



Jasper Tainio

Kallioleikkaukset väylähankkeissa – toteutusvaiheesta kunnossapitoon

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (YAMK)

Maanmittaustekniikka

Insinöörityö

9.9.2022

Tiivistelmä

Tekijä:	Jasper Tainio
Otsikko:	Kallioleikkaukset väylähankkeissa – toteutusvaiheesta kunnossapitoon
Sivumäärä:	72 sivua + 4 liitettä
Aika:	9.9.2022
Tutkinto:	insinööri (YAMK)
Tutkinto-ohjelma:	maanmittaustekniikka
Ohjaajat:	ylitarkastaja Anna Tarhonen toimialapäällikkö Lassi Hatakka lehtori Ilkka Partonen

Insinööriyön päätarkoituksena oli tuoda esiin kolmen tarkasteltavan tiehankkeen toteutusvaiheeseen ja omaisuudenhallintaan liittyviä hyviä käytänteitä, haasteita ja kehityksen kohteita, jotta niitä voidaan hyödyntää tulevaisuuden väylähankkeissa. Tutkimuksen keskiössä olivat taitorakenteiksi luokiteltavat kallioleikkaukset.

Teoreettisen viitekehyksen avulla pyrittiin tarjoamaan lukijalle läpileikkaus väylähankkeiden eri vaiheisiin, vaatimuksiin ja ohjeistuksiin, eri suunnittelumuotoihin, rakentamisenmenettelyihin ja omaisuudenhallintaanäkökulmaan.

Eräs esimerkki hyvästä käytänteestä liittyi väylähankkeen suunnitteluvaiheessa tehtäviin kalliooperätutkimuksiin ja niiden keskeiseen rooliin, kun arvioidaan hankkeen omavaraisuutta louhitun kiviaineksen massatasapainon kannalta. Selvitystyön aikana havaittiin, että oikeanlaisella suunnittelulla ja mallintamisella voidaan saavuttaa merkittäviä kustannussäästöjä isokokoisissa hankkeissa.

Tässä insinööriyössä osoitetaan, kuinka vaativissa ja erittäin vaativissa kohteissa kallioleikkausten stabiliteettitarkasteluihin voidaan soveltaa pistepilvimalleihin perustuvia rakennusgeologisia parametreja ja rakosuunta-analyyseja. Menetelmä on kustannustehokas, ja siitä on hyötyä myös lujitus suunnittelussa. Stabiliteettitarkasteluihin ja lujitusrakenteiden mallintamiseen liittyvät prosessit ovat kehittyneet viime vuosina nopeaan tahtiin, eivätkä vanhat ohjeistukset välttämättä enää tue tätä kehitystä.

Avainsanat: kallioleikkaus, taitorakenne, väylähanke, toteutusvaihe, kunnossapito, omaisuudenhallinta

Abstract

Author: Jasper Tainio
Title: Rock Cuts in Transport Infrastructure Projects
– from Implementation Phase to Administration
Number of Pages: 72 pages + 4 appendices
Date: 9 September 2022

Degree: Master of Engineering
Degree Programme: Land Surveying
Supervisors: Anna Tarhonen, Superintendent
Lassi Hatakka, Department Manager
Ilkka Partonen, Senior Lecturer

The main objective of this study was to review the implementation phases and asset management of three selected road projects with intention to identify best practices, challenges, and possible improvements for future transport infrastructure projects. Rock cuts defined as speciality structures were considered as the core theme.

The theoretical framework serves as a cross section through transport infrastructure project phases, requisitions, guidelines, and forms of planning as well as construction procedures and asset management.

As an example of good practices, it was established that during the planning phase of a transport infrastructure project bedrock investigations play a critical role in assessing whether the project is self-sufficient in relation to mass balance of excavated rock. It was also noted that with appropriate planning and modelling it is feasible to achieve substantial financial gain within large-scale projects.

This study showed that for demanding or highly demanding sites the stability of rock cuts may be assessed by utilizing engineering geology parameters and fracture orientation analysis based on point cloud models. The procedure is cost-effective and helps with reinforcement planning. Over the past years stability assessments and modelling of reinforcement structures have developed rapidly and in contrast, old guidelines may have come partly obsolete.

Keywords: rock cut, speciality structure, transport infrastructure project, implementation phase, administration, asset management

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
1.1	Tutkimuksen tausta	1
1.2	Tutkimusmenetelmät ja aineisto	1
2	Kallioleikkaukset väylähankkeissa	2
2.1	Yleistä	2
2.2	Lähtötiedot	4
2.3	Kallioleikkausten suunnittelu	7
2.4	Kallioleikkaukset taitorakenteina	14
2.5	Mallipohjainen suunnittelu	17
2.6	Työnaikainen suunnittelu	23
2.7	Kallioleikkaukset osana omaisuudenhallintaa	29
2.7.1	Tiedonsiirron nykytila	29
2.7.2	Velho-järjestelmä	30
2.7.3	Taitorakennerekisteri	31
3	Tarkasteltavat väylähankkeet	34
3.1	Klaukkalan ohikulkutie Mt132	34
3.1.1	Urakkakohtaiset tuotevaatimukset	36
3.1.2	Mallipohjainen suunnittelu	37
3.1.3	Työnaikainen suunnittelu	38
3.1.4	Omaisuudenhallinta	43
3.2	Kirri–Tikkakoski Vt4	44
3.2.1	Urakkakohtaiset tuotevaatimukset	46
3.2.2	Mallipohjainen suunnittelu	47
3.2.3	Työnaikainen suunnittelu	49
3.2.4	Omaisuudenhallinta	50
3.3	Kausela–Kirismäki E18	52
3.3.1	Urakkakohtaiset tuotevaatimukset	54
3.3.2	Mallipohjainen suunnittelu	55
3.3.3	Työnaikainen suunnittelu	56
3.3.4	Omaisuudenhallinta	59

4 Yhteenveto ja päätelmät	61
Lähteet	68

Liitteet

Liite 1: Luovutusaineiston tiedonsiirron vaatimukset (YIV 2021)

– kallioleikkauksiin liittyviä vaatimuksia

Liite 2: Inframallin tarkkuusvaatimukset (Tie- ja ratahankkeiden inframalliohje 2017)

Liite 3: Rakennusgeologinen (RG) kallioluokitus (Korhonen ym. 1974)

– kartoitusparametrit tiivistetysti

Liite 4: Q-luokituksen parametrit (Using the Q-system, rock mass classification and support design 2015)

Lyhenteet

BIM:	<i>Building Information Model</i> . Rakennuksen tietomalli.
ELY-keskus:	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus.
InfraBIM:	<i>Infra Built Environment Information Model</i> . Rakennetun ympäristön tuotemallin, inframallin ja siihen liittyvien rakenteiden ja ympäristön tietosisältö.
Inframalli:	Infrarakenteen tuotemalli.
InfraRYL:	Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset.
NGI:	<i>Norges Geotekniske Institutt</i> . Norjan geoteknillinen instituutti.
Q-luokitus:	Kalliolaatuluokitusjärjestelmä (NGI:n laatima).
RG-luokitus:	Rakennusgeologinen kallioluokitus (VTT:n laatima).
STk-urakkamalli:	Suunnittele-toteuta-urakkamalli kehitysvaiheella.
TREX:	Taitorakennerekisteri, Väyläviraston omaisuudenhallintajärjestelmä.
UAV:	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i> . Miehittämätön ilma-alus.
VTT:	Valtion teknillinen tutkimuskeskus (nykyiseltä nimeltään Teknologian tutkimuskeskus Oy).
YIV:	Yleiset inframallivaatimukset.

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen tausta

Tämä tutkimus toteutettiin maanmittaustekniikan YAMK-insinöörityönä ja Väyläviraston tilauksesta. Yhteistyöhön osallistui myös suunnittelu- ja konsulttialan yritys, Rockplan. Työn ohjausryhmään kuuluivat Väylävirastolta Anna Tarhonen, Mika Lemmetyinen, Mauri Kulman, Sami Mäkelä ja Tarmo Savolainen sekä Rockplanin puolelta Lassi Hatakka, Matti Kalliomäki ja Juho Danska. Loppuvuodesta 2021 tunnistettiin tarve selkeyttää väylähankkeiden taitorakenteiksi luokiteltavien kallioleikkausten elinkaaritarkastelua ja samalla tutkia omaisuudenhallintaan liittyviä kysymyksiä, tarkastustoimintaa unohtamatta.

1.2 Tutkimusmenetelmät ja aineisto

Tutkimuksen ensimmäisessä osassa esitellään teoreettinen viitekehys, joka perustuu aihetta käsittelevään kirjallisuustutkimukseen ja Väyläviraston taitorakennerekisterin ja Velho-järjestelmän käyttöliittymiin. Tutkimuksen toisessa osassa perehdytään kolmen eri tiehankkeen (Klaukkalan ohikulkutie Mt132, Kirri–Tikkakoski Vt4 ja Kausela–Kirismäki E18) kallioleikkauskohteisiin. Teoreettisen viitekehysten ja kohdekohtaisten selvitysten pääpaino on taitorakenteiksi luokiteltujen kallioleikkausten elinkaaritarkastelussa, lähinnä toteutusvaiheesta kunnossapitoon. Tämän jälkeen tutkitaan, miten kallioleikkaukset lopulta toteutettiin valikoiduissa kohteissa ja minkälaista tietoa niistä vietiin omaisuudenhallinnan käyttöön ja olisiko kallioleikkausten elinkaaren eri vaiheissa voitu tehdä jotain toisin. Kohdekohtaiset selvitykset perustuvat hankkeista julkisesti saatavilla olevaan tietoon, mutta myös erinäisiin tiehankkeiden elinkaaren aikana syntyviin suunnittelu- ja toteumatietoihin. Selvityksiä täydensivät keskustelut hankkeiden parissa työskennelleiden avainhenkilöiden kanssa, ja ilman heidän panostaan tästä työstä olisi jäänyt puuttumaan oleellinen hankekohtainen asiantuntijanäkemys. Kohdekohtaisten selvitysten myötä tässä työssä pyritään tuomaan esiin hyväksi todettuja käytänteitä, joita voidaan mahdollisesti hyödyntää tulevaisuuden väylähankkeissa, koskien taitorakenteiksi luokiteltavia kallioleikkauksia.

2 Kallioleikkaukset väylähankkeissa

2.1 Yleistä

Kallioleikkauksella tarkoitetaan luonnolliseen kalliooperään louhinnan vaikutuksesta syntynyttä tarkoituksellista kallioseinämää. Louhinta on puolestaan yksi osa-alue kalliorakentamisessa, jossa muita osa-alueita ovat esimerkiksi kallioon kohdistuvat tiivistys- ja lujitustoimenpiteet. Kalliorakentamista ohjaa yleensä kalliotekninen (ja geotekninen) suunnittelu. Tie-, rata- ja vesiväylähankkeiden linjaukset ja geometria saattavat joissain tapauksissa edellyttää kallion louhintaa, jolloin kallio-olosuhteet on otettava huomioon väylähankkeen eri suunnittelu- ja rakentamisvaiheissa.

Kallioleikkaukset luokitellaan taitorakenteiksi silloin kun ne ovat riittävän korkeita täyttääkseen taitorakenteen rajamitat. Taitorakenteet ovat vaativia rakenteita, joiden virheellisestä suunnittelusta tai rakentamisesta voi aiheutua vaaraa ihmisille tai merkittäviä korjauskustannuksia. Liikenneviraston Taitorakenteiden tarkastusohjeessa (2013: 8) määritellään taitorakenne seuraavanlaisesti:

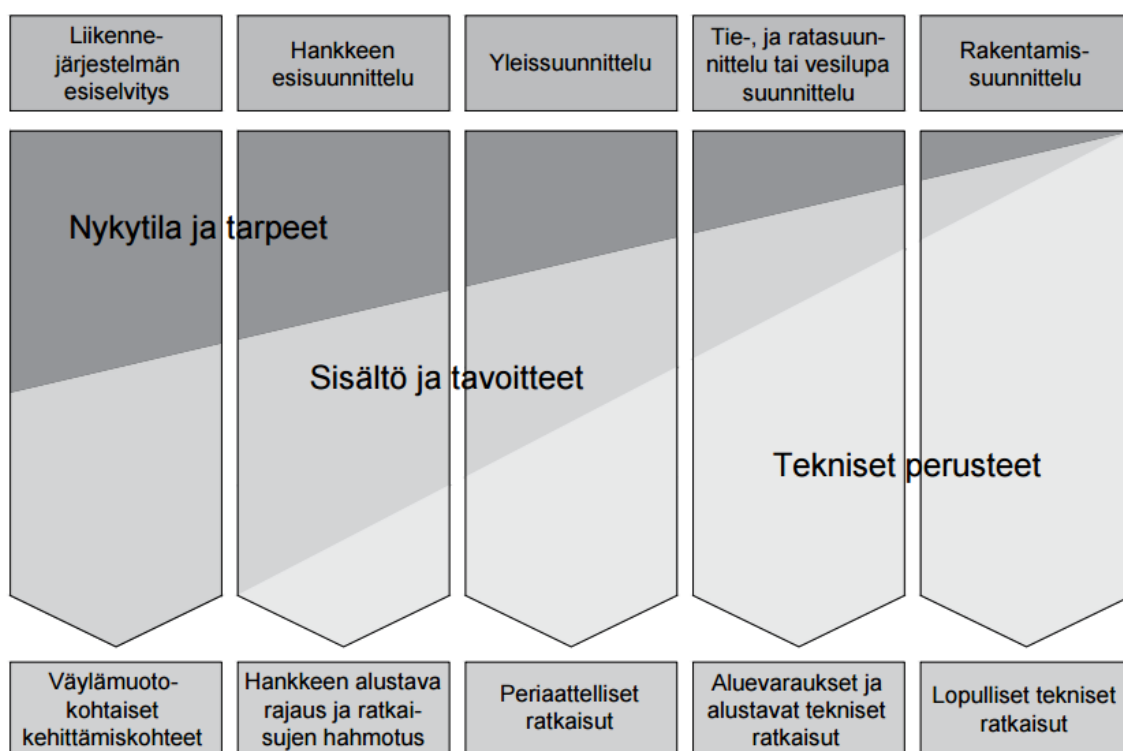
Taitorakenteita ovat kaikki sellaiset rakenteet, joiden rakentamiseksi on laadittava lujuuslaskelmiin perustuvat suunnitelmat ja joiden rakenteellinen vaurioituminen suunnittelu- tai rakennusvirheen seurauksena saattaa aiheuttaa vaaraa ihmisille tai liikennejärjestelmälle ja/ tai merkittäviä korjauskustannuksia rakenteelle tai sen välittömälle ympäristölle.

Omaisuuksienhallintanäkökulmasta taitorakenteiksi luokiteltavat kallioleikkaukset ovat tärkeitä rakenteita, joiden kunnossapidosta tulee huolehtia ja samalla varmistaa niiden stabiilitetti koko niiden käyttöajan ajan.

Väylävirasto on Suomen valtion virasto, joka toimii liikenne- ja viestintäministeriön hallinnonalalla, ja se vastaa Suomessa tieverkon, rautateiden ja vesiväylien kehittämisestä ja kunnossapidosta. Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukset (ELY-keskukset) vastaavat alueellisesta kunnossapidosta ja suunnittelu- sekä rakentamispalveluiden tilaamisesta. Väylähankkeiden vaiheittain etenevä suunnitteluprosessi sekä siihen liittyvä päätöksenteko yhteensovitetään maankäytön

suunnittelun kanssa hankkeen eri vaiheissa. Tie-, rata- ja vesiväylähankkeiden suunnitteluvaiheet ja niihin liitetty suunnitteluperusteet on esitetty kuvassa 1.

Hankkeen alkuvaiheessa painottuvat toiminnallisten tavoitteiden kautta muotoutuvat suunnitteluperusteet, mutta kallioleikkausten toteutuksen kannalta on ehkä oleellisempaa teknisten perusteiden painottuminen, mitä lähemmäksi tullaan rakentamissuunnitteluvaihetta. Vesiväyliä suunnitellaan kuten tie- ja ratahankkeissa, mutta yleissuunnitelman jälkeen valmistellaan vesilain mukainen lupahakemus. Tällä haetaan oikeudellinen perusta vesiväylähankkeen toteutukselle. Väyläkohtaisten suunnitteluvaiheiden jälkeen siirrytään rakentamissuunnitteluvaiheeseen ja rakentamisvaiheeseen (Hankkeiden suunnittelun vaiheet 2022). Toteutusvaihe on puolestaan yläkäsite, johon sisältyy sekä rakentamissuunnitteluvaihe ja rakentamisvaihe (Väyläsanasto: suunnittelu ja rakentaminen 2021: 13).



Kuva 1. Väylähankkeiden suunnitteluvaiheet ja niihin liitetty suunnitteluperusteiden muotoutuminen toiminnallisten tavoitteiden ja teknisten perusteiden kautta. Laadittu Väyläviraston kuvaa mukailen (Väylähankkeiden suunnitteluperusteiden menettelykuvaus 2021:10).

Toteutusvaiheen urakkakohtaiset tuotevaatimukset ja muut kaupalliset asiakirjat perustuvat suunnitteluperusteisiin ja niillä kuvataan velvoitteita ja rajoitteita, joiden avulla päästään hankkeen kannalta tavoiteltuun lopputulokseen (Väylähankkeiden suunnitteluperusteiden menettelykuvaus. 2021: 12). Toteutusvaiheen aikana tehdään paljon työnaikaista suunnittelua, joka koskee myös kallioleikkauksia. Toteutusvaiheen päättyessä siirrytään väylän kunnossapitovaiheeseen.

2.2 Lähtötiedot

Geo- ja kallioteknisten lähtötietojen hankinta saattaa tulla ajankohtaiseksi jo varhaisessa vaiheessa väylähanketta. Ensimmäiseksi on kuitenkin syytä selvittää kohdealueelle aiemmin tehdyt tutkimukset ja vasta sen jälkeen tunnistaa mahdollinen lisätutkimustarve. Kallioleikkausten stabiliteettiin voidaan ottaa lopullisesti kantaa vasta louhinnan jälkeen, mutta rakennettavuusselvityksiin kuuluvilla pohjatutkimuksilla saadaan tärkeää tietoa esimerkiksi kalliopinnan korkeusaseman vaihteluista.

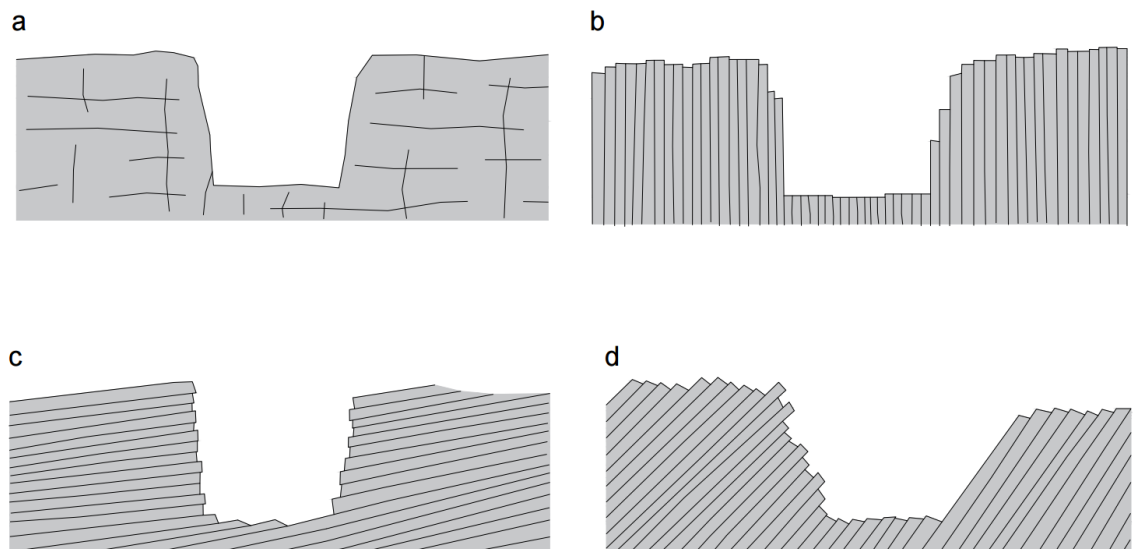
Kallioperän rakennettavuusselvityksissä pyritään dokumentoimaan kallion ominaisuuksia ja arvioimaan niiden vaikutusta suunniteltavan rakenteen toteutukseen. Liikenneviraston ohjeen (Tiepenkereiden ja -leikkausten suunnittelu 2010: 93) mukaan rakennettavuuteen vaikuttavat

- kivilaatu
- kalliolaatu
- kalliopinnan topografia ja korkeusasema
- kallion jännitystila
- pohja- ja pintavesi.

Kallioperä on materiaalina heterogeenistä, rakenteellisesti epäjatkovaa ja lujuudeltaan vaihtelevaa jopa pienellä alueella. Liikenneviraston ohjeen (Tiepenkereiden ja -leikkausten suunnittelu 2010: 93) mukaan kallion rakennettavuus muodostuu rakentamis- ja louhintateknisistä ominaisuuksista, joita ovat

- mineraalikoostumus
- kivilaji
- kivilajien yhteenliittyminen
- suuntaus
- rikkonaisuus
- heikkousvyöhykkeet
- rapautuneisuus
- kalliopinnan topografia.

Yllä mainitut ominaisuudet ja rakennettavuuden väliset yhteydet perustuvat lähinnä kokemusperäiseen tietoon ja asiantuntijoiden näkemyksiin ja arvioihin (Tiepenkereiden ja -leikkausten suunnittelu 2010: 93). Kalliolaatu saattaa vaikuttaa merkittävästi louhintaan, louhintamenetelmiin, kallioleikkauksen geometriaan ja myöhemmässä vaiheessa myös tien ylläpitoon. Pohjatutkimusten ja rakennusgeologisten kartoitusten avulla voidaan tehdä arvioita edullisista tai epäedullisista louhintasuunnista. Kuvassa 2 on esitetty yksinkertaistettuja poikkileikkauksia kalliorakoi- ja liuskeisuussuuntien vaikutuksesta louhintasuuntaan.



Kuva 2. Yksinkertaistettuja poikkileikkauksia kalliorakoi- ja liuskeisuuden suhteesta louhintasuuntaan. Laadittu Liikenneviraston kuvaa mukaillen (Tiepenkereiden ja -leikkausten suunnittelu 2010: 100). (a) Massamainen, harvarakoinen kallio. (b) Pystyasentoinen liuskeisuus ja päärajoilu. (c) Loiva-asentoinen liuskeisuus ja päärajoilu. (d) Vinoa-asentoinen liuskeisuus ja päärajoilu.

Kallion liuskeisuus, rakoilu ja rapautuneisuus ovat ominaisuuksia, jotka voivat hankaloittaa suunnitellun louhintajäljen toteutumista. Yleensä hyvä louhintajälki syntyy massamaiseen ja harvarakoiseen kallioon (kuva 2a). Tasainen louhintajälki voidaan myös saavuttaa tilanteessa, jossa liuskeisuus ja/tai pääarakosuunta on kulultaan suhteellisen samansuuntainen louhintasuunnan kanssa (kuva 2b). Tällöin on kuitenkin varauduttava mahdollisiin ryöstäymiin, ja kallioleikkauksen stabiliteetti on syytä varmistaa. Epätasaisin louhintajälki syntyy yleensä silloin, kuin porareiät leikkaavat jyrkästi liuskeisuuden suuntaa ja liuskeisuuden kaade on vinosti poispäin kallioleikkauksesta (kuva 2d). Mikäli kallioleikkauksen luis-kaamista ei voida tehdä kallion liuskeisuuden tai pääarakosuunnan suuntaisesti, on kallioleikkaus pyrittävä loiventamaan esimerkiksi porrastettua louhintatapaa käyttäen. (Tiepenkereiden ja -leikkausten suunnittelu 2010: 99)

Kallioleikkausten rakennettavuusselvityksiin liittyviä pohjatutkimuksia ja kartoituksia voidaan tehdä jo esi- ja yleissuunnitteluvaiheessa tai myöhemmässä suunnitteluvaiheessa, mutta jos esimerkiksi kalliolaatu jää selvittämättä, tulee puute kirjata ja esittää, että tarvittavat tutkimukset ja suunnitelman tarkistus tehdään hankkeen seuraavassa suunnitteluvaiheessa, tai viimeistään toteutusvaiheessa (Tiepenkereiden ja -leikkausten suunnittelu 2010: 104). Liikenneviraston ohjeessa (Tien geotekninen suunnittelu 2012: 18) mainitaan, että kallion ominaisuudet on selvitettävä suunnitteluvaiheiden mukaisella tarkkuudella ja luotettavuudella sekä otettava huomioon niihin liittyvät standardit.

Liikenneviraston ohjeessa (Geotekniset tutkimukset ja mittaukset 2015) käydään läpi suunnittelun ja rakentamisen lähtötietoina käytettäviä geo- ja kallioteknisiä tutkimuksia ja mittauksia sekä esitetään niiden sisältö ja määrä suunnitteluvaihekohtaisesti. Tutkimusten ja mittausten ohjelmoinnin, toteutuksen ja dokumentoinnin osalta tämä ohje on määräävä kaikissa Liikenneviraston (nyk. Väylävirasto) ja ELY-keskusten infrahankkeissa. Lisäksi se toimii Eurokoodin 1997 osan 2 (SFS-EN 1997-2 + AC) soveltamisohjeena. Geotekniset tutkimukset ja mittaukset (2015) -ohjeessa tunnistetaan myös geo- ja kalliotekninen suunnittelu omiksi suunnittelualoikseen. Vaikka geotekninen suunnittelu sisältää josain määrin myös kallioteknistä suunnittelua, varsinkin vaativissa

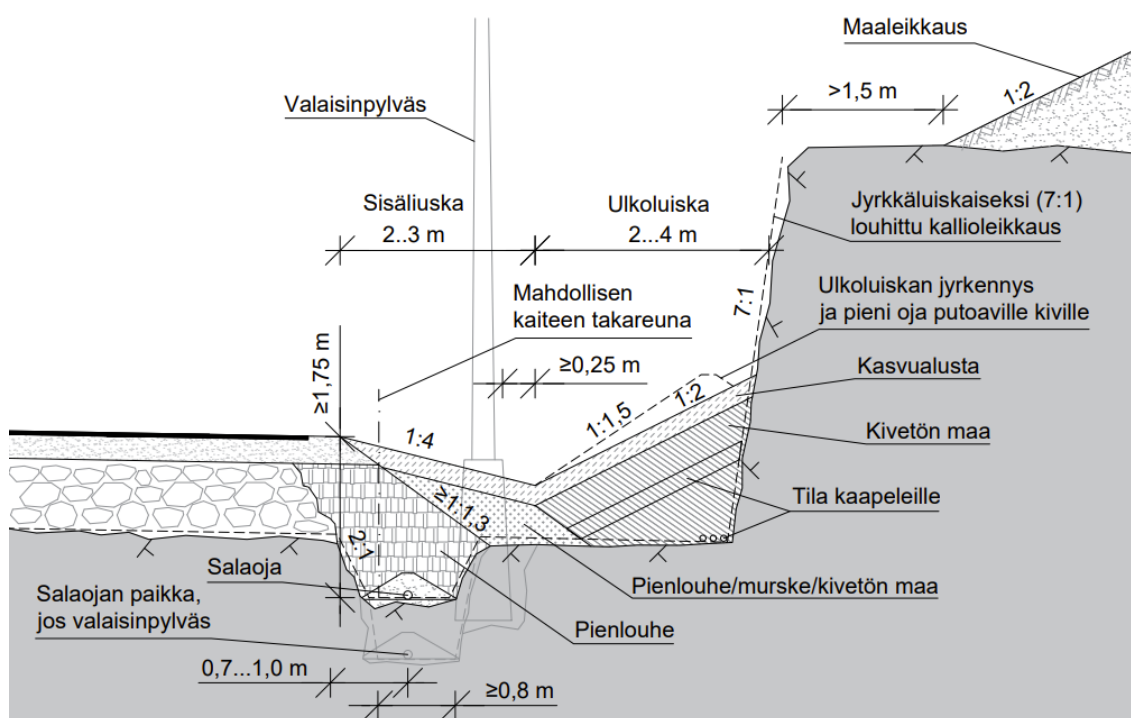
kallioleikkauskohteissa on suotavampaa käyttää kallioteknisen asiantuntijan osaamista. Tutkittaessa louhinnasta syntyvän kiviaineksen soveltuvuutta tien rakennekerrokseen tai päällysteisiin tarvitaan tietoa kalliolaadusta. Myös toteutettavien kallioleikkausten stabiliteettia ja potentiaalisia pohjavesiongelmia voidaan tutkia kalliolaatuselvitysten yhteydessä, mutta vain alustavasti. Selvitykset tehdään yleensä geologin toimesta, joka tunnistaa jatkojalostettavan kiviaineksen kannalta potentiaaliset kallioleikkauskohteet, määrittää kartoitusten perusteella tulevat näytteenottopaikat ja laatii kallionäytekairausten tutkimusohjelmat (Tiera-kenteen suunnittelu 2018: 23).

2.3 Kallioleikkausten suunnittelu

Tiepenkereiden ja -leikkausten suunnittelu (2010: 92) -ohjeessa todetaan kallioleikkausten suunnittelun sijoittuvan tieteknisen ja geoteknisen suunnittelun rajapintaan. Toteutettavuuteen vaikuttavat molempien suunnittelualojen näkökulmat, mutta lisäksi on otettava huomioon ympäristö- ja teknistaloudelliset vaikutukset. Kallioleikkausten suunnittelussa onkin erityisen tärkeää huomioida hankkeen massatalous ja louhitun kiviaineksen mahdollinen jatkojalostus, esimerkiksi tien päällysrakenteessa. Väyläviraston ohjeen (Tiepenkereiden ja -leikkausten suunnittelu 2010: 92) mukaan kallioleikkausten geo- ja kallioteknisten suunnittelun vaatimukset kohdistuvat ensisijaisesti seuraaviin asioihin:

- luonnontilaiseksi jäävän ja louhitun kalliopinnan stabiliteettiin
- kallioleikkausten lujituksiin
- kallioleikkaukseen liittyviin suojausrakenteisiin
- kallioleikkauksen vaikutukseen pintavesien valunnan ja pohjavesiolosuhteiden hallintaan
- kuivatuksen suunnitteluun
- kallioleikkauuspohja ei saa aiheuttaa tien pintaan heijastuvia tasaisuus tai liukkaushaittoja tai edesauttaa paannejään muodostumista
- kallion yläpuolisen maaleikkauksen stabiliteettiin
- louhintatärinän huomioimiseen.

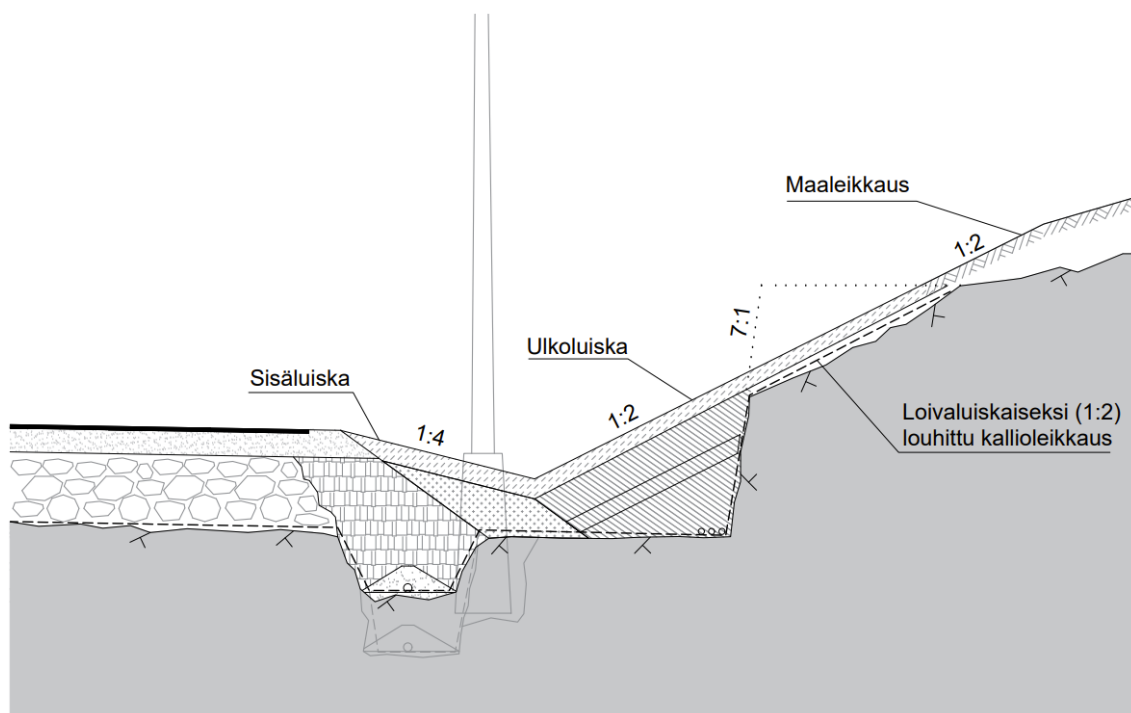
Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset (InfraRYL) toimivat pohjana hankekohtaisille laatuvaatimuksille ja työselostuksille. Kallioleikkausten rakentamiseen liittyvät tekniset vaatimukset löytyvät kohdasta 17100 Kallioavoleikkaukset (InfraRYL 2021). Mikäli näitä vaatimuksia halutaan täydentää tai niistä halutaan poiketa, ne esitetään kallioleikkauksia koskevassa suunnitelmassa ja työkohtaisessa työselostuksessa sekä laatuvaatimuksissa (Tiepenkereiden ja -leikkausten suunnittelu 2010: 95). Kallioleikkaukset suunnitellaan useimmiten jyrkkäluis-kaisiksi, eli 7:1 kaltevuuteen, jossa tien sisäluiska muotoillaan 1:4 kaltevuuteen ja ulkoluiska 1:2 kaltevuuteen. Ulkoluiska toimii tällöin suojuiskena mahdollisille moottoriajoneuvojen ulosajoille ja niistä aiheutuville törmäyksille. Kuvassa 3 on esitetty poikkileikkaus tieväylän kaltevuuteen 7:1 louhitusta kallioleikkauksesta suojuisella.



Kuva 3. Poikkileikkaus tieväylän kallioleikkauksesta, joka on suunniteltu jyrkkäluislaiseksi ja jossa ulkoluiska toimii suojuiskena. Laadittu Väyläviraston kuva mukailten (Tien poikkileikkauksen suunnittelu 2021a: 35).

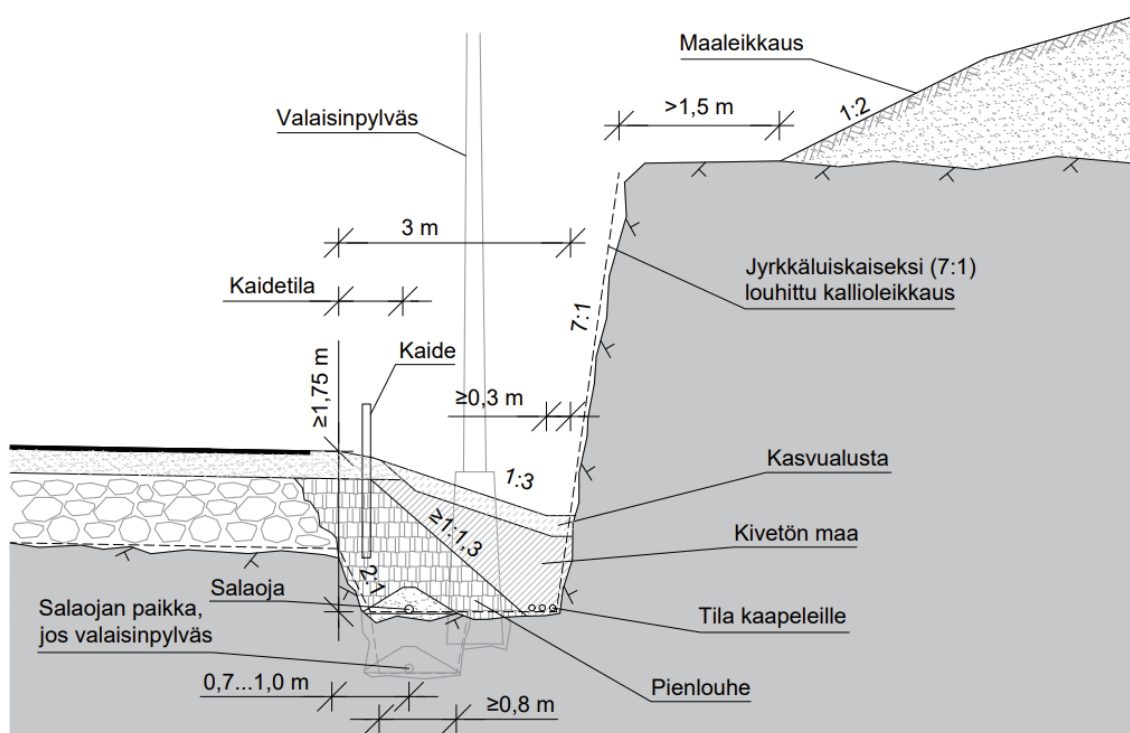
Jos kallioleikkauksesta putoaa paljon irtokiviä, voidaan ulkoluiskaan muotoilla kuvan 3 mukainen jyrkennys, jonka ohjeellinen kaltevuus on 1:1,5. Jyrkennyksen ja kallioluiskan väliin muotoillaan pieni oja, johon kallioleikkauksesta irtoavat

kivet on tarkoitus pysäyttää. Vaihtoehtoisesti voidaan asentaa 0,5 m korkea teräspalkkikaide ulkoluiskan alaosaan viiden vuoden ajaksi. (Tien poikkileikkauksen suunnittelu 2021: 34). Louhintoja suunniteltaessa on myös otettava huomioon mahdollisten valaisinpylväiden jalustojen ja salaojien vaatimat tilatarpeet. Tie- ja rataväyliä salaojajärjestelmät on esitetty Liikenneviraston ohjeessa Teiden ja ratojen kuivatuksen suunnittelu (2013). Kallioleikkauksiin liittyvät yksityiskohtaiset geotekniset rakennekuvaukset ja poikkileikkauksesimerkit on esitetty Väyläviraston ohjeessa Tien poikkileikkauksen suunnittelu (2021). Mikäli kallioleikkaus jää alle 1,5 m:n korkuiseksi tai sitä korkeampi kallio-osuus on pituudeltaan alle 20 m, louhitaan kallio loivaluiskaiseksi. Ohjeellinen kaltevuus on tällöin 1:2. Loivaluiskaisen kallioleikkauksen tapauksessa myös tien ulkoluiska muotoillaan 1:2 kaltevuuteen. Silloin luiska jatkuu maastonmuotoja mukaillen suoraan yläpuoliseen maaleikkaukseen, jonka ohjeellinen kaltevuus on niin ikään 1:2 (kuva 4). Myös rikkonaisen kallion osalta voidaan tarvittaessa loiventaa kallioleikkausta. (Tiepenkereiden ja -leikkausten suunnittelu 2010: 104)



Kuva 4. Poikkileikkaus tieväylän kallioleikkauksesta, joka on suunniteltu loivaluiskaiseksi. Laadittu Liikenneviraston kuvaa mukaillen (Tiepenkereiden ja -leikkausten suunnittelu 2010: 103), mutta täydennetty Väyläviraston rakenneosien päivityksillä (Tien poikkileikkauksen suunnittelu 2021: 35).

Tien poikkileikkauksen suunnittelu (2021a: 36) -ohjeen mukaan kallioleikkaus voidaan suunnitella ilman suojaluiskaa, mutta silloin tien reunaan sijoitetaan yleensä suojakaide (kuva 5). Tällöin tarvitaan tien reunaan myös kaidetila ja 0,7...1,3 m:n syvyinen sivuoja. Sivuojan syvyys määritetään Liikenneviraston Teiden ja ratojen kuivatuksen suunnittelu (2013) -ohjeen mukaisesti. Sisäluiskan kaltevuus määräytyy puolestaan sivuojan syvyyden mukaan ja kaidetilan leveys on riippuvainen sisäluiskan kaltevuudesta (Tien poikkileikkauksen suunnittelu 2021: 38). Kaiteellisessa jyrkkäluiskaisessa kallioleikkauksessa putoavat irtokivet eivät vieri tielle yhtä helposti kuin suojaluiskallisessa kallioleikkauksessa. Tämä nähdään myös vertaamalla kuvien 3 ja 5 poikkileikkauksia keskenään. Vanhojen, ennen vuotta 1995 rakennettujen kallioleikkausten etäisyys tien reunaan on ollut moottoriteillä 4 m ja muilla teillä 3 m, joten lähellä tien reunaa sijaitsevia vanhoja kallioleikkauksia on myöhemmin muutettu kaiteelliseksi kallioleikkauksiksi. (Tien poikkileikkauksen suunnittelu 2021: 77)



Kuva 5. Poikkileikkaus tieväylän kallioleikkauksesta, joka on suunniteltu jyrkkäluiskaiseksi ja kaiteelliseksi. Laadittu Väyläviraston kuvaa mukaillen (Tien poikkileikkauksen suunnittelu 2021: 37).

Louhintatöihin liittyvällä rikkoutumisvyöhykkeellä tarkoitetaan varsipanoksesta porareian ympärille räjähdysten voimasta syntynyttä rikkoutunutta kallio-osaa. InfraRYL (2021: kohta 17110.3) määrittelee suurimmat sallitut teoreettiset rikkoutumisvyöhykkeet kallioleikkausten seinissä (taulukko 1). Pohjien rikkoutumisvyöhykkeiden osalta ei ole annettu rajoituksia. On huomioitava, että kallioleikkausten rikkoutumisvyöhykkeen alueella kallion lujuus heikkenee muuhun kalliomassaan verrattuna. Taulukosta 1 nähdään, että rataväylien kallioleikkausten suurimmat sallitut rikkoutumisvyöhykkeet kuuluvat laatuluokkiin 0–2. Näihin laatuluokkiin kuuluvat myös katujen ja kevyen liikenteen väylien kallioleikkaukset. Normaaleissa tieleikkauksissa (laatuluokka 4) sallitaan edellisiin verrattuna suuremmat rikkoutumisvyöhykkeet.

Taulukko 1. Suurimmat sallitut rikkoutumisvyöhykkeet kallioleikkausten seinissä. Laadittu InfraRYL:n (2021, kohta 17110.3) taulukkoa ja tekstejä mukailen.

Laatu-luokka	Rikkoutumis-vyöhyke (mm)	Soveltamisohje
Luokka 0 ja Luokka 1	200	Erikoisluokka. Ratarakenteissa tunneleiden otsapinnat ja alueet, joille myöhemmin tehdään teräsbetonirakenteita kalliota vastaan. Kadut, kevyen liikenteen väylät.
Luokka 2	400	Vaativissa leikkauksissa, kuten rakennus-kaivannoissa ja rataleikkauksissa, kadut.
Luokka 3	600	Normaaliluokka muissa kallioleikkauksissa.
Luokka 4	1000	Normaaliluokka tieleikkauksissa.

Kallioleikkausten louhintatoleranssilla tarkoitetaan suurinta sallittua mittapoikkeamaa suunnitellusta louhinnasta. Mikäli toleranssilla on positiivinen arvo, tämä tarkoittaa suurinta sallittua ylilouhintaa. Negatiivinen arvo tarkoittaa vastaavasti alilouhintaa. Taulukossa 2 on esitetty InfraRYL (2021: kohta 17110.4) louhintatoleranssit kallioleikkausten seinäpinnoilla (alilouhintaa ei ole sallittua). Taulukosta 2 nähdään, että kevyen liikenteen väylien välittömässä läheisyydessä olevissa kallioleikkauksissa sovelletaan laatuluokan 1 louhintatoleransseja. Normaaleissa rata- ja katuleikkauksissa sovelletaan laatuluokan 2

toleransseja ja normaaleissa tieleikkauksissa laatuluokan 3 toleransseja. Hankkeessa noudatettavia seinäpintojen louhintatoleransseja ja rikkoutumisvyöhykkeitä voidaan joskus esittää myös urakkakohtaisissa tuotevaatimuksissa. Esimerkiksi jos alueella esiintyy heikkolaatuista kalliota tai siltojen tukien perustukset suunnitellaan kallioleikkausten päälle, voidaan tuotevaatimuksissa esittää omia hankekohtaisia vaatimuksia näiden osalta.

Taulukko 2. Kallioleikkausten seinäpintojen louhintatoleranssit. Laadittu Infra-RYL:n (2021: kohta 17110.4) taulukkoa ja ohjetekstejä mukaillen.

Laatu-luokka	Louhinta-toleranssi (mm)	Soveltamisohje
Luokka 0	0...100	Erikoisluokka. Toteutus esimerkiksi irtiporauksena tai vaijerisahauksena.
Luokka 1	0...200	Erikoisluokka, esimerkiksi kalliotunneleiden otsapinnat tai leikkaukset kevyen liikenteen väylien välittömässä läheisyydessä.
Luokka 2	0...400	Normaaliluokka rakennuskaivannoissa ja rataleikkauksissa, kadut.
Luokka 3	0...600	Normaaliluokka esimerkiksi tieleikkauksissa; rakennuskaivannot, joille ei ole laadittu louhintasuunnitelmaa.
Luokka 4	luokittelematon	Määrätään hankkeittain.

Vaikka kallioleikkausten pohjien rikkoutumisvyöhykkeille ei ole asetettu Infra-RYL:ssä (2021) rajoitteita, on niitä asetettu pohjapintojen louhintatoleransseille (taulukko 3). Normaalit rataleikkaukset kuuluvat laatuluokkaan 1, ja ohjeen mukaan se tarkoittaa sitä, että alin kerros on louhittava erikseen. Normaalit tieleikkaukset kuuluvat laatuluokkaan 3, jolloin louhintatoleranssi sovitaan hankekohtaisesti.

Taulukko 3. Kallioleikkausten pohjapintojen louhintatoleranssit. Laadittu InfraRYL:n (2021, kohta 17110.4) taulukkoa ja ohjetekstejä mukaillen.

Laatu-luokka	Louhinta-toleranssi (mm)	Soveltamisohje
Luokka 1	0...400	Normaaliluokka rataleikkauksissa. Käytännössä vaatii alimman kerroksen louhimista erikseen esim. 1–3 metrin pengerkorkeudella.
Luokka 2	0...600	Normaaliluokka rakennuskaivannoissa.
Luokka 3	luokittelematon	Normaaliluokka esimerkiksi tieleikkauksissa. Sovittava hankekohtaisesti.

Tilaajan on osaltaan varmistettava, että louhintaurakoitsija laatii työn edellyttämät räjäytyssuunnitelmat, joissa otetaan huomioon kallioleikkauspintojen tarkkuusvaatimukset ja vaadittu louhekoko. Räjäytyssuunnitelmiin sisällytetään InfraRYL (2021, kohta 17710.3) mukaan vähintään seuraavat asiat:

- räjäytyksen ajankohta
- teoreettinen poikkileikkaus
- porauskaavio reikäkokoineen
- kentän pituus ja leveys / rintauksen korkeus / heittosuunta / täkkäyksen paikat / vartiomiesten paikat
- panostamaton osa / etutäyte
- räjähdysmäärät ja -laadut rei'ittäin
- räjähdysainemäärät ja -laadut räjäytyskerroittain
- momentaaninen räjähdysainemäärä
- sytytysjärjestelmä ja -järjestys
- irrotettavan kallion määrä
- vaarallinen alue ja varmistustoimenpiteet
- peittäminen
- leikkausten työturvallisuuden huomioiminen
- louhinnan vaiheistuksen huomioiminen lujitusten kanssa suunnitelmassa osoitetulla tavalla
- tärinä- ja muiden seurantamittausten tarve ja sijoitus.

Suunnitelmia laadittaessa otetaan lisäksi huomioon

- kallion laatu ja rakenne
- asutus louhinta-alueen läheisyydessä
- tarkkuusvaatimukset ja rajoitukset louhintatärinälle
- työturvallisuus
- määräykset, jotka koskevat reikäkokoja, porausta, panostusta ja sytytystä sekä jakoa räjäytyskertoihin.

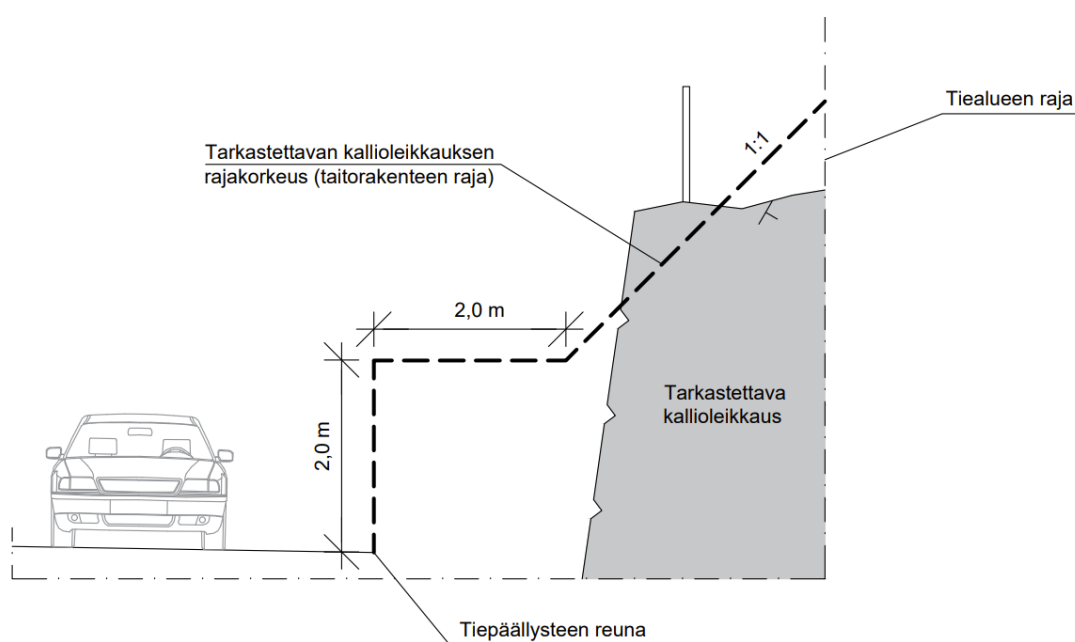
Räjäytyssuunnitelmia laadittaessa on siis pyrittävä ottamaan huomioon aiemmissa kalliooperätutkimuksissa havaittu kallion laatu ja rakenne. Myös louhintatöiden aikana ilmenevistä heikkousvyöhykkeistä ja rikkonaisista kallio-osuuksista on tiedotettava valvojalle jo porausvaiheessa. Tämän lisäksi on neuvoteltava valvojan ja kalliorakennustöiden asiantuntijavalvojan kanssa heikkousvyöhykkeiden louhinta- ja lujitustavoista (InfraRYL 2021, kohta 17710.3).

2.4 Kallioleikkaukset taitorakenteina

Kallioteknisestä näkökulmasta tarkasteltuna, taitorakenteiksi luokitellaan kallioon louhittavat tunnelit, mutta myös kallioleikkaukset, mikäli ne täyttävät taitorakenteen määritelmän. Liikenneviraston laatimassa Kallioleikkauksen tarkastuskäsikirjan luonnoksessa (2017: 7) kallioleikkaus määritellään taitorakenteeksi tie- rata ja vesiväylillä, kun se ylittää tietyn rajakorkeuden. Tieväylien kallioleikkausten osalta voidaan ajatella rajaviivan nousevan ensin tiepäällysteen reunasta 2,0 m ylöspäin, sitten 2,0 m ulospäin ja sen jälkeen nousevan kaltevuudella 1:1. Rajamitat on havainnollistettu kuvassa 6. Kallioleikkauksen todentaminen taitorakenteeksi voidaan tehdä fyysisesti paikan päällä mittaamalla, mutta yhtä lailla se voidaan tehdä esimerkiksi laserkeilausaineistoa tai fotogrammetrisia 3D-malleja hyödyntämällä.

Väyläviraston ohjeistuksissa ei ole mainintaa siitä, kenen toimesta kallioleikkaukset tulisi määrittää tai jättää määrittämättä taitorakenteiksi. Toisinaan määrittäminen voi olla selväpiirteistä, mutta etenkin rajatapaukset saattavat vaatia erikseen mittaamista. Kalliopintamalleja, louhintasuunnitelmia ja

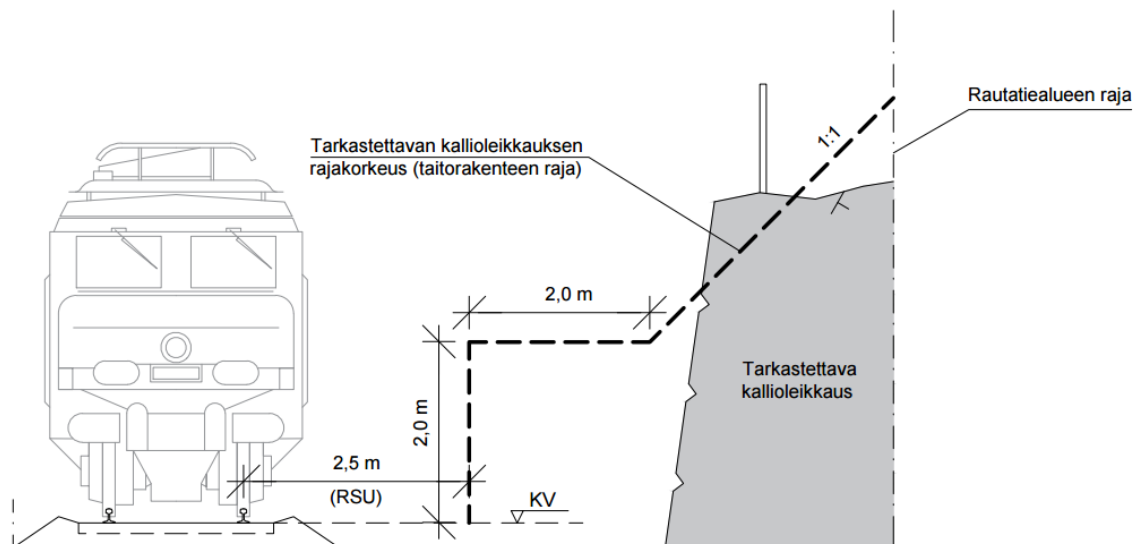
massalaskelmia voidaan hyödyntää jo hyvissä ajoin selväpiirteisten taitorakenteiksi luokiteltavien kallioleikkausten tunnistamisessa, mutta lopulliset määritykset voidaan tehdä vasta louhintojen jälkeen. Kallioleikkausten louhintojen jälkeen tierakenteita ei ole yleensä rakennettu päällystepintaan asti, joten tämä on otettava huomioon mittauksia ja määrityksiä tehdessä. Hankkeessa tulisi pyrkiä sopimaan hyvissä ajoin, kenen toimesta taitorakennemääritykset tehdään. Mainittakoon myös, että mallipohjaisissa hankkeissa työmaan mittaaajan tehtäviin voidaan katsoa kuuluvan myös taitorakenteisiin liittyvät mittaukset (YIV 2021: 24).



Kuva 6. Yksinkertaistettu poikkileikkaus taitorakenteeksi luokiteltavan kallioleikkauksen rajakorkeudesta tie- tai kevyen liikenteen väylällä. Mikäli kallioleikkaus ylittää rajakorkeuden edes osittain, on se tarkastettava. Laadittu Liikenneviraston kuvaa mukaillen (Kallioleikkauksen tarkastuskäsikirja, luonnos 2017: 7).

Kallioleikkauksen tarkastuskäsikirjan luonnoksen (2017a: 8) mukaan rataväylien taitorakenteiksi luokiteltavien kallioleikkausten rajaviiva alkaa vasta ratatyön suojaulottuman (RSU) jälkeen ja radan korkeusviivan (KV) kohdalta. Siitä kohdin rajaviiva nousee ensin 2,0 m ylöspäin, sitten 2,0 m ulospäin ja sen jälkeen se nousee kaltevuudella 1:1. Rajamitat on havainnollistettu kuvassa 7.

Vesiväylien osalta kallioleikkaus luokitellaan taitorakenteeksi samoilla rajamitoilla kuin tieväylillä, mutta tiepäälysteen sijaan rajakorkeus mitataan vesiväylän reunasta (Kallioleikkauksen tarkastuskäsikirja, luonnos 2017: 7).



Kuva 7. Yksinkertaistettu poikkileikkaus taitorakenteeksi luokiteltavan kallioleikkauksen rajakorkeudesta rautatiellä. Mikäli kallioleikkaus ylittää rajakorkeuden edes osittain, on se tarkastettava. Laadittu Liikenneviraston kuva mukailen (Kallioleikkauksen tarkastuskäsikirja, luonnos 2017:8).

Edellä mainittujen rajamittojen lisäksi taitorakenteiksi luokiteltaviin kallioleikkauksiin liittyy myös muita määrittäviä tekijöitä. Jos kahden vierekkäisen kallioleikkauksen väliin jää etäisyyttä alle 20 m, inventoidaan ne yhtenä kallioleikkauksena. Kallioleikkauksen tarkastuskäsikirjan luonnoksen (2017: 7–9) mukaan tunneleiden suuaukolla sijaitseva kallio-otsa ei kuulu kallioleikkaus-rakenneluokan piiriin, vaan se luetaan osaksi tunneli-rakenneluokkaa. Samaan tulkin-taan päädytään myös Väyläviraston tunnelintarkastuskäsikirjan luonnoksessa (2019: 15). Kallioleikkauksia ja tunneleita käsittelevissä tarkastuskäsikirjoissa on kuitenkin ristiriitaisuutta, mitä tulee tunneleiden suuaukkojen läheisyydessä sijaitseviin väylän suuntaisiin kallioleikkauksiin. Kallioleikkauksia käsittelevässä tarkastuskäsikirjassa ne katsotaan kallioleikkaus-rakenneluokkaan kuuluviksi, mutta tunnelintarkastuskäsikirjassa ne katsotaan osaksi tunneli-rakenneluokkaa (Kallioleikkauksen tarkastuskäsikirja, luonnos 2017: 9 & Tunnelintarkastuskäsikirja, luonnos 2019: 15). Tunnelin suuaukon kallio-otsan ja väylän suuntaisten

kallioleikkausten yhtymäkohdat katsotaan molemmissa tarkastuskäsikirjoissa hieman ongelmallisiksi, sillä näihin liittyy usein vesivuotoja ja sitä myöten paannejään muodostumista (Kallioleikkauksen tarkastuskäsikirja, luonnos 2017: 9 & Tunnelintarkastuskäsikirja, luonnos 2019: 15).

2.5 Mallipohjainen suunnittelu

Infra-alalla mallipohjaisten toimintatapojen ja mallinnuksen hyödyntäminen on ollut melko yleistä jo useamman vuoden ajan, ja siihen liittyvä kehitystyö jatkuu edelleen. Mallipohjaisen toiminnan voi periaatteessa aloittaa missä tahansa hankevaiheessa, mutta tavoitetilanteessa se aloitetaan jo mahdollisimman aikaisessa suunnitteluvaiheessa. Yleensä hankevaihe määrittelee myös mallipohjaisen suunnittelun laajuuden ja millä tarkkuustasolla se toteutetaan. Mallipohjaisen hankkeen suunnittelussa on tunnistettava siihen kohdistuvat erityispiirteet ja tarpeet, joita voivat olla esimerkiksi haastavat pohjaolosuhteet tai maankäyttöön liittyvät haasteet joillakin alueilla. Toimiva ja luotettava tiedonvaihto eri toimijoiden kesken on oleellista hankkeen onnistumisen kannalta. Liikenneviraston Tie- ja ratahankkeiden inframalliohjeessa (2017: 9) todetaan tehokkaan tiedonhallinnan käsittävän seuraavat asiat:

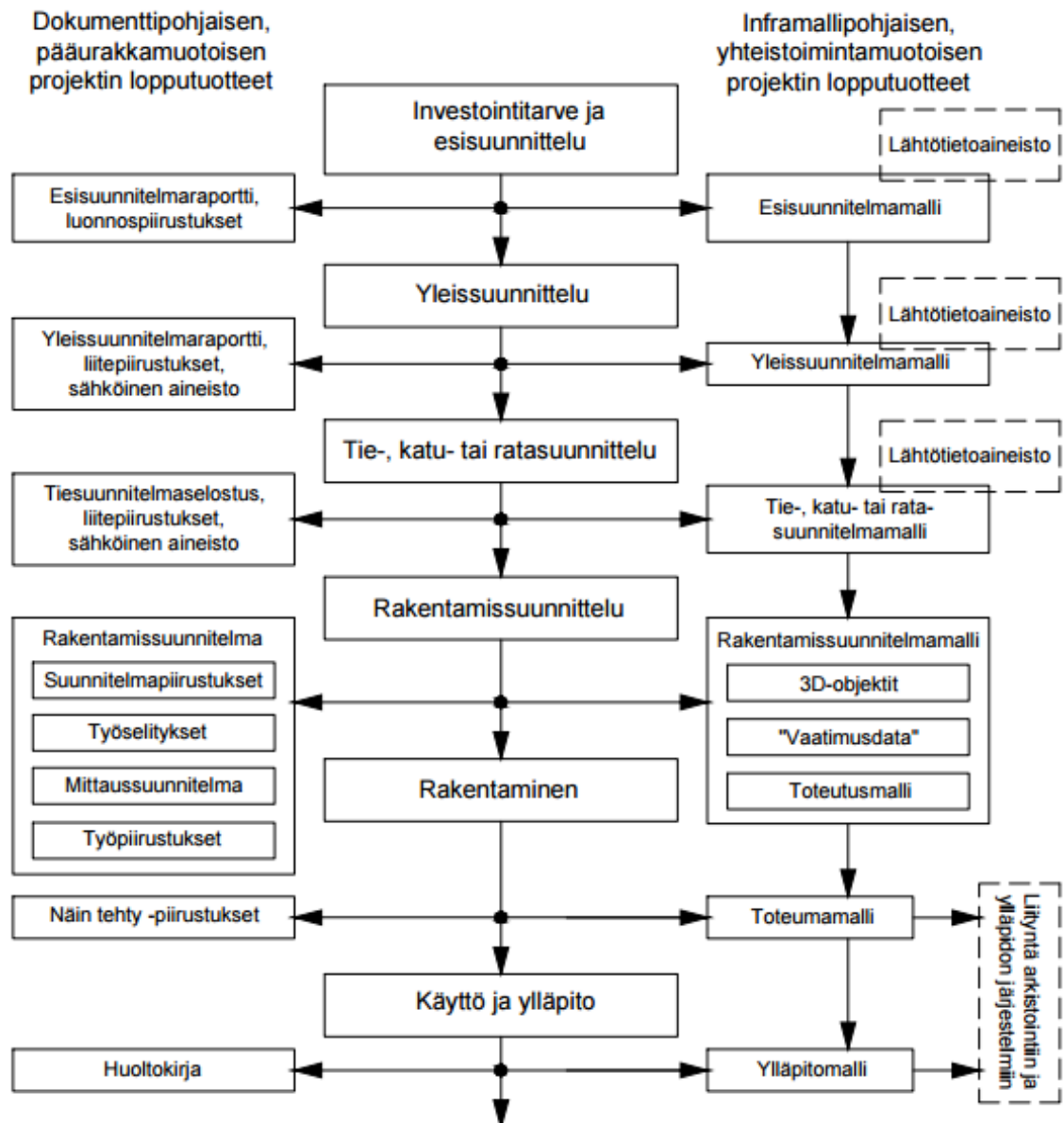
- Kaikki ymmärtävät tiedon samalla tavalla.
- Tieto on jäsennelty yhteisesti sovitulla tavalla.
- Tietoa hallinnoidaan yhteisesti sovitussa paikassa.
- Tieto on sujuvasti hyödynnettävissä sekä muokattavissa eri osapuolten tarpeisiin.

Tietomallilla tarkoitetaan ominaisuustietoa sisältävää kolmiulotteista mallia, jota voidaan hyödyntää hankkeen eri vaiheissa ja eri osapuolten kesken. Tietomallista käytetään englanninkielistä lyhennettä BIM (*Building Information Model*), joka tarkoittaa suomeksi rakennuksen tietomallia. Infra-alan tietomalleista on kuitenkin syytä käyttää tarkentavaa määrettä, infraBIM. Nimitys viittaa inframalleihin ja inframallintamiseen tietomallien ja tietomallintamisen sijaan.

Mallipohjaisen hankkeen toteuttamiseen liittyy erilaisia ohjeita ja vaatimuksia, joita on pyrittävä noudattamaan yleisen laadun ja yhteisten "pelisääntöjen" takaamiseksi, samoin kuin Inframallintamisen elinkaariajattelua. Väylävirasto on sitoutunut kehittämään rakennetun ympäristön tiedonhallinnan standardisointia ja pyrkii omilla toimillaan saavuttamaan tieto(infra)mallinnuksen tuomat hyödyt (Kotiranta 2020: 5). Mallipohjaiseen hankkeeseen kuuluu useita mallinnukseen liittyviä tehtäviä ja rooleja. Ohjaus ja koordinointi korostuvat isoissa infrahankkeissa, joissa on paljon toimijoita ja tekniikkalajeja, mutta pienemmissä hankkeissa roolit voivat sulautua ja sisältyä muihin suunnittelutehtäviin. Yleisissä inframallivaatimuksissa (YIV 2021: 21) esitetään mallintamisen päätehtäviksi

- ohjaus ja koordinointi
- lähtöaineiston hankinta ja harmonisointi
- suunnittelu ja tekniikkalajien yhteensovitus
- vuorovaikutus ja yhteistyö
- laadunvarmistus
- rakentaminen.

Perinteisessä dokumenttipohjaisesti toteutettavassa hankkeessa syntyy paljon piirustuksia, raportteja ja muita asiakirjoja, joihin sisällytetään erinäistä hankkeeseen liittyvää yksityiskohtaista tietoa. Hajanaisista lopputuotteista voi kuitenkin kadota hankkeen elinkaaren aikana monenlaista tietoa, joka saattaa myöhemmin vaatia uudelleensuunnittelua. Myös väärintulkinnat, suunnitteluvirheet sekä epätarkat määrä- ja kustannuslaskelmat ovat dokumenttipohjaisessa hankkeessa paljon yleisempiä kustannuksia nostattavia tekijöitä verrattuna mallipohjaiseen hankkeeseen. Mallipohjaisessa suunnittelussa kaikilla osapuolilla on hyvät ja ajantasaiset tiedot muiden osapuolien toimista hankkeen eri vaiheissa. Kolmiulotteiset mallit ja niihin sisällytetyt ominaistiedot ovat myös visuaalisesti helpommin ymmärrettävissä verrattuna perinteisiin kaksiulotteisiin suunnitelmiin ja niihin liitettyihin tietoihin. Kuvassa 8 on esitetty infrahankkeen päävaiheet ja niihin liittyviä perinteisiä dokumenttipohjaisia lopputuotteita. Vastaavasti kuvassa 8 on esitetty mallipohjaisen hankkeen lopputuotteita ja niihin liittyvä mallintamisen eteneminen.



Kuva 8. Infrahankkeessa tuotetut aineistot hankevaiheittain. Vasemmalla puolella perinteiset dokumenttipohjaiset lopputuotteet. Oikealla puolella mallipohjaisen hankkeen lopputuotteet ja mallintamisen eteneminen. Laadittu Liikenneviraston kuvaa mukaillen (Tie- ja ratahankkeiden inframalliohje 2017: 25).

Kun väylähanke toteutetaan mallipohjaisena, liittyy mallintamiseen ja luovutusaineiston tiedonsiirtoon omat vaatimuksensa. Laadunvarmistamiseksi on pyrittävä noudattamaan Väyläviraston kulloinkin voimassa olevia inframalliohjeita ja buildingSMART Finlandin Yleisiä inframallivaatimuksia (YIV 2021) sekä Liikenneviraston Tie- ja ratahankkeiden inframalliohjetta (2017). Edellisten lisäksi laaditaan yleensä oma hankekohtainen tiedonhallintasuunnitelma, jossa voidaan

esittää vastuunjaot, laadunvarmistusprosessit, käytettävät ohjelmistot ja mallintamisen vaiheet. Oikeanlainen dokumentaatio on tärkeää mallipohjaisessa suunnittelussa, sillä sen on tarkoitus parantaa inframalliaineiston käytettävyyttä jälkikäteen. Dokumenteissa kuvataan mallien sisältöä, laatua ja lähtöaineiston metatietoja sekä muita hankkeeseen oleellisesti liittyviä asioita. Dokumentaatio on myös pakollinen osa mallipohjaisen suunnittelun luovutusaineistoa (YIV 2021: 24). Mallipohjaisessa suunnittelussa palveluntuottajan ja tilaajan on sovittava jo hankkeen alkuvaiheessa luovutusaineiston sisältöön liittyvät odotukset, käsittäen esimerkiksi laajuuden, tarkkuuden, tietosisällön ja formaatin. Luovutusaineistolle on asetettu YIV:ssa (2021: 106–107) vähimmäisvaatimukset, ja tämän mukaan palveluntuottajan on luovutettava tilaajalle vähintään seuraavat dokumentaatiot ja aineistot:

Dokumentaatio

- tiedonhallintasuunnitelma
- lähtöaineistoluettelo
- aineistoluettelo
- tietomalliselostus
- dokumentoitu itselle luovutus (sis. dokumentoitu tarkastus).

Aineistot

- geometrialinjat
- ylimmän yhdistelmäpinnan ja väylärakenteen alapinnan yhteensopivina kokonaisuuksina
- kuivatus (sisältäen vesihuollon rakenteet)
- lähtötietoaineisto (raaka-aine ja lähtötieto).

Suunnitteluprosessi etenee alkuvaiheen yleispiirteisestä tarkastelusta kohti yksityiskohtaista toteutussuunnittelua. Inframallintamisen tavoitteena on, että oleelliset tiedot kulkevat läpi koko hankkeen elinkaaren ajan ja eri osapuolten välillä. Siirryttäessä suunnitteluvaiheesta toiseen on edellisen vaiheen aineiston tarkoitus tukea seuraavan vaiheen suunnittelua ja siihen liittyvää hankintaa. Tietomalliselostuksessa kuvataan inframallin ja sen osamallien tilannetta infrahankkeen elinkaareissa seuraavaa vaihetta varten.

Kun isoja Väylähankkeita lähdetään viemään eteenpäin, tarvitaan runsas määrä erilaista lähtötietoaineistoa, niin olemassa olevaa, kuin täydentävien tutkimusten kautta hankittua. Lähtötietoaineistot ovat tärkeä osa väylähankkeiden inframallinnusta, ja ne liittyvät myös oleellisesti kalliorakennuskohteisiin, sillä niihin sisällytetään tiedot maa- ja kallioperästä. Lähtötietoaineistoja päivitetään hankkeen eri vaiheissa, ja niiden on tarkoitus tukea aina seuraavaa suunnitteluvaihetta. Lähtötietoaineistoon liittyvät mallit palvelevat suunnitelmamallien laatimista, mutta ne pidetään toisistaan erillään (kuva 8), sillä lähtötietoaineisto sisältää nimensä mukaisesti vain kyseisen vaiheen lähtötiedot (Tie- ja ratahankkeiden inframalliohje 2017: 17). Eri lähteistä ja mitatuista tiedoista koostuvat lähtötiedot jäsennellään digitaaliseen muotoon, ja ne pyritään harmonisoimaan mahdollisimman hyvin suunnittelua tukevaan tallennusformaattiin (YIV 2021: 15).

Suunnitelmamallien on tarkoitus tuoda esiin suunnittelijoiden suunnitelmaratkaisut, ja ne voidaan myös tarvittaessa vaiheistaa erillisiin esi-, yleis-, tie-, katu- ja rakentamis- tai rakentamissuunnittelumalleihin (Tie- ja ratahankkeiden inframalliohje 2017: 18). Hankkeeseen kuuluvat eri tekniikkalajit tuottavat omia osamalleja, jotka yhdistettäessä keskenään ja lähtötietoaineiston kanssa muodostavat yhdistelmämallin. Tällä tavoin varmistetaan eri tekniikkalajien yhteensovitus ja toteutettavuus (YIV 2021: 16). Säännöllinen yhdistelmämallien laatiminen on osa laadunvarmistusprosessia. Rakentamissuunnitteluvaiheessa tuotetun malliaineiston tarkoitus on palvella rakentamisen hankintaa ja rakentamista, mutta sen jälkeisten hankintavaiheiden osalta malliaineisto palvelee omaisuudenhallintaa, kunnossapitoa ja mahdollisia tulevia hankkeita (Tie- ja ratahankkeiden inframalliohje 2017: 35).

Mallipohjaisen suunnittelun tiedonsiirtoon liittyy omat vaatimuksensa. Suunnittelun aikana voidaan työskennellä ohjelmistojen natiiviformaateissa, mutta tiedon tallennuksessa ja luovutuksessa on käytettävä avointa tiedonsiirtoformaattia. Infrarakenteiden osalta käytetään inframodel-sisällön ja määrittelyn mukaista LandXML-formaattia ja esimerkiksi siltojen osalta IFC (Industry Foundation Classes) -formaattia. Avomilla tiedonsiirtoformaateilla pyritään varmistamaan tiedon käytettävyys pidemmällä aikavälillä, mutta vaikka näin meneteltäisiin, YIV

(2021: 34) ohjeistaa edelleen toimittamaan mallit myös natiiviformaateissa. Tämä johtunee siitä, että kaikkea tietoa ei ole vielä mahdollista siirtää avoimen tiedonsiirtoformaatin avulla.

Mallipohjaisen luovutusaineiston tiedonsiirron vähimmäisvaatimukset on esitetty YIV:n vaatimuskorteissa (YIV 2021: liite 3.1). Eri rakennusosiin liittyvät vaatimukset vaihtelevat hankevaiheittain, ja tämä on myös otettu korteissa huomioon. Lisäksi niissä esitetään värikoodeittain ja kirjainlyhentein, onko rakennusosan mallinnusvaatimus pakollinen, hankekohtainen vai pidetäänkö sitä epärelevanttina, jolloin sitä ei mallinneta. Liitteeseen 1 on koottu kallioleikkauksiin liittyviä vaatimuskortteja YIV:n (2021: liite 3.1) mukaan.

Lähtötietovaatimusten osalta kalliopintamalli on pakollinen luovutusaineisto rakentamisvaiheessa, ja siitä on myös laadittava toteumamalli rakentamisvaiheen päätyttyä. Kalliopinnan toteumamalliin on sisällytettävä kalliopinta myös ennen louhintaa (liite 1).

Kallioleikkausten mallit katsotaan pakolliseksi luovutusaineistoksi jo hanke- ja yleissuunnitteluvaiheessa, mikäli ne sijaitsevat rakennetussa ympäristössä. Kallioleikkaukset mallinnetaan teoreettisena louhintapintana kaikissa hankevaiheissa, mutta toteumamalleissa esitetään määrälaskennassa käytettävä pinta. Ratahankkeissa mallinnetaan louhittu ja puhdistettu kalliopinta erillisenä pintana ja näin voidaan menetellä myös muissa väylähankkeissa, mikäli se katsotaan tarpeelliseksi (liite 1).

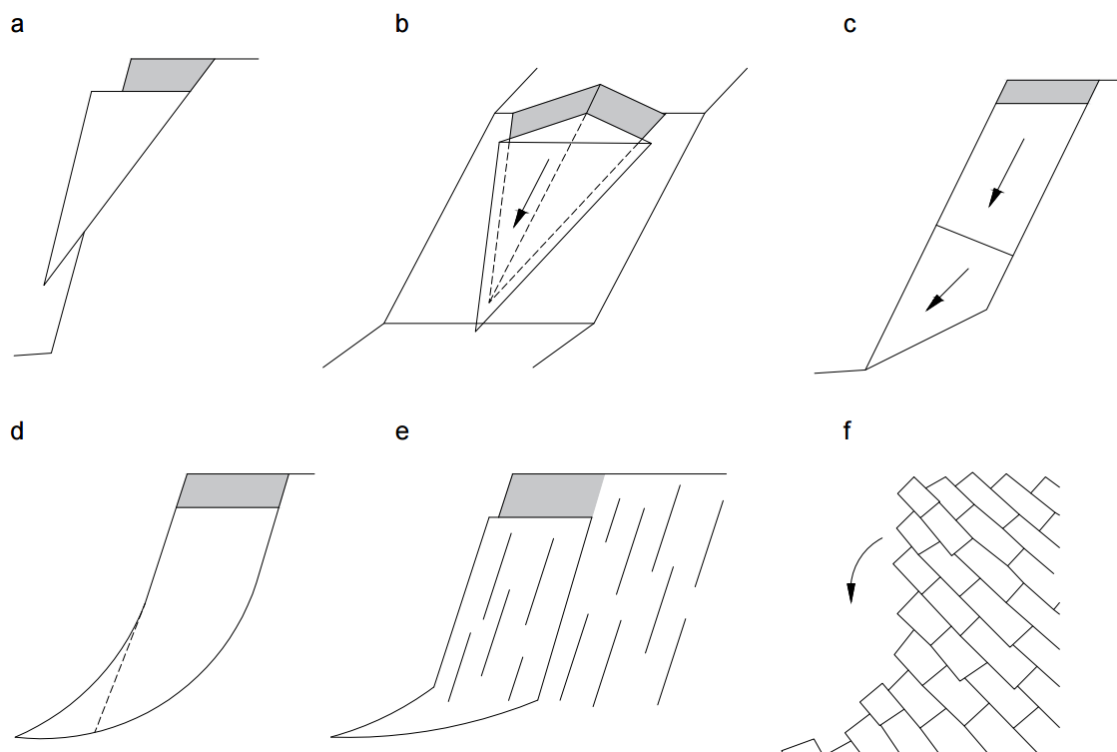
Kaikki kallioleikkausten tiivistys- ja lujitusrakenteiden mallinnusvaatimukset on merkitty YIV:hen (2021) hankekohtaisiksi (liite 1), jolloin niiden mallintamista ei välttämättä edellytetä.

Liikenneviraston Tie- ja ratahankkeiden inframalliohjeessa (2017) esitetään inframallien tarkkuusvaatimukset niin ikään värikoodeilla, kirjainlyhentein ja hankevaihekohtaisesti. Tarkkuusvaatimukset on koottu liitteeseen 2.

2.6 Työnaikainen suunnittelu

Tiepenkereiden ja -leikkausten suunnittelu (2010: 92–105) -ohjeessa käydään läpi lähtötietojen hankintaa ja suunnittelun perusteita sekä niihin liittyviä menetelyitä, mutta siinä ei esitetä kallioleikkausten kallioteknistä mitoittamista tai kalliorakenteiden lujitussuunnittelua. Ohjeessa otetaan kantaa muun muassa kallioleikkausten louhinnan ja geometrian suunnitteluun sekä kallion rakennettavuuden arviointiin erilaisin tutkimusmenetelmin. Ohjetta voidaan kuitenkin soveltaa myös työnaikaisten tutkimusten suunnitteluun. Mikäli kallioleikkaukseen liittyvät työt on ehditty jo aloittamaan ennen toteutusvaiheen suunnittelun loppuunsaattamista, on työmaalla järjestettävä katselmus, jonka perusteella päätetään mahdollisista jatkotutkimuksista ja saatetaan suunnitelmat loppuun (Tiepenkereiden ja -leikkausten suunnittelu 2010: 105).

Kallioleikkaukset ovat yleensä rakoilun ja epäjatkuvuuspintojen rikkomia, minkä johdosta niissä esiintyy erikokoisia lohkareita ja kiviä. Näin ollen kallioleikkausten stabiliteetti on pitkälti riippuvainen rakoilun ja epäjatkuvuuspintojen leikkauslujuuksista. Lohkareiden ja kivien irtoaminen on monimutkainen liikesarja, johon liittyy usein liukumista ja kaatumista. Irrottuaan, liikkeeseen liittyy myös pyörimistä, vapaata pudotusta ja erinäistä kimpoilua. (Tiepenkereiden ja -leikkausten suunnittelu 2010: 94) Kuvassa 9 on esitetty kallioleikkauksen yleisimpiä murtumismekanismeja, joista (a–c) ovat siirrosmurtumia, (d–e) pyörähdysmurtumia ja (f) lohkareiden irtoaminen. Liikenneviraston ohjeessa (Tien geotekninen suunnittelu 2012: 23) todetaan, että kallioleikkausten stabiliteetti arvioidaan kohdekohtaisesti ja laskelmien avulla, ellei sitä voida yksiselitteisesti osoittaa riittävän stabiiliksi. Ohjeessa korostetaan myös stabiliteettitarkastelun tärkeyttä silloin, kun kallioleikkauksessa esiintyy voimakasta rikkonaisuutta tai epäedullisia rako-suuntia suhteessa väylän linjaukseen. Kallioraoissa esiintyviin rakotäytteisiin on myös kiinnitettävä huomiota, sillä ne vähentävät kitkaa rakopinnoilla ja vähentävät siten kallioleikkauksen stabiliteettia. Samoista syistä ja tapauskohtaisesti suositellaan kallioleikkausten lujitustoimenpiteiden suunnittelua.



Kuva 9. Kallioleikkauksen murtumismekanismeja. Laadittu Richardsin (1992: 210) kuvaa ja Liikenneviraston (Tiepenkereiden ja -leikkausten suunnittelu 2010: 95) suomenkielisiä termejä mukaillen. (a) Tasomurtuma. (b) Kiilamurtuma. (c) Aktiivi- ja passiivikappaleen murtumat. (d) Ympyrämurtuma. (e) Valuma. (f) Lohkareiden irtoaminen.

Kallioleikkauksen stabiliteettiin vaikuttaa usein monen tekijän yhteisvaikutus, kuten aiemmin mainitut rikkonaisuus, epäedulliset rakosuunnat ja rakotäytteet, mutta näiden lisäksi vaikutusta voi olla esimerkiksi rakotiheydellä, liuskeisuudella, rapautuneisuudella, jännitystilalla, kivilajeilla, raekoolla ja mineralogialla. Ulkoisilla tekijöillä, kuten pinta- ja pohjavedellä, lämpötilan vaihteluilla, paannejään muodostumisella ja kasvillisuudella (juuret) voi olla niin ikään vaikutusta kallioleikkauksen stabiliteettiin.

Rakennusgeologisilla parametreilla pyritään muodostamaan käsitys kalliorakennuskohteen kalliolaadusta. Suomessa yleisesti käytössä oleva RG-luokitus (rakennusgeologinen luokitus) on Valtion teknillisen tutkimuskeskuksen (VTT) kehittämä, ja se on luotu Suomen geologisiin olosuhteisiin sopivaksi rakennustekniikkaa silmällä pitäen (Korhonen ym. 1974: 3). RG-luokituksen avulla muodostetaan käsitys kalliolaadusta erilaisten kivilaatu- ja kalliorakoiluparametrien

avulla. Kalliolaatuparametrit ja niihin liittyvät kivilaatu- ja kalliorakoiluparametrit on esitetty tiivistetysti liitteessä 3. Liikenneviraston ohjeessa (Tiepenkereiden ja -leikkausten suunnittelu 2010: 96–97) todetaan, että kalliolaatututkimukset dokumentoidaan käyttäen RG-luokituksen parametreja ja että tutkimukset voidaan jakaa neljään vaativuuskategoriaan:

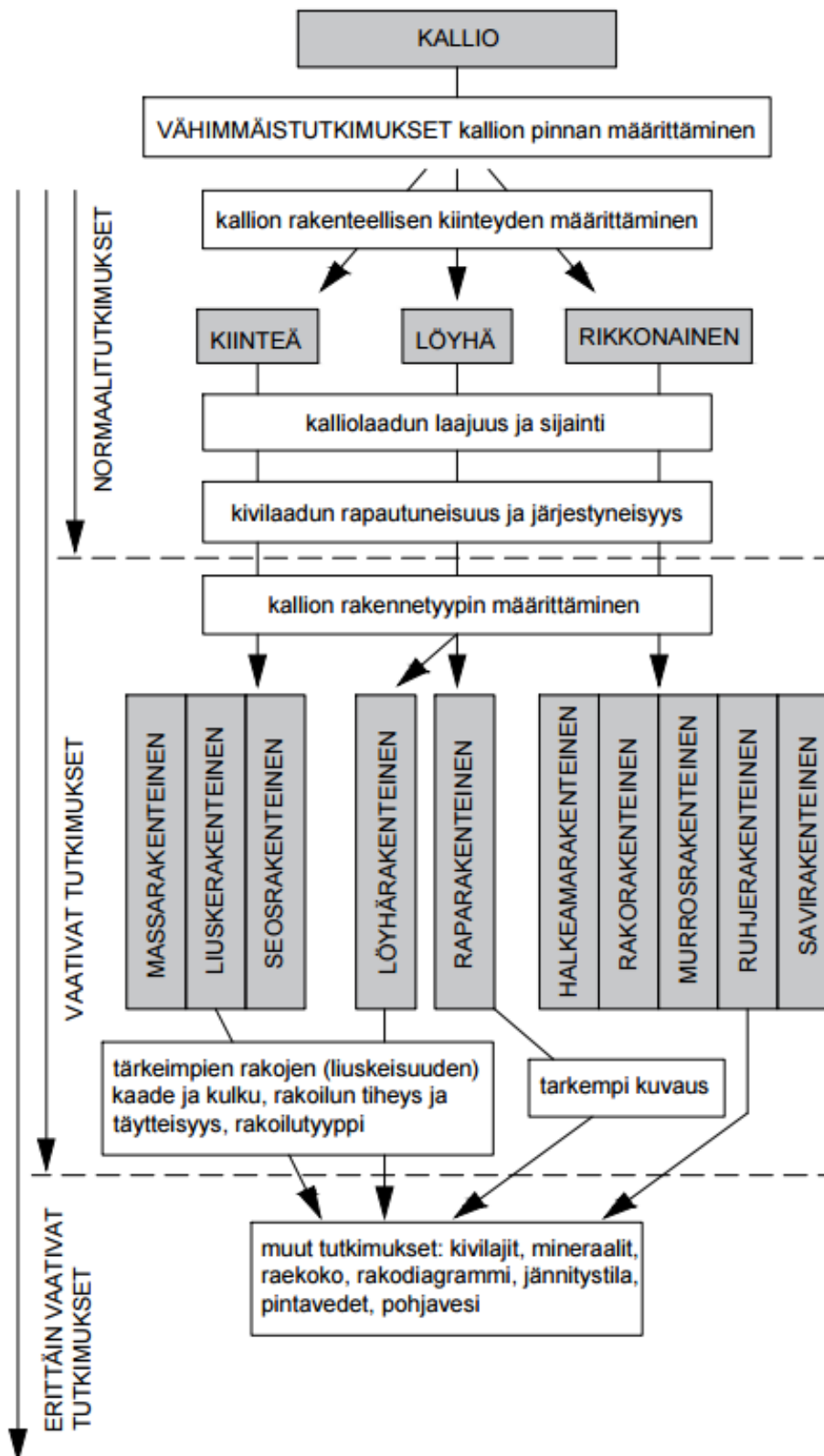
- vähimmäistutkimukset
- normaalitutkimukset
- vaativat tutkimukset
- erittäin vaativat tutkimukset.

Yllä olevat vaatimuskategoriat ja niihin liittyvät RG-kartoitusparametrit sekä muut vaadittavat tutkimukset on esitetty kuvassa 10. Vähimmäistutkimusten osalta riittää yleensä vain kalliopinnan määrittäminen, mutta tämä edellyttää, että kallioleikkauskohde on merkitykseltään vähäinen ja rakentamisolosuhteet ovat suhteellisen helpot.

Normaalitutkimuksiin kuuluvien geologisten piirteiden määrittäminen tehdään silloin, kun kallioleikkauskohde on tavanomainen, eivätkä olosuhteet poikkea normaalista. Tällöin voidaan määrittää vähimmäistutkimusten lisäksi kallion rakenteellinen kiinteys ja kunkin laatualueen laajuus ja sijainti. Lisäksi voidaan määrittää kivilaadun rapautuneisuus ja järjestyneisyys.

Vaativissa tutkimuksissa määritetään edellisten tutkimusten lisäksi kallion rakennetyyppi, tärkeimpien kalliorakojen orientaatiot, tiheys ja täytteisyys sekä rakoilutyyppi.

Rakosuunta-analyysin laatiminen kuuluu erittäin vaativiin tutkimuksiin, mutta sen voisi melkein sisällyttää jo aiempiin tutkimuksiin tarpeen mukaan. Kivilajimäärityksen kautta selviää yleensä myös päämineraalit, sillä useimmiten kivilajit tunnistetaan mineralogian ja tekstuurin avulla (joitain mineraaleja voi olla syytä tunnistaa erikseen). Pinta- ja pohjavesiselvitykset voivat olla tärkeitä joillain kohteilla, mutta jännitystilaa tutkitaan harvemmin kallioleikkausten yhteydessä.



Kuva 10. Tutkimusten eteneminen kallioleikkauskohteissa. Valkoiset laatikot ovat tutkittavia ominaisuuksia ja harmaat laatikot rakennusgeologisia kalliolaatu-luokkia. Laadittu Liikenneviraston kuvaa mukaillen (Tiepenkereiden ja -leikkaus-ten suunnittelu 2010: 98).

Toinen laajasti käytössä oleva luokitus, tai oikeastaan kalliolaatuluokitusjärjestelmä, on Norjan geoteknillisen instituutin (NGI) kehittämä Q-luokitus. Sen avulla voidaan kuvata kalliota logaritmisilla numeerisilla arvoilla (asteikolla 0,001–1000) ja niitä vastaavilla laadullisilla termeillä. Kalliolaatua kuvaava Q-luku lasketaan NGI:n käsikirjan (Using the Q-system, rock mass classification and support design 2015) mukaan kuuden parametrin avulla käyttäen seuraavaa kaavaa:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$$

- RQD on rakoilun tiheyttä kuvaava luku
- J_n on rakosuuntien lukumäärätekijä
- J_r on rakopintojen karkeusluku
- J_a on rakopintojen muuttuneisuusluku
- J_w on rakojen vedenläpäisevyysluku
- SRF on jännitystilaluku.

Yllä olevat parametrit tunnuslukuineen on esitetty kootusti liitteessä 4. Q-luokitusta käytetään usein maanalaisten tilojen kalliolaadun määrittämiseen ja sitä kautta myös lujitus suunnitteluun, mutta sitä voidaan soveltaa myös maanpäällisiin kalliorakennuskohteisiin ja kallionäytekairausten raportointiin (Using the Q-system, rock mass classification and support design 2015: 7). Tällöin yllä olevan kaavan kaksi viimeistä parametria, rakojen vedenläpäisevyysluku (J_w) ja jännitystilaluku (SRF) jätetään yleensä huomiotta (Using the Q-system, rock mass classification and support design 2015: 45). Laskennasta saatu tulos ilmaistaan tällöin Q' -lukuna, Q -luvun sijaan:

$$Q' = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a}$$

Kalliroleikkauksen kelpoisuuden osoittaminen tarkemittauksilla tehdään yleensä työn etenemisen mukaan. InfraRYL:n (2021 kohta 17110.5) mukaiset tarkemittausten laajuus ja laatutasot on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Kallioleikkausten tarkemittausten laatuvaatimukset. Laadittu Infra-RYL (2021: kohta 17110.5) taulukkoa ja tekstejä mukaillen.

Laatu-luokka	Mittaus-menetelmä	Soveltamis-ohje	Dokumentaatio
Luokka 1	Laserskan-naus	Erikois-luokka. Esi-merkiksi ra-kenteiden kohdat.	Kolmioverkko hankkeen koordinaa-tistossa ja korkeusjärjestelmässä, poikkileikkaukset rakenteiden koh-dalta ja vaakaleikkaukset enintään 7 metrin välein alkaen 1 metrin kor-keudesta teoreettisen louhintapoh-jan yläpuolelta. Värikartta seinämien pinnoista teoreettisesta louhinnasta poikkeavista syvyysmitoista. Tarke-mittaus tehdään louhinnan jälkeen ennen lujituksia sekä valmiista pin-nasta työn etenemisen mukaan. Kaikki louhitut kalliopinnat tarkemita-taan.
Luokka 2	Laserskan-naus tai takymetri-mittaus	Normaali-luokka raken-nuskaivan-noissa ja ra-taleikkauk-sissa.	Kolmioverkko hankkeen koordinaa-tistossa ja korkeusjärjestelmässä, poikkileikkaukset 1 metrin välein sekä vaakaleikkaukset enintään 7 metrin välein alkaen 1 metrin kor-keudesta teoreettisen louhintapoh-jan yläpuolelta. Värikartta seinämien pinnoista teoreettisesta louhinnasta poikkeavista syvyysmitoista. Tarke-mittaus tehdään valmiista pinnasta työn valmistuttua. Urakoitsija var-mistaa louhinnan suunnitelmanmu-kaisuuden itsenäisesti. Kaikki louhitut seinämäpinnat tarke-mitataan.
Luokka 3	Laserskan-naus tai takymetri-mittaus	Normaali-luokka esi-merkiksi tieleikkauk-sissa. Sovit-tava hanke-kohtaisesti.	Varmistettava mittauksin, että lou-hinnasta ei jää valmiille pinnalle lou-hintatoleranssista poikkeavia ulottu-mia. Poikkileikkaukset 5 metrin vä-lein. Vaakaleikkaukset 7 metrin vä-lein alkaen 1 metri tien tasausviivan tasosta. Tarkemittaus louhinnan jäl-keen ennen lujituksia. Mahdollinen kolmioverkko toimitetaan hankkeen koordinaatistossa ja korkeusjärjestelmässä.

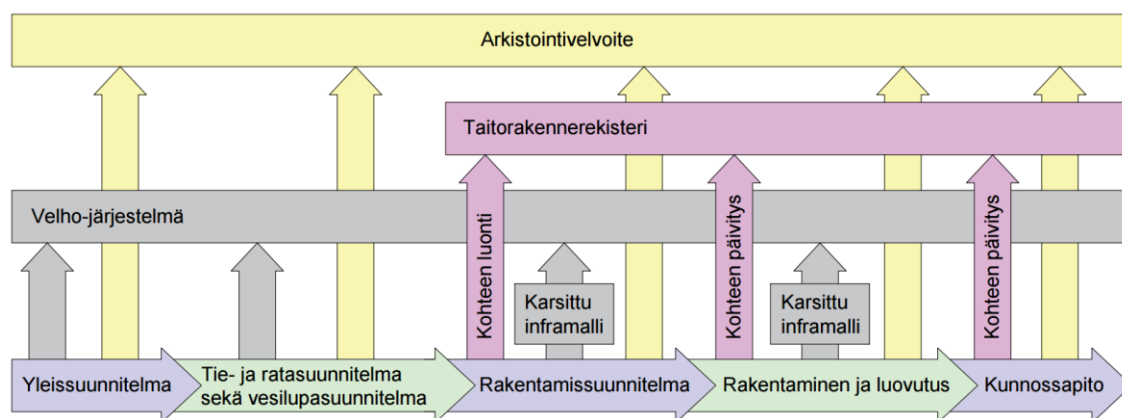
Louhintavaiheen, rakennusgeologisten kartoitusten ja mahdollisten lujitustöiden päätyttyä, tulee kallioleikkaukset vielä katselmoida ja tarkastaa, että suunnitellut toimenpiteet on toteutettu oikealla tavalla. Samalla tarkastetaan kallioleikkausten stabiliteetti ja kuivatusratkaisut. Mikäli niissä havaitaan puutteita, täytyy suunnitelmia täydentää (Tiepenkereiden ja -leikkausten suunnittelu 2010: 105).

2.7 Kallioleikkaukset osana omaisuudenhallintaa

Kansainvälisessä standardissa (SFS-ISO 55000: 2014) esitetään yleiskuvaus omaisuudenhallinnasta ja omaisuudenhallintajärjestelmästä. Siinä tuodaan myös esiin omaisuudenhallintajärjestelmän vaatimukset (SFS-ISO 55001: 2014) ja kyseisen standardin soveltamisohje (SFS-ISO 55002: 2018). Omaisuudenhallinnalla tarkoitetaan organisaation koordinoitua toimintaa, jolla hyödynnetään sille kuuluvan omaisuuden arvoa. Omaisuudenhallinnan avulla pyritään siten tasapainottamaan omaisuuteen liittyvää taloutta, ympäristöä ja yhteiskuntaa koskevia kustannuksia, riskejä, palvelun tasoa ja suorituskykyä. (SFS-ISO 55000: 2014). Liikenneviraston ohjeessa (Tie- ja ratahankkeiden inframalliohjeessa 2017: 23) todetaan infraomaisuuden hallinnan olevan systemaattinen prosessi, jonka toimilla organisaatio huolehtii optimaalisesti ja kestävästi omistamastaan infrastruktuurista koko sen elinkaaren ajan myös pitkäaikaistavoitteet huomioon.

2.7.1 Tiedonsiirron nykytila

Taitorakenteisiin liittyvää aineistoa syntyy hankkeen eri vaiheissa, ja kun suunnittelu- ja rakentamisvaiheet päättyvät, siirrytään luovutuksen kautta kunnossapitovaiheeseen. Silloin on olennaista tietää, mitä omistetaan, minkälaisia toimenpiteitä rakenteisiin mahdollisesti kohdistetaan ja milloin ne tulisi toteuttaa. Omaisuudenhallinnan ideaalitilanteessa suunnitelma- ja toteumatiedot (esim. inframallit) viedään hankkeen elinkaaren aikana Väyläviraston ja ELY-keskusten Velho-järjestelmään (kuva 11). Toteutus- ja kunnossapitovaiheessa viedään yksityiskohtaisempaa rakenteisiin liittyvää tietosisältöä Väyläviraston hallinnoimaan taitorakennerekisteriin (kuva 11).



Kuva 11. Taitorakenteisiin liittyvän suunnitelma-aineiston kulku eri hankevaiheista omaisuudenhallintajärjestelmiin. Laadittu Väyläviraston kuvaa mukaillen (Taitorakenteiden dokumenttien hallinta Velho-järjestelmässä 2021:8).

On kuitenkin tärkeää ymmärtää hankkeessa syntyvän aineiston tietoturvallisuuden liittyvät tekijät. Esimerkiksi Velho-järjestelmään ei viedä lainkaan turvallisuusluokiteltua aineistoa, sillä järjestelmä on julkinen.

2.7.2 Velho-järjestelmä

Velhojärjestelmä on allianssimallilla kehitettävä tietojärjestelmä, johon kuuluu kaksi pääkokonaisuutta. Nykyinen tiestötietojärjestelmä (entinen tierekisteri) sekä eri väylämuotojen suunnitelma- ja toteumatietovarasto. Tiestötietojärjestelmää kutsutaan Tievelhoksi ja suunnitelma- ja toteumatietovarastoa Projektivelhoksi. Projektivelhoon viedään hankkeissa tuotettu (julkinen) tieto, esimerkiksi suunnitelmadokumentit, inframalliaineistot, kartta-aineistot, mittausdata ja valokuvat (Velho kokoaa suunnitelma- ja toteuma-aineistot sekä tiestötiedot yhteen järjestelmään 2020). Velhojärjestelmän kehitystyö on tätä kirjoitettaessa vielä kesken ja uudistuksista tiedotetaan yleensä järjestelmän kotisivuilla. Tietosisältöä ja integraatiota muihin järjestelmiin (esim. taitorakennerekisteriin) kehitetään edelleen.

Projektivelhoon viedään tietoa hankkeen elinkaaren eri vaiheissa lähtötietoa-ineistosta luovutusaineistoon. Järjestelmään viedään palveluntuottajan aineistoa, joka on käynyt läpi itselle luovutusprosessin ja joka on tilaajan hyväksymää

eikä ole tietoturvaluokiteltua. Tiedon kokoamisella yhteen paikkaan pyritään säästämään aikaa ja resursseja. Projektivelhossa on myös mahdollista tarkastella inframalleja sitä varten kehitetyllä infraBIM-työkalulla. Aineiston toimittamisesta järjestelmään sovitaan hankkeen alussa tiedonhallintasuunnitelmassa. Kyseessä ei kuitenkaan ole mikään projektipankki, vaan aineistoa viedään järjestelmään ”pistemäisesti” ennakkoon sovittuina ajankohtina. (Johdanto Projektivelhoon 2020)

2.7.3 Taitorakennerekisteri

Taitorakennerekisteri (TRES) on Väyläviraston, kuntien ja kaupunkien omistamien taitorakenteiden omaisuudenhallintajärjestelmä, joka sisältää hallinnollisten ja rakenteellisten tietojen lisäksi muun muassa vaurio- ja kuntotietoa taitorakenteista. TRES:n pääkäyttäjät ovat Väyläviraston, ELY-keskusten ja kuntien asiantuntijat sekä erilaiset palveluntuottajat (esim. konsultit ja urakoitsijat). Käyttöoikeuksia järjestelmään myöntää Väylävirasto, mutta tietojen ylläpito ja muokkaaminen edellyttävät rakenneluokakohtaisten (tunnelit, sillat ja vesirakenteet) pätevyyskoulutusten suorittamista. Muokkaajapätevyyksillä voidaan muokata taitorakennetietoja TRES:ssä, mutta tarkastajapätevyyksillä voidaan tehdä varsinaisia rakenteiden kuntotarkastuksia. (Taitorakennerekisteri 2022 & Rakenteiden suunnittelijat ja tarkastajat 2022). Taulukossa 5 on esitetty TRES-pätevyyksiä vastaavat rakenneluokat. Kallioleikkaukset kuuluvat tunnelipätevyyksien piiriin.

Uudiskohteissa ja kokonaan uusittavissa taitorakenteissa suunnittelija perustaa TRES:iin uuden rakenteen, syöttää perustiedot ja laatii rakennekuvauksen ennen rakentamissuunnitelman hyväksymistä ja ennen suunnitelmien toimittamista tarkastukseen. Rakentamissuunnitelmaa ei hyväksytä ennen kuin kyseisen rakenteen tietosisältö on raportoitu oikein laadituksi. Myöhemmin, rakentamisvaiheessa, täydennetään rakenteen tietoja urakoitsijan toimittamilla totematiedoilla. Sijaintitiedot tallennetaan TRES:iin tasokoordinaatistossa ETRS-TM35FIN ja korkeusjärjestelmässä N2000. (Taitorakenteiden tiedonkäsittely 2018: 11–16)

Taulukko 5. TREX-pätevyyksiin liitetty taitorakenteiden rakenneluokat. Laadittu Väyläviraston taulukkoa mukaillen (Rakenteiden suunnittelijat ja tarkastajat 2022).

TREX-Pätevyys Rakenneluokka	Sillat: muokkaaaja ja tarkastaja	Tunnelit: muokkaaaja ja tarkastaja	Vesirakenteet: muokkaaaja ja tarkastaja
Silta	x		
Rumpu	x		
Paalulaatta	x		
Melueste	x		
Tukimuuri	x	x	x*
Kaukalo	x	x	
Tunneli		x	
Kansirakenne		x	
Kallioleikkaus		x	
Merimerkki			x
Laituri			x
Vesiväyläjohte			x
Sulku			x
Rantamuuri			x
Pato			x

* Tien tai rautatien liikennealueella oltava silta- tai tunnelitarkastajan pätevyys.

Taitorakenteille tehdään ensimmäinen yleistarkastus väylän käyttöönoton yhteydessä, ja se tulee tehdä puolen vuoden sisällä rakenteen valmistumisesta. Tämän jälkeen taitorakenteiden kuntoa seurataan tarkastusten avulla säännöllisin väliajoin, jolloin varmistetaan rakenteiden turvallisuus ja voidaan paremmin määrittää mahdolliset korjaustoimenpiteet ja seuraavat tarkastusajankohdat. Tarkastusten yhteydessä TREX:iin kirjataan taitorakenteiden sen hetkiset vaurio- ja kuntotiedot, mutta sieltä voidaan nähdä myös taitorakenteen elinkaaren

aiemmat tapahtumat. Järjestelmässä on muutakin hyödyllistä tietosisältöä, esimerkiksi karttapohjaisen käyttöliittymän sekä hakutoimintojen avulla käyttäjän on helppo navigoida eri taitorakenteiden välillä ja suodattaa niitä haluamallaan tavalla. Pääpiirteissään TREX:n tietosisältöä voidaan kuvata seuraavanlaisesti:

Taitorakenteiden perustiedot

- omistajuus ja kunnossapito
- sijaintitiedot ja geometriat
- väylätiedot
- dokumentit, esim. suunnitelmapiirustukset.

Rakenteen kuvaus

- rakenneosat

Taitorakenteiden kunnon seuranta

- tarkastukset kunnon seurannan välineenä
- elinkaaritapahtumat.

Toimenpiteiden ohjelmointi

- omaisuuden ylläpitämiseksi tarvittavat toimenpiteet
- toiminnallisuus.

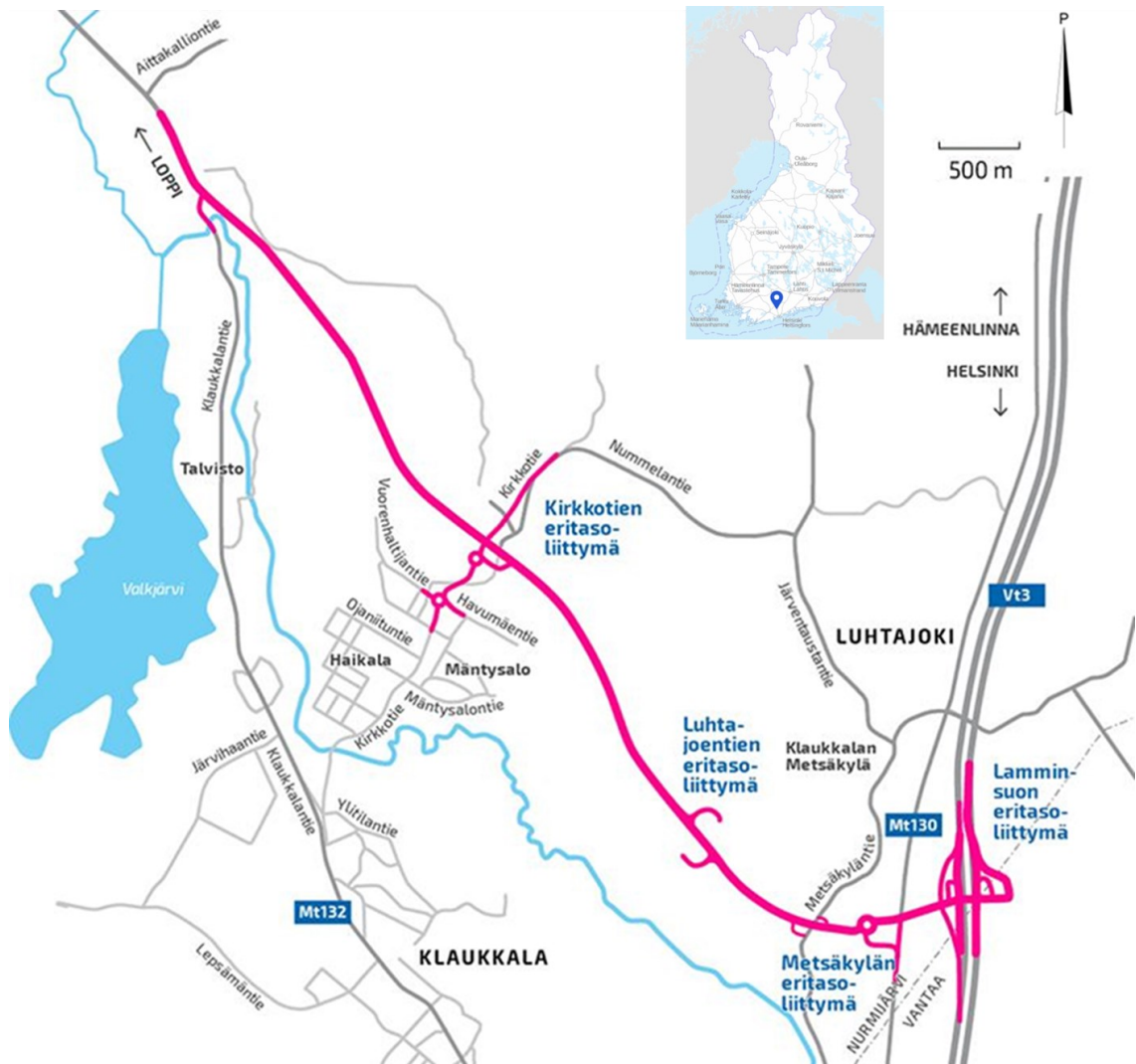
Vaikka TREX:n käyttö on jossain määrin rajoitettua, on Väyläviraston tavoitteena tarjota tieverkon, rautateiden ja vesiväylien tietoja avoimesti kansalaisten, yhteiskunnan ja erilaisten toimijoiden käyttöön. Avointa dataa voidaan hyödyntää Väyläviraston lataus- ja katselupalvelun kautta, jossa aineistoja on saatavilla tiedostolatauspalveluna ja rajapintapalveluna. Aineistot päivitetään viikoittain eri lähdejärjestelmistä, TREX mukaan lukien. (Väyläviraston avoin data 2022 & Väyläviraston avoimet rajapinnat 2022) Toistaiseksi kallioleikkauksiin liittyvää dataa ei ole viety TREX:stä avoimeen lataus- ja katselupalveluun, mutta esimerkiksi tunneleista, silloista, laitureista, rautatierummuista ja kanavasuluista löytyy järjestelmässä tietoa. TREX otettiin käyttöön vuonna 2017 ja kallioleikkauksiin liittyvää tietoa alettiin siirtämään järjestelmään vasta vuonna 2021. Tämän johdosta niihin liittyvä tietosisältö on vielä jossain määrin kehityksen alla, kuten on myös kallioleikkausten tarkastustoiminta. Kallioleikkauksen tarkastuskäsikirjasta on tätä kirjoitettaessa ilmestynyt toistaiseksi vasta luonnosversio vuonna 2017.

3 Tarkasteltavat väylähankkeet

Tähän työhön valittiin tarkastelun kohteiksi kolme tieväylähanketta (Klaukkalan ohikulkutie Mt132, Kirri–Tikkakoski Vt4 ja Kausela–Kirismäki E18), joissa jokaisessa on taitorakenteiksi luokiteltavia kallioleikkauksia. Koska uusien toimintamallien kehittäminen on Väylävirastolle tärkeää, kunkin hankkeen urakkamuodoksi valittiin STk-malli (Suunnittele-toteuta-malli kehitysvaiheella). Tämänkaltaisessa urakkamuodossa urakoitsija ja tilaaja voivat yhteistyössä kehittää innovatiivisia ratkaisuja ja mahdollisesti löytää kustannussäästöjä hankkeelle. Kehitysvaihe kestää yleensä noin 3–6 kuukautta, jonka päätteeksi urakoitsija luovuttaa tilaajalle alustavan rakentamissuunnitelman (esimerkiksi Vt4 Kirri–Tikkakoski, urakkamuoto 2022). Tarkasteltavat tieväylähankkeet muistuttavat toisiaan monessa suhteessa, mutta erilaisten olosuhteiden ja toimijoiden myötä kukin hanke toteutettiin kallioleikkausten osalta hieman eri tavalla. Tarkasteltavia tieväylähankkeita ei käydä yksityiskohtaisesti läpi vaihe vaiheelta, vaan jokaisesta hankkeesta on pyritty nostamaan esiin erilaisia hyviä käytänteitä, haasteita ja mahdollisia epäselvyyksiä, liittyen taitorakenteiksi luokiteltavien kallioleikkausten elinkaareen.

3.1 Klaukkalan ohikulkutie Mt132

Klaukkalan taajaman kautta kulki ennen paljon läpiajoliikennettä Lopen suuntaan, mutta uuden keskustaajaman kiertävän yhteyden ansiosta liikenneolosuhteet paranivat ja samalla mahdollistettiin lähialueen maankäytön kehittyminen. Uusi Klaukkalan ohikulkutie Mt132 sijoittuu Nurmijärven kunnassa valtatie 3:n ja vanhan maantie 132:n välille (kuva 12), ja se on pituudeltaan noin 7,5 km. Hankkeeseen kuului lisäksi neljä eritasoliittymää sekä alueen jalankulku- ja pyöräilyväylien parantaminen, joiden yhteydessä parannettiin myös joukkoliikenteen pysäkkijärjestelyjä. Kalliolouhinnan osuus oli yhteensä noin 470 000 m³, joka hyödynnettiin kokonaisuudessaan tien rakentamisessa. Hanke kuului valtion korjausvelkaohjelman piiriin. (Mt132 Klaukkalan ohikulkutie 2022 & Liikenne Klaukkalan kehätielle lähes vuoden etuajassa: näin se onnistui! 2022)



Kuva 12. Klaukkalan ohikulkutie Mt132 yleiskartta. Muokattu Väyläviraston karttakuvasta (Mt 132 Klaukkalan ohikulkutie, hankkeen yleiskartta 2022).

Klaukkalan ohikulkutie valmistui noin vuoden suunniteltua aiemmin. Rakentaminen käynnistyi helmikuussa 2019, ja tie avattiin liikenteelle jo marraskuussa 2020. Alkuperäinen kustannusarvio oli 42 miljoonaa euroa, mutta lopulliseksi kustannuksiksi muodostui 33,8 miljoonaa euroa. Pääurakoitsijana toimi Kreate Oy, mutta hankkeen toteutukseen osallistui myös useita alihankkijoita ja muita yhteistyökumppaneita. Tiesuunnittelusta vastasi esimerkiksi Finnmap Infra Oy.

3.1.1 Urakkakohtaiset tuotevaatimukset

Hankkeen urakkakohtaisissa tuotevaatimuksissa esitetään hankkeen sopimuskohtaiset tekniset laatuvaatimukset, ja ne ovat noudatettavien ohjeiden kannalta pätevyysjärjestyksessä ensimmäisenä. Tuotevaatimuksissa esitetty ohjeistus jakautuu määrääviin ohjeisiin ja informatiivisiin julkaisuihin. Urakoitsija ei ole velvollinen noudattamaan informatiivisia julkaisuja, mutta niissä esitetään Väyläviraston yleisesti hyväksi katsoma tapa suunnitella ja rakentaa. Tuotevaatimusten lisäksi noudatetaan vaatimuksia, jotka on esitetty tilaajan tiesuunnitelmassa, määrätyissä suunnitteluohjeissa, yleisissä laatuvaatimuksissa ja työselityksissä sekä muissa ohjeissa. (Urakkakohtaiset tuotevaatimukset ja arvonvähennykset, Mt132 Klaukkalan ohikulkutie, STk, revisio B 2018: 6–7)

Hankkeen tuotevaatimuksissa esitetään, että kallioleikkaukset tulee suunnitella, louhia ja lujittaa siten, että ne pysyvät stabiilina eikä niistä saa irrota kiviä tai lohkareita. Kallioleikkaukset on rusnattava louhinnan etenemisen mukaan ja mahdollisten lujitusrakenteiden suunnittelukäyttöäksi on määritetty 50 vuotta. Hankkeen viisivuotisena takuuajana seurataan, irtoaako kallioleikkauksista kiviä tai lohkareita tieväylälle. Mikäli näin tapahtuu, noudatetaan tuotevaatimuksissa esitettyjä jatkotoimenpiteitä, joita ovat suojakaiteiden asentaminen, irtoaineksen pudottaminen rusnauksella tai kallioverkon asentaminen. Jos näillä toimenpiteillä ei saavuteta riittävän turvallista ratkaisua, voidaan tilaajan luvalla poistaa tielle viettävä maaluiska, jolloin irtoaines ei todennäköisesti vierä tieväylälle asti. (Urakkakohtaiset tuotevaatimukset ja arvonvähennykset, Mt132 Klaukkalan ohikulkutie, STk, revisio B 2018: 68–69)

Kallioleikkausten louhintaa koskevien rikkoutumisvyöhykkeiden osalta noudatetaan taulukossa 1 esitettyjä InfraRYL:n (2021) vaatimuksia, joskin siltapaikat on määritetty kuuluvan laatuluokkaan 1 ja heikkolaatuisen kallion alueet laatuluokkaan 2. Seinäpintojen tarkkuusvaatimusten osalta ne kuuluvat laatuluokkiin 1 ja 3 (taulukko 2). Mikäli kallioleikkaus osoittautuu epästabiiliksi, voidaan kallioluisen kaltevuutta tai muotoilua muuttaa. Mahdollisten lujitusten osalta tuotevaatimuksissa sallitaan kallioverkot ja -pultitukset, mutta niiden pitkäaikaiskestävyys

on osoitettava tilaajalle toimitettavissa suunnitelmissa. Kallioleikkausten ruiskubetonointia ei sallita. (Urakkakohtaiset tuotevaatimukset ja arvovähennykset, Mt132 Klaukkalan ohikulkutie, STk, revisio B 2018: 68)

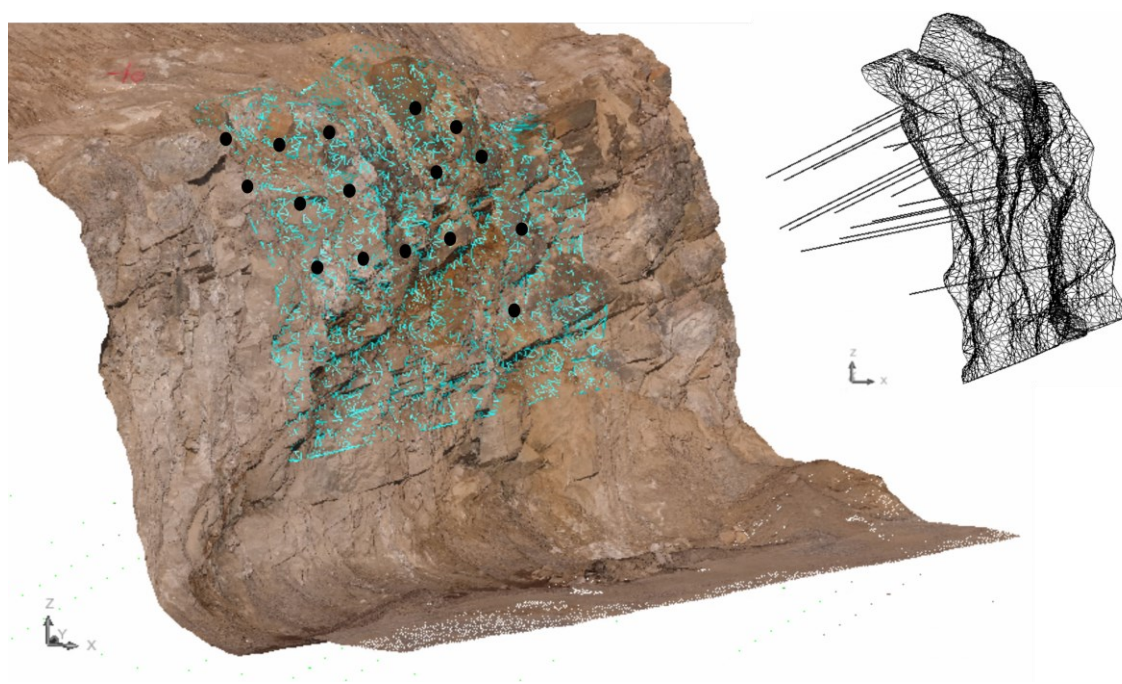
3.1.2 Mallipohjainen suunnittelu

Klaukkalan ohikulkutie Mt132:n toteutuksessa pyrittiin hyödyntämään mallipohjaista suunnittelua ja niin tapahtuikin monessa suhteessa. Inframalleihin perustuva yhteistyö tilaajan, suunnittelijan ja urakoitsijan välillä koettiin onnistuneeksi, sillä se selkeytti ja tehosti tiedonkulkua eri osapuolten välillä (Liikenne Klaukkalan kehätielle lähes vuoden etuajassa: näin se onnistui! 2022). Tuotevaatimuksissa esitetään erilaisia vaatimuksia, ohjeita, hyviä käytänteitä ja tavoitteita inframallintamisen hyödyntämiseen hankkeessa. Tuotevaatimuksissa edellytetään esimerkiksi urakoitsijalta mallintamisen laadunvarmistussuunnitelman laatimista, ja osana laadunvarmistusprosessia on urakoitsijan laadittava myös hankkeen tietomallisuunnitelma. Kyseisissä suunnitelmissa on otettava huomioon YIV 2015 (nyk. 2021) ja Väyläviraston voimassa olevat inframallinnusohjeet. (Urakkakohtaiset tuotevaatimukset ja arvovähennykset, Mt132 Klaukkalan ohikulkutie, STk, revisio B 2018: 68–69) Hankkeen tietomallisuunnitelmassa esitetään muun muassa vastuunjaot, roolit, noudatettavat mallinnusohjeet, laadunvarmistusprosessit, ohjelmistot ja mallinnusvaiheet (Kopra & Kainuvaara 2018).

Kallioleikkauksiin liittyvää mallipohjaista suunnittelua hyödynnettiin ennen kaikkea louhintaan liittyvissä asioissa ja sitä myöten louhintamassojen laskennoissa. Tässä onnistuttiin hyvin, sillä hanke pystyi hyödyntämään kaikki louhintamassat rakentamiseen pysyen niiden suhteen omavaraisena. Hankkeessa Kreate Oy:n työmaapäällikkönä toiminut Samuel Laitinen (2022) kokee mallipohjaisen suunnittelun positiivisena asiana jo pelkästään siinä mielessä, että rakennettavien rakenteiden hahmottaminen 3D-ympäristössä on visuaalisesti mielekkäämpää verrattuna perinteisiin suunnitelmiin.

Kallioleikkausten lujitussuunnitelmat laati Rockplan, ja ne perustuvat rakennusgeologisiin kartoituksiin ja kalliorakojen orientaatioihin sekä joiltain osin

tarkempiin analyttisiin menetelmiin. Olennainen osa lujitussuunnittelua oli kallioleikkausten fotogrammetristen pistepilvimallien hyödyntäminen suunnittelussa (kuva 13). Georeferoitujen pistepilvimallien avulla voitiin mallintaa esimerkiksi kalliopulttien reiät, kalliopultit ja kallioverkotukset 3D-objekteina sekä sisällyttää niihin liitteessä 1 esitetyt YIV (2021) mukaiset ominaisuustiedot. Kun pistepilvimalli on georeferoitu hankkeessa käytössä olevaan tasokoordinaatistoon ja korkeusjärjestelmään, saadaan myös 3D-objektit sidottua oikeisiin koordinaatteihin.



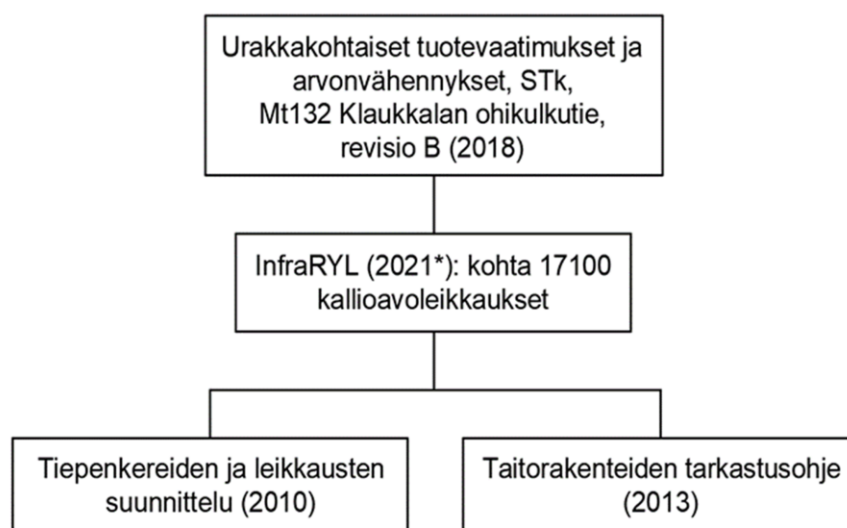
Kuva 13. Havainnekuva Klaukkalan ohikulkutie Mt132:n fotogrammetriaan perustuvasta lujitussuunnittelusta. Kallioleikkauksesta on laadittu pistepilvimalli, jonka avulla on tulkittu rakennusgeologiset olosuhteet ja suunniteltu verkotus ja lujituspulttien sijainnit (verkon kiinnityspultteja ei ole esitetty kuvassa).

3.1.3 Työnaikainen suunnittelu

Alustavat kallioleikkausten lujitussuunnitelmat tulisi toimittaa tilaajan tiedoksi ennen töiden aloitusta, mikäli se vain on mahdollista. Kallioleikkausten lopullinen lujitustarve selviää kuitenkin vasta louhintatöiden yhteydessä. Tuotevaatimusten mukaan kallioleikkausten stabiliteetti tulee tarkistaa kallioteknisen asiantuntijan toimesta louhintatöiden jälkeen, jolloin kallioleikkauksesta tehdään rakennusgeologinen kartoitus ja jonka perusteella kalliorakennesuunnittelija laatii lopulliset

lujitussuunnitelmat. Hankkeen louhinnoista vastannut työmaapäällikkö Samuel Laitinen koki hyväksi käytännöksi sen, että taitorakenteiksi luokiteltavat kallioleikkaukset kartoitettiin aina sitä mukaan, kun jonkin kallioleikkauksen louhinnat olivat valmiit. Näin ehdittiin varautumaan hyvissä ajoin mahdollisiin rusnaus- ja lujitustöihin sekä suunnitella niiden vaatimat aikataulut. (Laitinen 2022)

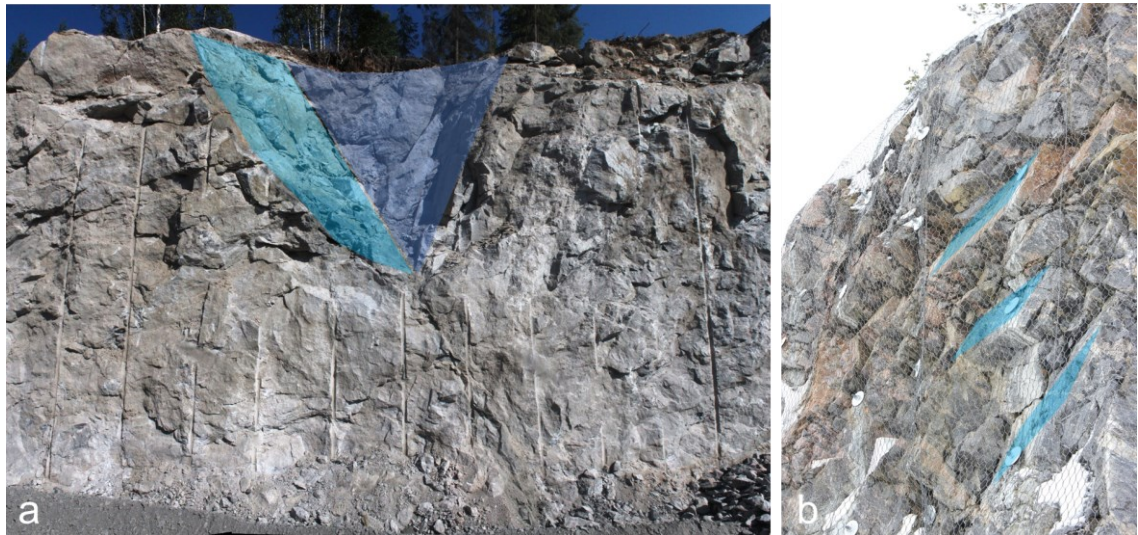
Kirjoittaja on itse toiminut tämän hankkeen rakentamisvaiheessa geologisten ja kallioteknisten osa-alueiden projektipäällikkönä sekä osallistunut kallioleikkausten stabiliteettitarkasteluihin ja lujitussuunnitelmien laadintaan. Kallioleikkausten rakennusgeologisten kartoitusten osalta hankkeessa noudatettiin urakkakohtaisissa tuotevaatimuksissa esitettyä Liikenneviraston ohjetta, Tiepenkereiden ja -leikkausten suunnittelu (2010) ja Taitorakenteiden tarkastusohjetta (2013). Vaatimus/ohjeistushierarkia on esitetty kuvassa 14.



Kuva 14. Klaukkalan ohikulkutie Mt132:n kallioleikkauskohteiden toteutussuunnittelua koskeva vaatimus/ohjeistushierarkia. * Hankkeen toteutusvaiheessa viitattu vanhempaan InfraRYL 2018 -versioon). Laadittu Tainion ja van der Weijn (2019: 3) kuvaa mukaillen.

Kalliolaatuun liittyviä tutkimuksia ei entuudestaan ollut juurikaan tarjolla, minkä lisäksi taitorakenteiksi luokiteltavat kallioleikkaukset olivat korkeutensa tai sijaintinsa johdosta haasteellisia kartoitettavia. Kivilajivaihteluiden ja liuskeisuuden poimuttumisen johdosta myös alueen päärakosuunnissa esiintyy vaihtelua.

Siksi rakojen keskinäisiä suhteita ja niiden suhdetta tieväylään oli tarkasteltava aina tapauskohtaisesti. Klaukkalan ohikulkutie Mt132:n kallioleikkauksissa esiintyy paikoin tielinjaukseen nähden epäedullisen suuntaista kiilarakoilua, ja louhintojen jälkeen havaittiin myös joitain kiilamaisia sortumia. (kuvat 9 b ja 15 a). Näiden lisäksi kallioleikkauksissa esiintyy jonkin verran tasomurtumia, jotka viettävät tieväylän suuntaan (9 a ja 15 b).



Kuva 15. Esimerkkikuvia Klaukkalan ohikulkutie Mt132:n kallioleikkausten murtumismekanismeista. (a) Kiilamurtuma, joka on aiheuttanut sortuman louhinnan jälkeen. (b) Useita samansuuntaisia tasomurtumia kallioleikkauksen yläosissa. Pienen lohkarokoon ja turvallisuuden takaamiseksi kallioleikkaus on verkotettu. Valokuvat: Jasper Tainio 2019 ja 2022.

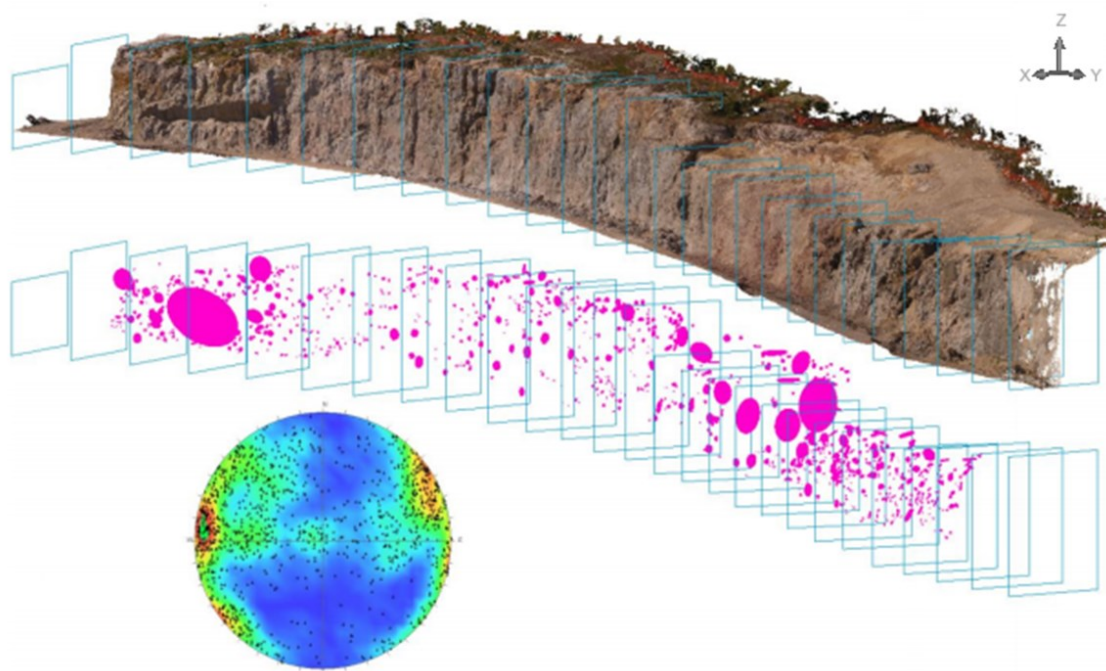
Työmaalle järjestetyn katselmuksen perusteella Rockplan laati geologisia tehtäviä ja kalliorakennesuunnittelua koskevan laatu- ja työsuunnitelman (Tainio & van der Weij 2019), jossa esitetään hankkeen rakennusgeologiset kartoitusmenetelmät, niihin liitetyt parametrit ja kalliotekninen suunnittelu sekä mallintaminen. Työnaikainen raportointi suoritettiin siten, että jokaisesta taitorakenteeksi luokiteltavasta kallioleikkauksesta laadittiin oma raporttinsa. Kallioleikkaus jaettiin intervaleihin kalliolaadun perusteella. Kun jokin kartoitettavista parametreista muuttui selvästi jossain kohtaa kallioleikkausta, aloitettiin uusi intervalli. Myös pääarakosuunnat raporttoitiin erikseen jokaiselle intervallille. Raportointi esitettiin suunnitelmamuotoisena, ja se koostui seuraavista laatu- ja työsuunnitelmassa (Tainio & van der Weij 2019: 10) esitetyistä asioista:

- raportin laatija(t) ja päivämäärä
- yhdistelmäkuva kohteesta (kohteen valokuvista tai pistepilvimallista)
- kartoitushavainnot (RG- ja Q-luokitus) mittalinjan paalulukuihin sidottuina
- mahdolliset lujitus- ja rusnaussuositukset mittalinjan paalulukuihin sidottuina
- tekniset tiedot lujitussuosituksista
- havainnekuva(t) geologisten rakenteiden 3D-mallinnuksista
- rakosuuntien stereografiset alapalloprojektiot, päärakosuunnat eriteltynä ja mittalinjan paalulukuihin sidottuina
- mahdolliset selostusosiot ja detaljikuvat.

Rakennusgeologiset kartoitusmenetelmät valittiin kohteiden vaativuuden mukaan, ja kuvassa 10 ne asettuvat vaativien ja erittäin vaativien tutkimusmenetelmien välille. Kallioleikkaukset kuvattiin miehittämättömän ilma-aluksen (UAV) avulla ja niistä laadittiin fotogrammetriset pistepilvimallit. Mallit georeferoitiin ETRS-GK24-tasokoordinaatistoon ja N2000-korkeusjärjestelmään maastoon merkittyjen ja mitattujen signaalipisteiden avulla. Kallioleikkauksista muodostettujen pistepilvimallien avulla voitiin puolestaan mallintaa kalliorakojen orientaatiot (kaade/kaateen suunta) ja esittää niistä yhteenvedot stereografisilla alapalloprojektiolla (kuva 16). Menetelmä on suhteellisen nopea, ja UAV-tekniikka mahdollistaa kallioleikkausten ylempien osien rakosuuntien kartoituksen melko vaivattomasti, samalla hoituvat myös kallioleikkauksen alemmat osat. Menetelmän avulla saadaan kattavampi otanta rakosuuntia verrattuna perinteiseen jalkaisin ja geokompassin avulla tapahtuvaan kartoitukseen. Kattavampi otanta rakosuuntia helpottaa myös tilastollista analyysia ja tulkintaa vallitsevista päärakosuunnista stabiliteettitarkastelua varten.

Kallioleikkauksista kartoitetut rakennusgeologiset parametrit ja päärakosuunnat sisällytettiin lujitussuunnitelmiin, sillä ne toimivat myös perusteluina lujitusratkaisuille. Suunnitelmat laadittiin 2D-muotoon urakoitsijan pyynnöstä ja niissä esitettiin kallioleikkausten tieväylän suuntaan näkyvä pinta. Tämä saatiin suoraan pistepilvimallista paalulukuihin sidottuna. Suunnitelmissa esitettiin 3D-mallinnuksiin perustuvat kalliopulttien ja -verkotusten sijainnit kalliopinnassa, mutta 2D-muodossa. Lujitustöitä tekevä aliurakoitsija pystyi tällä tavoin näkemään

riittävällä tarkkuudella lujitusten sijainnit. Vaihtoehtoisesti olisi voitu käyttää konehjausmalleja pulttinreikien poraamiseen ja sitä myöten pulttien/verkkojen asentamiseen. Tämä on kuitenkin riippuvaista tilaajan halukkuudesta menetelmän käyttöön ja lujitustöitä tekevän urakoitsijan laitteistosta.



Kuva 16. Fotogrammetrinen pistepilvimalli Klaukkalan ohikulkutie Mt132:n kalliroleikkauksesta. Punaiset kiekot ovat mallinnettuja rakosuuntia ja suorakulmiot mittalinjan paaluja 10 m:n välein. Alhaalla stereografinen alapalloprojektiio, josta käy ilmi kalliroleikkauksen päärakosuunnat. Laadittu Hatakan ym. 2022: 3) kuvaa mukaillen.

Kalliroleikkausten lujitukset mitoitettiin rakosuuntamallinnusten ja kalliolaatumäärityksiä (RG- ja Q-luokitus) hyväksikäyttäen. Erityisen vaativissa kohteissa hyödynnettiin analyttistä tarkastelua, jossa pyrittiin erikseen määrittämään kalliroleikkauksen kriittiset lohkarieet ja suunnitella niille optimaaliset pultitukset. Pulttien materiaalit arvioitiin lujitussuunnitelmia laadittaessa kohteen ympäristön raistusluokan ja vaaditun kestävyuden perusteella (Tainio & van der Weij 2019: 9). Kalliroleikkausten lujittamista verkotuksilla suunniteltiin silloin, kun rusnaamisella tai pultituksilla ei voitu saavuttaa riittävän stabiilia lopputulosta. Verkotusmateriaalin valinta perustui Liikenneviraston ohjeessa (Tiepenkereiden ja -leikkausten suunnittelu 2019: liite 1) esitettyihin tyyppikuvauksiin. Verkon silmäkoko

arvioitiin kohteen asettamien vaatimusten mukaan. Hankkeen ehdottomasti haasteellisimpia kohteita olivat valtatie 3:n läheisyydessä sijaitsevat noin 15–20 m korkeat kallioleikkaukset (kuva 16). Vt3:n liikennettä ei keskeytetty koko hankkeen aikana (lyhyitä räjäytystyön aikaisia pysäytyksiä lukuun ottamatta), ja se asetti haasteita louhinta-, rusnaus- ja lujitustöille. Liikenne saatiin käännettyä pohjoiseen meneville kaistoille ainoastaan yöaikaan, jolloin kallioleikkausta lähimpänä olevat kaistat saatiin työalueeksi. Ilman näitä järjestelyjä kallioleikkauksen louhinta ei olisi onnistunut Vt3:n liikenteen pysyessä auki (Laitinen 2022).

3.1.4 Omaisuudenhallinta

Tämän työn kirjoitushetkellä Klaukkalan ohikulkutie kuuluu vielä hankkeen viisivuotisen takuuajan seurantajakson piiriin. Takuu aika päättyy vuonna 2025. Toistaiseksi hankkeen taitorakenteiksi luokiteltavista kallioleikkauksista ei ole viety tietoa TREX:iin, ainoastaan hankkeen silloista on viety tietoa. Tämä saattaa selittyä sillä, että hankkeen rakentamisvaihe päättyi jo vuonna 2020 ja taitorakenteiksi luokiteltavia kallioleikkauksia alettiin viemään TREX:iin vasta vuonna 2021. Tiedusteltaessa asiaa Väylävirastolta, hankkeen projektipäällikkö Antti Koski (2022) vahvistaa aikataulukysymyksen olevan todennäköisin syy siihen, miksi kallioleikkauksia ei ole viety TREX:iin, ja että asiaa tullaan vielä selvittämään.

Mikäli hankkeesta viedään kallioleikkausten inventointitietoa TREX:iin lähivuosina, täytyy ottaa huomioon hankkeen takuuajan päättymisen vuonna 2025. Kallioleikkauksen tarkastuskäsikirjan luonnoksen (2017: 8) mukaan taitorakenteiksi luokiteltaville kallioleikkauksille on suoritettava käsikirjan mukainen hankkeesta riippumaton yleistarkastus ennen takuuajan päättymistä.

Vaikka TREX:iin ei ole viety tietoa kallioleikkauksista, niin Projektivelhon infra-BIM-ympäristöön on viety 3D-toteumatietoa näkyviksi jääneistä kalliopinnoista esimerkiksi osana ylintä yhdistelmäpintaa (xml-tiedostot). Järjestelmään on myös viety kallioinnan toteumatietoa osana hankkeen pistepilviaineistoja (laz-tiedostot, kuva 17).

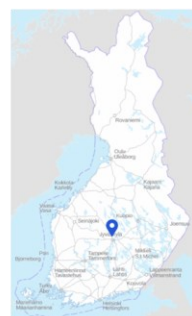
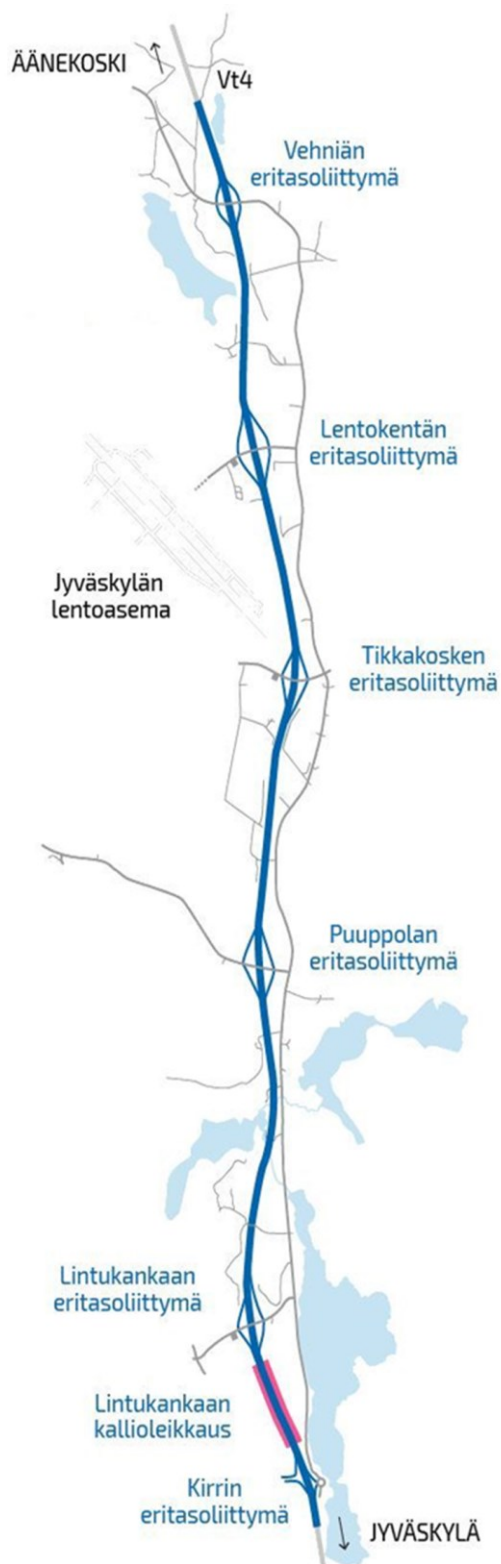


Kuva 17. Klaukkalan ohikulkutie Mt132:n pistepilvimalli Projektivelhon infraBIM-ympäristössä. Kuvassa hankkeen taitorakenteiksi luokiteltavia kallioleikkauksia.

Toteumatietojen avulla dokumentoidaan, mitä hankkeessa rakennettiin, ja täten ne toimivat lähtökohtana väylanhoidolle, kunnossapidolle ja infran hallinnalle. Projektivelhosta löytyy lisäksi erilaista rakentamisvaiheen aikaista dokumentaatiota, suunnitelmia ja 3D-malleja, joita jatkokäyttäjä voi ladata järjestelmän kautta. Projektivelhon ladattaviin aineistoihin kuuluvat myös taitorakenteiksi luokiteltavien kallioleikkausten rakennusgeologiset kartoitustiedot, lujitussuunnitelmat ja lujitussuunnittelun 3D-objektit.

3.2 Kirri–Tikkakoski Vt4

Valtatie 4 on Suomen tärkeimpiä raskaan liikenteen pääväyliä, ja liikenteen odotetaan kasvavan vielä entuudestaan tulevaisuudessa. Aiemmin tie on ruuhkautunut ajoittain ja kasvattanut moottoriajoneuvojen onnettomuusriskiä. Hankkeen tavoitteena on sujuvoittaa liikennettä Jyväskylän kunnassa, välillä Kirri–Tikkakoski ja Laukaan kunnassa Vehniän alueella (kuva 18). Uudella moottoritiellä varmistetaan raskaan liikenteen sujuvuus ja uusien liittymien, rinnakkaisväylän ja kevyen liikenteen väylien avulla parannetaan myös liikenneturvallisuutta.



Kuva 18. Kirri–Tikkakoski Vt4:n yleiskartta. Muokattu Väyläviraston karttakuvasta (Vt4 Kirri–Tikkakoski, hankkeen yleiskartta 2022).

Aivan kuten Klaukkalan ohikulkutien tapauksessa, uusi tieväylä tulee edistämään Jyväskylän ja Laukaan maankäyttöä elinkeinoelämän ja asuinrakentamisen tarpeisiin. Uutta moottoritietä rakennetaan 17 km, minkä lisäksi hankkeeseen kuuluu rinnakkaistie, useita poikittaisyhteyksiä, kevyen liikenteen väyliä ja kuusi eritasoliittymää. (Vt4 Kirri–Tikkakoski 2022) Kalliolouhinnan osuus oli kaikkiaan noin 1 500 000 m³ (Vt4 Kirri–Tikkakoski-moottoritie tuo turvallisuutta ja sujuvuutta 2022).

Kirri–Tikkakosken moottoritie avattiin liikenteelle kahdeksan kuukautta etuajassa, mutta rakennustyöt tulevat vielä jatkumaan 2022–2023. Hankkeen rahoitus saatiin Suomen valtion budjetista 2018, ja kustannusarvioiden perusteella hankkeen kokonaiskustannukset tulevat olemaan noin 141,9 miljoonaa euroa, josta Jyväskylän kaupungin osuus on 2,9 miljoonaa euroa. Pääurakoitsijana toimii Destia Oy yhteistyökumppaneineen. Väyläsuunnittelusta ja kallioteknisestä suunnittelusta vastaa A-insinöörit Oy. (Vt4 Kirri–Tikkakoski 2022 ja Vt4 Kirri–Tikkakoski-moottoritie tuo turvallisuutta ja sujuvuutta 2022)

3.2.1 Urakkakohtaiset tuotevaatimukset

Verrattuna Klaukkalan ohikulkutie Mt132:n tuotevaatimuksiin on Kirri–Tikkakoski Vt4:n tuotevaatimuksissa käsitelty kallioleikkauksia verrattain vähän. Molemmissa tuotevaatimuksissa esitetään eri tekniikkalajeihin liittyviä vaatimuksia urakkakohtaisesti, mutta siinä missä Klaukkalan ohikulkutie Mt132:n tuotevaatimuksissa esitetään vaatimukset kallioleikkausten stabiliteetista, sallituista luji-tusratkaisuista, takuuajan seurannoista ja esimerkiksi jään muodostumisesta, Kirri–Tikkakosken tuotevaatimuksissa näitä ei ole esitetty. Sen sijaan tuotevaatimuksissa viitataan ohjeeseen Tiepenkereiden ja -leikkausten suunnittelu (2010) ja todetaan sen olevan määräävä suunnitteluohje. (Urakkakohtaiset tuotevaatimukset ja arvonvähennykset, Vt4 Kirri–Tikkakoski; STk 2018) Hankkeessa aiemmin hankejohtajana toiminut, mutta nykyisin projektipäällikkönä toimiva Ari Mäkelä Väylävirastosta, toteaa tuotevaatimusten lyhyehkön kallioleikkauksia käsittelevän osion olevan tietoinen valinta. Tuotevaatimuksissa viitataan ohjeeseen Tiepenkereiden ja -leikkausten suunnittelu (2010) ja se on koettu

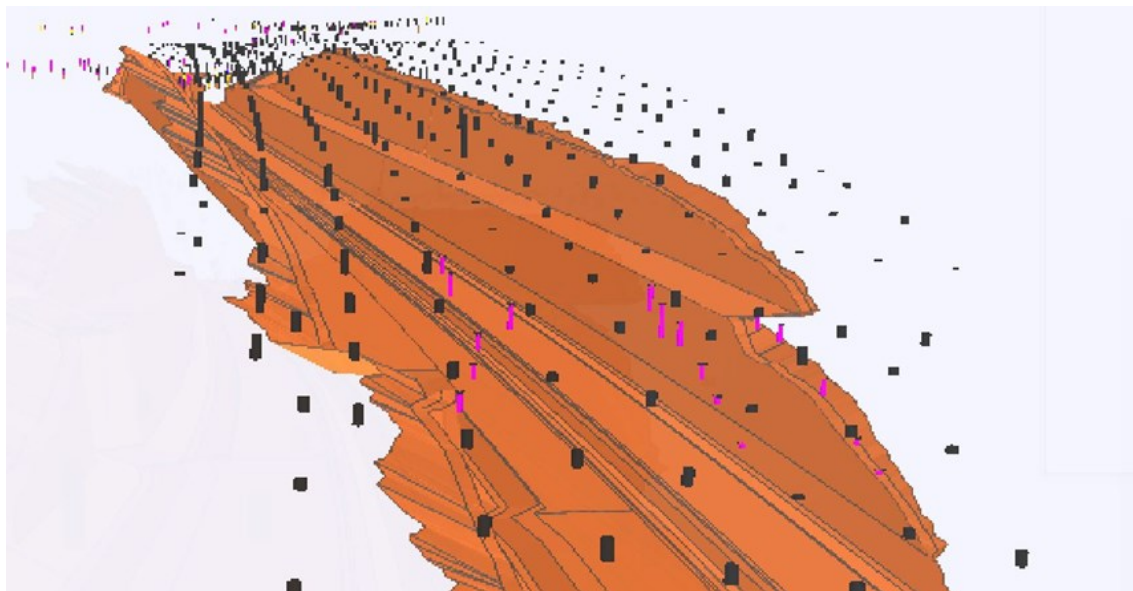
hankkeen kalliioleikkausten kannalta riittäväksi. Kokemusten mukaan tuotevaatimuksissa esitetty louhintatoleranssit ja takuuajan irtokivien ja lohcareiden seurantaan liittyvät vaatimukset voivat olla joissain tapauksissa haasteellisia noudattaa. Tässä hankkeessa tilaaja ei ole halunnut pakottaa urakoitsijaa tarpeettomaan ”ylilaatuun”, sillä louhinnat tapahtuivat taajama-alueen ulkopuolella (Mäkelä 2022).

3.2.2 Mallipohjainen suunnittelu

Hankkeessa hyödynnettiin mallipohjaista suunnittelua alusta alkaen ja esimerkiksi toteutusvaiheen tarjouspyyntöaineisto laadittiin mallipohjaiseksi. Myös kehitysvaiheessa tehty tarkastelut toteutettiin mallipohjaisesti, ja samalla korostui yhteistoiminta eri osapuolten kesken. Mallien hyödyntäminen louhinnassa on aivan keskeistä hankkeen kannalta, toteaa projektipäällikkö Ari Mäkelä (2022). Louhinnasta syntynyttä kiviainesta hyödynnettiin tieväylän tasauksiin, mutta näihin liittyvää mallintamista tehtiin jo hankkeen kehitysvaiheessa. Tien nostaminen korkeammalle tasolle paransi risteävien teiden tasausta ja sitä myöten maankäytön kehitystä ramppien läheisyydessä. Louhinnoilla voi siis olla merkittäviä epäsuoria vaikutuksia hankkeen kannalta (Mäkelä 2022). Hankkeeseen liittyi myös haasteita louhintamassojen sijainnin ja aikataulutuksen yhteensovittamisessa. Vaikka louhintamassaa olisi syntynyt hankkeen tarpeisiin, sitä jouduttiin tuomaan hankkeen ulkopuolelta. Ajan säästämällä voidaan toki saavuttaa taloudellisia etuja, mutta yleensä hankkeen ulkopuolelta tuotu louhe on selvästi kalliimpaa ja kuljetukset kasvattavat hiilijalanjälkeä (Mäkelä 2022).

Hankkeen tuotevaatimuksissa esitetty mallipohjaista suunnittelua käsittelevät kohdat ovat pitkälti samanlaiset kuin Klaukkalan ohikulkutie Mt132:n tuotevaatimuksissa. Tosin sillä erolla, että tuotevaatimukset sisältävät apuliitteen, johon on koottu inframallin hankekohtaiset tarkkuusvaatimukset. Kyseiset vaatimukset ovat käytännössä samat kuin Liikenneviraston Tie- ja ratahankkeiden inframalliohjeessa (2017: liite 1) ja tämän työn liitteessä 2 esitetty tarkkuusvaatimukset. Niissä edellytetään esimerkiksi kalliopintamallin laatimista tiesuunnitteluvaiheessa ja sitä, että pohjatutkimukset voidaan mallintaa hankekohtaisesti

sovittaessa. Tässä hankkeessa mallinnettiin myös pohjatutkimukset. Kuvassa 19 on havainnollistettu Kirrinmäen pohjatutkimukset (kalliovarmistukset) yhdessä kallioleikkausten suunnitellun ylimmän yhdistelmäpintamallin kanssa. Kuvasta 19 voidaan myös erottaa Kirrinmäen alkuperäinen topografia mallinnettujen pohjatutkimusten sijaintien perusteella.



Kuva 19. Havainnekuva Kirrinmäen mallinnetuista pohjatutkimuksista (kalliovarmistukset) ja suunnitellusta ylimmästä yhdistelmäpintamallista. Laadittu Väyläviraston inframalliaineistosta.

Kirri–Tikkakoski Vt4:n inframallin tarkkuusvaatimuksista selviää, että kallioluokituksia ei vaadita rakentamisvaiheessa mallinnettavaksi, vaan ne määritellään samaan tapaan kuin esimerkiksi pohjatutkimukset, eli hankekohtaisesti sovittaessa (Urakkakohtaiset tuotevaatimukset ja arvovähennykset, Vt4 Kirri–Tikkakoski; STk 2018: liite 8).

Hankkeissa, joissa syntyy suuret määrät louhintamassaa, on tärkeää, että ylin ja alin yhdistelmäpinta mallinnetaan vasta, kun kalliopinta on kunnolla paljastettuna. Vaikka pohjatutkimuksia tehdään kalliopinnan varmistamiseksi ja niistä saadaan hyödyllistä tietoa suunnittelulle, saattaa tulkinnoissa olla pahimmillaan metrien verran eroa todelliseen kalliopintaan. Tulkintavirheistä voi syntyä

massatalouden kannalta kriittisiä suunnitteluvirheitä, ja niistä voi aiheutua merkittäviä kustannuksia koko hankkeelle.

3.2.3 Työnaikainen suunnittelu

Hankkeeseen kuuluu kaksi korkeaa kalliomäkeä, josta tielinjaus suunniteltiin kulkevan läpi. Kuvan 18 yleiskarttaan merkitty Lintukankaan kallioleikkaus (Kirrinmäki) on korkeimmillaan noin 30 m ja noin 800 m pitkä molemmin puolin tieväylää. Alun perin tielinjauksen suunniteltiin kulkevan tällä osuudella kalliotunnelissa, mutta jo rahoitusvaiheessa todettiin avoleikkauksen olevan parempi vaihtoehto, niin massatasapainon kuin kustannusten kannalta. Kirrinmäen kallioleikkaukset louhittiin yhdellä porrastuksella (kuva 20), mutta alun perin tie-suunnitelmassa esitettiin jopa kuutta porrastusta. Toinen kallioleikkaukskohde Sakarinmäki sijaitsee Lintukankaan eritasoliittymän pohjoispuolella, ja se on korkeimmillaan noin 15 m ja 600 m pitkä molemmin puolin tieväylää. (Vt4 Kirri–Tikkakoski-moottoritiellä kallioavoleikkaukset kohoavat yli 30 metriin 2021)

Suunnittelua tukevia kalliooperätutkimuksia tehtiin hankkeessa selvästi enemmän verrattuna kahteen muuhun tässä työssä tarkasteltavaan tieväylähankkeeseen. Tämä selittyy osittain Lintukankaan tunneliinjauksen rakennettavuusselvityksillä. Vaikka tunnelia ei toteutettu, voitiin tutkimustuloksia hyödyntää arvioitaessa esimerkiksi kiviaineksen soveltuvuutta tierakenteisiin. Massatasapaino on väylähankkeiden kannalta keskeinen kustannuskysymys, toteaa Mäkelä (2022).

Hankkeen kallioteknisestä suunnittelusta vastasi A-insinöörit Oy, joka hyödynsi UAV-tekniikkaa ja fotogrammetrisia pistepilvimalleja päärakosuuntien määrittämiseen ja kalliolaadun arvioimiseen. Näihin tietoihin perustuen ja louhinnan edetessä suunniteltiin kallioleikkausten lujitukset, eli kalliopultitukset ja -verkotukset. (Vt4 Kirri–Tikkakoski-moottoritiellä kallioavoleikkaukset kohoavat yli 30 metriin 2021). Kirrinmäen kallioleikkausten rakosuunnat ovat edullisemmat läntisellä kallioleikkauksella, mutta epäedulliset idän puoleisella kallioleikkauksella. Siellä rakopinnat viettävät jyrkästi tieväylän suuntaan, muodostaen tasomurtumia, jotka heikentävät kallioleikkauksen stabiliteettia (kuva 20).



Kuva 20. Yleiskuva Kirrinmäen idänpuoleisesta kallioleikkauksesta. Detaljiku-
vassa tieväylän suuntaan viettäviä tasomurtumia ja kohteeseen asennettu kal-
lioverkotus. Valokuvat: Jasper Tainio 2022.

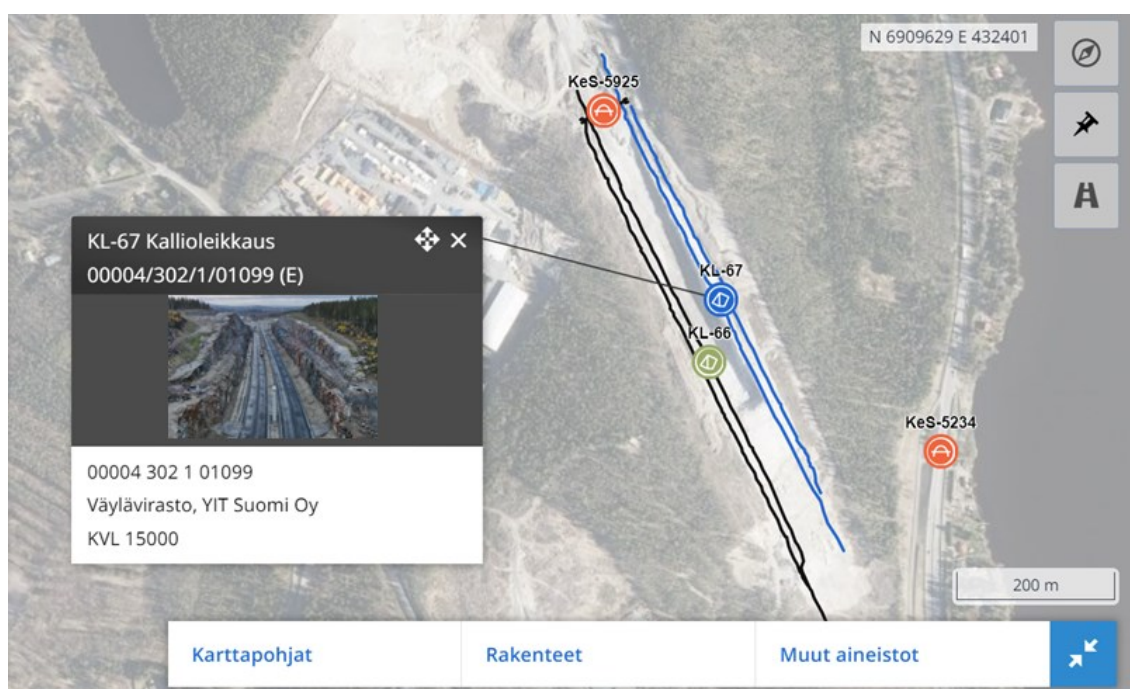
Sakaranmäen kallioleikkauksissa esiintyy lähinnä yksittäisiä epäedullisia rako-
suuntia (Saarikivi 2020). Kallioleikkausten lujitustöiden työselostuksessa tode-
taan, että suunniteltujen kalliopulttien lähtöpisteen sijainneista toimitetaan erilli-
nen koordinaattiluettelo ja mikäli kalliopultit asennetaan suunnitelmien mukaan
300 mm:n toleranssilla, niitä ei tarvitse myöhemmin tarkemmita. Materiaalitiedot
lujitusrakenteista on esitetty työselostuksessa, mutta niiden sijainnit, dimensiot
ja määrät tarkennettiin työn aikana vastaamaan kalliolaatua (Saarikivi 2020).
Lopulliset lujitussuunnitelmat laadittiin 2D-muotoon, hieman samaan tapaan
kuin Klaukkalan ohikulkutie Mt132:n tapauksessa.

3.2.4 Omaisuudenhallinta

Siinä missä kallioleikkausten lujitussuunnittelussa hyödynnettiin UAV-tekniikan
avulla tuotettuja fotogrammetrisia pistepilvimalleja, toteumatietojen hankinnassa
käytettiin muun muassa ajoneuvokeilauksia. Kallioleikkausten välinen tieosuus
ajettiin kaksi kertaa molempiin suuntiin (kaksi kaistaa / suunta) ajoneuvokeilai-
men kanssa. Ajoneuvokeilaimen katvealueet, kuten kalliohyllyt, kuvattiin reaali-
aikaista kinemaattista mittausta (RTK) hyödyntävällä UAV-tekniikalla. Yhdistä-
mällä eri tekniikoiden avulla tuotetut pistepilvimallit keskenään ja sitomalla ne
ETRS-GK26-tasokoordinaatistoon ja N2000-korkeusjärjestelmään saadaan

aikaiseksi tarkkaa toteumatietoa kallioleikkauksista ja mahdollisesti myös kalliolujituksista. Kyseiset toteumamallit eivät ole vielä valmistuneet tätä kirjoitettaessa, mutta niihin liittyvät keilaukset ja kuvauslennot on jo tehty.

Kirrinmäen ja Sakarinmäen kallioleikkaukset on viety TREX:iin vuoden 2022 alussa, mutta niistä löytyy toistaiseksi lähinnä vain perustiedot ja viivageometriat sekä joitain yleiskuvia kallioleikkauksista (kuva 21). Tietoja tullaan varmasti täydentämään myöhemmässä vaiheessa, kun TREX:n kallioleikkauksia koskevaa tietosisältöä tarkennetaan Väyläviraston puolelta. Rakentamisvaiheen aikana ei alun perin ollut tiedossa, että taitorakenteiksi luokitellut kallioleikkaukset tullaan lopulta viemään TREX:iin. Tämä johtui siitä, että kallioleikkauksia alettiin viemään TREX:iin vasta vuonna 2021. Hankkeen ollessa edelleen käynnissä sovittiin eri osapuolten kesken, että Väylä- ja kallioteknisestä suunnittelusta vastannut A-insinöörit Oy vie tiedot TREX:iin (Mäkelä 2022; Taina 2022).



Kuva 21. Kirrinmäen kallioleikkausten viivageometriat TREX-karttanäkymässä. Kallioleikkauksen keskikohdasta avautuu erillinen ikkuna, jonka kautta pääsee näkemään tietosisältöjä.

Projektivelhoon ei ole toistaiseksi viety hankkeeseen liittyvää tietoa millään tasolla. Hankkeen projektipäällikön mukaan tietoa tullaan viemään järjestelmään

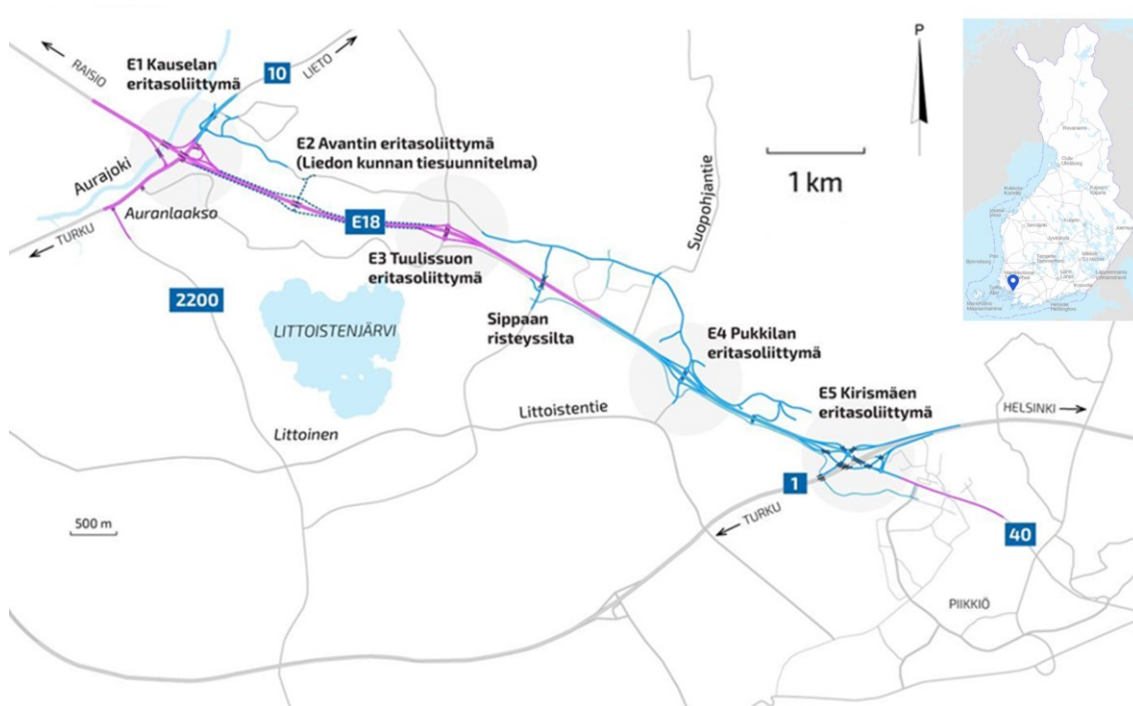
todennäköisesti vasta hankkeen päätyttyä. On koettu, että esimerkiksi rakentamisvaiheen aikaisia suunnitelmia ja malleja ei välttämättä kannata viedä järjestelmään pistemäisesti, vaan pikemminkin vasta toteumatietona hankkeen päätyttyä. Myös inframallien metatietojen täytyy olla silloin kunnossa. (Mäkelä 2022)

3.3 Kausela–Kirismäki E18

Kausela–Kirismäki-väli on osa Turun kehätietä (Kt40), joka puolestaan kuuluu laajempaan E18-tiehen. Kausela–Kirismäki-tieosuutta parannetaan uusilla eritasoliittymillä ja silloilla, korvaamalla alueen vanhat tasoristeykset. Samalla tieväylä kasvatetaan nelikaistaiseksi. Toimenpiteillä parannetaan liikenteen turvallisuutta ja sujuvuutta sekä luodaan uusia edellytyksiä alueen elinkeinoelämän kehittämiseen ja maankäytön suunnitteluun. Paikalliset vaikutukset ovat siten verrattain samat Klaukkalan ohikulkutie Mt132 ja Kirri–Tikkakoski Vt4 -tiehankkeiden kanssa. Huomionarvoista on myös se, että Turun kehätie on erittäin tärkeä lounaisrannikon liikennejärjestelmälle ja koko eteläisen Suomen logistikkalle. (E18 Turun kehätie, Kausela–Kirismäki 2022) Hanke muodostuu kahdesta eri urakasta ja rakentamisvaiheesta, jotka limittyvät alueellisesti keskenään (kuva 22). Tässä työssä keskitytään tarkastelemaan lähinnä ensimmäistä rakentamisvaihetta, sillä siihen sisältyy kokonaishankkeen kannalta merkittävimmät kallioleikkaukset.

Ensimmäiseen rakentamisvaiheeseen kuului Pukkilan ja Kirismäen välinen tieosuus, josta poistettiin kaikki tasoliittymät rakentamalla tilalle Pukkilan eritasoliittymä, Sippaan risteyssilta ja parantamalla Kirismäen eritasoliittymää. Ensimmäiseen vaiheeseen kuului myös valtatie 10:n parannustyöt osuudella kehätie–Tammitie sekä kehätien rinnakkaisteiden ja kevyen liikenteen väylien rakentaminen (kuva 22). Hankkeen projektipäällikön Juha Sillanpään (2022) mukaan kalliolouhinnan osuus oli kaikkiaan noin 300 000 m³, ja siitä noin 100 000 m³ tullaan hyödyntämään toisessa rakentamisvaiheessa. Ensimmäinen rakentamisvaihe käynnistyi vuonna 2019 ja päättyi vuonna 2021. Kustannukset olivat 39 miljoonaa euroa, ja pääurakoitsijana toimi Destia Oy (1. rakentamisvaihe 2019–

2021 Kausela–Kirismäki 2022). Hankkeen toinen rakentamisvaihe, joka on tätä kirjoitettaessa vielä käynnissä, sisältää Kauselan ja Pukkilan välisen tieosuuden sekä valtatie 10:n parannustyöt osuudella kehätie–Kaarinantie. Tämän lisäksi Liedon kunta käynnisti tiesuunnitelman laatimisen Avantin eritasoliittymästä, joka sijoittuu toisen rakentamisvaiheen alueelle (kuva 22). Toinen rakentamisvaihe käynnistyi vuonna 2020, ja sen arvioidaan päättyvän vuonna 2023. Sille myönnettiin 59 miljoonan euron määräraha valtion 2019 lisätalousarviossa. Pääurakoitsijana toimii Kreate Oy. (2. rakennusvaihe 2020–2023 Kausela–Pukkila 2022)



Kuva 22. Kausela–Kirismäki E18:n yleiskartta. Sinisellä värillä ensimmäinen rakentamisvaihe (Kausela–Kirismäki) ja punaisella värillä toinen rakentamisvaihe (Kausela–Pukkila). Molempiin rakentamisvaiheisiin kuuluu myös pienempiä ja risteäviä tieosuuksia. Muokattu Väyläviraston karttakuvasta (E18 Turun kehätie, Kausela–Kirismäki 2022).

Tästä eteenpäin tekstissä käsitellään Kausela–Kirismäki E18 -hankkeen osalta ainoastaan ensimmäistä rakentamisvaihetta ja siihen liittyviä kallioleikkauksia. Toinen rakentamisvaihe ei kuulu tämän työn tarkastelun piiriin.

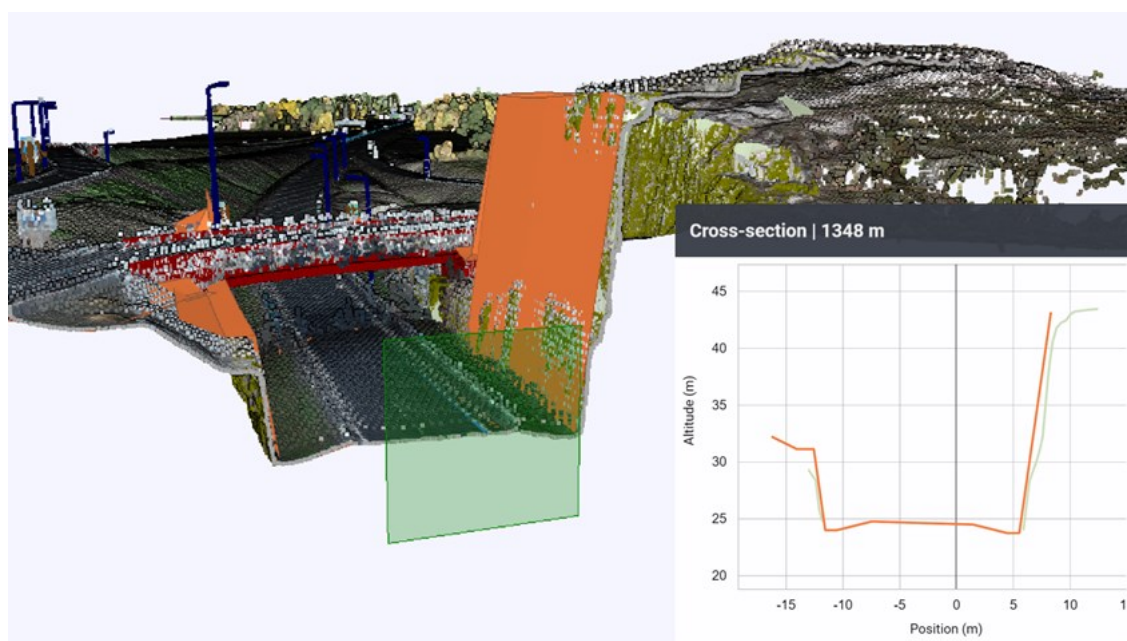
3.3.1 Urakkakohtaiset tuotevaatimukset

Kausela–Kirismäki E18:n tuotevaatimukset muistuttavat kallioleikkauksia käsittelevältä sisällöltään Klaukkalan ohikulkutie Mt132:n tuotevaatimuksia. Molempien tuotevaatimusten mukaan kallioleikkaukset tulee suunnitella, louhia ja lujittaa siten, että ne pysyvät mahdollisimman stabiileina. Kallioleikkaukset rusnataan aina louhinnan etenemisen mukaan, ja lujitusrakenteiden suunnittelukäyttöäksi on määritetty 50 vuotta. Kallioleikkausten louhintaa koskevien rikkoutumisvyöhykkeiden ja seinäpintojen tarkkuusvaatimusten osalta noudatetaan taulukoissa 1 ja 2 esitettyjä infraRYL:n (2021) vaatimuksia, joskin aluekohtaisia vaatimuksia on esitetty siltapaikkoihin ja heikkolaatuisen kallion alueille. Louhintojen aikana tarkkaillaan kallioleikkausten stabiliteettia ja sitä, voidaanko kallioluiskat jättää suunniteltuun kaltevuuteen. Mikäli kallioleikkaus osoittautuu epästabiiliksi, voidaan kallioluiskan kaltevuutta tai muotoilua muuttaa tai mahdollisesti lujittaa kallioleikkaus. (Urakkakohtaiset tuotevaatimukset ja arvonvähennykset, E18 Kausela–Kirismäki; STk-urakka, 1. rakennusvaihe 2018: 60)

Sallittuja lujitusmenetelmiä ovat kallioverkot ja -pultitukset, kunhan niiden pitkäaikaiskestävyys osoitetaan tilaajalle toimitettavissa suunnitelmissa. Ruiskubetonointia ei sallita. Mikäli hankkeen viisivuotisen takuuajan seurantajakson aikana kallioleikkauksista irtoaa kiviä tai lohkareita tielle, tulee noudattaa tuotevaatimuksissa esitettyjä jatkotoimenpiteitä, joilla varmistetaan tieväylän turvallisuus. Jatkotoimenpiteet ovat samat kuin aiemmin käsitellyt Klaukkalan ohikulkutien Mt132:n tuotevaatimuksissa. Kausela–Kirismäki E18 tuotevaatimuksissa painotetaan, että suunnitteluvaiheessa urakoitsijan tulee ensin selvittää kallion laatu ja rikkonaisuus siltapaikoilla, jotta voidaan varmistua sillan perustamistavasta. Klaukkalan ohikulkutie Mt132:n tuotevaatimuksissa ei ole esitetty vastaavaa vaatimusta. (Urakkakohtaiset tuotevaatimukset ja arvonvähennykset, E18 Kausela–Kirismäki; STk-urakka, 1. rakennusvaihe 2018 ja Urakkakohtaiset tuotevaatimukset ja arvonvähennykset, Mt132 Klaukkalan ohikulkutie, STk, revisio B 2018)

3.3.2 Mallipohjainen suunnittelu

Kuten kahdessa muussa tässä työssä esitetyssä tieväylähankkeessa, myös Kausela–Kirismäki E18 -hankkeessa hyödynnettiin mallipohjaista suunnittelua. Kallioleikkauksiin liittyen mallipohjaista suunnittelua hyödynnettiin esimerkiksi louhintamassoihin liittyvissä laskennoissa ja kalliopintojen tarkastelussa, toteaa Väyläviraston projekti-insinööri Mervi Kulha (2022). Inframalleja hyödynnettiin myös toteumamallien laadinnassa ja arvioinnissa osana toteutusvaiheen jälkeistä vastaanottoa (kuva 23). Pohdinnassa on kuitenkin ollut, etteivät hankkeen suunnittelu- ja toteutusosapuolet hyödyntäneet täysimääräisesti mallipohjaista suunnittelua ja toteutusta. Jälkikäteen on syntynyt teknistaloudellisia erimielisyyksiä kallioleikkausten toteumiin liittyen (Kulha 2022; Mäkelä 2022; Siljanpää 2022).



Kuva 23. Havainnekuva Kausela–Kirismäki E18:n toteutuneen ja suunnitellun louhinnan visuaalisesta tarkastelusta. Inframalleista voidaan laatia poikkileikkauksia, joiden avulla voidaan tarkastella esimerkiksi pysyvätkö louhintatoleranssit sallituissa rajoissa. Laadittu Väyläviraston inframalliaineistosta.

Hankkeen tuotevaatimuksissa käsitellään inframallinnusta omassa kappaleessaan, ja sen tekstisisältö on jossain määrin erilainen verrattuna kahteen muuhun tässä työssä käsiteltyyn vastavanlaiseen kappaleeseen. Painoarvoa

annetaan erityisesti tietomallikoordinaattorin vastuualueiden kuvaamiselle ja tehtävämääryyksille. Tuotevaatimuksissa esitetään myös hankkeessa noudatettavat inframallinnusohjeet ja mallinnuksen tavoitteet sekä edellytetään esimerkiksi, että urakoitsija toimittaa rakentamissuunnittelun aloituskokoukseen hankkohtaisen tietomallisuunnitelman aikatauluineen. (Urakkakohtaiset tuotevaatimukset ja arvonvähennykset, E18 Kausela–Kirismäki; STk-urakka, 1. rakennusvaihe 2018: 15–17)

Urakoitsijan laatimassa tietomallisuunnitelmassa on esitetty muun muassa laadunvarmistuksen periaatteet, mallintamisen periaatteet sekä tiedonhallinnan periaatteet ja vastuuhenkilöt. Siinä on myös listattu hankkeen eri tiedonhallinnan käyttöympäristöt tietosisältökuvauksineen ja esimerkiksi natiivimallien suunnitteluohjelmistot. (Tietomallisuunnitelma, E18 Turun kehätie, Kausela–Kirismäki, vaihe 1, STk, revisio 2.0 2021)

3.3.3 Työnaikainen suunnittelu

Tilaaajan mukaan hankkeen louhintatöissä on todennäköisesti tapahtunut ylipainostusta osalla kohteista. Tämä näkyi esimerkiksi rikkoutumisvyöhykkeiden laajuudessa sekä lopullisessa työnjäljessä ja johti myös siihen, että kaikkia siltoja ei pystytty perustamaan suunnitelluille kalliohyllyille. Rikkonainen kallio ja epäedulliset rakosuunnat johtivat myös epästabiilien kalliolohkojen pudottamiseen tai pultituksiin. Myös alilouhintaa havaittiin joidenkin ajoratojen läheisyydessä. (Mäkelä 2022; Kulha 2022)

Hankkeen ensimmäisen rakentamisvaiheen louhintatöiden jälkeisistä kallioteknisestä suunnittelusta vastasi WSP Finland Oy. Tuotevaatimuksissa esitetyt lähtökohdat rakennusgeologisille kartoitusmenetelmille ja kalliolujituksille ovat samankaltaiset kuin Klaukkalan ohikulkutie Mt132:n hankkeessa, ja kuvassa 14 esitetty vaatimus/ohjeistushierarkia pätee siten myös tähänkin hankkeeseen. WSP Finland Oy esittää rakennusgeologiset kartoitukset erillisessä raportissa ja lujitussuunnitelmat omana asiakirjanaan. Rakennusgeologisia kartoituksia käsittelevässä raportissaan Ranta-aho ja Howett (2020) esittävät taitorakenteiksi

luokiteltujen kallioleikkausten kartoitusparametrit sanallisesti, taulukoiden ja valokuvien avulla. Kallioleikkaukset kartoitettiin liitteessä 3 ja 4 esitettyjä RG- ja Q'-luokituksia käyttäen ja niiden avulla määritetyt kohdekohtaiset parametrit esitetään rakennusgeologisessa kartoitusraportissa. Alueella esiintyy tieväylien suuntaan kallistuneita rakosuuntia, joita rajaavat pystyasentoiset rakosuunnat. Yhdessä nämä rakosuunnat muodostavat suuria kalliolohkoja, joista osan havaittiin sortuneen louhinnan jälkeen tasomurtumina (kuvat 9 a ja 24). Tämän lisäksi alueella esiintyy jonkin verran epäedullisen suuntaista kiilarakoilua. (Ranta-aho & Howett 2020)

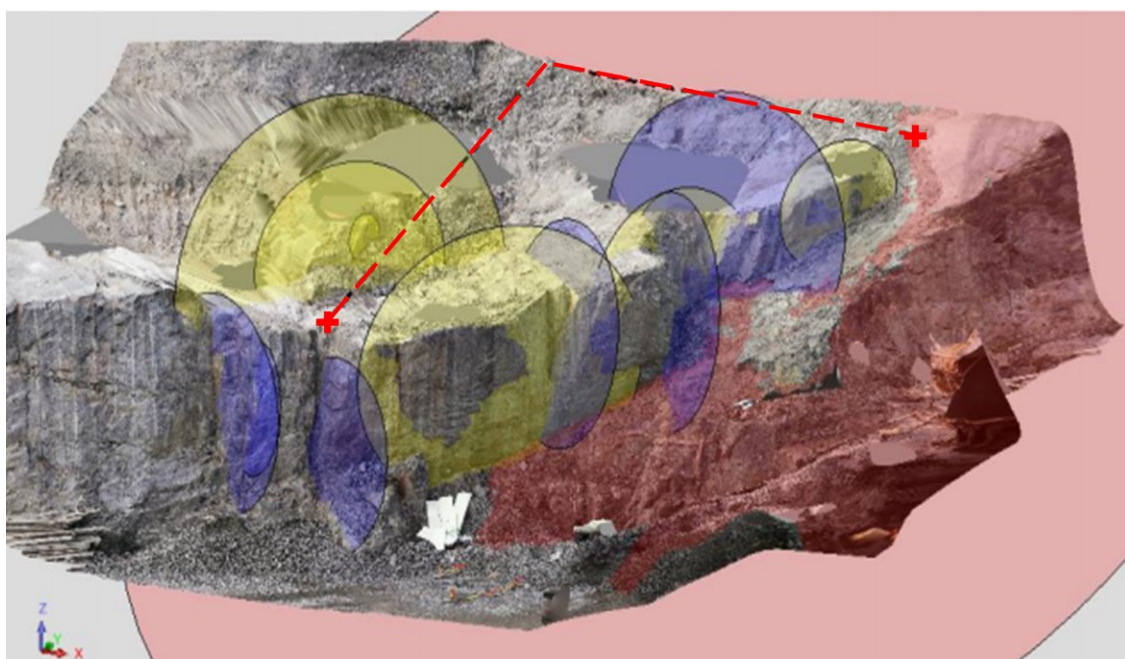


Kuva 24. Esimerkkikuva Kausela–Kirismäki E18:n kallioleikkauksissa esiintyvistä tasomurtumista. Tieväylän suuntaan viettävää rakopintaa pitkin on pudonnut suurikokoinen kalliolohko. Muokattu Ranta-ahon ja Howettin (2020: 3) valokuvasta.

Lujitussuunnittelu perustui kallioleikkausten katselmointeihin ja rakennusgeologiaan kartoituksiin sekä fotogrammetristen pistepilvimallien hyödyntämiseen (Koponen & Somervuori 2020; Somervuori 2022). Kallioleikkausten lujitussuunnitelmien perusteella lujituksiin käytettiin ainoastaan pultituksia, verkotuksista ei

suunnitelmissa ole mainintaa. Kaikki lujitussuunnitelmat on koottu yhteen asiakirjaan, jossa esitetään muun muassa pultituksiin liittyvät tekniset tiedot. Kalliopultitukset suunniteltiin pistepilvimalleja hyödyntämällä, mutta niiden sijainnit esitetään lujitussuunnitelmissa 2D-muodossa, valokuviin merkittyinä. Näin meneteltiin myös kahdessa muussa tässä työssä esitetyssä tiehankkeessa, joskin niissä kalliopulttien 2D-sijaintikuvat perustuivat 3D-pistepilvimalleihin. Somervuoren (2022) mukaan kalliopultit olisi voitu tarvittaessa suunnitella 3D-objekteina tarkasti koordinaatteihin, eli tässä tapauksessa ETRS-GK23-tasokoordinaatistoon ja N2000-korkeusjärjestelmään.

Koposen ja Somervuoren (2020) lujitussuunnitelmissa todetaan myös laskennallisin perustein, että yhdessä alueen kallioleikkauksista esiintyy potentiaalisesti epästabiileja kalliolohkoja, joita ei voida lujittaa pultituksilla niiden suuren koon vuoksi. Kohteen tarkastelussa hyödynnettiin fotogrammetrisiin 3D-malleihin perustuvia rakomallinnuksia (kuva 25) ja stabiliteettitarkasteluun tarkoitettua laskentaohjelmaa.



Kuva 25. Fotogrammetriaan perustuva 3D-malli Kausela–Kirismäki E18:n kallioleikkauksesta, jossa todettiin potentiaalisesti epästabiileja kalliolohkoja. Keltaiset, violetit ja punaiset kiekot edustavat kalliolohkoja rajaavia päärakosuuntia. Punaisella katkoviivalla on merkitty alue, joka vaati lisälouhintaa. Muokattu Koposen ja Somervuoren (2020: liite 1) kuvasta.

Edellä mainittujen menetelmien avulla voitiin perustella lisälouhinnan tarve urakoitsijalle ja tilaajalle. Kohteen mahdollinen lujitustarve määritettiin vasta lisälouhinnan jälkeen (Koponen & Somervuori 2020).

3.3.4 Omaisuudenhallinta

Toistaiseksi hankkeen taitorakenteiksi luokiteltavista kallioleikkauksista on todennäköisesti generoitu tietoja vain jostakin vanhasta järjestelmästä suoraan TREX:iin, sillä esimerkiksi kallioleikkausten geometriaviivat eivät vastaa hankkeessa louhittujen kallioleikkausten geometriaa. Tämä saattaa johtua osin siitä, että hanke valmistui vuonna 2021, eli samana vuonna, kun kallioleikkauksia alettiin vasta ensimmäistä kertaa viemään TREX:iin. Väyläviraston projektipäällikön Juha Sillanpään (2022) mukaan tietojen päivittämisestä on kuitenkin ehditty jo sopimaan Destia Oy:n kanssa. Kuten myös Klaukkalan ohikulkutie Mt132:n tapauksessa, on Kausela–Kirismäki E18 -hanke siirtynyt jo viisivuotisen takuuajan seurantajakson piiriin. Ennen takuuajan päättymistä, täytyy taitorakenteiksi luokiteltaville kallioleikkauksille suorittaa Kallioleikkauksen tarkastuskäsikirjan luonnoksen (2017: 8) mukainen hankkeesta riippumaton yleistarkastus. Takuu aika päättyy vuonna 2026, mutta jo ensimmäisen takuuvuoden aikana havaittiin talven jälkeen kallioleikkauksesta irronneita kiviä ja lohkarkeit. Myös itse kallioleikkauksessa havaittiin irtonaisia kalliolohkoja, joiden rusnaus ja lujitustarvetta selvitetään parhaillaan. Osa hankkeeseen kuuluvista kallioleikkauksista ei myöskään vastannut tuotevaatimuksissa esitettyjä louhintatoleransseja, jolloin niihin joudutaan kohdistamaan jälkikäteen korjaustoimia (Kulha 2022).

Kulhan (2022) mukaan Projektivelhoon on tällä hetkellä viety hankkeen suunnitelma- ja toteumamallit, ja syksyllä 2022 on tarkoitus viedä järjestelmään työ- ja laatusuunnitelmat sekä rakenneosakohtaiset laatudokumentit. Sillanpään (2022) mukaan Projektivelhoon tullaan edellisten lisäksi viemään kallioleikkauksiin liittyvää sijaintitietoa, lujitus suunnitelmat ja valokuvat kallioleikkausten tien suuntaan näkyvistä pinnoista. Aineiston viemisestä Projektivelhoon tullaan otta-
maan esimerkkiä muista väylähankkeista.

Kunnossapidon kannalta koettiin haasteelliseksi Kirismäen eritasoliittymän alueelle kerääntyvä pohjavesi, jota on jouduttu jälkikäteen poistamaan pumppaamon avulla. Vesi kerääntyy eritasoliittymän alaosissa sijaitseviin sivuojiin, lähelle tien reunaa (kuva 26). Kirjoittaja vieraili paikan päällä heinäkuun puolivälissä 2022, jolloin myös kuva 26 on otettu. Lähimmän säähavaintoaseman (Kaarina, Yltöinen) mittausten perusteella viiden vuorokauden keskimääräinen sademäärä oli tuolloin noin 2,6 mm (Ilmatieteen laitos, havaintojen lataus 2022). Kuvassa 26 näkyvä sivuojan vesi ei ole seisovaa, vaan siinä on jatkuva virtaus pumppaamon suuntaan.



Kuva 26. Kirismäen eritasoliittymän sivuojaan virtaavaa pohjavettä. Tien toisella puolella pumppaamo. Valokuva: Jasper Tainio 2022.

Ensimmäisen talven aikana ei havaittu sivuojan jäänmuodostumiseen liittyviä ongelmia, mutta koska vesi yltää varsin lähelle tienreunaa, ei tämä ole täysin poissuljettua tulevana talvena. Sillanpään (2022) mukaan pohjaveteen liittyvät haasteet olisi pitänyt huomioida paremmin jo toteutusvaiheessa, esimerkiksi injektointisuunnittelua hyödyntämällä.

4 Yhteenveto ja päätelmät

Tämän työn laatimisen aikana havaittiin infra-alan terminologiaan liittyviä vaihtelevia käytänteitä, joita esiintyy erinäisissä vaatimuksissa, ohjeistuksissa, suunnitelmissa ja muissa väylähankkeisiin liittyvissä asiakirjoissa. Terminologian vaihtelevuus saattaa aiheuttaa sekaannusta lukijassa, kun julkaisussa viitataan johonkin toiseen julkaisuun, jossa on käytetty eriäviä termejä. Tässä työssä pyrittiin tarkoituksellisesti käyttämään esimerkiksi rakennussuunnittelu-termin sijasta, *rakentamissuunnittelu*-termiä, sillä tämä on Väyläviraston nykyinen suositus (Suunnittelun ja rakentamisen sanasto uudistui 2021). Jotta tässä työssä käytetty terminologia olisi mahdollisimman johdonmukaista, käytettiin myös johdannaistermejä: rakentamissuunnitelma, rakentamissuunnitteluvaihe, rakentamismvaihe jne. Näiden lisäksi pyrittiin tekemään pesäeroa geoteknisen suunnittelun ja kallioteknisen suunnittelun välillä, vaikka geotekninen suunnittelu voi myös sisältää kalliooperään liittyvää suunnittelua. Mainittakoon myös käsitteet tietomalli ja BIM, jotka ovat edelleen sitkeässä käytössä infra-alalla, vaikka niistä on sovittu käytettävän inframalli- ja infraBIM-käsitteitä. Terminologiaan liittyvät muutokset vakiintuvat hitaasti, ja niihin liittyy omat haasteensa.

Väylähankkeiden kallioleikkauksiin liittyvää ohjeistusta läpikäydessä ei voi välttyä ohjeelta Tiepenkereiden ja -leikkausten suunnittelu (2010). Myös tässä insinööriyössä on useita viittauksia kyseiseen ohjeeseen, kuten on myös tarkasteltavien tieväylähankkeiden tuotevaatimuksissa, joissa se on nostettu kallioleikkausten osalta määrääväksi ohjeeksi. Koska kyseistä suunnitteluohjetta pidetään näin merkittävässä asemassa, on sitä syytä käsitellä myös tässä yhteenvedossa. Ohje on sinänsä informatiivinen, ja sitä voidaan hyödyntää muun muassa kalliooperän rakennettavuusselvityksissä, kallioleikkausten louhinnan ja geometrian suunnittelussa ja soveltaen myös työnaikaisessa suunnittelussa. Koska kyseessä on tuotevaatimuksissa esitetty kallioleikkauksia koskeva määräävä ohje ja taitorakenteiden rakentaminen edellyttää lujuuslaskelmiin perustuvat suunnitelmat (Taitorakenteiden tarkastusohje 2013: 8), voidaan tästä tulla siihen johtopäätökseen, että kyseinen ohje määrittää myös menetelmät kallioleikkausten lujuuslaskelmille, eli stabiliteettitarkasteluille. Ohjeessa on hieman

tulkinnanvaraa siinä, mihin vaativuuskategoriaan jonkin kallioleikkauksen kallio-laaturatkimukset tulisi kulloinkin kohdistaa (kuva 10), mutta tämä lienee lopulta kallioteknisen asiantuntijan päätettävissä. Rakosuuntien tunnistaminen ja analysointi ovat keskeisiä tekijöitä kallioleikkausten stabiliteettitarkasteluissa ja sitä myöten lujitusten mitoittamisessa. Ne tulisi ottaa tarkasteluun poikkeuksetta melkein aina, varsinkin taitorakenteiksi luokiteltavien kallioleikkausten osalta. Suunnitteluohjeessa ne kuuluvat vaativien ja erittäin vaativien kallio-laaturatkimusten piiriin, mutta ohje on laadittu vuonna 2010 ja tämän jälkeen on tapahtunut huomattavaa kehitystä esimerkiksi UAV-tekniikan hyödyntämisessä kalliorakennuskohteilla. Kehityksen myötä kalliorakojen 3D-mallinnukset ja niihin liittyvät rakosuunta-analyysit ovat tulleet enemmän rutiininomaiseksi ja kustannustehokkaiksi menetelmiksi stabiliteettitarkasteluissa. Tämä näkyy myös siinä, että kolmen tarkasteltavan väylähankkeen toisistaan riippumattomat kalliotekniset asiantuntijat (Rockplan, A-insinöörit Oy ja WSP Finland Oy) ovat hyödyntäneet lähes samankaltaisia UAV-tekniikkaan ja pistepilvimalleihin nojautuvia menetelmiä rakennusgeologisten kartoitusten ja lujitussuunnittelun tukena. Kehitystä tapahtuu näiden menetelmien osalta edelleen ja tulevaisuudessa nähdään todennäköisesti enemmän algoritmeihin perustuvaa automatiikkaa kalliorakojen tunnistamisessa.

Urakkakohtaisista tuotevaatimuksista ja arvonvähennyksistä nousi esiin sekä tiilaajan että urakoitsijan puolelta näkemyksiä, jotka on syytä käsitellä tässä yhteydessä. Erityisesti kallioleikkausten urakkakohtaiset louhintatoleranssit ja takuu-aikaan liittyvät irtokivien ja lohcareiden seurannat koettiin molempien osapuolten kesken paikoitellen turhan vaikeiksi noudattaa. Keskusteluissa nousi usein esiin tarpeettoman ”ylilaadun” vaatiminen alueilla, joissa pärjättäisiin kevyemmällä tarkkuusvaatimuksilla. Kirri–Tikkakoski Vt4 -hankkeessa tehtiin tietoinen valinta jättää urakkakohtaiset louhintatoleranssit pois tuotevaatimuksista, viitaten ainoastaan ohjeeseen Tiepenkereiden ja -leikkausten suunnittelu (2010). Kyseisessä ohjeessa viitataan sitten toki kallioleikkausten teknisten vaatimusten osalta infraRYL:iin 2010 (nyk. 2021). Tällä tavoin voitiin kuitenkin luoda hieman enemmän liikkumavaraa hankkeen louhintatöiden tarkkuusvaatimuksille, mutta noudattaen samalla infrarakentamisen yleisiä laatuvaatimuksia.

Klaukkalan ohikulkutie Mt132:n tapauksessa urakoitsija koki, että mikäli tuotevaatimuksissa esitetään louhintatoleransseja tai viitataan infraRYL:iin, olisi myös suotavaa esittää mitkä väylät louhitaan milläkin toleranssilla. Tämä helpottaisi jo tarjouslaskentavaiheessa hinnoittelua ja työsuunnittelua. Urakoitsija koki myös, että välillä saatettiin tehdä tarpeetonta ”ylilaatua” ja välillä oli sellaisia paikkoja, jotka olisi pitänyt louhia tarkemmin. Kausela–Kirismäki E18:n ensimmäisen rakentamisvaiheen tuotevaatimuksissa esitettiin urakkakohtaiset louhintatoleranssit, mutta niiden noudattaminen osoittautui paikoin liian haastaviksi. Takuuajan seurantajakson aikana havaittiin myös kallioleikkauksista irronneita kiviä ja lohkareita, jolloin alueelle kohdistettiin uusia stabiliteettiselvityksiä.

Kallioteknisestä näkökulmasta tarkasteltuna taitorakenteiksi luokitellaan kallioon louhittavat tunnelit, mutta myös kallioleikkaukset, mikäli ne täyttävät taitorakenteen määritelmän. Tässä työssä kuvattiin taitorakenteiksi luokiteltavien kallioleikkausten rajamitat tieväylillä, rataväylillä ja vesiväylillä, perustuen Kallioleikkauksen tarkastuskäsikirjan luonnokseen (2017: 7–8). Epäselväksi jäi kuitenkin, kenen vastuulla on lopulta määrittää, onko jokin hankkeen kallioleikkaus taitorakenteen vai ei. Luontevinta olisi antaa tämä vastuu suunnittelijalle, tai vähintään sopia hyvissä ajoin hanketta, kenen vastuulla se tulisi olemaan. Selväpiirteiset taitorakenteiksi luokiteltavat kallioleikkaukset nousevat esiin varmasti jo väyläsuunnittelun aikana, mutta onko niiden tunnistamisen jälkeen tiedossa, miten niiden kanssa toimitaan siitä eteenpäin? Tuotevaatimukseen on usein kirjattu tieto siitä, että taitorakenteiksi luokiteltavat kallioleikkaukset tulee tarkastaa kallioteknisen asiantuntijan toimesta, mutta tähän voisi vielä lisätä sen, että myös taitorakennemääritykset tekee sama asiantuntija. Selväpiirteisiä taitorakenteiksi luokiteltavia kallioleikkauksia saatetaan pitää hankkeen aikana itsestäänselvyytenä, mutta varsinkin louhintatöiden yhteydessä syystä tai toisesta syntyneistä rajatapauksista ei välttämättä ole ennakkotietoa. Varsinkin jos kalliotekninen asiantuntijatyö suoritetaan alihankintana, kannattaa määrityksistä sopia osapuolten kesken erikseen. Rajatapauksien määrityksissä voidaan hyödyntää esimerkiksi keilausaineistoa tai fotogrammetriaa, mutta yhtä lailla ne voidaan mitata myös maastossa. Kallioleikkausten louhintojen jälkeen tierakenteita ei ole yleensä rakennettu päällystepintaan asti, josta rajamitta otetaan, joten tämä

kannattaa ottaa huomioon mittauksia ja määrytyksiä tehtäessä. Taulukossa 4 on esitetty InfraRYL:n (2021) kallioleikkausten tarkemittausten laatuvaatimukset ja koska kallioleikkausten kelpoisuuden osoittaminen tapahtuu yleensä työn etenemisen mukaan, ehkä samassa yhteydessä voisi työmaan mittaaaja tehdä kallioleikkausten taitorakennemäärytykset. Stabiliateettitarkastelujen osalta koettiin urakoitsijan puolelta hyväksi käytännöksi se, että taitorakenteiksi luokiteltavat kallioleikkaukset kartoitettiin aina sitä mukaa kuin jonkin kallioleikkauksen louhinnat valmistuivat. Näin ehdittiin varautumaan hyvissä ajoin mahdollisiin runaus- ja lujitustöihin sekä suunnittelemaan niiden vaatimat aikataulut.

Mallipohjaiset hankkeet koettiin joidenkin urakoitsijoiden edustajien puolelta hyvinkin toimiviksi ratkaisuihin suunnittelun ja rakentamisen kannalta, mutta osan mielestä ne koettiin enemmän vain ”työnjohdon asioiksi” ja koettiin, että käytännön töissä niiden hyöty jää lähes merkityksettömäksi. Tässä on ehkä osittain myös kyse siitä, että on totuttu tekemään asioita tietyllä tavalla, eikä omalta mukavuusalueelta oikein haluta poistua. Inframallintamisen hyödyt ovat kuitenkin todistetusti varsin selvät, monessakin suhteessa. Urakoitsijoiden puolelta nousi kuitenkin esiin positiivisena kokemuksena koneohjausmallien hyödyntäminen väylähankkeissa, vaikka tarkasteltavien kallioleikkausten osalta niitä ei hyödynnetty. Useimmiten tämä johtuu siitä, että esimerkiksi lujitustöitä tekevällä urakoitsijalla tai aliurakoitsijalla ei ole koneohjausta tukevia laitteita poravaunuisaan.

Kallioleikkausten tiivistys- ja lujitusrakenteita ei vaadita mallinnettavaksi YIV:n (2021) vaatimuskorteissa (liite 1) tai Tie- ja ratahankkeiden inframalliohjeen (2017) tarkkuusvaatimuksissa (liite 2). Niiden mallintamista ei myöskään vaadittu Kirri–Tikkakoski Vt4:n inframallin tarkkuusvaatimuksissa (Urakkakohtaiset tuotevaatimukset ja arvovähennykset, Vt4 Kirri–Tikkakoski; STk 2018: liite 8). Nämä rakenteet mallinnetaan vaatimusten mukaan hankekohtaisesti sovittaessa, mutta jos vähimmäisvaatimukset eivät mallintamista edellytä, tuskin niitä tullaan mallintamaan ylimääräisenä työnä. Kun lujitussuunnittelua tehdään pistepilvimallien avulla, voidaan samassa yhteydessä mallintaa lujitusrakenteiden 3D-objektit metatietoineen (Hatakka ym. 2022 ja Somervuori 2022). Vaikka

lujitusrakenteita ei vaadita mallinnettaviksi, voisi niiden mallintamista harkita ainakin joissain tapauksissa, sillä yleensä kallioteknisellä asiantuntijalla on siihen edellytykset. Mikäli suunnitelmamalliin viedään lujitusrakenteita ja ne toteutetaan suunnitelmien mukaisesti, voidaan niitä hyödyntää suoraan toteumamallin laadinnassa. Osa tarkasteltavien kohteiden tilaajan edustajista koki, että lujitusratkaisujen mallintaminen voisi olla hyvä ratkaisu omaisuudenhallinnan kannalta. Kallioleikkausten lujitusrakenteiden mallintamista voisi harkita esimerkiksi pilotointina osana jonkin hankkeen kallioteknistä suunnittelua. Pilotointiprosessiin voisi sisällyttää lujitusten koneohjausmallit ja lopulta viedä toteutuneet lujitusrakenteet myös toteumamalliin. Tämänkaltaisen kokeilu saattaa tosin vaatia jonkin laaja-alaisemman kalliorakennuskohteen, jossa on tiedossa hieman enemmän lujitustöitä. Pienemmissä kohteissa, joissa tehdään vain vähän lujituksia, voisi riittää vain toteutuneiden lujitusrakenteiden vieminen toteumamalliin.

Mallipohjaista suunnittelua hyödynnettiin tarkasteltavilla kallioleikkauskohteilla lähtötietomallien laadinnassa, louhinnassa, massalaskennoissa ja esimerkiksi tarjouspyyntöaineiston laadinnassa ja vastaanottotarkastuksissa. Klaukkalan ohikulkutie Mt132:n tapauksessa saatiin hyödynnettyä kaikki louhintamassat rakentamiseen, jolloin hanke pysyi niiden suhteen omavaraisena. Kirri–Tikkakoski Vt4 -hankkeessa pyrittiin hyödyntämään mahdollisimman paljon louhinnasta syntynyttä kiviainesta, mutta aikataulusyistä sitä jouduttiin ostamaan myös hankkeen ulkopuolelta. Muualta tuotu kiviaines on usein kalliimpaa, ja sen kuljetus kasvattaa hankkeen hiilijalanjälkeä. Kausela–Kirismäki Vt4:n ensimmäisessä rakentamisvaiheessa syntynyttä kiviainesta luovutettiin kokonaishankkeen toiseen rakentamisvaiheeseen. Hankkeissa, joissa syntyy suuret määrät louhintamassaa, on tärkeää, että kalliopintamallit laaditaan vasta, kun fyysinen kalliopinta on riittävästi paljastuneena. Pohjatutkimuksilla pyritään selvittämään kalliopinnan korkeusasemaa, mutta tulkinnoissa saattaa olla joskus jopa metrien verran eroa todelliseen kalliopintaan. Puutteellisista tulkinnoista saattaa syntyä massatasapainon kannalta kriittisiä suunnitteluvirheitä, ja niistä voi aiheutua myös merkittäviä kustannuksia koko hankkeelle.

Inframallintamisen yksi keskeisimmistä tavoitteista on, että malleihin liittyvä suunnittelutieto kulkee läpi koko hankkeen elinkaaren ajan ja eri osapuolten välillä. Esimerkiksi säännöllinen yhdistelmämallien laatiminen on osa laadunvarmistusprosessia (Tie- ja ratahankkeiden inframalliohje 2017: 35). Ohjeistuksista huolimatta tilaajapuolella koetaan usein, että suunnittelu painottuu edelleen enemmän natiiviohjelmistojen käyttöön ja vasta lopuksi tuotetaan vaatimukset täyttävä toteumamalli. Tämänkaltaisesta toiminnasta tulisi päästä eroon, mutta se saattaa vaatia osallistuvampaa asennetta eri tekniikkalajien suunnittelijaosapuolilta ja tietomallikoordinaattoreilta.

Infraomaisuuden hallinta on systemaattinen prosessi, jonka toimilla organisaatio huolehtii optimaalisesti ja kestävästi omistamastaan infrastruktuurista koko sen elinkaaren ajan myös pitkäaikaistavoitteet huomioiden (Tie- ja ratahankkeiden inframalliohje 2017: 23). Toteumatietojen avulla dokumentoidaan se, mitä hankkeessa rakennettiin, jolloin ne toimivat lähtökohtana väylanhoidolle, kunnossapidolle ja infran hallinnalle. Vaikka Projektivelhoon on tarkoitus viedä suunnitelmätietoa hankkeen elinkaaren eri vaiheissa ja lopulta myös toteumatiedot, osa Väyläviraston edustajista koki, että tämä saattaa olla liian työlästä todelliseen hyötyyn nähden. Järjestelmä koettiin kuitenkin tarpeelliseksi omaisuudenhallinnan kannalta, mutta ehkä vain toteumatietojen osalta. Projektivelhon kehitystyö on vielä kesken, ja esimerkiksi järjestelmän tietosisältöä ja integraatiota muihin järjestelmiin (esim. TREX:iin) tullaan kehittämään edelleen.

Tässä työssä käsiteltävät tiehankkeet olivat kirjoitushetkellä joko valmistuneita tai valmistumassa lähivuosina. Klaukkalan ohikulkutie Mt132 valmistui loppuvuodesta 2020 ja Kausela–Kirismäki E18:n ensimmäinen rakentamisvaihe vuonna 2021. Taitorakenteiksi luokiteltavia kallioleikkauksia alettiin viemään TREX:iin ensimmäistä kertaa vasta vuonna 2021, joten tästä syystä asian käsittely on jäänyt ehkä jossain määrin vähemmälle huomiolle kyseisissä hankkeissa. Väyläviraston projektipäälliköiden mukaan rakenteet on kuitenkin tarkoitus viedä TREX:iin lähitulevaisuudessa (Koski 2022 ja Sillanpää 2022). Kirri–Tikkakoski Vt4 -hanke on tätä kirjoitettaessa edelleen käynnissä, ja sen osalta on viety taitorakenteiksi luokiteltavia kallioleikkauksia TREX:iin jo vuoden 2022

alussa. Kun jonkin taitorakenteeksi todetun kallioleikkauksen tiedot on viety TREX:iin, voidaan siihen liittyvää tietosisältöä hyödyntää esimerkiksi kunnossapidossa ja tulevissa hankkeissa. Kunnossapitonäkökulmasta kallioleikkausten tarkastustoimintaa ohjaa Kallioleikkauksen tarkastuskäsikirja, josta on tätä kirjoitettaessa ilmestynyt vain luonnosversio vuodelta 2017. Tarkastuskäsikirja tul- laan todennäköisesti päivittämään vuosien 2022–2023 aikana, samalla kun sel- viää, mitä tietoja taitorakenteiksi luokiteltavista kallioleikkauksista tullaan lopulta viemään TREX:iin (Kulman 2022). Vaikka tässä työssä käsiteltiin kallioleikkauk- sia, jotka liittyvät suhteellisen uusiin tiehankkeisiin, yhtenä keskeisenä kysymyk- senä tulevaisuuden kannalta on vanhojen taitorakenteiksi luokiteltavien kallio- leikkausten inventointi ja niihin liittyvien tietojen vieminen TREX:iin. Taitoraken- teiksi luokiteltavia kallioleikkauksia on Suomessa todennäköisesti tuhansittain, ja kaikkien niiden inventointi kustannustehokkaalla tavalla tulee olemaan todella haastavaa. Siksi myös Kallioleikkauksen tarkastuskäsikirja ja TREX:n kallioleik- kauksia käsittelevä tietosisältö on suunniteltava tarkkaan, ottaen samalla huo- mioon pitkän aikavälin tavoitteet.

Lähteet

1. rakennusvaihe 2019–2021 Kausela–Kirismäki. 2022. Verkkoaineisto. Väylävirasto. <<https://vayla.fi/turunkehatie/kausela-kirismaki-1.-rakennusvaihe-2019-2021>>. 22.4.2022. Luettu 13.6.2022.

2. rakennusvaihe 2020–2023 Kausela–Pukkila. 2022. Verkkoaineisto. Väylävirasto. <<https://vayla.fi/turunkehatie/kausela-pukkila-2.-rakennusvaihe-2020-2023>>. 22.4.2022. Luettu 13.6.2022.

E18 Turun kehätie, Kausela–Kirismäki. .2022. Verkkoaineisto. Väylävirasto. <<https://vayla.fi/turunkehatie>>. 22.4.2022. Luettu 13.6.2022.

Geotekniset tutkimukset ja mittaukset, suunnitteluvaiheen ohjaus. 2015. Liikenneviraston ohjeita 10/2015. Helsinki: Liikennevirasto.

Hankkeiden suunnittelun vaiheet. 2022. Verkkoaineisto. Väylävirasto. <<https://vayla.fi/suunnittelu-rakentaminen/hankkeiden-suunnittelu/hankkeiden-suunnittelun-vaiheet>>. 31.5.2022. Luettu 9.6.2022.

Hatakka, Lassi; Tainio, Jasper; van der Weij, Oskar & Westerlund, Gustav. Klaukkala Mt132 bypass: the use of photogrammetric models in engineering geological analyses for excavation and reinforcement design in a BIM environment. 2022. Extend abstract, Eurock 2022.

Ilmatieteen laitos, havaintojen lataus. 2022. Verkkoaineisto. Ilmatieteen laitos. <<https://www.ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus>>. Säähavainnot ladattu 28.7.2022.

Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset, InfraRYL 2021/2, kohta 17100 Kallioavoleikkaukset. 2021. Rakennustieto.

Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset, InfraRYL 2021/2, kohta 17110.3 Kallioavoleikkauksen louhintaa. 2021. Rakennustieto.

Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset, InfraRYL 2021/2, kohta 17110.4 Valmis kallioavoleikkaus. 2021. Rakennustieto.

Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset, InfraRYL 2021/2, kohta 17110.5 Kallioavoleikkauksen kelpoisuuden osoittaminen. 2021. Rakennustieto.

Johdanto Projektivelhoon. 2020. Verkkoaineisto. Väylävirasto. <<https://ohje.velho.vayla.fi/koulutukset/velho-koulutusten-tallenteet/>>. 28.9.2020. Tallenne katsottu 13.5.2022.

Kallioleikkauksen tarkastuskäsikirja, Suunnittelu- ja toteuttamisvaiheen ohjaus. 2017. Liikenneviraston ohjeita 34/2016 (Luonnos 10.1.2017). Helsinki: Liikennevirasto.

Kirri–Tikkakoski, urakkamuoto. 2022. Verkkoaineisto. Väylävirasto.
<<https://vayla.fi/vt4-kirri-tikkakoski/urakkamuoto>>. 22.4.2022. Luettu 22.5.2022.

Koponen, Anders & Somervuori, Petteri. 2020. Kallioleikkausten lujitus suunnitelmat. E18 Turun kehätie, Kausela–Kirismäki, projekti 311902. WSP Finland Oy.

Kopra, Aki & Kainuvaara, Jari. 2018. Tietomallisuunnitelma, Mt132 Klaukkalan ohikulkutie STk. Versio 0.1. Kreate Oy & Finnmap Infra Oy.

Korhonen, Kalle-Heikki; Gardemeister, Reijo; Jääskeläinen Heikki; Niini Heikki & Vähäsarja Pentti. 1974. Rakennusalan kallioluokitus. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, geotekniikan laboratorio, tiedonanto 12. Otaniemi: Valtion teknillinen tutkimuskeskus.

Koski, Antti. 2022. Projektipäällikkö (Klaukkalan ohikulkutie Mt132), Väylävirasto. Puhelinkeskustelu. 21.6.2022.

Kotiranta, Heidi. 2020. Inframallinnuksen toimintalinja, suositus vuosille 2020–2025. Väyläviraston julkaisuja 18/2020. Helsinki: Väylävirasto.

Kulha, Mervi. 2022. Projekti-insinööri (Kausela–Kirismäki E18), Väylävirasto. Sähköposti 23.6.2022.

Kulman, Mauri. 2022. Ylitarkastaja GEO ja KAT, Väylävirasto. Teams-videopuhelu, ohjausryhmän kokous. 3.12.2021.

Laitinen, Samuel. 2022. Työmaapäällikkö, Kreate Oy. Sähköposti 21.6.2022 ja täydentävä Teams-videopuhelu 22.6.2022.

Liikenne Klaukkalan kehätielle lähes vuoden etuajassa: Näin se onnistui! 2022. Verkkoaineisto. Kreate Oy. <<https://kreate.fi/liikenne-klaukkalan-kehatielle-lahes-vuoden-etuajassa-nain-se-onnistui/>>. 7.1.2022. Luettu 5.6.2022.

Mt 132 Klaukkalan ohikulkutie. 2022. Verkkoaineisto. Väylävirasto.
<<https://vayla.fi/klaukkalanohikulkutie>>. Luettu 18.5.2022.

Mt 132 Klaukkalan ohikulkutie, hankkeen yleiskartta. 2022. Verkkoaineisto. Väylävirasto. <<https://vayla.fi/klaukkalanohikulkutie/hankkeen-yleiskartta>>. 29.4.2022. Luettu 22.5.2022.

Mäkelä, Ari. 2022. Projektipäällikkö (Kirri–Tikkakoski Vt4) ja asiantuntija (Kausela–Kirismäki E18), Väylävirasto. Teams-videopuhelu. 17.6.2022.

Rakenteiden suunnittelijat ja tarkastajat. 2022. Verkkoaineisto. Väylävirasto. <<https://vayla.fi/palveluntuottajat/sillat/rakenteiden-suun-tark>>. 21.2.2022. Luettu 12.5.2022.

Ranta-aho, Susanna & Howett, Peter. 2020. Louhittujen kallioleikkausten rakennusgeologinen kartoitus. E18 Kausela Kirismäki työmaapalvelu, projekti 311902. WSP Finland Oy.

Richards, Laurence. 1992. Slope stability and rockfall problems in rock masses. Teoksessa: Bell, Frederic Gladstone (toim.). Engineering in rock masses. Oxford: Butterworth-Heinemann Ltd.

Saarikivi, Heikki. 2020. Vt4 Kirri–Tikkakoski Kallioleikkausten lujitustyöt, Työselostus. KAT R16-500 B-revisio. Espoo: A-insinöörit Oy.

Sillanpää, Juha. 2022. Projektipäällikkö (Kausela–Kirismäki E18), Väylävirasto. Teams-videopuhelu. 7.7.2022.

SFS EN-1997-2 + AC. 2011. Eurokoodi 7: Geotekninen suunnittelu. Osa 2: Pohjatutkimus ja koestus. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-ISO 50000. 2014. OmaisuuDENhallinta. Yleiskuvaus, periaatteet ja termit. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-ISO 50001. 2018. OmaisuuDENhallinta. Hallintajärjestelmät. Ohjeita standardin ISO 55001:2014 soveltamisesta. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

SFS-ISO 50002. 2018. OmaisuuDENhallinta. Yleiskuvaus, periaatteet ja termit. Suomen Standardisoimisliitto SFS ry.

Somervuori, Petteri. Kalliotekninen asiantuntija, WSP Finland Oy. Sähköposti. 21.6.2022.

Suunnittelun ja rakentamisen sanasto uudistui. 2021. <<https://vayla.fi/-/suunnittelun-ja-rakentamisen-sanasto-uudistui>>. 13.12.2021. Luettu 26.6.2022.

Taina, Harri. 2022. Mittauspäällikkö ja tietomallikoordinaattori, Destia Oy, Jyväskylä. Kokous työmaatoimistolla 22.6.2022.

Tainio, Jasper & van der Weij, Oskar. 2019. Klaukkalan ohikulkutie Mt132, STk, Laatu/työsuunnitelma. Projektinnumero: 1199. Helsinki: Rockplan.

Taitorakennerekisteri. 2022. Verkkoaineisto. Väylävirasto. <<https://vayla.fi/palveluntuottajat/sillat/trex>>. 28.1.2022. Luettu 9.5.2022.

Taitorakenteiden tarkastusohje. 2013. Liikenneviraston ohjeita 17/2013. Helsinki: Liikennevirasto.

Teiden ja ratojen kuivatuksen suunnittelu. 2013. Liikenneviraston ohjeita 5/2013. Helsinki: Liikennevirasto.

Tien geotekninen suunnittelu. 2012. Liikenneviraston ohjeita 10/2012. Helsinki: Liikennevirasto.

Tien poikkileikkauksen suunnittelu. 2021. Väyläviraston ohjeita 16/2021. Helsinki: Väylävirasto.

Tiepenkereiden ja -leikkausten suunnittelu, tien pohjarakenteiden suunnitteluohjeet. 2010. Liikenneviraston ohjeita 09/2010. Helsinki: Liikennevirasto.

Tierakenteen suunnittelu. 2018. Liikenneviraston ohjeita 38/2018. Helsinki: Liikennevirasto.

Tietomallisuunnitelma, E18 Turun kehätie, Kausela–Kirismäki, vaihe 1, STk, revisio 2.0. 2021. Destia Oy.

Tie- ja ratahankkeiden inframalliohje. 2017. Liikenneviraston ohjeita 12/2017. Helsinki: Liikennevirasto.

Tunnelintarkastuskäsikirja, tunnelintarkastuksen suunnittelu- ja toteuttamisvaiheen ohjaus. 2019. Väyläviraston ohjeita 14/2019 (Luonnos 25.4.2019). Helsinki: Liikennevirasto.

Urakkakohtaiset tuotevaatimukset ja arvonvähennykset, E18 Kausela–Kirismäki; STk-urakka, 1. rakennusvaihe 2018. Turku: Liikennevirasto.

Urakkakohtaiset tuotevaatimukset ja arvonvähennykset, Mt132 Klaukkalan ohikulkutie, STk, revisio B. 2018. Liikennevirasto.

Urakkakohtaiset tuotevaatimukset ja arvonvähennykset, Vt4 Kirri–Tikkakoski; STk. 2018. Liikennevirasto.

Using the Q-system, rock mass classification and support design. 2015. NGI handbook. Oslo: Norges Geotekniske Institutt.

Yleiset inframallivaatimukset. 2021. Verkkoaineisto. buildingSMART Finland. <<https://buildingsmart.fi/infrabim/yiv/>>. 4.10.2021. Luettu 30.7.2022.

Velho kokoaa suunnitelma- ja toteuma-aineistot sekä tiestötiedot yhteen järjestelmään. 2020. Verkkoaineisto. Väylävirasto. <<https://vayla.fi/-/velho-kokoaa-kaikki-suunnitelma-ja-toteuma-aineistot-seka-tiestotiedot-yhteen-jarjestelmaan>>. 10.1.2020. Luettu 13.5.2022.

Vt4 Kirri–Tikkakoski. 2022. Verkkoaineisto. Väylävirasto. <<https://vayla.fi/vt4-kirri-tikkakoski>>. 22.4.2022. Luettu 8.6.2022.

Vt4 Kirri–Tikkakoski, hankkeen yleiskartta. 2022. Verkkoaineisto. Väylävirasto. <<https://vayla.fi/vt4-kirri-tikkakoski>>. 22.4.2022. Luettu 22.5.2022.

Vt4 Kirri–Tikkakoski-moottoritie tuo turvallisuutta ja sujuvuutta. 2022. Verkkoaineisto. Destia Oy. <<https://www.destia.fi/referenssi/vt-4-kirri-tikkakoski-moottoritie-tuo-turvallisuutta-ja-sujuvuutta/>>. 20.4.2022. Luettu 9.6.2022.

Vt4 Kirri–Tikkakoski-moottoritiellä kallioavoleikkaukset kohoavat yli 30 metriin. 2021. Verkkoaineisto. A-insinöörit Oy. <<https://www.ains.fi/uutiset/fotogrammetrinen-mallinnus-mahdollisti-tiiviin-kalliolujitusten-suunnitteluaiakataulun>>. 15.9.2021. Luettu 11.6.2022.

Väylähankkeiden suunnitteluperusteiden menettelykuvaus. 2021. Väyläviraston ohjeita 38/2021. Helsinki: Väylävirasto.

Väyläsanasto: suunnittelu ja rakentaminen. 2021. Sanastokeskus.

Väyläviraston avoimet rajapinnat. 2022. Verkkoaineisto. Väylävirasto. <<https://vayla.fi/vaylista/aineistot/avoindata/rajapinnat>>. Luettu 10.5.2022.

Väyläviraston avoin data. 2022. Verkkoaineisto. Väylävirasto. <[Väylävirasto.https://vayla.fi/vaylista/aineistot/avoindata](https://vayla.fi/vaylista/aineistot/avoindata)>. 26.7.2022. Luettu 30.7.2022.

Luovutusaineiston tiedonsiirron vaatimukset (YIV 2021) – kallioleikkauksiin liittyviä vaatimuksia

Lyhenteet ja värikoodit vaatimuskorttien lukuun

Väri- ja kirjainkoodi	Mallinnusvaatimus
P	Pakollinen, mallinnetaan aina
H	Hankekohtaisesti
E	Ei mallinneta (ei relevantti asia suunnitteluvaiheen kannalta)

HS (hankesuunnitteluvaihe), YS (yleissuunnitteluvaihe), TS (tiesuunnitteluvaihe), RS (ratasuunnitteluvaihe), KS (katusuunnitteluvaihe), PS (puistosuunnitteluvaihe), RS (rakentamisuunnitteluvaihe), TM (toteumamallit)

Lähtötietovaatimuksia

Vanhat avolouhinnat		
Luovutettava geometria		
HS, YS	Ei mallinneta	E
TS, RS, KS, PS	- Mallinnetaan pintana - Kauttaaltaan alle 1,0 m syviä tai alle 1,0m leveitä uria ei mallinneta - Alle 1,5 m syviä kuoppia ei mallinneta Luovutusaineisto sisältää pinnan lisäksi pinnan muodostavat pisteet ja taiteviivat	H
RS	- Kuten yllä - Täsmennetään tarkemmittausten perusteella, mikäli alueella tehdään syvennyslouhintaa. Luovutusaineisto sisältää pinnan lisäksi pinnan muodostavat pisteet ja taiteviivat	P
TM	Ei tuoteta toteumamallia, sisältyy lähtötietoaineistoon.	E
Ominaisuudet		
	Ominaisuustiedot jotka eivät siirry im4-formaatin mukana, mutta ovat normaalia suunnitelmallista tietoa joka esitetään muissa suunnitelmadokumenteissa.	
Tiedonsiirto (ks. 4. Luovutusvaihe ja tiedonsiirto)		
Geometria	Pakollinen IM4- määrittysten mukainen luovutusaineiston osa .	
Lisätietoja		
Vanhoilla avolouhinnoilla tarkoitetaan hankkeen alussa jo tehtyä hankkeen vaikutusalueella olevia louhintoja, jotka ovat selkeästi ja riittävän luotettavasti määritettävissä suunnitelmätiedon tai toteumamittauksen perusteella. Tällaisia ovat esimerkiksi vanhat rakennuskaivannot. Epämääräisiä avolouhintoja, kuten tienpohjia ei yleensä ole tarpeen tai järkevä mallintaa erillisenä pintana vaan sisällytetään osaksi muuta pintaa, kuten esim. kalliopinta -pintamallia.		

<i>Vanhat kalliotilat ja näihin liittyvät kallioavoleikkaukset</i>		
Luovutettava geometria		
HS, YS	- Kuten 1761 Kalliotunnelit (viittaus), sovittaen malli mitattuun tietoon tai vanhoihin suunnitelmiin siten, että kalliotilan koko ei ole merkittävästi todellista pienempi (mikäli epävarmat lähtötiedot, suurennetaan kalliotilaa suunnitelmiin nähden 500 mm kaikkiin suuntiin). - Mikäli liitytään olevaan kalliotilaan tai tehdään merkittävää louhintaa vaakatasossa etäisyydellä, joka on pienempi kuin viisi kertaa olevan kalliotilan jänneväli, on kalliotila mallinnettava	H /P
TS, RS, KS, PS	Kuten edellisessä vaiheessa	H /P
RS	Kuten edellisessä vaiheessa	H /P
TM	Ei tuoteta toteumamallia, sisältyy lähtötietoaineistoon.	E
Ominaisuudet		
	Ominaisuustiedot jotka eivät siirry im4-formaatin mukana, mutta ovat normaalia suunnitelmallista tietoa joka esitetään muissa suunnitelmadokumenteissa.	
Tiedonsiirto (ks. 4. Luovutusvaihe ja tiedonsiirto)		
Geometria	Pakollinen IM4- määritysten mukainen luovutusaineiston osa .	
Lisätietoja		
Vanhat kalliotilat ja kalliotiloihin liittyvät kallioavoleikkaukset ovat tunnelitiloihin liittyviä louhittuja tiloja, kuten ajotunneli yhteyt, tunnelit, hallit, kuilut ja perät. Tämä kortti poikkeaa tässä "vanhat avolouhinnat"-kortista siten, että tässä avolouhittuun tilaan liittyy selkeä maanalainen tila.		

<i>Kallionpinta</i>		
Luovutettava geometria		
HS, YS	- selkeästi rajattavat tai mitattavat/mitatut louhitut pinnat, kuten rakennuskaivannot mallinnetaan erikseen erillisenä pintana - ilman pyöristystä (lineaarinen kolmiointi) - kolmioiden pituuden raja ≤ 40 m - kun hankkeeseen liittyy kalliotunneli, on pituuden yläraja sovittava kalliokaton paksuuden mukaan <i>Luovutusaineisto sisältää pinnan lisäksi pinnan muodostavat pisteet ja taiteviivat</i> Mitatut avokallio- pisteet voidaan erotella kairauksista tulkituista kalliopinnan pisteistä <u>InfraBIM- nimikkeistön mukaisella pintakoodilla</u>	H
TS, RS, KS, PS	- Kuten aikaisemmassa vaiheessa mutta: - kolmioiden pituuden raja ≤ 20 - kun hankkeeseen liittyy kalliotunneli, on pituuden yläraja sovittava kalliokaton paksuuden mukaan. <i>Luovutusaineisto sisältää pinnan lisäksi pinnan muodostavat pisteet ja taiteviivat</i> Mitatut avokallio- pisteet voidaan erotella kairauksista tulkituista kalliopinnan pisteistä <u>InfraBIM- nimikkeistön mukaisella pintakoodilla</u>	H

RS	- Kuten yllä. Luovutusaineisto sisältää pinnan lisäksi pinnan muodostavat pisteet ja taiteviivat Mitatut avokallio- pisteet voidaan erotella kairauksista tulkituista kalliopinnan pisteistä InfraBIM- nimikkeistön mukaisella pintakoodilla	P
TM	Ennen louhintaa mitattu kalliopinta sisällytetään rakennusosan toteumamallihakemistoon 3D- hajapisteinä ja taiteviivoina sekä näistä muodostettuna kolmioverkkona. Toteumamalliin lisätään myös lähtöaineistosta kairautietoihin perustuva kalliopinta.	P
	Hankekohtaisesti sekä ratarakenteissa voidaan sopia louhitun kalliopinnan mittaus. Se sisällytetään erillisenä tiedostona rakennusosan toteumamallihakemistoon 3D- hajapisteinä ja taiteviivoina sekä näistä muodostettuna kolmioverkkona. Katso mallinnuskortti 171000 Kallioavoleikkaukset	
Ominaisuudet		
	Ominaisuustiedot jotka eivät siirry im4- formaatin mukana, mutta ovat normaalia suunnitelmallista tietoa joka esitetään muissa suunnitelmadokumenteissa.	
Tiedonsiirto (ks. 4. Luovutusvaihe ja tiedonsiirto)		
Geometria	Pakollinen IM4- määritysten mukainen luovutusaineiston osa .	
Lisätietoja		
Kalliopinnalla tarkoitetaan avokalliopaljastumia ja maapeitteen alla olevaa luonnollista kalliopintaa. Malliin sisällytetään myös hankkeen aloitusajankohtana jo tehty vaikeasti rajattavat ja tulkittavat louhinnat, kuten louhitut tiepohjat ja irtilouhittujen rakenteiden alapinnat. Poikkeustapauksessa, kun tietoa kalliopinnasta on vähän tai havaintojen väli on etäisyydeltään suuri, voidaan kalliohavainnot esittää myös objekteilla (ks. myös "maa- ja kallioperätutkimukset"). Objektien korkeus tulee olla 0m ja niissä tulee olla selkeä keskipiste. Tämä esitystapa tulee täydentää tai korvata pintana kun riittävä havaintotiheys saavutetaan edes paikallisesti.		

Maa- ja kallioperätutkimukset, suunnitellut		
Luovutettava geometria		
HS, YS	Ei mallinneta	E
TS, RS, KS, PS	- Tutkimusten sijoituessa rakentamattomalle alueelle ei näitä ole tarpeen mallintaa. - Tutkimusten sijoituessa alueille, joissa on väistettäviä rakenteita ja kairaukset ovat kallistettuja tulee kairauksen teoreettinen sijainti mallintaa sylinterimäisenä kappaleena tai 3D- kairauksena - Mikäli tutkimusreikään sijoitetaan rakentamisen aikana käytössä olevia mittauslaitteita, on tutkimusreikä mallinnettava. - Mallinnettaessa reikiä sylinterimäisillä objekteilla asetetaan sylinterien halkaisijaksi 2,00 m.	H /P
RS	Kuten yllä	H /P
TM	Ei tuoteta toteumamallia.	E
Ominaisuudet		
- Kairaustunnus - Kairausmenetelmä - Tehtävät tutkimukset - Suuntaus, kallistus, pituus (kun tarpeen)	Ominaisuustiedot jotka eivät siirry im4- formaatin mukana, mutta ovat normaalia suunnitelmallista tietoa joka esitetään muissa suunnitelmadokumenteissa.	

Tiedonsiirto (ks. 4. Luovutusvaihe ja tiedonsiirto)	
Geometria	Pakollinen IM4- määrittysten mukainen luovutusaineiston osa .
Lisätietoja	
Mallintamalla maa- ja kallioperätutkimustoimenpiteet varmistetaan, että tutkimusmenetelmä ei vahingoita olemassa olevia rakenteita/tekniikkaa ja että suunnatut poraukset on sijoitettu oikeaan kohtaan. Mallinnustarve määräytyy hankekohtaisesti tämän riskin/tarpeen mukaan. Hankkeen aikana maa- ja kallioperätutkimus- tiedot siirretään Infra-pohjatutkimusformaattissa	

Maa- ja kallioperätutkimukset, tulokset		
Luovutettava geometria		
HS, YS	Ei mallinneta	E
TS, RS, KS, PS	- Tutkimustulokset visualisoidaan sylinterimäisinä objekteina, joissa sylinterin halkaisija on oletusarvoisesti 1,0 m. - Yhdessä tutkimusreikä/-kairausta kuvaavassa objektissa voi olla useita lyhyempiä sylintereitä, joissa tutkimustietoa voidaan esittää sylinterin värin (maalajeja kuvattaessa noudatetaan SGY 201/2007 -julkaisun mukaista värikoodausta), halkaisijan, paksuuden/korkeuden ja kallistuksen mukaan. - Tutkimustulos voidaan kuvata myös kolmiulotteisesti suunnatulla kaksiulotteisella diagrammilla.	H
RS	Kuten yllä.	H
TM	Ei tuoteta toteumamallia.	E
Ominaisuudet		
- Maalajit tai niihin liittyviä ominaisuuksia - Kallion rakojen ominaisuuksia - Kallioperän ominaisuuksia - Kallioreiän halkaisija - Vedenjohtavuutta kuvaavat tiedot - Kairaajan havainnot ja kairaustyöhön liittyviä tietoja	Ominaisuustiedot jotka eivät siirry im4-formaatin mukana, mutta ovat normaalia suunnitelmallista tietoa joka esitetään muissa suunnitelmadokumenteissa.	
Tiedonsiirto (ks. 4. Luovutusvaihe ja tiedonsiirto)		
Geometria	Pakollinen IM4- määrittysten mukainen luovutusaineiston osa .	
Lisätietoja		
Tutkimukset palvelevat ensisijaisesti suunnittelua, jolloin tuloksia ei aina ole välttämätön mallintaa tässä kortissa esitetyllä tarkkuudella tai ylipäätään. Tutkimustulosten valikoitu sisältö esitetään ensisijaisesti maalajien rajapintamalleissa, pohjavesimalleissa, sekä maa- tai kallioperämalleissa. Pohjatutkimusten tietosisältö tulee ensisijaisesti siirtää tutkimuksille kehitetyissä formateissa (infra-pohjatutkimusformaatti).		

Kallioleikkaukset

171000 Kallioavoleikkaukset		
Luovutettava geometria		
HS, YS	- Mallintamisen tarvetta arvioitaessa tulee huomioida lähellä olevat kalliotilat, louhinnan syvyys ja louhinnan lähiympäristön herkkyys mm. värinälle, melulle ja kaasulle/pölylle. Louhintojen sijaitessa kaupunkiympäristössä ja penkan ollessa yli 3m korkea on syytä mallintaa louhinta. Rakentamattomassa ympäristössä - Louhinnan laajuus esitetään 3D- aluerajauksena. Aluerajauksen korkeusasema ei kuvaa louhintatasoa.	H
HS, YS	Rakennetussa ympäristössä Mallinnetaan teoreettisena louhintapintana	P
TS, RS, KS, PS	- Mallinnetaan teoreettisena louhintapintana - Teoreettinen laajuus arvioidaan lähtötietojen puitteissa - Lähtötietojen (kalliopintatiedot) ollessa puutteelliset on arvioitava louhinnan syvyys ja laajuus	P
RS	- Kuten aikaisemmassa vaiheessa - Louhittavan pinnan laajuus päivitetään tarkentuneen kalliopintatiedon mukaan - Luovutusaineisto sisältää pinnan muodostavat taiteviivat	P
TM	- Väylä- ja katurakenteissa mallinnetaan määrälaskennassa käytettävä pinta - Hankekohtaisesti ja ratarakenteissa louhittu ja puhdistettu kalliopinta mallinnetaan erillisenä pintana - Ennen louhintaa kartoitettu kalliopinta sisällytetään rakennusosan toteumamallihakemistoon kolmioverkkomallina, joka pitää sisällään taiteviivat ja pisteet, joista kolmiot muodostuvat. Katso mallinnuskortti kalliopinta.	P
Ominaisuudet		
- tarkkuusvaatimukset seinämissä ja näiden rakolinjojen suurin sallittu reikäväli tarkkuusluokittain - suurin sallittu rikkoutumisvyöhyke - suurin sallittu ohiporaus pohjassa - korkein sallittu kerralla lujittamattomana olevan seinämän korkeus		Ominaisuustiedot, jotka eivät siirry im4-formaatin mukana, mutta ovat normaalia suunnitelmallista tietoa joka esitetään muissa suunnitelmadokumenteissa.
Tiedonsiirto (ks. 4. Luovutusvaihe ja tiedonsiirto)		
Geometria (mittalinjan geometria)		Pakollinen IM4- määritysten mukainen luovutusaineiston osa.
Lisätietoja		
- Teoreettisella louhintapinnalla tarkoitetaan pintaa, joka kuvaa louhimalla tehtävän tilan suunniteltua rajapintaa (jäljelle jäävän kallion pinta). Tähän rajapintaan sidotaan louhinnan toleranssivaatimukset. - Avoleikkauksen ollessa työnaikaiseen mittalinjaan sidottu (esim ajotunnelit) on varmistettava, että kyseinen mittalinja on ajotunnelin luovutusaineistossa		

177100 Kallioon poratut reiät 177200 Kallioon poratut kaivot		
Luovutettava geometria		
HS, YS	mallinnetaan tilavuuskappaleena tai 3D-taiteviivoina	H
TS, RS, KS, PS	Kuten aikaisemmassa vaiheessa.	H
RS	Kuten aikaisemmassa vaiheessa.	H

TM	• Mallinnetaan 3D taiteviivana	H
Ominaisuudet		
• reiän alku- ja loppupisteen koordinaatit (xyz) • reiän pituus ja halkaisija • reiän tarkoituserä ja poraus- tai kairausmenetelmä • mahdollinen putkitus	• Ominaisuustiedot, jotka eivät siirry im4-formaatin mukana, mutta ovat normaalia suunnitelmallista tietoa joka esitetään muissa suunnitelmadokumenteissa.	
Tiedonsiirto (ks. 4. Luovutusvaihe ja tiedonsiirto)		
• Geometria	• Pakollinen IM4- määritysten mukainen luovutusaineiston osa.	
Lisätietoja		

Tiivistys- ja lujitusrakenteet

151000 Kallioinjektoinnit		
151900 Muut kallioinjektoinnit		
Luovutettava geometria		
HS, YS	• Ei mallinneta	E
TS, RS, KS, PS	• Kallioinjektointi mallinnetaan tilavuuskappaleena tai 3D- viivamallina	H
RS	• Kuten edellisessä vaiheessa.	H
TM	• Mallinnetaan hankekohtaisesti 3D-alueajauksena (esim. linjamainen verhousinjektointi), pisteinä tai taiteviivoina xyz- koordinaatistossa porareian ylä- ja alapään kohdalta.	H
Ominaisuudet		
• yksilöllinen reikätnnus • reiän alku- ja loppupisteen koordinaatit (xyz) • reiän pituus • esi- vai jälki-injektointi • injektointi- ja maksimipaine • lopetuskriteeri • injektointimassan vaihtokriteeri • toimenpiteisiin liittyvät päivämäärät (poraus, injektointi, tarkastus...) • maanpäällinen vai kalliotilassa tehtävä injektointi	• Ominaisuustiedot, jotka eivät siirry im4-formaatin mukana, mutta ovat normaalia suunnitelmallista tietoa joka esitetään muissa suunnitelmadokumenteissa.	
<u>Injektointimassan ominaisuuksia</u>		
• massan resepti ja/tai suhteutus • kemiallinen vai sementtipohjainen massa • käytetyt/käytettävät lisäaineet • massan menekkirajoitustietoja		
Tiedonsiirto (ks. 4. Luovutusvaihe ja tiedonsiirto)		
• Geometria	• Pakollinen IM4- määritysten mukainen luovutusaineiston osa.	
Lisätietoja		

152100 Kalliopultitukset		
152200 Kallioankkuroinnit		
Luovutettava geometria		
HS, YS	Ei mallinneta	E
TS, RS, KS, PS	kalliopultit mallinnetaan tilavuuskappaleena tai 3D- viivamallina	H
RS	Kuten edellisessä vaiheessa.	H
TM	Mallinnetaan hankekohtaisesti 3D-aluerajauksena, pisteinä tai taiteviivoina xyz-koordinaatistossa kalliopultin ylä- ja alapään kohdalta.	H
Ominaisuudet		
- reiän alku- ja loppupisteen keskipisteiden koordinaatit (xyz) - pultin asennuskohdan alku- ja loppupisteen koordinaatit (xyz) - pulttityyppi - pultin halkaisija ja suorien osuuksien pituudet - materiaali ja pinnoite (korroosiosuojaus) - pultin jännitystiedot - pultituslaji: ennakko-, välitön vai lopullinen pultitus - juotosmassan tiedot kohdan 1510 mukaan - kun juotosmassa on sementtipohjainen, ilmoitetaan myös rasitusluokat		
Ominaisuustiedot, jotka eivät siirry im4-formaatin mukana, mutta ovat normaalia suunnitelmallista tietoa joka esitetään muissa suunnitelmadokumenteissa.		
Tiedonsiirto (ks. 4. Luovutusvaihe ja tiedonsiirto)		
Geometria	Pakollinen IM4- määritysten mukainen luovutusaineiston osa.	
Lisätietoja		
KS-, TS-, PS-vaihe: Mallintamisen tarvetta arvioitaessa tulee huomioida olevien kalliotilojen ja kalliooperässä olevien muiden rakenteiden etäisyys ankkurista tai pultista		

152300 Verkotukset		
Luovutettava geometria		
HS, YS	Ei mallinneta	E
TS, RS, KS, PS	Mallinnetaan pintana	H
RS	Mallinnetaan pintana	H
TM	Mallinnetaan pintana	H

Ominaisuudet	
• verkon materiaali ja lujuusmääritelmä • teräsverkon yksittäisten terästen halkaisija • verkon silmäkoko • verkon pintakäsittely • verkkojen limitys • verkkojen kiinnitystapa asennuspintaan	• Ominaisuustiedot, jotka eivät siirry im4-formaatin mukana, mutta ovat normaalia suunnitelmallista tietoa joka esitetään muissa suunnitelmadokumenteissa.
Tiedonsiirto (ks. 4. Luovutusvaihe ja tiedonsiirto)	
Geometria	Pakollinen IM4- määritysten mukainen luovutusaineiston osa.
Lisätietoja	
• RS-vaihe: Mikäli asennus tapahtuu kalliopulteilla, tulee pultitus esittää kohdan 1521 mukaan. • KS-, TS-, PS-vaihe: Mallintamisen tarvetta arvioitaessa tulee huomioida verkotuksen määrä ja laajuus. Hankkeen kannalta laajat ja systemaattiset verkotukset suositellaan mallinnettavaksi.	

152900 Muut mekaanisesti lujitetut kalliorakenteet		
Luovutettava geometria		
HS, YS	• Ei mallinneta	E
TS, RS, KS, PS	• Rakenne mallinnetaan tapauskohtaisesti tilavuuskappaleena, pintana tai 3D-viivamallina	H
RS	• Rakenne mallinnetaan tapauskohtaisesti tilavuuskappaleena, pintana tai 3D-viivamallina	H
TM	• Mallinnetaan 3D-aluerajauksena, pisteinä tai taiteviivoina xyz- koordinaatistossa	H
Ominaisuudet		
• ominaisuudet määritellään tapauskohtaisesti	• Ominaisuustiedot, jotka eivät siirry im4-formaatin mukana, mutta ovat normaalia suunnitelmallista tietoa joka esitetään muissa suunnitelmadokumenteissa.	
Tiedonsiirto (ks. 4. Luovutusvaihe ja tiedonsiirto)		
• Geometria	• Pakollinen IM4- määritysten mukainen luovutusaineiston osa.	
Lisätietoja		

153100 Ruiskubetonointipinnat		
Luovutettava geometria		
HS, YS	• Ei mallinneta	E
TS, RS, KS, PS	• Teoreettinen ruiskubetonivara mallinnetaan tilavuuskappaleena tai pintana (ruiskubetonin avoimen tilan vastainen pinta) • Tarvittaessa suunniteltu ruiskubetonikerros mallinnetaan tilavuuskappaleena tai pintana (ruiskubetonin avoimen tilan vastainen pinta)	H
RS	• Kuten edellisessä vaiheessa	H
TM	• Mallinnetaan 3D-aluerajauksena tai pintoina xyz- koordinaatistossa.	H

Ominaisuudet	
• ruiskubetonin kerrospaksuudet erikseen ruiskutettavan pinnan mukaan (esim. tunneleissa seinien ja holvin mukaan, avolouhinnassa ja kuilulouhinnassa seinämän ja tasovälin mukaan)	• Ominaisuustiedot, jotka eivät siirry im4-formaatin mukana, mutta ovat normaalia suunnitelmallista tietoa joka esitetään muissa suunnitelmadokumenteissa.
• tunnelissa: lujitusprofiilien mukaan lujitettavan alueen alkupaalu, loppupaalu ja tunnelitunnus • ruiskubetonimassan ominaisuuksia (lisäaineet kerroksittain, massan rasitusluokat, kuiva- vai märkäseosmenetelmä) • ruiskubetonoinnin laji: välitön, turva vai lopullinen ruiskubetonointi • kuitumateriaali tai verkkomateriaali • energianabsorptioluokka	
Tiedonsiirto (ks. 4. Luovutusvaihe ja tiedonsiirto)	
• Geometria	• Pakollinen IM4- määritysten mukainen luovutusaineiston osa.
Lisätietoja	
• RS-vaihe: Mittalinjan suhteen kohtisuorassa olevat tunnelilouhinnalla louhittavien pintojen ruiskubetonirakennetta ei ole välttämätöntä mallintaa	

Inframallin tarkkuusvaatimukset

(Tie- ja ratahankkeiden inframalliohje 2017)

Lyhenteet ja värikoodit vaatimuskorttien lukuun

Värikoodi	Mallinnustarkkuus
	Lähtökohtaisesti ei mallinneta.
	Mallinnetaan osien ulkopinnat. Ei vaadita tilavuusominaisuuksia; 2D-pinta, aluerajaus tai taiteviiva riittää.
	Mallinnetaan osat 3-ulotteisina kappaleina, pintoina, taiteviivoina. Objektien ominaisuustiedoista kerrotaan vain ko. suunnitteluvaiheessa olennaiset asiat.
	Mallinnetaan täydellinen kuvaus rakenteesta.
	Mallinnus ja sen tarkkuustaso sovitaan hankekohtaisesti.

	Selitys
P	Pakollinen, mallinnetaan aina
H	Hankekohtaisesti
E	Ei mallinneta (ei relevantti asia suunnitteluvaiheen kannalta)

Siltojen ja muiden taitorakenteiden osalta noudatetaan
Siltojen tietomalliohjetta (LO 6/2014)

Tarkkuusvaatimukset

RO = Rakennusosa

Esisuunnitelmavaiheessa sovelletaan yleissuunnitelmavaiheen tarkkuustasoa.

RO	Suunnitelman osa	Yleis	Tie Rata	Rak	Lisähuomiot
	Tie- ja ratatekninen suunnittelu				
-	Vaaka- ja pystygeometria	P	P	P	
-	Muut geometrialinjat	P	P	P	Esimerkiksi tien reunalinjat
-	Radan tilavaraus	E	P	P	Esimerkiksi aukean tilan ulottuma (ATU)
-	Tie- ja rautatiealueen rajat	P	P	P	
-	Tie- ja rautatien suoja-alueen rajat	E	P	P	
-	Väylien hallinnolliset muutokset	E	P	P	
-	Pintakuivatusjärjestelyt	H	P	P	
-	Maanotto- ja läjitysalueet	E	P	P	
-	Rakentamisaikaiset tilapäiset raiteet ja muut liikennejärjestelyt	E	H	H	
-	Työnaikaiset haltuunotot	E	H	P	
-	Työnaikaiset tasonisteykset	E	H	P	
-	Työnaikaiset tieoikeudet ja muut rasitteet	E	P	P	
-	Rautatieliikennepaikat	P	P	P	
-	Työväiheistus	E	H	H	
-	Pohjavesi	H	P	P	Pohjavesialue määritetään jo yleissuunnitelmavaiheessa, mutta sitä ei ole välttämätöntä mallintaa. Pohjavedenpinta mallinnetaan tie-/rata- sekä rakennussuunnitelmavaiheessa.
-	Kalliopinta	H	P	P	
-	Maakerrosrajapinnat	H	P	P	
-	Maa- ja kallioperätutkimukset	H	H	H	Esimerkiksi 3D-diagrammit tai pylväät
	Pilaantuneet maat ja rakenteet				
1210	Poistettavat pilaantuneet maat ja rakenteet	H	P	P	
1220	Eristerakenteet	P	P	P	
1230	Muut poistettavat pilaantuneet maat ja rakenteet	H	H	H	
-	Kapselointirakenteet	H	P	P	
	Perusrakenteet				
1311	Anturaperustukset	H	P	P	
1312	Laattaperustukset	H	P	P	
1319	Sähköratapylväiden perustukset	H	P	P	
1320	Paaluperustukset	E	P	P	
1330	Arinarakenteet	E	P	P	

RO	Suunnitelman osa	Yleis	Tie Rata	Rak	Lisähuomiot
	Pohjarakenteet				
-	Pohjarakenteisiin liittyvät tavoitepinnat	H	P	P	Esimerkiksi paalujen tavoitetaso, massanvaihdon alapinta
1411	Syväiivistetyt maarakenteet	P	P	P	
1412	Liuskapystyöjitetut maarakenteet	P	P	P	
1413	Stabiloidut maarakenteet	P	P	P	
1415	Injektoidut maarakenteet	P	P	P	
1415	Lujitetut maarakenteet	P	P	P	
1419	Muut vahvistetut maarakenteet	P	P	P	
1421	Roudaneristykset	H	P	P	
1422	Lämmöneristykset	H	P	P	
1423	Pohjavedensuojaukset	P	P	P	
1424	Radonkaasunsuojaukset	H	P	P	
1429	Muut suojaukset ja eristykset	H	H	H	
1431	Salaojaputket	E	H	P	
1432	Salaojen tarkastuskaivot	E	P	P	
1433	Salaojen tarkastusputket	E	P	P	
1434	Avo-ojat ja -uomat	H	P	P	
1435	Rumpuputket	H	P	P	
1436	Imeytysrakenteet	H	P	P	
1439	Muut kuivatusrakenteet	H	H	H	
	Kallioitiivisyys- ja lujitusrakenteet				
1510	Kallioinjektioinnit	E	H	H	
1520	Mekaanisesti lujitetut kalliorakenteet	E	H	H	
1530	Ruiskubetonointirakenteet	H	H	H	
	Maaleikkaukset ja -kaivannot				
1610	Maaleikkaukset	P	P	P	
1620	Maakaivannot	H	P	P	
1630	Kaivannon tukirakenteet	H	P	P	
1640	Vedenalaiset maaleikkaukset ja -kaivannot	H	P	P	
1650	Rakenteiden alitukset	H	H	H	
	Kallioleikkaukset, -kaivannot ja -tunnelit				
1710	Kallioavoleikkaukset	H	P	P	
1720	Kalliokanaalit, -kuopat ja -syvennykset	E	H	P	
1730	Kallioon louhittavat rakennus- ja siltakaivannot	H	P	P	
1740	Vedenalaiset kallioleikkaukset ja -kaivannot	H	P	P	
1750	Jälkikäsitellyt kallioipinnat	E	H	P	
1760	Maanalaiset kalliotilat	P	P	P	
1771	Kallioon poratut reiät	P	P	P	
1779	Muut kallioon porattavat rakenteet	E	H	H	
-	Tasauslouhinta	E	E	H	
	Penkereet, maapadot ja täytöt				
1811	Penkereet	P	P	P	
1811.5	Vastapenkereet	P	P	P	
1811.6	Esikuormituspenkereet	H	H	P	
1812	Luiskatäyte	H	P	P	
1831	Asennusallustat	E	H	P	
1832	Alkutäytöt	H	P	P	
1833	Lopputäytöt	H	P	P	
1834	Perustusten alustäytöt	E	H	P	
1835	Rakenteiden ympärystäytöt	E	H	P	
1836	Massanvaihtoon kuuluvat täytöt	H	P	P	
1837	Johtokaivantojen virtaussulut	H	H	H	
1839	Muut kaivantojen täytöt	H	H	H	
	Päällysrakenteen osat ja radan alusrakennekerrokset				
-	Ylin yhdistelmäpinta	P	P	P	
-	Alin yhdistelmäpinta	H	P	P	
2111	Suodatinkerrokset	E	P	P	Mallinnetaan yläpinta
2112	Suodatinkankaat	E	E	P	Mallinnetaan yläpinta
2120	Jakavat kerrokset, eristyskerrokset ja välikerrokset	E	P	P	Mallinnetaan yläpinta
2131	Sitomattomat kantavat kerrokset	E	P	P	Mallinnetaan yläpinta
2132	Sidotut kantavat kerrokset	E	P	P	Mallinnetaan yläpinta
2140	Päällysteet ja pintarakenteet	E	P	P	Mallinnetaan yläpinta
2150	Siirtymärakenteet	E	E	P	Mallinnetaan yläpinta
2161	Piennartäyte	E	P	P	Mallinnetaan yläpinta
-	Radan huoltoteiden ylin yhdistelmäpinta	H	P	P	
-	Radan huoltoteiden rakennekerrokset	E	H	P	Mallinnetaan yläpinta

RO	Suunnitelman osa	Yleis	Tie Rata	Rak	Lisähuomiot
	Reunatuet, kourut, askelmat ja eroosiosuojaukset				
2211	Reunatuet	E	P	P	
2221	Luisakennostot	E	P	P	
2222	Kiviheitokset	E	P	P	
2223	Kiviladokset	E	P	P	
2224	Vahvisteverkot	E	P	P	
2225	Luonnonmukaiset eroosiosuojaukset	E	P	P	
2229	Muut luisakverhoukset ja eroosiosuojaukset	E	P	P	
	Kasvillisuusrakenteet				
2310	Kasvualustat ja katteet	H	P	P	
2320	Nurmi- ja niittyverhoukset	H	P	P	
2330	Istutukset	H	P	P	
	Ratojen päällysrakenteet				
2410	Tukikerrokset ratarakenteissa	P	P	P	
2421	Ratakiskot	E	H	P	Esimerkiksi kiskon selän korko 3D-viivana
2422	Ratapölkkyt	E	E	H	
2423	Vaihteet (tyyppi, kätisyys, jatkokset, matemaattinen keskipiste)	P	P	P	
	Vesihuollon järjestelmät				
3110	Jätevesiviemärit	P	P	P	
3120	Hulevesiviemärit	P	P	P	
3130	Vesijohdot	P	P	P	
3140	Veden ja jäteveden käsittelylaitokset	H	H	H	
3150	Pysyvät pohjaveden alennusrakenteet	P	P	P	
	Turvallisuusrakenteet, opastusjärjestelmät ja kalusteet				
3210	Kaiteet, johteet ja törmäyssuojat	H	P	P	
3220	Aidat, puomit ja portit	H	P	P	
3230	Reunapaalut ja pollarit	H	P	P	
3240	Suoja- ja varoitusrakenteet	H	P	P	
3250	Erityisrakenteet	P	P	P	Esimerkiksi hidasterakenteet
3261	Liikenne- ja opastusmerkit	E	P	P	
3262	Liikennevalot ja valo-opasteet	H	P	P	
3263	Tiimerkinnät	E	P	P	
3264	Opastustaulut	H	P	P	
3290	Muut turvallisuusrakenteet ja opastusjärjestelmät	E	H	H	
-	Radan merkit	E	H	P	
	Sähkö-, tele- ja konetekniset järjestelmät				
3310	Sähkön- ja tiedonsiirtorakenteet	P	P	P	
3320	Kaapeleiden putkien ja johtojen suojarakenteet	E	P	P	
3331	Pylväät	E	P	P	
3332	Ilmajohtojen kannatinrakenteet	E	P	P	
3333	Mastot	H	P	P	
3334	Portaalit	E	P	P	
3339	Muut kannatusrakenteet	H	H	H	
3360	Valaistusrakenteet	P	P	P	
3370	Sähkö-, tele- ja konetekniset laitteet	H	P	P	Tie- ja ratasuunnitelmavaiheessa tilavaraus riittää. Rakennussuunnitelmavaiheessa sovitaan hankekohtaisesti, mikäli vaaditaan tarkempaa mallinnustarkkuutta.
3381	Radan sähkön- ja tiedonsiirtorakenteet	H	P	P	
3384	Raitiotieliikenteen sähkön- ja tiedonsiirtorakenteet	H	P	P	
	Lämmön- ja kaasunsiirojärjestelmät				
3410	Kaukolämpöjohdot	P	P	P	
3420	Kaukojäähdytysjohdot	P	P	P	
3430	Sulanapitojärjestelmä	E	P	P	
3440	Maakaasuputkisto	P	P	P	
	Laiturit				
4310	Laiturien tukirakenteet	E	P	P	
4320	Laiturien päällyys- ja pintarakenteet	P	P	P	
4330	Laiturien varusteet ja laitteet	E	H	P	
	Perustus- ja tukirakenteet				
4421	Tukimuurit, ≤ 700mm	P	P	P	
4422	Tukiseinät	P	P	P	
4423	Kivikorit	E	P	P	
4424	Portaat	P	P	P	
	Ympäristörakenteet				
4511	Meluseinät	P	P	P	
4512	Melukalteet	P	P	P	
4513	Täriinänvaimennusrakenteet	H	P	P	
4519	Muut vaimentavat rakenteet	H	H	H	
	Rakennelmat ja kalusteet				
4610	Suojat	H	P	P	Esimerkiksi katokset
4620	Kalusteet ja varusteet	E	H	P	

Rakennusgeologinen (RG) kallioluokitus (Korhonen ym. 1974) – kartoitusparametrit tiivistetysti

KALLIOLAADUN KUVAUS

Rakenteellinen kiinteys	Rakennetyyppi	Rakennetyyppi ja tihein rakoilu	Vallitsevien kivilaatu- tujen kovuus/sitkeys
kiinteä kallio	massarakenteinen (Ma)	harvarakoinen (Ma1) vähärakoinen (Ma2) runsarakoinen (Ma3)	pehmeä (p) hauras (h) sitkeä (s) kova (k)
	liuskerakenteinen (Li)	harvarakoinen (Li1) vähärakoinen (Li2) runsarakoinen (Li3)	
	seosrakenteinen (Se)	harvarakoinen (Se1) vähärakoinen (Se2) runsarakoinen (Se3)	
löyhä kallio	löyhärakenteinen (Lö)	harvarakoinen (Lö1) vähärakoinen (Lö2) runsarakoinen (Lö3)	
	raparakenteinen (Ra)	kuvataan kivilaadun perusteella niin laajasti kuin se on rapautumisaste huomioon ottaen mahdollista	
rikkonainen kallio	halkeamarakenteinen (RiI)	tasomaiset raot jakavat kallion kahteen tai useampaan erilliseen osaan	
	rakorakenteinen (RiII)	runsarakoinen	ei rakotäytettä
	murrosrakenteinen (RiIII)	tiheärakoinen	rakojen täytteisyys vähäistä
	ruhjerakenteinen (RiIV)	runsa tai tiheärakoinen	raoissa savitäytettä
	savirakenteinen (RiV)	–	runsaasti kalliosavea

RAKOTIHEYD

Rakoväli m	Rakoluku kpl/m	Lohkon koko m ³	Nimitys	Tunnus
> 1,0	< 1,0	> 1,0	harvarakoinen	Rk 1
0,3...1,0	1...3	$30 \cdot 10^{-3}$...1,0	vähärakoinen	Rk 2
0,1...0,3	3...10	$1 \cdot 10^{-3}$... $30 \cdot 10^{-3}$	runsarakoinen	Rk 3
< 0,1	> 10	$< 1 \cdot 10^{-3}$	tiheärakoinen	Rk 4

OSASTEN JÄRJESTYNEISYYS

Osasten järjestyneisyys ja liuskeisuusaste	Tunnus
massamainen suuntaukseton	M0
massamainen, liuskeisuusaste heikko	M1
liuskeinen, liuskeisuusaste kohtalainen	L2
liuskeinen, liuskeisuusaste voimakas	L3
seoksinen, suuntaukseton	S0
seoksinen, liuskeisuusaste heikko	S1
seoksinen, liuskeisuusaste kohtalainen	S2
seoksinen, liuskeisuusaste voimakas	S3

RAPAUTUNEISUUS

Rapautumisaste	Tunnus
rapautumaton	Rp0
vähän rapautunut	Rp1
runsaasti rapautunut	Rp2
täysin rapautunut	Rp3

RAKOILUTYYPIT

Rakoilutyytit	Vallitsevien mineraalien likimääräinen jakautuminen
kuutiorakoilu	Kalliossa on kolme likipitään kohtisuorassa toisiaan vastaan olevaa rakosuuntaa, joissa rakotiheys on melkein sama. Lohkot ovat lähes kuutiomaisia tai paksuja suuntaissärmiöitä.
laattarakoilu	Yhden rakosuunnan rakoväli on muita selvästi tiheämpi ja säännöllisempi. Kallion lohkot ovat laattamaisia.
kiilarakoilu	Kalliossa on kaksi tai useampia muita selvemmin kehittyneitä rakosuuntia, joista ainakin kaksi leikkaa toisiaan noin 20...60° kulmassa. Lohkot ovat kiilamaisia.
sekarakoilu	Raot ovat enimmäkseen mutkittelevia ja erisuuntaisia. Kalliossa ei ole selvästi vallitsevia rakosuuntia.

KIVILAATUJEN KOVUUS JA SITKEYS

Kivilaadun nimitys	Vallitsevien mineraalien likimääräinen jakautuminen	Tunnus
pehmeä	kiilteet, talkki, kloriitti, karbonaatit, yhteensä yli 40 %	p
hauras	maasälvät yli 40 %; amfibolit ja pyrokseenit yhteensä alle 25 %	h
sitkeä	amfibolit ja pyrokseenit yhteensä vähintään 25 %	s
kova	kvartsi yli 40 %	k

Q-luokituksen parametrit

(Using the Q-system, rock mass classification and support design 2015)

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF}$$

Q-LUOKITUKSEN PARAMETRIT

RQD	Rakoilun tiheyttä kuvaava luku
J _n	Rakosuuntien lukumäärätekijä
J _r	Rakopintojen karkeusluku
J _a	Rakopintojen muuttuneisuusluku
J _w	Rakojen vedenläpäisevyysluku
SRF	Jännitystilaluku.

Q-LUOKITUKSEN LAATULUOKAT

Q-luku	Laatuluokka
0,001–0,01	Poikkeuksellisen heikko
0,01–0,1	Erittäin heikko
0,1–1	Varsin heikko
1–4	Heikko
4–10	Kohtalainen
10–40	Hyvä
40–100	Varsin hyvä
100–400	Erittäin hyvä
400–1000	Poikkeuksellisen hyvä

RAKOILUN TIHEYTTÄ KUVAAVA LUKU (RQD)

RQD	Rakomäärä / m ³
0–25	> 27 rakoa / m ³
25–50	20–27 rakoa / m ³
50–75	13–19 rakoa / m ³
75–90	8–12 rakoa / m ³
90–100	0–7 rakoa / m ³

RAKOSUUNTIEN LUKUMÄÄRÄTEKIJÄ (J_n)

J _n	Selite
0,5–1	Kiinteä kallio, jossa vain muutamia rakoja
2	Yksi rakosuunta
3	Yksi rakosuunta + satunnaista rakoilua
4	Kaksi rakosuuntaa
6	Kaksi rakosuuntaa + satunnaista rakoilua
9	Kolme rakosuuntaa
12	Kolme rakosuuntaa + satunnaista rakoilua
15	Neljä tai useampia rakosuuntia, satunnaista, voimakasta rakoilua, "sokeripaloja"
20	Kallio murskaantunutta, maan kaltaista

RAKOPINTOJEN KARKEUSLUKU (Jr)

a) Rakopinnot kiinni toisissaan, tai

b) rakopinnot erottaa ohut rakotäyte, joka sallii enintään 10 cm siirtymän:

Jr	Selite
4	Raot epäjatkuvia
3	Rakopinta karkea tai säännötön, aaltoileva
2	Rakopinta sileä, aaltoileva
1,5	Rako haarniskapintainen, aaltoileva
1,5	Rakopinta karkea tai säännötön, tasainen
1	Rakopinta sileä, tasomainen
0,5	Rako haarniskapintainen, tasomainen

c) Rakopinnot eivät ole kiinni toisissaan ja niitä erottaa:

Jr	Selite
1	Savimineraaleja sisältävä vyöhyke, joka on kyllin paksu estämään kontaktin
1	Hiekkaa, soraa tai murskaantunutta kalliota sisältävä vyöhyke, joka on kyllin paksu estämään kontaktin

HUOM!

Jr:n arvoon lisätään 1,0 jos rakoväli on yli 3 m

Arvoa Jr = 0,5 voidaan käyttää tasomaisiin haarniskapintaisiin rakoihin, joissa näkyvillä lineaatio, mikäli lineaatio on arvioitun liikesuunnan suuntainen.

RAKOPINTOJEN MUUTTUNEISUUSLUKU (Ja)

a) Rakopinnot kiinni toisissaan:

Ja	Selite
0,75	Rakotäyte tiivistä, kovaa ja pehmenemätöntä.
1	Muuttumattomat pinnot, pinta vain likainen.
2	Lievästi muuttuneet rakopinnot, täyteenä pehmenemättömiä mineraaleja, hiekkarakeita tai murskaantunutta savetonta kalliota.
3	Rakotäyteenä siltistä tai hiekkaista savea, pieniä savivyöhykkeitä (pehmenemättömiä).
4	Pehmeneviä tai pienen kitkan omaavia savimineraalitäytteitä ja pieniä määriä paisuvaa savea (täyteisyys epäsäännöllistä, paksuus korkeintaan 1–2 mm).

b) Rakopintoja erottaa ohut rakotäyte, joka sallii enintään 10 cm leikkaussiirtymän:

Ja	Selite
4	Täyteenä hiekkarakeita, murskaantunutta, savetonta kalliota.
6	Vahvasti ylikonsolidoitunut, pehmenemätön savimineraalitäyte (täyteisyys jatkuva, paksuus < 5 mm).
8	Keskinkertaiset tai vähän ylikonsolidoitunut, pehmenevä savimineraalitäyte.
8–12	Paisuva savitäyte (täyteisyys jatkuva, paksuus < 5 mm). Ja:n arvo riippuu saven paisuvuudesta ja veden esiintymisestä.

c) Rakopinnot ei kiinni, rakotäyte sallii yli 10 cm leikkaussiirtymän, täyteen paksuus yli 5 mm:

Ja	Selite
6, 8 tai 8–12	Murskaantunutta kalliota tai savea sisältävä vyöhyke.
5	Siltistä tai hiekkaista savea sisältävät vyöhykkeet, pienet savivyöhykkeet (pehmenemättömät).
10, 13 tai 13–20	Paksut, jatkuvat savivyöhykkeet.

RAKOJEN VEDENLÄPÄISEVYYSLUKU (Jw)

Jw	Selite
1	Kuivat kalliotilat tai vesivuodot hyvin pieniä (paikallisesti < 5l/min)
0,66	Keskinkertaiset vesivuodot, satunnaista rakotäytteen poishuuhtoutumista
0,5	Suuret vesivuodot kohtalaisen hyvässä kalliossa, jossa raot ovat täytteettömiä
0,33	Suuret vesivuodot, rakotäytteen huomattavaa poishuuhtoutumista
0,2–0,1	Poikkeuksellisen suuret vesivuodot välittömästi räjäytyksen jälkeen, vuodot kuitenkin pienenevät myöhemmin
0,1–0,05	Poikkeuksellisen suuret pysyvät vesivuodot

JÄNNITYSTILALUKU (SRF)

a) Kalliossa heikkousvyöhykkeitä

SRF	Selite
10	Useita heikkousvyöhykkeitä, jotka sisältävät savea tai rapautunutta kalliota, ympäröivä kallio hyvin löyhää (kaikki syvydet)
5	Yksittäisiä heikkousvyöhykkeitä, jotka sisältävät savea tai rapautunutta kalliota (syvyys ≤ 50 m)
2,5	Yksittäisiä heikkousvyöhykkeitä, jotka sisältävät savea tai rapautunutta kalliota (syvyys > 50 m)
7,5	Useita heikkousvyöhykkeitä kohtalaisen hyvässä, savettomassa kalliossa, ympäröivä kallio löyhää (kaikki syvydet)
5	Yksittäisiä heikkousvyöhykkeitä kohtalaisen hyvässä, savettomassa kalliossa (syvyys ≤ 50 m)
2,5	Yksittäisiä heikkousvyöhykkeitä kohtalaisen hyvässä, savettomassa kalliossa (syvyys > 50 m)
5	Rakoilu erittäin tiheää, raot löyhiä ja avoimia

b) Hyvä kallio, jännitystilasta aiheutuvia ongelmia

SRF	σ_c / σ_1	σ_θ / σ_c	Selite
2,5	> 200	< 0,01	Jännitykset pieniä, kalliotila lähellä pintaa
1	200–10	0,01–0,3	Keskinkertaiset jännitykset
0,5–2	10–5	0,3–0,4	Korkeat jännitykset, hyvin kiinteä rakenne. Yleensä edullinen lujuudelle, mahdollisesti epäedullinen seinien lujuudelle.
5–50	5–3	0,5–0,65	Lievää laattojen hilseilyä > 1 tunnin kuluttua (kiinteä kallio)
50–200	3–2	0,65–1	Kivilaattojen hilseilyä ja kallioräiskettä muutamassa minuutissa (kiinteä kallio)
200–400	< 2	< 1	Runsaasti kallioräiskettä ja välittömiä dynaamisia muodonmuutoksia (kiinteä kallio)

c) Kokoonpuristuva kallio, heikkolaatuisen kallion muuttumista plastiseksi korkean paineen vaikutuksesta

SRF	σ_θ / σ_c	Selite
5–10	1–5	Lievä kokoonpuristuva paine
10–20	> 5	Suuri kokoonpuristuva paine

d) Paisuva kallio. Kemiallisen paisumisen voimakkuus riippuu veden määrästä

SRF	Selite
5–10	Lievä paisuttava paine
10–20	Suuri paisuttava paine