

# 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, stabilitetst vurdering og sikring i ny skjæring



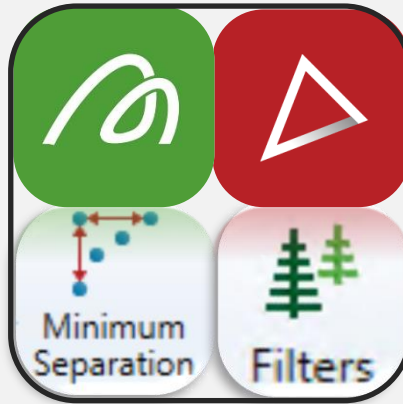


# Arbeidsflyt fase 1

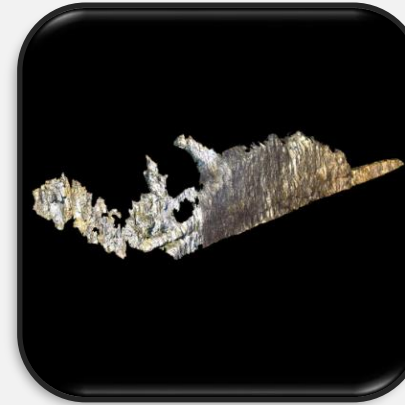
Scan/bilder samles inn med drone og lidarscanner



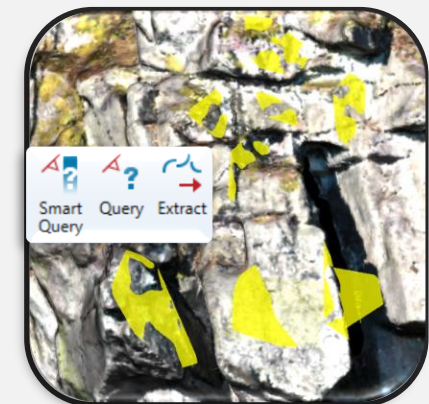
Import av punktsky til Maptek, filtrere, trimme



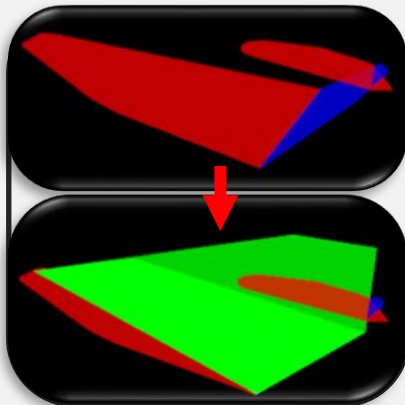
Meshe og sette sammen 3D-modell fra fotogrammetri og lidar-punktskyer i Maptek



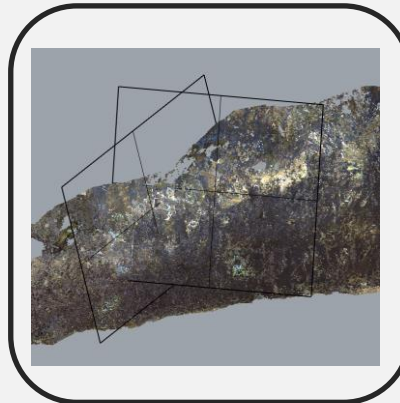
Semi automatisk sprekkegjennkjennning i Maptek



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



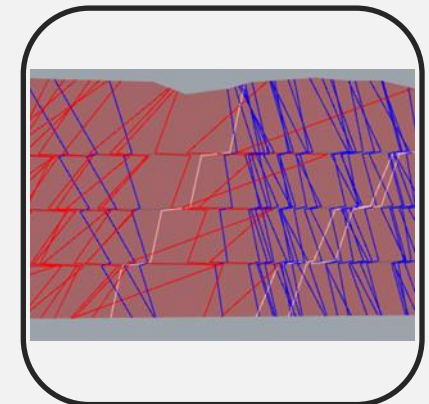
Visualisere sprekkeplan i Grasshopper



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



Visualisere sprekkeplan i planlagt skjæring



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

# 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



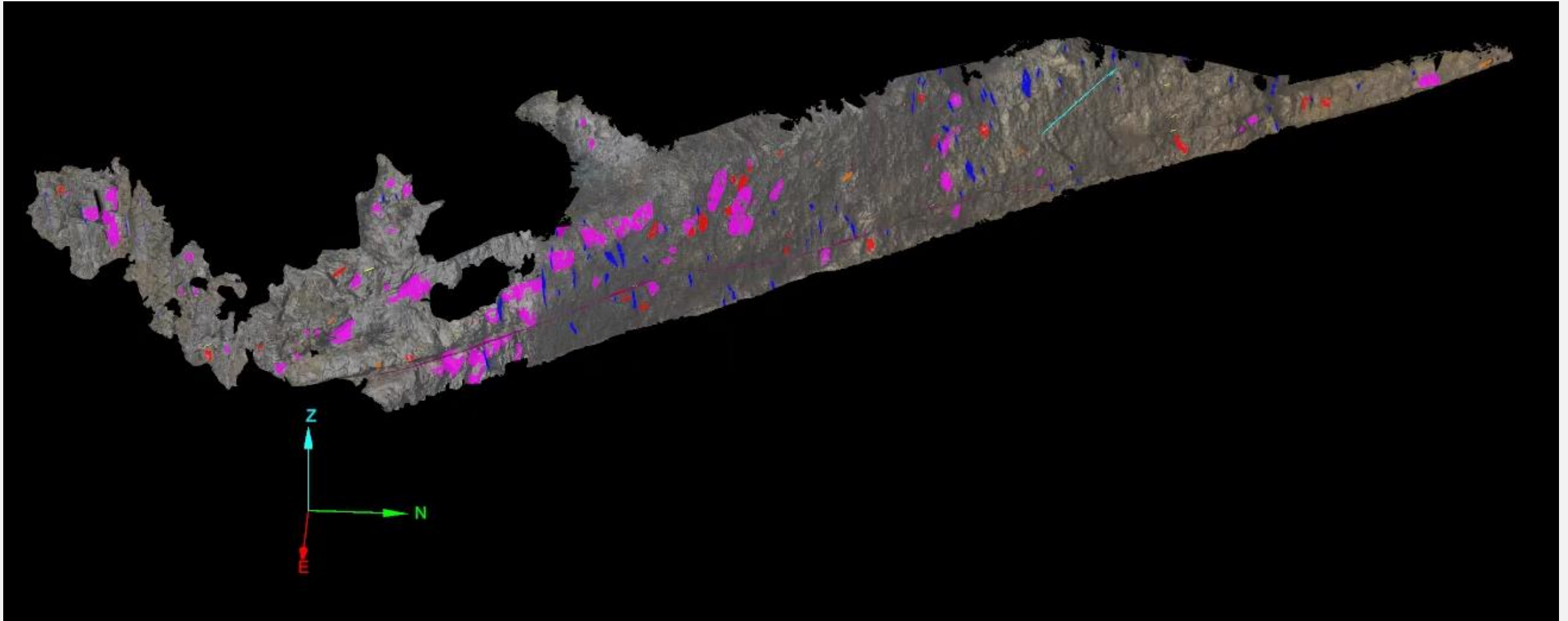
# Fase 1 - designfase



# Kartlegging av gjennomsettende sprekker/mulig forkastning i 3D modell

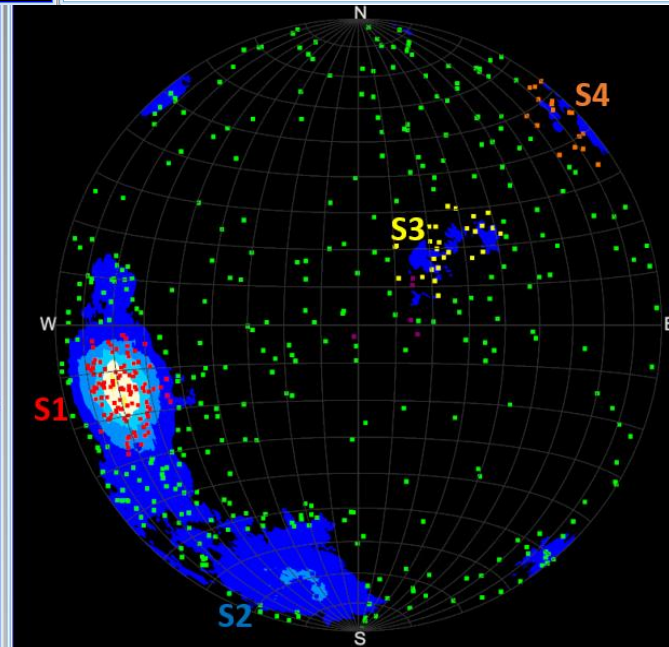
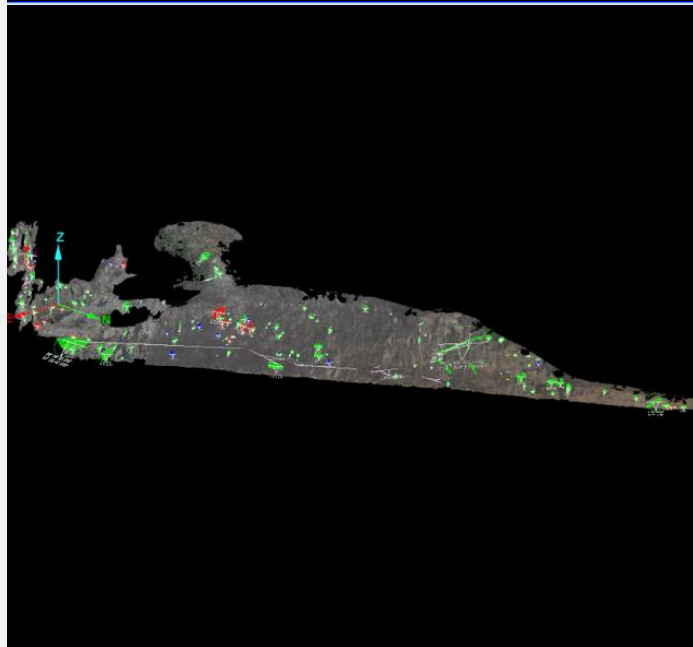
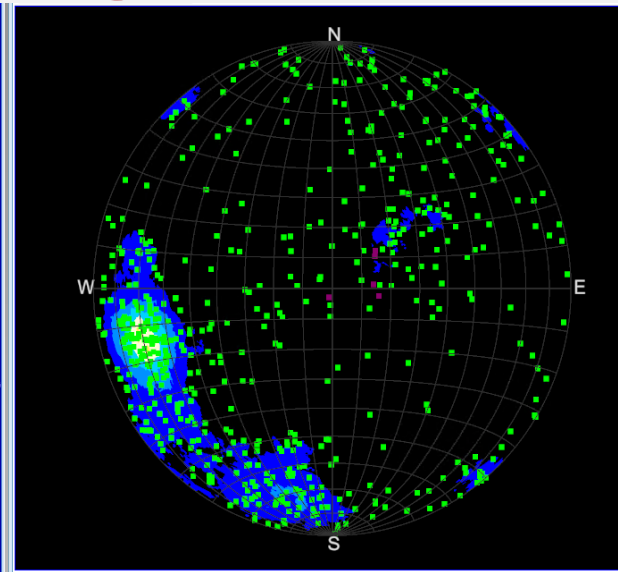
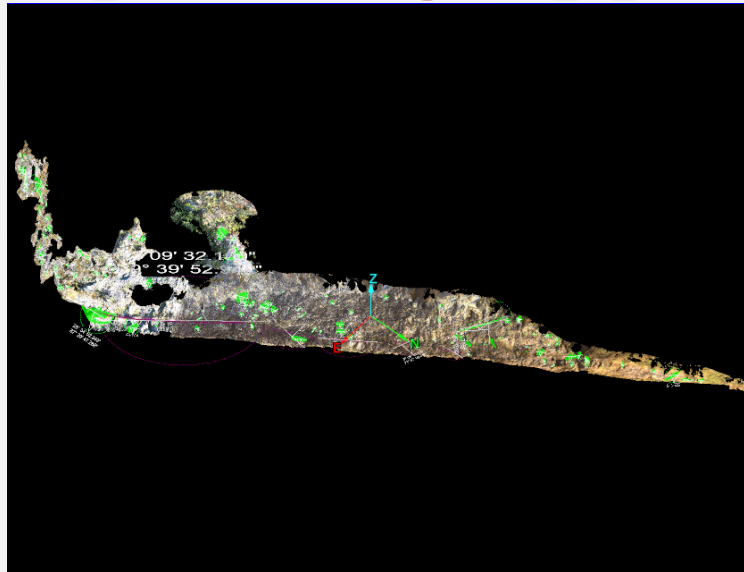


# Semiautomatisk sprekkegjennkjenning i Maptek



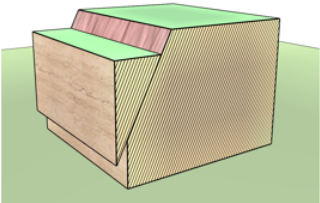
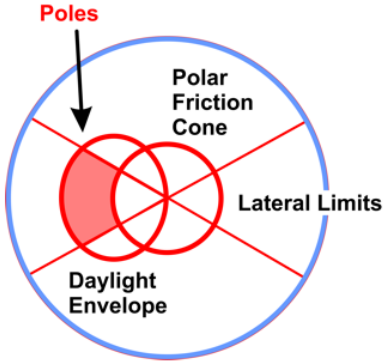
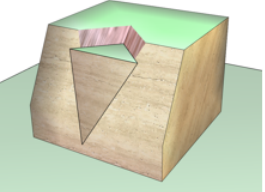
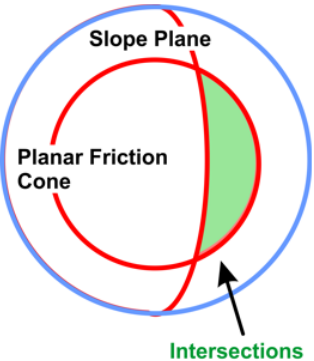


# Sprekkegruppering i stereonet



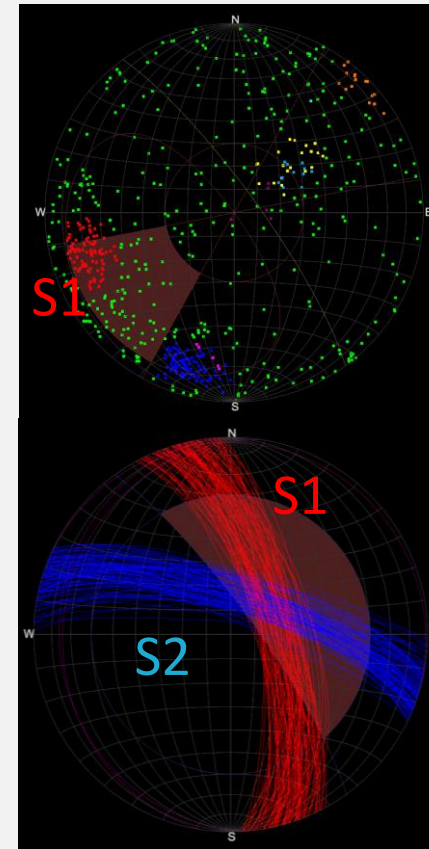
| Sprekke-sett      | Fall  | Fallretning    |
|-------------------|-------|----------------|
| S1                | 70°   | 075°           |
| S2                | 74°   | 017°           |
| S3                | 34°   | 229°           |
| S4                | 84°   | 225°           |
| Gjennom-settende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

# Kinematisk analyse i Maptek

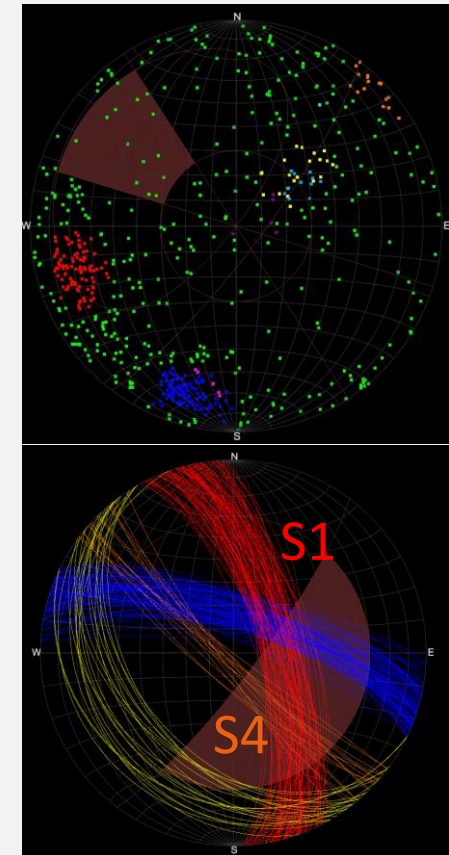
| TYPE OF FAILURE                                                                                                                                                                                                     | CRITICAL REGION ON STEREONET<br>(Note: Orientation and scale may be different according to actual planes under investigation.) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>PLANAR FAILURE</b></p>  <p>Dislodgement and downwards sliding of blocks and/or layers along single common failure planes.</p> |                                               |
| <p><b>WEDGE FAILURE</b></p>  <p>Dislodgement and downwards sliding of blocks along two, intersecting, common failure planes.</p>   |                                              |

Figur fra Maptek Pointstudio

Eksisterende  
bergskjæring : Ca. 80°  
helning  $\approx$  mot N054°



Eksisterende  
bergskjæring (sør): Ca.  
80° helning  $\approx$  mot N127°

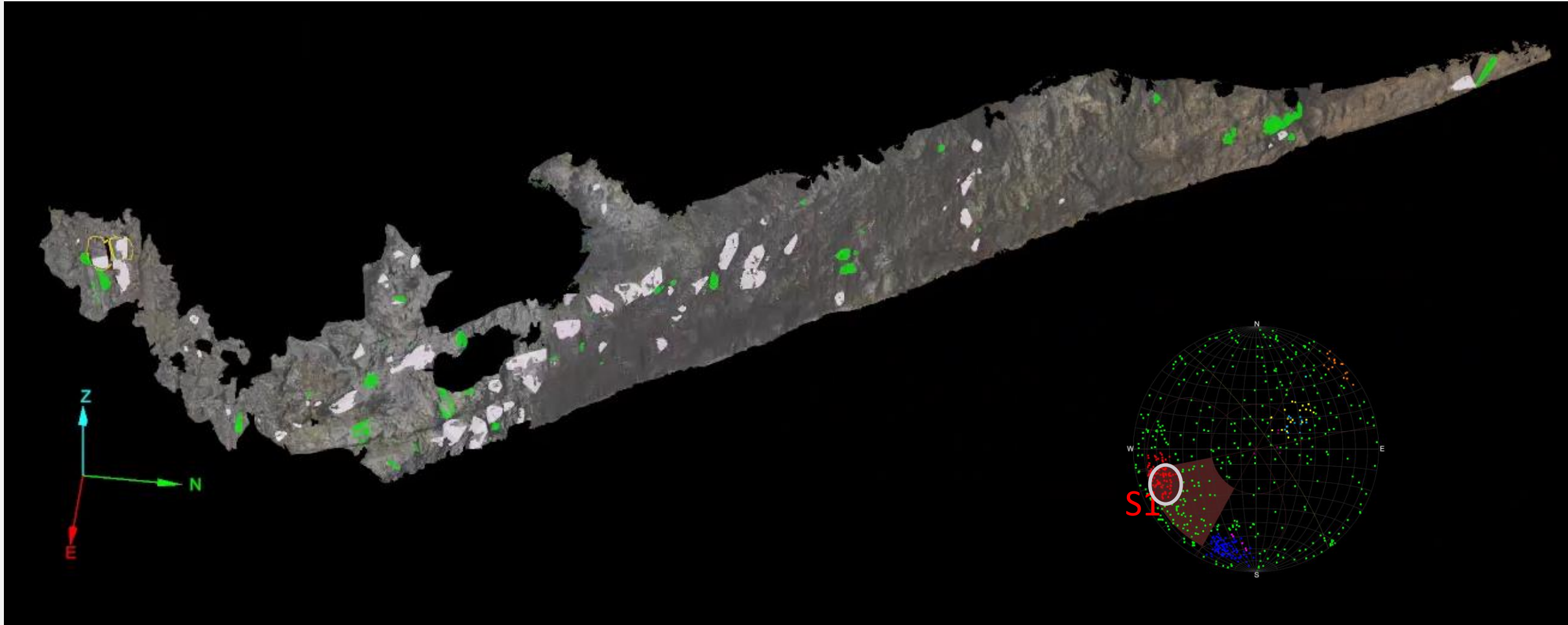


# Kileutglidning

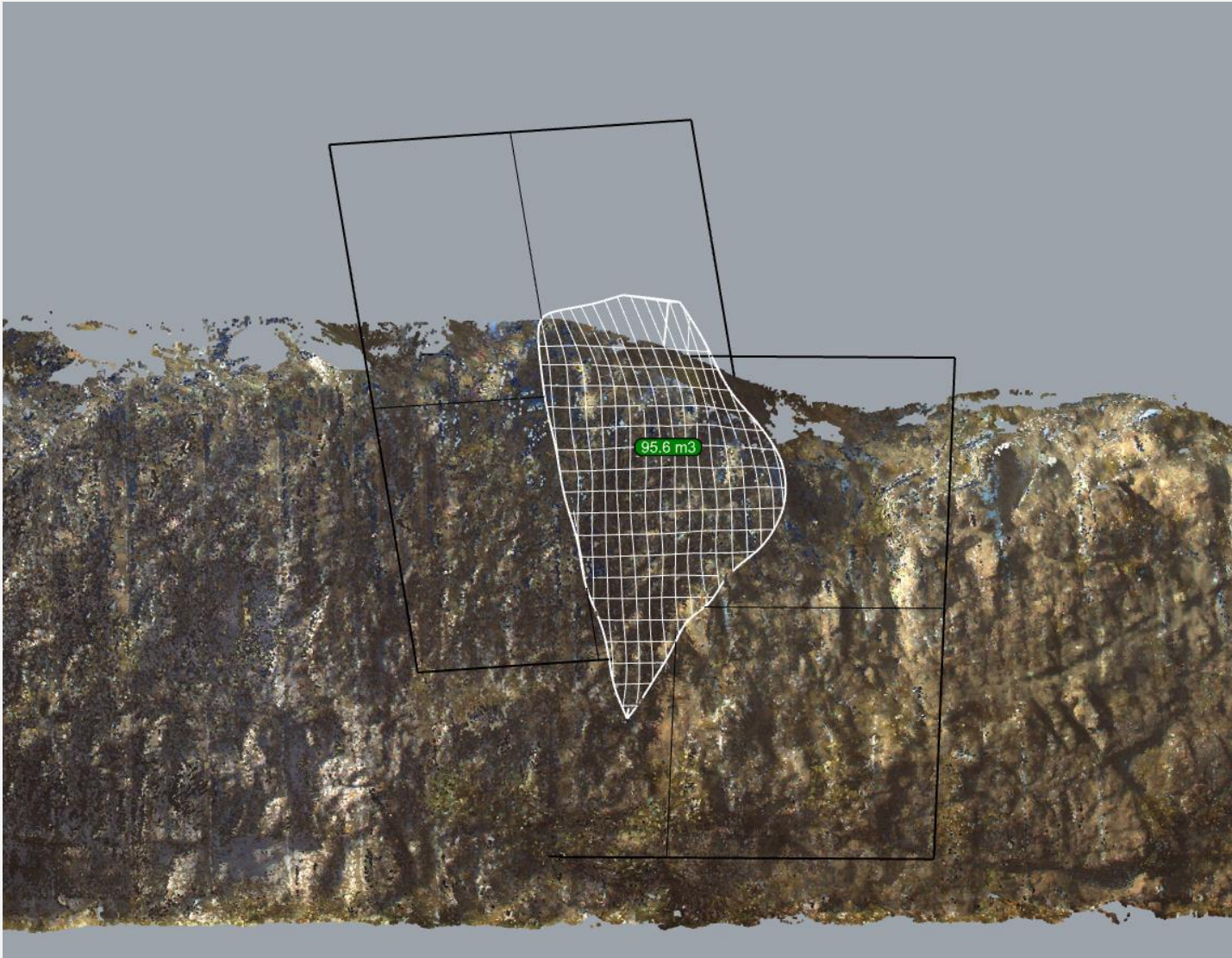




# Planutglidning

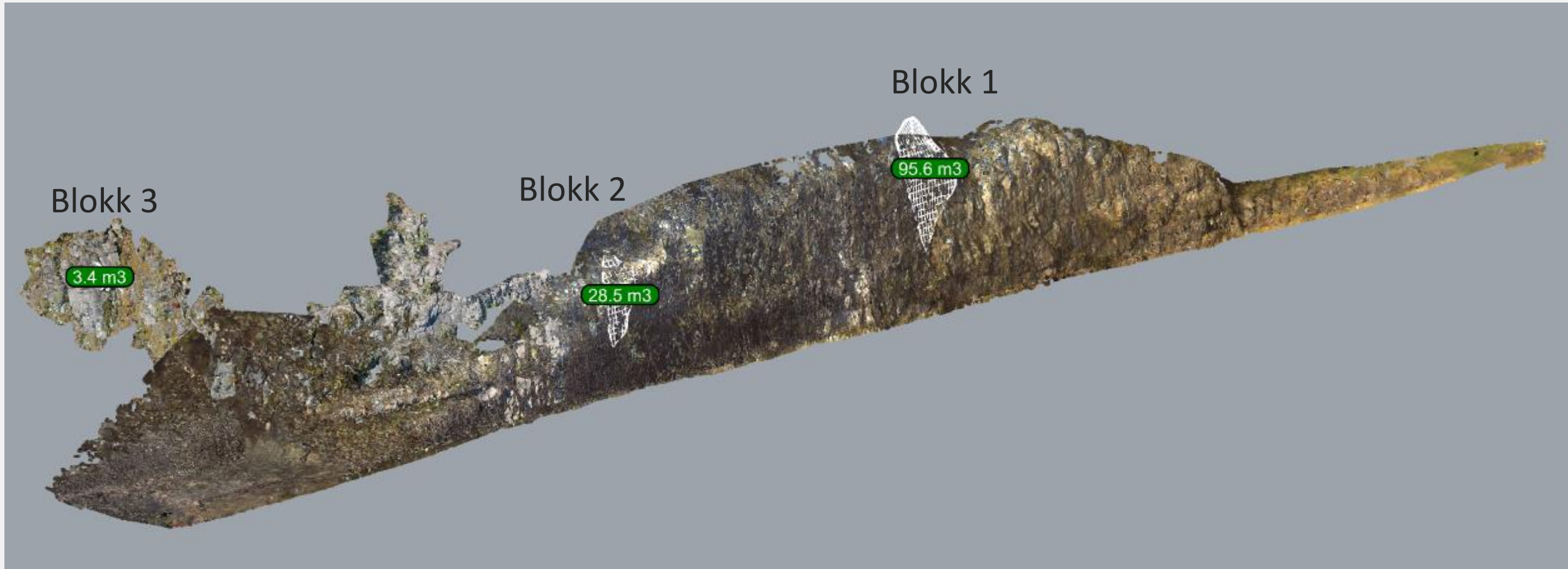


# Vurdering av enkeltblokker i Rhino/Grasshopper



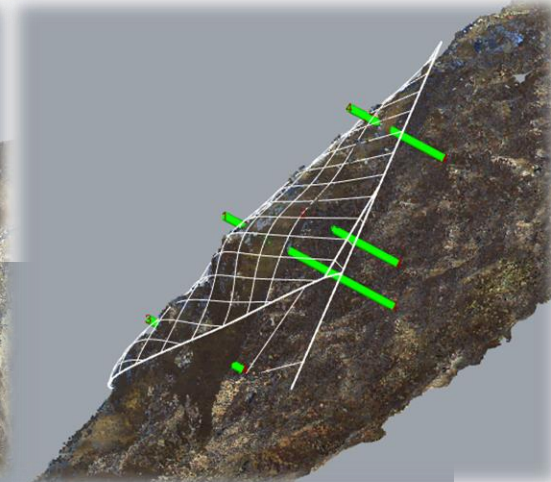
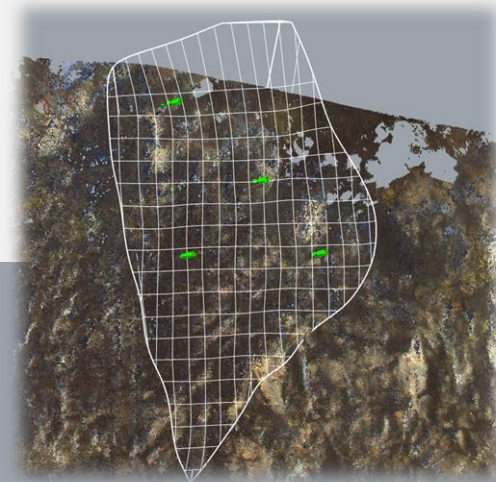
Parametrisk  
modellering

# Data for utvalgte ustabile blokker

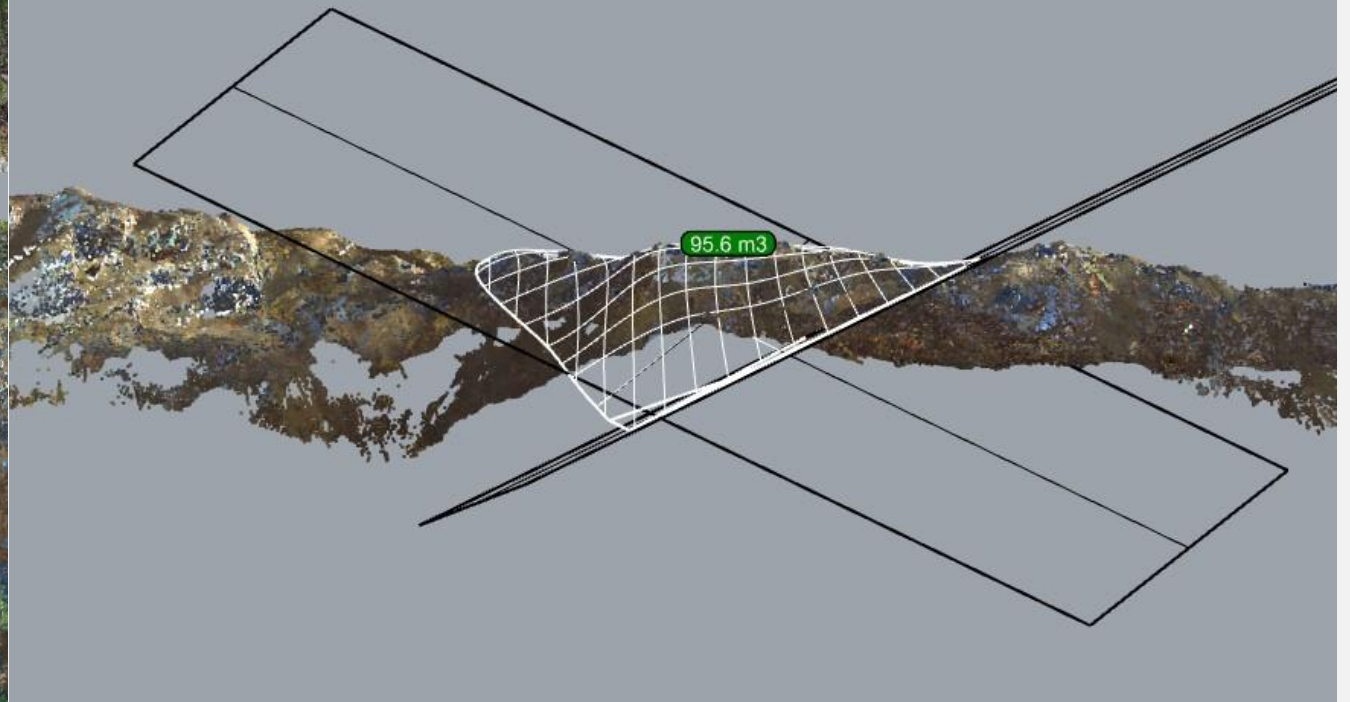




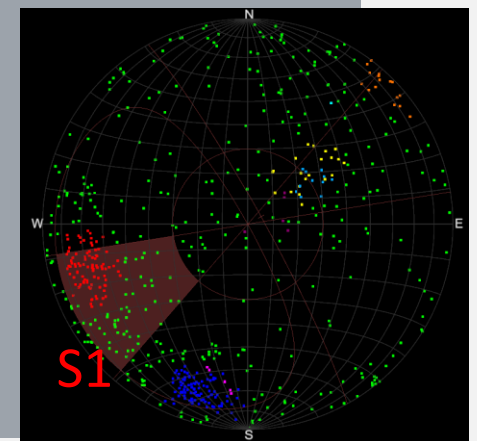
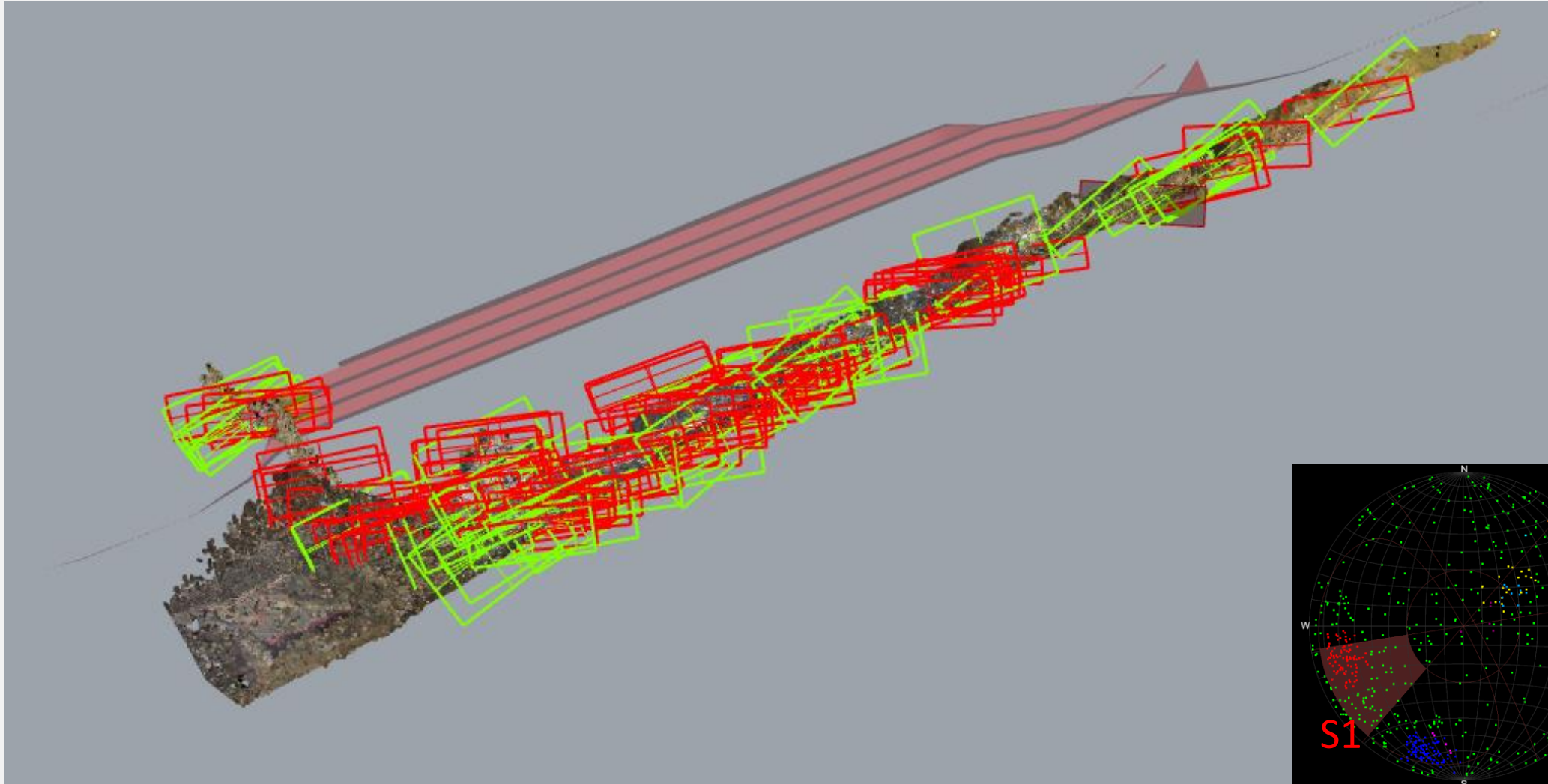
# Blokk 1



NB! Nødvendig boltekraft ikke beregnet. Kun for visualisering.

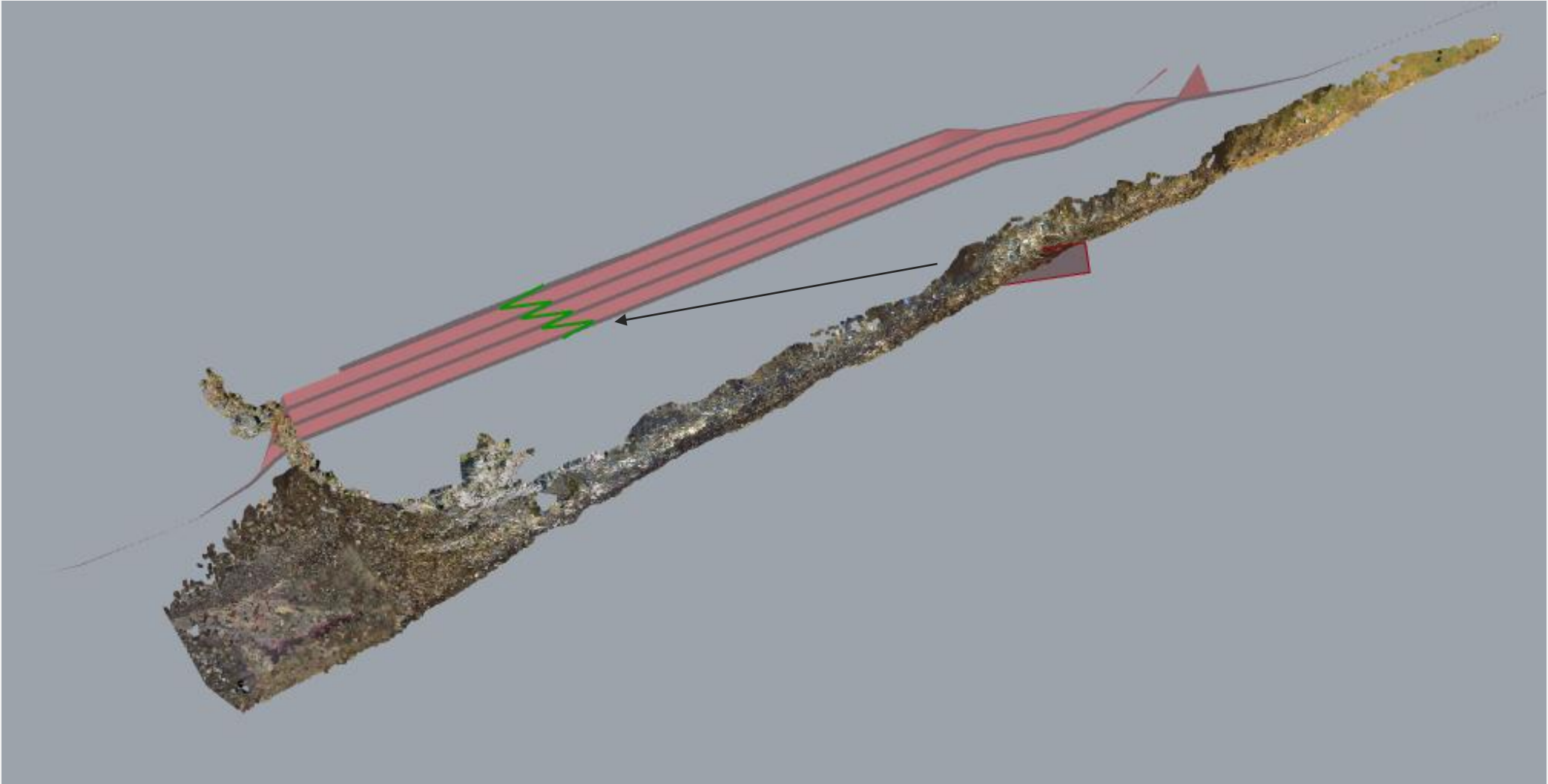


# Stabilitetsvurdering for ny skjæring



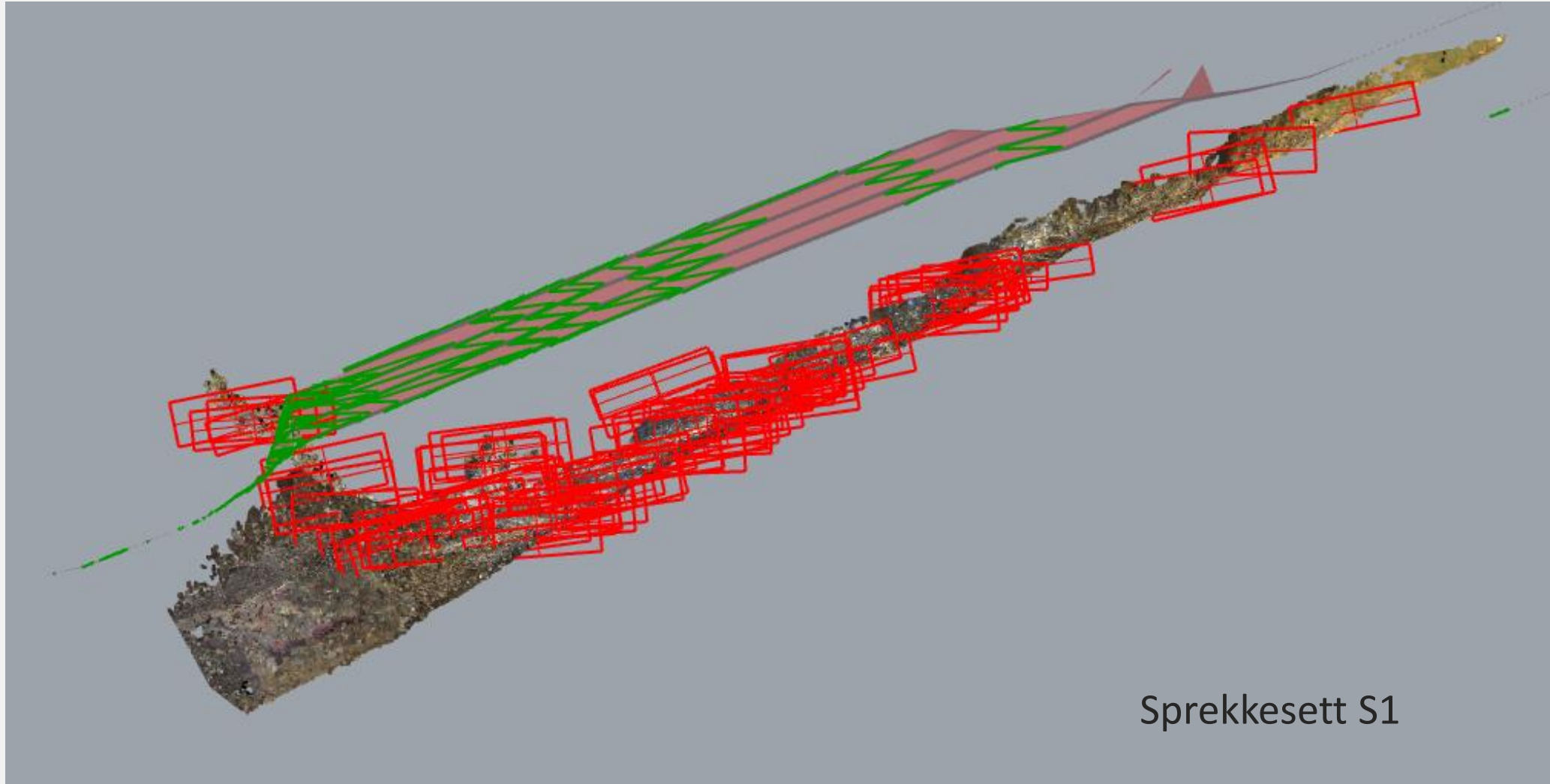


# Planutglidning i planlagt bergskjæring (1)





# Planutglidning i planlagt bergskjæring (2)



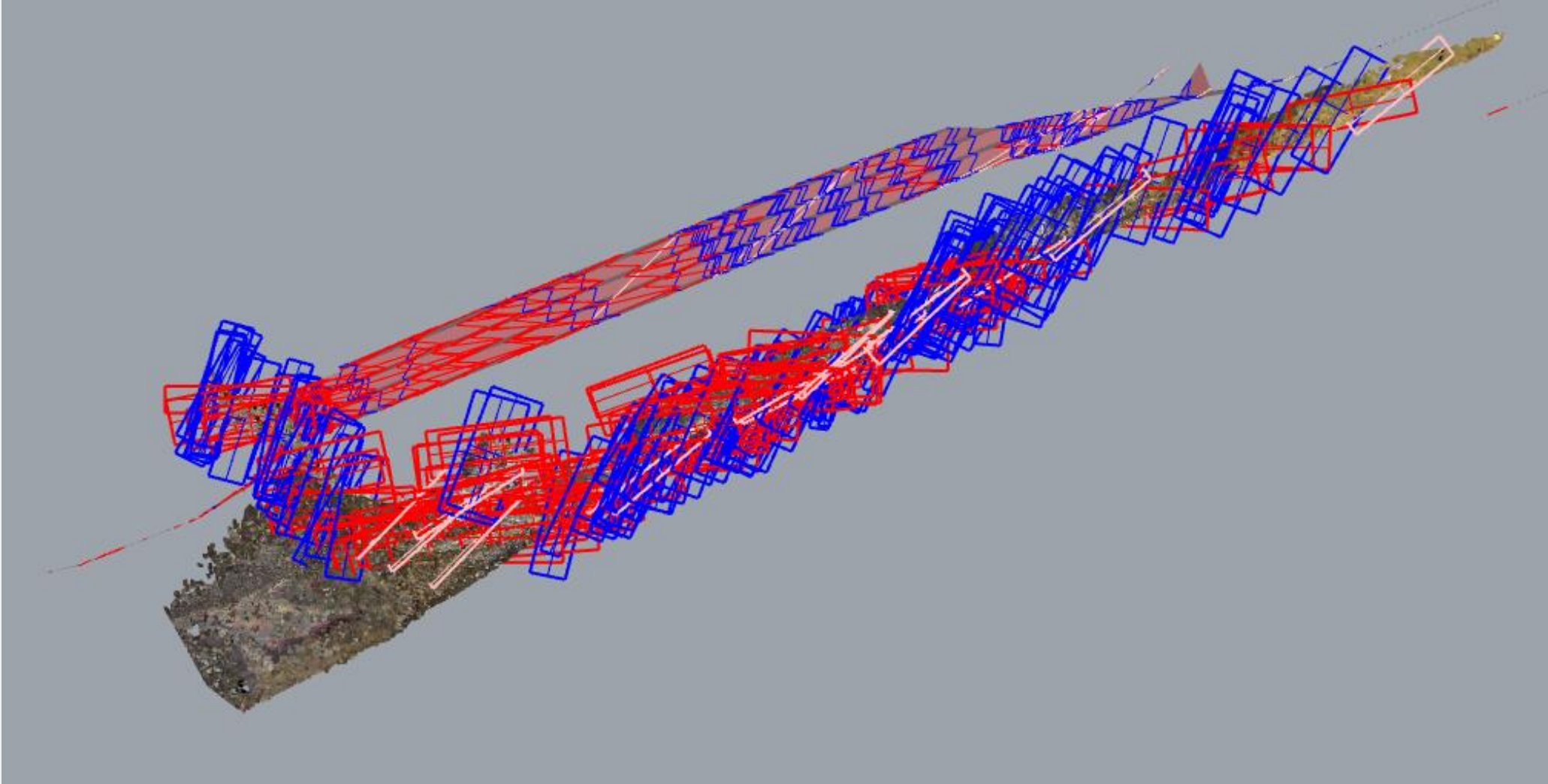
Sprekkesett S1

# Planutglidning i planlagt bergskjæring (3)



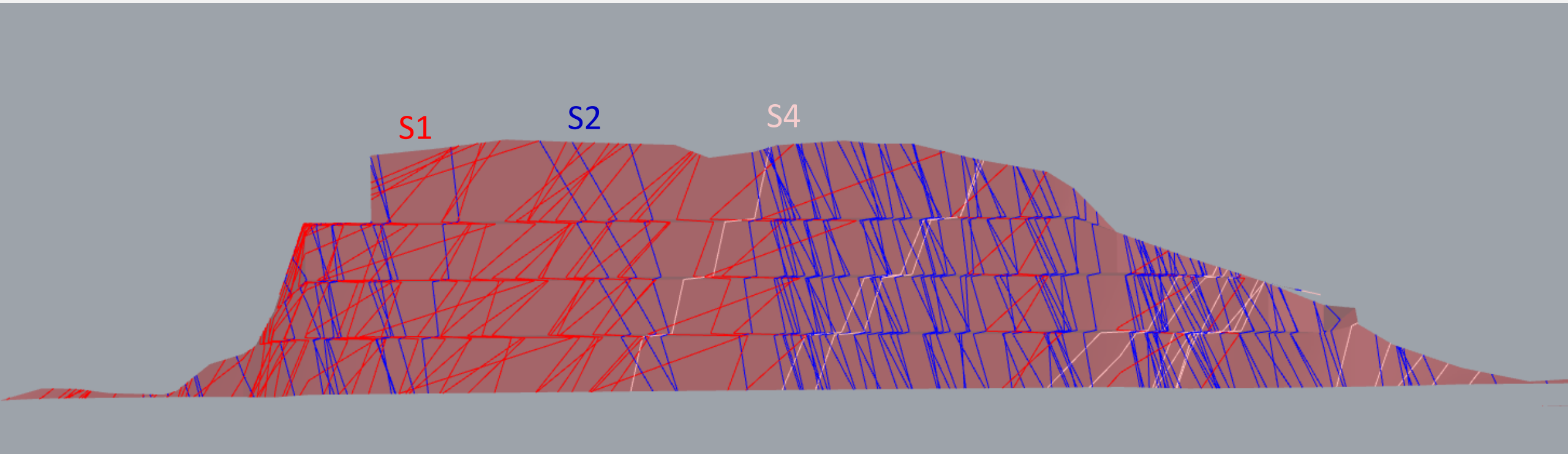
Sprekkesett S1 + andre

# Kileutglidning i planlagt bergskjæring (1)



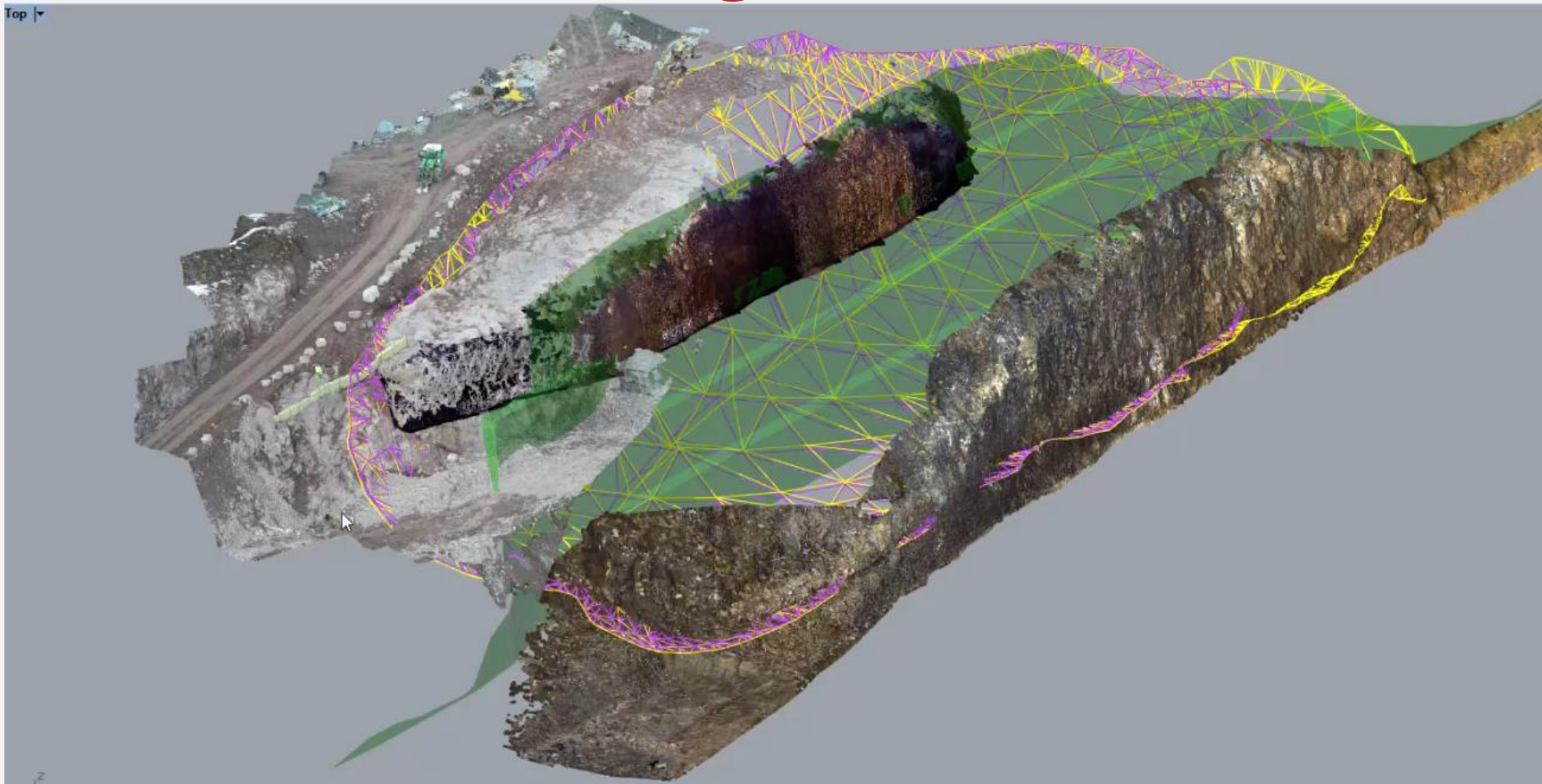


# Kileutglidning i planlagt bergskjæring (2)



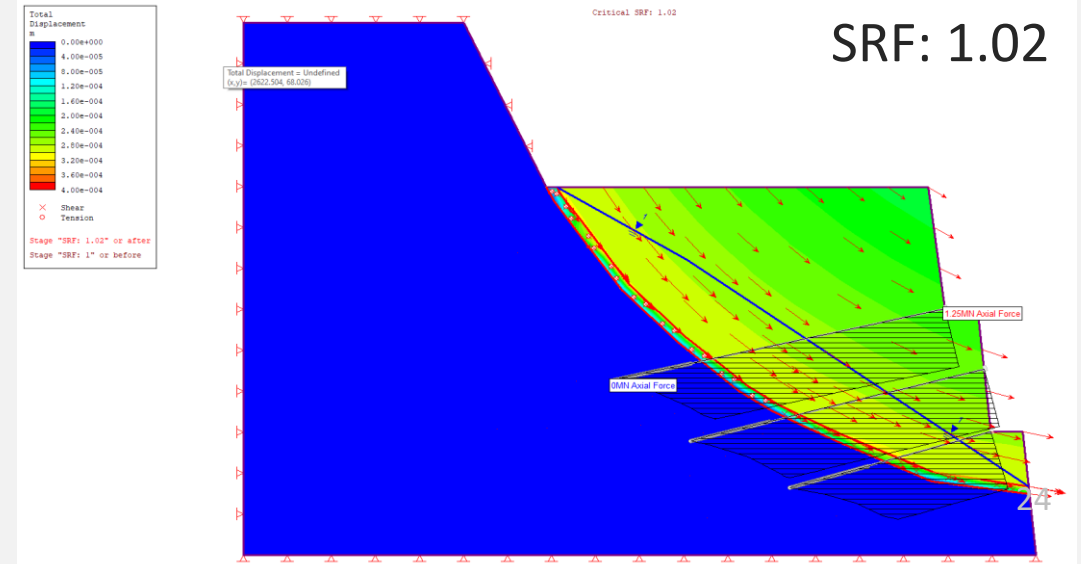
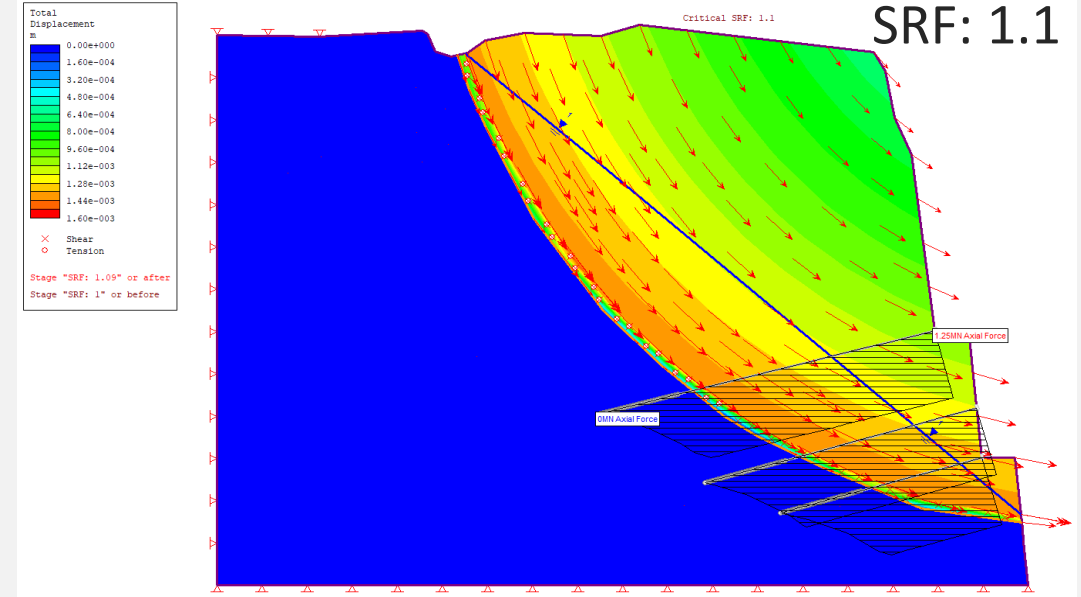
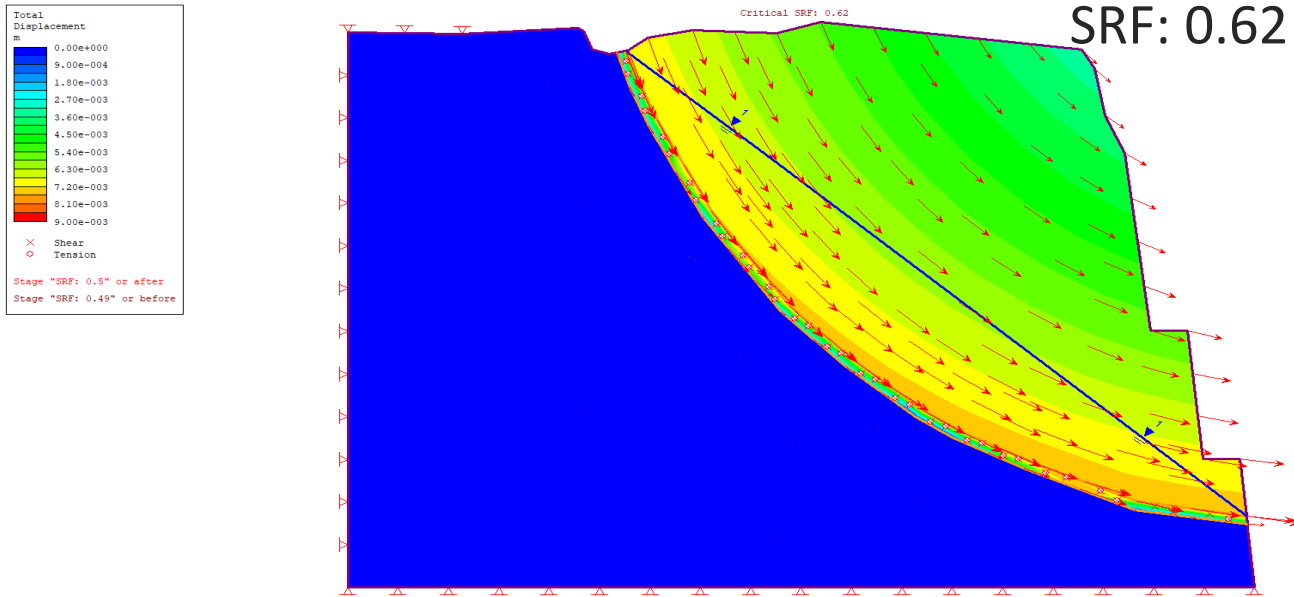
# Fase 2 – oppfølging i byggetid

# Storskala modellering av stabilitet





# Numerisk modellering av storskala stabilitet



|                                   | Antall anker | Estimert kostnad for bergsikring |
|-----------------------------------|--------------|----------------------------------|
| Full høyde, $\phi = 30^\circ$     | 342          | 12,0 million NOK                 |
| Redusert høyde, $\phi = 30^\circ$ | 162          | 5,7 million NOK                  |
| Full høyde, $\phi = 25^\circ$     | 423          | 14,8 million NOK                 |
| Redusert høyde, $\phi = 25^\circ$ | 221          | 7,7 million NOK                  |

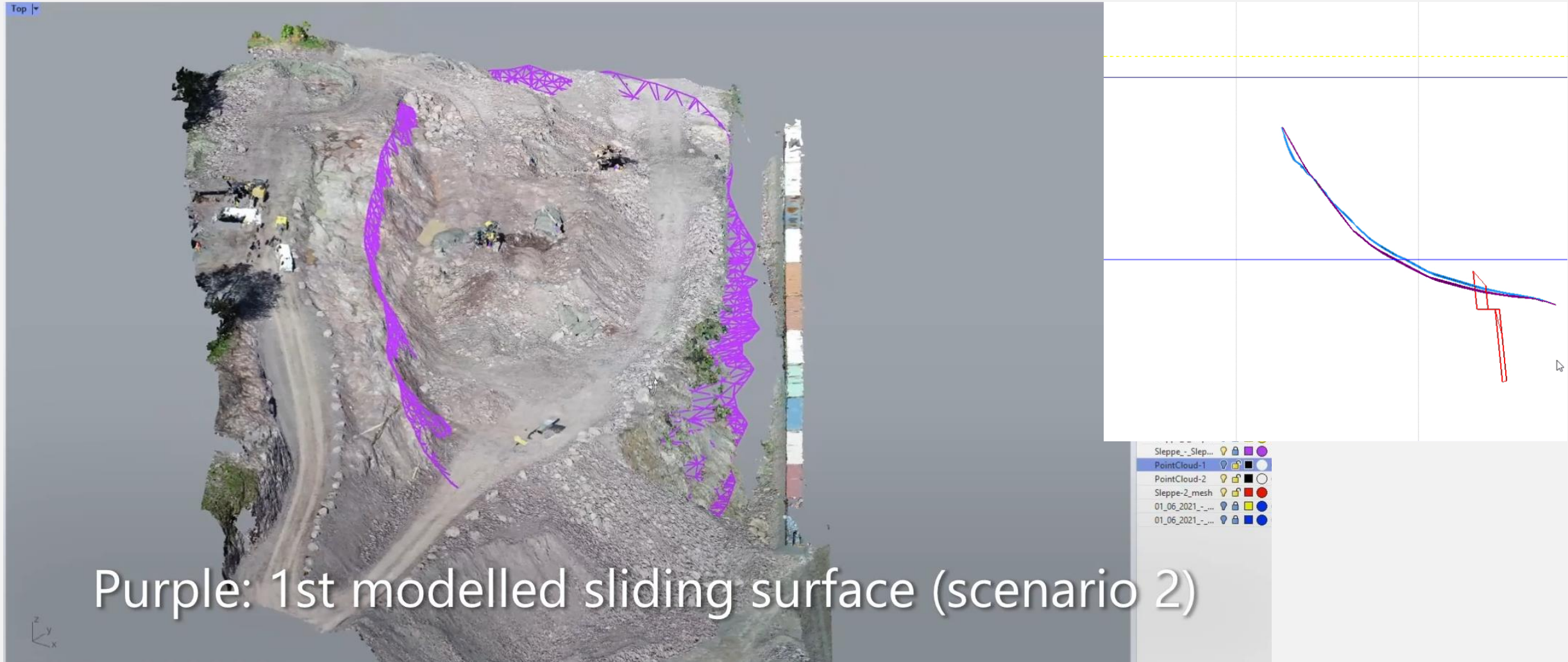


# Status pr 28.05.2021





# Oppdatert 3D-modell fra dronefoto 28.05





# Fremtidig digital prosess for bergskjæring



## 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 sprekkegjennkjennning – 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 sprekkegjennkjennning – visualiseres i 3D-modell
- Enkeltpblokker 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.
- Ingeiørgeolog 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, sprekke-data, 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!