



SYVÄNREIÄNPORAUS

Opinnäytetyö

Antti Häkkinen

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto

Hyväksytty ____ . ____ . ____ _____

SAVONIA-AMMATTIKORKEAKOULU TEKNIikka KUOPIO

Koulutusohjelma

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

Tekijä

Antti Häkkinen

Työn nimi

Syvänreiänporaus

Työn laji

Opinnäytetyö

Päiväys

6.5.2010

Sivumäärä

53 + 12

Työn valvoja

lehtori, Ari Vuoti

Yrityksen yhdyshenkilö

toimitusjohtaja, Mika Penttinen

Yritys

Konepaja Häkkinen Oy

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön aiheena oli perehtyä Konepaja Häkkinen Oy:n uuden syvänreiänporakoneen hankintaan liittyviin porausmenetelmiin ja työstökoneen hankintaprosessin vaiheisiin. Työn pääpaino oli syvänreiänporauksen valmistusmenetelmissä. Valmistusmenetelmissä käsitellään porausmenetelmiä ja laitteistoja sekä porausprosessiin vaikuttavia tekijöitä. Uusi työstökonehankinta laajentaa yrityksen menetelmärakennetta. Laajemmalla menetelmärakenteella pystytään palvelemaan asiakasta laadukkaammin.

Työ suoritettiin yhteistyössä Konepaja Häkkinen Oy:n, TACCHI Giacomo e Figli SpA:n ja Botekin ammattilaisten kanssa. Koneen vastaanotoista ja loppuhyväksynnästä vastasi Konepaja Häkkinen Oy, työstökoneesta koskevista tiedoista sekä koekäytöstä vastasi TACCHI Giacomo e Figli SpA ja työkalusovelluksista vastasi Botek.

Tuloksena työstä saatiin kattavat tiedot syvänreiänporausmenetelmistä ja laitteistoista. Vastaanottohyväksytyllä työstökoneella suoritettu koeporaus antoi arvokasta tietoa onnistuneesta porausmenetelmän ja -laitteiston valinnasta.

Avainsanat

syvänreiänporaus, syvänreiänporaus menetelmät, syvänreiänporaus laitteistot

Luottamuksellisuus

julkinen

SAVONIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree Program

Mechanical Engineering and Production Technology

Author

Antti Häkkinen

Title of Project

Deep Hole Drilling

Type of Project

Final Project

Date

May 5, 2010

Pages

53 + 12

Academic Supervisor

Mr. Ari Vuoti, Lecturer

Company Supervisor

Mr. Mika Penttinen, CEO Konepaja Häkkinen Oy

Company

Konepaja Häkkinen Oy

Abstract

The aim of this final year project was to get acquainted with Konepaja Häkkinen Oy's new deep hole drilling machine, deep hole drilling methods and the purchasing process of a deep hole drilling machine. The focus was on the deep hole drilling process which includes drilling methods, drilling machinery and variables in the drilling process. The purchase of a new machine widens the method structure of the company. With wider method structure, the company can serve its customers better.

This final year project was made in co-operation with Konepaja Häkkinen Oy, TACCHI Giacomo e Figli SpA's and the professionals of the company Botek. Acceptances and the final acceptance was committed by Konepaja Häkkinen Oy. Information concerning the deep hole drilling machine and the test drive was committed by TACCHI Giacomo e Figli SpA and the applications of the tools was committed by Botek.

As a result of this final year project there was extensive information on deep hole drilling methods and deep hole drilling machinery. The test drilling performed with an accepted machine provided valuable information concerning successful choice of deep hole drilling methods and deep hole drilling machinery.

Keywords

deep hole drilling, deep hole drilling methods, deep hole drilling machinery

Confidentiality

public

ALKUSANAT

Opinnäytetyö on tehty Konepaja Häkkinen Oy:lle 1.6.2009 - 6.5.2010.

Ohjaajana yrityksen puolesta toimi Konepaja Häkkinen Oy:n toimitusjohtaja Miika Penttinen ja yhdyshenkilönä tuotantoinsinööri Jani Häkkinen ja tuotantoinsinööri Jussi Häkkinen.

Haluan myös kiittää opinnäytetyöni ohjaajaa Savonia-ammattikorkeakoulun lehtoria Ari Vuotia.

Raisiossa 6.5.2010

Antti Häkkinen

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	8
2 KONEPAJA HÄKKINEN OY	9
3 SYVÄNREIÄNPORAUS	10
3.1 Menetelmät.....	10
3.1.1 Umpiaineporaus.....	11
3.1.2 Ydinporaus.....	11
3.1.3 Avarrus	12
4 PORAUSLAITTEISTOT	14
4.1 Kanuunaporaus	14
4.2 Ejektoriporaus	16
4.3 STS/BTA-poraus	19
5 PORAUSTYÖKALUT	21
5.1 Porat.....	21
5.1.1 Kanuunapora	21
5.1.2 Ejektoripora.....	22
5.1.3 STS/BTA-pora	23
5.2 Poraputket	24
5.3 Öljykupit.....	24
6 LASTUAMISNESTEET JA LASTUAMISNESTEJÄRJESTELMÄ	26
6.1 Lastuamisl nesteet syvänsreiänporauksessa.....	26
6.2 Porausöljy.....	28
6.3 Emulsio.....	29
6.4 Synteettiset lastuamisl nesteet	30
6.5 Lastuamisl nesteen kunnossapito	30
6.6 Lastuamisl nestejärjestelmä	32
7 LASTUNMUOTO JA POISTO	35

8 LASTUAMISVOIMAT JA LASTUAMISEN VAATIMA TEHO	37
9 REIÄN SUORUUS JA SIIHEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT	40
10 TYÖSTÖKONEEN HANKINTAPROSESSI	43
10.1 Menetelmän valinta	44
10.2 Työkalujärjestelmän valinta	44
10.3 Työstökone.....	44
10.4 Vastaanotto	46
10.5 Testit.....	47
10.6 Käyttöönotto	48
11 PORAUS KONEPAJA HÄKKISELLÄ	50
12 YHTEENVETO	52
LÄHTEET	53

LIITTEET

LIITE 1: Öljykuppien tekniset piirustukset

LIITE 2: Porausöljyn kunnonvalvontaraportti

LIITE 3: Schlesinger-testipohja

SYMBOLIT

P_c	<i>lastuamisen vaatima teho</i>	[W]
P_μ	<i>kitkateho</i>	[W]
F_c	<i>tangentiaalivoima</i>	[N]
F_f	<i>syöttövoima</i>	[N]
$F_{f\mu}$	<i>syötön kitkavoima</i>	[N]
D_c	<i>työkalunhalkaisija</i>	[mm]
a_p	<i>lastuamissyvyys</i>	[mm]
f_n	<i>syöttö</i>	[mm/r]
k_c	<i>määritetty ominaislastuamisvoima</i>	[N/mm ²]
v_c	<i>lastuamisnopeus</i>	[m/min]
\sin_{kr}	<i>asetuskulman sin</i>	
n	<i>karanopeus</i>	[1/min]
kr	<i>asetuskulma</i>	[°]
M_c	<i>vääntömomentti</i>	[Nm]
M_μ	<i>vääntömomentin kitka</i>	[Nm]
P_V	<i>jäähdytyskapasiteetin tarve</i>	[J/h]
P_A	<i>karamoottorinteho</i>	[W]
P_K	<i>pumppujen kokonaisteho</i>	[W]
ED	<i>hyötyaikakerroin</i>	

1 JOHDANTO

Insinööriyön aiheena on perehtyä Konepaja Häkkinen Oy:n uuteen työstökonehankintaan liittyviin valmistusmenetelmiin ja työstökonehankintaprosessiin. Uudella työstökonehankinnalla haluttiin kasvattaa ja parantaa asiakkaille tarjottavia koneistuspalveluja. Laajemmalla menetelmärakenteella yritys pystyy palvelemaan asiakkaitaan paremmin ja kykenee tarjoamaan kokonaistoimituksia.

Työssä käsitellään syvänreiänporauksen erikoistyöstömenetelmiä ja työstökoneen hankintaprosessia. Erikoistyöstömenetelmillä tarkoitetaan syvänreiänporauksen keskeisiä valmistusmenetelmiä ja niiden käytön soveltuvuutta porauksen osa-alueilla. Erikoistyöstömenetelmissä käsitellään myös porausprosessiin vaikuttavia tekijöitä. Työstökoneen hankintaprosessissa käsitellään lyhyesti hankintaprosessin kulku ja tarkastuksissa käytettäviä mittausmenetelmiä sekä mittapöytäkirja.

Työn tavoitteena on saada tarkat tiedot uudesta valmistusmenetelmästä ja valita parhaiten käyttöön soveltuva porauslaitteisto sekä käyttöönottaa uusi työstökone. Koneen käyttöönoton yhteydessä tehdään koeporaus yhteistyössä työkaluvalmistajan asiantuntijan kanssa.

Tuloksena on tarkoitus saada Konepaja Häkkinen Oy:lle tarvittavat tiedot erikoistyöstömenetelmästä. Hyväksytyllä työstökoneella suoritettu koeporaus antaa arvokasta tietoa porausmenetelmän ja porauslaitteiston onnistuneesta valinnasta ja menetelmien soveltuvuudesta käytettäväksi työstökoneessa.

Projektin alussa vierailtiin asiakasyrityksissä, joissa tutustuttiin porauslaitteistoon ja porausprosessiin. Saatujen referenssien pohjalta alettiin kehittää Konepaja Häkkinen Oy:lle uutta syvänreiänporauksen tuotantolinjaa.

2 KONEPAJA HÄKKINEN OY

Raisiolainen Konepaja Häkkinen Oy on vuonna 1980 perustettu yksityisomistuksessa oleva metallialan yritys. Konepaja Häkkinen -konsernin henkilöstömäärä on 405 henkilöä. Yrityksen tytäryhtiöt sijaitsevat Tikkakoskella (Tikkakosken Konepaja Oy) ja Jyväskylässä (Rautpohjan Konepaja Oy). /1/

Konepaja Häkkinen -konserni toimii raskaan konepajateollisuuden sopimusvalmistajana. Pääasiakkaat toimivat koneenvalmistuksessa, raskaassa sähköteollisuudessa, voimalateollisuudessa, voimansiirtoteollisuudessa, tuulivoimateollisuudessa sekä potkurilaiteteollisuudessa Euroopan unionin alueella. Konepaja Häkkinen tunnetaan laadusta ja tehokkuudesta sekä huomattavasta koneistus-kapasiteetista. /1/

Konepaja Häkkinen Oy on asiakassuhteissaan kyennyt luomaan toimivan partnership-mallin. Perinteisen osavalmistajan sijasta yritys on asiakkailleen tasa-vertainen yhteistyökumppani, joka sitoutuu vaativaan projektilähtöiseen työskentelyyn asiakkaan parhaaksi. /1/

Konepaja Häkkinen Oy on erikoistunut suurikokoisten ja erittäin vaativien kappaleiden lastuavaan työstöön. Tikkakosken Konepaja Oy:n erityisosaamista on koneistus koneistuskeskuksilla, karusellisorveilla ja avarruskoneilla. Rautpohjan Konepaja Oy on erikoistunut raskaiden ja vaativien teräksisten sekä haponkestävien komponenttien esikäsitteilyyn, hitsaamiseen, koneistamiseen ja kokoonpanoon. /1/

Konepaja Häkkisen päämarkkina-alue on Eurooppa. Konepaja Häkkinen -konsernin toiminta pohjautuu ISO 9001(2000) ja ISO 14001(2004) -standardien mukaiseen laatujärjestelmään ja nykyaikaiseen konekantaan. Konepaja Häkkisellä on johdonmukaisesti kehitetty henkilökunnan koulutusta, valmistusmenetelmiä, tuotannonohjausta sekä työstökapasiteettia. Näin on entisestään vahvistettu asemaa raskaan ja keskiraskaan metalliteollisuuden osaavana ja luotettava yhteistyökumppanina. /1/

3 SYVÄNREIÄNPORAUS

Syvänreiänporaus on työstömenetelmä, jossa reikä porataan umpiaineeseen tai jo olemassa olevaa reikää avarretaan. Reiän syvyys määritellään syvyyden ja halkaisijan suhteena. Näiden rajausten puitteissa porattavien reikien halkaisijat asettuvat välille yhdestä millimetristä aina 1500 millimetriin ja reikien syvyydet ovat yli kolminkertaiset porattavan reiän halkaisijaan nähden. /2, s. 2–5./

Syvänreiänporauksen pääpiirteet ovat korkealaatuinen porattu reikä ja korkea tuottavuus. Korkealaatuisella reiällä tarkoitetaan reiän hyvää mittatarkkuutta, geometrista tarkkuutta ja pinnanlaatua. Reiän mittatarkkuus ja pinnanlaatu vaihtelevat menetelmittäin. Mittatarkkuus vaihtelee IT8:sta IT10:een ja pinnanlaatu Ra 0,1 µm:stä Ra 3 µm:iin. Korkealla tuottavuudella tarkoitetaan menetelmän suurta materiaalin poistokykyä. /2, s. 2–5./

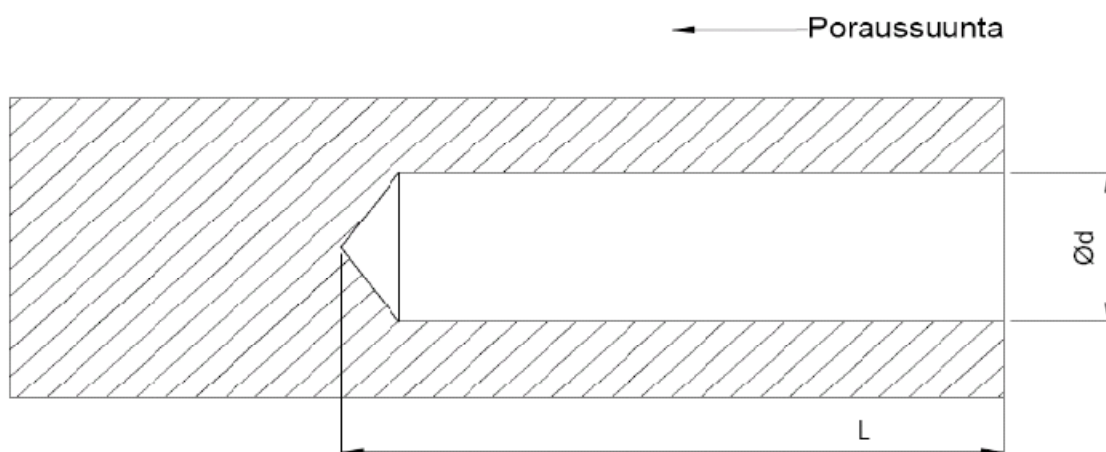
Syvänreiänporausmenetelmillä on mahdollista porata kaikenlaisia metalleja ja muita materiaaleja, kuten esimerkiksi muoveja. Syvänreiänporaus soveltuu joukkotuotannon lisäksi yksittäisten tuotteiden valmistuksen. /2, s. 2–5./

3.1 Menetelmät

Syvänreiänporauksessa käytetään kolmea menetelmää: umpiaineporaus, ydinporaus ja avartaminen. Syvänreiänporausmenetelmille on tyypillistä, että poraa tuetaan porauksen alussa poraholkin tai pilottireiän avulla. Porauksen aikana työkalu tukeutuu poratun reiän seinämiä vasten ohjainpalojen avulla. Korkea materiaalin poistonopeus ja korkealaatuinen reikä soveltuvat vaikeasti lastuttavien materiaalien koneistukseen. Menetelmät ovat tehokkaita ja kannattavia porattaessa lyhyitäkin reikiä. Syvänreiänporausmenetelmää valittaessa on kiinnitettävä huomiota porattavan reiän halkaisijaan, materiaaliin, toleranssivaatimukseen ja käytettävissä olevan koneen tehoon. /2, s. 2–5./

3.1.1 Umpiaineporaus

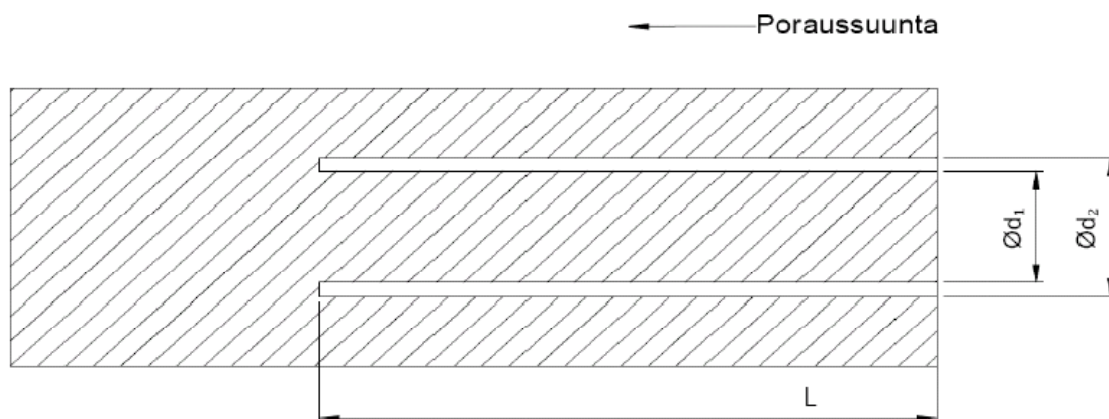
Umpiaineporaus on käytetyin syvänreiänporausmenetelmä. Menetelmässä reikä porataan umpiaineeseen yhdellä kertaa. Porausmenetelmän tehontarve on suuri, joten koneen moottorin teho määrää porattavan reiän halkaisijan. Porausmenetelmän vaatimia tehoja käsitellään enemmän luvussa 9 lastuamisvoimat. Umpiaineporausmenetelmän periaate on esitetty kuvassa 3.1. /2, s. 6–15./



Kuva 3.1. Umpiaineporausmenetelmän periaate.

3.1.2 Ydinporaus

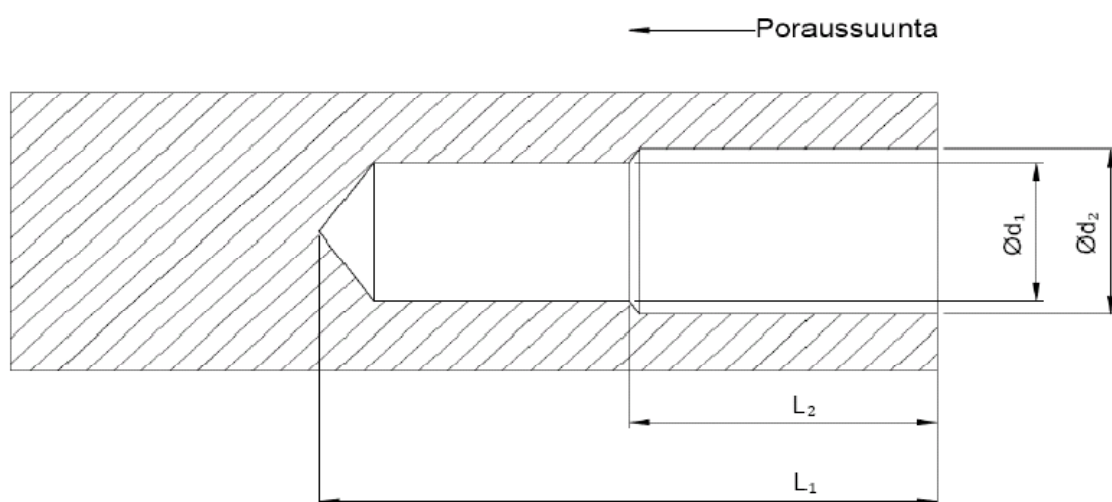
Ydinporausta käytetään suurien reikien porauksessa, koska menetelmän vaatima tehontarve on huomattavasti pienempi kuin umpiaineporausmenetelmän. Ydinporausta käytetään etenkin arvokkaita materiaaleja porattaessa. Porausmenetelmässä materiaali poistetaan poraytimen ympäriltä. Jäljelle jääneelle ytimelle voidaan suorittaa muun muassa materiaalitestejä ja analyysejä. Ydinporausmenetelmän periaate on esitetty kuvassa 3.2. Ydinporausmenetelmän vaikeutena on kuluneen teräsarmän vaihtaminen uuteen. Vaihdettaessa teräsarmää on työkalu vedettävä pois reiästä, jolloin työkalun saaminen takaisin reikään vaikeutuu ydinporausmenetelmän roikkuessa. /2, s. 6–15./



Kuva 3.2. Ydinporauksen periaate.

3.1.3 Avarrus

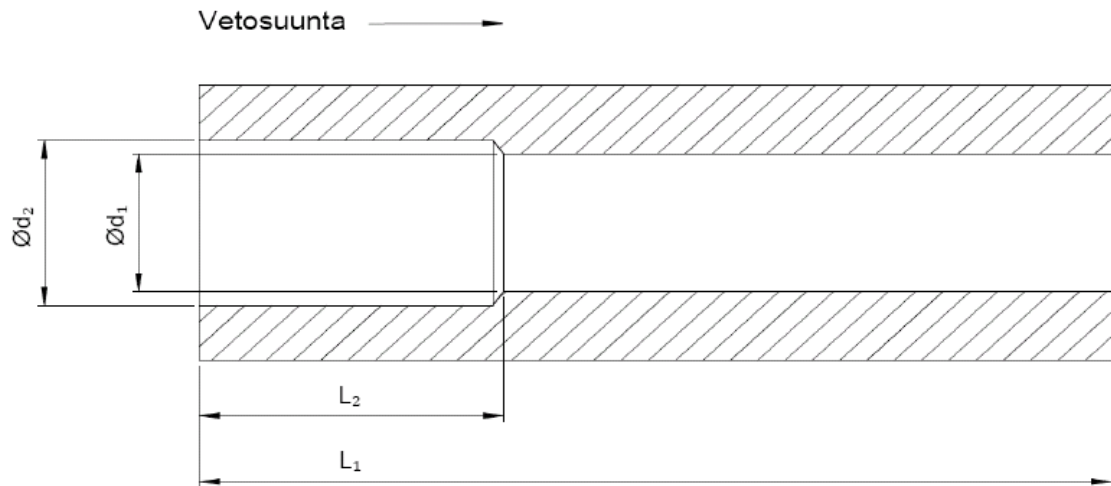
Avarrusta käytetään suurien reikien valmistuksessa. Avarruksessa tehontarve on suunnilleen sama kuin ydinporauksessa. Avarrusta käytetään myös reikien viimeistelyssä, sillä avartamalla saavutetaan parempi reiän mittatarkkuus, suuruus ja pinnanlaatu. Avarruksen periaate on esitetty kuvassa 3.3. /2, s. 6–15./



Kuva 3.3. Avarruksen periaate.

Avartamisen yksi muoto on vetoavarrus, jossa työkalua vedetään. Vetoavarrusta voidaan käyttää vain työkappaleissa, joissa on läpiporattu reikä. Vetoavarruksen periaate on esitetty kuvassa 3.4. Vetoavarrustyökalu ottaa ohjauksen kappaleen läpiporatusta reiästä. Lopputuloksena on yhtäläinen seinämävah-

vuus ja hyvä suoruus, sillä vedettäessä työkalu seuraa jo porattua reikää. Vetoavarruksessa vaikeutena on lastujen poishuhtominen. Vetoavarruksessa lastut huuhdotaan työkalun ohjauksen ja syöttöliikkeen suunnan takia avarretun reiän kautta, minkä vuoksi lastut naarmuttavat avarrettua reikää. Ongelma korostuu etenkin pitkiä reikiä vetoavarrattaessa. /2, s. 6–15./



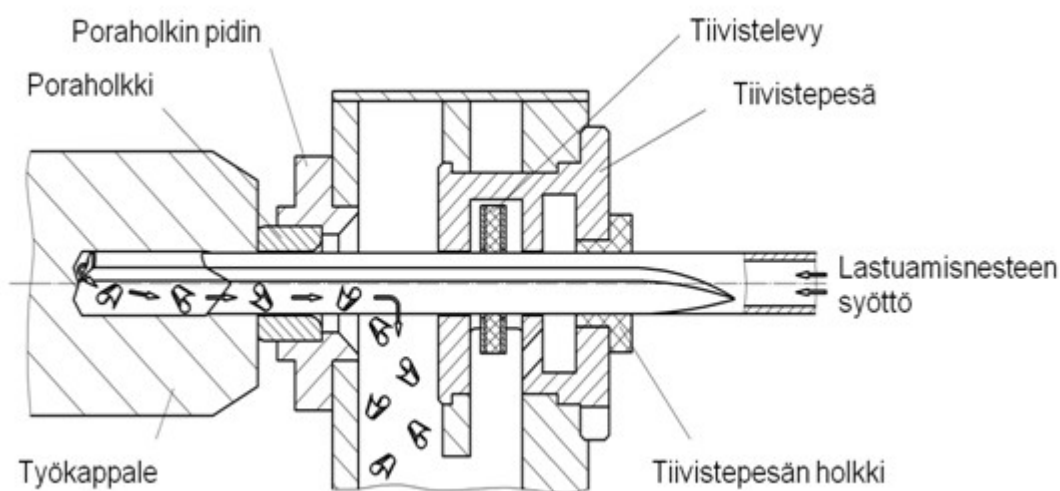
Kuva 3.4. Vetoavarruksen periaate.

4 PORAUSLAITTEISTOT

Syvänreiänporauksessa käytettäviä porauslaitteistoja ovat kanuunaporaus-, ejektoriporaus- ja STS/BTA-porauslaitteistot (Single Tube System/Boring and Trepanning Association).

4.1 Kanuunaporaus

Kanuunaporauslaitteistot soveltuvat käytettäväksi manuaalisorveissa, vaakaka-raisissa koneistuskeskuksissa, monitoimisorveissa ja avarruskeskuksissa. Kanuunaporauslaitteiston rakenne on esitetty kuvassa 4.1. Kanuunaporaus soveltuu käytettäväksi kaikissa syvänreiänporausmenetelmissä. Umpiaineporauksessa kanuunaporausta käytetään halkaisija-alueilla 0,8 mm:stä 40 mm:iin, ydinporauksessa 15 mm:stä 40 mm:iin ja avarruksessa 2 mm:stä 50 mm:iin. Reiän pinnanlaaduksi saavutetaan umpiaine- ja ydinporauksessa Rz 16–5 μm ja avartamalla Rz 16–2 μm . Reiän mittatarkkuudeksi saavutetaan umpiaine- ja ydinporauksessa IT10–8 ja avartamalla IT9–8. Kanuunaporauslaitteistolla pystytään poraamaan yli 100 x D pitkiä reikiä. /2, s. 6–7./



Kuva 4.1. Kanuunaporaus periaate. /7/

Kanuunaporauslaitteistoja on sovellettu käytettäväksi vaakakaraisissa työstökoneissa ja syvänreiänporaukseen tarkoitetuissa erikoistyöstökoneissa. Vaakaka-

raisten työstökoneiden, kuten vaakakaraisten koneistuskeskusten ja avarruskeskusten, porauslaitteiston rakenne on erilainen kuin syvänreiänerikoistytöskoneen. /3, s. 23–26./, /4, s. 47–65./

Vaakakaraisissa koneissa porauslaitteisto koostuu liityntälaitteesta ja lastuamisnesteen syöttöyksiköstä. Liityntälaitte kiinnitetään työstökoneen karaan. Se koostuu poran kiinnitysstukasta ja lastuamisnesteliitännästä. Lastuamisnestentuontilaite koostuu pumpusta ja lastuamisnestesäiliöstä. Kanuunaporauksessa käytetään lastuamisnesteenä öljyä. /3, s. 23–26./, /4, s. 47–65./

Syvänreiänporauslaitteisto koostuu liityntälaitteesta, lastulaatikosta, tukilaakereista ja lastuamisnestejärjestelmästä. Liityntälaitteessa on istukka poran kiinnitystä varten ja lastuamisnesteliityntä. Lastulaatikossa on poran varren tuki ja poraholkki. Lastulaatikon tehtävänä on myös estää porauksessa syntyvien lastujen lentely. /3, s. 23–26./, /4, s. 47–65./

Pitkillä kanuunaporilla porattaessa on poravartta tuettava lastulaatikon tuen lisäksi vielä erillisillä liikuteltavilla poravarrentuilla. Tukilaakereilla kannatellaan pitkiä työkappaleita. Lastuamisnestejärjestelmä sisältää suodattimet, säiliön ja lastuamisnesteen syöttöön tarvittavat pumput. Tarkemmin lastuamisnesteistä ja lastuamisnestejärjestelmistä on kerrottu luvussa 6 lastuamisnesteet ja lastuamisnestejärjestelmät. Tarkemmat tiedot poraustyökaluista on esitetty luvussa 5, poraustyökalut. /3, s. 23–26./, /4, s. 47–65./

Kanuunaporauksessa lastuamisneste syötetään työkalun takaosasta ja kuljetaan poraustapahtumaan työkalun sisällä olevia lastuamisnestekanavia pitkin. Lastut huuhtoutuvat poraustapahtumasta v:n muotoista lastu-uraa pitkin lastulaatikkoon. /3, s. 23–26./, /4, s. 47–65./

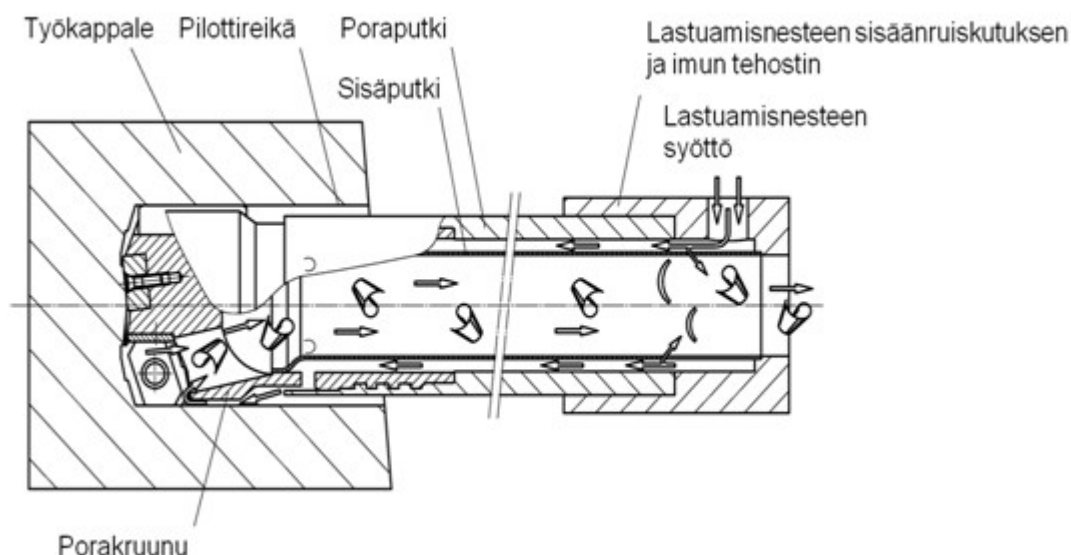
Porauksen alussa poraa ohjataan poraholkin tai pilottireiän avulla. Poraholkkia käytetään tavallisesti syvänreiänporakoneissa ja pilottireikää poratessa koneilla, joilla poraholkin käyttö ei ole mahdollista, kuten vaakakaraiset koneistuskeskukset, monitoimisorvit ja avarruskeskukset. /3, s. 23–26./, /4, s. 47–65./

Kun porataan poraholkin läpi, työkappaleen ja poraholkin välissä käytetään tiivistettä. Tiivisteen käyttö parantaa lastuamismesteen virtausta ja estää lastuamismesteen roiskumisen. Poraholkin valmistustarkkuus kanuunaporauksessa on H6/h6. Näillä ehdoilla poraholkki on halkaisijaltaan 0,005 mm suurempi kuin käytettävä pora. Poraholkki tulee valmistaa kovametallista tai pehmeämmästä materiaalista, joka karkaistaan. Poraholkki tulee vaihtaa sen kuluttua yli 0,02 mm. /3, s. 23–26./, /4, s. 47–65./

Pilottireikä valmistetaan poraamalla ja avartamalla porattua reikää. Tällä varmistetaan reiän hyvä muoto ja mittatarkkuus. Pilottireiän tulee olla vähintään 5 mm pidempi kuin porapää, millä varmistetaan poran riittävä ohjaus. Pilottireiän valmistusvaatimukset eivät ole yhtä tiukat kuin poraholkin. Pilottireiän tulee olla 0,05–0,1 mm halkaisijaltaan suurempi kuin käytettävä pora. /3, s. 23–26./, /4, s. 47–65./

4.2 Ejektoriporaus

Ejektoriporauslaitteistot soveltuvat käytettäväksi manuaalisorveissa, vaakakarisissa koneistuskeskuksissa, monitoimisorveissa ja avarruskeskuksissa. Ejektoriporauslaitteiston rakenne on esitetty kuvassa 4.2. Ejektoriporaus soveltuu käytettäväksi umpiaineporauksessa ja avarruksessa. Umpiaineporauksessa ejektoriporausta käytetään halkaisija alueilla 18,4 mm:stä 180 mm:iin ja avarruksessa 18,4 mm:stä 250 mm:iin. Reiän pinnanlaaduksi saavutetaan umpiaineporauksessa ja avarruksessa Rz 16–5 µm. Reiän mittatarkkuudeksi saavutetaan umpiaineporauksessa IT10–8 ja avartamalla IT9–8. Ejektoriporauslaitteistolla pystytään poraamaan yli 100 x D pitkiä reikiä. /2, s. 6–7./



Kuva 4.2. Ejektoriporausksen periaate. /7/

Ejektoriporauslaitteistoja on sovellettu käytettäväksi vaakakaraisissa työstökoneissa ja syvänreiänporaukseen tarkoitetuissa erikoistyöstökoneissa. Vaakakaraisien työstökoneiden, kuten vaakakaraisien koneistuskeskusten ja avarruskeskusten porauslaitteiston rakenne on erilainen kuin syvänreiänerikoistyöstökoneessa. /3, s. 23–26./, /4, s. 47–65./

Vaakakaraisissa koneissa porauslaitteisto koostuu liityntälaitteesta. Liityntälaitte kiinnitetään työstökoneen karaan. Liityntälaitte koostuu poran kiinnitysisrukasta ja lastulaatikosta. Rajoituksen laitteiston käytölle asettaa menetelmän suuri lastuamismesteen tuoton tarve. /3, s. 23–26./, /4, s. 47–65./

Syvänreiänporauksessa laitteisto koostuu liityntälaitteesta ei-pyörivälle tai pyörivälle työkalulle, värinänvaimentimista, poranohjaimesta, tukilaakereista ja lastuamismestejärjestelmästä. Liityntälaitteessa on istukka poran kiinnitystä varten ja lastuamismesteliityntä. Poranohjaimessa on poraholkki. Värinänvaimentimilla poistetaan porauksen aikana syntyvä värinä ja tuetaan pitkiä poria. Porauksessa syntyvät lastut ohjataan ulos liityntälaitteen takaosasta. Tukilaakereilla kantellaan pitkiä työkappaleita. /3, s. 23–26./, /4, s. 47–65./

Ejektoriporausessa voidaan käyttää myös työkappaletukea, jolla pidetään työkappaletta paikoillaan. Lastuamismestejärjestelmä sisältää suodattimet, säiliön ja lastuamismesteen syöttöön tarvittavat pumput. Tarkemmin lastuamismesteistä

ja lastuamisnestejärjestelmistä on luvussa 6 lastuamisnesteet ja lastuamisnestejärjestelmät. Tarkemmat tiedot poraustyökaluista on esitetty luvussa 5, poraustyökalut. /3, s. 23–26./, /4, s. 47–65./

Ejektoriporauksessa lastuamisneste syötetään työkalun takaosasta erillisen liitäntälaitteen kautta. Lastuamisneste kuljetetaan ulko- ja sisäputken välisessä tilassa, josta se ohjataan jäähdytysnesteulostulojen kautta poraustapahtumaan. Lastut huuhdotaan poraustapahtumasta lastuamisnesteellä porakruunussa olevien lastukitojen kautta sisäputkeen. Lastujen poistoon tarvittavaa ejektiota parannetaan imemällä sisäputkeen alipaine lastuamisnesteeseen avulla. /3, s. 23–26./, /4, s. 47–65./

Porauksen alussa poraa ohjataan poraholkin tai pilottireiän avulla. Poraholkkia käytetään tavallisesti syvänreiänporakoneissa. Pilottireikää käytetään, kun porataan koneilla, joilla poraholkin käyttö ei ole mahdollista, kuten vaakakaraisilla koneistuskeskuksilla, monitoimisorveilla ja avarruskeskuksilla. /3, s. 23–26./, /4, s. 47–65./

Ejektoriporauksessa ei käytetä tiivistettä työkappaleen ja poraholkin välissä, koska työkappaleen ja poraholkin väliin jäävä rako ei vaikuta lastuamisnesteeseen virtaukseen. Poraholkki asetetaan mahdollisimman lähelle työkappaletta. Porakruunussa olevat ohjainpalat ovat suhteellisen lyhyet, jolloin suurimman mahdollisen etäisyyden tulisi olla maksimissaan 1 mm poraholkin ja työkappaleen välissä. Poraholkin ohjaavan pinnan pituuden täytyy vähintään olla 10–15 mm, jolla varmistetaan poran riittävä ohjaus porauksen alussa. /3, s. 23–26./, /4, s. 47–65./

Poraholkki valmistetaan samalla tavalla kuin kanuunaporauksessa. Ejektoriporauksessa valmistustarkkuus on G6/h6. Poraholkki on halkaisijaltaan 0,006 mm suurempi kuin käytettävä pora. Poraholkin kuluessa 0,03 mm se tulee korvata uudella. /3, s. 23–26./, /4, s. 47–65./

Ejektoriporauksessa pilottireikä valmistetaan samalla tavalla kuin kanuunaporauksessa. Ejektoriporauksessa pilottireiän tulee olla vähintään 5 mm pidempi

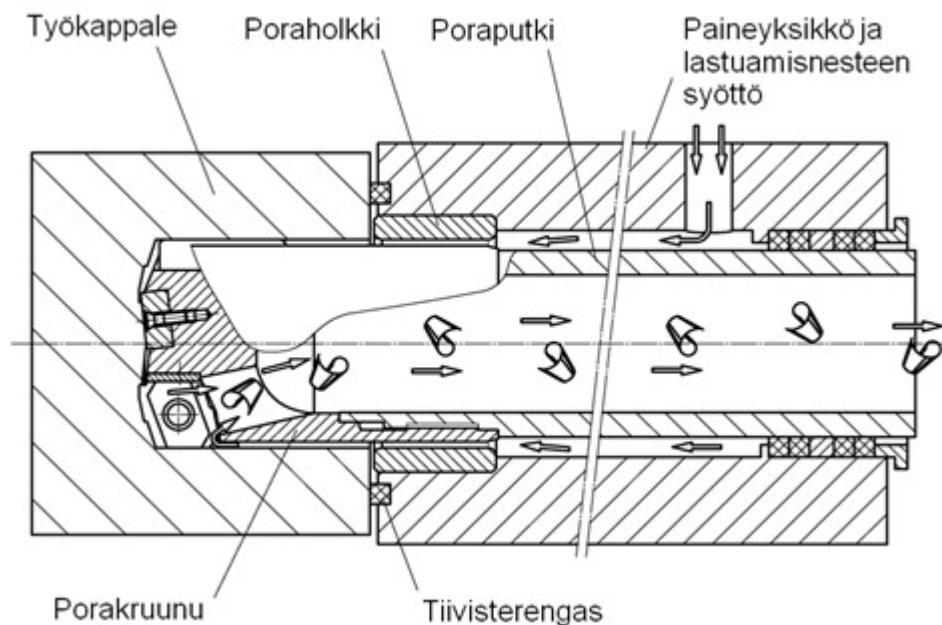
kuin porakruunun, millä varmistetaan poran riittävä voitelu ja ohjaus. Ejektoriporauksessa pilottireiän valmistustarkkuudet ovat samat kuin kanuunaporauksessa. /3, s. 23–26./, /4, s. 47–65./

4.3 STS/BTA-poraus

STS/BTA-poraus soveltuu käytettäväksi vain erikoisvalmisteisissa syvänreiänporakoneissa. STS/BTA-poraus soveltuu käytettäväksi kaikissa syvänreiänporausmenetelmissä. Umpiaineporauksessa STS/BTA-porausta käytetään halkaisija-alueilla 6,3 mm:stä 250 mm:iin, ydinporauksessa 40 mm:stä 630 mm:iin ja avarruksessa 20 mm:stä 1500 mm:iin. Reiän pinnanlaaduksi saadaan umpiaine- ja ydinporauksessa Rz 16–5 µm ja avartamalla Rz 16–2 µm. Reiän mittatarkkuudeksi saavutetaan umpiaine- ja ydinporauksessa IT10–8 ja avartamalla IT9–8. STS/BTA-porauslaitteistolla pystytään poraamaan yli 100 x D pitkiä reikiä. /2, s. 6–7./

STS/BTA-porauslaitteisto koostuu poraluistista, värinänvaimentimesta, paineyksiköstä, tukilaakereista ja lastuamisnestejärjestelmästä. STS/BTA-järjestelmän rakenne on esitetty kuvassa 4.3. Poraluisti koostuu poraputken kiinnitysistukasta, joka on kiinnitetty poraluistinkaraan. Suuria reikiä porattaessa työkalua ei voida enää pyörittää, jolloin poraluistinkaramoduuli täytyy vaihtaa kiinteään työkalunpitimeen. Porauksessa syntyvät lastut johdetaan poraluistinkaran tai kiinteän työkalunpitimen läpi. /3, s. 23–26./, /4, s. 47–65./

Värinänvaimentimilla tuetaan pitkää poraputkea ja poistetaan porauksen aikana syntyvä värinä. Värinä vaimennetaan kiristämällä ja löysäämällä värinänvaimentimessa olevaa bakeliittikartiota. Paineyksikkö sisältää lastuamisnesteliitännän ja poraholkin. STS/BTA-menetelmässä lastuamisnesteinä käytetään aina öljyä. Tukilaakereilla kannatellaan pitkiä työkappaleita. STS/BTA-järjestelmässä työkappaletta voidaan myös tukea kiinteillä tukilaakereilla, jolloin vain työkalu pyörii. Tarkemmin lastuamisnesteistä ja lastuamisnestejärjestelmistä on luvussa 6 lastuamisnesteet ja lastuamisnestejärjestelmät. Tarkemmat tiedot poraustyökaluista on esitetty luvussa 5 poraustyökalut. /3, s. 23–26./, /4, s. 47–65./



Kuva 4.3. BTA/STS- porauksen periaate. /7/

STS/BTA-järjestelmässä lastuamisuuden syötetään paineyksikön kautta poraholkin läpi poraputken ulkopinnan ja poratun reiän sisäpinnan väliseen tilaan, josta se kuljetetaan poraustapahtumasta lastuamisuuden porakruunussa olevien lastukitojen kautta poraputkeen. Poraputkesta ne ohjataan ulos poraluistin takaa. /3, s. 23–26./, /4, s. 47–65./

Poraholkin tehtävä on tukea ja ohjata työkalua porauksen alkuvaiheessa niin kauan, että työkalussa olevat ohjainpalat alkavat tukea työkalua reiän sisäpinnasta. Poraputkea tuetaan paineyksikössä olevalla liukulaakerilla, jota voidellaan poraöljyllä. /3, s. 23–26./, /4, s. 47–65./

STS/BTA-menetelmässä poraholkki valmistetaan samalla tavalla ja samoilla tarkkuuksilla kuin ejektoriporauksessa. Laitteistolla porattaessa ei voida poranohjauksena käyttää pilottireikää, sillä menetelmä vaatii poraholkin ja paineyksikön käyttämistä lastuamisuuden siirtoa varten. /3, s. 23–26./, /4, s. 47–65./

5 PORAUSTYÖKALUT

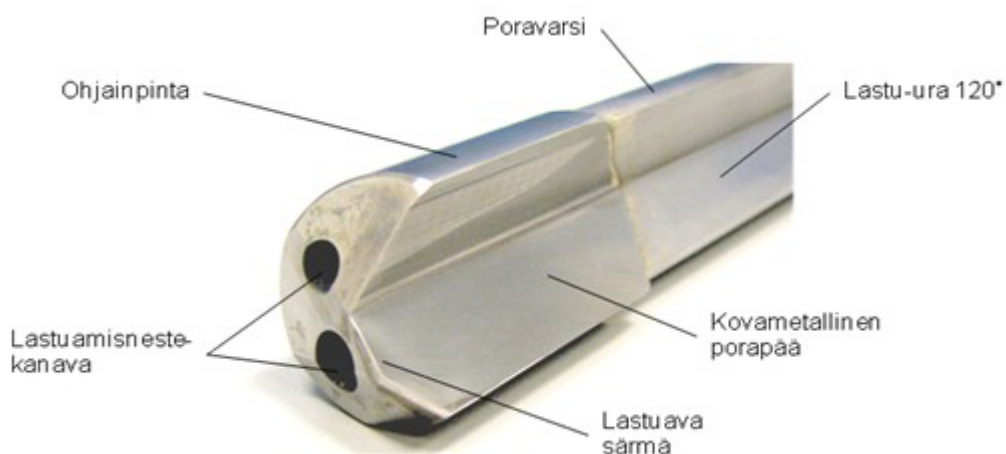
Poraustyökaluilla tarkoitetaan porausjärjestelmä- ja työstökonekohtaisia työkaluja. Näitä ovat muun muassa porat, poraputket ja öljykupit.

5.1 Porat

Porat ovat porausjärjestelmäkohtaisia ja eroavat rakenteellisesti toisistaan. Rakenteellisten erojen vuoksi porat eivät sovellu käytettäväksi muissa porausjärjestelmissä.

5.1.1 Kanuunapora

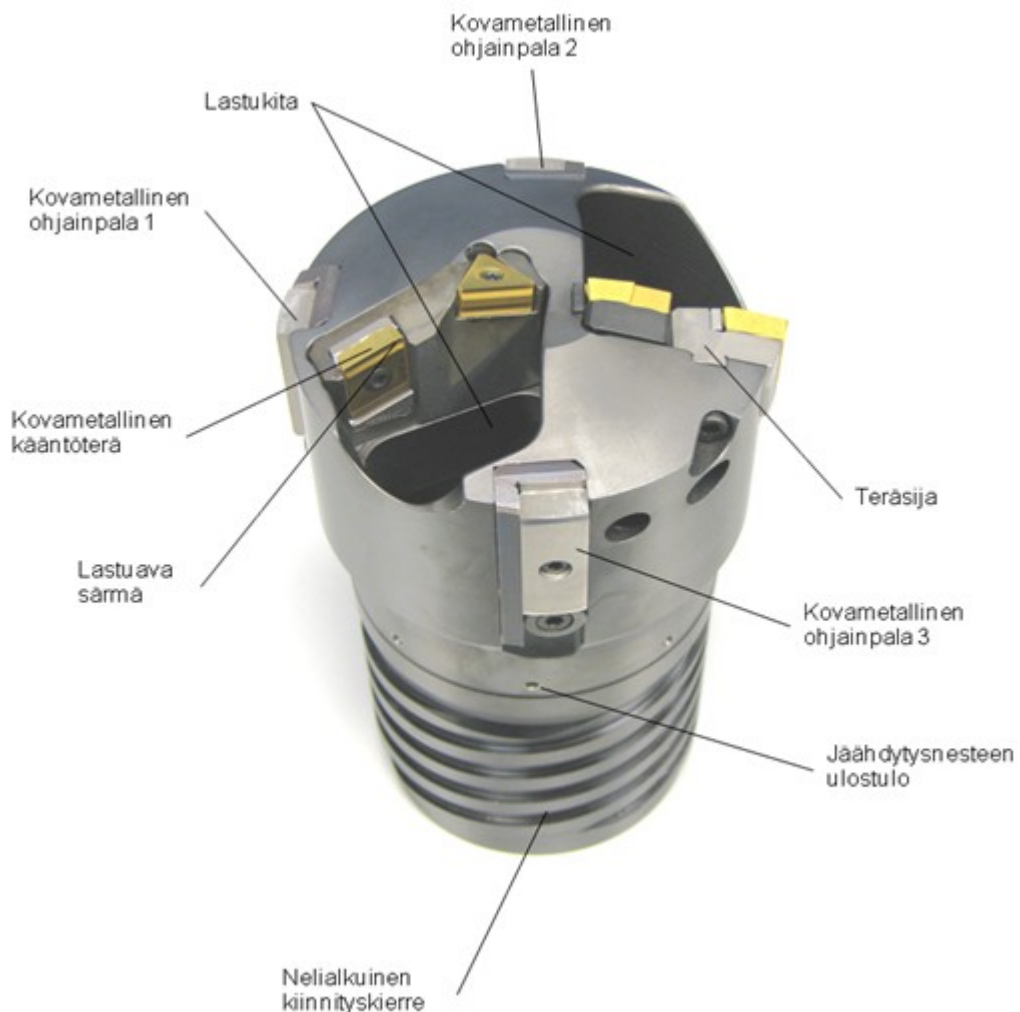
Kanuunapora koostuu porarungosta ja porapäästä. Kanuunaporan rakenne on esitetty kuvassa 5.1. Porapää on kovametallia, ja se on juotettu kiinni porarunkoon hopealla. Poran lastunpoistoura on suora ja kattaa yhden kolmasosan poran poikittaispinta-alasta, eli lastunpoistouran kulma on 120 astetta. Porarunko on ontto ja lastuamisnestekanavat ovat porapäässä. Lastuamisnestekanavia porassa on yksi tai kaksi. Lastuamisneste syötetään poran takaosasta ja johdetaan porarungon sisällä porapään lastuamisnestekanaaviin, josta lastuamisneste johdetaan edelleen poraustapahtumaan. Kanuunaporia voidaan teroittaa, mutta etenkin pitkien porien teroitus vaatii erikoislaitteiston. /4, s.46–49./



Kuva 5.1. Kanuunapora.

5.1.2 Ejektoripora

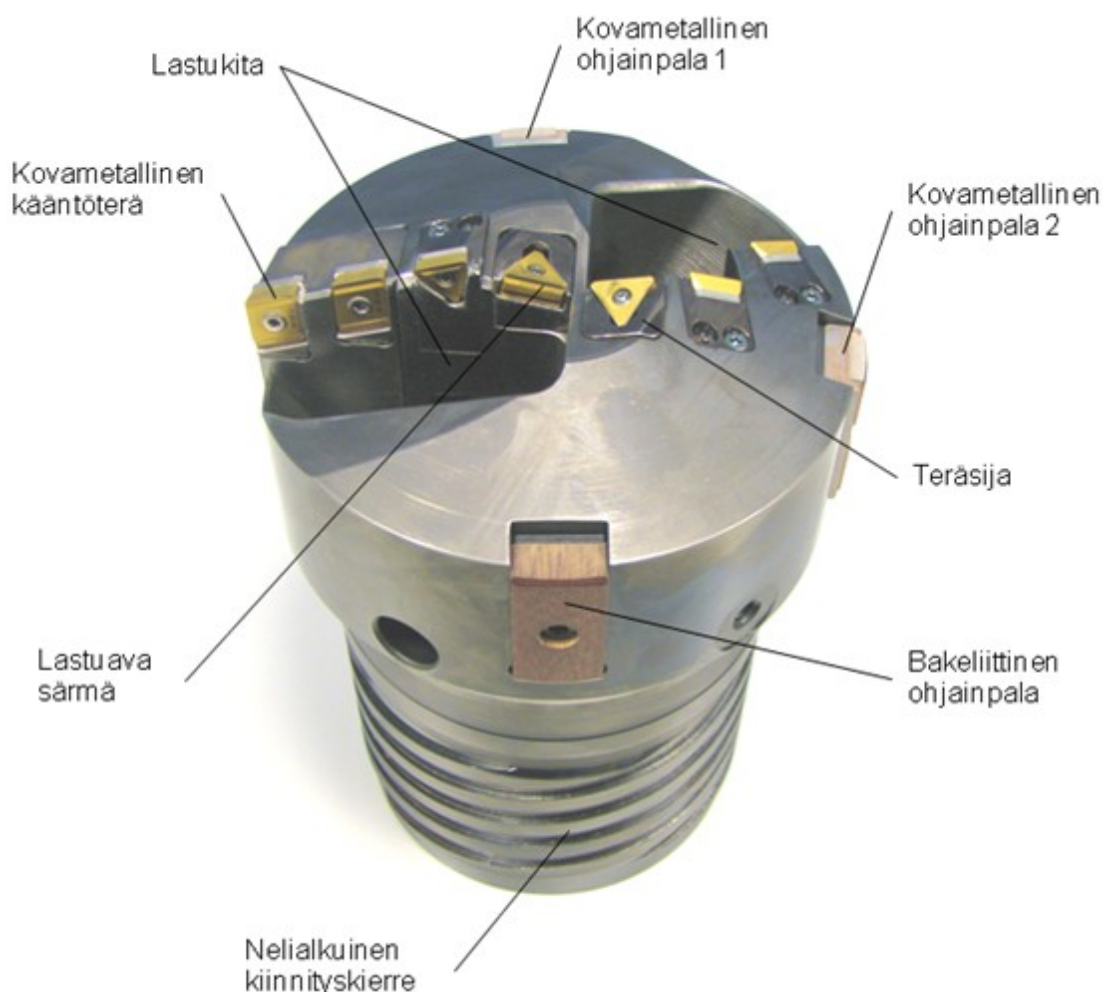
Ejektoripora koostuu porakruunusta sekä sisä- ja ulkoputkista. Ejektoriporan rakenne on esitetty kuvassa 5.2. Porakruunu on erikoiskäsiteltyä ja pinnoitettua työkaluterästä. Se on reikäkohtainen ja säädettävissä halkaisijaltaan vain muutamia millimetrejä. Porakruunuun kiinnitetään kovametalliset ohjainpalat ja teräelementit. Teräelementteihin kiinnitetään kovametallikäntöterät. Porakruunu kiinnitetään nelipäisellä kiinnityskierteellä ulkoputkeen, jolloin porakruunu painautuu tiiviisti sisäputkea vasten. Lastut ohjataan porakruunussa olevien lastukitojen kautta työkalun sisässä olevan kanavaan, joka on yhteydessä vain sisäputkeen. Ejektoriporausjärjestelmässä lastuamisnestekanavan muodostaa ulko- ja sisäputken välinen tila. Lastuamisneste johdetaan poraustapahtumaan porarungossa olevien jäähdytysnesteulostulojen kautta. /4, s.50–58./



Kuva 5.2. Ejektoriporakruunu.

5.1.3 STS/BTA-pora

STS/BTA-pora koostuu porakruunusta ja poraputkesta. STS/BTA-poran rakenne on esitetty kuvassa 5.3. Porakruunu on erikoiskäsiteltyä ja pinnoitettua työkaluterästä samoin kuten ejektoriporauksessa käytetty porakruunu. Porakruunu on vastaavalla tavalla säädettävissä kuin ejektoriporan. STS/BTA-porausjärjestelmässä ohjainpalat poikkeavat ejektoriporauksesta jonkin verran. Porakruunuun kiinnitetään kovametalliset ja pehmeät ohjauspalat sekä teräelementit, joihin kiinnitetään kovametallikäntöterät. Porakruunu kiinnitetään nelipäisellä kiinnityskierteellä poraputkeen. Lastut ohjataan porakruunussa olevien lastukitojen kautta työkalun sisässä olevan kanavaan, joka on yhteydessä poraputkeen. STS/BTA-porausjärjestelmässä lastuamisestekanavan muodostaa reiänsisäpinta ja poraputken ulkopinta. /4, s.50–62./



Kuva 5.3. STS/BTA-porakruunu.

5.2 Poraputket

Ejektori- ja STS/BTA-järjestelmissä käytetään poraputkia. Ejektorijärjestelmässä poraputkia on kaksi, sisäputki ja ulkoputki. Ejektorijärjestelmää kutsutaan myös kaksiputkijärjestelmäksi. STS/BTA-järjestelmässä käytetään vain yhtä putkea, minkä vuoksi järjestelmää kutsutaan myös yksiputkijärjestelmäksi. Porauslaitteistoissa yhdellä poraputkella voidaan käyttää vain muutamaa porakokoa, joten pidettäessä yllä valmiutta porata useita eri reikäkokoja on myös poraputkia oltava useita.

5.3 Öljykupit

Öljykuppia käytetään syvänreiänporakoneissa. Öljykuppi asetetaan syvänreiänporakoneen nelileukapakkaan. Öljykupilla estetään öljyn roiskuminen, kun pora puhkaisee työkappaleen, sillä suuria reikähalkaisijoita porattaessa ja avarrettaessa öljyn virtausnopeus on yli 2000 l/min.

Öljykupit suunniteltiin osana päättötyötä. Ne oli suunniteltava siten, että nelileukapakan leukoihin jää riittävästi vapaata tilaa tukevaa kiinnitystä varten. Öljykupin ollessa asennettuna pakkaan se tukeutuu pakan otsapintaa vasten ja ottaa ohjauksen pakan keskellä olevasta reiästä. Öljykuppeja suunniteltiin viisi kappaletta, joiden halkaisijat olivat 100 mm, 150 mm, 200 mm, 250 mm ja 300 mm. Öljykuppien tekniset piirustukset on esitetty liitteessä yksi.

Suunnittelun pohjana käytettiin MAN Diesel & Turbolle tehtyä opintomatkaa, jonka aikana tutustuttiin syvänreiänporaukseen sekä siinä apuna käytettäviin laitteisiin ja työkaluihin. Riittävän vapaan tilan jääminen pakan leukoihin tukevaa kiinnitystä varten ja tukevan kiinnityksen aikaansaaminen rajoittivat suunnittelua, kun porattavan kappaleen halkaisija on pakan ohjainreikää pienempi. Pakassa oleva ohjainreikä on halkaisijaltaan 240,1 mm.

Öljykupit suunniteltiin ja mallinnettiin SolidWorks-ohjelmistolla. Suunnittelu aloitettiin mallintamalla porakoneen pakka, leuat ja leukojen liikutuselementit. Mal-

linnetut öljykupit sovitettiin pakkaan ja leukojen liikkeet tarkastettiin. Öljykuppien o-rengasurat mitoitettiin Simrit Technical Manual 2007:n mukaan 6 mm:n ja 7 mm:n sisäpuoleisen paineen o-rengas urille.

O-rengasuriin otettiin käyttöön x-renkaat, jotka ovat o-renkaita paljon kestävämpiä ja joiden tiivistysominaisuudet ovat paremmat. Kun x-rengas altistuu paineenalaiselle nesteelle, neste työntää sitä suuremmalta pinta-alalta tiivisteuraa ja työkappaleen otsapintaa vasten kuin o-rengasta.

6 LASTUAMISNESTEET JA LASTUAMISNESTEJÄRJESTELMÄ

Syvänreiänporauksessa lastuamisnesteenä tulee ensisijaisesti käyttää porausöljyä. Ejektori- ja kanuunaporauslaitteistoissa voidaan lastuamisnesteenä käyttää myös emulsiota. Emulsiota käytettäessä on huomioitava riittävä öljyn ja veden suhde.

6.1 Lastuamisnesteet syvänreiänporauksessa

Metallien työstössä käytettävien öljyjen ja nesteiden päätehtävänä on saada aikaan jäähdyttävä vaikutus sekä työstettävälle kappaleelle että työkaluille kiinnityksineen. Jäähdytyksen lisäksi lastuamisnesteillä on muitakin tehtäviä, kuten työkalun voitelu, paineenkeston lisääminen, lastujen kuljetus, koneen ja työstettävän kappaleen korroosion esto sekä työstettävän kappaleen pesu. /5/

Työstössä käytettävän nesteen valintaan vaikuttaa monta asiaa. Työstökoneen valmistaja antaa yleensä ensimmäisen suosituksen nesteen valintaan sen mukaan, tuleeko koneeseen käyttöön vesisekoitteinen lastuamisneste vai öljy. Nesteen tai öljyn lopullisen laadun määrää kuitenkin ensisijaisesti työstettävä materiaali ja toissijaisesti se, minkälaista työstöä koneella tehdään. Varsinkin seosmetalleita työstettäessä on huomioitava lastuamisnesteiden ja -öljyjen koostumus lisäaineineen. /5/

Lastuamisnesteet ja -öljyt vaativat myös jatkuvaa kunnossapitoa, jota varten lähes jokaisessa työstökoneessa on nestetankin lisäksi lastunkuljetusjärjestelmä ja lastujen raakasuodatus. Lastunkuljetin kuljettaa lastut pois koneen sisältä, ja raakasuodatus estää pienempien lastujen kulkeutumisen nestepumppuun ja sitä kautta nestesuuttimiin. Nesteiden kuntoa ja ylläpitoa parantamaan on kehitetty kuitenkin useita erilaisia vaihtoehtoja, joista enemmän luvussa 5.5 lastuamisnesteiden kunnossapito. /5/

Syvänreiänporausprosessi vaatii käytettävältä lastuamisnesteeltä luonnollisesti samoja ominaisuuksia, kuin tavallisessa työstössäkin käytettävältä nesteeltä.

Näitä ovat esimerkiksi hyvä voitelevuus, huuhtelu, jäähdytyskyky, paineenkesto ja riittävän alhainen viskositeetti. Voitelulla tarkoitetaan teräsärmän ja työkappaleen sekä ohjainpalojen ja työkappaleen välisen kitkan vähentämistä. Huuhtelulla tarkoitetaan lastujen poistoa poraustapahtumasta. Jäähdytyksellä tarkoitetaan lämmön poisvientiä työkalusta ja työkappaleesta. Lastuamismesteen tärkeänä ominaisuutena pidetään myös sen kykyä vaimentaa poraputken värähtelyä porattaessa. /5/

Lastuamismesteen paineenkestolla tarkoitetaan lastuamismesteen kykyä sietää korkeaa painetta. Porauksessa lastuamismeste altistuu kovalle paineelle, kun lastuamismeste joutuu reiän seinämän ja ohjainpalan väliin. Poraustapahtumassa teräsärmän poistaessa materiaalia työkappaleesta teräsärmän lämpötila kasvaa jopa 900 °C, jolloin lastuamismesteltä vaaditaan myös hyvää lämmön-sietokykyä. Syvänreiänporauksessa lastuamismesteenä voidaan käyttää emulsiota, joka on veden ja öljyn seos, tai porausöljyä. /5/

Syvänreiänporauksessa käytetään kuitenkin yleisemmin lastuamismesteenä suoraa öljyä, eikä emulsiota, koska emulsiolla ei saada tässä työstöprosessissa riittävää *EP*-lisäaineistusta (*EP* Extreme Pressure) ja voitelukykyä. Yhdessä riittävän pumpputuoton kanssa saadaan oikein valitulla, oikean viskositeetin omaavalla öljyllä yleensä paras lopputulos. Öljyssä *EP*-lisäaineina käytetään yleensä fosforia ja rikkiä. Mutta työstettäessä muita kuin rautametallesia, pitää lisäaineistuksen valinnassa olla varovainen värjäytymisriskin takia. /5/

Vuosia sitten öljyn *EP*-lisäaineistus hoidettiin lisäämällä öljyyn erilaisia klooriparafiinilaatuja, jotka sellaisenaan pitivät yllä öljyjen ja emulsioiden riittävää paineenkestoa. Tämä lisäaine kiellettiin 1990-luvun alkupuolella, jonka jälkeen lisäaineistus on jouduttu rakentamaan useasta eri raaka-aineesta, kuten rikistä ja fosforista. Mikäli öljyn voitelukyky ei ole riittävä, voidaan sitä tehostaa lisäämällä siihen esteriyhdisteitä. Useimmassa tapauksessa öljyn oma voitelukyky kuitenkin riittää ilman lisäaineistusta. /5/

6.2 Porausöljy

Lastuamisessa käytettävien öljyjen yleisin perusta on mineraaliöljy, joita löytyy markkinoilla useita eri laatuluokkia. Nykyisistä öljyistä paras laatuluokitus on hydrokrakatuilla öljyalaaduilla, joiden tekninen puhtaus edistää öljyn ominaisuuksia merkittävästi. Koska mineraaliöljy ei ole nopeasti uusiutuvaa luonnonvaraa, ovat öljy-yhtiöt kehittäneet useita eri kasviöljypohjaisia öljyalaatuja, joita on käytössä laajalti. Pääasialliset kasviöljyjen raaka-aineet ovat olleet rypsi- tai rapsiöljyt ja kookosöljyt. Mineraali- ja kasviöljyjä verrattaessa työstön perusöljyinä käyttöominaisuuksissa on paljon eroja. Mineraaliöljypohjaiset tuotteet ovat kuitenkin edelleen markkinajohtaja. /5/

Syvänreiänporauksessa öljyn tulisi olla ensisijainen valinta. Porausöljyt ovat veteen sekoittumattomia mineraali- ja esterioöljyjä. Öljyt sisältävät kulumisenkestä- (*AW* Anti-Wear) ja korkeapainelisäaineita (*EP* Extreme Pressure). Syvänreiänporausöljyihin on myös tavallisesti sekoitettu rasvaöljyjä. Korkeiden lämpötilojen ja paineen takia porausöljy sisältää suhteellisen paljon *EP*-lisäaineita. Tribokemiallisten reaktioiden vuoksi nämä lisäaineet kuluvat tai menettävät toimintakykynsä. /5/

Lisäaineiden häviämisen takia porausöljy menettää ominaisuutensa. Ominaisuuksien heiketessä öljyn voiteleva vaikutus vähenee, minkä vuoksi ohjain- ja teräpalat kuluvat nopeasti. Terä- ja ohjainpalojen nopean kulumisen takia reiän pinnanlaatu sekä mitta- ja muototarkkuus saattavat heiketä. Öljyn lisäainepitoisuuden tarkkailu on tärkeää ja tarvittaessa lisäaineita on lisättävä öljyn ominaisuuksien säilyttämiseksi. Öljyn lisäainepitoisuuksien tarkastukset tulee suorittaa kerran kuukaudessa. /5/

Porausöljy on pidettävä 30–40 °C:n lämpötilassa, tai se alkaa kemiallisesti hajo- ta ja siinä olevat lisäaineet alkavat hävitä. Porausöljy parantaa lastunmurtoa ja pidentää työkalun käyttöikä. Porausöljyllä on myös suurempi lastunmurtoalue kuin emulsioilla. Öljyt ovat helppokäyttöisempiä eivätkä ne pilaannu ja vaadi niin paljon kunnossapitoa kuin emulsiot. /5/

6.3 Emulsio

Emulsioiden perusöljynä käytetään yleisimmin mineraaliöljyä, mutta markkinoilla on myös kasviöljypohjaisia tuotteita. Emulsion toimintaperusteena on, että öljytiiviste sekoitetaan veteen siten, että saadaan aikaiseksi noin 5 %:n vesiöljyseos, joka riippuu valmistajan suosituksista. Veden ja öljyn sekoittuminen saadaan aikaan emulgaattorilla, jolloin syntyvä emulsio on valkoista tai vaaleahkoa. Tiivisteiden öljypitoisuus vaihtelee noin 20–50 %. Tuotteet sisältävät öljyn lisäksi esimerkiksi *EP*-lisäaineita, korroosionestoaineita, biosideja ja joissakin tapauksissa myös vaahtoamista estäviä aineosia. /5/

Tiiviste tulee aina sekoittaa veteen eikä päinvastoin koska tiivisteessä oleva emulgaattori reagoi välittömästi veden kanssa. Jos emulgaattori joutuu kerralla, lyhyessä ajassa, tekemisiin suuren vesimäärän kanssa, se toimii vain hetken ja osa tiivisteestä emulgoituu vain osittain ja jää kellumaan emulsion pinnalle. Oikea tapa sekoittaa tiiviste veteen on sekoittaa se sekoitusta varten suunnitellun annostelulaitteen kautta annostelemalla tiivistettä virtaavaan veteen. /5/

Syvänsyönteissä emulsion tulisi olla toissijainen valinta. Emulsiossa yhdistetään öljyn voiteleva vaikutus ja veden jäädytyskapasiteetti. Emulsioita käytetään koneissa, jotka eivät ole tavanomaisia syvänsyönteikkoneita, kuten koneistuskeskukset, sorvauskeskukset, sorvit ja avarruskeskukset. Emulsiota käytetään yleisesti laitteissa, jotka kuuluvat suuren lastuamismenestysjärjestelmän piiriin. Emulsiota käytettäessä työkappaleita ei tarvitse erikseen pestä. Emulsiota käytettäessä syvänsyönteissä tulee riittävän voitelun takaamiseksi öljypitoisuuden olla 8–12 %. Emulsion hyvä ominaisuus on öljyä parempi jäädytysvaikutus. Työkappale pysyy myös puhtaana ja emulsio vaatii öljyä alhaisemman paineen. /5/

6.4 Synteettiset lastuamismesteet

Synteettisen lastuamismesteen perustana on yleisimmin korroosiosuoja-aine, kuten trietanolamiini. Nykyisin näiden tuotteiden perusaineena käytetään myös erilaisia polymeeriyhdisteitä. Synteettisissä tuotteissa ei käytetä suuria määriä muita raaka-aineosia, mutta joskus niissä saattaa olla pieniä määriä esimerkiksi vaahtoamista estäviä aineosia. Synteettinen tiiviste voidaan sekoittaa veden kanssa, joko veteen tai vedellä. Valmistajien suositus on kuitenkin aina lähes sama kuin emulsion. Suositeltava pitoisuus on yleensä 3–6 % ja nesteen olomuoto on kirkas ja läpinäkyvä. /5/

6.5 Lastuamismesteen kunnossapito

Yhteistä kaikille työstössä käytettäville kierrätettäville öljyille ja nesteille on se, että ne kaikki tarvitsevat säännöllistä huoltoa ja analysointia. Yleisin huoltomenetelmä kaikille nesteille on suodatus, jota on saatavilla useita erilaisia vaihtoehtoja paperisuodattimista erilaisiin separaattoreihin. Suodatusmenetelmistä yleisin on paperisuodatus, jossa neste johdetaan likaisena suodattimen läpi tankkiin ja takaisin työstöön. /5/

Suodatinmateriaaleja on paperin lisäksi myös erilaiset kuitukankaat, joiden suosio on kasvanut paljon viimeisen kymmenen vuoden aikana. Suodatinkankaaseen tarttunut lika, yhdessä kankaan kanssa, luokitellaan ongelmajätteeksi, minkä vuoksi nykyään uusiin nestejärjestelmiin asennetaan usein päättymättömällä suodatinkankaalla varustettuja suodattimia. Suodatinkankaan laatuun kannattaa kiinnittää huomiota suodatinkangasta valittaessa. /5/

Valintaan vaikuttaa monta seikkaa. Esimerkiksi öljyä suodatettaessa on huomioitava suodatettavat epäpuhtaudet ja niiden määrä, öljyn viskositeetti, pumppujen tuotot, suodatuspinta-ala ja suodatinkankaan läpäisykyky. Emulsio- ja nestejärjestelmien suodatinkankaan valinnassa pätevät kaikki edellä mainitut valintakriteerit, lukuun ottamatta nesteen viskositeettia. Emulsioiden ja synteettisten nesteiden huoltoa voidaan tehostaa myös erillisellä öljynkeräys- tai separointi-

menetelmillä, jotka keräävät nesteen pinnalle kertyneen vieraan öljyn pois estäen hapettomassa tilassa elävän bakteerikannan nopeaa lisääntymistä. /5/

Öljyjen kunnan valvonta on suhteellisen hankalaa ja siksi öljyn toimittajat suosittelvat säännöllistä analysointia määräajoin. Öljystä analysoidaan yleensä viskositeetti, partikkelit, vaahtoaminen ja eri metallit. Öljyanalyyseraportti on esitetty liitteessä 2. Emulsioiden ja synteettisten nesteiden kunnanvalvonta on öljyjä yksinkertaisempaa. Tärkein kunnanvalvonnanväline emulsion ja synteettisen nesteen öljypitoisuuden toteamiseksi on refraktometri, jolla mitataan öljyn määrää vedessä. Epäluotettavaksi tämän mittauksen tekee se, että laite mittaa aina kokonaisöljyn määrää vedessä, ja mikäli emulsiossa tai synteettisessä nesteessä on paljon vuotoöljyjä, häiritsevät nämä tarkan pitoisuuden määrittystä. /5/

Toinen tärkeä emulsion ja synteettisen nesteen kunnosta kertova mittaus tehdään mittaamalla sen pH-arvo. pH-arvo emulsiolla on yleensä 8,8–9,2 välillä. Mikäli pH-arvo laskee alle 8,8:n mahdollistaa pH:n lasku nesteen bakteerien lisäkasvun, varsinkin kun kyseessä on emulsio. Bakteerien elin- ja kasvuolosuhteet emulsiossa ovat parhaimmillaan, kun pH-arvon on 7,5:n ja 8,5:n välillä, lämpötilan ollessa +28 ja +34 °C:n välillä. /5/

Emulsioiden biostabiilisuutta säädellään biosideillä (bakteerintappoaineilla), joita markkinoilla on useita eri laatuja. Yleisimmät käytössä olevat laadut ovat kathon-, grotan- ja formaliinipohjaisia. Niitä lisätään valmistusvaiheessa emulsiotiteeseen noin 1–5 %, jonka määrän on laskettu pystyvän ylläpitämään biostabiilin tilan n. 5 % emulsiossa, kun pitoisuus säilytetään suositellulla tasolla ja epäpuhtaudet pystytään poistamaan säännöllisesti emulsiosta. Mikäli bakteerikasvuja kuitenkin on runsaasti, voidaan sitä vähentää ylimääräisellä biosidilisyksellä. Olisi kuitenkin suositeltavaa, ettei lisäyksiä tarvitsisi tehdä, vaan nesteen säännöllisellä huollolla ja ylläpidolla voitaisiin pitää emulsio biostabiilissa tilassa. /5/

Emulsion ja synteettisen nesteen analysointia suositellaan tehtäväksi säännöllisesti myös laajemmilla, laboratoriossa tehtävillä analyyseillä. Tällöin mitataan

yllä mainittujen lisäksi kokonaisalkaliteetti, pisarakoko, korroosiosuojakyky, aktiivinen biosidimäärä ja bakteeri-, sieni- ja homekasvu. /5/

6.6 Lastuamisnestejärjestelmä

Lastuamisnestejärjestelmän on kyettävä toimittamaan puhdasta lastuamisnestettä poraustapahtumaan sallittujen lämpötila-arvojen välillä ja oikealla paineella. Syvänreiänporakone voi kuulua osaksi suurta lastuamisnestejärjestelmää tai toimia itsenäisenä yksikkönä. Pumppujen kaksi pääparametria ovat pumpun tuottama paine ja tilavuusvirta. Pääsääntöisesti lastuamisnesteen siirtoon käytetään kahta eri pumpputyyppeä, hammaspyöräpumppua tai ruuvipumppua. Pumppujen lukumäärä riippuu porattavan reiän koosta. Mitä suuremmasta reiänhalkaisijasta on kyse, sitä suurempi tai useampi pumppu tarvitaan. /6, s.127–129./

Lastuamisnesteen puhtaudella on suuri merkitys porattavan reiän pinnanlaatuun ja ohjainpalojen kulumisominaisuuksiin. Lisäksi huonosti suodatettu ja puhdistettu lastuamisneste aiheuttaa pumpun kulumista ja vaurioitumista. Yleisimpiä käytössä olevia suodattimia ovat automaatti- ja magneettisuodattimet. Asianmukaisella jäähdytysnesteen suodatuksella jäähdytysnesteestä poistetaan partikkelit aina 10–20 µm asti. Hyvin puhdistettu lastuamisneste pidentää työkalun käyttöikä. /6, s.127–129./

Lastuamisnestesäiliön koko määritetään lastuamisnesteen kierron mukaan. Tankin tulisi olla kooltaan niin suuri, että pumppujen pumpatessa täydellä teholla säiliön kiertoajan tulisi olla 10 minuutista 20 minuuttiin. Suurempi lastuamisnestetankki mahdollistaa jäähdytysnesteessä olevan lian poiston ja nesteen jäähdyttämisen. /6, s.127–129./

Lastuamisnestettä kulkeutuu paljon lastujen mukana. Tähän ongelmaan ratkaisuna on jäähdytysnestelinko. Lingolla erotetaan lastuihin jäänyt lastuamisneste, joka ohjataan lingosta suodattimelle. Ilman linkoa lastuamisnestettä kulkeutuu lastujen mukana pois arviolta 3000 litraa kuukaudessa. /6, s.127–129./

Lähes kaikki energia, joka käytetään lastunmuodostamiseen, muuttuu lämmöksi. Pumppujen pumppausenergiasta yli 90 % muuttuu lämmöksi. Syntynyt lämpö absorboituu lastuamismesteseen. Lastuamismesteen saavuttaessa 55 °C sen voiteluominaisuudet heikkenevät, jolloin työkalu ja pumppu eivät saa riittävä voitelua ja jäähdytysnesteen käyttöikä laskee nopeasti. Parhaaseen lopputulokseen päästään, kun jäähdytysnesteen lämpötila saadaan pysymään 20–40 °C:n lämpötilassa. Jatkuvassa tuotannossa jäähdytysneste ei välttämättä jäähy riittävästi, jolloin tarvitaan lisjäähdytystä. Tarvittava lisjäähdytys toteutetaan vesi- tai jäähdytysainekierröllisillä lämmönvaihtimilla. Jäähdytyskapasiteetin tehon tarve P_V saadaan VDI 3210- standardin määrittämästä yhtälöstä 1, jossa P_A on karamoottorin teho, P_K pumppujen kokonaisteho, ED on hyötyaikakerroin. Hyötyaikakertoimen arvo on manuaalisesti käytetyllä koneella 0,8 ja automatisoidulla koneella 1,0. /2, s. 27–28./

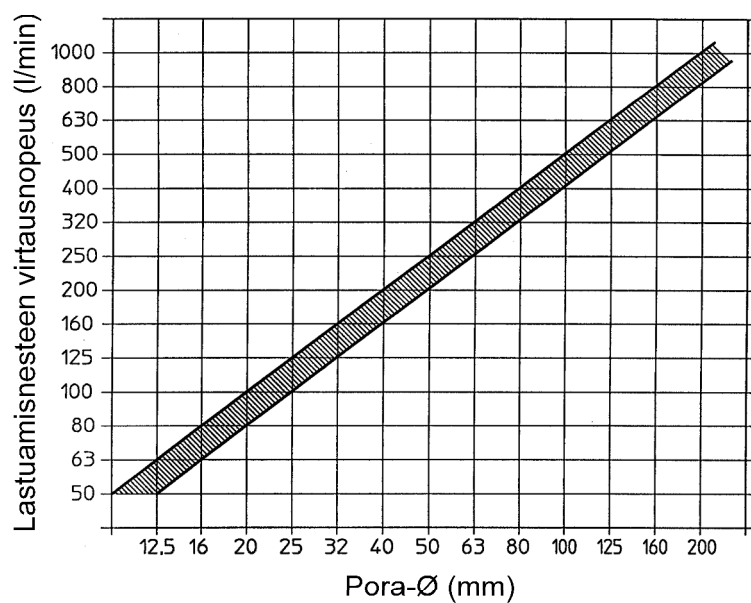
$$P_V = (P_A + P_K) \cdot 0,8 \cdot ED \cdot 36000 \text{ kJ/h} \quad (1)$$

Lastuamismesteen lämpötilan nousuaika T 20 °C:sta 50 °C:een saadaan öljyille ja vesipohjaisille lastuamismesteille Sandvikin määrittämästä yhtälöstä 2, joissa P on lämmitysvaikutus, V säiliöntilavuus kuutiometreinä ja C_1 on vakio öljyille 14,25 ja vesipohjaisille lastuamismesteille 33,8. /6, s.127–129./

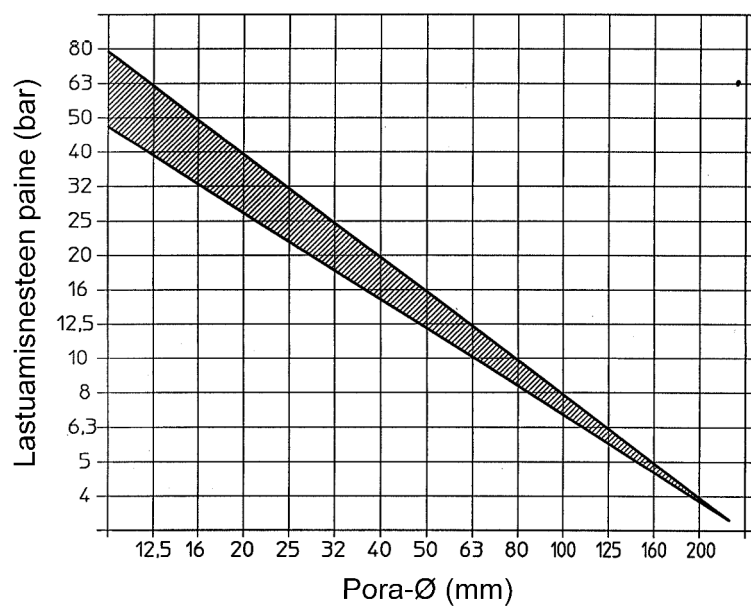
$$T = \frac{c_1 \cdot V}{P} \text{ h} \quad (2)$$

Lastuamismesteen lämpötilan tulisi olla 20–40 °C. Alle 20 °C:n lämpötila saattaa aiheuttaa ilman liukenemista öljyyn, vaahtoamista ja matalampia virtausnopeuksia. Korkeat lämpötilat puolestaan aiheuttavat öljyn käyttöikä nopeaa laskua, vaahtoamista ja höyrystymistä. /6, s.127–129./

Lastuamismesteen virtausnopeus kasvaa poran halkaisijan kasvaessa (kuvaaja 1.), kun puolestaan lastuamismesteen paine laskee (kuvaaja 2.).



Kuvaaja 1. Kuvaaja esittää lastuamisteeseen virtausnopeuden poran halkaisijan funktiona. /8/



Kuvaaja 2. Kuvaaja esittää lastuamisteeseen paineen poran halkaisijan funktiona. /8/

7 LASTUNMUOTO JA POISTO

Syvänreiänporauksessa lastut täytyy tuoda pois syvästä reiästä, joka on poraussuunnan vastainen. Syvänreiänporauksessa on tärkeää tuottaa oikeanmallisia lastuja. Oikealla tavalla murtuneita lastuja on esitetty kuvassa 7.1 ja huonosti murtuneita lastuja kuvassa 7.3. Tässä tapauksessa oikeanmallisilla lastuilla tarkoitetaan mahdollisimman pieniä lastuja. Lastujen oikeanlainen muoto on tärkeää porausprosessin luotettavuudelle. Lastujen aiheuttama tukos saattaa johtaa työkalun ja työkappaleen tuhoutumiseen. Tämän takia koneen käyttäjän ensisijaisiin tehtäviin kuuluu lastun muodon tarkkailu. Lastun muotoon voidaan vaikuttaa terägeometrialla ja lastuamisarvojen muutoksilla. /2, s.23–24./

Lastujen poiston vuoksi syvänreiänporausmenetelmien soveltaminen pystyka-raisiin koneisiin on mahdotonta. Lastun tulee olla oikeanmuotoista, jotta se poistuu putkea tai uraa pitkin aiheuttamatta tukosta.



Kuva 7.1. Ejektori- ja STS/BTA- menetelmissä oikealla tavalla murtuneet lastut.

Keskiöityä akselia porattaessa vaikeuksia tuottaa alussa ongelmallinen lastun murto. Lastu ei murru ja syntyy pitkää nauhamaista lastua, mikä saattaa aiheuttaa tukoksen urassa tai putkessa. Keskiöidyllä akselilla tarkoitetaan akselia,

johon on tehty keskiökuopat sorvin kärkiä varten. Keskiökuoppa on esitetty kuvassa 7.2.

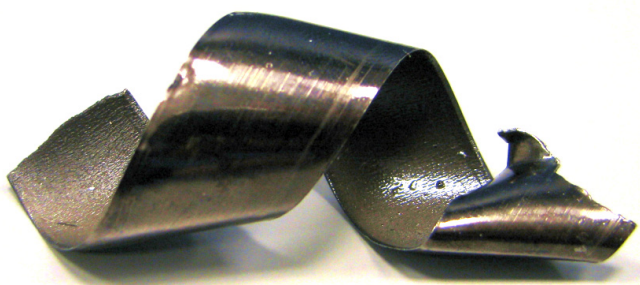


Keskiökuoppa

Kuva 7.2. Keskiöity akseli.

Kanuunaporalla keskiöityä työkappaletta porattaessa täytyy keskiön olla halkaisijaltaan pienempi kuin poran, muuten lastut jäävät kiinni työkappaleen ja poraholkin väliseen tilaan. Kiinni takertuneet lastut vahingoittavat työkalua ja reiän pinnanlaatua. Jos keskiön kokoon ei voida vaikuttaa, voidaan lastunmurttoa ja niiden pois kulkeutumista helpottaa muokkaamalla poraholkkia. Poraholkiin ajetaan keskiötä vastaava viiste, jolloin poraholkin ja työkappaleen välinen tila jää mahdollisimman pieneksi. /2, s. 23–24./

Ejektori- ja STS/BTA-järjestelmillä keskiöityä työkappaletta porattaessa on keskiön oltava halkaisijaltaan huomattavasti pienempi kuin poran. Tässä tapauksessa porakruunun keskimmäiset teräpalat leikkaavat vain uloimmilla reunoilla. Tästä syntyy ohutta, taipuisaa ja nauhamaista lastua. Nauhamaisesta lastusta syntyy helposti niin sanottu lastupesä, joka tukkii poraputken. /2, s. 23–24./



Kuva 7.3. Ejektori- ja STS/BTA- menetelmissä huonosti murtunut lastu.

8 LASTUAMISVOIMAT JA LASTUAMISEN VAATIMA TEHO

Porattaessa työkalun kulkua ja teräsärmän kulumista on mahdoton seurata visuaalisesti. Porattava materiaali ei käytännössä koskaan ole homogeenista vaan sisältää epäpuhtausulkeumia ja muokkauslujittuneita alueita. Epäpuhtausulkeumat ovat kovia ja aiheuttavat teräsärmän rikkoutumisen. Jos teräsärmän rikkoutumista ei huomata riittävän nopeasti, saattaa porauksessa käytettävä työkalu vaurioitua tai tuhoutua kokonaan. Teräsärmän kulumista voidaan arvioida laskemalla. Muokkauslujittuneet alueet akselissa ilmenevät syöttövoiman äkillisenä kasvuna. /6, s. 90./

Lastuamisvoimista tärkein on syöttövoima, jolle annetaan porauksessa raja-arvot. Raja-arvoja arvioitaessa täytyy ottaa huomioon materiaalin kovuuserot. Kovemmassa kohdassa porausvoimat kasvavat. Työkalun kulumista voidaan seurata myös syöttövoiman tasaisena kasvuna. /6, s. 90./

Umpiaineporauksessa poratehon tarve on avarrukseen ja ydinporaukseen verrattuna huomattavasti suurempi. Porausteholla selvitetään porattavan reiän vaatima konetehto. Umpiaineporauksen vaatiman poraustehon ja kitkatehon summa $P_C + P_\mu$ saadaan Sandvikin määrittämästä yhtälöstä 3, jossa f_n on syöttö, v_C (m/min) on materiaalin lastuamisnopeus, D_C on työkalun halkaisija ja k_C on työkaluvalmistajan määrittämä ominaislastuamisvoima, joka valitaan kuvaajasta 3 syötön f_n ja materiaalin perusteella. /6, s. 150./

$$P_C + P_\mu = \frac{f_n \cdot v_C \cdot D_C \cdot k_C}{240 \cdot 10^3} \cdot 1,34 \text{ kW} \quad (3)$$

Avarruksen sekä ydinporauksen vaatiman poraustehon ja kitkatehon summa $P_C + P_\mu$ saadaan Sandvikin määrittämästä yhtälöstä 4, jossa f_n on syöttö, v_C (m/min) on materiaalin lastuamisnopeus, a_p on lastuamissyvyys, k_C on työkaluvalmistajan määrittämä ominaislastuamisvoima, joka valitaan kuvaajasta 3 syötön f_n ja materiaalin perusteella. /6, s. 90./

$$P_c + P_\mu = \frac{f_n \cdot v_c \cdot a_p \cdot k_c}{60 \cdot 10^3} \cdot \left(1,17 - \frac{a_p}{D_c}\right) kW$$

Porauksessa, avarruksessa ja ydinporauksessa syntyvän vääntömomentin ja vääntömomentin kitkan summa $M_c + M_\mu$ saadaan Sandvikin määrittämästä yhtälöstä 5, jossa D_c on työkalun halkaisija, f_n on syöttö, a_p on lastuamissyvyys, k_c on työkaluvalmistajan määrittämä ominaislastuamisvoima, joka valitaan kuvaajasta 3 syötön f_n ja materiaalin perusteella. /6, s. 150./

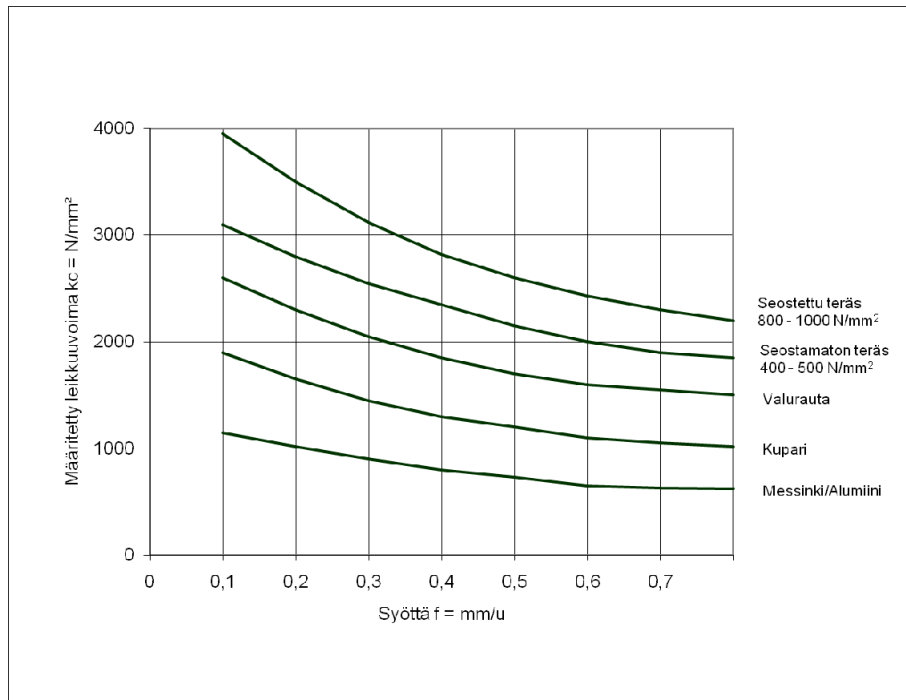
$$M_c + M_\mu = \frac{D_c \cdot f_n \cdot a_p \cdot k_c}{2000 \cdot 10^3} \cdot \left(1,17 - \frac{a_p}{D_c}\right) kNm \quad (5)$$

Porauksessa, avarruksessa ja ydinporauksessa syntyvän syöttövoiman ja syöttövoiman kitkan summa $F_c + F_\mu$ saadaan Sandvikin määrittämästä yhtälöstä 6, jossa a_p on lastuamissyvyys, f_n on syöttö, k_c on työkaluvalmistajan määrittämä ominaislastuamisvoima, joka valitaan kuvaajasta 3 syötön f_n ja materiaalin perusteella $\sin_{\kappa r}$ on työkalunasetuskulma. /6, s. 90./

$$F_c + F_\mu = 0,65 \cdot a_p \cdot f_n \cdot k_c \cdot \sin_{\kappa r} \quad (6)$$

Tangentiaalivoima F_c saadaan yhtälöstä 7, jossa k_c on työkaluvalmistajan määrittämä ominaislastuamisvoima, joka valitaan kuvaajasta 3 syötön f_n ja materiaalin perusteella, f_n on syöttö, a_p on lastuamissyvyys. /6, s. 90./

$$F_c = k_c \cdot f_n \cdot a_p \quad (7)$$



Kuvaaja 3. Työkaluvalmistajan määrittämät ominaislastuamisvoimat syötön funktiona. /8/

9 REIÄN SUORUUS JA SIIHEN VAIKUTTAVAT TEKIJÄT

Reiän suoruteen vaikuttavat tekijät ovat työkalu, pyörimisliike, lastuamisarvot, työkappaleen materiaali, tukilaakerit, värinän vaimentimet, poraholkki, öljyntuon-tilaite ja kone. Työkalun valinnassa on tärkeää kiinnittää huomiota oikean terä-geometrian ja kovametallilaadun valintaan. Nämä ovat edellytys hyvälle ja tehokkaalle lastunmuodolle ja -muralle. Näin poraputki ei pääse tukkeutumaan. /4, s. 31–37./

Reiän suoruteen vaikuttaa merkittävästi työkappaleen ja poran pyöräminen. Poraus voidaan suorittaa pyörittämällä pelkästään työkappaletta, pelkkää poraa tai pyörittämällä molempia. Työkappaletta ja poraa pyöritettäessä tulee niiden kiertosuunnan olla vastakkainen. Suurin epäsuoruus saavutetaan pyörittämällä pelkästään poraa. Aina ei kuitenkaan ole mahdollista pyörittää työkappaletta, esimerkiksi kun työkappale ei ole pyörähdysymmetrinen tai työkappale on epäkeskeinen. Kohtalainen suoruus saavutetaan pyörittämällä työkappaletta. Tämä on syväreiänporauksessa yleisimmin käytetty menettelytapa. Parhaaseen reiän suoruteen päästään pyörittämällä työkappaletta ja poraa. Työkappaleen ja poran pyörimisnopeus tulee valita siten, että työkappaletta pyöritetään aina mahdollisuuksien mukaan kovempaa kuin poraa. Tavanomaisesti työkappale pyörii 70 % ja pora 30 % kokonaiskiertoista. Epäkeskeisiä työkappaleita porattaessa reiän suorutta parantaa, jos kappaletta pystytään pyörittämään vastapainojen kanssa. /4, s. 31–37./

Oikean syötön valinnalla säädetään aksiaalista porausvoimaa, jolla on suora vaikutus lastunmurtoon ja sen muotoon. Materiaalin tulisi olla mahdollisimman homogeenista, jolloin porausvoimat eivät pääse kasvamaan yllättävien kovien kohtien takia ja lastun murto ja muoto säilyvät hyvinä. Kova kohta voi aiheuttaa myös niin sanotun poran väistämisen. Väistämisellä tarkoitetaan poran kulkeutumista pois porauskeskiöstä, jolloin reikä ei enää ole suora. /4, s. 125./

Tukilaakerien merkitys porauksessa on suuri, koska kappale on kiinnitetty vain porakoneen nelileukapakkaan. Porauksessa raskaan työkappaleen tukeutuessa

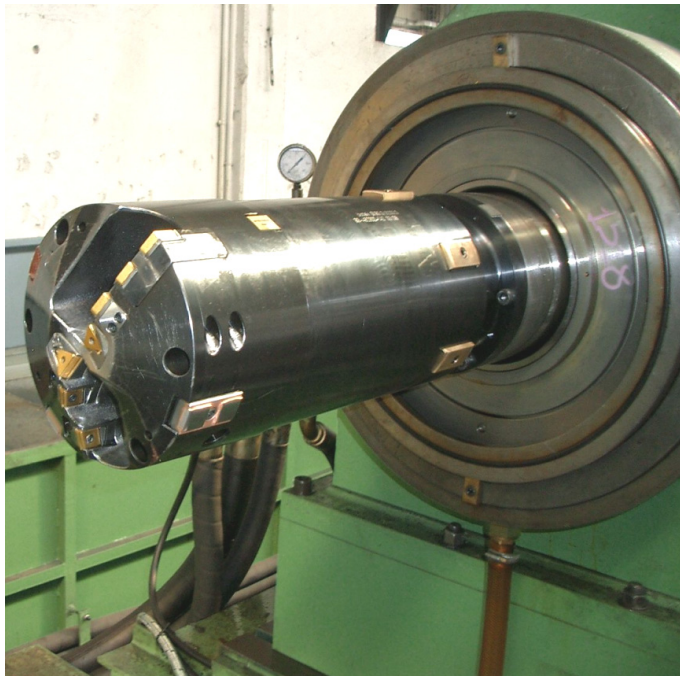
väärin tukilaakereihin, saattaa työkappale vetäytyä irti pakasta, jolloin se rasittaa paineyksikön laakereita tai painautuu pakkaa vasten rasittaen karan laakereita. Epäkeskeisiä kappaleita porattaessa on tarvittaessa lisättävä riittävästi vastapainoja porattavaan kappaleeseen. Tukilaakerit voivat olla myös kiinteitä työkappaleen pidättimiä, jossa työkappale työnnetään hydraulikkaa apuna käyttäen ohjaimia vasten. Pidättimillä varustetut koneet soveltuvat parhaiten vain lyhyiden kappaleiden poraamiseen, sillä näissä sovelluksissa vain työkalu pyörii. /4, s. 125./

Porauksen alkuvaiheessa on tärkeää saada työkappale ja poraholkki mahdollisimman samankeskeisiksi. Poraholkin ja työkappaleen suurimman sallitun epäkeskeisyyden tulisi olla 0,02 mm. Poraholkin on myös täytettävä sille asetetut vaatimukset. Materiaalin tasalaatuisuus eli homogeenisuus vaikuttaa reiän suuruuteen epäpuhtaussulkeumien muodossa. Epäpuhtaussulkeumat ovat perusainetta kovempia kohtia. Kovan kohdan osuessa poran eteen, pora lähtee kulkeutumaan sivuun porauskeskiöstä eli väistää. Väistämisestä reiän suoruu huononee. /4, s. 125./

Värinänvaimentimen tehtävänä on tukea työkalua ja poistaa porauksen aikana syntyvää värinää. Värinää vaimennetaan värinää absorboivasta materiaalista valmistetulla kartiolla, jota kiristetään tai löysätään porauksen aikana. Värinän vaimennus on porauksessa erittäin tärkeää, sillä värinä vaikuttaa suoraan kovametallisten kääntöterien kestoikään. Värinä aiheuttaa myös reiän pinnanlaadun huononemisen. Työkalun ollessa tuettu riittävän hyvin voidaan syvänreiänporakonetta käyttää myös lyhyiden reikien poraukseen. /2, s. 22./

Jäähdytysnesteen tuontilaitteen tulee olla riittävän tehokas, jotta saadaan aikaan tehokas lastunpoisto lastuamiskohteesta ja riittävä voitelu työkalulle. Lastun nopea ja tehokas poistuminen lastuamiskohteesta on tärkeää, etteivät lastut pääse porarungon ja työkappaleen väliin. Kanuunaporauksessa tämä aiheuttaa pinnanlaadun huononemista, STS- ja ejektorijärjestelmissä lastut eivät saa päästä työkappaleen ja kovametalliterän väliin, jolloin teräpalan leikkaavan särmän rasitus kasvaa nopeasti ja teräpala saattaa lohjeta. Teräpalan lohkeaminen aiheuttaa reiän pinnanlaadun ja mittatarkkuuden huononemista.

Reiän suoruuteen vaikuttaa myös koneen mekaaninen tarkkuus, joka todetaan standardien mukaisilla testeillä. Syvänreiänporakoneelle asetettuja testejä on käsitelty tarkemmin luvussa 10 työstökoneen hankintaprosessi. /2, s. 26–27./



Kuva 9.1. Porakruunu varustettuna ohjainmoduulilla. /7/

Syviä reikiä poratessa voidaan poraus varustaa ohjainmoduulilla (kuva 9.1). Pora tukeutuu ohjainmoduulin avulla pidemmältä matkalta reiän seinämiin ja pakottaa poran kulkemaan suoraan. Reiän suoruutta voidaan pitkissä porauksissa parantaa poraamalla kahdesta suunnasta. Tässä toimintamallissa vaarana on, että reiät risteävät keskellä kappaletta. Parhaaseen lopputulokseen päästään, kun reikä porataan kahdesta suunnasta ja avarretaan yhdestä suunnasta. Kahdesta suunnasta poraamalla saadaan kummastakin reiänsuusta mitattarkka, kun yhdeltä suunnalta porattaessa ongelmaksi muodostuu ulostuloreiän soikeus. Reiän suoruutta voidaan valvoa porausprosessin aikana ultraäänen avulla. Ultraäänellä nähdään seinämän vahvuuden vaihtelut, joista voidaan päätellä reiän suoruus.

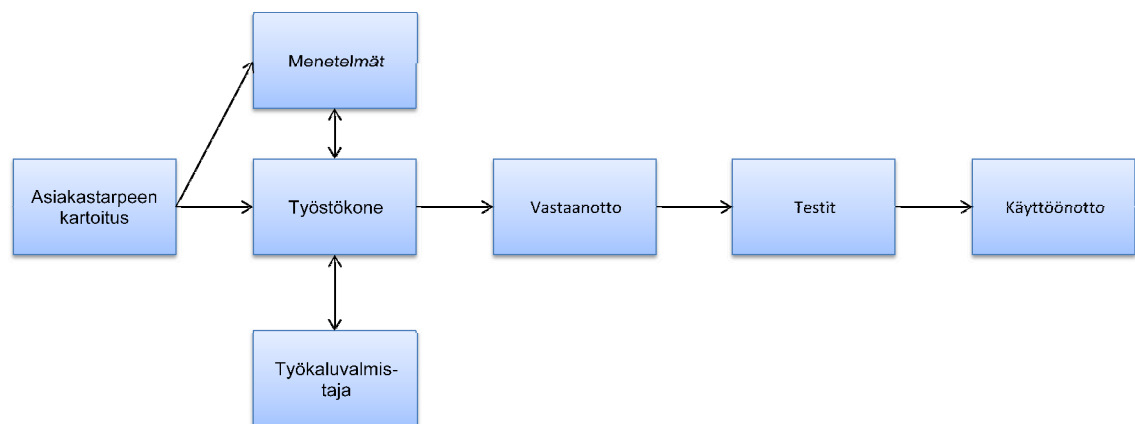
10 TYÖSTÖKONEEN HANKINTAPROSESSI

Työstökoneen hankintaprosessi aloitettiin asiakastarpeen kartoituksella. Ensin selvitettiin olemassa olevat markkinat ja tarve uudelle valmistusmenetelmälle. Asiakkaan ja oman yrityksen logistiikkakustannuksia saataisiin pienenettyä tarjoamalla valmistusmahdollisuus laajemmalla menetelmärakenteella.

Asiakastarpeen ja käytettävien menetelmien selvittyä aloitettiin varsinainen työstökoneen hankintaprosessi. Hankintaprosessi aloitettiin pyytämällä konevalmistajilta tarjousta asiakkailta saatujen tarpeiden pohjalta. Asiakastarpeet asettivat rajat muun muassa koneen liikkeiden pituuksille.

Konevalmistajien vastattua tarjouspyyntöön valittiin konevalmistaja. Kun konevalmistaja oli valittu, laadittiin valmistussopimus, jossa sovittiin muun muassa kaikki konetta koskevat parametrit, toimitusaikataulut, maksusuunnitelma ja viivästyssakot.

Kun työstökone tyyppi ja valmistusmenetelmät oli valittu, valittiin työkalujärjestelmä. Työstökoneessa käytettävien työkalujen hankinta aloitettiin yhtäaikaisesti työstökoneen hankinnan kanssa. Näin saatiin sovittua työstökonevalmistajan kanssa työkalujen kiinnitysjärjestelmästä. Hankintaprosessin kaavio on esitetty kuvassa 10.1.



Kuva 10.1. Työstökonehankinnan prosessikaavio.

10.1 Menetelmän valinta

Kun valittiin porausmenetelmiä, kiinnitettiin erityisesti huomiota menetelmien tehokkuuteen ja soveltuvuuteen erikoisvalmisteiseen syvänreiänporakoneeseen. Käytettäviksi menetelmiksi valittiin asiakastarpeiden pohjalta umpiaineporaus ja avarrus. STS/BTA-järjestelmä kattaa kaikki syvänreiänporausmenetelmät, jolloin menetelmärakennetta voidaan edelleen laajentaa asiakastarpeiden mukaan.

10.2 Työkalujärjestelmän valinta

Kun valittiin työkalujärjestelmää, kiinnitettiin huomiota järjestelmän soveltuvuuteen erikoisvalmisteiseen syvänreiänporakoneeseen ja valittuihin menetelmiin. Parhaiten asetetut vaatimukset täytti STS/BTA-järjestelmä. Menetelmällä pystytään poraamaan suuria reikähalkaisijoita umpiaineeseen ja avartamaan poratut reiät halkaisijaltaan yli 1500 mm:iin. STS/BTA-menetelmä on tuottavin syvänreiänporausmenetelmä.

10.3 Työstökone

Konepaja Häkkinen Oy:n hankkima työstökone on italialaisen Torni Tacchin valmistama erikoistyöstökone, joka on tarkoitettu vain pitkien reikien poraamiseen (kuva 10.2). Koneen rungon pituus on 58 000 mm, suurin mahdollinen pyörintähalkaisija 2400 mm, porattavan reiän pituus 25 500 mm ja suurin sallittu kuorma kolmella tukilaakerilla on 80 000 kg. Kone koostuu karalaatikosta, runkoelementeistä, tukilaakereista, paineyksiköstä, värinänvaimentimista, poraluisista, pumppuyksiköstä, suodatuslaitteistosta, lastun käsittelylaitteistosta ja työkalujärjestelmästä.



Kuva 10.2 Syvänreiänporakone TACCHI MOD. FT 110-LS suurin pyörintähalkaisija 2400 mm ja porattavan reiän pituus 25 500 mm.

Pääkaran ja poraluistinkaran moottorit ovat teholtaan 100 kW. Koneen tukilaakerit on itse valmistettu, sillä poratun reiän tarkkuuteen vaikuttaa suuresti tukilaakerien tukevuus. Tukilaakerien pinolit on valmistettu tukilaakerikohtaisesti sovittamalla.

Pumppuyksikkö koostuu yhdestä inverteripumpusta, jonka tuottoa voidaan säädellä litran tarkkuudella, ja kahdesta vakioitehoisesta pumpusta. Kukin pumppu kykenee tuottamaan 600 litraa minuutissa, jolloin kaikkia pumppuja yhtäaikaaisesti käytettäessä saadaan aikaan 1800 litran tuotto minuutissa.

Lastujen käsittelylaitteisto koostuu lastunmurskaimesta ja lastulingosta. Poraus-
tapahtumasta lastut huuhdotaan poraluistinkaran läpi putkea pitkin lastun kuljet-
timelle, jossa suurin osa öljystä poistuu kuljettimessa olevien reikien kautta va-
luma-altaaseen. Valuma-altaasta öljy pumpataan suodatusyksikköön suodatet-
tavaksi. Osa öljystä jää kuitenkin lastuihin. Kun lastut on murskattu, ne johde-
taan lastulinkoon. Lingossa murskatuista lastuista poistetaan jäljellä oleva öljy.

Koneessa on STS/BTA-työkalujärjestelmä. Työkalujärjestelmä koostuu pora-
putkista, porakruunuista, värinänvaimentimista ja paineyksiköstä.

Ohjausjärjestelmänä koneessa on Siemens Sinumerik 840D. Sinumerik 840D
on niin sanotusti avoin ohjaus. Sinumerik 840D:n avoimuus tulee parhaiten esiin
HMI:n (Human Machine Interface) eli käyttöliittymän ja PLC:n (Programmable
Logic Control) ohjelmoitavien logiikoiden puolelta. Esimerkiksi HMI-puolella
avoimuutta tuo käyttöliittymän vapaa muokkaus. Käyttäjä saa näytölle näkyviin
haluamansa parametrit ja arvot. Tacchi on luonut Sinumerik 840D:n avoimien
sovellusten avulla yksinkertaisen ja toimivan poraustyökierron. Työkierrossa
tarvitsee määritellä vain karojen kierrokset, syöttö ja iskun pituus.

10.4 Vastaanotto

Kone vastaanotettiin sopimuksessa sovitun aikataulun mukaisesti. Esivas-
taanotto tapahtuu konevalmistajan tehtaalla ja loppuvastaanotto koneen asen-
nuskohteessa. Esivastaanotossa tehdään sopimuksessa sovitut geometriset
testit, joilla tarkastetaan koneen mekaaninen tarkkuus. Samat testit suoritettiin
koneen loppuvastaanotossa. Testeistä ja testauksesta on kerrottu tarkemmin
luvussa 10.5 testit.

10.5 Testit

Kone tarkastettiin Schlesinger-testin mukaan. Schlesinger-testipohja on esitetty liitteessä 3. Testien toleranssit on sovittu hankintasopimuksessa ja ne ovat asiakaskohtaisia. Testien tarkoituksena on koneen mekaanisen tarkkuuden toteaminen. Schlesinger-testi sivuaa ISO- ja DIN-standardin mukaisia testejä. Testit ovat konetyyppikohtaisia. Syvänreiänporakoneelle tehdyt testit käsittävät rungon tasomaisuuden ja suoruuden testauksen, poraluistin liikkeen suoruuden testauksen, pääkaran tuurnatestin, pääkaran kartion suoruustestin, pääkaran otsapinnan suoruustestin, poraluistin tuurnatestin, poraluistin karan kartion suoruustestin, poraluistin karan otsapinnan suoruustestin, pääkaran ja poraluistin karan samansuuntaisuustestin sekä paineyksikön ja pääkaran samansuuntaisuustestin.

Rungon tasomaisuus ja suoruus testattiin autokollimaattorilla ja sähkövesivaa'alla. Pituussuunnassa johteiden suoruus tarkastettiin sähkövesivaa'alla. Koneen kummatkin johteet tarkastettiin erikseen. Tarkasteluväli oli 1000 mm. Poikkisuunnassa johteiden suoruus tarkastettiin asettamalla tarkkuushiottu lineaarikivi hiottujen paranellien päälle ja asettamalla sähkövesivaaka hiottun lineaarikiven päälle. Tarkasteluvälinä käytettiin 1000 mm:n etäisyyttä.

Johteiden tasomaisuus tarkastettiin autokollimaattorin avulla. Kummankin johteen tasomaisuus tarkastettiin erikseen. Autokollimaattorin tarkkuus riittää 25 000 mm:iin asti, jolloin laitteen virhe ylittää asetetut rajat, minkä vuoksi johteet tarkastettiin kolmessa osassa. Ensimmäisen 25 000 mm mittauksen jälkeen autokollimaattori siirrettiin ja mittaus aloitettiin uudestaan 20 000 mm:n kohdalta, jotta saaduista mittaustuloksista voitiin luoda yhtenäinen käyrä. Mittausvälinä käytettiin 1000 mm:iä.

Poraluistin liikerata tarkastettiin autokollimaattorilla ja lankamikroskoopilla. Autokollimaattorilla suoruus tarkistettiin yhdellä mittauksella. Mittauksessa autokollimaattorin peili kiinnitettiin poraluistiin, jota liikutettiin tasaisella nopeudella. Autokollimaattorin epätarkkuuden vuoksi johteiden suoruus tarkastettiin vielä lankamikroskoopilla. Lankamikroskooppimittauksessa lanka asetettiin pääkaraan ja

langan toinen pää rungon toiseen päähän. Poraluistia ajettiin tasaisella nopeudella ja poikkeamaa seurattiin poraluistiin asetetusta mikroskoopista.

Pääkaran ja poraluistin tuurnatestissä tuurna kiinnitettiin karaan ja tarkastelu suoritettiin pysty- ja vaakasuunnassa. Mittaus suoritettiin 300 mm:n matkalta mittakelloa siirtämällä. Mittakellona käytettiin millimetrin tuhannesosien tarkkuudella näyttävää digitaalista mittakelloa.

Pääkaran ja poraluistin kartion sekä otsapinnan suoruus tarkastettiin mittakelloilla. Mittakellona käytettiin samaa mittakelloa kuin tuurnatestissä. Kartiopinnan suoruudet tarkastettiin asettamalla mittakello karojen kartiopinnoille ja pyörittämällä karoja. Otsapinnan suoruus tarkastettiin asettamalla mittakello karojen otsapinoille ja pyörittämällä karoja.

Pääkaran ja poraluistin karan samansuuntaisuus tarkastettiin mittakellon avulla. Mittakellona käytettiin aiemmin testeissä käytettyä millimetrin tuhannesosien tarkkuudella näyttävää digitaalista mittakelloa. Testissä pääkaraan ja poraluistin karaan asetettiin tuurnat ja mittakelloa liikuteltiin tuurnalta toiselle.

Pääkaran ja paineyksikön yhdenmukaisuus tarkastettiin kiinnittämällä kellotus- tuurna pääkaraan ja pyörittämällä karaa paineyksikön ohjainpinnalla. Mittauksessa käytettiin samaa millimetrien tuhannesosien tarkkuudella näyttävää mittakelloa.

Testit tulee suorittaa yllä olevassa järjestyksessä, sillä ne vaikuttavat toisiinsa. Jonkin testin epäonnistuessa joudutaan testaaminen aloittamaan alusta. Viimeisenä testinä on käyttökoe. Käyttökoe eli koeporaus suoritettiin käyttöönoton yhteydessä asiakkaan propulsioakseliin.

10.6 Käyttöönotto

Käyttöönotossa suoritettiin koneen koekäyttö, tässä tapauksessa koeporaus. Koeporaus tehtiin propulsioakseliin yhteistyössä asiakkaan ja työkaluvalmista-

jan asiantuntijan kanssa. Koeporauksessa testattiin työkalujärjestelmän ja koneen toimivuutta.

Koekäytössä testattiin koeporauksen lisäksi koneen suorittamat automaattiset liikkeet työkierron alaisuudessa. Näitä toimintoja olivat automaattinen lähestyminen ja paineyksikön kiinnipainaminen työkappaleeseen, karojen käynnistys, lastuamismesteen automaattinen päällekytkentä ja virtausnopeuden odotus asetettuun arvoon ennen poraluistin syöttöliikkeen käynnistystä.

Koeporauksessa lastuamisen lähtöarvot laskettiin kappaleessa 8 esitettyjen yhtälöiden avulla. Koeporaus suoritettiin väliakseliin kahdesta suunnasta. Poratut reiät kohtasivat toisensa täydellisesti, eli reiät olivat silmämääräisesti samankeskeisiä.

Porakoneen hyvällä mekaanisella tarkkuudella ja työkaluvalmistajan pitkällä kokemuksella saavutettiin syvänreiänporauslaitteistoista odotettu lopputulos.

11 PORAUS KONEPAJA HÄKKISELLÄ

Akseleiden materiaalina on CMn tai C45E terästä. Aihiot valmistetaan kuumatakomalla. Kuumataonnassa on tärkeää pitää taottavan aihion lämpötila materiaalin rekristalisaatiolämpötilan yläpuolella. Muovattaessa materiaalia rekristalisaatiolämpötilassa vähennetään materiaalin taipumusta muokkauslujittua. Taonnan loppupuolella kappaleen lämpötila laskee, minkä seurauksena kappaleeseen alkaa syntyä muokkauslujittuneita alueita. Nämä jännitykset poistetaan taonnan jälkeisellä hehkutuksella.

Pääasiassa Konepaja Häkkisellä porataan propulsiolaitteiden akseleita, kuten potkuri- ja väliakseleita. Akselit tulevat käyttöön säätölapapotkurisovelluksissa. Sovelluksessa dieselmoottoria pyöritetään vakiokierroksilla noin 750 kierrosta minuutissa. Käyttökierroksia lasketaan alennusvaihteen kanssa noin 300 kierrokseen minuutissa. Aluksen nopeutta säädellään vakiokierroksilla pyörivän potkurin lapakulmaa muuttamalla. Lapakulmaa muutetaan hydrauliiikan avulla. Potkurilavat ovat kiinni lavankääntäjissä, joita käännetään kaksisuuntaisen hydraulisylinlerin avulla. Akseliin porataan keskireikä hydrauliiikan ja tiedonsiirron takia. Akselin sisälle tulee hydrauliputki ja kaapelit antureille, jotka kertovat potkurin lapakulman.

Akseliin sorvataan tukilaakereiden vierintäelementtien paikat tarkasti samaan halkaisijaan. Toimenpiteellä nopeutetaan asetuksia, kun porataan kappale kahdesta suunnasta. Kappale kiinnitetään porakoneen nelileukaiseen pakkaan. Alkuvaiheessa tukilaakerien pinolien asennon mukaan työkappale voi liukua irti pakasta. Liukuminen ehkäistään kiinnittämällä kappale laipasta vesti-raudoilla pakkaan. Kappale kellotetaan pyörimään suoraan tukilaakerien varassa. Lopuksi tarkastetaan poraholkin ja työkappaleen samankeskeisyys. Epäkeskeisiä kappaleita poratessa kappaleeseen kiinnitetään tarvittaessa vastapainoja.

Porauksessa käytettävät lähtöarvot laskettiin materiaalin lastuamisnopeuden, työkaluvalmistajan ohjeiden ja yhtälöiden avulla. Tärkein laskettava suure on porauksessa syntyvä syöttövoima. Porausprosessin etenemistä valvotaan lastun muotoa ja porausvoiman kasvua tarkkailemalla. Reiän suoruus tarkistettiin kappaleen käännön yhteydessä ultraäänellä.

12 YHTEENVETO

Projektin tavoitteena oli ottaa käyttöön Konepaja Häkkisellä uusi työstökone ja valmistusmenetelmä. Koneen vastaanotto ja koekäyttö onnistuivat odotusten mukaan. Tämän työn tuloksena saatiin tiedot porausmenetelmistä ja porauslaitteistoista sekä otettiin käyttöön uusi työstökone.

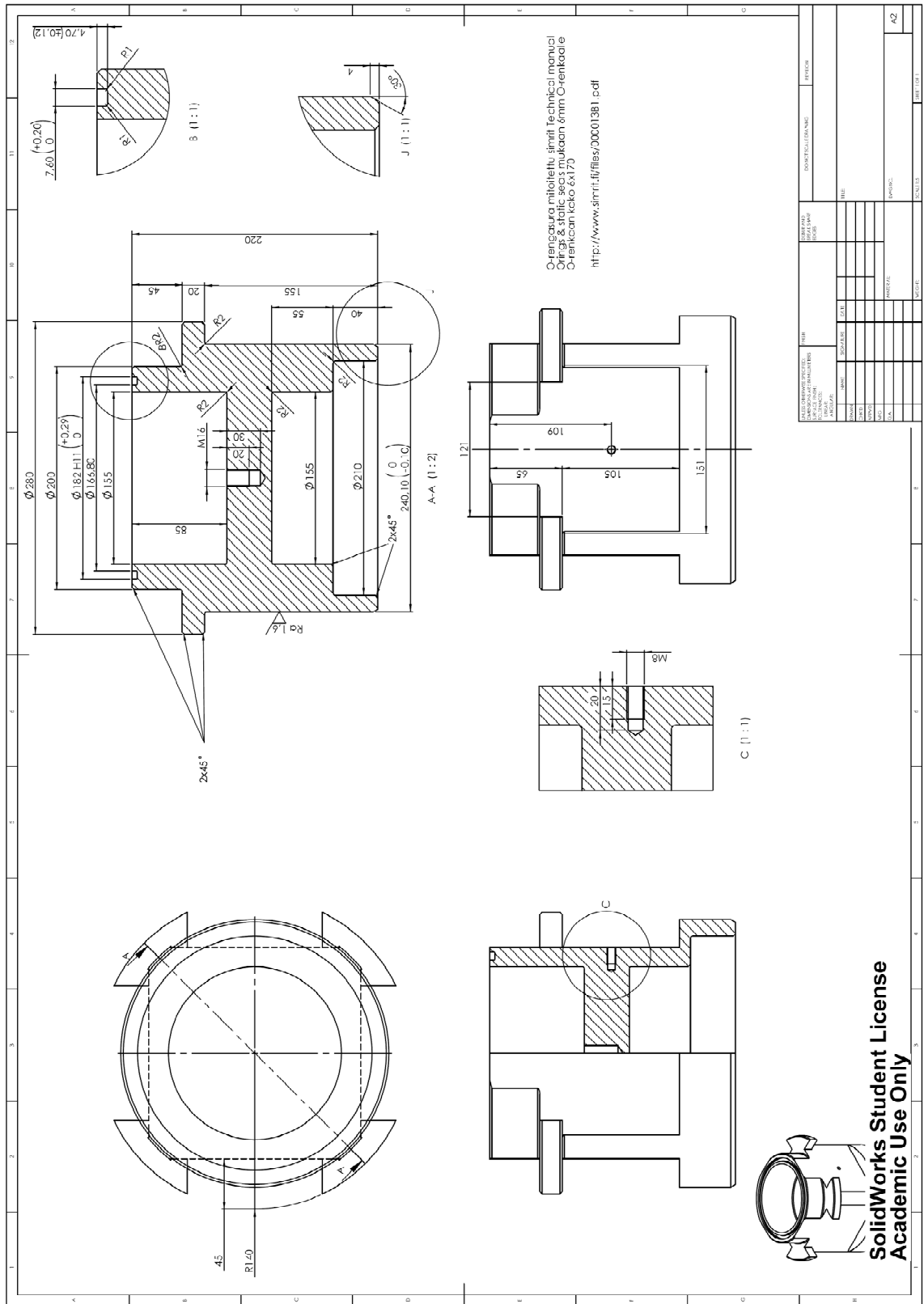
Projektissa perehdyttiin syväreianporausmenetelmiin, laitteistoihin ja työstökoneen vastaanottoprosessiin ammattilaisten kanssa. Ammattilaisten joukko koostui työstökonevalmistajasta, työkalujärjestelmänvalmistajasta, lastuamisneste-toimittajasta ja Konepaja Häkkinen Oy:n henkilöstöstä.

Konepaja Häkkinen Oy on viime vuosien aikana kasvanut ja kasvu jatkuu yhä; uudet työstökonehankinnat ovat kiistaton merkki tästä. Uuden valmistusmenetelmän käyttöönotto laajentaa Konepaja Häkkinen Oy:n menetelmärakennetta. Laajemmalla menetelmärakenteella pystytään vähentämään muun muassa asiakkaiden logistiikkakustannuksia.

Nykyään jatkuvassa muutoksessa olevilla markkinoilla on panostettava tuotannon laatuun ja laajaan menetelmärakenteeseen. Uudella laajemmalla menetelmärakenteella Konepaja Häkkinen Oy pitää yllä vahvaa osaamistaan ja kilpailukykyä raskaassa konepajateollisuudessa.

LÄHTEET

- 1 Konepaja Häkkinen Oy, yritysesittely verkkodokumentti [viitattu 15.4.2010].
Saatavissa: <http://www.konepajahakkinen.fi>
- 2 VDI.3210. Deep hole drilling standard Part one. 2006
- 3 David A. Stephenson, John S. Agapiou: *Metal Cutting Theory and Practice second edition*. USA: CRC Press. 2006
- 4 AB Sandvik Coromant: *Modern Metal Cutting a Practical Handbook by Sandvik*. Sweden. 1994
- 5 Tapio Hacklin. Sähköpostiviesti 29.3.2010
- 6 AB Sandvik Coromant: Sandvik deep hole drilling catalogue. 2007
- 7 botek Präzisionsbohrtechnik GmbH verkkodokumentti [viitattu 30.4.2010].
Saatavissa: <http://www.botek.de>
- 8 Jürgen Ruof. sähköpostiviesti 2.3.2010



Laboratory Report

Castrol LabCheck

Fluid monitoring for optimum performance

Acc.-No. 9920003982402

TELKO OY

BOX 66

FINLAND 00581 ESPOO

Account Mgr.: Ingemar Andersson

Equipment No. LS1093

SFKonepajaHäkkinen/Pitkänreiänporaus Pitkänreiän poraus

Filling Date 01/09/2008

Comments



12/03/2010

| Vloemans, Karen

	S7695
Product No	I
Sample taken	411090
Arrival Date	10/03/2010
Particle Count	23/21/12
[_] ISO 4406	
Calcium, ppm	5872
[ppm] ASTM D4951	
Chrome, ppm	< 1
[ppm] ASTM D4951	
Ferro, ppm	3
[ppm] ASTM D4951	
Magnesium, % wt	19
[ppm] ASTM D4951	
Nickel, ppm	< 1
[ppm] ASTM D4951	
Foam Sequence I, Tendency	X
[ml] ASTM D892	

Whilst every care is taken in the preparation of this report, it is given on the understanding that we accept no liability for any error or omission.

Norra Hamnvägen 11, SE-115 42 Stockholm, Tel.: +46 8 4411122

cc: Tapio Häcklin; Leena Rajala



SCHLESINGER TEST

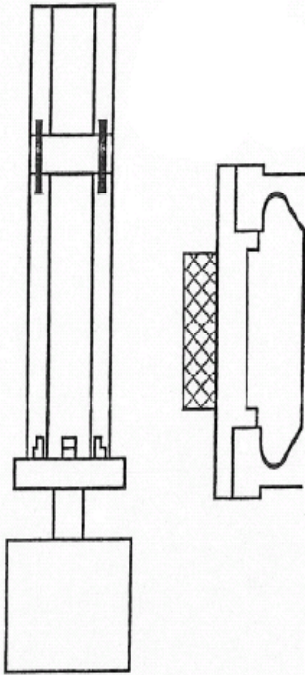
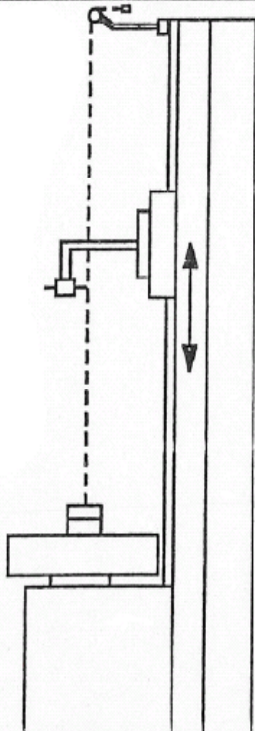
TEST PERFORMED BY: _____

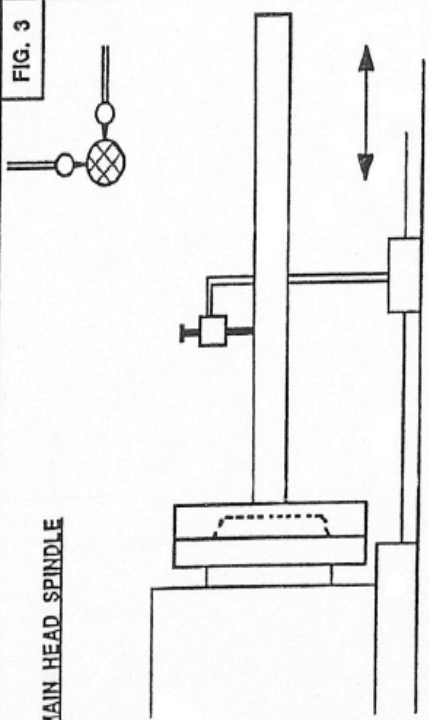
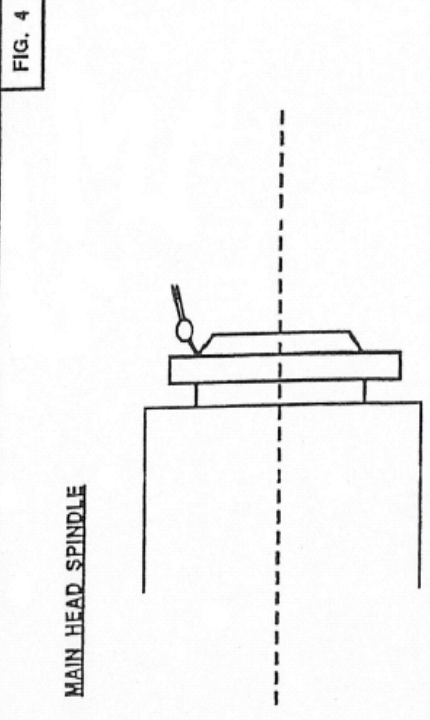
DATE: _____

TEST APPROVED BY: _____

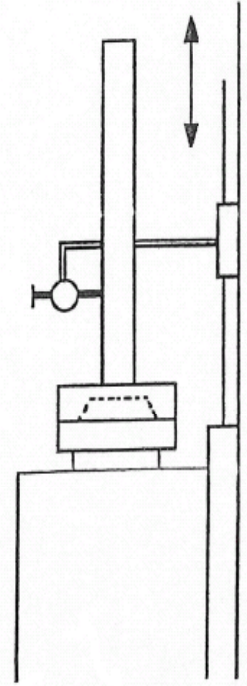
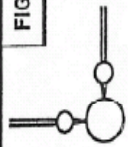
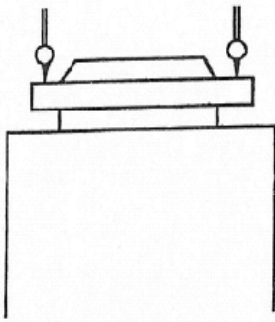
FOR CUSTOMER: _____

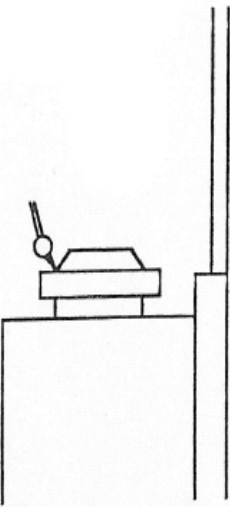
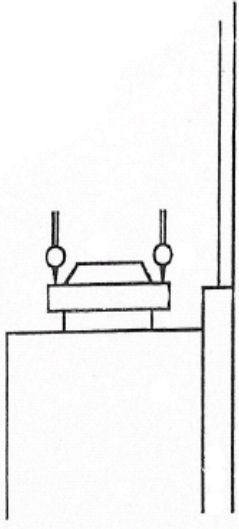
FOR TACCHI: _____

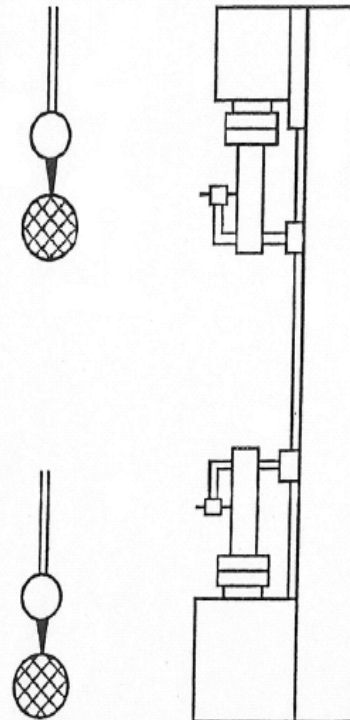
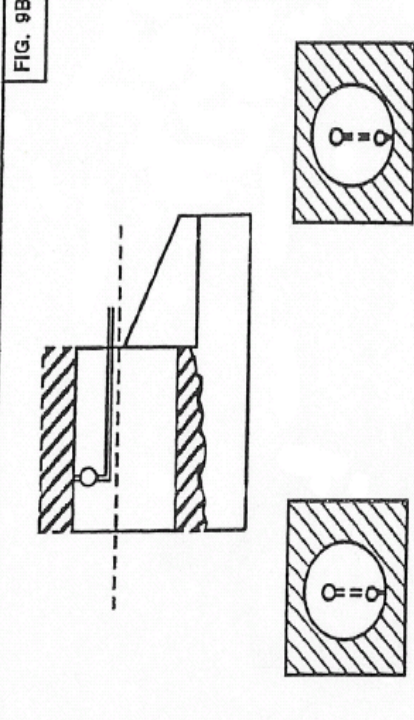
MACHINE BEING TESTED: SERIAL NUMBER: CUSTOMER:		SCHLESINGER TEST		
		MEASUREMENT TO BE TAKEN	ALLOWED TOLERANCE IN mm	MEASURED TOLERANCE IN mm
<p>OBJECT TO BE MEASURED</p> <p>FIG. 1</p>  <p>BED</p>		<p>LEVELNESS OF MACHINE IN LONGITUDINAL AND CROSS DIRECTIONS.</p> <p>FRONT AND REAR GUIDES IN LONGITUDINAL AND CROSS DIRECTION.</p>	<p>IN LONGITUDINAL DIRECTION:</p> <p>FOR TRAVEL LENGTH UP TO 2,000 mm:</p> <p>FOR TRAVEL LENGTH OF 2,000 - 5,000 mm:</p> <p>FOR TRAVEL LENGTH GREATER THAN 5,000 mm:</p> <p>FOR CROSS TRAVEL:</p>	
<p>FIG. 2</p>  <p>BED</p>		<p>STRAIGHTNESS OF MOVEMENT OF BORING SLIDE ON THE HORIZONTAL PLANE.</p> <p>MEASUREMENT IS TAKEN BY MEANS OF A WIRE AND MICROSCOPE.</p>	<p>IN LONGITUDINAL DIRECTION:</p> <p>FOR TRAVEL LENGTH UP TO 2,000 mm:</p> <p>FOR TRAVEL LENGTH OF 2,000 - 5,000 mm:</p> <p>FOR TRAVEL LENGTH GREATER THAN 5,000 mm:</p>	

MACHINE BEING TESTED:		SCHLESINGER TEST	
SERIAL NUMBER:		DATE PERFORMED:	
CUSTOMER:		MEASUREMENT TO BE TAKEN	ALLOWED TOLERANCE IN mm
OBJECT TO BE MEASURED		MEASURED TOLERANCE IN mm	
<p>MAIN HEAD SPINDLE</p> 	<p>PARALLELISM OF SPINDLE AXIS WITH RESPECT TO THE BED GUIDEWAYS, IN VERTICAL AND HORIZONTAL POSITION WITH 300 MM TEST CYLINDER</p>	<p>VERTICAL PLANE: HORIZONTAL :</p>	
<p>MAIN HEAD SPINDLE</p> 	<p>TRANSVERSAL OSCILLATION OF THE TAPERED SECTION OF THE MAIN SPINDLE</p>		

MACHINE BEING TESTED:		SCHLESINGER TEST		
SERIAL NUMBER:		DATE PERFORMED:		
CUSTOMER:		MEASUREMENT TO BE TAKEN	ALLOWED TOLERANCE IN mm	MEASURED TOLERANCE IN mm
OBJECT TO BE MEASURED	FIG. 5	AXIAL OSCILLATION OF THE MAIN SPINDLE (TEST TO BE DONE WITH A GAUGE)		
BORING HEAD SPINDLE	FIG. 6	PARALLELISM OF SPINDLE AXIS WITH RESPECT TO THE BED GUIDeways, IN VERTICAL AND HORIZONTAL POSITION WITH 300 MM TEST CYLINDER	VERTICAL PLANE: HORIZONTAL :	



MACHINE BEING TESTED:		SCHLESINGER TEST	
SERIAL NUMBER:		DATE PERFORMED:	
CUSTOMER:		MEASUREMENT TO BE TAKEN	
OBJECT TO BE MEASURED		ALLOWED TOLERANCE IN mm	MEASURED TOLERANCE IN mm
<p>FIG. 7</p> <p><u>BORING HEAD SPINDLE</u></p> 	<p>TRANSVERSAL OSCILLATION OF THE TAPERED SECTION OF BORING SPINDLE</p>		
<p>FIG. 8</p> <p><u>BORING HEAD SPINDLE</u></p> 	<p>AXIAL OSCILLATION OF THE TAPERED SECTION OF BORING SPINDLE (TEST TO BE DONE WITH A GAUGE)</p>		

SCHLESINGER TEST	
MACHINE BEING TESTED:	DATE PERFORMED:
SERIAL NUMBER:	MEASUREMENT TO BE TAKEN
CUSTOMER:	MEASUREMENT TO BE TAKEN
OBJECT TO BE MEASURED	ALLOWED TOLERANCE IN mm
MEASUREMENT TO BE TAKEN	MEASURED TOLERANCE IN mm
<p>ALIGNMENT OF SPINDLES</p>  <p>FIG. 9A</p> <p>ALIGNMENT OF SPINDLE AXES.</p> <p>MEASUREMENTS MUST BE TAKEN WITH:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) THE TEST CYLINDER IN THE MAIN HEAD AND IN THE BORING HEAD 2) GAUGE POSITIONED ON THE GUIDED SUPPORT ON THE BEDWAYS 	<p>VERTICAL PLANE:</p> <p>HORIZ. PLANE:</p>
<p>FIG. 9B</p>  <p>CONCENTRICITY IN COUNTERBORING OF OIL PRESSURE HEAD AND IN BORING BAR GUIDE SUPPORTS.</p> <p>MEASUREMENTS MUST BE TAKEN WITH THE GAUGE MOUNTED ON THE MAIN SPINDLE AND TOUCHING THE MEASUREMENT HOLE.</p> <p>BEFORE CONDUCTING THE TEST, THE MACHINE MUST RUN FOR TWO (2) HOURS AT MEDIUM SPEED IN ORDER FOR THE BEARINGS TO BE AT WORKING TEMPERATURE.</p>	<p><u>IN THE OIL PRESSURE HEAD:</u></p> <p>HORIZONTAL:</p> <p>VERTICAL:</p> <p><u>IN BORING BAR GUIDE SUPPORTS:</u></p> <p>HORIZONTAL:</p> <p>VERTICAL:</p>