

LASSE SALLINEN

## Kallioleikkausten tarkastustoiminnan kehittäminen





Lasse Sallinen

# Kallioleikkausten tarkastustoiminnan kehittäminen

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 41/2015

Liikennevirasto

Helsinki 2015

*Kannen kuva: Lasse Sallinen*

Verkojulkaisu pdf ([www.liikennevirasto.fi](http://www.liikennevirasto.fi))

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-317-123-7

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0295 34 3000

**Lasse Sallinen: Kallioleikkausten tarkastustoiminnan kehittäminen.** Liikennevirasto, infra ja ympäristö -osasto. Helsinki 2015. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 41/2015. 80 sivua ja 7 liitettä. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-123-7.

**Avainsanat:** Kallioleikkaus, Taitorakenne

## Tiivistelmä

Liikenneviraston hallinnoimilla rata-, tie- ja vesiväylillä olevat kallioleikkaukset määritellään suurelta osin taitorakenteiksi, joille Liikennevirasto on kehittämässä yhteistä rekisteriä ja kunnonhallinnointijärjestelmää. Nykyään kallioleikkausten tietoja on rekisteröitynä ainoastaan rataverkon osalta. Kallioleikkauksille ei ole ollut yhtenevää tarkastustoimintaa tai ohjeistusta, vaan kunnonseuranta on perustunut väylän kunnonssapitäjän suorittamaan tarkkailuun. Kunnonseuranta on ollut eri väylätyyppien osalta hyvin samantasoista.

Työn teoriaosuudessa esiteltiin lyhyesti Suomen kalliooperän historiaa, koostumusta ja kalliooperään liittyviä ominaisuuksia. Lisäksi työn teoriaosassa esiteltiin tarkemmin kahta Suomessa yleisesti käytössä olevaa kallioleikkauksen luokitusmenetelmää, kallioleikkausten pysyvyyttä ja vaurioitumista. Työssä selvitettiin myös Liikenneviraston hallinnoimilla väylillä olevien kallioleikkauksien rakentamista koskevaa ohjeistusta ja ohjeistuksen kehittymistä vuosien varrella.

Diplomityön tarkoituksena oli toimia lähtökohtana myöhemmin mahdollisesti koostettavalle kallioleikkausten tarkastuskäsikirjalle. Työssä selvitettiin kallioleikkauksiin ja kalliorakenteisiin liittyvää tarkastustoimintaa Ruotsissa ja Norjassa. Näiden sekä kallioleikkausten pysyvyyden, tarkastuskäytäntöjen ja muiden taitorakenteiden tarkastustoiminnan pohjalta kehitettiin kaksi hieman erilaista tarkastusmenetelmää, joita kokeiltiin kolmessa eri väylätyyppejä edustavassa pilottikohteessa. Pilottikohdet valikoitiin kallioleikkauksissa viime aikoina ilmenneiden oireilujen perusteella.

Työn tuloksena kehitettiin vaurioluokitustaulukoita kallioleikkauksien kalliomassaan, vesivuotoihin ja kasvillisuuteen liittyviin vaurioihin. Työn yhteydessä tehtyjen havaintojen perusteella kehitettiin ehdotus kallioleikkauksien kuntoarviolle sekä vauriopistesumman laskennalle.

Säännöllistä tarkastustoimintaa varten kallioleikkausten ominaistiedot tulisi kerätä taitorakennerekisteriin. Taitorakennerekisteriin tulee sisällyttää myös kallioleikkauksiin liittyvien rakenteiden, lujitusrakenteiden ja varusteiden tiedot. Kallioleikkausten vauriotietoihin tulee voida liittää tiedot mahdollisista kallioleikkauksessa talviaikaan havainnoituista paannejääkertymistä.

**Lasse Sallinen: Utveckling av bergsskärningarnas granskningsarbete.** Trafikverket, infrastruktur och miljö. Helsingfors 2015. Trafikverkets undersökningar och utredningar 41/2015. 80 sidor och 7 bilagor. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-123-7.

**Nyckelord:** Bergsskärning, Konstbyggnad

## Sammanfattning

Bergsskärningar på vägar, järnvägar och vattenvägar som förvaltas av Trafikverket, definieras i allmänhet som konstbyggnader. Trafikverket håller på att utveckla ett register och system för att underlätta hanteringen av underhållet av bergsskärningarna. I nuläget finns det information om bergsskärningar endast för järnvägarna, och det har inte funnits någon allmän granskningsverksamhet eller gemensamma granskningsanvisningar. Uppföljningen av bergsskärningarnas tillstånd har baserat sig på den underhållsskyldiges kontroller. Nivån av konditionskontrollerna har varit liknande på de olika trafikledstyperna.

I teorikapitlet presenterades kort den finska berggrundens historia, samt berggrundens konsistens och egenskaper. Noggrannare presenterades dessutom två klassificeringsmetoder för bergskvaliteten som allmänt används i Finland, samt stabiliteten och skadorna i bergsskärningarna. I arbetet utreddes även regler och anvisningar för byggandet av bergsskärningar på trafikleder förvaltade av Trafikverket, samt dessa regelverks utveckling genom åren.

Syftet med diplomarbetet var att fungera som grund för en handbok för granskning av bergsskärningar, som eventuellt sammanställs senare. I arbetet undersöktes granskningsarbetet av bergsskärningar och bergkonstruktioner i Sverige och Norge. Resultatet av dessa analyser, samt bergsskärningarnas stabilitet, granskningspraxis och andra konstbyggnaders granskningsverksamhet, låg till grund för två något olika slags kontrollmetoder, som provades i tre pilotobjekt på olika trafikledstyper. Pilotobjekten valdes på basis av skador som förekommit nyligen.

Som ett resultat av arbetet utvecklades klassificeringstabeller för skador i skärningarnas bergmassa, vattenläckage, samt vegetationsrelaterade skador. Med hjälp av observationer gjorda under arbetets lopp, utvecklades ett förslag för hur bergsskärningarnas tillstånd ska bedömas, samt ett förslag för beräkning av en så kallad skadepoängssumma.

För att underlätta ett regelbundet kontrollarbete, borde bergsskärningarnas egenskapsdata samlas till ett konstbyggnadsregister. Registret borde även innehålla konstruktioner, förstärkningskonstruktioner och annan utrustning som hör ihop med bergsskärningar. Uppgifter om svallis som vintertid formas i bergsskärningar bör kunna bifogas till skadeuppgifterna.

**Lasse Sallinen: Improvement of the rock cuts inspection activities.** Finnish Transport Agency, Infrastructure and Environment. Helsinki 2015. Research reports of the Finnish Transport Agency 41/2015. 80 pages and 7 appendices. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-123-7.

**Keywords:** rock cut, engineering structure

## Summary

Rock cuts along railway lines, roads and waterways are generally defined as engineering structures for which the Finnish Transport Agency is developing a common register and a condition management system. Currently, information about rock cuts is registered covering only the railway infrastructure. Thus far, the condition inspections on rock cuts have been based on the overall monitoring of maintenance controllers, as there are no homogenous and regular inspection activities or guidelines for inspection. The condition inspections between different route types have not varied significantly.

The theoretical part of this thesis includes a short overview on the history, composition and properties of the Finnish bedrock. The theoretical part also introduces the two commonly used rock quality classification methods in Finland, the stability of rock cuts, and damages on the rock cuts. In addition, the instructions and guidance for the construction of rock cuts, and their development over the years, are shortly presented in the thesis.

The purpose of the thesis is to serve as a starting point for a rock cutting inspection handbook that is likely to be published in the future. Rock cuts and rock structure-related inspection activities in Sweden and Norway were investigated during this study. These, along with the stability of the rock cuts, inspection practices and inspection activities of other engineering structures, served as a basis for developing two slightly different rock cut control methods. The methods were tested on three different route types in a representative pilot. The pilot sites were selected based on the emergence of recent damages on the rock cuts.

The study resulted in the development of damage classification tables for damages in the rock, and leakage and vegetation-related damages. The observations made during the work were the basis of a proposal for condition assessment and the calculation of rock cutting lesion score.

For regular inspection activity, the characteristics of rock cuts should be collected and deposited to a register. The forthcoming register for engineering structures should also include data of rock cut-associated structures, reinforcement structures, and other equipment. In addition, data about possible ice formation collected at winter time should be a part of the rock cut damage data.

# Esipuhe

Tutkimuksen on tehnyt diplomityönään Lasse Sallinen Tampereen teknillisen yliopiston rakennustekniikan laitokselle.

Diplomityön ohjausryhmään kuuluivat Marja-Kaarina Söderqvist ja Veli-Matti Uotinen Liikennevirastosta, Heikki Akkanen, Timo Cronvall ja Heikki Saarikivi VR Track Oy:stä sekä Pauli Kolisoja ja Kari Pylkkänen Tampereen teknilliseltä yliopistolta.

Helsingissä kesäkuussa 2015

Liikennevirasto

Infra ja ympäristö -osasto / Taitorakenneyksikkö



# Sisällysluettelo

1	JOHDANTO .....	9
2	SUOMEN KALLIOPERÄ .....	11
2.1	Yleistä .....	11
2.2	Kallioperän syntyvaiheet ja pääosat.....	11
2.3	Kallioperän kivilajit .....	12
2.4	Kallioperän rakenne .....	15
2.5	Rapautuminen.....	16
2.6	Vesi kallioperässä.....	17
2.7	Kallion jännitystila .....	17
3	KALLION RAKENNETTAVUUS JA LAADUN LUOKITTELU.....	19
3.1	Yleistä .....	19
3.2	Rakennusgeologinen kallioluokitus.....	19
3.2.1	Kivilaatu .....	19
3.2.2	Rakoilu .....	20
3.2.3	Kalliolaatu .....	22
3.3	Q-luokitus .....	24
3.4	Kallioleikkausten pysyvyyden arviointi.....	25
3.5	Kallioleikkausten vaurioituminen.....	27
4	KALLIOLEIKKAUKSET .....	29
4.1	Yleistä .....	29
4.2	Ratakallioleikkaukset.....	30
4.3	Tiekallioleikkaukset .....	33
4.4	Vesiväylien kallioleikkaukset .....	35
5	KALLIOLEIKKAUSTEN TARKASTUSTOIMINTA.....	37
5.1	Yleistä .....	37
5.2	Tarkastustoiminnan nykytila Suomessa.....	37
5.3	Tarkastustoiminta Ruotsissa ja Norjassa .....	37
5.4	Kallioleikkausten kunnan arviointimenetelmät.....	39
5.4.1	Silmämääräinen arvioiminen.....	39
5.4.2	Lujitusrakenteiden kunnan arviointi.....	40
5.4.3	Laserkeilaus kallioleikkausten tarkastuksessa.....	40
6	TARKASTUSTOIMINNAN KEHITTÄMINEN.....	41
6.1	Yleistä .....	41
6.2	Taitorakenteiden tarkastustoiminta .....	41
6.3	Kehitetyt tarkastusmenetelmät .....	42
6.3.1	Tarkastusmenetelmä 1 .....	42
6.3.2	Tarkastusmenetelmä 2.....	45
6.4	Kallioleikkausten ominaisuustiedot .....	49
7	KALLIOLEIKKAUSTEN PILOTTITARKASTUKSET.....	50
7.1	Yleistä .....	50
7.2	Ratakallioleikkaus .....	50
7.2.1	Havainnot tarkastusmenetelmään 1 perustuen.....	51
7.2.2	Havainnot tarkastusmenetelmään 2 perustuen.....	54

7.3	Tiekallioleikkaus .....	54
7.3.1	Havainnot tarkastusmenetelmään 1 perustuen .....	55
7.3.2	Havainnot tarkastusmenetelmään 2 perustuen .....	56
7.4	Kanavakallioleikkaus .....	57
7.4.1	Havainnot tarkastusmenetelmään 1 perustuen .....	59
7.4.2	Havainnot tarkastusmenetelmään 2 perustuen .....	61
7.5	Havaintoja kallioleikkausten tarkastamisesta .....	61
8	EHDOTUS VAURIO- JA KUNTOLUOKITUKSEKSI .....	64
8.1	Yleistä .....	64
8.2	Vaurioluokitustaulukot .....	64
8.3	Kuntoarvio .....	72
8.4	Vauriopistesumma .....	73
9	JOHTOPÄÄTÖKSET JA YHTEENVETO .....	77
	LÄHTEET .....	79

#### LIITTEET

Liite 1	Q-luvun määrittäminen ja parametrit
Liite 2	Ratakallioleikkauksen havainnot
Liite 3	Tiekallioleikkauksen havainnot
Liite 4	Kanavakallioleikkauksen havainnot
Liite 5	Tiekallioleikkauksesta muodostettu kuva
Liite 6	Kallioleikkauksille laskettuja VPS:n arvoja
Liite 7	Oireileva kallioleikkaus

# 1 Johdanto

Liikenneviraston hallinnoimiin tie- rautatie- ja vesiväyliin kuuluvat kallioleikkaukset on suurelta osin määritelty taitorakenteiksi. Liikennevirasto on kehittämässä kaikkien taitorakenteiden tarkastustoimintaa yhteneväksi ja muodostamassa taitorakenteiden tiedoille yhtenäistä taitorakennerekisteriä. Tällä hetkellä ratakallioleikkausten määrä-, sijainti- ja mittatiedot on rekisteröity kallioleikkausrekisteriin. Teiden ja vesiväylien kallioleikkausten tietoja ei ole kootusti rekisteröitynä. Kallioleikkausten tarkastustoimintaa ei ole Suomessa tällä hetkellä ohjeistettu, eikä tarkastustietoja kerätä kootusti. Väylän kunnossapidosta vastaava urakoitsija tekee väylään ja sen rakenteisiin kohdistuvaa jatkuvaa tarkkailua urakkaansa liittyen, missä yhteydessä myös kallioleikkausten kuntoa huomioidaan. Tarkemmat kallioleikkausten tarkastukset ovat perustuneet kunnossapitäjien ja yksittäisten projektien tekemiin tarkastuksiin ja selvityksiin. Riittävän tarkastusohjeistuksen puuttumisen johdosta tehdyt tarkastukset eivät nykyisellään ole aina vertailukelpoisia. Tämän takia kallioleikkausten vaatimia korjausinvestointeja ei osata kohdistaa kriittisimpiin kallioleikkauksiin.

Kallioleikkausten tarkastustoiminnan puutteellisuutta on aikaisemmin havainnointu Liikenneviraston teettämässä ”Rautateiden kallioleikkausten hallinta” raportissa sekä ”Tunneleiden ja kallioleikkausten rakenteiden tarkastustoiminnan kehittäminen” selvityksessä. VR Track Oy:n ja Pöyry Finland Oy:n ”Tunneleiden ja kallioleikkausten rakenteiden tarkastustoiminnan kehittäminen” selvityksen avulla on saatu lähtökohdat tunnelien tarkastuskäsikirjan laatimiselle. Liikenneviraston taitorakenteille laatimia tarkastuskäsikirjoja löytyy laitureille, kanavarakenteille, silloille ja kiinteille merimerkeille.

Kallioleikkausten, kuten muidenkin taitorakenteiden, toimiva ja tarkoituksen mukainen tarkastusjärjestelmä ja tietojen rekisteröinti ovat osa Liikenneviraston omaisuuden hallintaa. Hyvällä omaisuuden hallinnalla saadaan kokonaistaloudellisesti taattua väylien toimivuus, tarkoituksenmukaisuus ja liikenneturvallisuus. Lisäksi valtion väylänpidon budjettirahoituksen ohjaaminen oikeisiin käyttötarkoituksiin vaatii eri väylien ja niihin liittyvien rakenteiden kuntotietojen hallintaa.

Työn tavoitteena on saada kallioleikkausten tarkastamiselle lähtökohdat, joita mukaillen voidaan myöhemmin laatia ”kallioleikkaustarkastuskäsikirja”. Tarkastuskäsikirjaa varten tulee määrittellä kallioleikkauksista tarvittavat ominaisuustiedot ja määrittelyjen mahdollinen poikkeavuus väylätyypin mukaan. Tarkastuskäsikirjaa varten tulee selvittää, mitä asioita kallioleikkauksista tulee tarkastaa ja minkälaisin menetelmin. Eri tarkastustyyppien sisältö sekä tarkastusvälit tulee määrittellä tarkoituksenmukaisiksi. Työssä tulee myös kartoittaa kallioleikkausten vauriotyypit ja luoda arviointiperusteet vaurioiden kriittisyydelle. Näistä koostetaan vaurioluokat erilaisille kallioleikkausten rakenneosille. Vaurioluokkien ja kriittisyyden ym. asiaan vaikuttavien tietojen perusteella kehitetään kallioleikkauksille kuntoa kuvaava indeksi. Indeksien tulee olla vertailukelpoinen muiden taitorakenteiden kesken. Kuntoindeksin avulla eri taitorakenteiden kuntotasoa voidaan verrata toisiinsa ja kuvata kallioleikkausten kuntotasoa kokonaisuutena.

Työssä rajoitutaan käsittelemään Liikenneviraston hallinnoimia kallioleikkauksia. Kallioleikkauksia on eniten oletettavasti tieverkolla ja seuraavaksi eniten rataverkolla. Jonkin verran kallioleikkauksia on myös vesiväylillä esimerkiksi kanavarakenteissa. Näistä ainoastaan rataverkon kallioleikkauksista on kohtuullisen hyvin tietoa rekisteröitynä. Kallioleikkausten tarkastuksessa tulee huomioida lujitusrakenteiden lisäksi kallioleikkauksiin kiinteästi liittyvät muut rakenteet ja niiden kunto. Tällaisia ovat esimerkiksi erilaiset kuivatukseen ja putoamissuojaukseen liittyvät rakenteet. Betonisille, kivistä muuratuille ja teräksisille rakenteille löytyy jo vaurioluokituksia muiden taitorakenteiden tarkastuskirjoista, joista niitä voidaan soveltaa kallioleikkauksiin. Tässä työssä pääpaino on lujitetun tai lujittamattoman kallioseinämän pysyvyyteen ja tarkastamiseen liittyvissä tekijöissä. Työn ulkopuolelle rajataan kallioon louhittujen tunneleiden, louhosten tai kalliotilojen tarkastamiseen liittyvät asiat, mutta selvityksessä kehitettäviä kallioleikkauspinnan laatuluokituksia voidaan soveltaa myös muihin kohteisiin.

Työn esitiedoiksi selvitetään Suomessa tällä hetkellä voimassa olevia kallioleikkausten suunnitteluun ja rakentamiseen liittyviä ohjeita. Lisäksi pohjatietona voidaan käyttää muitakin kalliorakentamiseen liittyviä ohjeita sekä kallioluokituksia siinä määrin, kun ne liittyvät väylien rakentamiseen. Näiden lisäksi teoriaosuudessa käsitellään Suomen kalliooperän ominaisuuksia, ympäristön ja kalliolouhinnan vaikutuksia kallioleikkauksiin yleisellä tasolla.

Kallioleikkausten tarkastustoiminnan tilaa selvitetään ainakin Ruotsin ja Norjan osalta, koska ko. maiden ja Suomen kalliooperien ominaisuuksissa on paljon samankaltaisuuksia.

Selvityksen puitteissa kokeillaan kallioleikkauksien tarkastamista muutamassa kohteessa työn edetessä kehittyneiden tarkastustapojen avulla. Tarkastuskohteiksi pyritään valitsemaan eri väylätyyppien kallioleikkauksia.

Työn tuloksena ennakoidaan saatavan määriteltyä ehdotus kallioleikkausten ja leikkauksen kalliomassan kunnan luokitteluksi erityisesti väylän toimivuuden ja liikenneturvallisuuden näkökulmasta. Työn valmistumisen jälkeen kallioleikkausten tarkastuksia voidaan testata käytännössä ja kerätyn tarkastustiedon ja -kokemuksen perusteella voidaan edelleen kehittää kallioleikkauksille toimiva tarkastusjärjestelmä.

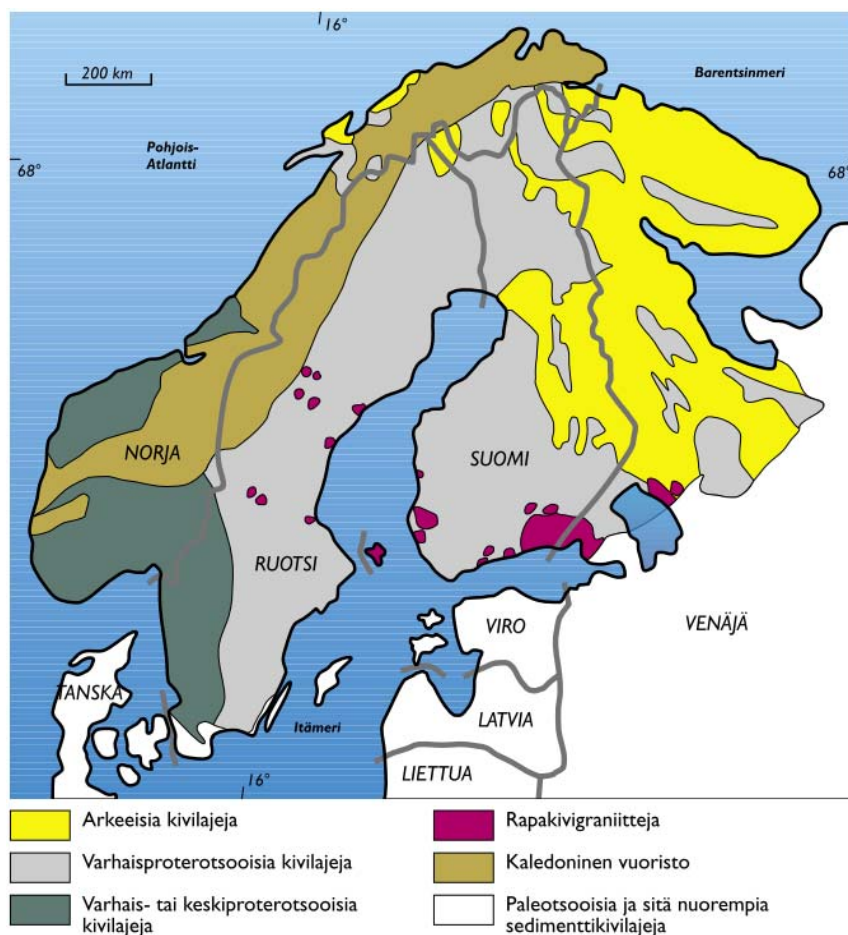
## 2 Suomen kallioperä

### 2.1 Yleistä

Suomen kallioperä on nykyisellään vakainta ja vanhinta Euroopassa. Se on muodostunut pääpiirteissään nykyiseen tilaansa noin. 3000–1400 miljoonaa vuotta sitten. Kallioperä on myös Suomessa Euroopan Unionin alueen paksuinta, ollen paksuimmillaan jopa 230 kilometriä kiinteässä muodossa olevaa kiviainesta. Suomen kallioperä kuuluu prekambreiseen Pohjois- ja Itä-Euroopan peruskallioalueeseen eli ns. Fennosarmatian peruskalliokratiiniin. Tämä kratonin prekambriin kallioperä on paljastunut Fennoskandian (Fennoskandian kilpi) ja Ukrainan alueella, kun muualla Euroasian mantereella se on nuorempien sedimenttikivien peittämä. [3] [4]

### 2.2 Kallioperän syntyvaiheet ja pääosat

Fennoskandian kilpi käsittää Kuolan niemimaan rajoittuen idässä Laatokan ja Äänisen kautta Vienanmereen. Kilpialueen raja kulkee etelässä Suomenlahden ja Itämeren vesien alla. Lännessä, Norjassa ja Ruotsissa kilpi rajoittuu nuorempaan kaledoniseen vuorijonoon. Fennoskandian kallioperää havainnollistaa kuva 1 Suomen kallioperä kattaa Fennoskandian kilvestä noin kolmanneksen. [3] [4]



Kuva 1. Fennoskandian kallioperän pääosat. [2]

Peruskallioperäämme vaikuttaneet kaksi tärkeintä kehitysvaihetta ovat olleet vuorijononmuodostumistapahtumat eli orogeniat, jotka ovat sijoittuneet 2800–2700 ja 1900 – 1800 miljoonaa vuotta ajassa taaksepäin. Näissä peruskallion ainekset erotuivat maan vaipasta ja muodostivat vieläkin olemassa olevaa mannerkuorta. [4]

Suomen kallioperä voidaan jakaa selkeästi toisistaan poikkeaviin alueisiin. Suomen pohjois- ja itäosat kuuluvat 3100–2500 miljoonaa vuotta vanhaan arkeeseen kallioperään. Maamme etelä- ja keskiosat kuuluvat pääosin 1930–1800 miljoonaa vuotta sitten syntyneeseen varhaisproterotsooiseen kallioperään. Suomen kallioperästä vain pieni osa on nuorempaa kuin 1800 miljoonaa vuotta. Merkittäviä nuoria muodostumia ovat keskiproterotsooiset 1650–1540 miljoonaa vuotta vanhat Etelä-Suomen rapakivigraniitit. Näiden muodostumisen jälkeen kallioperämme on muuttunut vain vähän. [4]

Suomen kallioperä on syntynyt vähitellen hyvin pitkän ajan kuluessa pala kerrallaan Suomen kallioperän sijaitessa eri puolilla maapalloa. Kalliota rapauttavat voimat ovat myös vaikuttaneet yhtä pitkään muokaten kallioperää jatkuvasti. Pelkästään viimeisimmänkin mannerjäätikön on arvioitu kuluttaneen Suomen kallioperästä ainakin seitsemän metrin paksuisen kerroksen. Jääkaudet ovat siis paitsi mataloittaneet ja kuluttaneet niin myös hyvin tehokkaasti peittäneet Suomen kallioperän. Suomen maapinta-alasta vain noin 3 % on paljasta kalliota, kun muutoin kallioperän päällä on muutamasta metristä kymmeneen metreihiin paksu maapeite. [3]

## 2.3 Kallioperän kivilajit

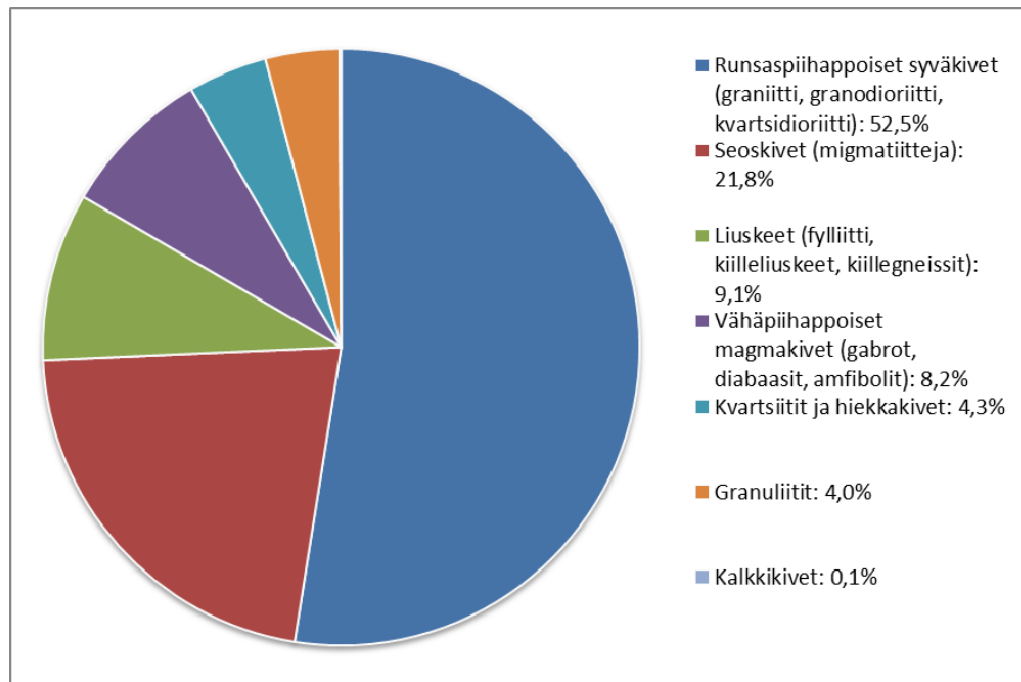
Kallioperä muodostuu kivilajeista, jotka ovat mineraalirakeiden muodostamia kiinteitä massoja. Mineraalit ovat kiteisessä olomuodossa olevia vakiokoostumuksellisia epäorgaanisia kemiallisia yhdisteitä. Kivilajin ominaisuudet riippuvat sen sisältämien mineraalien laadusta, raekoosta, mineraalirakeiden kutouksesta ja suuntautuneisuudesta. Kivilajit esiintyvät kallioperässä vaihtelevissa muodoissa paakkumaisesta ohuiksi nauhamaisiksi vyöhykkeiksi. Kivilaji voi olla esiintyessään kauttaaltaan samanlaista tai vaihdella koostumukseltaan ja raekooltaan. Kivilajin esiintymismuotoon vaikuttaa sen synty tapa. [5]

Kivilajit voidaan jakaa syntytapansa perusteella kolmeen pääryhmään:

- magmakivilajeihin,
- sedimenttikivilajeihin ja
- metamorfisiin kivilajeihin.

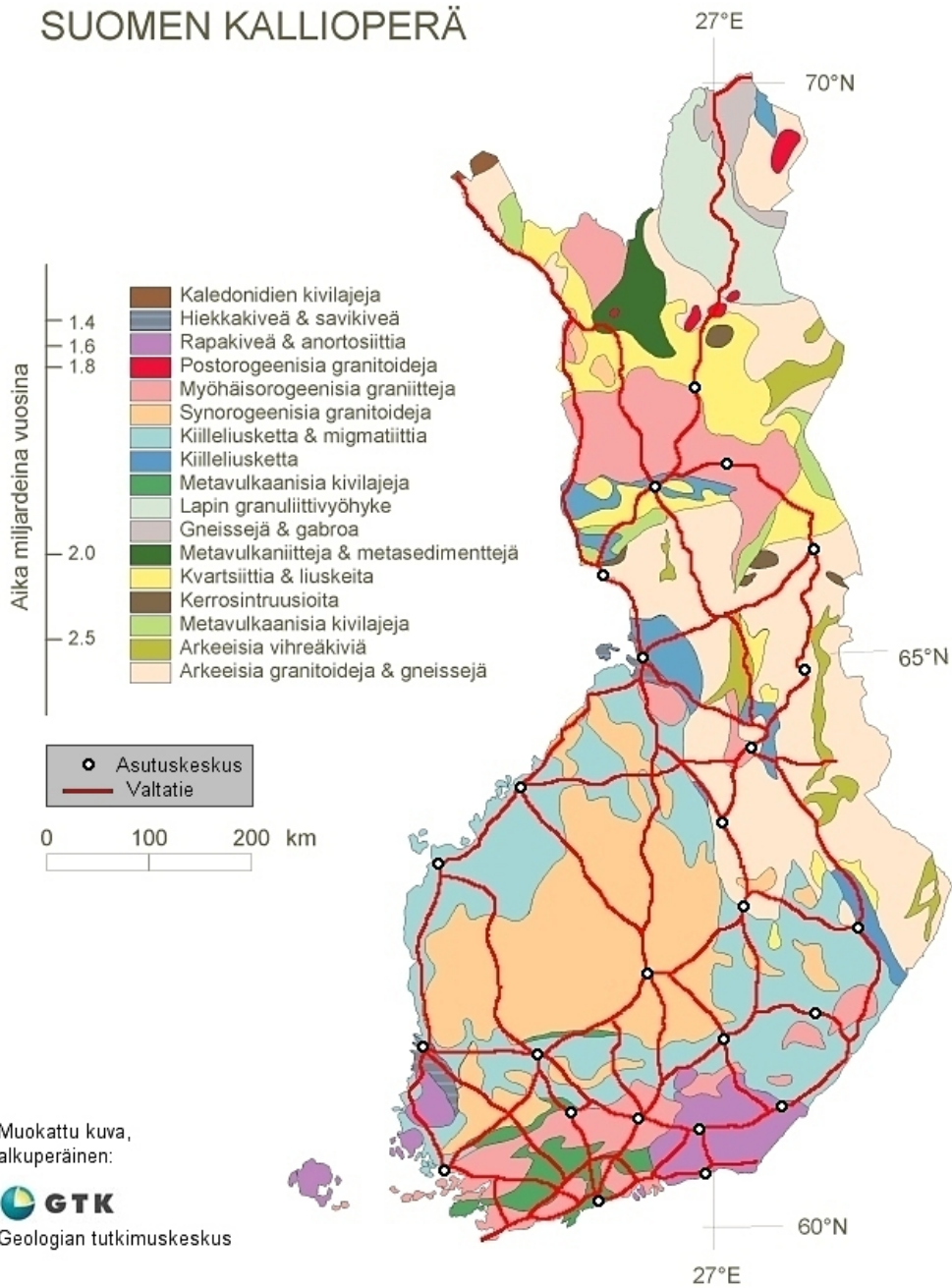
Magma kivilajit ovat syntyneet joko syvällä maan kuoressa magmasta jähmettymällä (syväkivilajit), tai maanpinnalla tulivuoren laavasta jähmettymällä (pintakivilajit). Tavallisia syväkivilajeja ovat graniitti, dioriitti, gabro ja peridotiitti. Sedimenttikivilajit eli kerrostuneet kivilajit ovat syntyneet kerrostamalla maalajista, vedestä saostuneista aineksista tai eloperäisistä jäänteistä. Esimerkkejä sedimenttikivilajeista ovat hiekka- ja savi-, suola- ja kalkkikivet. Metamorfiset kivilajit ovat muuttuneita kivilajeja, jotka ovat paineen ja lämpötilan kasvun seurauksena magma- ja sedimenttikivilajeista muodostuneita. Tätä ilmiötä esiintyy varsinkin orogeniassa, josta johtuen metamorfisia kivilajeja tavataan Suomen kallioperästä yleisesti. Metamorfisia kivilajeja ovat esim. gneissi, kiilleliuske amfiboliitti ja vuolukivi. [6]

Suomen yleisimmän kivilajiryhmän muodostavat graniittiset kivilajit, jota arvioidaan olevan yli puolet kallioperästämme. Lisäksi niitä esiintyy selkeästi tasaisesti ympäri maamme. Seuraavaksi eniten Suomen kallioperässä on erilaisia seoskiviä eli migmaatteja, joita on arvioitu olevan yli viidennes. Niitä esiintyy erityisesti Itä-Suomessa arkeisen kallioperän alueilla. Liuskeet, joita Suomessa on erityisesti Kainuussa, ovat syntyneet hiekka ja kalkkikivien metamorfoitua. Kuvassa 2.2 esitetään Suomen kallioperän kivilajikoostumusta J. J. Sederholmin mukaan ja kuvassa 2 esitetään Suomen kallioperää ja sen ikää pääpiirteittäin. [3]



Kuva 2. Suomen kallioperän kivilajikoostumus J. J. Sederholmin mukaan. [3]

# SUOMEN KALLIOPERÄ



Kuva 3. Suomen kallioperä pääpiirteittäin. [3]



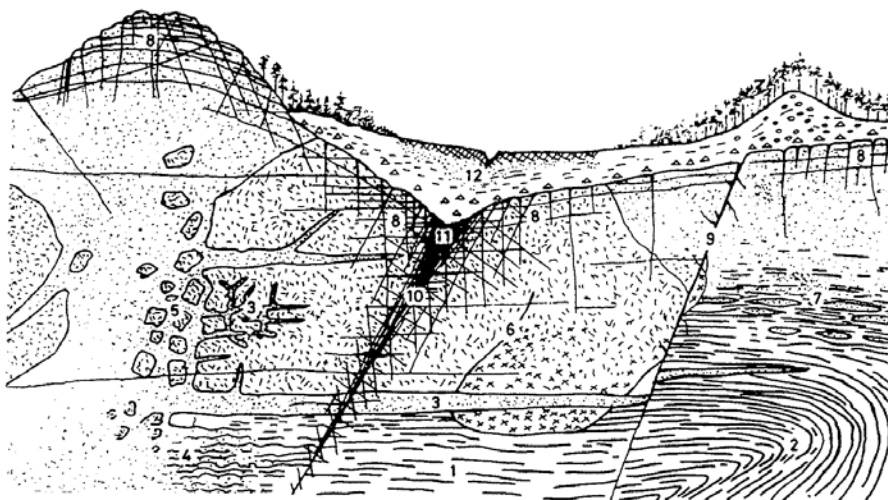
## 2.4 Kallioperän rakenne

Kallion rakennustekniisiin ominaisuuksiin vaikuttavat kivilajin lisäksi erityisesti kivilajien yhteenliittyminen, suuntaus, rikkonaisuus, heikkousvyöhykkeet ja kalliossa oleva vesi. Yleisesti voidaan todeta kallion olevan rakennusmateriaalina epähomogeenista, rakenteellisesti epäjatkuvaa ja lujuudeltaan vaihtelevaa.

Kallion liuskeisuudella tarkoitetaan tilannetta, jossa kivilajin pitkulaiset tai levymäiset mineraalit ovat suuntautuneet lähes samaan tasosuuntaan. Kallioperää tulkittaessa liuskeisuuden suunta ilmoitetaan termien *kulku* ja *kaade* avulla. Kulku tarkoittaa liuskeisuuden suuntaa vaakatasossa ja kaateen avulla ilmaistaan kulma Z-koordinaatin suunnassa. Liuskeisuuteen liittyy myös *poimutus*, jolloin liuskeinen kivilaji on vääntynyt poimulle. Poimuttuminen tapahtuu yleensä kohtisuoraan vallitsevaa jännitystä vastaan. Liuskeisuus on merkittävä tekijä kallion louhinnan kannalta, koska liuskeisen kiven lujuus- ja lohkeamisominaisuudet poikkeavat liuskesuunnan mukaan. [5]

Kallion *raolla* tarkoitetaan tasoa, joka jakaa sen mekaanisesti kahteen erilliseen osaan. Raot syntyvät kallioon jännityksen, puristavan tai vetävän voiman myötä. Raot ovat tyypiltään joko leikkaus- tai vetorakoja ja syntyvät kallioon jännityksen ylittäessä kiven leikkaus- tai vetolujuuden. Leikkausraot ovat rakopinnoiltaan usein sileitä ja rapautumattomassa kalliossa kiinni toisissaan. Vetoraot ovat usein rosoisia ja avoimia. Ajan kuluessa vetoraot täyttyvät rapautumalla syntyneistä tai muualta kulkeutuneista aineksista. [5]

Osa kallion raoista on kehittynyt *siirroksiksi*, jolloin kalliolohkot ovat siirtyneet toisiinsa nähden rakopintaa myöten. Siirrostien tapahtuminen ilmenee maanjäristyksinä ja siinä yhteydessä kalliolohkot ovat yleensä murtuneet siirrostason molemmiin puolin. Mikäli kalliolohkojen murtuminen on laajempaa, kutsutaan syntynyttä vyöhykettä murros- tai ruhjevyöhykkeeksi. Joskus muinaisen siirroksen ruhjoutunut kallio on voinut iskostua uudelleen kiinteäksi kiveksi, myloniitiksi. Kallioperän rakenteita on esitetty kuvassa 4. [5]



Kuva 4. Kallioperän tektonisia rakenteita kaavamaisesti esitettynä. 1. Liuskeisuus 2. Poimu 3. Juonia 4. Suonia 5. Breksia 6. Terävä kontakti 7. Kontaktivyöhyke 8. Rakoilua 9. Siirros 10. Ruhje 11. Savivyöhyke kalliossa 12. maalajeja. [5]

Kallion rakoileminen voidaan jakaa syntymätavan mukaan viideksi eri tapaukseksi:

- Vuorenpoitimuksessa rakoja syntyy kovissa, mutta hauraisissa kivilajeissa, joissa plastinen muodonmuutos on ympäröiviä kivilajeja vähäisempää.
- Kallion paikoin voimakas vaakajännitys aiheuttaa pintaa vastaan kohtisuoran vetojännityksen, joka kallion vetolujuuden pettäessä aiheuttaa pinnan myötäistä rakoilua.
- Kivisulan kiteytymisen ja kutistumisen tuottaman vetojännityksen synnyttämä rakoilua.
- Siirroksissa kalliolohkojen liikunta aiheuttaa lohkopinnan sisään suuntautuvaa sulkarakoilua.
- Kallion pintaosiin rakoja aiheuttavat esim. lämpötilan vaihtelut, jäätyvä vesi, suolojen kiteytyminen ja kasvien juuret.

Pitkälle edenneitä ruhje- ja murrosvyöhykkeitä kutsutaan kallioperän heikkousvyöhykkeiksi. Ne ovat yleensä ympäröivää kallioperää heikompina kuluneet matalammiksi ja ovat maapeitteiden peittämiä. Maastossa heikkousvyöhykkeet ilmenevät usein vaihtelevan levyisinä notkoina. Heikkousvyöhykkeen keskustassa kallioperä on jauhautunut sepelimäiseksi tai savimaiseksi ainekseksi. Kallioperän heikkousvyöhykkeiden suotuisissa olosuhteissa mekaaniset ja kemialliset rapautumisprosessit ovat yleensä edenneet pitkälle. [5]

## 2.5 Rapautuminen

Kallion rapautuessa kiinteä ja terve kiviaines muuttuu löyhäksi ja irtonaiseksi massaksi. Rapautuminen ilmiönä on syvällä maankuoressa vallinneissa olosuhteissa syntyneen kivilajin sopeutumista maan pintaosissa vallitseviin olosuhteisiin, joissa kivilaji ei enää ole stabiili. Rapautumisilmiöt voidaan jakaa mekaaniseen, kemialliseen ja biologiseen rapautumiseen. Luonnon olosuhteissa rapautuminen tapahtuu yleensä aina näiden eri rapautumisilmiöiden yhteisvaikutuksesta. [5] [7]

Mekaanisessa rapautumisessa kiviaines särkyä esimerkiksi lämpötilavaihtelujen aiheuttaman lämpölaajenemisen seurauksesta tai veden jääytymisestä aiheutuvista voimista johtuen. Kivilajin mineraalien liitokset heikkenevät tai katkeavat saaden kiven murenemaan lohkareiksi tai pienemmiksi osiksi. Tämän aiheuttaa yleensä mineraalien erilaiset lämpölaajenemisominaisuudet tai veden jäätyminen kiven huokosin tai hiusrakoihin. [5] [7]

Kemiallisessa rapautumisessa tapahtuu liukenemista, hydrolyysiä, ioninvaihtoa ja hapettumista. Kaikkien näiden prosessien etenemisessä vedellä ja kivilajin huokoisuudella on suuri merkitys. Koska Suomen kallioperän kivilajit eivät ole kovin huokoisia ja vettäläpäiseviä, muualla kuin ruhjevyyhyhykkeitä tämän rapautumistyyppin merkitys jää vähäisemmäksi. [5] [7]

Biologista rapautumista tapahtuu erityisesti kallion pintaosissa. Sitä on esimerkiksi kasvien juurten tunkeutuminen kallion rakoihin aiheuttaen kallioon rakovälejä kasvatavia voimia. Lisäksi jotkut mineraalit voivat altistua luonnossa esiintyville orgaanisille hapoille. [5] [7] Kasvuston aiheuttama rapautuminen on kallioleikkauksissa merkittävä seinämän pysyvyyttä heikentävä tekijä.

Kivien rapautumiskestävyyteen vaikuttavat mineraalikoostumus, kutoutus ja kiven mekaaninen rikkoutuneisuus. Korkeammassa lämpötilassa ja paineessa syntyneet tummat kivilajit rapautuvat usein vaaleita herkemmin. Rapautumista hyvin kestäviä kivilajeja ovat keskirakeinen graniitti, graniittigneissi, gabrot, diapaasit, peridotiitit, amfibolit, sarvivälkerikkaat gneissit ja kvartsiitti. Rapautumista heikosti kestäviä kivilajeja ovat pegmatiitit, karkearakeiset graniitit ja maasälpärikkaat graniitit. [5] [7]

Suomen kallioperässä pitkälle edennyttä rapautumista löytyy kallioperän painanteista ja ruhjevöhykkeistä. Kallioperämme on viimeisen jääkauden aikana kulunut pintaosiltaan merkittävästi ja tällöin myös suuri osa rapautuneesta kalliomassasta on irronnut muodostaen maalajeja.

## 2.6 Vesi kallioperässä

Vesi täyttää valtaosan kallioperässä esiintyvistä raoista. Kyseessä on pääasiassa painovoiman vaikutuksesta vapaasti liikkuvaa pohjavettä. Kylmään aikaan kallion pintaosissa vesi esiintyy myös jäänä. Vesi on kallioperässä joko kivilajien huokosissa tai kallion raoissa. Vähäisin poikkeuksin voidaan Suomen kallioperän pääosin kiteisten kivilajien todeta olevan käytännössä vesitiiviitä ja kivien huokosissa olevan veden määrä on vähäistä. Kalliopohjavettä esiintyy siis pääasiassa kallioraoissa ja erityisesti kallioperän rikkoutumavyöhykkeissä. [5]

Kalliopohjavesi on pääasiassa peräisin sadannasta. Veden imeytymistä kallioperään voi tapahtua joko kallioalajastuma-alueilta tai maapeitteiden välityksellä. Tehokkain imeytyminen on runsaasti rakoillella tasaisilla kallioalajastuma-alueilla.[5]

Kallioperän vesi kuten maaperänkin vesi on tulkittavissa orsivedeksi ja pohjavedeksi. Orsivettä voi kallioperässä esiintyä esim. voimakkaan vaakarakoilun alueella, jolloin kallioista löytyy ylempiä vesiesiintymiä, jotka eivät ole yhteydessä varsinaiseen syvemmillä sijaitsevaan kalliopohjaveteen.[5]

Kalliopohjavesi on yhteydessä vesistöihin yleensä rantaan ulottuvien kallioalajastumien kautta. Vesistöjen pohjat ovat yleensä huonosti vettäläpäisevien maakerrosten peittämät, mutta paikoin kalliopohjavettä voi purkautua myös pohjasta vesistöön.[5]

Vedenjohtavuuden näkökulmasta Suomen kallioperä on kokonaisuutena rikkonaisuuksistaan huolimatta tiivistä. Maaväylien kallioleikkaukset ovat usein kallioinnan kohoumia lävistäviä, joten ne ulottuvat harvoin suoranaisesti kalliopohjaveteen asti.

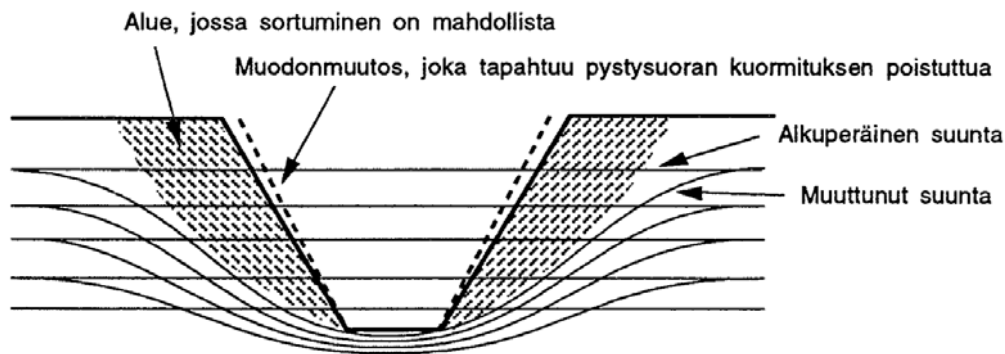
## 2.7 Kallion jännitystila

Kallioperässämme vallitsee voimakas vaakasuuntainen puristusjännitys. Kallioleikkaustenkin kannalta merkittävällä 10-20 metrin syvyydellä puristusjännitystä on jännitystilamittauksissa havaittu oleva keskimäärin 5-10 MPa. Paikallisesti arvot voivat olla selkeästi suurempiakin. Kallioperän vaakajännitykset ovat yleismaailmallisia ilmiöitä ja siksi ne selitetäänkin laattatektoniikan sekä suurimittakaavaisten yleisjännitysten avulla. [5]

Pystyjännityksen on mittauksissa havaittu noudattavan kohtuullisen hyvin mittauspisteen yläpuolisen kalliomassan painosta aiheutuvaa kuormaa ja lisääntyvän syvyyden funktiona. Lähes aina kallion vaakajännitys on mittauksissa osoittautunut vähintään yhtä suureksi tai suuremmaksi kuin pystyjännitys. [5]

Kalliossa vallitsevalle vaakajännitykselle ei ole saatu yleisesti pätevää suuntaa, vaan suunta määräytyy paikallisen kallioperän geologian mukaan. Jännitystilän suuruuden ja suunnan arvioinnille ei ole muuta luotettavaa tapaa, kuin jännitystilamittausten tekeminen. [5]

Kallion louhinnan seurauksena sisäinen jännitystila muuttuu, kun pystysuora jännityskomponentti pienenee ja puristusjännitystä vastaanottanutta kalliomassaa poistuu. Jännitystilän muutokset saattavat johtaa kallioleikkauksen rakoiluun, sortumiin sekä leikkauksen pohjalle syntyvään kuormitushuippuun. Jännitystilän muutosta kallionlouhinnan seurauksena havainnollistetaan kuvassa 5. [8]



Kuva 5. Periaatekuva avolouhinnan vaikutuksesta kallioperän vaakajännitykseen. [8]

Kallion jännitystila on harvoin merkityksellinen kallioleikkausten kannalta ja liittyy lähinnä kalliotilojen rakentamiseen ja suunnitteluun. Jännitystilaan liittyvät mittaukset ja niiden myötä suunnitellut lujitustoimet tulevat yleensä kyseeseen, mikäli alueen jännitystila tunnetaan tai arvioidaan entuudestaan suureksi. [8]

## 3 Kallion rakennettavuus ja laadun luokittelu

### 3.1 Yleistä

Kallio on rakennusmateriaalina hyvin epähomogeenista ja sen ominaisuudet vaikuttavat sekä kallion louhintaan että käytettäviin lujitus- ja tiivistysratkaisuihin. Tällöin on tarkoituksenmukaista luokitella kalliomassa tarkasteltavien ominaisuuksien suhteen riittävän yhteneviin osiin. Kallioluokitus voi toimia yhteisenä kielenä rakentamisen eri toimijoille, tarvittavien toimenpiteiden hinta- ja määräärvioissa ja eri rakennuskohteiden vertailuissa. [5]

Erlaisia kallioluokituksia on olemassa paljon ja niitä on kehitetty monissa eri maissa. Tässä yhteydessä esitellään tarkemmin kahta kallioluokitustapaa, joita molempia käytetään yleisesti Suomessa ja niiden on havaittu toimivan hyvin suomalaisen kallioperän luokittelussa.

Olemassa olevien kallioleikkausten kallion luokitus voi tulla kyseeseen esim. erikoistarkastuksessa pahoin vaurioituneen kallioleikkauksen kunnostustoimenpiteiden suunnittelun tueksi.

### 3.2 Rakennusgeologinen kallioluokitus

Rakennusgeologinen kallioluokitus eli RG-luokitus on kehitetty Suomessa vuosina 1969–1974. Tässä luokituksessa kallionlaatua kuvataan kahden pääluokitusperusteen, kivilaadun ja rakoilun avulla. RG-luokitusta voidaan käyttää tutkimus-, suunnittelu- ja rakennusvaiheissa. Lisäksi luokituksen tunnuksia voidaan käyttää piirustuksissa ja taulukoissa, joissa laajempi kirjallinen kuvaus ei ole mahdollista. [8] [9]

#### 3.2.1 Kivilaatu

Rakennusgeologisen kallioluokituksen mukaan kivilaadun luokitusominaisuudet ovat rapautumisaste, osasten järjestyneisyys, raekoko ja päämineraalit. [8]

Kivilajin rapautumisaste jaetaan neljään luokkaan Rp0...Rp3, joista Rp0 on rapautumatonta ja Rp3 täysin rapautunut.

- Rapautumattomassa kiviaineksessa (Rp0) mineraalit ovat lujasti kiinni toisistaan ja kokonaan tai lähes kokonaan muuttumattomia.
- Vähän rapautuneen kiviaineksen (Rp1) mineraalit ja niiden kiinnitykset ovat osittaisen muuttumisen johdosta heikentyneet. Murtopinta on väriltään samentunut.
- Runsaasti rapautunut kiviaines (Rp2) on muuttunut löyhäksi ja murenevaksi. Helposti rapautuvat mineraalit ovat kokonaan muuttuneita tai poisliuenneita. Hyvin rapautumista kestävät mineraalit ovat lähes muuttumattomia, mutta kiinnityksiltään löytyneitä.
- Täysin rapautunut kiviaines (Rp3) on muuttunut löyhäksi savimaiseksi massaksi, joka sisältää lähinnä savimineraaleja.

Rapautumisasteella kuvataan kiven nykyistä tilaa, mutta ei kiven rapautumisalttiutta. [8]

Kivilaadun luokituksessa osasten järjestyneisyydellä tarkoitetaan kiven perusosasten geometrista esiintymistapaa. Osasten järjestyneisyys voi olla massamainen, liuskeinen, seoksinen. Massamaisessa kivilaadussa mineraaleilla ei ole selkeää yhdensuuntaisuutta tai se on heikkoa ja kiven osaset ovat lähes tasaisesti jakautuneet. Tällöin myös kivilaadun ominaisuudet ovat samanlaisia kaikkiin suuntiin. Liuskeisessa kivilaadussa mineraalit ovat suuntautuneita eli liuskeisuusaste on kohtalainen tai voimakas. Kohtalaisen liuskeisuusasteen kivilaatu lohkeaa epätasaisiksi laattamaisiksi kappaleiksi ja voimakkaasti liuskeinen kivilaatu lohkeaa ohuiksi levyiksi. Seoksinen kivilaatu muodostuu vähintään kahdesta keskenään vaihtelevasta kivilajista. Seoksinen kivilaadun sisältämät kivilajit voivat olla massamaisia tai liuskeisia. Seoksista kivilaataa voidaan kuvata lisämääritelmällä juomuinen, raitainen tai murkaleinen, joilla kuvataan kivilajien vuorottelua seoksisessa kivilaadussa. [8]

Kivilajin raekokoluokat ovat seuraavat: hienorakeinen (alle 1 mm), keskirakeinen (1...5 mm) karkearakeinen (5...50 mm) ja suurirakeinen (yli 50 mm). Kuituisesta päämineraalista raekokoa ei kuitenkaan ilmoiteta, vaan raemuotoa kuvataan sanalla kuituinen. Mikäli jokin yksittäinen mineraali esiintyy muista rakeista selkeästi suurempina rakeina, kuvataan kivilaataa sanalla murskaleinen. [8]

Kivilaadusta määritellään vallitsevuusjärjestyksessä 2...4 kpl päämineraaleja. Määrittävien mineraalien perusteella kivilaatu määritellään rakennusteknisesti pehmeäksi, hauraaksi, sitkeäksi tai kovaksi. [8]

Kivilaadun luokitus tunnuksineen on esitetty taulukossa 1.

*Taulukko 1. Kivilaatuojen luokitusominaisuudet. [6]*

rapautuneisuus	osasten järjestyneisyys	mineraalien vallitseva raekoko (mm)	päämineraalit
rapautumaton, Rp0	massamainen, M	hienorakeinen, Vr<1	kvartsi, Kv
vähän rapautunut, Rp1	liuskeinen, L	keskirakeinen, Vr 1...5	maasälvät, Ms
runsaasti rapautunut, Rp2	seoksinen, S	karkearakeinen, Vr 5...50	kiilteet, Kl
täysin rapautunut, Rp3		suurirakeinen, Vr>50	amfibolit ja pyrokseenit, AP karbonaatti, Kr talkki, kloriitti, TK savimineraalit, Sm

### 3.2.2 Rakoilu

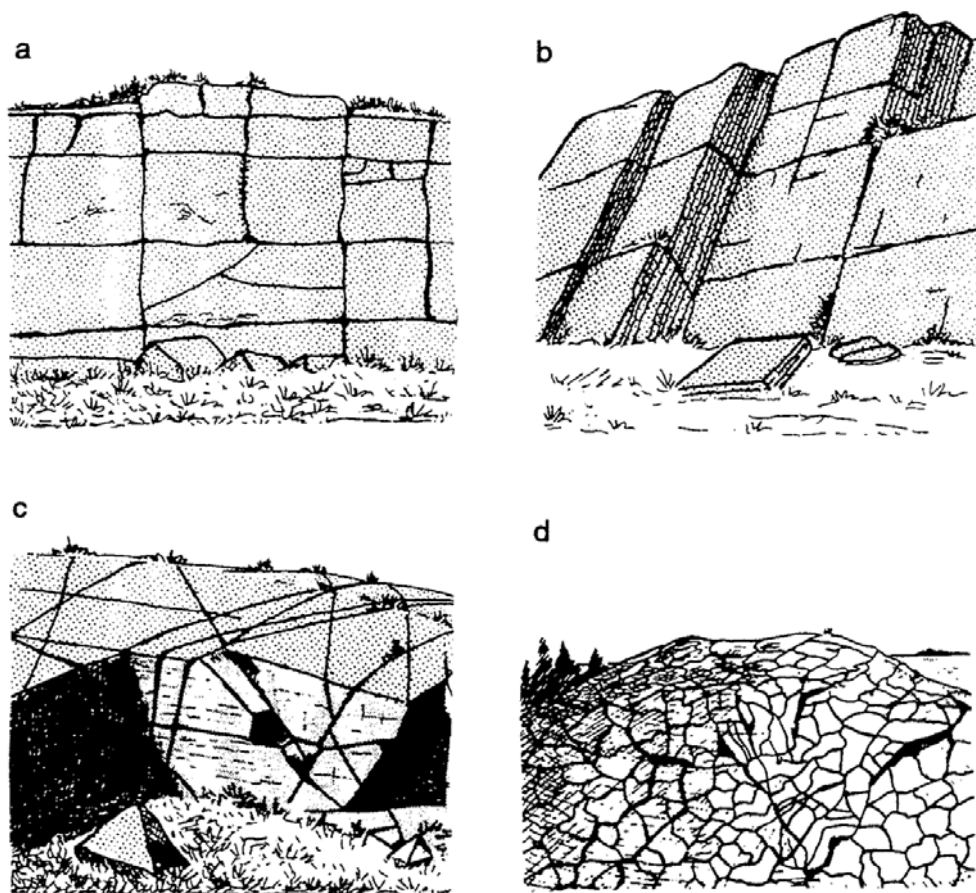
Rakennusgeologisen kallioluokituksen mukaan rakoilusta tunnistetaan rakoilutyyppi, rakoilun tiheys ja rakojen laatu. [8]

Rakoilujärjestelmät voidaan jakaa neljään erilaiseen tyyppiin, joita ovat kuutio-, laatta-, kiila- ja sekarakoilu.

- Kuutiorakoilleesta kalliosta voidaan tunnistaa kolme rakosuuntaa. Rakosuunnat ovat likipitään toisiaan vastaan kohtisuorassa ja rakosuuntien rakotiheys on melkein sama.

- Laattarakoilleessa kalliossa yhden rakosuunnan rakoväli on selkeästi muita tiheämpää ja säännöllisempää. Tällöin kallion lohkoista muodostuu laattamaisia.
- Kiilarakoilleessa kalliossa on kaksi tai useampia muita selkeämmäksi kehittyntä rakosuuntaa. Ainakin kaksi rakosuuntaa leikkaa toisensa noin 20–40 asteen kulmassa muodostaen kiilamaisia kallionlohkoja.
- Sekarakoilleessa kalliossa ei ole tunnistettavissa selvästi erottuvia rakosuuntia, vaan raot ovat enimmäkseen mutkittellavia ja erisuuntaisia. [8]

Kivilajien pääluokilla on omanlaisensa rakoilutaipumus. Graniittisissa kivilajeissa esiintyy kuutiorakoilua, liuskeissa ja sedimenttikivilajeissa laattarakoilua, gneisseissä kiilarakoilua ja gabroissa, peridotiteissa ja useissa seoskivissä sekarakoilua. Erilaisia rakoilujärjestelmiä on esitetty kuvassa 6. [8]



Kuva 6. *Rakoilujärjestelmiä a. kuutiorakoilu, b. laattarakoilu, c. kiilarakoilu, d. sekarakoilu [8]*

Rakotiheydellä tarkoitetaan yksittäisten rakojen keskinäistä etäisyyttä. Rakotiheys ilmoitetaan kaikkien vallitsevien rakosuuntien keskimääräisenä rakovälinä, vaikka rakotiheys vaihtelee rakoilujärjestelmissä rakoilusuunnan mukaan. Mikäli rakoilu muodostaa lohkoja tai rakoilujärjestelmä ei ole selväpiirteinen, voidaan rakotiheys ilmoittaa myös lohkonkoon perusteella. Rakennusgeologisen kallioluokituksen mukaisia rakotiheyksiä on taulukoitu taulukossa 2. [8]

Taulukko 2. Rakotiheys. [8]

nimitys	tunnus	rakoväli (m)	rakoluku (kpl/m)	lohkon koko (m <sup>3</sup> )
harvarakoinen	Rk 1	> 1,0	< 1	> 1,0
vähärakoinen	Rk 2	0,3...1,0	1...3	0,003...1,0
runsarakoinen	Rk 3	0,1...0,3	3...10	0,001...0,0003
tiheärakoinen	Rk 4	< 0,1	> 10	< 0,001

Kallionrako voi olla joko tiivis, avoin tai täytteen. Tätä kutsutaan kallion raon laaduksi. Tiiviissä raossa rakopinnot ovat toisissaan kiinni eikä raossa ole täytettä. Avoimessa raossa rakopinnot ovat toistaan irti, mutta raossa ei ole täytettä. Täytteisessä raossa on pehmeää ja/tai irtainta mineraaliainesta rakotäytteenä. Täytteisissä ja tiiviissä raossa veden liike on korkeintaan vähäistä. [8]

Täytteen rako jaetaan haarniskarakoihin, savirakoihin ja mururakoihin. Rakotäyte voi olla muualta kulkeutunutta tai peräisin rakopinnoista. Kallion rakoilua luokitellaan taulukon 3 havainnollistamalla tavalla. [8]

Taulukko 3. Kallion rakoiluominaisuudet rakennusgeologisen luokituksen mukaan. [8]

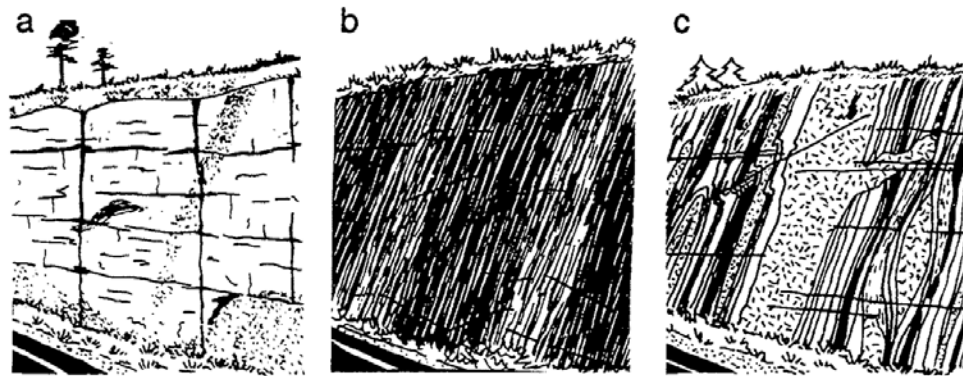
rakoilutyyppi	rakotiheys	rakojen laatu
kuutiorakoilu	harvarakoinen, Rk 1	tiivis rako
laattarakoilu	vähärakoinen, Rk 2	avoin rako
kiilarakoilu	runsarakoinen, Rk 3	täytteen rako:
sekarakoilu	tiheärakoinen, Rk 4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• haarniskarako</li> <li>• savirako</li> <li>• mururako</li> </ul>

### 3.2.3 Kalliolaatu

Kallion laatu vaikuttaa lopputuloksena saadun kallioleikkauksen pysyvyyden lisäksi useisiin muihinkin suunnittelun ja rakentamisen aikaisiin asioihin. Näitä ovat esim. louhintatyö, irrotetun kalliomassan käyttö, mahdollinen leikkauksen lujitus ja kustannusten arviointi. Rakennusgeologisessa kallioluokituksessa kalliolaatua kuvataan kivilaadun ja rakoilun avulla, joiden lisäksi voidaan mainita vallitsevan kivilaadun koivuus tai sitkeys. [8]

Kalliolaadut jaetaan rakenteellisesti kiinteään, löyhään ja rikkonaiseen kallioon. Kiinteä kallio jaetaan massa-, liuske- tai seosrakenteiseksi kallioksi. Nämä kalliolaadut ovat rapautumisasteeltaan enintään vähän rapautuneita ja rakoilultaan korkeintaan runsarakoisia. Kiinteän kallion rakennetyyppejä esittää kuva 7. [8]

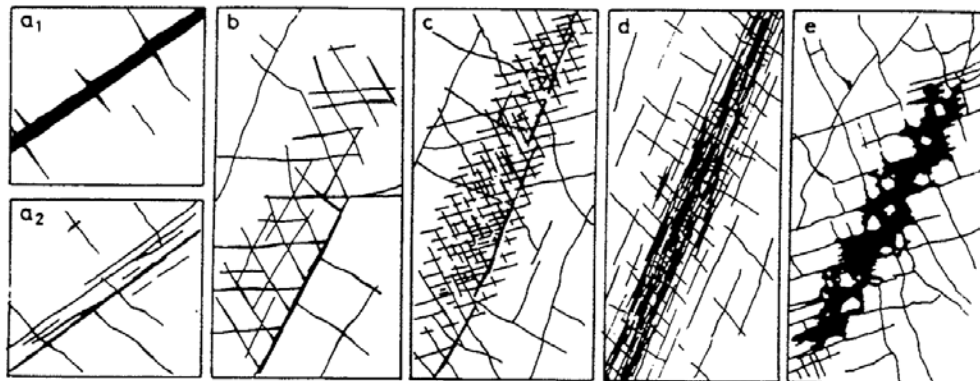




Kuva 7. Kiinteän kallion rakennetyypit a. massarakenteinen, b. liuskerakenteinen ja c. seosrakenteinen [8]

Löyhä kallio voi olla rakennetyypiltään joko löyhä- tai raparakenteinen. Löyhärakenteisen kallion rakoilutiheys on harvasta runsarakoiseen ja kivilaadut ovat löyhiä ja helposti murenevia. raparakenteisen kallion sisältämät kivilaadut ovat runsaasti tai täysin rapautuneita. [8]

Rikkonainen kallio jaetaan halkeama-, rako-, murros-, ruhje- ja savirakenteisen rakennetyypin kallioksi. Halkeamarakenteinen kallio koostuu korkeintaan muutamasta avoimesta tai täytteisestä raosta, jotka jakavat kallion erillisiin osiin. Rakorakenteisessa kallion osassa rakoilu on yleensä runsasta, ja raot voivat olla paikoin täytteisiä. Raot tekevät kalliioon lohkaremaisen rakenteen. Murrosrakenteisessa kallion osassa rakoilu on tiheää ja vähätäytteistä. Ruhjerakenteisessa kallion osassa rakoilu on runsasta tai tiheää ja savitäytteistä. Savirakenteinen kallion osa sisältää paljon kallio-savea. Rikkonaisen kallion tyyppiä esitetään kuvassa 8. [8]



Kuva 8. Rikkonaisen kallion rakennetyypit a. halkeama- b. rako- c. murros- d. ruhje- e. savirakenteinen [8]

Rakennusgeologisen luokituksen mukaisia kallion laatuja esittää taulukko 4.

Taulukko 4. Kalliolaadun luokitus [8]

rakenteellinen kiinteys	rakennetyyppi	tunnus	tihein rakoilu ja/tai rakojen täytteisyys
kiinteä kallio	massarakenteinen	Ma1	harvarakoinen
		Ma2	vähärakoinen
		Ma3	runsarakoinen
	liuskerakenteinen	Li1	harvarakoinen
		Li2	vähärakoinen
		Li3	runsarakoinen
	seosrakenteinen	Se1	harvarakoinen
		Se2	vähärakoinen
		Se3	runsarakoinen
löyhä kallio	löyhärakenteinen	Lö1	harvarakoinen
		Lö2	vähärakoinen
		Lö3	runsarakoinen
rikkonainen kallio	raparakenteinen	Ra	(kuvataan mikäli mahdollista)
	halkeamarakenteinen	Ri I	(jakaa kallion terävästi kahteen erilliseen osaan)
	rakorakenteinen	Ri II	runsarakoinen, ei rakotäytettä
	murrosrakenteinen	Ri III	tiheärakoinen, rakojen täytteisyys vähäistä
	ruhjerakenteinen	Ri IV	runsas- tai tiheärakoinen, raoissa savi-täytettä
	savirakenteinen	Ri V	runsaasti kalliosavea

### 3.3 Q-luokitus

Q-luokitus on Norjan geologisen instituutin vuosina 1971–1974 kehittämä kallion laatu-luokitus. Q-luokituksessa lasketaan kaavalla 1 kuuden parametrin avulla Q-luku, joka kuvaa kallion laatua. Kaavaan valikoidut parametrit ovat tilastollisessa tarkastelussa korreloineet parhaiten kallion lujitustarpeen kanssa. Q-luokitus on Suomessa yleisesti käytössä ja sen on havaittu soveltuvan hyvin suomalaisen kallioperän luokitteluun. Kaavassa 1 neljä ensimmäistä muuttujaa kuvaavat kallion rakoilua ja kaksi viimeistä kallioveden virtausta ja kallion jännitystilaa. [5] [10]

$$\frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF} = Q \quad (1)$$

Kaavassa:

RQD = rakojen määrää kuvaava luku

J<sub>n</sub> = rakosuuntien määrää kuvaava luku

J<sub>r</sub> = rakopintojen karkeutta kuvaava luku

J<sub>a</sub> = rakopintojen muuttuneisuutta kuvaava luku

J<sub>w</sub> = rakojen vedenläpäisevyyttä kuvaava luku

SRF = kallion jännitystilaa kuvaava luku

Q-luvun laskemiseen tarvittavien parametrien määrittämistä ohjeistetaan liitteessä 1, jossa on vuonna 2013 päivitetyn Q-luokituksen yhteenveto.

Q-luvun numeeriseen arvoon liittyvät seuraavat sanalliset kalliolaadun kuvaukset:

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

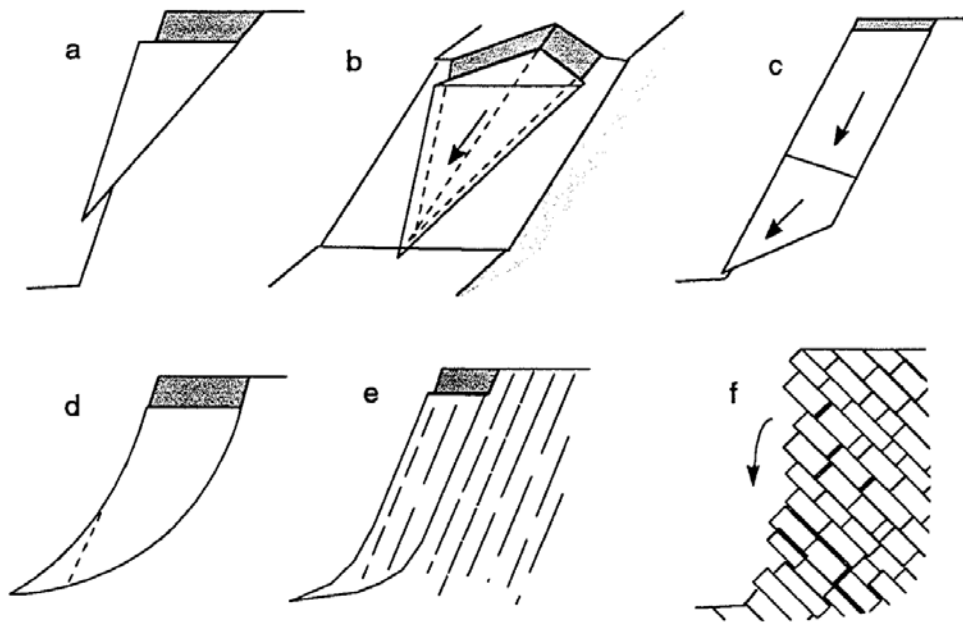
### 3.4 Kallioleikkausten pysyvyyden arviointi

Jyrkätkin luonnontilaiset kallioseinämät poikkeavat monilta osin louhimalla tehdyistä kallioleikkauksista. Kalliomekaanisesti kallioleikkaus koostuu yksittäisistä kivistä ja lohkeista. Kallioleikkauksessa on kallion luonnollisen rakoilun ja epäjatkuvuuskohtien lisäksi louhinnan aiheuttamaa rikkoumaa. [8]

Kallioleikkauksen pysyvyyden arviointi perustuu kalliomekaniikassa yksittäisen kappaleen pysyvyyden tutkimiseen. Kallioleikkauksen pysyvyys on riippuvainen rakojen ja epäjatkuvuuskohtien leikkauslujuudesta ja suuntauksesta. Kalliolohkojen pysyvyyteen vaikuttaa eniten kitkakulma ja koheesio. Näille on kirjallisuudessa esitetty tietyille kivilajille tyypillisiä arvoja, mutta arvojen vaihteluväli on useimmilla kivilajeilla suuri. Kitkakulma ja koheesio määrittävät leikkauksen suuntaisen ja sitä vastaan kohtisuoran jännityskomponentin väliseksi suhteeksi. Koheesio vastaa kappaleen lähökittä ja kitkakulma kappaleen kitkaa alustalla. [8] [11]

Yksittäisen kappaleen irtoaminen on lähinnä liukumista ja kaatumista sisältävä monimutkainen liikesarja. Lisäksi irronneen kappaleen liikkeeseen liittyy putoamista, pyörimistä ja pomppimista. Kappale liikkuu painovoiman vaikutuksesta kaltevilla pinnalla, silloin, kun sen pinnan suuntainen painovoimakomponentti on suurempi kuin kappaleen ja pinnan välillä vaikuttava kitkavoiman ja koheesio summa. [8] [11]

Kallioleikkauksen murtumiseen ja sortumiseen vaikuttavat pääasiassa kallion rakenne ja kallioluiskan suunta suhteessa kallion epäjatkuvuuskohtiin. Murtumat ja sortumat tapahtuvat siis epäjatkuvuuskohtien mukaisesti. Kalliomateriaalin lujuus- ja muodonmuutosominaisuudet voivat olla ratkaisevia vain hyvin korkeissa leikkauksissa ja rikkonaisilla kivilajeilla. Hyvin rikkonaisten tai voimakkaasti rapautuneiden kallioleikkausten käyttäytyminen lähenee maaluisien käyttäytymistä murtumisen ja sortumisen osalta. Kallioleikkauksille voidaan määrittää erilaisia murtumismekanismeja, joita esitetään kuvassa 9. [8] [11]



Kuva 9. Kallioluiskan murtumismekanismeja. Siirrosmurtumia a. taso- b. kiila- c. aktiivi- ja passiivikappaleen murtumat. Pyörähdysmurtumia d. ympyrämurtuma ja e. valuma f. lohkkareiden irtoaminen. [8]

Siirrosmurtumat ovat tyypillisiä kiinteille kalliolaaduille, joita Suomessa esiintyy yleisesti. Eri siirrosmurtumatyypit (kuvassa 3.4 kohdat a, b ja c) tapahtuvat yhden tai useamman epäjatkuvuustason suhteen. Epäjatkuvuustason/tasojen kaade on tällöin pienempi kuin kallioleikkausseinämän kaltevuus. Taso- ja kiilamurtuman erottaa toisistaan epäjatkuvuuspintojen määrä. Tasomurtuma tapahtuu yksittäisen epäjatkuvuustason suunnassa, kun kiilamurtumiselle epäjatkuvuustasoja on ainakin kaksi. Aktiivi- ja passiivikappaleen murtumassa on kyseessä ketjureaktio, jossa toinen epästabiili lohkkare aiheuttaa toisenkin kappaleen epästabiiliuden. [8]

Ympyräliukupintoja voi maalajien lisäksi esiintyä hyvin rikkonaisilla kallioilla. Leikkausseinämän valumista voi esiintyä löyhillä ja runsarakoisilla kalliolaaduilla. [8]

Kallioleikkauksessa esiintyy kivien ja lohkkareiden irtoamisia, jos kallio on runsarakosta tai liuskeista ja kyseinen ominaisuus on suuntautunut pois päin kaltevasti leikkausseinämään nähden. Runsa rakoilu leikkaukseen on voinut aiheuttaa esim. varomaton louhintaa. [8]

Lohkkareen irtoamisen kallioleikkauksesta voidaan ajatella vaativan seuraavia asioita:

- Lohkkareen täytyy olla kineettisesti mahdollista irrota.
- Voimien, jotka lohkkareta pitävät paikallaan, täytyy heiketä ajan kuluessa.
- Ulkopuolisten voimien täytyy olla riittävän suuria irrottaakseen lohkkareen sen tasapainotilasta.

Todellisissa kallioleikkauksille tapahtuvissa sortumatilanteissa voi olla tunnistettavissa useampiakin teoreettisia murtumamekanismeja. Kuvassa 10 on kallioleikkauksen sortuma valtatie 9 Orivedellä.



*Kuva 10. Tiekallioleikkauksen sortuma valtatiellä 9 Orivedellä. Kuvattu 2014.*

Yllä olevasta sortumasta on löydettävissä ainakin tasomurtumaa, aktiivi- ja passiivikappaleen murtumaa sekä lohkareiden irtoamista.

### 3.5 Kallioleikkausten vaurioituminen

Kallioleikkauksen pysyvyyteen, vaurioitumiseen ja vaurioiden kehittymiseen vaikuttaa neljä päätekijää:

- Alkuperäisen kallion ominaisuudet kivilaatuineen ja rakoiluineen
- Louhinnan vaikutuksesta aiheutunut heikentyminen
- Tehtyjen lujitustoimenpiteiden vaikutus
- Käytönaikaiset rasitukset ja ympäristörasitukset

Alkuperäisen kallion ominaisuudet, erityisesti kivilaatu ja rakoilu ovat lähtökohdat sille, kuinka altis kallioleikkaus on muille vaurioitumiseen johtaville tekijöille. Luonnostaan voimakkaasti rakoilleessa ja epäedullisesti suuntautuneessa kivilajissa louhinta aiheuttaa herkästi vaurioita ja rikkoumaa kallioseinämään. Tällaisella kivilaa-dulla on taipumuksena irrota louhittaessa rakopintojen ja kiven suuntauksen mukai-sesti. Oikein suunnitellulla panostuksella voidaan vaikuttaa louhinnasta aiheutuvaan kallion heikentymiseen. Erittäin vaativissa kallioleikkauskohteissa kallion irrottami-nen voidaan suorittaa myös irtiporaamalla louhinnan aiheuttaman rikkoutumisen välttämiseksi (kuva 11). Voimakkaasti rakoilleessa ja herkästi rapautuvassa kivilaa-dussa on paljon pinta-alaa alttiina veden, jään ja kasvuston aiheuttamalle rapautumi-selle ja lohkoja irrottaville voimille.



*Kuva 11. Irtiporaamalla muodostettua kallioleikkausta Pasilan rautatieaseman pohjoispuolella. Leikkauseinämä on myös pultitettu ja verkotettu. Ku-vattu 2014.*

Kallioleikkausten lujituksen tarve on yleensä arvioitu leikkauksen rakentamisen jäl-keen. Kallioleikkauksen käytönaikaisten rasitusten ja ympäristörasitusten myötä kal-lioleikkauksen lujitustarve on voinut muuttua. Lisäksi myös lujitusrakenteet ovat altiina erilaisille rasituksille ja voivat vaurioitua siten, etteivät enää toimi suunnitellulla tavalla.

Kallioleikkauksia rasittavat mekaanisesti esim. rataleikkauksissa junien aiheuttamat paineiskut ja vesiväylillä veden jäätyminen ja jäiden liikkeet. Ympäristörasituksista vaurioitumiseen myötävaikuttavat vesi, jää, kasvusto sekä lämpötilavaihtelut.

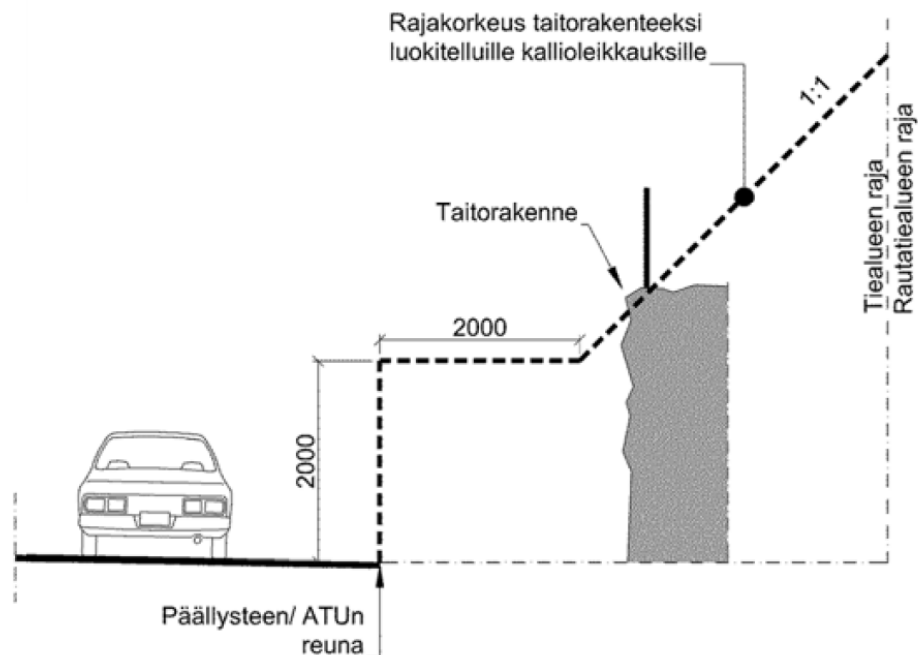
Kallioleikkausten vauriot voivat liittyä joko kalliomassaan, kallion lujittamiseen käy-tettyihin rakenteisiin tai kallioleikkaukseen liittyviin rakenteisiin. Lisäksi ympäristö-olosuhteet voivat aiheuttaa kallioleikkauksiin kasvustoa ja vesivuotoja, jotka ovat it-sessään haitallisia tai aiheuttavat ja nopeuttavat muita vaurioita.

## 4 Kallioleikkaukset

### 4.1 Yleistä

Kallioleikkausten ominaispiirteet vaihtelevat jonkin verran väylätyypeittäin. Erityisesti kallioleikkauksen väylän liikenteelle mahdollisesti aiheuttama riski on erisuuruinen riippuen väylätyypistä. Huomion arvoista on myös väylästä olevien kallioleikkauksen ikä ja erityisesti ajan mittaan muuttuneet määräykset koskien väylien mitoituksia. Vaikka nykyaikaiset määräykset vaativat kallioleikkausten sijaitsevan turvallisella etäisyydellä liikenteestä, todellisuudessa vain pieni osa kallioleikkauksista on rakennettu nykymääräysten voimassa ollessa. Erityyppisten väylien kallioleikkausten suunnittelulle ja rakentamiselle on osittain olemassa tarkempia ohjeistuksia, mutta niiden puuttuessa tukeudutaan yleensä InfraRYL:issä esitettyihin peruseriaatteisiin [12].

Liikenneviraston hallinnoimien maa- ja vesiväylien kallioleikkaukset määritellään taitorakenteiksi tietyin edellytyksin. Vesiväylien kallioleikkaukset ovat taitorakenteita ulottuessaan veden pinnan yläpuolelle. Teiden ja rautateiden kallioleikkausten määrittelyä esittää kuva 12. [1]



Kuva 12. Taitorakenteeksi luokitellun kallioleikkauksen rajakorkeus tiellä ja rautatiellä. [1]

## 4.2 Ratakallioleikkaukset

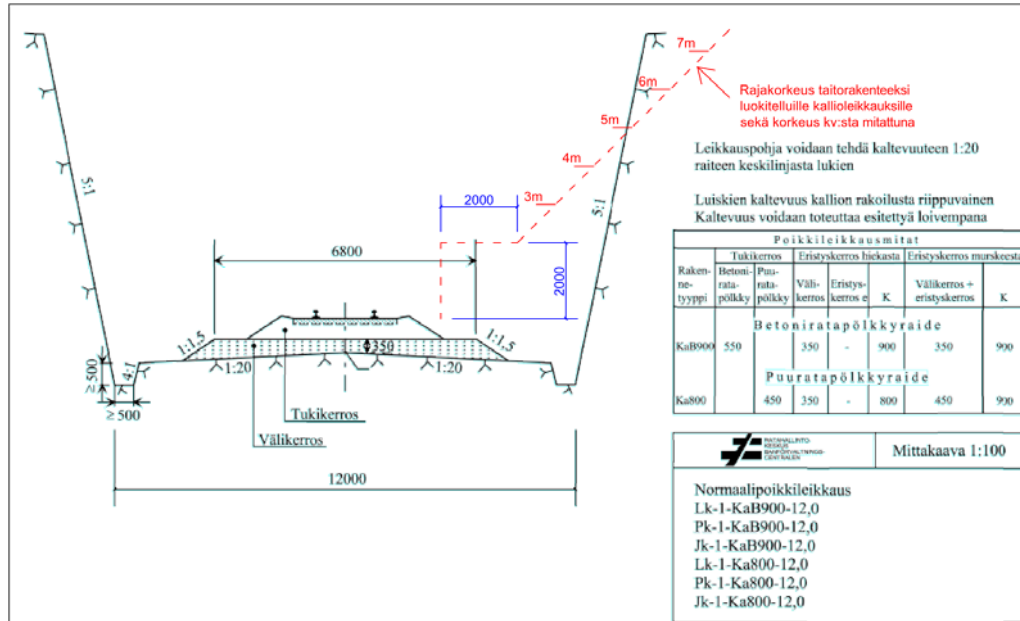
Suomen valtion omistamalta noin 6000 ratakilometrin rataverkolta kallioleikkauksiin liittyvät tiedot on kerätty kallioleikkausrekisteriin. Kallioleikkausrekisterin tiedot ovat osittain mm. liikkuvasta kalustosta ja ratakuvapalvelusta silmämääräisesti arvioituja, joten mitta- ja määrätiedot ovat osin epätarkkoja ja puutteellisia. Kallioleikkausrekisterin perusteella Liikenneviraston hallinnoimalla rataverkolla on noin 1650 vähintään kahden metrin korkuista kallioleikkausta. Näiden leikkausten kokonaispituudeksi tulee n. 264 kilometriä ja keskikorkeudeksi noin 5,3 metriä. Kallioleikkausrekisteristä löytyvistä ratakallioleikkauksista noin 76 % on taitorakenteita. Edellä mainituista luvuista puuttuvat ne ratakallioleikkaukset, joista tarpeellisia tietoja ei ollut tallennettuna kallio-leikkausrekisteriin.

Suomen rataverkon rakentaminen on alkanut 1800-luvun puolen välin jälkeen ja viimeisimmät uudet rataosuudet ovat valmistuneet 2000-luvulla. Vanhat ratakallioleikkaukset ovat tyypillisesti kapeita ja jyrkkäseinäisiä. Lisäksi rautateiden kallioleikkauksissa on käytetty enemmän lujitusrakenteita kuin esim. tieleikkauksissa. Ratakallioleikkaukset ovat kapeampia kuin tiekallioleikkaukset, koska suistumisonnettomuuksissa tieliikenteen turvallisuutta lisääviä luiskia ei radalla ole. Radoilla on todennäköisesti kallioleikkauksia suhteellisesti enemmän kuin maanteillä, koska radan vaaka- ja pystygeometria mukautuu huonommin maaston muotoihin kuin jouheampi tiegeometria.

Nykyään Suomessa voimassa olevien määräysten mukaiset normaalipoikkileikkaukset ratakallioleikkauksille löytyvät Ratateknisten ohjeiden (RATO) osasta 3. Poikkileikkaukset määritellään erikseen yksi- ja kaksiraiteisille radoille. Kallioleikkauksen leveyteen vaikuttaa raiteiden määrän lisäksi eristyskerroksen olemassaolo. Leveyden lisäksi RATO:n osa 3 määrää kallioleikkauksiin liittyen leikkausseinämän kaltevuuden, ojien minimikoon ja louhitun ratapohjan kaltevuuden. [13]

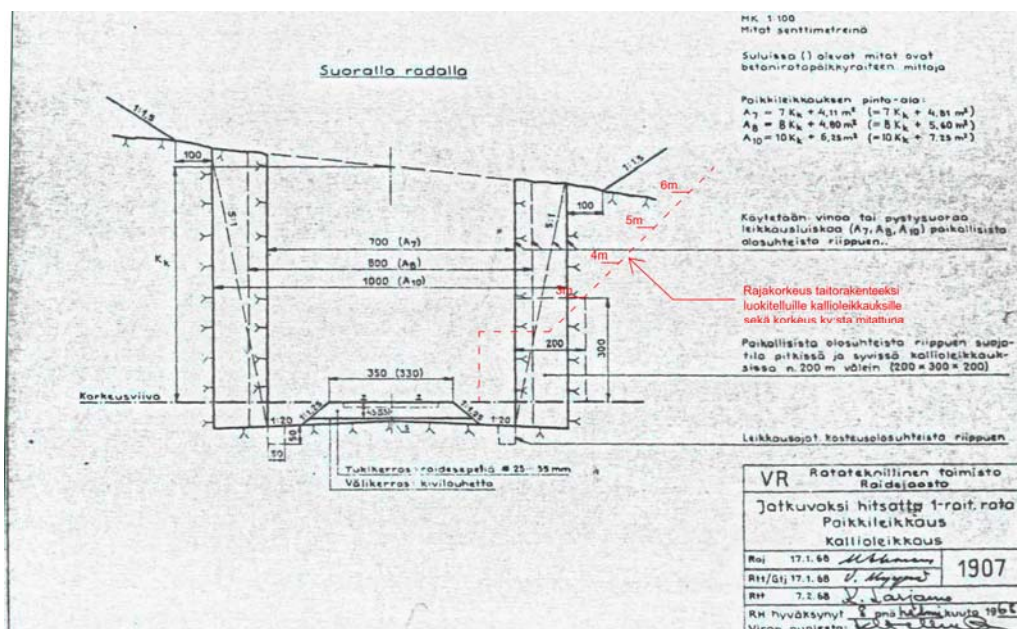
Mikäli ratarakenteet rakennetaan ilman eristyskerrosta, kallioleikkaus voi olla 0,9 m kapeampi, minimissään 12 m, yksiraiteisella radalla [13]. Tästä seuraa että raiteen keskilinjasta kallioleikkaus voi olla lähimmillään 6 m etäisyydellä. Kallioleikkausrekisteristä löytyvien mittatietojen mukaan n. 85 % Suomen rataverkon kallioleikkauksista ei täytä tätä kuuden metrin vaatimusta. Tämä johtuu vuosien mittaan muuttuneista määräyksistä ja siitä, että suuri osa kallioleikkauksista on rakennettu vanhempien määräysten voimassa ollessa. Kuvassa 13 on nykymääräysten mukainen ratakallioleikkaus kapeimmillaan. Kuvaan on piirretty taitorakenteen määritelmän rajakäyrä, josta voidaan havaita, kuinka korkea kallioleikkaus täyttää taitorakenteen määritelmän.





Kuva 13. Nykyisten määräysten mukainen radan poikkileikkaus kalliroleikkauksessa.

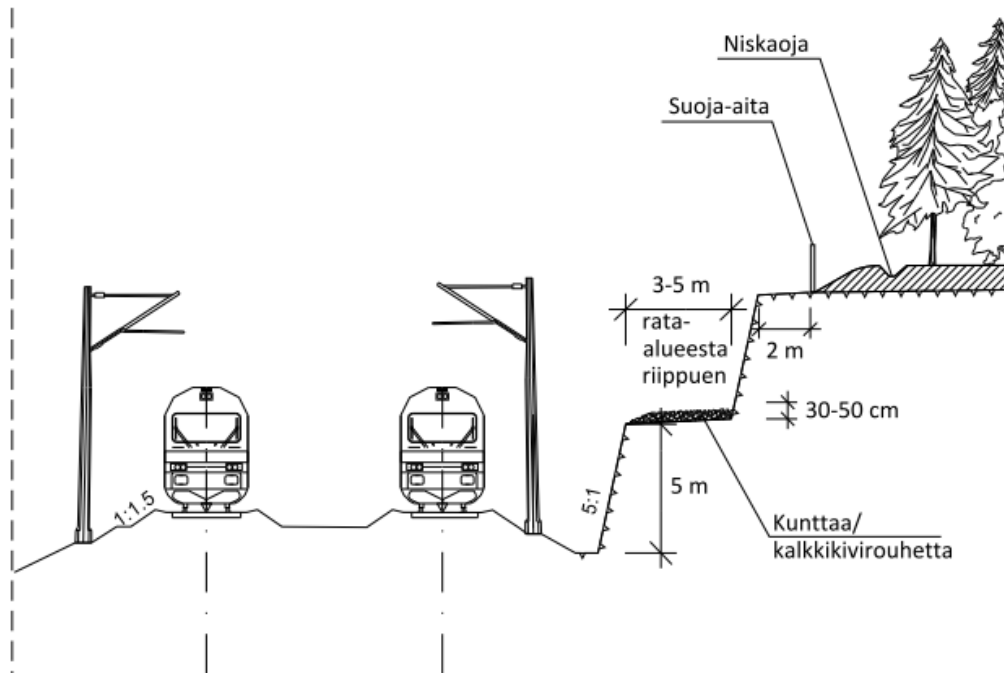
Kuvassa 14 on Ratateknisten määräysten ja ohjeiden (RAMO) vuodesta 1968 eteenpäin käytössä ollut radan poikkileikkaus kalliroleikkauksessa. Tällöin kalliroleikkaukseseinämät on sallittu louhittavaksi pystysuorina ja nykyistä huomattavasti lähemmäksi rataa. Kuvaan 14 on piirretty taitorakenteen määritelmän rajakäyrä samoin kuin kuvassa 13.



Kuva 14 Radan poikkileikkaus kalliroleikkauksessa vuodelta 1968.

Nykyään voimassaolevan ohjeistuksen mukaan matalat, alle kahden metrin korkeiset kalliroleikkaukset tulisi louhia kokonaan 1:2 kaltevuuteen pois näkyvistä. Maasto muotoillaan kivennäismaalla vastaamaan jakson muita luiskia ympäristösuunnitelman mukaisesti. [14] Tämä ei aina ole mahdollista, mikäli Liikenneviraston hallinnoiman rautatiealueen raja on lähellä.

Yli viisi metriä korkeisiin kallioleikkauksiin on mahdollista tehdä porrastukset. Tällä tavoin voidaan ehkäistä kivien putoamista radalle sekä helpottaa leikkauksen kunnossapitoa. Kallioportaan on oltava vähintään kolmen metrin levyinen. Kuva 15 esittää kallioleikkauksen porrastamisen periaatetta [14]. Kuvassa 15 kallioleikkauksen korkeus on ilmoitettu ojan pohjalta mitattuna, vaikka korkeus tyypillisesti ilmoitetaan suhteessa radan korkeusviivaan.



Kuva 15. Periaatekuva kallioleikkauksen porrastamisesta. [14]

Kallioleikkausten liikenteelle aiheuttama riski on todennäköisesti suurimmillaan rautateilla. Perusteina tähän voidaan pitää junien korkeampia nopeuksia, pidempiä jarrutusmatkoja, väistämättömyyden puutetta, suurempia matkustajamääriä, rataliikenteen suurempaa häiriöherkkyyttä, sähkörataturvallisuutta onnettomuustilanteissa ja kulunvalvontaan liittyviä arvokkaita laitteita.

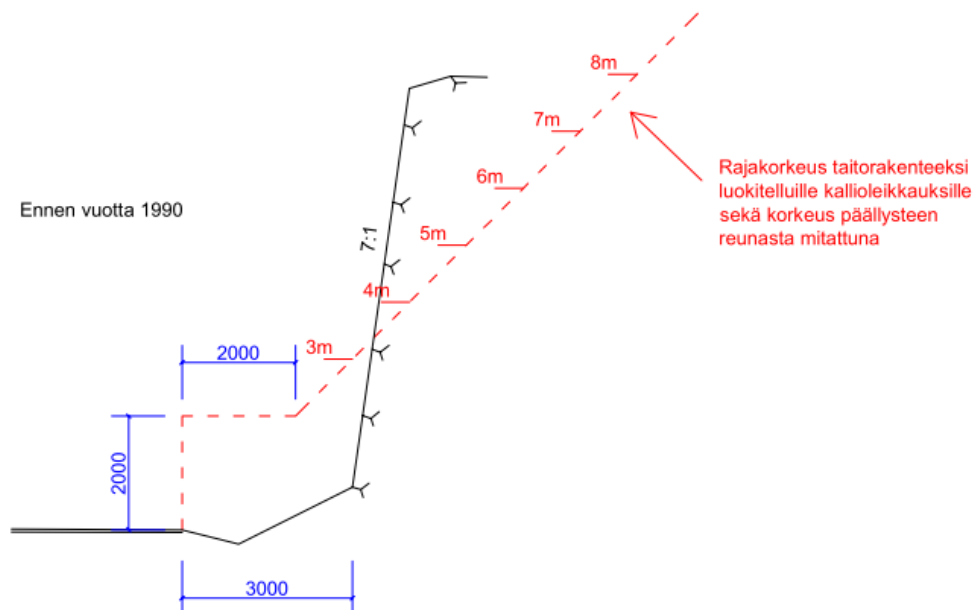
Ratakallioleikkauksille tyypillisiä ongelmia ovat leikkauksista irtoilevat kivet, lohkaheet tai lujitusrakenteen, esimerkiksi ruiskubetonin kappaleet. Tippuvat kappaleet voivat pahimmillaan päätyä radalle, osua junan ikkunoihin tai vaurioittaa radan rakenteita ja laitteita. Kallioleikkauksen avo-ojiin ja leikkauksen seinämäpinnalle kertyy eloperäistä ainesta tuulen ja veden kuljettamana. Se luo hyvät olosuhteet kasvuston lisääntymiselle ja voi aiheuttaa lopulta ojiin padotusta ja leikkauspinnan rapautumista. Puiden juuret aiheuttavat kalliorakoihin tunkeutuessaan rakoja kasvattavia voimia. Talviaikaan kallioleikkauksien seinämistä ja niiden päältä valuvat vedet aiheuttavat paannejäitä. Suuret paannejäät kertyvät muodostuvat ongelmallisiksi erityisesti kapeissa kallioleikkauksissa, joissa paannejäät voi ulottua kiskoon asti. Keväällä sulautuessaan paannejäät voi kaatua radalle.

## 4.3 Tiekallioleikkaukset

Vanhin kirjallinen lähde Suomen teistä on n. 1500-luvun puolivälistä [15]. Nykyään Suomessa on Liikenneviraston hallinnoimia maanteitä hieman yli 78 000 kilometriä [16]. Maantieverkon kallioleikkauksista ei ole rekisteriä Liikennevirastolla eikä elykeskuksilla. Tierekisteriin on rekisteröitynä maanteiden suoja-aitojen sijainnit, joista kallioleikkausten määrää voisi suuntaa antavasti arvioida [17]. Muutoin tiekallioleikkausten määrän, muiden ominaisuustietojen tai kunnan arviointi perustuu lähinnä valistuneisiin arvauksiin.

Teiden kallioleikkaukset ovat pääsääntöisesti raideliikenteen kallioleikkauksiin verrattuna avarampia ja matalampia. Tämän aiheuttaa osaltaan tiegeometria, joka on raide geometriaa joustavampaa ja väylä väistää korkeimmat kallion kohdat kiertämällä ja tasausta nostamalla. Toisaalta avarammat kallioleikkaukset ovat osa törmäysturvallisuutta, jolla pyritään parempaan liikenneturvallisuuteen suistumisonnettomuuksien varalta. [18]

Ennen vuotta 1990 rakennettujen teiden kallioleikkausten minimietäisyys tien reunasta on ollut 3 metriä ja moottoriteillä 4 metriä. Kuva 16 esittää tiekallioleikkausta joka on 3 metrin etäisyydellä tienreunasta. Kuvaan on myös piirretty taitorakenteen määritelmän rajakäyrä. [19]



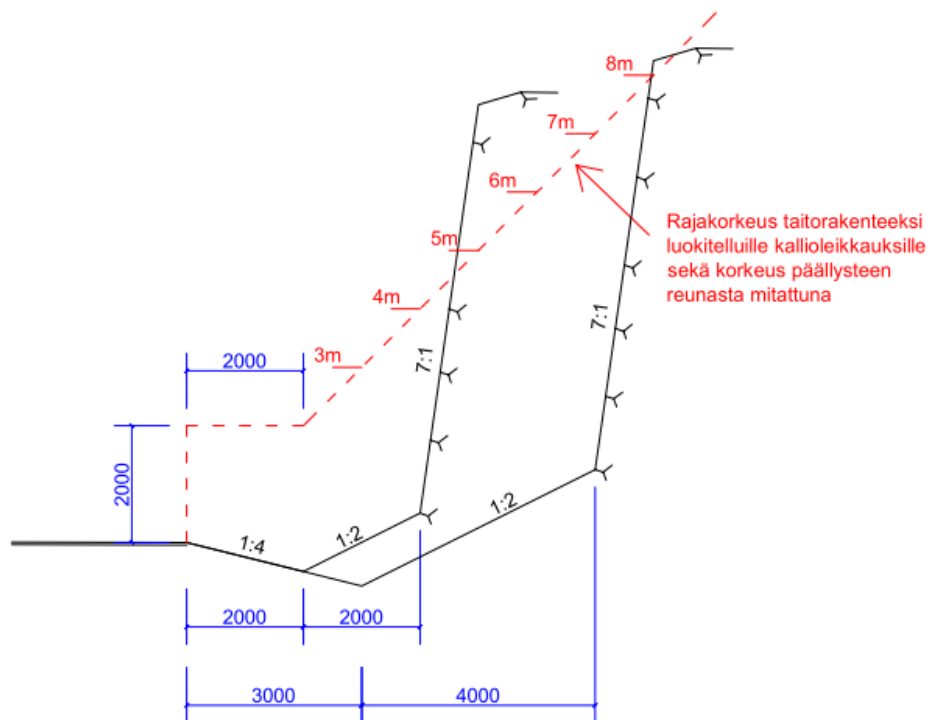
kuva 16. Ennen vuotta 1990 voimassa ollut ohjeistus teiden kallioleikkauseinämän sijainnista tien reunaan nähden.

Tieverkoltakin löytyy kallioleikkauksia, jotka ovat korkeita ja hyvin lähellä tietä. Kuva 17 esittää lähellä tietä sijaitsevaa kallioleikkausta maantiellä 120 Helsinki–Vihti välillä.



*Kuva 17. Kallioleikkaus maantiellä 120 Välillä Helsinki–Vihti.*

Nykymääräysten mukaan rakennetuilla tai perusparannetuilla teillä kallioleikkauksen etäisyys ja suojaluisien mitoitukset riippuvat useasta tekijästä. Näitä ovat tien nopeus- taso, tien liikennemäärä, ojan syvyys, tien tyyppi, kallioleikkauksen rikkonaisuus ja kallioleikkauksen mahdollinen rakentaminen kaiteellisena. Kallioleikkauseinämän minimietäisyys tien reunasta vaihtelee näistä seikoista johtuen välillä 3–7 metriä. Kuva 18 havainnollistaa kallioleikkauseinämän sijoittumista nykyään voimassa- olevan tiepoikkileikkauksen eri mitoilla. [19]



Kuva 18 Kallioleikkaus tiepoikkileikkauksessa voimassa olevan ohjeistuksen mukaisesti.

Maanteillä kallioleikkauksiin liittyviä riskialttiita paikkoja ei ole niin paljon kuin rautateillä. Riskiajattelun kannalta mahdollinen tielle vierivä kalliolohkare ei ole niin vaarallinen kuin rautateillä, johtuen mm. autojen matalammasta nopeudesta, pienemmästä liike-energiasta, ja autojen mahdollisuudesta muuttaa ajolinjaa. [18]

Kallioleikkausten ongelmat ovat tiekallioleikkauksissa samanlaisia kuin ratakallioleikkauksissakin. Pudonneet kivet ja lohkarieet päätyvät yleensä tien luiskaan, josta kunnossapitäjä siirtää niitä pois tarpeen mukaan. Vesivuotojen aiheuttamia paannejäkertymiä seurataan talven aikana ja keväällä sulamisen aikaan niitä voidaan käydä kaatamassa, mikäli on olemassa riski paannejään tielle kaatumisesta. [17]

## 4.4 Vesiväylien kallioleikkaukset

Vesiväylät ovat iältään vanhimpia väyliä Suomessa ja ne ovatkin olleet kulkuväylinä maanteitä tärkeämpiä aina 1800-luvulle saakka [15]. Vesiväylillä kallioleikkauksia sijaitsee sekä veden pinnan alapuolella että yläpuolella. Näistä veden pinnan yläpuolelle ulottuvat kallioleikkaukset on linjattu taitorakenteisiin kuuluviksi [1]. Pinnan yläpuolisia kallioleikkauksia on esimerkiksi kanavarakenteissa. Oletettavasti kallioleikkauksia on vesiväylillä vähemmän kuin teillä ja rautateillä. Vesiväylien kallioleikkauksia tai niiden ominaisuustietoja ei kuitenkaan ole vielä rekisteröity, joten tarkkoja tietoja ei ole saatavilla. Vesiväylien taitorakenteiksi määriteltävät kallioleikkaukset sisällytetään tulevaisuudessa taitorakennerekisteriin. [20]

Kuvassa 19 on taitorakenteeksi määriteltävää vesiväylän kallioleikkausta, joka sijaitsee Saimaan kanavalla lähellä Nuijamaan järveä.



*Kuva 19. Vesiväylän kallioleikkausta Saimaan kanavalla.*

Vesiväylien kallioleikkausten tyypillisiä ongelmia ovat leikkauksesta irtoavat ja tippuvat kivet ja lohkareet. Kallioleikkauksesta irtoavat kivet ja lohkareet voivat pahimmillaan tippuessaan osua väylän käyttäjiin ja lisäksi ne pohjalle kerääntyessään mataloittavat väylää. Tällöin kallioleikkaukset voivat osaltaan lisätä tarvetta väylän haraukselle, skannaukselle tai ruoppaukselle. Tarpeen mukaan kallioleikkauksia rusnataan, lujitetaan tai irronneita lohkareita poistetaan. Vaarallisiksi arvioituja paikkoja merkitään ja väylän käyttäjiä tiedotetaan huonokuntoisista kallioleikkauksista. Kallioleikkauksia on joissain kohteissa maalattu, jotta irronneet lohkareet voidaan havaita helpommin. [20]

Uusia kanavia ei ole Suomessa lähivuosina rakennettu, eikä erityistä vesiväylien kallioleikkauksien rakentamista tai suunnittelua koskevaa ohjeistusta ole olemassa. [20]

## 5 Kallioleikkausten tarkastustoiminta

### 5.1 Yleistä

Liikenneviraston hallinnoimien väylien kallioleikkauksille ei ole järjestelmällistä tarkastustoimintaa eikä ohjeistusta tarkastustoimintaa koskien. Kallioleikkausten kunnonseurannan nykytilaa selvitettiin Liikennevirastolle ja Ely-keskuksille suunnatuin kyselyin. Kallioleikkausten, kalliopintojen ja kallion lujitusrakenteiden tarkastustoimintaa ja vaurioiden luokituksia selvitettiin Ruotsissa ja Norjassa kehitettyjen ohjeistuksien perusteella.

### 5.2 Tarkastustoiminnan nykytila Suomessa

Ratakallioleikkauksille ei ole omaa säännöllistä tarkastustoimintaa, vaan ratakallioleikkausten kuntoa tarkkaillaan radan tarkastusten yhteydessä. Tällaisia tarkastuksia ovat esimerkiksi kunnossapitäjän suorittamat radan kävelytarkastukset. Radan tarkastuksissa seurataan silmämääräisesti leikkauksen kuntoa ja talviaikaan paannejäiden muodostumista seurataan kunnossapitäjän toimesta. Mikäli radan kävelytarkastuksissa havaitaan jotain poikkeavaa, tehdään usein yksityiskohtaisempi tarkastus esim. poikkeavan kallioleikkauksen suhteen. Tarkempia selvityksiä ja tarkastuksia ratakallioleikkausten kunnosta on tehty mm. radan perusparannusten yhteydessä. Jonkin verran kallioleikkausten tarkastuksia on raportoitu kallioleikkausrekisteriin vuosien 1994 ja 2007 välillä.

Tieverkon kallioleikkauksille ei tehdä erillisiä säännöllisiä tarkastuksia, vaan kallioleikkausten tarkkailua tehdään tiestötarkastuksen yhteydessä. Tiestötarkastuksia suorittaa alueurakoitsija, ja havaitut poikkeamat tulee raportoida Ely-keskukseen. Kunnossapitäjä tarkkailee silmämääräisesti kallioleikkauksesta mahdollisesti tippuneita kiviä ja leikkauksessa tapahtuneita muutoksia tai liikkeitä sekä talviaikaan paannejäiden kertymistä. Kallioleikkauksien päällä sijaitsevat suoja-aidat tulee tarkastaa vuosittain. [17] [18]

Kallioleikkauksille ei vesiväylilläkään tehdä erillisiä säännöllisiä tarkastuksia, vaan niiden kunnonseuranta on osa kunnossapitäjän suorittamaa väylän kunnan tarkkailua. Sulkujen osana olevat kallioleikkaukset ovat kuitenkin vuonna 2014 alkaneiden yleistarkastuksien piirissä. [20]

### 5.3 Tarkastustoiminta Ruotsissa ja Norjassa

Ruotsissa Banverket on kehittänyt ohjeistusta ratakallioleikkausten tarkastustoimintaa varten. Käytettävissä ollut ohjeistus oli luonnosversio vuodelta 2011. Ohjeistuksen taustalla on ollut tarve saada eri alueilla tehty kallioleikkaustarkastukset yhteneviksi kallioleikkausten ominaisuustietojen, arviointiperusteiden ja raportoinnin osalta. Kallioleikkausten osalta kerätyt ominaisuustiedot ovat ruotsalaisessa järjestelmässä hyvin samanlaiset kuin Suomessa kallioleikkausrekisteriin kerättävien ratakallioleikkausten tiedot. [21]

Ruotsalaisessa kallioleikkausten tarkastusmenetelmässä kallion geologiaa arvioidaan kuuden tekijän avulla. Nämä ovat

- kivilaji
- mineraalien raekoko
- kallion koostumus
- kiillemineraalin määrä
- lohkokoko
- kallion rakennetyyppi. [21]

Kallion rakoilua arvioidaan viiden tekijän avulla. Nämä ovat

- päärakosuuntien kulku ja kaade
- rakoväli
- rakotäyte
- raon aukenema
- rakopintojen karheus. [21]

Edellä mainituille tekijöille on vaihteleva määrä valmiita taulukoituja suuruusluokkia, vaihteluvälejä tai kuvauksia. Lisäksi vesi, pohjavesi tai muita tarpeelliseksi katsottuja olosuhteita voidaan kuvata sanallisesti. Tekijät ovat hyvin samanlaisia kuin kallion laatuluokituksissa käytetyt ja osittain samoja, esimerkiksi rakotäytteen kuvaus on sama kuin Ja-luku Q-luokituksessa. [21]

Kallioleikkaukseen liittyviä muita tekijöitä arvioidaan seitsemän taulukoidun kuvauksen avulla. Ne on numeroitu asteikolla 0–5, ja (-). 0-vaihtoehto tarkoittaa ”kunnossa”, ”ei vauriota” tai kyseessä olevaa esimerkiksi ”lujitusrakennetta ei ole”. Viimeinen vaihtoehto (-) valitaan, mikäli mikään taulukoitu kuvaus ei ole riittävän oikea. Muita arvioitavia tekijöitä ovat:

Heikentävät tekijät

- kasvusto
- vesi
- maa

Lujittavat tekijät

- pultitus
- verkotus
- ruiskubetoni

Rakenteita

- betonitukimuuri
- muu tukimuuri
- kalliota tukevia betonisia rakenteita
- kuivatusrakenteita

Kallio

- kallion sortumisen todennäköisyys
- reunojen/rakojen liikuntojen näkyvyys
- sortumahistoria [21]



Tarkastusjärjestelmässä annetaan toimenpide-ehdotuksia vaurioiden määrän/pinta-alan mukaan ja arvioidaan kallioleikkauksen pysyvyyttä ajassa, kallion pysyvyyttä mahdollisen sortuman koon mukaan sekä tarvittavien toimenpiteiden kiireellisyyttä. Toimenpiteet annetaan tietyille ratakilometrivalille arvioituina määrinä, jotka summaataan yhteenvetoon. Kallioleikkauksen pysyvyyttä ajassa arvioidaan kysymysten avulla, joita ovat ”Lyhin aika, jonka uskot leikkauksen pysyvän? Missä ajassa uskot leikkauksen suurella todennäköisyydellä sortuvan? Aika, jolloin uskot leikkauksen sortuvan?” Toimenpiteiden kiireellisyyttä arvioidaan sen perusteella, kuinka pitkän ajan kuluttua tilanne on ratkaistava tai uudelleen tarkastettava. [21]

Käytettävissä oli norjalainen tunneleiden tarkastamiseen liittyvä ohjeistus. Ohjeistuksessa on listattu erilaisia louhittuun kalliopintaan liittyviä vaurioita, kallion lujuuspulttien vaurioita, ruiskubetonoidun kalliopinnan vaurioita, ja muita vaurioita. Kullakin vaurioille määritellään neliportainen vakavuus/kiireellisyysarviointi, jonka avulla määrittyvät tarvittavat jatkotoimenpiteet. Kalliopinnalle määriteltyjä vaurioita ovat tippuneet kivet kooltaan alle ja yli 0,3 kuutiometriä, irtonaiset lohkarieet, vesivuodot ja jäänmuodostus. Lisäksi määriteltiin muita lähinnä syvällä sijaitsevien kalliotilojen vaurioita, jotka liittyvät kallion jännitystilaan. Kallion lujuuspulteille määritellyt vauriot ovat eriasteisia korroosiovaurioita, vääntymiä, muodonmuutoksia ja löystymisiä. Ruiskubetonin vaurioluokat ovat samankaltaisia kuin louhitun kalliopinnankin vauriot. [22]

Norjassa ja Kanadassa on sovellettu kallioseinämän pysyvyyttä ennustavia malleja väylien kallioleikkauksien pysyvyyden ennustamiseen. Kanadalaisessa menetelmässä on keskitytty pääasiassa sortuman ennustamiseen vahinkojen näkökulmasta. Norjalaisessa systeemissä on keskitytty ennustamaan aikaa siihen hetkeen, kunnes sortuma tapahtuu sekä sortuman estäviin toimenpiteisiin. Useat maailmalla kehitetyt kallioseinämien pysyvyyden riskianalyysit ovat liittyneet alun perin luonnon kalliojyrkänteiden sortumisen ennustamiseen. [21]

Tarkastellut Ruotsin tai Norjan kallion vaurioluokitukset tai kallioleikkaustarkastusmenetelmät eivät suoraan sovellu käytettäväksi Suomessa väylien kallioleikkausten tarkastamiseen. Ruotsalainen Banverket:in kehittämä menetelmä on todettu sisältävän hieman liian useita parametreja ja yksinkertaisemman menetelmän on ajateltu olevan toimivampi. Menetelmän kehityksen taustalla on ollut tarkoitus tehdä taustatutkimusta kallioleikkauksista ja niiden tarkastamisesta, mikä selittää menetelmän monimutkaisuutta.

## 5.4 Kallioleikkausten kunnon arviointimenetelmät

### 5.4.1 Silmämääräinen arvioiminen

Silmämääräinen tarkastaminen on kallioleikkausten tarkastamisen pääasiallinen tapa. Kallioliuskan pysyvyyden arvioinnin pystyy tekemään kalliorakennesuunnittelija tai geologi usein helpolla pelkällä visuaalisella tarkastelulla, jonka pohjalta voidaan määritellä lisätutkimustarpeet. Visuaalisen havainnoinnin tueksi kallioleikkauksista otetaan yleensä ainakin valokuvia ja mittoja, mikäli kallioleikkauksesta ei ole entuudestaan rekisteröityjä mittatietoja. Tehdyt havainnot paikannetaan ja kirjataan riittäväällä tarkkuudella.

Kallioleikkauksen tarkastaminen ei yleensä vaadi erikoisia tarkastusvälineitä, mutta seuraavia apuvälineitä voidaan hyödyntää kallioleikkausten tarkastuksia tehdessä:

- mittapyörä
- rullamitta
- etäisyysmittari
- geologin vasara
- henkilönostin
- kamera
- kameran teleskooppivarsi
- turvalinjat.

#### 5.4.2 Lujitusrakenteiden kunnon arviointi

Lujitusrakenteiden, kuten lujituspulttien kunnon arviointi, perustuu pääasiassa silmämääräiseen kallioista ulkonevan osan arviointiin. Muodonmuutokset ja ruostuminen ovat silmämääräisesti havaittavissa. Mikäli juotetun lujituspultin reikä vuotaa vettä, on syytä epäillä pultin juotoksen tartunnan kuntoa. Pulttien ulkoisen osan korroosion etenemistä voidaan arvioida raaputtamalla. Lisäksi tulee arvioida lujituksen toimivuutta kokonaisuutena, koska vanhoissa kallioleikkauksissa esimerkiksi rakoilu ja rapautuminen ovat voineet lisätä kallioleikkauksen lujitustarvetta.

Kallioleikkausten verkkojen kunnon arvioinnissa huomioidaan verkon kiinnitys ja verkon ehjyys. Verkon sekä ankkureiden korroosio arvioidaan kuten lujituspulttien tapauksessakin. Lisäksi arvioidaan verkon toimivuutta käyttötarkoituksessaan, esimerkiksi onko verkon silmäkoko oikea.

Ruiskubetonidusta kallioinnasta havainnoidaan mahdollisia halkeiluja, vesivuotoja ja kosteaa pintaa. Ruiskubetonin tartunnan selvittämiseen koputuskoee on usein helppo tapa. Ongelmallista on yleensä ulottua korkeaan kallioleikkaukseen, jolloin muu kuin silmämääräinen tarkastaminen vaatisi paikalle nostolaitteistoa tai kiipeilyvälineitä.

#### 5.4.3 Laserkeilaus kallioleikkausten tarkastuksessa

Laserkeilauksen käyttö kallioleikkauseinämien tulkinnessa voi tulla kyseeseen oireilevien korkeiden ja vaikeasti havainnoitavien kallioleikkausten tapauksessa. Tällaisia ovat esimerkiksi sähköistettyjen rataosien korkeat kallioleikkaukset, joiden tutkiminen nostokalustonkin avulla on vaikeaa. Laserkeilausaineistoa on käytetty kallioleikkauksia ympäröivän maaston muotojen ja valuvien vesien hallinnan sekä kallioleikkauseinämien kuntoarvion lähtötiedoiksi. Kun laserkeilausaineisto yhdistetään valokuvaan, voidaan aineistosta digitoida kallioleikkauksen rakenteita, kuten halkeamia ja ruuhjavyöhykkeitä. Tästä voidaan tuottaa kolmiulotteinen pintamalli esim. AutoCAD-ympäristössä tarkasteltavaksi kalliorakennesuunnittelijan käyttöön. Mallista suunnittelija voi tehdä lohkaroitumistarkasteluja ja saada alustavan käsityksen vaadittavista korjaustarpeista. Riskikohteiksi luokitelluissa kallioleikkauksissa seinämät olisi mahdollista laserkeilata eri ajankohtina ja verrata tuotettuja pistepilviaineistoja keskenään. Näin pystyttäisiin havaitsemaan tapahtuneita siirtymiä hyvissä ajoin. [23]

## 6 Tarkastustoiminnan kehittäminen

### 6.1 Yleistä

Kallioleikkauksille ollaan kehittämässä tarkastusmenetelmää, joka soveltuu Liikenneviraston taitorakenteiden tarkastusohjeistukseen ja on vertailukelpoinen muiden taitorakenteiden tarkastusten kanssa. Tässä työssä kehitettiin kokeiltavaksi kaksi vaihtoehtoista kallioleikkausten tarkastusmenetelmää. Tarkastusmenetelmät perustuvat kallioleikkauseinämän pysyvyyden teoriaan, käytännön kokemukseen kallioleikkauseinämien arvioinnista sekä Ruotsin ja Norjan kallioleikkausten ja kalliorakenteiden tarkastuskäytäntöihin. Hahmoteltuja tarkastusmenetelmiä testattiin rata-, tie- ja kanavakallioleikkauksessa, jotka valikoitiin pilottikohteiksi ensisijaisesti niissä viime aikoina ilmenneiden oireilujensa perusteella.

### 6.2 Taitorakenteiden tarkastustoiminta

Liikenneviraston vuonna 2013 julkaisema Taitorakenteiden tarkastusohje [1] sisältää pääpiirteittäistä ohjeistusta taitorakenteiden tarkastamisesta. Taitorakenteiden määrittelyn täyttävät kallioleikkaukset kuuluvat tarkastustoiminnan piiriin, joka sisältää pääsääntöisesti seuraavat tarkastustyypit:

- Vastaanottotarkastus
- Vuositarkastus
- Yleistarkastus
- Erikoistarkastus

#### *Vastaanottotarkastus:*

Vastaanottotarkastus liittyy rakenteen käyttöönottoon rakentamisen jälkeen ja sen myötä kerätään rakenteen lähtötiedot. Vastaanottotarkastuksessa varmistetaan että kallioleikkaus on suunnitelma- ja/tai sopimusasiakirjoissa esitettyjen vaatimusten mukainen. [1]

#### *Vuositarkastus:*

Vuositarkastuksessa havainnoidaan kallioleikkauksen rakenneosien kunto ja vauriot saatetaan tilaajan tietoon. Vuositarkastuksessa huomiota kiinnitetään erityisesti liikenneturvallisuutta, liikenteen sujuvuutta tai rakenteen käyttöturvallisuutta haittaaviin tekijöihin. Kallioleikkausten tapauksessa tällaisia ovat esim. irtolohkareet, suojaaitojen kunto ja paannejään muodostuminen. Vuositarkastus suoritetaan vuosittain ja se tapahtuu silmämääräisesti. Pahat vauriot siirretään tarkastettavaksi yleistarkastuksessa tai tutkitaan erikoistarkastuksessa. [1]

#### *Yleistarkastus:*

Yleistarkastus on taitorakenteeksi määritellyn kallioleikkauksen ”päätarkastus”, joka tehdään 5–10 vuoden välein. Yleistarkastus on vuositarkastusta tarkempi, pääsääntöisesti silmämääräinen tarkastus, jonka tarkastusväliä voidaan tihentää, mikäli kallioleikkauksen kunto sitä joiltain osin edellyttää. Yleistarkastuksen yhteydessä kirjataan ylös kaikki havaitut vauriot sijaintitietoineen ja vaurioasteineen. Taitorakenteeksi määriteltujen kallioleikkausten yleistarkastuksessa kiinnitetään huomiota seuraaviin asioihin:

- Onko lujitusrakenteissa merkkejä rakenteellisista vaurioista, kuten ruisku-betonin halkeamista/tartunnan heikkenemisestä (koputuskoe) tai vettä vuotavista pulttinrei'istä
- Onko kallioleikkauksessa vettä vuotavia halkeamia
- Onko kallioleikkauksessa tai sen alareunassa irtonaisia kiviä/lohkareita
- Onko kallioleikkauksen pinnassa havaittavissa paikallisia muodonmuutoksia, halkeamia tai rapautumista
- Onko kallioleikkauksen yläpuolella suoja-aita ja onko se kunnossa [1]

*Erikoistarkastus:*

Erikoistarkastus tehdään yleensä, kun vuosi- tai yleistarkastuksen perusteella havaittuja vaurioita halutaan selvittää tarkemmin tai vaurioita on niin paljon, että peruskorjaus alkaa olla ajankohtainen. Erikoistarkastuksen tarkoituksena on saada tarkempaa tietoa kallioleikkauksen kunnosta korjaussuunnitteluun ja/tai muiden toimenpitepäätösten tueksi. [1]

## 6.3 Kehitetyt tarkastusmenetelmät

### 6.3.1 Tarkastusmenetelmä 1

Ensimmäinen tarkastusmenetelmä on samantyyppinen kuin Ruotsissa Banverketin kehittämä tarkastusmenetelmä. Menetelmässä on elementtejä kallioluokituksista ja määritettävien parametrien ominaisuudet ovat samoja. Verrattuna kallioluokitukseen tarkastusmenetelmästä jätettiin pois kivilajiin, raekokoon ja kiven mineraalirakenteeseen liittyvät tekijät. Arvioitavien tekijöiden tulisi olla sellaisia, jotka voidaan määrittää ilman erikoisia mittalaitteita, melkein pelkän visuaalisen tarkastelun perusteella. Lisäksi arvioitaviksi tekijöiksi valittiin tekijät, jotka oleellisesti vaikuttavat kallioleikkauksen pysyvyyteen ja toiminnallisuuteen. Tässä tarkastusmenetelmässä kallioleikkaus on tarkoitus arvioida kokonaisuutena, mutta mikäli jokin ominaisuus tai vaurio esiintyy paikallisesti, annetaan sen sijainti esim. paaluvälinä tai ratakilometrivälinä.

Menetelmässä arvioidaan kalliolaatua kivilaadun ja rakoilun avulla. Kallioluokituksista poiketen sekä kivilajin että rakojen suuntautuneisuutta arvioidaan suhteessa kallioleikkauksen linjaukseen. Tällä on tarkoituksena havaita erityisesti kallioleikkauksen suuntaan nähden epäedullisesti suuntautunutta kivilaata ja rakopintoja. Kalliolaadun arviointiperusteet on esitetty taulukossa 5. Kalliolaatua arvioidaan rapautuneisuuden, rakenteen, kiven suuntautuneisuuden, rakovälin, rakosuuntien määrän, raketäytteen ja rakoilun suuntautuneisuuden avulla.

Taulukko 5. Kalliolaadun arviointi tarkastusmenetelmässä 1.

kivilaatu	rapautuneisuus	rapautumaton
		vähän rapautunut
		runsaasti rapautunut
		täysin rapautunut
	rakenne	massarakenteinen
		liuskerakenteinen
		seosrakenteinen
		löyhärakenteinen
		raparakenteinen
		halkeamarakenteinen
		rakorakenteinen
		murrosrakenteinen
		ruhjerakenteinen
		savirakenteinen
	kiven suuntautuneisuus	kivilaji ei suuntautunut
		kivilaji suuntautunut, mutta suuntautuneisuus ei ole kallioleikkaukseen nähden epädullista
		kivilaji on suuntautunut epädullisesti leikkaukseen nähden
rakoilu	rakoväli	> 1 m
		0,3 - 1,0 m
		0,1 - 0,3 m
		< 0,1 m
	rakosuuntien määrä	kiinteä kallio, jossa vain muutamia rakoja
		yksi rakosuunta
		yksi rakosuunta ja satunnaisia rakoja
		kaksi rakosuuntaa
		kaksi rakosuuntaa ja satunnaisia rakoja
		kolme rakosuuntaa
		kolme rakosuuntaa ja satunnaisia rakoja
		neljä tai useampia rakosuuntia
		kallio murskautunutta
	rakotäyte	tiivis rako
		avoin rako
		täytteinen rako

	rakojen suunta	rakosuunnat eivät ole epäedullisesti suuntauneita kallioleikkaus seinämän pysyvyyden kannalta
		yksi rakosuunta epäedullinen kallioseinämän pysyvyyden kannalta
		useampi rakosuunta epäedullinen kallioseinämän pysyvyyden kannalta

Tarkastusmenetelmän lujitusrakenteiden kunnan arviointiin sovelletaan samoja arviointiperusteita kuin Liikenneviraston julkaisussa 32/2014 ”Tunneleiden ja kallioleikkausten rakenteiden tarkastustoiminnan kehittäminen” [24] on esitetty. Yleisimpiä kallioleikkausten lujitusrakenteita ovat esim. pultitus, ruiskubetonointi, verkotus, injektointi ja valubetoniset tukirakenteet. Kallioleikkauksesta arvioidaan lujituksen riittävyyttä taulukossa 6 esitetyllä tavalla.

*Taulukko 6. Kallioleikkauksen lujituksen riittävyys ja näkyvien liikuntojen määrä.*

lujitusrakenteiden riittävyys ja näkyvien liikuntojen määrä	kalliossa luonnolliset halkeamat ja porareivät suurilta osin näkyvissä
	louhinnan vaurioita halkeamien risteyksissä, kallio rosoista
	avoimia rakoja, epästabiileja lohkoja vahvistettu
	avoimia rakoja, satunnaisia pieniä tai keskikokoisia irtonaisia lohkeita halkeamien risteyksissä
	yleisesti avoimia rakoja pieniä ja keskisuuria lohkoja laajalti irti tai yksittäinen keskikokoinen tai suuri irtonainen lohko.
	avoimia rakoja isoja lohkoja tai kivirykelmiä epästabiilina

Kallioleikkaukseen ympäristön aiheuttamia riskitekijöitä arvioidaan kasvillisuuden ja vesivuotojen osalta taulukon 7 mukaisesti. Vesivuodoista aiheutuvat paannejäät saattavat olla merkittäväkin haitta, jota ei sulaan aikaan pysty arvioimaan. Paannejäitä on yleensä arvioitu niiden aiheuttaman kunnossapitomäärän ja liikenneturvallisuusrisikin avulla.

Taulukko 7. Ympäristön aiheuttamat riskitekijät.

kasvillisuus	ei kasvillisuutta leikkauksessa tai sen päällä
	vähäistä kasvillisuutta leikkauksessa tai sen päällä
	vähäistä kasvillisuutta leikkauksessa mutta päällä kasvillisuus tiheämpää
	tiheää kasvillisuutta leikkauksessa ja sen päällä
	tiheää kasvillisuutta ja puita leikkauksessa ja sen päällä
	puita kasvaa kallion halkeamista irroittaen kallionlohkoja
vesivuodot (paannejää)	ei vuotoja
	harvoja kohtia, jossa vettä tippuu tai valuu leikkauksen päältä alas
	joitakin kastuneita osia leikkauksessa
	kosteutta/juoksevaa vettä esiintyy yleisesti leikkauksessa
	kosteutta/juoksevaa vettä esiintyy yleisesti leikkauksessa aiheuttaen epästabiileja kallionlohkoja

Kallioleikkausten vaurioiden aiheuttamaa haittaa ja riskiä väylän liikenneturvallisuuden ja toiminnallisuuden näkökulmasta arvioidaan erikseen neliportaisella asteikolla (taulukko 8). Syynä tähän oli tarkastusmenetelmän soveltaminen eri väylätyypeille ja kallioleikkauksien etäisyyksien vaihtelu tapauskohtaisesti. Nämä vaikuttavat oleellisesti kallioleikkauksen mahdollisen vaurion väylälle aiheuttamaan riskiin.

Taulukko 8. Vaurion haitallisuuden ja riskin arviointi.

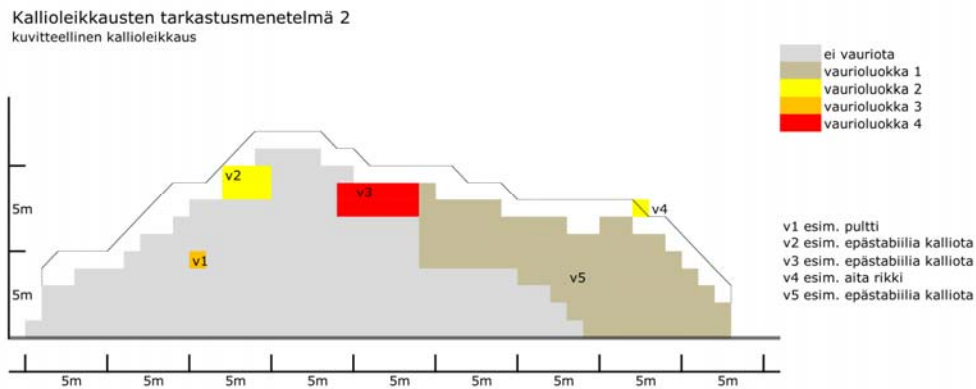
1.	vauriosta ei ole haittaa väylän toiminnallisuuden tai liikenneturvallisuuden kannalta
2.	vauriosta lievää haittaa hieman lisääntyvää kunnossapitotarvetta tai väylän toiminnallisuuden heikkenemistä ajan myötä
3.	vauriosta merkittävää haittaa aiheuttaa selkeästi lisääntyntä kunnossapitotarvetta tai väylän toiminnan heikkenemistä
4.	vaarantaa liikenneturvallisuuden

Kallioleikkauksiin liittyvien rakenteiden kuten esimerkiksi suoja-aitojen tai yläpuolisten tukimuurien arviointiin sovelletaan muiden taitorakenteiden tarkastuskäsikirjoista löytyviä vaurioluokituksia.

### 6.3.2 Tarkastusmenetelmä 2

Toisessa tarkastusmenetelmässä kallioleikkauksesta pyritään löytämään eriasteisia vaurioita ja arvioimaan vaurioiden riskiä ja haitallisuutta. Tässä tarkastusmenetelmässä kallioleikkauksesta ei arvioida kallion laatuun liittyviä tekijöitä, kuten kallio-laatuluokituksissa. Tarkastusmenetelmä 2 on lähempänä esim. siltojen tarkastusten vaurioiden hakua, kuin kallioluokituksia. Kallioleikkaus tarkastetaan viiden päätekijän osalta, joita ovat kalliomassan vauriot, lujitusrakenteiden vauriot, kasvillisuus, vesivuodot/paannejää ja liittyvät rakenteet. Edellä mainituista jokaiseen tekijään on vau-

rioluokat 1–4 ja lisäksi 0-luokka, jonka tehtävänä on lähinnä kuvata vauriotonta tilannetta tai sillä voidaan ilmaista inventoinnissa esimerkiksi lujitusrakenteiden olemassaolo. Jokaiseen vaurioon liitetään arviointi vaurion aiheuttamasta riskistä tai haitasta kyseessä olevassa kallioleikkauksessa. Riskin suuruutta arvioidaan myös asteikolla 1–4 samoin perustein kuin tarkastusmenetelmässä 1 taulukossa 8. Vauriokuvauksille ilmoitetaan sijainti esimerkiksi paalu/kilometrivalinä tai vauriolle arvioitu pinta-ala. Sopiva tapa riippuu vauriotyypistä. Vaurioiden määrästä, vaurioluokasta ja riskistä voidaan laskea kallioleikkaukselle sen kuntoa kuvaava lukuarvo kallioleikkauksen kokoon suhteutettuna. Kuvassa 20 on esitetty vaurioiden kirjausperiaatetta kuvitteelliselle kallioleikkaukselle. Vaurioluokat on kuvattu eri värein ja esimerkkivauriot on nimetty v1...v5.



Kuva 20 Kuvitteellisen kallioleikkauksen vaurioita.

Kalliomassaan liittyviä vaurioita kuvataan neljällä vaurioluokalla 1–4 taulukon 9 mukaisesti. Näihin liitetään arvio vaurion aiheuttamasta riskistä tai haitasta. Veden ja kasvillisuuden kallioleikkaukseen aiheuttamia vaurioita arvioidaan taulukoiden 10 ja 11 mukaisesti. Kasvillisuutta kallioleikkauksessa voi kertyä leikkauksen päälle, seinämiin sekä mahdolliseen leikkauksen ja väylän väliseen ojaan. Kaikissa tapauksissa kasvillisuus aiheuttaa haittaa, joko leikkaukseseinämän pysyvyydelle tai ojan pusikoituessa kuivatuksen toiminnalle. Kallioleikkauksen päältä valuu vesiä usein tapauksessa, jossa maasto nousee leikkauksen päällä. Kallioleikkaukseseinämän vuodot tulevat kalliosta halkeamia pitkin.



Taulukko 9. Kalliomassan vaurioluokitus

vaurio luokka	vaurion sijainti/ ala/vaikutusala	kuvaus	riski/haitta/ korjauksen kii- reellisyys
0	kunnossa	Kalliopinta ehyttä, rapautumatonta Kalliossa on käytännössä aina rakoja ja leikkaus voi olla vaurioton vaikka siinä onkin rakoja. Ei epästabiileja lohkoja tai kiviä. Porareian puolikkaat yleensä näkyvissä.	0. ei riskiä /vauriota
1	m2 (pituusväli ja korkeusväli) tai pituusväli	Kalliopinnassa vähäistä rakoilua ja rapautumista. Leikkaus on asianmukai- sesti vahvistettu. Seinämässä voi olla halkeamien rajaamia lohkoja, mutta ne ovat stabiileja halkeamien edullisesta suuntauksesta johtuen. Pieniä kiviä (<0,1m) mahdollisesti epästabiilina	vaurion riski /haitallisuus 1-4
2	m2 (pituusväli ja korkeusväli) tai pituusväli	Kalliopinnassa on rakoilua, joka kuitenkin pääosin tiivistä. Pinnassa irtoilevia pieniä kiviä, mutta pääosin leikkaus on asianmukaisesti vahvistettu. Seinämässä voi olla halkeamien rajaamia lohkoja, mutta ne ovat stabiileja halkea- mien edullisesta suuntauksesta johtuen. Pieniä lohkoja (<0,3m) mahdollisesti epästabiilina.	
3	m2 (pituusväli ja korkeusväli) tai pituusväli	Kalliopinnassa avonaista rakoilua tai rikkonaisuutta. Irtonaisia kiviä ja lohkoja (0,1...0,3m) ja/tai mahdollisesti yksittäi- siä epästabiileja keskikokoisia lohkoja (<1,0m) ja/tai suurilla alueilla irtonaisia pieniä kiviä.	
4	m2 (pituusväli ja korkeusväli) tai pituusväli	Kalliopinnassa voimakasta avonaista/ täytteistä rakoilua ja pitkälle edennyttä rapautumista. Useita keskikokoisia irto- naisia lohkoja ja/tai suurempia (>1,0m) lohkoja ja/tai suurempia kallioalueita epästabiilina	

Taulukko 10. Kallioleikkauksen kasvillisuuden vaurioluokitus.

vaurio luokka	vaurion sijainti /ala/vaikutusala	kuvaus	riski/haitta/ korjauksen kiireellisyys
0	kunnossa	Ei kasvillisuutta leikkauksessa tai sen päällä	0. ei riskiä /vauriota
1	leikkauksen päällä/ seinämässä /leikkauksen alla	Vähäistä kasvillisuutta leikkauksessa tai sen päällä	vaurion riski /haitallisuus 1–4
2	leikkauksen päällä/ seinämässä /leikkauksen alla	Vähäistä kasvillisuutta leikkauksessa mutta päällä kasvillisuus tiheämpää	
3	leikkauksen päällä/ seinämässä /leikkauksen alla	Tiheää kasvillisuutta leikkauksessa ja sen päällä	
4	leikkauksen päällä/ seinämässä /leikkauksen alla	Tiheää kasvillisuutta ja puita leikkauksessa ja sen päällä. Puita kasvaa kallion halkeamista irroittaen kalliolohkoja	

Taulukko 11. Kallioleikkauksen vesivuotojen vaurioluokitus.

vaurio luokka	vaurion sijainti /ala/vaikutusala	kuvaus	riski/haitta/ korjauksen kiireellisyys
0	kunnossa		0. ei riskiä /vauriota
1	vettä valuu leikkauksen päältä /seinämästä	Harvoja kohtia, joista vettä tippuu tai valuu leikkauksen päältä alas	vaurion riski/haitallisuus 1–4
2	vettä valuu leikkauksen päältä /seinämästä	Joitakin kastuneita alueita leikkauksessa	
3	vettä valuu leikkauksen päältä /seinämästä	Kosteutta/juoksevaa vettä esiintyy yleisesti leikkauksessa	
4	vettä valuu leikkauksen päältä /seinämästä	Kosteutta/juoksevaa vettä esiintyy yleisesti leikkauksessa aiheuttaen epästabiileja kalliolohkoja	

Tarkastusmenetelmän 2 lujitusrakenteiden kunnan arviointiin sovelletaan samoja arviointiperusteita, kuin Liikenneviraston julkaisussa 32/2014 ”Tunneleiden ja kallioleikkausten rakenteiden tarkastustoiminnan kehittäminen” on esitetty [24]. Lujitusrakenteiden vauriomäärän ja sijainnin arviointi vaihtelee lujitusrakenteen ja tapauksen mukaan.

Kallioleikkauksiin liittyvien rakenteiden kuten suoja-aitojen tai yläpuolisten tukimuurien arviointiin sovelletaan tässäkin tarkastusmenetelmässä muiden taitorakenteiden tarkastuskäsikirjoista löytyviä vaurioluokituksia.

## 6.4 Kallioleikkausten ominaisuustiedot

Tarkastustoimintaa varten kallioleikkauksista tulisi kerätä niiden ominaisuustiedot, jotka sisällytettäisiin tulevaisuudessa taitorakennerekisteriin. Perustuen rautateiden kallioleikkausrekisteriin, ruotsalaiseen kallioleikkausten tarkastusohjeistukseen sekä Liikenneviraston julkaisuun 32/2014 ”Tunneleiden ja kallioleikkausten rakenteiden tarkastustoiminnan kehittäminen” voidaan kallioleikkauksista esittää rekisteröitäväksi ainakin seuraavanlaisia tietoja.

Yleis- ja sijaintitiedot:

- väylätyyppi
- sijainti väylän tunnus, tie/ratanumero
- kallioleikkauksen puoli väylään nähden
- kallioleikkauksen alku- ja loppupaalu tai ratakilometriviäli
- kallioleikkauksen yksilöivä tunnus
- kallioleikkausryhmän tunnus
- hallinnolliset tiedot kuten sijaintikunta, kunnossapitäjä ja kunnossapitoalue

Mittatiedot:

- pituus
- etäisyys väylästä
- suurin korkeus
- leikkausseinämän kaltevuus
- leikkausseinämän muoto (esimerkiksi porrastettu leikkaus)
- mahdollisesti lisätietoja kallioleikkauksesta

Muut tiedot:

- tiedot kallioleikkauksen lujitukseen käytetyistä rakenteista
- tiedot kallioleikkaukseen liittyvistä rakenteista kuten kuivatusrakenteista, pu-toamissuojaurakenteista, kaiteista ja varusteista
- viittaukset kallioleikkaukseen liittyviin arkistoituihin piirustuksiin.

Kunto/tarkastustiedot:

- tarkastustyyppi
- tarkastuspäivämäärä
- tarkastuksen suorittaja
- rakenneosavauriotyyppi
- vaurion sijainti/laajuus
- vaurioaste
- vaurion riski/korjauksen kiireellisyys
- vaurioiden lisätiedot
- toimenpide-ehdotukset
- tieto suoritetuista korjauksista

Lisäksi on tarpeellista liittää tietoihin valokuvia ja kommentteja, joita voivat olla esimerkiksi kunnossapidolta tulleet tiedot paannejään muodostumisesta tai pudonneista kivistä.

## 7 Kallioleikkausten pilottitarkastukset

### 7.1 Yleistä

Työhön liittyen tehtiin kallioleikkausten pilottitarkastuksia kolmessa kohteessa. Tarkastettavat kohteet valittiin siten, että mukana oli yksi ratakallioleikkaus, yksi tiekallioleikkaus sekä yksi kanavakallioleikkaus. Kallioleikkaukset valikoituivat tarkastuskohteiksi kunnossapitäjille, rataisännöitsijöille, Ely-keskuksille ja Liikennevirastolle suunnattujen kyselyjen perusteella. Pilottitarkastuksiin haluttiin kallioleikkauksia, joissa on viime aikoina havaittu jonkinlaisia ongelmia. Tarkastettavien kallioleikkausten haluttiin myös edustavan eri väylämuotoja, jotta väyläkohtaisista ominaispiirteistä voitiin saada parempi käsitys. Pilottikohteeksi vesiväylien kallioleikkauksia edustamaan valittiin Paatelan sulku, koska suoraan veteen rajoittuvia kallioleikkauksia olisi ollut tämän työn puitteissa haastavaa tarkastaa. Aikataulusyistä myös muut tarkastettavat kallioleikkaukset valikoitiin maantieteellisesti sopivan läheltä Paatelan sulku.

### 7.2 Ratakallioleikkaus

Tarkastuskohteeksi valikoitunut ratakallioleikkaus sijaitsee Tampere–Jyväskylä rataosuudella, liikennepaikkavälillä Orivesi–Torkkeli. Kunnossapitäjältä saatujen tietojen mukaan vasemmalla puolella kilometrillä 237+460 on ollut rusnauksen tarvetta ja epäiltyjä stabiliteettiongelmia kallioleikkauksessa. Vaikka rataverkon kallioleikkausten pitäisi olla käytännössä rekisteröity kallioleikkaukserekisteriin, ei tästä kyseisestä kallioleikkauksesta tai lähellä sijaitsevista kallioleikkauksista ollut tietoa kallioleikkaukserekisteriin tallennettuna.

Kallioleikkaus alkoi radan vasemmalla puolella ratajohtopylvään 237-7 kohdalla eli km 237+428. Pilottitarkastus suoritettiin yhden ratajohtopylväsvälin matkalle, joka oli noin 60 metriä kilometrivälillä 237+428–237+488. Kallioleikkaukseen maalattiin merkkusmaalilla metrilukemat viiden metrin välein. Mittaamisen apuna käytettiin mittapyörää, jolla mitta otettiin kiskoä pitkin. Kallioleikkauksen etäisyys radan keskilinjasta mitattiin etäisyysmittarilla, jokaisen maalatun viiden metrin välein olevan merkin kohdalta. Kallioleikkauksen etäisyys radan keskilinjasta oli keskimäärin n. 6 metriä. Kuvassa 21 on yleiskuva kallioleikkauksesta, jossa etualalla ratajohtopylväsväli, jolle tarkastus tehtiin.



*Kuva 21. Yleiskuva kallioleikkauksesta km 237+428 kasvavan kilometrin suuntaan.*

Kallioleikkaukseseinämä valokuvattiin järjestelmällisesti siten, että kuvissa näkyy kallioleikkaukseen merkityt metrilukemat, kisko/pölkyn päät ja mahdollisesti päällä olevat rakenteet. Havaituista vauriosta ja puutteista otettiin lisää valokuvia tarpeen mukaan. Kallioleikkauksen korkeutta on maastossa usein haastavaa mitata, joten se joudutaan yleensä arvioimaan. Tämä onnistuu esim. valokuvista, joissa vaakasuuntaiset maalimerkinnot toimivat ns. mittakaavana. Vieläkin haastavampaa on arvioida kallioleikkauksen korkeutta suhteessa radan korkeusviivaan nähden. Tarkastusvälillä kallioleikkaukseseinämä oli korkeimmillaan noin 6–7 metriä leikkauksen alareunasta arviotuna. Taitorakenteen määritelmän mukaan 6 metrin etäisyydellä radan keskilinjasta sijaitsevan kallioleikkauksen tulisi olla vähintään hieman alle 5 metrin korkuinen olakseen taitorakenne. Kallioleikkaukseen liittyvänä rakenteena huomioitiin päällä oleva suoja-aita. Lujitusrakenteita kallioleikkauksessa ei tarkastetulla välillä havaittu. Tarkastuksessa täytetyt lomakkeen ovat liitteenä 2.

### **7.2.1 Havainnot tarkastusmenetelmään 1 perustuen**

Ensimmäisen tarkastusmenetelmän perusteella kallioleikkauksen arvioitiin olevan rapautumisasteeltaan vähän rapautunutta, rakorakenteista ja kivilajin ei havaittu olevan suuntautunutta. Kallioleikkauksen keskimääräisen rakovälin arvioitiin olevan 0,3...1,0 metrin luokassa ja rakoilun olevan pääosin tiivistä. Kallioleikkauksessa on havaittavissa kolme rakosuuntaa ja lisäksi satunnaisia rakoja. Kallioleikkauksen pystyraot leikkaavat vinosti kallioleikkauksen teoreettisen louhinnan suunnan. Tästä johtuen leikkauspinnassa oli vain vähän porareikiä näkyvissä. Suurimmaksi osaksi kallio oli irronnut kalliooperän luonnollista pystyrakopintaa myöden todennäköisesti joko louhinnan yhteydessä tai sen jälkeisessä rusnauksessa. Leikkaukseseinämä on tästä syystä epätasainen.

Tarkastusvälillä ei ollut lujitusrakenteita, mutta lujituksen riittävyttä ja näkyvien liikuntojen tai irtonaisten kivien ja lohcareiden arvioinnin perusteella kallioleikkauksessa on alueita kahdessa eri luokassa. Kallioleikkaus metrivälillä 0...30 ja 35...60 arvioitiin toisen luokan mukaiseksi, koska leikkauksipinnassa on vaurioita halkeamapintojen risteyksissä. Kuva 22 esittää kallioleikkauksesta metriväliltä 20...30.



*Kuva 22. Kallioleikkaus välillä 20...30 metriä.*

Metrivälillä 30...35 leikkauksessa arvioitiin olevan yleisesti avoimia rakoja ja keskisuuria lohkoja irtonaisena arviointimenetelmän neljännen luokan mukaisesti. Kuva 23 esittää kallioleikkauksesta metriväliltä 30...40, jossa näkyy vakavampaan vaurioluokkaan arvioitua kallioleikkausta noin välillä 30...35.



*Kuva 23. Kallioleikkaus välillä 30...40 metriä.*

Kallioleikkauksen kasvillisuus arvioitiin tiheäksi etenkin leikkauksen päällä, missä metsän pohjikasvillisuus ulottui aivan leikkauksen reunalle saakka. Leikkauksen päällä kasvoi heinikkoa ja pensaita, joiden lisäksi siellä oli osittain maatuneita kaadettuja puunrunkoja. Leikkauseinämästä kasvoi yleisesti vesakkoa ja pieniä puita. Kallioleikkauksessa ei havaittu vesivuotoja. Tarkastetulla alueella kallioleikkauksen päällä ollut maasto vietti valumavesiä leikkauksesta ja radasta poispäin. Kuvassa 24 näkyy kasvillisuutta ja suoja-aitaa leikkauksen päällä.



*Kuva 24. Kallioleikkauksen suoja-aita ja kasvillisuutta leikkauksen päällä.*

Kallioleikkaukseen liittyvänä rakenteena tarkastettiin leikkauksen päällä oleva suoja-aita, joka koostui metallisista aitapylväistä ja niiden kautta kulkevista rautalangoista. Vaikka aita itsessään on ehjä, ei aitatyypin ole enää nykyvaatimusten mukainen. Aidan lomitse kasvoi jo korkeatakin kasvillisuutta.

Vaurioiden riskiä ja haitallisuutta arvioitiin metrivälillä 30...35 olevan mahdollisesti epästabiiilin kallion osalta. Sen arvioitiin riskiltään aiheuttavan luokan 2 mukaan lievää haittaa. Perusteluna tälle pidettiin kallioleikkaukseseinämän riittävää etäisyyttä radasta. Mahdollisen sortumankin tapahtuessa irronneet kivet ja lohkat eivät päätyisi radalle tai aukean tilan ulottuman sisään, vaan jäisivät leikkausojaan ja aiheuttaisivat tällöin hetkellisesti lisääntyneitä kunnossapitotarvetta.

### 7.2.2 Havainnot tarkastusmenetelmään 2 perustuen

Tarkastusmenetelmän 2 mukaisesti tarkastettuna kallioleikkauksesta löytyi kalliomassaan ja kasvillisuuteen liittyviä vaurioita. Vaurioiden laajuus päädyttiin ilmoittamaan leikkaukseseinämän metrivälillä. Lujitusrakenteita tai vesivuotoja kallioleikkauksessa ei ollut ja suoja-aita oli ehjä.

Kalliomassaan liittyvä vaurio havainnoitiin metrivälillä 30...35 (kuva 23.) ja se arvioitiin vaurioluokkaan kolme. Vaurion aiheuttaman riskin todettiin olevan luokan 2 mukainen samoin perusteiden kuin tarkastusmenetelmässä 1 on arvioitu. Rakoilustaan huolimatta kallioleikkauksen kalliomassan arvioitiin muilta osin edustavan vaurioluokkaa 0, koska siinä ei havaittu epästabiiileja kiviä tai lohkatteita.

Kasvillisuuden vaurioluokaksi arvioitiin 2, koska kasvillisuus oli tiheää leikkauksen päällä ja leikkaukseseinämässä vähäisempää. Kasvillisuuden ei arvioitu aiheuttavan nykyisellään riskiä tai haittaa väylän toiminnalle, joten riskiluokaksi arvioitiin 1. Kasvillisuus arvioitiin koko tarkastettua leikkauspituutta koskien metrivälillä 0...60.

## 7.3 Tiekallioleikkaus

Tarkastettu tiekallioleikkaus sijaitsee valtatiellä 9 juuri ennen Oriveden liittämärampin Tampereen suunnasta tullessa. Tien kunnossapitäjälle suunnattujen kyselyjen perusteella tarkastettu kallioleikkaus nousi esille viimeaikaisten oireilujensa takia. Kallioleikkauksessa oli jo tapahtunut sortumia molemmin puolin väylää. Sortumia ei kuitenkaan ollut tarkastetulla välillä. Tarkastettu kallioleikkaus sijaitsi valtatie 9 pohjoispuolella ulkokaarteessa tien geometriaan nähden. Kallioleikkauksen kohdalla oli ohituskaista Tampereen suuntaan mentäessä. Tien poikkileikkauksessa ulkokaarten kallioleikkaus oli selvästi kauempana tiestä kuin sisäkaarten puoleinen leikkaukseseinä. Tien paalulukemia tai paalutuksen kasvusuuntaa ei ollut tiedossa tarkastusta tehtäessä. Kallioleikkaukseen maalattiin merkkauksella metrilukemat kymmenen metrin välein 0–210. Mittaamisen apuna käytettiin mittapyörää, jolla mitattiin tien piennarta pitkin. Kallioleikkauksen etäisyys tien päällysteen reunasta mitattiin etäisyysmittarilla, jokaisen maalatun kymmenen metrin välein olevan merkin kohdalta. Kallioleikkauksen etäisyys päällysteen reunasta oli keskimäärin hieman yli 10 metriä. Kuvassa 25 on yleiskuva kallioleikkauksesta, jossa etualalla oikealla osuus, josta alkaen tarkastus suoritettiin.





*Kuva 25. Yleiskuva kallioleikkauspaikasta valtatiellä 9. Tarkastettu osuus on kuvassa oikealla.*

Kallioleikkausseinämä valokuvattiin järjestelmällisesti siten, että kuvissa näkyy kallioleikkauksen merkityt metrilukemat, päällysteen reunaa ja mahdollisesti päällä olevat rakenteet. Kallioleikkauksen korkeutta arvioitiin kohteesta otetuista valokuvista, joissa vaakasuuntaiset maalimerkinnot toimivat ns. mittakaavana. Kallioleikkauksen korkeutta suhteessa tien tasausviivaan nähden oli vaikea arvioida tässäkin kohteessa. Tarkastusvälillä kallioleikkausseinämä oli korkeimmillaan yli 10 metriä leikkauksen alareunasta arvioituna. Taitorakenteen määritelmän mukaan 10 metrin etäisyydellä tien päällysteen reunasta sijaitsevan kallioleikkauksen tulisi olla vähintään 10 metriä korkuinen ollakseen taitorakenne. Kallioleikkaukseen liittyvänä rakenteena huomioitiin päällä oleva suoja-aita. Tieosuudella oli myös riista-aita, jotka kallioleikkauksen kohdalla yhdessä kallioleikkauksen suoja-aidan kanssa, muodostivat yhtenevän aidan. Tarkastetulla välillä ei kallioleikkauksessa havaittu lujitusrakenteita. Tarkastuksessa täytetyt lomakkeen ovat liitteenä 3.

### **7.3.1 Havainnot tarkastusmenetelmään 1 perustuen**

Ensimmäisen tarkastusmenetelmän perusteella kallioleikkauksen arvioitiin olevan rapautumisasteeltaan vähän rapautunutta, rakorakenteista ja kivilajin ei havaittu olevan suuntautunutta. Kallioleikkauksessa keskimääräinen rakoväli oli pääosin yli 1,0 metriä, mutta paikoin oli alueita joilla rakoväli oli tiheämpi, 0,3...1,0 metriä. Päärakosuuntia havainnointiin kolme, joiden lisäksi oli satunnaista rakoilua. Raot olivat pääasiassa tiiviitä. Paikoin kallioleikkauksessa oli rakopintoja, jotka kaatoivat leikkausseinämään päin.

Lujitusten riittävyttä ja liikuntoja arvioitaessa leikkauksessa havaittiin keskisuuria ja suuria lohkoja mahdollisesti epästabiilina leikkauksen päällä kolmessa kohdassa, n. 108, 115...120 ja 140...145 metriä ja hieman vähäisempänä noin kohdassa 158 metriä. Kuvassa 26 on kallioleikkauseinämää, jossa epästabiiliksi arvioituja kallion lohkoja on noin metrivelillä 140...145.



Kuva 26. Kallioleikkaus metrivelillä 140...160.

Leikkauksen päällä ja leikkauseinämässä kasvillisuus oli vähäistä, mutta leikkauksen alla ojassa kasvoi puita. Vesivuotoja kallioleikkauksessa havaittiin muutamassa kohdassa. Vettä valui leikkauksen päältä ja leikkauseinämän halkeamista. Kallioleikkaukseen liittyvänä rakenteena on suoja-aita ja riista-aita, jotka olivat kunnossa tarkastetulla välillä.

Vaurioiden aiheuttamaa haittaa ja riskiä arvioitiin epästabiiliksi arvioitujen kallioalueiden osalta. Niiden ei arvioitu aiheuttavan riskiä tai haittaa liikenneturvallisuuden tai väylän toiminnallisuuden kannalta. Vaikka epästabiiliksi arvioidut alueet olivat korkealla ja mukana oli suuriakin lohkoja, eivät ne sortuessaan päätyisi lähellekään tietä, koska kallioleikkaus sijaitsee niin kaukana tiestä ja luiska viettää tiestä pois päin.

### 7.3.2 Havainnot tarkastusmenetelmään 2 perustuen

Tarkastusmenetelmän 2 mukaisesti tarkastettuna kallioleikkauksesta löytyi vaurioita liittyen kalliomassaan, kasvillisuuteen ja vesivuotoihin. Vaurioiden laajuus päädyttiin ilmoittamaan leikkauseinämän metrivelinä kalliomassaan liittyvien vaurioiden osalta. Kasvillisuuden ja vesivuotojen osalta päädyttiin ilmoittamaan vaurio koko tarkastettua kallioleikkauksen pituutta koskien. Lujitusrakenteita kallioleikkauksessa ei ollut ja suoja-aita ja alueen riista-aita olivat ehjiä.

Kalliomassaan liittyviä vaurioita, jotka arvioitiin vaurioluokkaan neljä kuuluviksi, on metriväleillä 108...110, 115...120 ja 140...145. Lisäksi metrivälillä 158...160 on vaurioluokkaan kolme tulkittua kalliota. Alueet näkyvät kuvissa 26 ja 27. Vaurioiden aiheuttaman riskin arvioitiin olevan luokan 1 mukainen samoin perustein, kuin tarkastusmenetelmässä 1.



Kuva 27. Kallioleikkaus metrivälillä 100...120.

Kallioleikkauksessa esiintyvä kasvillisuus arvioitiin vaurioluokan 1 mukaan vähäiseksi lisähuomautuksella leikkauksen alapuolella kasvavista puista. Kasvillisuuden ei arvioitu aiheuttavan riskiä väylälle tai sen käyttäjille, joten riskiluokaksi arvioitiin 1.

Vesivuodot arvioitiin vaurioluokkaan 1 kuuluviksi, koska leikkauksessa esiintyi vain harvoja kastuneita kohtia. Näiden aiheuttama riski arvioitiin luokan 1 suuruiseksi.

## 7.4 Kanavakallioleikkaus

Vesiväylien pilottikohteeksi valikoitui Paatelan sulun kallioleikkaus Keiteleen kanavalta Äänekoskelta. Kanava on rakennettu vuosina 1990–1994 ja Paatelan sulku sijaitsee toistakymmentä metriä korkeiden kallioleikkausten välissä. Liikennevirastolta saatujen tietojen mukaan Paatelan sulun kallioleikkauksissa on esiintynyt tarvetta rusnauksille muutaman vuoden välein [20]. Paatelan sululta kallioleikkauksesta tarkastettiin osa etelänpuoleista leikkausta, joka alkoi korkeamman vedenpinnan puoleisesta päästä sulkua. Kallioleikkausta tarkastettiin 50 metrin matkalta.

Kanavakallioleikkaukselle ei ollut tiedossa samanlaista paalulukemaa tai kilometrilukemaa kuten tie- ja rataväylille. Tarkastettu kallioleikkaus sijaitsi kanavan vasemmalta puolella veden luontaiseen virtaussuuntaan nähden. Tarkastettava kallioleikkaus mitattiin mittapyörää apuna käyttäen ja maalimerkit piirrettiin tässä tapauksessa kymmenen metrin välein maahan. Paikalla liikkuu kesäaikaan todennäköisesti paljon ihmisiä, eikä kallioleikkaukseen esteettisistä syistä maalattu merkkejä. Kallio-

leikkausseinämän etäisyyttä sulusta ei mitattu. Leikkausseinämän ja sulun välissä oli ilmeisesti ainakin kevyenliikenteen käyttöön soveltuva alue. Vaikkei kallioleikkaus rajoittunutkaan suoraan veteen, on se liikenneviraston hallinnoima hyvin todennäköisesti taitorakenteeksi tulkittava kallioleikkaus. Kuvassa 28 on yleiskuva Paatelan sulkualueesta.



Kuva 28. Paatelan sulku. [25]

Kallioleikkaus valokuvattiin järjestelmällisesti tarkastetulta matkalta siten, että maamerkinnot ja päällä olevat rakenteet näkyivät kuvista. Kallioleikkauksessa havaittiin tarkastusvälillä ainakin yksi kallioleikkauksen päältä kallioon porattu harjaterästanko, jonka ilmeisenä tarkoituksena on lujittaa leikkausta. Kallioleikkauksen päälle on rakennettu betoninen muuri ilmeisesti kallioleikkauksen takana nousevan rinteiden valumavesiä ohjaamaan. Betonimuurin takana olivat paikkoja, joissa vesi seisoivat ja lätäköitä oli myös kalliopinnalla. Betonimuurin julkisivu oli verhoiltu yhteen muuratuista kivistä, joita oli muurattu myös leikkauspinnan kookkaan halkeaman täytteeksi. Betonimuurin päällä sijaitsi noin puolen metrin korkuinen suoja-aita. Kuvassa 29 on tarkastettua kallioleikkauksosuutta Paatelan sululla. Tarkastuksessa täytetyt lomakkeen ovat liitteenä 3.



Kuva 29. Tarkastettua kallioleikkausta Paatelan sululla.

#### 7.4.1 Havainnot tarkastusmenetelmään 1 perustuen

Ensimmäisen tarkastusmenetelmän perusteella kallioleikkauksen kallion arvioitiin olevan rapautumatonta, halkeamarakenteista ja kivilaji ei ollut suuntautunutta. Kallion kahden päärakosuunnan keskimääräinen rakoväli on yli 1,0 metriä ja raot olivat pääosin tiiviitä. Raot eivät olleet pääosin epäedullisesti suuntautuneita leikkaukseen nähden. Metrivälillä 10...20 oli kuitenkin pystyrako, jonka suuntaa poikkesi vain hieman leikkausseinämän suunnasta. Tähän muodostunut terävä kiilamainen lohkarie oli kuitenkin jo irronnut tai poistettu leikkausseinämästä.

Kallion lujitukseen käytetty harjaterästanko oli pinnaltaan ruosteessa ja se ulottui noin 30 cm kalliopinnasta. Tanko sijaitsi kuitenkin suoja-aitojen ja muurin rajaamalla alueella, joten ulkonemasta ei arvioitu aiheutuvan haittaa. Lujitusrakenteena se arvioitiin vaurioluokkaan 1 kuuluvaksi Liikenneviraston julkaisussa 32/2014 ”Tunneleiden ja kallioleikkausten rakenteiden tarkastustoiminnan kehittäminen” esitettyjen vaurioluokitusten mukaisesti. Kuvassa 7.11 harjaterästanko näkyy yhdessä suoja-aidan ja muurirakenteen kanssa.

Kallioleikkauksen lujituksen riittävyttä ja näkyviä liikuntoja arvioitaessa kallioleikkauksen todettiin olevan tarkastetulta osalta kunnossa. Kallioleikkauksessa oli porareikien puolikkaat suurelta osin näkyvissä ja luonnolliset halkeamat eivät muodostaneet epästabiileja lohkoja.

Kallioleikkausseinämässä ei ollut kasvillisuutta ja päälläkin kasvoi ainoastaan paikoin heiniä, joten kasvillisuutta ei katsottu leikkauksessa olevan. Vesivuotojen ja valumien aiheuttamia tummentuneita alueita oli kallioleikkausseinämässä joitakin, mutta tarkastushetkellä vain harvoja kohtia leikkauksesta oli kosteana. Merkittävimmät vesivuodot olivat kallioleikkauksessa metrivelillä 30...40. Ne näkyvät kuvassa 30.



*Kuva 30. Paatelan sulun tarkastettua kallioleikkausta metrivilillä 30...40.*

Kallioleikkauksen päällä olevaan betoniseen ja kiviverhouksin varustettuun muurirakenteeseen sovellettiin Liikenneviraston ohjeita 8/2013 ”Kanavarakenteiden tarkastuskäsikirja” mukaisia kivirakenteisten tukimuurien vaurioluokitusta ja betonin valuvikojen ja lohkeamien vaurioluokitusta. Muurirakenteessa ei havaittu vaurioita ja muurin päällä oleva matala suoja-aita oli kunnossa. Varsinaisen leikkauksen päällä olevan matalan suoja-aidan lisäksi kauempana kallioleikkauksen takana nousevassa rinteessä oli korkeampi aita, jolla varsinaisesti estettiin kulku kallioleikkauksen päälle sivuilta ja takaa. Kallioleikkauksen päällä ollut suoja-aita oli kunnossa tarkastetulla osuudella. Kuvassa 31 näkyy leikkauksen päällä olevaa muuria, suoja-aitaa sekä kallioon juotettu harjaterästanko.

Havaittujen vaurioiden ei arvioitu aiheuttavan riskiä sulun toiminnalle tai käyttäjille, joten riskiluokaksi arvioitiin 1.



Kuva 31. Kallioleikkauksen yläpuolinen muurirakenne ja suoja-aita.

#### 7.4.2 Havainnot tarkastusmenetelmään 2 perustuen

Toisella tarkastusmenetelmällä tarkastettuna kallioleikkauksessa havaitut vauriot liittyivät vesivuotoihin sekä lujitusrakenteeseen. Kalliomassan katsottiin olevan vauriotonta eikä epästabiiliksi epäiltävää kalliota tarkastetulla alueella ollut. Kasvillisuuttakaan ei tarkastetulla osalla leikkausta ollut merkittävästi ja liittyvät rakenteet olivat kunnossa.

Kallioleikkauksen päällä olleen kallioon juotetun harjaterästangon vaurio luokiteltiin samalla tavoin kuin menetelmässä 1. Tanko sijaitsi noin metrivälillä 15...20. Kallioleikkauksen vesivuodot arvioitiin koko tarkastetulle välille vaurioluokkaan 1. Kummankaan vaurion ei arvioitu aiheuttavan riskiä, joten riskiluokaksi arvioitiin 1.

## 7.5 Havaintoja kallioleikkausten tarkastamisesta

Pilottikohteiden tarkastusten suorittamisen yhteydessä saatiin samalla kokemusta kallioleikkausten tarkastamisesta ja siihen liittyvistä haasteista. Eritasoisten vaurioiden löytämisen ohella tehtiin myös havaintoja tavoista kirjata vaurioita.

Kallioleikkausten tarkastamistyötä nopeuttaa huomattavasti, mikäli kallioleikkauksesta on esitetuna ainakin kallioleikkauksen alku ja loppupisteen paalu- tai kilometrilukema, huippukorkeus ja etäisyys väylästä. Lisäksi maastossa olisi hyvä olla jokin rakenne, josta sijainnin voi varmistaa. Maalimerkkien käyttäminen kallioleikkauksen pituuden arvioinnissa osoittautui toimivaksi ja hyvin kuvista erottuvaksi tavaksi. Mikäli kallioleikkaukseen ei haluta maalattavan merkkejä, voidaan samaan tarkoitukseen käyttää vaikka mittakeppejä. Maastossa kallioleikkausten mittojen arvioiminen ja vaurioiden paikantaminen on kohtuullisen työlästä ja aikaa vievää. Tässä hyvänä

apuna toimivat järjestelmällisesti otetut valokuvat leikkauksesta osa kerrallaan edeten. Ongelmaksi muodostuu, mikäli kallioleikkaus on niin kapea ja korkea, että leikkausta ei saada kuvatuksi koko korkeudelta yhteen kuvaan. Ylöspäin taivasta kohti tai leikkauksen päältä alaspäin otetut kuvat epäonnistuvat helposti, eivätkä mittakaava ja kohta selviä kuvista. Vesiväylien kallioleikkausten kuvaaminen ja tarkastaminen voi vaatia jonkun vesillä liikkuvan aluksen, koska vastarannalta otetut kuvat voivat olla liian epätarkkoja. Kallioleikkauksesta otettujen kuvien onnistumiseen vaikuttavat oleellisesti sää ja valaistusolosuhteet. Tarkastetusta tiekallioleikkauksesta otetuista kuvista muodostettiin pitkä yhtenevä valokuva kallioleikkauksesta, johon merkittiin tarkastuksessa havaitut vauriot. Kuva on raportin liitteenä 5.

Kallioleikkauksen päällä havaittujen vaurioiden paikantaminen on haastavaa, koska pituusmittaa ei ole samanaikaisesti nähtävillä, eivätkä vauriot ole havaittavissa alhaalta otetuissa kuvissa. Kallioleikkauksen päällä tapahtuvan havainnoinnin kannalta olisi tärkeää, että kalliopinta on paljasta metrin tai pari leikkauksen reunasta. Tällöin voidaan arvioida rakojen suuntausta sekä havaita sellaisia tapahtuneita kalliolohkojen liikkeitä, joita ei pelkästään leikkauspintaa tarkastelemalla olisi mahdollista havaita. Vanhoissa kallioleikkauksissa kasvusto saattaa ulottua tiheänä aivan leikkauksen reunalle saakka.

Kallioleikkauksessa esiintyvien vesivuotojen havainnointiin vaikuttavat havainnointihetkellä ja sitä edeltävänä aikana vallinneet sääolosuhteet sekä vuodenaika. Sateisella säällä märästä leikkauspinnasta voi olla vaikea havaita kallion päältä tai halkeamista vuotavia vesiä. Pitkän sateettoman kauden jälkeen tarkasteltuna merkittävätkin vesien valumakohdat ovat saattaneet kuivua. Vesivuodot ovat kallioleikkauksille ominaisia hieman kuten halkeilukin, ja niitä esiintyy tarkastushetkestä riippuen enemmän tai vähemmän. Jokaisen valumakohdan kirjaaminen ei varmastikaan ole tarpeen, joten vesivuodoissa, kuten kasvillisuuden arvioinnissakin, laajempien alueiden kuvaus yhteen vaurioluokkaan on järkevämpää. Kallioleikkausten vesivuotojen aiheuttama merkittävin oire on usein talviaikaan esiintyvät paannejääkertymät. Paannejäakohtien tiedot tulisi liittää kallioleikkausten tarkastustietoihin ainakin sellaisten kallioleikkausten osalta, joissa paannejäätilannetta joudutaan tarkkailemaan.

Kalliomassan luokitteluun liittyvään kallion laadun kuvaukseen liittyy usein haasteita. Tarkastusmenetelmässä 1 kokeiltujenkin parametrien määrittäminen koko kallioleikkaukselle aiheutti vaikeuksia, koska kallioon liittyvät eri ominaisuudet saattavat vaihdella paljon yhdessä kallioleikkauksessa. Esim. rakojen tiiviys, avoimuus ja täytteisyys vaihtelevat usein paljon. Samoin rakoväli voi vaihdella leikkauksessa sekä korkeus, että pituussuunnassa. Kuvaamisen tarkentaminen ominaisuuksien mukaan osaluoksiin tulee äkkiä niin työlääksi, ettei se tunnu tarkoituksenmukaiselta. Kallioleikkaus saattaa myös olla jotain tiettyä kohtaa lukuun ottamatta moitteeton, jolloin koko leikkausta koskien annettu kuvaus ei vastaa kallioleikkauksen aiheuttamaa todellista riskiä. Tarkastusmenetelmän 1 mukainen tai kevyempi kalliolaadun kuvaus voi tulla kyseeseen kallioleikkaukseen liittyviä tietoja kerätessä. Tällöin kalliolaatua kuvaavat tiedot olisivat osa kallioleikkauksen ominaisuustietoja. Kallion laatua kuvaavien parametrien määrittäminen kallioleikkauksesta toistuvasti vuosittain tai harvemminkaan ei ole tarpeellista.



Kallioleikkausten tarkastukset joudutaan yleensä tekemään väylän liikenteen seassa. Liikenne häiritsee tarkastustoimintaa etenkin kapeissa tie- ja rataleikkauksissa, joissa ei ole kunnollista väistötilaa junan tai ajoneuvon ohittaessa paikan. Liikenteenalaisen ratojen kallioleikkausten tarkastukset tehdäänkin yleensä turvamiehen turvaamana tai ratatyöluvalla. Vilkkaasti liikennöityjen teiden liikenne on pahimmillaan jatkuvaa, ja kun ajoneuvoja kulkee ohitse käytännössä koko ajan, myös melu on suuri. Tarkastajan on haastavaa keskittyä samanaikaisesti liikenteen huomiointiin, kallioleikkauksen arviointiin ja vaurioiden kirjaukseen. Huomiovaatetuksen käyttäminen on tarpeen tarkastusta tekevän henkilön havaitsemisen helpottamiseksi. Etenkin moottoriellään ajoneuvon pysäköiminen kallioleikkausten tarkastamisen ajaksi aiheuttaa liikenteelle hieman häiriötä.

Kallioleikkausten vaurioiden aiheuttaman riskin suuruuteen vaikuttavat ainakin vauriotyyppi, vaurion sijainti, vaurioluokka, väylän poikkileikkaus, kallioleikkauksen mitat ja väylätyyppi. Pilottitarkastuksissa riskiä arvioitiin tapauskohtaisesti, koska valmista noin monta tekijää huomioivaa kaavaa riskin määrittämiseen olisi ollut vaikea kehittää. Jonkinlainen edellä mainituista asioista riippuva yhteys vaurioiden aiheuttamalle riskille on varmaankin löydettävissä. Tällaisen yhteyden löytäminen vaatisi kuitenkin suuremman määrän eri väylätyypeillä tehtyjä tarkastuksia ja vauriokirjauksia. Pilottitarkastuksissa riskin arviointi ei kuitenkaan pääsääntöisesti tuottanut suuria ongelmia. Ainoastaan kanavakallioleikkauksessa jäi epäselväksi, miten paljon käyttäjiä ja kulkevia ihmisiä kallioleikkausten välittömässä läheisyydessä kesäaikana oleskelee. Sulun ympäristössä oli ravintola, uimaranta ja venelaitureita, mutta tarkastusaikaan lokakuussa sulku ei ollut käytössä.

Kallioleikkausten tarkastaminen ja vaurioiden vakavuuden arvioiminen perustuu aina jonkin verran tarkastajan näkemykseen ja kokemukseen. Sitä, että eri henkilöiden tekemät arviot voivat hieman poiketa toisistaan, ei voida kokonaan pois sulkea. Arviointipöytäkirjojen minimoimiseksi tarkastajaksi pätevyyskriteeriksi tulisi käydä koulutus, jonka avulla arviointi olisi mahdollisimman yhtenevä. Kallioleikkausten tarkastajan tulisi olla kalliorakennesuunnittelija tai geologi, jolla on kokemusta kallion lujitusrakenteiden toiminnasta. Kallioleikkausten tarkastajalla tulee olla voimassaoleva tieturva 1 pätevyys tiekallioleikkauksia tarkastettaessa. Mikäli tarkastusten suorittaminen edellyttää liikennejärjestelyiden tekemistä, tulee liikennejärjestelyjä tekevällä henkilöllä olla voimassa myös tieturva 2 pätevyys. Ratakallioleikkausten tarkastajalla tulee olla voimassa rataturvapätevyys Turva. Liikennöidyllä radalla tarkastuksia tehtäessä täytyy olla mukana turvahenkilö tai tarkastajalla tai mukana olevalla henkilöllä on oltava ratatyöstä vastaavan pätevyys ratatyöluvalla työskentelyä varten.

## 8 Ehdotus vaurio- ja kuntoluokitukseksi

### 8.1 Yleistä




Kallioleikkausten vaurioita kuvaamaan tarvitaan vaurioluokitustaulukoita eri kallioleikkauksen kuntoon liittyvistä osa-alueista. Näitä ovat kalliomassaan liittyvät vauriot, kallionlujitusrakenteisiin liittyvät vauriot, kasvillisuuteen liittyvät vauriot, vesivuotovauriot ja erilaisiin kallioleikkaukseen liittyvien rakenteiden vauriot. Liittyvät rakenteet ja niiden vauriot ovat samantapaisia kuin muissakin taitorakenteissa. Muista taitorakenteiden vaurioista sovellettavia rakenteita ovat ainakin aitoihin ja kaiteisiin liittyvät vauriokuvaukset, betonirakenteiden valuvikojen, lohkeamien ja halkeamien vauriokuvaukset ja kivrakenteisten tukimuurien vauriokuvaukset. Kallion lujitusrakenteiden vauriokuvauksia on esim. Liikenneviraston julkaisussa 32/2014 ”Tunneleiden ja kallioleikkausten rakenteiden tarkastustoiminnan kehittäminen”. Tässä työssä vauriokuvaehdotuksia kehitettiin edelleen kallioleikkausten kalliomassaan, kasvillisuuteen ja vesivuotoihin liittyen.



Kuntoluokituksessa kokeiltiin muissa taitorakenteissa käytetyn vauriopistesumman soveltamista kallioleikkauksiin. Kaavassa käytettiin kallioleikkausten rakenneosia ja niiden vaurioita pisteytettynä.

### 8.2 Vaurioluokitustaulukot

Kallioleikkausten kalliomassaan vaurioiksi ehdotetut kuvaukset on esitetty taulukossa 12. Taulukossa on mukana 0-vaurioluokka havainnollistamassa vauriotonta tilannetta.

Taulukko 12. Ehdotus kalliomassan vaurioluokitukseksi.




Vaurio- luokka	Kalliopinnan vaurion kuvaus	
0	<p>Kalliopinta ehyttä ja rapautumatonta. Kalliossa on käytännössä aina rakoja ja leikkaus voi olla vaurioton, vaikka siinä onkin rakoja. Ei epästabiileja lohkoja tai kiviä. Porareian puolikkaat yleensä näkyvissä.</p>	
1	<p>Kalliopinnassa vähäistä rakoilua ja rapautumista. Leikkaus voi olla asianmukaisesti vahvistettu. Seinämässä voi olla halkeamien rajaamia lohkoja, mutta ne ovat stabiileja halkeamien edullisesta suuntauksesta johtuen. Pieniä kiviä (&lt;0,1m) mahdollisesti epästabiilina</p>	
2	<p>Kalliopinnassa on rakoilua, joka kuitenkin pääosin tiivistä. Pinnassa irtoilevia pieniä kiviä, mutta pääosin leikkaus on asianmukaisesti vahvistettu. Seinämässä voi olla halkeamien rajaamia lohkoja, mutta ne ovat stabiileja halkeamien edullisesta suuntauksesta johtuen. Pieniä lohkoja (&lt;0,3m) mahdollisesti epästabiilina.</p>	

3	<p>Kalliopinnassa avonaista rakoilua tai rikkonaisuutta. Irtonaisia kiviä ja lohkoja (0,1...0,3m) ja/tai mahdollisesti yksittäisiä epästabiileja keskikokoisia lohkoja (&lt;1,0m) ja/tai suurilla alueilla irtonaisia pieniä kiviä. Joitakin pudonneita pieniä kiviä tai lohkoja.</p>	
4	<p>Kalliopinnassa voimakasta avonaista/täytteistä rakoilua ja pitkälle edennyt rapautumista. Useita keskikokoisia irtonaisia lohkoja ja/tai suurempia (&gt;1,0m) lohkoja ja/tai suurempia kallioalueita epästabiilina. Yleisesti pudonneita kiviä tai lohkareita.</p>	

Vaurioluokan 1 kalliomassan vaurioiden kehittymistä seurataan yleensä kallioleikkaukselle tehtävissä seuraavissa tarkastuksissa. Vaurioluokan 2 vauriot voidaan yleensä korjata rusnaamalla ja kalliopinnan puhdistamisella. Vaurioluokkien 3 ja 4 vaurioiden korjaustoimenpiteiden ja vaurioiden laajuuden selvittämiseksi on usein tarpeen tehdä erikoistarkastus. Kalliopinta rusnataan, irtonaiset lohkareet poistetaan ja epästabiileiksi arvioitujen lohkareiden kiinnitetään ankkuripultein. Muita mahdollisia korjaustoimenpiteitä voivat olla mm. tiivistysinjektointi, ruiskubetonointi, verkotus ja joskus kallioleikkauksen uudelleen louhinta/porrastus kauemmaksi väylästä.

Taulukossa 13 on ehdotetut vaurioluokitukset kallioleikkausten vesivuotojen kuvaamiseen. Oman vauriokuvauksen muodostaminen myös talviaikaan esiintyville paanajäille voi osoittautua tarpeelliseksi. Vesivuotoihin liittyvissä vaurioissa tulee huomioida myös kallioleikkauksen kuivatuksen toiminta.

Taulukko 13. Ehdotus kallioleikkausten vesivuotojen vaurioluokitukseksi.

Vaurio- luokka	Kallioleikkausten vesivuotojen kuvaus	
1	Harvoja kohtia, joista vettä tippuu tai valuu leikkauksen päältä alas.	
2	Joitakin kastuneita alueita leikkauksessa.	
3	Kosteutta /juoksevaa vettä esiintyy yleisesti leikkauksessa.	




4	Kosteutta /juoksevaa vettä esiintyy yleisesti leikkauksessa aiheuttaen epästabiileja kalliolohkoja.	
---	---	--

Vähäisiä kallioleikkausten vesivuotoja seurataan kallioleikkaukselle tehtävien tarkastusten ja paannejääkertymien havainnoinnin yhteydessä. Mikäli vesivuodosta ei aiheudu ongelmia, tilanne ei välttämättä vaadi muita toimenpiteitä. Merkittävien vesivuotojen korjaustoimenpiteiden määrittämiseksi tehdään erikoistarkastus. Kallioleikkauksen päältä valuvia vesiä voidaan pyrkiä ohjaamaan pois leikkauksesta rakentamalla kallioleikkauksen päälle niskaoja tai padottava muuri. Vuotavia kallion halkeamia voidaan tiivistää injektoinnein.

Ehdotus kallioleikkausten kasvillisuuden vaurioluokitukseksi on kuvattu taulukossa 14.

Taulukko 14. Ehdotus kallioleikkausten kasvillisuuden vaurioluokitukseksi.




Vaurio- luokka	Kallioleikkausten kasvillisuuden kuvaus	
1	Vähäistä kasvillisuutta leikkauksessa tai sen päällä.	

2	Tiheämpää kasvillisuutta leikkauksessa tai sen päällä.	
3	Tiheää kasvillisuutta leikkauksessa ja sen päällä	
4	Tiheää kasvillisuutta ja puita leikkauksessa ja sen päällä. Puita kasvaa kallion halkeamista irroittain kalliolohkoja. Puut voivat kaatuessaan ulottua väylälle.	

Kallioleikkauksen haitalliset kasvustot poistetaan kallioleikkauksen päältä ja leikkauseinämästä. Kallioleikkauseinämään kertynyttä sammalta, kasveja ja muuta maa-ainesta voidaan poistaa painevedellä. Mikäli kasvustoa on ollut niin paljon, että leikkauseinämän arviointi on vaikeutunut tai puita on tunkeutunut kalliolohkojen väleihin, kallioleikkauksen kunto tulee arvioida uudelleen kasvuston poistamisen jälkeen. Kaadettuja puita tai vesakkoa ei tule jättää leikkauksen päälle, leikkauseinämälle tai ojiin.

Seuraavat taulukot 15 kallion ruiskubetonoinnille ja 16 kallion lujituspulteille ja verkoille on esitetty Liikenneviraston julkaisussa 32/2014 ”Tunneleiden ja kallioleikkausten rakenteiden tarkastustoiminnan kehittäminen”. Näiden taulukoiden mukaisia vaurioluokituksia voidaan soveltaa kallioleikkauksissa esiintyvien lujitusrakenteiden vaurioarviointiin.

Taulukko 15. Ehdotus kalliopintojen ruiskubetonoinnin vaurioluokitukseksi. [24]



Vaurio- luokka	RAKENNETYYPPI	Ruiskubetonipinta
	VAURIO	
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ruiskubetonipinnassa on verkkohalkeilua.</li> <li>• Ruiskubetonipinnassa on yksittäisiä kutistumishalkeamia.</li> <li>• Ruiskubetonipinnassa on yksittäisiä halkeamia verhouksen saumakohdissa.</li> </ul>	
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ruiskubetonissa on halkeamia, joista voi aiheutua pienten ruiskubetonikappaleiden irtoamisia.</li> <li>• Ruiskubetonipinta on suoran vesirasituksen alaisena.</li> <li>• Ruiskubetonipinta on rapautunut.</li> </ul>	
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ruiskubetonipinta on halkeillut niin pahoin, että siitä putoilee kappaleita tai levyjä, jotka eivät kuitenkaan voi tipua ajoradalle tai raiteille.</li> <li>• Ruiskubetoniverkko on väärän tyyppinen.</li> <li>• Ruiskubetoniverkon ankkurointi on puutteellinen.</li> </ul>	





4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ruiskubetonipinta on halkeillut tai lohkeillut niin paljon, että siitä irtoilee kappaleita tai levyjä, jotka voivat pudota ajoradalle tai raiteelle.</li> <li>• Ruiskubetoniverkko ja sen ankkurointi ovat puutteelliset, ruiskubetonin on jatkuvat vesirasituksen alaisena ja on vaara, että koko ruiskubetoniverhous irtoaa laattana.</li> </ul>	
---	---	--

Vähäisiä ruiskubetonin vaurioita seurataan yleensä kallioleikkauksen tulevaisuudessa tarkastuksissa. Ruiskubetonoinnin paikalliset vauriot korjataan ruiskubetonoinnilla. Laajempien ja vakavampien vaurioiden tapauksessa rakenteelle suoritetaan erikoistarkastus, jonka perusteella korjaustoimenpiteet määritellään. Yleensä korjaustoimenpiteenä on ruiskubetonoinnin uusiminen. [24]

Taulukko 16. Ehdotus lujituspulttien ja verkkojen vaurioluokitukseksi. [24]

Vaurio- luokka	RAKENNETYYPPI VAURIO	Lujitusrakenne
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lujituspultti ruostunut tai siinä on pieni muodonmuutos.</li> <li>• Lujitusverkko on ruostunut vai siinä on yksittäinen pieni vaurio</li> </ul>	
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lujituspultissa on vakava muodonmuutos tai vaurio tai sen on jätetty liian pitkäksi ja on vaaraksi alueella liikkuville.</li> <li>• Lujitusverkossa on paikallinen irtoama tai vaurio</li> <li>• Lujitusverkon materiaali tai silmäkoko on väärä</li> </ul>	

3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lujituspultissa on pitkälle edennyt vaurio tai se aiheuttaa vakavan vaaran liikenteelle tai alueella liikkuville.</li> <li>• Lujitusverkko on laajoilta alueilta irti tai vaurioitunut.</li> </ul>	
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lujituspultti puuttuu, on irti tai katkennut.</li> <li>• Lujitusverkko on rikki ja aiheuttaa vaaraa liikenteelle ja alueella liikkuville.</li> </ul>	

Lujituspulttien ja verkkojen vähäisiä vaurioita seurataan kallioleikkauksen tulevissa tarkastuksissa. Korjaustoimenpiteitä voivat olla pultin katkaisu, muttereiden vaihto, kiristys tai korvaaminen uusilla, verkon tai sen kiinnitysten korjaus tai uusiminen. Vakavampien vaurioiden tapauksessa korjaustoimenpiteet määritellään yleensä erikoistarkastuksen perusteella. [24]

## 8.3 Kuntoarvio

Taitorakenteiden tarkastuksissa taitorakenteelle annetaan yleiskuntoarvio, joka perustuu tarkastajan näkemykseen taitorakenteen ja sen pääraKENNEOSIEN kunnosta. Kallioleikkauksen kuntoarvio perustuisi ominaistietoihin ja havaittuihin vaurioihin. Taitorakenteiden pääraKENNEOSIEN ja yleiskunnon arvioinnille on käytetty viisiportaista asteikkoa.

- 0 = uuden veroinen
- 1 = hyvä
- 2 = välttävä
- 3 = huono
- 4 = erittäin huono

Kallioleikkausten tapauksessa arvoSteltavat pääraKENNEOSAT olisivat:

- kalliomassa,
- lujitusrakenne ja
- liittyvä rakenne.

Kallioleikkauksien yleiskuntoarviointiin voidaan soveltaa tämän työn kappaleen 6 tarkastusmenetelmissä esitettyä kallioleikkauksen tai vaurion aiheuttaman riskin arviointia. Yleiskunnan arviointi tapahtuisi seuraavasti:

0 = Kallioleikkauksessa ei ole havaittu vaurioita tai puutteita.

1 = Kallioleikkaus ei aiheuta haittaa väylän toiminnallisuuden tai liikenneturvallisuuden kannalta. Havaitut vauriot ovat korkeintaan lieviä tai laajuudeltaan vähäisiä.

2 = Kallioleikkaus aiheuttaa lievää haittaa, hieman lisääntyntä kunnossapitotarvetta (tarkkailua ja seurantaa) tai väylän toiminnallisuuden heikkenemistä ajan myötä.

3 = Kallioleikkaus aiheuttaa merkittävää haittaa, selkeästi lisääntyntä kunnossapitotarvetta tai väylän toiminnan heikkenemistä.

4 = Kallioleikkauksessa on vaurioita, jotka vaarantavat liikenneturvallisuuden; vaurioiden korjaamiseen on ryhdyttävä kiireellisesti.

Kallioleikkauksen kuntoarviointi päärakenneosien suhteen noudattaa samoja ajatusmalleja kuin yleiskunnan arviointikin.

## 8.4 Vauriopistesumma

Kallioleikkausten kuntoluokitukseksi kokeiltiin soveltaa muissa taitorakenteissa käytettyä vauriopistesummaa (VPS). VPS-arvoa on käytetty siltojen ylläpidon tavoitteenasettelussa sillan vaurioitumisen kuvaajana. VPS-arvoon vaikuttavat rakenneosaa, jossa vaurio sijaitsee, tarkastajan antama rakenneosaa koskeva kuntoarvio, vaurioluokka ja vaurion korjaustarpeen kiireellisyys. Edellä mainituille on kaikille tehty pisteytys. Vauriopistesumman avulla voidaan raportoida yksittäisen taitorakenteen ja koko taitorakenneryhmän, esimerkiksi siltojen kuntoa. Silloille laskettavaan VPS-arvoon ovat lisäksi vaikuttaneet sillan fyysiset mitat ja siltatyypit. [26]

Ennen vauriopistesumman laskentaa määritellään jokaiselle rakenneosaryhmälle painokerroin. Kallioleikkausten tapauksessa rakenneosaryhmien tilalla ovat vaurio-ryhmät, joille tarkastuksessa vaurioita kirjataan eli kalliomassa, lujitusrakenteet, vesivuodot, kasvillisuus ja liittyvät rakenteet. Vaurioluokat 1-4 vastaavat jokainen tiettyä määrää vauriopisteitä. Korjauksen kiireellisyysepisteiden vastine on kallioleikkausten tapauksessa vaurioon liitetty riski/haitallisuus/korjauksen kiireellisyys pisteytetynä. Kallioleikkauksille ei pilottitarkastuksissa annettu rakenneosakohtaisia yleiskuntoarvioita lainkaan, joten sitä VPS:n osatekijää ei kallioleikkausten tapauksessa ole. Sen sijaan kalliomassan vaurioihin liitettiin vaurion suhteellista osuutta leikkauspituudesta kuvaava kerroin. Kerroin määriteltiin jakamalla vaurion esiintymisvälin pituus [m] koko tarkastetulla leikkauspituudella [m]. Sellaisille vaurioluokille, joita kuvataan luontevasti koko leikkaukseen liittyvällä vauriolla, kerroin on 1. Kasvillisuus ja vesivuodot ovat vaurioita, joita on luonteva kuvata koko leikkaukseen liittyvällä vauriolla ilman osakerrointa, ja kalliomassan vauriot on luonteva kuvata tiettyyn väliin liittyviksi. Lujitusrakenteiden ja liittyvien rakenteiden tapauksessa vaurion kuvaustapaa tulee harkita tapauskohtaisesti. Taulukossa 17 on esitetty hahmoteltuja vauriotyyppien painokertoimia.

Taulukko 17. Kallioleikkausten vauriotyypeille ehdotetut painokertoimet.

Vauriotyyppi	Vauriotyyppin painokerroin
Kallion vaurio	0,9
Lujitusrakenteen vaurio	0,8
Vesivuodot	0,5
Kasvillisuus	0,3
Liittyvä rakenne	0,3

Vaurio- ja riskipisteet ovat samat kuin muille taitorakenteille käytettävät vaurio- ja korjauksen kiireellisyyss pisteet. Pisteytys on esitetty taulukoissa 18 ja 19.

Taulukko 18. Taitorakenteiden ja kallioleikkausten vaurioluokkien pisteytys.

Vaurioluokka	Vaurioluokan pisteet
1	1
2	2
3	4
4	7

Taulukko 19. Taitorakenteiden ja kallioleikkausten riskiluokkien/korjauksen kiireellisyyssluokkien pisteytys.

Riskiluokka/korjauksen kiireellisyys	Riskiluokan pisteet
10	5
11	4,5
12	3
13	1,5
14	0,5

Taitorakenteiden VPS-laskennassa käytettävässä korjauksen kiireellisyyssarvioinnin luokituksessa huomionarvoista on se, että luokitus on viisiportainen. Kiireellisin /vakavin luokka on numero 10 ja vähiten kiireellinen luokka on numero 14. Taulukossa 20 on esitetty taitorakenteiden vauriopistesumman korjauksen kiireellisyyssarvioinnin sanalliset kuvaukset sekä kallioleikkauksille ehdotetut muutokset. Kallioleikkausten yleistarkastusväli on todennäköisesti pidempi kuin esimerkiksi silloilla, joilla yleistarkastuksia voidaan tehdä tiheimmillään 3 vuoden välein. Kallioleikkausten yleistarkastusväli voi olla useissa tapauksissa 10 vuotta. Tästä syystä korjauksen kiireellisyyden arvioinnissa olisi perusteltua käyttää hieman pidempiä aikavälejä.

Taulukko 20. Vaurioiden riski, haitallisuus ja korjauksen kiireellisyys.

Luokka	Silloilla käytössä oleva luokitus	Ehdotus kallioleikkausten luokituksiksi
10	korjataan heti	korjataan heti
11	korjataan 2 vuoden kuluessa	korjataan 3 vuoden kuluessa
12	korjataan 4 vuoden kuluessa	korjataan 7 vuoden kuluessa
13	korjataan myöhemmin	korjataan myöhemmin
14	ei korjata ollenkaan	ei korjata ollenkaan

Vauriopistesumma laskettaisiin tällöin seuraavasti:

$$VPS = kHL * (\sum VP_{kal} + \sum VP_{luj} + \sum VP_{ves} + \sum VP_{kas} + \sum VP_{liit})$$

jossa  $\sum VP_x$  määriteltäisiin seuraavasti

$$\sum VP_x = \sum (\text{vauriotyyppiin } x \text{ painokerroin} * \text{riskiluokkapisteet} * \text{vaurioluokkapisteet} * (1 + (\text{vaurion metriväli/leikkauspituus})))$$

kHL= leikkausseinän korkeus/etäisyys, kuitenkin vähintään 1 ja enintään 5

Viimeinen tekijä liittyy kalliomassan vaurioihin, joille ilmoitetaan vaurion määrä leikkauspituutta kohti. Samanlaista ilmoitustapaa voidaan soveltaa mahdollisesti myös joillekin lujitusrakenteille ja liittyville rakenteille. Kerroin kHL lasketaan kalliroleikkauksen seinämäkorkeudesta ja leikkausseinämän etäisyydestä tien päällysteen reunaan tai radan ATU:n reunaan. Kertoimen avulla kalliroleikkaus, joka on korkea ja lähellä väylää, saa suuremman määrän vauriopisteitä. Vesiväylillä kertoimena esitetään käytettäväksi ykköstä. Kerroin on arvoltaan vähintään 1 ja korkeintaan 5.

Vauriopistesumma kuvaa kalliroleikkauksen vaurioita osittain suhteessa kalliroleikkauksen pituuteen. Hyvin pitkässä kalliroleikkauksessa VPS voi olla alhainen, vaikka siinä olisi vakavakin vaurio. Vauriopistesumma ei tällöin suoraan kerro kalliroleikkauksen vaurioitumisen vakavuutta, vaan toimii enemmänkin kuntotason ja sen kehityksen kuvaajana. Kriittiset ja pikaisesti korjausta vaativat kalliroleikkaukset tuleekin tunnistaa muutoin kuin pelkästään vauriopistesumman arvon avulla.

Vauriopistesumman arvot laskettiin pilottikohteiden kalliroleikkauksille tehtyjen tarkastusten perusteella. Pilottitarkastuksissa kalliroleikkausten vaurioille arvioitu riski ei ole aivan yhtenevä vauriopistesumman laskennassa käytetyn korjauksen kiireellisyys arvion kanssa. Vauriopistesummien laskennassa käytettiin kaikkien riskiluokkiin 1 ja 2 arvioitujen vaurioiden tapauksessa korjauksen kiireellisyysluokkaa 13. Pilottikohteiden vauriopistesumman laskenta on esitetty liitteessä 6.

Tarkastettu ratakalliroleikkaus saisi edellä esitetyllä laskentatavalla noin 12,5 vauriopistettä. Suurimman osan vauriopisteistä tuottaa kalliroleikkauksen kalliomassaan liittyvä vaurio. Mikäli kalliomassan vaurio olisi arvioitu riskiltään/korjauksen kiireellisyydeltään kaikkein vakavimpaan luokkaan, olisi vauriopistesumman arvo noussut noin 38 pisteeseen. Vaurioituneeksi arvioitun kalliomassan osuus on kohtalaisen pieni tarkastetusta kalliroleikkauksipituudesta, joten tästä johtuen vauriopistesumman on alhainen.

Tarkastetun tiekalliroleikkauksen vauriopistesummaksi tulee hieman yli 7. Alhaiseen vauriopistesumman arvoon vaikuttaa pitkä tarkastettu leikkauspituus, vaurioiden alhainen riski sekä kalliroleikkauksen suuri etäisyys väylästä. Tässäkin tapauksessa suurimman osan vauriopisteistä tuottavat kalliomassaan liittyvät vauriot. Mikäli kalliomassan vauriot olisi arvioitu riskiltään/korjauksen kiireellisyydeltään kaikkein vakavimpaan luokkaan, olisi vauriopistesumman arvo noussut yli 21 pisteeseen. Jos kalliroleikkaus olisi lisäksi sijainnut lähellä, esimerkiksi neljän metrin etäisyydellä päällysteen reunasta, olisi vauriopistesumman arvo noussut noin 53 vauriopisteeseen. Vaurioituneen kallion osuus on kuitenkin vähäinen tarkastettuun leikkauspituuteen nähden, joten vauriopistesumma ei nouse kovin suureksi.

Tarkastetun kanavakallioleikkauksen vesivuotoihin ja lujitusrakenteeseen liittyneet vauriot olivat vähäisiä, joten vauriopistesumman arvoksi tulee noin 2.

Pilottikohteissa kallioleikkaukset olivat vaurioitumiseltaan kohtuullisen samankaltaisia, joten vauriopistesumman arvo päätettiin laskea kokeeksi myös kolmelle erilailla vaurioituneelle kuvitteelliselle kallioleikkaukselle. Tällä tavoin voitiin paremmin havaita minkälaisessa suuruusluokassa vauriopistesumman arvo voi vaihdella ehdotetulla laskentatavalla. Ensimmäisessä leikkauksessa oli useita eriasteisia vaurioita, toisessa oli yksi vakava vaurio ja kolmannessa koko leikkaus oli kalliomassaltaan lievästi vaurioitunutta. Kaikki kuvitteelliset kallioleikkaukset olivat mitoiltaan yhteneviä. Kallioleikkaus oli 43 metriä pitkä, 11 metriä korkea ja sijaitsi 3 metrin etäisyydellä väylästä. Tapauksissa lasketut vauriopistesumman arvot ja vauriotiedot on esitetty tarkemmin liitteessä 6.

Ensimmäisessä kuvitteellisessa kallioleikkauksessa oli kolme eri laajuista ja vaurioasteista kalliomassaan liittyvää vauriota ja lisäksi lujitusrakenteen ja liittyvän rakenteen vauriot. Vauriopistesumman arvoksi tulee tällöin noin 196 pistettä, josta suurimman osan aiheuttavat kalliomassan vauriot.

Toisessa tapauksessa kallioleikkauksessa oli yksi kohtalaisen paikallinen, mutta vakava ja kiireellisesti korjattava kalliomassan vaurio. Tällainen vaurio tuottaa kuvitteelliselle kallioleikkaukselle vauriopistesumman arvoksi noin 129.

Kolmas kuvitteellinen kallioleikkaus on arvioitu kauttaaltaan vaurioluokkaan 2 kuuluvaksi, mutta vaurioituminen ei aiheuta välitöntä haittaa. Tällaisessa tapauksessa kallioleikkauksen vauriopistesumman arvoksi tulee noin 20.

## 9 Johtopäätökset ja yhteenveto

Liikenneviraston hallinnoimilta rata-, tie-, ja vesiväyliltä ainoastaan ratojen kallioleikkauksista on tiedot rekisteröitynä. Suuri osa etenkin tie- ja ratakallioleikkauksista on rakennettu vanhempien rakentamismääräysten voimassa ollessa, eivätkä ne tällöin aina täytä kaikilta osin nykyaikaisia vaatimuksia. Kallioleikkausten väylän käyttäjille mahdollisesti aiheuttama riski on yleensä suurin ratakallioleikkauksissa ja pienin vesiväylillä.

Työn yhteydessä saatujen tietojen perusteella kallioleikkausten tarkastustoiminta on ollut Suomessa nykyisellään hyvin samantasoista sekä rata-, tie- sekä vesiväylillä. Kunnan tarkkailua on suoritettu kunnossapitäjän toimesta osana väylän jatkuvaa tarkkailua. Juuri kallioleikkauksille tehtyä säännöllistä ja ohjeistettua tarkastustoimintaa ei ole ollut minkään väylätyypin kallioleikkauksille.

Kallioleikkauksien määrittely taitorakenteiksi Taitorakenteiden tarkastusohjeessa esitetyllä tavalla on hyvä lähtökohta vähemmän merkittävien kallioleikkausten rajamiseksi pois taitorakenteiden tarkastustoiminnan piiristä. Linjattava olisi kuitenkin se, sisällytetäänkö tulevaan taitorakennerekisteriin tiedot kaikista kallioleikkauksista vai ainoastaan taitorakenteiden määritelmän mukaisista. Kallioleikkaus voi myös olla taitorakenne vain osittain ja muutoin olla matala tai kaukana väylästä. Tällaisissa tapauksissa tulisi päättää, voidaanko kallioleikkaus huomioida tarkastuksessa vain merkittävilta osin vai huomioidaanko se aina kokonaan. Kallioleikkaus voi myös oireilla merkittävästikin, vaikkei se esitettyä taitorakenteen määritelmää täyttäisikään. Liitteessä 7 on kuva kallioleikkauksesta, joka ei välttämättä täytä taitorakenteen määritelmää, mutta aiheuttaa silti jonkinlaista haittaa väylän toiminnallisuuden näkökulmasta.

Ensimmäisen kallioleikkaukselle tehtävän tarkastuksen yhteydessä tulee kerätä tiedot kallioleikkaukseen liittyvistä rakenteista, lujituksista ja muista varusteista. Tämä tarkastus tulee siis jonkin verran poikkeamaan myöhemmin suoritettavista tarkastuksista. Samassa yhteydessä kallioleikkauksesta voi tehdä myös jonkinlaisen kevyen kalliolaadun kuvauksen, joka voisi perustua yleisesti käytössä olevaan kallioluokitukseen. Tällainen voisi olla esimerkiksi rakennusgeologisen kallioluokituksen sanallinen kalliolaadun kuvaus ”massarakenteinen” ”ruhjerakenteinen” jne. Varsinaisten toistuvien tarkastusten yhteydessä kallionlaatuun liittyvien parametrien määrittäminen uudelleen vuosittain tai harvemminkaan ei liene järkevää. Nimenomainen kalliolaadun määrittäminen tulee todennäköisesti kyseeseen erikoistarkastuksissa, joissa tuotetaan materiaalia kallioleikkauksen korjauksen suunnittelua varten.

Vesivuotoihin liittyvät kallioleikkausten ongelmat ovat monimuotoisia eivätkä ole joka hetki havaittavissa. Kallioleikkauksille suositellaankin tehtävän tarkkailua tai tarkastus vuoto- ja valumavesien aiheuttamien paannejääpaikkojen rekisteröimiseksi. Tiedot paannejäiden aiheuttamasta haitasta tai vaarasta tulisi liittää osaksi kallioleikkauksen vauriotietoja. Lisäksi veteen liittyvien vaurioiden yhtenä osa-alueena tulee huomioida vesien ohjaus- ja viemärintiäjärjestelmien toimivuus.

Kallioleikkauksiin liittyvien rakenteiden tarkastaminen on luontevaa sisällyttää kallioleikkausten tarkastuksiin. Yleisimpien liittyvien rakenteiden, kuten suoja-aitojen, tukimuurien ja kuivatusrakenteiden kuntoa ei muutoin välttämättä tulisi huomioitua. Mahdollisten monimutkaisempien kallioleikkauksiin liittyvien rakenteiden, kuten siltojen tai rakennusten huomioiminen tulee harkita tapauskohtaisesti, mutta ainakin tieto niiden olemassaolosta on hyvä löytyä kallioleikkauksien tiedoista.

Työn yhteydessä tehdyissä pilottitarkastuksissa kallioleikkausten vaurioiden aiheuttamaa riskiä arvioitiin väylän toiminnallisuuden ja liikenneturvallisuuden näkökulmasta. Taitorakenteiden tarkastuksissa yleisesti käytetty korjauksen kiireellisyyden arviointi on periaatteeltaan hyvin pitkälti yhtenevä. Pilottitarkastuksissa korjauksen kiireellisyyttä ei arvioitu vuosissa, kuten taitorakenteiden tarkastuksissa on tehty. Kallioleikkauksille voisi soveltua tässä työssä esitetty hieman pidemmin aikavälein määritelty korjausten kiireellisyysasteikko.

Tässä työssä esitetyn kallioleikkauksille laskettavan vauriopistesumman lopulliset painokertoimet ja laskukaava todennäköisesti muuttuvat, kun käytettävissä on riittävästi yhtenevällä tavalla hankittua tarkastustietoa kallioleikkauksista.



## Lähteet

- [1] Liikennevirasto. Taitorakenteiden tarkastusohje. 2013. Helsinki.
- [2] Liikennevirasto. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 2, Radan geometria. 2010. Helsinki.
- [3] Mikko Turunen. Suomen kallioperä. [WWW]. [Viitattu 27.08.2014]. Saatavissa: <http://www.geologia.fi/index.php/2011-12-21-12-30-30/2011-12-21-12-39-11/2011-12-21-12-39-38/suomen-kallioperae>
- [4] Lehtinen M, Nurmi P, Rämö T. Suomen Kallioperä: 3000 vuosimiljoonaa 1998. Helsinki, Suomen Geologinen Seura ry. [WWW]. [Viitattu 27.08.2014]. Saatavissa: <http://www.geologinenseura.fi/suomenkalliopera/>
- [5] RIL 154-1, Tunneli- ja kalliorakennus I, 1987
- [6] Wikipedia, Kivilaji. [WWW]. [Viitattu 27.08.2014]. Saatavissa: <http://fi.wikipedia.org/wiki/Kivilaji>
- [7] [WWW]. [Viitattu 27.08.2014]. Saatavissa: [http://cc oulu.fi/~geolwww/dokumentit/fysikaalinen\\_sedimentologia.pdf](http://cc oulu.fi/~geolwww/dokumentit/fysikaalinen_sedimentologia.pdf)
- [8] Tielaitoksen selvityksiä 30/1994, Kallioleikkaukset, Geokeskus.
- [9] Pietari Skyttä, Kalliorakennusgeologia luento kalvot. [WWW]. [Viitattu 10.11.2014]. Saatavissa: [https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/yhd-33\\_3168/luennot/luento.pdf](https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/yhd-33_3168/luennot/luento.pdf)
- [10] Norwegian Geotechnical Institute [WWW]. [Viitattu 10.11.2014]. Saatavissa: <http://www.ngi.no/en/Contentboxes-and-structures/Main-page/Feature-articles-/Q-system-update/>
- [11] Hoek E. Bray J.W., Rock Slope Engineering, London 1974.
- [12] Rakennustieto säätiö. InfraRYL 2006, Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Osa 1 Väylät ja alueet. 2006. Helsinki
- [13] Ratahallintokeskus. Ratatekniset määräykset ja ohjeet (RATO) osa 3, Radan rakenne. 2008. Helsinki.
- [14] Liikennevirasto. Ratatekniset ohjeet (RATO) osa 20, Ympäristö ja rautatiealueet. 2012. Helsinki.
- [15] Wikipedia, Suomen tieverkon historia. [WWW]. [Viitattu 10.11.2014]. Saatavissa: [http://fi.wikipedia.org/wiki/Suomen\\_tieverkon\\_historia](http://fi.wikipedia.org/wiki/Suomen_tieverkon_historia)
- [16] Wikipedia, Suomen tieverkko. [WWW]. [Viitattu 10.11.2014]. Saatavissa: [http://fi.wikipedia.org/wiki/Suomen\\_tieverkko](http://fi.wikipedia.org/wiki/Suomen_tieverkko)

[17] Kärki A., Mäki P., Salminen M., Varsinais-Suomen Ely-keskus, sähköpostikeskustelu 16 - 24.9.2014

[18] Perttu A. Investointipäällikkö, Etelä-Pohjanmaan Ely-keskus, sähköpostikeskustelu 16.9.2014

[19] Liikennevirasto, Liikenneviraston ohjeita 29/2013, Tien poikkileikkauksen suunnittelu, 2013, Helsinki.

[20] Lång R., Piispanen M. Sikiö T., Liikennevirasto, Sähköpostikeskustelut 26.8-23.9.2014

[21] Banverket, instruktion Besiktningsprotokoll för bergskärning version 2.00, 2011.

[22] Statens vegvesen, Statens vegvesens rapporter Nr. 199, Inspeksjon av berg og bergsikring i veg tunneler, 2013.

[23] Liikennevirasto, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 41/2012, Laserkeilauksen käyttö liikennetunneleiden kunnossapidon hallinnassa, 2012, Helsinki.

[24] Liikennevirasto, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 32/2014, Tunneleiden ja kallioleikkausten rakenteiden tarkastustoiminnan kehittäminen, 2014, Helsinki.

[25] Wikipedia, Keiteleen kanava. [WWW]. [Viitattu 26.11.2014]. Saatavissa: [http://fi.wikipedia.org/wiki/Keiteleen\\_kanava](http://fi.wikipedia.org/wiki/Keiteleen_kanava)

[26] Liikennevirasto, Liikenneviraston ohjeita 26/2013, Sillantarkastuskäsikirja, 2013, Helsinki.

# Q-luvun määrittäminen ja parametrit

1 RQD (Rock Quality Designation)			RQD
A	Very poor	(> 27 joints per m <sup>3</sup> )	0-25
B	Poor	(20-27 joints per m <sup>3</sup> )	25-50
C	Fair	(13-19 joints per m <sup>3</sup> )	50-75
D	Good	(8-12 joints per m <sup>3</sup> )	75-90
E	Excellent	(0-7 joints per m <sup>3</sup> )	90-100

Note: i) Where RQD is reported or measured as ≤ 10 (including 0) the value 10 is used to evaluate the Q-value  
 ii) RQD-intervals of 5, i.e. 100, 95, 90, etc., are sufficiently accurate

2 Joint set number		J <sub>n</sub>
A	Massive, no or few joints	0.5-1.0
B	One joint set	2
C	One joint set plus random joints	3
D	Two joint sets	4
E	Two joint sets plus random joints	6
F	Three joint sets	9
G	Three joint sets plus random joints	12
H	Four or more joint sets, random heavily jointed "sugar cube", etc.	15
J	Crushed rock, earth like	20

Note: i) For tunnel intersections, use 3 x J<sub>n</sub>  
 ii) For portals, use 2 x J<sub>n</sub>

3 Joint Roughness Number		J <sub>r</sub>
<b>a) Rock-wall contact, and</b>		
<b>b) Rock-wall contact before 10 cm of shear movement</b>		
A	Discontinuous joints	4
B	Rough or irregular, undulating	3
C	Smooth, undulating	2
D	Slickensided, undulating	1.5
E	Rough, irregular, planar	1.5
F	Smooth, planar	1
G	Slickensided, planar	0.5

Note: i) Description refers to small scale features and intermediate scale features, in that order

c) No rock-wall contact when sheared		
H	Zone containing clay minerals thick enough to prevent rock-wall contact when sheared	1

Note: ii) Add 1 if the mean spacing of the relevant joint set is greater than 3 m (dependent on the size of the underground opening)

iii) J<sub>r</sub> = 0.5 can be used for planar slickensided joints having lineations, provided the lineations are oriented in the estimated sliding direction

4 Joint Alteration Number		Φ <sub>r</sub> approx.	J <sub>a</sub>
<b>a) Rock-wall contact (no mineral fillings, only coatings)</b>			
A	Tightly healed, hard, non-softening, impermeable filling, i.e., quartz or epidote.		0.75
B	Unaltered joint walls, surface staining only.	25-35°	1
C	Slightly altered joint walls. Non-softening mineral coatings; sandy particles, clay-free disintegrated rock, etc.	25-30°	2
D	Silty or sandy clay coatings, small clay fraction (non-softening).	20-25°	3
E	Softening or low friction clay mineral coatings, i.e., kaolinite or mica. Also chlorite, talc gypsum, graphite, etc., and small quantities of swelling clays.	8-16°	4
<b>b) Rock-wall contact before 10 cm shear (thin mineral fillings)</b>			
F	Sandy particles, clay-free disintegrated rock, etc.	25-30°	4
G	Strongly over-consolidated, non-softening, clay mineral fillings (continuous, but <5mm thickness).	16-24°	6
H	Medium or low over-consolidation, softening, clay mineral fillings (continuous, but <5mm thickness).	12-16°	8
J	Swelling-clay fillings, i.e., montmorillonite (continuous, but <5mm thickness). Value of J <sub>a</sub> depends on percent of swelling clay-size particles.	6-12°	8-12
<b>c) No rock-wall contact when sheared (thick mineral fillings)</b>			
K	Zones or bands of disintegrated or crushed rock. Strongly over-consolidated.	16-24°	6
L	Zones or bands of clay, disintegrated or crushed rock. Medium or low over-consolidation or softening fillings.	12-16°	8
M	Zones or bands of clay, disintegrated or crushed rock. Swelling clay. J <sub>a</sub> depends on percent of swelling clay-size particles.	6-12°	8-12
N	Thick continuous zones or bands of clay. Strongly over-consolidated.	16-24°	10
O	Thick, continuous zones or bands of clay. Medium to low over-consolidation.	12-16°	13
P	Thick, continuous zones or bands with clay. Swelling clay. J <sub>a</sub> depends on percent of swelling clay-size particles.	6-12°	13-20

5 Joint Water Reduction Factor		J <sub>w</sub>
A	Dry excavations or minor inflow (humid or a few drips)	1.0
B	Medium inflow, occasional outwash of joint fillings (many drips/"rain")	0.66
C	Jet inflow or high pressure in competent rock with unfilled joints	0.5
D	Large inflow or high pressure, considerable outwash of joint fillings	0.33
E	Exceptionally high inflow or water pressure decaying with time. Causes outwash of material and perhaps cave in	0.2-0.1
F	Exceptionally high inflow or water pressure continuing without noticeable decay. Causes outwash of material and perhaps cave in	0.1-0.05

Note: i) Factors C to F are crude estimates. Increase J<sub>w</sub> if the rock is drained or grouting is carried out

ii) Special problems caused by ice formation are not considered

6 Stress Reduction Factor		SRF
<b>a) Weak zones intersecting the underground opening, which may cause loosening of rock mass</b>		
A	Multiple occurrences of weak zones within a short section containing clay or chemically disintegrated, very loose surrounding rock (any depth), or long sections with incompetent (weak) rock (any depth). For squeezing, see 6L and 6M	10
B	Multiple shear zones within a short section in competent clay-free rock with loose surrounding rock (any depth)	7.5
C	Single weak zones with or without clay or chemical disintegrated rock (depth ≤ 50m)	5
D	Loose, open joints, heavily jointed or "sugar cube", etc. (any depth)	5
E	Single weak zones with or without clay or chemical disintegrated rock (depth > 50m)	2.5

Note: i) Reduce these values of SRF by 25-50% if the weak zones only influence but do not intersect the underground opening

b) Competent, mainly massive rock, stress problems		σ <sub>c</sub> / σ <sub>1</sub>	σ <sub>3</sub> / σ <sub>c</sub>	SRF
F	Low stress, near surface, open joints	>200	<0.01	2.5
G	Medium stress, favourable stress condition	200-10	0.01-0.3	1
H	High stress, very tight structure. Usually favourable to stability. May also be unfavourable to stability dependent on the orientation of stresses compared to jointing/weakness planes*	10-5	0.3-0.4	0.5-2 2-5*
J	Moderate spalling and/or slabbing after > 1 hour in massive rock	5-3	0.5-0.65	5-50
K	Spalling or rock burst after a few minutes in massive rock	3-2	0.65-1	50-200
L	Heavy rock burst and immediate dynamic deformation in massive rock	<2	>1	200-400

Note: ii) For strongly anisotropic virgin stress field (if measured): when 5 ≤ σ<sub>1</sub> / σ<sub>3</sub> ≤ 10, reduce σ<sub>c</sub> to 0.75 σ<sub>c</sub>. When σ<sub>1</sub> / σ<sub>3</sub> > 10, reduce σ<sub>c</sub> to 0.5 σ<sub>c</sub>, where σ<sub>c</sub> = unconfined compression strength, σ<sub>1</sub> and σ<sub>3</sub> are the major and minor principal stresses, and σ<sub>3</sub> = maximum tangential stress (estimated from elastic theory)

iii) When the depth of the crown below the surface is less than the span; suggest SRF increase from 2.5 to 5 for such cases (see F)

c) Squeezing rock: plastic deformation in incompetent rock under the influence of high pressure		σ <sub>1</sub> / σ <sub>c</sub>	SRF
M	Mild squeezing rock pressure	1-5	5-10
N	Heavy squeezing rock pressure	>5	10-20

Note: iv) Determination of squeezing rock conditions must be made according to relevant literature (i.e. Singh et al., 1992 and Bhasin and Grimstad, 1996)

d) Swelling rock: chemical swelling activity depending on the presence of water		SRF
O	Mild swelling rock pressure	5-10
P	Heavy swelling rock pressure	10-15

Note:

The values for J<sub>n</sub> and J<sub>a</sub> should be chosen based on the orientation and shear strength, τ, (where τ = σ tan<sup>-1</sup>(J<sub>r</sub> / J<sub>a</sub>)) of the joint or discontinuity that gives the most unfavourable stability for the rock mass, and along which failure most likely will occur.

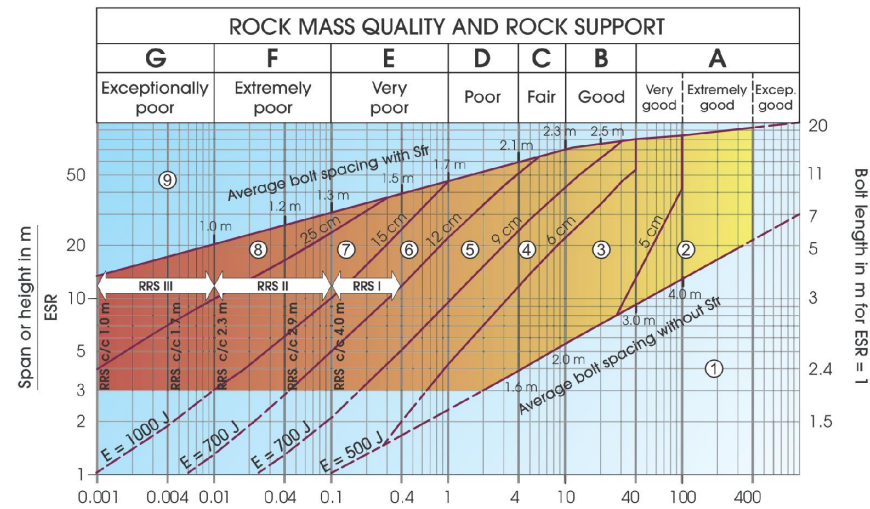
Type of Excavation		ESR
A	Temporary mine openings, etc.	ca. 3-5
B	Vertical shafts* i) circular sections ii) rectangular/square section * Dependant of purpose. May be lower than given values.	ca. 2.5 ca. 2.0
C	Permanent mine openings, water tunnels for hydro power (exclude high pressure penstocks) water supply tunnels, pilot tunnels, drifts and headings for large openings.	1.6
D	Minor road and railway tunnels, surge chambers, access tunnels, sewage tunnels, etc.	1.3
E	Power houses, storage rooms, water treatment plants, major road and railway tunnels, civil defence chambers, portals, intersections, etc.	1.0
F	Underground nuclear power stations, railways stations, sports and public facilities, factories, etc.	0.8
G	Very important caverns and tunnels with a long lifetime, = 100 years, or without access for maintenance.	0.5

For the types of excavation B, C and D, it is recommended to use ESR = 1.0 when  $Q \leq 0.1$ . The reason for that is that the stability problems may be severe with such low Q-values, perhaps with risk for cave-in. ESR together with the span (or wall height) gives the Equivalent dimension in the following way:

$$\frac{\text{Span or height in m}}{\text{ESR}} = \text{Equivalent dimension}$$

In rock masses of good quality	$Q > 10$	The actual Q-value is multiplied by 5
For rock masses of intermediate quality	$0.1 < Q < 10$	The actual Q-value is multiplied by 2.5 (in cases of high stresses the actual Q-value is used)
For rock masses of poor quality	$Q < 0.1$	The actual Q-value is used

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



$$\text{Rock mass quality } Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

### Support categories

- ① Unsupported or spot bolting
- ② Spot bolting, **SB**
- ③ Systematic bolting, fibre reinforced sprayed concrete, 5-6 cm, **B+Sfr**
- ④ Fibre reinforced sprayed concrete and bolting, 6-9 cm, **Sfr (E500)+B**
- ⑤ Fibre reinforced sprayed concrete and bolting, 9-12 cm, **Sfr (E700)+B**
- ⑥ Fibre reinforced sprayed concrete and bolting, 12-15 cm + reinforced ribs of sprayed concrete and bolting, **Sfr (E700)+RRS I +B**
- ⑦ Fibre reinforced sprayed concrete >15 cm + reinforced ribs of sprayed concrete and bolting, **Sfr (E1000)-RRS II+B**
- ⑧ Cast concrete lining, **CCA** or **Sfr (E1000)+RRS III+B**
- ⑨ Special evaluation

Bolts spacing is mainly based on  $\varnothing 20$  mm

E = Energy absorption in fibre reinforced sprayed concrete

ESR = Excavation Support Ratio

Areas with dashed lines have no empirical data

### RRS - spacing related to Q-value

- I** **Si30/6 Ø16 - Ø20 (span 10m)**  
D40/6+2 Ø16-20 (span 20m)
- II** **D45/6+2 Ø16-20 (span 10m)**  
D55/6+4 Ø20 (span 20m)
- III** **D40/6+4 Ø16-20 (span 5 m)**  
**D55/6+4 Ø20 (span 10 m)**  
D70/6+6 Ø20 (span 20 m)

Si30/6 = Single layer of 6 rebars, 30 cm thickness of sprayed concrete

D = Double layer of rebars

Ø16 = Rebar diameter is 16 mm

c/c = RSS spacing, centre - centre

## Ratakallioleikkauksen havainnot

1

**Kallioleikkauksen tarkastus**

Pvm 20.10.2014

Tarkastaja Saarikivi/Sallinen

Kallioleikkauksen tiedot: Roop Oiviesi - Teppeli

Tie/Rata/Vesiväylä Väs/olk

Pituus alku 0 (= km 237+428) Etäisyys päällysteen reunasta  
loppu 60 (= km 237+488) kiskon reunasta

Korkeus Kaltevuus 75°

Liittyvä rakenne Suoja-aita

Lujitus ei

Muuta

Leikkauksen nämän etäisyys ranteen keskiliinjasta:

	kohta	k-liinjasta	kohta	k-liinjasta	kohta	k-liinjasta
Menetelmä 1	5	6,6 m	25	6,3 m	45	6,0 m
	10	6,4 m	30	6,0 m	50	6,1 m
Kalliolaatu	15	6,4 m	35	5,8 m	55	5,6 m
	20	7,0 m	40	5,8 m	60	6,5 m

Kivilaatu

rapautuneisuus

rapautumaton

vähän rapautunut 0-60

runsaasti rapautunut

täysin rapautunut

rakenne

massarakenteinen

liuskerakenne

seosrakenne

löyhärakenne

raparakenne

halkeamarakenne

rakorakenne 0-60

murrosrakenne

ruhjerakenne

savirakenne

kiven suuntautuneisuus

kivilaji ei suuntautunut 0-60

kivilaji suuntautunut mutta

suuntautuneisuus ei ole

kallioleikkauksen nähden

epäedullista

Kivilaji suuntautunut

epäedullisesti leikkauksen

nähdessä

Rakollu

rakoväli

&gt; 1 m

0,3 - 1,0 m

0,1 - 0,3 m

&lt; 0,1 m

0-60

## rakosuuntien määrä

kiinteä kallio, jossa vain muutamia rakoja	
yksi rakosuunta	
yksi rakosuunta ja satunnaisia rakoja	
kaksi rakosuuntaa	
kaksi rakosuuntaa ja satunnaisia rakoja	
kolme rakosuuntaa	
kolme rakosuuntaa ja satunnaisia rakoja	0-60
neljä tai useampia rakosuuntia	
kallio murskautunutta	

## rakotäyte

tiivis rako	0-60
avoin rako	
täytteinen rako	

## rakojen suunta

rakosuunnat eivät ole epäedullisesti suuntautuneita kallioleikkaus seinämän pysyvyyden kannalta	
pysty- tai vaakarakojen suunta epäedullinen kallioseinämän pysyvyyden kannalta	0-60 Pystyraot suuntautuneet epäedullisesti.
sekä pysty- että vaakarakojen suunta epäedullinen kallioseinämän pysyvyyden kannalta	

## Lujitus ei luj.rak.

kunto1	
kunto2	
kunto3	
kunto4	
kunto1	
kunto2	
kunto3	
kunto4	
kunto1	
kunto2	
kunto3	
kunto4	

lujitusrakenteiden riittävyys  
ja näkyvien liikuntojen määrä

kalliossa luonnolliset halkeamat ja porareijät suurilta osin näkyvissä	
luohinnan vaurioita halkeamien risteyksissä. Kallio rosoista	0-30 ja 35-60
avoimia rakoja epästabilleja lohkoja vahvistettu	
avoimia rakoja, satunnaisia pieniä tai keskikokoisia irtonaisia lohkoita halkeamien risteyksissä	
yleisesti avoimia rakoja pieniä ja keskiuuria lohkoja laajalti irti tai yksittäinen keskikokoinen tai suuri irtonainen lohko.	30-35
avoimia rakoja isoja lohkoja tai kivirykelmiä epästabiliina	

**Vaurion haitallisuus/riski**

vauriosta ei ole haittaa väylän toiminnallisuuden tai liikenneturvallisuuden kannalta	
vauriosta lievää haittaa	30-35
vauriosta merkittävää haittaa	
vaarantaa liikenneturvallisuuden	

**Ympäristön aiheuttamat riskitekijät**

kasvillisuus	ei kasvillisuutta leikkauksessa tai sen päällä	
	Vähäistä kasvillisuutta leikkauksessa tai sen päällä	
	Vähäistä kasvillisuutta leikkauksessa mutta päällä kasvillisuus tiheämpää	
	Tiheää kasvillisuutta leikkauksessa ja sen päällä	
	Tiheää kasvillisuutta ja puita leikkauksessa ja sen päällä	0-60
	Puita kasvaa kallion halkeamista irroittaen kallionlohkoja	
vesivuodot	ei vuotoja	0-60
	harvoja kohtia, jossa vettä tippuu tai valuu leikkauksen päältä alas	
	joitakin kastuneita osia leikkauksessa	
	kosteutta/juoksevaa vettä esiintyy yleisesti	
	kosteutta/juoksevaa vettä esiintyy yleisesti	
	leikkauksessa aiheuttaen epästabilleja kallionlohkoja	



**Liittyvät rakenteet**

suoja aidat

kunto1	
kunto2	
kunto3	
kunto4	

tukimuurit

kunto1	
kunto2	
kunto3	
kunto4	



Suoja-aita kunnossa, mutta tyyppiltään ei nyky määrysten mukainen.

Muuta:

Leikkauksen päällä tiheää kasvillisuutta, jota kasvaa suoja-aidan lomitse.

Leikkauksen päällä huollettuja puita ja vosaakkoa



1. vauriosta ei ole haittaa väylän toiminnallisuuden tai liikenneturvallisuuden kannalta
2. vauriosta lievää haittaa
3. vauriosta merkittävää haittaa
4. vaarantaa liikenneturvallisuuden

Vauriot:

vauri oluok ka	Vaurion sijainti/al a/vaikutu sala	kuvaus	riski
0	kalliomassan vaurio	Kalliopinta ehyttä ja rapautumatonta. Kalliossa on käytännössä aina rakoja ja leikkaus voi olla vaurioton vaikka siinä onkin rakoja. Ei epästabiileja lohkoja tai kiviä. Porareian puolikkaat yleensä näkyvissä.	
1		Kalliopinnassa vähäistä rakoilua ja rapautumista. Leikkaus on asianmukaisesti vahvistettu. Seinämässä voi olla halkeamien rajaamia lohkoja, mutta ne ovat stabiileja halkeamien edullisesta suuntauksesta johtuen. Pieniä kiviä (<0,1m) mahdollisesti epästabiilina	
2		Kalliopinnassa on rakoilua, joka kuitenkin pääosin tiivistä. Pinnassa irtoilevia pieniä kiviä, mutta pääosin leikkaus on asianmukaisesti vahvistettu. Seinämässä voi olla halkeamien rajaamia lohkoja, mutta ne ovat stabiileja halkeamien edullisesta suuntauksesta johtuen. Pieniä lohkoja (<0,3m) mahdollisesti epästabiilina.	
3	30-35	Kalliopinnassa avonaista rakoilua tai rikkonaisuutta. Irtonaisia kiviä ja lohkoja (0,1...0,3m). Mahdollisesti yksittäisiä epästabiileja keskikokoisia lohkoja (<1,0m) Suurilla alueilla irtonaisia pieniä kiviä.	2
4		Kalliopinnassa voimakasta avonaista/täytteistä rakoilua ja pitkälle edennyttä rapautumista. Useita keskikokoisia irtonaisia lohkoja ja/tai suurempia (>1,0m) lohkoja ja/tai suurempia kallioalueita epästabiilina	

## lujitusrakenteen vaurio

0		ei luj.rak.	
1			
2			
3			
4			

## kasvillisuus

0		ei kasvillisuutta leikkauksessa tai sen päällä	
1		vähäistä kasvillisuutta leikkauksessa tai sen päällä	
2	0-60	vähäistä kasvillisuutta leikkauksessa mutta päällä kasvillisuus tiheämpää	1
3		tiheää kasvillisuutta leikkauksessa ja sen päällä	
4		tiheää kasvillisuutta ja puita leikkauksessa ja sen päällä. Puita kasvaa kallion halkeamista irroittaen kallionlohkoja	

## vesivuodot

0	0-60	ei vuotoja	
1		harvoja kohtia, jossa vettä tippuu tai valuu leikkauksen päältä alas	
2		joitakin kastuneita osia leikkauksessa	
3		kosteutta/juoksevaa vettä esiintyy yleisesti leikkauksessa	
4		kosteutta/juoksevaa vettä esiintyy yleisesti leikkauksessa aiheuttaen epästabiileja kallionlohkoja	

## liittyvärakenne Suoja-aita

0		kunnossa	
1			
2			
3			
4			

## Tiekallioleikkauksen havainnot

## Kallioleikkauksen tarkastus

Pvm 20.10.2014

Tarkastaja Saarikivi/Sallinen

Kallioleikkauksen tiedot: Onnes, vt g

Tie/Rata/Vesiväylä vas/oik ?Pituus alku 0 (= PL ?) Etäisyys päälysteen reunasta  
loppu 210 (= PL ?) kiskon reunasta

Korkeus Kaltevuus

Liittyvä rakenne Suoja-aita / riista-aita

Lujitus ei ole

Muuta

kallioleikkauksenaaman etäisyys päälysteen reunasta:

	10 = 11,3m	60 = 10,3m	110 = 10,5m	160 = 11m
Menetelmä 1	20 = 11m	70 = 11m	120 = 10,3m	180 = 10,6m
	30 = 11m	80 = 10,3m	130 = 10,3m	190 = 10,9m
Kalliolaatu	40 = 11,1m	90 = 10,3m	140 = 10,4m	200 = 11m
Kivilaatu	50 = 11,2m	100 = 10,1m	150 = 9,7m	210 = 10,9m

rapautuneisuus

rapautumaton

vähän rapautunut 0-210

runsaasti rapautunut

täysin rapautunut

rakenne

massarakenteinen

liuskerakenteinen

seosrakenteinen

löyhärakenteinen

raparakenteinen

halkeamarakenteinen

rakorakenteinen 0-210

murrosrakenteinen

ruhjerakenteinen

savirakenteinen

kiven suuntautuneisuus

kivilaji ei suuntautunut 0-210

kivilaji suuntautunut mutta suuntautuneisuus ei ole kallioleikkauksen nähden epäedullista

Kivilaji suuntautunut epäedullisesti leikkauksen nähden

Rakoilu

rakoväli

&gt; 1 m 0-210

0,3 - 1,0 m (x paikoin)

0,1 - 0,3 m

&lt; 0,1 m

## rakosuuntien määrä

kiinteä kallio, jossa vain muutamia rakoja	
yksi rakosuunta	
yksi rakosuunta ja satunnaisia rakoja	
kaksi rakosuuntaa	
kaksi rakosuuntaa ja satunnaisia rakoja	
kolme rakosuuntaa	
kolme rakosuuntaa ja satunnaisia rakoja	0-210
neljä tai useampia rakosuuntia	
kallio murskautunutta	

## rakotäyte

tiivis rako	0-210
avoin rako	
täytteinen rako	

## rakojen suunta

rakosuunnat eivät ole ole epäedullisesti suuntautuneita kallioleikkaus seinämän pysyvyyden kannalta	Pääasiassa 0-210
pysty- tai vaakarakojen suunta epäedullinen kallioseinämän pysyvyyden kannalta	Painoin
sekä pysty- että vaakarakojen suunta epäedullinen kallioseinämän pysyvyyden kannalta	

## Lujitus ei luj. rak.

kunto1	
kunto2	
kunto3	
kunto4	
kunto1	
kunto2	
kunto3	
kunto4	
kunto1	
kunto2	
kunto3	
kunto4	

lujitusrakenteiden riittävyys  
ja näkyvien liikuntojen määrä

kalliossa luonnolliset halkeamat ja porareijät suurilta osin näkyvissä	
luohinnan vaurioita halkeamien risteyksissä. Kallio rosoista	
avoimia rakoja epästabilleja lohkoja vahvistettu	
avoimia rakoja, satunnaisia pieniä tai keskikokoisia irtonaisia lohkeita halkeamien risteyksissä	158-160
yleisesti avoimia rakoja pieniä ja keskisuuria lohkoja laajalti irti tai yksittäinen keskikokoinen tai suuri irtonainen lohko.	108-110 115-120 140-145
avoimia rakoja isoja lohkoja tai kivirykelmiä epästabiliina	

Vaurion haitallisuus/riski

vauriosta ei ole haittaa väylän toiminnallisuuden tai liikenneturvallisuuden kannalta	0-210
vauriosta lievää haittaa	
vauriosta merkittävää haittaa	
vaarantaa liikenneturvallisuuden	

Ympäristön aiheuttamat riskitekijät

kasvillisuus	ei kasvillisuutta leikkauksessa tai sen päällä	
	Vähäistä kasvillisuutta leikkauksessa tai sen päällä	0-210 (alkualla puitte)
	Vähäistä kasvillisuutta leikkauksessa mutta päällä kasvillisuus tiheämpää	
	Tiheää kasvillisuutta leikkauksessa ja sen päällä	
	Tiheää kasvillisuutta ja puita leikkauksessa ja sen päällä	
	Puita kasvaa kallion halkeamista irroittaen kallionlohkoja	
vesivuodot	ei vuotoja	
	harvoja kohtia, jossa vettä tippuu tai valuu leikkauksen päältä alas	0-210
	joitakin kastuneita osia leikkauksessa	
	kosteutta/juoksevaa vettä esiintyy yleisesti	
	kosteutta/juoksevaa vettä esiintyy yleisesti	
	leikkauksessa aiheuttaen epästabilleja kallionlohkoja	

**Liittyvät rakenteet**

suoja aidat

kunto1	
kunto2	
kunto3	
kunto4	

tukimuurit

kunto1	
kunto2	
kunto3	
kunto4	

→ Suoja/näistä-aita kunnossa

5

1. vauriosta ei ole haittaa väylän toiminnallisuuden tai liikenneturvallisuuden kannalta
2. vauriosta lievää haittaa
3. vauriosta merkittävää haittaa
4. vaarantaa liikenneturvallisuuden

Vauriot:

vauri oluok ka	Vaurion sijainti/al a/vaikutu sala	kuvaus	riski
0	kalliomassan vaurio	Kalliopinta ehyttä ja rapautumatonta. Kalliossa on käytännössä aina rakoja ja leikkaus voi olla vaurioton vaikka siinä onkin rakoja. Ei epästabiileja lohkoja tai kiviä. Porareiden puolikkaat yleensä näkyvissä.	
1		Kalliopinnassa vähäistä rakoilua ja rapautumista. Leikkaus on asianmukaisesti vahvistettu. Seinämässä voi olla halkeamien rajaamia lohkoja, mutta ne ovat stabiileja halkeamien edullisesta suuntauksesta johtuen. Pieniä kiviä (<0,1m) mahdollisesti epästabiilina	
2		Kalliopinnassa on rakoilua, joka kuitenkin pääosin tiivistä. Pinnassa irtoilevia pieniä kiviä, mutta pääosin leikkaus on asianmukaisesti vahvistettu. Seinämässä voi olla halkeamien rajaamia lohkoja, mutta ne ovat stabiileja halkeamien edullisesta suuntauksesta johtuen. Pieniä lohkoja (<0,3m) mahdollisesti epästabiilina.	
3	158-160	Kalliopinnassa avonaista rakoilua tai rikkonaisuutta. Irtonaisia kiviä ja lohkoja (0,1...0,3m). Mahdollisesti yksittäisiä epästabiileja keskikokoisia lohkoja (<1,0m) Suurilla alueilla irtonaisia pieniä kiviä.	1
4	108-110 115-120 140-145	Kalliopinnassa voimakasta avonaista/täyteistä rakoilua ja pitkälle edennyttä rapautumista. Useita keskikokoisia irtonaisia lohkoja ja/tai suurempia (>1,0m) lohkoja ja/tai suurempia kallioalueita epästabiilina	1 1 1

## lujitusrakenteen vaurio

ei luj. rak.

0			
1			
2			
3			
4			

## kasvillisuus

0		ei kasvillisuutta leikkauksessa tai sen päällä	
1	0-210	vähäistä kasvillisuutta leikkauksessa tai sen päällä	1
2		vähäistä kasvillisuutta leikkauksessa mutta päällä kasvillisuus tiheämpää	
3		tiheää kasvillisuutta leikkauksessa ja sen päällä	
4		tiheää kasvillisuutta ja puita leikkauksessa ja sen päällä. Puita kasvaa kallion halkeamista irroittaen kallionlohkoja	

## vesivuodot

0	0-210	ei vuotoja	
1	0-210	harvoja kohtia, jossa vettä tippuu tai valuu leikkauksen päältä alas	1
2		joitakin kastuneita osia leikkauksessa	
3		kosteutta/juoksevaa vettä esiintyy yleisesti leikkauksessa	
4		kosteutta/juoksevaa vettä esiintyy yleisesti leikkauksessa aiheuttaen epästabiileja kallionlohkoja	

## liittyvärakenne suoja-aita/riista-aita

0		kunnossa	
1			
2			
3			
4			



## Kanavakallioleikkauksen havainnot

1

**Kallioleikkauksen tarkastus**

Pvm 21.10.2014

Tarkastaja Saarikivi/Sallinen

Kallioleikkauksen tiedot: Poatelan sulku

Tie/Rata/Vesiväylä

vas/oik ?

Pituus alku 0 Etäisyys päälysteen reunasta

loppu 50

kiskon reunasta

Korkeus

Kaltevuus

Liittyvä rakenne Kivi/betonimuri, aita

Lujitus harjaterästanko

Muuta

## Menetelmä 1

**Kalliolaatu**

Kivilaatu

rapautuneisuus

rapautumaton 0-50

vähän rapautunut

runsaasti rapautunut

täysin rapautunut

rakenne

massarakenteinen

liuskerakenteinen

seosrakenteinen

löyhärakenteinen

raparakenteinen

halkeamarakenteinen 0-50

rakorakenteinen

murrosrakenteinen

ruhjerakenteinen

savirakenteinen

kiven suuntautuneisuus

kivilaji ei suuntautunut 0-50

kivilaji suuntautunut mutta suuntautuneisuus ei ole kallioleikkaukseen nähden epädullista

Kivilaji suuntautunut epädullisesti leikkaukseen nähden

Rakoiu

rakoväli

&gt; 1 m 0-50

0,3 - 1,0 m

0,1 - 0,3 m

&lt; 0,1 m



## rakosuuntien määrä

kiinteä kallio, jossa vain muutamia rakoja	
yksi rakosuunta	
yksi rakosuunta ja satunnaisia rakoja	
kaksi rakosuuntaa	0-50 (kaksi päisirakosuuntaa)
kaksi rakosuuntaa ja satunnaisia rakoja	
kolme rakosuuntaa	
kolme rakosuuntaa ja satunnaisia rakoja	
neljä tai useampia rakosuuntia	
kallio murskautunutta	

## rakotäyte

tiivis rako	0-50
avoin rako	
täytteinen rako	

## rakojen suunta

rakosuunnat eivät ole epäedullisesti suuntautuneita kallioleikkaus seinämän pysyvyyden kannalta	0-10 20-50
pysty- tai vaakarakojen suunta epäedullinen kallioseinämän pysyvyyden kannalta	10-20 (yksi pystyrako epäedullinen, kivi: poissa)
sekä pysty- että vaakarakojen suunta epäedullinen kallioseinämän pysyvyyden kannalta	

## Lujitus

1 harjateräis

kunto1	alkajilta osin piintaruosteessa
kunto2	
kunto3	
kunto4	
kunto1	
kunto2	
kunto3	
kunto4	
kunto1	
kunto2	
kunto3	
kunto4	

lujitusrakenteiden riittävyys  
ja näkyvien liikuntojen määrä

kalliossa luonnolliset halkeamat ja porareijät suurilta osin näkyvissä	0-50
luohinnan vaurioita	
halkeamien risteyksissä.	
Kallio rosoista	
avoimia rakoja epästabiileja lohkoja vahvistettu	
avoimia rakoja, satunnaisia pieniä tai keskikokoisia irttonaisia lohkeita	
halkeamien risteyksissä	
yleisesti avoimia rakoja pieniä ja keskisuuria lohkoja laajalti irti tai yksittäinen keskikokoinen tai suuri irttonainen lohko.	
avoimia rakoja isoja lohkoja tai kivirykelmiä epästabiilina	

Vaurion haitallisuus/riski

vauriosta ei ole haittaa väylän toiminnallisuuden tai liikenneturvallisuuden kannalta	0-50
vauriosta lievää haittaa	
vauriosta merkittävää haittaa	
vaarantaa liikenneturvallisuuden	

Ympäristön aiheuttamat riskitekijät

kasvillisuus	ei kasvillisuutta leikkauksessa tai sen päällä	0-50
	Vähäistä kasvillisuutta leikkauksessa tai sen päällä	
	Vähäistä kasvillisuutta leikkauksessa mutta päällä kasvillisuus tiheämpää	
	Tiheää kasvillisuutta leikkauksessa ja sen päällä	
	Tiheää kasvillisuutta ja puita leikkauksessa ja sen päällä	
	Puita kasvaa kallion halkeamista irroittaen kallionlohkoja	
vesivuodot	ei vuotoja	
	harvoja kohtia, jossa vettä tippuu tai valuu leikkauksen päältä alas	0-50
	joitakin kastuneita osia leikkauksessa	
	kosteutta/juoksevaa vettä esiintyy yleisesti	
	kosteutta/juoksevaa vettä esiintyy yleisesti leikkauksessa aiheuttaen epästabiileja kallionlohkoja	

**Liittyvät rakenteet**

suoja aidat

*kunnossa 0-50*

kunto1	
kunto2	
kunto3	
kunto4	

tukimuurit

*kunnossa 0-50*

kunto1	
kunto2	
kunto3	
kunto4	

5

1. vauriosta ei ole haittaa väylän toiminnallisuuden tai liikenneturvallisuuden kannalta
2. vauriosta lievää haittaa
3. vauriosta merkittävää haittaa
4. vaarantaa liikenneturvallisuuden

Vauriot:

vauri oluok ka	Vaurion sijainti/al a/vaikutu sala	kuvaus	riski
0	0-50	Kalliopinta ehyttä ja rapautumatonta. Kalliossa on käytännössä aina rakoja ja leikkaus voi olla vaurioton vaikka siinä onkin rakoja. Ei epästabiileja lohkoja tai kiviä. Porareiden puolikkaat yleensä näkyvissä.	
1		Kalliopinnassa vähäistä rakoilua ja rapautumista. Leikkaus on asianmukaisesti vahvistettu. Seinämässä voi olla halkeamien rajaamia lohkoja, mutta ne ovat stabiileja halkeamien edullisesta suuntauksesta johtuen. Pieniä kiviä (<0,1m) mahdollisesti epästabiilina	
2		Kalliopinnassa on rakoilua, joka kuitenkin pääosin tiivistä. Pinnassa irtoilevia pieniä kiviä, mutta pääosin leikkaus on asianmukaisesti vahvistettu. Seinämässä voi olla halkeamien rajaamia lohkoja, mutta ne ovat stabiileja halkeamien edullisesta suuntauksesta johtuen. Pieniä lohkoja (<0,3m) mahdollisesti epästabiilina.	
3		Kalliopinnassa avonaista rakoilua tai rikkonaisuutta. Irtonaisia kiviä ja lohkoja (0,1...0,3m). Mahdollisesti yksittäisiä epästabiileja keskikokoisia lohkoja (<1,0m) Suurilla alueilla irtonaisia pieniä kiviä.	
4		Kalliopinnassa voimakasta avonaista/täytteisistä rakoilua ja pitkälle edennyttä rapautumista. Uselta keskikokoisia irtonaisia lohkoja ja/tai suurempia (>1,0m) lohkoja ja/tai suurempia kallioalueita epästabiilina	

lujusrakenteen vaurio

	luj. vak.	1 harjaterästanko	
0			
1	Sijainti n. 15-20	ulkoisilta osin pintaruosteessa	1
2			
3			
4			

kasvillisuus

0	0-50	ei kasvillisuutta leikkauksessa tai sen päällä	
1		vähäistä kasvillisuutta leikkauksessa tai sen päällä	
2		vähäistä kasvillisuutta leikkauksessa mutta päällä kasvillisuus tiheämpää	
3		tiheää kasvillisuutta leikkauksessa ja sen päällä	
4		tiheää kasvillisuutta ja puita leikkauksessa ja sen päällä. Puita kasvaa kallion halkeamista irrottaen kallionlohkoja	

vesivuodot

0		ei vuotoja	
1	0-50	harvoja kohtia, jossa vettä tippuu tai valuu leikkauksen päältä alas	1
2		joitakin kastuneita osia leikkauksessa	
3		kosteutta/juoksevaa vettä esiintyy yleisesti leikkauksessa	
4		kosteutta/juoksevaa vettä esiintyy yleisesti leikkauksessa aiheuttaen epästabiileja kallionlohkoja	

liittyvä rakenne tukimuurin ja suoja-aitan

0	0-50	kunnossa	
1			
2			
3			
4			

## Tiekallioleikkauksesta muodostettu kuva



kasvillisuus: vaurioluokka 1,  
riskiluokka 1 metriväli 0-210m

vesivuodot: vaurioluokka 1,  
riskiluokka 1 metriväli 0-210m



kalliomassa: vaurioluokka 3,  
riskiluokka 1 metriväli 158-160m

kalliomassa: vaurioluokka 4,  
riskiluokka 1 metriväli 140-145m

kalliomassa: vaurioluokka 4,  
riskiluokka 1 metriväli 115-120m

kalliomassa: vaurioluokka 4,  
riskiluokka 1 metriväli 108-110m

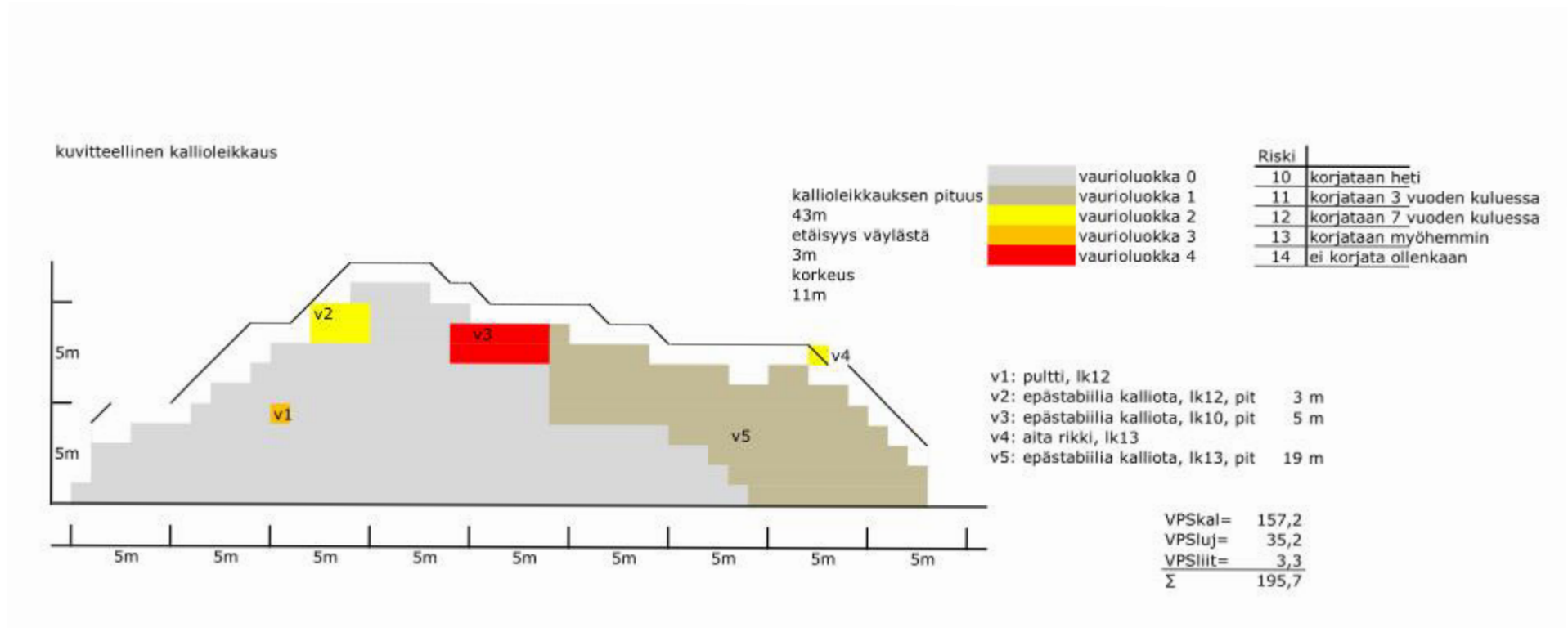
kasvillisuus: vaurioluokka 1,  
riskiluokka 1 metriväli 0-210m

vesivuodot: vaurioluokka 1,  
riskiluokka 1 metriväli 0-210m

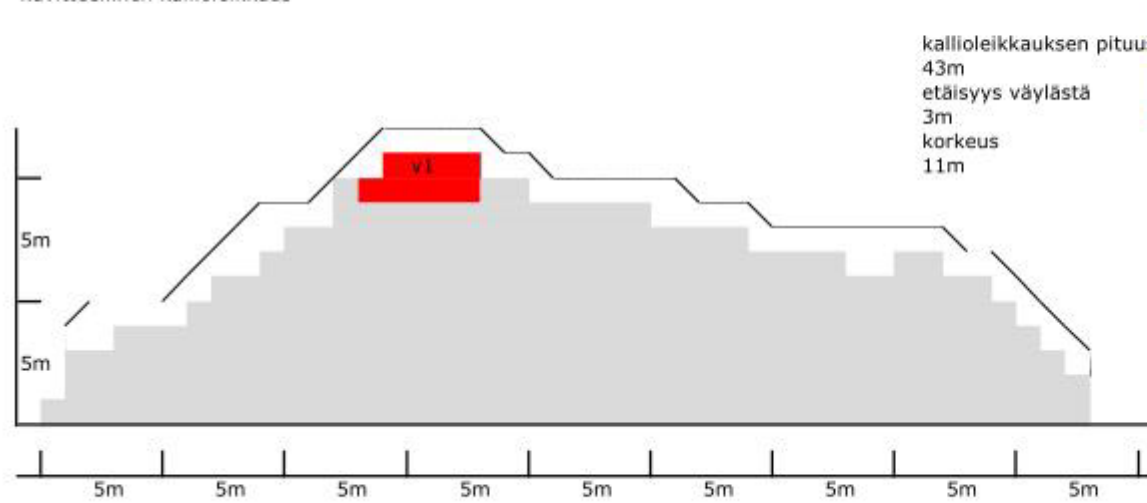




## Kallioleikkauksille laskettuja VPS:n arvoja



kuvitteellinen kallioleikkaus



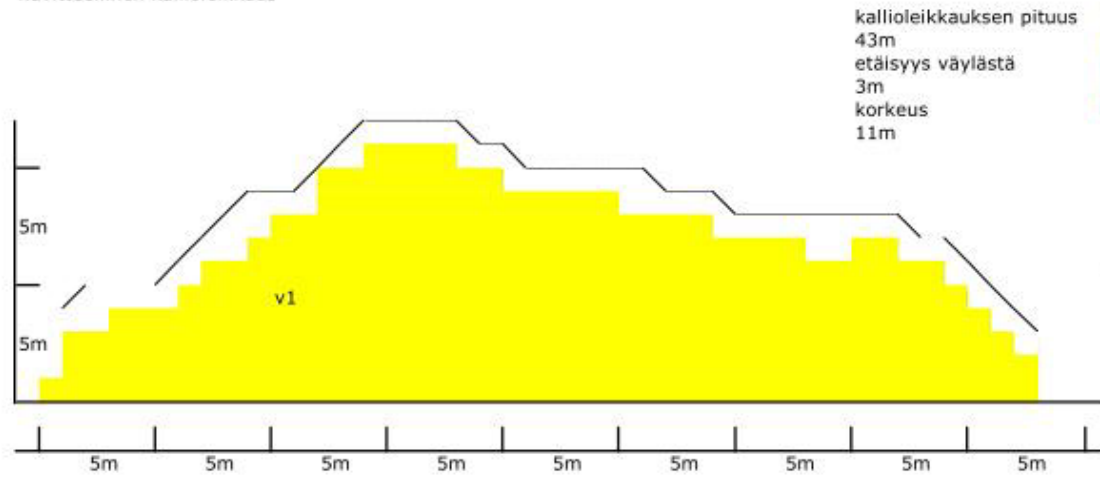
	vaurioluokka 0
	vaurioluokka 1
	vaurioluokka 2
	vaurioluokka 3
	vaurioluokka 4

Riski	
10	korjataan heti
11	korjataan 3 vuoden kuluessa
12	korjataan 7 vuoden kuluessa
13	korjataan myöhemmin
14	ei korjata ollenkaan

v1: epästabiliilla kalliota, lk10, pit 5 m

VPSkal= 128,9  
 VPSluj=  
 VPSliit=  
 Σ 128,9

kuvitteellinen kallioleikkaus



vaurioluokka 0
vaurioluokka 1
vaurioluokka 2
vaurioluokka 3
vaurioluokka 4

Riski	
10	korjataan heti
11	korjataan 3 vuoden kuluessa
12	korjataan 7 vuoden kuluessa
13	korjataan myöhemmin
14	ei korjata ollenkaan

VPSkal=	19,8
VPSluj=	
VPSliit=	
$\Sigma$	19,8

**Ratakallioleikkaus VPS:**

$$\frac{6,5}{3,5} x \left( \underbrace{0,9x1,5x4 \left(1 + \frac{5}{60}\right)}_{\text{Kalliomassa}} + \underbrace{0,3x1,5x2}_{\text{Kasvillisuus}} \right) \approx 12,54$$

+

Korkeus = 6,5 m	Vaurion pituus (kalliomassa) = 5 m
Etäisyys = 3,5 m	
Pituus = 60 m	

**Tiekallioleikkaus VPS:**

$$\frac{10}{10} x \left( \underbrace{0,9x1,5x4x \left(1 + \frac{2}{210}\right) + 0,9x1,5x7x \left(1 + \frac{2}{210}\right) + 0,9x1,5x7x \left(1 + \frac{5}{210}\right) + 0,9x1,5x7x \left(1 + \frac{5}{210}\right)}_{\text{Kalliomassa}} \right) + \underbrace{0,3x1,5x1 + 0,5x1,5x1}_{\text{Kasvillisuus Vesivuodot}} \approx 7,19$$

Korkeus = 10 m	Vaurion pituus = 2 m
Etäisyys = 10 m	(Kalliomassa) = 2 m
Pituus = 210 m	= 5 m
	= 5 m

**Kanavakallioleikkaus VPS:**

$$\underbrace{0,8x1,5x1}_{\text{Lujitusrakenne}} + \underbrace{0,5x1,5x1}_{\text{Vesivuodot}} = 1,95$$

## Oireileva kallioleikkaus







