

SAIMAAN AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikan yksikkö, Lappeenranta  
Rakennustekniikan koulutusohjelma  
Infratekniikan suuntautumisvaihtoehto

Tapio Väisänen

## **KALLIOLUJITUSPULTTAUSTEN LAADUNVALVONTA JA DOKUMENTOINTI**

Opinnäytetyö 2010

# TIIVISTELMÄ

Tapio Väisänen

Kalliolujituspulattausten laadunvalvonta ja dokumentointi, 39 sivua, 1 liite

Saimaan ammattikorkeakoulu, Lappeenranta

Tekniikan yksikkö, Rakennustekniikan koulutusohjelma

Infratekniikan suuntautumisvaihtoehto

Ohjaajat: yliopettaja Tuomo Tahvanainen, loushintapäällikkö Arto Korhonen

Opinnäytetyö tehtiin Niska & Nyssönen-yhtiön (nykyään Soraset Oy) Espoon ja Kotkan Kotolahden työmailla. Työn aiheena on kallionlujituspulattausten laadunvalvonta ja dokumentointi. Työssä painotetaan menetelmiä silloin kun juotosmassa on jo sitoutunut. Juotosmassalla tarkoitetaan sellaista veden, sementin ja mahdollisten muiden aineiden seosta, jolla juotetaan kallionlujituspulatteja kiinni kallioon. Pulattituksen avulla varmistetaan kalliorakenteen vakaus ja turvallisuus.

Työssä keskitytään passiivisiin, juotettuihin pulatteihin. Tällaisista pulateista kerrotaan niiden asentaminen yksinkertaisesti, mutta riittävän tarkasti. Laadunvalvontamenetelmiä esitellään silloin kun massa on vielä sitoutumisvaiheessa, koska tällaiset menetelmät ovat usein mainittuina kalliorakennuskohteiden työseloituksissa.

Tutkimuksessa esitellään tarkemmin vetokoe. Muita mahdollisia menetelmiä juotosmassan ollessa sitoutunut käsitellään lyhyesti ja sanallisesti. Vetokokeet tehtiin työmaaolosuhteissa Kotkan Kotolahden ratapihatyömaalla kesällä 2010. Kaatamista kaatoastiasta työmenetelmänä käsitellään laadun kannalta tarkemmin, koska testattavat pulatit oli tehty tällä menetelmällä. Työmenetelmän tutkimisessa verrattiin märän ja kuivan pulatinreiän ongelmia laadullisesti.

Laadunvalvontamenetelmiin otetaan kantaa sen käytettävyydestä työmaalla sekä tulosten luotettavuudesta. Parhaaksi osoittautuu vetokoe, yhdistettynä työmenetelmän ennakoivalvontamenetelmään. Lisäksi työssä esitellään syitä dokumentointiin sekä vaatimuksia tiedoista, joita pitäisi dokumentoida. Liitteenä on yksinkertainen pulattituspöytäkirjalomake, joka on tarkoitettu käytettäväksi työmaalla.

Asiasanat: kallionlujitus, pulttaus, vetokoe, pulattituspöytäkirja

## ABSTRACT

Tapio Väisänen

Documentation and quality control in rock bolting, 39 pages, 1 appendix

Saimaa University of Applied Sciences, Lappeenranta

Technology unit, Degree program of civil and construction engineering

Civil engineering

Instructors: senior teacher Tuomo Tahvanainen Saimaa University of Applied Sciences, head of rock blasting Arto Korhonen Niska & Nyysönen Ltd

This thesis was made for the company Niska & Nyysönen in its work sites located in the cities of Kotka and Espoo. The subject in this thesis was methods of quality control and documentation concerning rock bolting. This thesis emphasizes the methods when the grouting (grouting is a mixture of water, cement and possibly other ingredients) is set. This grouting mixture is used to secure rock bolts in the bedrock. Rock bolting is used to ensure the stability and safety of rock constructions.

This thesis emphasizes on presenting passive, grouted rock bolts and simple installation of this kind of rock bolts. Some quality control methods are viewed when grouting is in the setting phase. These methods are explained here because they are often only mentioned in job descriptions concerning rock constructions.

Of different methods a pull test is explained in more detail. Also quality control methods when the grouting mass is already set are viewed. Other methods are dealt with verbally. The pull tests were made in Kotka's railroad yard work site in the summer of 2010. A work method called pouring from a jug is studied from quality's perspective because the rock bolts in Kotka were made with this method. This is a work method where the grouting mass is poured into a container, for instance a watering can. After this the mass is poured manually to the bore hole. This study compares the quality of groutings in cases when the bore hole is full of water or when it is dry.

Quality control methods are rated by their usability on site and by the reliability of the results. The pull test turned out to be the best method combined with pre-work control methods. The specific information to be documented accurately is important and the reasons to do so are also explained. The appendix is a simple bolting form which was made to be used on sites.

Keywords: rock reinforcing, rock bolting, pull test, bolting form

# SISÄLTÖ

1 JOHDANTO .....	- 5 -
2 PULTTAUS .....	6
2.1 Kallionlujitustarve .....	6
2.2 Lujitusmenetelmät .....	7
2.3 Louhinnan ja kallionlujituspulttauksen yhteen liittäminen .....	7
2.4 Pultitus.....	8
2.5 Pulttityypit .....	8
2.6 Pultitustyön suorittaminen .....	11
3 LAADUNVALVONTAMENETELMÄT JUOTOSMASSAN SITOUTUMISVAIHEESSA .....	13
3.1 Juotoslaastin laadunvalvonta .....	13
3.2 Pultitustyön laadunvalvonta.....	14
4 LAADUNVALVONTAMENETELMÄT JUOTOSMASSAN SITOUDETTUA ....	16
4.1 Ulosvetokoe.....	16
4.2 Boltometer-koe .....	18
4.3 Muut kokeet.....	21
5 KALLIOPULTTIEN JA TYÖMENETELMÄN TESTAUS .....	22
5.1 Esimerkkikohteen kuvaus.....	22
5.2 Vetokokeen työjärjestys.....	23
5.3 Vetokokeiden tulokset .....	25
5.4 Työmenetelmän laboratoriokoe .....	28
6 TULOSTEN VERTAILU.....	32
6.1 Menetelmän helppous .....	32
6.2 Tulosten käytettävyys.....	34
7 PULTITUSTEN DOKUMENTOINTI.....	35
8 YHTEENVETO JA POHDINTAA .....	36
LÄHTEET .....	38

## LIITTEET

Liite 1 Pultituspöytäkirjapohja

# 1 JOHDANTO

Tämän työn tavoitteena on käsitellä kalliopulattausten laadunvalvontamenetelmiä silloin, kun juotosmassa on jo sitoutunut. Työssä käydään läpi sekä Suomessa että Ruotsissa käytettyjä menetelmiä. Työssä esitellään pulttityön laadun kannalta paras mahdollinen laadunvalvontamenetelmä. Työssä on pyritty vastaamaan kysymykseen, mikä on paras laadunvalvontamenetelmä silloin, kun juotosmassa on sitoutunut.

Työssä esitellään pulttien dokumentointia, joka liittyy oleellisena osana suoritettun työn laadunvalvontaan. Lisäksi esitetään yksinkertainen dokumentointilomake pulttityöhön käytettäväksi työmaalla. Työ on rajattu siten, että dokumentoinnista on jätetty pois pulttien kartoitus ja siihen liittyvät toimenpiteet.

Tarve tähän työhön aiheutuu RHK:n (Ratahallintokeskus) vaatimuksista kallioperusteisten valaisinmastojen perustamisen yhteydessä. Työn tilaajalla, Niska & Nyssönen Oy:llä, kevään omistajavaihdoksen jälkeen Soraset Oy:llä, on tarkoitus tehdä itse ennakko- ja peruspulattausta normaaleissa pohjarakennuskohteissa. Lujitustöitä käsittelevistä ohjeista on pyritty tekemään tiivistelmä yksinkertaisiin lujitustöihin.

Kallionlujitus on kallionrakentamisessa oleellinen osa-alue. Se voidaan tehdä monellakin eri menetelmällä, joista kallionpulttusta käytetään lähes jokaisessa kohteessa. Käymieni sähköposti- ja puhelintiedustelujen mukaan se on nykyisten ohjeiden perusteella ”harmaalla pohjalla”. Epäselvyyttä aiheuttaa käytettyjen ohjeiden soveltaminen, koska ohjeet ovat vanhanaikaisia eikä ole sellaisia yleisesti sovittuja ohjeita laadunvalvonnasta, silloin kun juotosmassa on sitoutunut. InfraRYL mainitsee laadunvalvontaa silloin, kun juotosmassa on sitoutumisvaiheessa.

## 2 PULTTAUS

### 2.1 Kallionlujitustarve

Rakentamisen ja käytön aikainen turvallisuus on suurin syy kallioiden lujittamiseen. Louhitun alueen tulee olla turvallinen vielä kymmeniä vuosia eteenpäin. Jo suunnitteluvaiheessa on pyrittävä selvittämään tarvitseeko kalliota ylipäättään lujittaa, vai kestäkö se sellaisenaan. /1/

Lujitustarpeen määrittäminen suunnitteluvaiheessa on vaikea ja monimutkainen tehtävä, johon ei ole selvää yksiselitteistä menetelmää, vaan se riippuu kallion monista geologisista ominaisuuksista. Näitä ominaisuuksia ovat muun muassa kiven laatu, lujuus ja rakoilu. Lisäksi lujitustarpeeseen vaikuttaa alueen heikkousvyöhykkeet sekä vesiolosuhteet. Pitkän ajan stabiliteetin kannalta tärkein syy lujitustarpeeseen on kuitenkin louhinnan jälkeen kalliotilan ympärille muodostuvat jännitykset ja niiden johdosta syntyvät ilmiöt. /1/

Louhinnan jälkeen kalliossa alun perin olleet jännitykset jakautuvat uudelleen, mistä seuraa muun muassa rakoilua ja muodonmuutoksia. Kalliotilaa on lujitettava nimenomaan niissä kohdissa, joissa syntyy kivelle erittäin hankalia vetojännityksiä. Kohdissa, joissa rakoilusta muodostuu kalliolohkoja, joilla on vaara irrota tukemattomina, täytyy kalliolle suorittaa lujitustoimenpiteitä. /1/

Tutkimuksia kannattaa tehdä osittain etukäteen, sillä ilman etukäteistutkimuksia kalliolujituskustannukset voivat nousta huomattavan suuriksi. Toisaalta kallion rakenteen ja ominaisuuksien selvittäminen vaatii erikoislaitteita ja kalliita tutkimuksia, joten olisi harkittava tarkoin, kuinka paljon kallion ominaisuuksia tutkitaan etukäteen ja missä määrin lujitustarpeen määrittäminen jätetään työn aikaiseksi tehtäväksi. /1/

## 2.2 Lujitusmenetelmät

Käytettävät lujitusmenetelmät ovat pultitus, ankkurointi, ruiskubetonointi ja injektointi. Milloin kallion omaa lujuutta ei voida käyttää hyväksi, on kallio tuettava rakentamalla kalliotilaan tarvittavat tukirakenteet teräsbetonista, teräksestä tai muista vastaavista materiaaleista. Lujitustyöt jakaantuvat louhinnan aikaisiin ja louhinnan jälkeisiin. Louhinnan aikaisina lujitusmenetelminä käytetään yleensä pulttitusta (aktiivisia kalliopultteja), ruiskubetonointia tai esi-injektointia tai näiden yhdistelmiä. Louhinnan jälkeisiä toimenpiteitä yleensä ovat pultitus (passiivisia kalliopultteja), ruiskubetonointi ja jälki-injektointi tai näiden yhdistelmä. /2/

## 2.3 Louhinnan ja kallionlujituspultauksen yhteen liittäminen

Kallionlujitustyöt tehdään joko louhintatöiden yhteydessä tai vaihtoehtoisesti louhintatöiden jälkeen erillisenä työnä. Kalliorakenteen kannalta on parasta, jos lujitustyöt voidaan tehdä louhinnan yhteydessä, jolloin lujittamattomassa kalliorakenteessa eroosion vuoksi tapahtuvien muodonmuutosten tapahtuma-aika jää mahdollisimman lyhyeksi. Lujitustyö aloitetaan kalliopinnan rusnauksella. Jos rusnausta ei ole tehty riittävän tarkasti, joudutaan sitä tekemään jälkeinpäin, mikä lisää louhinnan kustannuksia. /3/

Huomioon otettava asia on myös ennakkopulttien säilyvyys louhinnan jälkeen. Ensinnäkin se, ovatko ennakkoon asennetut pultit ylipäättään pysyneet paikoiltaan räjäytyksen aikana, vai onko tapahtunut sellaisia ”ryöstöjä”, että pulttien päät töröttävät kalliosta esiin. Toisekseen se, voidaanko ehjiä, paikallaan säilyneitä ennakkopultteja käyttää hyväksi lopullisessa pultituksessa.

## 2.4 Pultitus

Kalliopultitukset ovat rakenteita, joiden avulla kallioseinämissä ja –katoissa olevat lohkat sidotaan toisiinsa kalliomassan pysyvyyden parantamiseksi. Kalliorakentamisessa ja kaivostoiminnassa kallion lujitus- tai tukemistyöt aiheuttavat merkittävän osan kokonaiskustannuksista. Kalliotiloja louhittaessa louhitun tilan ympärille muodostuu muodonmuutoksia jännitysten uudelleen sijoittumisen vuoksi. Näiden muodonmuutosten ehkäiseminen ei ole tarkoituksenmukaista eikä välttämättä edes mahdollista, vaan erilaisilla tukemis- tai lujitusmenetelmillä pyritään muodonmuutokset pitämään sallituissa rajoissa. Tavoitteena on siis vahvistaa kalliota siten, että kallio itsessään kestää siihen kohdistuvat rasitukset. Kallionlujituksessa tärkein materiaali on kallio itse. /1/

Tällaiseen lujitustyöhön kalliopultitus on yksi tehokkaimmista ja taloudellisimmista ja näin ollen yksi käytetyimmistä lujitusmuodoista. Pultituksella estetään kalliolohkareiden liikkeitä ja kiinnitetään irtolohkareet kiinteään kallioon. /1/

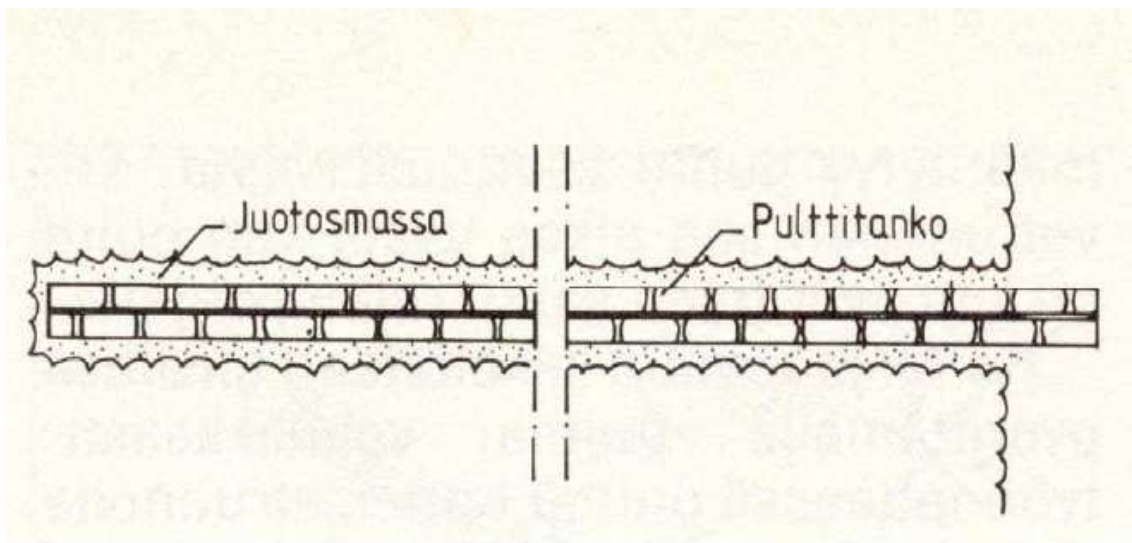
## 2.5 Pulttityypit

Kalliopultit voidaan jakaa toimintatavaltaan kahteen ryhmään: aktiivisiin ja passiivisiin kalliopultteihin. Tämä kuvaa pulttien käyttäytymistä asennushetkellä; aktiiviset pultit tukevat kalliota välittömästi, passiiviset vasta sen jälkeen, kun kallio on liikahtanut. Usein pultit jaetaan myös niiden toiminta-ajan mukaan joko pysyviin tai väliaikaisiin. /1/

Staattiselta toiminnaltaan pultit ovat joko jännittämättömiä tai jännitettyjä. Jännittämättömällä, eli juotospultilla, tarkoitetaan porausreikään koko pituudeltaan juottamalla kiinnitettyä tankoa tai vaijeria. Tavallisin pulttimateriaali on teräs A 500 HW. Sileästä pyörötangosta pulttia ei saa tehdä. Kalliopultteina käytetään yleisimmin  $\varnothing$  16 - 25 mm olevia harjateräspultteja, jotka juotetaan porareikään sementtillaastilla. Pultin pituus vaihtelee käyttökohteista riippuen. /1/



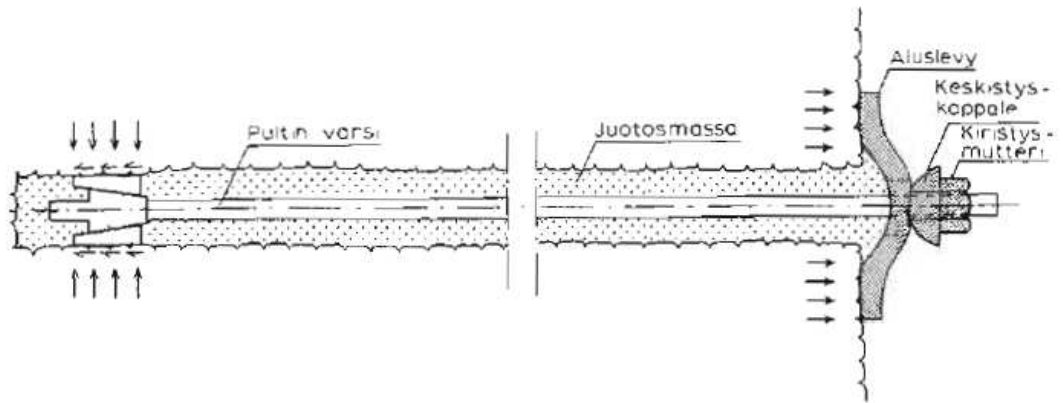
Jännittämätön pultti (kuva 2.1) juotetaan sementtilaastilla tai erilaisilla hartseilla. Juottamalla pultille saadaan parempi korroosionkestävyys, ja näin ollen pidempi käyttöikä, kuin juottamattomalle. Juotospulntaus on havaittu nopeaksi ja luotettavaksi menetelmäksi, ja on tästä syystä käytetyin pulnttausmenetelmä. Erityisesti tämä korostuu betonijuotetuilla pulnteilla, joilla on vielä etunaan standardisoitujen ainesosien halpuus sekä helppous asentaa. Haittapuolina ovat juotoslaastin vaatima kuivumisaika sekä muista töistä aiheutuvien värinöiden epäsuorissa vaikutus sitoutumattomaan juotosmassaan. /1/



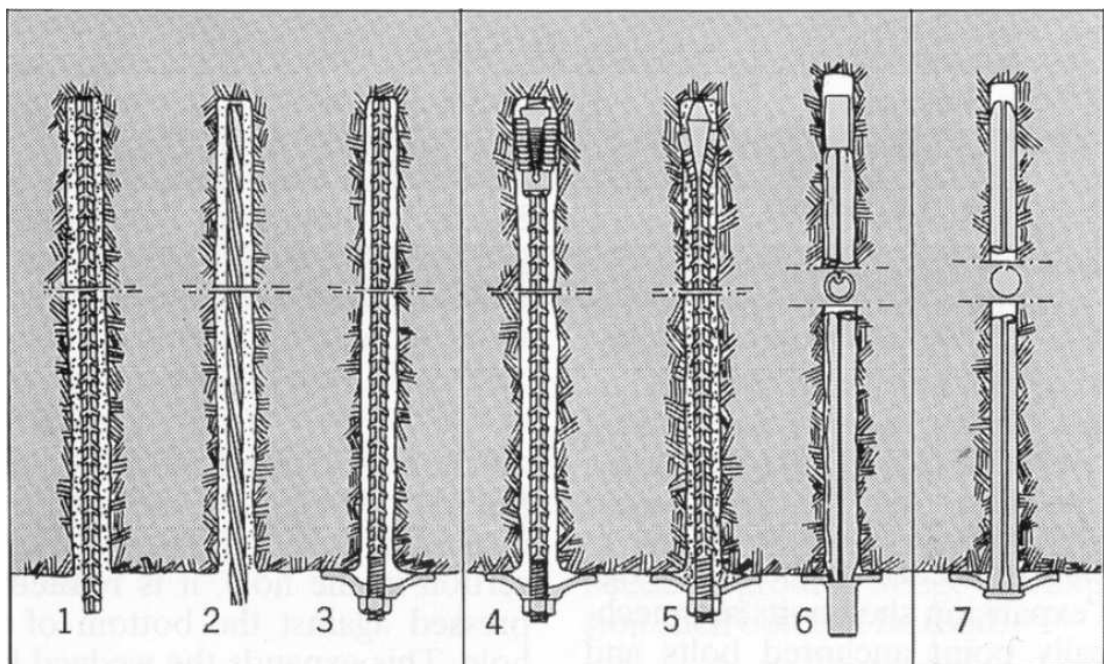
**Kuva 2.1** Juotoslaastilla juotettu, jännittämätön pultti. /4/

Jännitetty pultti (kuva 2.2) on pultti, jonka varteen on asennusvaiheessa aiheutettu pultin suuntainen esijännitysvoima /1/. Hyvin yleisesti tämä tarkoittaa kauppanimeltään CT-pulttia. On jopa niin, että työselostuksessa mainitaan, että ennakkopultteina on käytettävä CT-pulttia tai vastaavaa.

Lisäksi on olemassa erilaisia kitkapultteja muun muassa Swellex- ja Split-Set-pultti sekä TP-pikapultti, josta yritetään saada vastaamaan CT-pulttia. Kuvassa 2.3 on esitetty erilaisia pulttityyppejä.



**Kuva 2.2** Juotoslaastilla juotettu, jännitetty pultti. /2/



**Kuva 2.3** Erilaisia pulttityyppejä: 1. betonilla juotettu harjateräspultti, 2. betonilla juotettu kaapelipultti, 3. esijännitetty hartsilla juotettu pultti, 4. paisuntakuoripultti, 5. betonilla juotettu kiilapultti, 6. Swellex-pultti, 7. Split-set-pultti. /4/

## 2.6 Pulttustyön suorittaminen

Pultteja varten porataan kallioon reiät, joiden suunta ja pituus on esitetty suunnitelma-asiakirjoissa tai ne voidaan määrätä myös paikanpäällä. Reiän halkaisijan tulee olla vähintään 1,5-kertainen pultin nimellishalkaisijaan verrattuna sekä pulttireiän todellinen pituus 50 mm pidempi kuin pultin pituus. Jos pulttireikien poraamisen yhteydessä havaitaan kalliossa laajoja heikkousvyöhykkeitä tai muita kallionlaatua heikentäviä tekijöitä, on siitä ilmoitettava valvojalle, joka tarvittaessa ilmoittaa suunnittelijalle. /5/

Juotoslaastin sekoitusta ja pulttien asennusta varten on oltava riittävän suuritehoinen sekoitin ja pumppu tai painesäiliö sekä laastin pumppaamiseen soveltuvat, tukevaseinäiset letkut. Jos pitkiä pultteja ei voida työntää paikalleen käsivoimin, on työntämistä varten oltava tarkoituksenmukainen syöttölaite. /6/

Sementtilaastijuotosta käytettäessä on otettava huomioon sekä ympäröivän ilman, että kallion lämpötila. Kumpikaan ei saa laskea alle suunnitelmassa mainitun lämpötilan juottamista seuraavaan kolmeen vuorokauteen. Jos kuitenkin tällainen uhka on tai rakenne joutuu alttiiksi kovalle lämpötilavaihteluille, käytetään silloin pakkasenkestävää massaa. /5;6/

Pultit voidaan juottaa porausreikään useita eri menetelmiä käyttäen /6/. Yksi tapa on, jos on kyse pienehköstä pulttimäärästä alaspäin viettäviin reikiin, juottaa kaatoastiasta massa kaatamalla pultit reikiinsä. Tällaisessa työmenetelmässä massa tehdään valmiiksi betonimyllyssä tai muussa sekoittimessa ja valuteaan kaatoastiaan annostelua varten, esimerkiksi kastelukannuun. Kannusta massa pitää valuttaa pulttireikään sopivan hitaasti, jotta pulttireikään ei jää ilmaa. Tämän jälkeen pultti asennetaan juotettuun reikään. Tällä työmenetelmällä ei tulisi tehdä juottamista vesireikiin, juotosmassan erottumisesta johtuvista syistä.

Kaatoastiasta kaatamisen laadunvalvonnasta tehty laboratorioskoe esitellään tässä työssä myöhemmin. Menetelmä vaatii pulttustyön suorittajalta kokemusta, ammattitaitoa sekä erityistä tarkkuutta, jotta pultituksen laatu on riittävän hy-

vä. Menetelmää ei tosin käytetä kuin määrältään pienissä, aikataulultaan kiireissä ja riskeiltään suhteellisen pienissä työkohteissa, esimerkiksi lyhyen ponttiseinän kalliotappien asennuksessa.

Toinen tapa, jota käytetään enemmän, ja jota tulisi käyttää aina kun on vähänkin suuremmasta pulttimäärästä kyse, on laastin pumppaus koneellisesti (kuva 2.4). Riippumatta käytettävästä menetelmästä tärkeintä on tehdä juottaminen niin, että pultin ja reiän seinämän välinen tila täyttyy kokonaan juotosmassalla. Asennetut pultit on suojattava mekaaniselta häirinnältä juotosmassan sitoutumisen aikana. Pysyviksi tarkoitetut pultit tulee suojata korroosiota vastaan joko laastilla tms. aineella tai käyttää korroosionkestävää pulttimateriaalia. Ilman juotosta olevaa jännitettyä pulttia ei saa käyttää pysyväksi tarkoitettuun lujitukseen.

/2;5;6/



**Kuva 2.4** Pultin juottamiseen soveltuva sekoitin ja pumppu

Varsinainen juotostyö aloitetaan poratun reiän tarkistuksella, eli huuhdellaan reikä puhtaalla painevedellä ja tarvittaessa puhalletaan paineilmalla. Porausreikä täytetään laastilla pohjasta alkaen. Täyttöletku vedetään reiästä tasaisesti sitä mukaa kun reikä täyttyy. Lisäksi on tarkkailtava, ettei massaan jää ilmaväle-

jä. Reikää ei täytetä aivan täyteen, vaan se jätetään sen verran vajaaksi, että pultti syrjäyttää massaa niin paljon, että sitä pursuaa pultinreiästä. /6/

Oikeanmittainen pulttitanko työnnetään laastilla täytettyyn reikään tasaisesti ja yhtäjaksoisesti käsin tai syöttölaitteella. Lyömistä ja syöttölaitteella iskua on vältettävä. Pulttia ei saa liikuttaa edestakaisin. Pultin on oltava suora, eikä sitä taituteta sisään työnnettynä. Lisäksi ulkonema kallionpinnasta saa olla maksimissaan 20 mm, ellei kyse ole tartuntateräksistä. Pulttitangon työntämisen yhteydessä on juotoslaastia pursuttava ulos pultin reiästä. Mikäli näin ei tapahdu, on syy siihen selvitettävä ja reikä on tarvittaessa injektoitava. Samoin jos pulttitankoa ei saada työnnettyksi koko pituudeltaan reikään, syy tähän on selvitettävä ja reikä on tarvittaessa porattava uudelleen. Vaihtoehtoisesti voidaan vanha reikä injektoida umpeen ja porata uusi reikä viereen. /5/

Pulteissa tulee käyttää keskitysrenkaita. Ne estävät yläkätisten pulttien ulosvalumisen sekä antavat varmuuden pulttien sijaitsemisesta keskellä pulttireikää. Tällöin pultti on ympäriinsä peittynyt juotoslaastilla eikä välitöntä korroosiovaaraa ole. Keskitysrenkaita on yleensä kaksi kappaletta, yksi kumpaankin päähän, jos pultin pituus on alle 4 m, ja kolme kappaletta, yhdet päihin ja yksi keskelle, kun pultin pituus on 4 m tai enemmän. /6/

### **3 LAADUNVALVONTAMENETELMÄT JUOTOSMASSAN SITOUTUMISVAIHEESSA**

#### **3.1 Juotoslaastin laadunvalvonta**

Juotosmassa sisältää yleensä yleisportland-sementtiä ja hiekkaa suhteessa 1:1. Joissain paikoissa käytetään pelkän veden ja sementin seosta. Tarjolla on myös monen valmistajan tekemää kuivasekoitetta, jolloin työmaalla ei tarvitse kuin sekoittaa massaan vesi. Juotoslaastin lujuus- sekä rakenneluokka on K 35-2.

Koostumuksen tulee olla sellainen, ettei laasti valu ylöspäin suuntatuista rei'istä itsestään alas. Laastin valmistuksessa noudatetaan julkaisun by 50 rakenneluokkamääräyksiä. /5/

Juotosmassasta otetaan koekappaleita yksi jokaista 200 pulttia kohden. Koekappaleen puristuslujuus sekä mahdolliset muut vaadittavat ominaisuudet todetaan hyväksytyssä koestuslaitoksessa tai betonilaboratoriossa standardin *SFS-EN 12390-3* mukaisesti. Laastin notkeuden toteamiseksi voidaan työmaalla suorittaa levenemäkoee, jolla myös pystytään tarkkailemaan juotosmassan oikeanmukaisuutta. Jos on käytetty juotosmassan sijaan esimerkiksi hartsia, tehdään siitä hartsin valmistajan tai sen käytön hyväksyneen tutkimuslaitoksen, määräämät laadunvalvontakokeet. /5;6/

### **3.2 Pultitustyön laadunvalvonta**

Tiedonanto 27:ssä sanotaan: "Pultitustyön laadulle ei ole olemassa yleisesti hyväksyttyä testausmenetelmää, jolla saataisiin yksiselitteisiä tuloksia." Kallioliujituskohteissa suunnittelija voi määrittellä käytettävät laadunvalvontamenetelmät. Lisäksi urakoitsijoilla, jotka pultitustyötä tekevät, on yleensä omat laatujärjestelmät pultitustyön laadun takaamiseksi. Työmaalla oikea asennustapa, oikeat raaka-aineet sekä riittävän pätevä työnjohto ja valvonta ovat ensisijainen laadunvarmistustapa. Vaativissa lujituskohteissa on tarpeen suorittaa muita laadunvalvontakokeita. /6/

#### **3.2.1 Ulosvetokoe laastin sitoutumisvaiheessa**

Ruotsalaisten käyttämän ohjeen mukaan pultitustyön aluksi voidaan ulosvetokoe tehdä 10 %:lle pulteista. Myöhemmin, jos edelliset vetokokeet ovat olleet hyväksytyjä, voidaan määrää pienentää siten, että kokonaismäärästä noin 2 % tulee testatuksi. Suomessa asia on hoidettu siten, että valvojan läsnä ollessa vedetään laastin sitoutumisvaiheessa yksi pultti jokaista 200 asennettua pulttia kohden ulos. Juotostyö on hyväksyttyä, jos pultti on kauttaaltaan juotosmassan

peitossa. Jos pultin asennus osoittautuu virheelliseksi, vedetään kaksi ylimääräistä rakennuttajan edustajan osoittamaa pulttia ulos. /5;7/

Ulosvetokoe tehdään pultitustyön aikana käsin. Ulosvedettyjen pulttien reiät sekä pultti itse huuhdellaan välittömästi, jonka jälkeen pultit voidaan juottaa uudelleen /1/. Tulos on kuitenkin tulkinnanvarainen, varsinkin jos ulosvetokoe on tehty nopeasti juottamisen jälkeen.

Ulosvetokoe voidaan tehdä pienellä ulosvetolaitteella myöhemmin sitoutumisaikana, jolloin tulos on tarkempi, mutta koe vaatii enemmän resursseja ja on siten monimutkaisesti tehtävä. Tuloksista saadaan varmistettua menetelmän oikeanlaisuudesta. /6/

Tämä laadunvalvontakoe, yhdessä juotosmassasta otettavien kokeiden kanssa, on eniten käytetty siitä syystä, että melko vaivattomasti ja kustannustehokkaasti saadaan sellaisia tuloksia, joilla voidaan todeta pultituksen onnistuminen etukäteen. Rakennuttajalta saatujen tulosten tulkinta vaatii riittävää ammattitaitoa. Koe on mainittu InfraRYL 2006:ssa sekä usein sellaisien urakoiden työselostuksissa, joihin sisältyy kallionlujitustoimenpiteitä.

### **3.2.2 Työtavan laadunvalvonta**

Pultitustyöstä voidaan antaa ennen varsinaisen pultitustyön aloitusta työnäyte. Pultit juotetaan läpinäkyvään pleksiputkeen, jonka halkaisija on yhtä suuri kuin todellisen, porattavan pultinreiän. Pultti juotetaan käyttäen täsmälleen samantyyppistä työmenetelmää, välineitä ja raaka-aineita kuin on tarkoitus käyttää varsinaisessa pultitustyössä. /7/

Tässä laadunvalvontamenetelmässä saadaan varmistettua oikeat työtavat sekä vastaus kysymykseen, peittykö pultin ja kallion välinen tila kokonaan juotolaastilla. Onnistumisen kannalta korostuu sekä työnjohdon että työntekijöiden ammattitaito ja kokemus. Työympäristöltään juottaminen pleksiputkeen ei vastaa todellista tilannetta kalliorakennustyömaalla, vaan tämä testi paljastaa vir-

heet työtavan periaatteellisella tasolla. Todellisen tilanteen laadunvalvontaan käytetään muuta menetelmää. Pleksiputkimenetelmä on kerrottu ruotsalaisten käyttämässä ohjeessa, eikä sitä ole sovellettu suomalaisiin ohjeisiin.

## **4 LAADUNVALVONTAMENETELMÄT JUOTOSMASSAN SITOU- DUTTUA**

### **4.1 Ulosvetokoe**

Ulosvetokoe on testaustapa, jossa pultti vedetään kalliosta ulos käyttäen hydraulista vetolaitetta, joka on mahdollista kiinnittää pulttiin sellaisella tavalla, joka kestää vedosta aiheutuvan rasituksen. Ulosvetokokeen tarkoituksena on selvittää kalliopultin todellinen kyky sietää rasituksia sen todellisessa toimintaympäristössä. Ulosvetokoe voidaan tehdä joko siten, että hydraulinen vetolaite vetää koko pultin ulos, tai siten, että koestetaan pultti suunnitelma-asiakirjoissa mainittuun voimaan asti. /7/

#### **4.1.1 Kokeen suoritus**

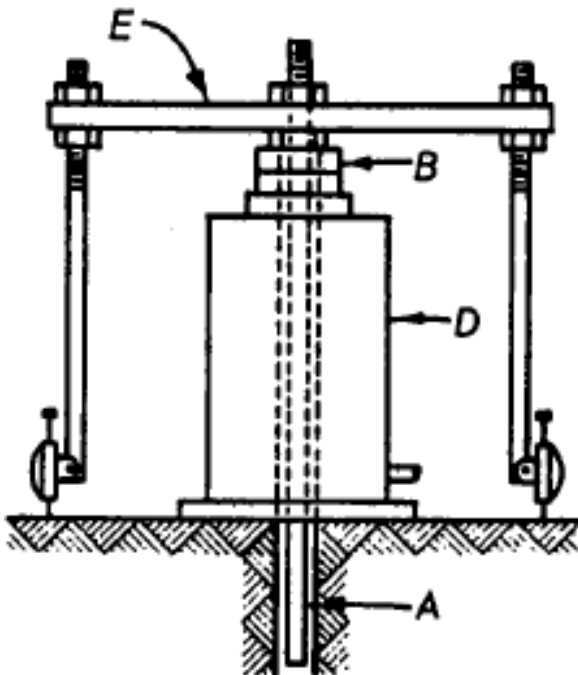
Koe voidaan suorittaa vain sellaisille pulteille, joiden pää on irti kalliosta vähintään sen verran kuin laitteiston käyttö vaatii. Käytettävässä laitteistossa tulee olla tarkoitukseen sopivat vetoleuat tai muu vastaava kiinnittäytymistapa. Laitteistoon tulee sisältyä kuvan 4.1 mukaiset välineet. Kokeessa tulee mitata sekä kuormittava paine joko paineen yksikköinä tai kilonewtoneina että pultin pään venymä. Venymän määrää verrataan laskennalliseen teräksen venymän arvoon, jolloin voidaan päätellä, onko venyminen tapahtunut pelkästään pultissa vai onko pulttijuotos, tai jopa koko kallio, antanut periksi. Tuloksista voidaan näin määrittää tarvittavat jatkotoimenpiteet. /7;8/



Testin lopuksi pultin pää katkaistaan suunnitelma-asiakirjojen määrittelemälle tasolle. Jos pultti on vedetty kokonaan ulos tai se on todettu virheelliseksi, juotetaan uudet pultit kallioon. Ennen juottamista tulee reiät joko puhdistaa tai porata uusi reikä viereen ja injektoida vanha. Uudelleen juottamisessa täytyy ottaa huomioon testin tulos ja siitä aiheutuneet mahdolliset jatkotoimenpiteet. Jos testi on tehty koestamalla pultti suunnitelma-asiakirjojen vaatimiin lukemiin ja pulttia ei ole todettu virheelliseksi, ei uudelleenjuotos ole tarpeen. /6/

#### 4.1.2 Kokeessa tarvittava laitteisto

Kokeessa tarvitaan sellaista laitteistoa, jolla on riittävän suuri kapasiteetti ulosvetokokeeseen. Kapasiteetti riippuu muun muassa siitä, onko tarkoitus vetää pultti ulos vai vain koestaa. Laitteessa pitää olla sopiva kiinnitystapa pulttiin. Laitteen koko vetokapasiteetti kohdistuu laitteen ja pultin väliseen liitokseen, joten sen tulee olla riittävän kestävä. /8/



**Kuva 4.1** Periaatekuva vetokoelaitteistosta, A: kalliopultti, B: vetoleuat tms. kiinnitys pulttiin, D: hydraulinen tunkki sekä painemittari, E: pultin pään venymän mittaamiseen tarkoitettu laite. /8/

Laitteessa täytyy olla painemittari tuloksia varten. Paras vaihtoehto on sellainen mittari, joka näyttää paineen lisäksi myös voiman, jolla pulttia rasitetaan. Pultin pään venymää varten täytyy olla riittävän tarkka mittaustapa. /8/

Kuvassa 4.1 esitetty periaate ei välttämättä ole paras vaihtoehto, sillä kalliopinta on usein epätasainen ja pulttien päät voivat osoittaa useaan eri suuntaan, ei pelkästään alaspäin. Laitteiston painetasoa pitää pystyä säätämään, joten se vaatii paineensäätöyksikön. Lisäksi tarvitaan paineentuottoyksikkö, jonka kapasiteetti riittää tunkin käyttöön.

## **4.2 Boltometer-koe**

Boltometer on kehitetty Ruotsissa vuonna 1978, Geodynamik Ab:n toimesta. Se oli ensimmäinen rakenteita rikkomaton laadunvalvontamenetelmä juotetuille pulteille. Menetelmä ei ole kovin käytetty Suomessa, mutta InfraRYL 2006 mainitsee sen, ja jopa vaatii sen kaikkein vaativimmille kallionlujitusluokille. /5;9/

### **4.2.1 Tarkoitus**

Boltometer on juotettujen pulttien testaukseen käytetty laite, jota voidaan käyttää paikanpäällä. Se on rakenteita rikkomaton menetelmä, jolla voidaan ns. katsoa kiven sisään. Sillä voidaan määrittää, täyttääkö pultti oman tehtävänsä täysin. Tulosten avulla voidaan tarvittaessa parantaa työtapaa, jolla pultit on asennettu. /9/

### **4.2.2 Toimintaperiaate**

Laitteen omaa sensoria pidetään pultin vapaata päätä vasten. Laite lähettää aaltoliikettä pulttiin, jonka energiasta osa siirtyy juotokseen ja osa kallioon pienentäen aallon alkuperäistä amplitudia. Pultin päähän päästyään aalto heijastuu takaisin. Näitä heijastuneita aaltoja voidaan lukea samalla sensorilla. Jos juotos

pultin ympärillä on onnistunut, tai siis peittää koko pultin kauttaaltaan, on amplitudin pienentyminen suurta. Eli mitä parempi juotos, sitä pienempi heijastuneen aallon amplitudi ja mitä huonompi juotos, sitä suurempi amplitudi. Analysoimalla saatuja amplitudeja kalibrointipulttien mukaan, voidaan luokitella työmaalla tehdyt juotokset. Luokituksia on 4, A:sta D:hen, missä A on paras ja D huonoin. Jos kalibrointi on suoritettu oikein, kone itse luokittelee testattavan juotoksen. /9/

Koska laite tarkkailee myös aikaa, on mahdollista laskea tuloksista, kuinka syvällä pultissa vika on. Lisäksi laitteen toimintaperiaate mahdollistaa mekaanisten virheiden havaitsemisen itse pultissa. /9/

#### **4.2.3 Vaatimukset**

Laite on kehitetty juotettujen pulttien testaukseen. Optimaalisen tuloksen taakamiseksi laitteella on tietyt toimintarajat:

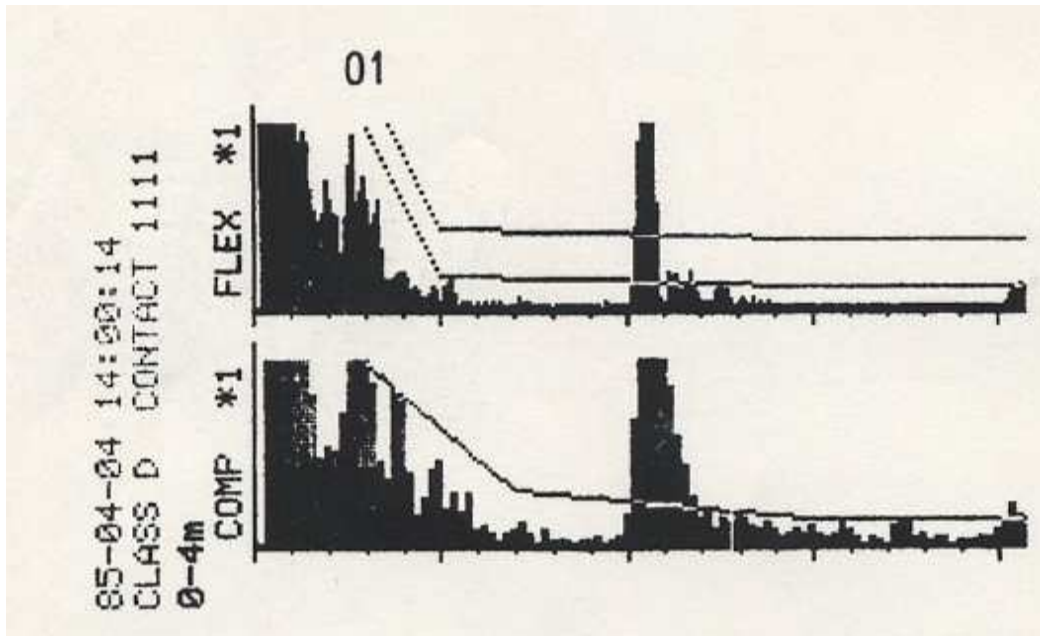
- porareian halkaisija: 25 - 40 mm
- pultin halkaisija: 20 - 30 mm
- pultin pituus: vähintään 0,8 m
- juotoksen maksimipituus: 4,0 m

Juotoksen maksimipituus tarkoittaa sitä, että laite ei käsittele kuin 4 metrin pituisia jaksoja kerrallaan. Eli, jos pultti on 8 metriä pitkä, joudutaan tekemään kaksi mittausta samasta pultista, 0 - 4 m ja 4 - 8 m. Lisäksi pultin pään, johon sensori laitetaan, on oltava täysin tasainen. Luokitteluun, ja sitä kautta lopputulokseen, vaikuttaa myös se, kuinka hyvin on selvillä kalibrointipulttien juotoksen onnistuneisuus todellisissa olosuhteissa. /9/

#### **4.2.4 Tulosten tulkinta**

Tulosten oikeanlainen tulkinta vaatii ammattitaitoa, suurta huolellisuutta, paljon luotettavaa tietoa kalibrointipulteista sekä riittävän osaamisen laitteen käytöstä.

Kuvassa 4.2 on eräästä testauksesta saatu tuloste. Ensimmäisellä rivillä on päivämäärä ja kellonaikatiedot. Toisella rivillä on luokka ja sensoritiedot: neljä LED:iä, jotka kuvaavat sitä, kuinka hyvin sensori on kosketuksissa pultin kanssa. Kolmannella rivillä on pultin mitattava pituus. /9/



**Kuva 4.2** Boltometer-tuloste /9/

Kuvaajia on kaksi, puristus- (COMP) ja taivutusaallot (FLEX). Yläreunassa on tutkittavan pultin tunnus (01). X-akselilla on pituus, y-akselilla on heijastuneen aallon amplitudi eli "kaiku", "\*1" tarkoittaa amplitudin voimakkuutta. Kuvaajissa olevat viivat ovat kalibrointipulteista saatujen tietojen perusteilla tehtyjä luokitusviivoja. Jos amplitudi ylittää viivan, muuttuu luokitus huonommaksi. Perusperiaatteena voidaan pitää, että mitä tasaisempi diagrammi sitä parempi luokitus ja näin ollen onnistuneempi pultitus. /9/

### **4.3 Muut kokeet**

#### **4.3.1 Poraus ja tunnustelu**

Juotoksen onnistumista voidaan valvoa menetelmällä, jossa porataan juotokseen ohuella terällä pultin varren viereen pultin suuntainen reikä. Reiästä tunnustellaan rautalangalla mahdollisia tyhjiä tiloja juotoksessa. Menetelmä ei vaadi suuria resursseja, mutta on todella tulkinnanvarainen ja ehdottomasti vanhentunut laadunvalvontamenetelmä. Tätä menetelmää ei juurikaan käytetä, eikä siitä ole mainintoja muun muassa InfraRYL 2006:ssa. /6/

#### **4.3.2 Iskeminen ja kuuntelu**

Jos pultista on näkyvissä riittävän suuri osuus, noin 100 mm, voidaan tehdä laadunvalvontaa iskemällä ja kuuntelemalla. Iskemisessä pultin päähän lyödään esimerkiksi pienellä lekalla ja kuunnellaan aiheutettua ääntä. Jos ääni on samea, ei juottaminen todennäköisesti ole onnistunut. Korkealla äänellä juotos taas on todennäköisesti onnistunut. Liian rikkonaisella kalliolla ei kokeesta saada kunnollisia tuloksia. /6/

Menetelmä ei vaadi suuria resursseja, mutta on erittäin tulkinnanvarainen ja epävarma, sillä kallion liiallista rikkonaisuutta ja samean ja korkean äänen rajaa on vaikea määritellä. Kokeen tekijältä vaatii suurta ammattitaitoa pystyä pelkääntään kuulon perusteella määrittelemään juotoksen onnistuneisuus. Menetelmä ei ole yleisessä käytössä.

## **5 KALLIOPULTTIEN JA TYÖMENETELMÄN TESTAUS**

### **5.1 Esimerkkikohteen kuvaus**

#### **5.1.1 Työmaa ja syy vetokokeisiin**

Vetokokeet suoritettiin Kotkan Kotolahden rautatietyömaalla. Vetokokeet tehtiin kallioperusteisen valaisinmaston kalliotartunnoille sekä erillisille, samalle työmaalle asennetuille kalliopulteille. Kuvassa 8 on koepulttien asennuspaikka. Vetokokeet tehtiin koeponnistamalla, sillä laitteiston kapasiteetti ei riittänyt pulttien ulosvetämiseen.

Syy vetokokeiden tekoon löytyy Ratahallintokeskuksen tyyppiinrakennuksesta numero 17875, uusimmasta revisiosta. Piirustuksessa mainitaan seuraavaa: ”Kolmelle tartunnalle tehdään vetokoe, tutkittavan tartunnan on kestettävä irtaamatta vetovoima, joka on 65 % sen myötölujuudesta. Jos yksi tartunta pettää, testataan kyseisen perustuksen kaikki tartunnat.” Tämä sama lause samassa muodossa löytyy myös Sillanrakentamisen yleisistä laatuvaatimuksista (SYL) osasta 3 - Betonirakenteet, kohdasta 3.4.4.10./10/

#### **5.1.2 Kallio-olosuhteet**

Perustustartunnat tehtiin poraamalla oikeaan paikkaan kalliopulttien reiät halkaisijaltaan 45 mm ja pituudeltaan 1 m. Kallio-olosuhteet olivat haastavat johtuen kallion suuresta lustaisuudesta ja siitä johtuvasta suurista vesivuodoista. Jo poratessa huomattiin, että reiät täyttyvät välittömästi vedellä, eikä reikien ilmahuuhtelulla ole minkäänlaista vaikutusta vedenmäärään. Näiden olosuhteiden takia juottaminen jouduttiin tekemään vesireikiin.

Samanlaisia perustuksia oli sen verran vähän, että reikien injektoiminen olisi muodostanut kohtuuttomat kustannukset, ja siitä syystä oli parempi tehdä juot-

taminen vesireikiin ja suorittaa oikeanlainen laadunvalvonta. Tällaisesta juottamisen lähtötilanteesta tein laboratorion kokeen, jossa huomio oli työn laadussa, soveltaen ruotsalaisten käyttämiä ohjeita. Tämä koe esitellään myöhemmin tässä luvussa.

### **5.1.3 Käytetyt materiaalit ja työtavat**

Työ tehtiin käyttämällä passiivisia harjateräspultteja. Pulttien halkaisija oli 25 mm, pituus 2,5 m, jossa juotossyvyyttä oli 1 m. Porareian pituus noin 1 m ja halkaisija 45 mm. Pulttiteräksenä oli A 500 HW-teräs. Juotosmassana käytettiin valmista kuivasekoitetta Fescon 1000/3. Pulttien juottamistapana käytettiin kaatoastiasta kaatamis-menetelmää. Kaikissa pulteissa työmaalla käytettiin samoja materiaaleja ja työtapoja. Kallio-olosuhteet kuitenkin vaihtelivat.

### **5.2 Vetokokeen työjärjestys**

Vetokoetta varten lainattiin Lujitustekniikka Oy:ltä pultinvetolaite, Enerpac-paineilma- / hydraulitunkki, jonka maksimikapasiteetti on 100 kN. Laitteisto on esitetty kuvassa 5.1. Ensimmäisenä täytyi perustuskuoppa pumpata tyhjäksi vedestä, sillä vesi oli ongelmana aina kun suoritettiin kaivamista. Seuraavaksi katkaistiin tutkittava tartuntapultti riittävän lyhyeksi ja hitsattiin pala oikeankokoista ja -kierteistä kierretankoa pultin päähän. Laitteen fyysiset mitat vaativat sen, että pultin maksimipituus kallionpinnasta on 10 mm, ja kun hitsattavan palkan pituus oli noin 40 mm, jäi laitteelle vetovaraa noin 30 mm. Kierretankoa käytettiin, koska laitteen kiinnittämistapa kalliopulttiin oli sisäkierreholkki.

Seuraavaksi koottiin laitteisto. Laitteisto vaatii ilmakompressorin, josta saatavalla paineilmalla käytetään säätöyksikköä. Säätöyksikössä on paine-[kPa] / voimamittari [kN], josta voimalukemat pystyttiin helposti ja nopeasti lukemaan. Säätöyksiköstä lähti hydrauliletku itse tunkkiin. Kompressorina käytettiin Sandvik Commando 122-RF -porausvaunua. Vetokoetta tehtäessä huomattiin, että poravaunun ilmantuotto on riittävää.

Laitteisto asennettiin kiertämällä tunkin vetopää kiinni pulttiin. Sekä hitsatessa että kiinnitettäessä tunkkia huomioitiin, että vedon tulee tapahtua pultin suuntaisesti. Vetokokeet suoritettiin siten, että 20 kN:n välein tarkastettiin pultin pään venymä mittanauhalla. Vetokokeissa huomioitiin, että kun laitteisto on paineistettu, juotoksen tai hitsauksen pettäessä syntyy vaaratilanne, kun tunkki tai jokin sen osista sinkoaa itsensä voimallisesti pois päin kalliosta. Tästä syystä huomioitiin turvallisuustekijät varsinkin silloin, kun nostettiin painetta. Kokeen lopuksi laitteisto purettiin päinvastaisessa järjestyksessä.



**Kuva 5.1** Vetokoelaitteisto, pois lukien ilmantuottoyksikkö.

Vetokokeet tehtiin yhdestä kallioperustuksesta kahdesti sekä neljästä muusta asennetusta pultista. Erilleen asennetuissa pulteissa vetokoe tehtiin sitoutumisen eri vaiheessa. Kuvassa 5.2 esitetään neljä erilleen asennettua kalliopulttia.





**Kuva 5.2** Erilleen asennetut kalliopultit, 4 kpl.

### 5.3 Vetokokeiden tulokset

Vetokokeet tehtiin varsinaisesta kohteesta siinä vaiheessa, kun juotosmassa oli kuivunut noin 48 tuntia. Virheiden minimoimiseksi tehtiin vetokoe hetken päästä samasta pultista uudestaan. Ennen vetokokeiden tekoa laskettiin harjaterästan-  
gon venymä kaavalla 5 /11/, kun sitä kuormittava voima on 100 kN. Mikäli pultin  
pään siirtymä ylittäisi lasketun arvon, voidaan päätellä, että pultin juotos ei ole  
onnistunut toivotulla tavalla.

$$\Delta L = \frac{NL}{EA} , (5) \text{ jossa}$$

$\Delta L$  = siirtymä [mm]

E= teräksen kimmokerroin 210 000 N/mm<sup>2</sup>

A= kalliopultin pinta-ala [mm<sup>2</sup>]

N= voima, jolla pulttia vedetään [N]

L= venyvä osuus [mm]

Venymän teoreettiseksi arvoksi saatiin:  $\Delta L = 0,4 \text{ mm}$

Vetokokeista saatiin taulukkojen 5.1 ja 5.2 mukaiset tulokset:

### Taulukko 5.1 Ensimmäisen vetokokeen tulokset

VETO 1 [sit. aika 2 vrk]  
(perustus nro: 246/82 P)

pvm.	kN	siirtymä [mm]
29.7.	20	0
29.7.	40	0
29.7.	60	0
29.7.	80	0
29.7.	100	0

### Taulukko 5.2 Toisen vetokokeen tulokset

VETO 2 [sit. aika 2 vrk]  
(perustus nro: 246/82 P)

pvm.	kN	siirtymä [mm]
29.7.	20	0
29.7.	40	0
29.7.	60	0
29.7.	80	0
29.7.	100	0

Tuloksista nähtiin, että vaikka kallio-olosuhteet olivat vaativat, juotokset olivat onnistuneet. Lujittumista oli tapahtunut riittävästi, vaikka vetokokeet tehtiin jo noin 48 tunnin kuluttua. Pultin pää ei siirtynyt, mikä oli odotettavissa.

Erilleen juotetuista pulteista tehtiin myös vetokokeet. Koska pultit olivat samantyyppisiä, voitiin käyttää ennakkolaskelman tulosta vertailulähtökohdaksi uudelleen. Vetokokeiden ajankohtaa kuitenkin muutettiin siten, että ensimmäinen vetokoe tapahtui noin 16 tunnin kohdalla, seuraava noin 24 tunnin kohdalla, kolmas koe noin 3 vuorokauden jälkeen ja neljäs eli viimeinen viikon kuluttua juottamisesta. Vetokokeista saatiin taulukoiden 5.3 – 5.6 mukaiset tulokset:

### Taulukko 5.3 Ensimmäinen koepultista tehty vetokoe

VETO 3 [sit.aika 16 h]

(koepultti)

pvm.	kN	siirtymä [mm]
30.7.	20	0
30.7.	40	0
30.7.	60	0
30.7.	80	0
30.7.	100	1

### Taulukko 5.4 Toinen koepultista tehty vetokoe

VETO 4 [sit.aika 24 h]

(koepultti)

pvm.	kN	siirtymä [mm]
30.7.	20	0
30.7.	40	0
30.7.	60	0
30.7.	80	0
30.7.	100	0

### Taulukko 5.5 Kolmas koepultista tehty vetokoe

VETO 5 [sit.aika 3 vrk]

(koepultti)

pvm.	kN	siirtymä [mm]
2.8.	20	0
2.8.	40	0
2.8.	60	0
2.8.	80	0
2.8.	100	0

## Taulukko 5.6 Neljäs koepultista tehty vetokoe

VETO 6 [sit.aika 7 vrk]  
(koepultti)

pvm.	kN	siirtymä [mm]
6.8.	20	0
6.8.	40	0
6.8.	60	0
6.8.	80	0
6.8.	100	0

Näistä taulukoista huomataan, että 16 tunnin kohdalla juotosmassa ei ole sitoutunut riittävästi, vaan alkaa 100 kN:n voimalla antaa periksi. Mutta jo vuorokauden kuluttua pultilla on yli 100 kN:n vetokapasiteetti.

### 5.4 Työmenetelmän laboriokoe

Tässä laboriokokeessa oli tarkoitus tutkia aiemmin työssä esiteltyä työmenetelmää kaatoastiasta kaataminen, erityisesti niissä olosuhteissa, joissa koeverdettävät kalliopultit oli juotettu Kotkan työmaalta. Koe suoritettiin Saimaan ammattikorkeakoulun laborioriossa viikolla 42.

Koemenetelmänä käytettiin ruotsalaisten ohjeista sovellettua versiota ja aiemmin tässä työssä esiteltyä laadunvalvontamenetelmää, jossa juotosmassa kaadetaan läpinäkyvään pleksiputkeen, jonka halkaisija on yhtä suuri kuin varsinaisen porareian. Tässä kokeessa vertailtiin juotosten laatua, kun porareikä on täynnä vettä ja kun porareikä on kuiva.

Kokeessa pyrittiin eliminoimaan kaikki muut muuttujat. Massana käytettiin samaa kuin työmaalla, Fescon 1000/3, ja molemmat pleksiputket täytettiin yhdellä kertaa tehdyllä massalla, jotta välttyttäisiin laatueroilta itse massassa. Koska tarkoitus oli tutkia juotoksia juotosmassan laatueroista, eli tapahtuuko muun muassa erottumista, ei juotosmassoihin asennettu pulttia.

Käytettyjen pleksiputkien sisähalkaisija oli 44 mm. Kaatamisen jälkeen massojen annettiin kaatamisen jälkeen sitoutua 5 vrk, jonka jälkeen putket leikattiin auki. Alkutilanne oli kuvan 5.3 mukainen.



**Kuva 5.3** Massat kaadettu putkiin; vasemmanpuoleinen oli aluksi täynnä vettä.

Kuvissa 5.4 ja 5.5 nähdään heti, että erottumista oli tapahtunut. Suurimmat rakeet olivat painuneet pohjalle ja sementti oli jäänyt pintaan. Massassa oli työsauman näköisiä jälkiä kauttaaltaan. Alin 35 cm oli edelleen kostea ja alin 10 cm hienontui sormin.



**Kuva 5.4** Massat kuivuneet ja irrotettu putkistaan; alempi massoista oli täynnä vettä olevassa putkessa.



**Kuva 5.5** Alin 10 cm vedessä olleesta massasta hienontui heti.



**Kuva 5.6** Poikkileikkaus massasta noin 30 cm pinnasta; vasemmanpuoleinen oli vettä täynnä olevassa putkessa.

Lisäksi poikkileikkauksissa oli silmin nähtäviä eroja (kuva 5.6). Kuivaan putkeen kaadettuna poikkileikkauksessa oli nähtävissä kaikenkokoisia rakeita sementtiliiman ympäröimänä niin kuin asiaan kuuluukin. Veteen kaadetun massan poikkileikkauksessa ei näkynyt tuolla syvyydellä kuin kaikkein pienimpiä rakeita ja enimmäkseen sementtiliimaa, johtuen juuri erottumisesta.

## **6 TULOSTEN VERTAILU**

### **6.1 Menetelmän helppous**

#### **6.1.1 Vetokoe / koestus**

Työn aloituskustannukset vetokokeessa ovat työssä tutkituista menetelmistä suurimmat. Niihin kuuluvat vetolaitteiston hankinta, työssä tarvittavien muiden laitteiden hankinta, työvoimakustannukset sekä työstä mahdollisesti aiheutuvat viivytykset. Vetolaitteistoon kuuluvat jo aiemmin tässä työssä esitelly kalusto: tunkki, sen tarvitsema letkusto ja paineensäätöyksikkö, paineilmantuottoyksikkö sekä paineilmaletku. Lisäksi vaaditaan hitsauslaitteet, kulmahiomakone, mahdollisesti sähköntuottoyksikkö sekä uppopumppu, sopivia korokekappaleita tunkin ja kallion väliin sekä tunkin kiinnittymistä varten kierretankoa.

Alustavat työt vaativat oman aikansa, ja se on kaikki pois varsinaisesta tehokkaasta työajasta. Itse vetokokeen tekemiseen ei mene muutamaa minuuttia kauemmin, mutta alustavat työt aiheuttavat noin yhden tunnin viivästyksen, kohteen mukaan. Vaikka materiaalihankintoja ei otettaisi huomioon, on tämä laadunvarmistusmenetelmänä suhteellisen kallis.

Jos vetokoe tehdään pultti kokonaan ulosvetämällä massan sitouduttua, saadaan täysin absoluuttinen tieto pultin ja kallion yhteenliittymisestä. Menetelmän kustannukset nousevat jälleen, sillä pultitustyö joudutaan suorittamaan uudelleen jo kertaalleen asennettuihin pultteihin.

#### **6.1.2 Boltometer**

Boltometer-laite on Suomessa melko tuntematon käsite, ja jos sellainen joudutaan hankkimaan, nousevat kustannukset paljon, sillä kyseessä on erikoislaite. Laitteen alustavat työt ovat huomattavasti pienemmät kuin vetokokeessa, sillä niihin kuuluu vain pultin pään tasaus. Boltometer-laitteen käyttö ja varsinkin sen antamien tulosten tulkinta vaatii kuitenkin koulutuksen, joten sitä ei voi kuka ta-



hansa työmaalta käyttää. Se lisää kustannuksia, kun joudutaan tilaamaan asiantuntija paikalle. Huolimatta tästä Boltometer-laitteella tehtävät laadunvarmistuskokeet ovat helppo menetelmä saada jonkinlaisia tuloksia.

### **6.1.3 Iskeminen ja kuuntelu**

Tässä laadunvalvontamenetelmässä ei ole suuria materiaalikustannuksia eikä henkilöstökustannuksia. Testin tekoon vaaditaan vain ammattitaitoinen ja kokenut pulttaaja sekä vasara. Testin tekeminen on erittäin helppoa ja nopeaa eikä siitä aiheudu käytännössä minkäänlaisia viivytyksiä työmaalle.

### **6.1.4 Poraus ja tunnustelu**

Tämä laadunvalvontamenetelmä on erittäin halpa ja nopea, sillä se ei vaadi kuin pulttaajan ja pätjän rautalankaa. Välittömästi pultin asennettuaan pulttaaja voi tutkia rautalangan pätkällä onko juotokseen jäänyt tyhjiä tiloja. Testi ei aiheuta viivästyksiä tai suuria kustannuksia.

### **6.1.5 Koejuotot**

Testin kustannukset ovat melko pienet, sillä testi ei vaadi kuin pleksiputken ja pienen määrän massaa. Työvoimakustannukset ovat pienet, sillä testin voi tehdä oikeastaan kuka tahansa, joka osallistuu varsinaiseen juotostyöhön. Testi ei kuitenkaan varsinaisesti kerro juotoksen onnistumisesta, vaan siitä, ovatko työssä käytettävät menetelmät oikeanlaiset.

## 6.2 Tulosten käytettävyys

Vetokokeiden tuloksista nähdään suoraan, onko pulttityö onnistunut. Vetokokeen tuloksien analysoimiseen ei tarvita asiantuntijaa, jotta tämä voidaan todeta. Tästä syystä vetokokeista saadaan parasta tietoa pultituksen onnistumisesta, mitä voidaan käyttää hyväksi myöhemmissä työkohteissa. Mikäli kokeet ovat luonteeltaan ulosvetokokeita, saadaan tuloksista lisäksi tietoa itse kallion lujuusominaisuuksista. Mikäli kallio on ruhjeista, ei tietoa voi soveltaa kuin paikallisesti. Tulokset ovat myös luotettavia, sillä vetokokeen oikein tekeminen on riittävän yksinkertaista eivätkä tulokset jätä lainkaan tulkinnanvaraa.

Boltometer-laitteen tulokset sen sijaan ovat todella alttiita erilaisille tulkinnoille. Eri tulkintatavat riippuvat referenssipulttien juotoksen onnistumisesta, etukäteen määritellyistä raja-arvoista, pultin pään tasaisuudesta sekä tulkitsijan ammattitaidosta. Teoriassa on olemassa mahdollisuus, että täysin onnistunut pultitus on tulkitsijan mielestä kelvoton.

Iskeminen ja kuuntelu on auttamatta täysin vanhanaikainen laadunvalvontamenetelmä. Ajatus, että laatu voidaan määrittää pelkän korvakuulon perusteella ilman minkäänlaista varsinaista faktaa, on tähän maailmanaikaan sopimaton. Kokeesta saatavia tuloksia voidaan pitää korkeintaan suuntaa antavina.

Poraus ja tunnustelu kuuluu samaan kategoriaan kuin iskeminen ja kuuntelu. Se on auttamatta liian vanhanaikainen ja liian epämääräinen laadunvalvontamenetelmä, jolla saataisiin luotettavasti osoitettua pulttauksen kelpoisuus.

Koejuotos on halpa ja nopea tapa määrittää pulttityön periaatteen oikeanlaisuus. Testi pitää kuitenkin tehdä ennen varsinaisen pulttityön aloittamista, muuten se ei palvele tarkoitustaan.

## 7 PULTITUSTEN DOKUMENTOINTI

Kalliorakentamiseen liittyvien eri töiden laadun selvittämiseksi pidetään työn aikana riittävän yksityiskohtaisia pöytäkirjoja. Pöytäkirjat sisältävät mittaus- ja havaintotulokset, mikäli niitä on pitänyt tehdä. Toteutuneiden pulttusten määrät, tyypit, pituudet ja sijainnit merkitään lujituspiirustusten kopioihin, jotka myöhemmässä vaiheessa annetaan allekirjoitettuna tilaajalle. Tällä tietojen taltiointilla on suuri merkitys, mikäli louhittua tilaa joudutaan tulevaisuudessa laajentamaan. Erityisesti se korostuu kaupunkialueilla, joissa voidaan esimerkiksi perustuskuoppa louhia maanalaisen tilan yläpuolelle, jolloin sen kattoa ja muita rakenteita kuormitetaan yläpuolisilla rakenteilla. Tällaisissa tapauksissa aiemmin taltioituilla tiedoilla on suuri apu jatkosuunnittelussa. /1/

Varsinaisesta pulttustustyöstä pidetään pulttuspöytäkirjaa. Siihen kirjataan pultin sijainti, poraaja, asentaja, pultin tyyppi, lukumäärä, pituus sekä juotoslaastitiedot (resepti ja käytetty määrä) /5/. Liite 1 on tämän työn tekijän tilaajalle esittämä vaihtoehto työmaalla käytettäväksi pulttuspöytäkirjaksi.

Dokumentoinnin tarkoitus on paitsi helpottaa mahdollisia jatkosuunnitelmia, myös osoittaa, että pulttustyöt on tehty suunnitelmien mukaan ja suunnitelmien vaatimalla laatutasolla. Pulttuspöytäkirjat, mahdollisten kokeiden todistukset yms. vastaavat laatudokumentit liitetään ajan tasalla pidettävään kelpoisuusasiakirjaan. /1;5/

## 8 YHTEENVETO JA POHDINTAA

Paras menetelmä passiivisten harjateräspulttien laadunvarmistukseen juotomassan sitouduttua on vetokoe. Koeponnistusmainen testi antaa sellaisen tuloksen, jossa on hyvin vähän tulkinnanvaraa. Kustannukset verrattuina vaihtoehtoisiin menetelmiin ovat korkeahkot, mutta euroissa mitattuina suhteellisen alhaiset. Vetokokeen ongelmana on kuitenkin se, että se ei kerro esimerkiksi onko juotoksessa halkeamia, jolloin korrosio pääsee heikentämään pulttia. Lisäksi pultin ja kallion välinen liitos on niin vahva, että pultin ei edes tarvitse olla kokonaan massan peitossa, niin vetokokeesta saadaan hyväksyttävät tulokset, vaikka asennus on tällöin virheellinen.

Kaikkein parhaaseen tulokseen mielestäni päästäisiin, jos sovellettaisiin ruotsalaisten käyttämää ohjetta. Ennen pultituksen aloitusta tehtäisiin koejuotokset, jolloin saadaan työmenetelmä oikeaksi. Oikeat työtavat ovat kaikkein paras tae sille, että pultituksen laatu on suunnitelmien edellyttämällä tasolla. Pultitustyön alkuvaiheessa tehtäisiin hieman enemmän ulosvetoja massan sitoutumisvaiheessa. Pultitustyön loppua kohti niitä voitaisiin harventaa, mikäli työ on ollut hyväksyttävää. Tällä työmenetelmällä saadaan kustannustehokkaasti karsittua loputkin työmenetelmän tai huolimattomuuden aiheuttamat virheet. Lopuksi massan sitouduttua tehtäisiin muutamia koeponnistuksia, jolloin saadaan lopullinen varmuus pultituksen kelpoisuudesta. Yhdessä nämä menetelmät eivät aiheuta suuria kustannuksia verrattuna työmaan muihin kustannuksiin, ja kuitenkin niillä saadaan lähes täydellinen varmuus työn onnistumisesta laadullisesti.

Boltometer on ongelmallinen siitä syystä, että sen antamat tulokset ovat liian tulkinnanvaraisia. Jos tuo ongelma saadaan poistettua laitteesta, se olisi hyvä laadunvalvontamenetelmä sen helppouden ja nopeuden takia. Tällä hetkellä se on kuitenkin erikoislaitte, joka vaatii asiantuntijataso konsultointia. Vetokokeen pystyy suorittamaan lähes kuka tahansa. Jos laitteen ongelmat poistetaan, se luultavasti yleistyy, jolloin sen käyttö tulee olemaan helpompaa ja halvempaa.

Tässä työssä esitellyt vanhanaikaiset menetelmät ovat VTT:n geotekniikan laboratorion tiedonannosta numero 27. Se on päivätty vuodelle 1977. Tiedonantoon numero 27 viitataan kaikissa kalliorakennuksen työselostuksissa, jotka koskevat kalliopulttausta. Mielestäni olisi jo aika uudistaa tiedonanto tälle vuosikuhannelle. Ruotsi ja Norja ovat uudistaneet omat ohjeensa, joista saataisiin hyvä pohja Suomen ohjeille.

Kaataminen kaatoastiasta työmenetelmänä on laadullisesti heikko silloin, kun pulttoreiässä on vettä. Silloin tapahtuu erottumista eikä massa sitouduttuaan ole sellaista laatua, johon tulee pyrkiä. Tätä työmenetelmää voi mielestäni käyttää silloin, kun voidaan todeta reiän olevan kuiva. Tosin tällaisissakin tapauksissa menetelmää käytettäisiin vain silloin, kun on kyse vähäisestä lujitustyöstä ja sellaisessa kohteessa, jossa ei ole suuri vaativuusluokka.

Ohjeet laadunvarmistukseen juotosmassan sitouduttua ovat huonolla pohjalla. Ne olisi uudistettava tätä päivää vastaaviksi, jolloin pulttityön laatu nousisi yleisesti koko maassa. Suurin osa ohjeista on tiedonanto 27:ssä, joka on vanhentunut, eikä InfraRYL 2006 anna riittävästi tietoa menetelmistä, kun massa on sitoutunut.

## KUVAT

**Kuva 2.1** Juotoslaastilla juotettu, jännittämätön pultti, s.9

**Kuva 2.2** Juotoslaastilla juotettu, jännitetty pultti, s.10

**Kuva 2.3** Erilaisia pulttityyppejä: 1. betonilla juotettu harjateräspultti, 2. betonilla juotettu kaapelipultti, 3. esijännitetty hartsilla juotettu pultti, 4. paisuntakuoripultti, 5. betonilla juotettu kiilapultti, 6. Swellex-pultti, 7. Split-set-pultti, s.10

**Kuva 2.4** Pultin juottamiseen soveltuva sekoitin ja pumppu, s.12

**Kuva 4.1** Periaatekuva vetokoelaitteistosta, A: kalliopultti, B: vetoleuat tms. kiinnitys pulttiin, D: hydraulinen tunkki sekä painemittari, E: pultin pään venymän mittaamiseen tarkoitettu laite, s.17

**Kuva 4.2** Boltometer tuloste, s.20

**Kuva 5.1** Vetokoelaitteisto, pois lukien ilmantuottoyksikkö, s.24

**Kuva 5.2** Erilleen asennetut kalliopultit, 4 kpl, s.25

**Kuva 5.3** Massat kaadettu putkiin; vasemmanpuoleinen oli aluksi täynnä vettä, s.29

**Kuva 5.4** Massat kuivuneet ja irrotettu putkistaan; alempi massoista oli täynnä vettä olevassa putkessa, s.30

**Kuva 5.5** Alin 10 cm vedessä olleesta massasta hienontui heti, s.30

**Kuva 5.6** Poikkileikkaus massasta noin 30 cm pinnasta; vasemmanpuoleinen oli vettä täynnä olevassa putkessa, s.31

## TAULUKOT

**Taulukko 5.1** Ensimmäisen vetokokeen tulokset, s.26

**Taulukko 5.2** Toisen vetokokeen tulokset, s.26

**Taulukko 5.3** Ensimmäinen koepultista tehty vetokoe, s. 27

**Taulukko 5.4** Toinen koepultista tehty vetokoe, s.27

**Taulukko 5.5** Kolmas koepultista tehty vetokoe, s.27

**Taulukko 5.6** Neljäs koepultista tehty vetokoe, s.28

## LÄHTEET

1. RIL 154-2 Tunneli- ja kalliorakennus II. 1987. Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL r.y. Espoo.
2. RIL 169-1987 Kalliotilojen rakennusohjeet. 1989. Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL r.y. Vammala.
3. RIL 154-1 Tunneli- ja kalliorakennus I. 1987. Suomen Rakennusinsinöörin Liitto RIL r.y. Espoo.
4. Vilpas, J-P. 2006. Juotosmassan valmistuksen automatisointi Robotpultituslaitteeseen. Tampereen ammattikorkeakoulu. Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma. Tutkintotyö.
5. InfraRYL 2006 Osa 1. 2006. Hämeenlinna. Rakennustietosäätiö.
6. Tiedonanto 27 Kalliopulttien asennus ja laadunvalvonta. 1977. VTT Geotekniikan laboratorio. Espoo.
7. Vägverkets allmänna tekniska beskrivning för nybyggande och förbättring av tunnlar, Tunnel 2004. 2004. Vägverket. Borlänge. Tulostettu 15.7.2010 [http://publikationswebbutik.vv.se/upload/3803/2004\\_124\\_atb\\_tunnel\\_2004\\_komplett.pdf](http://publikationswebbutik.vv.se/upload/3803/2004_124_atb_tunnel_2004_komplett.pdf)
8. RTH 323-80 Suggested method for determining the strength of a rock bolt anchor (pull test). International Society of Rock mechanics. Tulostettu 15.7.2010 <http://www.wes.army.mil/SL/MTC/handbook/RT/RTH/323-80.pdf>
9. Users manual, Boltometer 011. 1985. Geodynamik Ab. Tukholma. Tulostettu 1.8.2010 <http://www.geodynamik.com/languages/pdf/mbo.pdf>
10. Sillanrakentamisen yleiset laatuvaatimukset – betonirakenteet SYL 3. 2005. Tiehallinto. Helsinki.
11. Karhunen J. Lujuusoppi 543. 2006. 10. muuttumaton painos. Helsinki. Ota-tieto Oy.

