

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Tuotekehitys

Tutkintotyö

Pasi Kerminen

**PITUUSLEIKKAIMEN KATKAISUTERIEEN TEROITUSHIONTA  
TEOLLISUUSROBOTILLA**

Työn ohjaaja  
Työn teettäjä  
Tampere 2007

TkL Matti Lähteenmäki  
Konepaja Enne Oy, valvojana toimitusjohtaja Pekka Enne

# TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

Tuotekehitys

Pasi Kerminen

Pituusleikkaimen katkaisuterien teroitushionta teollisuusrobotilla

Tutkintotyö

35 sivua + 7 liitesivua

Työn ohjaaja

TkL Matti Lähteenmäki

Työn teettäjä

Konepaja Enne Oy, valvojana toimitusjohtaja Pekka Enne

Heinäkuu 2007

Hakusanat

hionta, teroitus, robotti

## TIIVISTELMÄ

Pituusleikkain on paperin valmistuksen loppupäähän sijoittuva laitekokonaisuus. Sen tehtävänä on leikata paperikoneelta tuleva paperiraina asiakkaalle sopivan levyisiksi ja pituisiksi osarainoiksi. Paperirainan katkaisu pituusleikkaimella suoritetaan katkaisuterän ja vastaterän avulla.

Katkaisuterien teroitushiontaa on alihankkijan toimitusvaikeuksista johtuen jouduttu ajoittain tekemään käsityönä. Työtä pidettiin suhteellisen helposti automatisoitavana, joten sitä suorittamaan päätettiin suunnitella robottisovellus. Tämä tutkintotyö tehtiin osana robottisovelluksen suunnitteluprosessia.

Tämän tutkintoyön tarkoituksena oli tutkia teollisuusrobotin soveltuvuutta katkaisuterien teroitushiontaan. Robottihiontaa varten luotiin yksinkertainen toimintaympäristö, jossa suoritettiin hiontakokeita. Tavoitteena oli löytää välineet ja menetelmät, joita käyttämällä katkaisuterien teroitushionta robotilla olisi toteutettavissa taloudellisesti kannattavalla tavalla. Tätä tavoitetta ei saavutettu.

Hiontakokeista saatujen tulosten perusteella suurimmiksi ongelmiksi osoittautuivat teräaihion liiallinen kuumeneminen ja hiomalaikan kulumisesta johtuva asemoinnin epätarkkuus. Nämä ongelmat on pystyttävä ratkaisemaan ennen katkaisuterien tuotannolliseen teroitukseen soveltuvan robottisovelluksen toteuttamista.

TAMPERE POLYTECHNIC

Mechanical and Production Engineering

Product development

Pasi Kerminen

Engineering thesis 35 pages + 7 pages of appendixes

Thesis supervisor Matti Lähteenmäki (Tec. Lic.)

Commissioning Company Konepaja Enne Oy, supervisor Managing Director Pekka Enne

July 2007

Keywords grinding, sharpening, robot

## ABSTRACT

A slitting machine is an equipment entity, which is situated at the end part of paper making process. This equipment has to cut a paper web, which comes from paper machines to parts whose width and length are suitable for customers. Cross cutting of the paper web at the slitting machine is executed with a cutoff tool and a counter blade.

Sharpening grinding of the cutoff tools have periodically been performing by hand due to delivery difficulties at a subcontractor. Sharpening grinding were assumed to be easily automatised and therefore a robot application was decided to be planned. This thesis participated in a robot application planning process.

The aim of this thesis was to examine suitability of an industrial robot to sharpening grinding of the cutoff tools. For the purpose of robotic sharpening grinding was created a simple operating environment where grinding tests were done. The goal was to find the equipment and processes which make possible to do sharpening grinding of the cutoff tools with a robot at economically profit-making way. This goal was not reached.

The results of the grinding tests showed that biggest problems were overheating of a cutting preform and inaccuracy of positioning due to wearing of a grinding wheel. These problems have to be solved before executing of an industrial robotic cutoff tool sharpening process.

## ALKUSANAT

Tämä tutkintotyö on tehty Konepaja Enne Oy:lle joulukuun 2006 ja heinäkuun 2007 välisenä aikana. Minulle tarjoutui mahdollisuus osallistua tämän tutkintotyön puitteissa mielenkiintoiseen tuotannon kehitysprojektiin. Sekä robotiikka että hionta olivat minulle entuudestaan melko tuntemattomia konepajatekniikan osa-alueita, joten työ oli minulle alusta loppuun uuden oppimista.

Haluan kiittää toimitusjohtaja Pekka Ennettä mahdollisuudesta tehdä tutkintotyö Konepaja Enne Oy:lle. Kiitos kuuluu myös työn ohjaajalle Matti Lähteenmäelle.

Kiitos myös robotiikan asiantuntijoille Mika Mehtälälle ja Hannu Holmalle sekä hionnan asiantuntijalle Ahti Mäkelälle neuvoista ja ohjeista.

Tampereella

Pasi Kerminen

## SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ.....	2
ABSTRACT .....	3
ALKUSANAT.....	4
SISÄLLYSLUETTELO .....	5
1 JOHDANTO.....	7
2 KATKAISUTERÄ .....	7
3 HIOMALAITTEISTON SUUNNITTELU .....	8
3.1 Lähtötilanne .....	8
3.2 Tavoitteet .....	9
3.3 Toteutusvaihtoehdot .....	9
3.3 Kehityslinjat .....	9
3.3.1 Ensimmäinen kehityslinja .....	9
3.3.2 Toinen kehityslinja .....	10
4 HIONNAN TEORIAA .....	11
4.1 Hiomalaikan toiminta .....	11
4.2 Lastuamisvoimat.....	13
4.3 Hiomalämpö .....	13
4.4 Lämpöhaittojen ehkäisy teroitushionnassa.....	14
4.5 Materiaalin lastuttavuus hionnassa.....	14
4.6 Karbidien vaikutus hioma-aineen valintaan .....	16
4.7 Hiontamenetelmät.....	16
5 VALMISTELEVAT HIONTAKOKEET .....	17
5.1 Toimintaympäristön luominen .....	17
5.2 Työvälineet valmistelevissa hiontakokeissa.....	19
5.3 Valmistelevissa kokeissa esille tulleet ongelmat.....	21
5.3.1 Laikan asemointi hiottavaan hampaaseen nähden.....	21
5.3.2 Ohjelmoinnin hitaus ja epätarkkuus .....	21
5.3.3 Työkappaleen puutteellinen tuenta.....	22
5.4 Ratkaisuja esille tullessiin ongelmiin.....	22
5.4.1 Oikean teroitustuodon tuottava laikan asemointi .....	22
5.4.2 Ohjelman osan kopiointi ja numeerinen siirtäminen.....	23
5.4.3 Työkappaleen tuennan parantaminen .....	24

6 TOIMINTAYMPÄRISTÖN KEHITTÄMINEN.....	24
6.1 Oikosulkumoottori ja taajuusmuuttaja.....	24
6.2 Hiomakara .....	25
6.3 Hiomakoneen kiinnitys robottiin.....	25
7 HIONTAKOKEET .....	26
7.1 Hiontakoe 1 .....	27
7.2 Hiontakoe 2 .....	29
7.3 Hiontakoe 3 .....	29
7.4 Hiontakoe 4 .....	31
7.5 Tulosten arviointi.....	33
8 JATKOTUTKIMUKSET .....	33
9 YHTEENVETO .....	34
LÄHDELUETTELO .....	35
LIITTEET	

1 Paininlatan osakuva

2 Teräsihion aineodistus

3 Hiomakaran osakuvat ja kokoonpanokuva

## 1 JOHDANTO

Paperikoneen, päällystyskoneen tai kalanterin jälkeen valmis paperi on rullattuna konerullaksi. Konerullalla paperiraina on paperikoneen levyinen ja jopa 90 km pitkä. Pituusleikkaimella konerulla rullataan auki ja leikataan sekä rullataan asiakkaalle sopiviksi osarulliksi. Rainan jakamista kapeampiin osarainoihin kutsutaan pituusleikkaukseksi. Pituusleikkaus tapahtuu kahden pyörivän terän muodostamalla teräparilla. Kun osarullalle on rullattu asiakkaan toivoma määrä paperia, suoritetaan muutonvaihto, eli katkaistaan konerullalta tuleva paperiraina ja jatketaan rullausta uudelle osarullalle. /8./ Katkaisuterä on koneenosa joka katkaisee paperin muutonvaihdon yhteydessä.

Alihankkijoihin liittyvät taloudelliset tai muut epävarmuustekijät eivät saa vaarantaa kriittisten koneenosien toimitusta ensiasennuksiin tai varaosiksi. Vanhan alihankkijan ajauduttua taloudellisiin vaikeuksiin, Metso Paper antoi Konepaja Enne Oy:lle toimeksiannon järjestää WinRoll pituusleikkaimien katkaisuterien teroituksen.

Metso Paperin valmistaman WinRoll pituusleikkaimen yhteydessä katkaisuterä on enimmillään 14 metrin pituinen. Näin pitkien terien hiontaa suorittavia uusia alihankkijoita ei löytynyt. Joulukuussa 2006 Konepaja Enne Oy:ssä päätettiin ryhtyä tutkimaan mahdollisuutta rakentaa teollisuusrobottiin perustuva laitteisto katkaisuterien teroitushiontaan.

## 2 KATKAISUTERÄ

Katkaisuterän muoto ja mitat vaihtelevat käyttötarkoituksen mukaan. Tässä työssä katkaisuterällä tarkoitetaan muodoltaan sahanterämäistä, karkaistusta jousiteräsnauhasta valmistettua kappaletta, jonka hampaat ovat toiselta sivulta teroitettut. Teroituskulma on 20–40° terätyypistä riippuen. Katkaisuterien pituus vaihtelee välillä 130–14 000 mm ja paksuus välillä 0,8–3,0 mm katkaisuterän tyyppin mukaan. Myös hampaiden koko ja muoto vaihtelevat.

### 3 HIOMALAITTEISTON SUUNNITTELU

Suunnitteluprojektia koordinoi Konepaja Enne Oy:n toimitusjohtaja Pekka Enne. Konstruktiosuunnittelijaksi valittiin Pekka Koskelo, jolla on pitkä kokemus robotiikkaa hyödyntävien laitteiden suunnittelusta. Robotiikan asiantuntijoiksi valittiin Ari Honkanen, Hannu Holma ja Mika Mehtälä. Oma tehtäväni projektissa oli vastata käytännön hiontakokeista sekä osallistua robottihiontalaitteiston suunnitteluun.

#### 3.1 Lähtötilanne

Katkaisuterien teroitushiontaa aiemmin hoitanut alihankkija jatkoi toimintaansa, mutta oli varsinaisesta liiketoiminnastaan riippumattomasta syystä ajautunut vakaviin taloudellisiin vaikeuksiin. Tilapäisten toimitusvaikeuksien vuoksi katkaisuterien teroitusta oli jouduttu suorittamaan käsihiontana Konepaja Enne Oy:ssä. Katkaisuterien tilaaja Metso Paper oli halukas siirtämään teroituksen kokonaan Konepaja Enne Oy:lle.

Tilapäisjärjestelyinä käytetty teroitushionta käsin kulmahiomakonetta käyttäen onnistui, mutta siihen liittyi mm. ergonomisia ongelmia. Ongelmana oli myös teroituskulman saaminen oikeaksi ja samanlaisen teroituksen tekeminen joka hampaalle. Käsin hionnassa esiintyvien ongelmien ja lisääntyvien tuotantomäärien vuoksi teroitusprosessi haluttiin automatisoida.

Katkaisuterien teroitushiontaa varten Konepaja Enne Oy oli hankkinut vanhan, mutta lähes käyttämättömän Motoman SK 16 -teollisuusrobotin. Robotin valinnan perusteena olivat hyvät kokemukset samanlaisesta robotista hitsauskäytössä sekä edullinen hankintahinta. Robotin soveltuvuudesta kyseiseen teroitushiontaan ei ollut täyttä varmuutta.



### 3.2 Tavoitteet

Projektin tavoitteena oli soveltaa Motoman SK -16 teollisuusrobotti katkaisuterien teroitushiontaan.

### 3.3 Toteutusvaihtoehdot

Projektin aloituspalaverissa pohdittiin erilaisia vaihtoehtoja käyttää robottia pitkien terien teroitukseen. Tarkoitusta varten hankitun robotin työskentelyalue on parhaimmillaankin halkaisijaltaan vain n. kolme metriä, joten työkappaleen ja robotin on pitkien katkaisuterien teroituksen aikana liikuttava suhteessa toisiinsa. Toteutusvaihtoehdot voidaan jakaa kahteen ryhmään sen mukaan, liikkuuko työkappale vai robotti. Tarvittava liike voidaan toteuttaa monin eri tavoin.

### 3.3 Kehityslinjat

Suunnittelua päätettiin jatkaa kahdella eri kehityslinjalla. Ensimmäiseksi kehityslinjaksi valittiin vaihtoehto, jossa robotti liikkuu työkappaleen pysyessä paikoillaan. Toisena kehityslinjana päätettiin toteuttaa yksinkertainen toimintaympäristö, jossa sekä robotti että työpöytä ovat kiinteästi alustaan kiinnitetyt ja työkappaletta siirretään työpöydällä. Tässä nopeasti rakennettavassa ympäristössä voitaisiin aloittaa käytännön hiontakokeet oikeiden työmenetelmien löytämiseksi.

#### 3.3.1 Ensimmäinen kehityslinja

Robotille päätettiin suunnitella siirtorata, jonka vieressä työkappale on kiinnitettynä kiinteään työpöytäan. Vastaavanlaisesta järjestelystä on aikaisempaa kokemusta hitsaus- ja leikkaussovelluksissa. Tämän järjestelyn etuna on kiinteä työpöytä, jolle voidaan tarvittaessa asentaa suuria ja painavia työkappaleita. Lisäksi työpöydät voidaan asentaa siirtoradan kummallekin puolelle, jolloin saadaan hyödynnettyä paremmin robotin koko työalue.

### **Radan toteutussuunnitelma**

Robotille aiottiin rakentaa rata, jolla robotti liikkuu robotin ohjauksen ns. ulkoisen akselin ohjaamana. Robotti suorittaisi teroitushionnan ulottuvuutensa rajoissa esimerkiksi yhden metrin matkalla, jonka jälkeen se siirtyisi radalla uuteen asemaan. Hiontajakso toistettaisiin uudessa asemassa. Näin katkaisuterä teroitettaisiin koko pituudeltaan yhdellä työkappaleen asetuksella.

### **Ongelmat toteutussuunnitelmassa**

Katkaisuterien pituus on enimmillään 14 metriä. Näin pitkä rata on kallis toteuttaa ja se vaatii runsaasti lattiapinta-alaa. Pitkän koneen sijoitus nykyisiin toimitiloihin on ongelmallista.

Käytettävissä olevan robotin ohjaus ei sisällä ulkoisen akselin ohjausta. Sellainen voidaan asentaa, mutta ohjaus on melko kallis.

### **Indeksipaikoitus**

Toinen tapa toteuttaa robotin asemointi siirtoradalla on rataan asennettavat induktiiviset tai mekaaniset indeksipisteet. Tällöin robotin asema siirtoradalla ei ole tunnettu muualla kuin indeksipisteissä. Mekaaninen paikoitus on käytössä joissakin työstökoneiden kääntöpöydissä ja siirtoradoissa. Sen tarkkuus on tarkoitukseen riittävä, ja se on yksinkertainen toteuttaa silloin, kun paikoituspisteitä ei tarvita useita lähekkäin. /6./

## **3.3.2 Toinen kehityslinja**

Hiontakokeilut robotilla haluttiin aloittaa rinnakkain siirtoradan suunnittelun kanssa. Robotti ja työpöytä päätettiin asentaa kiinteästi samalle alustalle. Alustana päätettiin käyttää T-urin varustettua raskasta valurautaista hitsaajan työpöytää. Kiinteässä asennuksessa robotin työalueen pituuden arvioitiin olevan 1–2 metriä

työkappaleen kohdalla. Katkaisuterät ovat melko kevyitä käsitellä, joten päätettiin tutkia mahdollisuutta teroittaa työaluetta pidemmät terät siirtämällä terää työpöydällä manuaalisesti.

Teräaihioiden asemointi työpöydällä on saatava helpoksi ja tarkaksi. Asemoinnin helppouden merkitys korostuu, kun asetuksia joudutaan tekemään useita. Terän hampaiden muototarkkuus ei itsessään ole kriittinen tekijä, mutta teroitushionnan kohdistus laserleikatun aihion hammastukseen asettaa teräaihion asemoinnille tarkkuusvaatimuksia. Jos teroitushionta ja teräaihion hammastus eivät ole tarkasti kohdistettuja, jää teroitushionta vajaaksi tai ainetta poistuu liikaa. Ensimmäisessä tapauksessa terään ei muodostu terävää särmää, vaan laserleikkauspintaa jää terään. Toisessa tapauksessa terä kuumenee ja hiomalaikka kuluu tarpeettomasti ylimääräisestä aineen poistosta.

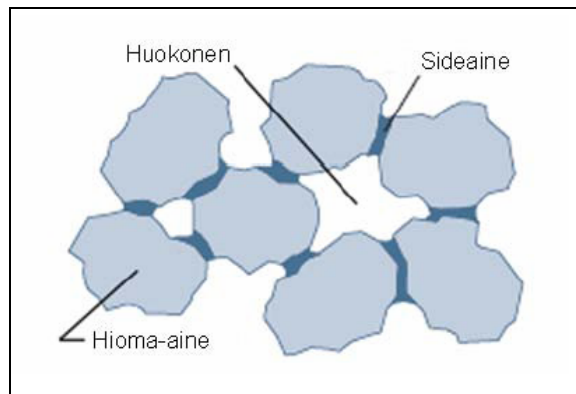
## 4 HIONNAN TEORIAA

Hionta on lastuava työstömenetelmä, jossa lastuavana osana on hiomarakeen särmä. Erotuksena terällä lastuaviin menetelmiin hionnassa lastuavan särmän geometria ei ole yksiselitteisesti määritettävissä. Lisäksi suuri joukko vaihtelevan muotoisia hiomarakeita lastuaa työkappaletta samanaikaisesti. /1; 9./

Työstötapahuman vaikeasta mallinnettavuudesta johtuen hionta on menetelmänä paljon huonommin tunnettu kuin terällä lastuavat menetelmät. Viime vuosikymmeninä hiovien menetelmien kehitys ei ole ollut yhtä voimakasta kuin terällä lastuavien menetelmien. /1./ Terällä lastuavat menetelmät ovat monissa käyttökohteissa syrjäyttäneet hionnan. Hionnalla on kuitenkin edelleen keskeinen asema hienotyöstöä vaativien kappaleiden valmistuksessa /1/.

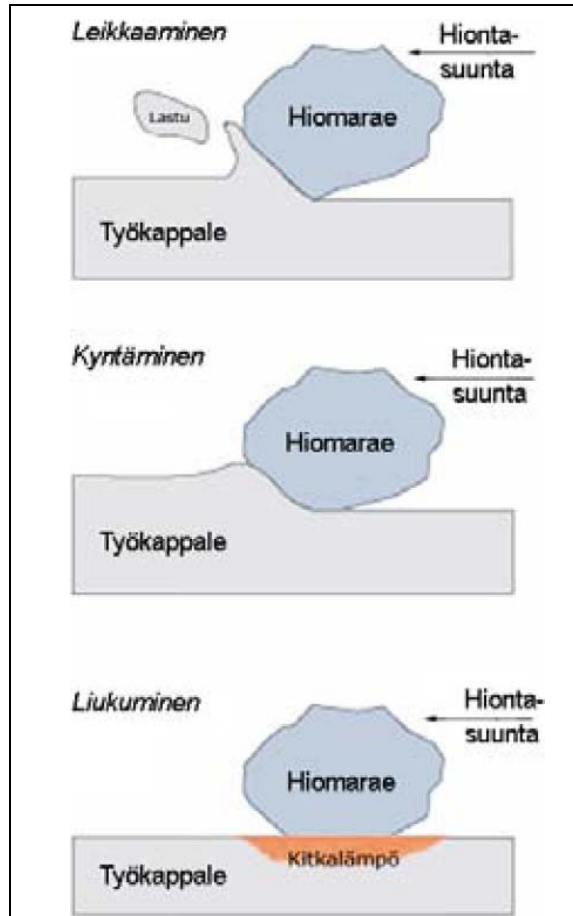
### 4.1 Hiomalaikan toiminta

Yleisimmin hionnassa käytetty työkalu on hiomalaikka. Hiomalaikka koostuu pääasiassa hioma- ja sideaineesta. Hioma-ainerakeet sijaitsevat laikassa satunnaisissa asennoissa. (kuva 1.)



**Kuva 1** Hiomalaikan rakennetta /9/

Hiomarakkeiden satunnaisesta muodosta ja asennosta johtuen työstön aikana tapahtuu hiomarakkeiden ja työkappaleen välillä kolmenlaista kosketusta: leikkaamista, kyntämistä ja liukumista (kuva 2). Aineen poistoa työkappaleesta tapahtuu vain leikkaavassa kosketuksessa.



**Kuva 2** Hionnassa esiintyy työkappaleen ja hiomarakeiden välillä leikkaavaa, kyntävää ja liukuvaa kosketusta /9/.

Hiottaessa hiomarakeiden lastuavat särmät tylsyvät kulumisen johdosta. Tällöin hiomarakeen tunkeutuminen aineeseen vaikeutuu eikä leikkaamista enää tapahdu. Hiomalaikan toimiessa toivotulla tavalla yksittäiset hiomarakeet irtoavat tylsyttyään. Laikka kuluu, mutta työkappaleen kanssa kosketuksissa olevat hiomarakeiden särmät ovat koko ajan teräviä. Tätä kutsutaan laikan itseteroittumiseksi. Itseteroittuvuuden nopeus riippuu laikan sideaineen lujuudesta ja työskentelyolosuhteista. Helposti itseteroittuvaa laikkaa sanotaan pehmeäksi ja vaikeasti itseteroittuvaa laikkaa kovaksi. Kovuus hiomalaikan yhteydessä ei siis viittaa hioma-aineeseen, vaan laikan rakenteeseen.

## 4.2 Lastuamisvoimat

Hionnassa lastuavan särmän rintakulma on hyvin negatiivinen. Keskimääräinen rintakulman arvo vaihtelee  $-30^{\circ}$  ja  $-40^{\circ}$  välillä /1/. Tästä johtuen tangentialisen voimakomponentin lisäksi tarvitaan suhteellisesti suuri normaalivoima, jonka vaikutuksesta hiomarae tunkeutuu työstettävään pintaan. Hionnassa lastuamisvoimat ovat kuitenkin pieniä verrattuna terällä lastuaviin menetelmiin /1/.

## 4.3 Hiomalämpö

Hiomarakeen särmän epäedullinen geometria aiheuttaa voimakkaan lastun tyssäytymisen ja suuren energiantarpeen irrotettua ainemäärää kohden /3/. Työstötapauhtuman aikana valtaosa käytetystä energiasta muuttuu lämmöksi. Työkappaleen pinnassa lämpötila voi paikallisesti kohota jopa arvoon  $1300^{\circ}\text{C}$  /1/. Korkea lämpötila aiheuttaa työkappaleessa hiomajännityksiä ja -säröjä sekä karkaistuilla materiaaleilla päästymistä tai uudelleenkarvenemista /9/. Syntyvä lämpöenergia on tarkoituksenmukaista saada siirtymään lastujen mukana pois työkappaleesta. Tämä onnistuu parhaiten suurilla lastuavirroilla, kun taas tarkkuushionnassa pienillä lastuamisarvoilla toimittaessa voi jopa 80 % syntyvästä lämpöenergiasta siirtyä työkappaleeseen /3/.

#### 4.4 Lämpöhaittojen ehkäisy teroitushionnassa

Lämpötila laikan ja työkappaleen kosketusalueella kohoaa edettäessä laikan pyörimissuuntaan /5/. Teroitettavan terän leikkusärmän palamisen välttämiseksi tulee laikan pyörimissuunta valita oikein. Laikan tulee pyöriä teroitettavaa leikkusärmää vastaan, eli hionta tulee suorittaa vastahiontana /2; 5/. Tällöin hiomarakeen lastuava särmä aloittaa lastuamisen työkappaleena olevan terän terävästä särmästä. Lastuaminen etenee ja hiontalämpötila kasvaa siirryttäessä kohti terän runko-osaa.

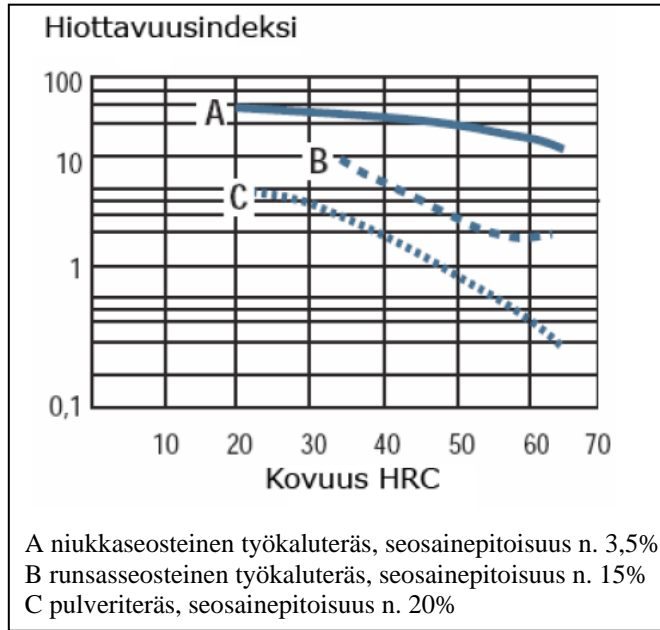
Työkappaleen pinnan kanssa kosketuksissa olevien hiomarakeiden särmien tulee pysyä koko ajan terävinä. Tämän vuoksi pyritään löytämään hiomalaikka, jonka itseteroittuvuus on sopiva kyseisiin työskentelyolosuhteisiin. Lisäksi laikka tulee usein teroittaa timantilla.

Vesijähdytyksellä voidaan alentaa hiontalämpötilaa enimmillään n. 20 – 40 % /3/. Teroitushionta tehdään kuitenkin yleensä ilman nestejäähdytystä /2/.

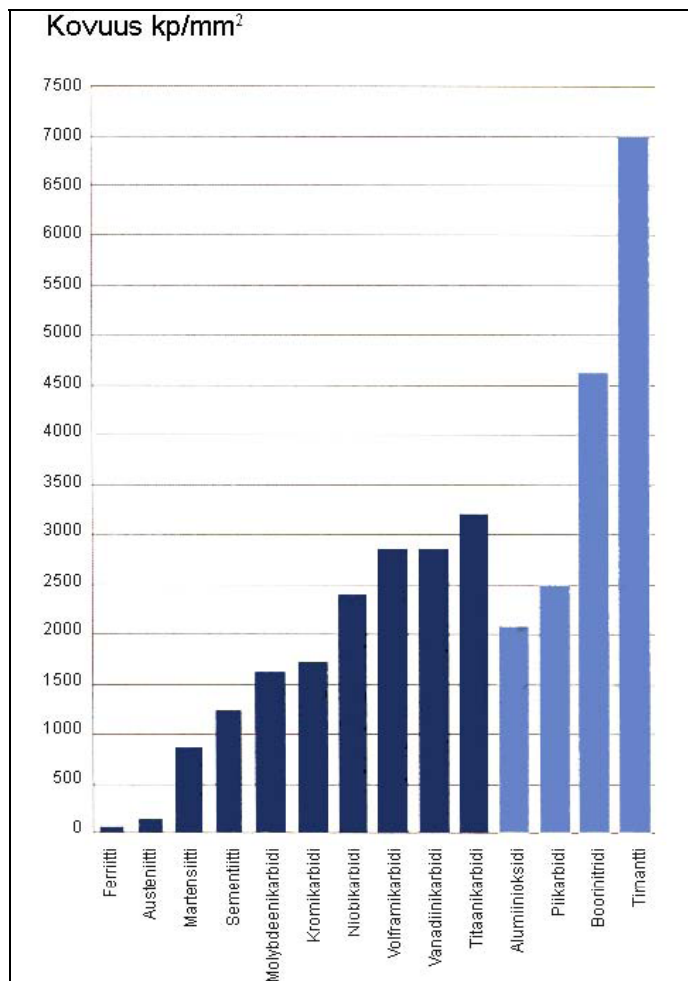
#### 4.5 Materiaalin lastuttavuus hionnassa

Materiaalin hiottavuuteen sisältyy ainakin kaksi osa-aluetta. Rouhittavuus kuvaa sitä, kuinka helposti ja nopeasti ainetta on poistettavissa. Viimeisteltävyys puolestaan kuvaa saavutettavaa pinnanlaatua. Nämä osa-alueet asettavat materiaalille usein ristiriitaisia vaatimuksia. /1./

Teräksen hiottavuuteen vaikuttavat sen kovuus ja lujuus. Kovuus vaikuttaa hiottavuuteen eniten runsasseosteisilla teräslaaduilla, joissa on paljon kovia karbideja. Niukkaseosteisten teräslaatuojen hionnassa ei yleensä esiinny suuria ongelmia (kuva 3). Jotkut teräksessä esiintyvistä karbidit ovat kovempia kuin yleisesti käytettävät hioma-aineet alumiinioksidi ja piikarbidi (kuva 4). /9./



**Kuva 3** Hiottavuuden riippuvuus kovuudesta vaihtelee teräksen seosainepitoisuuden mukaan. /9/



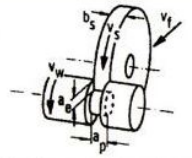
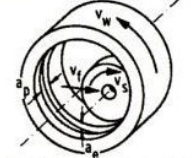
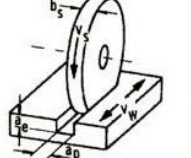
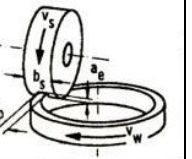
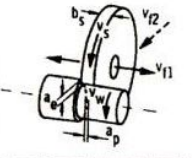
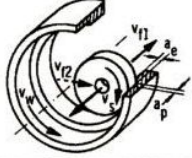
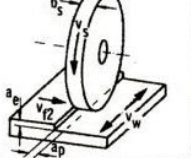
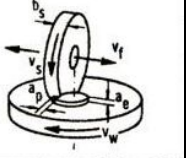
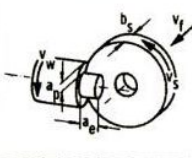
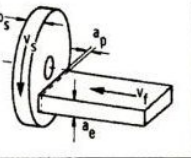
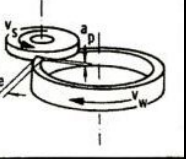
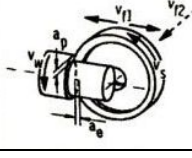
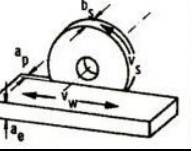
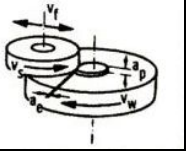
**Kuva 4** Neljän yleisimmän hioma-aineen kovuudet verrattuina teräksen perusmassan sekä seosaineiden muodostamien karbidien kovuuksiin /9/

## 4.6 Karbidien vaikutus hioma-aineen valintaan

Tavalliset alumiinioksidihiomalaikat soveltuvat hyvin niukkaseosteisille teräksille, joissa kovia karbideja on vähän ja yksittäiset karbidikiteet ovat pieniä. Teräksen perusmassan seassa olevien pienten yksittäisten hioma-ainetta kovempien partikkelien vaikutus hiomalaikan kulumiseen on vähäinen. Runsasseosteisille, runsaasti kovia karbideja sisältäville teräslaaduille boorinitridi on usein ainoa käyttökelpoinen hioma-aine. Timantti soveltuu huonosti teräksen hiontaan huonon lämmönkestävyytensä vuoksi. /9./

## 4.7 Hiontamenetelmät

Hiontamenetelmät jaetaan tavallisesti työkappaleen muodon mukaan pyörö- ja tasohiontaan. Toinen jako hiontamenetelmissä tehdään sen mukaan, käytetäänkö hiovana pintana hiomalaikan otsa- vai kehäpintaa. Otsa- ja kehähionta jaetaan edelleen syöttöliikkeen toteutuksen mukaan pisto- ja pituushiontaan (kuva 5). Näiden hiomamenetelmien lisäksi on olemassa erilaisia muotohiontamenetelmiä. /1./ Hiontaparametrien lyhenteet ja lyhenteiden selitykset on esitetty taulukossa 1.

	ulkopuolinen	sisäpuolinen	taso	kiekko
kehäpinta pistohionta				
kehäpinta pituushionta				
otsapinta pistohionta				
otsapinta pituushionta				

**Kuva 5** Hiontamenetelmien luokittelua /1/



**Taulukko 1** Hiontaparametrien lyhenteet ja selitykset /1/

Lyhenne	selitys
$V_S$	laikan kehänopeus
$V_f$	laikan syöttönopeus
$V_w$	työkappaleen syöttönopeus
$B_k$	laikan kontaktileveys
$b_s$	laikan leveys
$a_p$	asetussyvyys laikan akselin suunnassa
$a_e$	asetussyvyys laikan säteen suunnassa
$d_w$	työkappaleen halkaisija

Periaatteessa kaikilla hiontamenetelmillä on mahdollista saavuttaa yhtä hyvä hiomatulos. Käytännössä esimerkiksi työstökoneen ominaisuudet rajoittavat eri menetelmien käyttökelpoisuutta.

## 5 VALMISTELEVAT HIONTAKOKEET

Hiontakokeiden alkuvaiheessa tavoitteena oli luoda toimintaympäristö, jossa varsinaiset hiontamenetelmiä ja välineitä vertailevat kokeet voitaisiin suorittaa.

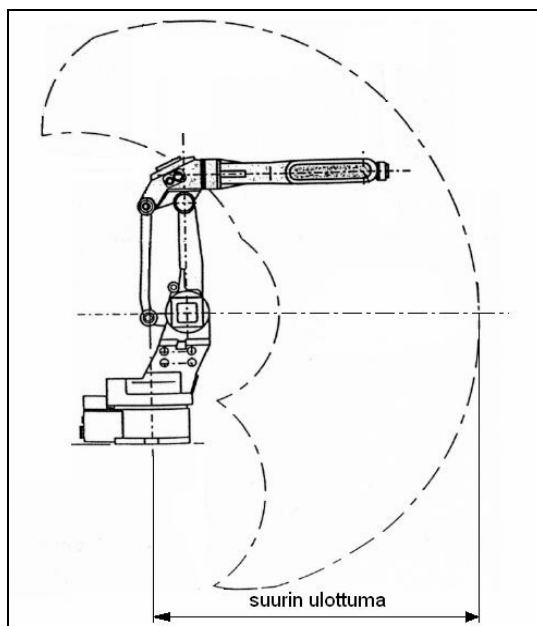
### 5.1 Toimintaympäristön luominen

Lähtökohtana hiontakokeille oli tarkoitusta varten hankittu Motoman SK16 -teollisuusrobotti. Robotti kiinnitettiin massiiviselle valurauta-alustalle. Kiinnitysalustan valintaperusteina olivat riittävä jäykkyys ja tuki robotille sekä kiinnityksien säädettävyys. Työkappaleiden kiinnittämistä varten rakennettiin yksinkertainen työpöytä, joka kiinnitettiin samalle alustalle robotin eteen (kuva 6).



**Kuva 6** Robotti ja työpöytä asennettuina massiiviselle metallilaatalle

Robotin ulottuvuus on paras L-akselin korkeudella (kuva 7). Työpöydän korkeus valittiin siten, että työkappale asettuu parhaan ulottuvuuden korkeudelle. Työpöytä kiinnitettiin alustan T-uriiin. Kiinnitystavasta johtuen robotin ja työpöydän keskinäistä etäisyyttä pystytään helposti säätämään.



**Kuva 7** Motoman SK 16 -robotin ulottuvuus on paras L-akselin korkeudella.

Työpöydän ja robotin keskinäistä etäisyyttä muuttamalla optimoitiin robotin ulottuvuuden mahdollistama työskentelypituus työpöydällä. Robotin ulottuvuus L-akselin korkeudella on rengasmaisen alue, jonka sisähalkaisija on n. 1 m ja ulkohalkaisija n. 3 m. Robottiin kiinnitettävän työkalun mitat ja kiinnitysasento luonnollisesti vaikuttavat lopulliseen ulottuvuuteen. Kokeilujen jälkeen työpöydän robotin puoleinen reuna asetettiin 800 mm etäisyydelle robotin S-akselista. Tällöin saavutetaan yli 2 m työskentelypituus työpöydän reunalla. Ohjelmoinnin helpottamiseksi työpöytä säädettiin robotin koordinaatiston Y-akselin suuntaiseksi.

## 5.2 Työvälineet valmistelevissa hiontakokeissa

Katkaisuteriä oli teroitettu käsityönä kulmahiomakoneella. Aloitettaessa hiontakokeita robotilla pidettiin lähtökohtana käsinhionnasta saatuja kokemuksia. Robottihiontaan valittiin samankaltaiset työvälineet kuin käsityönä tehdyssä teroituksessa oli käytetty.

Hiomakoneeksi valittiin 125 mm laikkakoolle tarkoitettu paineilmatoiminen ATA RA14-125 PA4 -kulmahiomakone. Kulmahiomakoneen tyyppin valintaperusteena oli helppo kiinnitettävyyys robottiin. Valitussa koneessa runko-osan keskellä oli lieriömäinen olakkeellinen metalliosa, josta hiomakone oli helppo kiinnittää sopivaan työkalupitimeen.

Robotin työkalun kiinnityslaippaan oli asennettu törmäyssuoja. Sopiva työkalupidin kiinnitettiin törmäyssuojaan. Kulmahiomakone asennettiin työkalupitimeen, jossa sen asentoa oli vielä mahdollista säätää (kuva 8). Hiomalaikkana käytettiin puolijoustavaa Flexovit A36 -hiomalaikkaa. Laikan halkaisija oli 125 mm.



**Kuva 8** Kulmahiomakone ja törmäyssuoja kiinnitettyinä robottiin

Teräaihiot kiinnitettiin robotin edessä olevalle työpöydälle pikakiinnittimin. Teräaihion päällä oli lattarauta, jonka tarkoituksena oli tasata pikakiinnittimien teräaihiota työpöytää vasten puristava voima koko työskentelypituudelle. Lattarauta jouduttiin jättämään melko kauas hiontakohdasta, jotta vältettäisiin laikan törmäys lattarautaan. (kuva 9.)



**Kuva 9** Pikakiinnittimien painama lattarauta puristaa työkappaletta työpöytää vasten.

Asemointi terän leveyssuunnassa tapahtui mittaamalla etäisyys pöydän reunasta teräaihion hampaan kärkeen. Asemointi pituussuunnassa ei ollut tässä vaiheessa määritetty. Myöhemmin oli tarkoituksena suunnitella pöytään kiinnitettävät mekaaniset paikoittimet eri katkaisuterätyypeille.

### **5.3 Valmistelemissä kokeissa esille tulleet ongelmat**

Valmistelemissä hiontakokeissa tuli esille kolme ongelmaa:

- hiomalaikan asemoinnin vaikeus
- ohjelmoinnin hitaus ja epätarkkuus
- työkappaleen tuennan puutteellisuus.

#### **5.3.1 Laikan asemointi hiottavaan hampaaseen nähden**

Käsityönä suoritettavassa hionnassa kulmahiomakoneen laikan sovittaminen hiottavaan hammasväliin ei ole ongelmallista. Ihmiskäden ja silmän yhteistyönä aikaansaattavan liikkeen koordinointi on ylivertainen verrattuna useimpiin konesovelluksiin. Robottiin kiinnitetyn hiomakoneen laikan paikoittaminen työkappaleen hammasväliin oikean teroituskulman tuottavaan asentoon osoittautui todella merkittävästi käsihiontaa haastavammaksi. Halutun teroitusmuodon aikaansaaminen vaikutti lähes mahdottomalta hiomalaikalla, joka geometrialtaan vastaa lähinnä suoraa ympyrälieriötä.

#### **5.3.2 Ohjelmoinnin hitaus ja epätarkkuus**

Seuraava ongelma hiontakokeissa oli robotin ohjelmoinnin toteutustavan sovittaminen kyseiseen työhön sopivaksi. Robottiohjelma koostuu asemapistelistä sekä tiedosta, miten ja milloin pisteiden välinen matka siirrytään /7/. Pisteet määritetään perustyyppin ohjelmoinnissa ajamalla robotti käsihjouksella haluttuun asemaan ja tallentamalla piste.

Edellä kuvattu ohjelmointitapa on ns. opettamalla ohjelmointia. Se soveltuu hyvin yleisimpiin käyttökohteisiin, kuten hitsaukseen ja kappaleenkäsittelyyn. Tässä sovelluksessa tallennettavia pisteitä yhden terän teroitukseen tarvitaan kuitenkin kymmeniä tuhansia. Näin monen pisteen riittävän tarkka asemointi käsiajolla on lähes mahdoton tehtävä. Ohjelmointikokeissa todettiin pian, että oli otettava käyttöön jonkinlaiset numeeriset ohjelmointikeinot.

### **5.3.3 Työkappaleen puutteellinen tuenta**

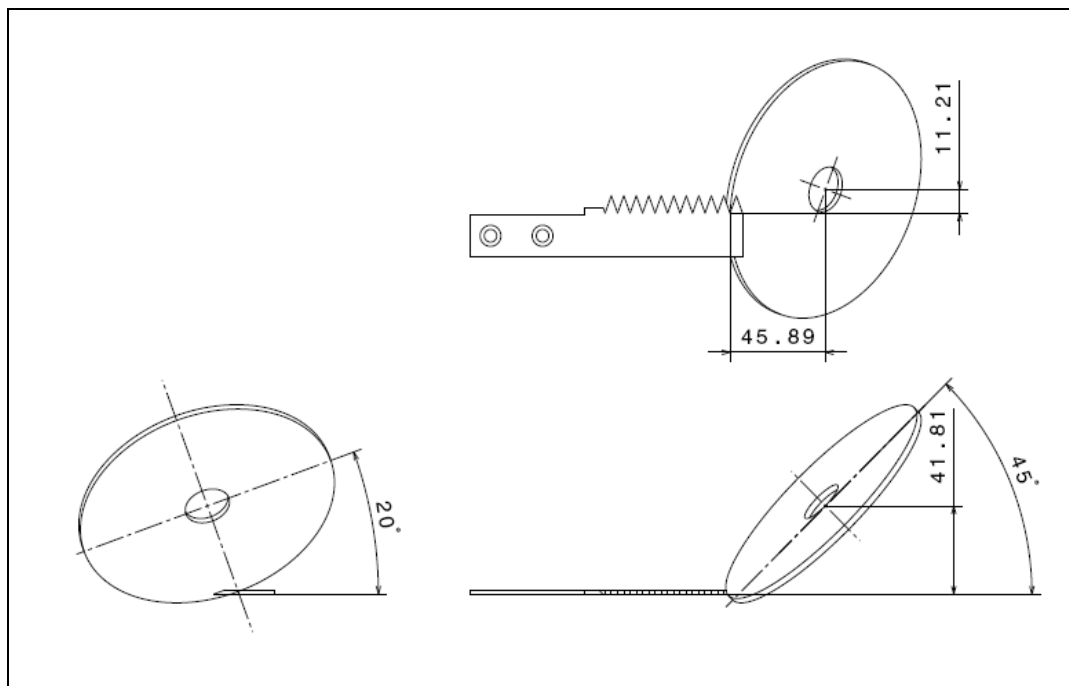
Työpöydän pinta ei ollut aivan tasomainen, eikä työkappale asettunut tiiviisti pöydän pintaan. Painettaessa katkaisuterää lattaraudan välityksellä työpöytä vasten katkaisuterän hiottava reuna kohosi irti pöydän pinnasta. Lisäksi lattarauta jouduttiin jättämään melko kauas hiontakohdasta, jotta hiomalaikka ei törmäisi siihen hionnan aikana. Tästä seurasi työkappaleen haitallista joustoa hiomalaikan painaessa yhtä piikkiä kerrallaan kiinni työpöydän pintaan.

## **5.4 Ratkaisuja esille tulleisiin ongelmiin**

Alustavissa hiomakokeissa esille tulleet ongelmat oli ratkaistava ennen varsinaisten hiomakokeiden aloittamista. Hiomalaikan asemointiin ja työkappaleen tuentaan liittyvät ongelmat pystyttiin ratkaisemaan tyydyttävällä tavalla yksinkertaisin järjestelyin. Myös ohjelmointinopeutta pystyttiin parantamaan merkittävästi. Ohjelmoinnin tarkkuuteen jäi vielä mm. robotin joustosta aiheutuvia epävarmuustekijöitä.

### **5.4.1 Oikean teroituserämuodon tuottava laikan asemointi**

Hiomalaikan asemoinnin tutkimiseksi työkappaleesta ja hiomalaikasta tehtiin 3D-malli. Mallia muokkaamalla löydettiin oikea asemointi. Halutun teroituserämuodon hampaan yhdelle kyljelle antavasta laikan asemoinnista luotiin mitoitettut tasokuvat (kuva 10).



**Kuva 10** Oikean teroitusmuodon antava laikan aseointi koetilanteessa

### 5.4.2 Ohjelman osan kopiointi ja numeerinen siirtäminen

Ohjelmoinnin lisäominaisuudet mahdollistavat ohjelman tai ohjelman osan kopioimisen. Kopiointi toistaa ohjelman liikkeet samanlaisina ja samassa asemassa. Yhden hampaan onnistuneen hiontaohjelman hyödyntäminen uusien hampaiden kohdalla edellyttää tallennettujen ohjelmapisteiden koordinaattien muuttamista.

Numeerinen pisteiden siirto siirtää koko ohjelman kaikkien pisteiden aseman siirtotaulukossa määritetyn matkan. Siirtotaulukkoon määritetään numeerisesti halutun siirron mukaiset arvot kuudelle vapausasteelle. Siirtotoiminto vaikuttaa aina koko ohjelmaan.

Onnistuneesti määritettyjen liikkeiden toistaminen uudessa asemassa ratkaistaan apuohjelmalla. Siirrettäväksi aiottu ohjelman osa kopioidaan apuohjelmaan. Haluttu siirto suoritetaan apuohjelmassa. Lopuksi siirretty ohjelman osa kopioidaan takaisin alkuperäiseen ohjelmaan.

Tällä menetelmällä on mahdollista kopioida yhden hampaan tai hammasryhmän onnistunut hionta ja toistaa samat liikkeet uusien hampaiden tai hammasryhmien

kohdalla. Menettelytapa vähentää käsiajolla tehtävän paikoituksen ja koehionnan määrää. Ohjelmointi nopeutuu merkittävästi perustyypin ohjelmointiin verrattuna.

### **5.4.3 Työkappaleen tuennan parantaminen**

Työpöydän pinta koneistettiin työkappaleen paremman istuvuuden saavuttamiseksi. Pikakiinnittimien ja työkappaleen välissä olevan lattaraudan tilalle suunniteltiin paininlatta. Paininlattan muoto suunniteltiin sellaiseksi, että se kohdistaa suuren osan puristusvoimasta mahdollisimman lähelle hiontakohtaa. Paininlatta valmistettiin koneistamalla valmistuspiirustuksen mukaan (liite 1).

## **6 TOIMINTAYMPÄRISTÖN KEHITTÄMINEN**

Hiontakokeiden aikana esille tulleiden ongelmien ratkaiseminen edellytti toimintaympäristön kehittämistä. Ongelmiin kysyttiin neuvoa Penope Oy:n hiomatarvikemyyjä Ahti Mäkelältä. Mäkelä /5/ kehotti heti luopumaan kulmahiomakoneesta karkaistujen terien teroituksessa. Kokemuksensa perusteella hän kehotti kokeilemaan oikosulkumoottoriin ja taajuusmuuttajaan perustuvaa hiomakonetta sekä alumiinioksidi-hiomalaikkoja keraamisella sideaineella.

### **6.1 Oikosulkumoottori ja taajuusmuuttaja**

Hiomakone suunniteltiin Mäkelän /5/ ohjeiden mukaan. Moottoriksi valittiin Siemens 1LA7080-2AA60 -oikosulkumoottori. Moottorin laakerointi oli hiontakäyttöä varten tehty pituussuunnassa välyksettömäksi. Valitun moottorin nimellisteho oli 750 W ja nimellispyörimisnopeus 2855 /min.

Moottoria ohjaamaan valittiin ABB ACS50-01E-04A3-2 -taajuusmuuttaja. Taajuusmuuttajalla saatiin moottorin pyörimisnopeus ja hiomalaikan kehänopeus säädettyä sopiviksi. Lisäksi taajuusmuuttaja mahdollisti suunnanvaihdon ja pehmeän käynnistyksen. Hiomakoneen pyörimissuuntaa on pystyttävä vaihtamaan, jotta kaikissa hiontatilanteissa voidaan käyttää oikeaa hiontasuuntaa.



## 6.2 Hiomakara

Hiomalaikka oli saatava kiinnitettyä moottorin akselille. Tätä tarkoitusta varten suunniteltiin hiomakara (liite 3). Karan suunnittelussa otettiin huomioon laikan kiinnityksen luotettavuus molemmilla pyörimissuunnilla. Akselista pyöritettäessä ja laikasta jarrutettaessa laikan kiinnitys ei saa löystyä. Tavallisesti hiomakoneissa myötäpäivään pyörivä laikka on kiinnitetty oikeakätisellä ja vastapäivään pyörivä laikka vasenkätisellä kierteellä olevalla kiinnitysmutterilla. Kahteen suuntaan pyörivällä hiomakoneella on huolehdittava, ettei laikan kumpaankaan suuntaan tapahtuva pyörähtäminen akselilla aiheuta kiinnitysmutterin löystymistä. Tämän varmistamiseksi hiomalaikan ja kiinnitysmutterin välisen tukilaidan reikä ja karan poikkileikkaus ko. kohdassa suunniteltiin neliömäisiksi.

Hiomalaikan tukilaidpojen tulee olla halkaisijaltaan puolet laikan nimellishalkaisijasta. Sopiva laipan paksuus on 7 mm käytettäessä halkaisijaltaan 150 mm hiomalaikkoja. /5./

Kara kiinnittyy moottorin akselille akselin päässä olevaan kierrereikään tulevalla ruuvilla. Karan pyörähtäminen akselilla on estetty kiilalla.

## 6.3 Hiomakoneen kiinnitys robottiin

Oikosulkumoottorista ja hiomakarasta koostuva hiomakone kiinnitettiin robotin törmäyssuojaan sovitelaidan avulla (kuva 11). Kiinnitysasento ei ole ihanteellinen robotin ulottuman kannalta. Tässä kiinnitysasennossa saadaan kuitenkin hiomakoneen massa mahdollisimman lähelle robotin ranneniveltä.

Oikosulkumoottoriin perustuvan hiomakoneen massa on n. 14 kg. Suurin sallittu kuorma SK 16 -robotille on 16 kg. Toimittaessa suurella kuormalla on tärkeää, että massa sijaitsee lähellä robotin ranneniveltä /6/.



**Kuva 11** Hiomakone kiinnitettynä robottiin

## 7 HIONTAKOKEET

Kokeiden tarkoituksena oli etsiä oikeita hiontamenetelmiä ja sopivia parametreja sekä selvittää laikan kulumisesta johtuvia ongelmia. Oletuksena oli, että hiomalaikan kulumisesta aiheutuu muutos hampaan geometriassa ja muutos on otettava huomioon robotin liikkeitä määräävässä ohjelmassa.

Koekappaleina hiontakokeissa käytettiin katkaisuterien lyhintä mallia. Siinä teroitettava osa on vain 70 mm pituinen. Symmetrisien hampaiden kärkikulma on  $40^\circ$ . Teroituskulma terän poikkileikkauksen tasossa on  $20^\circ$ . Hampaat ovat 6 mm jaolla. Materiaali on 2 mm paksua karkaistua jousiterästä. Materiaalin tiedot on esitetty aineodistuksessa (liite 2). Aineodistuksessa ilmoitetaan materiaalin lujuudeksi  $1380 / 1392 \text{ N/mm}^2$ . Normin DIN 50 150 mukaan kovuuden voidaan arvioida tällöin olevan n. 44 HRC /4/. Tähän kovuuteen karkaistun niukkaseosteisen teräksen hionta ei yleensä aiheuttaa ongelmia /9/.

Teräsihiot laserleikattiin jousiteräsnauhasta. Teroituskulman mukaista muotoa ei tehty leikkausvaiheessa, vaan teräsihiot leikattiin pintaa vasten kohtisuorasti.

## 7.1 Hiontakoe 1

Ensimmäinen koe suoritettiin ATA RA14-125 PA4 -kulmahiomakoneella ja puolijoustavalla Flexovit A36 -hiomalaikalla. Käytetyssä kulmahiomakoneessa ei ollut pyörimisnopeuden säätöä. Sen nimellispyörimisnopeus oli 12 000 kierrosta minuutissa. Pienellä rasituksella laikka pyöri lähes nimellispyörimisnopeudella, jolloin halkaisijaltaan 125 mm laikan kehänopeus oli 78,5 m/s.

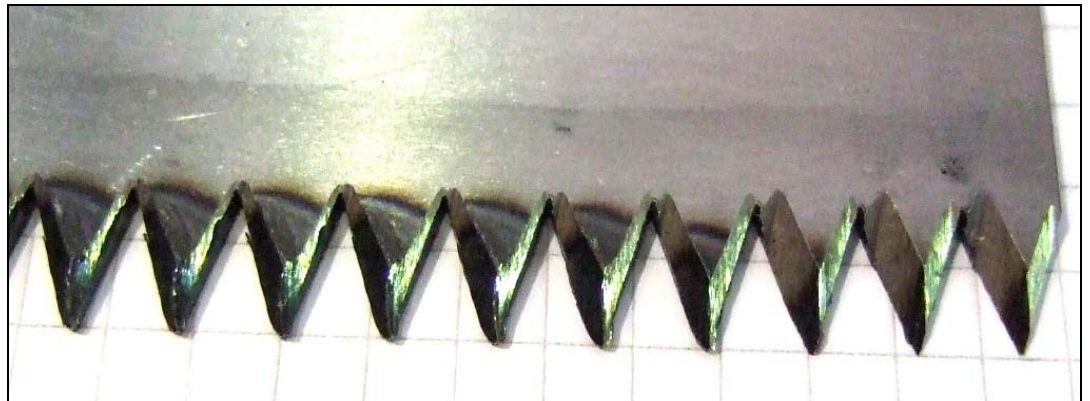
Flexovit A 36 -hiomalaikka on tarkoitettu hiomaan ainoastaan laikan kyljellä, joten hiomatyypinä käytettiin otsahiontaa. Kokeessa 1 syöttöliike toteutettiin ohjelmointiteknisesti yksinkertaisimmalla tavalla pistohiontana. Laikka siirtyi kappaleen pintaa vastaan kohtisuoralla syöttöliikkeellä asetusvyvyteen. Syöttönopeutena käytettiin pienintä robotin ohjauksen mahdollistamaa syöttönopeutta 0,1 mm/s. Kokeen 1 koejärjestelyt on esitetty taulukkomuodossa (taulukko 2). Ylimääräisten liikkeiden vähentämiseksi robotti ohjelmoitiin hiomaan ensimmäisessä vaiheessa kaikkien hampaiden ensimmäinen kylki, kääntämään hiomakone uuteen asentoon ja hiomaan toisessa vaiheessa hampaiden toinen kylki.

**Taulukko 2** Koejärjestelyt hiontakokeessa 1

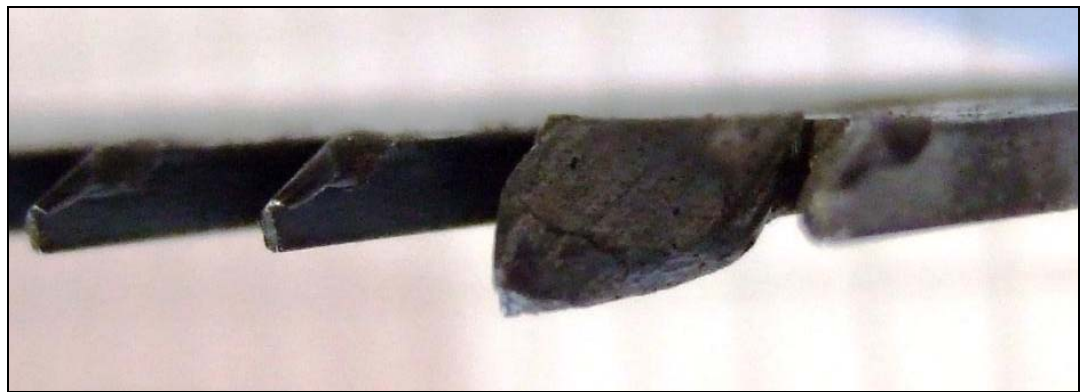
Hiomakone:	125 mm kulmahiomakone
Laikka:	Flexovit A36 125 mm
Hiontamenetelmä:	otsapinnan pistohionta
Hiontaparametrit:	
$V_s$	80 m/s
$V_f$	0,1 mm/s
$a_e$	13 mm
$a_p$	1,45 mm

Tällä koejärjestelyllä pystyttiin teroittamaan kolme hampaan kylkeä (kuva 12). Tämän jälkeen hiomarakeet olivat tylsyneet eikä ainetta enää irronnut työkappaleesta toivotulla tavalla. Hiomarakeiden ja työkappaleen välinen kosketus muuttui leikkaamisesta liukumiseksi. Aineen irtoaminen väheni ja lämpötila hiottavassa hampaassa kasvoi. Hiomalämpötilan kasvu näkyy sinistyneen alueen

kasvamisena hionnan etenemissuuntaan. Jatkettaessa hiontaa tylsyneellä laikalla terän hampaat kuumenivat ja pehmenivät sekä lopulta 12 hampaan jälkeen vääntyvät hiontalaikan painaessa niitä edellään (kuva 13). Tylsyneellä laikalla hiottaessa katkaisuterän hampaat eivät teroittuneet ja niihin muodostui runsaasti pursetta.



**Kuva 12** Ensimmäisessä hiontakokeessa ensimmäisen puolen hionta on onnistunut kolmessa hampaassa.



**Kuva 13** Ylikuumentunut ja hiomalaikan edellä taipunut hammas

Ensimmäisen hiontakokeen tulosten perusteella päätettiin, ettei kokeita jatketa kulmahiomakoneella ja sille tarkoitetuilla laikkatyypeillä. Menetelmä, joka oli toimiva käsinhionnassa, ei näyttänyt soveltuvan robottihiontaan. Laikan nopean kulumisen ja lämpöongelmien pääteltiin johtuvan materiaalille sopimattomista laikan kehänopeudesta ja muista hiontaparametreista.

## 7.2 Hiontakoe 2

Toinen koe suoritettiin oikosulkumoottoriin perustuvalla hiomakoneella ja Universal WA 603 M4V LGAA -hiomalaikalla. Hiomalaikan kehänopeudeksi tämän tyypissä teroitushionnassa suositeltiin 25 m/s /5/. Hiomakoneen pyörimisnopeudeksi säädettiin taajuusmuuttajan avulla 3200 kierrosta minuutissa, jolloin halkaisijaltaan 150 mm laikan kehänopeus oli suosituksen mukainen.

Universal WA 603 M4 LGAA on alumiinioksidihiomalaikka keraamisella sideaineella. Laikan kehäpintaa ja kumpaakin otsapintaa voi käyttää hiontaan.

Kokeessa 2 käytettiin hiontamenetelmänä kokeen 1 tapaan otsapinnan pistohiontaa. Lastuamisnopeutta lukuun ottamatta kaikki hiontaparametrit pidettiin samoina, kuin kokeessa 1. Kokeessa käytetyt koejärjestelyt on esitetty taulukkomuodossa (taulukko 3).

### Taulukko 3 Koejärjestelyt hiontakokeessa 2

Hiomakone:	0,75 kW oikosulkumoottori
Laikka:	Universal WA 603 M4V LGAA
Hiontamenetelmä:	otsapinnan pistohionta
Hiontaparametrit:	
$V_s$	25 m/s
$V_f$	0,1 mm/s
$a_e$	13 mm
$a_p$	1,45 mm

Kokeen 2 tulokset olivat täysin yhteneväiset kokeen 1 tulosten kanssa. Koe keskeytettiin ennen koekappaleen hampaiden sulamista.

## 7.3 Hiontakoe 3

Kolmannessa kokeessa vaihdettiin hiontatapa otsapinnan pistohionnasta kehäpinnan pistohiontaan. Syöttöliikkeen suunnan muutosta lukuun ottamatta kaikki hiontaparametrit ja välineet pidettiin ennallaan. Kokeen 3 koejärjestelyt on esitetty taulukkomuodossa (taulukko 4). Koe tehtiin kolmelle koekappaleelle. Laikka teroitettiin timantilla ennen jokaisen koekappaleen hiontaa.

**Taulukko 4** Koejärjestelyt hiontakokeessa 3

Hiomakone:	0,75 kW oikosulkumoottori
Laikka:	Universal WA 603 M4V LGAA
Hiontamenetelmä:	kehäpinnan pistohionta
Hiontaparametrit:	
$V_s$	25 m/s
$V_f$	0,1 mm/s
$a_e$	13 mm
$a_p$	1,45 mm

Kehäpinnan pistohiontaa käytettäessä päästiin merkittävästi otsapinnan pistohiontaa parempiin tuloksiin. Teroituksesta saatiin oikean muotoinen ja terävä. Koekappaleet kuumentivat kuitenkin edelleen liikaa. Koekappaleen alapinnassa liiallinen kuumentuminen näkyi palojälkenä hampaiden koko alueella (kuva 14).



**Kuva 14** Palojälkiä kolmannen hiontakokeen toisen koekappaleen alapinnalla

Laikan kohdistus koekappaleen hampaisiin nähden muuttui toisen ja kolmannen koekappaleen välillä. Tämä näkyi hampaiden oikean puolen hiontavaiheessa syntyneenä kosketusjälkenä hampaiden vasemmassa kyljessä (kuva 15). Kohdistuksen muuttuminen johtui ilmeisesti epätarkkuudesta laikan kulumisen aiheuttaman mittamuutoksen korjauksessa.





**Kuva 15** Kolmannen hiontakokeen toinen ja kolmas koekappale

#### 7.4 Hiontakoe 4

Neljännessä kokeessa hiomalaikka vaihdettiin hieman pehmeämmäksi paremman itseteroittuvuuden saavuttamiseksi. Työkappaleen kuumenemisen vähentämiseksi hionta jaettiin useampaan kerrokseen. Yhden hampaan yhden kyljen teroitus tehtiin nyt kymmenessä vaiheessa aiempien kokeiden yhden vaiheen sijaan.

Syöttönopeutta nostettiin samalla kun asetussyvyyttä pienennettiin. Materiaalin poistonopeus kuitenkin laski kokonaislastuamisajan kasvaessa yli kaksinkertaiseksi kokeeseen 3 verrattuna. Yhden koekappaleen hionta-aika kokeessa 4 oli 50 min.

Syöttöliikkeen suunta pysyi samana kuin kokeessa 3. Pienellä asetussyvyydellä hiominen siirtyy tapahtuvaksi laikan kulmapyörityksen johdosta enimmäkseen

otsapinnalla. Hiontatyypin katsotaan siksi muuttuneen otsapinnan pituushionnaksi. Kokeen 4 koejärjestelyt on esitetty taulukkomuodossa (taulukko 5).

**Taulukko 5** Koejärjestelyt hiontakokeessa 4

Hiomakone:	0,75 kW oikosulkumoottori
Laikka:	Universal 51A 462 K5V MRAA
Hiontamenetelmä:	otsapinnan pituushionta
Hiontaparametrit:	
$V_s$ :	25 m/s
$V_f$ :	0,5 mm/s
$a_e$ :	2,9 mm
$a_p$ :	0,25 mm

Otsapinnan pituushiontaa käytettäessä teroituksesta saatiin muodoltaan ja terävyydeltään koesarjan onnistunein. Koekappaleet kuumenivat kuitenkin edelleen liikaa. Kuumeneminen rajoittui aiempia kokeita selvemmin hiottavan pinnan läheisyyteen. Tämä näkyi palojälkien muodosta sekä kappaleen yläpinnalla että alapinnalla (kuvat 16 ja 17). Koetta seurattaessa voitiin silmämääräisesti havaita hionnan asteittainen vaikeutumisen kokeen edetessä. Tämän pääteltiin johtuvan laikan ja työkappaleen kosketuspinnan kasvamisesta hionnan edetessä kerros kerrokselta. Terän geometriasta johtuen jokainen hiontakerros on edellistä leveämpi. Myös laikan tylsyminen ja laikan kulmapyöristyksen kasvaminen vaikuttivat luultavasti asiaan.



**Kuva 16** Neljännen hiontakokeen koekappale





**Kuva 17** Palojälkiä neljännen hiontakokeen koekappaleen alapinnalla

## 7.5 Tulosten arviointi

Koesarjat olivat lyhyitä, joten satunnaisista tekijöistä aiheutuvat poikkeamat voivat vääristää koetuloksia. Esimerkiksi hiomalaikan teroitus tehtiin käsivaraisesti ja laikan asemointi oli korjattava robotin ohjelmaan jokaisen teroituksen jälkeen. Epätarkkuus laikan muodossa tai asemoinnin korjauksessa aiheutti muutoksia hionnan tuloksiin.

Tulosten perusteella on mahdotonta päätellä, mikä hiontamenetelmä soveltuu parhaiten kyseisten terien teroitukseen. Selvää kuitenkin on, ettei mikään kokeilluista menetelmistä voi kokeissa käytetyillä hiontaparametrien arvoilla toimia tuotannollisessa katkaisuterien teroitushionnassa.

Kun koesarjaa tarkastellaan kokonaisuutena, voidaan havaita kaksi keskeistä ongelmaa. Teräaihion liiallinen kuumeneminen ja laikan nopea tylsyminen toistuivat eriasteisina kaikissa kokeissa. Näiden ongelmien ratkaisemiseksi tarvitaan lisäkokeita ja mahdollisesti toimintaympäristön kehittämistä.

## 8 JATKOTUTKIMUKSET

Kehäpinnan pituushionta jäi kokeiden ulkopuolelle tarvittavien liikkeiden vaikean toteutettavuuden vuoksi. Tämän menetelmän käyttöä kannattaa kuitenkin jatkossa tutkia. Kehäpinnalla hiottaessa kosketuspituus on pieni. Pituushionnassa poistettava ainemäärä voidaan jakaa useaan kerrokseen, jolloin asetussyvyys saadaan pieneksi. Kosketuspituuden ja asetussyvyuden pienentämisestä on luultavasti apua työkalun lämpötilan hallinnassa.

Muotohionnan mahdollisuuksia kannattaa myös selvittää. Esimerkiksi sahanteriä, jotka muodoltaan muistuttavat läheisesti pituusleikkaimen katkaisuteriä, on teroitettu muotohiontamenetelmillä.

Jäähdytysnesteen käytön mahdollisuutta kannattaa myös tutkia. Se edellyttää kuitenkin suuria muutoksia toimintaympäristöön.

Ideoina laitteiston jatkokehittämisestä on esitetty robotin varustamista laserleikkauslaitteella ja konenäöllä. Teräaihioiden laserleikkauksen suorittaminen robotilla mahdollistaisi aihion leikkaamisen melko tarkasti lopulliseen muotoonsa. Tällöin hiontavaiheessa poistettava materiaalmäärä vähenisi olennaisesti nykyiseen menetelmään verrattuna. Konenäköä voitaisiin hyödyntää hiomalaikan asemoinnissa.

## **9 YHTEENVETO**

Metso Paper antoi Konepaja Enne Oy:lle toimeksiannon järjestää pituusleikkaimien katkaisuterien teroituksen. Katkaisuterien teroitushiontaa aiemmin hoitaneen alihankkijan tilapäisten toimitusvaikeuksien vuoksi teroitusta jouduttiin ajoittain suorittamaan käsihiontana Konepaja Enne Oy:ssä. Työn arvioitiin olevan suhteellisen helposti automatisoitavissa. Teroitushiontaa suorittamaan päätettiin suunnitella robottisovellus. Tämä tutkintotyö tehtiin osana robottisovelluksen suunnitteluprosessia.

Tämän työn tavoitteena oli löytää välineet ja menetelmät, joita käyttämällä katkaisuterien teroitushionta robotilla olisi toteutettavissa taloudellisesti kannattavalla tavalla. Tätä tavoitetta ei tähän tutkintotyöhön varatun ajan puitteissa saavutettu. Työssä saatiin kuitenkin pohjatietoa, jota voidaan hyödyntää jatkettaessa robottihiontasovelluksen kehittämistä.

## LÄHDELUETTELO

### Painetut lähteet

- 1 Aaltonen, Kalevi – Andersson, Paul – Kauppinen, Veijo, Koneistustekniikat. WSOY. Porvoo 1997.
- 2 Ansaharju, Tapani – Ilomäki, Osmo – Maaranen, Keijo, Lastuava työstö. WSOY. Porvoo 1989.
- 3 Ihalainen – Aaltonen – Aromäki – Sihvonen, Valmistustekniikka. Gummerus Kirjapaino Oy. Jyväskylä 1998.
- 4 Haapaniemi, Heikki (toim.), Autoteknillinen taskukirja. Autoalan koulutuskeskus Oy. Gummerus. Jyväskylä 2003.

### Painamattomat lähteet

- 5 Mäkelä, Ahti, hiomatarvikkeiden vastuumyyjä. Keskustelut maaliskuussa 2007. Penope oy.
- 6 Holma, Hannu, robotiikka-alan yrittäjä. Keskustelut keväällä 2007 aikana. Havetek oy.
- 7 Mäkelä, Seppo, Robotiikka. Kurssimateriaali. Tampereen ammattikorkeakoulu. Koneosasto. Tampere 2007.

### Sähköiset lähteet

- 8 KnowPap – oppimisympäristö. [sähköinen oppimisympäristö].[viitattu 4.6.2007] Saatavissa: <http://www.knowpap.com/suomi/>
- 9 Oy Uddeholm Ab. Työkaluterästen hionta. [sähköinen dokumentti].[viitattu 4.5.2007] Saatavissa: <http://www.uddeholm.fi/finnish/files/hionta.pdf>

D

C

B

LIITE 1

4

4

3

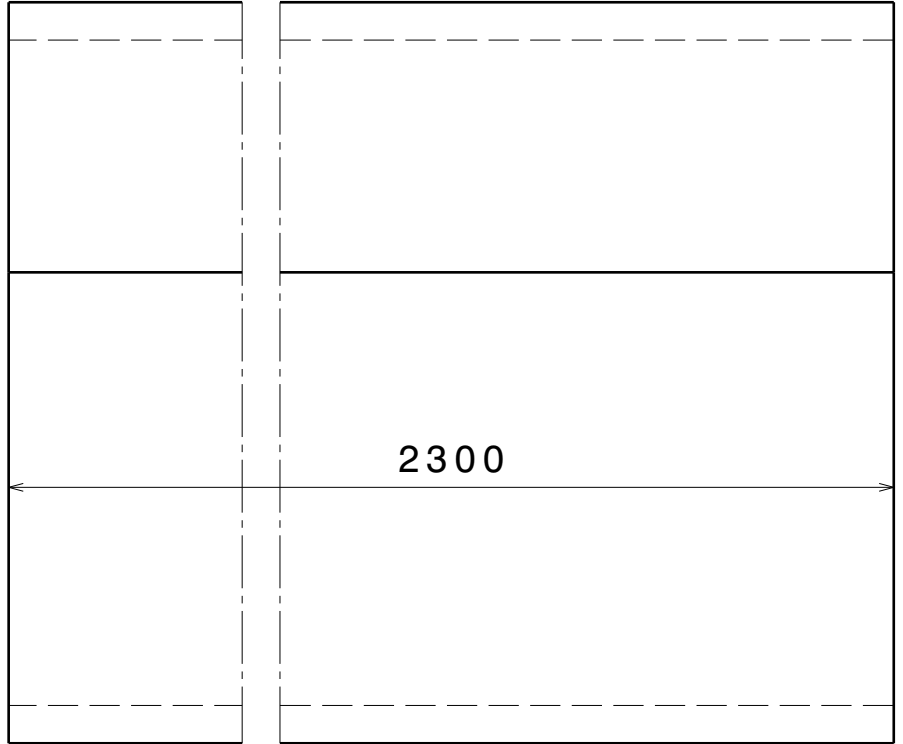
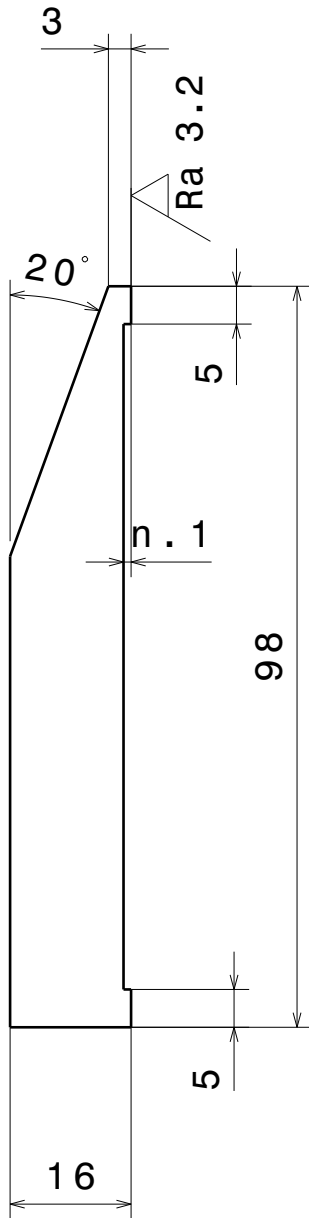
3

2

2

1

1



Teravat sarmat viistetaan max. 0,5 x 0,5 mm

DESIGNED BY:

P. Kerminen

DATE:

25.01.2007

CHECKED BY:

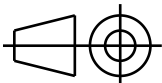
XXX

DATE:

XXX

SIZE

A4



SCALE

1:1

WEIGHT (kg)

22,5

DRAWING NUMBER

Paininlatta

SHEET

1/1

TAMK

I	-
H	-
G	-
F	-
E	-
D	-
C	-
B	-
A	-

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

D

A

# Konepapo Enne

## Werkzeugnis nach EN 10204-2.2

AMPKO OY

Tuusula

Bestellung Nr. 30.10.06

Unsere Komm.-Nr. 146553 / sc

Art des Materials: Gehärteten weißpolierten Federbandstahl

300 x 2,00 mm mit geschnittenen Kanten

WA 2.2, Tol. DIN 1544 R

Güte CK 75

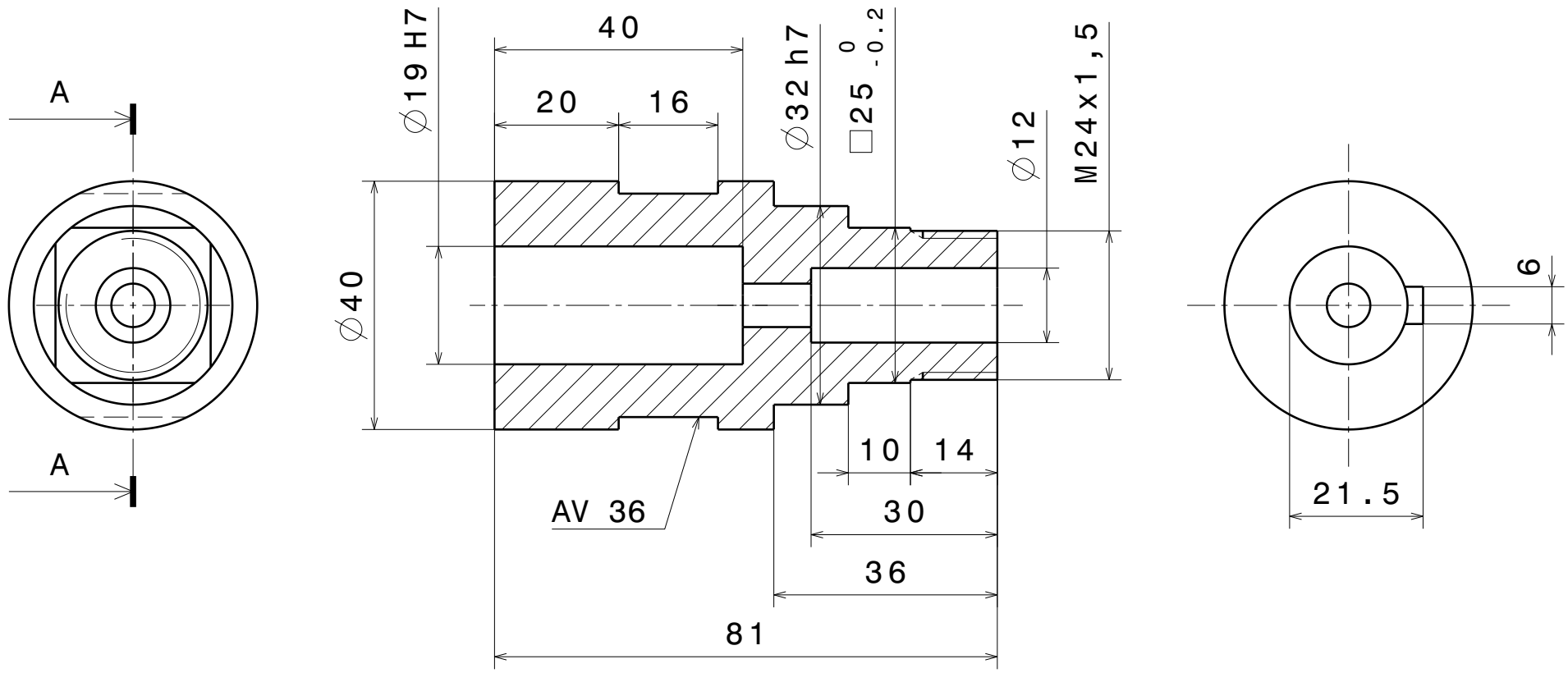
Festigkeit : 1320-1520 N/qmm

684 kg netto

Charger. Nr.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N	Cu	Al	V
53C842	0,740	0,190	0,680	0,006	0,0030	0,090	0,060	0,020				0,006
Festigkeit	:1380/1392		N/qmm		A/30 (%)		RP 0,2%		N/qmm			

" Wir bestätigen, dass die obigen Angaben dem Abnahmeprüfzeugnis /  
Werkzeugnis des Herstellers entnommen wurden."

DV-Ausdruck, ohne Unterschrift gültig.



Section view A-A

Teravat sarmat viistetaan

DESIGNED BY: <b>Pasi Kerminen</b>		<h1>TAMK</h1>		I
DATE: <b>18.03.2007</b>				H
CHECKED BY: <b>XXX</b>				G
DATE: <b>XXX</b>				F
SIZE <b>A4</b>				E
SCALE <b>1:1</b>	WEIGHT (kg) <b>0,47</b>	DRAWING NUMBER <b>Karaholkki</b>	SHEET <b>1/1</b>	D
This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.				C
				B
				A

D

A

4

4

3

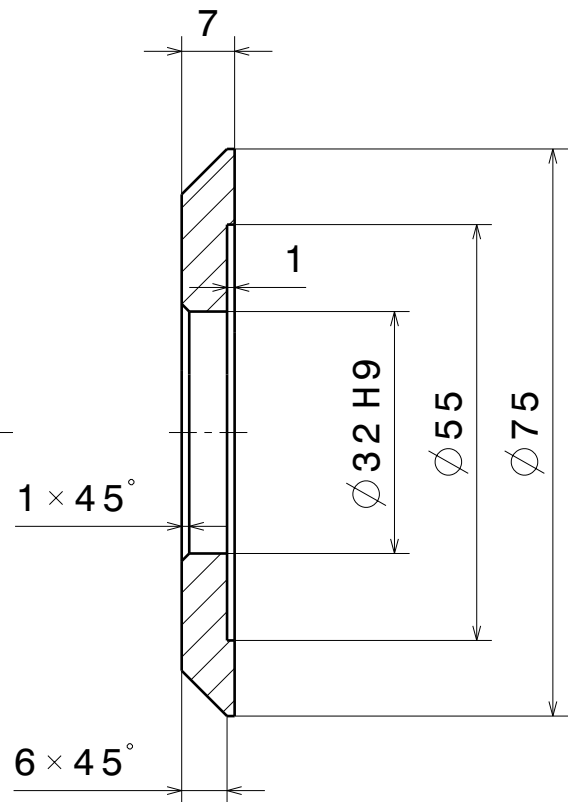
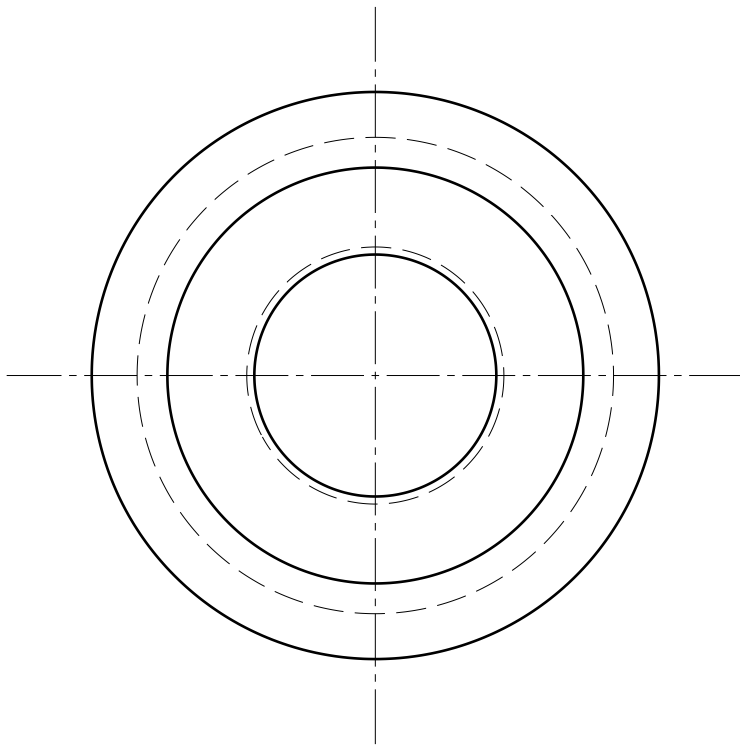
3

2

2

1

1



Teravat sarmat viistetaan

DESIGNED BY:

P. Kerminen

DATE:

18.03.2007

CHECKED BY:

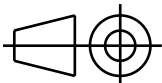
XXX

DATE:

XXX

SIZE

A4



SCALE

1:1

WEIGHT (kg)

0,16

DRAWING NUMBER

Takalaippa

SHEET

1/1

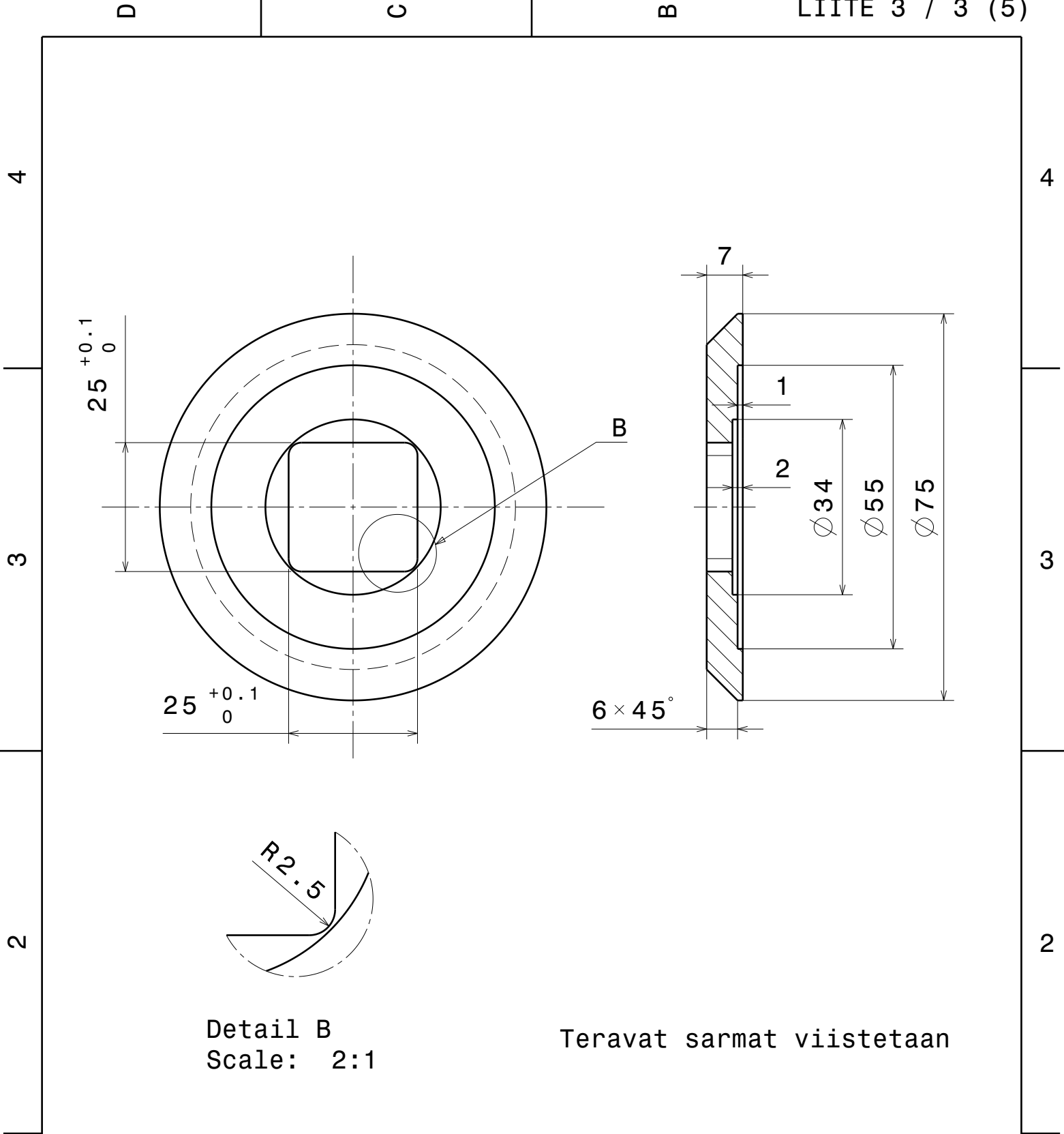
TAMK

I	-
H	-
G	-
F	-
E	-
D	-
C	-
B	-
A	-

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

D

A



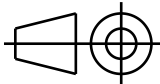
Detail B  
Scale: 2:1

Teravat sarmat viistetaan

DESIGNED BY:  
**P. Kerminen**  
DATE:  
**18.03.2007**  
CHECKED BY:  
**XXX**  
DATE:  
**XXX**

**TAMK**

SIZE  
**A4**



SCALE  
**1:1**

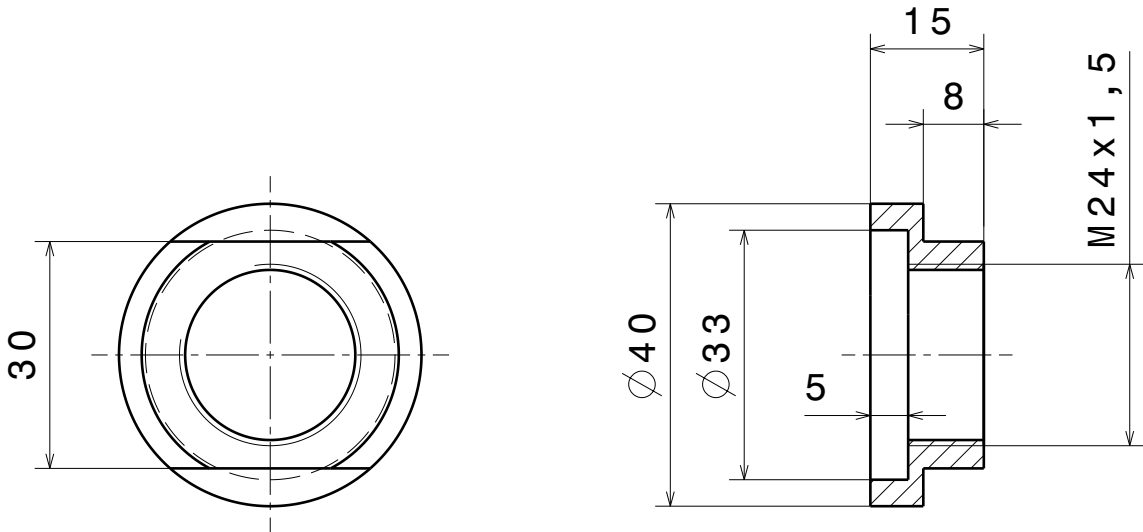
WEIGHT (kg)  
**0,16**

DRAWING NUMBER  
**Etulaippa**

SHEET  
**1/1**

I	-
H	-
G	-
F	-
E	-
D	-
C	-
B	-
A	-





Teravat sarmat viistetaan

DESIGNED BY:

P. Kerminen

DATE:

18.03.2007

CHECKED BY:

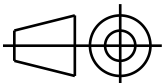
XXX

DATE:

XXX

SIZE

A4



SCALE

1:1

WEIGHT (kg)

0,08

DRAWING NUMBER

Mutteri

SHEET

1/1

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.

TAMK

I	-
H	-
G	-
F	-
E	-
D	-
C	-
B	-
A	-

4

4

3

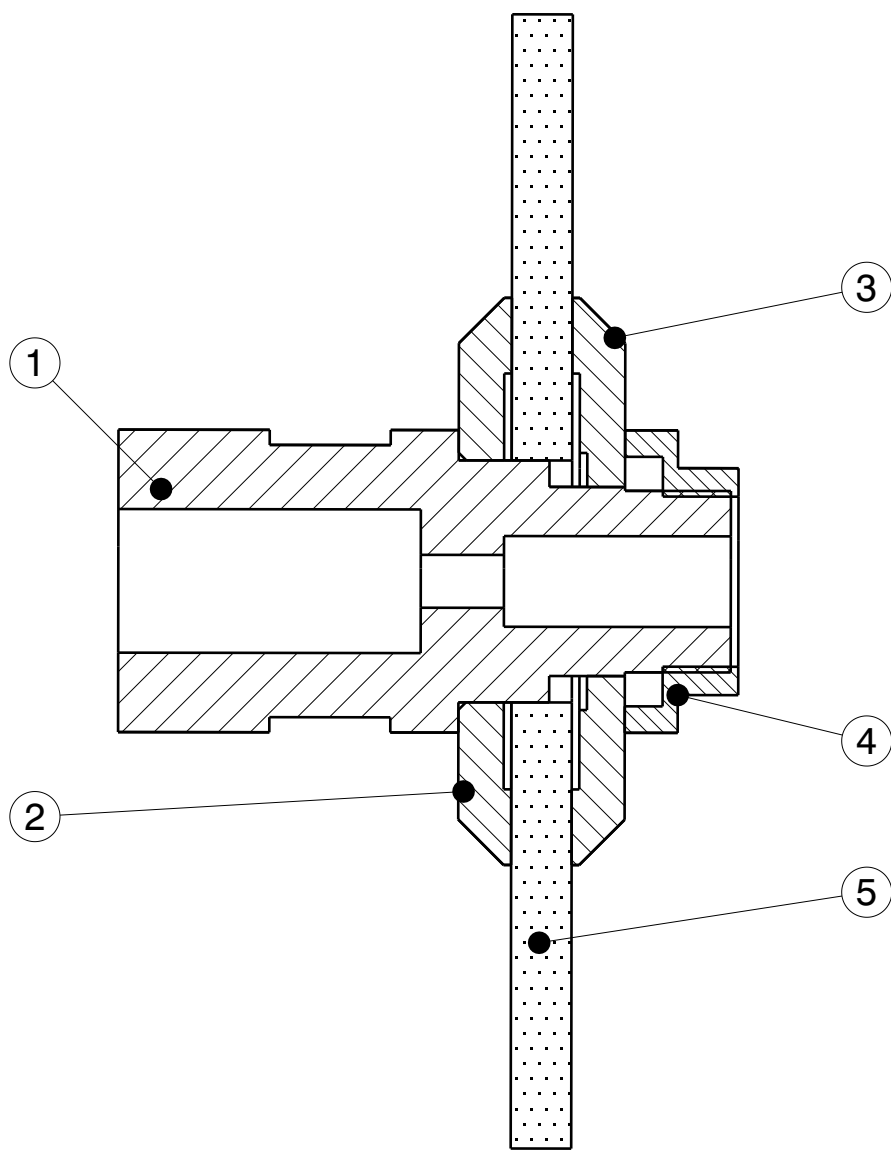
3

2

2

1

1



N:o	Osan nimi			
1	Karaholkki			
2	Takalaippa			
3	Etulaippa			
4	Mutteri			
5	Laikka			

DESIGNED BY:  
P. Kerminen

DATE:  
18.03.2007

CHECKED BY:  
XXX

DATE:  
XXX

SIZE  
**A4**

**TAMK**

SCALE: **1:1**      WEIGHT (kg): **XXX**      DRAWING NUMBER: **Karan kokoonpano**      SHEET: **1/1**

I	-
H	-
G	-
F	-
E	-
D	-
C	-
B	-
A	-

This drawing is our property; it can't be reproduced or communicated without our written agreement.