



Vipuvoimaa
EU:lta
2014–2020

Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto



Dronedatan hyödyntäminen 3D- vakavuuslaskennassa

EAKR Lennokit kaivosvalvonnan tukena (LeKaT)

Anssi Rauhala, Anne Tuomela, Sami Kuoppamaa

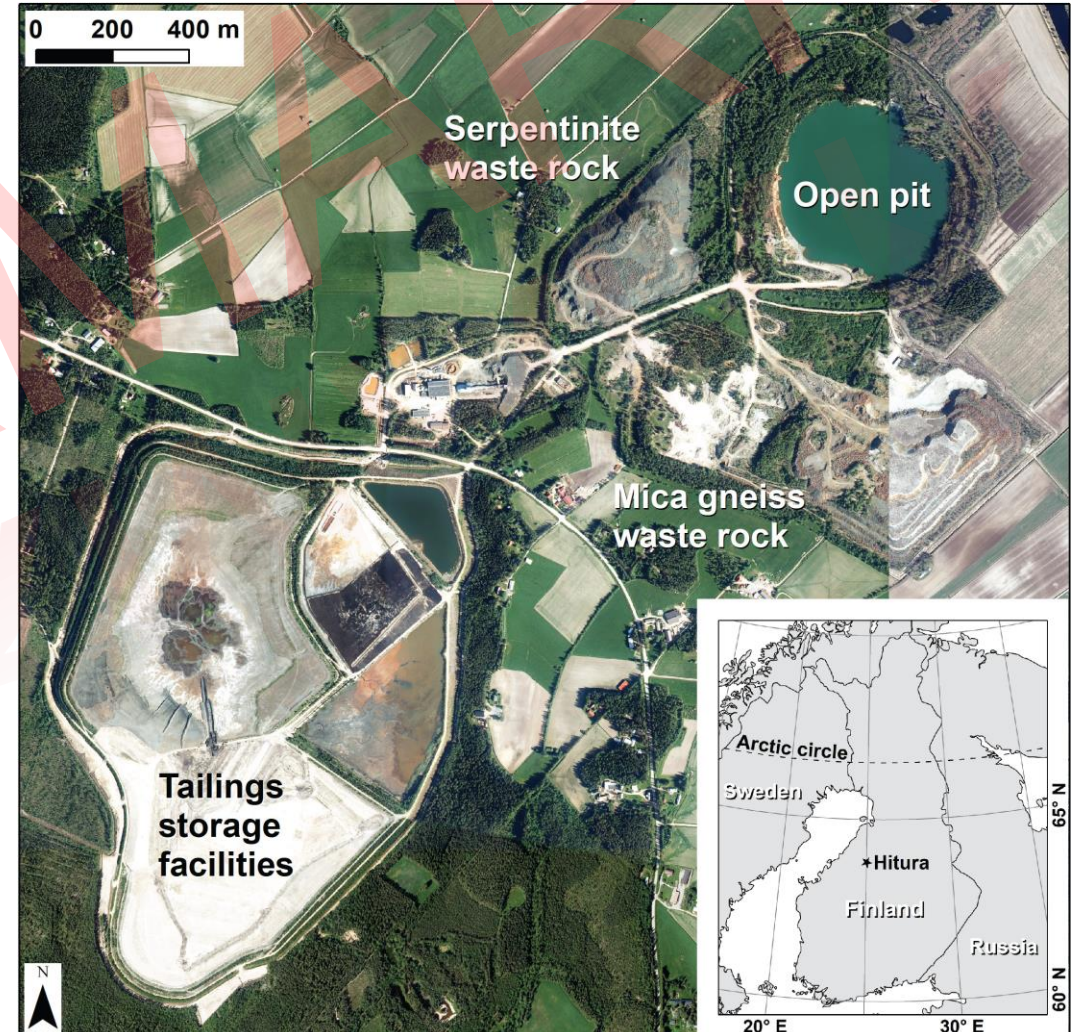
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, Oulun yliopisto





Taustaa: Hituran kaivos

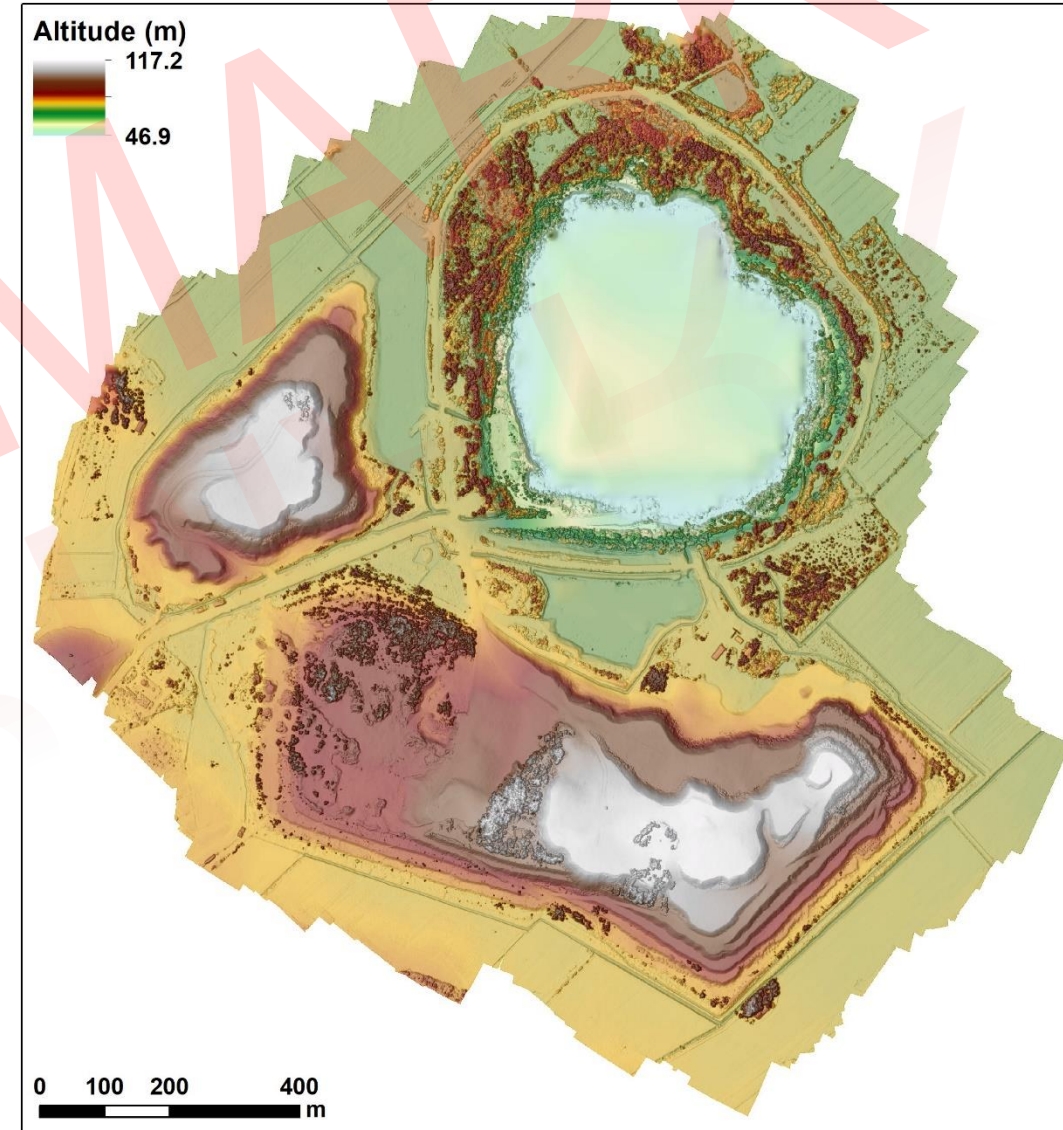
- Nivalassa, louhittu ja rikastettu pääasiassa nikkeliä ja kuparia.
- Toiminta alkoi 1970, viimeisen kerran pysähdyksiin 2013, päätös kaivoksen jätealueiden sulkemistoimien aloittamisesta 2016.
- **LeKaT-hankkeessa tutkittu dronen käyttöä sivukivikasan 3D-stabiliteettianalyysin tukena.**





Taustaa: Hituran kaivos

- Kohteena n. 35 m korkea **serpentiniitti-sivukivikasa** (n. 2,2 Mm³) sekä n. 35 m korkea **kiillegneissi-kasa**, jonne läjitetty gneissikiven (n. 3,5 Mm³) lisäksi myös maansiirtomassoja (n. 3 Mm³).
- Sulkemissuunnitelmat ja urakkaa edeltävät 2D-stabiiliteettianalyysit tehty konsulttitoimiston toimesta.
- Sulkemistoimina mm. osittainen peitto ja nurmetus, mutta ei jyrkkien luiskien loivennusta.





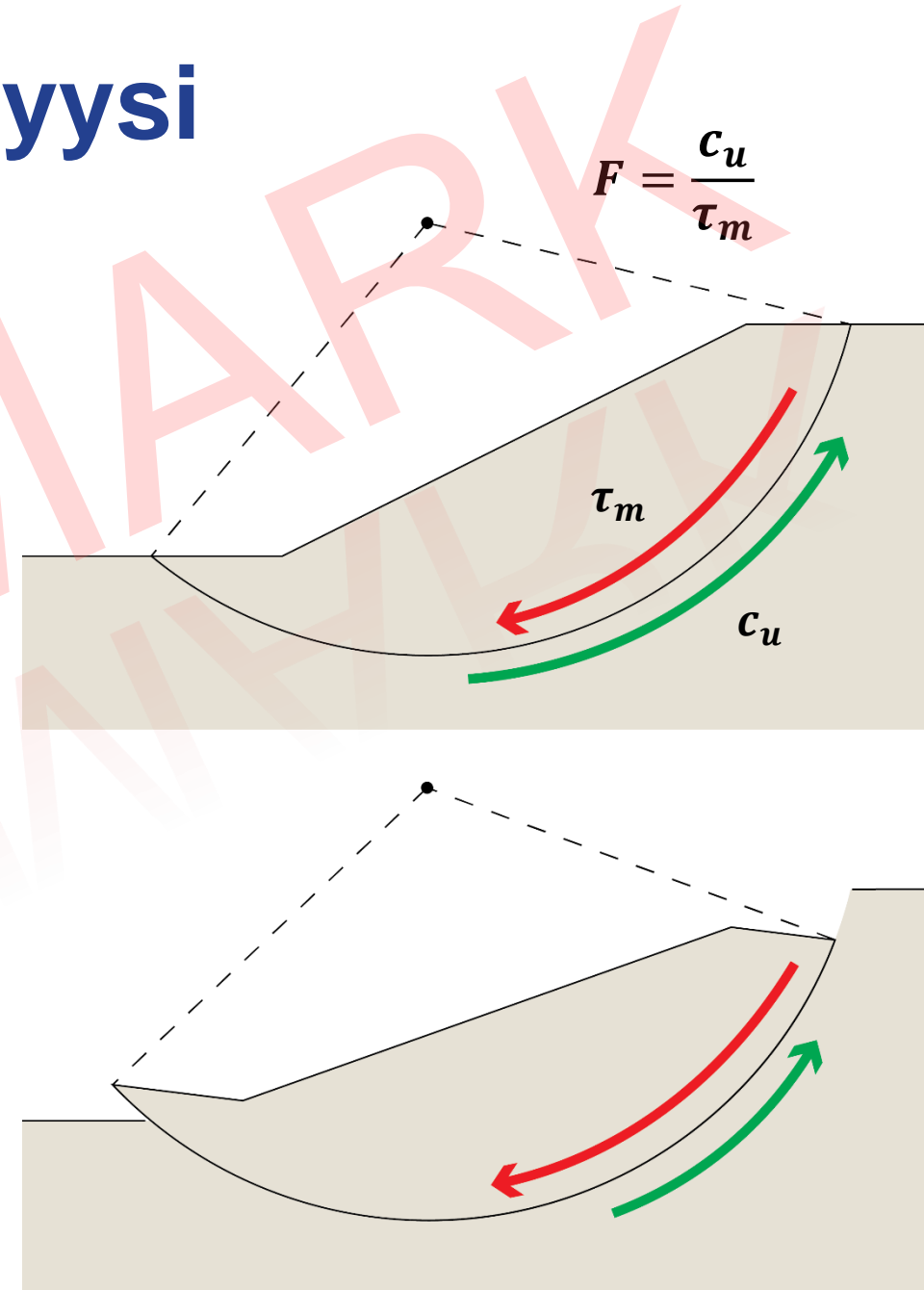
Taustaa: Stabiiliteettianalyysi

- Luiskan varmuuskerroin F määritellään usein leikkauslujuuden c_u ja mobilisoituneen leikkausjännityksen τ_m suhteena.
- Luiskaa voi pitää epästabiilina, jos $F \leq 1$ *
- Suositeltavaa minimivarmuutta voidaan arvioida esim. riskin suuruuden perusteella:

Table 2.1 Recommended factors of safety F

		Risk of human losses		
		Negligible	Average	High
Risk of economic losses	Negligible	1.1	1.2	1.4
	Average	1.2	1.3	1.4
	High	1.4	1.4	1.5

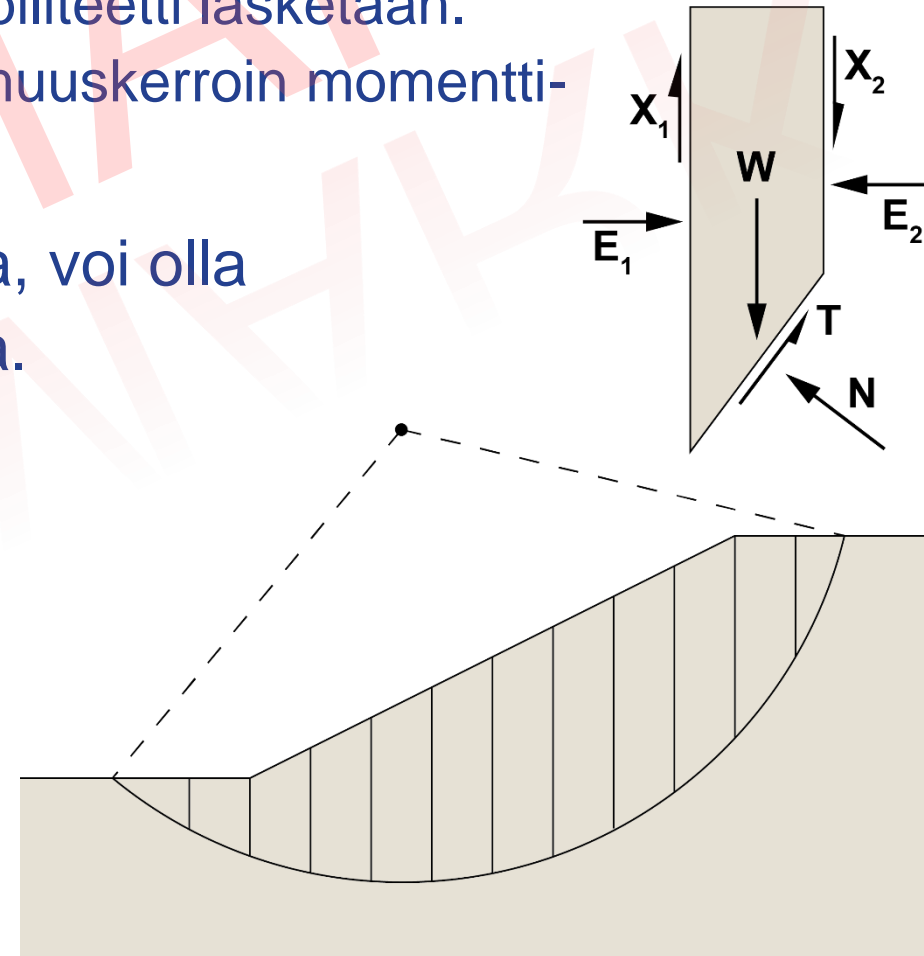
Source: Geotechnical Engineering Office, *Geotechnical Manual of Slopes*, Hong Kong Government, HKSAR Government, Hong Kong, 1984.





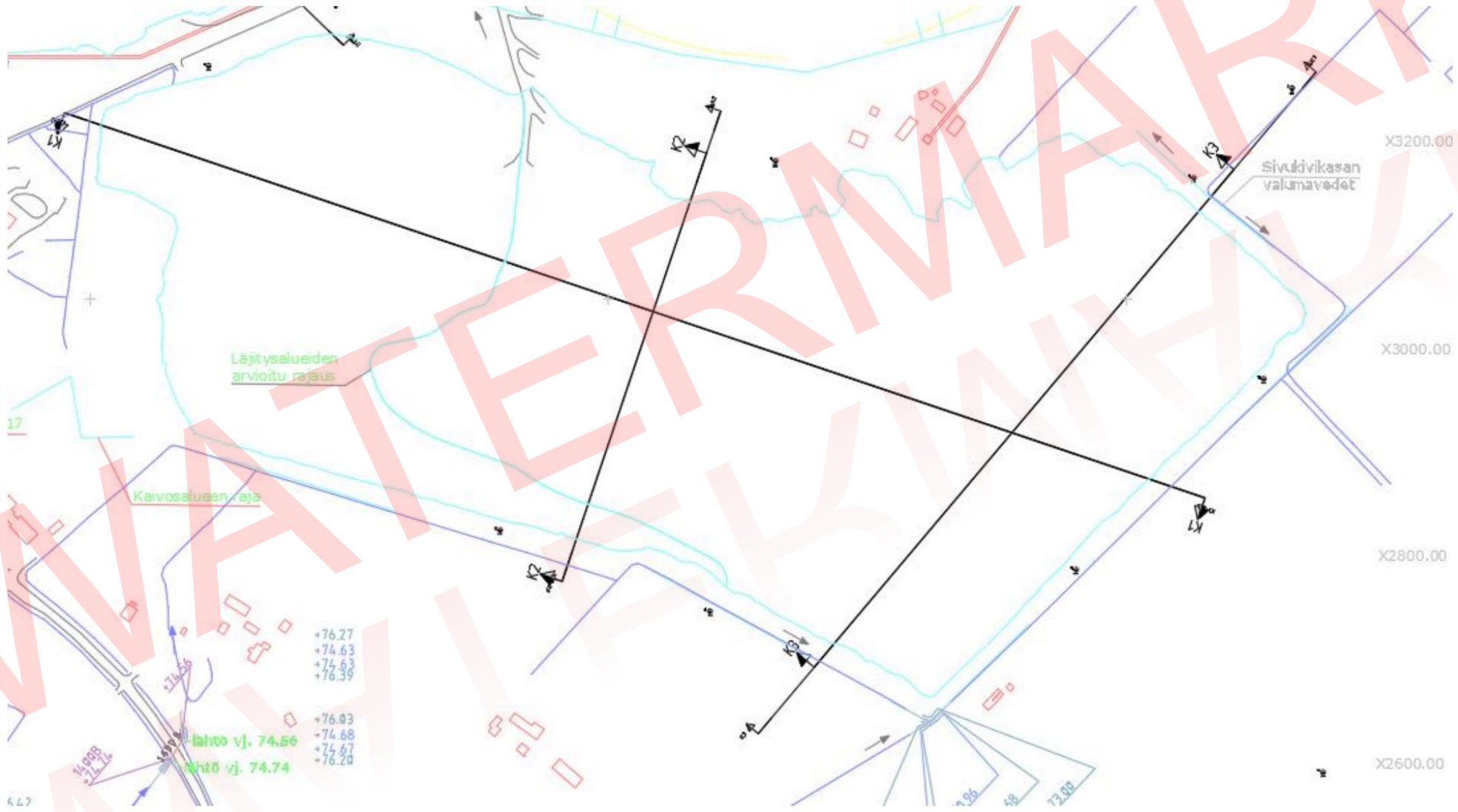
Taustaa: Stabiliateettianalyysi

- Mallinnuksessa tyypillinen 2D-lähestymistapa on:
 1. Valita kohteesta luiskat/läpileikkaukset, joiden stabiileetti lasketaan.
 2. Jakaa luiska useisiin lamelleihin ja määritellä varmuuskerroin momentti- ja/tai voimatasapainon suhteen.
- Epäsymmetrisessä kohteessa, kuten sivukivikasa, voi olla ongelmana ettei osata valita vaarallisimpia luiskia.
- Toisaalta leikkauslujuus voi erota selkeästi 2D- ja 3D-tilanteissa.
 - Käytetään 3D-lujuusdataa, mutta 2D-mallia.
 - Reaalimaailmassa kaikki luiskasortumat tapahtuvat 3-ulotteisesti.



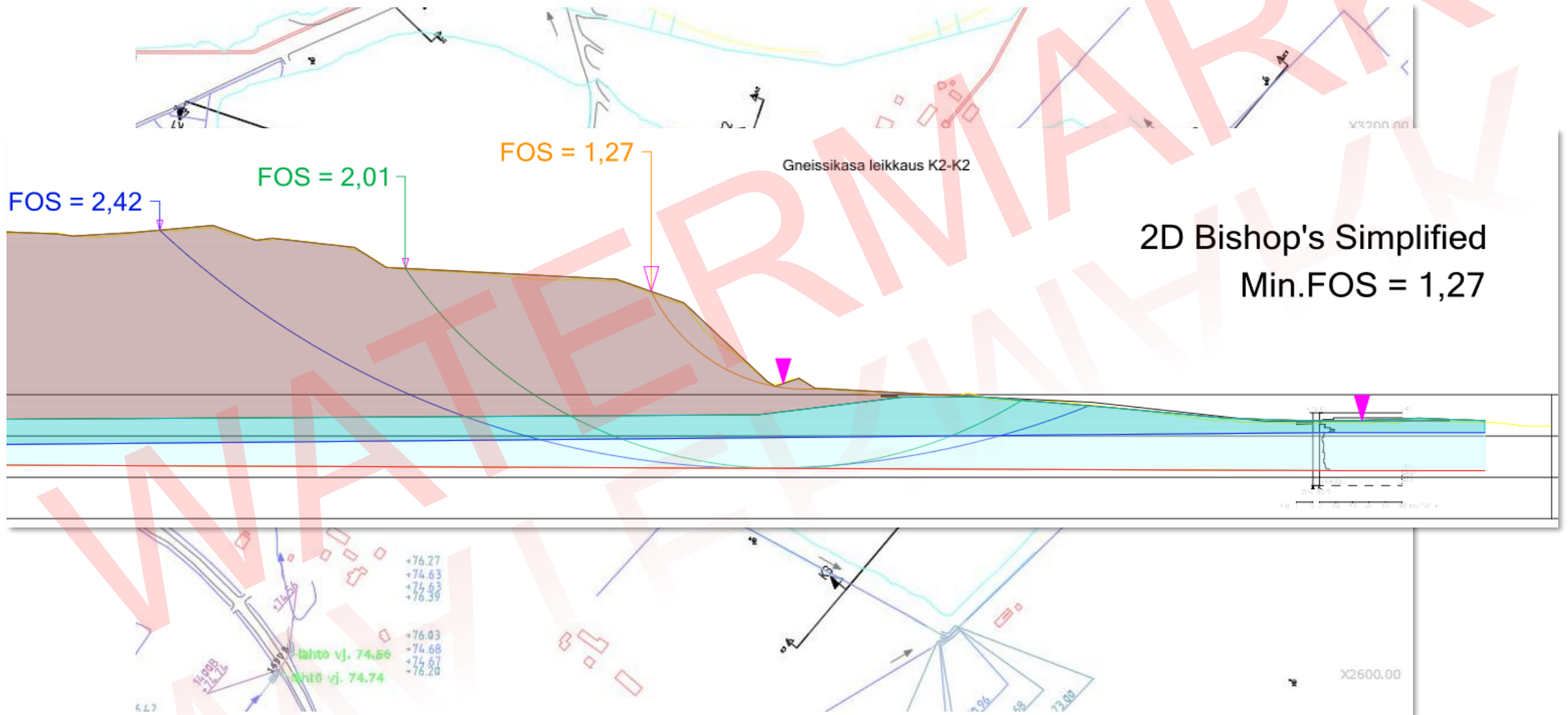


2D-stabiliteetti – Konsulttitoimisto





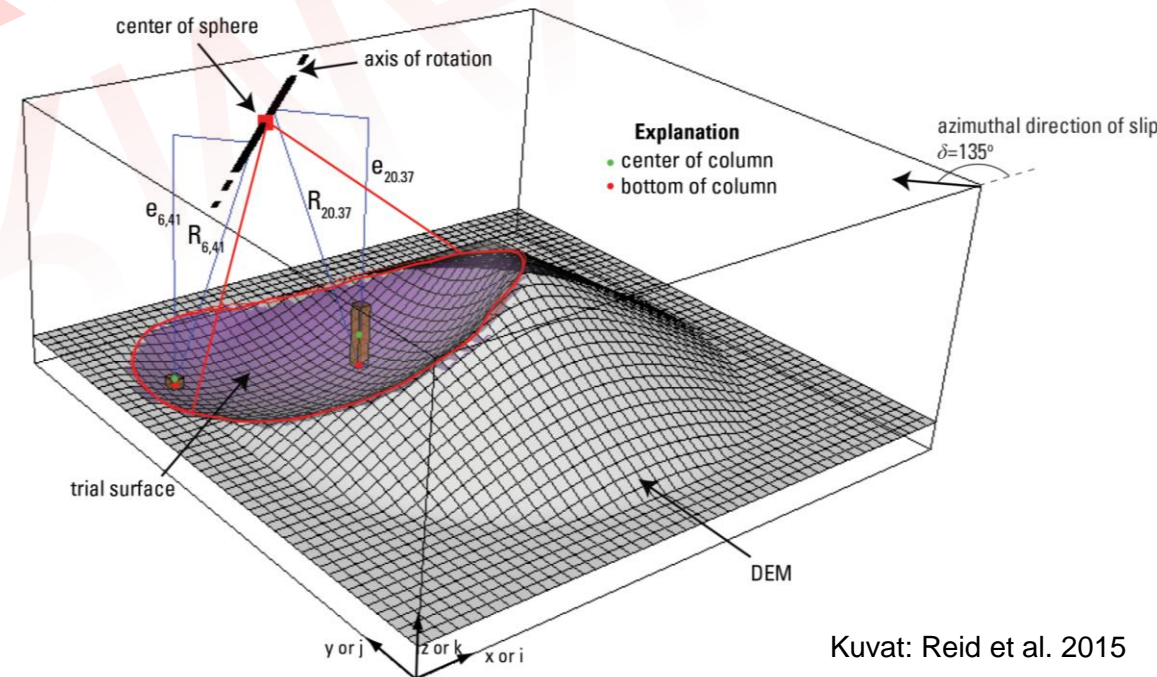
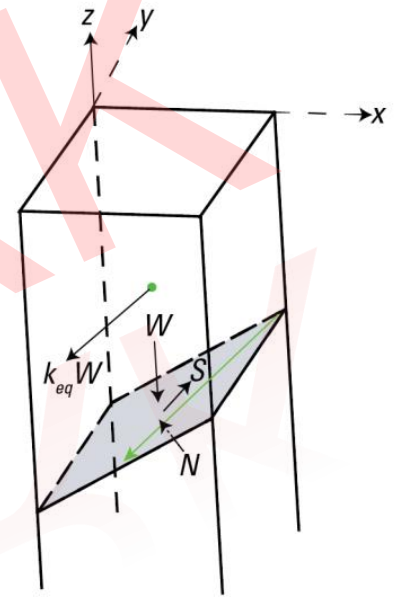
2D-stabiliteetti – Konsulttitoimisto





Taustaa: 3D-Stabiliteettianalyysi

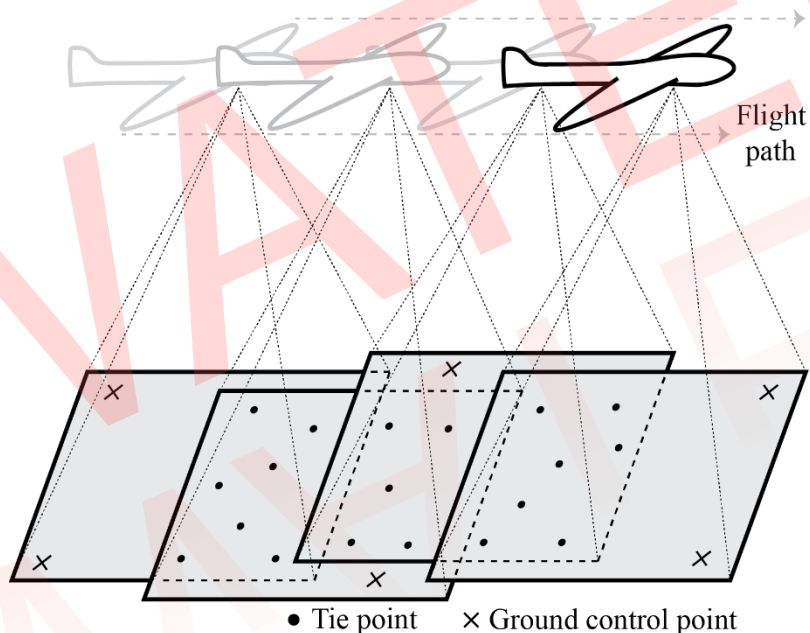
- Tekniikan ja laskentatehon kehitys mahdollistaa nykyään 3D-stabiliteettianalyysien suorittamisen.
- 3D-mallinnuksessa voidaan hyödyntää samantapaista lähestymistapaa, mutta 2D-lamellit korvataan nyt 3D-pilareilla.
- Mahdollistaa tilanteen realistisemmän tarkastelun.
- Lisäksi ei olla rajoitettu vain valittuihin läpileikkauksiin.





Taustaa: Dronemittaukset

- Fotogrammetriassa on kyse eri kulmista otettujen kuvien välisestä, parallaksiin perustuvasta ”triangulaatiosta”.
- Fotogrammetrian avulla voidaan luoda esim. 3-ulotteisia pistepilviä sekä pintamalleja ja ortomosaiikkeja kohteesta.





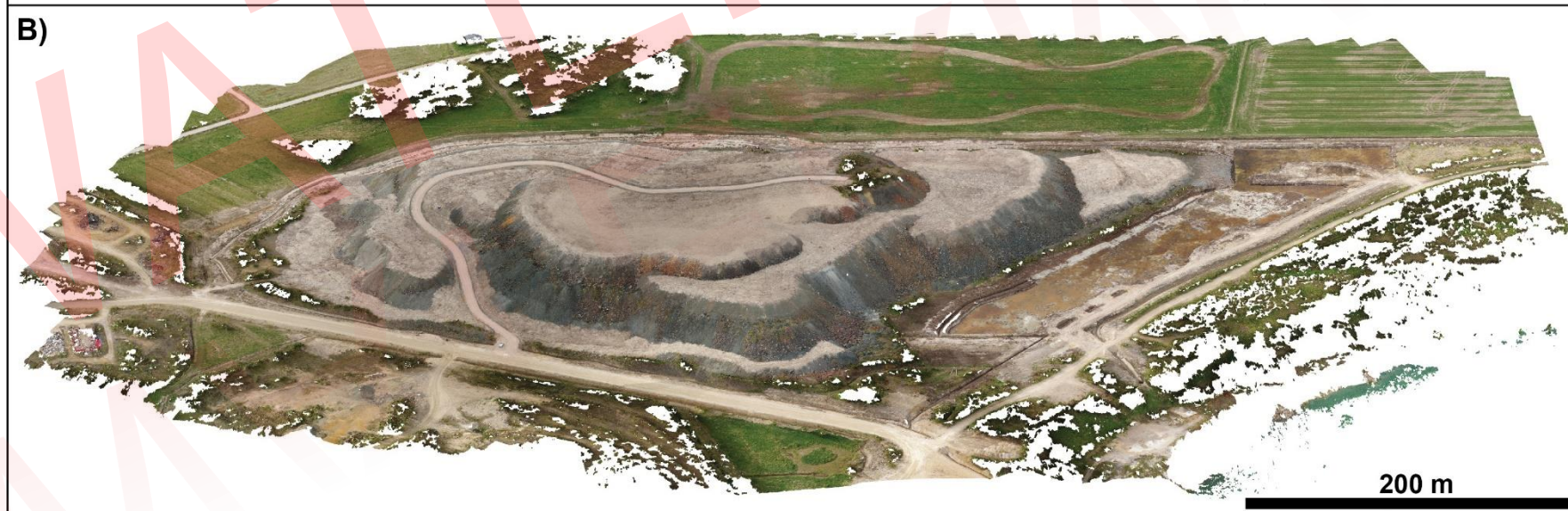
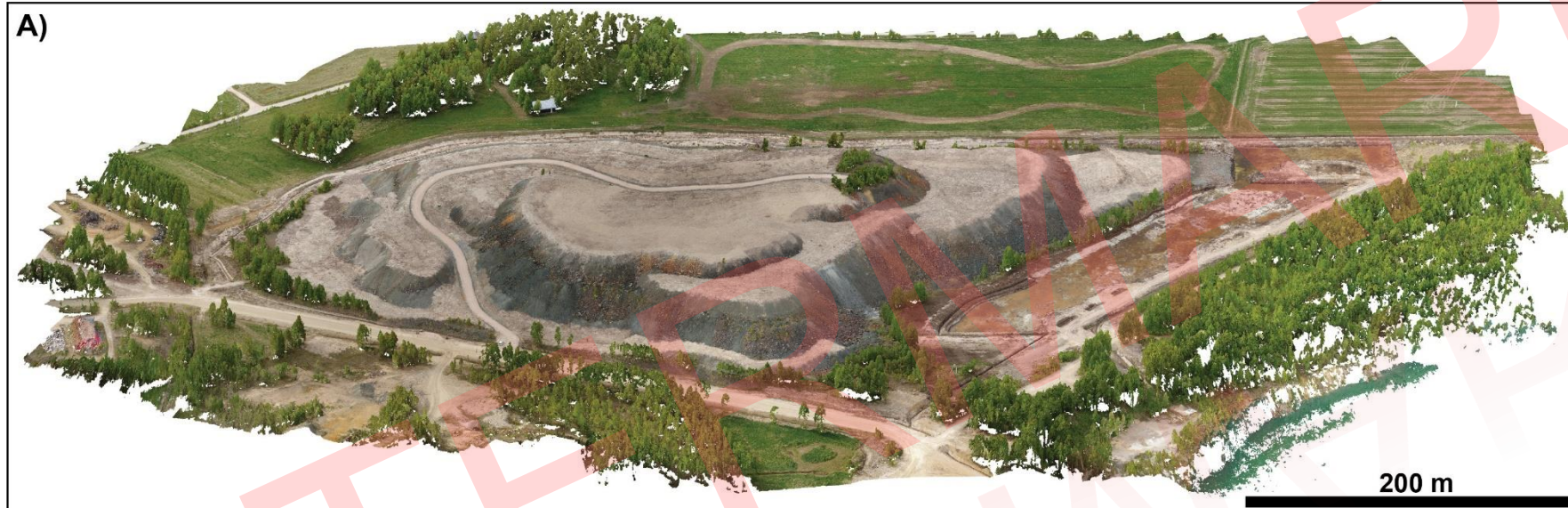
Dronemittaukset

- Mittauskampanja Hituran serpentiinittikasalle kesäkuussa 2020.
- Toisessa kampanjassa kuvattiin molemmat kasat kesäkuussa 2021.





Datan jälkikäsittely: Kasvillisuuden poisto





3D-stabiliteettilaskennat

- 3D-stabiliteettilaskenta suoritettiin vapaasti saatavilla olevalla Scoops3D-ohjelmistolla (tehnyt: US Geological Survey).
 - Voidaan suoraan syöttää pinnanmuodot korkeusmallista.
 - Pallopinnan muotoiset testiliukupinnat määritellään pallon keskipisteen sijainnin ja sortuman minimi- ja maksimitilavuuden perusteella.
- Hyödynnettiin materiaaliparametreja (kitkakulma, koheesio, tilavuuspaino) sekä maaperä- ja pohjavesitietoja, jotka mitattu kenttä- ja laboratoriomittauksin sulkemissuunnittelun yhteydessä sekä Sulin (2019) opinnäytetyössä.



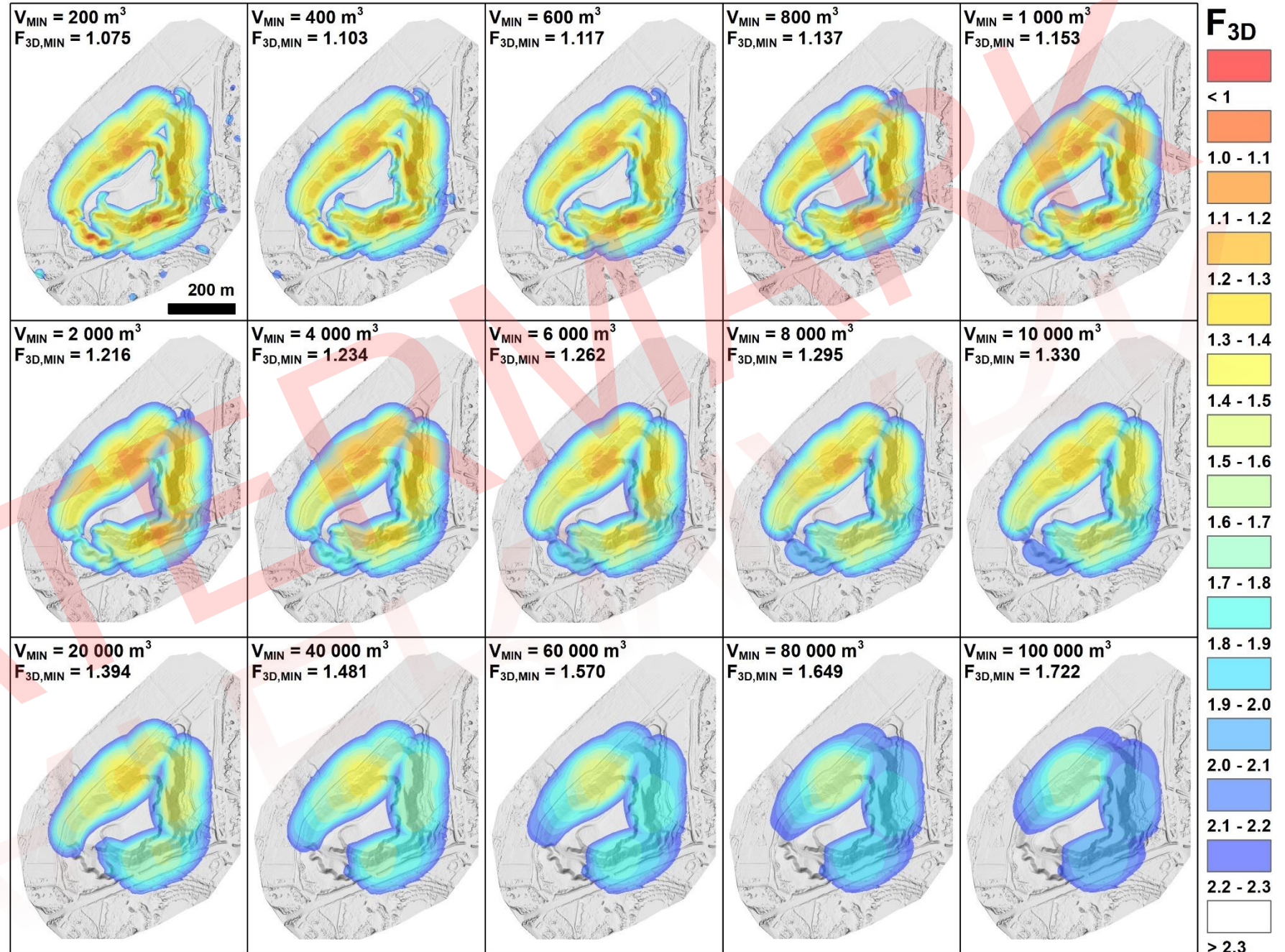
Serpentiniittikasa

HUOM!

200 m³ ~ 25 X 

2 000 m³ ~ 250 X 

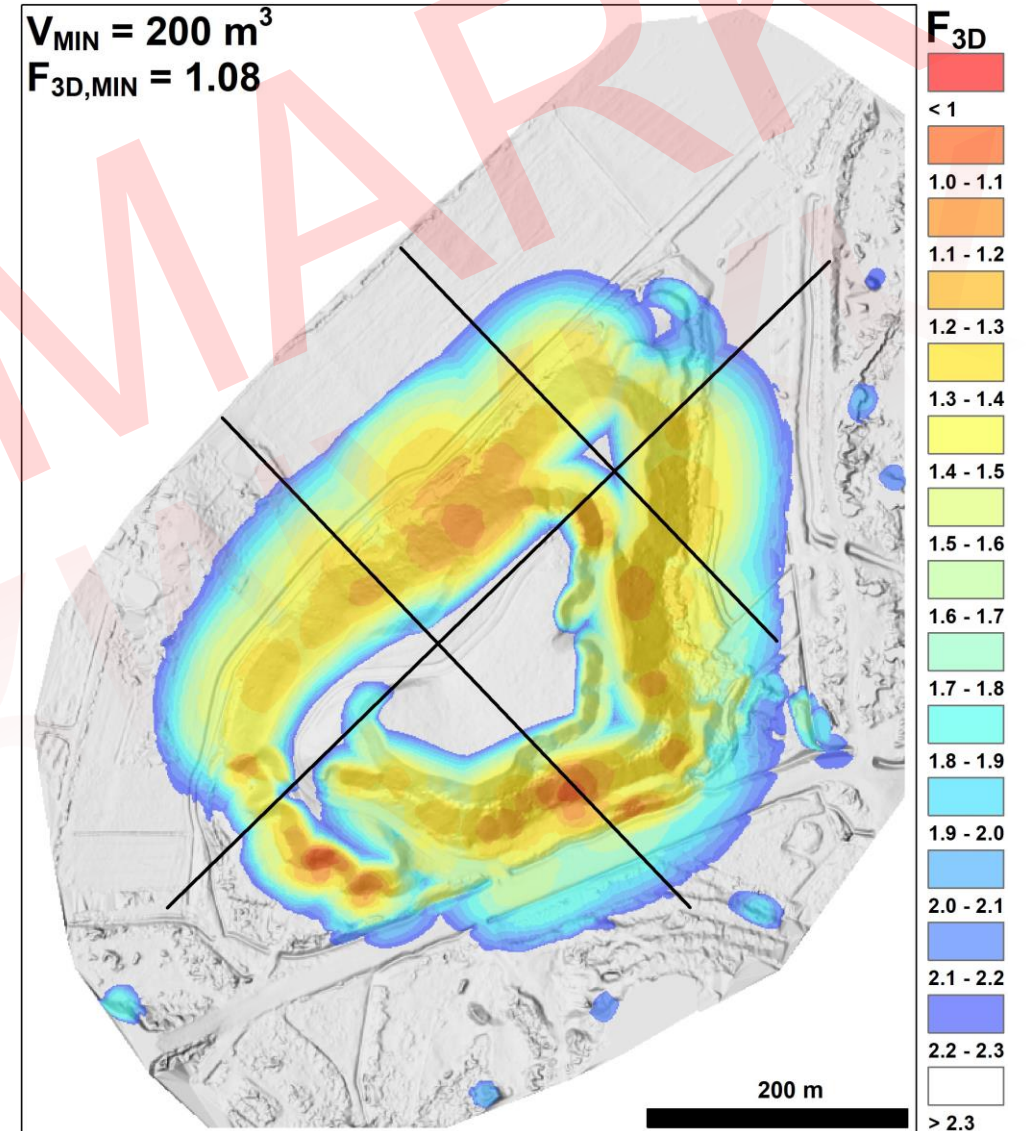
20 000 m³ ~ 2500 X 





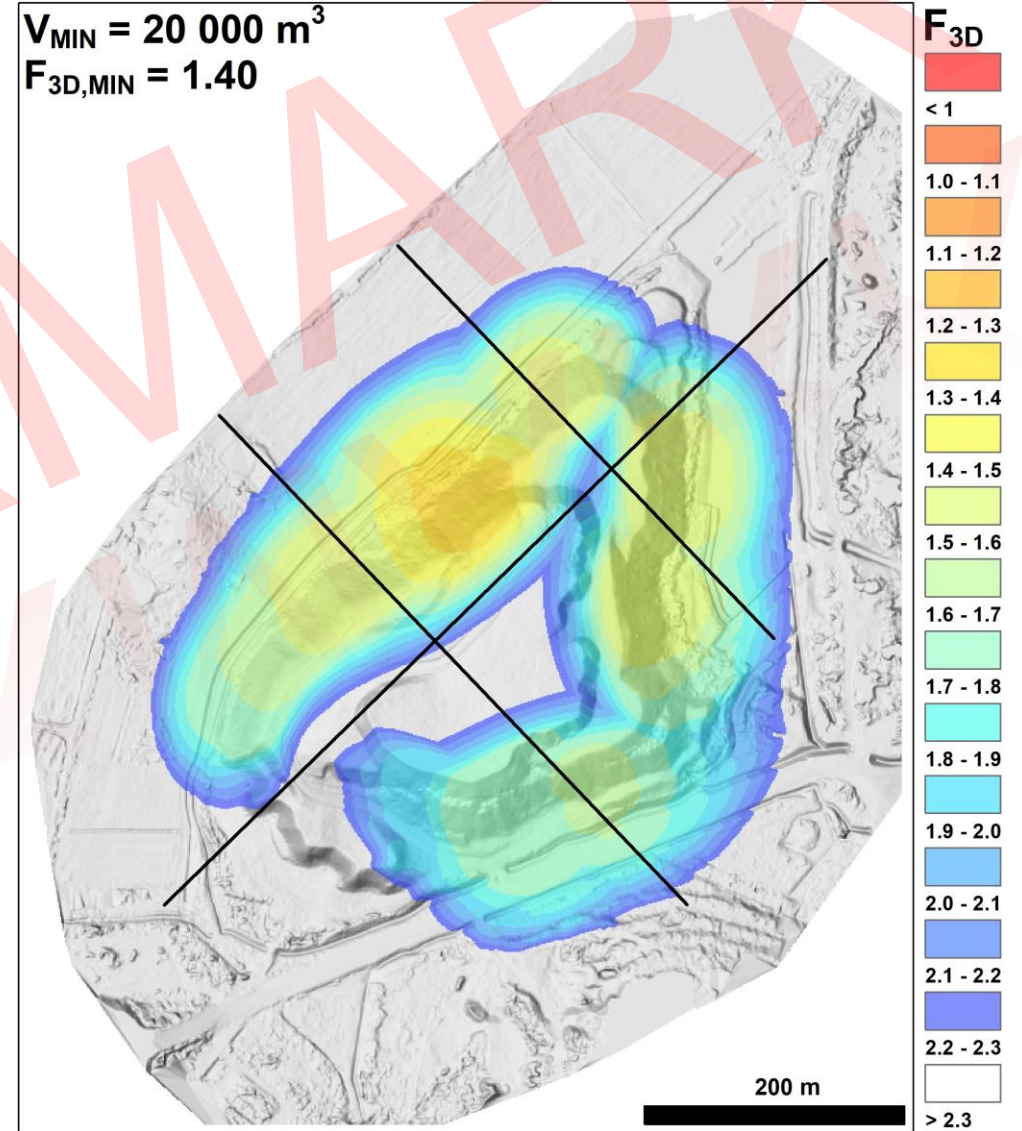
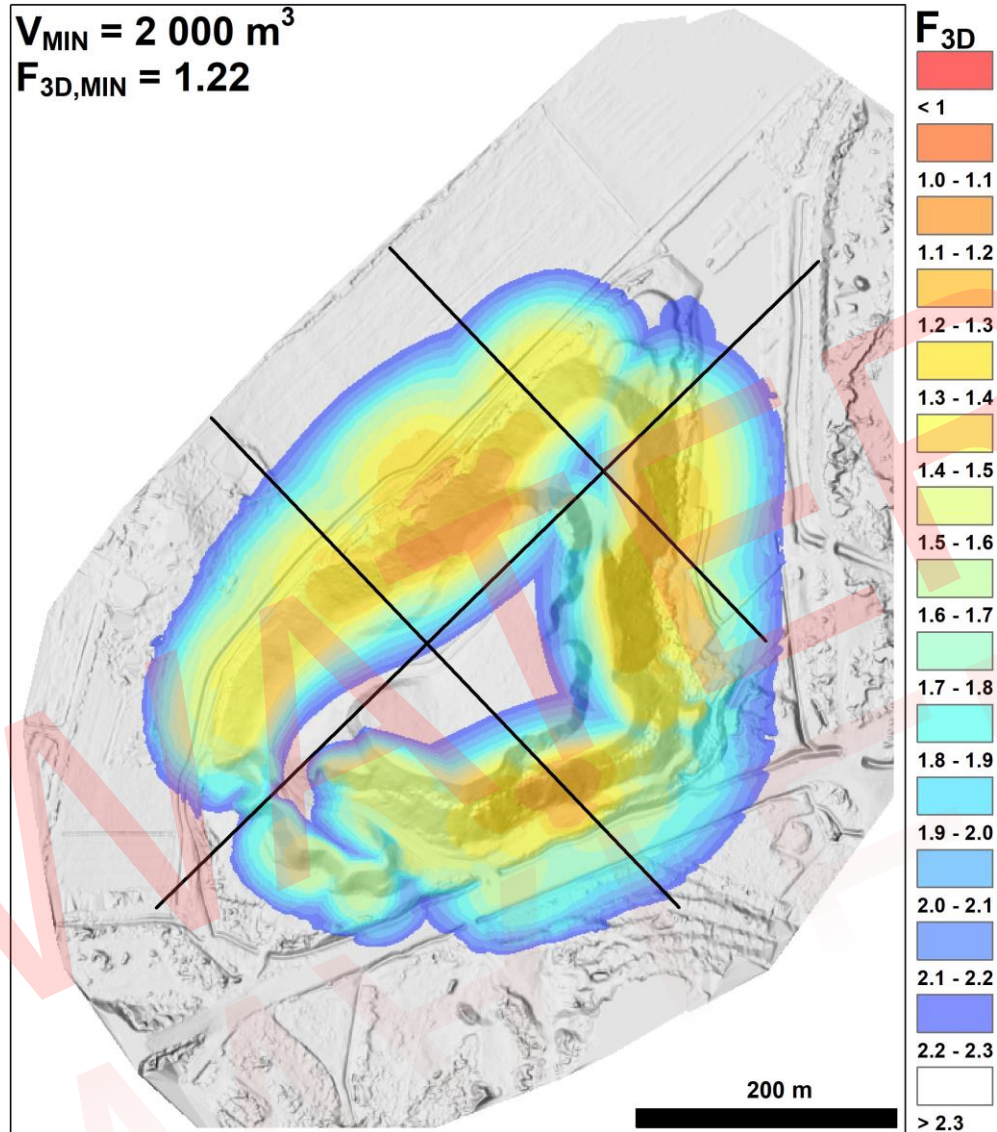
Tulokset – Serpentiini-sivukivikasa

- Mustilla viivoilla kuvattu konsulttitoimiston 2D-mallinnukseen valitut läpileikkaukset.
- Selvästi nähdään, että ”a priori” valitut 2D-läpileikkaukset eivät välttämättä osu erityisen hyvin 3D-stabiliteettimallin osoittamiin pienimmän varmuuden alueisiin.



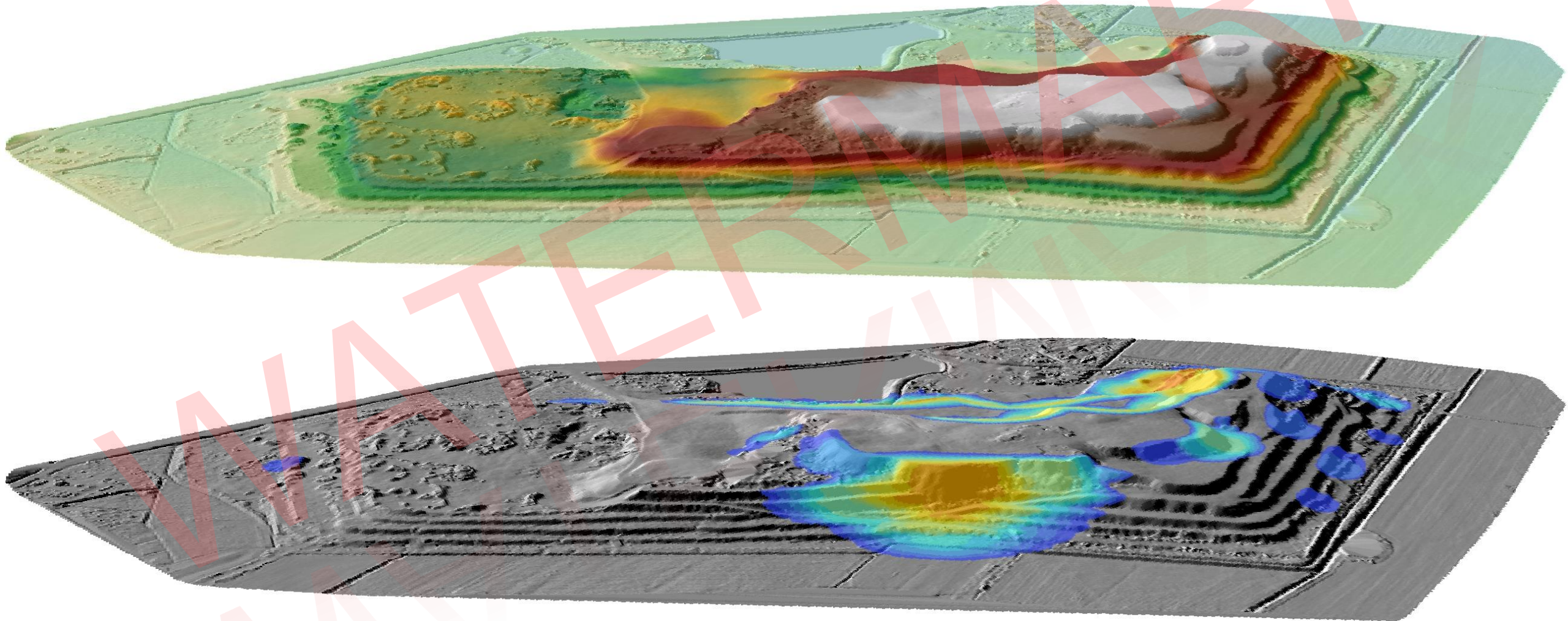


Tulokset – Serpentiiniitti-sivukivikasa



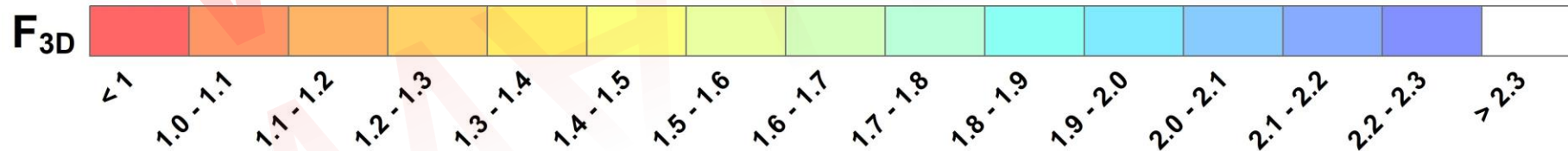
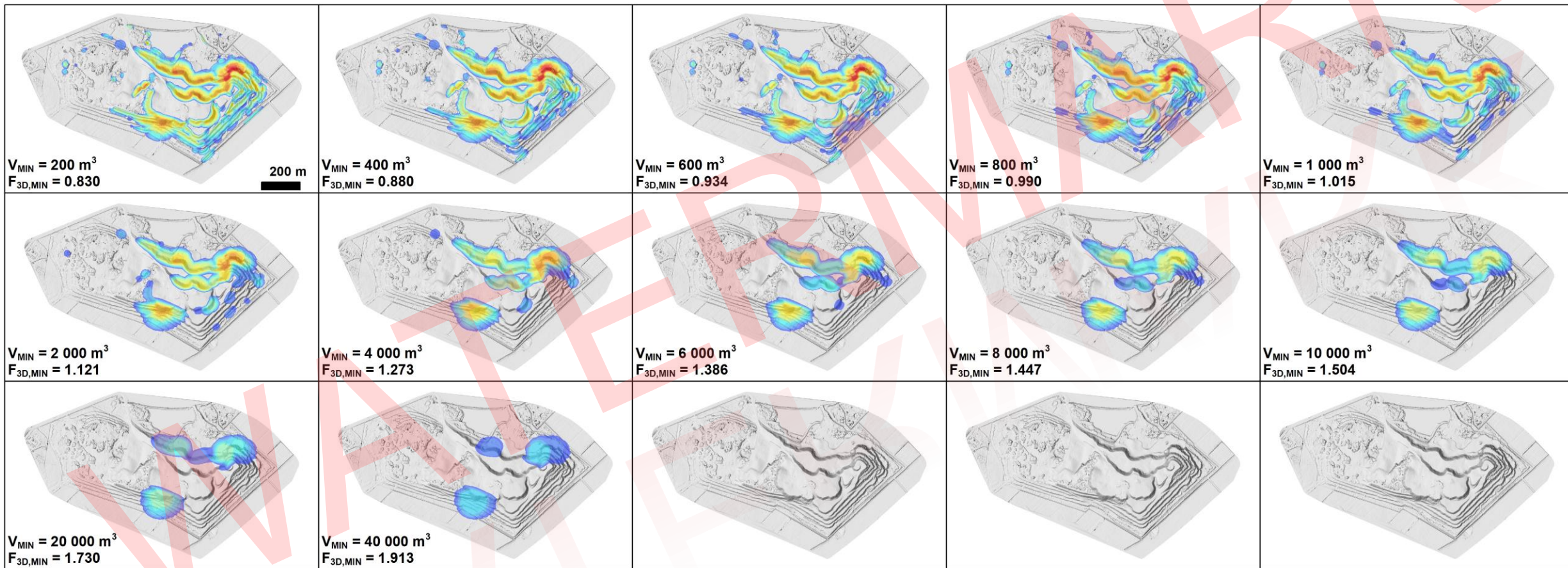


Tulokset – Kiillegneissi-sivukivikasa



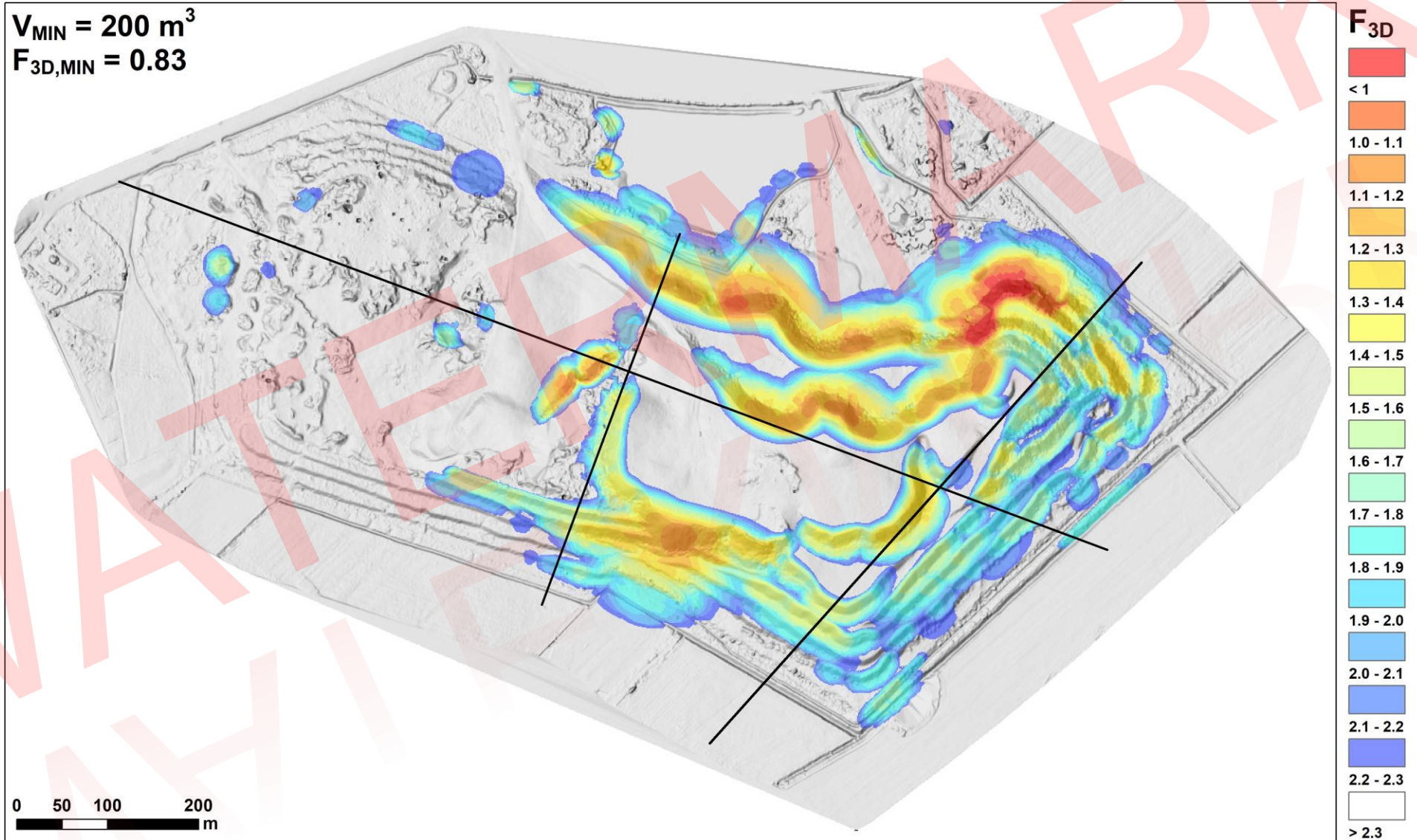


Tulokset – Kiillegneissi-sivukivikasa





Tulokset – Kiillegneissi-sivukivikasa

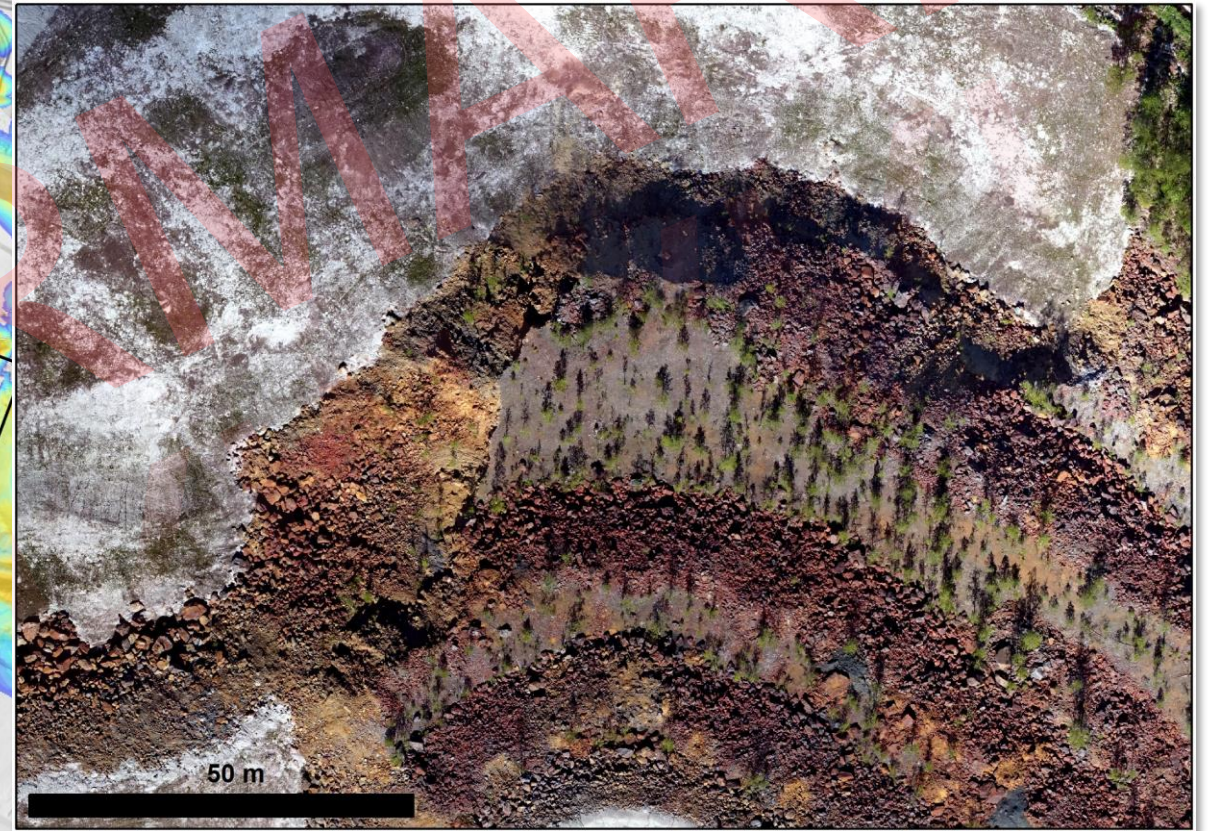
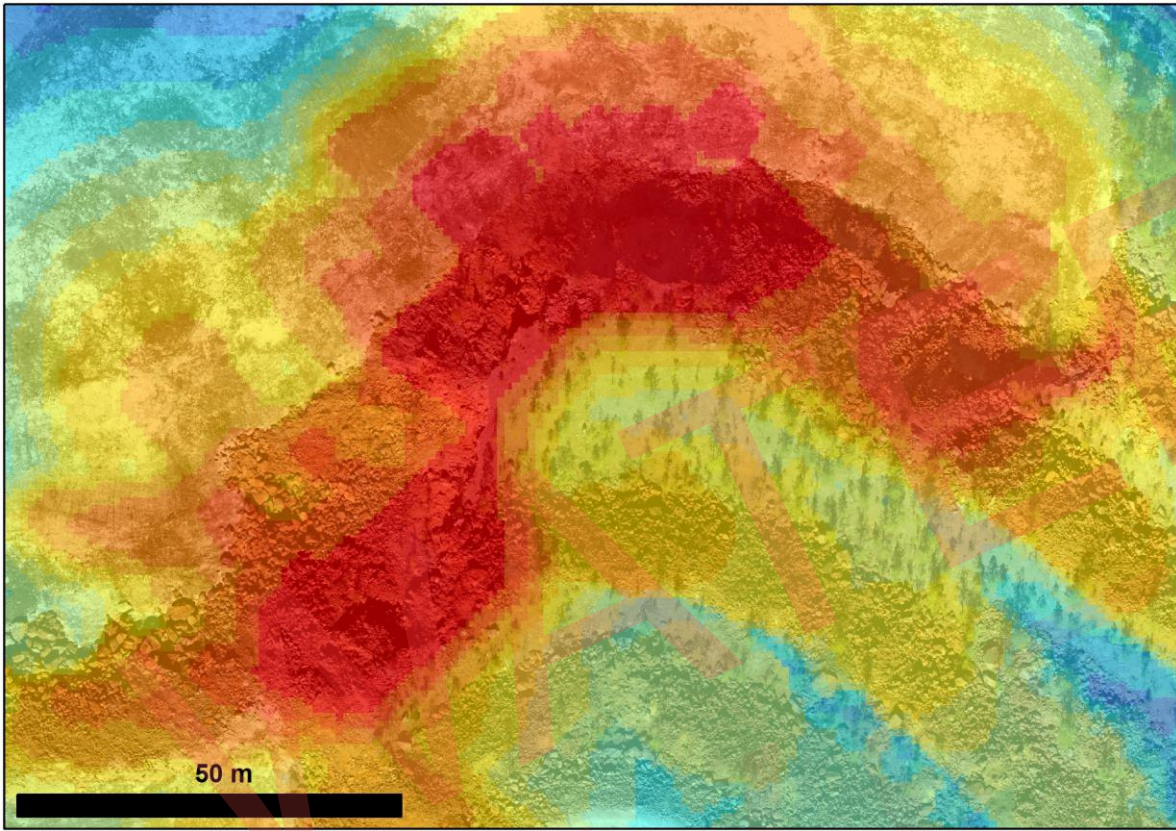




Tulokset – Kiillegneissi-sivukivikasa

$V_{\text{MIN}} = 200 \text{ m}^3$
 $F_{3\text{D,MIN}} = 0.83$

$F_{3\text{D}}$
[Red box]
< 1

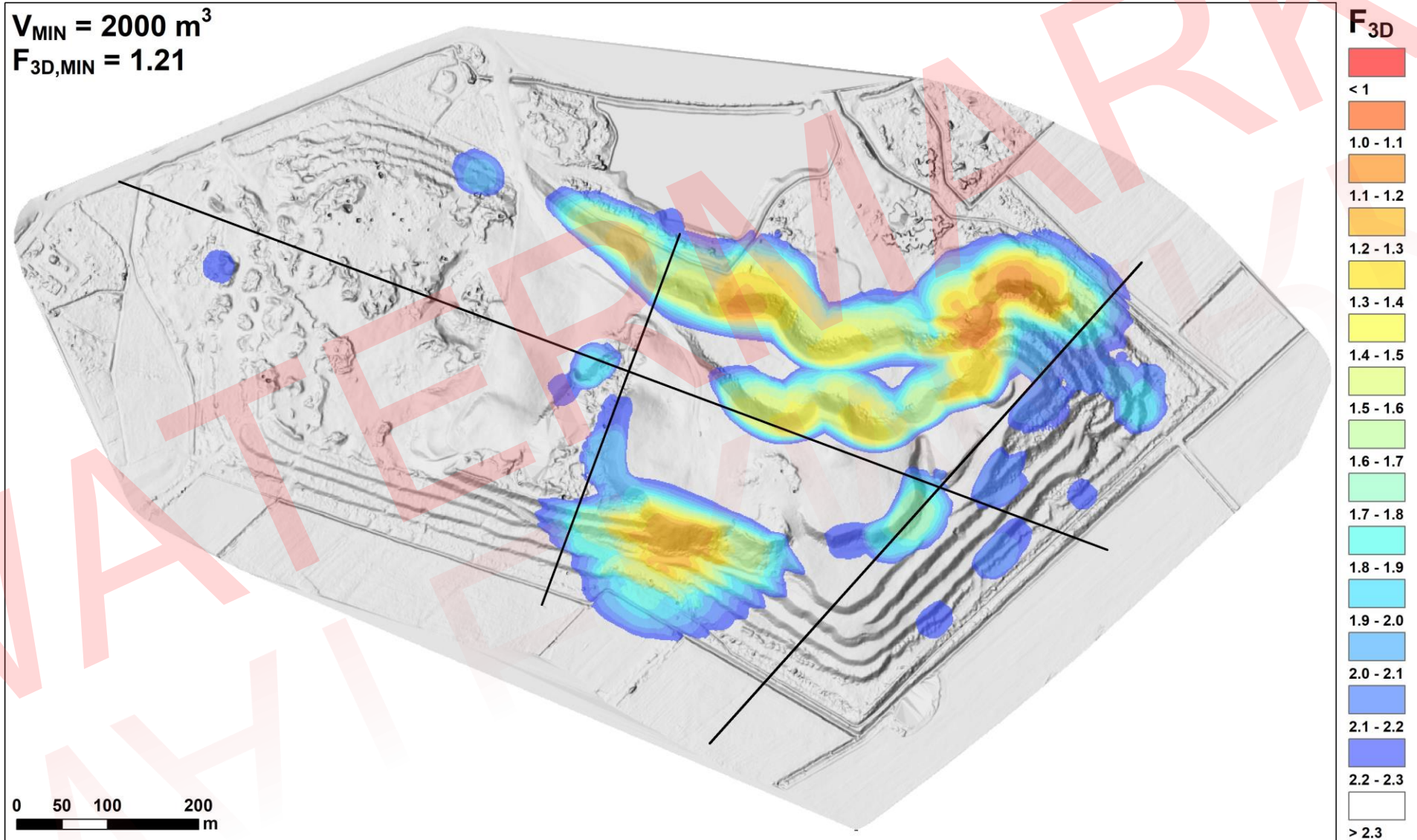


0 50 100 200
m

2.1 - 2.2
[Blue box]
2.2 - 2.3
[White box]
> 2.3

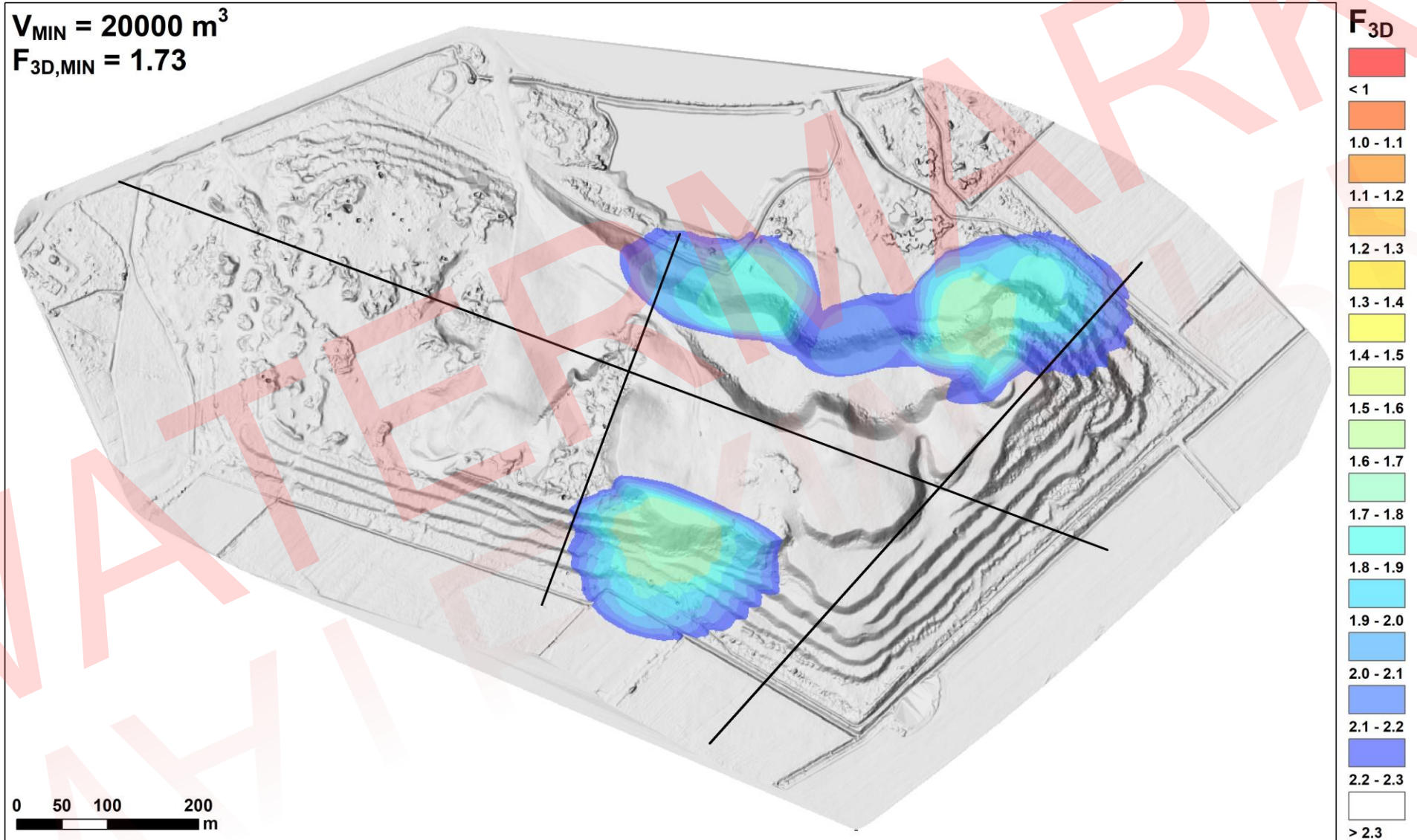


Tulokset – Kiillegneissi-sivukivikasa





Tulokset – Kiillegneissi-sivukivikasa





Havaintoja

- Mallinnus herkkä lähtöparametreille, etenkin koheesiolle.
- Mallinnus ei ole erityisen herkkä käytetyn pintamallin tai liukupintojen etsintäalgoritmin resoluutiolle.
 - Testattu esim. 25 cm/pix resoluutiolla ja tiheällä etsintäalgoritmilla vs. 100 cm/pix iteroivalla algoritmilla: Tuloksissa ei käytännössä eroa, mutta prosessointiaika tippui dramaattisesti (yli 13 vrk vs. alle 1 tunti).
- Kiillegneissikasalta löydettiin varmuuskertoimella $F < 1$ olevia luiskia alle 1000 m³ tilavuudella, mutta potentiaalisesta sortumasta ei voi varmuudella sanoa mitään, etenkin ilman lisäselvityksiä.
 - Esim. varjot voivat aiheuttaa ongelmia pintamalliin, ja materiaalissa voi olla näennäistä koheesiota, sementoitumista, yms., jotka vahvistavat materiaalia, mutta joita ei ole mallinnuksessa huomioitu.



Yhteenveto

- Dronekartoitus mahdollistaa nopean ja kustannustehokkaan tavan hankkia ajantasainen topografinen data stabiliteettilaskentaa varten.
 - Data voidaan siirtää liki suoraan stabiliteettimalliin lähtötiedoksi.
- Yhdistettynä 3D-stabiliteettilaskentaan, metodilla saadaan huomattavasti kattavampi kuva vallitsevasta tilanteesta ja mahdollisesta tarpeesta esim. luiskien vakauttamiseen tai loiventamiseen tietyissä paikoissa.
 - Voidaan kartoittaa kriittiset alueet, mikäli halutaan tehdä tarkentavaa 2D-stabiliteettianalyysiä.



Euroopan unioni
Euroopan aluekehitysrahasto

Vipuvoimaa

EU:lta
2014–2020



Oulun Rakennustekniikan säätiö

