

Zeniitti

Projekti 313413

## Rakennusgeologinen kartoitus



### Asiakkaan tiedot

Kempeleen kunta

---

## Sisältö

<b>1.</b>	<b>Johdanto.....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>Rakennusgeologiset selvitykset.....</b>	<b>4</b>
2.1.	RG luokitus.....	6
2.2.	Itäseinä.....	6
2.3.	Kaakkoisseinä .....	9
2.4.	Lounaisseinä .....	11
2.5.	Länsiseinä .....	14
2.6.	Pohjoisseinä .....	17
<b>3.</b>	<b>Johtopäätökset ja suositellut toimenpiteet .....</b>	<b>20</b>
<b>4.</b>	<b>Referenssit .....</b>	<b>21</b>

## 1. Johdanto

Zeniitti on vanha kiviaineslouhos, joka sijaitsee Kempeleen kunnassa, noin 5 km Oulun lentokentältä itään E8-tien itäpuolella. Louhoksen pinta-ala on noin 20 hehtaaria ja sen keskisyvyys on noin 15 m, ja siihen on tarkoitus rakentaa virkistyspuisto. Louhoksen itäosaan tulee ranta ja hotellialue. Ranta-alue täytetään noin 16 metrin tasolle ja se ulottuu noin 60 metriä länteen. Louhoksen loppuosasta tehdään virkistysalue, joka osittain täytetään vedellä. (Kuva 1.1.)

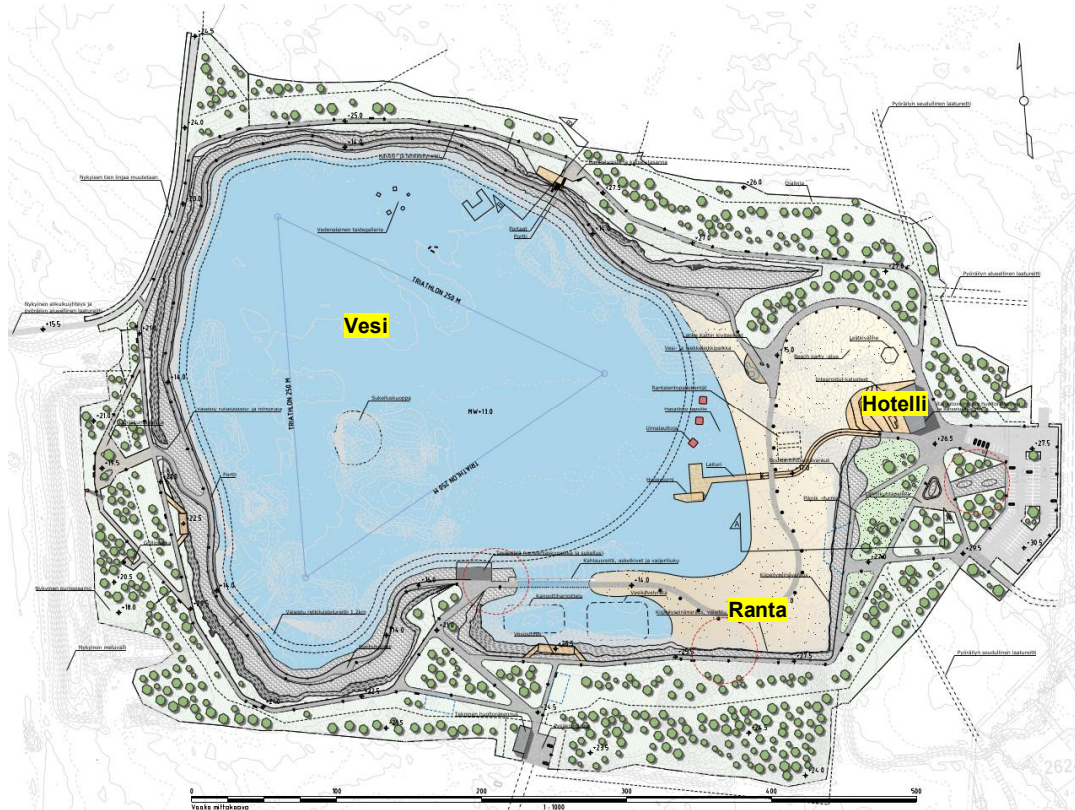
Tämä raportti perustuu kenttätööhön, joka suoritettiin 08.-09.06.2021 kohteessa. Kenttätö koostui drooni-kuvauksesta, kiintopistemittauksista ja kalliomassan arvioinneista sekä havainnoista kallioseinämistä. Kenttätö, mallinnukset ja raporttien kirjoittamisen suorittivat Peter Howett ja Anders Koponen.

Drooni-lentoja suunniteltiin koko louhokselle tavoitteena tuottaa kokonais-3D-malli sekä pienemmät, paikalliset 3D -mallit kallioseinämistä geoteknistä ja kinemaattista analyysiä varten.

Koko louhoksen 3D-mallissa drooni-lennon parametrit olivat seuraavat: 3D crosshatch-tila; lentokorkeus 80 m; otetut kuvat 715; päällekkäisyys edessä 70 %; sivun päällekkäisyys 65 %; lennon nopeus 9 m/s; kartoitettu kokonaispinta-ala 28 hehtaaria. Automatisoitu lento suunniteltiin DroneDeploy -ohjelmistolla. Mallin tulokset näkyvät Kuvassa 2.0.1.

Seinämaakohtaisen valokuvauksen parametrit suunniteltiin Litchi-ohjelmalla manuaalisesti, kullekin seinämän osalle erikseen. Kaikki mallinnuksen valokuvat käsiteltiin Bentley'n ContextCapture-ohjelmalla ja analysoitiin GEOVIA Surpacilla.

Tässä projektissa käytetty koordinaattijärjestelmä oli ETRS-GK26 (EPSG: 3880).



**Kuva 1.1:** Zeniitti: suunniteltu alue (Ramboll, 2018). Tämä kartta näyttää tulevaisuuden vesialueen, hotellin ja rannat.

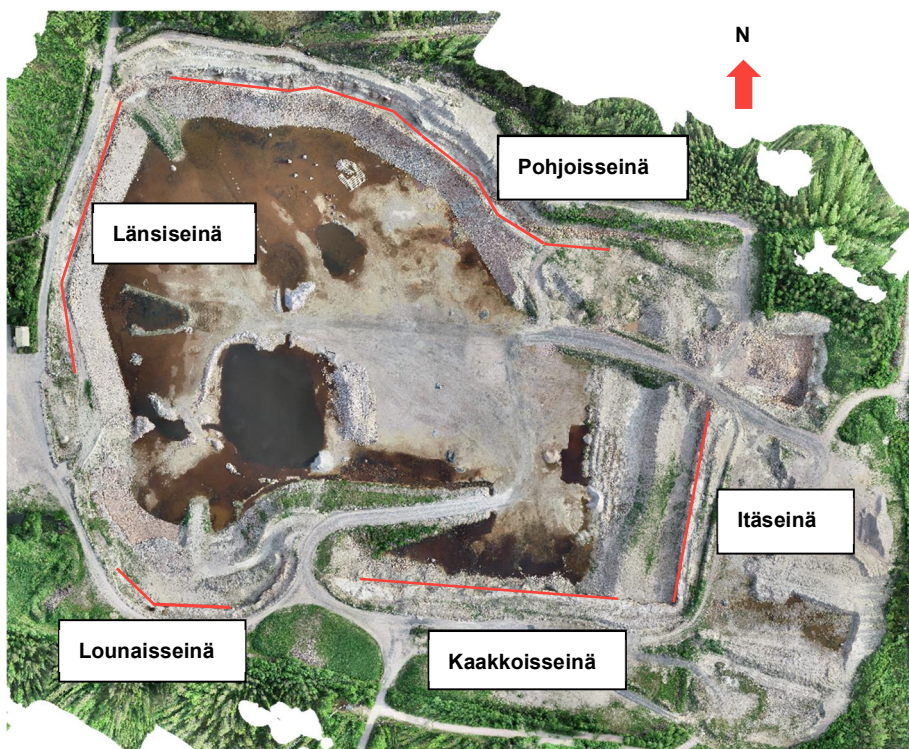
## 2. Rakennusgeologiset selvitykset

Louhoksen koon ja kallioseinämien eri suuntausten vuoksi kalliomassalaatujen käsittely ja analysointi erotettiin pienemmiksi osiksi kallioseinämän suuntautumisen perusteella. Osat näkyvät Kuvassa 2.0.1. Kukin kallioseinämän osa on analysoitu raportissa oman osionsa alla ja yhteenveto Q-slope -luokituksen kalliolaatuanalyysistä on esitetty alla Taulukossa 2.0.1.

Q-slope on Q-luokitusjärjestelmästä kallioleikkauksia varten mukautettu kalliolaadun luokitusjärjestelmä (Bar ja Barton, 2017). Erona perinteiseen Q-luokitukseen se huomioi kallioseinämän suunnan ja suotuisten tai epäedullisten rakojen välisen suhteen kivimassassa. Jw- ja SRF-parametrit on myös mukautettu leikkauksia varten.

Kallioseinien kalliolohkot ovat selkeästi häiriintyneet louhintaräjätysten yhteydessä; lohkot ovat liikkuneet ja kallioraot ovat auenneet. Tämä on huomioitu Q-slope -luokituksessa käyttämällä SRF:lle arvoa 5 (Taulukko 2.0.1). Kallioseinämät ovat lujittamattomia.





**Kuva 2.0.1:** Zeniitin 3D malli tehty ContextCapture:lla droonikuvauksista. Kuvassa on esitetty jokaisen pääseinän leikkauksen paikat.

**Taulukko 2.0.1:** Q-slope luokitukset alueittain. Arvot edustavat rakoja, joilla on eniten vaikutusta stabiileettiin. \* Raot paikoin avonaisia räjäytyksestä johtuen.

Alue	RQD	Jn	Jr <sup>1</sup>	Ja <sup>1</sup>	Jr <sup>2</sup>	Ja <sup>2</sup>	o-arvio	Jw	SRF	Q-slope	Kalliolaatu
Itä-seinä	80	12	3	1	3	1	0,5/0,9	0,9	5*	<b>4,9</b>	<i>Kohtalainen</i>
Kaakkois-seinä	85	12	3	2	1,5	1	0,75/1	0,9	5*	<b>2,5</b>	<i>Heikko</i>
Lounais-seinä	80	12	3	8	1,5	1	1/0,8	0,9	5*	<b>0,6</b>	<i>Varsin heikko</i>
Länsi-seinä	90	9	3	2	3	2	1/1	0,9	5*	<b>4</b>	<i>Kohtalainen</i>
Pohjois-seinä	80	12	3	4	1,5	1	1/0,8	0,9	5*	<b>1,1</b>	<i>Heikko</i>

## 2.1. RG luokitus

Tässä osiossa on lyhyt, suomalaiseen RG-luokitusjärjestelmään perustuva kuvaus yleisestä kalliolaadusta alueella. Kallion rakotiheden ja laadun paikalliset vaihtelut on esitetty liitteiden osionäkymissä.

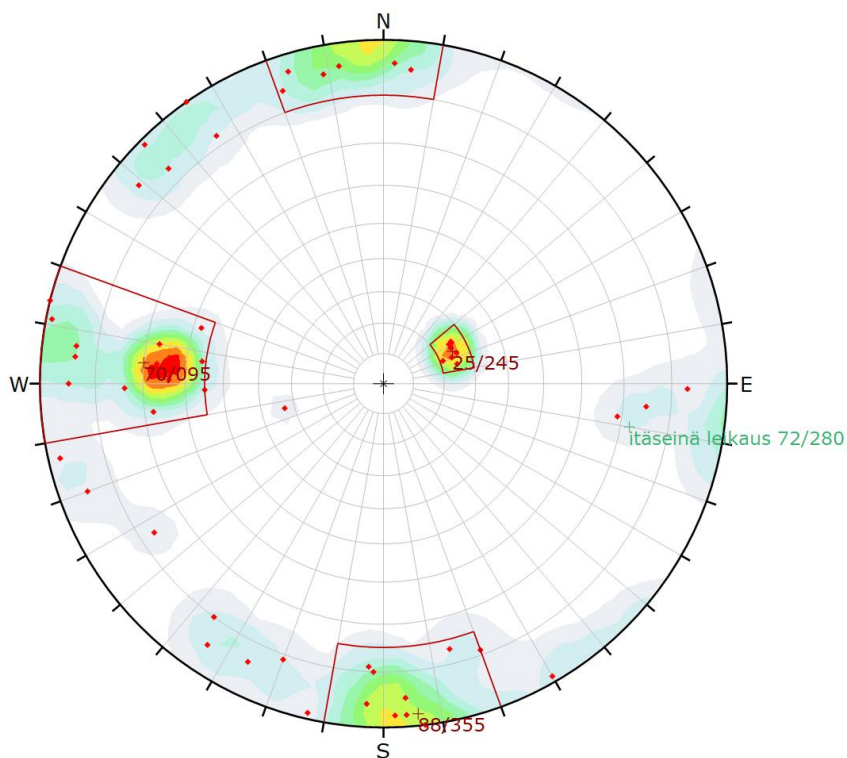
Zeniitin kivet kuuluvat Kajaanin graniittialueeseen. Raekoko on karkea (5-50 mm) ja kivi koostuu suurelta osin kvartsista ja maasälvistä. Kivilaatu on maasainen (M0) ja rapautumaton (Rp0). Yleensä rakotiheds on pienempi kuin 1 rako metriä kohti, ja siksi se on harvarakoinen (Rk1). Paikallisesti rakotiheds kasvaa kuitenkin jopa 3-10 rakoön metriä kohti ja kallio luokitellaan vähärakoiseksi tai runsarakoiseksi (Rk2, Rk3), kuten liitteiden malliosissa korostetaan. Kokonaisuutena kalliomassa on kiinteä, massarakenteinen ja harva- tai vähärakoinen (Ma1-Ma2) tai löyhä, löyhärakenteinen ja vähä- tai runsarakoinen (Lö2-Lö3).

## 2.2. Itäseinä

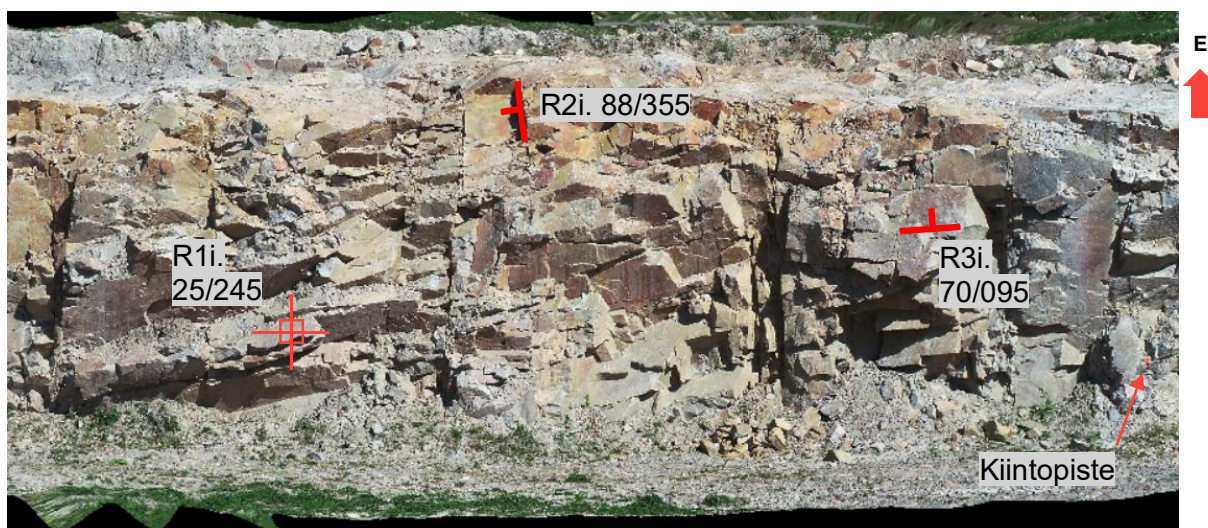
Itäisessä kallioseinämässä (~6.5 m korkea) havaittiin kolme päärakosuuntaa. Seinän kaade ja kaadesuunta ovat noin 72/280. Kaksi rakosuunnista ovat toisiinsa nähden kohtisuoria ja jyrkästi kaatuvia. Toinen näistä on suunnilleen yhdensuuntainen seinän pinnan kanssa. Kolmas rakosuunta on lähes vaakatasossa, kaatuen seinästä ulos. Kalliorakojen järjestys ja tiheys ovat johtaneet pienten lohkojen (yleensä alle 1 m<sup>3</sup>) muodostumiseen. Louhintaräjähdytykset ovat avanneet rakoja enemmän kuin mitä ne luonnollisesti olisivat ja kalliolohkot ovat irtonaisia. Päärakosuuntien Q-slope -luokituksen arviot on esitetty Taulukossa 2.2.1 ja rakojen kaateet ja kaadesuunnat Kuvissa 2.2.1 ja 2.2.2. Liitteet 2.2.a-c. sisältävät drooni-mallien tulokset ja pääominaisuuksien huomautukset.

Rako- suunta	Rakoväli (m)	Pituus (m)	Jr	Rakopinta	Ja	Rakotäyte	Kaade	Kaateen suunta	Muut
R1i	0,3-0,8	jatkuva	3	Aaltoileva ja karkea	1/4*	Hiekkaa pinnoilla räjäytyksen vuoksi	25	245	*raot auki palkoin räjäytykses tä
R2i	1-1,5	jatkuva	1,5	Tasainen ja karkea	1/4*	Hiekkaa pinnoilla räjäytyksen vuoksi	88	355	*raot auki palkoin räjäytykses tä
R3i	0,2-1,5	jatkuva	3	Aaltoileva ja karkea	1/4*	Hiekkaa pinnoilla räjäytyksen vuoksi	70	095	*raot auki palkoin räjäytykses tä

**Taulukko 2.2.1:** Kolme päarakosuuntaa ja niiden laatuja Q -luokituksen perusteella.



**Kuva 2.2.1:** Stereografinen alapalloprojektio itäseinän leikkauksesta. Seinän kaade ja kaateen suunta ovat noin 72/280. Kolme päärakosuuntaa. 59 mitattua pistettä.



**Kuva 2.2.2:** Itäseinän malli, joka näyttää päärakosuunnat.

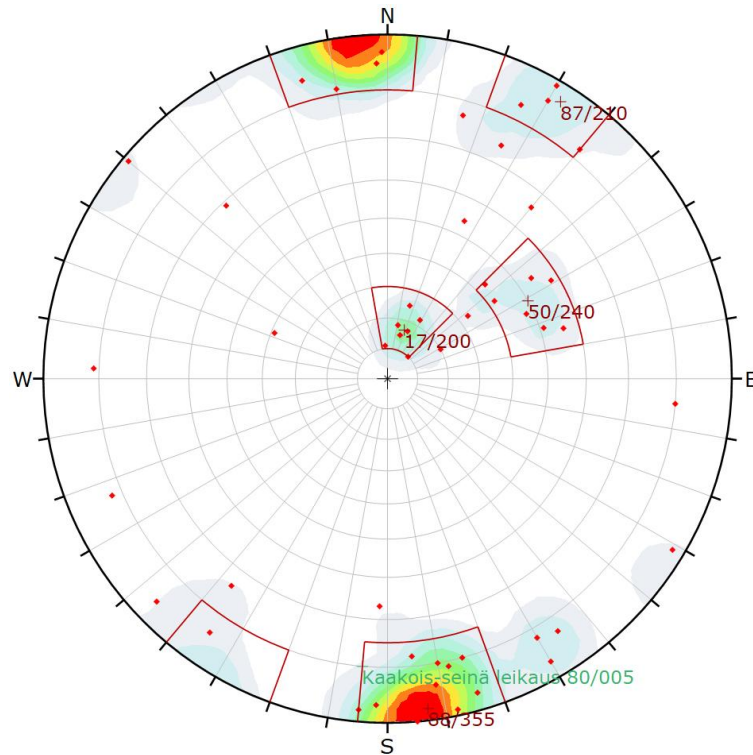


## 2.3. Kaakkoisseinä

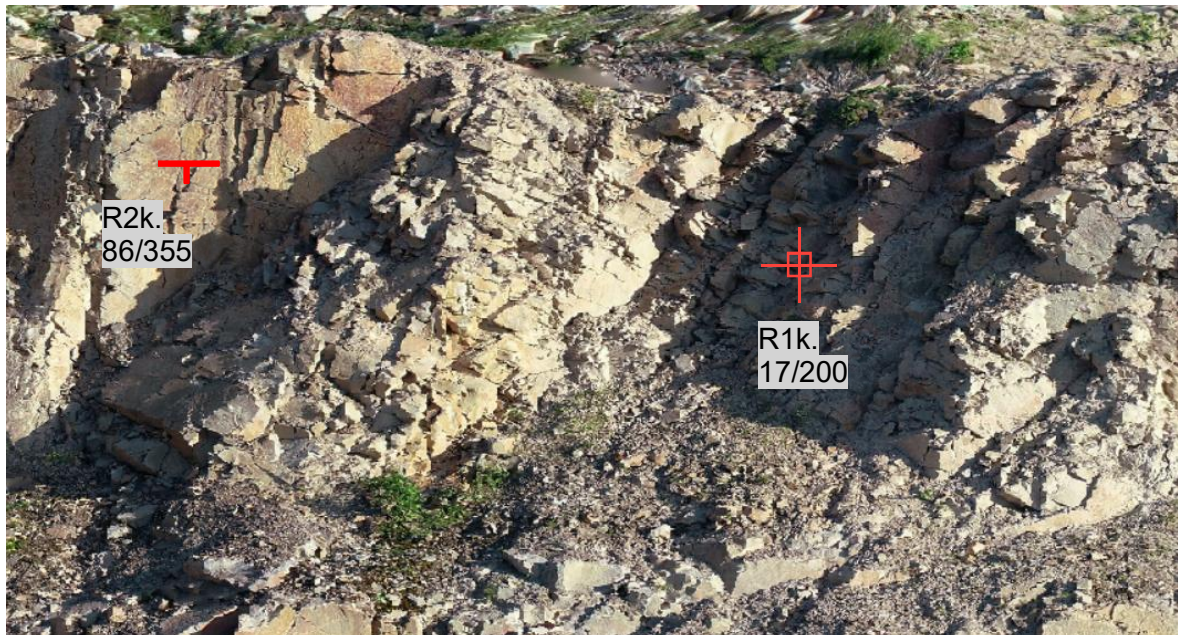
Kaakkoisseinän kalliroleikkaus on korkein (noin 15 m). Seinän kaade ja kaateen suunta ovat noin 80/005. Tällä seinällä pääarakosuunnissa on yleensä suurempi rakoväli kuin esimerkiksi itäseinämällä, ja siksi laatu on yleensä hyvä. Räjätysten takia jännityshalkeamat ovat kuitenkin avautuneet seinän takana, mikä voi aiheuttaa vakavia stabiiliteettiongelmia tulevaisuudessa (Kuva 2.3.3). Pääarakosuuntien Q-luokituksen arviot on esitetty Taulukossa 2.3.2 ja rakojen kaateet ja kaateen suunnat Kuvissa 2.3.1 ja 2.3.2. Liitteet 2.3.a-c. sisältävät drooni-mallien tulokset ja pääominaisuuksien huomautukset.

Rako-suunta	Rakoväli (m)	Pituus (m)	Jr	Rakopinta	Ja	Rakotäyte	Kaade	Kaateen suunta	Muut
R1k	0,1-3	jatkuvaa	3	Tosi aaltoileva ja karkea	2/4*	Hiekkaa pinnoilla räjätysten vuoksi	17	200	*reiät auki paikoin räjätysten vuoksi
R2k	0,8-1,2	jatkuvaa	1,5	Tasainen/ aaltoileva ja karkea	1/4*	Hiekkaa pinnoilla räjätysten vuoksi	86	355	*reiät auki paikoin räjätysten vuoksi
R3k	0,2-1,5	jatkuvaa	3	Aaltoileva ja karkea	2/4*	Hiekkaa pinnoilla räjätysten vuoksi	70	125	Ei ollut mahdollista mitata mallista
Rak	0,2-1,5	Jatkuvaa	3	Aaltoileva ja karkea	2/4*	Hiekkaa pinnoilla räjätysten vuoksi	50	240	*reiät auki paikoin räjätysten vuoksi
Rbk	>10	jatkuvaa	3	Aaltoileva ja karkea	2/4*	Hiekkaa pinnoilla räjätysten vuoksi	87	210	*reiät auki paikoin räjätysten vuoksi

**Taulukko 2.3.1:** Kolme pääarakosuuntaa (ja kaksi sub-settiä, Rak ja Rbk) ja niiden laatuja Q -luokituksen perusteella.

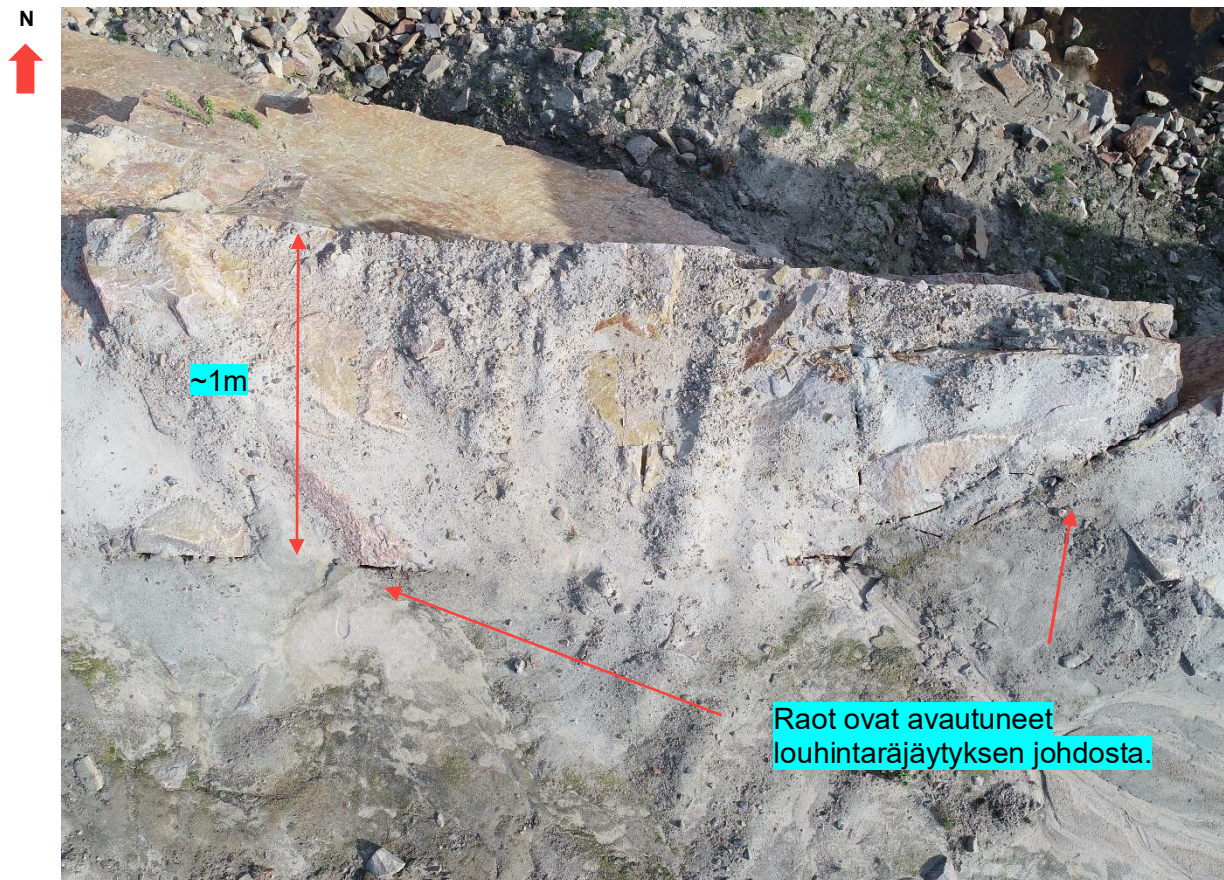


**Kuva 2.3.1:** Stereografinen alapalloprojektio kaakkoisseinän leikkauksesta. Seinän kaade ja kaateen suunta ovat noin 80/005. Neljä päärakosuuntaa. 58 mitattua pistettä.



**Kuva 2.3.2:** Kuva osasta kaakkoisseinän mallia, jossa esitetty kaksi päärakosuuntaa.





**Kuva 2.3.3:** Droonikuva, joka on otettu kaakkoisseinän yläpuolelta ja jossa näkyy kiven räjäytyksen aiheuttamat avautuneet jännityshalkeamat. Pinnat ovat noin 0.5-2 m seinän takana ja jatkuvat 3-10 m.

## 2.4. Lounaisseinä

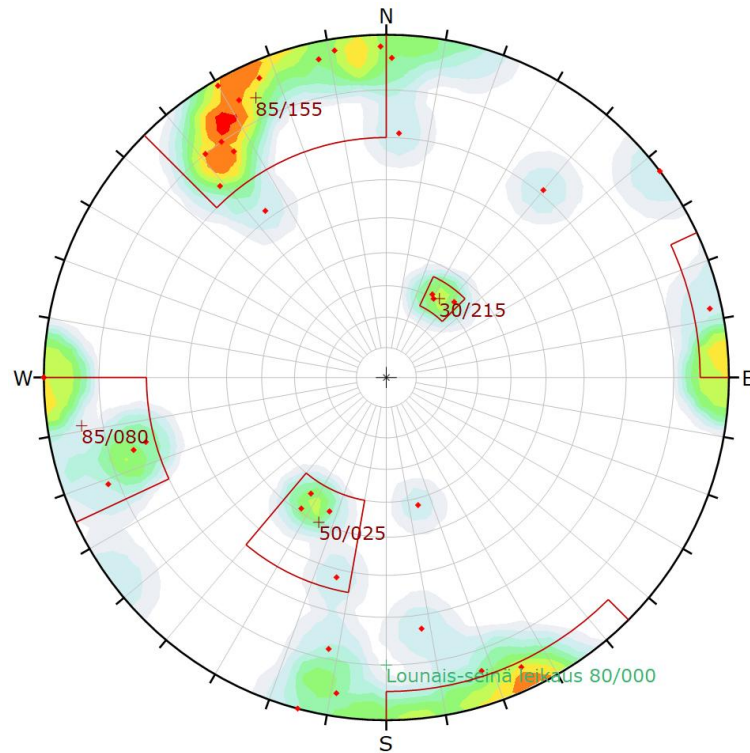
Lounaisseinän kaade ja kaateen suunta ovat noin 82/000 ja seinämä on noin 4 m korkea. Tässä havaittiin taas kolme päärakosuuntaa (ja yksi löytyy paikoin). Kaksi ovat kohtisuoria ja jyrkästi kaatuvia, joista toinen on suunnilleen yhdensuuntainen seinän pinnan kanssa. Kolmas rakosuunta on vaakatasossa ja kaatuu seinään päin. Kalliorakojen järjestys ja niiden välinen etäisyys ovat johtaneet pienten lohkojen (yleensä alle 1 m<sup>3</sup>) muodostumiseen. Räjäytys on johtanut siihen, että rakoavaumat ovat suurempia kuin luonnollisesti ja lohkot irtonaisia. Päärakosuuntien Q-luokituksen arviot on esitetty Taulukossa 2.4.2 ja rakojen kaateet ja kaateen suunnat Kuvissa 2.4.1 ja 2.4.2. Liitteet 2.4.a-b. sisältävät drooni-mallien tulokset ja pääominaisuuksien huomautukset.

Noin 15 metriä kaakkoismallin itäosasta ei voitu käsitellä teknisten vaikeuksien vuoksi. Se on kuitenkin hyvin esillä koko louhoksen käsittävässä mallissa.

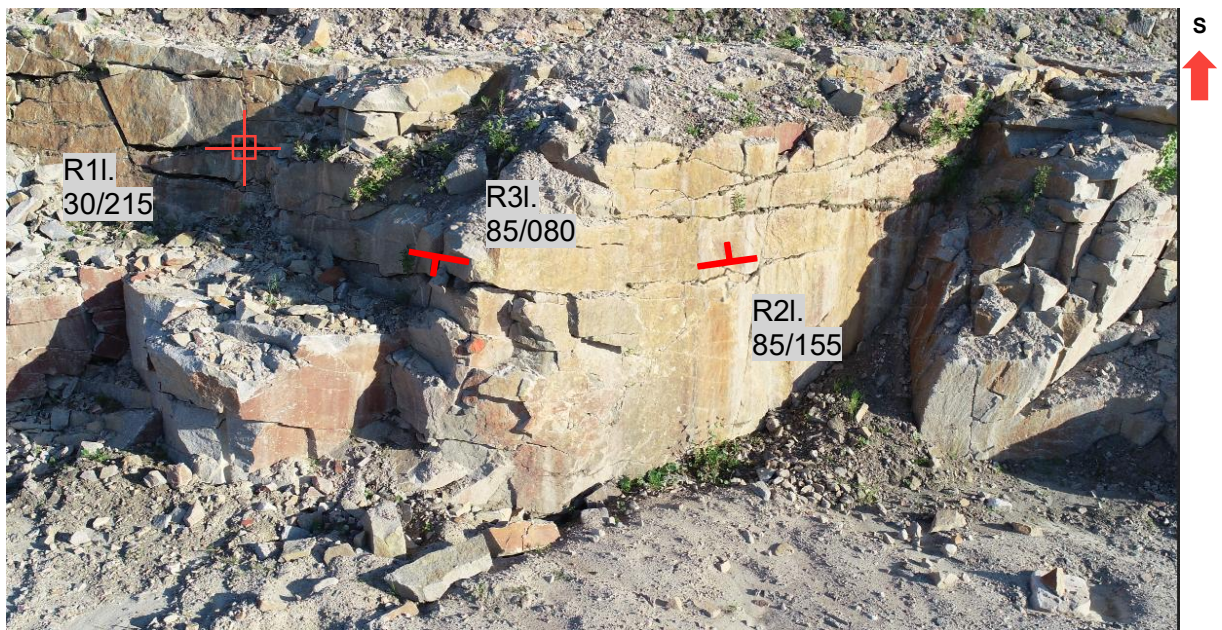
Rako-suunta	Rakoväli (m)	Pituus (m)	Jr	Rakopinta	Ja	Rakotäyte	Kaade	Kaateen suunta	Muut
R1I	0,5-2	jatkuvaa	3	Tosi aaltoileva ja karkea	8	Kovettunutta savea ja orgaanista ainetta	30	215	*reiät auki paikoin räjäytyksessä
R2I	0,8-1,2	jatkuvaa	1,5	Tasainen/ aaltoileva ja karkea	1/4*	Hiekkaa pinnoilla räjäytyksen vuoksi	85	155	*reiät auki paikoin räjäytyksessä
R3I	0,2-1,5	jatkuvaa	1,5	Tasainen/ aaltoileva ja karkea	2/4*	Hiekkaa pinnoilla räjäytyksen vuoksi	85	080	*reiät auki paikoin räjäytyksessä
Ral	0,5-2	jatkuvaa	3	Tosi aaltoileva ja karkea	2/4*	Hiekkaa pinnoilla räjäytyksen vuoksi	50	025	*reiät auki paikoin räjäytyksessä

Taulukko 2.4.1: Kolme pääarakosuuntaa (ja sub-setti, Ral) ja niiden laatuja Q -luokituksen perusteella.





**Kuva 2.4.1:** Stereografinen alapalloprojektio lounaisseinän leikkauksesta. Seinän kaade ja kaateen suunta ovat noin 82/000. Neljä rakosuuntaa. 36 mitattua pistettä.



**Kuva 2.4.2:** Lounaisseinän malli, joka näyttää kolme päärakosuuntaa.

---

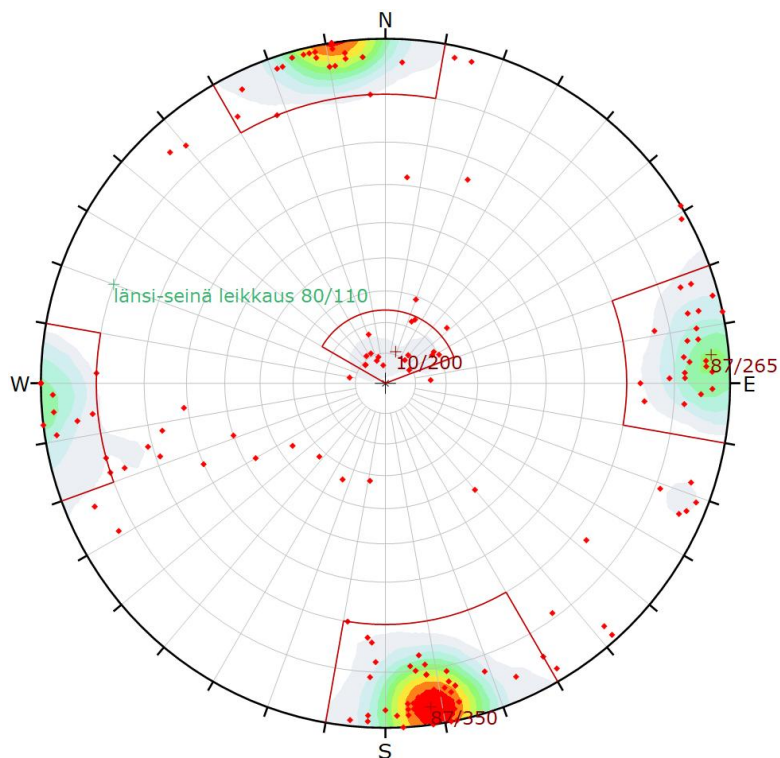
## 2.5. Länsiseinä

Länsiseinän kaade ja kaateen suunta ovat noin 80/110 ja seinämä on noin 5 m korkea. Täällä havaittiin kolme erillistä päärakosuuntaa. Jälleen kaksi niistä on jyrkkiä ja toisiaan vastaan kohtisuorassa, näistä toinen oli suunnilleen yhdensuuntainen kallioleikkauksen kanssa. Kolmas rakosuunta on vaakatasossa ja kaatuu kallioleikkauksen kulun suunnassa.

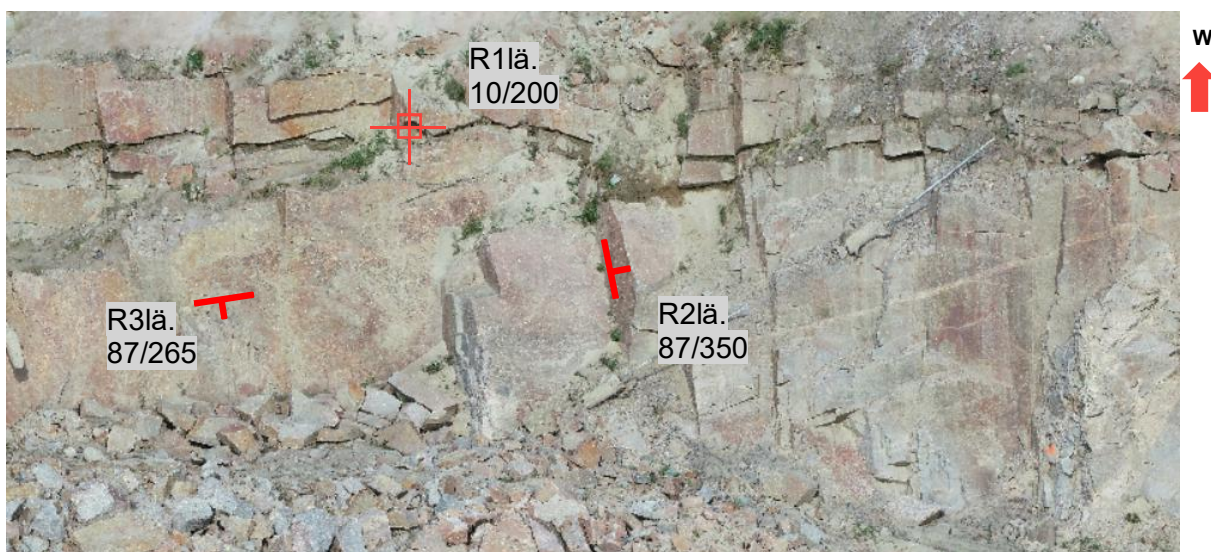
Räjäytys on johtanut siihen, että rakoavaumat ovat suurempia kuin luonnollisesti ja lohkot irtonaisempia. Päärakosuuntien Q-luokituksen arviot on esitetty Taulukossa 2.5.2 ja rakojen kaateet ja kaadesuunnat Kuvissa 2.5.1 ja 2.5.2. Liitteet 2.5.a-d. sisältävät drooni-mallien tulokset ja pääominaisuuksien huomautukset.

Rako- suunta	Rakoväli (m)	Pituus (m)	Jr	Rakopinta	Ja	Rakotäyte	Kaa- de	Kaateen- suunta	Muut
R1lä	0,5-2	jatkuvaa	3	Tosi aaltoileva ja karkea	2/4 *	Kovettunutta a savea ja orgaanista ainetta	10	200	*reiät auki paikoin räjäytykseen tä
R2lä	0,8-1,2	jatkuvaa	1,5	Tasainen/ aaltoileva ja karkea	1/4 *	Hiekkaa pinnoilla räjäytyksen vuoksi	87	350	*reiät auki paikoin räjäytykseen tä
R3lä	0,2-1,5	jatkuvaa	3	Aaltoileva ja karkea	2/4 *	Hiekkaa pinnoilla räjäytyksen vuoksi	87	265	*reiät auki paikoin räjäytykseen tä

**Taulukko 2.5.1:** Kolme päärakosuuntaa ja niiden laatuja Q -luokituksen perusteella.



**Kuva 2.5.1:** Stereografinen alapalloprojektio länsiseinän leikkauksesta. Seinän kaade ja kaateen suunta ovat noin 80/110. Kolme päärakosuuntaa. 166 mitattua pistettä.



**Kuva 2.5.2:** Länsiseinän malli, joka näyttää kolme päärakosuuntaa.



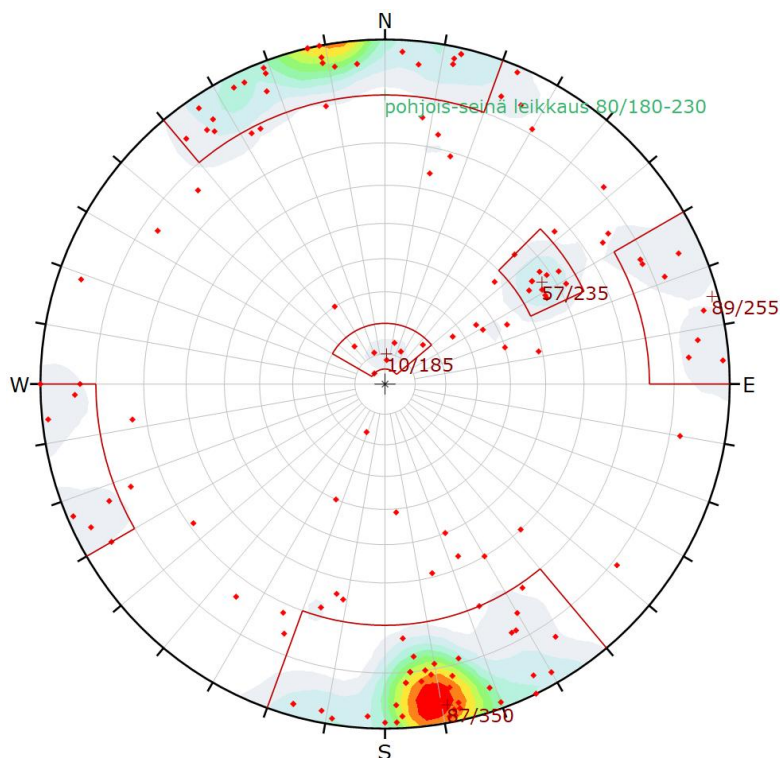
## 2.6. Pohjoisseinä

Pohjoisseinän kaade ja kaateen suunta ovat noin 80/180-230° ja sen korkeus on keskimäärin 7 m. Tässä kallioseinämässä havaittiin taas kolme päärakosuuntaa (ja yksi löytyy paikoin). Kaksi rakosuuntaa ovat kohtisuorat ja jyrkästi kaatuvat, joista toinen on suunnilleen yhdensuuntainen seinän pinnan kanssa. Kolmas rako on vaakatasossa ja kaatuu seinään. Kalliorakojen järjestys ja niiden välinen etäisyys ovat johtaneet pienten lohkojen (yleensä alle 1 m<sup>3</sup>) muodostumiseen.

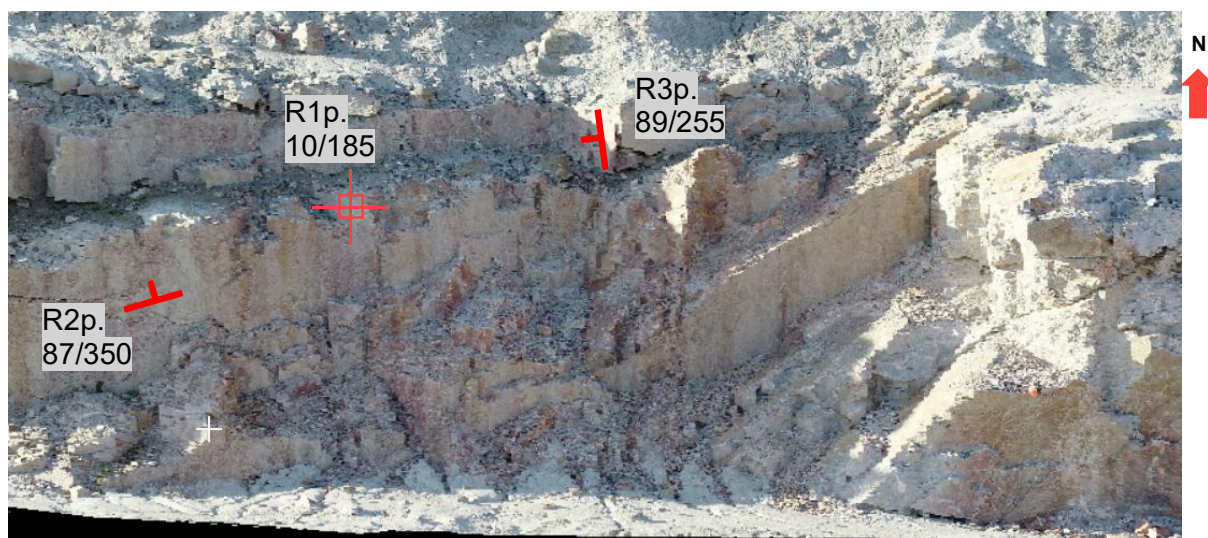
Räjäytys on johtanut siihen, että rakovälit ovat suurempia kuin luonnollisesti ja lohkot irtonaisempia. Päärakosuuntien Q-luokituksen arviot on esitetty Taulukossa 2.6.2 ja rakojen kaateet ja kaadesuunnat Kuvissa 2.6.1 ja 2.6.2. Liitteet 2.6.a-e. sisältävät droonimallien tulokset ja pääominaisuuksien huomautukset.

Rako-suunta	Rakoväli (m)	Pituus (m)	Jr	Rakopinta	Ja	Rakotäyte	Kaade	Kaateen suunta	Muut
R1p	0,2-1	jatkuvaa	3	Tosi aaltoileva ja karkea	4*	Paikoin kovettunutta savea, muuten hiekkaa	10	185	*reiät auki paikoin räjäytykseen
R2p	0,8-1,2	jatkuvaa	1,5	Tasainen/ aaltoileva ja karkea	1/4*	Hiekkaa pinnoilla räjäytyksen vuoksi	87	350	*reiät auki paikoin räjäytykseen
R3p	0,2-1,5	jatkuvaa	1,5	Tasainen/ aaltoileva ja karkea	2/4*	Hiekkaa pinnoilla räjäytyksen vuoksi	89	255	*reiät auki paikoin räjäytykseen
Rap	~2	jatkuvaa	1,5	Tasainen/ aaltoileva ja karkea	2/4*	Hiekkaa pinnoilla räjäytyksen vuoksi	57	235	*reiät auki paikoin räjäytykseen

**Taulukko 2.6.1:** Kolme pääarakosuuntaa (ja sub-setti, Rap) ja niiden laatuja Q -luokituksen perusteella.



**Kuva 2.6.1:** Stereografinen alapalloprojektio pohjoisseinän leikkauksesta. Seinän kaade ja kaateen suunta ovat noin 80/180. Neljä rakosuuntaa. 152 mitattua pistettä.



**Kuva 2.6.2:** Pohjoisseinän malli, joka näyttää kolme päärakosuuntaa.

### 3. Johtopäätökset ja suositellut toimenpiteet

Alueen kalliolaatu on Q-slope luokituksen mukaan parhaimmillaan kohtalaista. Paikoitellen kalliolaatu on varsin heikkoa. Kalliolaatuun vaikuttaa oleellisesti louhintaräjähdyksissä avautuneet raot. Ilman räjäytysten vaikutusta kalliolaatu olisi pääosin hyvää ja kohtalaista. Tällä hetkellä on suuri riski pienempien kivien putoamiselle, mutta myös suuremmat sortumat ovat mahdollisia.

Seinämien stabiliteettia voidaan parantaa irrottamalla ja pudottamalla pienempi irtonainen kiviaines rusnaamalla sekä joko kiinnittää tai pudottaa suuremmat epästabiilit kalliolohkot. Kalliolohkot voidaan kiinnittää kalliopultein, mutta paikoin kalliolohkot ovat sen verran suuria ja irtonaisia, että parempaan lopputulokseen päästään pudottamalla ne alas louhimalla. Erityisesti kaakkoisseinällä esiintyy suuria irtonaisia kalliolohkoja, joiden kiinnittäminen kalliopulteilla voi olla käytännössä mahdotonta. Lisälouhinta tarkoittaisi, että louhoksen seinämä siirtyisi paikoin muutamalla metrillä. Paikoin tulee myös harkita kallioverkon asentamista tai ruiskubetonointia, millä estetään pienempien kivien hallitsematon putoaminen. Ruiskubetonoinnin ongelmana on sen huono kestävyys kallioseinämällä, joihin kerääntyy paannejäätä, eikä sitä siksi suositella lujitukseksi ulkoilmassa oleville seinämille, joissa on vesivuotoja.

Ruiskubetonointi ja kallioverkotus vaikuttavat myös merkittävästi seinämien estetiikkaan ja siksi näitä tulisi käyttää harkiten. Huolellisesti tehty kalliopultitus on melko huomaamaton.

Kallion injektoinnilla voidaan periaatteessa tiivistää kalliota ja vähentää vesivuotoja, mutta kallion tiivistäminen louhinnan jälkeen on erittäin haastavaa eikä suuresta injektointimäärästä huolimattakaan seinämää välttämättä saada tiiviiksi. Sementtilaastilla injektointaessa laasti purkaantuu herkästi louhitusta seinämästä ja tämä korostuu tässä tapauksessa, kun louhintaräjähdykset ovat avanneet kalliorakoja. Kemiallisilla injektointiaineilla voidaan saavuttaa nopeampi kovettuminen ja vähentää injektointiaineen karkaamista, mutta nämä aineet ovat huomattavasti kalliimpia.

Lujitustoimenpiteiden lopullinen tarve tulee määrittää rusnaustulosten sekä laatuvaatimusten perusteella. Laatuvaatimuksilla tarkoitetaan esimerkiksi seinämien estetiikkaa sekä sitä, että rajataanko seinämien alaosa siten, että seinämien juuressa ei liikuta, jolloin pienempien kivien putoaminen ei aiheuta vaaratilanteita vai tavoitellaanko lopputulosta, missä myös seinämän välittömässä läheisyydessä voi turvallisesti liikkua.

Olemassa olevan alustavan lujitussuunnitelman<sup>1</sup> mukaan lähes kaikkien seinien alle rakennetaan vähintään 3 m leveä ja 1,2 m syvä suoja-aidat. Tällöin verkko tai ruiskubetonointi ei ole tarpeen.

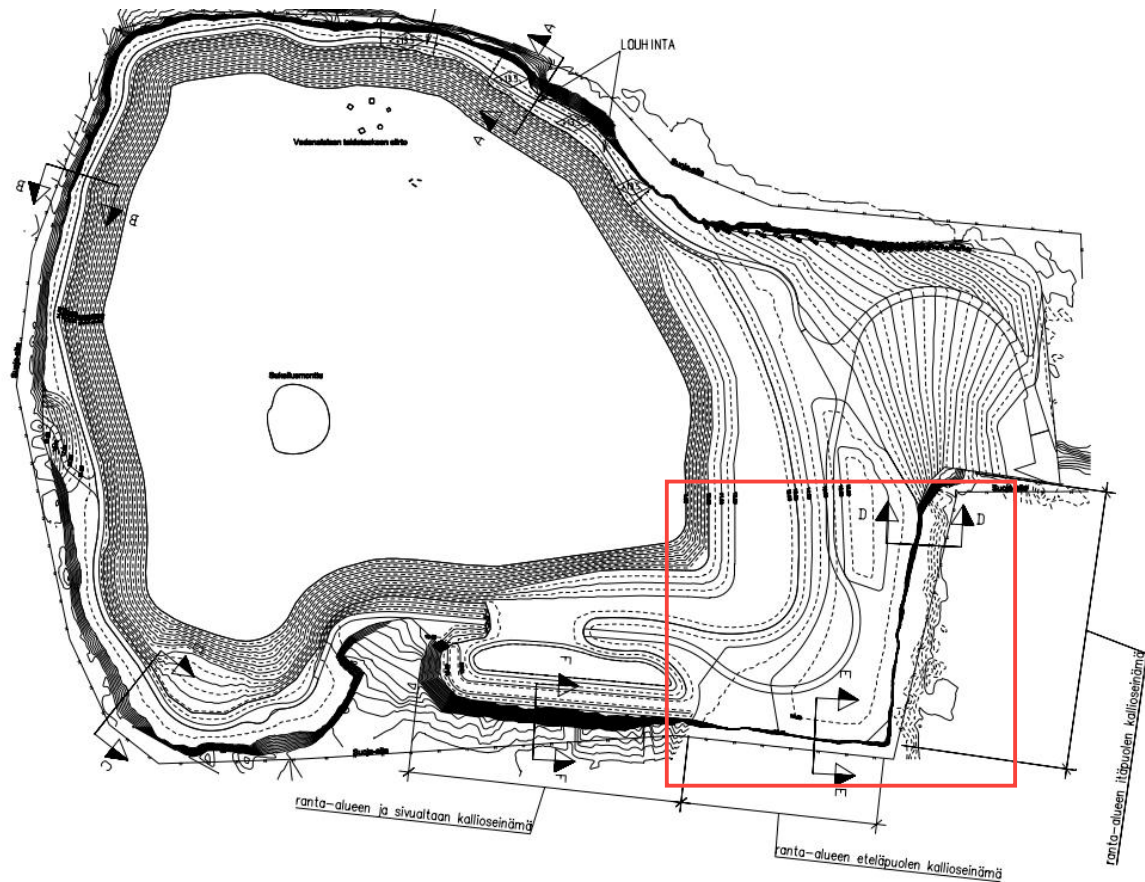
Alustavan suunnitelman mukaisesti kaikki kallioseinämät on rusnattava huolellisesti ennen pultitusta, mikä ei lopulliseen lujitussuunnitelmaan muutu. Sen sijaan E- ja D-leikkauksissa käytettävät pultit voidaan muuttaa harjateräspulteiksi ja D-leikkauksen verhoinjektointia ei katsota lujitusta parantavaksi toimenpiteeksi. Leikkausten D ja E kohdalla kallioseinämän korkeus on noin 10 metriä.

Lisälouhintojen tarvetta ei voida sulkea pois.

---

<sup>1</sup> Ramboll, 2018





Kuva 3.1 Alustavan lujitussuunnitelman täsmentyvät leikkaukset.

## 4. Referenssit

Bar, N. ja Barton, N. 1997. The Q-slope method for rock slope engineering. Rock Mechanics and Rock Engineering. 50, sivut 3307-3322. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00603-017-1305-0>

WSP Finland Oy

Peter Howett, MSc