



SAVONIA

OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

EPÄKESKOPURISTIMEN TYÖKA- LUJEN UUDELLEENSUUNNITTELU

TEKIJÄ: Tomi Kukkonen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma/Tutkinto-ohjelma Konetekniikan tutkinto-ohjelma			
Työn tekijä(t) Tomi Kukkonen			
Työn nimi Epäkeskopuristimen työkalujen uudelleensuunnittelu			
Päiväys	14.5.2020	Sivumäärä/Liitteet	32+5
Ohjaaja(t) Sami Ipatti, päätoiminen tuntiopettaja; Mikko Nissinen, lehtori			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Kuopion puuveneveistäjät ry			
Tiivistelmä			
<p>Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää kupariprikkojen valmistukseen käytettäviä epäkeskopuristimen työkaluja. Prikkoja käytetään veneenrakennuksessa ja työn toimeksiantajana toimi Kuopion puuveneveistäjät ry. Epäkeskopuristimella valmistettavat prikat ovat kooltaan 8 mm ja 10 mm. Työkaluja oli tarkoitus kehittää valmistuksessa syntyvän suuren materiaalihukan takia, jotta valmistus olisi kustannustehokkaampaa. Työssä selvitettiin myös millaiset materiaalit soveltuvat työkaluihin ja miten niitä täytyy lämpökäsitellä.</p> <p>Opinnäytetyön pohjatyönä toimi erikoistumisprojekti 2, jossa tutustuttiin työkalujen toimintaan sekä mallinnettiin vanhat työkalut. Työ alkoi perehtymällä työvälinsuunnitteluun sekä työvälinsä käytettäviin työkaluteräksiin ja niiden karkaisuun. Työkalujen vaatimuksia selvitettiin ja laskettiin lävistykseen tarvittavia voimia, työkalujen toiminnan varmistamiseksi. Materiaalivalintoja tehtiin kirjallisuuden sekä työvälinsä valmistajien kanssa käytyjen keskustelujen kanssa. Työkalujen mallinnukseen käytettiin SolidWorks-ohjelmaa. Työkalujen toimintaperiaatetta muutettiin niin, että syötettävän aihion paksuus voidaan minimoida ja se paikoittuu työkaluun tarkasti.</p> <p>Työn tuloksena saatiin 3d-mallit sekä valmistuspiirustukset uusista työkaluista. Materiaalihukan määrä uusilla työkaluilla putosi jopa 20 prosenttia vanhoihin verrattuna, joka tekee prikkujen valmistuksesta kustannustehokkaampaa, kun materiaalia menee enemmän hyötykäyttöön. Myös prikkujen valmistusprosessi on nopeampaa kuin ennen, koska tuotetta valmistuu jokaisella iskulla kahdesta kolmeen kertaa aiempaa enemmän. Työkalujen valmistuksesta saatiin tarjouksia eri valmistajilta, joiden avulla tehtiin hinta vertailua.</p>			
Avainsanat			
Epäkeskopuristin, työvälinsuunnittelu, työvälinsä valmistaminen, työkaluteräokset			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author(s) Tomi Kukkonen			
Title of Thesis Redesign of Eccentric Press Tools			
Date	14 May 2020	Pages/Appendices	32+5
Supervisor(s) Sami Ipatti, lecturer; Mikko Nissinen, lecturer			
Client Organisation /Partners Kuopion puuveneveistäjät ry			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this thesis was to develop eccentric press tools for the production of copper washers. Washers are used in boat building and the work was commissioned by Kuopion Puuveneveistäjät ry. The washers made with an eccentric press are 8 mm and 10 mm in size. The tools were to be developed due to the high material loss in manufacturing to make manufacturing more cost-effective. In the study it was also investigated what materials are suitable for tools and how they must be heat treated.</p> <p>The background work of the thesis was specialization project 2, in which the operation of tools was introduced and old tools were modeled. The work began with an introduction to tool design and the tool steels used in tools and their hardening. The requirements for the tools were determined and the forces required for the punching were calculated to ensure the operation of the tools. Material choices were made based on literature research and discussions with tool manufacturers. Solidworks software was used to model the tools. The operating principle of the tools was changed so that the thickness of the preform to be pushed can be minimized and it is precisely positioned in the tool.</p> <p>As a result of the study, 3d models and manufacturing drawings of new tools were obtained. The amount of material wasted with the new tools dropped by as much as 20 percent compared to the old ones, making washer production more cost-effective as more material goes to use. The washer manufacturing process is also faster than before, as two to three times more products are produced with each stroke. Tenders were received from various manufacturers for the production of tools. Based on the received tenders a price comparison was made.</p>			
Keywords			
Eccentric press, tool design, manufacture of equipment, tool steels			

SISÄLTÖ

1	TYÖN TAUSTA JA TARKOITUS	5
1.1	Toimeksiantajan esittely	5
1.2	Tavoite.....	5
2	MEISTOTEKNIikka.....	6
2.1	Lävistäminen	6
2.2	Epäkeskopuristin.....	6
2.3	Materiaalivalinnat.....	7
3	LEVYN KÄYTTÖ	10
3.1	Reikien suunnittelu	10
3.2	Lävistysvoima	12
3.3	Irrutusvoima ja jouset	13
3.4	Epäkeskon puristusvoima	14
4	OSIEN SUUNNITTELU	16
4.1	Pistin.....	16
4.1.1	Painelevy.....	17
4.2	Irrotin	18
4.3	Tyyny.....	19
4.4	Rainan ohjaus ja paikoitus.....	20
4.5	Jousikuormitteiset rullat	23
4.6	Toleranssit ja sovitteet	24
4.7	Materiaalit	25
5	TULOKSET	27
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	30
6.1	Jatkokehitysmahdollisuudet	30
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	31
	LIITE 1	33
	LIITE 2	34
	LIITE 3	35
	LIITE 4	36
	LIITE 5	37

1 TYÖN TAUSTA JA TARKOITUS

Tässä luvussa käsitellään työn tilaajaa sekä tavoitetta. Työn tilaajana toimi Kuopion Puuveneveistäjät ry, josta aihe saatiin. Veistämöllä rakennetaan veneitä sekä valmistetaan kupariprikkoja, joita käytetään veneenrakennuksessa. Prikat valmistetaan epäkeskopuristimella, jossa on työkalut kahden eri kokoisen prikan valmistukseen. Prikoilla taroitetaan aluslevyä, joita veneenrakennuksessa käytetään naulojen alla. Puuveneet kasataan nauloilla, joten myös prikoja kuluu paljon. Aiheesta ilmoitettiin sähköpostilla, jossa kerrottiin epäkeskopuristimen työkalujen uudelleen suunnittelusta. Aihe vaikutti mielenkiintoiselta, joten se valikoitui opinnäytetyksi.

1.1 Toimeksiantajan esittely

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimii Kuopion puuveneveistäjät ry. Veneveistäjät rakentavat puuveneitä veistämöllä Kuopiossa. Veistämöllä on tarvittavat laitteet puiden sahaukseen sekä liimaukseen liittyen. Veistämöllä on lämmin halli, sekä kylmä varasto, jotka sijaitsevat Kuopion savisaaressa. Veistämöllä tehdään seuraavia palveluita: veneiden huollot ja korjaukset, puuveneet mittatilaustyönä, neuvonta puuveneiden korjaus- ja huoltotöissä, venekatosten rakennus, airojen valmistus, venealan suunnittelutyöt ja testausprojektit sekä veneenrakennuskurssit. Veistämöllä valmistetaan myös myyntiin tulevia kupariprikkoja, joita käytetään veneen rakennuksessa. Kupariprikkojen lisäksi myynnissä on kupari nauloja. (Kuopion puuveneveistäjät, 2017.)

1.2 Tavoite

Veneveistäjillä on epäkeskopuristin, jonka avulla tehdään kahden kokoisia kupari prikoja. Prikat ovat kooltaan 8 mm:ä sekä 10 mm:ä. Prikat valmistetaan 0.8 mm:n sekä 1 mm:n paksuisesta kupari aihoista. Epäkeskopuristimessa on kummallekin prikalle oma työkalu, jolla tuotteita tehdään. Nämä työkalut ovat vanhoja ja niillä syntyvä materiaalihukan määrä on suuri. Hukan määrää täytyi siis saada pienennettyä suunnittelemalla uudet työkalut.

Työssä suunniteltiin epäkeskopuristimen työkalut uudelleen sekä tehtiin valmistukseen tarvittavat valmistuspiirrustukset. Työkalut suunniteltiin sellaisiksi, että materiaalihukka saataisiin pienemmäksi, kuin olemassa olevilla työkaluilla. Osien mallinnukseen ja piirustusten tekoon käytettiin SolidWorks-ohjelmaa. Työssä tavoitteena oli myös selvittää mitkä materiaalit soveltuvat parhaiten työkaluvalmistukseen kupariprikkojen valmistuksessa. Työkalusuunnitteluun ja valmistukseen perehdyttiin myös teoriasolla. Teoriasta saatiin tarvittavaa tietoa, jota hyödynnettiin epäkeskopuristimen työkalujen uudelleensuunnittelussa.

Uudelleensuunnitelluista työkaluista tehtiin valmistuspiirrustukset, jotta niiden avulla työvälineitä valmistava yritys pystyy valmistamaan uudet työkalut. Työkuvien ja kokoonpanomallien avulla kartoitettiin tarjouksia eri toimijoilta. Toimijat tekivät näiden perusteella tarjouksia työkalujen valmistuksesta.

2 MEISTOTEKNIikka

Meistoteknisiin töihin kuuluvat leikkaus ja lävistys, syvävetäminen, kohomeisto sekä taivuttaminen, ja yleisin työväline on leikkain. Useamman työvaiheen tekevää leikkain työkalua kutsutaan jonoleikkaimeksi. Epäkeskopuristin on hyvin yleinen leikkaimissa käytettävä kone, jonka tärkeimmät osat ovat tyyny ja pistin. Meistotyökalun osat koostuvat esimerkiksi rungosta, johteista, tyynystä sekä pistimistä. Ohutlevytöissä käytetään yleisesti meistotekniikkaa. Yleensä meistettävät ohutlevyt ovat alle 3 mm:ä paksuja. Ohutlevyä voidaan toimittaa arkkeina tai kelalla olevana rainana. Hyvä valmistarkkuus ja työnopeus ovat meistotekniikan hyviä puolia. (Aaltonen, Ekman, Kamppari, Kauppinen, Kivivuori, Paro ja Vuorinen 1991, 87.)

2.1 Lävistäminen

Lävistämässä käytetään leikkaavaa työmenetelmää. Lävistämässä kappaleeseen leikataan haluttuja muotoja. Lävistävän työkalun tärkeimmät osat ovat pistin sekä tyyny. Mekaanisessa lävistämisessä pistin painaa leikattavaa materiaalia tyynyn läpi. Pistimen saavutettua materiaalin pinnan, se alkaa leikata sitä. Työkalun materiaalit on valittava huolella, jotta leikkausjälki olisi hyvä, eivätkä työkalut kuluisi liikaa. Epäkeskopuristinta on käytetty yleensä lävistävään työstöön. Nykyään lävistystöitä tehdään kuitenkin paljon levytyökeskuksilla. Levytyökeskuksissa puristusvoimaa on jopa 600 kN, yleisimmin noin 300 kN. Lävistettävän materiaalin paksuus vaihtelee yleisimmin 0,5-8 mm:n välillä. (Matilainen, Parviainen, Havas, Hiitelä ja Hultin 2011, 179-180.)

2.2 Epäkeskopuristin

Epäkeskopuristin (KUVA 1) on kone, jossa mäntä tekee edestakaista liikettä. Moottori pyörittää akselia, jossa on epäkeskeisesti kiinni kiertokanki, niin kuin auton moottorissa. Puristimessa voi olla usea kiertokanki, jolloin kuormitukset tasoittuvat. Epäkeskeisesti akselissa kiinni oleva kiertokanki muuttaa pyörivän liikkeen edestakaiseksi liikkeeksi. Kangen päässä on kiinni työkalu, jonka avulla voidaan valmistaa erilaisia tuotteita. Leikkantyökaluilta vaaditaan usein hyvää kulumiskestävyyttä sekä kovuutta. Puristimet ovat usein C-runkoisia, joissa pöytä on avoin kolmelta sivulta. Avoimuus mahdollistaa työkalun ja aihion helpon asettamisen paikoilleen. Epäkeskopuristinta käytetään usein leikkain työkaluna, kun leikattava aihio on esimerkiksi kelalla. Lävistettävä materiaali lepää tyynyn päällä, johon se yleensä syötetään joko koneellisesti tai käsin. Isoja sarjoja tehdessä raina usein ostetaan valmiina keloina, josta se on helppo syöttää koneeseen erilaisten syöttölaitteiden avulla. Syöttölaitteita käytettäessä voidaan koneen toiminta myös automatisoida. Syöttölaitteet voivat toimia esimerkiksi paineilmalla. (Ihalainen, Aaltonen, Aromäki ja Sihvonen 2009, 248.)



KUVA 1. Epäkeskopuristin (Kukkonen 24-03-2020.)

2.3 Materiaalivalinnat

Työkaluilta odotetaan usein suurta kovuutta, kulumiskestävyyttä tai kuumalujuutta, joten niissä käytetään työkaluteräksiä. Työkaluteräket määritellään standardissa SFS-EN ISO 4957 seuraavasti:

Materiaalien työstämiseen tai valmistamiseen sekä työkappaleiden käsittelyyn ja mittaamiseen soveltuvia erikoisteräksiä, joilla on näihin käyttötarkoituksiin soveltuva suuri kovuus ja kulumiskestävyys ja/tai sitkeys.

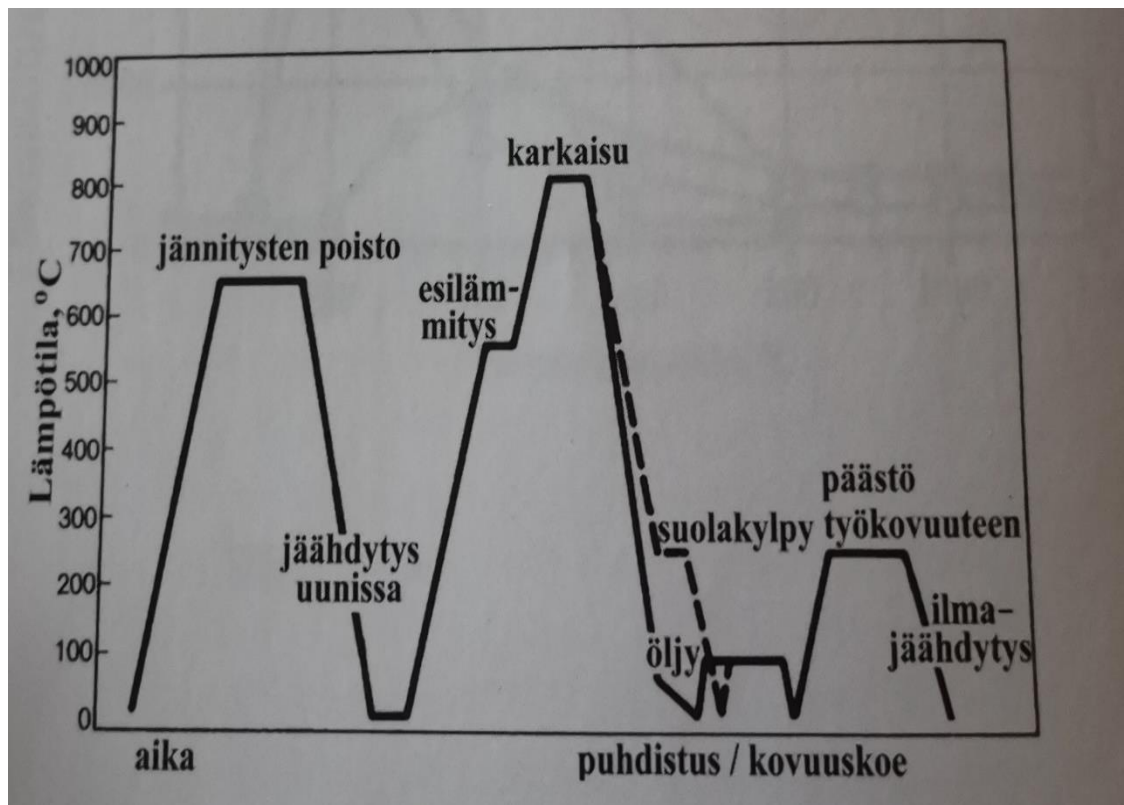
Työkaluteräket ovat lämpökäsiteltyjä teräksiä, joiden käyttötarkoitus on lastuava työstö tai muovaava työstö. Työkaluteräket ovat yleensä karkaistuja ja päästettyjä. Yleisimpiä työkaluteräksiä ovat: kylmätyöteräket, kuumatyöteräket sekä pikateräket (Kivivuori ja Härkönen 2004, 70; Työkaluteräket 2018, 6.)

Kylmätyöteräksiä käytetään matalissa alle 250 °C lämpötiloissa, ja ne ovat usein seostamattomia tai vähäseosteisia teräksiä. Työkaluissa tarvitaan usein hyvin tarkkoja valmistustoleransseja, joiden mahdollistamiseksi voidaan käyttää runsashiilisiä työkaluteräksiä, joiden ominaisuuksia ovat vähäiset

muodonmuutokset oikei lämpökäsiteltyinä. Kylmätyöteräksillä on hyvin korkea hiilipitoisuus, yleisimmin 0,4 - 2,5 %. (Kivivuori ja Härkönen 2004, 70.)

Kuumatyöteräksiä käytetään kuumalujuutta ja kulumiskestävyyttä vaativilla työkaluilla. Kuumatyöteräksien pääseosaineina käytetään kromia, molybdeemia volframia sekä vanadiini. Seosainekarbidit mahdollistavat hyvän kovuuden, kuumalujuuden sekä kulumiskestävyuden. Kulumiskestävyteen vaikuttaa myös hiilen määrä, jota on noin 0,25 - 0,6 %. Pikateräkset ovat korkeasti seostettuja teräksiä, joiden kovuus säilyy korkeissa 500 - 600 °C lämpötiloissa. Seosaineina käytetään yleensä samoja aineita kuin kuumatyöteräksillä. Pikateräksiä käytetään mm. lastuavassa työstössä, jossa työkaluihin kohdistuu voimakasta kulutusta sekä korkeita lämpötiloja. (Kivivuori ja Härkönen 2004, 71-72.)

Tärkeä osa työkalujen valmistuksessa on työkaluterästen karkaisu. Karkaisulla saavutetaan haluttuja kovuuksia materiaaleihin. Karkaisun etuja ovat esimerkiksi hyvä kulumiskestävyys. Karkaisuprosessiin kuuluu jännityksen poisto, esilämmitys, karkaisu ja päästö. Karkaisulämpötila, esilämmityksien määrä sekä päästöjen määrä on sidoksissa siihen, onko kyseessä kylmätyöteräs, kuumatyöteräs, vai pikateräs. Tyypillisesti kylmätyöterästen karkaisuun (KUVA 2) kuuluu yksi esilämmitys, jonka jälkeen ne karkaistaan 800 asteessa ja sammutetaan joko öljyyn tai suolakylpyyn. Karkaisun jälkeen päästö ja ilma jäädytys. Kuumatyöteräkset vuorostaan esilämmitetään kaksi kertaa, karkaistaan hieman yli 1000 asteessa, sammutetaan kaasuun tai öljyyn ja päästetään kolme kertaa. Pikaterästen karkaisuprosessiin kuuluu yleensä kolme esilämmitystä, karkaisu 1200 asteessa, sammutus kaasuun, kuumakylpyyn tai öljyyn ja tehdään päästö kolme kertaa. (Kivivuori ja Härkönen 2004, 70-72.)



KUVA 2. Kylmätyöteräksen karkaisu (Kivivuori ja Härkönen 2004, 70.)

Karkaisuhehkutuksessa tärkeintä on oikea pitoaika sekä lämpötila. Hehkutusaika koostuu kuumentamisajasta sekä pitoajasta. Korkeasti seostetuilla teräksillä pitoaika on noin 45 minuuttia, joka tapahtuu lämpötilassa 900 - 1200 °C. Niukasti seostetuilla ja seostamattomilla teräksillä vuorostaan karkaisu tapahtuu 750 - 850 °C, ja pitoaika on hieman lyhyempi, noin 30 minuuttia. Kuumennettaessa työkaluteräksiä täytyisi käyttää vähintään yhtä esikuumennusvaihetta. Esikuumennusvaihe voidaan tehdä vaikka 600 °C. Korkeasti seostetuilla teräksillä olisi hyvä suorittaa toinen esikuumennus, jossa lämpötila on hieman korkeampi noin 800 - 900 °C. Kuumennusaika koostuu kolmesta osasta: 1. Ajasta, joka kuluu esikuumennukseen. 2. Ajasta, joka kappaleen pinnalla kuluu hehkutuslämpötilaan kuumentamisessa. 3. Kappaleen vaatimasta ajasta kuumetakseet joka kohdasta. (Kivivuori ja Härkönen 2004, 75-76.)

Kappaletta pidettävää aikaa hehkutuslämpötilassa kutsutaan pitoajaksi. Pitoaika ei ole niin tärkeä osa hehkutusta, kuin pitoaika. Vähän seostetut teräkset tarvitsevat vain austenitoitumisen ja korkeasti seostetuissa karbideja muodostavat seosaineet tarvitsevat myös karbidien riittävän liukemisen austeniittiin. Lämpötilan ollessa tarpeeksi korkea, austenitoituminen tapahtuu nopeasti, eikä kappaletta tarvitse hehkuttaa pidempään, jottei karkearakenteista austeniittia ala syntyä. Pitoajat ovat sitä lyhyempiä, mitä vähemmän seostettuja teräkset ovat. Korkeasti seostetut teräkset vaativat pidemmän pitoajan, jotta karbideja liukenee riittävä määrä austeniittiin. Suurin merkitys pitoajalla on pikateräksillä ja kuumatyöteräksillä. (Kivivuori ja Härkönen 2004, 76)

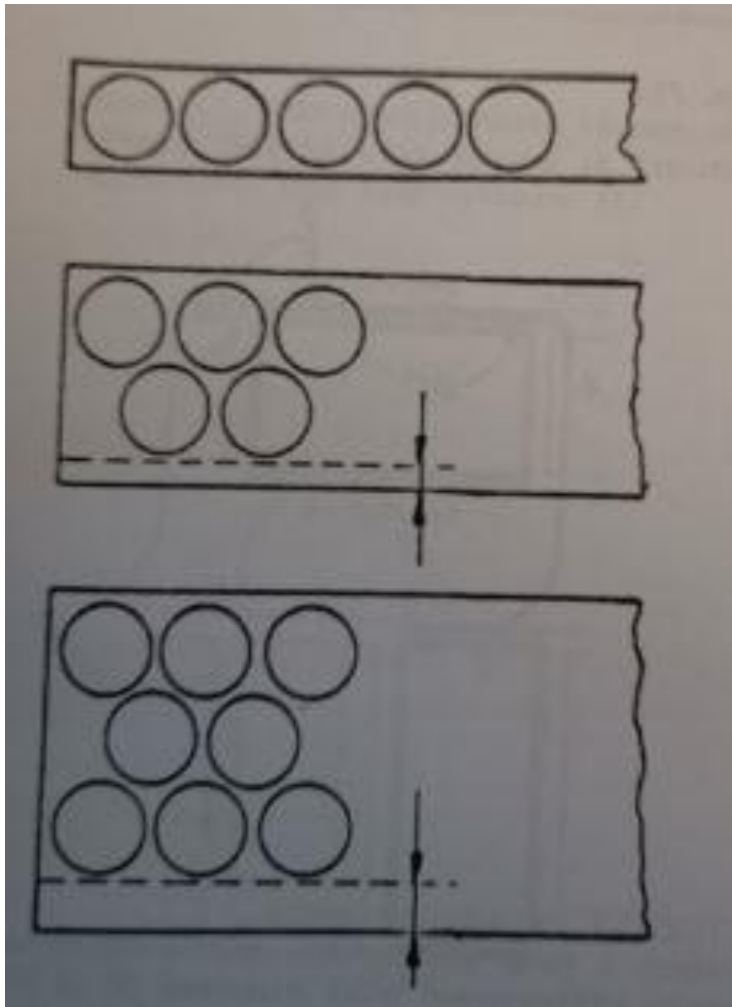
Sammutuksella tarkoitetaan materiaalin jäädytystä karkaisulämpötilasta. Teräksiä voidaan sammuttaa esimerkiksi ilmaan, kaasuun, öljyyn ja suolakylpyyn. Sammutus vaihtoehto riippuu siitä, miten teräs karkenee parhaiten. Pikateräksillä käytettävä sammutusmuoto on yleensä öljy, kaasu tai kuumakylpy. Kuumatyöteräkset vuorostaan käytetään tavallisesti kaasusammutusta tai ilmajäädytystä, koska ne sisältävät paljon seosaineita. Vähän seostettuiden kylmätyöterästen sammutus tapahtuu tavallisesti öljyyn, ja seosaineiden määrän kasvaessa sammutus tapahtuu kaasuun tai ilmaan. Sammutusta seuraava vaihe on päästö. Päästö suoritetaan yleensä välittömästi sammutuksen jälkeen, joskus myös lämpimänä, jos on riski sammutushalkeiluun. Päästössä kappale kuumennetaan materiaalin mukaan noin 200 - 600 °C ja sen jäädytystä ei saa tehostaa millään tavoin, jottei kappaleeseen synny jännityksiä. Päästäminen perustuu martensiitin päästämiseen varsinkin seostamattomilla ja vähän seostetuilla teräksillä. Korkeasti seostetuilla teräksillä tapahtuu myös sekundääristä karkeumista. Kylmätyöteräkset päästetään kerran matalassa noin 200 - 300 °C lämpötilassa, runsaammin seostetut teräkset hieman kuumemmassa noin 500 °C lämpötilassa kaksi kertaa, ja pikateräkset noin 600 °C lämpötilassa kolme kertaa. Karkaisussa syntyy usein kappaleen muodonmuutoksia, joiden takia mittoihin voidaan lisätä hieman työvaraa, jolloin karkaisun jälkeisellä viimeistelyhionnalla saavutetaan oikeat mitat. Hidas sammutus vähentää muodonmuutoksia. Kutistumattomat ilmakarkaisuteräkset säilyttävät hyvin mittansa karkaisussa. (Kivivuori ja Härkönen 2004, 70-77; Aunio, Kettunen, Kääriä, Niinimäki ja Riski 1989, 167.)

3 LEVYN KÄYTTÖ

Tässä luvussa käsitellään rainakuvan suunnittelua eli pohditaan, millaisesta aihioista tuotteet valmistetaan. Lisäksi tarkastellaan lävistämiseen liittyviä voimia. Työkalujen suunnittelu aloitettiin optimoimalla levynkäyttöä. On kustannustehokkaampaa, jos prikoja saadaan valmistettua useita kerralla. Tässä täytyy kuitenkin ottaa huomioon kuinka paljon prikoja olisi mahdollista valmistaa kerralla sekä paljonko niiden lävistämiseen tarvitaan voimaa. Epäkeskopuristimen tuottama voima täytyi myös selvittää, jotta koneen voima on riittävän suuri lävistämään useamman prikan kerralla. Veneveistämöllä käytössä oleva epäkeskopuristin on hyvin vanha eikä siitä meinannut löytyä juuri mitään tietoja voimiin liittyen.

3.1 Reikien suunnittelu

Pyöreitä kappaleita leikattaessa materiaalihukkaa syntyy paljon rainan sivuille. Asettamalla useita kappaleita vierekkäin materiaalihukkaa voidaan pienentää (KUVA 3). Mitä enemmän kappaleita asetetaan vierekkäin, sen enemmän materiaalia säästyy verrattuna siihen, että rainassa olisi vain yksi kappale. Kappaleita on sijoiteltava vierekkäin sopiva määrä, että koneen voima riittää lävistämään aihion.

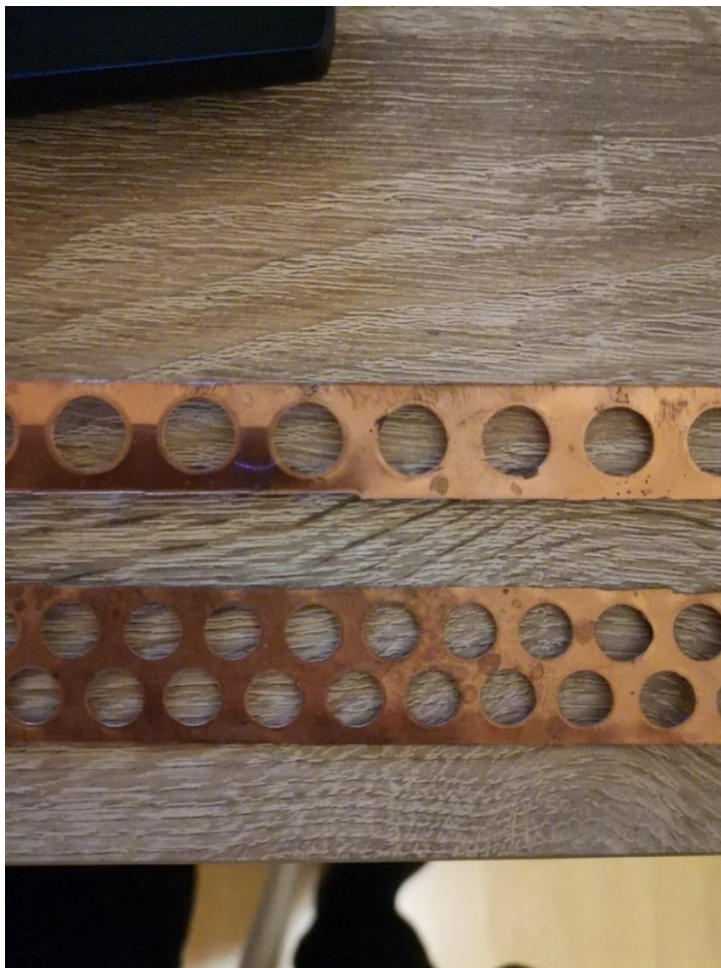


KUVA 3. Levynkäytön optimointi (Aunio ym. 1989, 149.)

Nykyisillä työkaluilla reikiä on vierekkäin vain 1 ja toisessa työkalussa 2. Uusiin työkaluihin reikiä täytyi saada enemmän, mutta reikien määrä ei voinut olla liian suuri, että koneen voima riittää lävistämään rainan. Työkalujen kiinitysreikien väli rajoitti myös rainan leveyttä. Työkalujen kiinitysreiät huomioon ottaen 8 mm:n prikoja voidaan valmistaa 4 kerralla ja 10 mm:n prikoja 3 kerralla. Useamman prikan vierekkäin asettelulla sekä reikien välin pienentämisellä, hukkaa voidaan saada vähemmäksi jopa 20 %:a.

Reiän sijainti ei saa olla liian lähellä aihion reunaa. Reiän ollessa liian lähellä voi syntyä murtumia tai muodonmuutoksia. Tyynyn ja pistimen välissä on oltava välyys, jotta työkalu toimii moitteettomasti. Pistimen ja tyynyn välinen rako määräytyy lävistettävän materiaalin sekä materiaalin paksuuden mukaan. Yleensä välyksenä pidetään 10 – 30 %:a materiaalin paksuudesta. Kokonaisväli materiaalin paksuudesta on alumiinilla 5 – 15 %:a, kuparilla 8-16 %:a, teräksellä 12 – 24 %:a ja ruostumattomalla teräksellä 15 – 25 %:a materiaalin paksuudesta. Toimivin välyys kuparia käytettäessä olisi 12 %:a. (Matilainen ym. 2011, 186-187.)

Nykyisillä työkaluilla 8 mm:n aihiossa reikien väliin jää materiaalia noin 3.5 mm:ä ja 10 mm:n aihiossa yli 5 mm:ä (KUVA 4). Hukka-aihiot ovat varsin jämähän oloisia, joten reikien väliä voidaan huolta pienentää hieman. Reikien väliä ei voida mitoittaa liian pieneksi, koska pistimen kannat ottavat muuten kiini toisiinsa sekä tyynyssä olevat reiät prikojen poistumista varten olisivat liian lähellä toisiaan, jolloin on riski, että tyyny murtuu.



KUVA 4. Materiaalihukka (Kukkonen 2020-03-12.)

Reikien välin mitoittamista rajoittaa tyynyn reiät sekä irrotin, koska pistimen on oltava väljä sen työntyessä tyynyn reikään. Irroittimesakkaan pistimet eivät saa olla kiinni toisissaan. Reiät tyynyssä eivät myöskään saa olla liian lähekkäin, ettei tyyny pääse murtumaan siihen kohdistuvien voimien takia. 1 mm:n paksuisella ahiolla tyynyssä olevan pistimen reiän välys on oltava 12 %:a materiaalin paksuudesta eli 0,12 mm:ä ja 0,8 mm:n paksuisella ahiolla 0,096 mm:ä. Näin ollen reikien minimimitat ovat 10 mm:n prikoissa 10 mm:ä + 0,12 mm:ä = 10,12 mm:ä, ja 8 mm:n prikoissa 8 mm:ä + 0,096 mm:ä = 8,096 mm:ä. Tyynyn kestävyuden kannalta reikien väliin olisi hyvä jättää 2 mm:ä materiaalia, ettei murtumia pääse tulemaan. Lisäksi tyynyn alapuolella oleva reikä, josta priikka tulee, on oltava noin millimetrin isompi, kuin priikka, jottei se jumitu työkaluun. Pistimien kannat on myös oltava isompia kuin itse pistin. Nämä huomioon ottaen kumpiinkin työkaluihin jätetään reikien väliin 2,5 mm:n verran materiaalia, ettei työkalun osiin tule murtumia eikä pistimien kannat osu toisiinsa. Reiän ulkoreunan ja aihion reunan väliin riittää 2 mm:ä materiaalia. Lisäksi aihion toiseen reunaan 1,5 mm:ä reunapistintä varten.

3.2 Lävistysvoima

Materiaalia lävistettäessä on hyvä ottaa huomioon tarvittava lävistysvoima. Lävistyskoneella eli tässä tapauksessa epäkeskopuristimella on aina tietty voima, jota suurempi tarvittava lävistysvoima ei saa olla. Samalla työkalulla voidaan nopeuttaa tuotantoa tekemällä enemmän tuotteita kerralla, tämä kuitenkin kuormittaa lävistyskonetta enemmän. Tarvittavan lävistysvoiman ylittäessä koneen tuottaman voiman, työkalu voi mennä jumiin ja aiheuttaa laiterikkoja. Työkalujen jumittuessa syntyy myös katkoja tuotantoon, joka näin ollen vaikuttaa myös kustannuksiin. Työkaluja suunniteltaessa on hyvä ottaa huomioon tarvittavat voimat, jotta kone toimii moitteettomasti ja saadaan tuotettua tuotteita mahdollisimman tehokkaasti.

Voima, jota lävistykseen tarvitaan, voidaan laskea yksinkertaista kaavaa

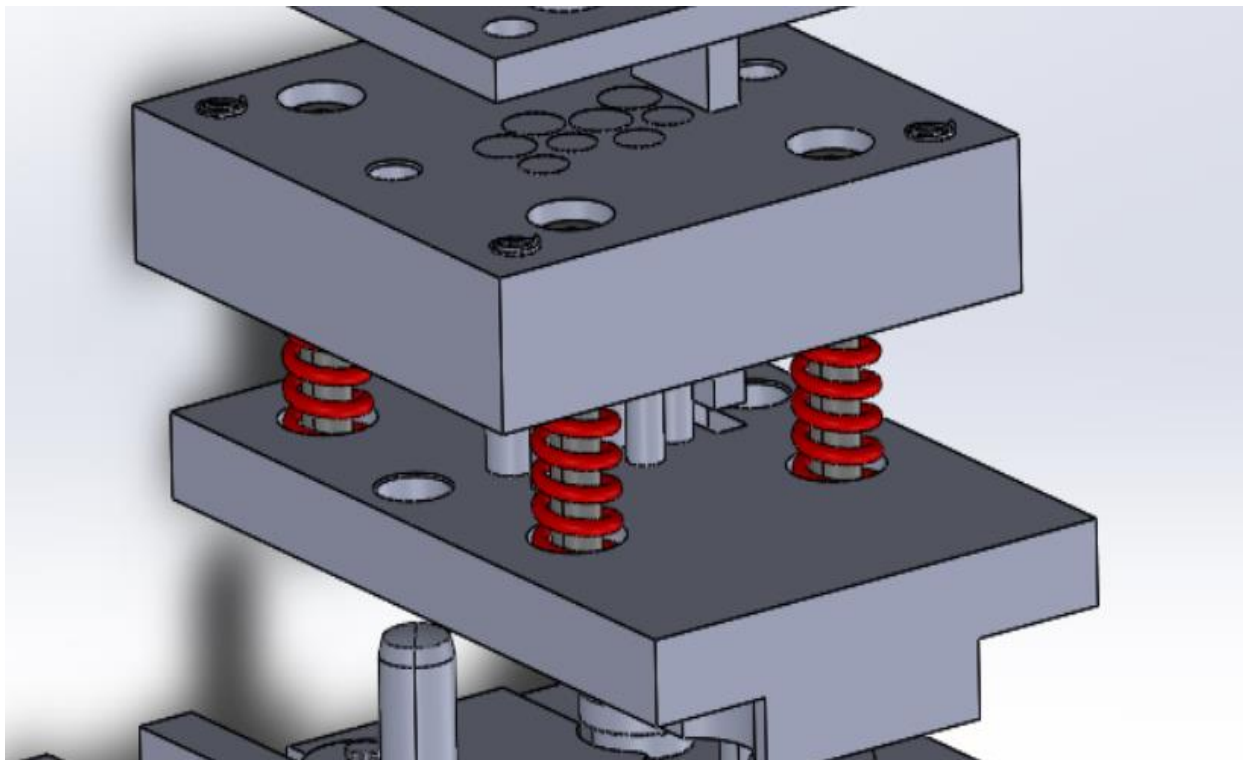
$$F = \pi * D * s * f * R_m \quad (1)$$

apuna käyttäen. Kaavassa F kuvaa lävistysvoimaa, D lävistystyökalun reiän halkaisijaa, s käytettävän materiaalin paksuutta, R_m materiaalin murtolujuutta ja f materiaalikohtaista tekijää. Materiaalikohtainen tekijä on kuparilla 0,6, alumiinilla 0,5, teräksillä 1-1,4. Materiaalitekijän arvot ovat suuntaa antavia, ja nousevat materiaalin kovuuden mukaan. Kylmämuokatun kuparin murtolujuus R_m on noin 320 N/mm². (Matilainen ym. 2011, 187; Kupari 2009, 4.)

Kaavan 1 mukaan 8 mm:n prikalle tarvittava lävistysvoima on 3860 N. Vuorostaan 10 mm:n prikalle lävistysvoima on 6032 N. Näiden lisäksi samalla iskulla tehdään 1,5 mm:n suuruinen reikä, joka tulee prikan keskelle. Tämän pienen reiän lävistämiseen tarvitaan voimaa noin 700 N pienemmissä prikoissa ja isommissa 900 N. Tehdessä 3 kappaletta 10 mm:n prikoja kerralla voimaa tarvitaan noin 20800 N eli 20,8 kN. 8 mm:n prikoja tehdään 4 kappaletta kerralla, joten niihin tarvitaan voimaa noin 18200 N eli 18,2 kN. Lävistykseen tarvittavaa voimaa voidaan tarvittaessa hieman pienentää viistävä tyyny tai pistin.

3.3 Irrotusvoima ja jouset

Leikkeen irrottamiseen pistimestä sekä pistimen palautumiseen alkuasentoon tarvitaan irrotusvoimaa. Irrotus tapahtuu jousikuormitteisesti. Pistimien kiintityslevyn sekä irrottimen välissä on jouset (KUVA 5), jotka mahdollistavat työkalun toiminnan sekä palautumisen alkuasentoon. Työkalussa on neljä esikuormitettua, joka on mahdollistettu tietyn mittaisilla pulteilla jousen läpi. Työkaluissa voidaan tarpeen mukaan käyttää eri jäykkyyksillä olevia jousia. Leikkuutyökalujen jouset ovat värikoodattuja niiden jäykkyyden mukaan. Vihreät jouset ovat kevyitä, siniset keskiraskaita, punaiset raskaita ja keltaiset erikoisraskaita. Nykyisissä työkaluissa on toisessa kevyet jouset ja toisessa keskiraskaat. Yhden prikan kerralla tekevässä työkalussa on kevyet jouset ja kaksi prikkaa kerralla tekevässä keskiraskaat.



Kuva 5. Irrottimen jouset (Kukkonen 2020-03-29.)

Tarvittavan irrotusvoiman määrä riippuu pistimen sekä lävistettävän materiaalin paksuuden suhteesta eli pistimen halkaisija/materiaalin paksuudella. Tuloksen ollessa yli 2, irrotusvoimaksi riittää 5 – 10 %:a lävistysvoimasta. Muussa tapauksessa irrotusvoiman suuruus on 25 – 35 %:a lävistysvoimasta. (Aunio, ym 1989, 167.)

10 mm:n prikoja tehdessä irroitusvoimaa tarvitaan 1500 - 2500 N ja 8 mm:n prikoissa saman verran. Arvot on saatu laskemalla yhteen pienen sekä ison pistimen vaatimat irroitusvoimat. Työkalussa jousia on yhteensä 4 kappaletta, joten yhden jousen voima tarvitsee olla korkeintaan noin 600 N. Sopivaksi jouseksi pituuden sekä voimien puolesta valikoitui osa no. P16.038 (TAULUKKO 1). Jousen maksimivoima kokonaan kasaan puristettuna on 70 daN eli 700 N. Yhteensä voimaa neljälle jouselle tarvitaan siis 2800 N.

TAULUKKO 1. Jousien voima/puristus taulukko (SUOMEN EDM OY, tuoteluettelo, 57.)

KOOT 10-16 mm PYÖREÄ LANKA				VÄRI: PUNAINEN								
Kokonaispuristus suositus pitkälle kestoiälle (20 % L0:stä)	Kokonaispuristus suositus keskipit- källe kestoiälle (25% L0:stä)	Maksimi käyttöpuristus (30 % L0:stä)		Matka kokoon- puristukseen								
		Voima daN	Puristus mm	Voima daN	Puristus mm	Voima daN	Puristus mm					
10	5	25	P10.025	2,13	10,5	5	13,0	6,2	16,0	7,5	19	8,9
		32	P10.032	1,64	10,5	6,5	13,0	8,0	15,5	9,6	19	11,7
		38	P10.038	1,33	10,0	7,5	12,5	9,5	14,5	11	18,5	14
		44	P10.044	1,13	10,0	9	12,5	11	14,5	13	18,5	17
		51	P10.051	0,98	10,0	10	12,5	13	10,5	15	18,5	19
		64	P10.064	0,78	10,0	13	12,5	16	14,5	19	18,5	25
		76	P10.076	0,63	9,5	15	12,0	19	14,5	23	18	29
		305	P10.305	0,15	9,0	61	11,5	76	13,5	91	18	120
12,5	6,3	25	P13.025	3,9	19,5	5	24	6,2	29	7,5	34	8,7
		32	P13.032	3	19,5	6,5	24	8,0	29	9,6	33	11,0
		38	P13.038	2,42	18	7,5	23	9,5	27	11	32	13,5
		44	P13.044	2,01	18	9	22	11	26	13	32	16
		51	P13.051	1,77	18	10	23	13	27	15	32	19
		64	P13.064	1,38	18	13	22	16	26	19	32	24
		76	P13.076	1,14	17	15	21,5	19	26	23	32	29
		89	P13.089	0,96	17,3	18	21,1	22	25,9	27	32	33
		305	P13.305	0,27	16,5	61	20,5	76	24,5	91	32	120
16	8	25	P16.025	8,7	44	5	54	6,2	65	7,5	76	8,7
		32	P16.032	6,4	42	6,5	51	8,0	61	9,6	70	11
		38	P16.038	5,2	39	7,5	49	9,5	57	11	70	13,7
		44	P16.044	4,2	38	9	46	11	55	13	66	15,7
		51	P16.051	3,64	36	10	47	13	55	15	66	18,5
		64	P16.064	2,84	37	13	45	16	54	19	66	23,5
		76	P16.076	2,33	35	15	44	19	54	23	66	29
		89	P16.089	1,98	36	18	44	22	53	27	66	34,5
		102	P16.102	1,72	34	20	45	26	53	31	66	40
		305	P16.305	0,54	33	61	41	76	49	91	66	122

Jouset asennetaan paikoilleen esijännitettyinä. Jouset ja ruuvit mitoitetaan siten, että jousi on muuttaman millin kasassa, kun työkalu on alkuasennossa. Uusiksi ruuveiksi jousille valitaan samat ruuvit kuin alkuperäiset mutta 5 mm:ä pidemmät. Esijännityksen sekä jousen pituuden takia tarvittiin noin 3,5 mm:ä pidempi ruuvi, kuin alkuperäisessä työkalussa. Tarve oli saada 3.5 mm:ä pidempi ruuvi, mutta kun niitä ei ole, valitaan 5 mm pidempi ja tehdään pistimen kiintämyslevyn puoleisesta jousen kupista 1.5 mm syvämpi. Näin ollen saadaan haluttu pituus ja jousille oikea esijännitys. Uudet ruuvit jousille ovat merkinnältään ISO 7379-12.9 st 8X40/M6. Ruuvit kiinnittävät ja puristavat jouset esi-kuormaan.

Pulttien kierteitä vastaavat kierteet ovat irrottimesta, joka karkaistaan halutun kovuuden takia. Kier- teiden koneistus on tehtävä ennen karkaisua, joten tarkkaa ohjausta ei voi näistä ottaa. Tarkkaa kohdistusta ei yleensä suositella ottamaan kierteestä. Epätarkkuuden takia olkapulteille tulevista reiistä on tehtävä väljät. (Suhonen, 2020.)

3.4 Epäkeskon puristusvoima

Puristimen tarvittava maksimi voima on lävistysvoima + jousien irroitusvoima eli 20800 N + 2800 N = 23600 N eli 23,6 kN. Epäkeskopuristimen tuottama voima täytyy siis olla enemmän kuin 23,6 kN, jotta uudet työkalut toimisivat halutulla tavalla.

Epäkeskopuristin on varsin vanha, eikä siitä löytynyt juuri mitään tietoja. Ainut voima mikä oli tiedossa, oli sähkömoottorin teho 2,2 kW. Internetistä löytyi vanha esite, josta käy ilmi puristusteho vastaavanlaisesta puristimesta (Taulukko 2). Vauhtipyörän koon ja muiden mittojen perusteella ve-neveistämön puristin on tehokkaampi malli. Puristusteho on 10 000 kiloa, joka vastaa noin 98 kN. Voiman tarve tälle on noin 1.5 kW, joten 2.2 kW moottorilla saavutetaan 10 000 kilon puristusteho. (Kansalliskirjasto 2020.) Puristimen voima riittää helposti uusien työkalujen tarvitsemaan 23,6 kW voimaan. Puristimen voima on noin nelinertainen tarvittavaan voimaan nähden.

TAULUKKO 2. Epäkeskopuristimen tiedot (Kansalliskirjasto 2020-03-22.)

Puristusteho	10.000 kg	7.000 kg
Iskunpituus	0—50 mm	0—40 mm
Kidan syvyys	122 "	112 "
Suurin korkeus pöydän ja luistin välillä	220 "	190 "
Luistinvarren säädettävyyys	45 "	35 "
Tapin reikä luistissa	28 "	22 "
Pöydän mitat	n. 364 × 225 "	n. 320 × 204 "
Pöydän aukon mitat	n. 166 × 100 "	n. 150 × 90 "
Vauhtipyörän läpimitta	645 "	540 "
Vauhtipyörän leveys	115 "	90 "
Vauhtipyörän kierrosluku	n. 130 k/min.	n. 150 k/min.
Suurin leikkaus pinta-ala (rautalevyä)	250 mm ²	170 mm ²
Suurin stansattavan levyn vahvuus (rautalevyä)	n. 4 mm	n. 3 mm
Voiman tarve	n. 2 hv.	n. 1 ½ hv.
Paino	n. 550 kg	n. 400 kg
Hinta mk		

4 OSIEN SUUNNITTELU

Tässä luvussa esitellään epäkeskopuristimen työkalun osia ja niiden suunnittelussa huomioon otettavia asioita. Työkalun osia ovat pistin, pistimen kiinityslevy, reunapistin, painelevy, irrotin, tyynty sekä ohjuritapit. Lisäksi työkalussa on jousia sekä ruuveja mahdollistamassa toimintaa. Osien suunnittelussa materiaalivalinnoilla on suuri merkitys työkalun kulutus kestävyuden kannalta.

Työkalun osien suunnittelun lähtökohtana pidetään valmiin tuotteen piirustusta sekä aihiota, joiden avulla määritetään valmistuksen kannalta oleelliset asiat. Nämä asettavat vaatimukset, joiden perusteella työkalun osia ruetaan suunnittelemaan. Ennen rainakuvaa ja sen piirustusta on tehtävä esisuunnitteluvaihe, johon kuuluu lähtökohtien selvittäminen. Työn lähtökohdissa selvitetään esimerkiksi toimintaperiaate, työkaluihin kohdistuvat voimat, lävistyksen vaadittavat voimat sekä käytettävissä olevan koneen voimat. Asennoivat osat ohjaavat aihiota haluttuun kohtaan, ja pidättävät osat hallitsevat aihion liikettä työkierron aikana. Työkalun osien materiaalit valitaan tuotteen muodon ja valmistuserän mukaan. (Aaltonen ym. 1991, 88-89.)

4.1 Pistin

Pistin irroittaa aihioista halutun muotoisen kappaleen. Hyvän toimivuuden kannalta pistimeltä edellytetään hyvää leikkauskykyä, tukevuutta leikkausvoiman takia ja siinä on oltava teroitusvaraa sekä sovellettava teroitettavaksi. Pistimen mitta on oltava sen verran pitkä, että se menee hieman tyyntyn sisään, jolloin kappale leikkaantuu irti levystä. Pistin tulee upotettuna kiini pistimen kiinityslevyyn tai vaihtoehtoisesti pistinistukkaan, joka kiinitetään kiinityslevyyn. Suurempien pistinten kiinityksessä käytetään ruuveja sekä ohjuritappeja. Pistimen yläpinta sekä kiinityslevy on oltava samassa tasossa. Pistimissä ja tyyntyissä voidaan käyttää samaa materiaalia. Pistimen ja tyyntyn materiaali määräytyy tuotteen materiaalin, kappalemäärän sekä koon mukaan. Työkalun osien suunnittelussa kannattaa mahdollisuuksien mukaan käyttää standardipistimiä. Standardipistimet ovat valmiiksi karkaistuja ja hinta on edullinen koko pistimen valmistukseen verrattuna. Standardipistimiä täytyy vain muotoilla halutun muotoiseksi. Muotoilu on edullisempaa kuin koko pistimen valmistus sekä karkaisu. (Aaltonen ym. 1991, 111-113; Aunio ym. 1989, 149-196.)

Pistimen (KUVA 6) pää on pallomainen, jolloin prikasta tulee samanmuotoinen, tämä ominaisuus oli tärkeää säilyttää. Markkinoilla on myytävänä standardipistimiä, jotka ovat edullisia sekä valmiiksi karkaistuja. Valmiiden pistimien materiaalit ovat pikaterästä 1.3344 ja kovuudeltaan 64-66 HRC. (SUOMEN EDM OY, tuoteluettelo, 2). Näitä pistimiä täytyy vain hieman muokata, jotta ne soveltuvat haluttujen prikkujen valmistukseen. Käyttämällä standardiosia, saadaan työkalun kustannuksia alemmas. Pistimen pituus määritettiin niin, että se jää mahdollisimman lähelle irrottimen alapintaa. Näin saadaan pistin irrottamaan priikka jo muutaman millimetrin puristuksella. Etuna tässä on se, että tarvitaan vähemmän voimaa, kun jouset ovat painuneet vain hieman kasaan ja pistimiin jää teroitusvaraa. Prikkoihin tulee keskelle halkaisijaltaan 1.5 mm:n kokoinen reikä, joka tekee työkalussa omat pistimet. Pistimet näille saadaan myös muokattua myytävistä valmiiksi karkaistuista pistimistä. Pistimet kiinitetään pistimien kiinityslevyyn. Kiinityslevy tulee painelevyn alapuolelle. Painelevy pitää

pistimet kiini kiinityslevyssä. Kiinityslevyn alapintaan tulee jouset ennen irroitinta. Kiinityslevyn tulee olla riittävän paksu, jotta pistimet asettuvat siihen tukevasti. Paksuutta levyllä 21.5 mm:ä, joka on saman verran kuin alkuperäisillä työkaluilla. Kiinityslevyssä ja pistinistukassa voidaan käyttää samaa materiaalia. Näihin ei kohdistu niin paljon voimia, kuin esimerkiksi tyynyyn, joten materiaaliksi käy esimerkiksi rakenneteräs, jonka kovuus 250 HB. (Aaltonen ym. 1991, 113.)

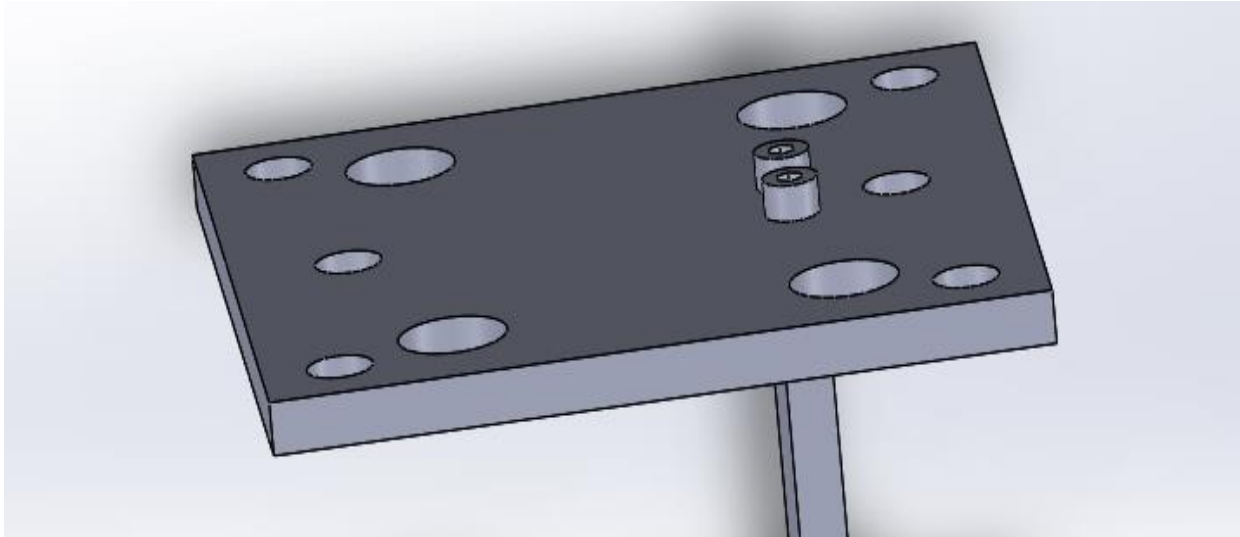


KUVA 6. Pistin (Kukkonen 2020-03-12.)

4.1.1 Painelevy

Pistimen kannan pintapaineen ylittäessä 250 N/mm^2 , käytetään painelevyä. Painelevy on noin 5 mm:ä paksu ja tulee pistimen ja pistimen kiinityslevyn päälle. Painelevy on karkaistu ja sen kovuus on 56 - 58 HRC. (Aunio ym. 1989, 191.)

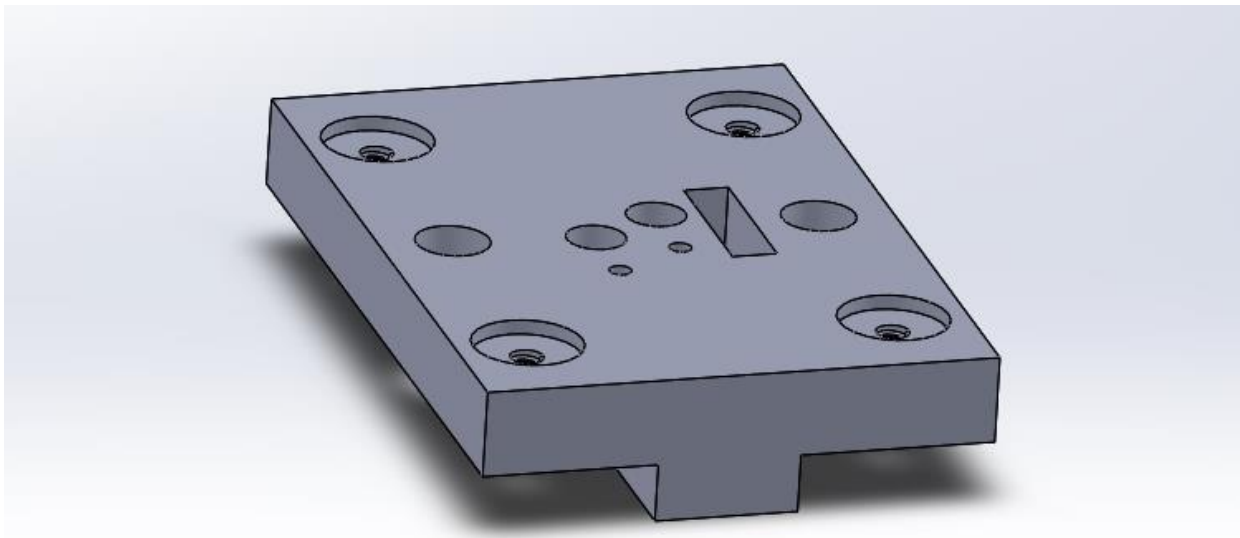
Painelevy estää pistimien liikkumisen niiden kiinityslevyssä. Reunapistin kiinitetään ruuvien avulla painelevyyn (KUVA 7). Epäkeskopuristimen mäntä on kosketuksissa painelevyn kanssa, ja tämän avulla painaa koko työkalua alaspäin. Painelevyn materiaaliksi käy esimerkiksi kylmätyöteräs, jonka kovuus on 56 - 60 HRC. Painelevyn pituus, leveys ja halkaisija ovat samat kuin nykyisillä työkaluilla, johtuen kiinitysreikien paikoista. Mitat ovat 100 x 100 x 6 mm:ä.



KUVA 7. Painelevy (Kukkonen 2020-03-12.)

4.2 Irrotin

Irrotinta (KUVA 8) käytetään pistimen irrottamiseen ahiosta. Työkalun toimivuuden kannalta on välttämätöntä, että aihio ei jää kiini pistimeen. Irrotin voi olla kiinteä tai jousitettu sekä avoin tai suljettu. Kiinteää suljettua irrotinta käytetään työkaluissa, jotka ovat pylväs- ja levyjohteisia, kun taas kiinteää avointa yli 3 mm:n ahiolla olevissa piensarjoissa. (Aunio ym. 1989, 192.)



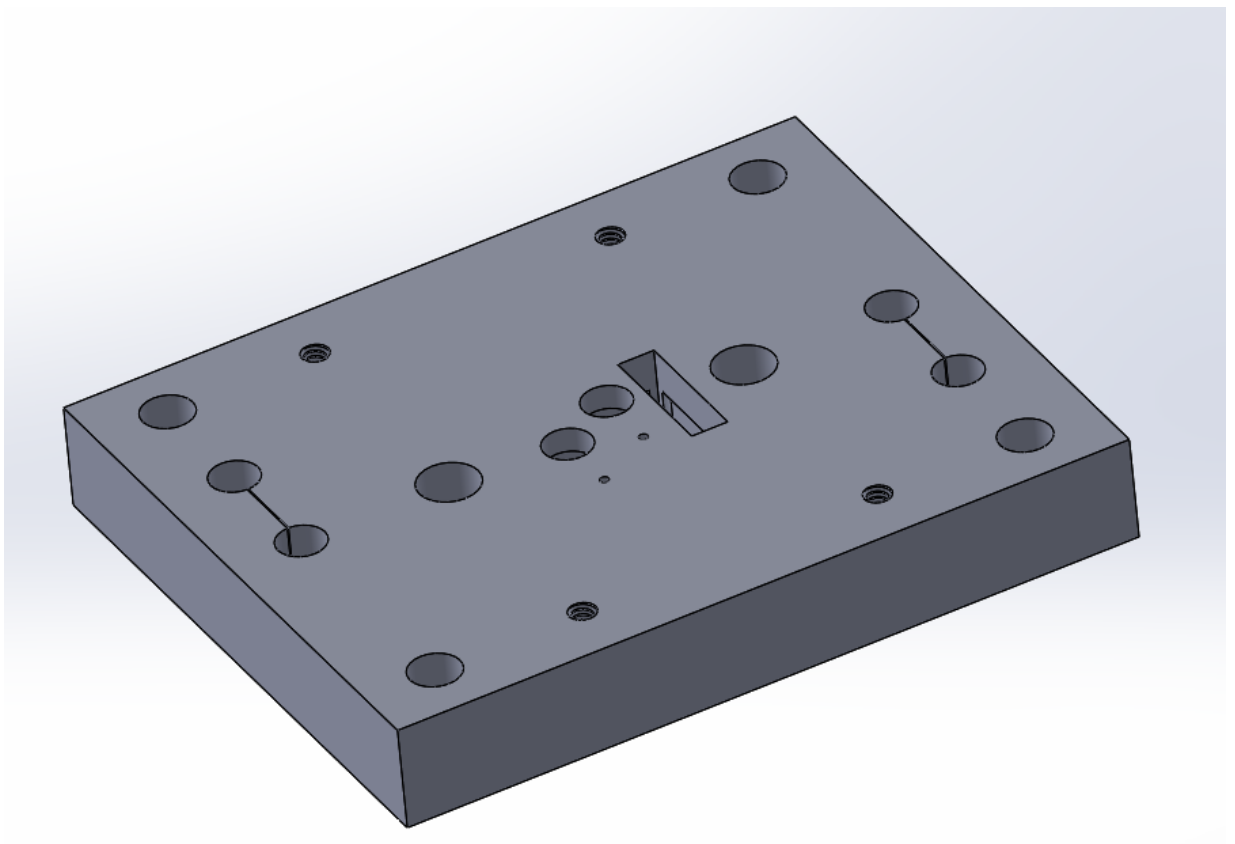
KUVA 8. Irrotin (Kukkonen 2020-03-12.)

Irrottimen materiaalin valintaan vaikuttaa leikattavan sarjan suuruus. Pienillä ja keskikokoisilla sarjoilla voidaan käyttää rakenneteräksiä, suurilla sarjoilla nuorrutusteräksiä, ja hyvin suurilla sarjoilla vuorostaan kylmätyöteräksiä (Aaltonen ym. 1991, 113.) Tässä tapauksessa tuotantomäärä on suuri tai hyvin suuri, sillä prikkoja valmistetaan koko ajan, eikä vain tiettyä erää, joten kylmätyöteräs olisi sopiva vaihtoehto.

Irrotin pituus on sama kuin tyynyn pituus, koska irrotin painautuu ahiota vasten, joka lepää tyynyn päällä. Irrotin puristaa ahiota tyynyä vasten, pistinten lävistäessä materiaalia. Irrotin kiinitetään pulteilla sekä jousilla pistimen kiintyslevyyn. Irrotin paikoitus tapahtuu pistimien avulla. Nykyisissä työkaluissa irrotin kosketuspintaan on tullut jälkiä, joten hieman kovempi materiaali olisi hyvä uuteen työkaluun. Irrotin materiaaliksi hyvin suuren valmistuserän mukaan käy esimerkiksi kylmätyöteräs, jonka kovuus on 50 - 54 HRC.

4.3 Tyyny

Tyynyn (KUVA 9) materiaali määräytyy valmistettavan tuotteen muodon, materiaalin sekä valmistuserän mukaan. Suurille valmistus sarjoille suositellaan pikaterästä tai kylmätyöterästä, jotka ovat kovuudeltaan 60 - 66 HRC. Pistimissä voidaan käyttää samaa materiaalia. Tyynyn suunnittelussa tärkeitä ovat seuraavat ominaisuudet: tukeva tyyny, hyvä leikkeiden poistuvuus, sovitteilla oleva irrotus sekä kiintäminen, pistimen teroitusvara on tarpeeksi suuri. Suunitellessa pistintä ja tyynyä on helppointa aloittaa tyynyn suunnittelusta. Tyynyn kiintäminen tapahtuu ohjuritapeilla sekä ruuveilla. Leikkausvoimat on otettava huomioon tyynyn suunnittelussa, eli tyynystä täytyy tehdä riittävän paksu. Tyynyn muodon määrittää valmistettava kappale. Jonoleikkaukseen soveltuvin vaihtoehto on suorakulmion muotoinen tyyny. Monimutkaisten tyynyjen valmistuksessa tyyny voidaan joutua jakamaan useampaan eri osaan. (Aunio ym. 1989, 173 ja 189-190.)



KUVA 9. Tyyny (Kukkonen 2020-03-12.)

Pistimen ja tyynyn välissä täytyy olla pieni väly, jotta työkalu toimii halutulla tavalla. Välystä mietittäessä huomioon otettavia asioita ovat myös työkalun toiminta ja kestoikä sekä lävistettävän reiän laatu. Pistimen ulkohalkaisijan ja tyyny reiän välillä olevan välyksen ollessa liian suuri tai pieni syntyy haitta vaikutuksia. Haitta vaikutuksia ovat mm. työkalun äkillinen kuluminen ja viallinen/huonolaatuinen tuote. Valmiin tuotteen on poistuttava esteettömästi tyynyn läpi. Tämä mahdollistetaan noin 3 mm:ä syvillä pistimien reiillä, joiden jälkeen reiät suurenevat prikan putoamista varten. Tyynyn alle voidaan laittaa sopivan kokoisia säätölevyjä, jos tyyny/pistin on sellainen, että teroitusta ei ole ollenkaan. (Aunio ym. 1989, 189-190.)

Materiaalina nykyisessä tyynyssä on käytetty terästä, joka on kovuudeltaan noin 58 HRC (Kukkonen 2020, 12). Tyynyn materiaaliksi kävisi suuren kappalemäärän mukaan esimerkiksi kylmätyöteräs 1.2510, kovuudeltaan 60-62 HRC tai pikateräs W nro. 1.3344, jota käytetään myös pistimen materiaalina. Tämän materiaalin kovuus on 62 - 66 HRC, joka on hieman kovempaa kuin nykyisissä työkaluissa. Tyynyn mittoja jouduttiin muuttamaan, kun siirryttiin paikoitusliuskoista rullilla toimivaan aihion paikoitukseen. Tyynyn pituutta lisättiin 32 mm:ä ja kokonaispaksuutta 2 mm:ä. Materiaalihukkaa saadaan pienemmäksi suunnitteleamalla osat siten, että prikoja tulee useampi vierekkäin. Prikoja ei voida kuitenkaan laittaa liikaa vierekkäin, ettei työkalujen kiinitysreikien eteen tule mitään ja koneen voima on riittävä aihion lävistämiseen. 8 mm:n työkaluun sopii korkeintaan 4 priikka vierekkäin ja 10 mm:n työkaluun vuorostaan 3 vierekkäin. Jotta tämä olisi mahdollista täytyi laskea, että koneen voima riittää useamman kappaleen lävistämiseen kerralla.

4.4 Rainan ohjaus ja paikoitus

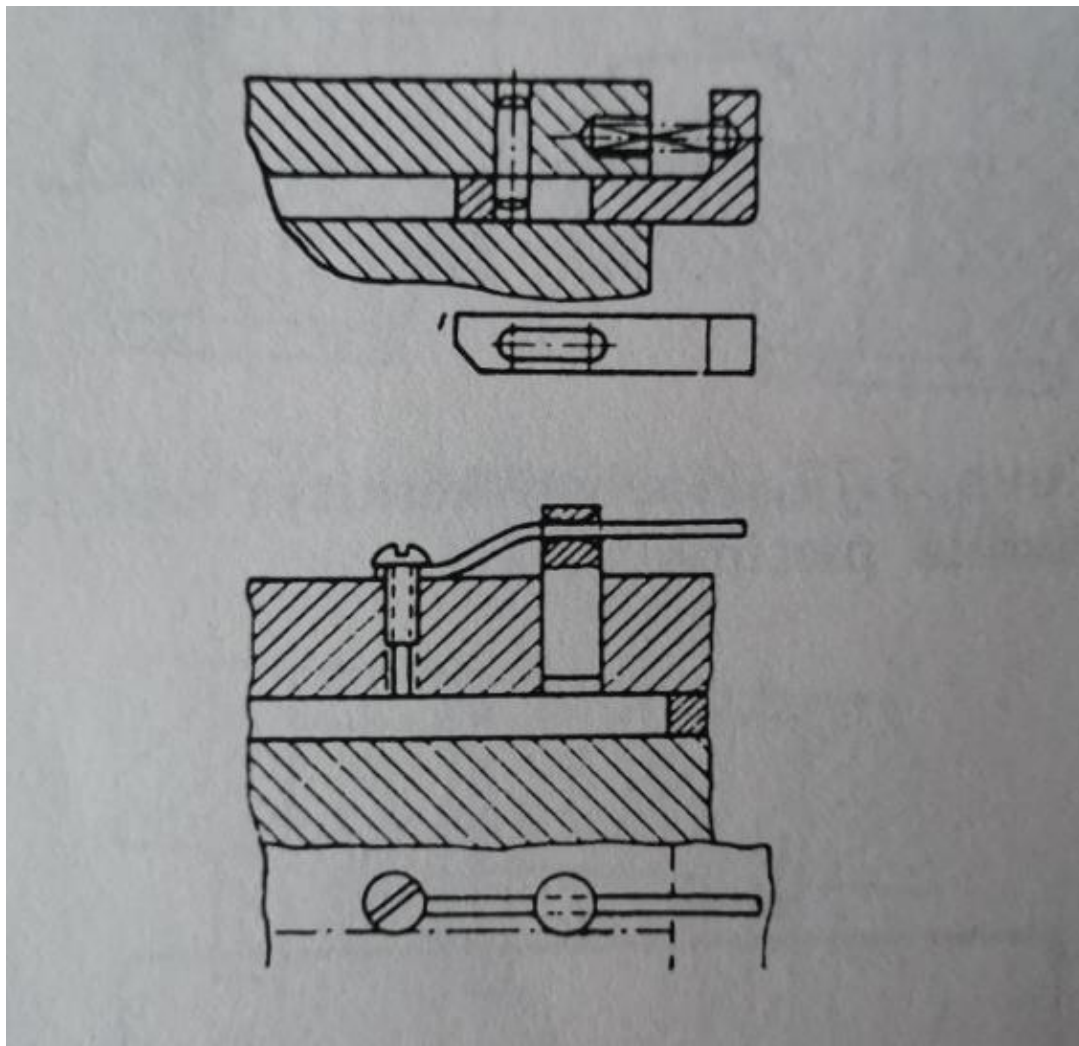
Rainan ohjauksessa käytetään asemoivia osia. Ohjauksessa voidaan käyttää seuraavia osia: hakutappeja, vasteita, johteita, sivupistimiä, syöttölaitteita sekä johdeuria. Tuotteen mittatarkkuus sekä työkalun rakenne määrittelevät tarkemmin millaista paikoitustapaa käytetään. Rainan syöttöpituutta ohjataan syöttölaitteilla, vasteilla tai reunapistimellä. Rainan paikoitus tapahtuu aihion muotoisella upotuksella tai vasteilla. Rainan voidaan keskittää sivusuunnassa vastetapeilla, johdeuralla, rullilla sekä jousirullilla. (Aunio ym. 1989, 194-195.)

Alkuperäisissä työkaluissa rainan ohjaus sivusuunnassa on toteutettu ohjauslistoilla. Tyynyssä on kaksi uralla varustettua listaa, jotka asemoidaan ohjuritappeja hyväksi käyttäen sekä lukitaan ruuveilla. Listojen väliin jää ura, johon aihio syötetään. Uran on kuitenkin oltava leveämpi kuin aihion, jottei se jumitu kiinni. Käsin syötettäessä aihiota väljään uraan, se pääsee heilumaan hieman sivusuunnassa, ja prikat tulevat eri kohtiin aihiota. Välyksen takia myöskään reikä ei aina ole täsmälleen prikan keskellä. Ura on hieman ylimitoitettu ja näin ollen materiaalihukkaa syntyy turhan paljon rainan reunoille.

Uusiin työkaluihin aihion paikoitus sivusuunnassa toteutettiin jousikuormitteisilla rullilla. Jousirullilla paikoitettavan aihion ei tarvitse olla liian leveä ja se se paikoittuu aina samaan kohti tyynyssä. Näin ollen aihion leveys voitiin minimoida, ja materiaalia säästyy, kun se kulkee aina samasta kohtaa.

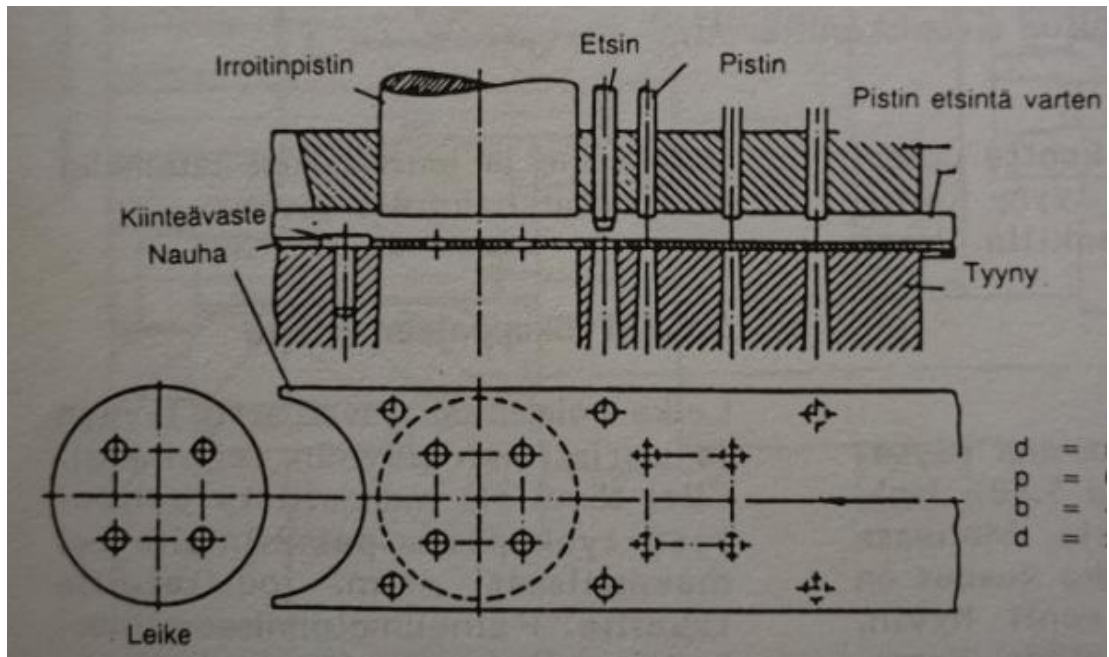
Aihion liikkuvuutta työkalun sisällä rajoitetaan erilaisilla vasteilla, jotta tarvittavat lävistyksiset saadaan tehtyä oikeisiin kohtiin. Syöttöä voidaan rajoittaa vasteilla, hakutapeilla sekä pistimillä. Rajoittimet voivat olla kiinteitä, jousikuormitteisia tai leikkaavia. (Aunio ym. 1989, 196.)

Vasteet ovat yksinkertaisia syötön rajoittimia, joissa jokin lieriö tai nasta rajoittaa rainan etenemistä. Vaste voi olla myös automaattinen aloitusvaste (KUVA 10), joka aluksi pysäyttää rainan reiän tekoa varten, jonka jälkeen suraava paikoitus tapahtuu edellisessä työvaiheessa tehtyyn reikään. Aihion pysyessä tyynyssä kiinni voidaan käyttää kiinteää vastetta, jonka viereen on asennettu pistin. Pistin poistaa aihioista kannaksen, jolloin aihio liikkuu taas oikean verran eteenpäin seuraavaa työvaihetta varten. (Aunio ym. 1989, 196.)



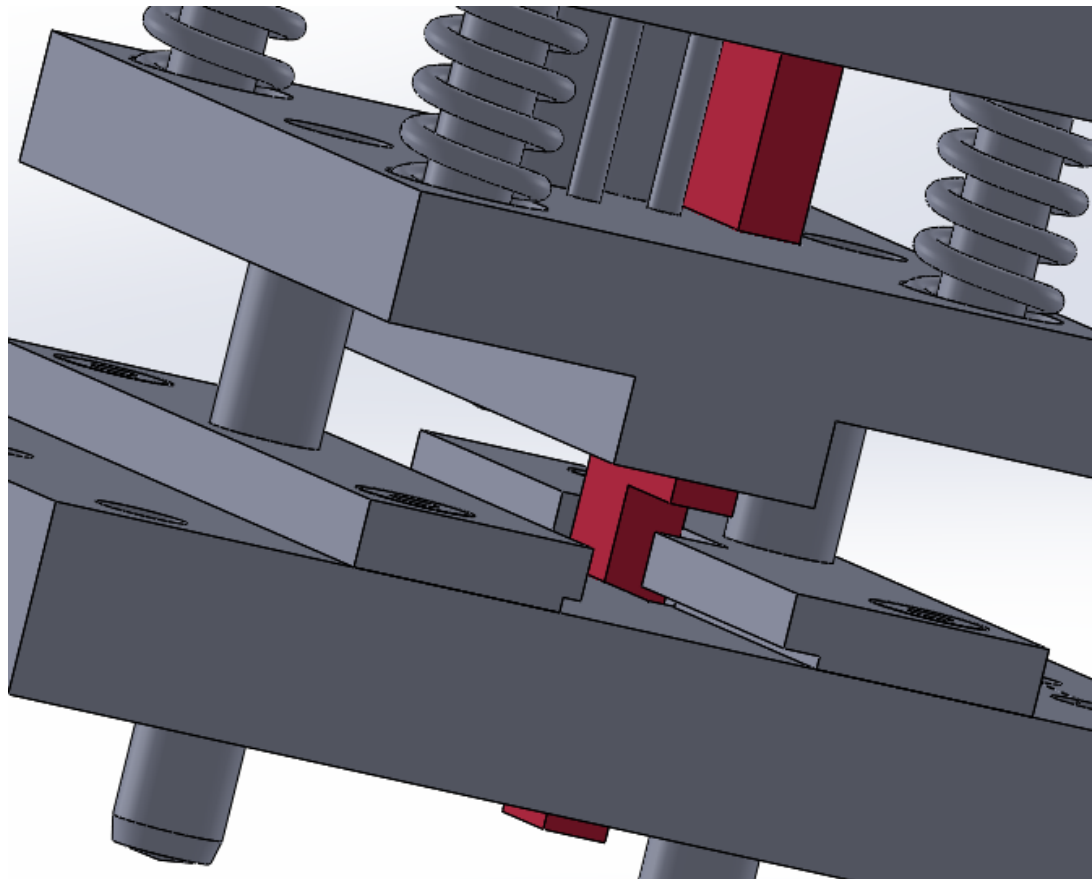
KUVA 10. Automaattinen aloitusvaste (Aunio ym. 1989, 196.)

Hakutapit (KUVA 11) paikoittavat rainan siihen tehtyjen reikien avulla. Hakutappi tunkeutuu edellisessä työvaiheessa tehtyyn reikään. Hakutappi voi tunkeutua joko valmistettavan leikkeen ulkopuolisiin reikiin tai leikkeen sisällä oleviin reikiin. Leikkeen sisällä oleviin reikiin tunkeutuvat hakutapit ova pistimen sisällä ja ulkopuolelle tunkeutuvat erillään. (Aunio ym. 1989, 196.)



KUVA 11. Hakutapeilla toimiva paikoitus. (Aunio ym. 1989, 197.)

Reunapistin (KUVA 12) pysäyttää aihion ja leikkaa sen reunasta palan pois. Palan leikattua aihion paikoitus tapahtuu samaan kohti kuin ensimmäisellä kerralla. Aihio pääsee siis liikkumaan aina leikatun palan verran eteenpäin. Reunapistin on hyvä vaihtoehto, jos hakutappeja tai vasteita ei voida käyttää. Reunapistimen huonona puolena on materiaalihukka, joka syntyy aihion reuna leikatessa.



KUVA 12. Reunapistin (Kukkonen 2020-03-13.)

Aihion täytyy pysyä ehjänä, jotta se voidaan vetää pois epäkeskopuristimesta. Tämän takia hakutappeja ei käytetä, sillä aihioon tulisi lisää reikiä ja sen eteneminen voisi takkuilla. Syötön rajoittimeksi valittiin reunapistin, sen käyttövarmuuden vuoksi. Reunapistimiä voisi olla kummallakin puolella aihiota, mutta tässä tapauksessa riitti vain yksi reunapistin, koska aihio paikoitetaan jousikuormitteisesti siihen reunaan, jossa pistin on. Reunapistimen leikkaavan terän pituus oli oltava sama, kuin pistinten etäisyys toisistaan, jotta prikan keskellä oleva reikä tulee juuri keskelle. Käytettäessä leveää aihiota ja vain yhtä reunapistintä, jonka leikkaava pala on 1.5 mm:ä leveä, ei hukkaa synny merkittävästi. 8 mm:n prikoja tehdessä reunapistimen aiheuttama materiaalihukka on noin 3.7 %:a, ja 10 mm:n prikoilla vuorostaan noin 4 %:a. Reunapistimen materiaaliksi käy kovuuteen 60 - 62 HRC karkaistu kylmätyöteräs.

4.5 Jousikuormitteiset rullat

Kupariaihion ohjausrullat ovat jousikuormitteisia, joten näihin piti valita oikeanlaiset jouset. Työkalujouset on värjätty niiden kovuuden mukaan. Kevyet jouset ovat vihreitä, keskiraskaat sinisiä, raskaat punaisia ja erikoisraskaat keltaisia. Jousien piti olla varsin kevyitä, koska jos puristusta on liikaa, ohut raina saattaa nyrjähtää työnnettäessä sitä rullien väliin. Jousen täytyi mahtua pieneen kooloon, joten paras vaihtoehto oli pieni 12.5 mm:n reikään menevä jousi. Jousen vapaa pituus on 25 mm:ä (TAULUKKO 3. tuote no. V13.025). Jouselle asetetaan pieni esikuorma, joka on oltava vähintään 5 %:a vapaasta pituudesta. Ennen aihion syöttöä jousi on esijännitetty noin 23.1 mm:iin, joka on hieman vajaa 8 %:a vapaasta pituudesta. Aihio syötettynä jousi puristuu noin 21,1 mm:iin. Jousivakion ollessa 0,89 daN/mm, voimaa yhdelle jouselle tarvitaan noin 3,2 daN. Yksi daN on 10 Newtonia. Kahdella jousella varustetut rullat vaativat siis 6,4 daN voimaa, eli 64 Newtonia. Jouset kiinnitetään työkalun osien väliin ja ne pysyvät paikoillaan upotusten ansiosta. Kiinikettä, jossa rullat ovat ohjataan ohjuritapeilla.

TAULUKKO 3. Jousien voima/puristustaulukko (SUOMEN EDM OY, tuoteluettelo, 53.)

KOOT 10-16 mm PYÖREÄ LANKA				VÄRI: VIHREÄ									
Reian halk. (mm)	Tapin halk. (mm)	Vapaa pituus (mm)	TUOTE NO.	Jousivakio daN/mm	VOIMA/PURISTUS TAULUKKO								
					Kokonaispuristus suositus pitkälle kestoialle (25% L0:stä)		Kokonaispuristus suositus keskipoikkealle kestoialle (30% L0:stä)		Maksimi käyttöpuristus (40% L0:stä)		Matka kokoonpuristukseen		
					Voima daN	Puristus mm	Voima daN	Puristus mm	Voima daN	Puristus mm	Voima daN	Puristus mm	
10	5	L0		R									
		25	V10.025	0,45	2,8	6,2	3,4	7,5	4,6	10,2	5,8	13	
		32	V10.032	0,35	2,8	8,0	3,4	9,6	4,4	12,5	5,6	16	
		38	V10.038	0,28	2,7	9,5	3,1	11	4,2	15	5,6	20	
		44	V10.044	0,24	2,6	11	3,1	13	4,3	18	5,6	23	
		51	V10.051	0,21	2,7	13	3,1	15	4,2	20	5,6	27	
		64	V10.064	0,16	2,6	16	3,0	19	4,0	25	5,5	34	
		76	V10.076	0,13	2,5	19	3,0	23	3,9	30	5,3	40	
		305	V10.305	0,03	2,3	76	2,7	91	3,7	122	4,9	163	
		12,5	6,3	25	V13.025	0,89	5,5	6,2	6,7	7,5	9,1	10,2	11,6
32	V13.032			0,67	5,4	8,0	6,4	9,6	8,4	12,5	11,4	17	
38	V13.038			0,55	5,2	9,5	6,1	11	8,3	15	11,0	20	
44	V13.044			0,46	5,1	11	6,0	13	8,3	18	10,6	23	
51	V13.051			0,39	5,1	13	5,9	15	7,8	20	10,5	27	
64	V13.064			0,3	4,8	16	5,7	19	7,5	25	10,5	35	
76	V13.076			0,25	4,8	19	5,7	23	7,5	30	10,3	41	
89	V13.089			0,21	4,6	22	5,7	27	7,6	36	10,3	49	
305	V13.305			0,06	4,6	76	5,5	91	7,3	122	10,0	166	
16	8			25	V16.025	1,79	11,1	8,2	13,4	7,5	18,3	10,2	23
		32	V16.032	1,34	10,7	8,0	12,9	9,6	16,8	12,5	21	16	
		38	V16.038	1,06	10,1	9,5	11,7	11	15,9	15	21	20	
		44	V16.044	0,87	9,6	11	11,3	13	15,7	18	20	23	
		51	V16.051	0,76	9,9	13	11,4	15	15,2	20	20	27	
		64	V16.064	0,59	9,4	16	11,2	19	14,8	25	20	34	
		76	V16.076	0,48	9,1	19	11,0	23	14,4	30	19,7	41	
		89	V16.089	0,4	8,8	22	10,8	27	14,0	35	19,6	49	
		102	V16.102	0,35	9,1	26	10,8	31	14,3	41	19,6	56	
		305	V16.305	0,11	8,4	76	10,0	91	13,4	122	18,7	170	

4.6 Toleranssit ja sovitteet

Työkalujen osista osa tarvitsevat tarkkoja mittoja. Työkaluissa on tappeja, jotka tulevat puristussovitteella kiini reikiin, näissä on syytä käyttää oikeita toleransseja, jotta ei tule väljää tai liian tiukkaa liitosta. Pistimet liikkuvat vapaasti niiden kiinityslevyissä, mutta niissä ei ole välystä, joten näihin on määriteltävä oikeat toleranssit. Muita osia, jotka tarvitsevat toleransseja ovat: tyynyn reiät, irroitimen reiät ja ohjuritapit sekä niiden reiät. Näiden lisäksi on kiinitettävä huomiota pinnankarheuksiin.

Reikätoleransseissa käytetään isoa kirjainta sekä numeroa esimerkiksi H7 ja akseli toleransseissa pientä kirjainta sekä numeroa esimerkiksi h7. Akseleissa, jotka asennetaan reikään H7 puristamalla, voidaan käyttää pakotussovitetta m6 (TAULUKKO 4). Akseleissa, joita voidaan liikutella käsin reiässä H7, käytetään vällysovitetta h6. (Pere 2016, 20 – 28.)

TAULUKKO 4. Esimerkkejä sovitteiden käyttökohteista (Pere 2016, 20 – 28.)

Reikäkanta				Käyttökohteita	Akselikanta				
H7	H8	H9	H11		h6	h7	h8	h9	h11
s6	u7			Luja ahdistusovite. Liittäminen kutistamalla tai paineöljyllä. Vääntömomentin siirtoon ilman kiilaa.					
p6				Ahdistusovite. Liittäminen puristamalla tai kutistamalla. Siirtää pienehkon vääntömomentin.					
				Helppo ahdistusovite. Kestää pienen vääntömomentin. Laakeriholkki pesässään, hihnapyörä ja vinohampainen hammaspyörä kiilaliitoksella akselillaan.	P7 P8	P7 P8			
m6				Pakotusovite. Koottava yleensä puristimella. Vaatii kiilavarmistuksen vääntömomenttia siirrettäessä.	M7				
k6				Helppo pakotusovite. Koottavissa vasaroimalla. Pysyvästi asennetut ketjupyörät ja suoraampaiset hammaspyörät akselillaan.	K7				
js6				Tartuntasovite. Liikutettavissa käsin tai kevyesti vasaroimalla. Purettavat hammas- ja käsipyörät akselilla.	JS7	JS8	JS8	JS8	
h6	h7 h8	h8	h11	Työntosovite. Liikutettavissa käsin. Pinolit, välirenkaat ja -holkit, sokalla varmistetut navat.	H7	H8	H8	H9	H11
g6				Työstökoneen karan liukulaakerit, siirrettävät kytkimet, vaihdettavat hammaspyörät.					
	f8	f8		Liukusovite. Hitaasti liikkuvat liukulaakerit, männät sylinterissä, aksiaalisesti siirrettävät pyörät.		F8	F8	F8	
	e9	e9		Liukulaakerit pitkissä tai monilaakerisissa akseleissa, kampiakseleissa, vivuissa.			E9	E9	
		d10	d10	Suurivälkyksinen. Karkeat liukulaakeroinnit, suuret lämpötilaerot laakereissa.			D10	D10	

Kaikkia ohjuritappeja ei tarvitse valmistaa, vaan niitä löytyy osto-osina. Useimpina ohjuritappeina voidaan käyttää DIN 6325 lieriäsokkaa, joita löytyy eri pituuksilla ja paksuuksilla. Näiden halkaisija-toleranssi on m6, joten vastaaviin reikiin toleranssi H7. Pistimiin ja niiden reikiin valitaan vällysovite H7/h6.

4.7 Materiaalit

Työkalun osien materiaalien valintaan vaikutti tuotteen muoto, materiaali sekä valmistuserän suuruus. Prikkoja valmistetaan koko ajan, eikä vain tietyn kokoista erää, joten valmistuserän koko on suuri. Työkalujen materiaaleiksi olisi tullut montaa erilaista materiaalia ja usealla eri kovuudella. Osien eri kovuudet ja materiaalit nostavat valmistuskustannuksia, joten pyrittiin valitsemaan mahdollisimman paljon samoja materiaaleja osiin, jotka voitaisiin karkaista samalla kertaa.

Valmistuskustannuksia kartoittaessa työvälinevalmistajilta, saatiin tietoa materiaaleihin liittyen. Tarjouksia työkalujen valmistuksesta kysyttiin kolmelta yritykseltä eri paikkakunnilta. Tämän tyyppisissä osissa on käytetty materiaaleina Böhler K340 kylmätyöterästä karkaistuissa osissa ja pehmeimmissä osissa 34CrMo4 nuorrutusterästä. Työkalun rullat ja niiden tapit voidaan tehdä nuorrutusteräksestä 34CrMo4, josta myös muut karkaisemattomat osat valmistetaan. Näin ollen valmistuskustannukset pienenevät, kun käytetään samanlaisia materiaaleja mahdollisimman paljon. Karkaistaviin osiin Böhler K340 kylmätyöteräs, karkaistuna kovuuteen noin 60 HRC. Valmistuskustannuksia saadaan pienemmäksi, kun osat tehdään samasta materiaalista sekä karkaistaan samalla kertaa. (Suhonen, 2020.)

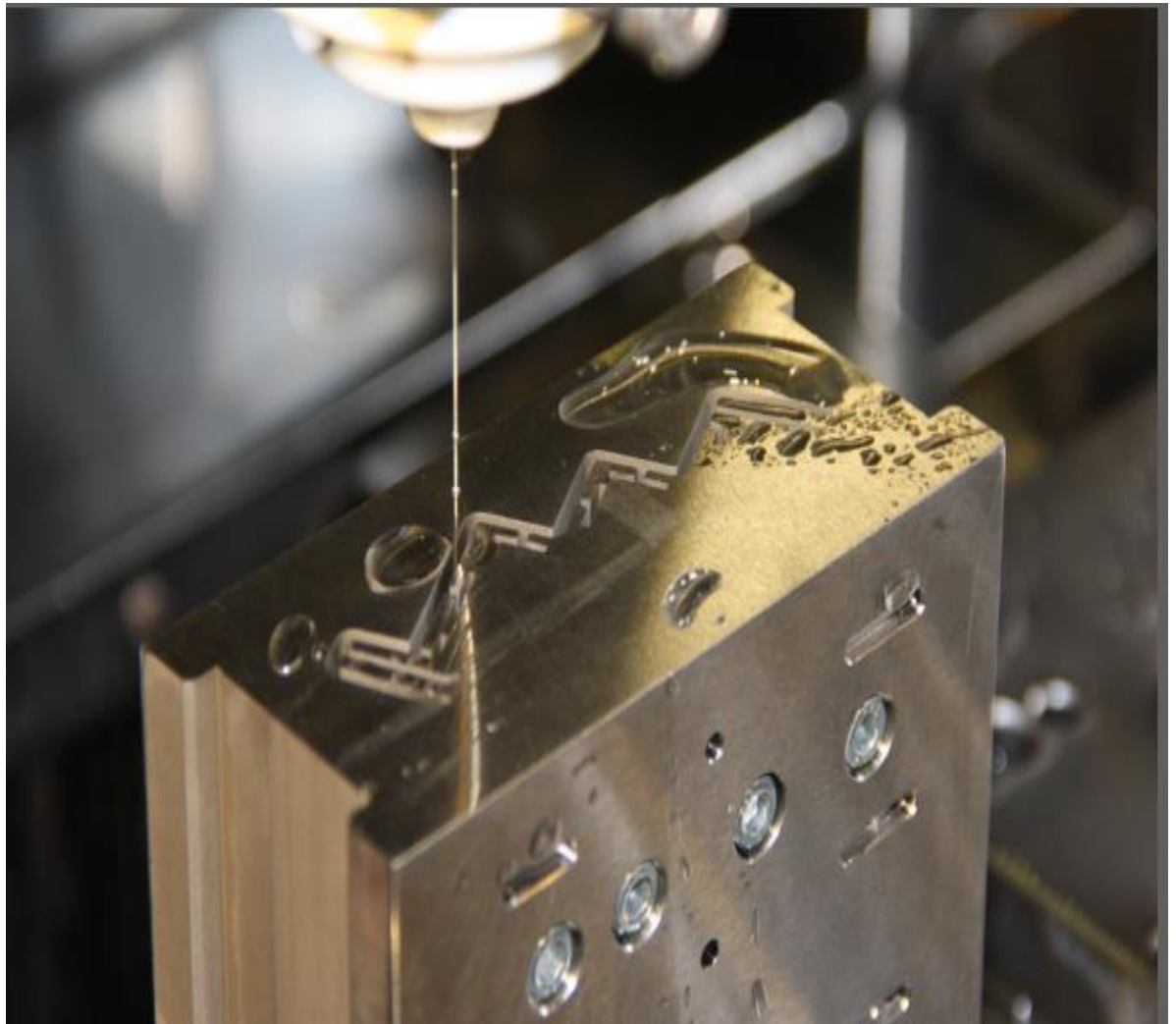
Työkaluihin soveltuvia materiaaleja (TAULUKKO 5). Valitsemalla mahdollisimman vähän erilaisia materiaaleja, voidaan vähentää työkalujen valmistuskustannuksia. Standardiosista pistimien materiaalina on pikateräs 1.3344, joka on karkaistu kovuuteen 64 HRC. Kylmätyöteräksestä K340 valmistettavat osat karkaistaan 60 - 62 HRC kovuuteen. Karkaistut osat voidaan valmistaa myös esimerkiksi kylmätyöteräksestä 1.2510 karkaistuna kovuuteen 60 - 62 HRC. Karkaisemattomiin osiin soveltuu myös rakenneteräs 1.0570, jolla kovuutta noin 250 HB. (Aunio ym. 1989, 173-175.) Materiaalivalinnat riippuvat valmistajasta ja siitä mitä heillä on saatavilla.

TAULUKKO 5. Työkalun osiin soveltuvia materiaaleja (Kukkonen, 28-03-2020.)

W. nr	DIN	Böhler	HRC	HB	Osat
1.2510		K340	60-62		Reunapisti, tyyny, irrotin, painelevy
1.3344			62-64		Pistimet
1.0570	34CrMo4			250	Pistimien kiinityslevy, rullat, rullien tapit, jousien kiinike, rullien runko

Karkaistujen työkalujen osien valmistukseen hyvä työkalu on lankasahaus. Lankasahauksessa (KUVA 13) jatkuva rullalta syötettävä lanka toimii kipinätyöstön elektrodina. Lankasahaus soveltuu hyvin esimerkiksi tarkkojen reikien ja erilaisten aukkojen tekemiseen kovissa materiaaleissa. Tyynyssä ja irrottimesta on paljon reikiä, joten niiden valmistukseen lankasahaus on erityisen hyvä valmistuskeino, lisäksi se on tehokasta ja taloudellista. Ennen karkaisua kappaleeseen tehdään alkureiät,

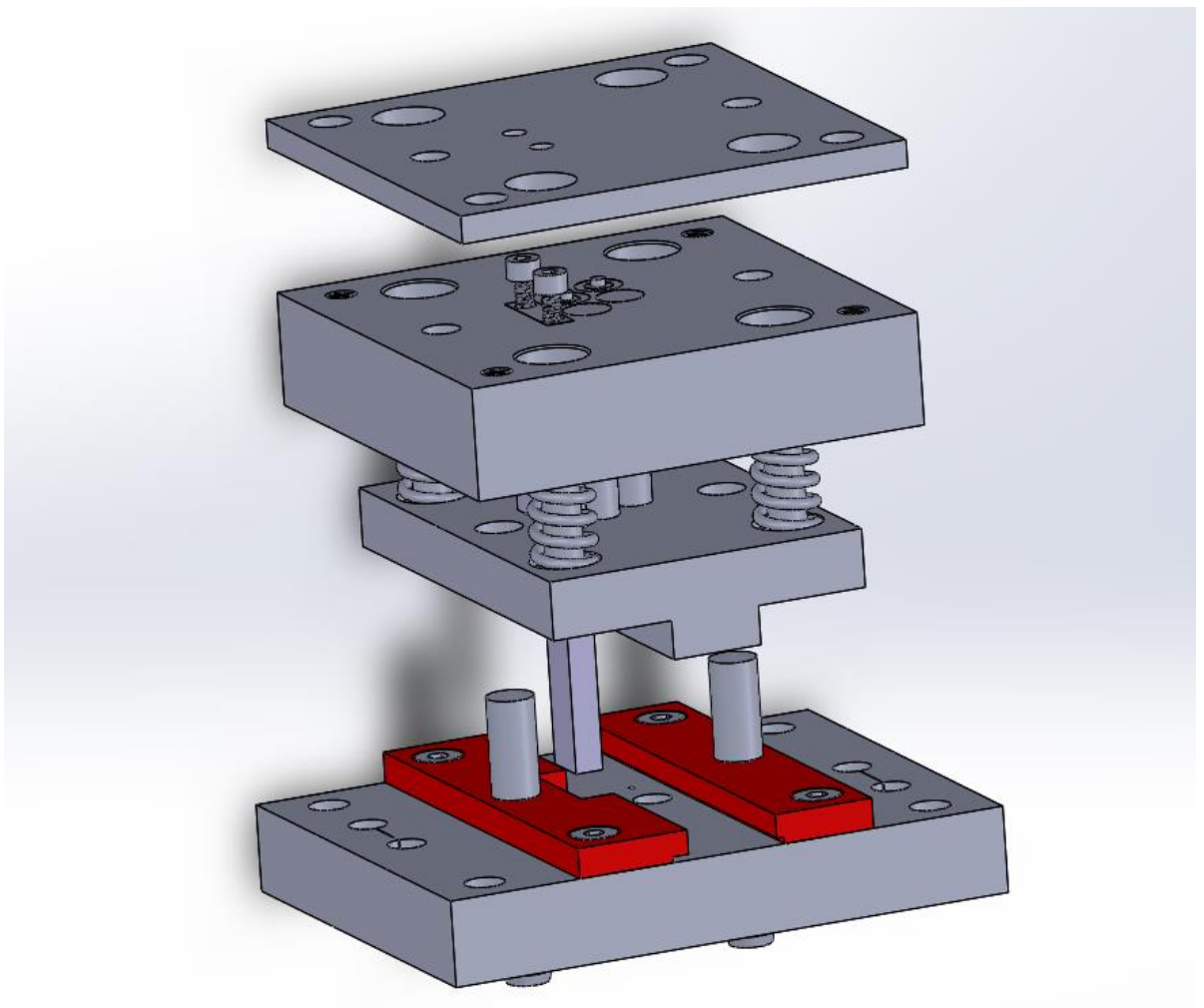
joissa on työvaraa. Karkaisun jälkeen lankasahaus on tehokas kipinätyöstömenetelmä reikien viimeistelyyn. Lankasahaus on hyvin tarkka ja sillä saavutetaan hyvä pinnanlaatu, joten viimeistelyä ei usein edes tarvita. (Aaltonen ym. 1991, 78-79.)



KUVA 13. Lankasahaus (Työkaluvalmistus Nisula Oy, 2017.)

5 TULOKSET

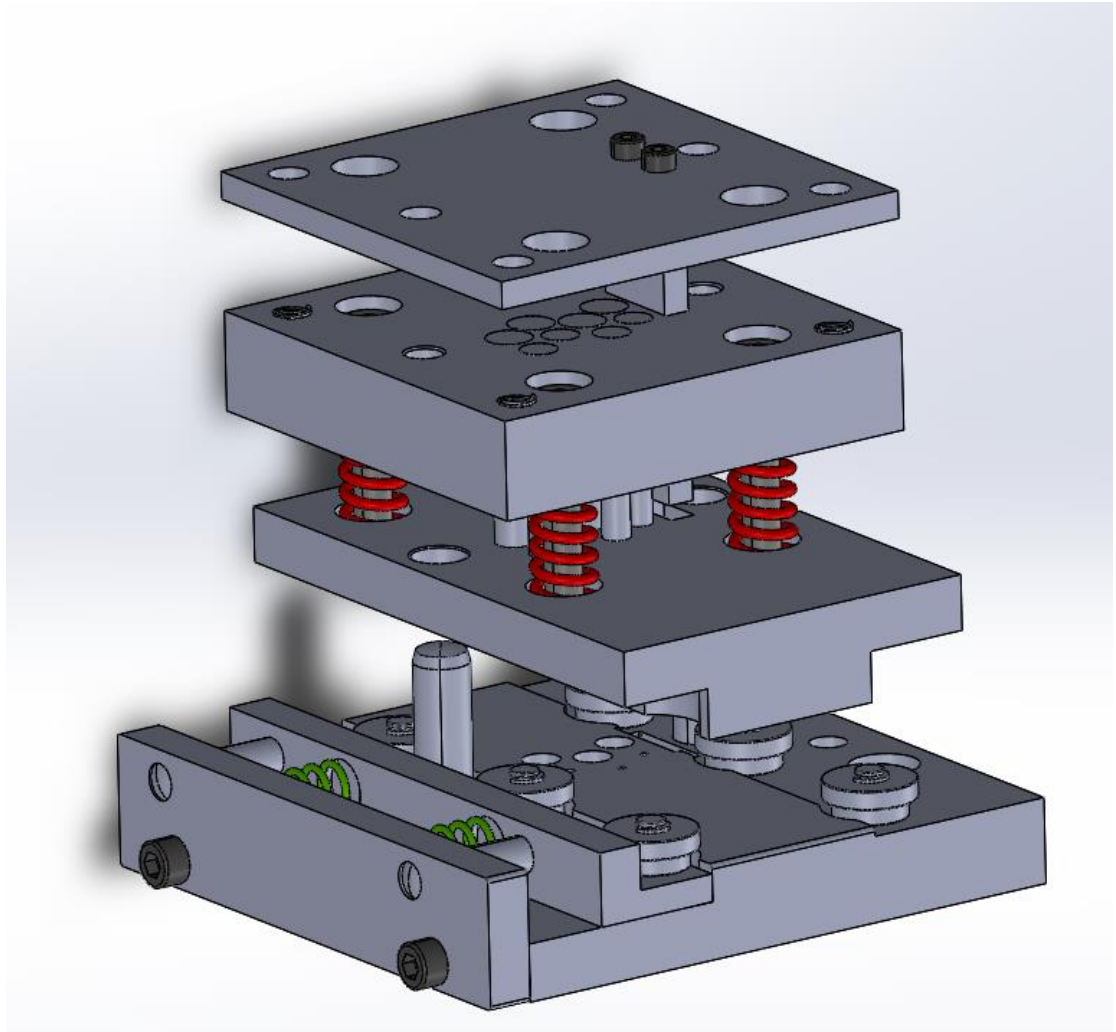
Työn tuloksena saatiin kaksi uutta mallia epäkeskopuristimen työkaluista, sekä tarjouksia työkalujen valmistuksesta. Työkaluilla voidaan valmistaa 8 mm:n sekä 10 mm:n kupariprikkoja, joita käytetään veneenrakennuksessa. Työkaluista tehtiin myös valmistuspiirrustukset, myöhempää mahdollista valmistusta varten. Uusilla työkaluilla materiaalihukan määrä on pienempi kuin alkuperäisillä. Työkaluja muutettiin paljon alkuperäisiin verrattuna. Isoimmat muutokset tulivat tyyntyyn (LIITE 2) ja aihion ohjaukseen liittyvissä osissa. Alkuperäisissä työkaluissa (KUVA 14) kupari aihio paikoitetaan sivusuunnassa ohjauslistoilla.



KUVA 14. Alkuperäinen työkalu 8 mm:n prikkujen valmistukseen (Kukkonen 2020-03-12.)

Uuteen työkaluun (KUVA 15) aihion paikoitus sivusuunnassa toteutetaan ohjausrullilla. Rullia on aihion kummallakin puolella 3 kappaletta. Toisen puolen rullat ovat kiinni tapeissa, jotka kiinnitetään tyyntyyn. Tämän puolen rullista yksi on 1.5 mm:ä lähempänä työkalun keskipistettä, koska reunapistin leikkaa aihion reunasta 1.5 mm:n palan pois. Toisen puolen rullat ovat kiinni jousikuormitteisessa rullien rungossa, joka liukuu tyyntyn pintaa pitkin. Tämä mahdollistaa mahdollisimman kapean aihion käytön sekä tarkan paikoituksen sivusuunnassa, jotka vähentävät materiaalihukan määrää. Jousikuormitteiset rullat työntävät aihiota noin 64 Newtonin voimalla. Rullat lukitaan lukkorenkailta akseliin kiinni.

8 mm:n kokoisia priikkoja valmistavalla työkalulla (LIITE 1), priikkoja syntyy jokaisella iskulla 4 kappaletta, kun taas ennen niitä syntyi vain 2 kappaletta. Pistimien etäisyydet toisistaan minimoitiin, jotta hukkaa tulisi mahdollisimman vähän. Käytettäessä metrin mittaisia aihioita, jotka ovat 41.1 mm:ä leveitä, reikiä syntyy 376 kappaletta yhdestä metrin aihioista. Reunapistimen leikkaama pala mukaan ottaen hukan määrä on tällöin 54 %:a, joka on 11 %:a aiempaa vähemmän. Pistimistä (LIITE 5) suunniteltiin sellaiset, että voidaan käyttää standardipistimiä, joita vain muotoillaan oikeanlaisiksi. Standardipistimiä käyttämällä saatiin valmistuskustannuksia alemmaksi.



KUVA 15. Työkalu 8 mm priikkojen valmistukseen (Kukkonen 2020-03-09.)

Irrotin (LIITE 3) ja tynny ovat 132 mm pitkiä, eli 32 mm pidempiä kuin alkuperäiset. Pidemmät osat ohjaavat aihiota hieman paremmin. Pistimien kiinityslevyn (LIITE 4) sekä painelevyn ei tarvitse olla yhtä pitkiä, kuin irrottimen ja tynny, joten ne ovat saman mittaisia kuin alkuperäisetkin.

Työkaluja suunniteltiin kaksi erilaista, jotka ovat kuitenkin toiminnaltaan samanlaisia, vain valmistettavan tuotteen koko muuttuu. Toisessa työkalussa, jolla valmistetaan 10 mm priikkoja, tuotteita syntyy jokaisella iskulla kolme kappaletta, edellisen yhden sijaan. Reikien etäisyydet toisistaan lyhenivät huomattavasti alkuperäiseen verrattuna. Uuden aihion leveys on 37.5 mm:ä ja pituus yhden metrin

niin kuin ennenkin. Uudella työkalulla prikoja syntyy 237 kappaletta yhdestä metrin aihioista, alkuperäisen 65 reijän sijaan. Prikojen valmistus nopeutuu huomattavasti, kun tulee kolme kertaa enemmän prikoja kerralla. Reinapistimen leikkaama pala huomioon ottaen hukan määrä oli ennen 71 %:a ja nyt noin 50 %:a, joten se on pudonnut noin 21 %:a. Materiaalihukan vähentyessä prikojen valmistus on kustannustehokkaampaa, ja samasta määrästä levyä saa uusilla työkaluilla paljon enemmän prikoja.

Työssä pyydettiin tarjouksia eri työvälinevalmistajilta, työkalujen valmistuskustannusten arvioimiseksi. Valmistuskustannuksia pyrittiin saamaan mahdollisimman alas käyttämällä mahdollisuuksien mukaan standardiosia mm. pistimet ja ohjuritapit sekä mahdollisimman vähän eri materiaaleja ja kovuuksia. Työkalujen hinnat eri valmistajilla (TAULUKKO 6). Yritys 1 hinnat noin 2500 euroa yhdeltä työkalulta ja molemmat samalla kertaa hankittuna 5 prosenttia halvemmalla. Yritys 2 tarjosi työkalujen valmistusta hintaan 6290 euroa yhdeltä työkalulta. Myös heillä kummatkin samalla kertaa hankittuna hieman halvemmalla. Yrityksessä 3 työkalujen valmistus maksaisi 4740 euroa kappaletta.

Yritys	Työkalu 8 mm prikoille	Työkalu 10 mm prikoille
1	2 490 €	2 490 €
2	6 290 €	6 290 €
3	4 740 €	4 740 €

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn pääasiallinen tarkoitus oli saada materiaalihukkaa pienemmäksi kupariprikkojen valmistuksessa. Työ onnistu hyvin, sillä materiaalihukan määrää saatiin pienemmäksi. Uusista työkaluista suunniteltiin eri tavalla toimivat kuin alkuperäisistä. Työkalujen aihion paikoitusta parannettiin asettamalla jousikuormitteiset ohjausrullat alkuperäisten ohjauslistojen tilalle. Ohjauslistat olivat hieman liian kaukana toisistaan, joka johti suureen materiaalihukan määrään sekä aihion sivuttaisen suuntaiseen liikkumiseen. Aihion sivuttaissuuntainen liikkuminen aiheutti sen, että prikan keskellä oleva reikä ei aina ollut täysin keskellä. Uusi aihion ohjaus ratkaisi paikoittaa aihion aina samaan kohtaan ja jousikuormitteiset rullat varmistavat, ettei aihio pääse liikkumaan sivusuunnassa. Tarkan paikoituksen lisäksi aihion leveys voidaan minimoida ja näin ei synny turhaa materiaalihukkaa. Rullien paikoillaan pysyminen varmistetaan lukkorenkailla, joten rullat ovat helposti vaihdettavissa, mikäli ne kuluvat vaihtokuntoon.

8 mm:n prikkujen työkalussa materiaalihukkaa saatiin pienemmäksi noin 10 %:a. Alkuperäinen työkalu valmisti kaksi prikkua kerralla ja uudella työkalulla prikoja valmistuu neljä kappaletta kerralla. 10 mm:n prikoja valmistavalla työkalulla materiaalihukan määrä pieneni noin 21 %:a. Tuotteita valmistuu kolme kerralla, alkuperäisen yhden sijaan. 10 mm:n prikkujen työkalussa materiaalihukan määrä pieneni huomattavasti enemmän kuin toisessa työkalussa, ja tämä johtuu siitä, että tuotteen koko on isompi sekä alkuperäinen työkalu oli huonompi kuin 8 mm:n prikoja valmistava. Prikkujen valmistus uusilla työkaluilla on kustannustehokkaampaa kuin aiemmillä. Materiaalihukan määrän pienenemisen lisäksi prikkujen valmistus uusilla työkaluilla on huomattavasti aiempaa nopeampaa. Jokaisella työkierrolla prikoja syntyy kaksinkertainen määrä aikaisempaan verrattuna ja toisella työkalulla kolmenkertainen määrä.

6.1 Jatkokehitysmahdollisuudet

Prikkujen valmistus ei ole jokapäiväistä työtä, joten jatkokehitykselle ei välttämättä ole tarvetta kustannus syistä. Jos prikoja tehtäisiin esimerkiksi täysipäiväisesti, olisi valmistusprosessia hyvä kehittää nopeammaksi ja kustannustehokkaammaksi. Nyt epäkeskopuristimeen syötetään metrin mittaisia kupari aihioita, jotka täytyy ensin leikata isosta arkista. Aihiota täytyy olla syöttämässä koko ajan koneen käydessä.

Tuotantoprosessia voisi kehittää automatisoimalla prikkujen valmistusta. Prikkujen valmistuksen voisi automatisoida lähes kokonaan käyttämällä syöttölaitteita. Automatisointiin tarvittaisiin kelalla oleva oikean levyinen raina, sekä rainan syöttö laite. Syöttölaite purkaisi kelalla olevaa rainaa ja syöttäisi sitä automaattisesti epäkeskopuristimeen. Syöttölaitetta käytettäessä kone pyörisi automaattisesti eikä sitä tarvitsisi vahtia. Ainoat työvaiheet, jota pitäisi tehdä olisi kelan asetus sekä koneen käynnistys ja sammutus.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

AALTONEN, Kalevi, EKMAN, Kalevi, KAMPPARI, Jorma, KAUPPINEN, Veijo, KIVIVUORI, Seppo, PARO, Jukka ja VUORINEN, Jouko 1991. Työvälinetekniikka. Hämeenlinna: Karisto Oy.

AUNIO, Mikko, KETTUNEN, Ensio, KÄÄRIÄ, Hannu, NIINIMÄKI, Matti ja RISKI, Paavo 1989. Työvälinesuunnittelu. Helsinki: Valtion painatuskeskus.

IHALAINEN Erkki, AALTONEN Kalevi, AROMÄKI Mauri ja SIHVONEN Pentti 2009. Valmistustekniikka. 13. painos. Helsinki: Otatieto.

KANSALLISKIRJASTO. Digitaaliset aineistot. Kotimaisia epäkeskopuristimia [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2020-03-22.] Saatavissa: <https://digi.kansalliskirjasto.fi/pienpainate/binding/342477?page=1>

KIVIVUORI, Seppo ja HÄRKÖNEN Seppo 2004. Lämpökäsittelyoppi. Tampere: Esa Print Oy

KUKKONEN, Tomi 2020. Ongelman tutkiminen kupariprikkojen valmistuksessa. Erikoistumisprojekti 2 loppuraportti. Joensuu. Tekijän sähköiset kokoelmat.

KUOPION PUUVENEVEISTÄJÄT 2017. Etusivu. [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2020-01-15.] Saatavissa: <http://kuopionpuuveneveistajat.blogspot.com/>

KUPARI 2009. Kuparimateriaalin ja kupariputkien ominaisuudet eri lämpötiloissa. [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2020-01-21.] Saatavissa: https://www.koppar.com/wp-content/uploads/2017/01/2009-04_Kuparin_ominaisuudet_eri_lämpötiloissa.pdf

MATILAINEN, Jorma, PARVIAINEN, Miikka, HAVAS, Taru, HIITELÄ, Erja ja HULTIN, Sami 2011. Ohutlevy tuotteiden suunnittelijan käsikirja. Tampere: Tammerprint Oy.

PERE, Aimo 2016. Koneenpiirustus 1 & 2. 12. painos. Espoo: Hannun tasapaino Oy.

SAVONIA 2020. Tutustu Savoniaan. [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2020-01-20.] Saatavissa: <https://portal.savonia.fi/amk/fi/tutustu-savoniaan>

SUHONEN, Tatu 2020-03-24 – 2020-03-27. SK-Tools Oy. [sähköpostikeskustelu]. Sijainti: Joensuu: Tekijän sähköiset kokoelmat.

SUOMEN EDM OY. Tuoteluettelo [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2020-02-24.] Saatavissa: http://www.suomenedm.fi/sites/default/files/edm_tuoteluettelo.pdf

TYÖKALUTERÄKSET 2018. SFS-EN ISO 4957 2018 [verkkoinfo]. [Viitattu 2020-04-15] Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto. Saatavissa: <https://online-sfs-fi.ezproxy.savonia.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID2/4/697072.html.stx>

TYÖKALUVALMISTUS NISULA 2017. Etusivu [verkkajulkaisu]. [Viitattu 2020-03-29.] Saatavissa:

<http://nisulaoy.fi/>

KUVAT JA TUOTETUT AINEISTOT

- KUVA 1. Epäkeskopuristin (Kukkonen 24-03-2020.)
- KUVA 2. Kylmätyöteräksen karkaisu (Kivivuori ja Härkönen 2004, 70.)
- KUVA 3. Levynkäytön optimointi (Aunio ym. 1989, 149.)
- KUVA 4. Materiaalihukka (Kukkonen 2020-03-12.)
- Kuva 5. Irrottimen jouset (Kukkonen 2020-03-29.)
- KUVA 6. Pistin (Kukkonen 2020-03-12.)
- KUVA 7. Painelevy (Kukkonen 2020-03-12.)
- KUVA 8. Irrotin (Kukkonen 2020-03-12.)
- KUVA 9. Tyyny (Kukkonen 2020-03-12.)
- KUVA 10. Automaattinen aloitusvaste (Aunio ym. 1989, 196.)
- KUVA 11. Hakutapeilla toimiva paikoitus. (Aunio ym. 1989, 197.)
- KUVA 12. Reunapistin (Kukkonen 2020-03-13.)
- KUVA 13. Lankasahaus (Työkaluvalmistus Nisula Oy, 2017.)
- KUVA 14. Alkuperäinen työkalu 8mm prikkujen valmistukseen (Kukkonen 2020-03-12.)
- KUVA 15. Työkalu 8 mm prikkujen valmistukseen (Kukkonen 2020-03-09.)
- TAULUKKO 1. Jousien voima/puristus taulukko (SUOMEN EDM OY, tuoteluettelo, 57.)
- TAULUKKO 2. Epäkeskopuristimen tiedot (Kansalliskirjasto, 2020-03-22.)
- TAULUKKO 3. Jousien voima/puristustaulukko (SUOMEN EDM OY, tuoteluettelo, 53.)
- TAULUKKO 4. Esimerkkejä sovitteiden käyttökohteista (Pere 2016, 20 – 28.)
- TAULUKKO 5. Työkalun osiin soveltuvia materiaaleja (Kukkonen, 28-03-2020.)
- TAULUKKO 6. Valmistuskustannukset (Kukkonen, 23-04-2020.)

LIITE 1

No.	Drawing no.	Part name	Dimensions	Qty.
20	1.0-20	V13.025 (Jousi rullille)	12.5x25	2
19	1.0-19	P16.038 (roottimen jousi)	16x38	4
18	1.0-17	E_1300_8x40 (DIN 6325)	8x40	2
17	1.0-17	E_1300_12x50 (DIN 6325)	12x50	2
16	1.0-16	E_1240_8x40 (ISO 7379)	8x40	4
15	1.0-15	E_1200_6x20 (DIN 912)	6x20	2
14	1.0-14	E_1200_4x16 (DIN 912)	4x16	2
13	1.0-13	8 mm pistin (D (DIN 983)) 0130 (800 071)	10x6	4
12	1.0-12	1.5 mm pistin (C (DIN 986)) 0131 (600 071 10 030)	8x6	4
11	1.0-11	Reunapöytä	93x21x6	1
10	1.0-10	Painelevy	100x100x6	1
9	1.0-9	Ratmien kiinnityslevy	100x100x21.5	1
8	1.0-8	irrotin	132x85x23	1
7	1.0-7	Rullien tappi 6x25	6x25	3
6	1.0-6	Jousien kiinnike	132x28.5x10	1
5	1.0-5	Lukkorengas 6 mm	8x0.7	6
4	1.0-4	Rulla	20x8	6
3	1.0-3	Tappi 6x16	6x16	3
2	1.0-2	Rullien kiinnityslevy	132x28x16	1
1	1.0-1	Tyyny	132x130x20.5	1

SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

SAVONIA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

GENERAL TOLERANCE: 3FS-EN 22768-1 m

PART NAME: **8 mm työkalu kokoonpano**

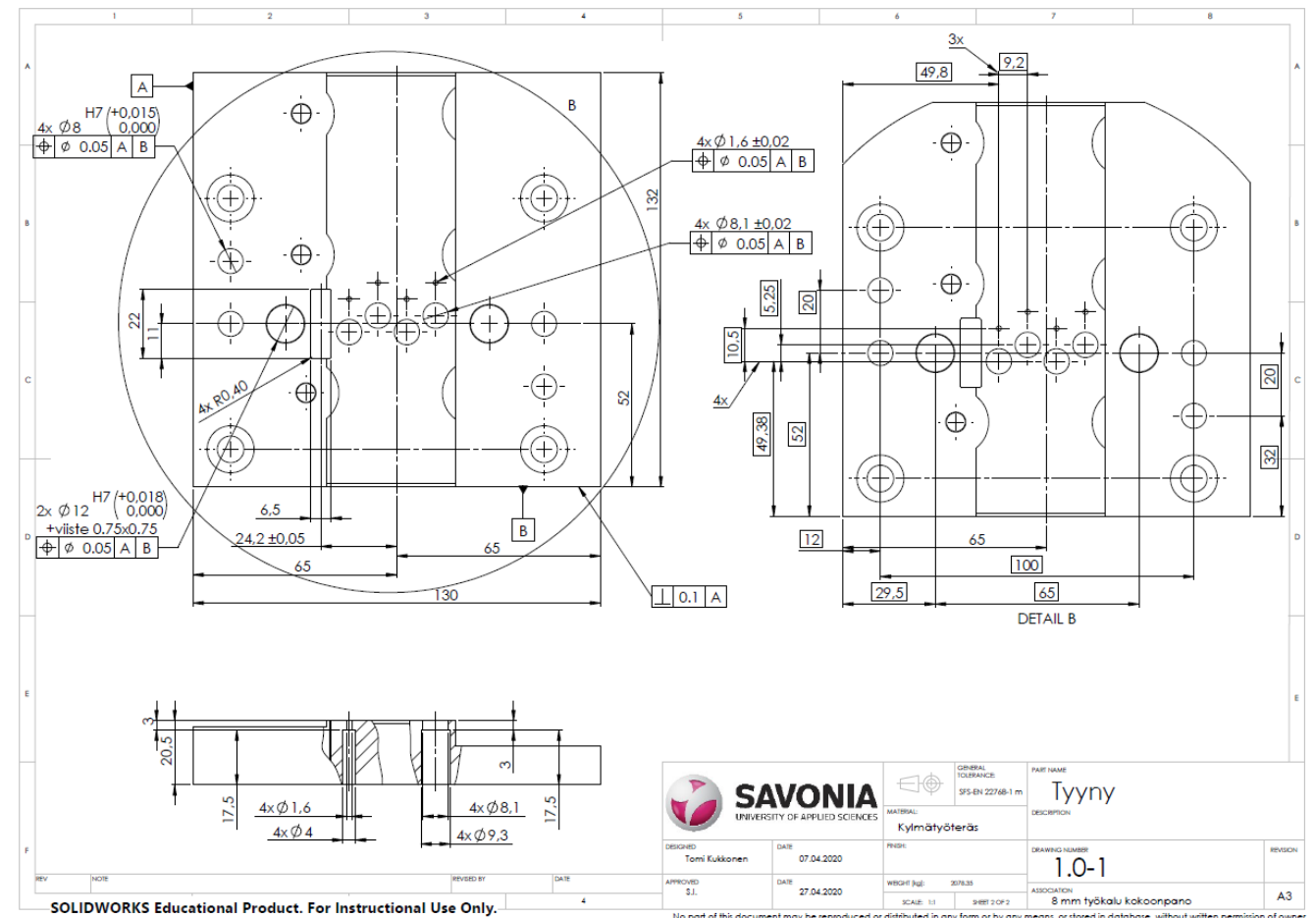
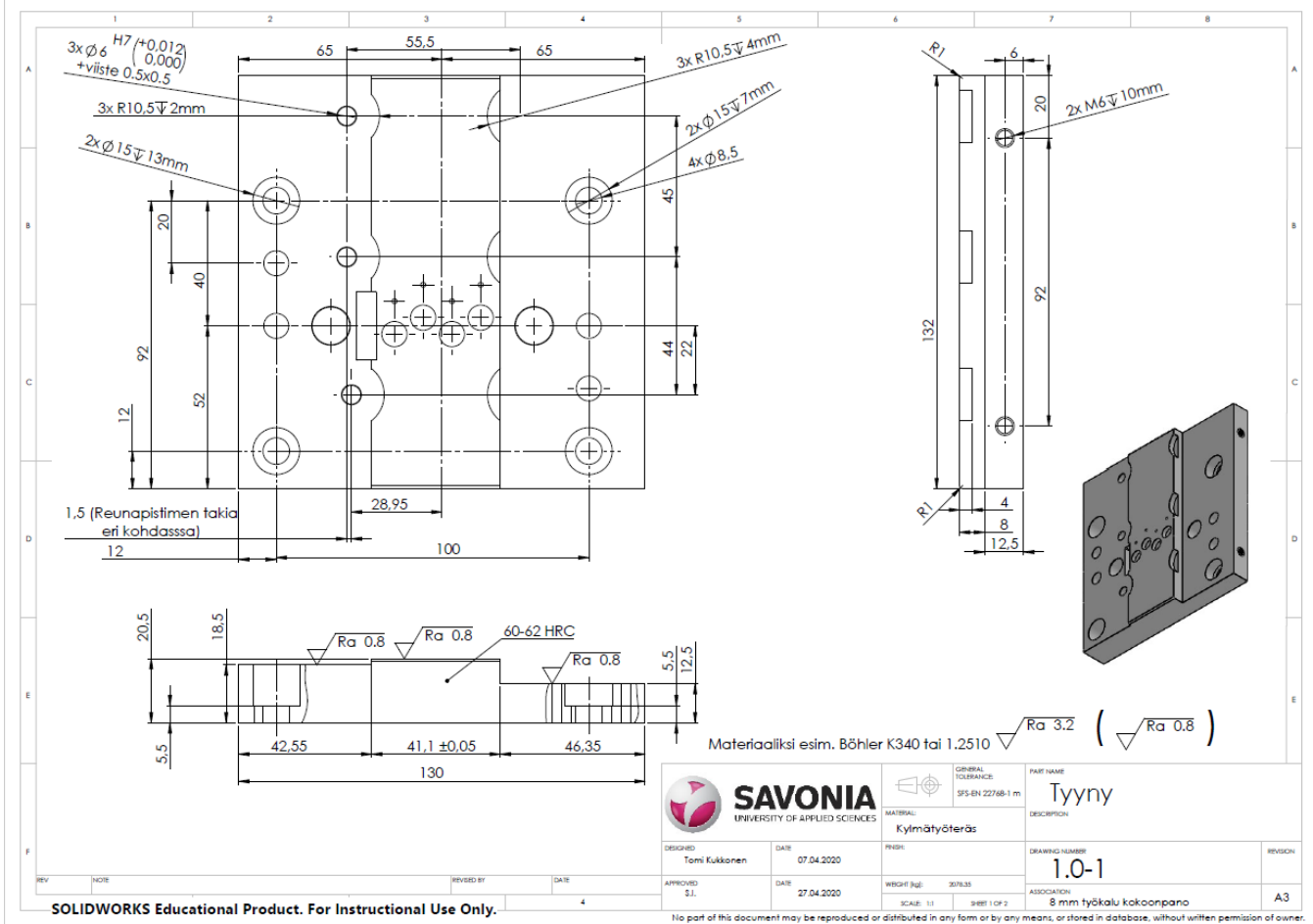
DESCRIPTION:

DRAWING NUMBER: **1.0**

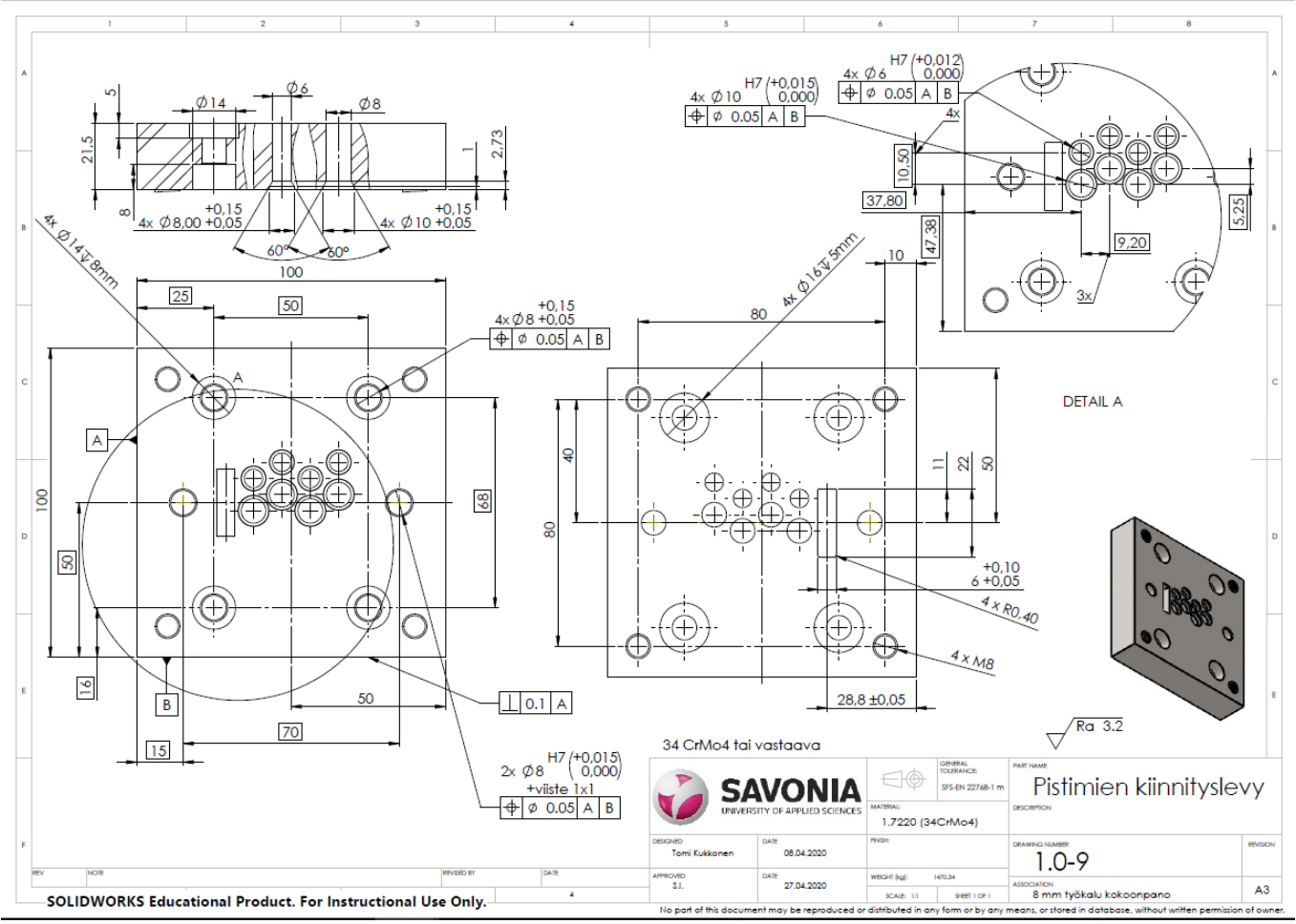
ASSOCIATION:

DESIGNED: Tomi Kukkonen	DATE: 09.04.2020	PENG:	REVISION:
APPROVED: S.J.	DATE: 27.04.2020	WEIGHT (kg): 6241.15	
REV		SCALE: 1:2	SHEET 1 OF 2

LIITE 2



LIITE 4



SOLIDWORKS Educational Product. For Instructional Use Only.

No part of this document may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in database, without written permission of owner.

