

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU
Kone- ja tuotantotekniikka
Tuotekehitys

Tutkintotyö

Juha-Pekka Vilpas

**JUOTOSMASSAN VALMISTUKSEN AUTOMATISOINTI ROBOLT-
PULTITUSLAITTEESEEN**

Työn ohjaaja
Työn teettäjä
Tampere 2006

Lehtori Jyrki Oinonen
Sandvik Mining and Construction Oy, valvojana DI Janne Ojala

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

Tuotekehitys

Juha-Pekka Vilpas

Juotosmassan valmistuksen automatisointi Robolt-pultituslaitteeseen

47 sivua

Tutkintotyö

Työn ohjaaja

Lehtori Jyrki Oinonen

Työn teettäjä

Sandvik Mining and Construction,
valvojana DI Janne Ojala

Huhtikuu 2006

Hakusanat

Kallionpultitus, juotosmassa, sementti, automatisointi

TIIVISTELMÄ

Tutkintotyö tehtiin Sandvik Mining and Construction Oy:lle Tampereella. Työn aiheena oli juotosmassan valmistuksen automatisointi Robolt-pultituslaitteeseen. Juotosmassan valmistukseen tarvitaan laitteistoa, jolla on mahdollista valmistaa tietty määrä halutun suhteista juotosmassaa. Juotosmassalla tarkoitetaan veden ja sementin muodostamaa betoniseosta, jolla juotetaan kallionlujituspultteja kallioon. Pultituksen avulla kalliota voidaan lujittaa kallionlouhinnan aikana, ennen louhintaa tai sen jälkeen.

Tärkein tutkimuskohde työssä oli veden ja erityisesti sementin annostelussa ja siinä, kuinka operaattori pystyisi valmistamaan haluamansa suhteista juotosmassaa poistumatta pultituslaitteen ohjaamosta. Työssä esitettiin kolme vaihtoehtoa automatisoiduksi juotosmassajärjestelmäksi. Ensimmäisessä vaihtoehdossa sementin annostelu mahdollistettiin punnituksella ja veden annostelu virtausmittarin avulla. Vaihtoehto oli kerta-annoksen valmistava järjestelmä. Toinen vaihtoehto oli myös kerta-annoksen valmistava järjestelmä, jonka annostelu perustui ainoastaan betoninsekoitusyksikön punnitukseen. Kolmas vaihtoehto oli jatkuvatoimisesti juotosmassaa valmistava, kahta ensimmäistä vaihtoehtoa monimutkaisempi järjestelmä, joka esitettiin tutkintotyössä vertailun vuoksi. Se ei jatkuvatoimisuuden vuoksi sopinut pultituslaitteeseen, koska jatkuvalle juotosmassan valmistukselle ei ollut tarvetta, vaan oli juotosmassan ominaisuuksien kannalta parempi valmistaa sitä aina tietty määrä senhetkistä tarvetta varten. Toinen vaihtoehto osoittautui parhaaksi, koska siinä saavutettiin pienimmän automaation avulla tarkin ja luotettavin annostelu.

Sementti on tärkeä osa juotosmassaa. Tutkintotyössä tarkasteltiin sementin ominaisuuksia ja käyttäytymistä sekä hiekan vaikutusta juotosmassan runkoaineena. Lisäksi työssä esiteltiin käytössä olevia pulttityyppejä ja kallionlujitusmenetelmiä niin rakennustyömailla kuin kaivoksissa.

TAMPERE POLYTECHNIC

Mechanical and production engineering

Product development

Juha-Pekka Vilpas

Automation of cement grout manufacturing for Robolt-bolting rig

Final thesis

47 pages

Thesis supervisor

Jyrki Oinonen, lecturer

Commissioning company

Sandvik Mining and Construction Oy,
supervisor Janne Ojala (M.Sc.)

April 2006

Keywords

Rock bolting, cement grout, cement, automation

ABSTRACT

This final thesis was made for Sandvik Mining and Construction Oy. The aim of this thesis was Automation of cement grout manufacturing for Robolt-bolting rig. For manufacturing a cement grout, you need to have equipment, which gives you an opportunity to make a cement grout with certain ratio. Cement grout is made of cement and water. With the grout it is possible to grout bolts in to the rock. The main idea in the rock bolting is to increase the ability of the rock to support itself. The rock bolting can be done before, during or after the mining.

The aim of this study was to research the dosage of cement and water and how the operator can manufacture the cement grout with certain ratio. There were three examples for automated cementing system in this study. The dosage in the first one was based on weigh'in the cement cilo and the screw conveyor. Water was dosed with flow-meter. With this system the cement grout was manufactured as one time dose. On the other words the grout manufacturing was not continuos. The second one was also based on a one time dose manufacturing. The main operation of this system was based on weigh'in the cement mixer. The third system was manufacturing cement grout continuously and it was not suitable for bolting. It was also much more complexed and automated system. There was no need to manufacture the cement grout continuously, because it would have affected to the quality of the grout. Third system was introduced in this thesis for a comparison. The second system was the most suitable option for the automation of cement grout manufacturing

Cement is an important part of the cement grout. In this thesis there was researched the qualities and the behavior of the cement. There was also researched the influence of adding sand in to the cement grout. Wurthermore there was introduced the most common bolt types and bolting methods.

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ ABSTRACT

1 JOHDANTO	5
2 YRITYSTIETOA.....	6
2.1 Sandvik-konserni	6
2.2 Sandvik Mining and Construction Oy	6
2.2.1 Tampereen tehdas ja sen historia	7
2.2.2 Tampereen tehtaan päätuotteet.....	7
3 KALLIONLUJITUSPERIAATTEET	10
4 PULTTITYYPIT.....	11
4.1 Ankkuroidut pultit.....	12
4.1.1 Paisuntakuoripultti	12
4.1.2 Kiilapultti	13
4.1.3 Split-set-pultti.....	13
4.1.4 Swellex-pultti	15
4.2 Juotetut pultit.....	16
4.2.1 Betonilla juotettu pultti	16
4.2.2 Hartsilla juotettu pultti	17
4.2.3 Kaapelipultti.....	18
5 PULTITUSMENETELMÄT	19
5.1 Robolt – täysmekanisoitu pultituslaite.....	20
5.2 Pultitusmenetelmät kaivoksissa	21
5.3 Pultitusmenetelmät rakennustyömailla	23
6 BETONIJUOTOS	23
6.1 Sementin ominaisuudet.....	24
6.2 Hiekka osana juotosmassaa – erot vesi-sementtiseokseen.....	26
6.2.1 Lujuus	27
6.2.2 Tiheys.....	27
6.2.3 Kuivumiskutistuminen	28
6.2.4 Viruminen	28
6.2.5 Taloudellisuus	29
7 JUOTOSMASSAJÄRJESTELMÄN PERUSOSAT	29
7.1 Sementtisiilo	29
7.1.1 Sementtisiilon täyttömahdollisuuksia	30
7.2 Sementin ruuvikuljetin.....	32
7.3 Betoninsekoitinyksikkö.....	32
8 JUOTOSMASSAN VALMISTUKSEN AUTOMATISOINTI	33
9 TULOSTEN TARKASTELU	43
10 YHTEENVETO.....	45
LÄHTEET.....	46

1 JOHDANTO

Tutkintotyön tavoitteena on tarkastella kallionlujitusta kallionpultituksen näkökulmasta sekä tutkia ja tarjota toimeksiantajalle vaihtoehtoisia ratkaisuja juotosmassan valmistuksen automatisoinniksi Robolt-pultituslaitteeseen (kuva 11). Juotosmassalla tarkoitetaan betoniseosta, jonka avulla kallionlujituspultti voidaan juottaa pultituslaitteen avulla porattuun porausreikään. Mekanisoituun kallionpultitukseen tarvitaan lisää tehokkuutta, mikä on mahdollista automatisoimalla juotosmassan valmistusta. Myös työturvallisuus lisääntyisi automatisoinnin myötä.

Robolt-pultituslaite on täysmekanisoitu pultituslaite, jota ohjataan yhden operaattorin voimin. Tällä hetkellä Roboltissa juotosmassan valmistukseen liittyen automatisoituna on vedensyöttö sekä juotosmassan sekoitus ja pumppaus. Tarkoituksena on saada juotosmassan valmistus kokonaisuudessaan automatisoitua, jotta koko pultitustapahtumaa voitaisiin ohjata pultituslaitteen ohjaamosta. Sementin on aikaisemmin lisännyt operaattori käsin juotosmassasekoittimeen eli betoninsekoitusyksikköön, josta valmis veden ja sementin muodostama juotosmassa on pumpattu porausreikään. Juotospultituksen automatisointi on tällä hetkellä erittäin ajankohtainen aihe, ja sen uudistaminen ja kehittäminen on jatkuvaa tuotekehitystyötä, koska pultitukseen halutaan lisää tehokkuutta ja turvallisuutta.

Lisäksi tutkintotyössä on tutkittu kallionlujitusta ja -pultitusta yleisesti. Kallionlujitus on merkittävä osa kallionporaustoimintaa. Siihen liittyy myös paljon erilaisia menetelmiä ja lainalaisuuksia. Tärkeässä osassa ovat mekanisoidut pultituslaitteet, joiden käyttö kallionlujituksessa on lisääntynyt huomattavasti. Tämän vuoksi työssä on esitelty pultituslaitteiden käytössä olevia pulttityyppejä ja tutkittu kallionlujitusmenetelmiä niin rakennustyömailla kuin kaivoksissa. Tutkintotyössä keskitytään myös siihen, kuinka lujitusmenetelmät ovat muuttuneet ja kehittyneet.

Kallionlujituspultti voidaan juottaa kallioon juotosmassan avulla, jolloin pultin kalliota lujittava ominaisuus paranee. Juotosmassana käytetään veden ja sementin seosta. Yleisimmin pulttimateriaalina käytetään harjaterästä ja käytetyin pulttityyppi on beto-

nilla juotettu harjateräspultti. Tutkintotyössä on tarkasteltu sementin ominaisuuksia sekä hiekan vaikutusta juotosmassan runkoaineena.

2 YRITYSTIETOA

2.1 Sandvik-konserni

Sandvik on vuonna 1862 perustettu ruotsalainen korkean teknologian materiaalitekniikkakonserni. Se on yksi Ruotsin suurimmista vientiyrityksistä ja sillä on yli 300 tytäryhtiötä yhteensä 130 maassa. Henkilöstöä Sandvikilla on n. 37 000. /5/

2.2 Sandvik Mining and Construction Oy

Sandvik Mining and Construction Oy on metalliteollisuuskonserni, joka toimittaa maailmanlaajuisen verkostonsa kautta koneita ja laitteita maanalaiseen ja -päälliseen poraukseen, rikotukseen, rakenteiden purkamiseen sekä louheen siirtoon ja kuljetukseen. Toimintaan kuuluvat tärkeänä osana myös palvelu- ja huoltoliiketoiminta. Sandvik Mining and Construction Oy on yksi maailman johtavista louhinta- ja materiaalin- käsittelylaitteiden ja niihin liittyvien palvelujen tuottajista. /7/

Sandvik Mining and Construction Oy:n liiketoiminta jakautuu kahteen toimintaryhmään: Laiteryhmään sekä Porauskalusto ja palvelut -ryhmään. Suomen toiminnot kuuluvat pääasiassa Laiteryhmään. Sandvik Mining and Construction Oy:llä on Suomessa neljä toimipaikkaa, jotka sijaitsevat Tampereen Myllypurossa, Lahden Ahtialassa, Turun Runosmäessä sekä Vantaalla Veromiehenkylän alueella. Ulkomailla Sandvik Mining and Construction Oy:llä on liiketoimintaa mm. Ranskan Lyonissa ja Kanadan Burlingtonissa. Kallionporauslaitteita valmistetaan Tampereella ja Lyonissa ja Sandvik Mining and Construction Oy:n tutkimus- ja peruskehitystyötä tehdään Tampereella ja Turussa. Henkilöstön määrä Sandvik Mining and Construction Oy:llä Suomessa on n. 1300. /6/

2.2.1 Tampereen tehdas ja sen historia

Tampereen tehtaan juuret ulottuvat vuoteen 1856, jolloin Tampella Oy sai alkunsa. Vuonna 1943 Tampella perusti erillisen osaston suunnittelemaan ja valmistamaan varaosia suomalaisten kaivosyrittäjien käyttämiin paineilmaporakoneisiin. Kymmenen vuotta myöhemmin Tampella toi markkinoille oman paineilmatoimisen käsiporakoneen. Vuonna 1967 se lanseerasi ensimmäisen mekaanisten porauslaitteiden mallistonsa. Tamrock-nimi otettiin ensimmäisen kerran käyttöön vuonna 1969, kun Tampella itsenäisti paineilmaporakoneosastonsa itsenäiseksi divisioonaksi nimeltä Tampella-Tamrock. Ensimmäinen Tamrockin oma suomalainen tuotantolaitos perustettiin 1972 Tampereen Myllypuroon, jossa se toimii vieläkin. Ensimmäinen hydraulinen porausjumbo valmistui 1975, jonka jälkeen hydraulisten porauslaitteiden valmistus ja kehitys on jatkunut nousujohteisena. Merkittävin yritysmuutos tapahtui vuonna 1997, jolloin ruotsalainen Sandvik-konserni osti enemmistön Tamrockin osakkeista ja Tamrock siirtyi Sandvikin omistukseen. Nimeksi vaihtui tällöin Sandvik Tamrock Oy. Nykyisin Sandvik Tamrock Oy tunnetaan nimellä Sandvik Mining and Construction Oy. /6/

2.2.2 Tampereen tehtaan päätuotteet

Tällä hetkellä Tampereen Myllypurossa valmistetaan porauslaitteita maanalaiseen (kuvat 2, 3) ja -päälliseen (kuva 1) poraukseen sekä kallionlujitukseen (kuva 11). Tehdas jakaantuu kahteen osaan: Underground- ja Surface-divisioonaan. Myös laitteiden porakoneet suunnitellaan ja valmistetaan Tampereella. Myllypurossa sijaitsee myös Sandvik Mining and Construction Oy:n koeluola, missä porauslaitteet koeporataan ennen asiakkaalle luovutusta ja missä koekäytetään uusia prototyyppejä. Tällä hetkellä Tampereella valmistetaan mm. seuraavia porauslaitteita:

Maanpäälliset porauslaitteet:

- Pantera
- Ranger
- Commando

Maanalaiset porauslaitteet:

- Axera – kallionporausjumbot
- Solo – pitkäreikäporauslaitteet

Kallionlujituslaitteet:

- Robolt – kalliopultitus
- Cabolt – kaapelipultitus. /6/



Kuva 1 Avolouhintalaite Panthera 1500 /6/



Kuva 2 Kallionporausjumbo Axera 07 /6/



Kuva 3 Kaapelipultituslaite Cabolt /6/

3 KALLIONLUJITUSPERIAATTEET

Kun kalliota louhitaan kaivoksissa tai rakennustyömaalla, on tärkeää, että kaikki tapahtuu turvallisesti ja turvallisissa olosuhteissa. Louhitun tunnelin tulee olla turvallinen kulkea myös kymmeniä vuosia eteenpäin louhinnan jälkeen, mikäli tähän on tarvetta. Turvallisuus on pääsyy kallion lujittamiseen.

Ennen lujittamista on tärkeää selvittää kallion lujitustarve. On selvitettävä, kestääkö kallio sellaisenaan louhinnan aiheuttamat rasitukset vai tarvitaanko lujitustoimenpiteitä. Selvää yksiselitteistä menetelmää kallion lujitustarpeen määrittämiseen ei ole, vaan se riippuu kallion geologisista ominaisuuksista. Näitä ominaisuuksia ovat mm. kivilajien laatu, lujuus sekä kallion rakoilu. Lisäksi lujitustarpeeseen vaikuttavat lujitusalueen heikkousvyöhykkeet ja vesiolosuhteet. Tärkeää on myös huomata, että pitkäaikaisen lujitustarpeen kannalta kallioon vaikuttavat huomattavasti myös louhinnan jälkeen kallioon muodostuvat jännitykset ja niistä seuraavat ilmiöt. Ilman alkuvaiheen tutkimustoimenpiteitä, kalliotilojen lujituksesta aiheutuvat kustannukset saattavat nousta huomattavan suuriksi. /1/

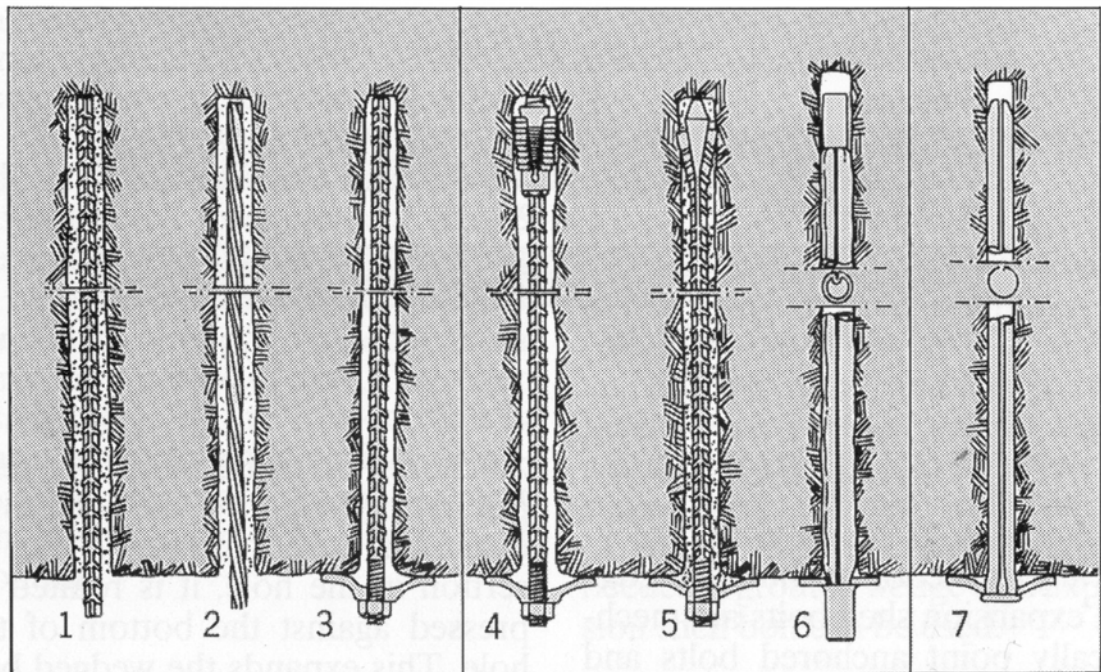
Lujittamisen fysikaalinen tarkoitus on rajata kiven epämuodostumia ja pitää louhinnasta johtuvat kallion murtumat yhdessä. Tärkein rakennusaine on kivi itse. Lujittamisen avulla kivi kannattelee itseään paremmin ja sietää suurempia jännityksiä.

Lujittaminen voi tapahtua louhinnan aikana tai välittömästi louhinnan jälkeen. Kalliota on myös mahdollista lujittaa ennen louhintaa, jos lujittamisen kohteena on suuria massoja kiveä. Kalliorakenteiden lujituksettomien tilan tulisi kuitenkin jäädä mahdollisimman pieneksi. /1/

4 PULTTITYYPIT

Kallionlujituspultteja voidaan jakaa ryhmiin niiden toimintaperiaatteen mukaan. On olemassa ankkuroituja pultteja ja juotospultteja. Ankkuroidut pultit ovat aktiivisia ja juotetut pultit usein passiivisia lukuun ottamatta hartsilla juotettua pulttia, joka on aktiivinen. Aktiiviset pultit tukevat kalliota heti asennushetkellä, kun taas passiivisten pulttien tukivaikutus alkaa vasta kallion liikkua. Usein pulttityypit jaetaan myös niiden toimintatilan mukaisesti. Pultit ovat kalliossa joko pysyviä tai väliaikaisia. /1; 2/

Kaikki yleisimmät pulttityypit on valmistettu teräksestä. Yleisin teräksen muoto on halkaisijaltaan 16–25 mm harjateräs. Myös poikkeuksia on, kuten Swellex- ja Split-set-pultit osoittavat. Pulttien pituudet vaihtelevat yleisesti ottaen 1,5 m:stä 6 m:iin. Poikkeuksena on kaapelipultti, jonka pituus saattaa enimmillään olla jopa 40 m. Kuvassa 4 pulttityypit on jaoteltu ankkuroituihin pultteihin ja juotettuihin pultteihin. /2/



Kuva 4 Pulttityyppejä: 1. betonilla juotettu pultti, 2. betonilla juotettu kaapelipultti, 3. esijännitetty hartsilla juotettu pultti, 4. paisuntakuoripultti, 5. betonilla juotettu kiila-pultti, 6. Swellex-pultti, 7. Split-set-pultti /2/

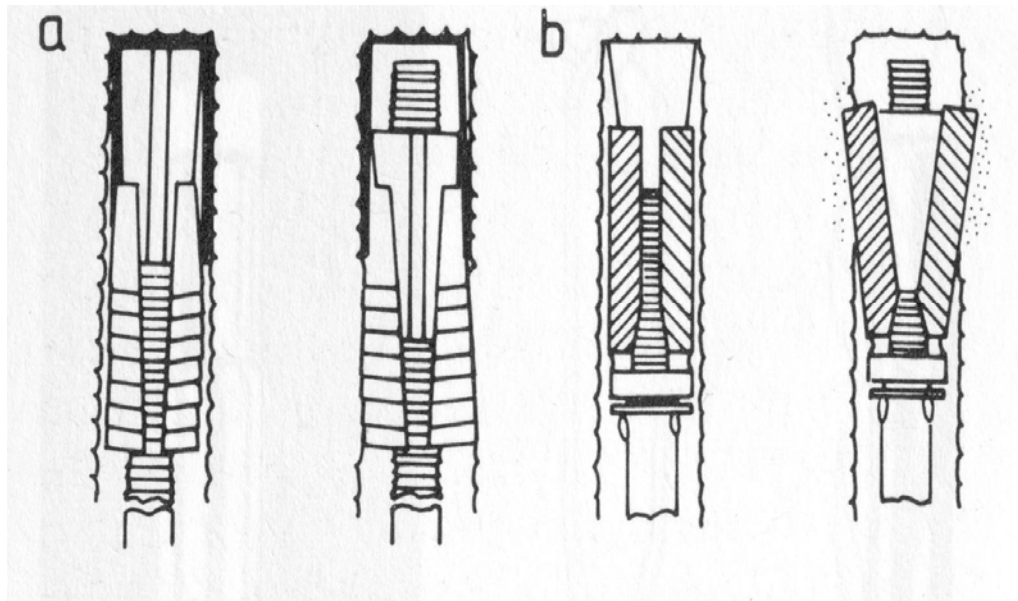
4.1 Ankkuroidut pultit

Ankkuroidut pultit ovat yleensä tarkoitettu väliaikaiseen lujittamiseen. Pultin päässä on mekaanisesti toimiva ankkuri. Kun pultti asennetaan porattuun reikään, ankkuri laajenee joko kiertäen pulttia tai painamalla sitä reiän pohjaa vastaan. Tällöin pultti ankkuroituu lujasti reiän seinämiin. Toinen malli ankkuroidusta pultista on ns. kitka-pultti, joka ankkuroituu itseään pienempään reikään kitkan avulla. Asennettaessa ankkuroituja pultteja poratun reiän tulee olla varsin tarkka. Ankkuroidusta pultista voidaan tehdä pysyvä esim. sementtijuotoksen avulla. /1/

4.1.1 Paisuntakuoripultti

Paisuntakuoripultti on harjateräksestä valmistettu, mekaanisella ankkurilla varustettu pultti, jossa on aluslevy ja kiristysmutteri esijännitystä varten. Ankkurointi vaatii poratulta reiältä tarkkuutta, jotta pultti saadaan asennettua pitävästi. Ankkureita on mm. sanka- ja kuorityyppisiä malleja (kuva 5). Paisuntakuoripultti vaatii myös keskikovan kallion asennukselle, jolloin olosuhteet pultin asennukseen ovat ihanteelliset. Jos kallio on pehmeää asennuskohdassa, tulee mekaanisen ankkurin laajeta varsin paljon, eikä pultti tällöin ankkuroidu yhtä hyvin kuin kovaan kallioon. Paisuntakuoripultti voidaan juottaa asennuksen jälkeen hartsipanoksen tai sementin avulla pultin varsiosasta. Tällöin juotettuna siitä tulee pysyvämpi lujittaja. /1; 2/

Paisuntakuoripultin etuja ovat välitön toimintavalmius heti asennuksen jälkeen, hyvä korroosion kestävyys juotettuna ja helppo asennus. Ilman juotosta pultti altistuu helposti korroosiolle. Juotoksella voidaan lisäksi varmistaa pultin toimivuus, jos ankkurointi reiän päässä pettää. /1/



Kuva 5 Sanka- (a) ja kuorityyppinen (b) paisuntakuoriankkuri /1/

4.1.2 Kiilapultti

Kiilapultti on harjateräspultti ja toimintaperiaatteeltaan lähes samankaltainen kuin paisuntakuoripultti. Kiilapultin päässä on halkio, jonka sisälle on upotettu kiila. Kun pultti työnnetään reikään, kiila koskettaa reiän pohjaan ja työntyy sisälle pulttiin. Tämän johdosta pultin pää laajenee ja ankkuroituu kallioon. Kiilapultti esijännitetään aluslevyn ja kiristysmutterin avulla, ja se voidaan juottaa kallioon asennuksen jälkeen. /1/

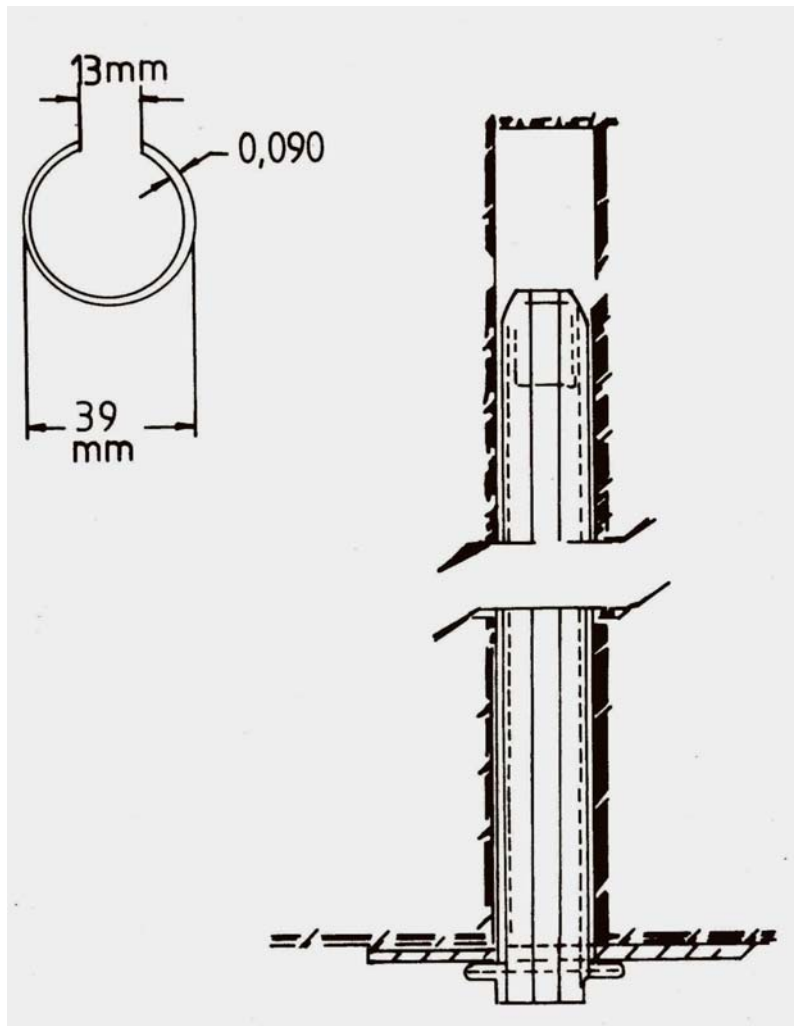
Kiilapultin haittoja ovat sopimattomuus pehmeään kallioon sekä huono korroosion kesto, mikäli sitä ei juoteta. Se on kuitenkin heti toimintavalmis ja varsin helppo asentaa. /1/

4.1.3 Split-set-pultti

Split-set-pultti (kuva 6) on rakenteeltaan ns. kitkapultti, joka on halkaista teräsputki. Se vasaroidaan porausreikään, jonka halkaisija on pultin halkaisijaa pienempi. Tällöin kallion pinnan ja jousimaisesti laajenevan pultin väliin muodostuu kitkavoima. Split-

set-pultti antaa kalliolle vain väliaikaisen tuen. Kallioon poratun asennusreiän tulee olla erityisen tarkka, jotta split-set-pultti voidaan asentaa onnistuneesti. /1/

Split-set-pultti on erittäin helppo ja nopea asentaa. Kallion rakoillessa se ei menetä toimintakykyään. Split-set-pultin huono ominaisuus on sen heikko korroosion kesto. Kitkapultit yleisesti ovat varsin kalliita. /1/

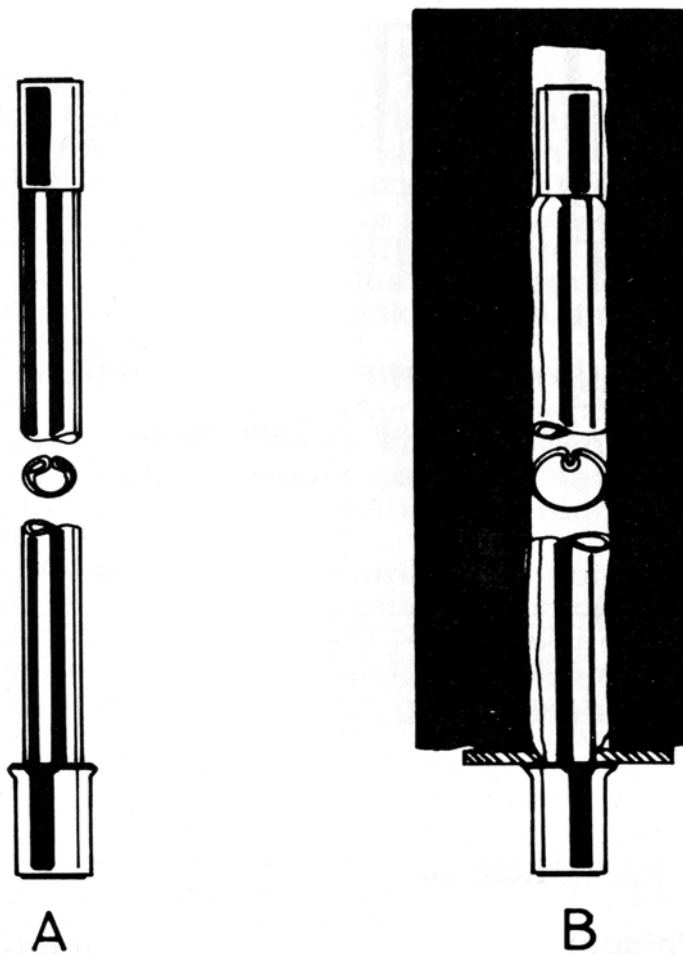


Kuva 6 Split-set-kitkapultti /1/

4.1.4 Swellex-pultti

Swellex-pultti (kuva 7) kuuluu Split-set-pultin tavoin kitkapulttien ryhmään. Swellex-pultti on valmistettu teräsputkesta, jonka halkaisija on 41 mm. Se on kuitenkin painettu kasaan niin, että sen uusi halkaisija on 28 mm. Pultin toinen pää on suljettu ja toisessa päässä on suukappale. Suukappaleen kautta pultin sisään pumpataan vettä kovalalla paineella, jolloin pultti laajenee reiän seinämiä vasten. Näin syntyvän paineen avulla, joka kohdistuu reiän seinämiin, pultti saa pitovoimansa. /1/

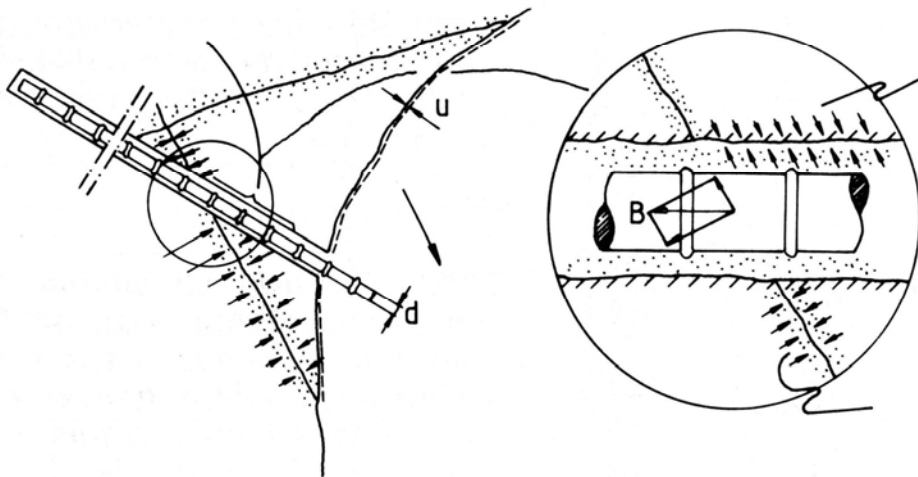
Kuten Split-set-pultilla myös Swellex-pultilla on huono korroosion kesto-ominaisuus. Swellex-pultin käyttöaika saattaa olla Split-set-pulttia pidempi, mutta muuten näiden pulttien käyttäytyminen on melko samanlaista. /1; 2/



Kuva 7 Swellex-pultti asentamattomana (a) ja asennettuna (b) /1/

4.2 Juotetut pultit

Juotetut pultit (kuva 8) ovat joko betoni- tai hartsijuotettuja. Pulttimateriaalina käytetään yleisimmin harjaterästankoa tai kaapelimaista, terässäikeistä valmistettua kaapelipulttia. Juottamalla pultit kallioon saadaan pultille pidempi käyttöikä kuin juottamattomilla pulteilla. Juotospulttaus on havaittu vuosien varrella nopeaksi ja luotettavaksi menetelmäksi. Siitä onkin tullut suosituin kallion pultitusmuoto. /2/



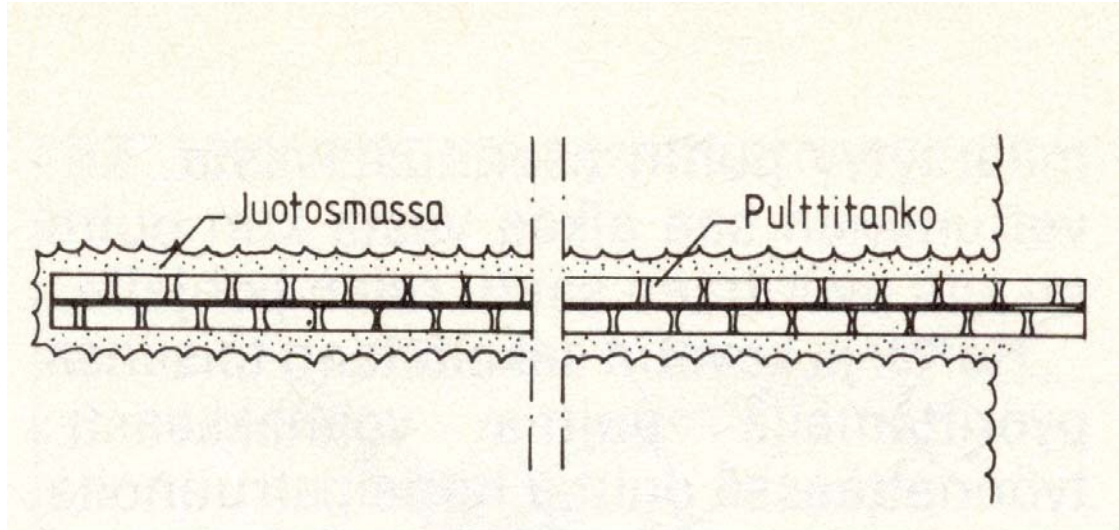
Kuva 8 Juotettujen pulttien toimintaperiaate /1/

4.2.1 Betonilla juotettu pultti

Betonilla juotettu pultti (kuva 9) on suosituin ja eniten käytetty pulttityyppi. Siinä pulttimateriaalina on yleisimmin harjaterästanko, jonka pituus on 1,5–6 m ja halkaisija 16–25 mm. Se juotetaan reikään koko pituudeltaan. Pultti voidaan varustaa aluslevyllä, jonka tarkoitus on välittää pultin vaikutusalue laajemmalle pultin suosaan. /1/

Betonilla juotetun pultin etuna on hyvä korroosionkestävyys. Se on helppo ja nopea asentaa sekä standardisoitujen ainesosien ansiosta halpa. Betonilla juotetun pultin hait-

toja ovat hidas toimivuus, koska juotos kestää kovettua n. 15–25 tuntia. Lisäaineiden avulla kovettumisaikaa voidaan pienentää, mutta se kasvattaa pultituskustannuksia. /2/



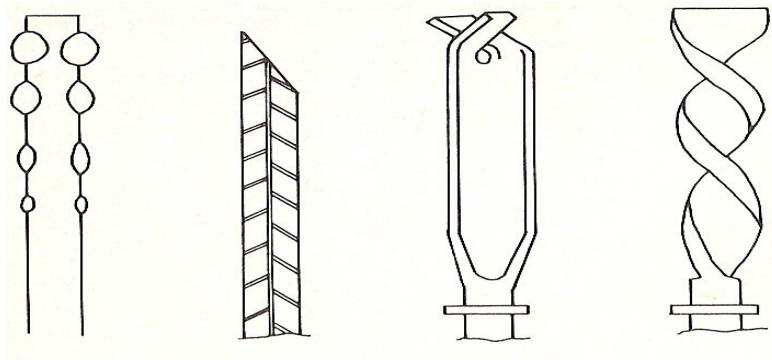
Kuva 9 Betonilla juotettu pultti /1/

4.2.2 Hartsilla juotettu pultti

Pultituksen mekanisoinnin myötä hartsilla juotetun pultin käyttö on lisääntynyt, koska hartsijuotos vaatii asennukselta erityistä tarkkuutta. Pulttimateriaalina käytetään yleisesti samaa harjaterästankoa kuin betonilla juotetussa pultissa. Hartsijuotoksen tekemiseen on olemassa hartsipatruunoita, joissa kovetusaine on patruunan keskellä. Hartsijuotoksen kovettumisaikaa voidaan säädellä muuttamalla eri ainesosien suhteita. Tärkein ero betoni- ja hartsijuotoksen välillä on, että hartsijuotus kovettuu lähes heti asennuksen jälkeen. /2/

Hartsilla juotetun pultin asennuksessa hartsipatruuna asennetaan ensin reiän pohjalle, jolloin pultin kohdatessa patruunan patruuna rikkoutuu ja hartsijuotus sekoittuu kovetusaineeseen. Tällöin lujittuminen alkaa välittömästi. Asennettaessa pulttia pyöritetään ja sen pää on usein erityisesti muotoiltu (kuva 10), jotta hartsijuotus ja kovetusaine sekoittuisivat mahdollisimman hyvin. Pultituksessa on tärkeää huomioida reiän ja pultin hal-

kaisijoiden välinen ero. Oikeaoppinen ero on 4–12 mm. Jos halkaisijoiden ero on liian suuri, se saattaa heikentää juotoksen vaikutusta ja kasvattaa pultituskustannuksia. /1/



Kuva 10 Hartsilla juotetun pultin päävaihtoehtoja /1/

Hartsilla juotetun pultin etuja ovat hyvä korroosionkestävyys, nopea hartsin lujittuminen, jolloin pultti on heti toimintavalmis. Lisäksi sen asennus on helposti mekanisoitavissa. Haittapuolia ovat hartsipatruunoiden kallis hinta ja huonot tiedot hartsijuotoksen ominaisuuksista, kuten siitä, mikä on juotoksen pitkäaikainen kestävyys. /2/

4.2.3 Kaapelipultti

Kaapelipultti on tarkoitettu lujittamaan suuria massoja kalliota, ja sitä käytetään sekä ennen louhintaa että sen jälkeen. Kaapelipultti on valmistettu terässäikeistä ja sen halkaisija on 15,2 mm. Kaapelipultti juotetaan kallioon betonilla. Sen pituudet voivat vaihdella 10 m:stä 25 m:iin, mutta erikoistapauksissa pituus voi olla jopa 40 m. /2/

Kaapelipulttia käytetään kaivoksissa, joissa tarvitaan pitkälle ulottuvaa lujittamista. Pultteja voidaan kuljettaa kaivoksessa kerällä, jolloin pultin pituus voidaan päättää itse vasta asennuksen yhteydessä ja kallio-olosuhteiden mukaan. Normaalit harjateräspultit

eivät pitkinä mahdu tiettyihin kaivoksiin, mutta kaapelipulttauksen ansiosta voidaan kalliota lujittaa tilarajoitteisissa paikoissa. /2/

Kaapelipultin etuja ovat sen hyvä korroosionkesto ja hyvät asennusmahdollisuudet. Lisäksi kaapelipultti kestää erinomaisesti suuria kuormituksia. Sitä voidaan kuormittaa kolminkertaisesti verrattuna harjateräkseen. Pultin haittoina voidaan nähdä se, että sitä on vaikea onnistuneesti asentaa manuaalisesti. Kaapelipultti vaatiikin asennukseen usein mekanisoiden pultituslaitteen. /2/

5 PULTITUSMENETELMÄT

Nykyään lähes kaikki kallion pultitukset tapahtuvat mekanisoidusti. Pulttien käsin asentamista käytetään enää vaan pienimmissä ja yksinkertaisimmissa työkohteissa. Pultituksen mekanisointi tarkoittaa käytännössä sitä, että koneet suorittavat kaikki pultitukseen kuuluvat työvaiheet. Uusimmat täysmekanisoidut pultituslaitteet pystyvät suorittamaan kaikki työvaiheet itsenäisesti, joten poraus, juottaminen ja pultin asennus voidaan tehdä samalla laitteella. Lujitettaessa kalliota poran koko ja porattavan reiän läpimitta määräytyy käytetyn pultin perusteella. Nykyisin laitteisiin on integroitu myös juotosmassan sekoitusyksikkö, mikäli juotusmateriaalina on betoni. Itse pultitus tapahtuu pultituspään avulla, joka on kiinnitetty pyörivään zoom-puomiin. /1; 2/

Pultituksen mekanisoinnin myötä työturvallisuus kaivoksissa ja rakennustyömailla on parantunut, koska mekanisoidun pultituslaitteen ansiosta koneen käyttäjä on kauempana lujittamattomasta kalliosta, ja samasta koneen asemasta hallitaan laajempi työalue. Myös aikaisemmin raskaat työvaiheet ovat kadonneet ja työteho on kasvanut. Ainoastaan pulttikasetin täyttämisen, porakoneen vaihdon tai sementin lisäyksen takia joudutaan poistumaan suojakatoksen alta. /5/

5.1 Robolt – täysmekanisoitu pultituslaite

Sandvik Mining and Construction Oy:n kehittämä Robolt (kuva 11) on täysmekaaninen, sähköhydraulinen pultituslaite, jota ohjataan yhden henkilön eli operaattorin voimin. Roboltia käytetään kallion lujitustöihin maanalaisissa kaivoksissa ja tunneleissa. Sandvik Mining and Construction Oy esitteli ensimmäisen Roboltin jo vuonna 1979. Se toteutettiin yhteistyössä suomalaisen kaivosyhtiön Outokumpu Oy:n kanssa. Robolt suunniteltiin aluksi käyttämään harjaterästankoja pulttimateriaalina, mutta nykyään sillä voidaan käyttää kaikkia pulttityyppejä lukuun ottamatta kaapelipulttia. /2/



Kuva 11 Robolt-pultituslaite /6/

Tärkein osa Roboltia on sen pultituspää. Hydraulisesti toimivan pultituspään avulla voidaan suorittaa lähes kaikki pultitukseen liittyvät toimenpiteet. Se poraa pulttireiät, asentaa ja tarvittaessa esijännittää pultit sekä asiakkaan toiveesta joko pumppaa juotomassan tai ampuu hartsipanoksen porattuun pulttireikään. Pultituspäähän kuuluu pulttikasetti, johon mahtuu kahdeksan pulttia kerrallaan. Pulttikasetti on suunniteltu niin, että siinä voidaan käyttää kaikkia pulttityyppejä paitsi kaapelipulttia. Pulttien pituudet voivat vaihdella 1,5 m:stä 6 m:iin. Pultituspää, joka on kiinnitetty pyörivään zoom-puomiin, ohjataan sähköisesti Roboltin ohjaamosta. /2; 7/

Roboltiin kuuluu tärkeänä osana myös betoniletkun syöttökoneisto sekä betoninsekoitusyksikkö ja betonipumppu, mikäli betonijuotosvälineet laitteeseen halutaan. Roboltiin on saatavana vaihtoehtoisesti myös hartsipanoksen asennuslaitteisto. /7/

Roboltissa porakone ja pulttien syöttöyksikkö kulkevat ketjuvetoisilla erillisillä syöttölaitteilla. Syöttölaitteet ovat sijoitettu pultituspäähän rungon molemmin puolin. Pulttikasetti sijaitsee pulttien syöttöyksikön puolella syöttölaitteen vieressä. Pultituspäässä on hydraulisesti toimivat leuat, jotka tarttuvat pulttikasetissa olevaan pulttiin ja ohjaavat sen pulttien syöttöyksikölle. /7/

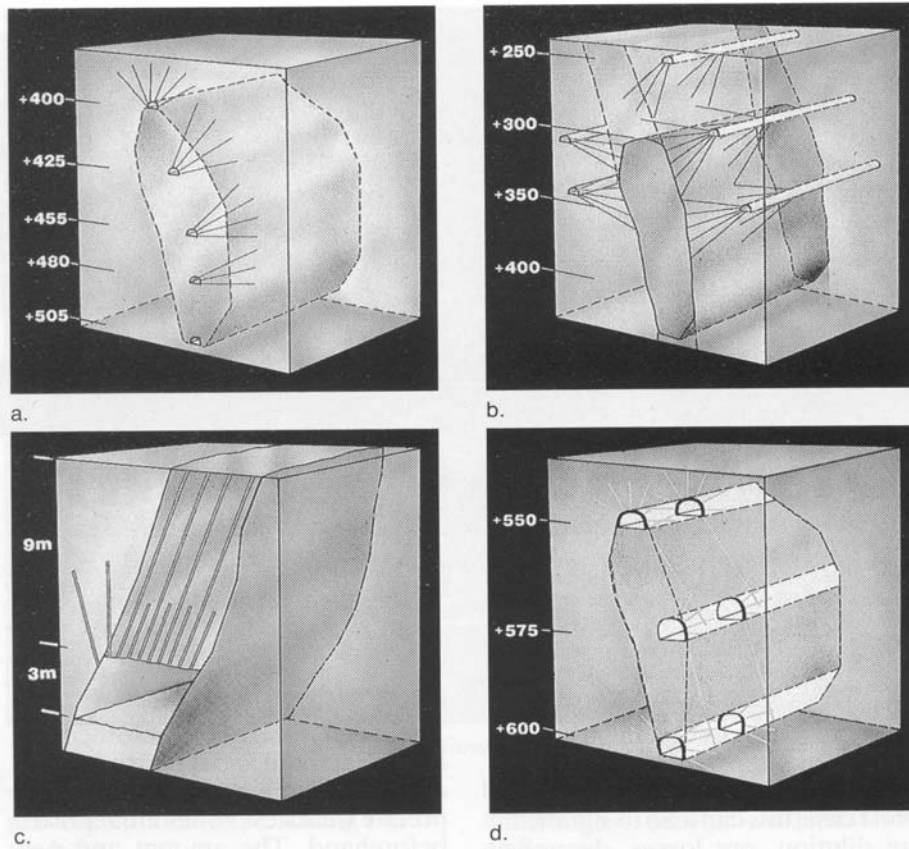
Kallion pultitus Roboltilla on erittäin tehokasta. Poraus, juottaminen ja yhden 2,4-metrinen harjateräspultin asennus kestää yhteensä noin 2,5 min. /2/

5.2 Pultitusmenetelmät kaivoksissa

Kaivoksissa lujitettaessa käytetään yleisesti juotospultteja, vaikka lujitustarve on väliaikainen. Ankkuroidut pultit kuten Split-set- ja Swellex-pultit ovat myös käytössä yleisiä. Niitä käytetään tukemaan väliaikaisia louhosalueita, -välitasoja sekä -kerrostumia. Heikkojen malmioiden louhinta on lisännyt lujittamisen tarvetta kaivoksissa. Kaikki malmi on saatava louhittua tehokkaasti ja turvallisesti. /2/

Kaapelipultitus on ollut kaivoksissa käytössä jo useiden vuosien ajan. Juuri pultituksen mekanisointi on lisännyt kaapelipultituksen suosiota. Kaapelipultituksen avulla pystytään lujittamaan kalliota laajemmalla alueella (kuva 12) kuin esim. tavallisilla harjateräspulteilla. Pultin pituutta voidaan helposti muuttaa lujittamisen aikana kallion ominaisuuksien ja olosuhteiden mukaisiksi. /2/

Pultituksen laatu on tärkeää kaivosurakoitsijoille. Pultituskustannukset eivät saa nousta korkeiksi, mutta turvallisuus on säilytettävä. Yksikin ylimääräinen pultitus nostaa kaivoksen kustannuksia huomattavasti. Tämänkin takia on tärkeää suunnitella pultitustarve etukäteen. Huonosti suunniteltu ja toteutettu lujittaminen saattaa johtaa malmin laadun heikkenemiseen, malmitappioihin ja näin tavoitellun voiton pienemiseen. /2/



Kuva 12 Kaapelipulttausmahdollisuuksia kaivoksissa /2/

5.3 Pultitusmenetelmät rakennustyömailla

Rakennustyömailla lujitustarve voi olla joko pysyvä tai väliaikainen. Usein pultituksen toimintaikä määräytyy rakennussuunnitelmassa, josta selviää louhittavan alueen ominaisuudet ja louhinnan tarkoitus. Louhittavat alueet ovat usein infrastruktuurisia rakennuskohteita kuten tunneleita tai suurempia halleja, jotka sijaitsevat kallion sisässä. /2/

Rakennustyömailla käytetään kaikkia pulttityyppejä. Pienissä tunneleissa käytetään lyhyitä pultteja, joiden pituus saattaa olla n. 2 m, kun taas suuremmilla rakennustyömailla voidaan käyttää jopa 10-metrisiä pultteja. Suurilla työmailla käytetään yleisesti täysmekanisoituja pultituslaitteita, koska niiden avulla voidaan käyttää eri pulttityyppejä. Pultituslaitteiden avulla laaja-alainen lujittaminen on myös taloudellisempaa ja tehokkaampaa. /2/

6 BETONIJUOTOS

Kun pultteja juotetaan kallioon, on otettava huomioon pultituspaikalla vallitsevat olosuhteet. Esimerkiksi kaivoksissa olosuhteet saattavat vaihdella erittäin paljon. Kosteus ja lämpötila vaikuttavat juotosmassan ominaisuuksiin. Juotosmassan on lujitettava nopeasti pultin asennuksen jälkeen. Koska pultitus joudutaan usein tekemään pystysuoraan ylöspäin, ei juotosmassa saa valua ulos porausreiästä, vaan sen on oltava koostumukseltaan oikeasuhteista. Betoniin ei saa jäädä myöskään onkaloita ja sen on oltava ainesosiltaan tasaisesti jakautunutta. /5/

Betonijuotosmassoina käytetään pääsääntöisesti kahta muotoa. Yleisimmin käytetty on veden ja sementin muodostama seos. Siinä ei käytetä varsinaista runkoainesta kuten hiekkaa lainkaan. Toinen on veden, sementin ja hiekan seos, jossa sementtiä ja hiekkaa on suhteessa 1:1. Sementtinä käytetään portlandsementtiä. /1/

6.1 Sementin ominaisuudet

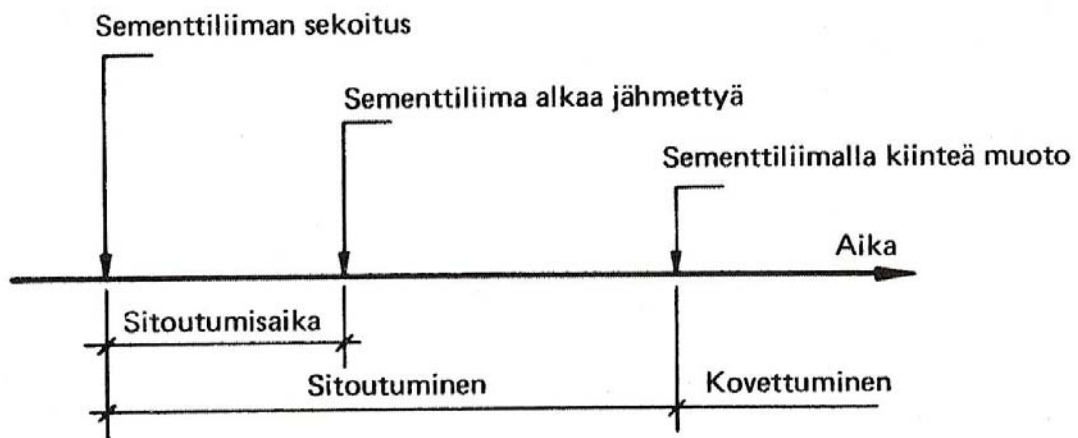
Kun sementti reagoi veden kanssa, muodostuu kova ja kestävä lopputuote, betoni. Reaktiota kutsutaan hydrataatioksi. Sementillä on merkittävä vaikutus betonin ominaisuuksiin. Oikealla sementin valinnalla voidaan vaikuttaa betonin lujuteen, lämmönkehitykseen ja kemialliseen kestävyteen. Se vaikuttaa myös betonin työstettävyyteen betonin ollessa tuoretta. /3/

Normaali sementti muodostuu pääasiassa portland-klinkkeristä. Siihen voi kuulua lisäksi erilaisia seosaineita kuten masuunikuonajauhe, silika, lentotuhka tai kalkkikivi. Sementtistandardi SFS-EN 197-1 määrittelee sementtien koostumus- ja laatuvaatimukset. Standardista selviää, että sementti on hydraulinen sideaine ja se ryhmitellään koostumuksen mukaisesti viiteen eri päälajiin:

CEM I	Portlandsementti
CEM II	Portlandseossementti
CEM III	Masuunikuonasementti
CEM IV	Pozzolaanisementti
CEM V	Seossementti. /3/

Reagointi veden kanssa on sementin tärkein ominaisuus. Vedestä ja sementistä muodostuu liima, joka on veteen liukenematon materiaali. Tätä sementtiliimaa kutsutaan kovettuneessa betonissa sementtikiveksi. /3/

Kun vettä ja sementtiä sekoitetaan, pysyy massa aluksi notkeana ja helposti työstettävänä, mutta alkaa kovettua vähitellen. Tämä vähitellen kovettuminen johtuu siitä, että sementtiin on lisätty kipsiä. Kipsi antaa massalle sopivan työstöajan. Sementin ja veden seoksen hyytelöitymistä kutsutaan sitoutumiseksi. Tällöin seosmassa alkaa menettää plastisuuttaan. Sitoutuminen riippuu sementin koostumuksesta ja sen hienoudesta. Sitoutumista haittaa kylmä ilma, joka hidastaa sitä. Lämpötilan noustessa n. $10^{\circ}C$ pienenee sitoutumisaika arviolta puoleen. /3/



Kuva 13 Sementtiliiman käyttäytyminen /3/

Sitoutumisen päättyessä alkaa kovettuminen. Kovettumisella tarkoitetaan lujuusreaktioita, jotka jatkuvat niin kauan kuin seoksessa on hydrataatioon käytössä olevaa vettä. Lujudenkehitys riippuu betonin vesi-sementtisuhteesta. /3/

Vesi-sementtisuhte w on:

$$w = \frac{v}{s} \quad (1)$$

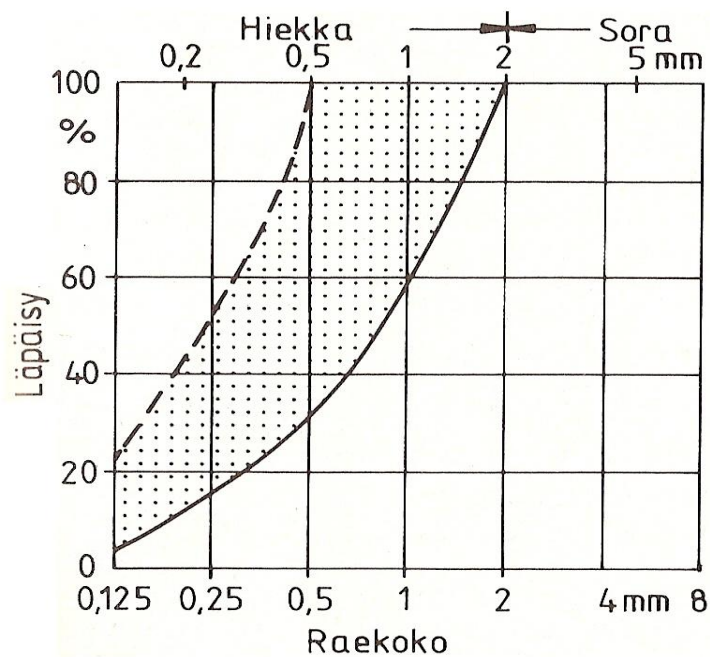
missä v on vesimäärä paino-osin
 s on sementtimäärä paino-osin

Teoriassa täydelliseen hydrataatioon päästään vesisementtisuhteella, jossa vettä on n. 25 % ($w = 0,25$) sementin painosta. Tämän lisäksi vettä sitoutuu fysikaalisesti ns. geelihiukoksiin n. 15 % sementin painosta, jolloin täydellinen hydratoituminen saavutetaan vesimäärällä, joka on 40–45 % ($w = 0,4–0,45$) sementin painosta. Vettä on sidoksissa myös sementtikiven kapillaarihiukosissa, joten todellisuudessa kovettuneessa sementissä on siis vettä sitoutuneena monin eri tavoin. Yleisenä ohjeena on kuitenkin,

että juotosmassan vesi-sementtisuhteen tulisi olla alle 0,6. Parhaana suhteenä mekani-
soidulle pultitukselle tarkoitettussa juotosmassassa pidetään 0,3:a. /2; 3/

6.2 Hiekka osana juotosmassaa – erot vesi-sementtiseokseen

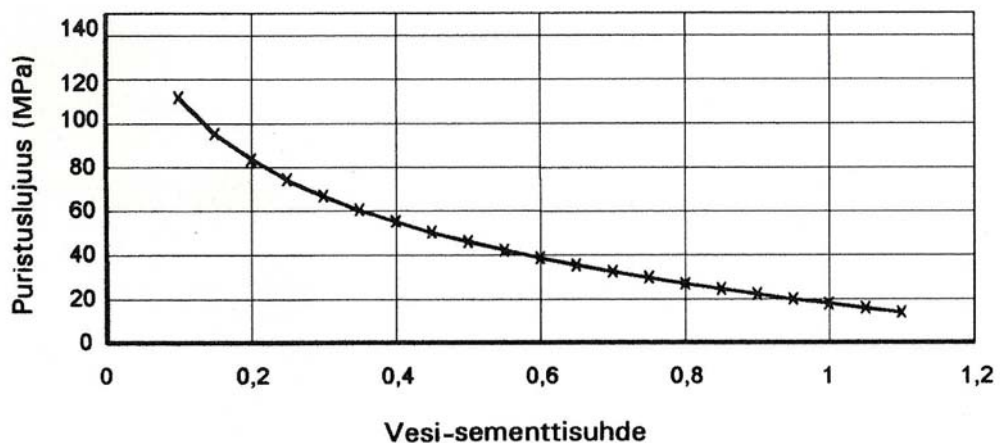
Kun hiekkaa ja sementtiä sekoitetaan juotosmassaksi veden kanssa, on selvää, että sen
ominaisuudet muuttuvat verrattuna vesi-sementtiseokseen. Hiekka lisää tämän betoni-
juotoksen epähomogeenisuutta, mutta tuo siihen lisää esim. lujuutta. Juotosmassassa
käytettävän kiviaineksen tulee olla kuvan 14 mukainen.



Kuva 14 Juotosmassan hiekan rakeisuuskäyrä /1/

6.2.1 Lujuus

Lujuus on tärkein ominaisuus betonissa. Betonin lujuutta mitataan puristuslujuutena ja vetolujuutena. Puristuslujuus riippuu vesi-sementtisuhteesta (kuva 15). Yleisimmin käytetty juotosmassa eli pelkkä vesi-sementtiseos ei sisällä lainkaan runkoainesta, joten hiekkaa lisäämällä päästään luonnollisesti parempiin lujuuden arvoihin. Koska hiekkaa on betonissa runkoaineena, liittyy sementtiliima hiekkaan. Lujuuden kasvu johtuu siitä, että betonissa olevat jännitykset siirtyvät betonissa mukana olevan hiekan rakeisiin ja näin jännitykset betonissa kasaantuvat enemmän hiekkaan. /3; 8/



Kuva 15 Betonin puristuslujuus eri vesi-sementtisuhteen arvoilla /3/

6.2.2 Tiheys

Hiekka on sementtiä painavampaa, minkä johdosta hiekkaa sisältävän juotosmassan tiheys kasvaa verrattuna normaaliin vesi-sementtijuotokseen. Toisin sanoen myös hiekkaa sisältävän juotosmassan paino kasvaa, jolloin se pysyy vaikeammin porausreiässä. /3/

6.2.3 Kuivumiskutistuminen

Betonimassa yleensä kutistuu ennen sitoutumisen alkua. Kutistumista kutsutaan myös painumiseksi. Kun juotosmassaan lisätään hiekkaa, sementtiliiman määrä vähenee. Koska sementtiliiman määrä on pienempi, pienenee myös betonin kutistuminen. Kutistumisella tarkoitetaan reaktiota, jossa betonin kuivuessa siihen aiheutuu jännityksiä. Jännitykset imevät veden betonin geelihuokosista. Tämän vuoksi geelihiukkasten välit pienenevät ja geeli kutistuu sekä pakottaa myös betonin kutistumaan. Betonin kutistumista lisää

- betonin vesimäärän lisääminen
- hienoainesmäärän lisääminen
- betonin huokostaminen
- ympäristön kuivuus
- kevytsoran käyttö
- joidenkin notkistimien käyttö. /3/

6.2.4 Viruminen

Virumista kutsutaan ilmiöksi, jossa betonin kuormittuessa sen muodonmuutos jatkuu ajan kuluessa. Virumisessa geelihuokosissa oleva vesi kuormituksen aiheuttaman paineen takia virtaa pois huokosista ja samalla sementtigeeli tiivistyy. Kun vesi-sementtiseokseen lisätään hiekkaa, siitä tulee tiiviimpää ja se kestää kuormituksia paremmin. Tällöin myös viruminen vähentyy. Kovettunut juotosmassa joutuu porausreissä kovien kuormitusten kohteeksi, koska kallion liikkeet kuormittavat sitä koko ajan lisää. Tämän vuoksi viruminen on syytä ottaa huomioon. Myös juuri kovettuneen betonin muodonmuutokset pienenevät hiekan käytön johdosta. /3/

6.2.5 Taloudellisuus

Sementti on materiaalina melko kallista. Tarkka sementin käyttö lisää lujitusurakoinnin taloudellisuutta. Kun juotosmassaan lisätään hiekkaa, pienenee sementin määrä. Tämä lisää taloudellisuutta huomattavasti. Hiekkaa käytettäessä tulee ottaa huomioon myös käytössä olevat laitteet. Esimerkiksi juotosmassan pumppaus asettaa betonipumpulle erilaisia vaatimuksia. Hiekan ansiosta juotosmassasta tulee rakeisempaa ja se rasittaa pumpppua huomattavasti. Myös betoninsekoitinyksikkö joutuu kovemmalle rasitukselle eikä välttämättä kestä hiekan aiheuttamaa rasitusta, mikäli sekoitin on ollut aiemmin tarkoitettu pelkän veden ja sementin sekoittamiseen. /8/

7 JUOTOSMASSAJÄRJESTELMÄN PERUSOSAT

Tutkintotyössä juotosmassajärjestelmällä tarkoitetaan Robolt-pultituslaitteessa olevaa pelkistettyä kokonaisuutta, johon kuuluvat perusosina sementtisiilo, ruuvikuljetin ja betoninsekoitusyksikkö. Olennaisina osina järjestelmään kuuluvat myös betonipumppu, hydraulitoimiset lisälaitteet kuten pyöritysmoottorit sekä esim. mahdolliseen ohjaukseen ja annosteluun tarvittava elektroniikka. Betonipumpun ominaisuuksiin ei tutkintoyössä puututa, koska tämänhetkinen laitteessa oleva pumppu on varsin toimintakykyinen.

7.1 Sementtisiilo

Sementti varastoidaan Roboltissa olevaan teräksiseen sementtisiiloon, josta se kuljetaan betoninsekoitusyksikköön. Siiloa suunniteltaessa tulee ottaa huomioon sementin ominaisuudet, vallitsevat työolosuhteet ja siilon koko sekä sen täyttömahdollisuudet. Sementin vääränlainen varastointi saattaa aiheuttaa pultitustyön viivästymistä, tehokkuuden pienenemistä ja työkustannusten kasvua.

Sementti on varsin herkkä materiaali. Siksi se tarvitsee varastointipaikakseen juuri sille suunnitellun siilon. Sementin hygroskooppisuus tekee sementistä kosteutta ja tämän jälkeen hiilidioksidia imevän aineen. Kun sementtiin imeytyy kosteutta, sen ominaisuudet muuttuvat huonompaan suuntaan. Kosteus voi aiheuttaa paakkuuntumista, sitomishäiriöitä ja lujuuden katoa, mikäli sementtiä säilytetään siilossa pitkään. Siilon tulisi olla kosteudelta tiiviisti rakennettu. Sen täyttöaukossa tulisi olla kansi ja siinä tiivisteet, jotta kosteus ja työmaalla olevat eritteet kuten kivipöly ja kivimurska eivät pääsisi sementin joukkoon. /3/

Sementtisiilon kapasiteetti tulisi Roboltissa olla n. 350 l, mikä vastaisi 500–750 kg:aa sementtiä. 750 kg:n sementtimäärä maksimaalisena kapasiteettina olisi siitä ihanteellinen, että sillä voitaisiin tehdä töitä n. kaksi vuoroa eli 16 tuntia. /5/

Usein sementti saattaa pakkaantua tiiviisti siilon alaosaan. Tällöin tarvitaan lisälaitteita avustamaan sementin liikkuvuutta. Sementtisiilo voidaan varustaa täryttimellä, jotta sementin kulku siilosta annostelujärjestelmään ja ruuvikuljettimelle saadaan parantumaan. /5/

7.1.1 Sementtisiilon täyttömahdollisuuksia

Sementtisiilo voidaan täyttää eri tavoin. Koska siilon täyttöä ei voida automatisoida itsestään täytyväksi, tulee miettiä tarkkaan, kuinka täyttö tulisi suorittaa. Seuraavassa on esitetty kolme vaihtoehtoista ja toimivaa mallia sementtisiilon täyttämiseksi.

Siilontäyttömalli 1

Ensimmäinen sementtisiilon täyttömalli on täysin manuaalinen. Siinä operaattori täyttää sementtisiiloa käsin normaaleilla sementtisäkeillä, joiden paino on n. 25–40 kg. Tarvittava määrä säkkejä on varastoitu laitteen vieressä olevalle työtasolle, jonka kantavuus on 500 kg. /5/

Tämä malli pohjautuu vanhaan toimintatapaan, jolloin sementti kaadettiin säkeistä suoraan betonisekoittimeen. Tämä uusi menetelmä on vanhaa toimintaa siinä mielessä parempi, että siilo voidaan täyttää aivan täyteen ja sen jälkeen annostella haluttu määrä sementtiä betonisekoittimeen. Toiminta on tällöin hiukan tehokkaampaa ja helpompaa. Sementtisäkkien nostelu on kuitenkin operaattorille varsin raskasta puuhaa.

Siilontäyttömalli 2

Toisessa mallissa toimintaperiaate on muuten sama kuin ensimmäisessä mallissa, mutta sementtisiilo täytetään yhdellä suurella sementtisäkillä. Säkin paino on n. 500–750 kg, jolloin siilo saadaan täytettyä yhdellä sementtisäkillä. Säkki nostetaan siilon yläpuolelle täyttöä varten ulkopuolisella nosturilla. Siilo voidaan täyttää pultituslaitteen silloisella työpaikalla, mikäli sinne pääsee nosturilla varustettu ajoneuvo. /5/

Etuina menetelmässä on se, että siilo saadaan täytettyä yhdellä kertaa. Lisäksi operaattorin ei tarvitse manuaalisesti täyttää siiloa, mikä helpottaa työntekoa. Suuressa sementtisäkkissä etuna on varmasti myös taloudellisuus, koska yksi suuri sementtisäkki on hinnaltaan halvempi kuin sama määrä sementtiä normaaleissa 25–40 kg:n sementtisäkeissä. Heikkoutena mallissa on se, että se vaatii ulkopuolisen nosturilla varustetun ajoneuvon nostamaan suuren sementtisäkin siilolle.

Siilontäyttömalli 3

Tämä malli on kasetti-tyyppinen sementtisiilo, joka on irrottavissa laitteesta. Tyhjä siilo nostetaan pois esim. ulkopuolisella nosturiautolla ja tilalle nostetaan samanlainen esitäytetty siilo. Siilossa oleva ruuvikuljettimelle menevä hydraulikka ja siilon elektroniikka ovat varustettu pikaliittimillä, jotka on helppo irrottaa tyhjästä siilosta ja liittää uudestaan uuteen esitäytettyyn siiloon. /5/

Mallin heikkoutena on se, että se vaatii ulkopuolisen nosturin siirtoa varten. Lisäksi esitetyyn siilon kokonaispainoksi saattaa tulla lähes 1000 kg, joten se on varsin hankala siirrettävä. Toisaalta vaihdettavan siilon avulla vältetään raskaiden sementtisäkkien nostelulta ja varastoinnilta.

7.2 Sementin ruuvikuljetin

Sementtisiilolta sementti kuljetetaan ruuvikuljettimen avulla betoninsekoitusyksikölle. Ruuvikuljetin muodostuu putkessa pyörivästä hydraulimoottorikäyttöisestä ruuvista, joka työntää sementtiä eteenpäin. Ruuvikuljetin soveltuu hyvin jauhemaisten aineiden kuten sementin siirtoon ja annosteluun. Vaihtoehtona ruuvikuljettimelle on paineilmalla toimiva kuljetin, joka annostelee materiaalia sykäyksittäin. Ruuvikuljetin on kokemusten perusteella tässä tapauksessa sopivampi ja luotettavampi vaihtoehto. /5/

7.3 Betoninsekoitinyksikkö

Betoninsekoitusyksikössä sementti ja vesi sekoittuvat betoniksi. Siinä on liitäntä vesilinjalle ja sementti lisätään sekoittimeen sen yläpuolelta. Sekoittimen alaosaan on kiinnitetty betonipumppu, jonka avulla valmis juotosmassa pumpataan porausreikään. Jos juotosmassan runkoaineena on käytetty hiekkaa, sen aiheuttamat rasitukset betoninsekoittimelle täytyy ottaa huomioon. Sekoitin ei välttämättä kestä hiekan mukanaan tuomaa rakeisuutta. /5/

8 JUOTOSMASSAN VALMISTUKSEN AUTOMATISOINTI

Tutkintotyön päätarkoitus on tarkastella Robolt-pultituslaitteen juotosmassan valmistuksen automatisointimahdollisuuksia ja nimenomaan sitä, kuinka koko pultitustoimenpide voitaisiin suorittaa laitteen ohjaamosta käsin. Tärkein tarkastelukohde on sementin tarkka annostelu ja siihen tarvittavat laitteet.

Tällä hetkellä ainoat juotospultitukseen liittyvät toimenpiteet, jotka operaattori hoitaa käsin, ovat pulttikasetin täyttö ja sementin lisääminen sementtisiiloon. Koko juotospultituksen automatisointi lisäisi tehokkuutta työmailla ja vähentäisi operaattorin turhaa liikkumista laitteen ulkopuolella. Automatisoinnin avulla turvallisuus työmailla lisääntyisi. Tutkintotyössä on tutkittu kolmea eri automatisointivaihtoehtoa juotosmassan valmistamiseksi.

Vaihtoehto 1

Ensimmäinen automatisoitu vaihtoehto juotosmassajärjestelmäksi (kuva 21) on kertaannoksen juotosmassaa valmistava järjestelmä, joka perustuu sementin painon mittaamiseen sekä veden virtauksen mittaamiseen. Järjestelmä sisältää betoninsekoitusyksikön, sementtipumpun, vesilinjan sekä sementin ruuvikuljettimen ja annosteluventtiilit vedelle ja sementille. Järjestelmään kuuluu myös ruuvikuljettimen alapään yläpuolelle asennettu sementtisiilo.

Järjestelmän toimintaperiaate on seuraavanlainen. Sementtisiilo ja ruuvikuljetin ovat asennettu ns. vaa'an päälle, joka mittaa sementtisiilon ja siellä olevan sementin painoa. Sementtisiilon ja ruuvikuljettimen yhteyteen on asennettu ohjausventtiili, joka ohjaa halutun määrän sementtiä kuljettimelle ja sitä kautta betoninsekoitusyksikköön. Painonmittaus ja annostelu perustuvat siihen, kuinka paljon sementtiä ikään kuin poistuu sementtisiilolta betoninsekoitusyksikköön.

Järjestelmän vesilinjaan on liitetty virtausmittari, joka mittaa betoninsekoitusyksikköön menevää vesimäärää. Vesi pumpataan ulkoisesta lähteestä. Operaattori pystyy määrittämään betoninsekoitusyksikköön menevän veden määrän ohjausjärjestelmän ja virtausmittarin avulla. Näin ollen kaikki annostelu voidaan suorittaa laitteen ohjauksesta.

Sementin annosteltavaa määrää mittaavan vaa'an toiminta perustuu punnitusanturin toimintaan. Tämä on järjestelmän tärkein kohta. Tutkintotyössä anturiksi on valittu suomalaisen Raute Precision Oy:n Raute Precision RC2 -puristusanturi (kuva 16).

Anturin toiminta perustuu siihen, että punnittava massa puristaa anturia, jolloin se lähettää muuttuvaa signaalia ohjausjärjestelmään. Anturi on tukevarakenteinen ja suunniteltu kestämään hyvin vaativia ympäristöolosuhteita. Sen runko on ruostumatonta terästä ja suljettu hermeettisellä laserhitsauksella. Mittauskapasiteetti ulottuu 1000 kg:aan asti, mutta myös suurempia kapasiteetteja on tarpeen mukaan valittavissa. Anturin yhdistetty virhe on suurimmillaan +/- 0,1 %. Kuitenkin kokemusten mukaan anturin avulla päästään 1000 kg:n siilosta annosteltaessa +/- 20 kg:n annostelutarkkuuteen. Saavutettava tarkkuus on tähän tilanteeseen tyydyttävä. /9; 10/



Kuva 16 Raute Precision RC2 -puristusanturi /10/

Antureita asennettaessa tulee ottaa huomioon se, ettei mittaustulos vääristy esim. siilon ja ruuvikuljettimen kiinnitysten vuoksi. Tämän vuoksi anturi tarvitsee sille suunnitellun asennussarjan. Tutkintotyön esimerkiksi on valittu Raute Precision Oy:n tarjoama asennussarja RC2-antureille (kuva 17). /9; 11/



Kuva 17 Asennussarja RC2-anturille /11/

Kokonaisuudessaan sementinannosteluun tarvittavat välineet koostuvat punnitusanturista ja niiden asennussarjasta. Lisäksi tarvitaan jokin ohjelmoitava logiikka ja opeointipääte. Opeointipääte on mahdollista asentaa pultituslaitteen ohjaamoon, jolloin operaattori voi ohjata sementin lisäystä ohjaamosta käsin. /9/

Vaihtoehtoisia puristusantureita on olemassa myös muita. Esimerkiksi italialainen Ados (kuva 18), saksalainen Sartorius (kuva 19) ja kiinalainen Youngzon Transducer (kuva 20) tarjoavat ominaisuuksiltaan ja kapasiteeteiltaan vastaavanlaisia antureita /12; 13; 14/.



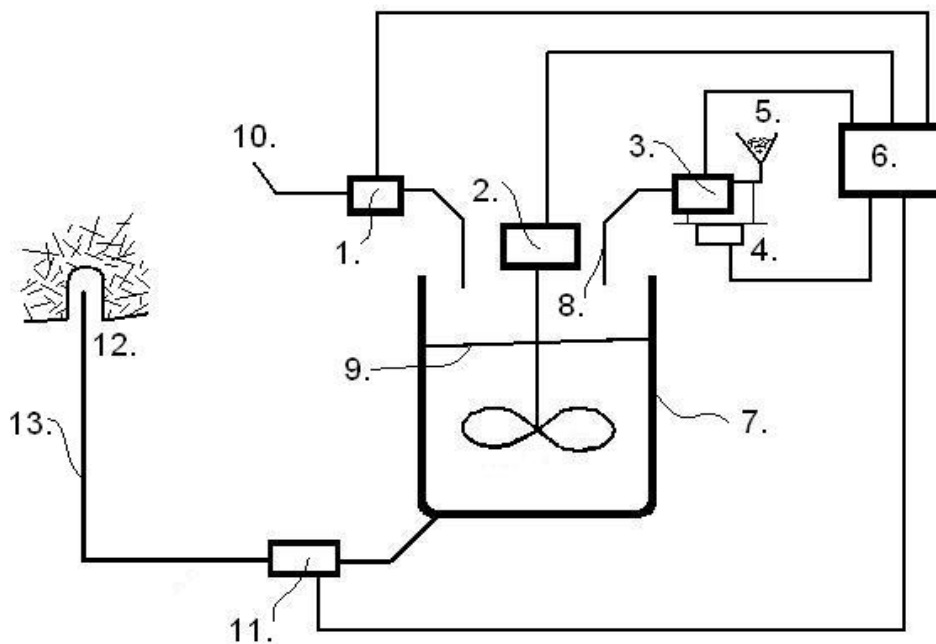
Kuva 18 Ados CEX -puristusanturi /12/



Kuva 19 Sartorius PR6211 -puristusanturi /13/



Kuva 20 Youngzon YZ266A -puristusanturi /14/



Kuva 21 Kaaviokuva vaihtoehdosta 1

Taulukko 1 Kuva 21:n osaluettelo

1. Veden virtausmittari ja annosteluventtiili
2. Betoninsekoituksen ohjaus
3. Sementin annosteluventtiili
4. Punnitusanturi
5. Sementtisiilo
6. Ohjausyksikkö/operointipääte
7. Betoninsekoitusyksikkö
8. Sementin ruuvikuljetin
9. Juotosmassa (betonimassa)
10. Vedentulolinja
11. Betonipumppu
12. Porausreikä
13. Betoninsyöttölinja

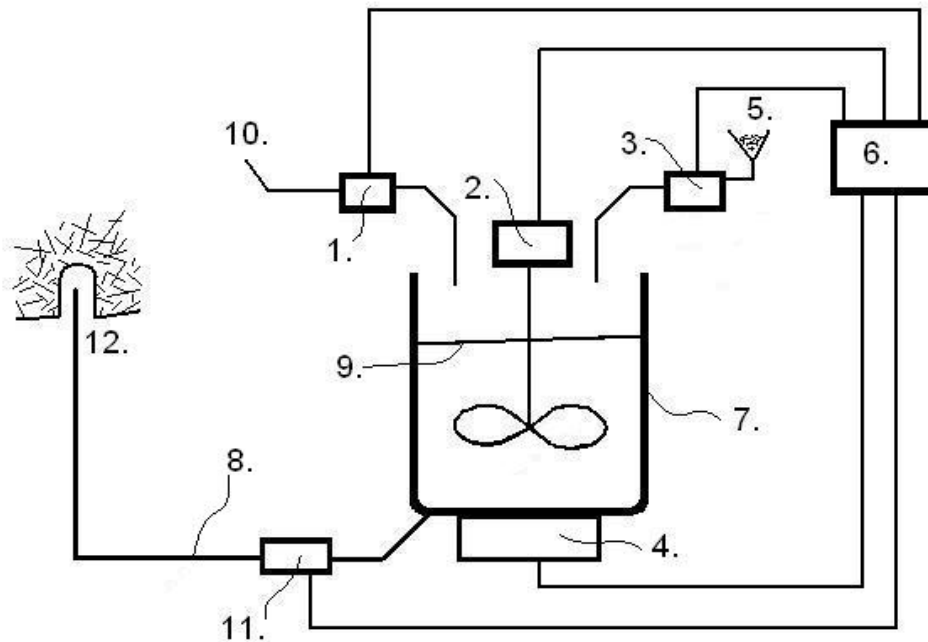
Vaihtoehto 2

Toinen vaihtoehto juotosmassajärjestelmän automatisoinniksi perustuu myös punnitukseen. Järjestelmä (kuva 22) sisältää betoninsekoitusyksikön, sementtipumpun, vesilinjan sekä sementin ruuvikuljettimen ja annosteluventtiilin. Järjestelmään kuuluu myös ruuvikuljettimen alaosan yläpuolelle asennettu sementtisiilo. Tarkoituksena on valmistaa kerta-annos juotosmassaa. /15/

Järjestelmän toiminta perustuu betoninsekoitusyksikön alle asennettuun punnitusanturiin. Se mittaa vaa'an tavoin betoninsekoitusyksikön painoa. Kun betoninsekoitusyksikköön lisätään esimerkiksi ensin tietty määrä vettä, voidaan lisätyn veden kilomäärä lukea operointipääteeltä. Tämän jälkeen sekoitusyksikköön voidaan lisätä oikea määrä sementtiä ja saavuttaa näin haluttu vesi-sementtisuhde. /15/

Järjestelmä ei sisällä vedelle eikä sementille erillisiä tarkkoja annostelulaitteita, kuten veden virtausmittaria tai sementin punnitusmenetelmää niin kuin ensimmäisessä mallivaihtoehdossa. Tarkka annostelu hoidetaan pelkästään sekoittimen punnituksen avulla. Tämä lisää järjestelmän käyttövarmuutta. /15/

Tässä järjestelmässä on mahdollista käyttää punnitusanturina samoja malleja kuin ensimmäisessä vaihtoehdossa. Jälleen anturin asennuksen yhteydessä tulee olla tarkkana, jotta anturin antamat tulokset eivät vääristy sekoittimen kiinnitysten takia. /15/



Kuva 22 Kaaviokuva vaihtoehdosta 2

Taulukko 2 Kuva 22:n osaluettelo

1. Veden annosteluventtiili
2. Betoninsekoituksen ohjaus
3. Sementin annosteluventtiili
4. Punnitusanturi
5. Sementtisiilo
6. Ohjausyksikkö/operointipääte
7. Betoninsekoitusyksikkö
8. Betoninsyöttölinja
9. Juotosmassa (betonimassa)
10. Vedentulolinja
11. Betonipumppu
12. Porausreikä

Vaihtoehto 3

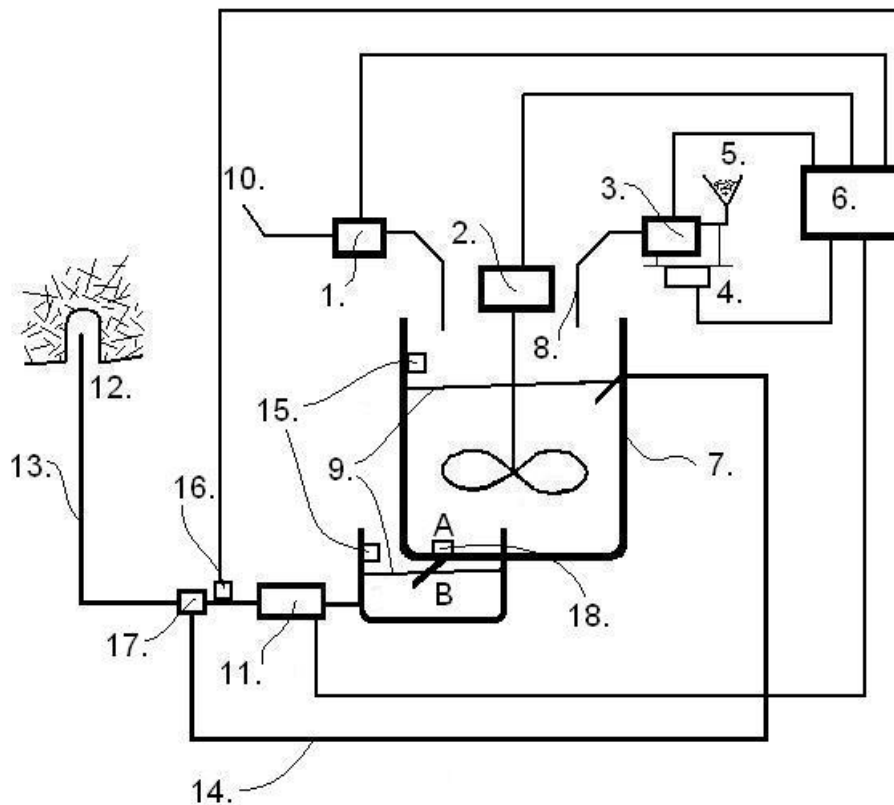
Kolmas vaihtoehto juotosmassan valmistus- ja pumppausjärjestelmäksi on jatkuva-toiminen. Se sekoittaa betonia jatkuvalla syötöllä eikä vain kerta-annoksena. Malli on myös paljon vaativampi ohjauksen ja suunnittelun suhteen, eikä se sovellu suoranaisesti kallionpultitukseen, mutta on esitelty tutkintotyössä vertailun takia. /16/

Järjestelmä sisältää automatisoidun veden ja sementin syötön, jotka ovat liitetty betoninsekoitusyksikköön. Betoninsekoitusyksikkö sisältää kaksi eri säiliötä, A:n ja B:n. A-säiliössä vesi ja sementti esisekoitetaan betonijuotosmassaksi. Kun A-säiliö tulee täyteen, valuu juotosmassa alempaan B-säiliöön. A-säiliön kylkeen on kytketty sensori, joka mittaa säiliössä olevan betonimassan määrää. Myös B-säiliössä on sensori, joka mittaa säiliön pinnan tasoa. /16/

Sekoitusyksikköön pumpattavaa veden virtausta mitataan läpivirtausmittarilla. Sitä seurataan laitteen hytistä. Sementti kuljetetaan ruuvikuljettimen avulla sekoitusyksikköön sementtisiilolta, jonka alla on annosteluvaaka. Ohjausventtiilin ja paino-anturin avulla annostellaan tarkka määrä sementtiä ruuvikuljettimelle. Betoninsekoitusyksikkö sisältää sekoittimen, jota ohjataan hytissä olevan ohjausjärjestelmän kautta. Myös veden ja betonin annostelu ohjataan laitteen hytistä. /16/

Valmiin betonijuotosmassan annostelu perustuu sen tiheyden mittaamiseen. Mittaus suoritetaan läpivirtausmittarilla, joka on sijoitettu pumpatun juotosmassan ulossyöttöön. Ulosvirtausletku on kiinnitetty betoninsekoitusyksikön B-säiliöön. Pumpatun juotosmassan tiheys nähdään ohjausyksiköstä. Ohjausyksikkö tietää kuinka paljon sementtiä poistuu järjestelmästä prosentuaalisesti juotosmassan osana. Tämän jälkeen ohjausjärjestelmä pystyy määrittämään veden osuuden samalta virtausmittarilta. Kun tämä veden osuus on tiedossa, ohjausjärjestelmä laskee järjestelmään tarvittavan veden määrän, jonka jatkuvan vakion syötön avulla haluttu vesi-sementtisuhte voidaan säilyttää. Poistuvan veden ja lisätyn veden määrä voidaan näin pitää samana. /16/

Järjestelmä sisältää luonnollisesti myös kierrätyslinjan, jonka avulla tarvittava juotosmassa suhde saavutetaan ilman, että juotosmassaa syötetään ulos järjestelmästä. Ulossyöttölinjassa on ohjausventtiili, joka ohjaa virtausta joko kierrätyslinjaan tai ulos. Kierrätyslinja käyttää samaa läpivirtausmittaria kuin ulossyöttölinja. Tämän virtausmittarin avulla tieto kulkee ohjausjärjestelmään ja operaattorille ennen varsinaisen betonointityön alkua. Automaattinen juotosmassan pumppaus tarkoitettuun kohteeseen voi alkaa, kun tavoitesuhde on saavutettu. Tällöin betonin pumppaus ohjataan ohjausventtiilin avulla ulossyöttölinjaan. /16/



Kuva 23 Kaaviokuva vaihtoehdosta 3

Taulukko 3 Kuva 23:n osaluettelo

1. Veden annosteluventtiili ja virtausmittari
2. Betoninsekoituksen ohjaus
3. Sementin annosteluventtiili
4. Punnitusanturi
5. Sementtisiilo
6. Ohjausyksikkö
7. Betoninsekoitusyksikkö
8. Sementin ruuvikuljetin
9. Juotosmassa (betonimassa)
10. Vedentulolinja
11. Betonipumppu
12. Porausreikä
13. Ulossyöttölinja
14. Betonin kierrätyslinja
15. Pinnankorkeusanturit
16. Virtausmittari
17. Ohjausventtiili
18. Ohjausventtiili

9 TULOSTEN TARKASTELU

Tutkintotyössä esitetyt mallit juotosmassan valmistuksen automatisoinniksi ovat ensimmäisen ja toisen vaihtoehdon osalta varsin samankaltaisia niin toimintaperiaatteiltaan kuin osiltaan. Nämä kaksi vaihtoehtoa soveltuvat erittäin hyvin juotospulttitukseen, koska niiden toiminta perustuu kerta-annoksen valmistamiseen. Ensimmäisessä vaihtoehdossa automatisointi kohdistuu pääasiassa sementin tarkkaan annosteluun. Vesi annostellaan virtausmittarin avulla. Toinen vaihtoehto ei vaadi aivan yhtä paljon automaatiota kuin ensimmäinen, koska siinä halutun juotosmassaseoksen valmistus tapahtuu punnitsemalla niin sementti kuin vesikin betoninsekoitusyksikössä. Koska automaatiota ei ole paljon, se lisää laitteiston toimintavarmuutta.

Kolmas vaihtoehto juotosmassajärjestelmän automatisoinniksi on jatkuvatoimisesti juotosmassaa valmistava järjestelmä. Tämä ei varsinaisesti sovellu juotospulttitukseen, koska juotospulttituksessa ei ole tarvetta valmistaa juotosmassaa jatkuvalla syötöllä, vaan toimivampi malli on tehdä juotosmassaa aina tarpeen mukaan tietty määrä. Juotospulttituksessa tulee työn aikana taukoja, jolloin juotosmassaa ei käytetä. Tällaisia taukoja ovat esim. pulttikasetin täyttö ja pultituspaikan vaihto. Taukojen aikana voidaan valmistaa tarvittava määrä juotosmassaa, jolloin pultitustapahtuma tehostuu. Kolmas vaihtoehto on kuitenkin esitetty tutkintotyössä, jotta kahta ensimmäistä voidaan vertailla siihen, ja jotta näiden kaikkien vaihtoehtojen parhaita ominaisuuksia voidaan tarpeen mukaan yhdistellä. Henkilökohtaisesti pidän toista vaihtoehtoa parhaana automatisointimallina, koska siinä yksinkertaisimmalla automaatiolla päästään tarkimpaan tulokseen.

Vaihtoehtoja tarkasteltaessa tulee ottaa huomioon, että mahdollinen asennus tapahtuu pultituslaitteeseen, joka työskentelee haastavissa olosuhteissa kuten kaivoksissa. Tämä asettaa laitteille lisävaatimuksia kestävyiden ja luotettavuuden osalta. Mahdolliset anturit ja muut sähköiset laitteet tulisi asentaa mahdollisimman hyvin suojattuina, jotta ne eivät pääsisi kosketuksiin kosteuden ja epäpuhtauksien kanssa. Ainoa keino tarkastella vaihtoehtoja realistisesti olisi päästä testaamaan vaihtoehtoja käytännössä ja käytännön olosuhteissa.

Juotomassojen ominaisuuksia tarkasteltaessa juotomassalla ei tarkoiteta rakennusalalla käytettävää betonia. Yleisesti normaali betoni sisältää runkoainesta (esimerkiksi soraa), kun taas tavallinen juotomassa (vesi-sementtiseos) ei sisällä runkoainesta lainkaan. Joskus juotomassaan voidaan lisätä hiekkaa, mikä toimii juotomassassa runkoaineena. Tämän juotomassan ominaisuuksista ja eroista tavalliseen vesi-sementtiseokseen on kerrottu tutkintotyössä. Tutkittaessa esimerkiksi huomattiin, että hiekkaa sisältävän juotomassan lujuus kasvaa ja päästään taloudellisesti parempaan lopputulokseen.

Vaikeaksi juotomassojen vertailun teki se, ettei tarjolla ollut paljoa kirjallista tietoa juuri juotospultituksissa käytetystä juotomassasta tai sen ominaisuuksista. Tämä saattaa johtua juuri siitä, että juotomassalla ei tarkoiteta samaa kuin rakennusteollisuuden käytössä olevalla normaalilla runkoainesta sisältävällä betonilla.

Tulevaisuudessa juotospultituksen kehittämisessä riittää haasteita. Juotomassoissa käytetään nykypäivänä jo paljon erilaisia lisäaineita ja pultituslaitteet ja pulttityypit kehittyvät jatkuvasti. Yksi tulevaisuuden haaste on juotomassajärjestelmän pesu ja puhtaanapito. Järjestelmä täytyy pestä aina työn jälkeen, jotta betoni ei kovetu laitteisiin ja haittaa niiden toimivuutta. Tällaista pesujärjestelmää kehitellään tulevaisuudessa varmasti. Kilpailu kallionporaus- ja -lujitus-alalla on erittäin kovaa. Se menestyy, kenellä on tarjota uusia, mutta silti toimivia ja koekäytettyjä vaihtoehtoja.

10 YHTEENVETO

Lähtökohdat tutkintotyön tekemiseen olivat mielenkiintoiset. Olin aikaisempaan kesänä työskennellyt juuri Robolt-pultituslaitteen parissa, joten tutkintotyöhön liittyvä laitekokonaisuus ja sen toimintaperiaate olivat jo entuudestaan tuttuja. Työn aihepiiri oli aluksi melko laaja ja työn rajaamiseen kului aikaa, mutta siitä saatiin kuitenkin kattava ja yhtenäinen kokonaisuus.

Yhteistyö ohjaajani DI Janne Ojalan kanssa Sandvik Mining and Construction Oy:ssä sujui mainiosti, koska tein samanaikaisesti osa-aikatöitä yrityksessä. Pystyin kysymään neuvoja ja vinkkejä tutkintotyöhön helposti. Varsinaisia ongelmia työnteon aikana ei ilmennyt. Suuri osa ajasta työssä kului juotosmassan valmistuksen automatisointivaihtoehtojen kartoittamiseen, koska lähes ainoa järkevä vaihtoehto annostelun automatisointiin oli punnitus. Erityisesti sementin annostelun suunnitteluun kului paljon aikaa. Lisäksi sementin ominaisuuksien tutkintaan ja juotosmassojen vertailuun kului aikaa.

Tutkintotyö on kokonaisuudessaan hyvin käyttökelpoinen Sandvik Mining and Construction Oy:lle. Työn avulla toimeksiantaja voi vertailla juotosmassajärjestelmän automatisointivaihtoehtoja ja tutkia niiden hyviä ja huonoja puolia sekä soveltaa niitä käytännön suunnittelutyössä. Työn avulla toimeksiantajan on helppo viedä tutkimustyötä juotospultituksen automatisoinnista pidemmälle.

Tutkintotyöstä on ollut paljon hyötyä omalle kehittymiselle tulevaisuuden tuotekehitysinsinöörinä. Työtä tehdessäni olen saanut tutustua suuren teollisuusyrityksen tuotekehitystoimintaan. Lisäksi olen oppinut kärsivällisyyttä ja pitkäjänteisyyttä.

LÄHTEET

Painetut lähteet

- 1 Suomen rakennusinsinöörien liitto, Tunneli- ja kalliorakennus, Otapaino Espoo 1987, 437 s.
- 2 Tamrock Corp., Underground drilling and loading handbook, 1997
- 3 Suomen betoniyhdistys r. y., Betonitekniikan oppikirja 2004 by 201, Gummerus kirjapaino, Jyväskylä 2005
- 4 Sandvik Tamrock Oy, Tervetuloa Sandvik Tamrockiin!, Tampere 11.1.2005, 21 s.

Painamattomat lähteet

- 5 Ojala, Janne, DI. Keskustelut 2005–2006. Sandvik Tamrock Oy. Tampere, Myllypuro

Sähköiset lähteet

- 6 Sandvik Mining and Construction Oy. [www-sivu]. [viitattu 16.1.2006] Saatavissa: <http://www.sandviktamrock.fi/>
- 7 Tamrock Robolt 08–550 ToolMan 105B8491. Versio 1.6. Sandvik Tamrock Corp. Tampere
- 8 Rasmus, Reijo, TkL, yliopettaja Konetekniikan tutkintotyö. [sähköpostiviesti.] 10.11.2005
- 9 Kousa, Tuomo, myynti-insinööri, Jauhetekniikka Oy, Sementin annostelusta. [sähköpostiviesti.] 15.3.2006
- 10 Raute Precision Oy. [www-sivu]. [viitattu 16.3.2006] Saatavissa: <http://www.rauteprecision.fi/files/pdf/rc2fin1204.pdf>
- 11 Raute Precision Oy. [www-sivu]. [viitattu 17.3.2006] Saatavissa: http://www.rauteprecision.fi/files/pdf/rek_asennussarjat0304.pdf

- 12 Ados Corp. [www-sivu]. [viitattu 20.3.2006] Saatavissa: <http://www.ados.it/pdf/prodotti/blu/cex.pdf>
- 13 Sartorius Corp. [www-sivu]. [viitattu 20.3.2006] Saatavissa: http://www.sartorius.com/fileadmin/sartorius_pdf/alle/DS-PR6211-e.pdf
- 14 Youngzon Transducer Co, Ltd. [www-sivu]. [viitattu 20.3.2006] Saatavissa: <http://www.load-cell.com>

Patentit

- 15 Ruotsi, 526474. Fötfarande och anordning för automatisk blandning av vatten och cement för bergbulting, Atlas Copco Rock Drills AB, Örebro, Ruotsi, Hans Gustavsson. Jättöpäivä: 23.6.2004. Julkaistu: 20.9.2005
- 16 USA, 5775803. Automatic cementin system with improved density control, Stewart & Stevenson Services, Inc., Greg L. Cedillo, Rober A. Baten, Randall R. Price, Bruce A Vicknair, Michael P. Dearing Sr. Jättöpäivä: 31.1.1997. Julkaistu: 7.7.1998