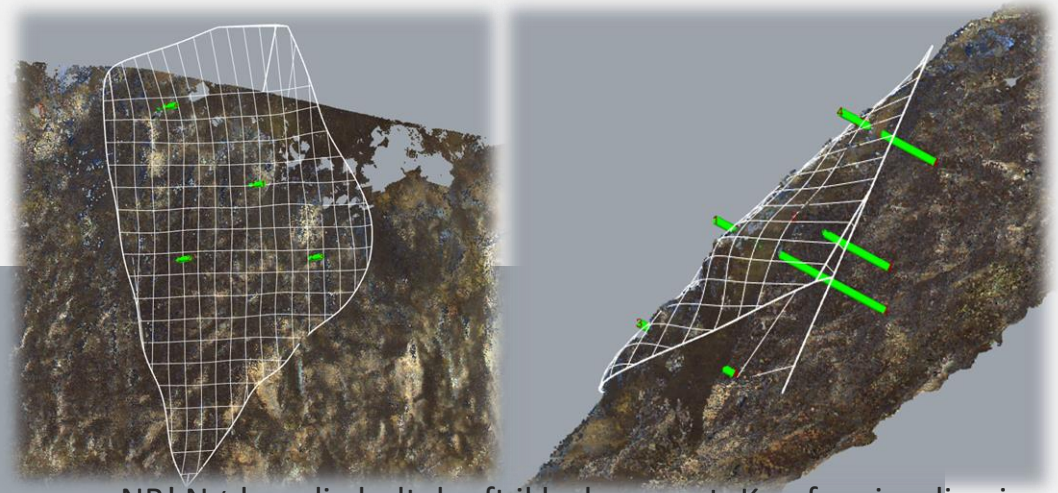
Data for utvalgte ustabile blokker



Blokk 1

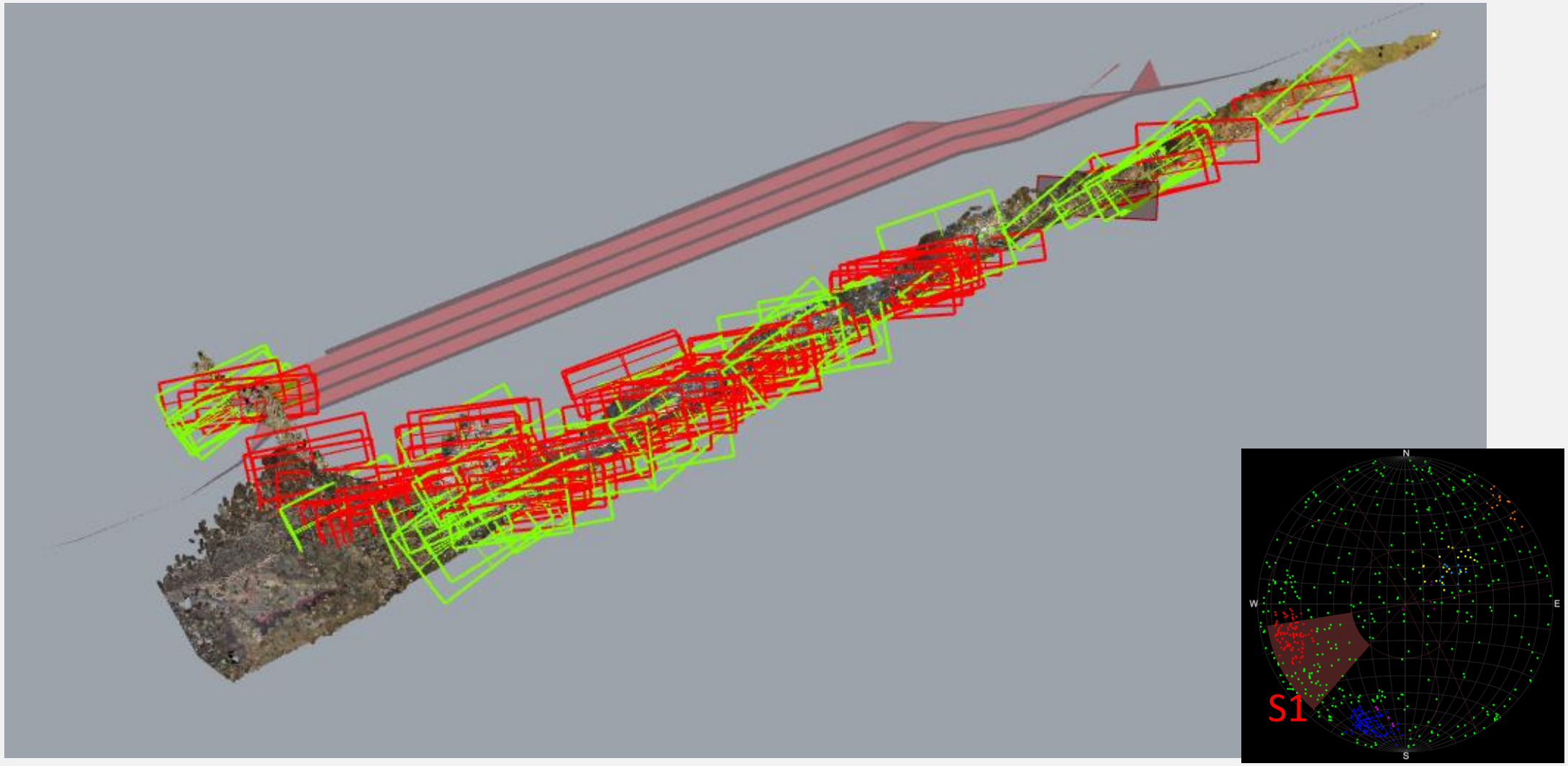




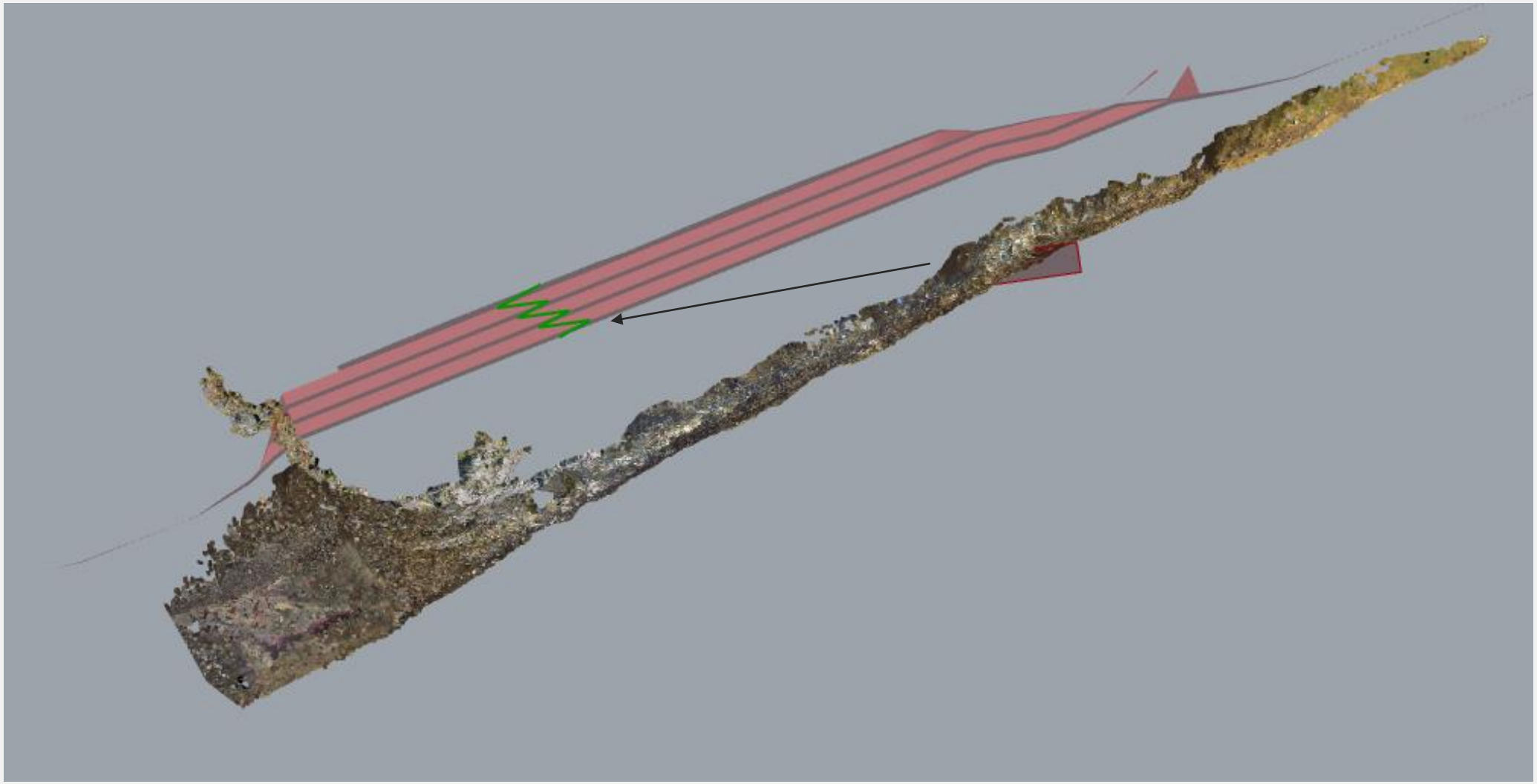


NB! Nødvendig boltekraft ikke beregnet. Kun for visualisering.

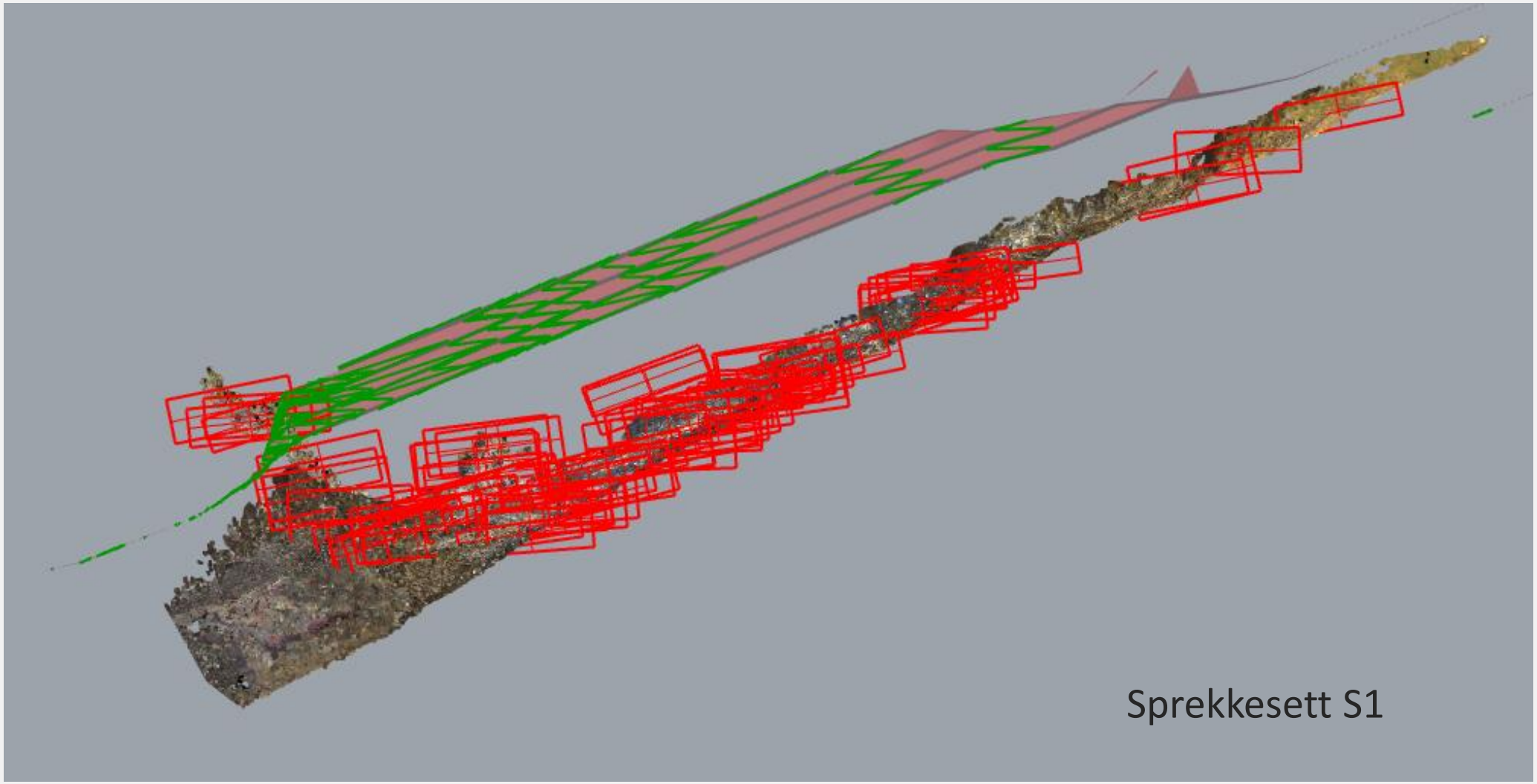
Stabilitetsvurdering for ny skjæring



Planutglidning i planlagt bergskjæring (1)



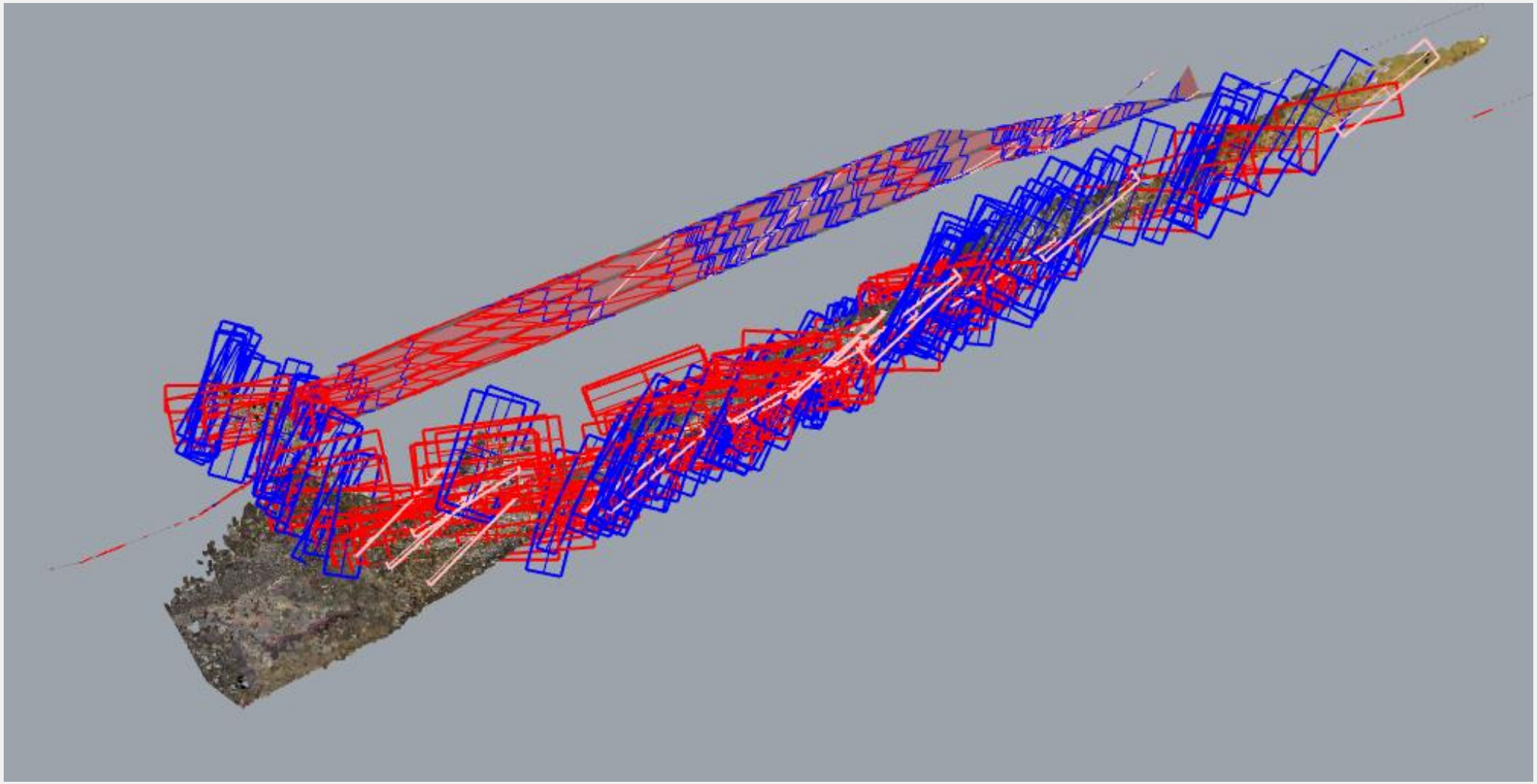
Planutglidning i planlagt bergskjæring (2)



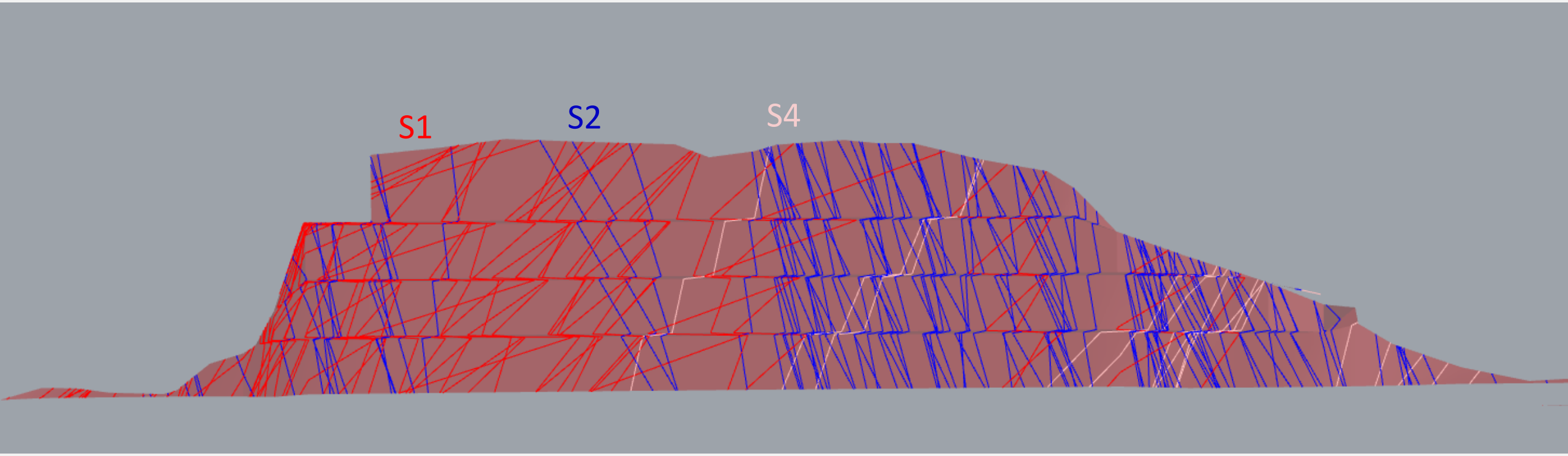
Planutglidning i planlagt bergskjæring (3)

NGI DIGITAL

Kileutglidning i planlagt bergskjæring (1)

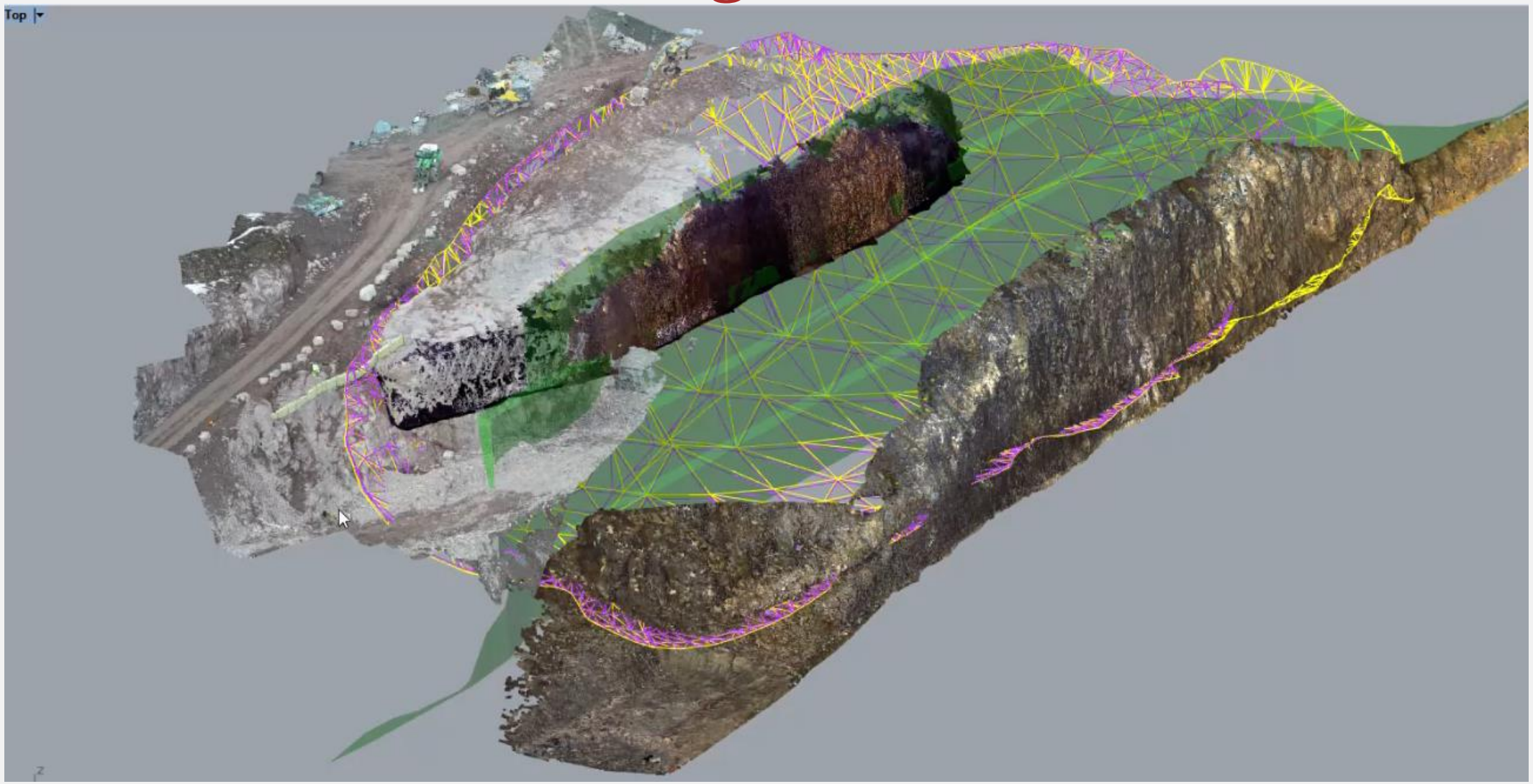


Kileutglidning i planlagt bergskjæring (2)

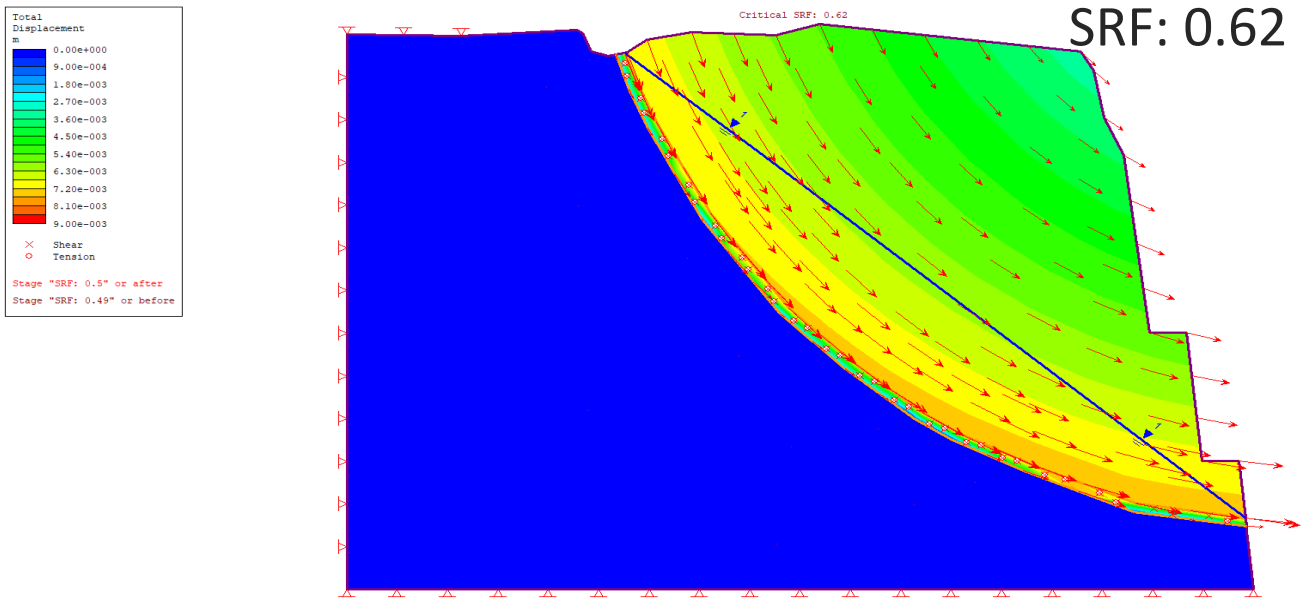


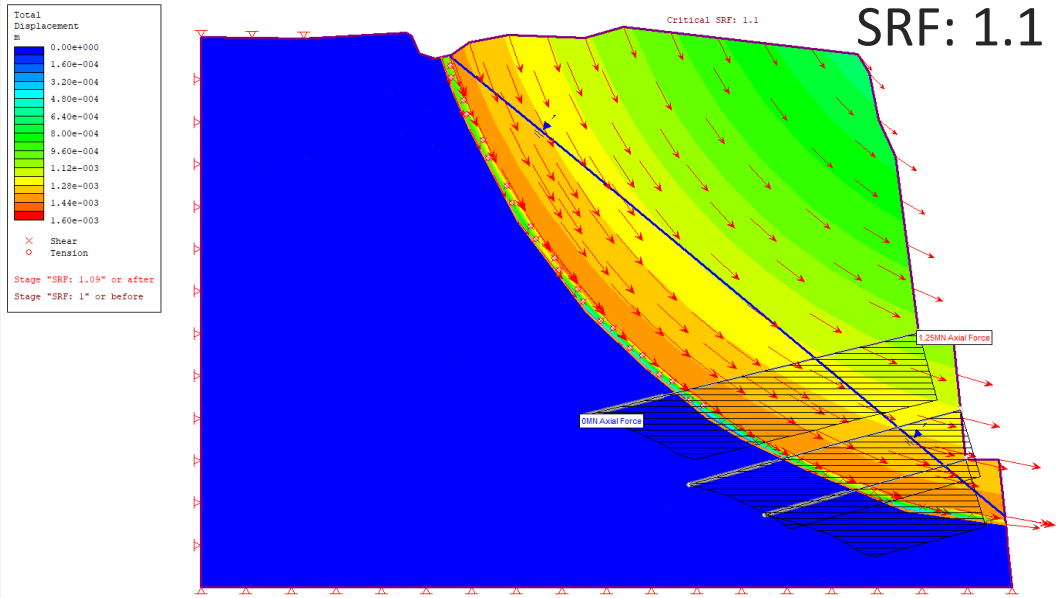
Fase 2 – oppfølging i byggetid

Storskala modellering av stabilitet

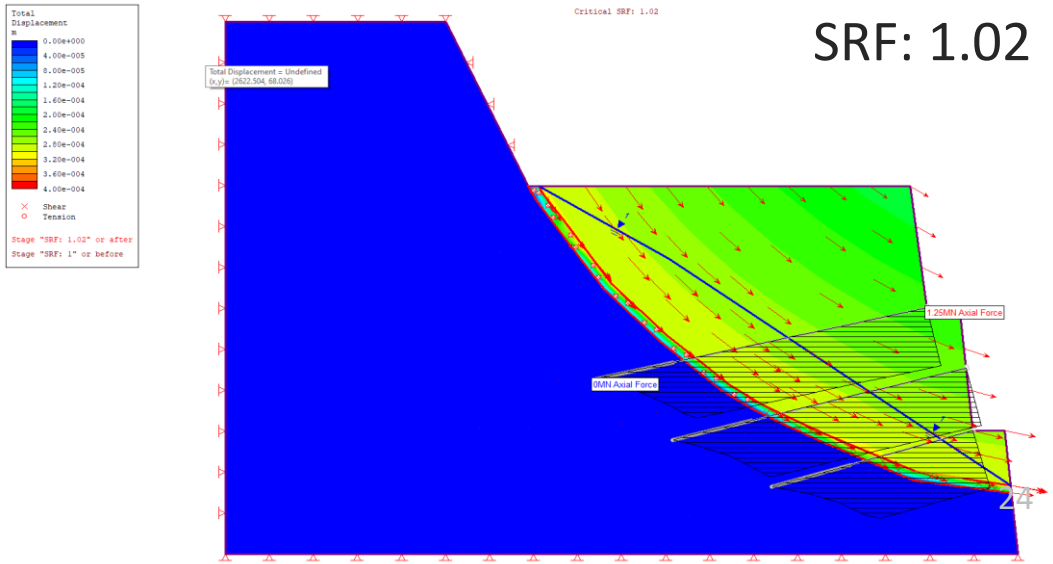


Numerisk modellering av storskala stabilitet





	Antall anker	Estimert kostnad for bergsikring
Full høyde, ϕ = 30 °	342	12,0 million NOK
Redusert høyde, ϕ = 30 °	162	5,7 million NOK
Full høyde, ϕ = 25 °	423	14,8 million NOK
Redusert høyde, ϕ = 25 °	221	7,7 million NOK

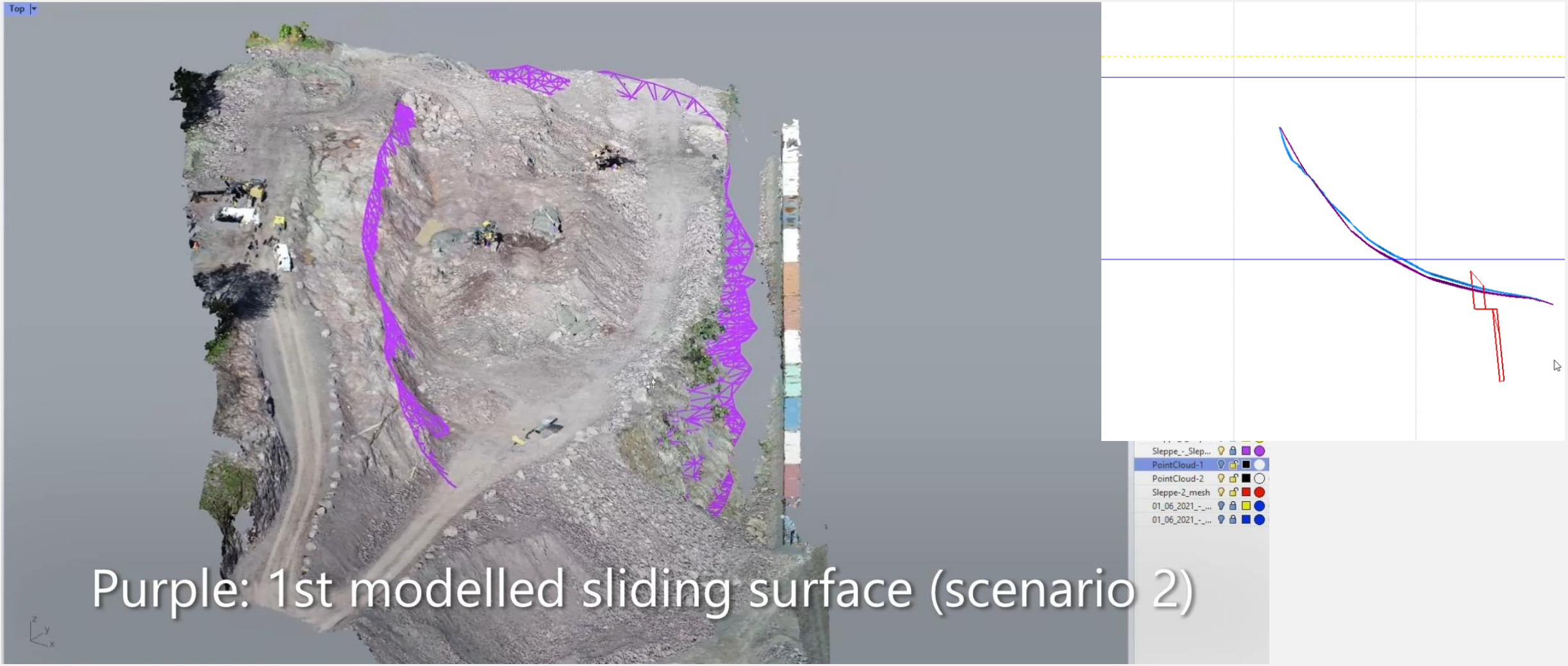


NGI DIGITAL

Status pr 28.05.2021

NGI DIGITAL

Oppdatert 3D-modell fra dronefoto 28.05



Fremtidig digital prosess for bergskjæring

(b) AR locating of a planner failure source area.

(Zhang et al. 2019)

Digital prosess for QA og As-built (nye og gamle skjæringer)

- 3D-modell bygges fra scan/bilder av ferdig sprengt og sikret skjæring (bolter er anvist i felt på tradisjonell måte).
- Fra punktsky/bilder brukes maskinlæring til å gjenkjenne boltesikring, som så digitaliseres for innlegging i 3D-modell
- Automatisert sprekkegjenkjenning – visualiseres i 3D-modell
- Man har nå en 3D-modell med berg, sikring og sprekker (digital tvilling). Modellen brukes av ingeniørgeolog for kvalitetssikring og fremtidig FDV av gjennomført bergsikring.
- **Mulighet:** fra «heldigital» prosess kan man bruke utviklet automatisert stabilitetsvurdering til å analysere gjennomført bergsikring.

«Heldigital» prosess

3D-modell bygges suksessivt opp fra scan etter sprengning (punktsky eller bilder) – eksempelvis for hver pall. I en loop gjennomføres så til sprengning av hele skjæring er gjennomført:

- Automatisert sprekkegjenkjenning – visualiseres i 3D-modell
- Enkeltblokker identifiseres.
- Automatisert og parametrisk stabilitetsvurdering på blokknivå bestemmer nødvendig boltesikring. Ansett-koordinater, retning og lengde for bolter eksporteres.
- Bolterigg importerer data og borer for bolter i anviste posisjoner. Punkter kvalitetssikres i felt.
- MWD-data samles inn ved boring (avhengig av geometrisk posisjonering av bormaskin).
- As-built geometriske data og MWD-data sendes tilbake til 3D-modell – digital tvilling av bergskjæring
- Stabilitetsmodell reberegner stabilitet med virkelige geometriske boltedata og resultat fra MWD-data. Eventuell tilleggssikring gjennomføres.
- Ingeniørgeolog gjør QA på ferdig modell med AR-Augmented Reality – tenk type «site-vision» (og andre visningsalternativer for 3D-modell)
- Sluttprodukt: As-built-modell (digital tvilling) med geometri, sprekkedata, blokkvisualisering, gjennomført bergsikring.

Referanser

- Zhang, Yichi; Yue, Pan; Zhang, Guike; Guan, Tao; Lv, Mingming; Zhong, Denghua. 2019. "Augmented Reality Mapping of Rock Mass Discontinuities and Rockfall Susceptibility Based on Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry" *Remote Sens.* 11, no. 11: 1311. https://doi.org/10.3390/rs11111311

Takk til Bane NOR og Geovita for samarbeid, datadeling og gode diskusjoner!