

Timanttikairauksessa käytettävät terät ja niiden kuluminen

Juho Jakku

Teollisuuden ja luonnonvarojen osaamisalan opinnäytetyö
Tuotantotekniikka
Insinööri (AMK)

KEMI 2014

ALKUSANAT

Haluan kiittää saamastani avusta sekä tuesta Lapin ammattikorkeakoulun TKI-yksikköä. Erityisesti haluan kiittää Timo Kauppia, sillä ilman häntä en olisi koskaan saanut tätä opinnäytetyötä. Iso kiitos kuuluu myös kaikille heille, jotka ovat minua tukeneet tämän opinnäytetyön aikana.

Kemissä 27.10.2014

Juho Jakku

TIIVISTELMÄ

LAPIN AMMATTIKORKEAKOULU, Tekniikka

Koulutusohjelma:	Kone- ja tuotantotekniikka
Opinnäytetyön tekijä:	Juho Jakku
Opinnäytetyön nimi:	Timanttikairauksessa käytettävät terät ja niiden kuluminen
Sivuja (joista liitesivuja):	35 (0)
Päiväys:	27.10.2014
Opinnäytetyön ohjaaja(t):	TkL Timo Kauppi
<p>Tässä opinnäytetyössä tehtiin tutkimustyötä timanttikairauksessa käytettävistä teristä ja niiden kulumisesta. Tutkimus suoritettiin yhteistyössä Lapin ammattikorkeakoulun kanssa. Työn tavoitteena oli selvittää timanttiterien kestävyyttä ja kulumista kairauksen aikana.</p> <p>Tutkimuksen teoriaosiossa kuvattiin yleisesti timanttikairauksen historiaa sekä toimintaperiaatetta. Lisäksi osiossa käydään läpi timanttiterien rakennetta sekä valmistustapaa.</p> <p>Opinnäytetyön aineistona on käytetty aiheeseen liittyvää kirjallisuutta. Pääasiallisena lähteenä toimivat aiheeseen liittyvät englanninkieliset kaivosalan opaskirjat.</p> <p>Tutkimuksessa saatiin selville terien toimivuus valmistustavasta riippumatta. Lisäksi selville saatiin kairauskoneen ohjausparametrit jokaiselle testattavalle terälle kairauksen aikana.</p>	
Asiasanat: timanttikairaus, kairaus, timanttiterä, kuluminen, timantti	

ABSTRACT

LAPLAND UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES, Technology

Degree programme:	Mechanical and Production Engineering
Author:	Juho Jakku
Thesis title:	Drilling Bits Used in Diamond Drilling and Their Wear
Pages (of which appendixes):	35 (0)
Date:	27 October 2014
Thesis instructor(s):	Timo Kauppi, Lic.(Tech.)
<p>The purpose of this study is to research drilling bits used in diamond drilling and their wearing. The studies were carried out in co-operation with Lapland University of Applied Sciences. The purpose of the study is to determine the wearing and durability of diamond bits during drilling.</p> <p>The study's theory consists of general theory, history and operating principles of diamond drilling. There is also theory on manufacturing and structure of the drill bits researched in this study.</p> <p>The research material consists of literature related to the research topic. English drilling handbooks and drilling engineering workbooks are the main source of theory material.</p> <p>The main results of this study are confirmations that the drill bits work under normal drilling operations, and the drilling rig's operational parameters for each of the bits used during drilling.</p>	
Asiasanat: diamond drilling, diamond, drill bits, drilling, wear	

SISÄLLYS

ALKUSANAT	2
TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET	6
1 JOHDANTO	7
2 LEVANTO OY	8
3 TEORIA.....	9
3.1 Kallioporaus	9
3.2 Timanttikairaus.....	11
3.3 Timanttiporanterät	13
3.4 Kairausputket.....	16
4 TIMANTTITYÖKALUJEN VALMISTUS	17
4.1 Kylmäpuristus ja sintraus	19
4.2 Infiltointi	20
4.3 SPS eli Spark Plasm Sintering.....	21
4.4 Kuumapuristamalla valmistetut segmentit	21
5 KENTTÄTESTAUS	23
5.1 Tutkitut terät	23
5.2 Testaus.....	26
6 TULOKSET.....	28
6.1 Terien testitulokset	28
6.2 Kairauskoneen ohjausparametrit	32
6.3 Käyttäjien kommentit	33
7 POHDINTA	34
LÄHTEET.....	35

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

Depth	Syvyys, metriä
ROP	Tunkeutumisnopeus, mm/sekunti tai cm/ minuutti
Rotation pressure	Pyöriksen hydraulipaine, bar
RPM	Pyöriksennopeus, kierrosta minuutissa
Rotation	Pyöritys, päällä vai ei
Flush Pressure	Huuhteluveden paine, bar
Flow	Huuhteluveden virtaus, litraa minuutissa
Feed force	Syöttövoima - Lasketaan syöttösynterin paineen ja putkipainon avulla, tonnia
Force pressure	Syöttöpaine - Syöttösynterin yläpuolinen paine, bar
Holdback pressure	Pidätyspaine - Syöttösynterin alapuolinen paine, bar
L_{Δ}	Segmenttien keskiarvojen erotus
L_0	Segmenttien aloituskeskiarvo
L_1	Segmenttien lopetuskeskiarvo
L_2	Segmentin koko
ω	Kuluma
s	Ajometrit
Ω	Arvioitu käyttöikä metreinä

1 JOHDANTO

Tämä työ on tehty Lapin ammattikorkeakoululle. Työn tarkoituksena oli selvittää timanttikairauksessa käytettävien timanttiterien kestävyyttä ja kulumista. Ajatus opinnäytetyöhön tuli Timo Kaupilta, kun hän esitteli aihetta marraskuussa 2013. Aikaisempi työkokemukseni kairauskoneiston kanssa edesauttoi minua saamaan tämän työn.

Timanttiterän kestävyys on erittäin tärkeä onnistuneen kairauksen kannalta. Mikäli käytössä oleva terä hajoaa, täytyy kaikki reiässä olevat putket vetää pois terän vaihtamista varten. Terän vaihto on siis erittäin työlästä, aikaa vievää ja kallista. Siksi on erittäin tärkeää, että terät ovat luotettavia eivätkä hajoa helposti.

Tutkimuksessa keskitytään timanttiterien kestävyYTEEN ja teräosien kulumiseen. Terät on valmistettu segmenteistä, perinteisestä poikkeavalla tavalla. Tutkittavana oli kuusi eri kovuusluokkaa olevaa teräpalaa. Tarkoituksena on myös selvittää uuden valmistustavan toimivuus.

Terille suoritettiin Lapin ammattikorkeakoulussa mittaukset ennen kenttätestausta sekä sen jälkeen. Mittauksissa terien korkeus mitoitettiin työntömitalla. Saaduista tuloksista selvitettiin terien kulumisen kairauksen aikana. Lisäksi kairauskoneen henkilöstöltä kysyttiin heidän omia tuntemuksia uusista teristä verrattuna muihin heidän käyttämiinsä teriin.

Työ jakaantuu kolmeen eri osioon. Ensimmäisessä osiossa käydään läpi timanttikairauksen sekä timanttiterien historiaa ja toimintaperiaatetta. Toisessa osiossa käydään läpi suoritettavat mittaukset sekä kenttätestit. Kolmannessa osiossa on saadut tulokset sekä pohdintaa tutkimuksesta.

2 LEVANTO OY

Levanto on johtava suomalainen timanttityökalujen valmistaja ja maahantuoja sekä timanttityökaluihin perustuvien ratkaisujen tuottaja.

Levanto tarjoaa korkeatasoisten timanttityökalujen käyttöön perustuvia ratkaisuja kivipohjaisten materiaalien työstöön. Timanttiratkaisuja yritys on tarjonnut jo vuodesta 1937. Levanto tunnetaan pitkän kokemuksen tuomasta käytännön osaamisestaan. Tänä päivänä Levannon liikeideana on tarjota ensisijaisesti korkeatasoisten timanttityökalujen käyttöön perustuvia ratkaisuja kivipohjaisten materiaalien työstöön (Levanto Oy 2014. Haettu 15.10.2014.)

3 TEORIA

Timanttiterät esiteltiin ensimmäisen kerran öljykentillä 1920-luvun alussa ja niitä käytettiin erittäin koviin kivimuodostelmiin. Nämä varhaiset timanttiterät olivat hyvin kalliita, noin 20-kertaa kalliimpia kuin perinteiset terät. Huonojen tulosten takia timanttiterien käyttöä kairauksessa ei pidetty taloudellisena. Vuoteen 1940 mennessä kehitettiin paljon edistyneempi tekniikka, imeytysmenetelmä, timanttiterien valmistukseen. Menetelmässä täytetään volframijauheen ja timanttien seoksesta valmistettu huokoinen matriisi sulalla kuparinikkeliseoksella, jonka jäähtyessä kappale on tiivis. Tämä muutos mahdollisti monimutkaisempien terärakennelmien sekä timanttiasetelmien käytön. Muutokset johtivat timanttiterien suorituskyvyn parantumiseen sekä pienentyneihin kustannuksiin verrattuna perinteisiin kaurausteriin. Timanttiterät olivat siltikin 10-15 kertaa kalliimpia, mistä johtuen niihin yleensä turvaannuttiin viimeisenä keinona. Maineestaan huolimatta, monet porausinsinöörit olivat kiinnostuneita timanttiteristä johtuen niiden kyvystä kestää pidempään kuin perinteiset terät ja mahdollistaa pidempiä kairauksia. Myöhään 1950-luvulla muutamat suuret öljy-yhtiöt aloittivat tutkimukset timanttiteristä. Nämä tutkimukset mahdollistivat paljon paremman käsitykset timanttikairauksen mekaniikasta sekä hydrauliiikan vaikutuksesta kallion lävistykseseen. (Baker Huges INTEQ 1995, 3 - 17.)

3.1 Kallioporaus

Kallioporaus tarkoitus on tehdä kallioperään reikiä kiven irrottamista, kallioperän tutkimista tai injektioimista varten. Kallioporausmenetelmät voidaan jakaa neljän eri porausmenetelmään, jotka ovat iskuporaus, murskaava kiertoporaus, leikkaava kiertoporaus sekä hiertävä kiertoporaus. Tämän tutkimuksen porausmenetelmä on timanttikairaus, joka on hiertävää kiertoporausta (Jakku, Heiskanen & Hallikainen 2014, 10.)

Hiertävää kiertoporausmenetelmää käytetään pääasiassa malminetsintään, kun halutaan tutkia kallion geologisia ominaisuuksia (kuva 1). Poraus tehdään silloin rengasterällä, eli timanttiterällä. Timanttikairaus on kattavin näytteenottomenetelmä. Se tuottaa jatkuvaa kiviä näytettä tarkasta paikasta (mitatusta). Samasta näytteestä voidaan määrittää

useita tekijöitä, kuten esimerkiksi kivilaji, mineralogiaa (arvomineraalien paljoussuhteet, raekoot, tekstuuri), alkuainepitoisuuksia, kalliomekaanisia tekijöitä ja suureita sekä geofysikaalisia parametreja (Jakku, Heiskanen & Hallikainen 2014, 10.)

Kairareikää voidaan hyödyntää myöhemmin uudelleen esimerkiksi reikägeofysikaalisissa mittauksissa ja jatkamalla reikää tarpeen mukaan. Timanttikairaus on menetelmänä suhteellisen kallis (yleensä 50 – 100 €/m, vuoden 2008 hintatasossa) ja hidas (kohteesta riippuen muutamia tai muutamia kymmeniä metrejä/työvuoro) verrattuna esimerkiksi poraukseen. Toisaalta näytteen edustavuus on olennaisesti parempi kuin porauksella saatava murskenäyte (Jakku, Heiskanen & Hallikainen 2014, 10.)

Tärkeitä kallionäytekairauksen hintaan vaikuttavia tekijöitä ovat mm. näytteen halkaisija, reiän syvyys, koneen siirtomatka reiälle, maapeitteen paksuus, huuhteluveden siirtomatka, kallion ruhjeisuus ja mahdollinen vaatimus reiän osumatarkkuudesta. Kairausmetrin hinta voi jopa kaksinkertaistua näytteen halkaisijan kaksinkertaistuessa (Jakku, Heiskanen & Hallikainen 2014, 10.)

Hinta voi myös olla kaksinkertainen 1,000 metrin syvyydessä verrattuna 100 metrin syvyyteen. Kairausyksikön pääosia ovat reiässä oleva kalusto, varsinainen kairauskone, joka mm. pyörittää ja syöttää reiässä olevaa putkistoa, koneen kuljetusalusta ja vesihuuhtelulaitteisto siirto- ja painepumppuineen. Reiässä oleva kalusto koostuu nykyisin yleensä teräksisestä kairausputkistosta, sylinterimäisestä timanttikairausterästä ja terä- eli näyteputkesta, johon näyte jää (Jakku, Heiskanen & Hallikainen 2014, 10.)

Nykyisin yleensä käytetyllä wireline-kalustolla näyteputki nostetaan vaijerin avulla kairausputkien läpi. Kun teräputki on saatu pinnalle ja tyhjennetty näytelaatikkoon, se lasketaan pudottamalla takaisin paikalleen reiän pohjalle, missä se lukittuu paikalleen. Putket nostetaan vain, kun terä on kulunut loppuun ja se on vaihdettava (Jakku, Heiskanen & Hallikainen 2014, 10 - 11.).



Kuva 1 Timanttikairauksesta saatava kallionäyte

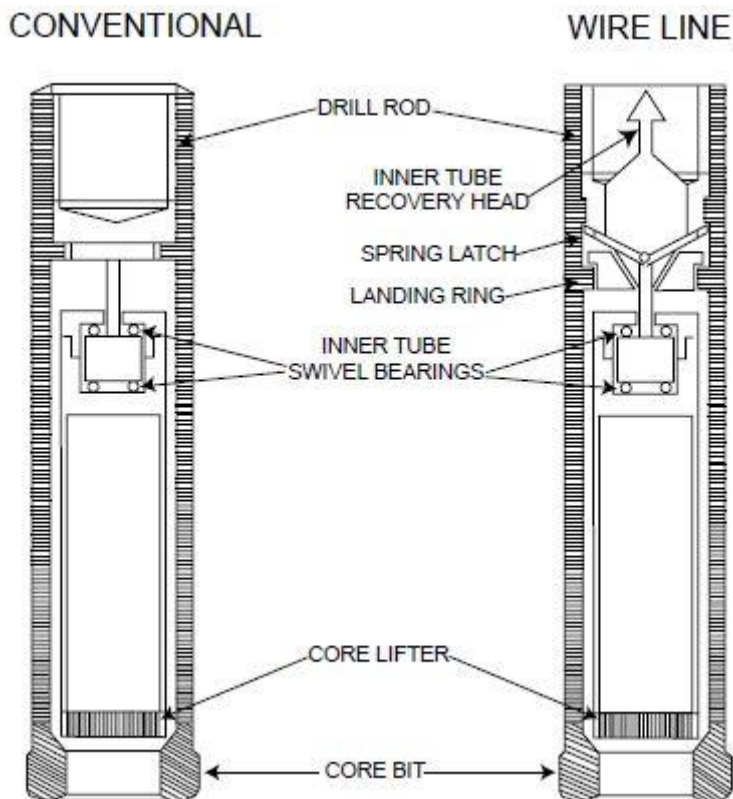
Terän kesto on tyypillisesti 50 – 100 metriä. Rikkonaisessa tai erittäin kovassa kivessä terä voi kulua loppuun jo muutaman metrin matkalla. Toisaalta edullisissa olosuhteissa terä voi kestää satojakin metrejä. Näytehalkaisija valitaan tarpeen mukaan. Yleisimmät näytekoot ovat noin 40 mm ja noin 50 mm. Kairaustekniikan kehittyttyä suuntaus on ollut kohti suurempia näytteitä, mutta yli 60 mm näytteitä otetaan Suomessa harvoin. Tavanomaisesti käytetään kaksoisteräputkea ja joskus, kun on pelkoa näytehukasta, voidaan käyttää kolmoisteräputkea, jossa sisin putki voi olla halkaistava, jotta mekaanisesti heikkokin näyte saadaan näyteenottimesta häiriintymättömänä (Jakku, Heiskanen & Hallikainen 2014, 11.)

3.2 Timanttikairaus

Timanttikairaus on menetelmä, joka tuottaa kallionäytteitä. Menetelmän nimi viittaa käytettävään kairausterään, johon on istutettu pieniä timantteja. Näissä terissä saattaa myös olla kovametallipaloja tai kuulia timanttien sijaan. Tästä huolimatta menetelmää kutsutaan timanttikairaukseksi. Kairausterät toimivat parhaiten vakaisissa/yhtenäisissä muodostelmissa. Ontto kairausterä kiinnitetään sisäputkeen, joka kerää näyteen näyteenottoputkeen sitä mukaan, kun terä etenee kalliossa (Rock excavation handbook 1999, 340.)

Näytteenottoputkessa on kiertonivel, joka pitää sen paikoillaan koko ajan. On olemassa kaksi eri tapaa poistaa näytteenottoputki sen täytyessä. Perinteisessä kairauksessa koko sisäputki pitää vetää takaisin maanpinnalle, mikä tarkoittaa, että kaikki poraputket pitää nostaa pois reiästä. Tämä vie paljon aikaa ja täytyy tehdä aina, kun näytteenottoputki on täynnä. Wire line -menetelmällä näytteenottoputki nostetaan maanpinnalle ja lasketaan takaisin sisäputkeen vinssin avulla (kuva 2). Tämä menetelmä säästää paljon aikaa, koska poraputkia ei tarvitse erikseen nostaa pois kairausreiästä. Timanttikairaimet ovat pieniä kooltaan verrattuna muihin porausmenetelmiin, minkä ansiota ne soveltuvat hyvin kaukaisille kaivauskohteille. Jotkin laitteet ovat tarpeeksi pieniä kuljetettavaksi helikopterilla paikalle, minne ei ole ajoyhteyttä. Laite koostuu nopean kierrosnopeuden omaavasta (yli 1000 rpm) syöttöjärjestelmästä, joka tuottaa tasaisen ja jatkuvan paineen terälle, sekä tarvittavan voiman tuottavasta dieselmoottorista. Poraputkien käsittely tapahtuu käsin, koska käytettävät putket ovat lyhyitä ja kevyitä. Kairauskoneet on lisäksi varustettu vesipumppujärjestelmällä, joka poistaa kairauksessa syntyvän ylimääräisen aineksen reiästä (Rock excavation handbook 1999, 340.)

Kuvassa 2 nähdään periaatekuva wire line -tekniikasta

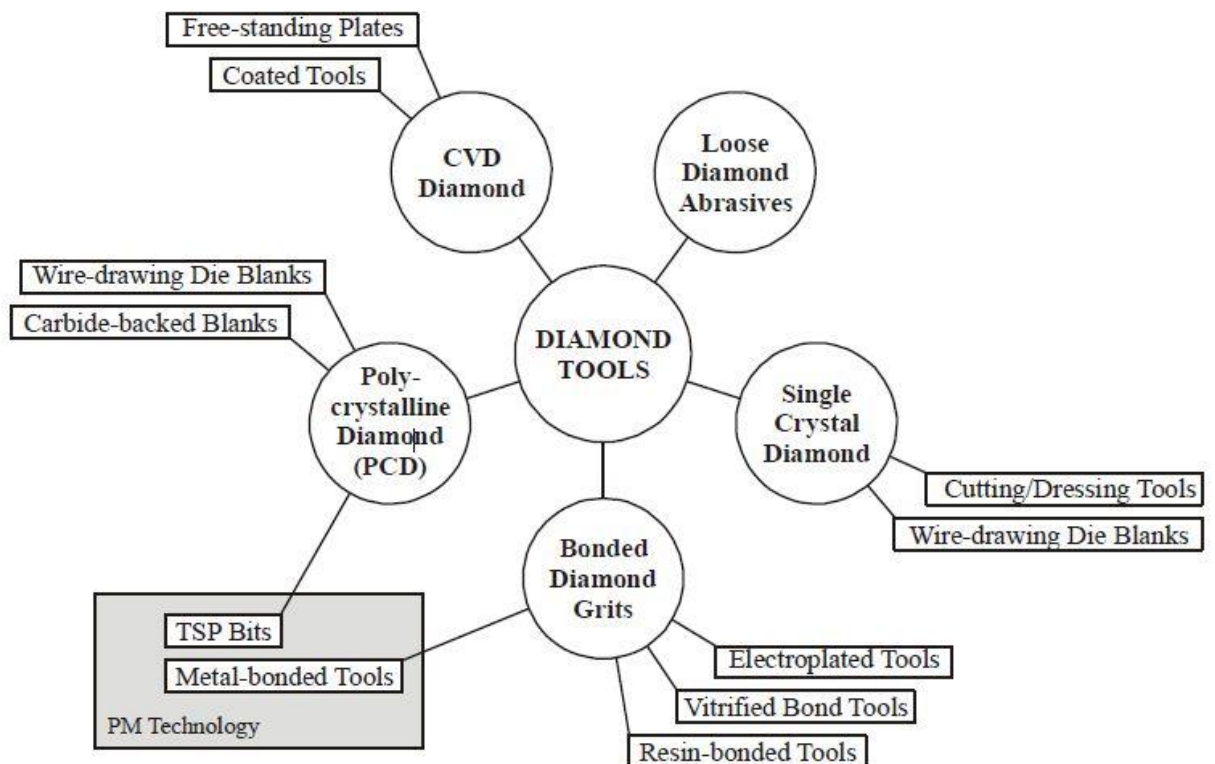


Kuva 2 Perinteinen sekä wire line -näytteenottoputken poistomenetelmä (Rock excavation handbook 1999, 340.)

3.3 Timanttioranterät

Timanttiporia käytetään rakennus- ja mineraaliteollisuudessa. Poranterissä segmentit on juotettu kiinni putken toiseen päähän. Segmenttien valmistusmenetelmä on hyvin samantapainen kuin sahanterän segmenteillä (Ylikerälä 2002, 8.)

Timanttiterä koostuu kolmesta eri osasta: timanteista, matriisista ja terän varresta. Timantit pysyvät paikoillaan matriisissa, joka on liitettynä kiinni varteen. Timanttiterä myydään siinä olevien timanttien karaattien painon sekä sen valmistuskustannusten mukaan (1 karaatti = 0,2 grammaa). Hinta vaihtelee riippuen terän koosta ja luokituksesta (kuva 3). Käytetty terä usein palautetaan, jotta siitä voidaan kerätä talteen jäljelle jääneet timantit uudelleenkäyttöä varten (Baker Hughes INTEQ 1995, 3 - 19.)



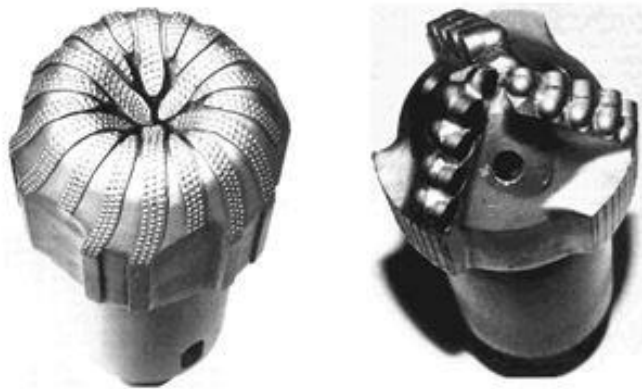
Kuva 3 Timanttityökalujen luokitukset (Konstanty, 2)

Terminologia, jota käytetään kuvaamaan timanttien laatua, on melko vaihteleva. ”Laatu” on rajattu suunnilleen seuraaviin tekijöihin:

1. pinnanlaatu: Kiiltävä, sileä pinta tarkoittaa parempilaatuista timanttia
2. läpikuultavuus: Kiteisillä timanteilla kyky välittää valoa osoittaa korkeampaa laatua. Tämä ei välttämättä pidä paikkaansa kun arvioidaan ei-kiteisiä tai päällystettyjä timantteja
3. sisäinen rakenne: Suurien sisäisten murtumien ja sulkeumien puute sekä kasvun rakenteet ovat osoitus timantit hyvästä laadusta
4. ulkoinen muoto: Kuution muotoinen tai lähes pallomainen timantti on vahvempi ja siten laadukkaampi.

(Baker Huges INTEQ 1995, 3 - 17.)

Poraamisessa käytetyllä jäähdysnesteellä on tärkeä merkitys jätemateriaalin poistamisessa. Tämä on toteutettu poranterissä siten, että segmentit ovat leveämpiä kuin terärungon paksuus. Jäähdysneste pakotetaan porauspisteeseen putken sisäkautta, mikä huuhtoo jätteen ulospäin putken ulkopinnan puolelta. Mineraaliteollisuudessa ja öljynporauksessa käytetyissä timanttiporanterissa timanttikiteet voivat olla kuvan 4 mukaisesti kiinnitettynä a) terän pinnalle tai vaihtoehtoisesti voidaan käyttää b) PCD-terää, jossa timanttipalat muodostuvat yhteen sintratuista timanttikiteistä. Näiden terien valmistuskoot sekä niissä käytetty jäähdysmenetelmä ovat samat kuin rakennusteollisuudessa käytettyjen terien (Ylikerälä 2002, 8.)

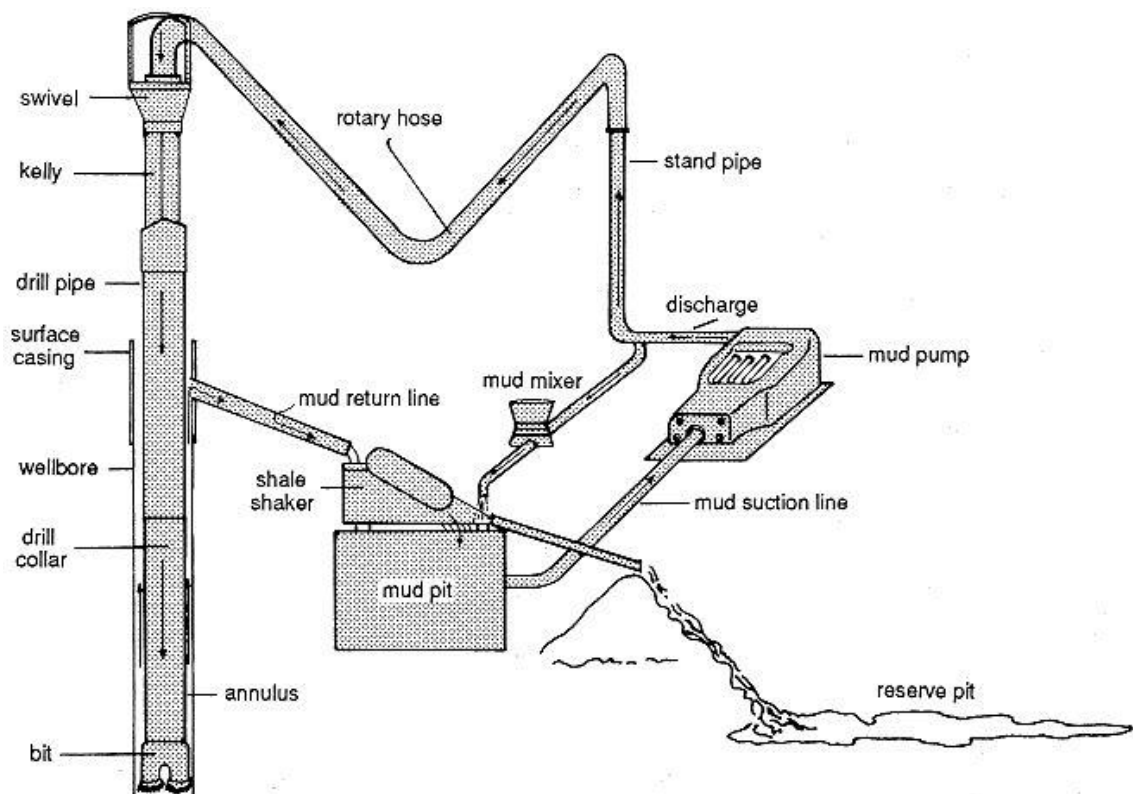


Kuva 4 Timanttiporanteriä (Ylikerälä, 2002, 9)

Poranterän segmenttien kulumiskäyttäytyminen on samankaltaista kuin sahanterän segmenteillä. Segmentissä olevat timantit voivat kulua, murtua tai irrota liian aikaisin matriisista (Ylikerälä 2002, 9.)

Jäähdytysnesteen vaikutusta poranterän kulumiseen on tutkittu laajasti erilaisilla nesteillä. Kulumisen syiksi on ehdotettu kahta eri teoriaa. Joko neste vaikuttaa terän ja porattavan materiaalin välillä pienentäen kitkaa tai sitten se vaikuttaa suoraan porattavan materiaalin pinnan lujuusominaisuuksiin. Jälkimmäistä teoriaa tukevat lukuisat tutkimukset, jotka osoittavat että materiaalin pinnan lujuusominaisuuksia voidaan modifioida jäähdytysnesteellä, joka on joko nesteen tai kaasun muodossa. Esimerkiksi vesihöyry aiheuttaa säröilyä safiirin pinnalla, tolueeni-lasin pinnalla (Ylikerälä 2002, 9 - 10.)

Jäähdytysnesteillä suoritettujen poraustutkimusten tulokset ovat välillä ristiriitaisia, joskus jopa samoilla nesteillä. Tämä saattaa johtua siitä, että käytetyt porausajat ovat olleet keskenään eripituisia. Tutkittaessa nesteiden vaikutusta poranterään on otettava huomioon, että kulumisen johtuu sekä timantin kulumisesta että timantin matriisiin sitovan metallin kulumisesta. Kuvassa 5 on esimerkkikuva jäähdytysjärjestelmästä (Ylikerälä 2002, 10.)



Kuva 5 Jäähdytysjärjestelmän periaatekuva (Kansas Geological Survey 2001. Hakupäivä 6.9.2014)

3.4 Kairausputket

Timanttiterän ja sen perässä teräputken tunkeuduttua kallioon lisätään niiden perään kairausputkia. Kairausputket ovat pääasiassa 3 metrin pituisia erikoisteräksestä valmistettuja putkia, joissa ovat kierteet päissä. Kairausputkien muut mitat riippuvat käytössä olevasta kalustostandardista. Kuvasta 6 ilmenee Oy Kati Ab:n käyttämä kairauskalusto sekä niistä saatavien näytteiden ja reikien halkaisijat.

Kalusto	Näytteen halkaisija	Reiän halkaisija
WL-103	80,0 mm	102,5 mm
T-76	61,7 mm	76,3 mm
WL-76	57,5 mm	76,3 mm
WL-76 triple tube	51,0 mm	76,3 mm
NQ2	50,7 mm	75,8 mm
NQ3	45,1 mm	75,7 mm
WL-66	50,5 mm	67,1 mm
WL-66 triple tube	45,0 mm	67,1 mm
BGM	42,0 mm	60,0 mm
T-56	41,7 mm	56,3 mm
BQTK	40,7 mm	60,0 mm
WL-56/39	39,0 mm	56,8 mm
T-46	31,7 mm	46,3 mm
WL-46	28,8 mm	47,0 mm

Kuva 6 Oy Kati Ab:n käyttämä kairauskalusto (Oy Kati Ab. Hakupäivä 10.11.2014.)

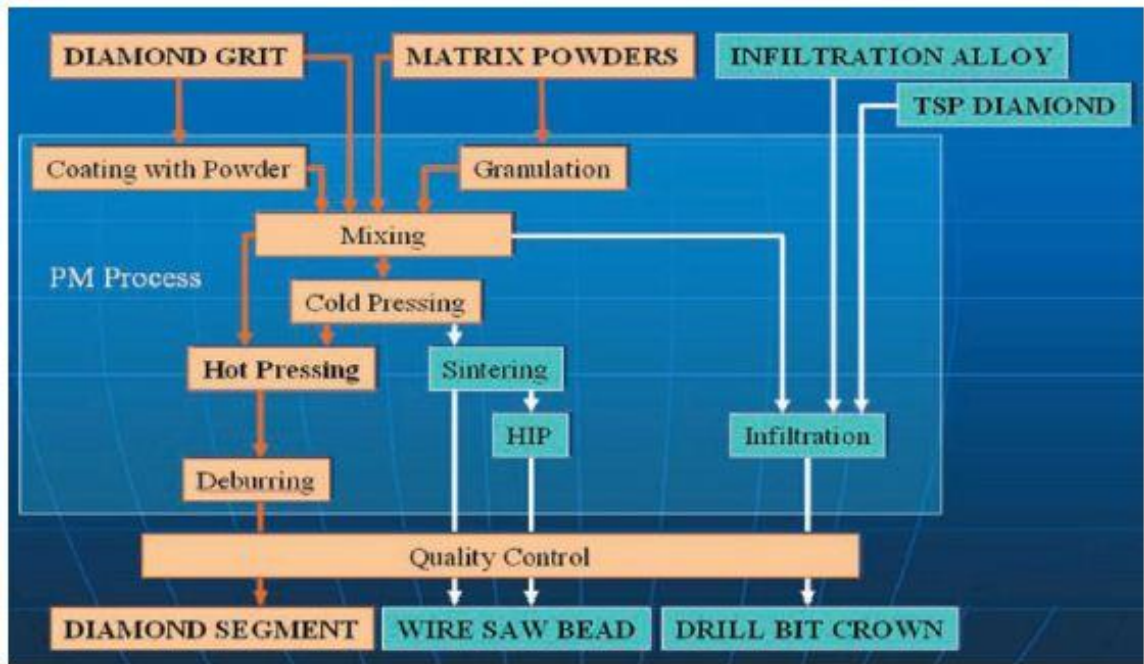
4 TIMANTTITYÖKALUJEN VALMISTUS

Timanttien sitominen työkaluun voidaan tehdä useilla liitostavoilla. Yleisimmin käytetyt ovat resinoidi- ja metallisidos, joiden lisäksi timanttikiteet voidaan sitoa lasitus- tai galvanointisidoksella (Ylikerälä 2002, 13.)

Resinointisidokset perustuvat yleensä fenoli- tai polyimidihartseihin yhdessä täyteaineen kanssa. Täyteaine voi helpottaa heterogeenisen seoksen muodostumista kiteen ja hartsin välillä, lisäksi se voi parantaa sidoksen kulutuskestävyyttä hionnassa. Yleisimmin käytetty täyteaine on piikarbidi, johon voidaan lisätä kiinteää voiteluainetta, kuten grafiittia vähentämään kitkaa ja sitä kautta hiontalaikan kuumenemistä (Ylikerälä 2002, 13.)

Metallisidokset valmistetaan sintraamalla yhteen timanttikiteiden ja metallijauheiden seos. Metallisidokset ovat lujempia kuin resinoidisidokset ja ne pitävät timanttikiteet tiukemmin paikallaan (Ylikerälä 2002, 13.)

Timanttityökalujen valmistuksessa käytetään kolmea perusmenetelmää: imeytystä, kuumapuristusta sekä kylmäpuristus+sintrausta (kuva 7). Näiden lisäksi on olemassa Japanissa kehitetty Spark Plasma Sintering (SPS) menetelmä, joka ei ole vielä levinnyt maailmanlaajuiseen käyttöön (Ylikerälä 2002, 29.)



Kuva 7 Segmenttien valmistusperiaate (Konstanty, 6)

4.1 Kylmäpuristus ja sintraus

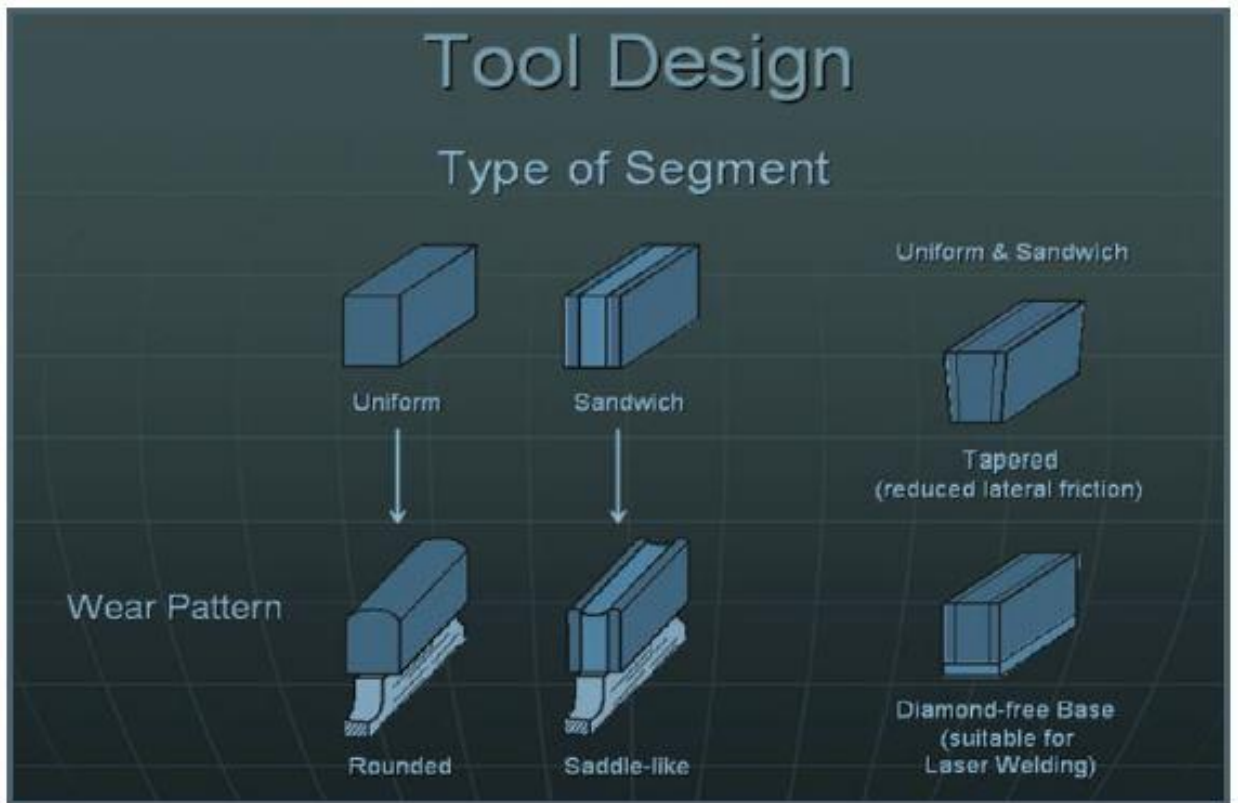
Pulverit voidaan tiivistää suoraan valmiiksi pulverimetallurgisiksi tuotteiksi. Varsin usein karakterisoidut, annostellut, sekoitetut ja joissain tapauksissa myös lisäainekäsitellyt (esim. voiteluainelisäys) pulverit esitiivistetään ensin muotokappaleiksi, joiden käsittely lopullisissa tiivistysprosesseissa on helpompaa ja tehokkaampaa kuin irrallisten pulveripartikkeleiden käsittely olisi (Ylikerälä 2002, 31.)

Jauheen esitiivistämisen tarkoituksena on:

- 1) esitiivistää jauhe haluttuun muotoon
- 2) saavuttaa kappaleelle mahdollisimman tarkat lopulliset mitat, huomioiden sintrauksessa tapahtuvat mittamuutokset
- 3) tietyn asteen ja tyyppin huokoisuuden saavuttaminen kappaleelle
- 4) riittävän lujuuden saavuttaminen kappaleelle jatkokäsittelyä varten.

(Ylikerälä 2002, 31.)

Sintraus on prosessi, jossa aiemmin muotoon puristettu/saatettu tai muotissa vapaasti oleva jauhemassa sitoo kemiallisesti itsensä yhtenäiseksi lähes huokosettomaksi tai tietyn huokoisuuden omaavaksi kappaleeksi. Kun pulveria kuumennetaan sulamispisteensä tai päämateriaalinsa (matriisi) sulamispisteen alapuolella. Sintrauksella poistettavan pulverin tai esimuotokappaleen huokoisuus voi olla peräisin esimerkiksi pulverin pakkaamisesta, valusta tai vakanssien agglomeroitumisesta. Sintraamalla voidaan saavuttaa materiaalin lähes täysi (>99%) teoreettinen tiheys. Sintratun materiaalin lujuus, kovuus, sitkeys ja iskunkestävyys ovat taotun materiaalin luokkaa ja usein selvästi parempia kuin valetuilla kappaleilla. Tiheyden alentuessa ominaisuudet jäävät heikommiksi, mutta samalla vähenevät materiaalin kutistumisesta aiheutuvat kappaleiden sintrauksen aikaiset mittamuutokset (Ylikerälä 2002, 34.)



Kuva 8 Erilaisia timanttityökalujen valmistuksessa käytettäviä segmenttejä (Konstanty, 7)

4.2 Infiltointi

Infiltraatiossa sintratun tai sintraamattoman esimuotokappaleen huokokset täytetään sulalla metallilla tai metalliseoksella. Infiltraation valinta tiivistysmenetelmäksi ei aseta erityisvaatimuksia esimuodon antomenetelmälle, vaan muodonantomenetelmä voidaan valita käytetyn materiaalin ominaisuuksien ja tuotteen rakenteen (mittasuhteet, muoto, koko) perusteella (Ylikerälä 2002, 39.)

Esimuotokappaleen sulamispisteen täytyy olla huomattavasti korkeampi, kuin siihen infiltroidun metallin. Pintajännitysilmio aiheuttaa sulan metallin virtauksen esimuotokappaleeseen, jolloin sen huokokset täyttyvät. Ideaalitapauksessa metalli virtaa kappaleen huokoskanaviin vaivattomasti ja täyttää täysin huokosten tilavuuden (Ylikerälä 2002, 39.)

Tähän pyrittäessä kappaleen huokosten on oltava yhteydessä toisiinsa, kappale ei saa liueta tai reagoida imeytysmetallin kanssa ja lisäksi sula ei saa tunkeutua kappaleen

huokosettomille alueille pitkin raerajoja. Jos imetystä jatketaan liian kauan, kappale turpoaa johtuen metallurgisista reaktioista. Siksi imeytysprosessi pidetään yleensä lyhytkestoisena (Ylikerälä 2002, 40.)

Infiltraation seurauksena kappaleen sitkeys- ja lujuusominaisuudet paranevat sekä sähkönjohtavuus ja korroosionkestävyys paranevat. Menetelmässä lämpötilan kontrollointi on tärkeää, jotta tuote säilyttäisi sopivan mikrorakenteen. Yleensä käytetty lämpötila on 15 °C suurempi, kuin infiltroidun metallin sulamispiste (Ylikerälä 2002, 40.)

Tyypillisessä timanttityökalujen infiltrointiprosessissa käytetään sintrattavana materiaalina volframia tai molybdeeniä ja infiltrointimetallina kuparia tai siihen pohjautuvaa metalliseosta (Ylikerälä 2002, 40.)

4.3 SPS eli Spark Plasm Sintering

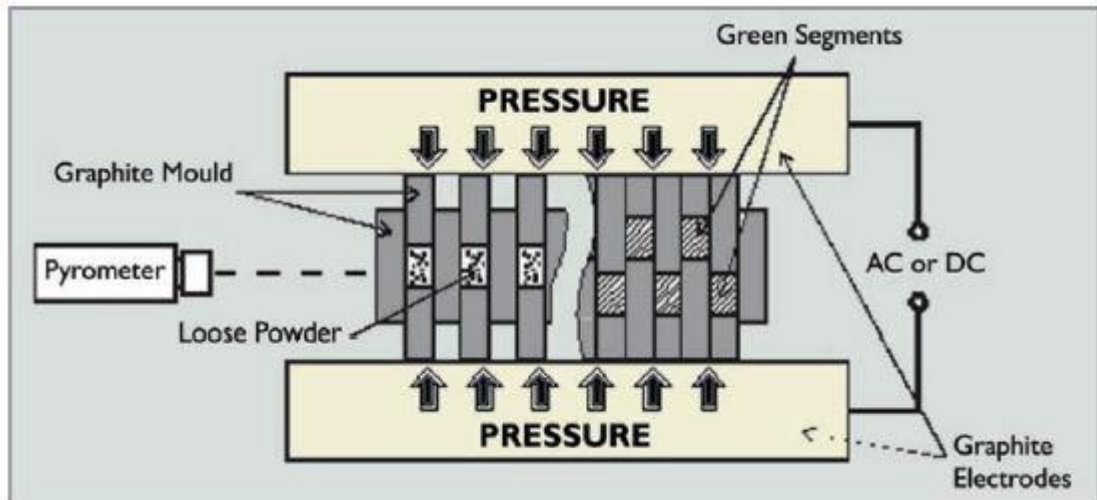
Kipinäplasmasintraus (Spark plasma sintering) on uusi kehitetty prosessi, joka tekee sintrauksen mahdolliseksi matalissa lämpötiloissa lyhyessä aikavälissä. Menetelmässä jauhepartikkelien välit varataan sähköenergialla, jolloin niiden välille muodostuu hetkittäin korkean lämpötilan plasmaa sähköpurkausten kautta. SPS-menetelmän etuja ovat sintraukseen käytetyn energian tarkka kontrollointi, suuri sintrausnopeus sekä tarkka toistettavuus (Ylikerälä 2002, 43.)

SPS-laitteella on korkea lämpöhyötysuhde, koska muotti ja sintrattava materiaali kuumennetaan suoraan kipinäpulsivirralla. Laitteella on mahdollista valmistaa tasalaatuisia korkean tiheyden omaavia kappaleita, johtuen tasaisesta kuumennuksesta sekä iskupaineen materiaalin pintaa puhdistavasta ja aktivoivasta vaikutuksesta (Ylikerälä 2002, 44.)

4.4 Kuumapuristamalla valmistetut segmentit

Kuumapuristuksessa materiaaliin kohdistetaan paine ja lämpö yhtäaikaan (kuva 9). Tämän ansiosta saavutetaan lähes täyden tiheyden omaava kappale, jolla on kontrolloitu mikrorakenne. Paine kohdistetaan staattisesti tai dynaamisesti kuumennettuun jauheeseen yhdestä tai kahdesta vastakkaisesta suunnasta. Menetelmässä käytetään

kontrolloitua suoja-atmosfääriä, jottei prosessoitava jauhe tai jo muotoon puristettu kappale reagoisi ilman hapen tai typen kanssa (Ylikerälä 2002, 40.)



Kuva 9 Kuumapuristuksella valmistettävien segmenttien periaatekuva Konstanty, 8)

Jauheiden kuumapuristukseen liittyvät keskeiset tekijät ovat lämpötilan lisäksi jännitys ja muodonmuutos. Materiaalin sisällä olevien partikkelien kontaktipinnoissa esiintyy tehollista jännitystä, joka poikkeaa ulkopuolen jännityksestä, koska huokokset toimivat jännityksen keskittymänä. Jännitykset tulevat yhtä suuriksi vasta, kun kappale saavuttaa täyden tiheyden. Jos muodonmuutosnopeus on korkea asteista, materiaalin toipuminen on vähäisempää. Lisäksi materiaali muokkautuu vähemmän ja sen murtuminen on todennäköisempää. Jos muodonmuutosnopeus on matala-asteista, kappaleessa tapahtuu enemmän plastista muodonmuutosta ja se saavuttaa suuremman tiheyden (Ylikerälä 2002, 40.)

5 KENTTÄTESTAUS

Tutkittavien terien kenttätestaus suoritettiin Kittilän kaivoksen alueella olevilla Oy Kati Ab:n kairauskoneilla. Tutkittavana oli kuusi kallioterää. Kaikki tutkittava materiaali oli Levanto Oy:n uudella valmistustekniikalla valmistamia. Testit koostuvat kenttätestauksesta kairauskoneella sekä Lapin ammattikorkeakoulun Kemin tekniikan yksikössä suoritetuista mittauksista.

5.1 Tutkitut terät

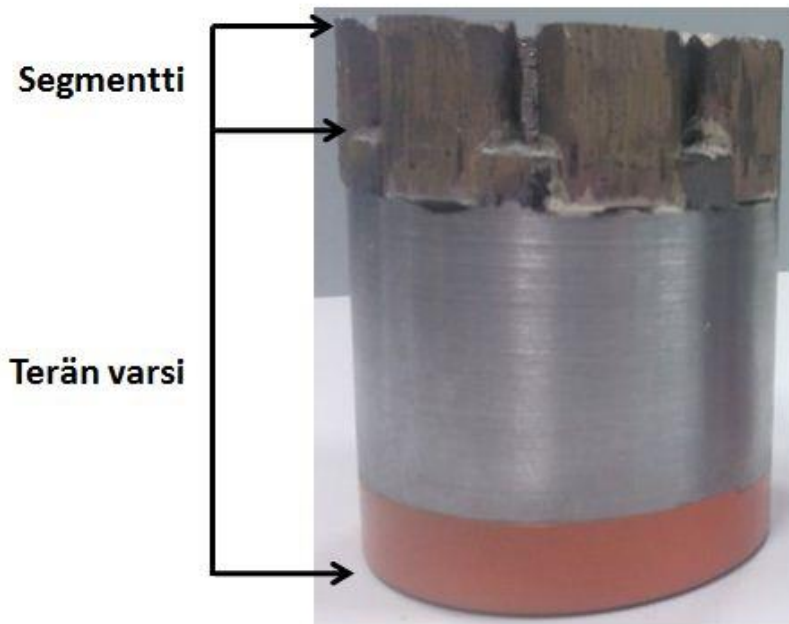
Projektissa tutkitut kallioterät edustivat kuutta eri kovuutta. Kaikissa tutkittavissa terissä käytettiin putkityyppiä NQ2 ja ne oli merkattu eri tunnuksilla ja värikoodeilla. Taulukossa 1 on annettu teräkoodit, kovuusluokat, eränumero ja värikoodi. Kovuusluokan suhteen NWL2 M3S oli pehmein ja WOLF T-3 kovin terä.

Taulukko 1 Tutkittavien kallioterien tiedot

Terä	Kovuus	Eränro	Väri
NWL2 M3S	M3	61789	Punainen
M5T-1	M5	61697	Oranssi
M7T-1	M7	61695	Kulta
WOLF T-1	WOLF T1	61773	Sininen
WOLF T-2	WOLF T2	61971	Hopea
WOLF T-3	WOLF T3	61972	Musta

Terät mitattiin työntömitalla niiden koko pituudelta, eli matka segmentin päästä terän pohjaan. Segmenteistä saaduista mittatuloksista lasketaan niiden keskiarvo ja – hajonta.

Kuvassa 10 on esitelty tutkittavien terien rakenne.



Kuva 10 Terän rakenne

Kuvassa 11 on nähdään projektissa tutkittavia teriä.



Kuva 11 Projektissa tutkittavia kallioteriä

Jokaisella terällä suunniteltiin kairattavaksi 25 metriä kalliota, jonka jälkeen ne mitattiin uudestaan. Näin saatiin laskettua terien kuluminen sekä arvioitua niiden käyttöikä.

Terän kuluminen määrittäminen tapahtui laskennallisesti. Terien keskiarvojen erotus saadaan vähentämällä segmenttien aloituskeskiarvosta niiden lopetuskeskiarvo (1). Terän kuluminen saadaan jakamalla saatu erotus terän ajometreillä (2). Saadun kuluman ja segmentin koon avulla voidaan laskea terän arvioitu käyttöikä. Käyttöikä saadaan jakamalla segmentin koko sen kulumalla (3).

$$L_{\Delta} = L_0 - L_1 \quad (1)$$

Missä L_{Δ} = segmenttien keskiarvojen erotus L_0 = segmenttien aloituskeskiarvo, L_1 = segmenttien lopetuskeskiarvo

$$\omega = L_{\Delta} / s [\text{mm} / \text{m}] \quad (2)$$

Missä ω = kuluma, L_{Δ} = segmenttien keskiarvojen erotus, s = ajometrit

$$\Omega = L_2 / \omega \quad (3)$$

Missä Ω = arvioitu käyttöikä metreinä, L_2 = segmentin koko, ω = kuluma

5.2 Testaus

Terille tehtiin tarvittavat esivalmistelut, mikä käsitti niiden dimensiomittauksen ja paketoinnin kuljetusta varten. Yhteydenpito testauksen suorittavaan yritykseen, Oy Kati Ab:hen tapahtui sähköpostin sekä puhelimen välityksellä. Testauspaikaksi sovittiin Kittilän kaivoksen alueella sijaitseja kairauskone nro. 7 (kuva 12), jossa oli käytössä NQ2-tyypin putkikalusto.



Kuva 12 Oy Kati Ab:n kairauskone Kittilän kaivoksella

Testissä jokaisella kallioterällä kairattiin 25 metriä, jonka jälkeen ne otettiin pois käytöstä ja vaihdettiin seuraavaan terään. Terät testattiin järjestyksessä pehmeimmästä kovimpaan, jolloin testaus aloitettiin terällä NWL2 M35 ja lopetettiin terään WOLF T-3. Kuvassa 13 nähdään terä NWL2 M35 liitettynä kairausputkeen kalvaimen kanssa.



Kuva 13 Terä NWL2 M35 ja kalvain NWL2 46x22 valmistelussa kairausta varten

6 TULOKSET

Tulokset koostuvat terille suoritetuista mittauksista, kairauskoneelta saaduista ohjausparametreista sekä kairauskoneen työntekijöiden vapaamuotoisista kommenteista. Mittaukset tehtiin Lapin ammattikorkeakoulun Kemin tekniikan yksikön tiloissa. Terät mitoitettiin ennen niiden lähettämistä kenttätestaukseen sekä niiden jälkeen.

6.1 Terien testitulokset

Jokainen tutkittava terä mitattiin koko pituudeltaan ennen kenttätestejä sekä niiden jälkeen. Näin jokaiselle terälle saatiin sekä aloitus- että lopetuskeskiarvo. Saaduista arvoista laskettiin erotus, jonka perusteella pystyttiin määrittämään jokaiselle terälle sen kuluma per kairattu metri. Terän kuluman ja segmentin koon perusteella pystyttiin arvioimaan terän mahdollinen käyttöikä. Taulukossa 2 on nähtävissä teristä saadut mittatulokset.

Taulukko 2 Terien mittatulokset

Terä	Aloituskeskiarvo L_0 (mm)	Lopetuskeskiarvo L_1 (mm)	Erotus L_2 (mm)	Ajometrit s	Kuluma ω (mm) / metri	Segmentin koko L_2 (mm)	Arvioitu käyttöikä Ω (metriä)
M3S	91.41	88.59	2.82	24	0.12	16.10	137
M5T -1	91.01	89.54	1.47	24	0.06	17.34	283
M7T -1	91.42	90.01	1.41	24	0.06	16.10	274
WOLF T - 1	90.11	88.49	1.62	24	0.07	16.10	239
WOLF T - 2	88.98	86.83	2.15	24	0.09	15.28	171
WOLF T - 3	88.45	88.01	0.44	24	0.02	15.73	858
HUOM: Segmenttien koko on keskiarvo muiden koosta							

Saatujen tulosten perusteella WOLF T - 3 -terä oli kaikkein kestävin ja laskennallisesti pitkäikäisin. Terät ovat kovuusjärjestyksessä pehmeimmästä kovimpaan: M3S on pehmein ja WOLF T - 3 kovin testatuista teristä. Kuvista 14 – 19 nähdään kuvia teristä kairauksen jälkeen.



Kuva 14 Testattavat terät käytön jälkeen



Kuva 15 Terien NWL2 M35, M5T ja M7T segmentit käytön jälkeen



Kuva 16 Terien Wolf T-1, Wolf T-2 ja Wolf T-3 segmentit käytön jälkeen



Kuva 17 Käytetty ja käyttämätön Wolf T - 3 terä



Kuva 18 Lähikuva Wolf T - 2 terästä käytön jälkeen



Kuva 19 Lähikuva käyttämättömästä Wolf T - 2 terästä

6.2 Kairauskoneen ohjausparametrit

Ohjausparametrit ovat tulleet suoraan käytössä olleelta koneelta. Kairauskone tallensi jokaisen terän kohdalla käytetyt ohjausparametrit kymmenen senttimetrin välein. Saatujen arvojen perusteella jokaisen terän jokaiselle ohjausarvolle on laskettu keskiarvo, jotka ovat esillä taulukossa 3. Käytettyjen parametrien tarkoitukset on selostettu kappaleessa [Käytetyt merkit ja lyhenteet](#).

Taulukko 3 Kairauskoneen ohjausparametrit

Terä	ROP	Rotation pressure	RPM	Rotation	Flush pressure	Flow	Feed force	Force Pressure	Hold Back Pressure
M3S	3.5	134.9	1089.7	2095.5	6.4	31.2	1.5	3.1	1.8
M5T -1	3.9	136.8	1086.4	1803.2	7.8	36.1	1.6	2.9	1.7
M7T -1	3.6	142.1	1053.6	1801.6	11.8	35.6	1.5	2.9	1.8
WOLF T - 1	3.4	148.4	1067.7	2181.1	11.4	35.6	1.6	3.2	1.9
WOLF T - 2	2.8	147.4	1078.2	2553.6	10.9	32.1	1.5	2.7	2
WOLF T - 3	4.4	170	1053.2	1604.1	13.2	34.2	1.8	2.5	1.6

6.3 Käyttäjien kommentit

Kenttätestauksen aikana kairauskoneen käyttäjiä pyydettiin kirjoittamaan vapaamuotoisia kommentteja testattavista teristä. Vertailukohtana toimi heidän oma kokemuksensa vanhojen terien käytöstä. Kommentit ovat esillä taulukossa 4.

Taulukko 4 Käyttäjien kommentit

Terä	Käyttäjän kommentit
M3S	Ihan OK terä, välillä vaan meno pysähtyi ja nosti syöttöpaineet tappiin.
M5T -1	Tunkeutuu aika vaihtelevasti vaikka kivi ei juuri vaihdellut. Ihan OK.
M7T -1	Painu aika tasasesti ja hyvin. Paras tähän mennessä.
WOLF T - 1	Malmikiveen menee aika kivasti. Muuten painuu aika vaihtelevasti.
WOLF T - 2	Terä taitaa olla pehmeämmälle kivelle. Ei kovin hyvä tunkeuma.
WOLF T - 3	Tosi hyvä tunkeuma ja tasaisesti meni.

7 POHDINTA

Projektissa tutkittiin kuuden eri kovuusluokan timanttikairausterän kulumista sekä kestoja käytön aikana. Terät olivat valmistettu uudella, perinteisestä poikkeavalla tavalla, eikä niiden toimivuudesta ollut tietoa. Ehkä tärkeimpänä tuloksena koko projektissa oli se, että terät toimivat uudesta valmistustavasta riippumatta. Terien testaaminen ei pääty tähän työhön, vaan niille tullaan tekemään jatkotestejä sekä parannuksia saatujen tulosten perusteella.

Kaikki testattavat terät tulivat Levanto Oy:lta, joka oli tutkimuksen tilannut yritys. Levanto Oy valmisti kaikki terät Suomen toimipisteessään Kauniaisissa, mistä ne sitten lähetettiin Lapin AMK:n Kemin yksikköön tutkimuksia varten. Kemistä terät toimitettiin Kittilään Oy Kati Ab:n kairauskoneelle, jolla itse kenttätestaus suoritettiin.

Terille suoritettujen mittausten ja kenttätestauksen tuloksena voi sanoa, että timanttiterien uusi, segmenttikeskainen valmistustapa, on toimiva. Terät toimivat kairaustilanteessa, eikä niiden toiminnassa ollut mitään ongelmia. Yksikään terien segmenteistä ei irronnut tai hajonnut kairauksen aikana, eikä niissä esiintynyt epätasaista kulumista.

Teristä saadut tulokset olivat suurelta osin samankaltaisia, eikä niissä ollut huomattavia eroja eri kovuuksista riippumatta. Inhimillisellä virheellä on toki osansa saatujen mittatulosten tulkinnassa. Kaikki mittaukset ovat kuitenkin yhden henkilön suorittamia, joten virhemarginaali on kaikissa tuloksissa sama. Kairauskoneelta saatujen ohjausparametrien tuloksissa on kuitenkin huomattavissa eroja eri terien välillä. Nämä erot johtuvat mahdollisista muutoksista kalliiossa. Lisäksi ohjausparametreissa oli paljon tyhjiä arvoja, jotka vaikuttavat laskennalliseen keskiarvoon. Tyhjille arvoille ohjausparametreissa ei löydetty selitystä.

Toivon, että opinnäytetyöni herättää lisäkysymyksiä timanttiterien valmistuksesta ja aiheutta tutkittaisiin lisää. Valmistukseen liittyviä lisätutkimuksia voisi jatkaa esimerkiksi miettimällä, miten terien valmistuksen voisi automatisoida kokonaan kustannusten pudottamiseksi. Lisäksi terien kestävyydelle ja toimivuudella pitimmässä kairauksessa tulisi tehdä jatkotutkimuksia.

LÄHTEET

Drilling Engineering Workbook, A Distributed Learning Course 2995. Baker Hughes INTEQ. Hakupäivä 18.4.2014.

http://www.unimasr.net/ums/upload/files/2010/Nov/UniMasr.com_9cdbf34d1f2f070329aa4cbd281dfb7b.pdf

Jakku, Juho & Heiskanen, Jukka-Pekka & Hallikainen, Vesa 2014. Case ADC. Projekti. Lapin Ammattikorkeakoulu, Tuotantotekniikka.

Levanto Oy, kotisivut. Hakupäivä 15.10.2014. <http://www.levanto.fi/tietoa-meista/>

Kansas Geological Survey 2001. Education. Hakupäivä 6.9.2014.

<http://www.kgs.ku.edu/Publications/Oil/primer12.html>

Konstanty, Janusz. Metal-bonded diamond tools – production and applications.

Hakupäivä 20.2.2014. <http://www.kmo.agh.edu.pl/PDF/streszczenia/konstanty.pdf>

Oy Kati Ab, kotisivut. Hakupäivä 10.11.2014.

<http://www.oykatiab.com/fi/palvelut/timanttikairaus.html>

Paavola, Teemu, Kairauskoneen esimies, Oy Kati Ab. Haastattelu 3.6.2014.

Rock excavation handbook 1999. Sadvik Tamrock Corp. Hakupäivä 19.4.2014.

http://www.metal.ntua.gr/uploads/3290/254/Excavation_Engineering_Handbook_Tamrock.pdf

Ylikerälä, Jarmo 2002. Kovametallien vaikutus timanttityökalujen ominaisuuteen.

Diplomityö. Helsingin yliopisto, Helsinki.