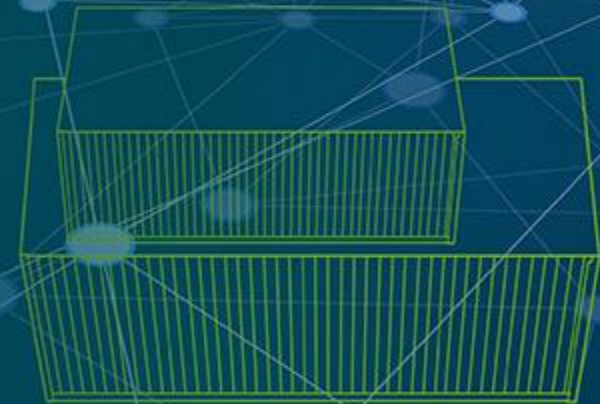


**SITOWISE**

# Kalliorakenteiden saneeraustarve kasvussa

Suunnittelijan näkökulma



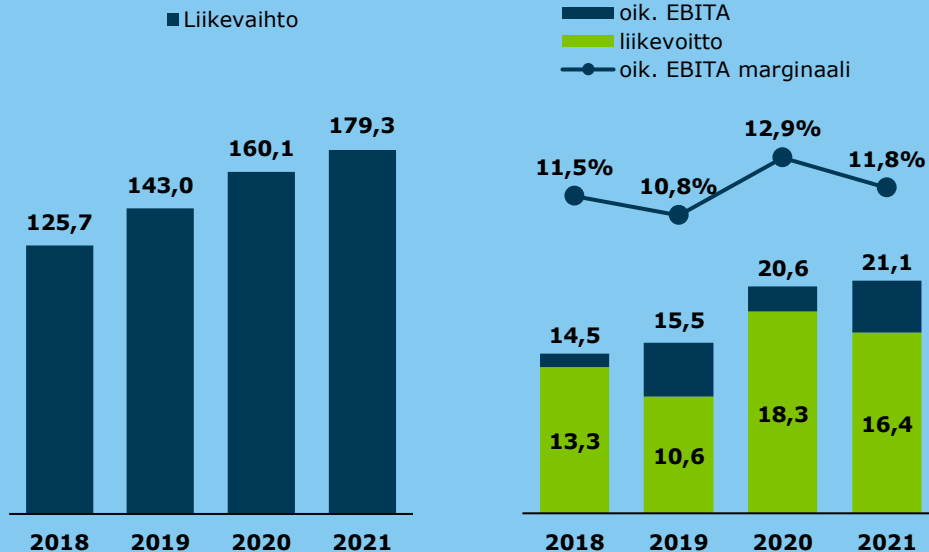
LOUHINTA- JA KALLIOTEKNIIKAN PÄIVÄT 13.-14.10.2022

KALLE HOLLMÉN

13.10.2022

# Sitowise on pohjoismainen rakennetun ympäristön asiantuntija- ja digitalo

## Vahva liikevaihdon kasvu yhdistettynä korkeaan kannattavuuteen



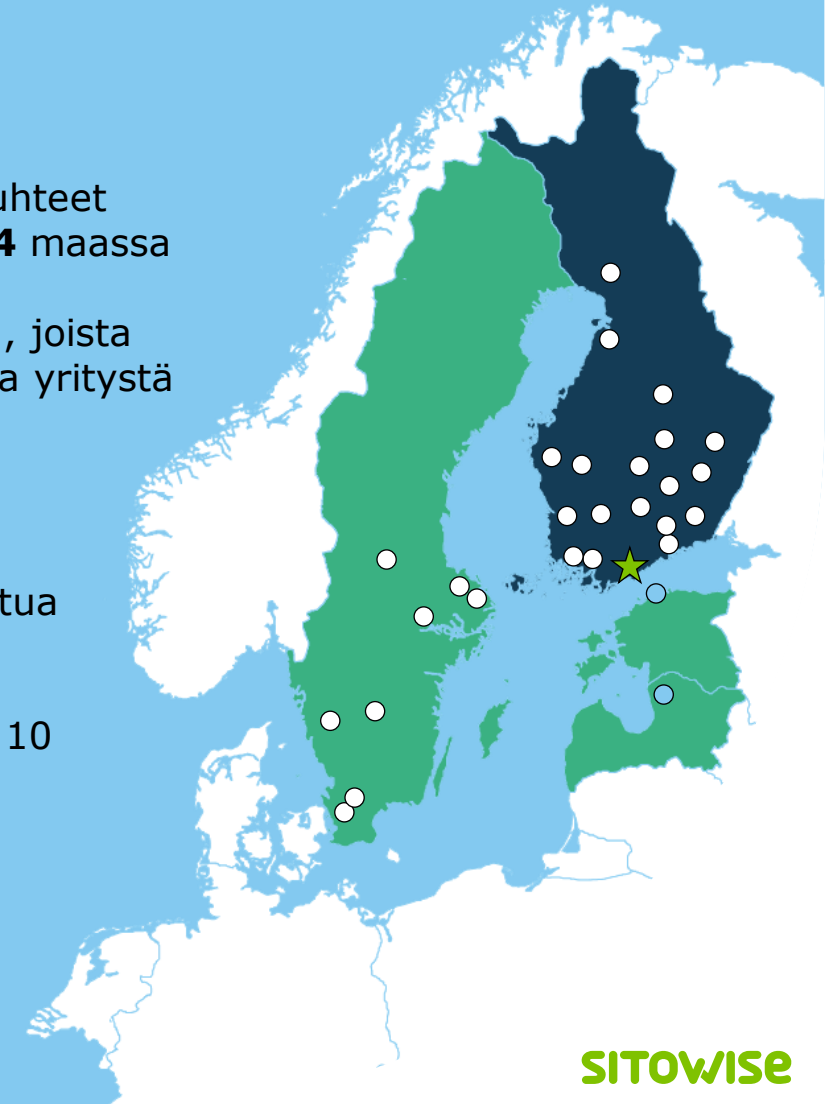
Paikalliset asiakassuhteet  
**29** paikkakunnalla **4** maassa

**+2 000** työntekijää, joista puolet myös omistaa yritystä

**NPS 32** - Korkea asiakastyytyväisyys

**+100 000** toteutettua projektia

**+50** yrityskauppaa 10 vuodessa



# Saneeraussuunnittelun lähtökohdat vaihtelee...



# ...myös suunnittelijan työskentelyolosuhteet vaihtelee



# Käsitteitä

**Kalliotila** on maanalainen tila, jossa kallio muodostaa pääosan kantavasta rakenteesta

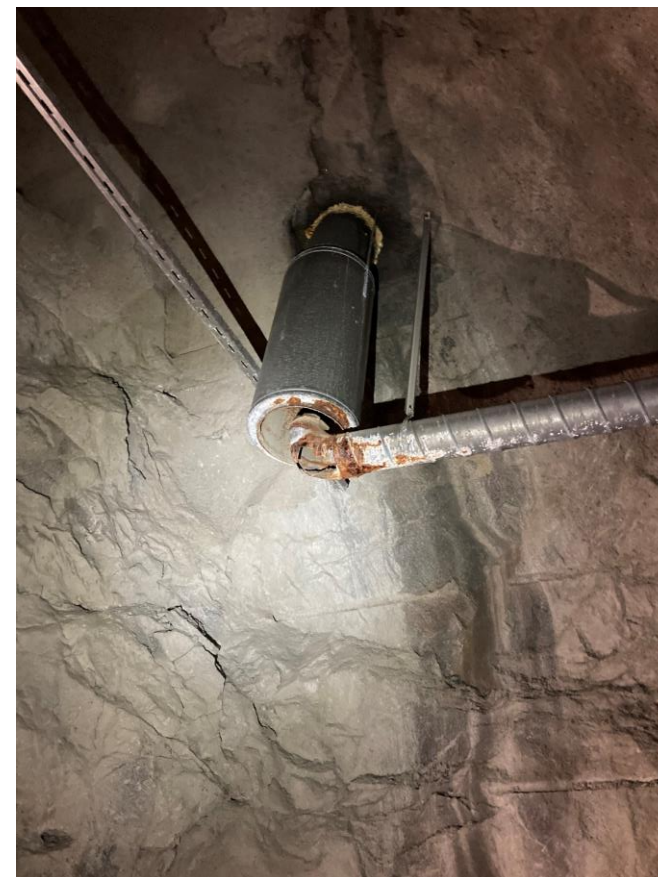
**Kalliorakenne** on kalliotilan kantavana rakenteena toimiva kallioseinä, -katto/-holvi tai -pilari

**Lujitusrakenne** on sellainen kantaviin rakenteisiin välittömästi liittyvä rakenneosaa, joka toimii osana kantavaa rakennetta sitä vahvistaen

Lujitettu kalliorakenne on lujitusrakenteella vahvistettu kalliorakenne



# Kalliotilat eivät ole ikuisia

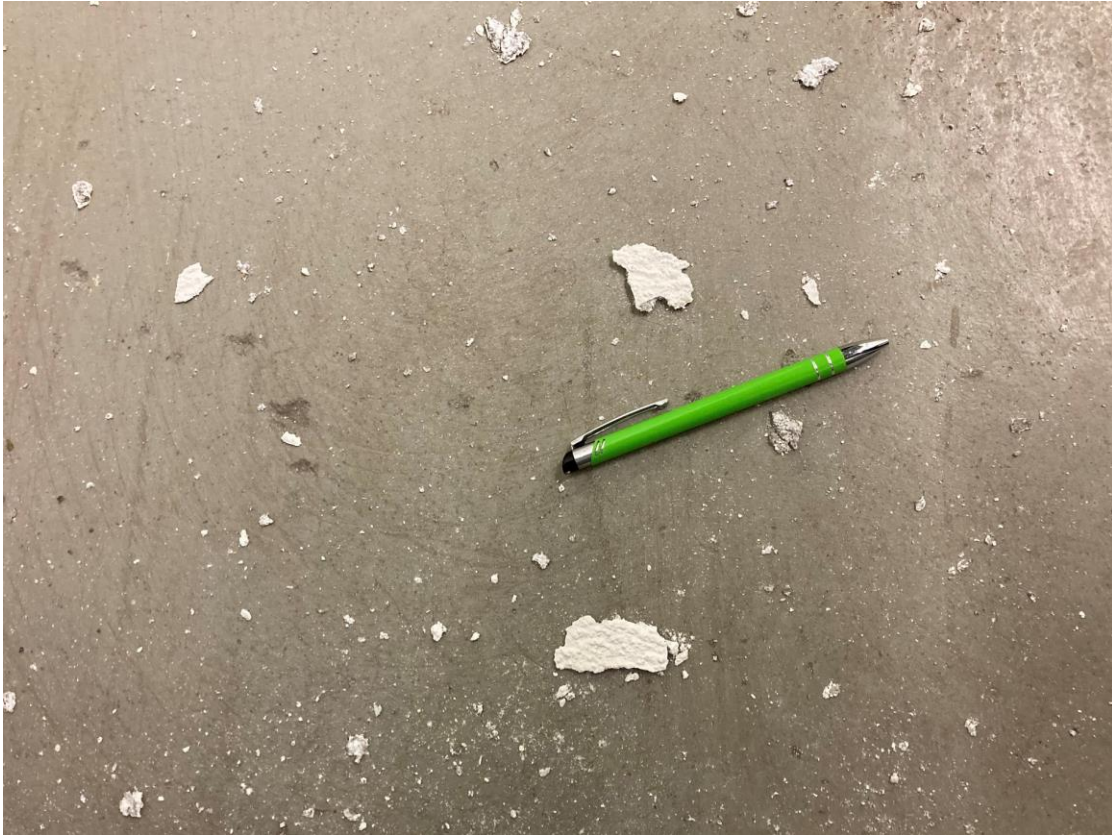


*"Kalliotilojen hallinnasta 80 % on vesivuotojen hallintaa" – Jouni Maidell*

13.10.2022

**SITOWISE**

# Kalliorakenteet eivät ole ikuisia



# Lujitusrakenteet eivät ole ikuisia



13.10.2022

SITOWISE



# Vaatimukset eivät ole ikuisia



13.10.2022

A photograph of a large, grey rock formation covered in green moss, situated in a forest. The rock face is textured and shows signs of weathering. In the foreground, a metal fence with a grid pattern runs across the scene. The background is filled with tall, thin trees, likely pines or spruces, under a bright sky.

**Parhaatkaan kalliotilat tai -rakenteet eivät ole ikuisia**

13.10.2022

Lähde: [https://fi.wikipedia.org/wiki/Susiluola#/media/Tiedosto:Susiluola\\_2.jpg](https://fi.wikipedia.org/wiki/Susiluola#/media/Tiedosto:Susiluola_2.jpg)

# Kalliorakenteiden saneeraus

## Vesivuodot (tyypillisin vaurio!)

- kuivatus vedenohjausrakenteilla
  - tiivistys injektoimalla
  - suojausrakenteet
  - tuuletuksen parantaminen, lämmitys
- ovat yksittäisinä korjauksina harvoin kalliorakennesuunnittelijan suunnittelemaa saneeraustoimenpiteitä
- Saneeraustarve tyypillisesti kaikenikäisillä kalliorakenteilla

13.10.2022



SITOWISE

# Kalliorakenteiden saneeraus

## Lujitusrakenteiden vauriot

- mekaanisissa lujitusrakenteissa harvoin vaurioita
- ruiskubetonivauriot yleensä laajalla alueella
  - usein kyse huonosta laadusta työssä, virheestä suunnittelussa ja/tai materiaalivalinnassa
  - 1980-luvun märkäseoskohteissa haasteita
  - Jännityskentän muutokset

→ suunnittelu aina tapauskohtaisesti

- saneeraustarve tyypillisesti +25 v →



# Kalliorakenteiden saneeraus

## Vauriot lujittamattomissa rakenteissa

- löyhtyminen vuosien saatossa
- yksittäisten lohkojen putoamiset
- jännityskentän muutosten aiheuttamat, hilseilystä lohkosortumiin
  
- Saneeraustarve vaihtelee



# Kalliorakenteiden peruskorjaus

- Lujittamattomat pientunnelit 50 - 70 vuotta
- Lujitetut kalliotilat ja -tunnelit 30 - ? vuotta

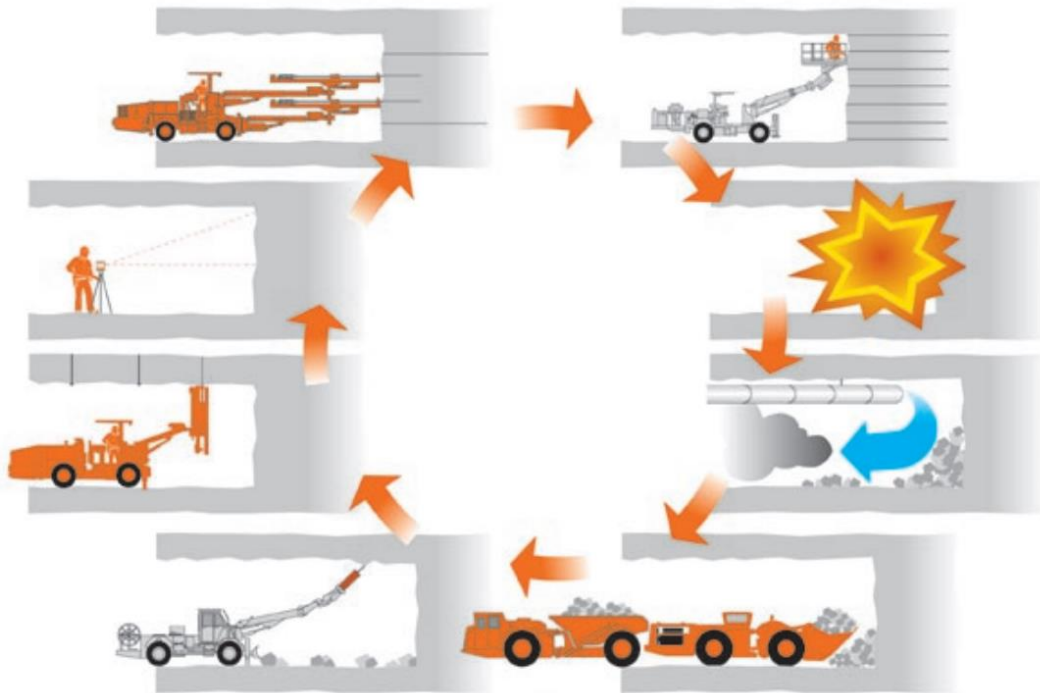
Yleisimmin vaikuttavat asiat:

- vaatimukset käyttöturvallisuudelle (tilan käyttötarkoitus)
- mahdollisten seuraamusten vakavuus
- muutokset kallio-olosuhteissa
  - sivulle ja päälle rakentaminen
  - louhinnat
  - muutokset pohjavedessä



# Uuden rakentaminen vs. vanhan saneeraus

## Uuden kalliorakenteen rakentaminen



Lähde: <https://miningandblasting.files.wordpress.com/2009/09/rock-excavation-handbook-tunneling.pdf>

## Vanhan kalliorakenteen saneeraus

Tyypillisiä toimenpiteitä:

- rusnaus
- tiivistys
- vesien ohjaus
- ruiskubetonointi
- pultitus
- Verkotus.

Louhinta pääsääntöisesti käyttötarkoituksen tai vaatimusten muutosten seurauksena

# Saneeraustoimenpiteissä usein dimensiot haasteena



13.10.2022

SITOWISE



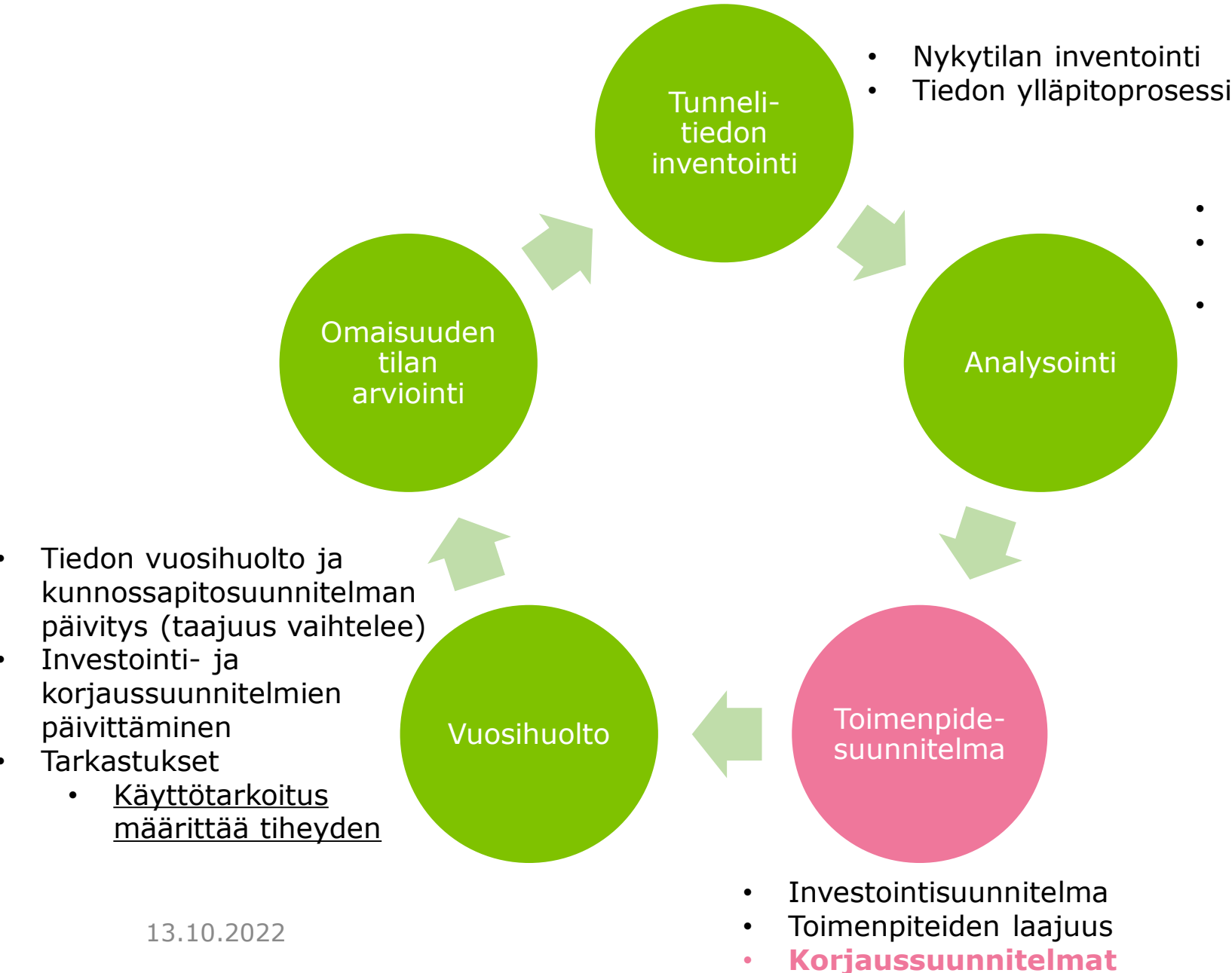
# Ei onneksi aina



13.10.2022

**SITOWISE**

# Kalliorakennuksen omaisuuden hallinta



## Esimerkinomainen kalliorakenteiden kuntoluokittelu

I-luokka, tunneliosuuden tai rakenteen kunto hyvä

- kalliorakenteiden kunto hyvä suhteessa vallitseviin kallio-olosuhteisiin, ei haitallisia vesivuotoja
- Toimenpiteet: tunnelin kunnan tarkkailu normaalin seurantaohjelman puitteissa

II-luokka, tunneliosuuden tai rakenteen kunto kohtalainen

- kalliorakenteiden kunto kohtalainen suhteessa vallitseviin kallio-olosuhteisiin, ei haitallisia vesivuotoja
- Ei akuutteja toimenpiteitä, mutta kiinnitettävä erityistä huomiota tulevaisuuden kuntoseurannoissa ja tarvittaessa tiennettävä seurantaohjelmaa

III-luokka, tunneliosuuden tai rakenteen kunto heikko

- kalliorakenteiden kunto on huono tai tunnelin lujitus on riittämätön vallitseviin kallio-olosuhteisiin nähden
- Haitallisia vesivuotoja
- Edellyttää korjaus- tai uusintatoimenpiteitä

IV-luokka, tunneliosuuden tai rakenteen kunto heikko

- Kalliorakenne edellyttää välittömän korjaus- tai uusintatoimenpiteen, jota ennen "käyttökielto"

# Kalliorakennussuunnittelun tehtäväluettelo KAT18

Suunnitteluvaihe	Erityisesti korjaussuunnittelun tehtävä (K)
A Tarveselvitys	Määritellään korjaustavoitteet
A Tarveselvitys	Selvitetään käyttötilanteen muutoksen korjaustavoitteet
B Hankesuunnittelu	Selvitetään tilojen käyttö- ja korjausmahdollisuudet
B Hankesuunnittelu	Selvitetään kalliotilan vaihtoehtoiset korjaus- ja muutosmenetelmät
D Ehdotussuunnittelu	Laaditaan ehdotukset eri korjaustavoista
E Yleissuunnittelu	Olemassa olevien tilojen ja rakenteiden mittaukset (Tilaajan tehtävä)
E Yleissuunnittelu	Suoritetaan kalliorakenteiden kuntokartoitus ja arvioidaan korjausten laajuus
E Yleissuunnittelu	Selvitetään olemassa olevien rakenteiden kapasiteetit

RT 10-11296 LVI 03-10626 KH X4-00660 Infra 053-710192 ohjeet - 4

**A TARVESELVITYS**

Tarveselvitysvaiheessa tehdään hankepäätöksen pohjaksi selvitykset, joissa perustellaan tilahankinnan tarpeellisuus, edellytyksiä ja mahdollisuuksia sekä arvioidaan eri ratkaisujen edullisuus.

Kalliorakennussuunnittelijan työ on luonteeltaan avustavaa asiantuntijatyötä.

Vaiheen tuloksena syntyy hyväksytty tarveselvitys sekä mahdollinen hankepäätös.

Tunnus	Valinta	Tehtävät	Tulos
A 1		Edeilytysten toteaminen	
A 2		Valmistelu	
A 3		Käynnistäminen	
A 4		Suoritus	
A 4.1		Käyttäjän tilantarve	
	KAT/RS	Määritellään toiminnalliset tavoitteet suhteessa käyttäjän tavoitteisiin	Muistio
A 4.2		Omistajan liiketoiminnan tarve	
	KAT/RS	Määritellään toiminnalliset tavoitteet suhteessa omistajan tavoitteisiin	Muistio
A 4.3		Tilahankinnan (ympäristön) tavoitteet ja vaihtoehdot	
		Määritellään tarpeeseen parhaiten sopivat kallioresurssit kartta- ja maastotarkasteluun	Muistio ja karttalitteille rajatut alueet
	K	Määritellään korjaustavoitteet	Muistio
	K	Selvitetään käyttötilanteen muutoksen korjaustavoitteet	Muistio

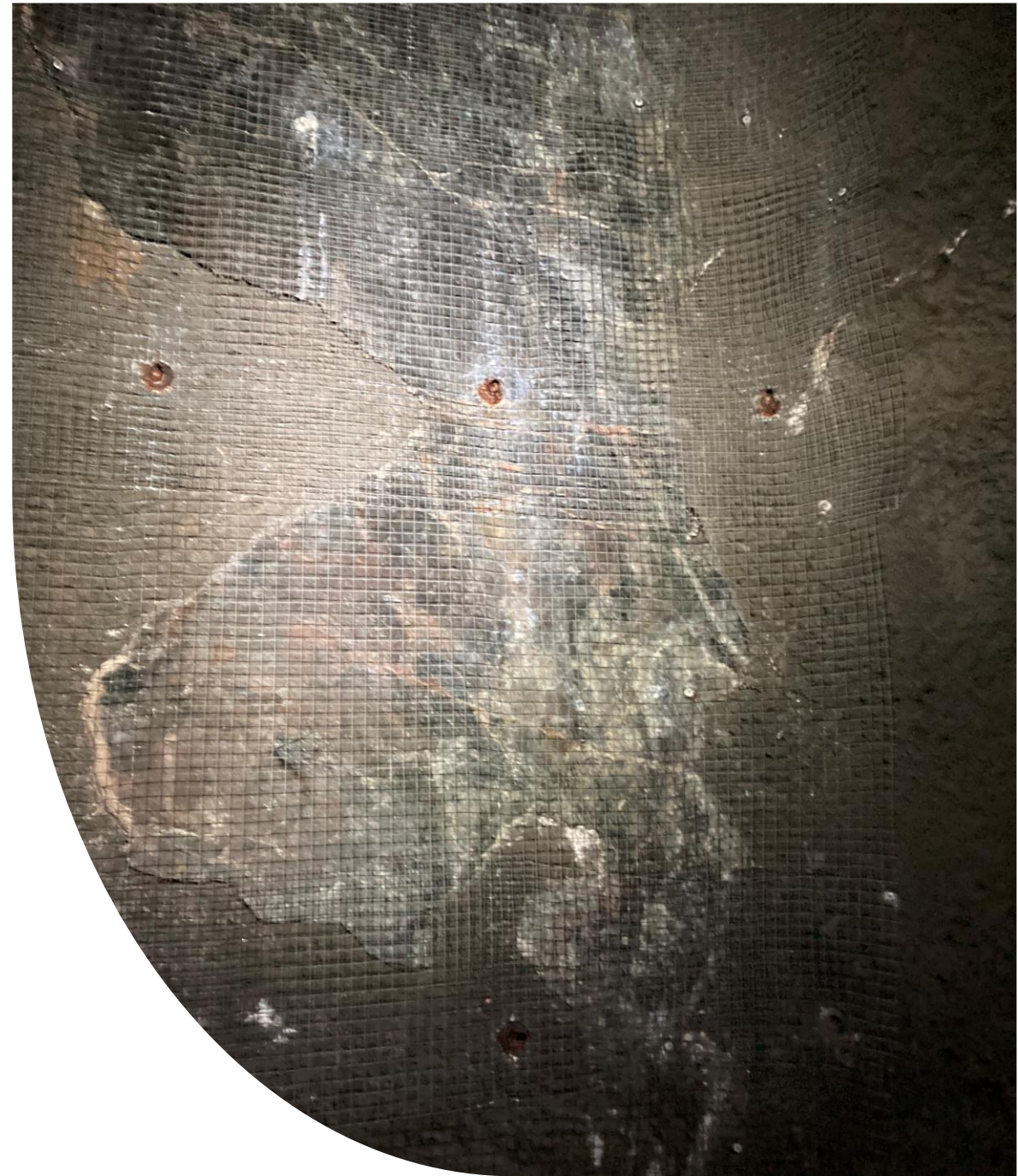
Kalliorakennussuunnittelun tehtäväluettelo KAT18 (RT 10-11296) suunnittelupalvelun tilaamisen tukena

13.10.2022

# Saneeraussuunnittelu

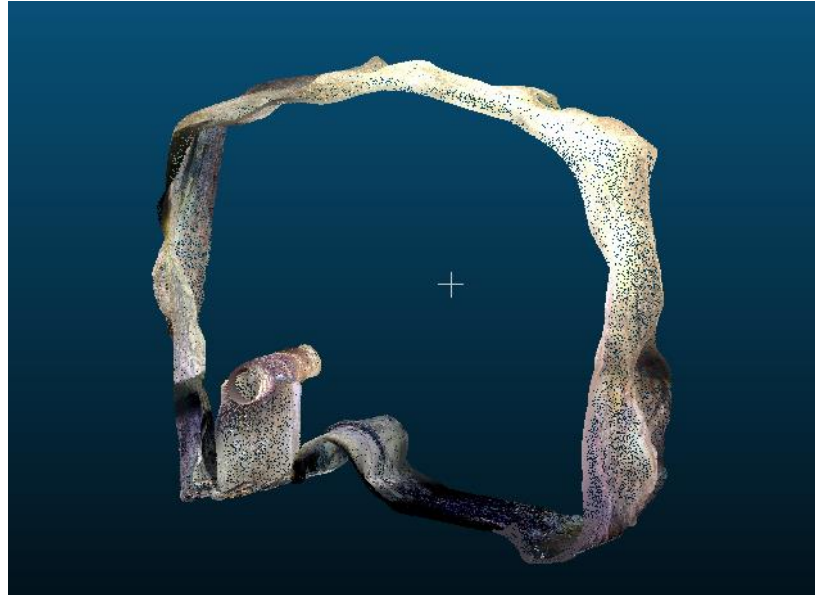
Suunnittelijan selvittäviä asioita:

- saneeraustarve – miksi saneerataan
- rakenteiden kunto
- vauriomekanismit ja vaurion juurisyyt
- kohteen toteutustapa ja suunnitteluratkaisut
- mahdolliset tehdyt korjaustoimenpiteet
- tapahtuneet tai tulevat muutokset ympäristössä
- kohteen dimensioiden rajoitteet
- kohteen käytön rajoitteet (esim. oltava käytössä myös saneeraushetkellä)



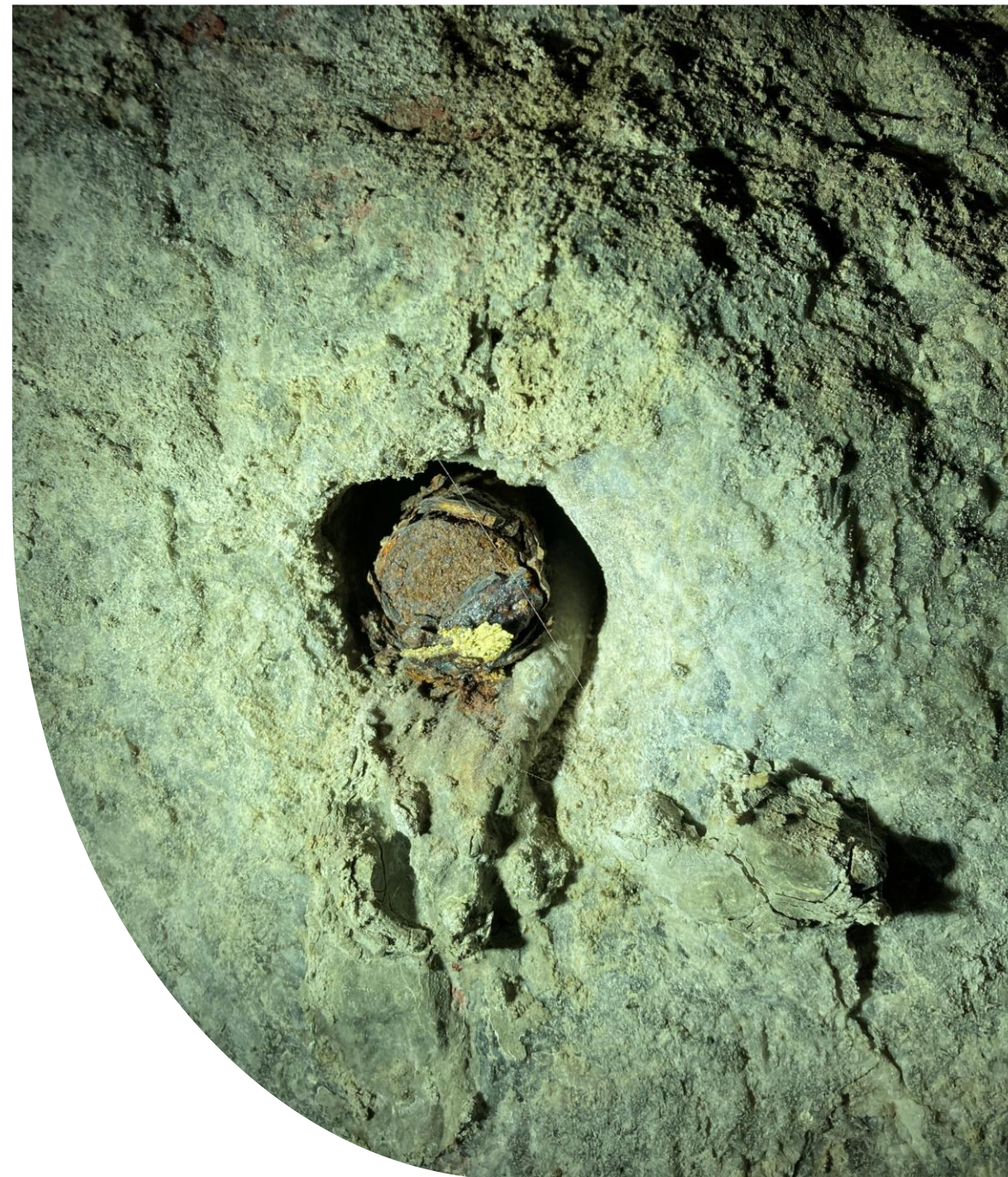
# Suunnittelun havainnointimenetelmiä

- katselmoinnit
- koputtelukokeet
- rakennekoekappaleet
- irtikairaukset
- laser- ja lidar-skannaukset
- fotogrametria



# Lujitusrakenteiden mitoitus

- haastavinta lähtöoletukset
- geologiset lähtötiedot joko nähtävissä tilasta tai ruiskubetonoiduista tiloista usein dokumentoituina
- olemassa olevan pultituksen kunto
  - irtikairauksia harvoin tehdään – tulos lopulta kuitenkin pistekohtainen!
  - pulttien näkyvät päät eri asia kuin kalliossa oleva osuus
  - **yleensä haastavinta selvittää onko pulttusta todellisuudessa ollenkaan**
- ruiskubetonin osalta olennaista selvittää onko ruiskubetonista haittaa vai hyötyä jatkossa



# Suunnittelijan vaikea valinta

Kuinka suhtautua olemassa olevan tilan lujitukseen tai stabiliteetin varmuuteen?

Ns. worst case -skenaario:

- Määritetään laskentamalliin lähtötilanteen kokonaisvarmuudeksi 1
  - Jos lujittamaton rakenne, heikennetään kallioparametrejä
  - Jos lujitettu, voidaan arvioida teräksen korroosiota taulukoilla ja pienentää pultin dimensiota vastaavasti sekä heikentää kallioparametreja
- Lisätään lujituksia, kunnes kokonaisvarmuus riittävä
- Hajapultit haastavaa, jopa mahdotonta huomioida

On käynyt niinkin, että mallin ensimmäisen laskennan mukaan tilan olisi pitänyt olla jo sortunut 😊

Taulukko 7. Väyläviraston kalliotunnelin suunnittelussa koko kalliorakenteen epävarmuutta kuvaava kokonaisvarmuuskertoimen ( $F_{kok}$ ) minimiarvo.

Kalliorakenne	Kalliotunnelirakenteen seuraamusluokka (SFS-EN 1990-1)		
	CC1	CC2	CC3
Väliaikaiset tunnelit <sup>c</sup>	1,3	1,3	1,7
Kuilut ja tunnelit, tunnelin jänneväli B < 20 m	1,7	1,7	2,0
Hallimaiset tilat, jänneväli B > 20m	1,7	2,0	2,0

<sup>c</sup> voidaan soveltaa myös työnaikaisiin lujitusrakenteisiin muissa kuin väliaikaisissa tunneleissa  
 $F_{kok}$  = rakenteen lujuus/kuormista aiheutuva jännitys

Lähde: Kalliotunnelin kalliotekninen suunnitteluohje, Väyläviraston ohje 28/2019

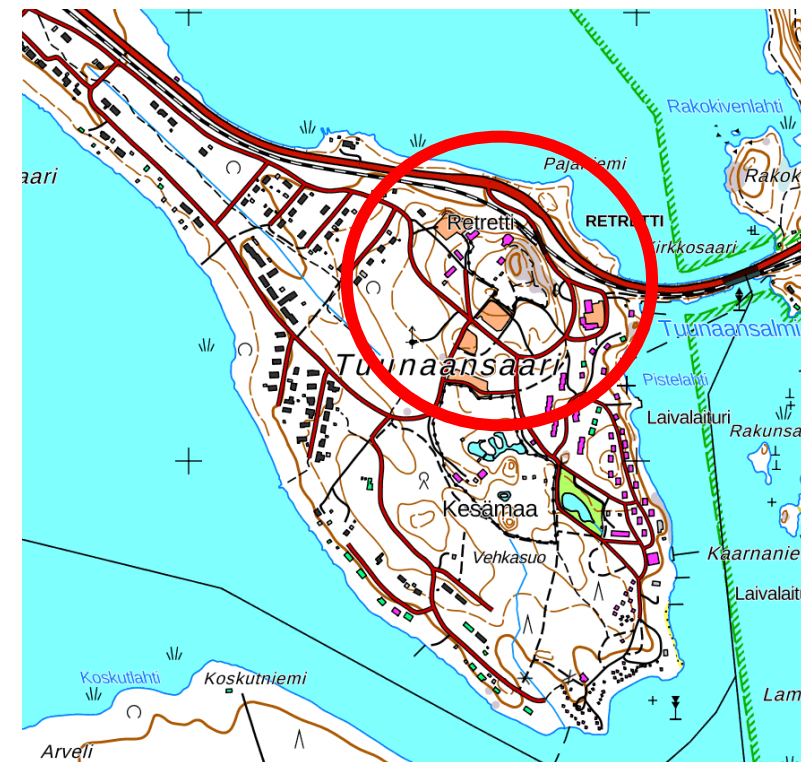
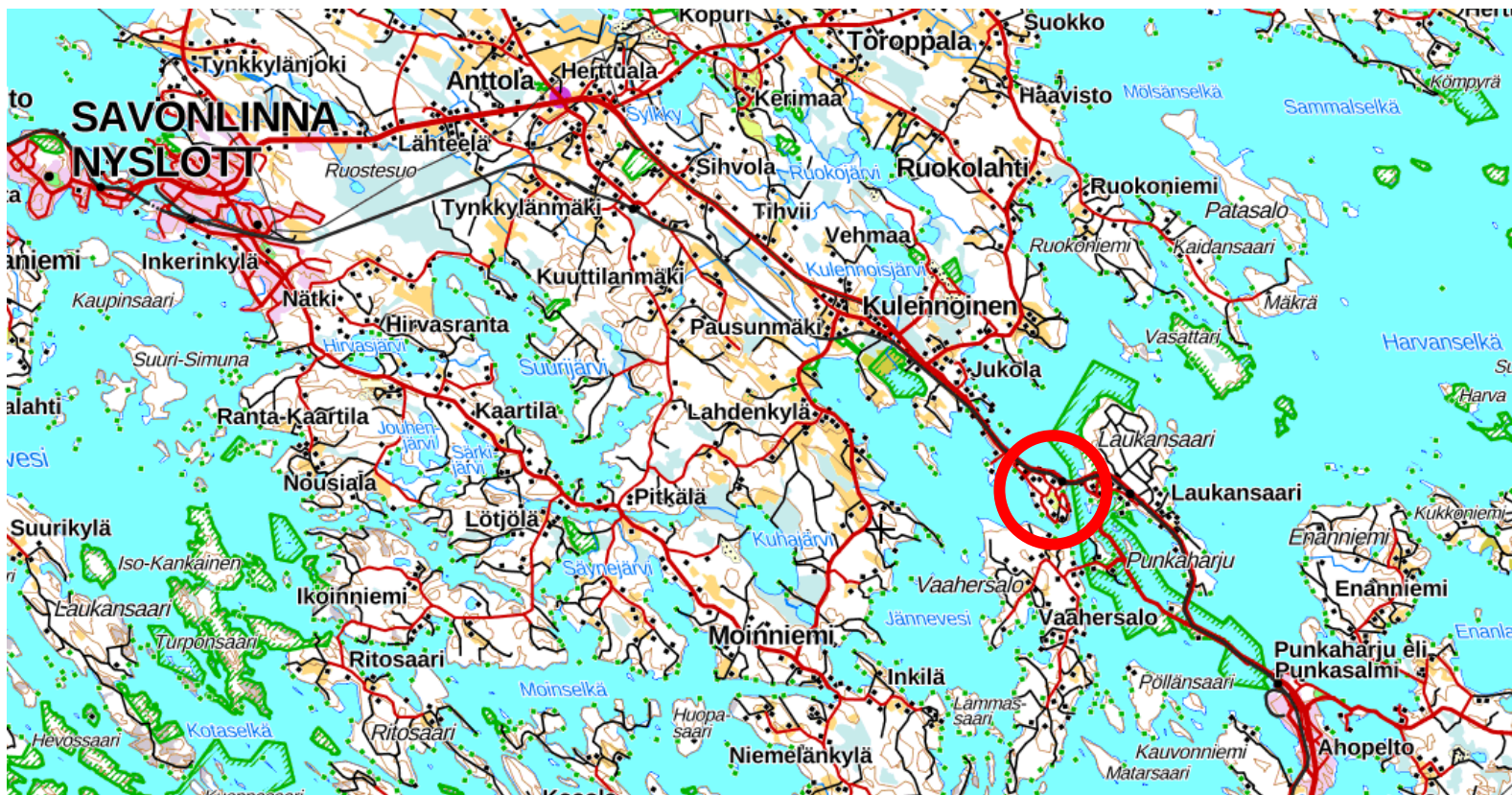
# Kalliotilan tiivistys vai kuivatus?

Tavoite	Menetelmät	Hyödyt	Haasteet
Käyttötarkoitusta tai saneerauksen yhteydessä tehtävää ruiskubetonointia haittaavien vesivuotojen poistaminen	Holvipintojen tippavuotojen ja juoksevien vesivuotojen jälki-injektointi	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ injektoinnin määrä minimoitu</li> <li>▪ vedestä, jolloin rakenteiden säilyvyys voi parantua ja tunneli-ilman radonpitoisuus vähentyä</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ei välttämättä pienennä pumppauskustannuksia</li> <li>• jälki-injektointi saattaa vain siirtää vuotoja</li> </ul>
	Vesivuotojen ohjaus pohjakerrokseen esim. letkujen/putkien tai ruiskubetonoinnin salaojien avulla, tarvittaessa vedenohjausreiät	<ul style="list-style-type: none"> <li>• edullinen ja nopea ratkaisu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ei pienennä pumppauskustannuksia</li> </ul>
Tunnelin vesivuotomäärän pienentäminen pumppausmäärän vähentämiseksi	Holvi- ja seinäpintojen näkyvien vesivuotojen jälki-injektointi	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kuivattaa seinä- ja holvipinnat vapaasta vedestä, jolloin rakenteiden säilyvyys voi parantua ja tunneli-ilman radonpitoisuus vähentyä</li> <li>• saattaa pienentää pumppauskustannuksia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• injektoinnin tiivistävä vaikutus voi heikentyä vuosien saatossa</li> <li>• jälki-injektointi saattaa vain siirtää vuotoja</li> </ul>
Tunnelin kuivattaminen	Holvi- ja seinäpintojen näkyvien vesivuotojen sekä pohjan näkyvien vesivuotojen jälki-injektointi. Injektointia jatketaan, kunnes näkyvät vesivuodot on tukittu	<ul style="list-style-type: none"> <li>• kuivattaa seinä- ja holvipinnat vapaasta vedestä, jolloin rakenteiden säilyvyys voi parantua ja tunneli-ilman radonpitoisuus vähentyä</li> <li>• pienentää pumppaustarpeen</li> <li>• vähentää tunnelin pohjalle kulkeutuvan veden määrää</li> <li>• Saattaa parantaa pohjavesiolosuhteita</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• edellyttää pohjan aukikaivuun, jolloin muut työt tunnelissa mahdollisia ja saneeraustyön kesto pitenee</li> <li>• injektoinnin tiivistävä vaikutus voi heikentyä vuosien saatossa</li> <li>• jälki-injektointi saattaa vain siirtää vuotoja</li> <li>• merkittävä kustannuksia kasvattava vaikutus saneeraustyöhön</li> </ul>





# Retretti Punkaharjun harjualueella

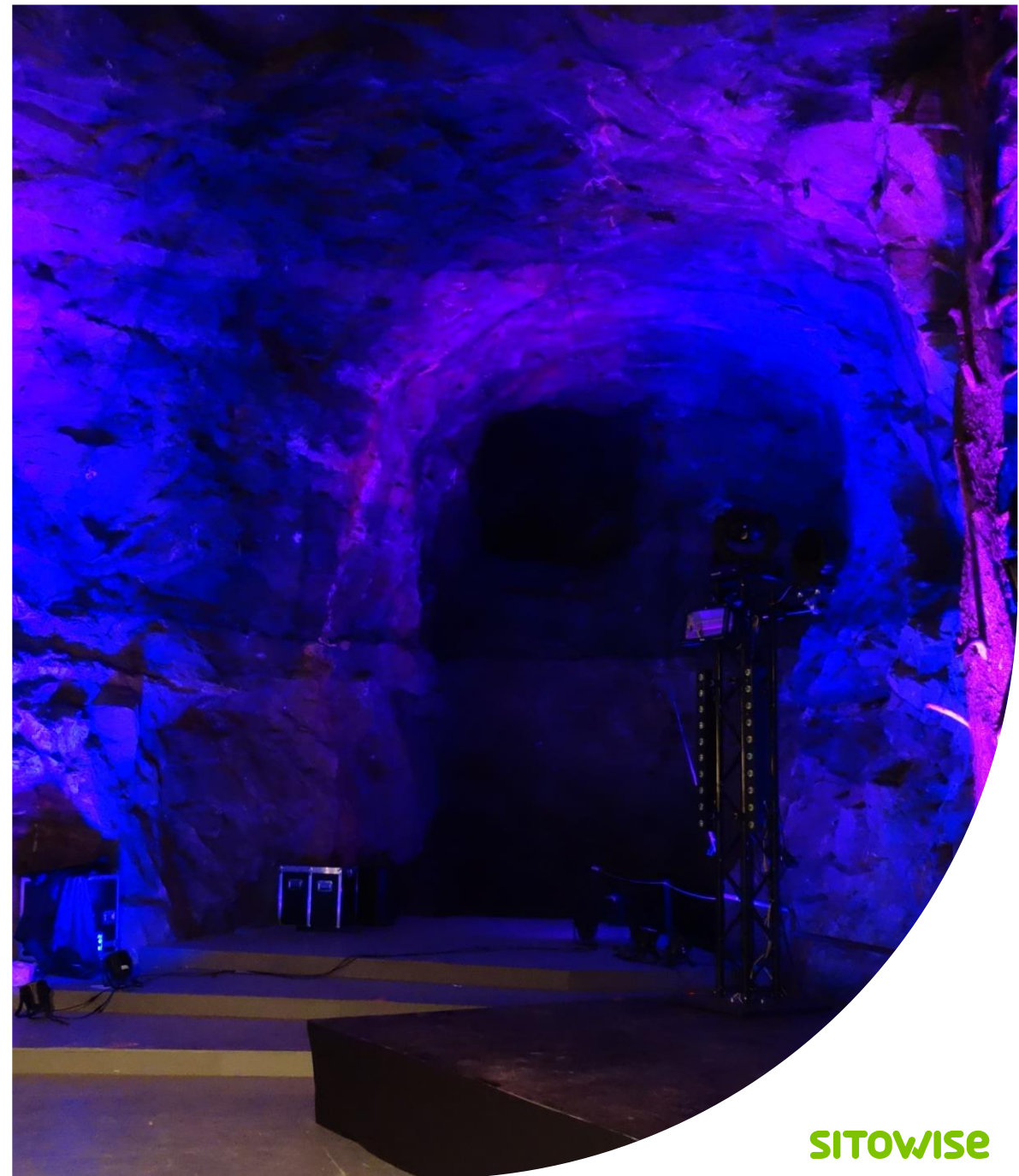


Kartat: <https://asiointi.maanmittauslaitos.fi/karttapaikka/>

# Perustietoja

- Kokonaislaajuus 35 000 m<sup>3</sup>, konserttisali 14 000 m<sup>2</sup>
- louhittiin kahdessa vaiheessa 1984 ja 1985
- louhintaa suoritettiin paljon design as you build -menetelmällä
- käytössä 1984-2012. Lisäksi vuosina 2018-2020 noin 50% tiloista aktiivista toimintaa Luola Eventsin toimesta
- lukuisia katselmointeja ja saneeraustoimenpiteitä 1990 ja 2000-luvuilla (yllättävän hyvin dokumentoitu)
- tila oli pitkään lämmittämättä 2010-luvulla, jolloin vesivuodot pilasi kalliopintaa
- viranomaisten vaatimukset muuttuneet: entisen kaltaista Retretin luolastoa ei voi enää pitää sellaisenaan auki

13.10.2022



SITOWISE

# Retretti ja kalliorakentaminen

MTR:n kirjat "Kalliorakentaminen Suomessa" ja "Kalliorakentamisen Neljäs Aalto" kuvaavat tilaa mm. seuraavasti:

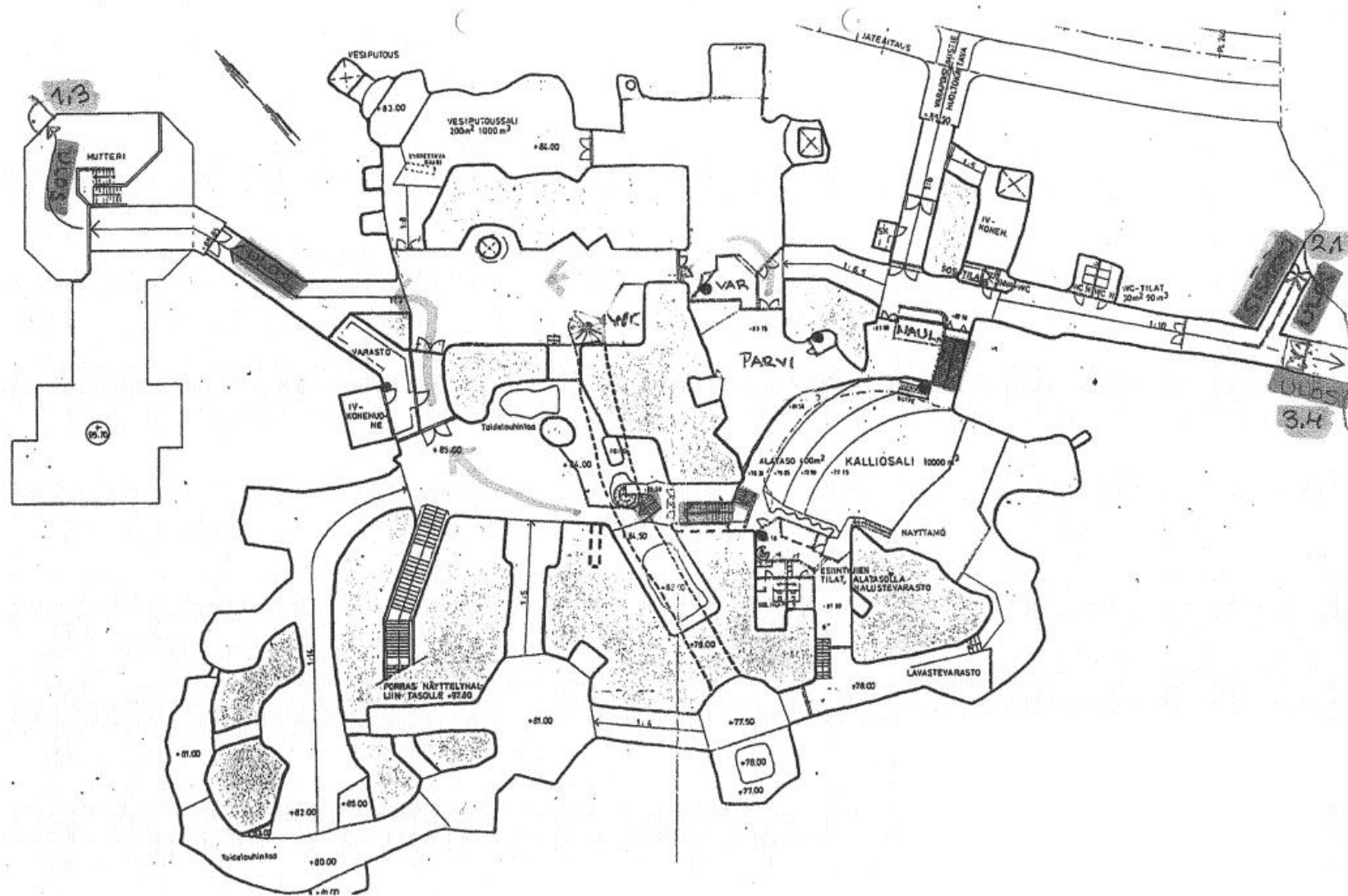
- *"Retretti on Suomen tunnetuin luolasto, joka palvelee kulttuuria ja vapaa-aikaa"*
- *"Suomalaiseen peruskallion yhdistetty taide on kävijälle ainutlaatuinen kokemus"*
- *"Retretin louhinnassa on kiinnitetty huomiota maanalaisen kalliorakentamisen erityisedellytyksiin ja sen moniin poikkeuksellisiin mahdollisuuksiin. Peruskallion rakenne ja kauniisti vaihtelevat väripinnat kivilajeissa tarjoavat tällä rikkaan ja mielikuvituksellisen perustan rakentamistyölle, jossa mahdollisimman pitkälle on pyritty noudattamaan juuri kallioperän omia ehtoja sen kauneutta korostaen"*

13.10.2022



SITOWISE

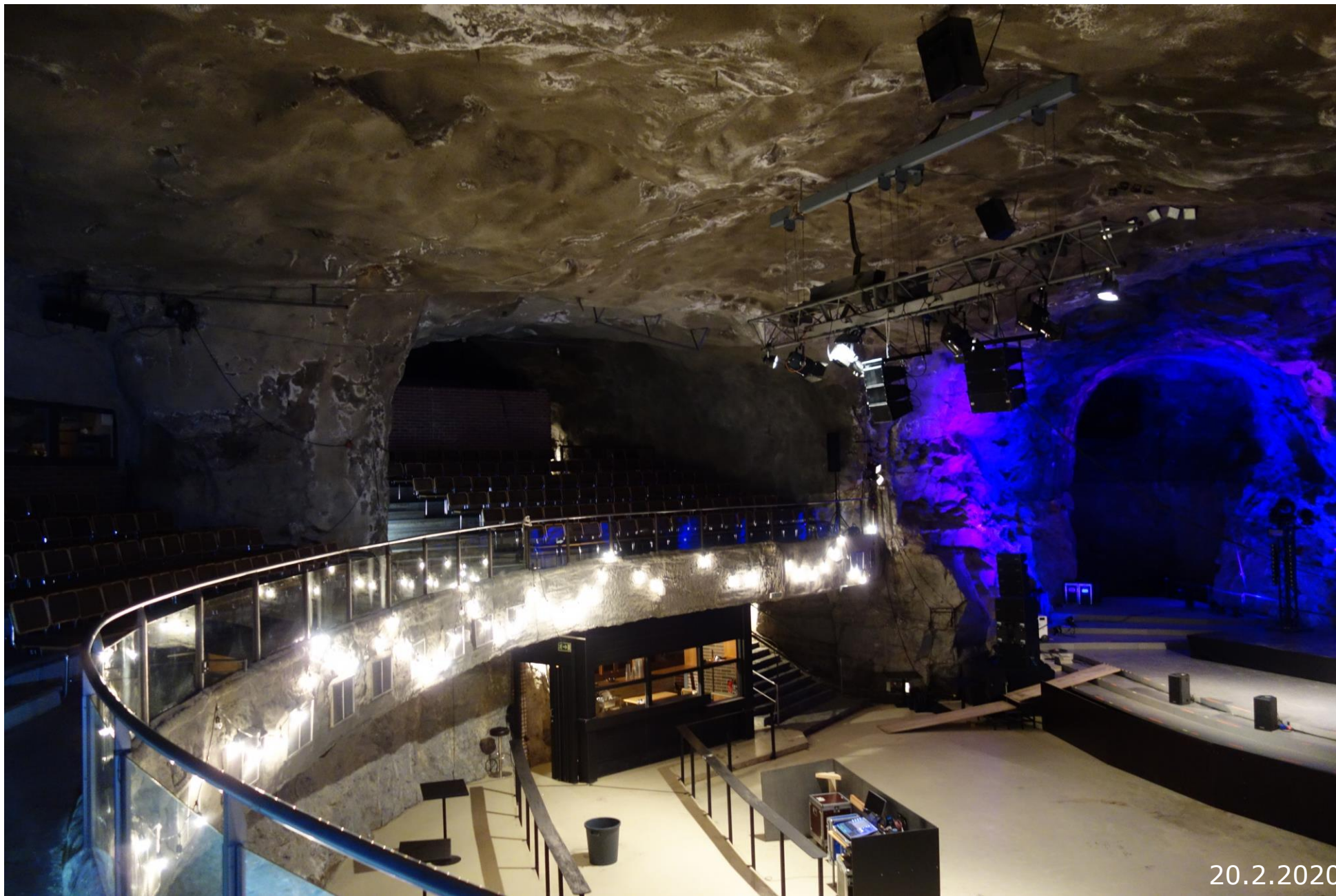
# Ainutlaatuinen pohjaratkaisu





20.2.2020

13.10.2022



13.10.2022



13.10.2022





20.2.2020

13.10.2022

SITOWISE



20.2.2020

13.10.2022



20.2.2020

13.10.2022

SITOWISE



13.10.2022

# Saneerausprojekti

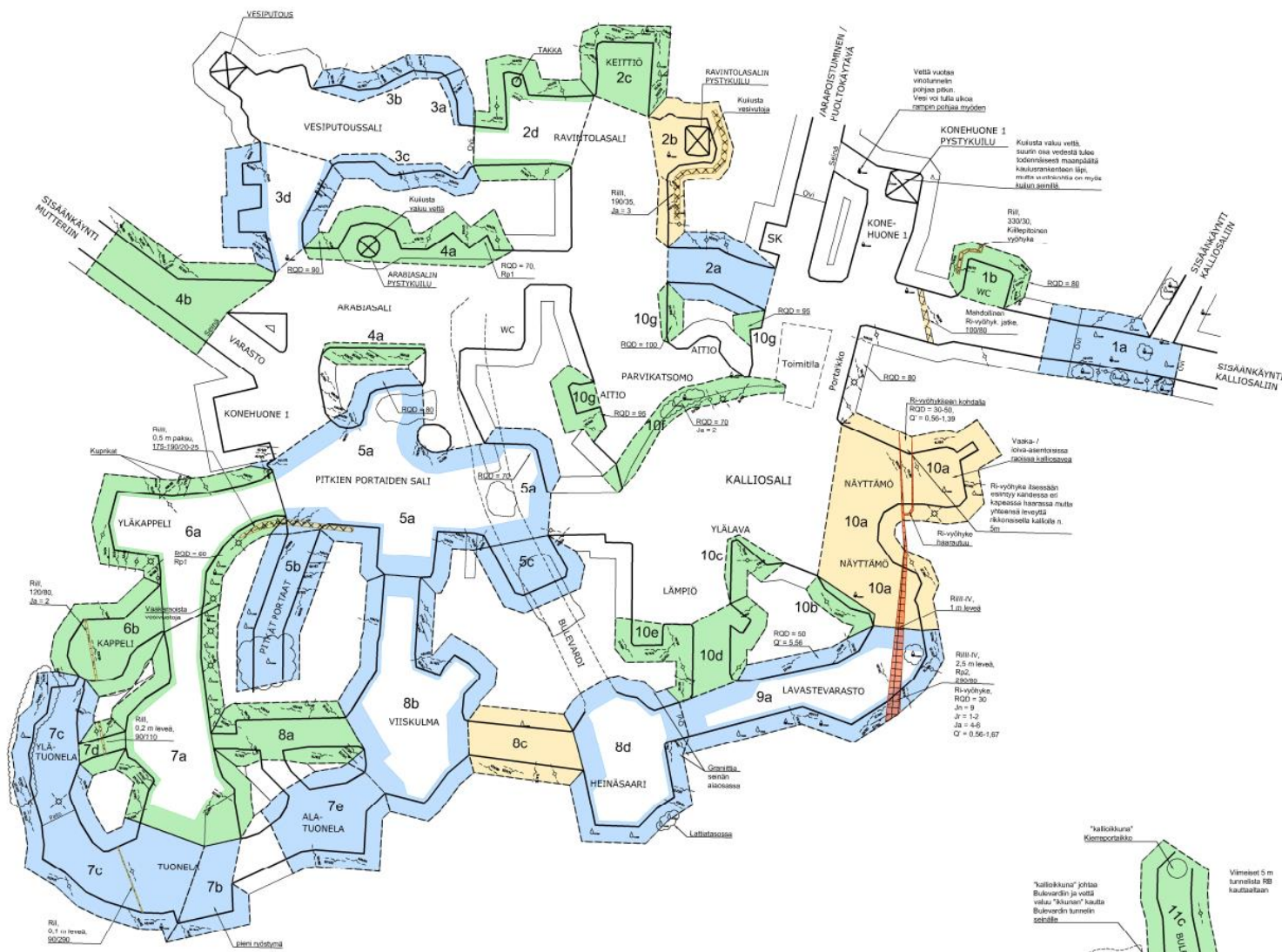
- Tilat oli tarkoitus saneerata nykyvaatimusten mukaisiksi, jotta tila voidaan kokonaisuudessaan avata:
  - kalliorakenteet
  - ilmanvaihto
  - sprinklaus
- PS- ja ARK-suunnittelu: Ramboll
- LVI-, RAK- ja KAT-suunnittelu: Sitowise
- Sähkösuunnittelu: Granlund
- Saneeraustyö alkoi keväällä 2020
- Pää toteuttaja: Savonlinnan Saneerauspalvelu Oy

13.10.2022





# Pohjakartta ja kartoitetut kalliolaadut



## Merkintöjen selitteet:

### RAKOILU

- Kalvea rako
- Pystyrako
- Vaakarako

### LIUSKEISUUS

- Kalvea liuskeisuus

### VUOTOVEDET

- Vesivuodosta aiheutuva kosteutta
- Tippuva vesivuoto
- Juokseva vesivuoto
- Vesivuodon havaittu alue

### RIKKONAIKUUS

- RiiI
  - RiiII
  - RiiIII
  - RiiIV
- Rikkonaisuus voimistuu ↓
- Rikkonaisuusvyöhykkeen luokka sekä kaade ja kaadesuunta ilmoitettu kartalla
- Havaintoalueen rajaus

### KALLIOLAATU (Q'-luokitus)

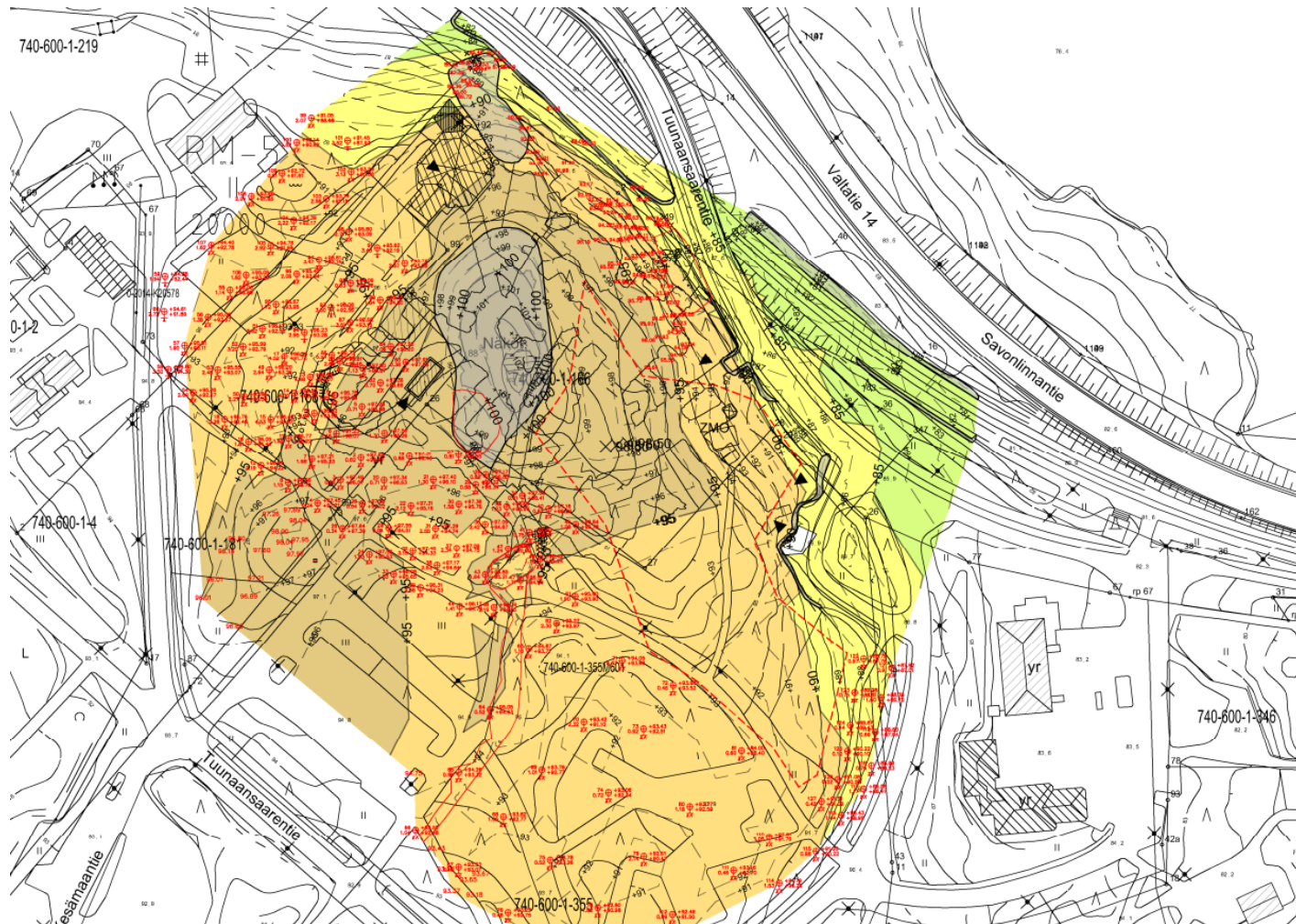
- Q' = 10...40 (hyvä)
- Q' = 4...10 (kohtalainen)
- Q' = 1...4 (heikko)
- Q' = <1 (varsin heikko)

↑ Kalliolaatu paranee

RG-kartoitus 9.-10.3.2020, Tuomas Jokela ja Päivi Castrén / Sitowise

13.10.2022

# Kalliopinnan korkeusasema



Kalliopinnan korkeusasema		
Tasovälin alaraja	Tasovälin yläraja	Väri
100.000	105.000	■
95.000	100.000	■
90.000	95.000	■
85.000	90.000	■
80.000	85.000	■
75.000	80.000	■

## Selitteet:



Kalliopintatieto puutteellinen



Aukkaivettu avokallioalue, tarkemittattu



Avokallio

93.65

Kallio, hajapiste



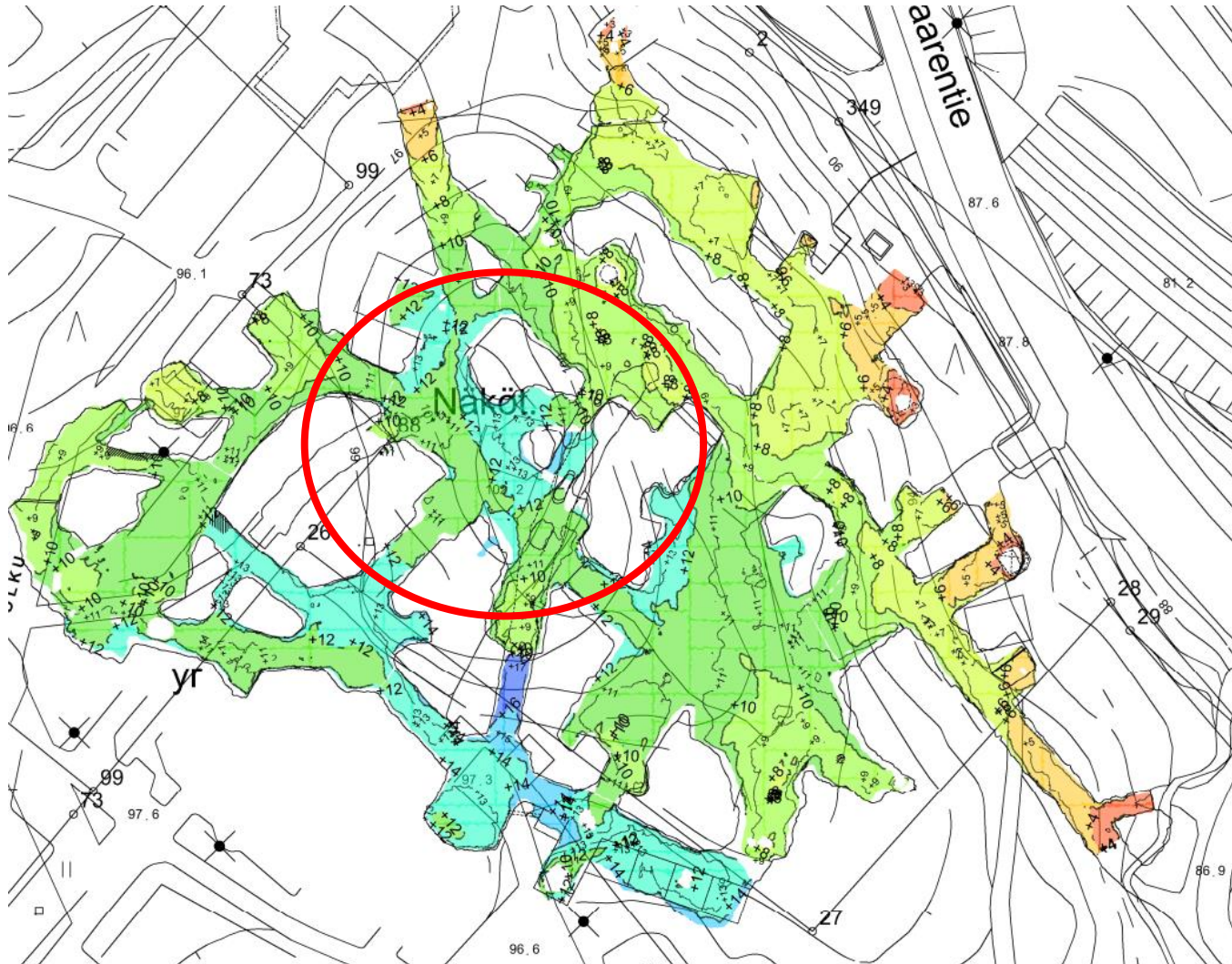
Tärykairaus

81  
0.60

+94.00  
+93.40



# Päähuomio kalliosalissa



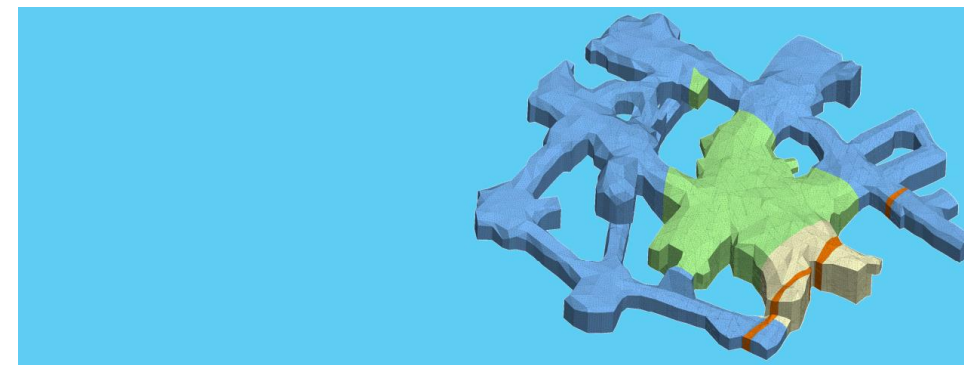
Kalliokaton paksuus metreissä			
	Tasovälin alaraja	Tasovälin yläraja	Väri
1	0.0	2.0	Light Pink
2	2.0	4.0	Orange
3	4.0	6.0	Yellow
4	6.0	8.0	Light Green
5	8.0	10.0	Green
6	10.0	12.0	Dark Green
7	12.0	14.0	Cyan
8	14.0	16.0	Blue
9	16.0	18.0	Dark Blue
10	18.0	20.0	Purple

Analyyssissa käytetyn kalliopintamallin lähtötietoina on käytetty Maanmittauslaitoksen laserkeilausaineistoa, kantakartan avokallioalue tietoja, avokallioiden tarkemittaustietoja (hajakorkoja) ja tärykairaustietoja.

Huom. Mallissa ei riittävästi tietoa kalliosalin kohdalta. Kuitenkin tieto, että katon "trussi" läpipultattu kiinni 9 m harjateräksillä

# Kalliosalin kalliomekaaninen simulointi

- Jänneväli 30m (tasakatto) ja avoinna jopa 50 m
- luolasto sijaitsee ympäröivään maastoon nähden kohonneen topografian alueella eikä jännitystilän vaikutuksista ollut selkeitä havaintoja
  - laskenta konservatiivisesti pelkäästään kalliomassan omasta painosta ja kasvavan syvyyden funktiona
  - herkkyystarkastelu toisella jännitystilavariaatiolla, jossa suurin vaakajännityskomponentti 2 MPa kallion pinnalla harjun suuntaisesti (noin 330°)
- simuloinnin ja lohkotarkasteluiden perusteella riittävä lujitus saavutetaan ruiskubetonilla ja systemaattisella pultituksella



TUUNAANSAAREN LUOLAN KALLIOSALI  
KALLIOMEKAANINEN SIMULOINTI  
31.8.2020

Jesse Ström

31.8./2020

RMCF 

# “Kunhan ette aja sinne millään panssarivaunulla”

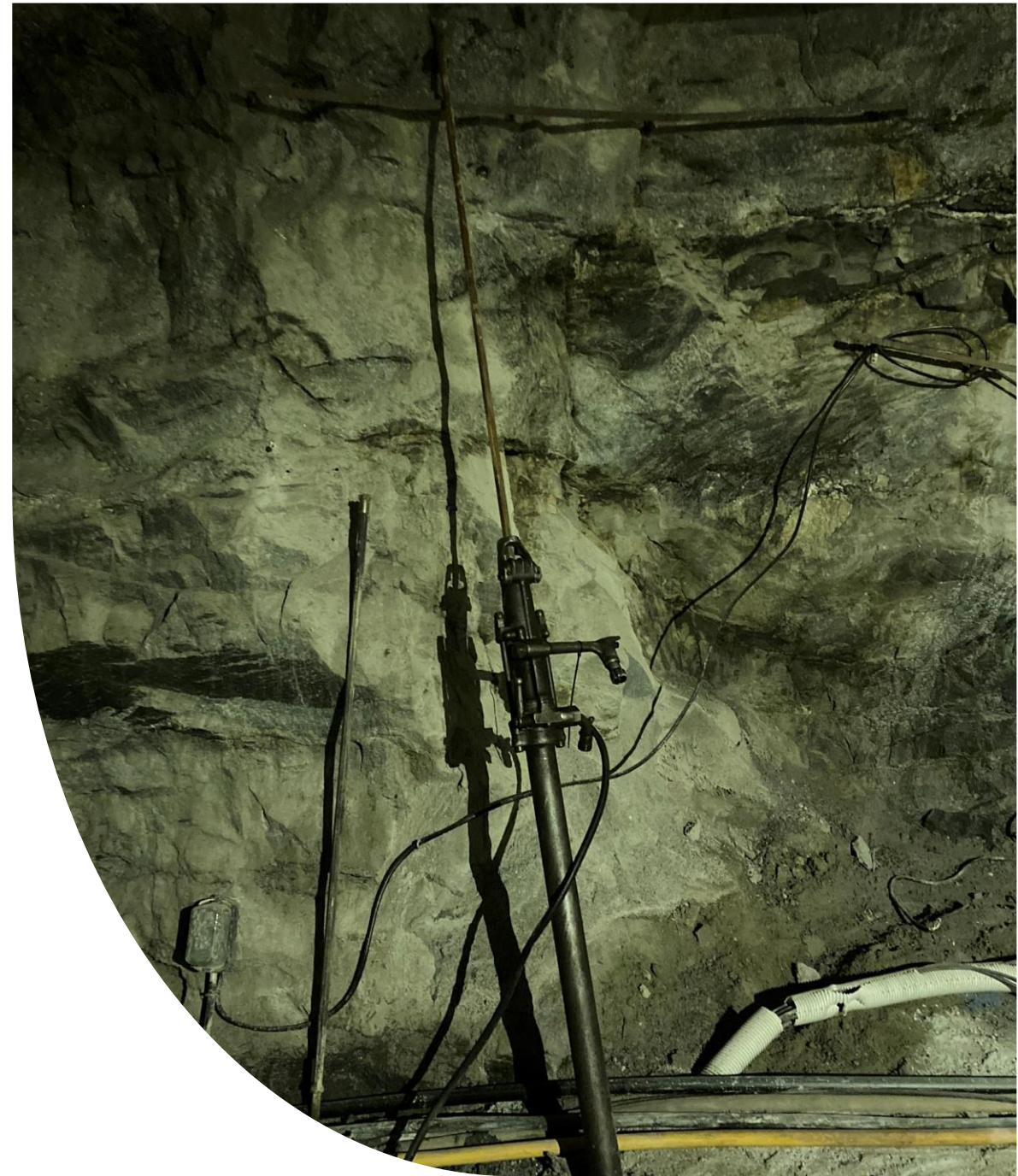


13.10.2022

SITOWISE

# Lujitustoimenpiteet

- *Hankkeen kansainvälisestikin tunnustettua ainutlaatuista, omaleimaisuutta ja laadukkuutta halutaan korostaa myös jatkossa. Se on ollut saneeraussuunnittelun lähtökohta ja sen tulee olla myös saneeraustyön toteutuksessa kaiken toiminnan lähtökohta.*
- kaikki kalliotilat lujitettiin holvista systemaattisesti pulteilla ja seinien osalta osin systemaattisesti ja osin hajapultein
- ruiskubetonointi, näyttelytiloissa rajattiin vain alueille, joissa ihminen kulkee



# Laajennukset

Saneerauksen edetessä ilmeni huomattavia laajennustarpeita konseptimuutoksista

- 3 uutta kuilua
- tekniikkatunneli ("junatunneli")
- muita laajennuksia
- keittiötunnelin puhkaisu ulkomaailmaan, jossa kahden tunnelin välipilari 5 metriä ja kalliokatto 2-5 metriä.

Laajennusten haasteet olemassa olevan tilan kalliomekaanisten olosuhteiden muutoksissa ja ohuissa pilareissa sekä kalliokatossa.





13.10.2022



13.10.2022



13.10.2022

SITOWISE





13.10.2022

SITOWISE

# Miltä Retretissä näyttää nyt?



13.10.2022



SITOWISE

# Miltä Retretissä näyttää nyt?



13.10.2022



SITOWISE

Taidekeskus Retretti

## Taidekeskus Retretti pysyy suljettuna matkailun kesäsesongin - uusia sijoittajia etsitään edelleen rahoittamaan luolaston saneerausta

Savonlinnan Punkaharjulla sijaitsevan luolastoon kesäksi suunniteltu Jäätikön arvoitus -näyttely siirtyy tulevaisuuteen, pääsylipun jo ostaneille palautetaan rahat.



13.10.2022

Yle 7.6.2022



SITOWISE

# Yhteenveto

- kalliorakenne ei ilman kunnossapitoa ole ikuinen
- tunneliomaisuuden kunnossapito-ohjelman avulla voidaan siirtää tunnelin peruskorjaustarvetta vuosikymmenillä
- kalliorakennussuunnittelun tehtäväluettelo KAT18 (RT 10-11296) käsittää myös erityisiä korjaussuunnittelun tehtäviä

