



# Pultitukseen vaikuttavat tekijät kalliorakentamisessa

Arttu Aaltonen

OPINNÄYTETYÖ  
Toukokuu 2025

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Infrarakentaminen

## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka  
Infrarakentaminen

AALTONEN ARTTU:

Pulttitukseen vaikuttavat tekijät kalliorakentamisessa

Opinnäytetyö 65 sivua, joista liitteitä 2 sivua  
Toukokuu 2025

---

Tässä opinnäytetyössä tarkastellaan pulttitukseen vaikuttavia tekijöitä kalliorakentamisessa geoteknisin näkökulmin, sekä kerrotaan pultituksen periaatteista ja niiden toiminnasta. Lisäksi opinnäytetyössä esitellään lyhyesti Suomen kalliope-  
rän piirteitä. Toimeksiantajana opinnäytetyössä toimii GRK Suomi Oy.

Opinnäytetyön perusteella aloitteleva suunnittelija, työnjohtaja kuin urakoitsijakin pystyy ymmärtämään kalliopultituksissa tarvittavaa tietoa, sekä ymmärtää laa-  
jemmin käsiteltyä geoteknillistä osuutta. Lisäksi opinnäytetyössä on avattu las-  
kennallisia osioita, sekä liitteiksi tehdyt pöytäkirjat porauksista ja pulttauksista.  
Liitteet ovat yhtiön omassa käytössä ja ne pidetään salassa julkaistavasta versi-  
oista.

Lopputuloksena saadaan pulttitukseen vaikuttavien tekijöiden summa kallioraken-  
tamisessa. Opinnäytetyö on koottu suurimmaksi osaksi kirjallisesta tiedosta,  
mutta lisätty käytännönkokemuksia työmailta suoritetuista pultituksista. Opinnäy-  
tetyön toimeksiantaja pystyy hyödyntämään heille tuotettua tietoa työmailta,  
myös tulevaisuudessa pulttitustöissä.

---

Asiasanat: pulttitus, geotekniikka, kallionlujittaminen, kallionrakennus, kallioopera

## **ABSTRACT**

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Construction Engineering  
Civil Engineering

AALTONEN, ARTTU:  
Factors Affecting Rock Bolting in Rock Construction

Bachelor's thesis 65 pages, appendices 2 pages  
May 2025

---

The purpose of this thesis was to investigate and gather information about rock bolting used in rock construction and the factors influencing it. The thesis was commissioned by GRK Finland Oy. The aim was to provide advisory guidelines for the use of rock bolting in fractured bedrock.

The theoretical part of the work was conducted by collecting geotechnical information about rock and the fundamentals and calculations of rock bolting from written sources. The practical part was based on insights gathered from construction sites.

As a result of the work, it can be concluded that rock bolting in rock construction involves many geotechnical considerations, such as rock quality, fracturing, and various weathering phenomena that degrade the rock mass. Additionally, the successful installation of bolts has a significant impact on ensuring the safety of the spaces being constructed.

It is extremely important that the installation of the bolts is executed correctly and at the right time. This allows for time savings and optimised reinforcement, ensuring the safety and longevity of the rock structure.

---

Key words: rock bolting, geotechnics, rock reinforcement, rock construction, bedrock

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	7
2	KALLIOPERÄ .....	8
	2.1 Suomen kallioperä .....	8
	2.2 Kallioperän rakenne .....	11
	2.3 Kallion rakoilu.....	12
	2.4 Kiviaineksen rapautuminen .....	16
	2.4.1 Mekaaninen rapautuminen .....	16
	2.4.2 Kemiallinen rapautuminen .....	17
	2.4.3 Biologinen rapautuminen.....	18
	2.5 Kallion jännitystilä.....	18
	2.5.1 Pystyjännitys .....	19
	2.5.2 Vaakajännitys .....	20
3	KALLIOPULTTITUS.....	22
	3.1 Kalliopultituksen tarkoitus ja toimintaperiaate .....	22
	3.2 Pulttityypit.....	23
	3.2.1 Harjateräspultti .....	23
	3.2.2 Lasikuitupultti.....	26
	3.2.3 Jännepunospultti .....	27
	3.2.4 Yhdistelmäpultti (jälki-injektoitava paisuntakuoripultti).....	28
	3.2.5 Kiila-ankkuroitu pultti .....	29
	3.2.6 Porapultti .....	30
	3.3 Pulttien korroosiosuojaus .....	31
	3.3.1 Kuumasinkitys .....	32
	3.3.2 Märkämaalauus ja jauhemaalauus epoksilla .....	33
4	PULTITUKSEN ASENNUS.....	34
	4.1 Poraus.....	35
	4.2 Juotos .....	37
	4.2.1 Sementtilaasti.....	37
	4.2.2 Hartsi .....	39
	4.3 Erikoisemmat juotos materiaalit .....	40
	4.3.1 Cembolt .....	40
	4.3.2 Cemicron 2000 .....	41
5	LUJITUKSEN MITOITUS.....	42
	5.1 Kallion RG-luokitus.....	42
	5.2 Kallion Q-luokitus .....	45
	5.3 Pultituksen mitoitus .....	46

5.3.1	Mitoitus kokonaiskuormituksen avulla .....	48
5.3.2	Mitoitus Q-luvun perusteella .....	52
6	MUUT KALLION LUJITUS TAVAT .....	54
6.1	Ruiskubetonointi.....	54
6.2	Injektointi .....	56
7	LAADUNVALVONTA JA DOKUMENTOINTI .....	58
7.1	Laatu .....	58
7.2	Sementtilaastille tehtävät kokeet.....	58
7.3	Pulttustyön kokeet .....	59
7.3.1	Sitoutumisvaiheessa tehtävä ulosvetokoe .....	59
7.3.2	Vetokoe .....	59
7.3.3	Boltometer koe .....	60
7.3.4	Irtikairaus.....	60
7.4	Yleisiä virheitä pultituksen asennuksessa .....	60
7.5	Pulttustöiden kirjaaminen .....	61
8	YHTEENVETO JA LOPPUPÄÄTELMÄT .....	63
	LÄHTEET .....	64
	LIITTEET .....	66
	Liite 1. Porauspöytäkirja poistettu julkaistavasta versiosta .....	66
	Liite 2. Pulttuspöytäkirja poistettu julkaistavasta versiosta .....	67

## ERITYISSANASTO tai LYHENTEET JA TERMIT (valitse jompikumpi)

Lugeon-arvo	Kuvaa kallion vedenjohtokykyä
SFS-EN	SFS on tunnuksessa merkintä siitä, että standardi on vahvistettu Suomessa. EN-merkintä viittaa siihen, että standardi on vahvistettu Euroopassa.
B500B	Kuumavalssatut Teräokset
BY50	Betoninormit
Ø	Pultin nimellishalkaisija millimetreissä
Lujituspultti/kalliopultti	Sitoo kalliomassan yhtenäiseksi estämällä yksittäisten kalliolohkojen liikkumisen ja irtoamisen kalliomassasta. Sen avulla siirtyy kuormia rakopintojen yli ehjään kalliomassaan.
Aridinen	Aavikoilla vallitseva kuiva mantereinen ilmasto.
Kelaatio	Kemiallis-fysikaalinen reaktio, jossa orgaaniset komponentit ja tiettyjen kemialliset elementtien kationit yhdistyvät.
mm	Millimetri
MN/m <sup>2</sup>	MegaNewton neliölle
µm	Mikrometri (miljoonasosa metriä)

## 1 JOHDANTO

Kalliopulttaus on keskeinen osa modernia kalliorakentamista, ja sen ensisijaisena tavoitteena on parantaa kallion vakautta sekä taata rakenteiden turvallinen käyttö. Tekniikkaa käytetään laajalti erilaisissa rakennusprojekteissa, kuten tunneleissa, maanalaisissa tiloissa ja kallioluiskien lujittamisessa. Oikein toteutettuna kalliopulttaus estää kallion lohkeilua, lohkareiden liikkumista ja sortumista, mikä tekee siitä korvaamattoman osan turvallisen rakentamisen prosessia.

Tulevina vuosina kalliorakentamisen merkitys on kasvamassa erityisesti kaupunkialueilla, joissa rakennuskanta tiivistyy ja suuret tilat löytyvät yhä useammin vain kallion sisältä. Suomessa suhteellisen hyvä ja eheä kallioperä tarjoaa erinomaiset edellytykset kalliorakentamisen kehittymiselle, mikä tekee siitä entistä houkuttelevamman vaihtoehdon kaupunkikehityksessä.

Tämä oppinäytetyö toteutettiin GRK Suomelle. GRK on yksi Suomen johtavista infra-alan yrityksistä. GRK:n palvelut ulottuvat taito- ja väylärakentamiseen sekä rataliike- ja ympäristöliiketoimintaan. GRK tunnetaan parhaiten julkisen alan inf-rarakentajana, mutta yritys tekee koko ajan projekteja myös yksityisille asiakkaille, kuten teollisuudelle. GRK toimii Suomessa, Ruotsissa ja Virossa yli tuhanen ammattilaisen voimin.

Opinnäytetyö on neuvoa antava, jonka tarkoituksena on tunnistaa oikeaoppisen pultituksen toiminta ja oikean pulttityypin valinta.

## 2 KALLIOPERÄ

Kallioperän rakennuttavuuteen vaikuttavat kallion korkeusasema, eheys sekä koostumus. Yleisesti ottaen Suomen kallioperä on kalliorakentamisen kannalta suotuisaa, sillä kallioperä on hyvin paksua Suomessa. Paksuimmillaan se on Keski-Suomessa, jossa kallioperä on jopa 65 kilometriä paksu (Lehtinen et al. 1998,100).

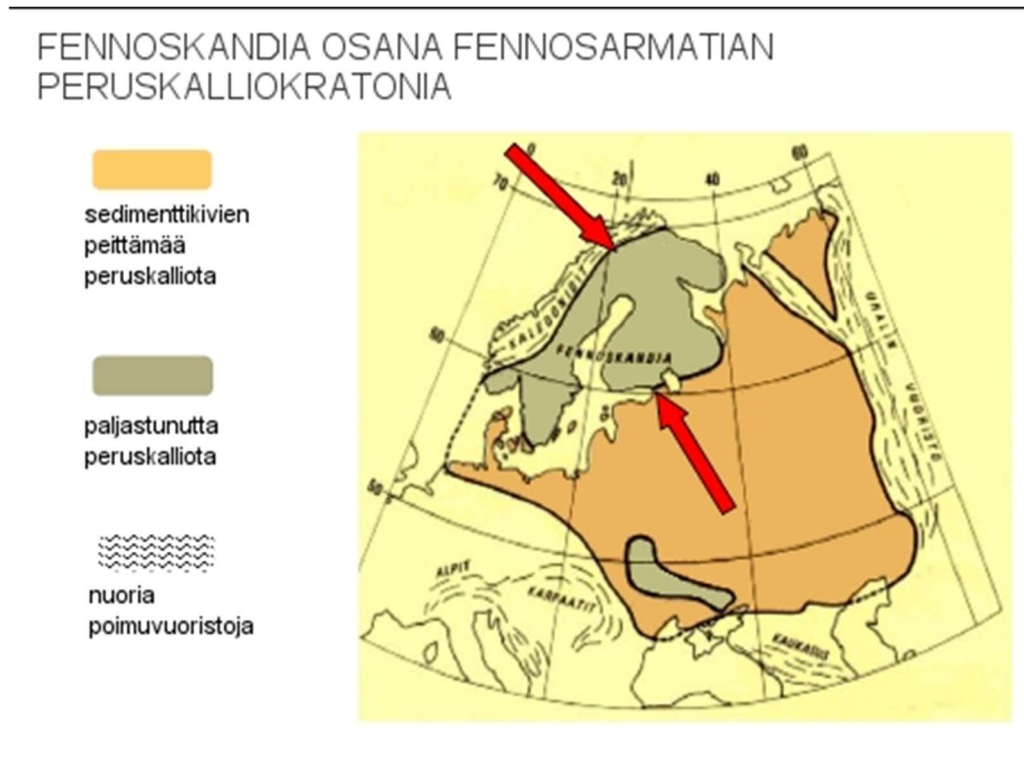
### 2.1 Suomen kallioperä

Kokonaisuudessaan Suomen kallioperä on hyvin vanhaa. Se on muodostunut nykyiseen tilaansa noin 3 000–1 400 miljoonaa vuotta sitten. Joitakin geologisia prosesseja on tapahtunut myöhemminkin, mutta ne eivät ole olleet kovin laaja-alaisia. Nykyisellään Suomen kallioperä on siis vakainta ja vanhinta Euroopassa. Suomen kallioperä on myös todettu koko Euroopan Unionin paksuimmaksi. Uusimpien tutkimustulosten mukaan allamme on paikoitellen jopa 230 kilometriä kiinteässä olomuodossa olevaa kiviainesta, joka sisältää erinäköisiä siirros- ja ruhjevyöhykkeitä. (Turunen 2018).

Jääkaudet ovat merkittävästi muokanneet Suomen kallioperän pintaosia. Kilometrien paksuiset jäämassat ovat kuluttaneet ja madaltaneet alueen vuoria sekä siirtäneet mukanaan irronnutta kiviainesta. Tämän seurauksena nuoremmat kiviainekset ovat todennäköisesti kulkeutuneet jäämassojen mukana Suomen rajojen ulkopuolelle. Jäämassojen aiheuttama kuluminen on edelleen nähtävissä, ja on arvioitu, että viimeisin jääkausi poisti kallioaineksesta noin 7 metrin paksuisen kerroksen.

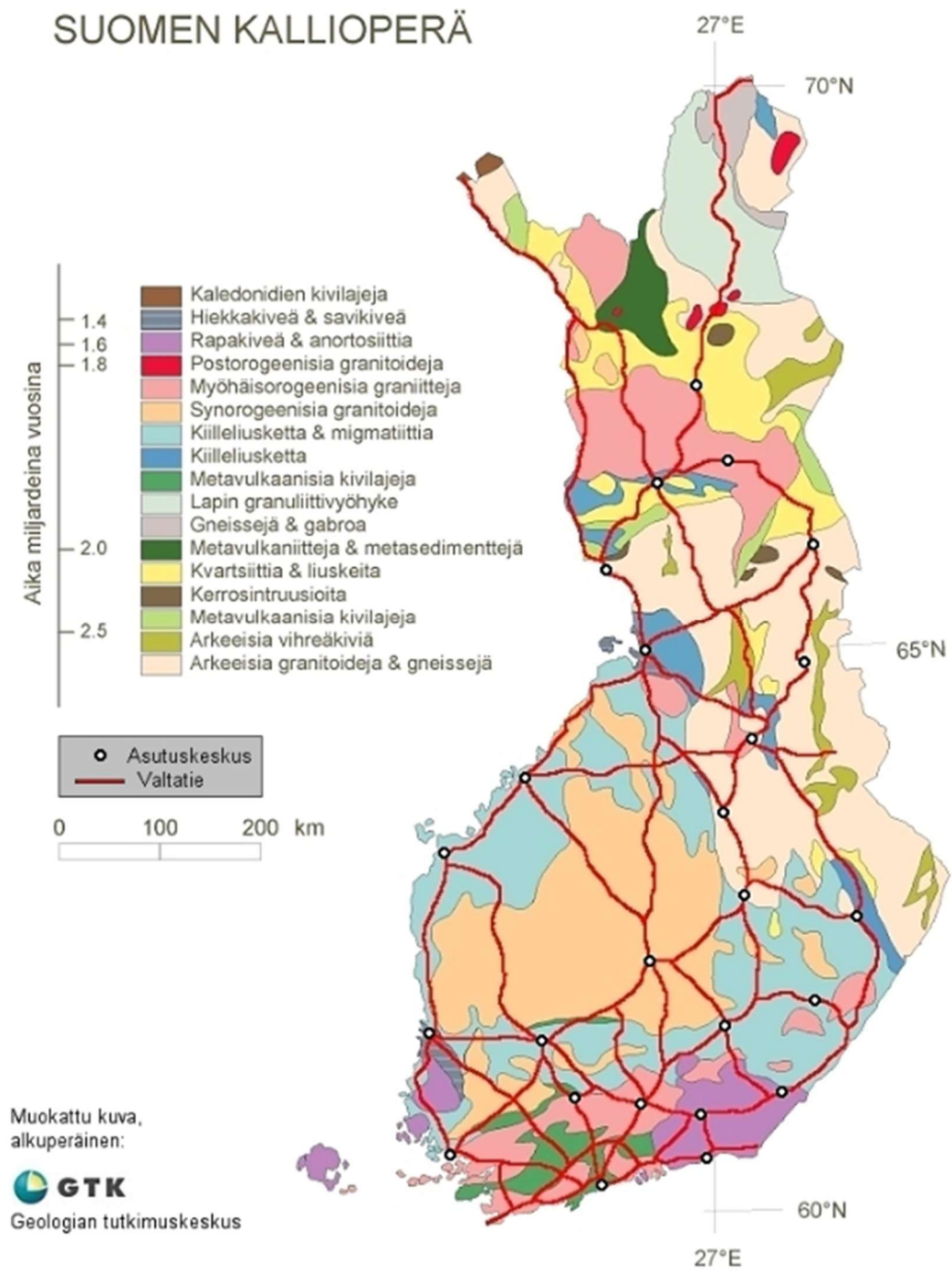
Suomen kallioperä kuuluu vanhaan prekambriseen (ajanjakso 4 600–570 miljoonaa vuotta sitten) Pohjois- ja Itä-Euroopan peruskallioalueeseen eli Fennosarmatian peruskalliokratiiniin (Kuva 1), joka on eräs Euraasian mantereiden vanhimmista osista. Vastaavia prekambrisia kratoneita tavataan kaikilla mantereilla. Eu-

raasian mantereella tämä ikivanha kallioperä on näkyvissä ainoastaan Fennoskandiassa (Fennoskandian kilpi) ja Ukrainassa, muualla se on nuorempien sedimenttikivilajien peittämä. (Turunen 2018.)



KUVA 1. Fennosarmatian peruskalliokratooni (Geologia Suomen kallioperä)

Erilaiset graniittiset kivilajit muodostavat Suomen kallioperän yleisimmän kivilajiryhmän. Niitä arvellaan olevan hieman yli puolet (52,5 %) Suomen kallioperän pinta-alasta. Yksittäisistä kivilajeista graniitti on maassamme yleisin ja on samalla myös Suomen kansalliskivilaji. Graniittiset kivilajit ovat jakautuneet huomattavasti tasaisemmin ympäri maata kuin muut maamme kivilajit. Erilaisia seoskiviä (migmatiitteja) on noin 22 % maamme kallioperästä. Niitä esiintyy erityisesti Itä-Suomessa vanhoilla arkeeisen kallioperän alueilla. Kallioperästä noin 9 % on erilaisia liuskeita, noin 8 % tummia syväkiviä, noin 4 % kvartsiitteja ja hiekkakiviä sekä 4 % granuliitteja. Liuskeet syntyivät muinaiseen merenpohjaan kerrostuneiden hiekka- ja savikivien metamorfoituessa. Suomessa niitä esiintyy erityisesti Kainuussa. Granuliitti on lähes yksinomaan Inarin alueella esiintyvä granaattipitoinen gneissikivilaji. Eteläisen Suomen kallioperässä on runsaasti kalkkikiveä (0,1 % koko Suomen kallioperästä), mutta Itä- ja Pohjois-Suomessa yleisiä vuolukiviä, serpentiniittejä ja kvartsiitteja sieltä on turha etsiä. (Turunen 2018.) Kuvassa 2 on esitettyä Suomen kallioperän koostumus pääpiirteittäin.



KUVA 2. Suomen kallioperä pääpiirteittäin (Geologia)

## 2.2 Kallioperän rakenne

Kivimassan lujuuden kannalta on olennaista sen koostumus, mutta kalliomassan lujuutta arvioitaessa huomioon otettavia seikkoja on useampia. Kalliomassa ei ikinä ole täysin homogeenista ainesta, vaan siinä on laatu- ja lujuusvaihteluita. Kallion lujittamisen tarpeen arvioinnin kannalta olennaisinta on saada käsitys lujitettavan kalliomassan rikkonaisuudesta sekä kalliossa vaikuttavasta jännitystilasta. (Peltomäki 2018) Kalliomassan lujuuteen vaikuttavia seikkoja ovat

- Kalliomassan kivilajien keskeinen yhteenliittyminen
- Kallion suuntaus eli poimuttuneisuus ja liuskeisuus
- Kalliomassan mekaaninen rikkonaisuus (rakoilu, siirrokset, ruhjeet)
- Kemiallinen rapautuneisuus
- Kallioperän topografia.

Edellä mainitut kallioperän ominaisuudet muodostavat geologisen rakenteen ja ovat seurausta kallioperän syntyprosessista, jännitystilosta ja veden vaikutuksesta.

Liuskeisuudella ja poimuttuneisuudella kuvataan kalliomassan suuntaisuutta ja kaartuneisuutta. Liuskeisuus tarkoittaa, että levymäiset ja pitkulaiset mineraalit ovat suuntautuneet lähes samaan tasosuuntaan. Liuskeisuuden suunta ilmoitetaan liuskeisuustason ja vaakatason leikkaussuoran poikkeamana pohjoissuunnasta (kulku) ja sitä vastaan kohtisuoran kaltevuuden poikkeamana vaakatasosta (kaade). Liuskeisuuteen liittyy usein viivaus, joka tarkoittaa mineraalien suuntautuneisuus omaisuutta lähes samaan viiva suuntaan. (RIL154-1, 60.)

Kalliomassan liuskeisuudella on huomattava vaikutus kallion lohkeamistapumukseen ja vaikuttaa näin ollen lujitustarpeeseen. Liuskepinnalle muodostuu herkästi kallion jännitystilan vaikutuksesta leikkaushalkeamia, jotka taas pilkkovat kalliomassan mekaanisesti osiin muodostaen sortumariskin (Peltomäki 2018).

Kalliomassan poimuisuudella tarkoitetaan alkuperäisten kivilajikerrosten tai kallioon myöhemmässä vaiheessa kehittyneen liuskeisuuden vääntymistä poimuille.

Yksittäisen poimun harjallista tai pohjallista viivasuuntaa nimitetään poimuakseliksi. Liuskeisuuspinoilla esiintyvä viivaus on usein poimuakselin suuntainen (KUVA 3). (RIL 154-1, 66.)



KUVA 3. Poimuakselin suuntainen liuske kallio (RIL 154-1, 61)

### 2.3 Kallion rakoilu

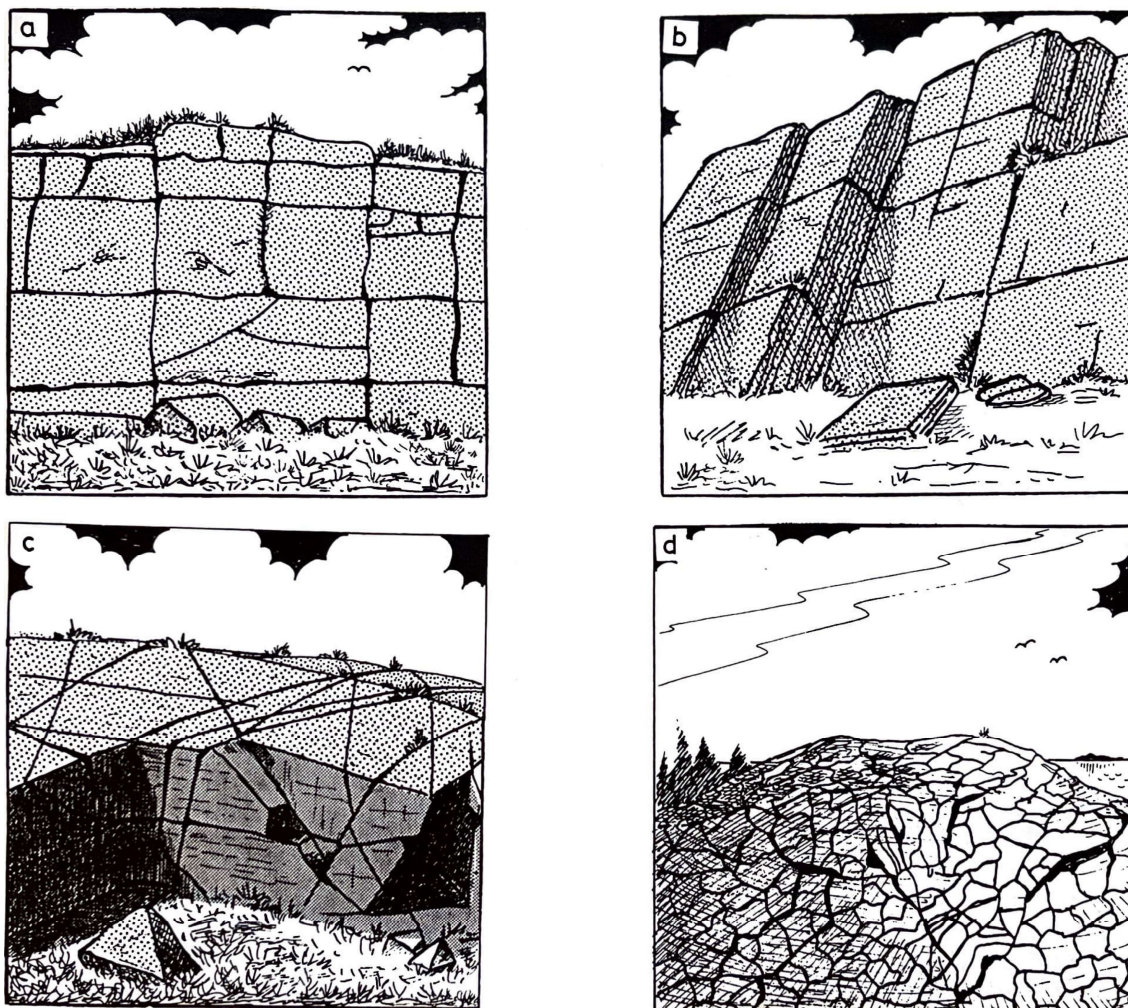
Raolla tarkoitetaan tasoa, joka jakaa kiven mekaanisesti kahteen erilliseen osaan. Kallioon syntyy rakoja jännityksen, puristavan tai vetävän voiman vaikutuksesta, ylittäessä kallion leikkaus- tai vetolujuuden. Leikkausrako syntyy kallioon kohdistuvan rakotason vinosti leikkaavan jännityksen vaikutuksesta ja veto-rako puolestaan rakotasoa vastaan kohtisuoran vetojännityksen tai sen suuntaisen puristusjännityksen vaikutuksesta.

Leikkausrakojen pinnat ovat yleensä sileitä ja rapautumattomassa kalliossa kiinni toisissaan, kun taas vetoraot ovat usein rosoisia ja avoimia tai myöhemmin rapautumalla syntyneen tai muualta kulkeutuneen pehmeähkön sekundäriaineksen täyttämiä. (RIL 154-1, 61).

Kallion rakoilu voidaan jakaa viiteen eri seuraamusluokkaan sen syntymekanismien perusteella (RIL 154-1, 62).

1. Vuorenpoimutuksen aiheuttama plastinen muodonmuutos kivilajikerroksissa on vähäisempää kuin sen ympäröivien kivilajien.
2. Kalliossa monin paikoin vallitseva voimakas vaakajännitys aiheuttaa pintaa vastaan kohtisuoran vetojännityksen. Kallion vetolujuuden tässä suunnassa pettäessä on seurauksena pinnanmyönteinen rakoilu. Tällainen rakoilu on hyvin yleinen etenkin graniittimassiiveissa.
3. Kivisulan kiteytyessä ja jäätyessä tapahtuva kutistuminen aiheuttaa vetojännityksiä, jotka puolestaan synnyttävät kuusikulmaista pylväsrakoilua esimerkiksi basalttien ja diabaasien rakenteisiin.
4. Kun siirrokset aiheuttavat liikkuvien kalliolohkojen murtumista siirrostason molemmin puolin, niin siitä syntyy siirrostason suuntaisesti lohkon sisään suuntautuvia sulkarakoja.
5. Kallion pintaosiin voivat aiheuttaa rakoja muun muassa päivittäiset ja vuotuiset lämpötilan vaihtelut, jäätyvä vesi, suolojen kiteytyminen ja kasvien juuret tunkeutumisellaan kallioon.

Kallion rakoilutyyppit ovat hyvin kivilajisidonnaisia ominaisuuksiltaan, mutta käytännössä kallion rakoilu jaetaan kuutio-, laatta-, kiila ja sekarakoiluun (RIL-166, 93). Rakoilutyyppit on esitetty kuvassa 4.



KUVA 4. kalliorakoilutyypit (Kalliorakentaminen Suomessa, 137)

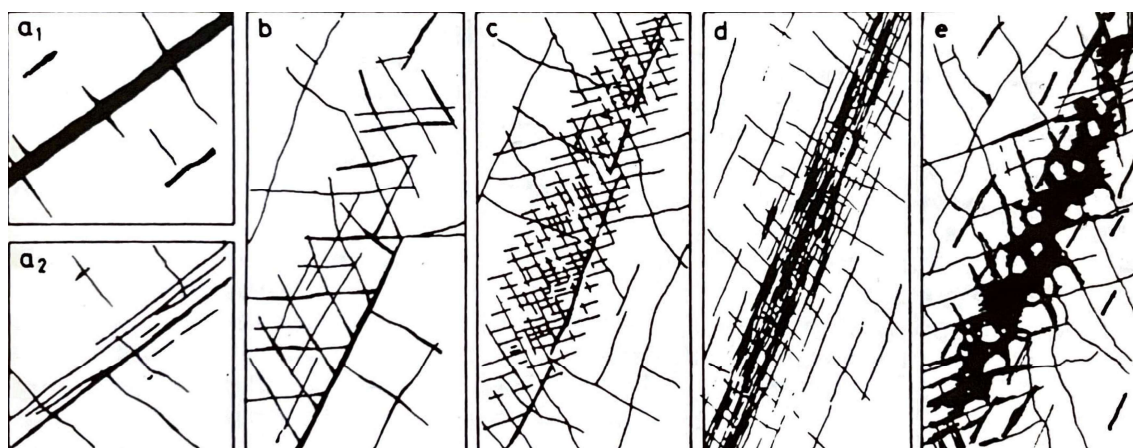
### Rakotäytteet

Rakotäytteet ovat kalliiossa esiintyviä rakojen täytemateriaaleja, jotka voivat olla erilaista alkuperää ja koostumusta. Kallion rakoihin voi kerrostua tai saostua erilaisia aineksia, jotka muodostavat rakotäytteet. Näitä täytemateriaaleja voidaan luokitella eri tyyppeihin, kuten haarniskaraot, saviraot ja mururaot. Haarniskaraot ovat rakoja, jotka ovat syntyneet kallion siirrosliikuntojen seurauksena. Nämä raot ovat usein uurteisia tai sileiksi hioutuneita, ja niiden pinnalla on usein ohut mineraalikerros, joka koostuu kloriitista. Kloriitti on vihertävää ja liukasta mineraalia, joka muodostuu biotiittimineraalin rapautuessa. Tämä mineraalikerros antaa raoille "haarniskamaisen" ulkonäön. (RIL 154-1, 62.)

Saviraot ovat rakoja, jotka on täytetty savimaisella aineksella, kuten kalliosavella. Tämä savimainen aines on yleensä hienojakoista ja koostuu pääasiassa savimineraaleista.

Mururaot puolestaan ovat rakoja, joissa täytemateriaali on savea karkeampaa mineraaliainesta. Tämä aines voi olla esimerkiksi hiekkaa tai soraa, joka on karkearakeisempaa kuin savi.

Rakotäytteet voivat syntyä eri tavoin. Ne voivat muodostua, kun rakojen läpi virtaava vesi kuljettaa mukanaan mekaanisesti kerrostunutta tai kemiallisesti saostunutta ainetta. Lisäksi hydrotermiset liuokset voivat kuluttaa rakopintojen kiviainesta tai kiteyttää mineraaliainesta rakopinnoille. Rakotäytteitä voi myös muodostua ruhjoutuneessa kalliossa, joissa kemiallinen rapautuminen on pehmentänyt kiviainesta. Kallion rakenteet ja rakotäytteet voivat vaihdella suuresti riippuen kallioperän koostumuksesta ja sen geologisesta historiasta. Erilaisia kallion rakennetyyppejä on esitetty kuvassa 5, jotka havainnollistavat näiden rakenteiden muodostumista ja ominaisuuksia. (RIL 154-1, 63.)



KUVA 5. rikkonaisen kalliion rakennetyypit: a1 ja a2) (halkeamarakenteinen kallio (Ril), b) rakorakenteinen kallio (Rill), c) murrosrakenteinen kallio (Rill), d) ruhjerakenteinen kallio (RilV) ja e) savirakenteinen kallio (RilV) (RIL 154-1, 85)

Rakentamisen kannalta erityisen haastavia rakotäytteitä ovat saviraot, jotka sisältävät paisuvia smektiitti- eli montmorilloniittimineraaleja. Näiden savimineraalien kiderakenteessa on negatiivisten varausten ylijäämä, mikä saa ne imemään vettä rakennekerroksiensa väliin. Tämä veden imeytyminen aiheuttaa saven paisumisen, mikä voi johtaa joko rakotäytteen pursuamiseen tai rakopaineen syntyymiseen.

Rakopaine on merkittävä ongelma kalliotilojen rakentamisessa, sillä se voi aiheuttaa kallioon jännityksen muutoksia jopa vuosienkin jälkeen louhinnan ja lujituksen toteuttamisesta. Tämä tekee saviraoista erityisen haastavia rakentamisessa, koska niiden aiheuttamat paineet voivat vaikuttaa rakenteiden vakautta pitkällä aikavälillä. (RIL 154-1, 63).

## **2.4 Kiviaineksen rapautuminen**

Kiviaineksen rapautumisella tarkoitetaan ilmiötä, jossa kiinteä ja terve kiviaines muuttuu löyhäksi irtaimeksi massaksi. Rapautumisilmiöt voidaan käytännössä jakaa mekaanisiin ja kemiallisiin rapautumisiin. Rapautuminen on luonnossa kuitenkin lähes aina näiden molempien yhteistyötä. Näiden kahden lisäksi on vielä kolmas rapautumismuoto, biologinen rapautuminen, joka on yhdistelmä mekaanisesta ja kemiallisesta rapautumista. (Niini 2007, 103.)

Kiviaineksen särkyminen tapahtuu kuitenkin mekaanisten ilmiöiden kautta, kuten lämpötilavaihtelujen aiheuttaman laajentumisen ja kutistumisen seurauksena (lämpörapautuminen) tai veden jäätyessä kallioraoissa ja näin kiilatessa lohkaraita irti (pakkasrapautuminen). Lämpörapautumisella ei maassamme ole sanottavaa merkitystä. Sen sijaan pakkasrapautuma on otettava huomioon esimerkiksi lujittaessa kallioleikkausten seinämiä tai tunneleiden suuosan seinä ja kattoa. (RIL 154-1, 63.)

### **2.4.1 Mekaaninen rapautuminen**

Mekaanisella rapautumisella tarkoitetaan kiven fyysiseen hienonemiseen, joka johtuu mekaanisesta rasituksesta. Tällainen rasitus voi syntyä esimerkiksi painovoiman, jännitystilän tai lämpötilan muutosten aiheuttamista jännitysmuutoksista. Rapautumisen seurauksena kiviaines voi paisua rikki, sillä monet rapautumistuotteet vaativat alkuperäistä tilavuutta enemmän tilaa. Mekaaninen rapautuminen voidaan jaotella neljään eri päämuotoon. (Niini 2007, 103):

1. Hilseily, missä kalliopinnan kuluminen vähentää pystypainetta kallion sisässä saaden aikaan likimain pinnanmyönteisiä loivasti kaarevia rakoja.
2. Pakkasrapautuminen on seurausta kiven huokosissa ja raoissa jäätyvän veden laajenemisen aiheuttamasta paineesta. Pakkasrapautuminen on Suomessa yleisin rapautumismuoto.
3. Suolojen kiteytymisellä tarkoitetaan rapautumisilmiötä, jossa kiviainekseen imeytynyt suolavesi haihtuu ilman kuivumisen yhteydessä ja tällöin lohkaissa ja kallion seinämissä kiven mureneminen voi synnyttää rapautumiskuoppia. Esiintyminen tapahtuu yleensä aridisessa ilmastossa
4. Lämpörapautuminen on seuraus lämpötilan voimakkaasta vaihtelusta ja tämän aiheuttamasta vuorottaisesta lämpölaajenemisesta ja kutistumisesta. Suomessa ilmiö on harvinainen.

#### **2.4.2 Kemiallinen rapautuminen**

Kemiallisen rapautumisen pääaiheuttajina ovat vesi ja siihen liuenneet kemialliset yhdisteet. Näistä tärkeimmät ovat hiilidioksidi ja orgaaniset hapot. Kemiallisessa rapautumistapahtumassa osa mineraalien aineksista joutuu liuoksiin ja osa muodostaa ilman ja veden sisältämien ainesosien kanssa liukenemattomia yhdisteitä. Silikaattimineraalien liukenemattomista rapautumistuotteista muodostuu mm. erilaisia savia ja niiden koostumus vaihtelee eri ilmastovyöhykkeillä. Lauhkeilla ja sateisilla seuduilla savi saattaa olla niin hienojakoista, että sillä on geolomaisia ominaisuuksia.

Rakennustekniikassa kemiallista rapautumista pyritään estämään, koska se ja sen seurannaisvaikutukset aiheuttavat mineraaliperäisissä rakenteissa korroosiota. Erityisesti maan kanssa kosketuksissa olevat rakenteet joutuvat alttiiksi mekaanisille ja kemialliselle rasitukselle.

Teolliset saasteet muodostavat nykyisin ilmakehän vesihöyryn ja siitä tiivistyvän veden kanssa tehokkaita liuottimia, jotka rapauttavat kemiallisesti ilman kanssa kosketuksiin joutuvia rakenteiden pintoja. (RIL 157-1, 31.)

Kemiallisen rapautumisen voimakkuuteen kiviaineksessa vaikuttavat käytettävissä olevan veden määrä, sen ominaisuudet sekä virtaus. Lisäksi kiviaineksen ominaispinta-ala vaikuttaa merkittävästi rapautumisen intensiteettiin. Esimerkiksi mekaanisesti rikkonainen ruhjevöhykkeen kallio on yleensä myös kemiallisesti voimakkaasti rapautunutta (Niini 2007, 102).

### 2.4.3 Biologinen rapautuminen

Biologisella rapautumisella tarkoitetaan orgaanisten, lähinnä kasvillisuuden, vaikutusta, joka ilmenee yleensä kemiallisen rapautumisen tehostumisena seuraavilla tavoilla:

- juuret lisäävät hiilidioksidipitoisuutta maan huokosissa,
- juurien raivaamat kanavat tehostavat rapauttavan veden liikettä maassa,
- orgaanisista jätteistä syntyneet humushapot lisäävät veden liotuskykyä maassa,
- jäkälä rapauttaa suoraan kallion pintaa erittämällä siihen happamia liuoksia (kelaatio),
- tietyt bakteerit ja levät edistävät raudan hapettumista ja saostumista.

Merkittävimpiä orgaanisesti aiheutuneita mekaanisia rapautumismuotoja ovat puun juurien aikaansaamat kivenlohkareiden irtoaminen kallionseinämästä ja irtolohkareiden halkeilu, jotka johtuvat puun juurien tunkeutumisesta kalliorakoihin synnyttämien jännitysten vaikutuksena (Niini 2007, 104).

## 2.5 Kallion jännitystila

Kallioperämme on jännitystilamittausten mukaan voimakkaassa vaakapuristuksessa. Ilmiö on globaalinen ja sen syynä on ilmeisesti suurtekniikka. Suomessa suurin vaakapuristus  $\sigma_{H1}$  on keskimäärin 2–2,5-kertainen verrattuna pystypuristukseen  $\sigma_V$ , joka puolestaan usein ylittää painovoimasta lasketun arvon. Jännitykset kasvavat syvyyden kasvaessa:  $\sigma_{H1} = 8 + 0,060 * h$  ja  $\sigma_V = 4 + 0,025 * h$ ,

jossa  $h$  on syvyys maanpinnasta metreinä, jännitykset megapascalina. (Vuorimiesyhdistys 1981, 1.)

### 2.5.1 Pystyjännitys

Pystyjännityksellä tarkoitetaan painovoiman vaikutuksesta vallitsevaa jännitystilaa, joka kasvaa alaspäin kallion tiheyden, ja syvyyden mukaan seuraavan kaavan avulla:

$$\sigma_V = \rho * g * H$$

Missä:

$\sigma_V$  = pystyjännitys ( $\text{MN}/\text{m}^2$ ),

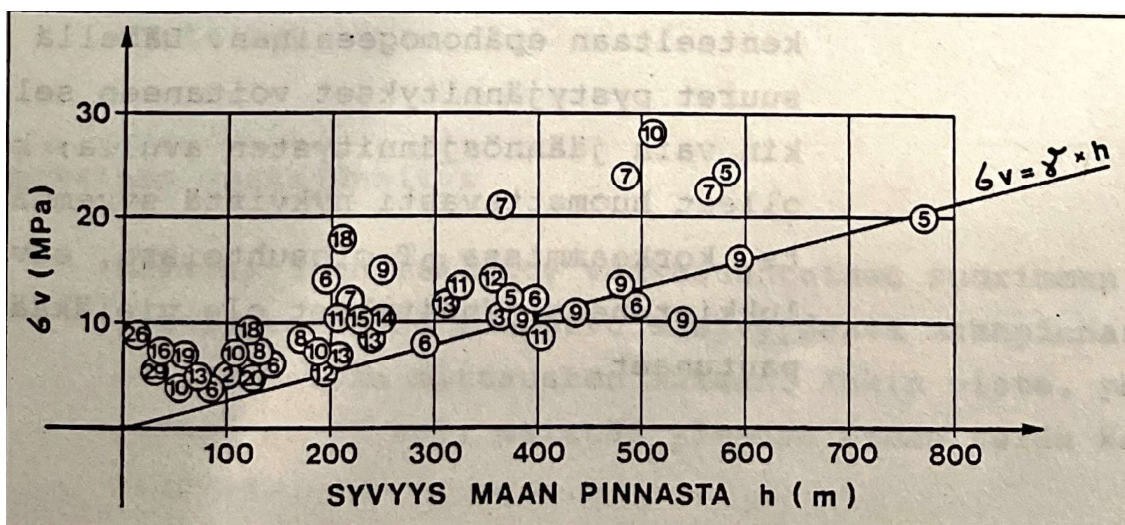
$\rho$  = kallion tiheys ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ),

$g$  = painovoiman kiihtyvyys ( $\text{m}/\text{s}^2$ ) ja

$H$  = syvyys maanpinnasta (m).

Pystyjännitys kasvaa täten teoriassa suoraviivaisesti alaspäin noin  $2.7 \text{ MN}/\text{m}^2$  jokaista 100 metriä kohden. (Vuorimiesyhdistys 1982, 62)

Kuvassa 6 on esitetty Suomessa eri kohteissa lasketut keskimääräiset pystyjännitykset mittaussyvyyden funktiona.



KUVA 6. Pystyjännityksen riippuvuus syvyydestä (Vuorimiesyhdistys 1981, 5)

## 2.5.2 Vaakajännitys

Vaakajännityksellä tarkoitetaan painovoimakentän synnyttäviä vaakajännityskenttiä kallioon, joka lasketaan seuraavan kaavan avulla:

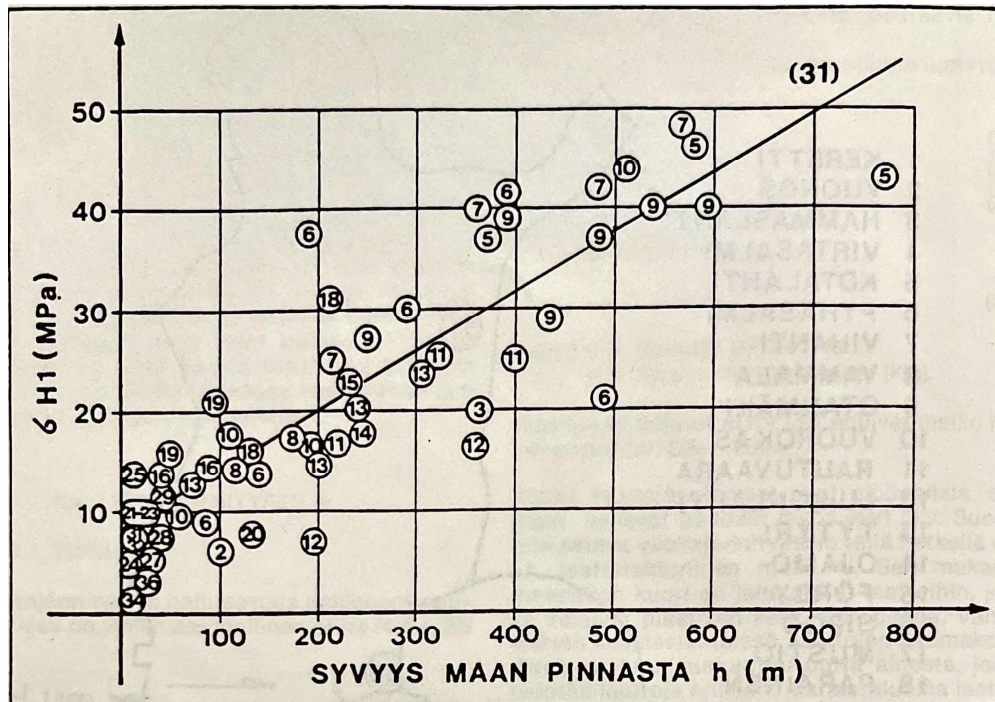
$$\sigma_h = \frac{\nu}{1-\nu} = \sigma_v$$

missä  $\nu$  = poissonin luku

Maankuoren yläosissa noin kilometrin syvyyteen saakka poissonin luku on yleensä luokkaa 0.25, jolloin painovoiman aiheuttama vaakajännitys olisi vain noin kolmasosa vastaavasta pystyjännityksestä.

Syvemmillä maankuoressa samoin kuin täysin rikkoutuneilla alueilla (esim. ruhjeissa) kivi alkaa käyttäytyä plastisesti, jolloin poissonin luku alkaa lähestyä arvoa 0.5. Tällöin pääjännitykset olisivat kaikkiin suuntiin yhtä suuret. Tämän mukaan vaakajännitykset olisivat yleensä pienempiä kuin pystyjännitykset. Suomessa tilanne on täysin päinvastainen.

Suuremman vaakasuoran pääjännityksen riippuvuus syvyydestä on esitetty kuvassa 7. Tulosten hajonta on suuri, mutta kaikki mittauspisteet asettuvat kuitenkin selvästi painovoimajännityksen yläpuolelle. (Vuorimiesyhdistys 1982, 60.)



KUVA 7. Vaakajännityksen riippuvuus syvyydestä (Vuorimiesyhdistys 1982, 60)

Suomessa vaakajännityksille ei ole saatu määrättyä yleissuuntaa, vaan jännitysten suunta määräytyy paikallisen kallioperän rakennegeologian mukaisesti. Kuitenkin usein vaakasuuntainen puristus on kohtisuoraan geologista kulkua vastaan. Pelkästään kallioperän geologisten ominaisuuksien perusteella jännitystilaa ei voida arvioida, joten ainoat luontevat tavat jännitystilän selvittämiseen ovat jännitystilamittaukset (Vuorimiesyhdistys 1981, 2).

### 3 KALLIOPULTITUS

#### 3.1 Kalliopultituksen tarkoitus ja toimintaperiaate

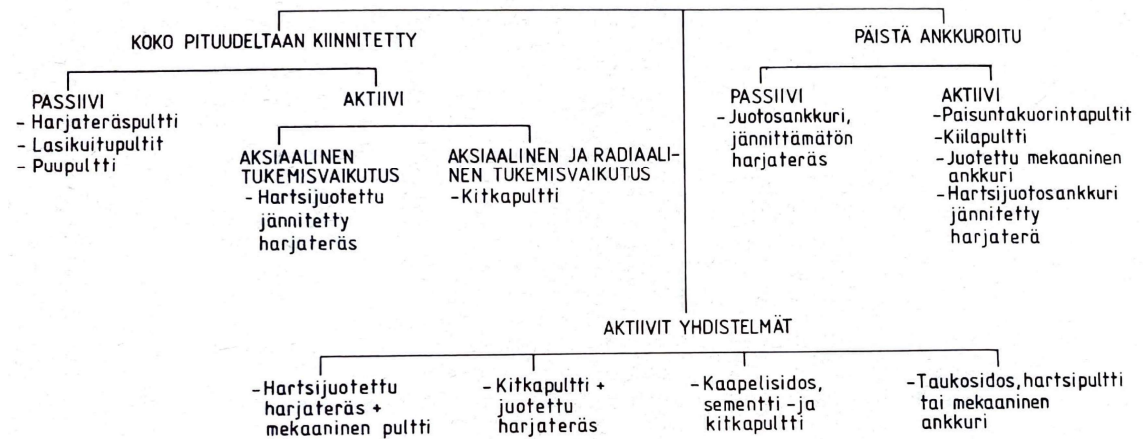
Kalliopultituksen tärkeimpänä tarkoituksena on mekaanisesti vahvistaa rakoilevaa kalliota sitomalla kalliolohkot toisiinsa siten, että kalliomassan muodonmuutokset pysyvät sallituissa rajoissa ja kallio kestää itsenäisenä rakenteena siihen kohdistuvat kuormitukset. Kalliopultituksen asentamisella varmistetaan, että tila on turvallinen rakentamisvaiheessa aina koko tilan käyttöänsä ajan. (RIL 266-2014 s.7.)

Staattisen toimintojen perusteella Pultit jaetaan kahteen kategoriaan: staattisen toiminnan perusteella kalliopultit jännitettyihin sekä jännittämättömiin pultteihin.

Jännitetty pultti on kiinnitetty kallioon pultin kärjessä olevalla ankkurilla, ja pulttiin aiheutetaan pultin suuntainen esijännitysvoima asennusvaiheessa aluslevyn ja kiristysmutterin avulla. Jännittämättömiä pultteja ovat koko pituudelta juottamalla kiinnitetyt tangot tai jännepunokset sekä kitkapultit. Päistään kiinnitetyssä pultissa kiinnityspisteiden välissä tapahtuva kalliomassan muodonmuutoksesta aiheutuva voima jakaantuu tasaisesti koko pultin pituudelle. Koko pituudelta juotetun pultin ympärillä tapahtuva kallion muodonmuutoksesta aiheutuva voima vaikuttaa siihen kohtaan pulttia, joka on kallion siirtymän kohdalla.

Toiminta periaatteeltaan kalliopultit jaetaan aktiivisiin ja passiivisiin pultteihin kuvan 8 mukaisesti.

Aktiiviset pultit tukevat kalliota välittömästi asennuksen jälkeen. Aktiivisia pultteja ovat jännitetyt pultit ja kitkapultit. Kitkapulttien tartuntalujuus perustuu pultin reiän seinämään kohdistuvaan radiaaliseen paineeseen. Passiivisten pulttien tukivaikutus alkaa vasta, kun kallion muodonmuutokset kuormittavat pulttia. Passiiviset pultit ovat jännittämättömiä ja juotettu kiinni koko pultin pituudelta. (RIL 266-2014, 9.)



KUVA 8. Pulttien jako aktiivisiin ja passiivisiin pultteihin (RIL 154-2, 24)

Osiossa 3.2 käsitellään niin sanotusti käytetyimpiä pultteja kallion lujituksessa.

## 3.2 Pulttityypit

### 3.2.1 Harjateräspultti

Sementtilaastilla juotettu harjateräspultti on Suomessa yleisin lopulliseen lujitukseen käytetty kalliopultti. Pulttikokona käytetään B500B, A500HW tai muuta standardin SFS 1268 /4/ vaatimukset täyttävää hitsattavaa, kuumavalssattua betoniniterästä ja sen tulee olla SFS-sertifioitu (Kuva 9.) Yleisimmät pultteina käytettävät harjaterästangon nimellishalkaisijat ovat 20, 25 ja 32 millimetriä (RIL 266-2014, 9).



KUVA 9. Harjateräspultti B500NC (Pretec)



KUVA 10. Harjaterästangon  $\varnothing = \text{nimellishalkaisijaa}$  kuvaava yksikkö (RIL 266-2014, 9)

### Taivutettu harjaterästangon pultti

Taivutetun pultin (pinnoittamaton) sisäpuolen pienin taivutussäde on  $3,5 \varnothing$ , ellei suunnitelmissa toisin mainita.

Sinkityn pultin taivutus suositellaan tehtäväksi ennen sinkitystä, jolloin pienin taivutussäde on  $3,5 \varnothing$ . Jos taivutus tehdään sinkityksen jälkeen, on pienin taivutussäde  $12 \varnothing$  (SFS 1266 /6/, BY50 2012 /7/). Mikäli pinnoitus vaurioituu taivutuksessa, on korjattava kohta sinkkimaalauksella. Sinkittyä pulttia ei saa lämmitellä taivutuksen yhteydessä. Jos pultissa on käytetty muuta pinnoitetta kuin sinkitystä, tulee taivutus tehdä suunnittelijan ohjeiden mukaisesti (RIL 266-2014,9).

### Aluslevyllinen Harjateräspultti

Aluslevy parantaa pultin ja kallion välistä tartuntaa rikkonaisessa kalliossa. Aluslevyllistä harjateräspulttia voidaan käyttää lujituksena yksinään, toimimaan yhdessä ruiskubetonin kanssa tai asentamalla aluslevyn ja kallion väliin verkotus, kuten kuvassa 11.



KUVA 11. Aluslevyllinen kierteellinen harjateräspultti (Aaltonen)

Pyöreänmuotoisen aluslevyn halkaisija on oltava vähintään 150 millimetriä ja kolmimaisen aluslevyn särmän pituuden oltava vähintään 150 millimetriä. Aluslevy ja sen kiristysosien paksuus ja materiaali valitaan niin, että se tulee kestäämään siihen kohdistuvan kuormituksen. Aluslevyn paksuuden on oltava vähintään 5 millimetriä. Aluslevy ja pultti ei saa muodostaa kemiallista sähköparia.

Pultin kierretyn osan pituus tulee olla vähintään 100 millimetriä ennen asennusta ja vasta asennuksen jälkeen pultti voidaan katkaista lyhyemmäksi. Kierteet voidaan tehdä valssaamalla tai sorvaamalla. Kapasiteetin alenema on pienempi, jos kierteet tehdään valssaamalla, sekä kierteet tulee suojata vahingoittumiselta kuljetuksen ja asennustyön ajan. (RIL 266-2014, 10.)

**Asentaminen:**

- Minimireikäkoko tulee olla Vähintään 1,5 kertaa pultin halkaisija
- Juotosaineena käytetään Sementtilaastia.

**Soveltuvuus:**

- Soveltuu lopulliseksi lujitukseksi
- Kohteissa, joissa edellytetään pitkäaikaista lujitusta tai ympäristöolosuhteet ovat vaativia korroosion kannalta, tulee huomioida pultin korroosio suojaus
- Väliaikaisessa lujituksessa tulee huomioida juotosaineen sitoutumisen vaatima aika.

**3.2.2 Lasikuitupultti**

Lasikuitupultti kuvassa 12 esitettynä, joka valmistetaan lasikuidusta ja on rakenteeltaan joko ontto tai umpinainen. Lasikuitupultit soveltuvat parhaiten kohteissa, missä lujitettu alue kalliassa joudutaan myöhemmässä vaiheessa louhimaan uudelleen. Louheen seassa irtoavista ja olevista lasikuitupulteista ei ole minkäänlaista haittaa louheen jatkokäsittelyvaiheessa, eikä louhintaporauksessa, toisin kuin teräksestä valmistetuista kalliopulteista. Lasikuitupultituksessa on otettava huomioon lasikuitujen erilaiset materiaaliominaisuudet verrattuna teräkseen (RIL 266-2014, 10).



KUVA 12. FiReP-lasikuitupultti (Semtu n.d.)

**Asentaminen:**

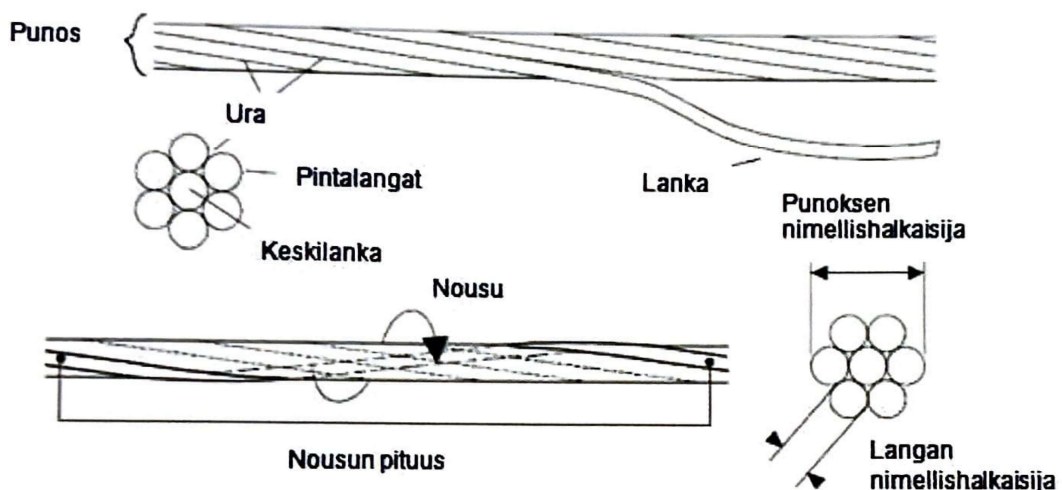
- Reikäkoko sementtilaastilla 1,5 kertaa pultin halkaisija tai hartsijuotoksella pultin halkaisija + 5–9 millimetriä
- Juotosaine sementtilaastista tai hartsipatruunasta valmistajan ohjeiden mukaisesti.

**Soveltuvuus:**

- Käytetään juotetun harjateräspultin tapaan
- Soveltuu uudestaan louhittavaan kallioon

**3.2.3 Jännepunospultti**

Jännepunos on korkealaatuisesta teräslangasta valmistettu punos, joka muodostuu seitsemästä teräslangasta, joista kuusi teräslankaa on kierretty seitsemännen eli keskilangan ympärille (Kuva 13). Kallion lujituksessa yleisimmin käytetty jännepunos on halkaisijaltaan 15,2 millimetrin standardipunos. Suomessa valmistettävien jännepunosten nimellimitat ja lujuusvaatimukset ovat standardin SFS 1265 /8/ mukaiset.



KUVA 13. Jännepunoksen rakenne (RIL 266-2014, 11)

Jännepunoksella on korkea materiaalin murtolujuus, jolloin punoksen katkeamiseen vaadittava murtovoima on myös hyvin korkea suhteessa punoksen poikki-

pinta-alaan. Jännepunoksen rakenne ja suuri lujuus kiviainekseen verrattuna aiheuttavat sen, ettei jännepunokseen synny suuria leikkausvoimia, koska kallion liikkuaessa juotos ja kiviaines murtuu leikkauspinnan kohdalta punoksen alta, jolloin kuormitus muuttuu vedoksi.

Jännepunospultit soveltuvat erityisesti sellaisiin kohteisiin, joissa kallion lujituksesta edellytetään joustavuutta sallia kallion siirtymiä katkeamatta tiettyyn pisteeseen saakka. Tyypillisiä käyttökohteita ovat suuret avolouhokset ja syvät maanalaiset kaivokset (RIL 266-2014, 11).

Jännepunospultin yhteydessä käytetään yleensä muuta pulttista tai ruiskubetonointia täydentämään tuentaa (Vuorimiesyhdistys 1982, 528).

#### **Asentaminen:**

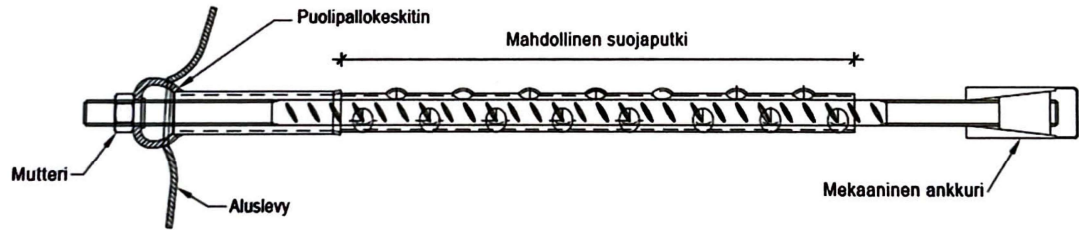
- Reikäkoko valittavissa porakaluston soveltuvuuden mukaan
- Juotetaan sementtilaastilla tai hartsilla.

#### **Soveltuvuus:**

- Käyttötarkoitus sama kuin muilla juotettavilla pulteilla
- Voidaan käyttää aluslevyä jännepunoslukon kanssa
- Pultin asennus mekanisoitavissa (Esim. Porajumbolla)
- Soveltuu hyvin pitkiin reikiin, 5–20 m porareikiin
- Samaan reikään pystytään asentaa useampi punos
- Esijännitettävissä hydraulisella tunkilla

#### **3.2.4 Yhdistelmäpultti (jälki-injektoitava paisuntakuoripultti)**

Yhdistelmäpultilla tarkoitetaan mekaanisesti ankkuroitua pulttia, joka voidaan juottaa paikalleen asentamisen ja jännittämisen jälkeen injektoimalla pulttia ja kalliota ympäröivä tila (kuva 14). Yhdistelmäpultti voidaan varustaa tankoa ympäröivällä suojaputkella, joka parantaa pultin korroosiosuojaa, sekä mahdollistaa pultin pidemmän käyttöiän. Yleisimmin yhdistelmäpulteissa käytettävät ankkurit ovat paisumakuoriankkureita, ja tarvittaessa pultti voidaan esijännittää. Se voi siis toimia aktiivi- tai passiivipulttina.



KUVA 14. Yhdistelmä pultin periaate (RIL 266-2014, 12)

Yhdistelmäpultteja (paisuntakuoripultteja) käytetään paikoissa, joissa tarvitaan sekä välitöntä että lopullista lujitusta. tarvittaessa pultin ja ruiskubetonoinnin yhteisvaikutusta voidaan parantaa asentamalla ja kiristämällä pulkki vasta ruiskubetonin kovettumisen jälkeen. (RIL 266-2014, 12.)

#### Asentaminen:

- Reikäkoko M20: 45–48 mm, M22 45–56 mm ja M33 64–70 mm
- Juotosaineena Sementtilaasti tai mikrosementti
- Injektointi paineena käytetään 10–30 bar. Max 60 bar (riippuen kalliosta)

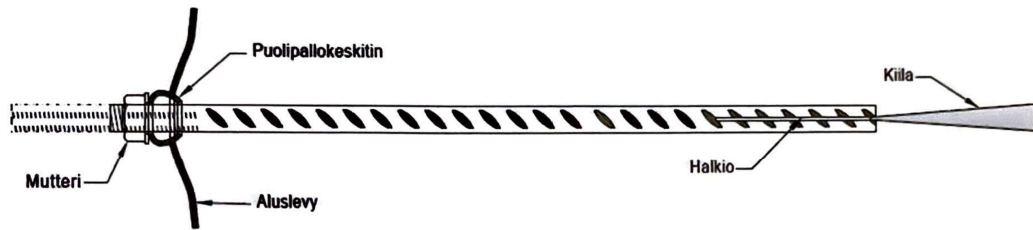
#### Soveltuvuus:

- Soveltuu välittömään tai lopulliseen lujitukseen
- Kohteissa, joissa edellytetään pitkäaikaista lujitusta tai ympäristöolosuhteet ovat vaativia korroosion kannalta, mutta tulee huomioida korroosiosuojaus hyvin.
- Saatavana valmiiksi kuumasinkittynä ja epoksipinnoitettuna
- Muokattavissa asiakastarpeiden mukaisesti esim. ankkurin koko ja materiaali

### 3.2.5 Kiila-ankkuroitu pultti

Kiila-ankkuripultti on mekaanisesti ankkuroitu kalliopultti, jonka vartena toimii harjaterästanko. Tangon toinen pää on halkaistu ja halkeamaan on sijoitettu kiila (Kuva 15). Kun pultti työnnetään porausreikään kiilapää edellä, niin kiila painautuu porareian pohjaa vasten samalla työntyen raon sisään, mikä aiheuttaa pultin

pään laajentumisen ja kiilautumisen kallion seinämiä vasten. Pultin ulompi pää kiristetään aluslevyllä ja mutterilla kallionpintaa vasten. (RIL 266-2014, 13)

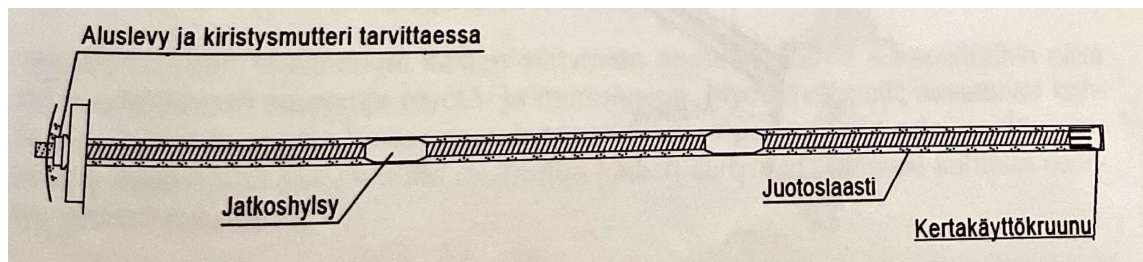


KUVA 15. Kiila-ankkuroitu pultti (RIL 266-2014, 13)

Kiila-ankkuroidulla pultilla saadaan käytännössä tuplattua lujituksen varmistus.

### 3.2.6 Porapultti

Porapultti on itsestään porautuva jatkettava pultti, joka koostuu huuhtelureiällisestä, jatkuvalla ulkokierteelle varustellusta jatkettavista terästangoista, ulkopuolisista kierreholkki-jatkoksista ja porakruunusta (Kuva 16). Tarvittaessa porapultissa voidaan käyttää keskittimiä, jännitysmutteria ja aluslevyä.



KUVA 16. Porapultin periaate (RIL 266-2014,13)

Porapultti valmistetaan teräksestä ja terästangon normaali pituus on 2–4 metriä ja sitä pystytään katkaista tarvittavan mittaiseksi ja toisin myös liittää jatkoshylsyillä jatkettavaksi. Siis porapultin pituutta on mahdollista säätää sopivalle pituudelle riippuen porareian vaadittavasta mitasta. Yleisimpien lujituksessa käytettävien porapulttien nimellishalkaisijat vaihtelevat välillä 30–44 mm.

Vaikkakin porapulteissa on itsessään porakruunu, niin niiden asennuksessa suositellaan esiporausta, jos se on mahdollista ja kallio sen suosii. Porapultti soveltuu

hyvin kohteisiin, joissa porausreikä helpolla tukkeutuu heikon kalliolaadun takia, kun poratanko vedetään ulos. Tällöin porapultti jätetään porauksen jälkeen paikalleen reikänsä ja juottaminen tehdään injektoimalla pultin läpi. Porapultteja voidaan myös käyttää sen jatkettavuuden ansiosta kohteissa, joissa tarvitaan normaalia pidempää pultitusta. (RIL 266-2014, 13.)

**Asentaminen:**

- Porataan pultissa olevan kertakäyttöisen porakruunun avulla
- Juotosaineena sementtilaasti

**Soveltuvuus:**

- Käytetään erittäin rikkonaisessa kalliossa, jossa vaarana on reiän sortuminen
- Jatkettavana pitkiksi pulteiksi jatkoshylsillä.

**3.3 Pulttien korroosiosuojaus**

Teräspulttien korroosiosuojaus määritellään tapauskohtaisesti suunnittelijan toimesta. Taulukossa 1 on annettu yleisluonteinen ohje korroosiosuojauksista eri käyttöolosuhteissa. Vaativissa ja erityisenvaativissa käyttöolosuhteissa on syytä harkita korroosiosuojauksen sijasta myös ruostumattoman tai haponkestävän pultti materiaalin käyttöä (RIL 266-2014, 19).

TAULUKKO 1. Teräspulttien korroosiosuojaus (InfraRyl n.d.)

Laatuluokka	Korroosiosuojaus
1 Tavanomaiset olosuhteet <ul style="list-style-type: none"> <li>• kallio on riittävän tiivis eikä tiivistämistoimenpiteitä tarvita tai</li> <li>• esi-injektointi on tehty ja kallio on tiivis tai</li> <li>• suunnitteluikä on normaali</li> </ul>	korroosiosuojaamaton teräspultti, joka on juotettu sementtilaastilla <sup>1)</sup>
2 Vaativat olosuhteet <ul style="list-style-type: none"> <li>• pulttista käytetään rakenteen tartuntana tai</li> <li>• lujitusrakenteen käyttötarkoitus tekee rakenteen tarkastuksesta ja korjaustoimenpiteistä vaikean tai</li> <li>• suunnittelukäyttöikä on pitkä</li> </ul>	kuumasinkitys <sup>2) 1)</sup>
3 Eriyisen vaativat olosuhteet <ul style="list-style-type: none"> <li>• pultitus on alttiina merivedelle tai muuten aggressiiviselle pohjavedelle tai kemikaalille tai</li> <li>• suunnittelukäyttöikä on huomattavan pitkä</li> </ul>	kuumasinkitys <sup>2)</sup> ja epoksilla märkä- tai jauhemaalauksella <sup>3)4) 1)</sup> <b>tai</b> kaksoiskorroosiosuojaus (aaltoputki + sementti) <sup>1)</sup>

Taulukossa numerointi 1, 2, 3 ja 4 tarkoittavat seuraavaa:

1. Juotettu sementtilaastilla vaatimusten mukaisesti
2. Käsitelty kuumasinkityksellä SFS EN ISO 1461 mukaisesti
3. Käsitelty märkemaalauksella SFS 12944 mukaisesti
4. Käsitelty jauhemaalauksella EN 13438 mukaisesti

### 3.3.1 Kuumasinkitys

Kuumasinkityksessä teräspultti päällystetään sinkityksellä standardin SFS-EN ISO 1461 mukaisesti. Sinkkikerroksen paksuus ei tulisi ylittää 250 µm:n paksuutta halkeiluvaaran vuoksi. Kuumasinkityt teräspultit tulee passivoida ennen käyttöönottoa tai antaa niiden passivoitua itsestään ulkosäilytyksessä standardin SFS 1266 mukaisesti ja huolehdittava, ettei sinkitys vaurioidu asennuksen yhteydessä (RIL 266-2014,19).

### 3.3.2 Märkämaalaus ja jauhemaalaus epoksilla

Märkämaalauksessa ja jauhemaalauksessa pultti käsitellään maalaamalla epoksilla. Märkämaalauksessa pintakäsittely tulee tehdä standardin SFS 12944 ja jauhemaalauksessa EN 13438 mukaisesti.

Suunnittelija määrittelee tapauskohtaisesti, kumpaa menetelmää kohteessa tulee käyttää, kuten myös standardin SFS-EN ISO 12944 mukaisesti ilmastoluokan, vesi ja maaperä luokan, kokonaisnimelliskalvopaksuuden, kestävyys ja sideaineen. Suunnittelija määrittelee myös märkämaalauksella tehtävän pultin tapauksessa maalauspaikan, että tuleeko se maalata suoraan kohteessa vai tehtaalla. Käyttäessä jauhemaalausta on pinnoitteen pysyvyys parempi kuin märkämaalauksella. (RIL 266-2014, 20.)

#### 4 PULTITUKSEN ASENNUS

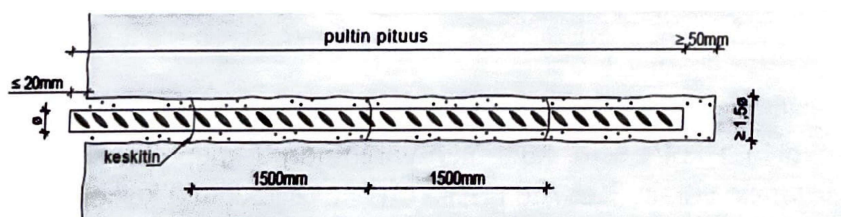
Pultit asennetaan lähtökohtaisesti rakoja leikkaavasti sitomaan kalliolohkoja toisiinsa tai vastaavasti kohtisuoraan kallionpintaa vasten. Pulttien sijainti, suuntaus ja pituudet määritetään kohdekohtaisesti suunnittelijan toimesta. Pultin sijainti saa poiketa suunnitelman mukaisesta tarkepisteestä korkeintaan 150 mm ja asennuskulma saa poiketa korkeintaan 7 astetta suunnitelman mukaisesta suunnasta (kuva 17). Pinnoitettujen pulttien säilytyksessä ja kuljetuksessa on huomioitava pinnoitusmateriaalien herkkyys mekaanisille vaurioille (RIL 266-2014, 21).



KUVA 17. Pultin asennustarkkuus (RIL 266-2014, 21)

Pultti tulee työntää juotosmassalla täytettyyn reikään tasaisesti ja yhtäjaksoisesti käsin tai syöttölaitetta apuna käyttäen. Pultin edestakainen liike, sen lyöminen ja syöttölaitteen isku ovat ehdottomasti kielletty. Asennusvaiheessa pulttia ei saa taivuttaa, sekä juotoslaastin tulee täyttää reikä täydellisesti ja juotoslaastin tulee ympäröidä pulttia koko matkalta.

Asennetun pultin ulosjäävä osuus saa olla enintään 20 millimetriä. Pulttia ei saa työntää reiän pohjaa vasten, vaan sinne on jätettävä riittävä suojabetonikerros (kuva 18). Pulttien on oltava täysin koskemattomia siihen saakka, että juotoslaasti on sitoutunut ja kovennut.



KUVA 18. Pultin asennus periaate (RIL 266-2014,22)

Jos pultitus työtä joudutaan suorittamaan lähellä räjäytys kohtaa, on tällaisten pulttien käyttö pysyvänä lujitusrakenteena selvitettävä erikseen. Sementtilaastijuotosta käytettäessä voidaan riittävänä etäisyytenä pitää 30 metrin matka tai 2 vuorokauden aikaero pultitus- ja räjäytystöiden välillä (RIL 154-2, 30).

Vettä vuotavaan pultin reikään ei saa asentaa juotettua pulttia, vaan reikä injektoidaan ensin kuivaksi. Vaihtoehtoisesti vuotavaan reikään voidaan asentaa paineella jälki-injektoitavaa paisuntakuoripulttia tai kuumasinkittyä ja epoksinnoitettua porapulttia tai muuta jälki-injektoitavaa pulttia. Juotos injektoidaan suunnittelijan erillisoheeseen mukaisesti (RIL 266-2014, 22).

#### **4.1 Poraus**

Pultinreikien poraus tapahtuu pääsääntöisesti poravaunulla (Kuva 19) työsuunnitelmissa annettuun syvyyteen suunnittelijan ohjeiden mukaisesti. Poraussyvyudet vaihtelet kallion rikkonaisuuden takia, mutta yleisimmät hyödyke syvyudet ovat noin. 2–10 metriä. Porauksen aikana on huomioitavat mahdolliset sortuma ja heikkousvyöhykkeet, jotta pultin asennuksessa ei tulisi ongelmia. Mikäli porauksen aikana tehdään huomio esimerkiksi kallion epäjatkuvuuskohdista ja porareian sortumista, niin reikä on mahdollista porata vanhan reiän viereen tai käyttää mahdollisesti porapultteja. Reiän/kallion sortumista ja epäsäännöllisestä rikkonaisuudesta ilmoitettava myös suunnittelijalle.

Poratuista reistä pidetään porauspöytäkirjaa liitteen 1 mukaisesti. Pöytäkirja luovutetaan valvojalle/suunnittelijalle porauksen jälkeen tai lujitustyön valmistuttua. Pöytäkirjaan merkitään seuraavia asioita muun muassa:

- Työn tilaaja
- Työmaa ja päivämäärä
- Porauksen tarkoitus (Pultitus/injektointi)
- Reikä koko ja kaltevuus
- Reiän numero ja syvyys
- Mahdolliset havainnot ja niiden syvyys (sortumat/epäjatkuvuuskohdat)



KUVA 19. Poravaunu Atlas Copco Roc D3 (Aaltonen)

Porattavan pulttireiän halkaisija harjateräspultilla on oltava vähintään 1,5 kertaa pultin halkaisija, sekä vähintään 10 mm suurempi kuin pultin halkaisija (taulukko 2). Reiän pituuden on oltava vähintään 50 millimetriä pidempi kuin reiässä olevan kalliopultin pituus (RIL 266-2014, 21).

TAULUKKO 2. Porareiän vähimmäishalkaisijat suhteessa pultin halkaisijaan (RIL 266-2014, 21)

Pultin halkaisija (mm)	Porareiän vähimmäishalkaisija (mm)
20	30
25	38
32	48

## 4.2 Juotos

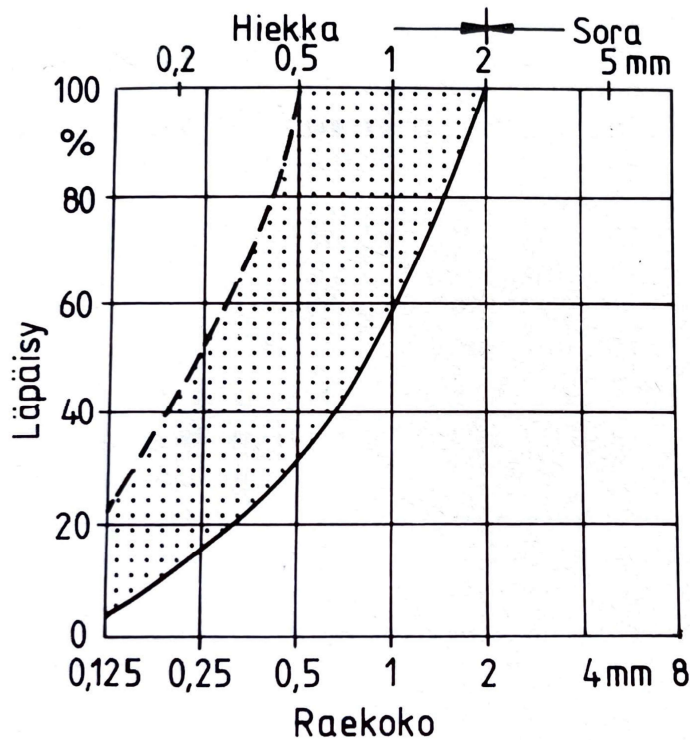
Ennen asennustyötä porattu reikä huuhdellaan vedellä tai puhalletaan paineilmalla puhtaaksi irtokivistä, porapölystä ja muusta liasta, jotta juotos reikä on mahdollisimman puhdas. Asennustyö aloitetaan täyttämällä reikä juotosmassalla reiän pohjalta. Täyttöletkua vedetään reiän pohjalta tasaisesti ja yhtäjaksoisesti täyttymisen myötä siten, ettei reikään jää ilmavälejä. Reikä tulee täyttää juotosmassalla reiän suuaukkoa myöten tai sen yli, jotta ollaan varmoja reiän täyttymisestä. Jos juotosmassaan on jäänyt ilmataskuja niin ne havaitaan laastin roiskumisella reiästä, kun pulttia työnnetään reikään. Ilmataskujen havaitsemisen jälkeen tulee pultti vetää ulos reiästä, huuhdella reikä uudelleen, jonka jälkeen pultti uudelleen juotetaan takaisin (RIL 266-2014, 22).

### 4.2.1 Sementtilaasti

Sementtilaasti juotoksen alin lujuus- ja rakenneluokka on C28/35–2, ellei suunnitelmassa muuta todeta. Suunnittelijan tulee määrätä rasitusluokat ottaen huomioon ympäristöolosuhteet ja käyttötarkoituksen BY50 2012 mukaisesti. Laastin osa-aineita ja niiden ominaisuuksia koskevat standardin SFS-EN 206-1 ja sen kansallisen liitteen SFS 7022 mukaiset vaatimukset. Laastin vedenerottuminen saa olla korkeintaan 3 tilavuusprosenttia, sekä laastin tilavuus saa pienentyä enintään 2 % ja kasvaa 10 %. (RIL 266-2014, 17.)

Sementtilaastijuotosta käytettäessä ei kallion eikä pultin lämpötila saa laskea alle +5 astetta pultin asentamisesta seuraavan kolmen vuorokauden aikana. Jos luji-tettava kohta joutuu alttiiksi jatkuville säänvaihteluille, on käytössä olevan laastin oltava pakkasbetonia (RIL 169-1987, 62).

Betonijuotetussa pultissa käytetty juotosmassa sisältää portlandsementtiä ja hiekkaa suhteessa 1:1. Jossain paikoin käytetään pelkkää veden ja sementin seosta, jolloin juotosmassan vesisementti suhteen tulee olla pienempi kuin 0,6 ja juotosmassan tulee olla kuvan 20 esittämän ohjekäyrän mukaista.



KUVA 20. Juotoslaastin kiviaineksen rakeisuusalue (Vuorimiesyhdistys 1982, 528)

Lisäaineena käytetään tavallisimmin bentoniittisavea parantamaan massan koossapysyvyyttä. Valmiissa massassa bentoniittia saa olla korkeintaan 2 % sementin kokonaispainosta. Sitoutumisen nopeuttamiseksi voidaan käyttää erinäköisiä kiihdyttimiä, mutta niiden käyttö samalla heikentää juotosmassan lujuutta, joten tästä syystä kiihdyttimien käyttö rajoittuu vain erikoistapauksiin ja suunnittelijan laatimiin ohjeisiin. (RIL 154-2, 24.)

Sementillä juotetun pultin etuina voidaan mainita:

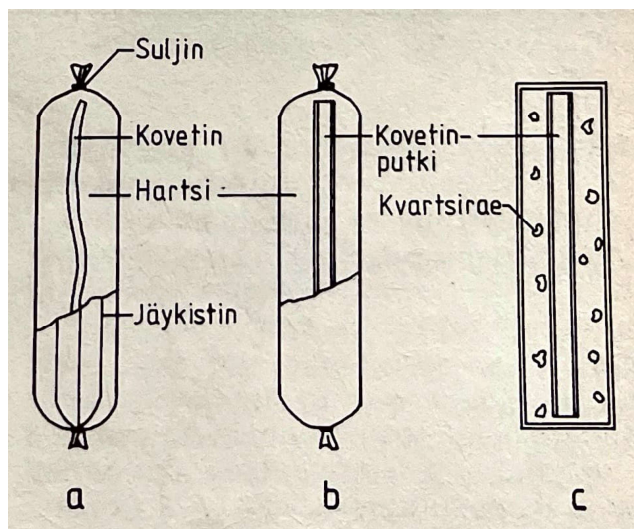
- Hyvä korroosionkestävyys
- Tunnettu ja hyvin opittu kiinnitystekniikka
- Halpa (standardit ainesosat)

Haittapuolina voidaan mainita:

- Hidas toimivuus mm: sitoutuminen kestää min. 1 vuorokauden
- Esijännitys suoritettava jälkeinpäin
- Mekanisointi vaikeaa

#### 4.2.2 Hartsi

Hartsipatruunat koostuvat kahdesta eri komponentista muun muassa polyesterihartsista ja kovetin aineesta, joka on patruunan keskellä. Kuvassa 21 on esitettyä erilaisia patruuna tyyppiejä (RIL 154-2, 26).



KUVA 21. Erilaisia hartsijuotoksessa käytettäviä patruunatyyppejä (RIL 154-2, 27)

Hartseja on myös mahdollisuus käyttää irtonaisina, jolloin hartsi ja kovetin, pumpataan omista säiliöistä, sekä letkuista porareikään. Kovettimen ja hartsin sekoittuminen tapahtuu pumppausputken päässä. Hartsien irtonaisena pumppaamisesta ei saadut kokemukset ei ole olleet vielä niin hyviä kuin vaadittaisiin. (RIL 154-2, 26.)

Hartsilla tehty juotos kovettuu jopa kahdessa minuutissa, jolloin voidaan puhua välittömästä tuennasta. Hartsipatruuna ei ole sementtijuotokseen tapaan niin herkkä kylmille olosuhteille eikä räjäytystärinöille (Masino n.d).

Hartsia käytettäessä tulee noudattaa valmistajan antamia ohjeita, joissa määritellään seuraavat asiat: (RIL 266-2014, 17)

- kemiallinen kestävyys
- lujuusominaisuudet
- myrkyllisyys

- lämpötilan vaikutus.

Hartsijuotoksia käytettäessä on noudatettava hartsin valmistajan antamia ohjeita käyttölämpötiloista (RIL 169-1987, 62). Kovettumisajat ovat kuitenkin voimakkaasti riippuvaisia lämpötilasta: lämpötilan laskiessa kovettumisajat pitenevät. Käytännön asennusolosuhteissa saattavat kovettumisajat olla moninkertaisia verrattuna annettuihin lukuihin (RIL 154-2, 26).

Hartsilla juotetun pultin etuina voidaan mainita:

- Hyvä korroosiokestävyys (kokonaan juotettu pultti)
- Hyvä värinä kestävyys (lasikuitupultti)
- Heti lujittuva / toimintavalmis
- Helppo esijännittää (nopea koestus)
- Voidaan käyttää myös vesireissä
- Pultin kiinnitys helposti mekanisoituvissa hartsia käytettäessä

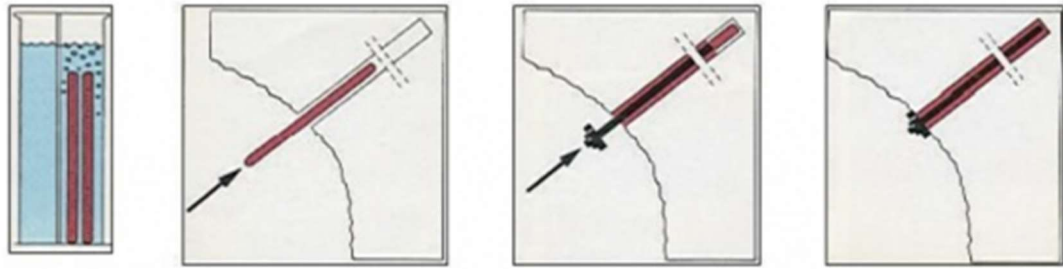
Haittapuolina voidaan mainita:

- Korkea hinta
- Kiinnitystekniikka mekanisoimattomana ei kovin hyvin tunnettu
- Vaatii teräväkärkisen pultin (Patruunaan hajoamiseen)

### **4.3 Erikoisemmat juotos materiaalit**

#### **4.3.1 Cembolt**

Cembolt on Ruotsalaisten keksimä märkälujasta paperista valmistettu patruuna, jonka sisällä on sementin ja erikoislisäaineiden seos jauhe. Kuvassa 22 on esitetty cemboltin toimintaperiaate, jossa pultinreikään työnnetään vedessä uitettu cembolt patruuna, jonka jälkeen pultti työnnetään reikään, jolloin patruuna särkyy ja juotosmassa täyttää pultin ja kallion välisen tilan.



KUVA 22. Cemboltin toiminta periaate (Cembolt-cme n.d.)

Cemboltin sitoutuminen on nopeaa ja se saavuttaa kantavuuden 5 tonnia/m noin kolmessa tunnissa. Menetelmä soveltuu etenkin kohteisiin, joissa pulttustarve on vähäinen, jolloin erillistä asennus- ja massankäsittelylaitteistoa ei kannata hankkia kustannus syistä. Toinen tärkeä käyttökohte on nopeaa sitoutumista vaativat pultitus kohteet. (RIL154-2, 25).

#### 4.3.2 Cemicron 2000

Cemicron 2000 juotospatruunassa sementti, kiviaines ja lisäaineet on pakattu yhteen. Massan kovettamisessa tarvittava vesi on patruunassa pienten vahapallojen sisälle, jotka hajoavat pulttia työntäessä reikään ja ns. sekoitellaan samalla (teräväkärkistä pulttia pyöritellään), jolloin vesi ja sideaineet sekoittuvat keskenään ja saadaan tällöin valmis hartsi juotos. Koe pulttauksissa cemicron patruunalla on saavutettu 5tonnia/m lujuus 2,5 minuutin kovettumisajalla. (RIL154-2, 25.)

## 5 LUJITUKSEN MITOITUS

Kallionrakennuskohteen tarkempi mitoitus tapahtuu aina tapauskohtaisesti suunnittelijan toimesta. Kuitenkin yleisesti voidaan sanoa, että tiloissa, joissa oleskelee ihmisiä, on korkeammat lujuusvaatimukset pysyvyyden suhteen. Lisäksi vahvistus lujituksen laskennassa on otettava huomioon rakoisuuden vaihtelu, sekä ammunnan johdosta särkyneen vyöhykkeen suuruus. Seuraavaksi tarkastellaan lujituksen mitoitusta lähes ainoastaan pultituksen kannalta, joka on Suomessa pääsääntöisesti yleisin kalliorakenteen lujituksessa käytetty menetelmä.

### 5.1 Kallion RG-luokitus

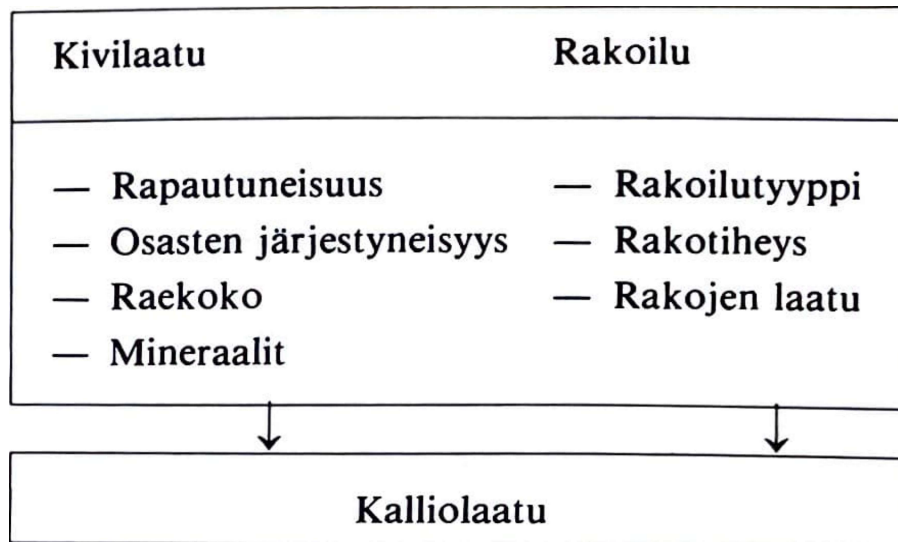
RG-luokitus eli rakennusgeologinen kallioluokitus on Suomessa 1970-luvulla kehitetty kalliolaatua kuvaileva luokitusjärjestelmä. Kalliolaatua määritellään kivilaadun ja rakoilun avulla. Kivilaadusta arvioidaan rapautuneisuutta, osasten järjestyneisyys, raekoko ja mineraalit, rakoilusta rakoilutyypit ja rakojen laatu. (Liikennevirasto 2018, 74)

Rakennusgeologinen kallioluokitus (RG-luokitus) perustuu tutkijan visuaalisiin havaintoihin kiviaineksesta ja kalliosta. Havainnot tehdään kallionpaljastumista, näytekappaleista ja -aineksesta tai edustavista kairausnäytteistä. Tarvittaessa RG-luokitusta pystytään täsmentää ja tarkentaa laboratoriotutkimuksin. (RIL154-1, 78)

Kivilajin asemasta RG-luokituksessa käytetään nimitystä kivilaatu, jonka muodostavat teknisiltä ominaisuuksiltaan samankaltaiset kivilajit (Vuorimiesyhdistys 1982, 73). Laajempien kalliokokonaisuuksien kiviainesta ja rakennetta kuvaa kalliolaatu, joka on sisällöltään analoginen kivilaadun kanssa. Kivilaataa määritetään noin  $1m^2$  alalta kallion pinnasta tai noin 1 metrin pituudelta kairausnäytteestä (RIL 154-1, 78).

Taulukossa 3 on esitetty kivilaadun ja rakoilun RG-luokituksen luokitusperusteita. Kivilaatua tunnistettaessa kalliopinnasta tai näytteestä määritetään rapautuneisuus, osasten järjestyneisyys, mineraalien vallitseva raekoko ja päämineraalit. Rakoilusta rakoilutyyppi, rakotiheys, sekä rakojen laatu (Vuorimiesyhdistys 1982, 74).

TAULUKKO 3. Kivilaadun ja rakoilun tunnistetta (Vuorimiesyhdistys 1982, 73)



Kiviaineksen teknisistä ominaisuuksista voidaan tehdä päätelmiä silmämäärin havaittujen geologisten ominaisuuksien perusteella. näitä ovat muun muassa:

- mineraalikoostumus
- mineraalien raekoko
- raemuoto
- mineraalien välinen sidos
- mineraalien järjestyneisyys
- rapautuneisuus
- homogeenisuusaste
- vesipitoisuus

Taulukossa 4 määritetään Kalliolaadun rakenteellinen kiinteytys, rakennetyyppi, ja rakoilun sekä vallitsevien kivilaatujen mineraalikoostumuksen mukaan kalliion koivuus, sitkeys, pehmeys ja hauraus.

TAULUKKO 4. Kalliolaadun kuvaus (Vuorimiesyhdistys 1982, 759)

Rakenteellinen kiinteys	Rakennetyyppi	Tihein rakoilu	Vallitsevien kivilaatujen kovuus/sitkeys
kiinteä kallio	massarakenteinen	harvarakoinen vähärakoinen runsarakoinen	Ma1 Ma2 Ma3
	liuskerakenteinen	harvarakoinen vähärakoinen runsarakoinen	Li1 Li2 Li3
	seosrakenteinen	harvarakoinen vähärakoinen runsarakoinen	Se1 Se2 Se3
löyhä kallio	löyhärakenteinen	harvarakoinen vähärakoinen runsarakoinen	Lö1 Lö2 Lö3
	raparakenteinen	kuvataan kivilaadun perusteella siinä laajuudessa kuin se on rapautumisaste huomioonottaen mahdollista	
rikkonainen kallio	halkeamarakenteinen	kallio jakautuu tasaisesti kahteen erilliseen osaan	
	rakorakenteinen	runsarakoinen	ei rakotäytettä
	murrosrakenteinen	tiheärakoinen	rakojen täytteisyys vähäistä
	ruhjerakenteinen	runsas tai tiheärakoinen	raoissa savitäytettä
	savirakenteinen	–	runsaasti kalliosavea

Kallion teknisiä ominaisuuksia voidaan määritellä myös seuraavin tavoin:

- kiviaines
- kiviaineksen homogeenisuus
- kiviaineksen ja samalla kallion suuntaus, sekä rakenteet
- rakoilun laatu ja tiheys
- rakoilun homogeenisuus
- rapautuneisuus
- kalliovesi

Kallion rakennusgeologisen määrittelyn perusteella voidaan tehdä hyvin pitkälle vedettyjä johtopäätelmiä kohteen rakennusteknisistä ominaisuuksista. RG-luokituksella ilmaistun kalliolaadun ja kallion rakennettavuuden välistä suhdetta kuvataan taulukossa 5. (RIL 154-1, 78) Taulukko on koottu kalliolaadun ja louhintakemusten vertailulla noin 150 työkohteesta.

TAULUKKO 5. Työmaatapahtumien ja kalliolaadun vertailua (Vuorimiesyhdistys 1982, 77)

Työmaatapahtumat	Kalliolaatu yleensä
louhinnassa ei yleensä vaikeuksia, lujitustarve pieni, satunnaisia vesivuotoja	Ma1/h (M0 tai M1) Ma2/h (M0 tai M1) Li1/h (L2) Se1/h tai k (S0, S1 tai S2) Se2/h tai k (S0, Si tai S2)
louhinnassa ei yleensä mutta satunnaisesti vaikeuksia, lujitustarve keskimääräinen, paikoin keskimääräistä suurempi, satunnaisia vesivuotoja	Ma3/h (M0 tai M1) Li2/h tai k (L2) Se3/h tai k (S1 tai S2)
louhinnassa, lähinnä porauksessa ja irrotuksessa usein vaikeuksia, lujitustarve keskimääräistä suurempi, satunnaisia vesivuotoja, normaalein louhintamenetelmin saatu louhintajälki yleensä huono	Li2/h tai k (L3) Se3/h tai k (S3)
louhinnassa usein (ei välttämättä) vaikeuksia ja satunnaisesti (varsinkin asutuskeskuksissa) työn hidastumista, usein runsaita injektointia vaativia vesivuotoja, lujitustarve keskimääräistä suurempi, louhintajälki yleensä heikohko	RiIII eli murrosrakenteinen kallio
louhinnassa usein vaikeuksia ja työn hidastumista, lujitustarve suuri, satunnaisesti louhinnan aikaisia lujitustöitä, lujituksen suorituksessa usein vaikeuksia jos lujitystyötä ei suoriteta heti, vesivuotoja	RiIV, eli ruhjerakenteinen kallio (sekä kapeat RiV-vyöhykkeet)
louhinnassa vaikeuksia ja työn hidastumista, louhinnan aikaisia lujitustöitä, lujitustarve suuri, lujitustöissä vaikeuksia, vesivuotoja, ryöstymä- ja sortumavaara aiheuttaa usein työkatkoja	laaja RiV eli savirakenteinen kallio

## 5.2 Kallion Q-luokitus

Yksi kalliorakennuksessa yleisimmin käytettyjä luokituksia on Q-luokitus eli NGI-luokitus, jonka ovat kehittäneet Barton, Lien ja Lunden Norjan Geoteknisessä instituutissa 1970-luvun puolivälissä. Luokituksen pohjana on noin 200 erilaista kalliotilaa käsittänyt tutkimus, jossa tilastollisesti määritettiin kuusi kalliotilan tarpeen kanssa parhaiten korreloivaa kallion ominaisuutta (RIL154-1,94). Näiden ominaisuuksien perusteella saadaan määritettyä Q-luku, jonka avulla edelleen määritellään kalliotilan lujitustarve seuraavan kuuden lähtöparametrin avulla (Vuorimies 1999, 16).

1. RQD-luku,
2. rakosuuntien lukumäärätekijä  $J_n$ ,

3. rakopintojen karkeusluku  $J_r$ ,
4. rakopintojen muuttuneisuusluku  $J_a$ ,
5. rakojen vedenläpäisevyysluku  $J_w$ ,
6. jännitysluku SRF.

Edellä mainittujen kallion lähtöparametrien perusteella voidaan määrittää laskennallisesti Q-luku seuraavasta kaavasta:

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

Näin laskettu Q-luku kuvaa kallion laatua.

Q-luokitusta käytetään mm. kalliomekaanisten laskentaohjelmien lähtöarvojen määrittämiseen, kalliorakennuskohteen alustavaan lujitussuunnitteluun ja työnäikaiseen lisälujitusten määrittämiseen. Q-luokituksella saadaan tietoa kalliomasan (ei kiven) lujuusominaisuuksista. Kalliorakennuskohteen lujitussuunnittelussa täytyy ottaa Q-luvun lisäksi huomioon yksittäisten heikkousvyöhykkeiden vaikutus ja sen toiminta.

Q-luku voidaan määrittää kallionäytekairauksen sydännäytteistä sekä kartoittamalla näkyvää kalliopintaa esimerkiksi tunnelissa, kallioleikkauksissa ja kallioaljastumilla. (Liikennevirasto 2018 ,73)

### 5.3 Pultituksen mitoitus

Pultin ja kallion yhteistoiminnalla on tarkoituksena saada aikaan staattisesti toimiva kokonaisuus. Pultituksella voidaan vähentää kalliolohkareiden ja kiinnittää irtonaiset kallion osat kiinteään kallioon (RIL 154-1, 352).

Tilastollinen lujitustarveluokitus on usein käyttö kelpoinen suunnittelun alkuvaiheessa. Varsinainen mitoitus perustuu useimmiten havainnointiin paikan päällä, käytännön kokemuksiin tai määräyksiin (INSKO 1982, 35–82).

Huolimatta pultituksen laajasta käytöstä mitoitus tapahtuu aina usein ilman tarkkaa teoriaa. Syvässä kalliotiloissa on kallion jännitystilalla suurin merkitys. Pienemmissä jännitystiloissa rakoilun määrällä on suurin asema mitoituksessa. Näiden asioiden lisäksi jänneväli, tilan korkeus, poikkileikkausmuoto, louhintatapa, pultitusajankohta ja vedenvirtaus tai paine ovat pulttien mitoitukseen vaikuttavia tekijöitä.

Pulttitustavat voidaan jakaa hajapulttitukseen, missä yksittäisten pulttien paikat, suunnat ja pituudet määritetään paikan päällä, kuten kuvassa 23. Kun taas systemaattista pulttitusta käytetään yleisimmin vaikeissa olosuhteissa, sekä pultituksen mitoitus perustuu enemmän tutkimuksiin ja laskelmiin. (Vuorimiesyhdistys 1982, 531.)



KUVA 23. Kalliolohkot sidottu hajapultituksella (Aaltonen)

### 5.3.1 Mitoitus kokonaiskuormituksen avulla

Seuraavassa kohdassa olevia mitoituskaavioita ja taulukoita voidaan käyttää, mikäli pulteille tuleva kokonaiskuorma voidaan arvioida.

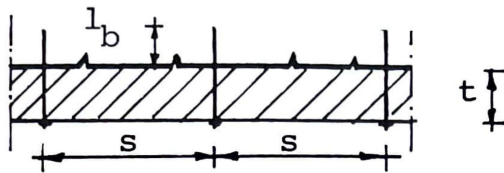
Kalliokaton passiivisen pultituksen pulttivälin määrittämiseksi voidaan käyttää kuvion 1 nomogrammia ja kuvaa 24, josta saadaan kallionkaton osapaksuus, sekä pulttiväli. Nomogrammi on laadittu seuraavien alkuarvojen perusteella: (Vuorimiesyhdistys 1982, 531)

- pultit ovat juotettuja harjateräpultteja A 400 H (A 400 HS), alemmimyötöraja  $400 \text{ MN/m}^2$ ,
- sekä pulttiväli määräytyy yhtälöstä

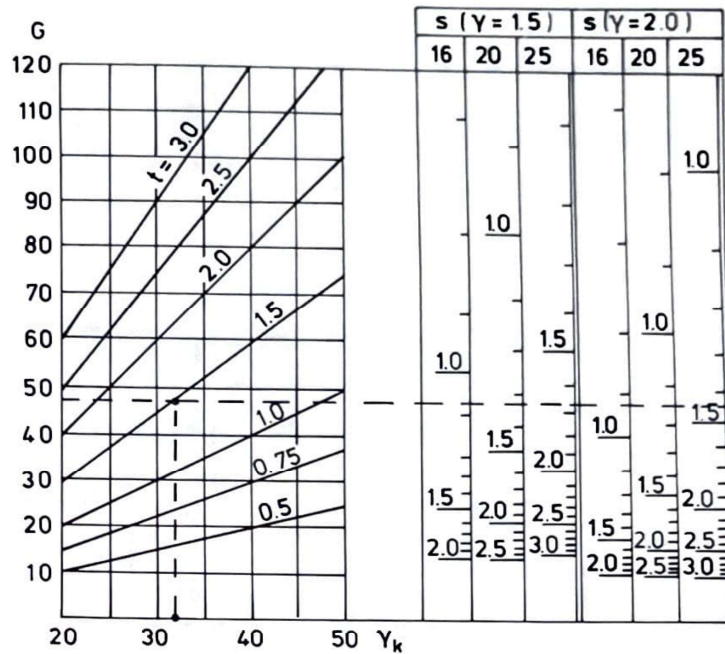
$$y_k * t * s^2 = \frac{A_s * f_{sk}}{y}$$

Missä:

- $y_k$  = kallion tilavuuspaino,
- $t$  = pultitettavan kallionkaton paksuus,
- $S$  = pulttiväli,
- $A_s$  = Pultin poikkileikkausala,
- $f_{s*k}$  = pultin alempi myötöraja,
- $y$  = pultin vetolujuuden varmuuskerroin.



KUVA 24.  $t$  = Kallion osapaksuus ja  $s$  = pulttiväli (Vuorimiesyhdistys 1982, 532)



- $\gamma_k$  = Kallion tilavuuspaino [ $\text{kN/m}^3$ ]  
 $t$  = Pultitettavan kallion paksuus [m]  
 $s$  = Pulttiväli molemmissa suunnissa [m]  
 $G$  = Pultitettavan kallion neliöpaino [ $\text{kN/m}^2$ ]  
 $\gamma$  = Pultin vetolujuuden varmuuskerroin

KUVIO 1. Nomogrammi pulttivälien määrittämiseksi (Vuorimiesyhdistys 1982, 531)

Kuvion 1 nomogrammi on laadittu kolmelle eri pulttikoolle  $\varnothing 16$  mm,  $\varnothing 20$  mm,  $\varnothing 25$  mm sekä kahdelle varmuuskertoimelle ( $\gamma = 1,5$  ja  $\gamma = 2,0$ ). Juotetun harjate-räs pultin vähimmäistartuntapituudet juotoslaastin lujuuksilla K25 ja K35 ehjään kallioon esitetään taulukossa 6. Taulukko on laadittu betoninormien BY 5 mukaan.

TAULUKKO 6. Pulttien vähimmäistartunta pituudet.  $I_b$  = pultin tartuntapituus mil-limetreinä. (Vuorimies 1982, 531)

	$\varnothing 16$	$\varnothing 20$	$\varnothing 25$
$I_b$ (K25)	465	580	725
$I_b$ (K35)	395	490	615

## Mitoitus leikkaukselle

Mitoittaessa pulttusta kallio leikkaukselle (esim. kallioseinä) voidaan pultin kantokyky laskea seuraavasta kaavasta (Vuorimiesyhdistys 1982, 532)

$$V_u = \frac{0,80 \cdot A_{sv} \cdot f_{sk}}{y}$$

Missä:

- $V_u$  = pultin kantokyky,
- $A_{sv}$  = pultin poikkileikkausala,
- $f_{sk}$  = pultin alempi myötöraja,
- $y$  = varmuuskerroin 1,5–2,0.

Leikkaukselle mitoitettu pultti on ankkuroitava ehjään kallioon tartuntapituuden  $I_b$  verran. Katso taulukko 6

Kun tietyn mittaisen kalliopultin vetokapasiteetti halutaan käyttää täysin hyväksi, että pultista ankkuroidaan ehjään, kantavaan kallioon vain vaadittu minimi-tartuntapituus eri pulttipituuksilla, niin tulee L määritellä taulukoista 7 ja 8.

TAULUKKO 7. Pulttiväli s (m) molemmissa suunnissa pultin vetolujuuden varmuuskertoimella  $y = 2,0$  (RIL 154-1, 354)

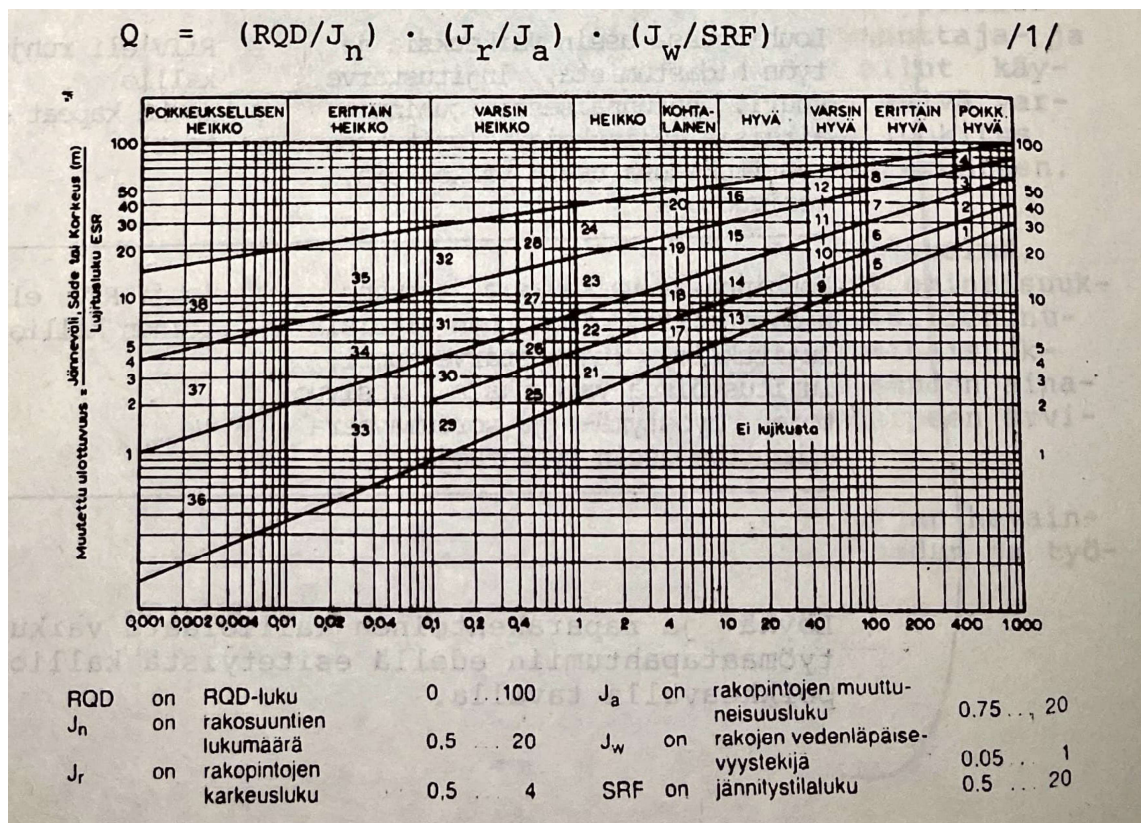
$\gamma_k$	Pultti Ø 20 (A 400 H)			Pultti Ø 25 (A 400 H)		
	L = 2,4	L = 3,2	L = 4,0	L = 2,4	L = 3,2	L = 4,0
20	1,31	1,09	0,96	1,71	1,41	1,23
25	1,17	0,98	0,86	1,53	1,26	1,10
30	1,07	0,89	0,78	1,40	1,15	1,00
35	0,99	0,83	0,72	1,30	1,07	0,93
40	0,93	0,77	0,68	1,21	1,00	0,87

TAULUKKO 8. Pulttiväli s (m) molemmissa suunnissa pultin vetolujuuden varmuuskertoimella  $y = 1,5$  (RIL 154-1, 354)

$\gamma_k$	Pultti Ø 20 (A 400 H)			Pultti Ø 25 (A 400 H)		
	L = 2,4	L = 3,2	L = 4,0	L = 2,4	L = 3,2	L = 4,0
20	1,52	1,26	1,11	1,98	1,63	1,41
25	1,36	1,13	0,99	1,77	1,46	1,27
30	1,24	1,03	0,90	1,62	1,33	1,16
35	1,15	0,96	0,84	1,50	1,23	1,07
40	1,07	0,89	0,78	1,40	1,15	1,00

### 5.3.2 Mitoitus Q-luvun perusteella

Q-luvun mitoituksessa lujitustaulukossa (Kuva 25) on vaaka-akselina Q-luku ja pystyakselina tunnelin jännevälin ja lujitusluvun ESR suhde kuvasta 26. Lujitustaulukon avulla voidaan määrätä lujitusluokka (luokat 1–38), jota vastaavat lujitusmäärät on esitetty luokituksessa. Kussakin luokassa lujituksen laatu on riippuvainen luokan rajoissa tapatuva kallion laadun tai jännevälin vaihtelusta, sekä suositellut lujitukset ovat pääasiassa erilaisia pultituksen ja ruiskubetonoinnin yhdistelmiä. Siirryttäessä kuvan 25 lujitustaulukossa vasemmalta oikealle kasvaa Q-luku ja kallion laatu paranee sitä myötä. Kun taas taulukossa siirrytään alhaalta ylöspäin niin kasvaa tunnelin jänneväli ja tarvittava lujitusmäärä suurenee. (INSKO 1982, 35–82.)



KUVA 25. Lujitustarve Q-luvun mukaan (INSKO 1982, 34–82)

<b>Louhittavan tilan tyyppi</b>		<b>ESR</b>
A	Väliaikaiset kaivos ym. tilat.	n. 3...5
B	Pystykuilut: pyöreät suorakaiteen muotoiset	n. 2,5 n. 2,0
C	Pysyvät kaivosperät, vesivoimalatunnelit (ei suuripaineiset), tutkimustunnelit pilot tunnelit	1,6
D	Varastot, vedenpuhdistamot, pienet tie- ja rautatietunnelit, vesivoimalaitosten aaltoilutilat, ajotunnelit yms.	1,3
E	Voimalaitokset, suuret tie- ja rautatietunnelit, väestönsuojat, pääsisäänkäynnit	1,0
F	Ydinvoimalaitokset, rautatieasemat, urheilu- ja yleisötilat, tehtaat yms.	0,8
G	Erittäin tärkeät kalliotilat joiden käyttöikä on pitkä, kaasuputkitunnelit	0,5

KUVA 26. ESR-luvun määräytyminen kalliotilan tyyppin mukaan (Syrjänen 2002)

## 6 MUUT KALLION LUJITUS TAVAT

Kalliopultituksen lisäksi käytettävissä on myös muita lujitusmenetelmiä kuten, ruiskubetonointi ja muut erinäiset tukirakenteet.

### 6.1 Ruiskubetonointi

Ruiskubetonoinnilla tarkoitetaan betonointimenetelmää, jossa betoni ruiskutetaan paineilman avulla kallion pintaa vasten kuten kuvassa 27. Massa voi olla valmiiksi sekoitettua (märkämenetelmä) tai vesi sekoitetaan ruiskun suuttimessa olevalla vesirenkaan kautta kuivamenetelmänä (Kalliorakentaminen suomessa, 146). Ruiskubetonin valmistus ja ominaisuudet ovat yleisesti ottaen tavanomaisen betoniteknologian mukaisia, joskin sillä on erikoispiirteitäkin. Puristuslujuus on 30–70  $\text{MN}/\text{m}^2$ , vetolujuus 1,5–3  $\text{MN}/\text{m}^2$  ja taivutusvetolujuus 4–8  $\text{MN}/\text{m}^2$ , sekä tartunta- ja leikkauslujuutta 2–5  $\text{MN}/\text{m}^2$ . Tavallisesta betonista ruiskubetoni eroaa jonkin verran suuremman vetolujuuden ja nopeamman lujuuskehityksen vuoksi. Paineen aiheuttama tiivistys sekä betonin koostumuksen muuttuminen ovat syynä näihin ominaisuuksiin.



KUVA 27. Ruiskubetonointi käynnissä (Aaltonen)

Betonimassan seassa käytetään monesti kuitu aineita parantamaan betonin veto- ja iskunkestävyyttä raudituksen sijasta. Kuitubetonissa käytettävät kuidut voivat olla teräs tai polymeerikuituja. Ruiskubetonointimassaan käytettävien ainesosien on täytettävä Betoninormien sille asetetut vaatimukset. Sementtinä käytetään yleensä tavallista sementtiä, jonka maksimi raekoko on luokkaa 8–16 mm. Betonimassaan voidaan kuitenkin lisätä erilaisia lisäaineita parantaakseen niiden ominaisuuksia, kuten kiihdyttimiä ja koheesiota lisääviä aineita. (RIL 154-2, 39)

Ruiskubetonointia ei saa suorittaa suojaamattomassa työkohteessa epäedullisissa sääolosuhteissa kuten sateella, kovalla tuulella tai silloin, kun on olemassa

jäätymisvaara. Työkohteen lämpötila on oltava vähintään +5 astetta työn suorituksen ja jälkihoidon ajan (RIL 169-1987, 67).

Ruiskubetonirakenteiden kelpoisuus tulee todeta normikokein sekä rakenteesta poratuista koekappaleista BY 29 mukaan. Ruiskubetonin ja kallion välinen tartunta tarkistetaan koputtamalla. Ruiskubetonin paksuus tarkistetaan valmiiseen ruiskubetoniin poratuista, halkaisijaltaan vähintään 20 mm reistä. Tarkistusreikiä porataan yksi kutakin alkavaa 200 neliömetrin ruiskubetonipintaa kohti (Kalliosuojien suunnittelu ja rakentaminen, 65).

## 6.2 Injektointi

Kallioinjektioinnilla tarkoitetaan täyteaineen yleisimmin sementtilaastin pumppaamista porareistä paineen avulla kalliorakoihin ja kallion muihin avoimiin osiin. Injektioinnin tarkoituksena on kallion rakojen tiivistäminen/lujittaminen, jotta käytävästä tilasta saadaan vesitiivis ja turvallinen sen käytön ajaksi.

Taulukossa 9 esitetään käytettyjä injektointiaineita ja ne voidaan jakaa suspensioihin, emulsioihin, ja kemiallisiin seoksiin. Injektointi aineena yleisimmin käytetty on sementin ja veden sekoitusta. Sementin huonona puolena on kuitenkin sen suhteellisen suuri maksimiraekoko (noin 0,1 mm), minkä takia, sillä voidaan varmuudella tukkia vain 0,6 mm tai sitä suuremmat raot. Suomessa yleisin käytetty sementti on portlandsementtiä. (RIL 154-2, 46)

TAULUKKO 9. Injektointi aineet ja niiden tunkeutumiskyky (RIL 154-2, 47)

Seostyyppi	Injektointiaine	Tunkeutumiskyky rakoihin leveydeltään, mm
Suspensio	— (portland)sementti + vesi	≥ 0,6
	— sementti + lisäaineet (Intrusion Aid) + vesi	
	— sementti + bentoniitti + vesi	
	— sementti + savi + vesi	
	— bentoniitti + vesi	
— bentoniitti + vesilasi + vesi	≥ 0,1	
Emulsio (neste nesteessä)	— bitumi + vesi	> 0,2
Kemiallinen seos (todellinen seos)	— silikaattipohjaiset, vesilasi + koagulaattori + vesi (Stabilodur-C) — polymeerimuotoiset polyesteri- ja epoksimuovit, hartsit (AM-9, Geoseal) — polyuretaanipohjaiset veden kanssa reagoivat paisuvat (TACSS, FLEX) — ligniinipohjaiset	≥ 0,02

Injektointi tarve selvitetään vesipaine kokeen avulla, jolloin mittaus tapahtuu kalliioon pumpatun veden määrällä saadusta tiedosta. Kallion laadun vaihtelevuus voi olla paikoitellen suurta ja tiiveyden onnistumisen edellytyksenä on vesimennekkikokeista saatava vesimennekkiarvo. Vesimennekkiarvoa mitataan, kuinka paljon vettä virtaa poratusta reiästä tietyn ajan kuluessa. Vesimennekkiä ilmaistaan Lugeonin kaavalla.

Vesimennekkikokeen tuloksesta lasketaan Lugeon arvo seuraavalla kaavalla: (kalliotilojen injektointi 2006, 22)

$$Lugeon = \frac{Q}{L*t*P}$$

Missä:

Q	Vesimäärä (l)
L	Mittausalueen pituus porareissä (m)
t	mittausaika (min)
P	Ylipaine (mittauspaine pohjaveden pintatasossa), MPa.

Eli yksi Lugeon on litra minuutissa reikämetriä ja megapascalia ylipainetta kohden. Ylipainetta (P) määrittäessä on huomioitava pohjaveden pinnan ja painemittarin välinen korkeusero. (Kalliotilojen injektointi 2006, 22)

## 7 LAADUNVALVONTA JA DOKUMENTOINTI

### 7.1 Laatu

Pulttustyön laadun toteamiseksi ei toistaiseksi ole kehitetty yleisesti hyväksyttyä ja yksittäisten lopputuloksen antavaa koetustapaa.

Työpaikalla pulttustyön laadun varmistamiseksi ovat parhaita keinoja asennustyön oikeat menetelmät, sekä asiallinen ja riittävä työnjohto ja valvonta työn kaikissa vaiheissa. (Vuorimiesyhdisty 1982, 533).

Kalliolujituksessa pulttien sijainti, lukumäärä, pituus ja suuntaus tarkistetaan kalliion rakoilun mukaan työnaikana, sekä pulttien päät ruoste suojataan asianmukaisesti. (Rakennustöiden laatu 2014, 81)

Huolellisella juotostyöllä ja oikeilla materiaalivalinnoilla varmistetaan, että pultin kapasiteetti on suunnitelmien mukainen, ja se toimii kuten se on suunniteltu. Oikein asennettua pulttia ympäröi, myös oikeanlainen suojabetonikerros, joka parantaa pultin korroosio suojausta.

Laadunvalvonta koostuu ennakkokokeista, työn suorituksen valvonnasta, sekä jälkikokeista.

Pulteista on esitettävä aina materiaali todistukset, jotta voidaan todentaa työn tilaajalle pultin oikeat vaatimukset, sekä suunnittelija määrittelee yksityiskohtaiset laadunvalvontatoimenpiteet kohdekohtaisesti kunkin työn yhteydessä. (RIL 266-2014, 27.)

### 7.2 Sementtilaastille tehtävät kokeet

Pulttien juotosmassasta otetaan yksi koekappale jokaista 200 pulttia kohden, sekä aina juotosmassan muuttuessa. Lisäksi työmaalla on aina oltava valmius koekappaleisiin, kun pultteja juotetaan. Koekappaleiden puristuslujuus todetaan

hyväksytyssä koestuslaitoksessa standardin SFS-EN 12390-3 mukaisesti. Tilaa-  
jan suunnittelija määrittää tapauskohtaisesti tarvittavat juotoslaastin muut kokeet.  
(RIL 266-2014, 27.)

### **7.3 Pulttustyön kokeet**

#### **7.3.1 Sitoutumisvaiheessa tehtävä ulosvetokoe**

Jännittämättömistä pulteista suoritetaan vetokokeita sitoutumisvaiheessa 4–8 tuntia asentamisen jälkeen. Tarkka kokeen suoritus aika määritetään työn alussa vetämällä puolentunnin välein pultteja ulos ja toteamalla se ajankohta, jolloin laasti ei enää tahri syvemmällä olevaa pultin vartta, mutta vetäminen onnistuu hydraulista vetolaitetta käyttäen 10–20 kN voimalla. Vetolaitteessa on oltava tarkoitukseen sopivat vetoleuat.

Koe voidaan suorittaa myös heti asennuksen jälkeen, jolloin veto onnistuu käsi-  
voimin, mutta tulos on kuitenkin tulkinnanvaraisempi kuin myöhemmin suoritettun  
kokeen tulos. (Vuorimiesyhdistys 1982, 533.)

Ulosvedetystä pultista arvioidaan, onko juotoslaasti ympäröinyt pultin jokaisesta  
kohdasta ts. Onko porausreikä täynnä laastia. Ulosvetokokeen suoritus aika on  
kriittinen kokeen täydelliselle onnistumiselle. Koeveto pultti ja reikä tulee puhdis-  
taa vanhasta juotosmassasta, jonka jälkeen juotetaan pultti uudestaan tai asen-  
netaan uusi pultti vanhan reiän viereen. Kokeen käyttökelpoisuutta rajoittaa oi-  
kean suorittamisajankohdan määrittämisen vaikeus. (RIL 266-2014, 27.)

#### **7.3.2 Vetokoe**

Vetokoe soveltuu parhaiten kärkiankkuroiduille pulteille. Vetokoe voidaan myös  
tehdä juotetuille pulteille, mutta kokeen perusteella ei voida päätellä ympäröikö  
juotosmassa pulttia koko matkalta. Jo varsin lyhyellä tartuntapituudella voidaan  
saavuttaa vaadittava kapasiteetti pultille. Juotetuille pulteille koeveto tehdään,  
kun juotosmassa on täysin kovettunut. Vetokokeessa mitataan samanaikaisesti

pultin vetämiseen käytettyä voimaa ja pultin pään liikettä. Vetokoe suoritetaan yleensä voimalla, joka on 50–70 % pultin myötölujuudesta. Suositus kokeen käytölle on silloin, kun epäillään asennuksessa tai juotoksessa työvirhettä. (RIL 266-2014, 28.)

### **7.3.3 Boltometer koe**

Boltometer kokeen tarkoituksena on mitata pultin läpi lähetettyjä ultraäänisiä heijastuksia siihen tarkoitettun laitteen avulla, joka on esitytetty kuvassa 12. Mittaus-tuloksia analysoimalla voidaan arvioida juotoksen onnistumista, sekä saada siitä selville pultin vetolujuuden kestävyyttä. Suomessa käyttökokemukset ovat tois- taiseksi olleet erittäin vähäiset, mutta Ruotsissa koemenetelmää käytetään sää- nöllisesti mittauksiin (RIL 266-2014, 28)

### **7.3.4 Irtikairaus**

Irtikairauksessa pultti, juotoslaasti ja ympäröivä kalliomassa kairataan irti kalli- osta, jolloin pultti ja juotosta on mahdollista tutkia yhdessä. Juotoksen onnistumi- nen voidaan havainnoida visuaalisesti ja myös juotokselle tehtävät määritykset ovat mahdollisia (esimerkiksi karbonatisoitumisen selvittäminen). Pultin mahdol- linen korroosio ja pinnoitteen vauriot voidaan määritellä näytteestä.

Menetelmänä tämä on työläs ja kallis verrattuna muihin kokeisiin, mutta luotet- tava tutkimiseen. Menetelmä tulee lisäksi edellyttää, että pultin sijainti, pituus ja suuntaus ovat tiedossa ja pultin sijainti on sellainen kalliossa, mistä se on mah- dollista kairata irti. (RIL 266-2014, 28.)

## **7.4 Yleisiä virheitä pultituksen asennuksessa**

Taulukoissa 10 ja 11 on esitetty yleisimmät pulttaus töissä sattuneet virheet, nii- den seuraukset, sekä korjaavat toimenpiteet.

TAULUKKO 10. Sementtilaastilla juotettu harjateräspultti (soveltuvin osin myös muut juotettavat pulttityypit). (RIL 266-2014, 29)

Virhe	Seuraus	Toimenpide
Liian vetelä juotoslaasti	Juotoslaasti ei pysy pultinreiässä	Tarkista vesisementtisuhte
Liian jäykkä juotoslaasti	Täyttöletku tukkeutuu tai pultti ei mene reikään	Tarkista vesisementtisuhte, notkistimen käyttö
Täyttöletkua ei viedä pultinreiän pohjalle	Huono tartunta pultin päässä	Täyttöletku viedään reiän pohjalle
Täyttöletkua vedetään liian nopeasti ulos	Juotokseen jää ilmapälejä	Täyttöletku vedetään reiästä tasaisesti ja yhtäjaksoisesti täyttymisen myötä
Pultin reiässä laastissa ilmataskuja	Laasti roiskahtelee, kun pultin työntäminen reikään on päättynyt	Pultti poistetaan, reikä huuhdellaan ja pultin juotos tehdään uudelleen
Reikä ei ole riittävän syvä	Pultti jää ulos. Pultti jää suunniteltua lyhyemmäksi	Porataan oikean mittainen korvaava pultinreikä ja asennetaan korvaava pultti
Pultti ei ole keskeisesti pultinreiässä	Juotoslaastikerros ei ympäröi pulttia tasaisesti, vaan voi olla paikoin olematon. Juotoslaasti ei suojaa pulttia korroosiota vastaan	Tarkista pultinreikien suoruus/keskittimien määrä

TAULUKKO 11. Jälki-injektoitava paisuntakuoripultti (RIL 266-2014, 30)

Virhe	Seuraus	Toimenpide
Pultinreiän läpimitta on väärä suhteessa paisuntakuorianankkurin kokoon	Huono ankkurointi	Tarkista porakruunun ja paisuntakuorianankkurien koko
Pultti on asennettu, mutta jälki-injektointia ei ole suoritettu	Huono ankkurointi, joka ei täytä pysyvän lujituksen vaatimuksia. Saattaa vuotaa vettä. Juotoslaasti ei suojaa pulttia korroosiota vastaan	Pultti injektoidaan tai tukitaan ja asennetaan korvaava pultti

## 7.5 Pultitustöiden kirjaaminen

Toteutuneiden pultitusten määrät ja sijainnit merkitään tarkemittauspiirustuksiin tai digitaaliseen piirustukseen, jotka lähetetään tilaajalle hyväksyttäväksi.

Tilajalle toimitetaan myös pultituspöytäkirja toteutuneista pulttauksista liitteen 2 mukaisesti, johon merkataan seuraavat asiat:

- Pultin numero
- Pultin nimellishalkaisija (mm)
- Pultin pituus
- Reikä koko (mm)
- pultin asennus kaltevuus
- keskittimen koko ja määrä
- Sementti (seokset/lujuudet)
- Pultin tyyppi
- Päivämäärä ja työryhmä

## 8 YHTEENVETO JA LOPPUPÄÄTELMÄT

Ennen kalliopultituksen asentamista on tärkeä tuntea kallion toiminnallisia geoteknisiä ominaisuuksia, kuten kallion laatua, rakoilua sekä erinäköisiä kalliota kulluttavia rapautumisilmiötä. Kalliopultin tärkeimpänä ominaisuutena pidetään kalliolohkareiden sitomista ehjään kalliomassaan, jolla taataan turvallinen tilan koko käyttöä myötä.

Pultituksen suunnittelu ja toteutus voi olla joskus todella nopeaa, jotta päästään jatkamaan muuta rakentamista esimerkiksi kallioseinän vieressä tapahtuvaa kullun rakentamista. Siksi onkin tärkeää työn oikeanlaisella onnistumisella, sekä tietämyksellä, jotta seuraava työvaihe ei tule viivästymään ja päästään turvallisesti jatkamaan töitä aikataulun mukaisesti. Tästä syystä asennusryhmillä on hyvä olla perustietämys kallion rikkonaisuudesta toiminnasta.

Opinnäytetyön tuloksena toimeksiantaja yritys pystyy hyödyntämään neuvonatoa kalliopulttauksen suunnittelusta, sekä asentamisesta työnjohdolle ja asennusryhmille. Lisäksi opinnäytetyö toimii itsessään sen lukijalle informatiivisena sisältönä, johon on kasattu aiheesta sisältyvää tietoa teoreettisesti, sekä toteutuksellisia osioita, jotka toimivat opinnäytetyön sisällön ymmärtämiseen.

## LÄHTEET

Cembolt. 2024. Cemboltin toimintaperiaate. Verkkosivu. Viitattu 20.1.2025. [cembolt - Haku Kuvat](#)

Lehtinen, M., Nurmi, P. & Rämö, T. (toim.). 1998. Suomen kallioperä: 3000 vuosimiljoonaa. Helsinki: Suomen geologinen seura.

Liikennevirasto. 2018. Selvitys kalliotunnelin kallioteknisestä suunnittelusta. Esi-selvitys. Pdf-dokumentti. Viitattu 15.1.2025. Saatavissa: [Microsoft Word - LTS 47-2018 Selvitys kalliotunnelin 22.8.2018](#)

Matikainen, R. 1982. Kalliorakenteiden ja -tilojen lujittaminen ja tiivistäminen. In-sinöörijärjestöjen koulutuskeskus INSKO.

Maanalaisten tilojen rakentamisyhdistys r.y., (1986). Kalliorakentaminen Suomessa 1986. Helsinki 1986. Gummerus kirjapaino, Jyväskylä.

Niini, H., Uusinoka, R. & Niinimäki, R. 2007. Geologia ympäristötoiminnassa. Rakennusgeologinen yhdistys r.y., Helsinki 2006. Multiprint, Helsinki.

Palmen, J. A. 1999. *Kaivosgeologinen Kallioluokitus*. Tutkintotehtävä, tekniikan lisensiaatin tutkinto. Otaniemi, Suomi: Teknillinen korkeakoulu. Vuorimiesyhdistyksen julkaisuja A144. Pdf-tiedosto. Viitattu 12.1.2025. [Microsoft Word - VMY A114](#)

Peltomäki, M. (2018). Kalliorakenteen lujittaminen pulttista käyttäen. Kandidaat-tityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Luettu 18.03.2025.

Pretec. 2023. Kalliolujitustuotteet/tunneliverhous/pultti. Verkkosivu. Viitattu 20.2.2025. <https://www.pretec.fi/tuotteet/kalliolujitustuotteet/tunneliverhous/pultti/m33-harjateraespultti>

Rakennustieto. n.d. Mekaanisesti lujitetut kalliorakenteet. Verkkosivu. Viitattu 10.3.2025. [https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/InfraRYL/2024\\_2/15200.html](https://ryl.rakennustieto.fi/ryl/InfraRYL/2024_2/15200.html)

RIL, Suomen rakennusinsinöörin liitto. 1985. RIL 157-1 Geomekaniikka 1. Suomen rakennusinsinöörin liitto RIL r.y., Helsinki 1985. Otapaino, Espoo.

RIL, Suomen rakennusinsinöörin liitto. 1986. RIL 166 Pohjarakenteet. Suomen rakennusinsinöörin liitto RIL r.y., Helsinki 1986. Hangon kirjapaino, Hanko.

RIL, Suomen rakennusinsinöörin liitto. 1987. RIL 154-1 Tunneli ja kallionraken-nus 1. Suomen rakennusinsinöörin liitto RIL r.y., Helsinki 1987. Otapaino, Es-poo.

RIL, Suomen rakennusinsinöörin liitto. 1987. RIL 154-2 Tunneli ja kallionraken-nus 2. Suomen rakennusinsinöörin liitto RIL r.y., Helsinki 1987. Otapaino, Es-poo.

RIL, Suomen rakennusinsinöörien liitto. 1987. RIL 169-1987 Kalliotilojen rakennusohjeet. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y., Helsinki 1987. Vammalan kirjapaino, Vammala 1989.

RIL, Suomen rakennusinsinöörien liitto. 2014. RIL 266–2014 Kalliopultitusohje. Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL r.y., Helsinki 2014. Tammerprint, Tampere.

Semtu. 2024. Lujiteverkot- ja kalliopultit. Verkkosivu. Viitattu 20.1.2025. <https://www.semtu.fi/fi/tuotteet/lujiteverkot-ja-kalliopultit/lasikuitupultit>

SPEK opastaa. 2016. Kalliosuojien suunnittelu ja rakentaminen. Savion kirjapaino, Kerava 2016.

Suomen Betoniyhdistys ry. 2006. Kalliotilojen injektointi By 53 2006. BY-koulutus, Helsinki 2006. Nykypaino, Helsinki.

Syrjänen, P., Gridpoint Finland Oy. 2002. Kallion laatuluokitus.

Talonrakennusteollisuus r.y., (2014). Rakennustöiden laatu 2014. Rakennustieto. Tampere 2014. Tammerprint, Tampere

Turunen, M. 2018. Suomen kallioperä. Verkkosivu. Viitattu 5.1.2025. <https://www.geologia.fi/2018/04/25/suomen-kalliopera/>

Vuorimiesyhdistys. 1981. Jännitysmittaukset Suomessa. N:o 64 A, 1981. Vuorimiesyhdistys.

Vuorimiesyhdistys. 1982. Kaivos- ja louhintatekniikan käsikirja. Vuorimiesyhdistys r.y., Helsinki 1982. Hangon kirjapaino, Hanko.

**LIITTEET**

Liite 1. Porauspöytäkirja poistettu julkaistavasta versiosta

Liite 2. Pultituspöytäkirja poistettu julkaistavasta versiosta