



LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Lahti University of Applied Sciences

VAIHTOPALATERÄJÄRJESTELMÄN KEHITYSPROJEKTI

Case: Lahden Teräteos Oy

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Kone- ja tuotantotekniikka
Suunnittelupainotteinen mekatroniikka
Opinnäytetyö
Kevät 2015
Joni Houni

Lahden ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

HOUNI, JONI:

Vaihtopalateräjärjestelmän
kehitysprojekti

Suunnittelupainotteisen mekatroniikan opinnäytetyö, 45 sivua, 15 liitesivua

Kevät 2015

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tavoitteena oli kehittää puuntyöstössä käytettävä vaihtopalateräjärjestelmä. Työn toimeksiantaja oli profiiliterien valmistukseen erikoistunut Lahden Teräteos Oy. Opinnäytetyön päätavoitteena oli kuudesta erilaisesta puuntyöstöterästä koostuvan tuoteperheen suunnittelu standardikomponentteja käyttäen. Vaihtopalateräjärjestelmä oli uusi tuote Lahden Teräteokselle, ja sitä tullaan markkinoimaan sekä kotimaahan että vientiin.

Opinnäytetyön tutkimusosuudessa käsitellään asioita, jotka vaikuttavat vaihtopalaterien suunnitteluun. Siinä esitellään puuntyöstössä käytettäviä teräkulmia ja ruuvien kiristysmomentteja sekä huomioon otettavia työturvallisuusasetuksia ja -standardeja. Opinnäytetyö sisältää myös tuotteista tehdyt 3D-mallit ja työpiirustukset sekä ohjeen terien kiinnitykseen. Työssä on esitetty kursoavan työstön pääperiaatteita, ja se sisältää selostuksen tärkeimmistä puuntyöstössä käytettävistä teräaineista.

Terien kehitys aloitettiin suunnittelemalla kuusi erilaista versiota terärungoista. Nämä 3D-mallit luotiin SolidWorks-suunnitteluohjelmalla. Jokaisesta mallista luotiin valmistus- ja kokoonpanopiirustukset. Myös kaikista suunnitelluista standardikomponenteista tehtiin tarvittavat työpiirustukset. Tämän jälkeen terärungoille tehtiin työstöradat Mastercam-ohjelmalla, jotta koekappaleet oli mahdollista valmistaa.

Opinnäytetyön lopuksi yhtä varsijyrsintä käytiin koeajamassa lähialueen puusepäntehtaan modernilla 5-akselisella CNC-työstökeskuksella. Testaamista ennen varsijyrsimelle oli tehty tasapainotus Lahden Teräteos Oy:n tiloissa. Opinnäytetyön tuloksena saatiin tarvittavat työpiirustukset kaikista puuntyöstöterästä sekä valmis markkinoitava teräsarja.

Asiasanat: vaihtopalateräjärjestelmä, puuntyöstöterä, standardikomponentti, teräkulma, 3D-malli, työpiirustus, teräsarja

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Mechanical and Production Engineering

HOUNI, JONI:

Development of a cutter head
with convertible knives

Bachelor's Thesis in Mechatronics, 45 pages, 15 pages of appendices

Spring 2015

ABSTRACT

The objective of this study was to develop the cutter head with convertible knives that can be used in woodworking. The work was commissioned by Lahden Teräteos Oy, which is specialized into the manufacture of profiled tools. The main goal of the thesis was to design a product family that includes six different woodworking tools using standard components. The cutter head with convertible knives was a new product to Lahden Teräteos Oy, and it will be marketed both in domestic trade and in foreign trade.

The theory part of the thesis deals with issues which influence designing of the cutter heads with convertible knives. It presents the mostly used woodworking cutting angles and the tightening torques of screws and the most important industrial safety matters and standards. The thesis also contains 3D-models and workshop drawings of all items and a fastening instruction of convertible knives. The study presents the main points of milling, and it includes a report with the most important tool materials used in woodworking.

The development of the cutter heads started with creating six different suggestions of cutter heads. These versions were created by SolidWorks 3D CAD design software. Manufacturing and assembly drawings were created of each of the versions. Requisite workshop drawings were also made of each designed standard component. After this, the cutting paths of cutter heads were made by Mastercam software so that the test pieces were possible to produce.

The test drive of one of the shank cutters was made by a modern 5-axes CNC machine in the carpenter's shop of a neighbouring area at the end of the study. The shank cutter was balanced before the test drive in the production area of Lahden Teräteos Oy. The workshop drawings of all the woodworking tools, and the finished marketing tool set were created as the result of this thesis.

Key words: cutter head with convertible knives, woodworking tool, standard component, cutting angle, 3D-model, workshop drawing, tool set

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	LAHDEN TERÄTEOS OY	2
2.1	Lahden Teräteos Oy	2
2.2	Lahden Teräteos Oy:n päätuoteryhmiä	3
3	TERIEN SUUNNITTELUSSA HUOMIOITAVIA ASIOITA	5
3.1	Standardit ja säädökset	5
3.1.1	SFS-EN 847-1	5
3.1.2	SFS-EN 847-3	9
3.2	Terämateriaalit ja niiden pääkäyttökohteet	11
4	KURSOAVA TYÖSTÖ	13
4.1	Kursojen ominaisuudet	13
4.2	Terän leikkuutapa ja leikkuupinnat	13
4.3	Terän leikkuukulmat	14
4.4	Pyörimisnopeus	17
4.5	Kursoja ja teriä	19
4.6	Jyrsimet	22
4.7	Tärkeimpiä kursoavia puuntyöstökoneita	22
4.8	Kursojen työturvallisuus	24
4.9	Terän laatu	25
5	VAIHTOPALAJÄRJESTELMÄN KEHITTÄMINEN	26
5.1	Työn aloitus ja tehtävänanto	26
5.2	Terän kiinnitys	26
5.3	Terärunkojen suunnittelu	30
6	KEHITYKSEN LOPPUTULOS JA TESTAUS	38
6.1	Työn lopputulos ja koeajo	38
6.2	Testauspaikka	38
6.3	Testauslaitteisto	39
6.4	Työstöarvot	41
6.5	Testauksen yhteenveto	41
7	YHTEENVETO	44
	LÄHTEET	46
	LIITTEET	47

1 JOHDANTO

Lahden Teräteos Oy on puuntyöstöteriä valmistava yritys. Tässä opinnäytetyössä keskitytään vaihtopilateräjärjestelmän kehittämiseen ja kursoavan työstön menetelmiin. Teräjärjestelmä on uusi tuote yritykselle ja sitä tullaan markkinoimaan sekä kotimaahan että vientiin. Kehitysprojekti on ollut jo pidemmän aikaa aluillaan, mutta sitä ei ole keretty viemään pidemmälle.

Vaihtopilaterien suosio on kasvanut jatkuvasti puuteollisuudessa niiden monikäyttöisyyden ansiosta. Vaihdeavien teräpalojen ansiosta yhdellä työkalulla voidaan tehdä erilaisia profiilimuotoja. Lahden Teräteos Oy haluaa kehittää ja standardisoida terävalikoimaansa, ja siksi vaihtopilateräjärjestelmän kehittäminen on nyt ajankohtaista.

Opinnäytetyön tavoitteena on kehittää kuusi erilaista puuntyöstöteriä, joissa voidaan käyttää samoja standardikomponentteja. Kaikista terärungoista ja komponenteista luodaan 3D-mallit ja työpiirustukset, jotta ne on mahdollista valmistaa ja kokoonpanna Lahden Teräteos Oy:n tiloissa. Lisäksi terärungoille tehdään työstöradat, jotta ne on mahdollista työstää valmistustiloissa olevalla CNC-työstökeskuksella. Puuntyöstöterien suunnittelu toteutetaan SolidWorks-suunnitteluohjelmistolla.

2 LAHDEN TERÄTEOS OY

2.1 Lahden Teräteos Oy

Lahden Teräteos Oy on vuonna 1960 Lahdessa perustettu konepajateollisuuden yritys. Se on erikoistunut puuntyöstöterien suunnitteluun, valmistukseen, markkinointiin ja huoltoon. Yrityksen tuotevalikoima sisältää huonekalu-, vaneri-, parketti-, hirsi- ja höyläämöteollisuuden käyttämät puuntyöstöterät. Näiden lisäksi tuotevalikoimaan kuuluu muun muassa ikkunoiden ja ovien valmistuksessa käytettäviä teriä. (Lahden Teräteos Oy 2014; Lounatmaa 2014.)

Yrityksen perusti Raimo Aittasalo, ja yritys otti käyttöönsä Lahden Teräteos Oy nimen vuonna 1978. Vuonna 1985 Aittasalo myi Lahden Teräteoksen Makron Oy:lle. Makronin alaisuudessa Lahden Teräteos eli LTT keskittyi hirrentyöstökoneiden valmistukseen. Vuonna 1997 LTT:n ostivat Juha Viinikka, Pentti Lounatmaa ja Aarre Savolainen, jolloin yritys palasi takaisin juurilleen ja jatkoi puuntyöstöterien valmistuksen parissa. Edellä mainitut henkilöt ovat yrityksen omistajia tälläkin hetkellä. (Lounatmaa 2014.)

Lahden Teräteoksen pääkonttori ja valmistus sijaitsevat Lahdessa, osoitteessa Yhdyskatu 35, 15200 Lahti. Yrityksellä on toinen toimipaikka Sammonkadulla Kuopiossa, jossa toiminta keskittyy pyöröterien terähuoltopalveluun. Yrityksellä on myös myyntipisteet Ruotsissa, Virossa ja Venäjällä. Yritys työllistää Suomessa 20 henkilöä, joista kaksi toimivat Kuopion toimipisteessä ja loput Lahdessa. LTT:ssa työskentelee muun muassa koneistajia, suunnittelijoita sekä myynnistä ja huollosta vastaavia henkilöitä. (Lounatmaa 2014.)

Yrityksen tuotteista noin 20 prosenttia menee ulkomaan vientiin. Tärkeimpiä vientikohteita ovat Viro, Ruotsi, Venäjä, Latvia, Saksa ja Norja. Yrityksen liikevaihto on noin 1,5 miljoonaa euroa vuodessa, ja profiiliterien osuus siitä on noin 40 prosenttia. Lahden Teräteoksen tuotevalikoima sisältää sekä standarditeriä että asiakkaan yksilöllisten tarpeiden mukaisesti suunniteltuja ratkaisuja. Standarditerien valikoima käsittää muun muassa sormiliitoskursot, paneelikursot ja kutterit. Lahden Teräteos on johtava profiiliterien valmistaja Suomessa ja ainoa suomalainen PCD-terien valmistaja. (Lounatmaa 2014.)

Lahden Teräteos Oy:n asiakaskunta on laaja, sillä se sisältää niin pienyrityksiä kuin myös johtavia Suomalaisia puuteollisuuden yrityksiä. Suuria höyläämöteollisuuden asiakkaita ovat Stora Enso, UPM-Kymmene, Pölkky Oy, Versowood Oy, Keitele Forest Oy ja Koskisen Oy. Tunnettuja hirsiteollisuuden yrityksiä ovat Kontiotuote Oy, Kuusamo Hirsitalot Oy ja Pellopuu Oy. Merkittäviä listateollisuuden yrityksiä ovat E.T. Listat Oy, Listatalo Oy ja kalusteteollisuuden asiakkaita Mellano Oy ja Kumart Oy. Jeld-Wen Suomi Oy on yksi tärkeä oviteollisuuden yritys. (Lounatmaa 2014.)

2.2 Lahden Teräteos Oy:n päätuoteryhmiä

Kursot

Kursot ovat yleensä tangentiaalisesti leikkaavia puuntyöstöteriä. Kursojen suosittuja käyttökohteita ovat höylääminen, jyrsiminen ja tapittaminen. Kursojen ulkomuoto ja ominaisuudet vaihtelevat paljon, ja ne voivat olla joko yksi- tai useampiosaisia. Kursot voidaan ryhmitellä muun muassa tehtävän ja muodon mukaan. Tärkeimpiä kursotyyppejä ovat suorat kursot, muotokursot, kääntöpalaterät, spiraalikursot ja sormiliitoskursot. (Ojala & Räsänen 1980, 13; Lounatmaa 2014.)

Pyöröterät

Pyöröteriä käytetään puun katkaisuun ja halkaisuun. Pyöröterien halkaisija, hammaskoko ja hammaslukumäärä vaihtelevat terän käyttötarkoituksen mukaan. Halkaisuteriä käytetään esimerkiksi keskijäreän, järeän, kovan ja pehmeän massiivisen puun halkaisuun. Niitä voidaan käyttää myös kuivan ja höylätyn puutavaran lamellisahaukseen. (Lahden Teräteos Oy 2014; Lounatmaa 2014.)

Katkaisuteriä käytetään esimerkiksi levyille ja venerille, jotka ovat pinnoittamattomia tai pinnoitettuja. Niillä voidaan katkaista muun muassa lastu-, kipsi-, ja MDF-levyjä. Myös keskijäreän ja järeän puutavaran katkaisuun on omat teränsä. Yleisterät on tarkoitettu pienen ja keskijäreän sekä kovan ja pehmeän massiivisen puun halkaisuun ja katkaisuun. Pyöröterien hammasluku ja -koko

valitaan käyttötarkoituksen ja sahausmateriaalin mukaan. Halkaisuterille on ominaista suuri hammaskoko ja vähäisempi hampaiden lukumäärä. Tästä johtuen leikkuu on nopeaa, mutta leikkuujälki on epätarkkaa verrattuna katkaisuteriin. Katkaisuterillä taas on pieni hammaskoko, mutta suurempi hampaiden lukumäärä. Terän leikkuujälki tarkkaa, mutta leikkuunopeus on hitaampi kuin halkaisuterillä. (Lahden Teräteos Oy 2014; Lounatmaa 2014.)

Timanttiterät

Timanttiterä (PCD) on nimensä mukaisesti varustettu teollisuustimantilla. Se kestää käyttöä ja työstökertoja huomattavasti paremmin kuin perinteiset materiaalit. Timanttiteriä käytetään erityisesti kuluttavien materiaalien jrsintään ja sahaukseen. Esimerkiksi timanttiterän kulutuskestävyys on noin 50 kertaa pidempi kuin kovametallilla. Näin ollen se tuottaa puuteollisuudessa huikeita työstömääriä perinteisiin kovametalleihin verrattuna. (LSAB 2014; Teroitusliike 2014.)

Pitkien teroitusvälien ansiosta timanttiterät mahdollistavat laajojen sarjojen työstön ilman toistuvia huoltokatkoja. Tästä syystä varsinkin lastulevyä työstävät yritykset ovat vaihtaneet työstöteränsä timanttiteriin. Samasta syystä terä sopii erinomaisesti myös vanerin, MDF-levyjen, lasikuidun ja erilaisten laminaattien työstöön. Terät voidaan teroittaa muutamia kertoja timanttipalan koosta riippuen. Miinuspuolena on sen huomattavasti korkeampi hinta kovametalliteriin verrattuna. (LSAB 2014; Teroitusliike 2014.)

3 TERIEN SUUNNITTELUSSA HUOMIOITAVIA ASIOITA

3.1 Standardit ja säädökset

Terien suunnittelussa on otettava huomioon useita standardeja. Nämä standardit ovat pääasiassa eurooppalaisia EN-standardeja. Standardeissa käsitellään puuntyöstötyökalujen ja niiden kiinnityslaitteiden turvallisuusvaatimuksia. Niissä käsitellään myös yleisiä suunnitteluvaatimuksia, jotka on otettava huomioon. Osiossa käsitellään myös tärkeimpiä puuntyöstössä käytettäviä terämateriaaleja ja niiden pääkäyttökohteita. Siinä esitellään myös terämateriaalien soveltumista erilaisten puuntyöstöterien valmistukseen.

3.1.1 SFS-EN 847-1

Englanninkielinen standardi SFS-EN 847-1 käsittelee puuntyöstötyökalujen turvallisuusvaatimuksia. Standardissa on 58 sivua, ja se keskittyy erityisesti jyrsintätyökalujen ja pyörösahanterien turvallisuusvaatimuksiin. Tämän eurooppalaisen standardin valmisteluun on osallistunut Eurooppalainen työkalunvalmistajien liitto CEO. Tämän standardin vaatimukset koskevat puuntyöstökoneiden suunnittelijoita, valmistajia, toimittajia ja maahantuojia. Standardissa on myös ohjeita, joita valmistajan tulisi toimittaa käyttäjälle. Työstettävän materiaalin epähomogeenisuudesta ja vaihtelevista leikkuuvoimista johtuvien vaaratekijöiden lisäksi muita vaaratekijöitä voi aiheutua suurista leikkuunopeuksista ja kappaleen käsityöstä. (SFS-EN 847-1. 1997, 1-4.)

Suunnitteluvaatimuksissa kerrotaan, että työkalut tulee merkitä ja valmistaa sellaisista raaka-aineista, että ne kestävät käytössä esiintyviä voimia ja kuormituksia edellyttäen, että ne pidetään kunnossa valmistajan ohjeiden mukaisesti. Moniosaisille työkaluille tulee käyttää muotolukitusta, poikkeuksena kitkalukitus, jota voidaan käyttää joissakin erityistilanteissa. Muotolukituksella tulee varmistaa positiivinen mekaaninen lukitus avattavissa olevien työkalun osien välillä. Lukitus ei myöskään saa perustua kitkaan kiristettävien osien välillä. Positiivisia mekaanisia lukituksia ovat esimerkiksi tapit, urat ja lovet. Tappilukitusta käytettäessä tulee olla vähintään 1 tappia/terä enintään 30 mm leveille leikkuuterille ja vähintään 2 tappia/terä yli 30 mm leveille terille. Oiko- ja

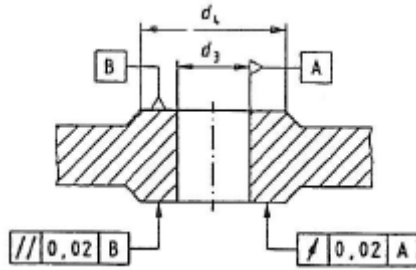
tasohöyliä leikkaavissa työkaluissa, joissa kiilojen kiinnitys on ruuveilla, edellytetään vähintään kaksi ruuvia jokaiselle kiilalle. Kiilan takaosan ja terärungon välinen etäisyys ei saa ylittää 7 mm leikkuuterän ollessa paikoillaan. (SFS-EN 847-1. 1997, 16-18.)

Moniosaisten työkalujen lujuuden katsotaan riittävän kestäväksi käytössä esiintyvät keskipakovoimat, jos ylinopeustestin aikana koekappaleet käytetään nopeuksilla: $n_p = 2 * n_{max}$, $n_{max} < 12\ 000\ \text{min}^{-1}$ asti ja $n_p = 1,5 * n_{max}$, n_{max} yli $12\ 000\ \text{min}^{-1}$. Lukituselementit tulee kiristää valmistajan ilmoittamilla momenteilla ja vaihdettavissa olevien työkalun osien keskinäiset siirtymät eivät saa ylittää testimenetelmässä määriteltyjä. Ylinopeustesti suoritetaan suurimmalla leikkuuhalkaisijalla ja suurimman leikkuusärmän leveydellä. Ylinopeustestissä ensimmäisenä mitataan työkalun mitat, minkä jälkeen työkalua käytetään suurimmalla nopeudella n_{max} yhden minuutin ajan. Tämän jälkeen työkalu pysäytetään ja mitataan uudelleen, jolloin mitatut siirtymät eivät saa olla suurempia kuin 0,15 mm. Seuraavaksi työkalua käytetään testinopeudella n_p yhden minuutin ajan. Tämän jälkeen työkalu pysäytetään ja mitataan uudelleen sekä verrataan tuloksia edelliseen mittaukseen. Vertailtavat siirtymät eivät saa ylittää 0,15 mm. Leikkuuterän paksuuden ja kiinnityspituuden välinen suhde on määriteltävissä materiaalikohtaisesti olemassa olevien kaavojen ja käyrien mukaan. Esimerkiksi leikkuuterän paksuudella $a = 2\ \text{mm}$ leikkuuterän suurin projektio ei saa ylittää arvoa $t = 3\ \text{mm}$ ja vähimmäiskiinnityspituuden tulee olla vähintään 6 mm. (SFS-EN 847-1. 1997, 18, 22.)

Standardissa käsitellään reiän mittoja ja toleransseja seuraavalla tavalla.

Jyrsintätyökalun reiälle valitaan H7 toleranssi standardin ISO 286-2 mukaan.

Navan minimihalkaisijan $d_{4\ \text{min}}$ tulee olla: jos d_3 on enintään 50 mm, niin $d_{4\ \text{min}} = 1,4 * d_3$ ja jos d_3 on yli 50 mm, niin $d_{4\ \text{min}} = d_3 + 20\ \text{mm}$. Heittotoleranssi tulee mitata navan ulkohalkaisijalta ja samansuuntaisuustoleranssi navan tasopinnoilta. Navan toleranssit on esitetty kuviossa 1. (SFS-EN 847-1. 1997, 26.)



KUVIO 1. Navan toleranssit (SFS-EN 847-1. 1997, 26.)

Työkaluasetteet tulee dynaamisesti tasapainottaa täydellisenä kokoonpanona, kuten yksittäiset työkalut. Kiilauralliset työkalut tulee tasapainottaa ilman kiiloja. Oikohöyliä ja yhdistettyjen oiko- ja tasohöyliä teräpäiden rungoissa sovelletaan tasapainotuksen laatutasoa G6,3 standardin ISO 1940-1 mukaisesti. (SFS-EN 847-1. 1997, 38.)

Standardissa kerrotaan myös työkalun tunnistamisesta. Leikkaavat työkalut, joita käytetään vain yhdistetyn syötön koneissa lukuunottamatta oikohöyliä ja yhdistettyjä oiko- ja tasohöyliä, tulee selvästi ja pysyvästi merkitä vähintään seuraavilla tiedoilla:

- valmistajan tai toimittajan nimi tai kauppanimi
- suurin kierrosnopeus, esim. n max 6000
- työkalun mitat eli leikkuuhalkaisija x leikkuuleveys x reiän halkaisija
- yksiosaisille ja komposiittityökaluille työkalun leikkumateriaaliryhmän tunnus
- MEC-merkintä yhdistetylle syötölle. (SFS-EN 847-1. 1997, 46.)

Pysyvällä tavalla merkitty tarkoittaa esim. kaiverrusta, syövyttämistä tai pakottamista. Kirjaimen tai merkin 3 mm:n korkeutta pidetään hyväksyttävänä, mikäli se on mahdollinen. Oikohöyliä ja yhdistettyjen oiko- ja tasohöyliä työkalut tulee merkitä vähintään seuraavilla tiedoilla:

- valmistajan tai toimittajan nimi tai kauppanimi
- MEC (yhdistetylle syötölle) tai MAN (käsisyötölle)

- vähimmäiskiinnityspituus L_{min} ja vastaava terän paksuus a . (SFS-EN 847-1. 1997, 46.)

Akselille asennettujen työkalujen merkintä riippuu niiden käytöstä edellisten kohtien vaatimusten perusteella. Akselille asennettavien työkalujen, joiden leikkuuhalkaisija on enintään 30 mm ja akselihalkaisija enintään 12 mm, tulee merkitä seuraavin tiedoin:

- valmistajan tai toimittajan nimi tai kauppanimi
- suurin kierrosnopeus, esim. n_{max} 12000
- MEC (yhdistetylle syötölle) tai MAN (käsisyötölle)
- akselille asennetuille yksiosaisille ja komposiittityökaluille työkalun leikkumateriaaliryhmän tunnus. (SFS-EN 847-1. 1997, 46.)

Valmistajan tulee toimittaa työkaluun kuuluva olennainen turvallisuustieto.

Valmistajan tulee myös ilmoittaa käyttöohjeissa ja myyntiesitteissä, että työkalu on valmistettu tämän standardin mukaisesti. (SFS-EN 847-1. 1997, 48.)

Standardissa käsitellään myös turvallisia työmenetelmiä. Työkaluun merkittyä suurinta sallittua nopeutta ei saa ylittää ja tarvittaessa nopeusalue tulee merkitä.

Yksiosaisia työkaluja, joissa on näkyviä säröjä, ei saa käyttää. Työkalut ja työkalujen rungot tulee kiinnittää siten, että ne eivät irtoa käytön aikana.

Asennettaessa työkalua kara-akselille on huolehdittava, että kiristys tapahtuu työkalun navalta ja että leikkuusärmät eivät kosketa toisiaan tai

kiristuselementtejä. Lukitusruuvit ja pultit tulee kiristää käyttäen asianmukaisia avaimia ja muita työvälineitä. Kiristyksessä tulee käyttää valmistajan ilmoittamaa vääntömomenttia. Kiristyksessä ei ole sallittua käyttää avainten jatkovarsia eikä vasaraniskuja. (SFS-EN 847-1. 1997, 56.)

Lukituspinnot tulee puhdistaa liasta, rasvasta, öljystä ja vedestä. Lukitusruuvit tulee tiukentaa valmistajan ohjeiden mukaisesti. Mikäli ohjeita ei ole, tulee lukitusruuvit tiukentaa alkaen keskeltä järjestyksessä ulospäin. Laipallisten holkkien käyttö työkaluissa tulee sallia, mikäli ne tehdään valmistajan ohjeiden mukaisesti. Hartsit tulee poistaa kevytmetalleista vain sellaisilla liuottimilla, jotka eivät vaikuta materiaalin mekaanisiin ominaisuuksiin. Työkalujen korjaaminen on

sallittua vain valmistajan ohjeiden mukaan. Seuraaviin seikkoihin on kiinnitettävä erityisesti huomiota: Korjauksessa käytettävien varaosien tulee olla valmistajan alkuperäisosien vaatimusten mukaisia ja asianmukaisen lukituksen varmistavat toleranssit tulee säilyttää, lisäksi yksiosaisia työkaluja uudelleen hiottaessa on huolehdittava, että leikkuusärmä ei aiheuta navan heikentymistä eikä leikkuusärmän liitoksen heikentymistä napaan nähden. (SFS-EN 847-1. 1997, 56.)

3.1.2 SFS-EN 847-3

Englanninkielinen standardi SFS-EN 847-3 käsittelee puuntyöstötyökalujen kiinnityslaitteiden yleisiä turvallisuusvaatimuksia. Standardi sisältää 11 sivua. Tämän eurooppalaisen standardin valmisteluun on osallistunut eurooppalainen työkalujen valmistajien komitea CEO. Standardi on suunnattu valmistajille, ja se on hyödyllinen loppukäyttäjille. Standardissa määritetään kiinnityslaitteen suunnittelussa käytettävät menetelmät ja käyttäjälle laadittavat ohjeet, joilla näitä vaaratekijöitä poistetaan ja vähennetään. (SFS-EN 847-3. 2003, 2.)

Kiinnityslaite on koneenosa, jolla työkalu kiinnitetään puuntyöstökoneen kara-akselille kara-akselin vääntömomentin siirtämiseksi ja työkalun asemoimiseksi. Liitos työkalun ja kiinnityslaitteen välillä voidaan toteuttaa kitkalukinteisilla kiinnityselementeillä, mekaanisella kiinnityksellä, hydrostaattisella kiinnityksellä ja muotolukinteisilla kiinnityselementeillä. Kiinnityslaite voi toimia avoimella- tai suljetulla järjestelmällä riippuen siitä onko kiinnittävä väliaine järjestelmän sisällä vai tuotetaanko se kiinnitystä varten kiinnittimen ulkopuolelta. Kiinnityslaitteelle tulee määrittää suurin sallittu pyörimisnopeus, jolla sitä on suunniteltu käyttää. (SFS-EN 847-3. 2003, 3-4.)

Standardi sisältää merkittävien vaaratekijöiden luettelon. Osien sinkoutuminen voi johtua seuraavista syistä: työkalun asennon suhteellinen muutos kiinnityslaitteeseen nähden, kiinnityslaitteen dynaaminen epätasapaino pyörimisliikkeen aikana, työkalun löystyminen kiinnityslaitteesta työstön aikana, kiinnityslaitteen kiinnittyminen käyttäväänaraan. Kiinnityslaitteen dynaaminen epätasapaino aiheuttaa myös värinää. (SFS-EN 847-3. 2003, 4-5.)

Standardissa käsitellään kiinnityslaitteiden yleisiä vaatimuksia. Kiinnityslaitteen on suunniteltava ja valmistettava sellaisista materiaaleista, että ne kestävät käytön aikana odotettavissa olevat voimat ja kuormitukset. Hydrostaattiset kiinnityslaitteet avoimella järjestelmällä tulee varustaa suojuksilla ja turvalaitteilla työkalun kiinnipidon säilyttämiseksi paineen menetyksen varalta.

Puuntyöstökoneiden työkalujen ja kiinnityslaitteiden on oltava yhteensopivia asennuspinnoltaan. Pyörimisliikkeen akselin kohtisuorassa suunnassa on kiinnityslaitteiden poikkileikkauksen oltava muodoltaan ympyrä. Jos kiinnityslaitteen massa on suurempi kuin 0,5 kg, on se tasapainotettava. Jos kiinnityslaitteella on kiilauria reiän sisäpuolella, tulee se tasapainottaa ilman kiiloja. Kiilaurien ollessa ulkopuolella, on se tasapainotettava kiilojen kanssa. Standardi sisältää tasapainotuksen laatuvaatimuksista tehdyn taulukon, jonka mukaan kiinnityslaitteet yleensä tasapainotetaan G6,3 laatuluokassa. (SFS-EN 847-3. 2003, 5-7.)

Kiinnityslaitteiden toleranssien vaatimukset on määritettävä ja reikään asennettavissa työkalujen kiinnityslaitteissa on oltava merkittynä vähintään valmistajan tai toimittajan nimi ja suurin kierrosnopeus. Akselille asennettavissa kiinnityslaitteissa on oltava merkittynä vähintään valmistajan tai toimittajan nimi, suurin kierrosnopeus, istukan tyyppi, kiinnitysalue ja jos mahdollista niin työkaluakselin nimellishalkaisija. (SFS-EN 847-3. 2003, 9-10.)

Standardi käsittelee myös turvallisia työmenetelmiä. Käyttöohjeen tulee sisältää ainakin suurin kierrosnopeus. Kiinnityslaitteeseen ja työkaluun merkittynä nopeuksia tulisi vertailla ja koneen nopeussäädössä tulisi käyttää alemmaa nopeutta. Kiinnityslaitteiden ja työkalujen kiinnittämisessä tulee ottaa huomioon seuraavat asiat:

- Ruuvit ja mutterit tulisi kiristää asianmukaisilla avaimilla.
- Kiinnityspinnat tulisi puhdistaa lian, rasvan, öljyn tai veden poistamiseksi.
- Kiinnityslaitteet ja työkalut tulisi asentaa ja kiinnittää käyttäen annettuja vääntömomentteja, paineita ja avaimia.
- Avaimien jatkovarsien käyttöä ja vasarointia ei tulisi sallia.
- Suurimpia työkalun halkaisijoita tai työkalun pituuksia ei tulisi ylittää.
- Vain pätevän henkilön tulisi tehdä korjaukset.

- Korjaukseen tulisi kuulua sellaisten varaosien käyttö, jotka täyttävät alkuperäisten osien vaatimukset.
- Asianmukaisen kiinnityksen varmistavat toleranssit tulisi säilyttää. (SFS-EN 847-3. 2003, 10-11.)

3.2 Terämateriaalit ja niiden pääkäyttökohteet

Seostetut työkaluteräksiset sisältävät enemmän kuin 5 % seosaineita. Ne voivat esimerkiksi sisältää 12 % kromia (Cr). Niistä käytetään lyhennettä HL tai HSL. Seostettuja työkaluteräksiä käytetään esimerkiksi kierukkaporien ja porataltojen valmistukseen. Niiden käyttökohteita ovat pehmeät puulajit. (Lahden Teräteos Oy 2014.)

Pikateräs sisältää enemmän kuin 12 % seosaineita, kuten volframi (W), molybdeeni (Mo), Vanadiini (V) ja koboltti (Co). Niistä käytetään lyhennettä HS tai HSS. Porat, höylänterät, jysinterät ja kursot voidaan valmistaa kokonaan pikateräksestä. Suorissa kursoissa, muotokursoissa ja jysinterissä terän leikkaava osa voidaan valmistaa pikateräksestä. Lahden Teräteos Oy käyttää HS-kursoissa pulveripikaterästä ja kutterien teräaine sisältää 18 % pikaterästä. Pulveripikateräksen etuja ovat hyvä puristuslujuus, hyvä kulumiskestävyys, hyvä hiottavuus, voidaan kiilottaa peilipinnaksi, erinomainen sitkeys ja vähäiset mittamuutokset lämpökäsittelyssä. (Lahden Teräteos Oy 2014; Stén & Co Oy Ab 2004.)

Pikateräksen käyttökohteita ovat pehmeät puulajit. Lastuava työstö on tärkeimpiä nykyaikaisen valmistusteollisuuden työmenetelmistä massatuotannossa ja työkalut tähän valmistetaan etupäässä pikateräksestä. Pikateräslaaduille tyypillisiä ominaisuuksia ovat suuri työkovuus, hyvä kulutuksenkestävyys, hyvä sitkeys, hyvä päästönkestävyys ja kuumakovuuden pitävyys. Seosaineiden määriä muuttamalla ja oikein suoritettulla lämpökäsittelyllä saadaan aikaan halutut ominaisuudet. (Stén & Co Oy Ab 2004.)

Pinnoittamaton kovametalli eli HW tai HM on projektin teräpaloissa käytetty materiaali ja sen perusaineena on volframikarbidi. Erikoisporat ja pienet jysinterät valmistetaan kokonaan kovametallista. Suorien kursojen,

muotokursojen, jysinterien, höylänterien ja pyöröterien terän leikkaava osa voidaan valmistaa kovametallista. Kovametallin käyttökohteita ovat pehmeät puulajit (liimattu rakenne), kovat puulajit, vaneri, lastulevy, kovalevy ja MDF. (Lahden Teräteos Oy 2014.)

Stelliittiä eli ST:tä käytetään erikoisterissä, esimerkiksi höylänterissä. Sen tärkein käyttökohte on kuusen höyläys. Teollisuustimanttia eli PCD:tä käytetään suorien kursojen, muotokursojen, pyöröterien ja jysinterien leikkaavassa osassa. Sen käyttökohteita ovat MDF, liimatut kovapuut (parketit), pinnoitetut vanerit, kovalevy ja pinnoitettu lastulevy. Timanttiterällä on hyvä kulutuksenkestävyys, mutta se on hinnakas. (Lahden Teräteos Oy 2014.)

4 KURSOAVA TYÖSTÖ

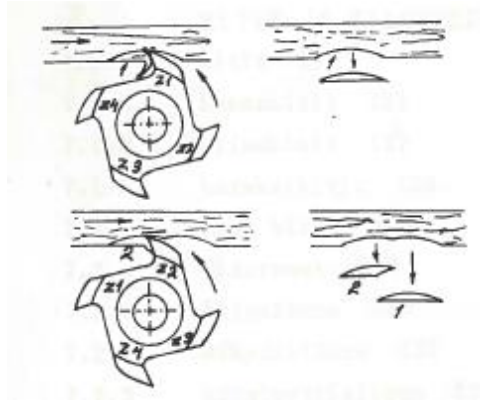
4.1 Kursojen ominaisuudet

Kursot ovat pääasiassa tangentiaalisesti leikkaavia puuntyöstöteriä, joita käytetään yleensä höyläämiseen, jyrsimiseen tai tapittamiseen. Kursot vaihtelevat paljon ulkomuodoltaan ja ominaisuuksiltaan. Kursoilla on esimerkiksi seuraavanlaisia ominaisuuksia: halkaisija 50-200 mm, pituus 5-1000 mm, pyörimisnopeus 50-200 1/s ja leikkuunopeus 20-80 m/s. Ne voivat olla joko yksi- tai useampiosaisia ja ne voidaan ryhmitellä esimerkiksi muodon ja tehtävän mukaan. (Ojala & Räsänen 1980, 13.)

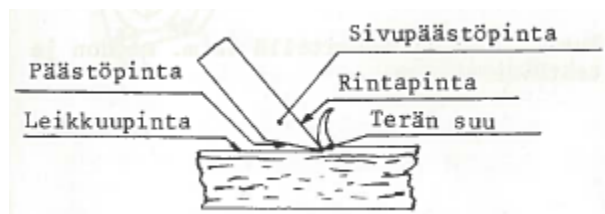
4.2 Terän leikkuutapa ja leikkuupinnat

Leikkuu tapahtuu kursoavassa työstössä yleensä tangentiaalisessa suunnassa kurson pyöriessä kiinnitysakselinsa ympäri. Koneistettava kappale syötetään vastasyötöllä terää vasten ja terä Z1 työstää siitä ensimmäisen lastun (1). Seuraavaksi leikkuuseen tuleva terä Z2 leikkaa lastun (2), joka on muodoltaan kiilamainen, koska kappale on syöttöliikkeen vaikutuksesta siirtynyt. Kappaleen leikkuujälki muodostuu aaltomaiseksi työstöä jatkettaessa. Kuviossa 2 on esitetty terän leikkuutapa, ja kuviossa 3 on näytetty terän tärkeimmät leikkuupinnat. (Ojala & Räsänen 1980, 12-13.)

Leikkuujälkien aallonpituudessa ja -syvyydessä tapahtuu vaihteluja, jotka johtuvat seuraavista muuttujista: terien lukumäärän (Z) kasvaessa aallonsyvyys pienenee, pyörimisnopeuden (n) kasvaessa aallonsyvyys pienenee, syöttönopeuden (V_s) kasvaessa aallonsyvyys suurenee ja terän halkaisijan (D) kasvaessa aallonsyvyys pienenee. Näiden lisäksi leikkuujälkeen vaikuttaa merkittävästi samassa kursossa olevien eri terien etäisyys pyörintäkeskipisteestä. Jokainen terä onkin asetettava tai hiottava samalle leikkuutasolle. (Ojala & Räsänen 1980, 13.)



KUVIO 2. Terän leikkuutapa (Ojala & Räsänen 1980, 12.)



KUVIO 3. Terän leikkuupinnat (Ojala & Räsänen 1980, 13.)

4.3 Terän leikkuukulmat

Terän leikkuukulmat eli teräkulmat vaikuttavat muun muassa leikkuuvoimaan, leikkujälkeen ja terän kestävyteen. Terän teroituksen yhteydessä ja asetetta tehtäessä on pyrittävä säilyttämään alkuperäiset teräkulmat. Terän materiaalilla on merkittävä vaikutus käytettäviin teräkulmiin. (Ojala & Räsänen 1980, 15.)

Projektin vaihtopilaterät ovat materiaaliltaan pinnoittamatonta kovametallia (HW). Kovametalliterissä rintakulma on $0-20^\circ$ ja päästökulma n. 15° .

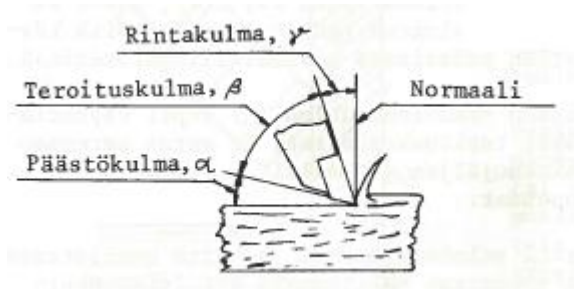
Pikateräksisillä terillä (HS) rintakulma on $20-25^\circ$ ja päästökulma n. 15° .

Timanttiterissä (PCD) rintakulma on yleensä $0-10^\circ$, mutta se voi pienimmillään olla -5° . Rintakulman suuruus timanttiterissä on $10-20^\circ$. (Lounatmaa 2014.)

Päästökulman (α) suuruus projektini terille on $19-24^\circ$. Liian pienen päästökulman seurauksena päästöpinta hankaa puuta ja terä tylsyy nopeammin sekä saattaa

palaa. Liian suuren päästökulman seurauksena terän kestävyys alenee. Teroituskulman (β) suuruus on 53° . Pieni teroituskulma parantaa terän leikkuukykyä, mutta haittana on terän nopeampi tylsyminen ja murtuminen. Suuremmilla leikkuunopeuksilla käytetään suurempaa teroituskulmaa ja kovametalliterillä suurempaa teroituskulmaa kuin seosterästerillä. (Ojala & Räsänen 1980, 15.)

Määritin projektini terien rintakulmaksi (γ) noin 15° . Rintakulman suuruuteen vaikuttaa käytettävän teräpalan korkeus. Näin ollen samassa rungossa rintakulma voi vaihdella riippuen käytettävästä terälapusta. Korkeammalla 35 mm:n lapulla teräkulma on n. 15° ja matalammalla 28 mm:n lapulla se on n. 18° . Avoimeen varsijyrtimeen määritin poikkeavasti 13° :en rintakulman 35 mm:n lapulla, koska 15° :en rintakulma ei ollut mahdollinen käyttämälläni rungon halkaisijalla. Alla olevassa kuviossa 4 on esitetty tärkeimmät terän leikkuukulmat.



KUVIO 4. Terän leikkuukulmia (Ojala & Räsänen 1980, 15.)

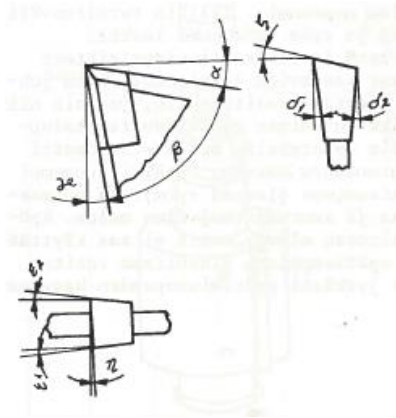
Rintakulman pienetessä lastutila pienenee ja leikkuu muuttuu kaapivaksi. Rintakulman kasvaessa terän lohkeamisvaara kasvaa, mikäli samalla teroituskulma pienenee. Käytettävän rintakulman suuruus riippuu esimerkiksi leikkuusuunnasta, työstettävästä aineesta, vaadittavasta leikkuujäljestä ja työstävästä terästä. (Ojala & Räsänen 1980, 15.)

Rintakulma on eniten työstöön vaikuttava kulma, sillä osa terän rintapintaa on jatkuvassa kosketuksessa työstettävään puuhun ja siitä irtoavaan lastuun. Rintakulma vaikuttaa höyläyksen pinnanlaatuun ja tehontarpeeseen. Mitä

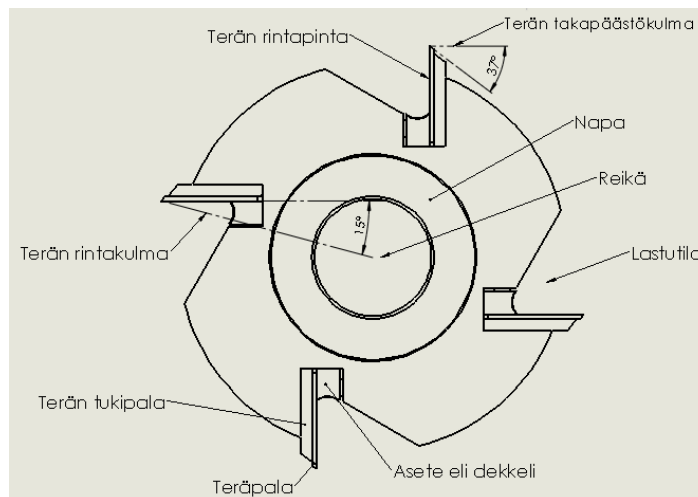
suurempi on rintakulma, sitä pienempi on tehontarve. Rintakulman pienentäminen 30°:sta 20°:seen nostaa tehon tarvetta keskimäärin 30 %. Rintakulman muutos 30°:sta 10°:seen lisää tehontarvetta noin 100 %. (Lahden Teräteos Oy 2014.)

Leikkuupaine on aina 90 asteen kulmassa terän rintapintaan nähden, oli kyseessä sitten suuri, pieni tai negatiivinen rintakulma. Suuren rintakulman ominaisuuksia ovat helppo leikkaavuus ja leikkuupaine on pääasiassa vasten työstöpöytää. Suurella rintakulmalla saadaan puhdas yläreuna, mutta alareuna jää huonoksi, ja siinä esiintyy tikkuuntumista ja repeytymistä. Pienelle tai negatiiviselle rintakulmalle on ominaista vaikea leikkaavuus, ja leikkuupaine on pääasiassa syitä vastaan. Leikkuun laatu on myöskin yläreunasta alhainen, ja alareuna täytyy työstää uudestaan. Suositeltava rintakulman arvo kiinteälle puulle syynsuunnassa on 15-20 astetta ja syitä vastaan 15 astetta. Rintakulmalla ei katsota olevan merkitystä sisään- ja ulostulokulmaan. Yläreunan leikkuujäljen laatu on hyvä pienellä sisääntulokulmalla, kun taas alareunan leikkuujälki on hyvä suurella ulostulokulmalla. (Leuco Ledermann GmbH & Co 2014, 31-32, 36.)

Säteittäistä sivupäästökulmaa (δ) tarvitaan, kun terällä työstetään uria tai lovia. Tällöin sivupäästöpinta ei hankaa puuta. Kulman suuruus on 0,5-1°. Tangentiaalisen sivupäästökulman (ϵ) tarkoitus on estää sivupäästöpintaa hankaamasta puuta. Sivupäästökulman suuruus on 4-7° ja sitä esiintyy muun muassa nelikulma-, muoto- ja uurrekursojen terissä. Päästön vinohiontakulma (ζ) on kursoavan työstön terissä vähän käytetty, koska se muuttaa haluttua työstön muotoa. Sitä käytetään lähinnä kovametallipyöröterissä. Rinnan vinohiontakulmaa (η) käytetään tapituskursoissa, sillä se antaa paremman leikkuujäljen ja sallii suuremmat syöttönopeudet. Nämä leikkuukulmat on esitetty kuviossa 5. Kuviossa 6 on nimetty projektin reikäkurson tärkeimmät nimitykset. Terien valmistuksessa ja huollossa joudutaan valitsemaan oikeat leikkuukulmien suuruudet, joihin vaikuttavat työstettävä aine, tuotteen rakenne, työstökone, teräaine, työstötapa ja leikkuunopeus. (Ojala & Räsänen 1980, 15-16.)



KUVIO 5. Terän muita leikkuukulmia (Ojala & Räsänen 1980, 15.)



KUVIO 6. Projektin reikäkurson tärkeimmät nimitykset

4.4 Pyörimisnopeus

Kaikki terät pyörivät tietyllä nopaudella akselinsa ympäri. Tätä nopeutta kutsutaan pyörimisnopeudeksi tai kehänopeudeksi. Kehänopeus on tietyn pisteen tai hampaan kulkema matka tietyssä ajassa uuteen asemaan. Pyörimisnopeuden kasvaessa terän leikkuunopeus kasvaa, jolloin terä leikkaa helpommin ja antaen samalla paremman leikkuujäljen. Työn tehokkuutta voidaan lisätä kasvattamalla syöttönopeutta. Irtoava lastu ohenee, jos syöttönopeus pysyy samana ja lastun tullessa liian ohueksi terän leikkaava särmä kuumenee ja kuluu nopeammin.

Tällöin työn tehokkuus laskee, koska teroitusväli lyhenee. (Ojala & Räsänen 1980, 16.)

Kone, terä ja terän kiinnityslaitteet altistuvat suurelle rasitukselle kasvavien keskipakovoimien johdosta, jolloin niiden rikkoutuminen voi aiheuttaa taloudellisia, mutta erityisesti tapaturmavaara kasvaa. Lisäksi suurempi pyörimisnopeus usein synnyttää voimakkaampaa ja suurempitaajuista melua. Epätasapainossa olevia teriä ei saa käyttää, koska epätasapainon aiheuttama rasitus kasvaa voimakkaasti pyörimisnopeuden kasvaessa. (Ojala & Räsänen 1980, 16.)

Terän pyörimisnopeuden valintaan vaikuttavat terän rakenne ja kiinnitystapa, terän koko ja halkaisija, haluttu leikkujälki, käytettävä työstökone ja sen kunto sekä kustannustekijät. Kursoavissa koneissa on yleensä valittavissa erisuuruisia pyörimisnopeuksia, joista valitaan kuhunkin tarkoitukseen paras vaihtoehto. Työturvallisuus on ehdottomasti otettava huomioon, eikä terälle määriteltyjä maksiminopeuksia saa missään tapauksessa ylittää. (Ojala & Räsänen 1980, 17.)

Terälle määrättyjä maksiminopeuksia on alitettava, jos teräakseli tai kara on kallistettu, kurso tai teräasete on painava, samanaikaisesti käytetään useampaa kursoa, kurso tulee kauas karan laakerista, jolloin tulee käyttää yläpään tukea. Sopivaa pyörimisnopeutta valittaessa on suositeltavaa käyttää valmiiksi laskettuja taulukoita tai kuvioita. Oikeaa nopeutta valittaessa on otettava huomioon kehänopeus (v) ja terän halkaisija (d). Koska $v = \pi dn$, niin pyörimisnopeus $n = v/\pi d$. Pyörimisnopeuden yksikkö on 1/s. Alajyrsinterille sopiva pyörimisnopeus on 50-150 1/s ja yläjyrsinterille 200-400 1/s. (Ojala & Räsänen 1980, 17-18, 20.)

Määräävät tekijät kehänopeudelle ovat terän ulkohalkaisija tai akselin pyörimisnopeus. Turvallisuusvaatimukset asettavat terille kehänopeuden maksimaaliset raja-arvot, esimerkiksi kovametallipaloitetulla kiintokursolla se on 100 m/s ja irtopalaterillä varustetuilla terillä se on 80 m/s. Pehmeillä puulajeilla optimaalinen kehänopeus on 70-100 m/s, kun taas esimerkiksi kovalevyillä se on 45-60 m/s. Eli yleisesti ottaen kovilla materiaaleilla käytetään matalaa kehänopeutta ja pehmeillä materiaaleilla korkeaa kehänopeutta. Yhdistelmä- ja rakennettavan terätyypin tullessa kyseeseen matalammat kehänopeudet ovat

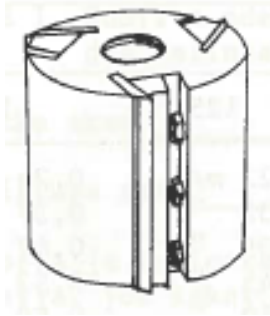
suositeltavia käyttää. Turvallisuusstandardin mukaan kaikissa markkinoilla olevissa terissä tulee olla leimattuna maksimipyörimisnopeus. Terät ovat myös testattuja ennen markkinoille tuloaan turvallisuusstandardien mukaisten määräysten mukaisesti. (Leuco Ledermann GmbH & Co 2014, 9-11.)

Optimaalista pyörimisnopeutta tulisi aina käyttää, sillä leikkuujäljen laatu ja teroituksen väliajat riippuvat siitä. Jos terää pyöritetään liian suurella kehänopeudella, niin terällä on alhainen kestoikä. Liian alhainen kehänopeus taas johtaa huonoon pinnanlaatuun. Kehänopeutta voidaan säädellä vaihtamalla terän halkaisijaa tai koneen akselin pyörimisnopeutta. Kehänopeus voidaan laskea helposti. Esimerkiksi ØD 300 mm pyörösahanterä, jonka pyörimisnopeus on 3000 RPM, niin sen kehänopeus on $V_k = 0,3m * 3000 \text{ 1/min}/60 = 47,1 \text{ m/s}$. Laskentakaava on $V_k = K * RPM = K * RPM/60$, jossa V_k = kehänopeus (m/s), K = kehän ympärysmitta (m) ja RPM = pyörimisnopeus (1/min tai r/min). (Leuco Ledermann GmbH & Co 2014, 11.)

4.5 Kursoja ja teriä

Pyörökursot

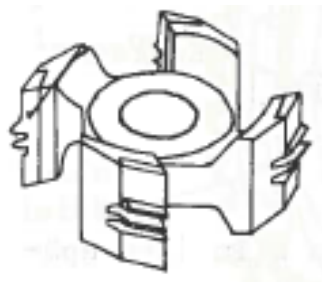
Pyörökursojen terämateriaalina käytetään seosterästä, pikaterästä tai kovametallia ja teroitus tapahtuu terän päästöpinnasta (kuvio 7). Pyörökursoja käytetään esimerkiksi oiko-, paksuus- ja muotohöylässä sekä alajyrsinkoneessa ja tapituskoneessa. Terät on tasapainotettava ja punnittava pareittain. Terien kiinnitysmekanismeja ovat muun muassa kiilakiinnitys jousisäädöllä, -kiinnitys lukitustapilla, -kiinnitys ruuvissäädöllä ja paineilmakiinnitys. (Ojala & Räsänen 1980, 22.)



KUVIO 7. Pyörökurso (Ojala & Räsänen 1980, 22.)

Muotokursot

Muotokursot ovat yksiosaisia tai paloitettuja ja niiden terämateriaali on seosterästä, pikaterästä tai kovametallia. Ne ovat päästöpinnasta muotoiltuja ja niiden teroittaminen tehdään rintapinnasta (kuvio 8). Ne voivat olla säädettäviä sekä varustettu lastunpaksuuden rajoittimella ja viiltoterillä. Muotokursoja käytetään muotohöylässä sekä tapitus- ja alajyrsinkoneessa. Ne ovat irtoteräisiä kursoja turvallisempia ja niissä voidaan käyttää suurempia kehänopeuksia. (Ojala & Räsänen 1980, 23.)



KUVIO 8. Paloitettu muotokurso (Ojala & Räsänen 1980, 23.)

Muita kursoavia teriä

Muita kursoavia teriä ovat esimerkiksi uurrekurso, laikkakurso, S-kurso, Z-kurso ja laippakurso (kuvio 9). Terämateriaali on pikaterästä tai kovametallia. Uurre-, laippa- ja S-kursot teroitetaan päästöpinnasta ja laikka- ja Z-kursot rintapinnasta. Uurre- ja laippakursoja käytetään alajyrsinkoneessa. Laikka-, S- ja Z-kursot ovat tapituskursoja, joita käytetään tapituskoneen lisäksi myös alajyrsinkoneessa. Edellä mainittujen kursojen turvallisuus ja sallitut pyörimisnopeudet vaihtelevat suuresti, koska ne ovat joko yksiosaisia tai irtoteräisiä. (Ojala & Räsänen 1980, 23.)



KUVIO 9. Uurrekurso (Ojala & Räsänen 1980, 23.)

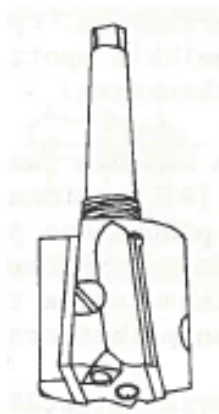
Projektin kursot

Projektin kursot ovat nimeltään vaihtopalakursoja ja nimensä mukaisesti niihin saa vaihdettua eri profiililla olevia teräpaloja. Niistä kolme on reikäkursoja ja loput kolme on varsijyrsimiä. Niiden terämateriaali on kovametallia ja teroitus tapahtuu lähes aina terän rintapinnasta. Rintapinnasta hiottaessa terän profiilimuoto pysyy samana eikä vaikuta leikkuutulokseen. Kahden millimetrin paksuinen terälappu voidaan teroittaa kahdeksan kertaa, minkä jälkeen lapusta tulee liian ohut käytettäväksi. Ainoastaan silloin, kun terä on murtunut paljon, hiotaan myös terän päästöpinnasta. Päästöpinnasta teroittaminen muuttaa helposti profiilin muotoa, eikä leikkuutulos ole enää halutunlainen. Terien kiinnitysmekanismina toimii kiilakiinnitys ruuvisäädöllä. Reikäkursoja käytetään

esimerkiksi oiko- ja tasohöylissä. Varsijyrsin soveltuu muun muassa yläjyrsimeen ja CNC-työstökeskukseen. (Lounatmaa 2014.)

4.6 Jyrsimet

Jyrsimet ovat sekä aksiaalisesti että tangentiaalisesti tai pelkästään tangentiaalisesti leikkaavia teriä. Ne muodostavat kiilaavaa lastua ja niiden terän halkaisija on pieni. Jyrsimen pyörimisnopeus tulee olla 200-400 1/s, jotta niillä saadaan riittävän suuri leikkuunopeus. Ne ovat yleensä joko massiivisia pikaterästeriä tai paloitettuja pikateräs- tai kovametalliteriä, ja terät ovat yleensä 1-, 2- tai 3-leikkuisia. Jyrsimiä käytetään esimerkiksi yläjyrsinkoneessa, alajyrsinkoneessa ja niillä saadaan työstettyä uurteita, kyntteitä, lovia, reikiä ja reunamuotoja. Projektin jyrsimet ovat vaihtopaloilla varustettuja kursovarsijyrsimiä, joiden terien halkaisijat ovat melko suuria jyrsimiksi (kuvio 10). Ne ovat 2-leikkuisia, ja niitä voidaan käyttää yläjyrsinkoneen lisäksi esimerkiksi CNC-työstökoneessa. (Ojala & Räsänen 1980, 26, 29.)



KUVIO 10. Kursovarsijyrsin (Ojala & Räsänen 1980, 26.)

4.7 Tärkeimpiä kursoavia puuntyöstökoneita

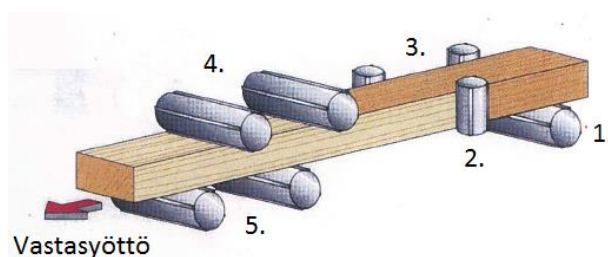
Oikohöylää käytetään sahatavaran lappeen ja reunan oikaisuun ja saumaukseen sekä levytavaran reunan oikaisuun. Kurson pyörimisnopeus oikohöylässä on 80-

100 1/s. Paksuushöylällä saha- ja levytavara höylätään tasapaksuksi ja suorapintaiseksi. Kurson pyörimisnopeus on sama kuin oikohöylässä. Muotohöylällä sahatavara höylätään haluttuun muotoon ja mittoihin. Kursojen pyörimisnopeudet ovat 50-100 1/s. (Ojala & Räsänen 1980, 37-39.)

Alajyrsinkonetta käytetään pääsääntöisesti uurtamiseen, kynttämiseen, muotojyrsintään ja tapittamiseen puusepänteollisuudessa. Kurson pyörimisnopeus on 50-200 1/s. Yläjyrsinkonetta käytetään puusepän- ja puurakenneteollisuudessa poraamiseen, uurtamiseen, kynttämiseen, saumaamiseen ja muotojyrsintään. Terän pyörimisnopeus yläjyrsimessä on 200-400 1/s. Viilusorvia käytetään vaneriteollisuudessa, jossa pölkyistä sorvataan ohutta puulevyä eli viilua. Karan pyörimisnopeus on 1,7-3,7 1/s. (Ojala & Räsänen 1980, 39-40, 42.)

Esimerkki höyläkoneen terävarustuksesta puusepäntuotteille (kuvio 11):

1. ala-spiraalikutteri
2. oikea pysty-spiraalikutteri
3. vasen/ oikea pysty-kiinteäleikkuinen kurso, profiilikutteri
4. yläkutteri-kiinteäleikkuinen kurso, profiilikutteri tai kovametallivaihtopalakutteri
5. alakutteri, profiilikutteri, tersakutteri tai pyörökutteri.



KUVIO 11. Höyläkoneen terävarustus (Lahden Teräteos Oy 2014.)

4.8 Kursojen työturvallisuus

Terät, kursot ja niiden kiinnityslaitteet

Terät ja kursot aiheuttavat suurimman tapaturmavaaran kursoavassa työstössä ja siksi niiden toimintaan ja käsittelyyn on kiinnitettävä erityistä huomiota. Ne on säilöittävä ja kuljetettava niille tarkoitetuissa telineissä ja koteloissa. Terän leikkuukulmat ja kunto on tarkistettava ennen käyttöönottoa. Terää kiinnitettäessä on käytettävä oikeita kiinnityslaitteita, välineitä ja tarkistettava riittävä tiukkuus, herkkyyys ja oikea pyörimissuunta. (Ojala & Räsänen 1980, 50.)

Leikkuu- ja pyörimisnopeus

Sopivin leikkuunopeus puuntyöstöterille on 40-60 m/s. Erikoistapauksissa käytetään suurempia tai pienempiä nopeuksia. Kursoavien terien pyörimisnopeus on yleensä 50-400 1/s. Kursoihin on merkitty tai niille on muuten ilmoitettu maksimipyörimisnopeus, jota ei saa missään tapauksessa ylittää. Suuret nopeudet saattavat aiheuttaa terän, kurson tai kiinnityslaitteen rikkoutumisen ja työstettävän kappaleen takaiskun. Liian alhaiset nopeudet eivät anna hyvää leikkuujälkeä ja saattavat aiheuttaa tapaturman terän iskiessä kappaleeseen. (Ojala & Räsänen 1980, 50.)

Syöttötapa

Syöttöliike voidaan antaa kappaleelle joko käsin tai koneellisesti. Mahdollisuuksien mukaan on aina pyrittävä käyttämään syöttölaitetta. Käsin syötettäessä on pyrittävä käyttämään ohjaimia ja syöttötukea sekä vältettävä myötäsyöttöä, koska se aiheuttaa suuren tapaturmariskin kappaleen pyrkiessä karkaamaan käsistä. Pöytä ja ohjainpinnat on pidettävä puhtaina lastuista, työkaluista ja jätteistä. Puussa oleva jännitys, tylsä terä, huono ohjaus sekä väärät leikkuukulmat ja -nopeudet saattavat aiheuttaa työkappaleen värinän tai takaiskun. (Ojala & Räsänen 1980, 51.)

Työstettävä aine

Puu on rakenteeltaan epätasa-aineista, ja se sisältää erilaisen syyrakenteensa lisäksi oksia, halkeamia ja muita työstöä haittaavia vikoja, jotka aiheuttavat vaihtelua työstöominaisuudessa. Puun erilaiset ominaisuudet ja viat on otettava huomioon ennen työstöä ja työstön aikana. Puun leikkuusuunta on myös otettava huomioon työstämisessä. Se voi olla syynsuuntainen, poikittainen tai vinossa syihin nähden, ja työstön aikana syyn asema terään nähden vaihtelee.

Leikkuusuuntien vaihtelu vaatii erilaisia työkaluja, teräpäitä, teriä ja leikkuukulmia. Puun muuttuva rakenne hidastaa työtä, heikentää tuotteen laatua ja lisää tapaturmavaaraa. Työstettävän aineen aiheuttamia haittoja voidaan pienentää valitsemalla sopiva puun laatu ja työstämällä kappale mahdollisimman tasaisella nopeudella. (Ojala & Räsänen 1980, 51-52.)

4.9 Terän laatu

Terän laatu on suorassa yhteydessä sen tasaisuuteen, joka puolestaan on riippuvainen pinnan laadusta ja hiomalaikan lujuudesta. Peilikirkas ja kiiltävä pinta ei ole vielä mikään tae parhaasta mahdollisesta leikkuutuloksesta. Työkalun kesto-aika on se aika, jonka työkalu leikkaa kunnolla. Se on riippuvainen työkalun laadusta ja työkalun tasapainovirheistä sekä työstettävästä materiaalista. Terän kesto jää lyhyeksi, mikäli työkalussa on tasapainovirhe tai terässä on leikkumurtumia. Terä on tylsä, kun sen tylsymisaste on yli 0,15 mm. Myös juuri teroitetuilla terillä on mitattavissa oleva tylsymisaste. Terä on erittäin hyvä kun sen tylsymisaste on 0,005 mm-0,01 mm ja hyvä välillä 0,02 mm-0,03 mm. (Lahden Teräteos Oy 2014.)

5 VAIHTOPALAJÄRJESTELMÄN KEHITTÄMINEN

5.1 Työn aloitus ja tehtävänanto

Aloitin opinnäytetyön tekemisen lokakuussa 2014 Lahden Teräteos Oy:ssä. Tehtävänanto selvisi ja tarkentui ensimmäisten viikkojen aikana. Opinnäytetyön aiheeksi sain kehittää ja suunnitella 5-7 erilaisen tuotteen teräsarjan puuntyöstöön. Terien rungot tulee mitoittaa soveltuviksi Tigran 40 x 35 x 1,5/ 2 ja 40 x 28 x 1,5/ 2 Leuco Superprofiler teräpaloille, joiden materiaali on kovametalli (HW). Terän ylitys rungosta saa olla max. 10 mm ja min. 1,5 mm. Terärungot tehdään oikeakätisiksi, ja niiden rintakulma on noin 15 astetta. Terissä käytetään suoraa tai vinoa rintakulmaa, ja joissakin terissä myös terärungon muoto on vino. Terien tulee olla kasattu standardikomponenteista, jolloin komponentteja voidaan valmistaa jo valmiiksi varastoon.

Ruuveille määritetään kiristys- ja vääntömomentit sekä tehdään ohje terien kiinnitykseen. Työ tulee sisältää myös selostuksen huomioon otettavista työturvallisuusasetuksista. Tuotteista tehdään 3D-mallit ja työpiirustukset, eli valmistuspiirustus ja kokoonpanopiirustus. Valmistuspiirustus sisältää tolerointiohjeen reiälle ja varrelle sekä tarvittavat tekniset tiedot terästä. Suunnitteluinsinööri Ville Laakso tekee rungoille työstöradat Mastercam-ohjelmalla, jonka jälkeen niistä valmistetaan koekappaleet. Yhtä tai useampaa koekappaletta testataan lähialueen yrityksessä tai Koulutuskeskus Salpauksen tiloissa Vipusenkadulla. Lopuksi piirustukset on tarkoitus siirtää Vertex G4-mekaniikkasuunnitteluohjelmaan.

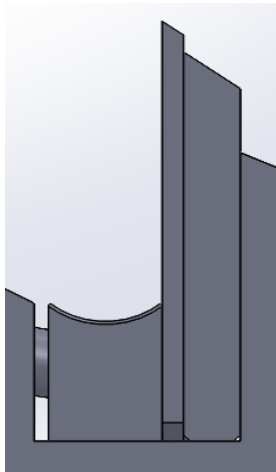
5.2 Terän kiinnitys

Asete

Asetteen tarkoituksena on kiilata teräpala ja terän tukipala tukevasti terärunkoa vasten kahden asetinruuvien avulla. Lahden Teräteoksella asetteesta käytetään yleisesti nimitystä dekkeli. Oikeanlaiset kiinnityskomponentit ja kiristysmomentit ovat välttämättömiä työkalun turvallisuuden kannalta, sillä näiden avulla estetään

terän sinkoutuminen irti rungosta. Kuviossa 12 nähdään, kuinka kiinnityskomponentit istuvat työkalun runkoon. Asetinruuvien tulokulma dekkeliin on 10 astetta. Tämän tarkoituksena on parantaa dekkelin kiilaantumista. Dekkeli kiilautuu varmemmin 10 asteen tulokulmalla kuin suoralla tulokulmalla, koska hieman yläviistosta tuleva voima painaa sitä paremmin rungon aukon pohjaa vasten.

Kaikki kuusi runkoa on suunniteltu niin, että niihin soveltuvat samat standardikomponentit. Asetinruuvien tulokulmaksi määritin 10 astetta, koska se on mahdollinen kaikkiin runkoihin. Rungon halkaisija määrittää aika pitkälti sen, mitä tulokulmaa voidaan käyttää. Suurempiin runkoihin olisi soveltunut 15 asteen tulokulma, mutta pienemmissä rungoissa se tuotti ongelmia. Niissä ruuvireikä olisi jäänyt liian lyhyeksi käyttämälläni M8x16 asetinruuville, ja ruuvien kanta olisi jäänyt reiän ulkopuolelle. Ruuvien pään tulee kohdata dekkelin pinta kohtisuorasti. Näin ollen myös dekkelin syvennyksen kulma on asetettu 10 astetta vinoon pystysuoraan nähden.

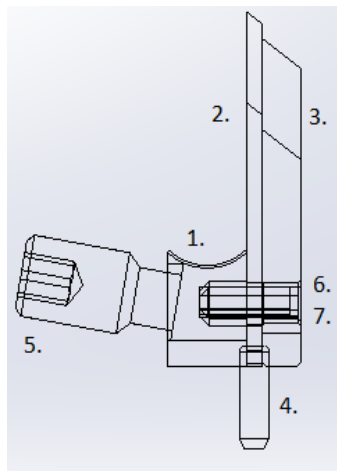


KUVIO 12. Osat kiinnitettynä runkoon

Kiinnityskomponentit

Kuviossa 13 on havainnollistettu terän kiinnittämiseen käytettäviä standardikomponentteja. Dekkelin (1.) avulla terä ja tukipala kiilataan runkoa vasten. Teräpalaksi (2.) soveltuu Tigran 40x35x1,5/2 ja 40x28x1,5/2 Leuco Superprofiler-palat. Suunnittelin rungot niin, että ne soveltuvat näille neljälle eri teräpalalle. Aikaisemmin rungot on tehty aina asiakaskohtaisesti riippuen teräpalan koosta. Terän tukipala (3.) hiotaan terän muodon mukaisesti. Se tukee terää ja suojaa sitä vääntymiseltä ja katkeamiselta. Rungon ohjaintappi (4.) määrittää terälle oikean paikan rungossa sekä pitää terän paikoillaan vaakasuunnassa.

Tasapäisen asetinruuvien (5.) avulla dekkeli saadaan kiristettyä oikeaan momenttiin. Dekkelin esikiristysmomentti on 6 Nm ja loppukiristys suoritetaan 20 Nm momentilla. Käyttämäni M8x16 asetinruuvien lujuusluokka on 12,9. Terän kiristykseen tarvittavia kiinnitystarvikkeita ovat asetinruuvien lisäksi T-väänin ja 6-52 Nm momenttiavain. Dekkelin jousisokan (6.) ja tukipalan jousisokan (7.) tarkoituksena on pitää terä lukittuna dekkelin ja tukipalan välissä. Tämä on tärkeä osa turvallisuutta, sillä jousisokat estävät terän sinkoutumisen vaikka asetinruuvi löystyisikin hieman. Asetinruuvien tulisi löystyä useamman millimetrin, jotta osat pääsisivät irtoamaan rungosta. Tämä estetään tarkasti määritetyillä kiristysmomenteilla.



KUVIO 13. Standardikomponentit

Asetteeseen kohdistuva voima

Asetinruuvilla halutaan saada dekkeliin vaakasuora 20 kN:n suuruinen voima. Se vastaa 20 Nm:n vääntömomenttia M8x16:n ruuville, jonka ruuvinousu on 1,25 mm. Asetinruuvin tulokulma dekkeliin on 10 astetta, joka on esitetty kuviossa 14. Seuraavassa on esitetty, kuinka suuri voima tarvitaan 10 asteen kulmassa tulevalle asetinruuville, jotta dekkeliin vaakasuorasti vaikuttava voima saadaan 20 kN:n suuruiseksi. Kappaleeseen vaikuttavista voimista tehdään voimakuvio, joka on esitetty kuviossa 15. Lasku saadaan ratkaistua Pythagoraan lauseella.

Voiman suuruus 10 asteen tulokulmalla:

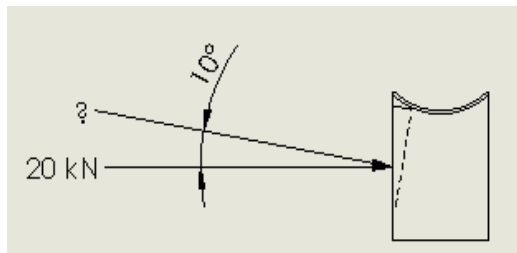
$$\cos 10^\circ = 20 \text{ kN} / x$$

$$x * \cos 10^\circ = 20 \text{ kN}$$

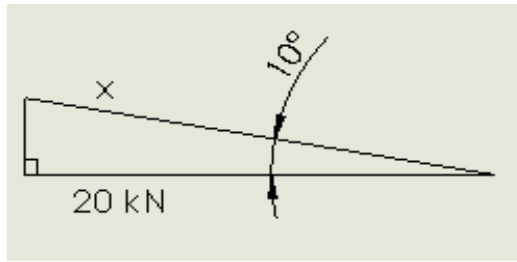
$$x = 20 \text{ kN} / \cos 10^\circ$$

$$x = 20,3 \text{ kN}$$

Tuloksesta nähdään, että 20 kN:n vaakasuora voima saadaan, kun resultantti x:n voima on 20,3 kN. Tästä voidaan päätellä, että mitä suurempi on voiman tulokulma, sitä suurempi voima tarvitaan 20 kN:n vaakasuoran voiman saavuttamiseksi. Esimerkiksi 25 asteen tulokulmalla resultantti x:n voiman tulee olla noin 22 kN, jotta vaakasuoraksi voimaksi saadaan 20 kN. Tämä tulee ottaa huomioon kokoonpanovaiheessa asetinruuveja kiristettäessä, jotta terä ja tukipala saadaan kiilattua dekkelin avulla oikealla voimalla.



KUVIO 14. 20 kN:n vaakasuora voima dekkeliin



KUVIO 15. Voimakuvio

5.3 Terärunkojen suunnittelu

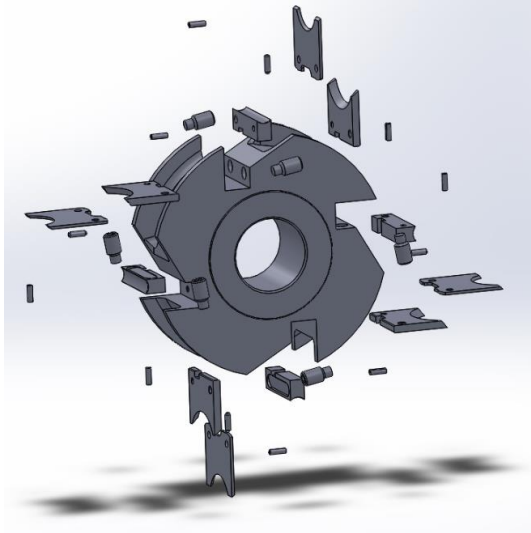
Aloitin terärunkojen suunnittelun suorasta reikäkursosta, koska mielestäni se oli helpoin mallinnettava. Kaikki rungot on mitoitettu soveltuviksi Tigran 40 x 35 x 1,5/ 2 ja 40 x 28 x 1,5/ 2 Leuco Superprofler teräpalloille, joiden materiaali on kovametalli. Teräpalan ylitys rungosta saa olla max. 10 mm ja min. 1,5 mm. Tämä toi haastetta rungon suunnitteluun, sillä saman terähalkaisijan oli sovelluttava kahdelle erikorkuiselle teräpalalle. Lisäksi rintakulma, rungon vino muoto ja vino rintakulma oli otettava suunnittelussa huomioon. Reikäkursoissa on huomioitava, että aseteelle, teräpalalle ja tukipalalle tarkoitetusta aukosta ei tule liian syvä, koska muuten se menee navan päälle.

Terärunkojen rintakulma on noin 15 astetta korkeammalla teräpalalla ja matalammalla palalla se on noin 18 astetta. Terärungot on tehty oikeakätisiksi ja Lahden Teräteoksella ne on nimetty Hardline-rungoiksi. Hardline-rungoissa terän rintakulma on noin 15-20 astetta kun taas Softline-rungoissa se on noin 25 astetta. Hardline-runko soveltuu paremmin kovemmille puumateriaaleille pienemmän rintakulman ansiosta. Softline-rungot on tarkoitettu pehmeämmille puumateriaaleille. Kaikkien terärunkojen tasapainoluokka on G6,3.

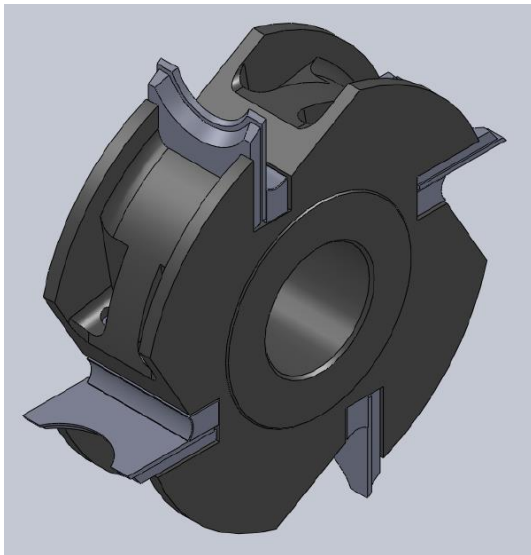
Suora reikäkurso

Suoran reikäkurson rintakulma on 15 astetta, ja sen suurin leikkuuhalkaisija on 150 mm. Se on nelileikkuinen, eli siinä on neljä terää. Rungon päämitat ovat $\text{Ø}150 \times 40 \times \text{Ø}40$, ja sen maksimipyörimisnopeudeksi on määritetty taulukosta

7550 r/min. Rungon materiaali on Fe 52. Kuviossa 16 on näytetty suoran reikäkurson kokoonpanon aloitus, ja kuviossa 17 on esitetty reikäkurson lopullinen 3D-malli.



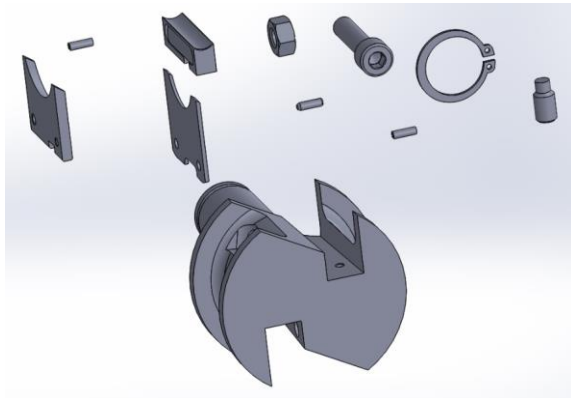
KUVIO 16. Suoran reikäkurson kokoonpanon aloitus



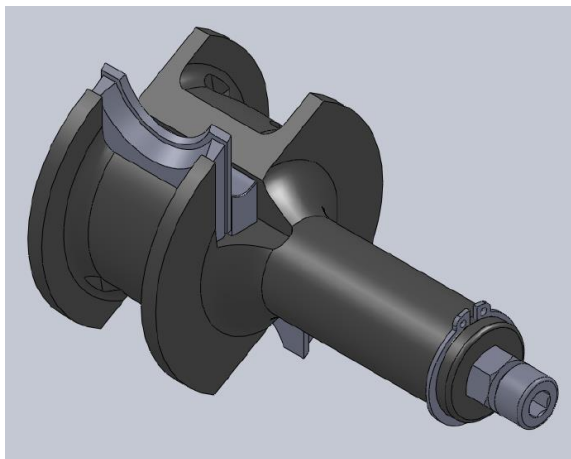
KUVIO 17. Suoran reikäkurson 3D-malli

Suora varsijyrsin

Suora varsijyrsin valmistettiin ensimmäiseksi, koska se pystytään testaamaan CNC-työstökeskuksella. Se valmistettiin matalammilla teräpaloilla, koska ne soveltuivat paremmin koeajoon. Sen rungon suurin leikkauhalkaisija on 90 mm, mutta matalilla teräpaloilla se on 77 mm. Korkeilla teräpaloilla sen rintakulma on noin 15 astetta ja matalilla paloilla noin 18 astetta. Varsijyrsin on kaksileikkuinen, ja sen päämitat ovat $\text{Ø}77 \times 40 \times \text{K}25$. Sen maksimipyörimisnopeudeksi on määritetty 12000 r/min. Runkomateriaalina on 42CrMo6. Kuviossa 18 on näytetty suoran varsijyrsimen kokoonpanon aloitus, ja kuviossa 19 on esitetty varsijyrsimen lopullinen 3D-malli.



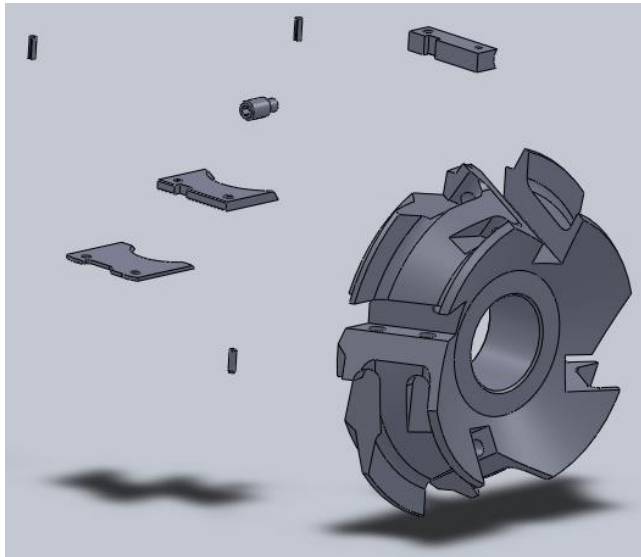
KUVIO 18. Suoran varsijyrsimen kokoonpanon aloitus



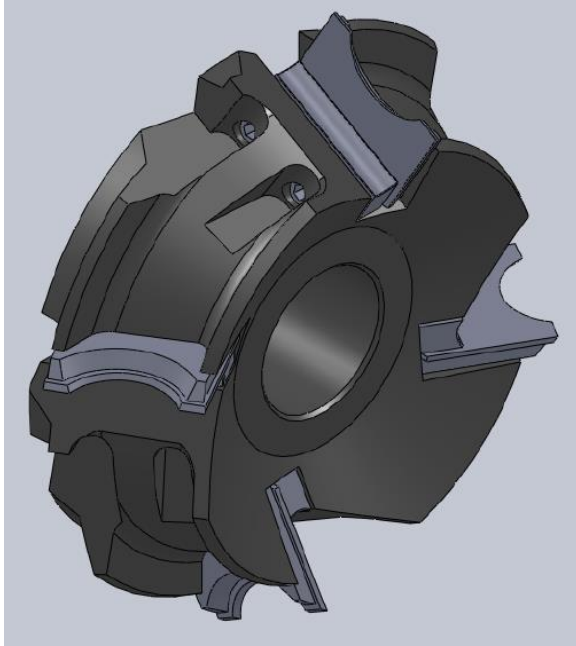
KUVIO 19. Suoran varsijyrsimen 3D-malli

Reikäkurso vinolla muodolla

Reikäkurso vinolla muodolla on huomattavasti hankalampi mallintaa kuin suora reikäkurso tai suora varsijyrsin. Mallinnuksen onnistumiseksi joudutaan tekemään useita aputasoja, mikä vaikeuttaa suunnittelua. Terärunkoa ei ollut mahdollista valmistaa 150 mm:n halkaisijalla, joten halkaisijamittaa on suurennettu. Sen rungon suurin leikkuuhalkaisija on 165 mm ja rintakulma on noin 15 astetta. Se on nelileikkuinen, ja sen päämitat ovat $\text{Ø}165 \times 40 \times \text{Ø}40$. Reikäkurson muodon vinous on 30 astetta. Sen maksimipyörimisnopeudeksi on määritetty 6860 r/min ja rungon materiaali on Fe 52. Vinomuotoisen reikäkurson kokoonpanon aloitus on näytetty kuviossa 20, ja kuviossa 21 on esitetty reikäkurson lopullinen 3D-malli.



KUVIO 20. Vinomuotoisen reikäkurson kokoonpanon aloitus



KUVIO 21. Vinomuotoisen reikäkurson 3D-malli

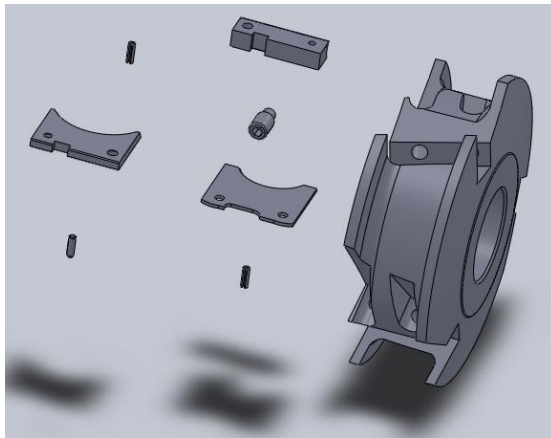
Reikäkurso vinolla rintakulmalla

Vinorintaisen reikäkurson rungon mitoitus on melko haastavaa, sillä siinä on otettava huomioon useita kulmia ja mittoja, jotka vaikuttavat toisiinsa.

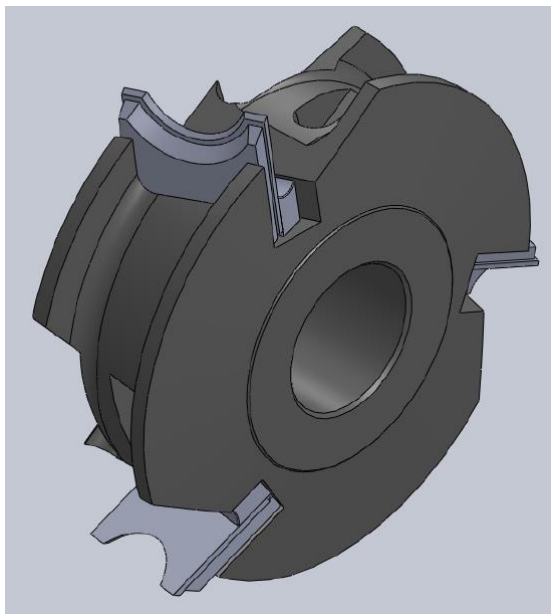
Suunnittelussa haastavinta on saada halutut kulmat ja mitat sommiteltua rungon halkaisijaan. Minun oli tehtävä kompromisseja mittojen ja kulmien suhteen, jotta pääsin haluttuun lopputulokseen. Rungon mallinnus vie melko paljon aikaa, koska joutuu tekemään monia aputasoja ja kokeilemaan useita eri vaihtoehtoja. Rungon suurin leikkuuhalkaisija on 150 mm ja sen rintakulma on noin 15 astetta. Se on kolmieleikkuinen ja sen päämitat ovat $\text{Ø}150 \times 40 \times \text{Ø}40$. Sen maksimipyörimisnopeudeksi on määritetty 7000 r/min ja rungon materiaali on Fe 52.

Alun perin terästä oli tarkoitus tehdä nelieleikkuinen, mutta se ei ollut mahdollista 150 mm halkaisijalle. Rungosta olisi tullut liian heikkorakenteinen ja se olisi vääntynyt käytössä, koska tietyt paksuusmitat olisivat jääneet standardimittojen alapuolelle. Päätimme esimiesten kanssa, että emme suurena rungon halkaisijamittaa vaan teemme terästä kolmieleikkuisen. Yksi vaikuttava tekijä oli

myös se, että terä on tyylikkäämmän näköinen kolmileikkuisena. Rintakulman vinous on 15 astetta. Tämän johdosta terä pureutuu paremmin työstettävään materiaaliin ja työstö on kaapivampaa. Minun oli muutettava rungon vinous 8 asteen suuriseksi, koska muuten rungon muoto ei tukenut riittävästi tukipalaa ja teräpala ei näin ollen asettunut kunnolla runkoon. Kuviossa 22 on esitetty vinorintaisen reikäkurson kokoonpanon aloitus, ja kuviossa 23 on näytetty reikäkurson lopullinen 3D-malli.



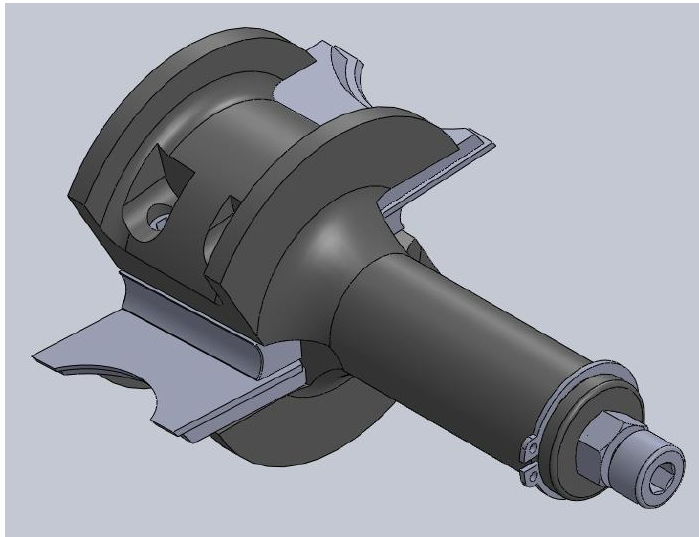
KUVIO 22. Vinorintaisen reikäkurson kokoonpanon aloitus



KUVIO 23. Vinorintaisen reikäkurson 3D-malli

Varsijyrsin vinolla rintakulmalla

Vinorintainen varsijyrsin on muunnelma suorasta varsijyrsimestä. Sen suurin leikkuuhalkaisija on 90 mm, ja sen rintakulma on noin 15 astetta. Varsijyrsin on kaksileikkuinen ja sen päämitat ovat $\text{Ø}90 \times 40 \times \text{K}25$. Sen maksimipyörimisnopeudeksi on määritetty 10500 r/min ja sen runkomateriaalina on 42CrMo6. Rintakulman vinoudeksi määritin 5 astetta, koska rungon halkaisija on liian pieni suuremmille vinouksille. Rungon vinoutta minun ei tarvinnut muuttaa, koska rungon muoto tuki riittävästi tukipalaa ja terä asettui hyvin runkoon. Vinon rintakulman ansiosta työstöstä saadaan kaapivampaa. Alla olevassa kuviossa on esitetty varsijyrsimen lopullinen 3D-malli.

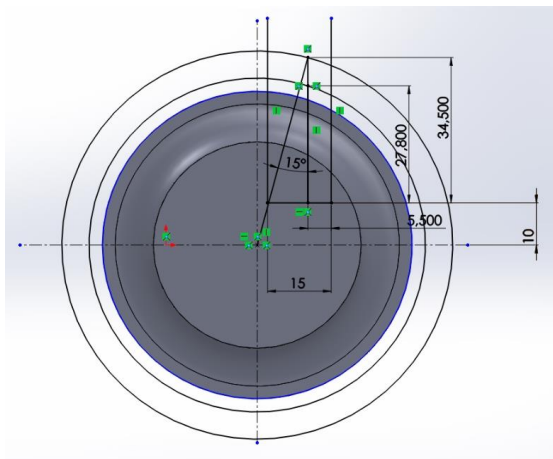


KUVIO 24. Vinorintaisen varsijyrsimen 3D-malli

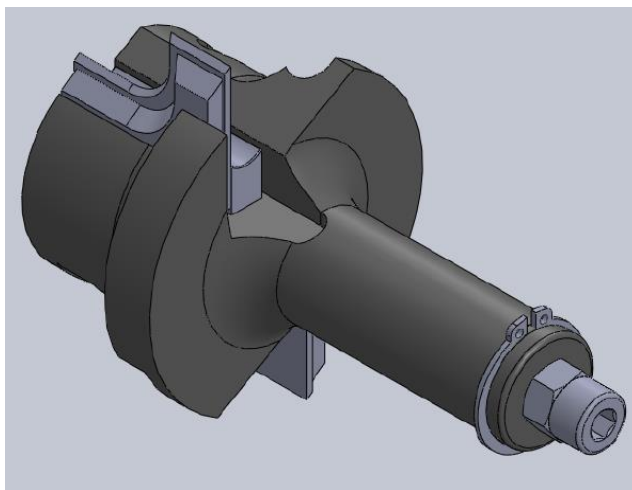
Suora varsijyrsin avoimella muodolla

Avomuotoinen suora varsijyrsin on muunnelma suorasta varsijyrsimestä. Sen suurin leikkuuhalkaisija on 90 mm ja rintakulma on noin 13 astetta. Varsijyrsin on kaksileikkuinen ja sen päämitat ovat $\text{Ø}90 \times 40 \times \text{K}25$. Sen maksimipyörimisnopeudeksi on määritetty 10500 r/min. Rungon materiaalina on 42CrMo6.

Rintakulmaksi määritin 13 astetta, koska rungon pieni halkaisija ei mahdollistanut 15 asteen rintakulman käyttöä. 13 astetta on tällä terälle sopiva rintakulman suuruus. Rungon avoin muoto mahdollistaa, että teräprofiiliin voidaan tehdä syvempiä muotoja kuin normaalin kiinteärunkoisen varsijyrsimen teräprofiiliin. Tämän johdosta sillä pystytään työstämään syvempiä muotoja työstettävään materiaaliin. Sillä pystytään myös työstämään sellaisia muotoja, joita ei ole mahdollista työstää kiinteärunkoisella varsijyrsimellä. Kuviossa 25 on kuvattu avomuotoisen varsijyrsimen rungon suunnittelua, ja kuviossa 26 on esitetty varsijyrsimen lopullinen 3D-malli.



KUVIO 25. Avomuotoisen varsijyrsimen rungon suunnittelua



KUVIO 26. Avomuotoisen varsijyrsimen 3D-malli

6 KEHITYKSEN LOPPUTULOS JA TESTAUS

6.1 Työn lopputulos ja koeajo

Kehityksen lopputuloksena sain suunniteltua kuudesta puuntyöstöterästä koostuvan tuoteperheen. Standardisoin vaihtopalateräjärjestelmässä käytettävät komponentit. Kaikissa terissä voidaan käyttää samoja standardikomponentteja, jonka ansiosta komponentteja voidaan jo valmiiksi valmistaa varastoon. Tämä helpottaa valmistusta, koska terille ei tarvitse erikseen valmistaa yksilöllisiä komponentteja. Aikaisemmin terissä käytettävät komponentit suunniteltiin aina erikseen terän suunnittelun yhteydessä. Tilaukset saadaan toimitettua nopeammin asiakkaalle, kun kaikkia komponentteja ei tarvitse joka kerta valmistaa erikseen, vaan ne voidaan valmistaa jo etukäteen suurempina sarjoina. Opinnäytetyön lopuksi ensimmäisenä valmistunutta varsijyrsintä käytiin koeajamassa lähialueen puusepäntuotantoliikkeen 5-akselisella CNC-työstökeskuksella. Myös muut terät on valmistuttuun tarkoitukseen käydä koeajamassa. Opinnäytetyön tuloksena saatiin tarvittavat työpiirustukset kaikista kuudesta puuntyöstöterästä. Kaikkien terien valmistuttua teräsarjaa voidaan alkaa markkinoimaan sekä kotimaahan että vientiin. Teräsarjaa on myös tarkoitus esitellä Lahden Teräteos Oy:n messupisteellä.

6.2 Testauspaikka

Marraskuussa 2014 kävin tutustumiskäynnillä Koulutuskeskus Salpauksen puualan osastolla Vipusenkadulla Lahdessa. Tarkoituksena oli tutustua puuntyöstökoneisiin ja katsoa, millaisia terävarustuksia niissä käytetään. Kerroin tekeväni insinöörityötä vaihtopalateristä, ja sovimme Karri Koiviston kanssa mahdollisuudesta testata teriä sitten, kun ne ovat valmiita. Ensimmäinen terä valmistui juuri ennen joululomien alkua, mutta ammattikoululla ei ollut silloin valvovaa henkilökuntaa paikalla, joten sovimme, että menisin testaamaan muita teriä vuodenvaihteen jälkeen. Soittelimme useaan lähialueen puualan yritykseen ja kyselimme mahdollisuudesta testata juuri valmistunutta varsijyrsintä (kuvio 27). Puusepäntuotantoliike Ruhberg suostui suorittamaan koeajon maanantaina 22.12.2014 tuotantotiloissaan Koksikadulla.



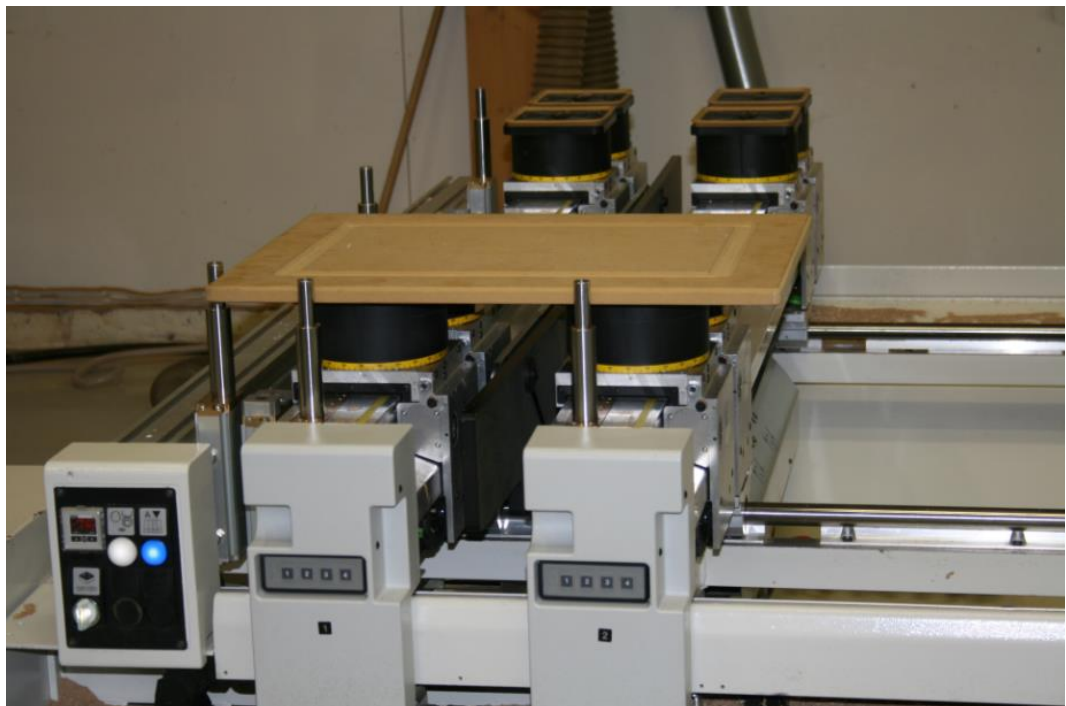
KUVIO 27. Testattava varsijyrsin ja siihen kiinnitetty istukka kiinnitystä varten

6.3 Testauslaitteisto

Menimme paikalle terän ja MDF-levyn kanssa. Koeajo suoritettiin uudella 5-akselisella SCM Accord 40 FX CNC-työstökeskuksella (kuvio 28). Testattavassa varsijyrsimessä käytettiin 40x28x1,5 kovametalliteräpaloja, jolloin sen suurin leikkuuhalkaisija on 77 mm. Käytetyllä profiilimuodolla terän pienin leikkuuhalkaisija on 60 mm. Testattavan kaksileikkuisen varsijyrsimen rintakulma oli 18 astetta. Testiajajana toimi Mikko Sinivaara, joka teki työstöradat testiajoihin. MDF-levy kiinnitettiin CNC-työstökeskuksen pöytään alipainekiinnityksen avulla (kuvio 29). Alipainekiinnityksen ansiosta levyn kaikki sivut voidaan jyrsiä yhdellä kertaa irrottamatta levyä välillä.



KUVIO 28. SCM Accord 40 FX CNC-työstökeskus



KUVIO 29. MDF-levy kiinnitettynä pöytään alipainekiinnityksellä

6.4 Työstöarvot

Terän leikkuunopeudeksi haluttiin n. 35 m/s. Jos terän kierrosnopeudeksi asetetaan 10000 r/min, niin leikkuunopeudeksi saadaan 31,4 m/s. Valitsimme kierrosnopeudeksi 12000 r/min, jolloin leikkuunopeudeksi saadaan 37,6 m/s. Ensimmäisellä testiajolla asetimme vastasyöttönopeudeksi 5m/min. Työstöradassa oli pieni virhe, jonka takia suoritettu aineenpoisto oli peräti 30 mm jokaiselta neljältä sivulta. Toiseen testiajoon nostimme vastasyöttönopeudeksi 8m/min, joka vastaa paremmin todellista nopeutta kun valmistetaan kyseisiä keittiökaapin ovia sarjatuotannolla. Nyt työstöradassa ei ollut virheitä ja asetettu 4 mm:n aineenpoisto onnistui jokaiselta sivulta (kuvio 30).



KUVIO 30. Levy toisen testiajon jälkeen

6.5 Testauksen yhteenveto

Testiajo oli onnistunut ja terä toimi halutulla tavalla. Se täytti hyvälle terälle ominaiset tunnusmerkit, eli se oli työstettäessä äänetön, värinätön ja kevyesti

leikkaava. Tämän perusteella voidaan päätellä, että terä on tasapainotettu oikein. Lahden Teräteoksella kaikille terille tehdään tasapainotusmittaus tasapainotusluokassa G6,3. Mittauksen tuloksista tulostetaan erillinen tasapainotusraportti asiakkaalle todistukseksi. Leikkuujäljessä ei myöskään ollut moitittavaa ja testaustulosten perusteella terä on valmis myyntituote. Alla olevassa kuviossa 31 on esitetty terän leikkuujälki MDF-levyn reunassa. Kuviossa 32 on näytetty varsijyrsin koeajon jälkeen.



KUVIO 31. Terän leikkuujälki levyn reunassa



KUVIO 32. Työstöpurua rungon lastutilassa koeajon jälkeen

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyöni tavoitteena oli puuntyöstössä käytettävän vaihtopilateräjärjestelmän suunnittelu. Työn toimeksiantaja oli Lahden Teräteos Oy. Toimeksiantaja määrittä opinnäytetyön pääkohdaksi suunnitella ja kehittää 5-7 erilaisen tuotteen teräsarjan puuntyöstöön. Ensimmäisten viikkojen aikana tehtävänanto tarkentui pidetyissä palavereissa, ja lopulta tehtäväni oli suunnitella kuudesta terästä koostuva tuoteperhe käyttäen samoja standardikomponentteja kaikissa terissä. Teristä kolme oli oltava reikäkursoja ja loput kolme varsijyrsimiä.

Aloitin opinnäytetyön tekemisen Lahden Teräteos Oy:ssä lokakuussa 2014. Aloitin työni tutkimalla yrityksen koulutusmateriaaleja koskien kursoavan työstön pääperiaatteita ja terämateriaaleja. Koulutusmateriaaleissa selvitettiin terien tärkeimpiä leikkuukulmia ja pyörimis- ja leikkuunopeuksia. Tutkin myös terien suunnittelussa huomioon otettavia standardeja ja säädöksiä. Standardit olivat suurimmaksi osin englanninkielisiä, mutta osa niistä oli käännetty myös suomeksi. Koulutusmateriaaleja oli tarjolla useita mappeja, ja vaikeimmaksi tehtäväksi osoittautui minua eniten hyödyntävien tietojen löytäminen niistä. Kaiken kaikkiaan materiaalin suuri määrä oli hyvä asia, sillä niihin tutustumalla pääsin hyvin kiinni työssä tarvittavista asioista.

Käytännön työvaiheen aloitin tekemällä SolidWorksilla harjoitusmalleja helposti mallennettavista teristä. Samalla sain kehitettyä SolidWorks-osaamistani eteenpäin, sillä en ollut aikaisemmin mallintanut vastaavanlaisia kappaleita. Harjoittelun jälkeen aloitin opinnäytetyöhön kuuluvan suoran reikäkurson mallintamisen. Purin myös hallin puolella vaihtoplateriä ja tutustuin niissä oleviin komponentteihin. Varastossa kävin tutustumassa erilaisiin teräpaloihin ja otin sieltä muutaman projektissa käytettävän teräpalan mallinnettavaksi. Suoran reikäkurson mallinnuksen valmistuttua aloin mallintaa suoraa varsijyrsintä. Mallinnuksen valmistuttua tein kummastakin terästä kokoonpano- ja valmistuspiirustukset sekä piirustukset niissä käytettävistä standardikomponenteista. Tämän jälkeen olin valmis etenemään vaikeammin mallinnettavien terien pariin.

Joulukuussa 2014 sain kaikkien terärunkojen ja standardikomponenttien työpiirustukset valmiiksi. Tämän jälkeen suunnitteluinsinööri Ville Laakso teki Mastercam-ohjelmalla työstöradat ensimmäisenä valmistettavalle suoralle varsijyrsimelle. Varsijyrsimen valmistuttua sitä käytiin koeajamassa 5-akselisella CNC-työstökeskuksella lähellä sijaitsevassa puusepäntehtävässä.

Opinnäytetyön tuloksena saatiin tarvittavat työpiirustukset kaikista kuudesta puuntyöstöterästä. Teräsarjaa tullaan markkinoimaan sekä kotimaahan että vientiin. Alun perin tavoitteena oli, että kaikki terät olisi keretty valmistaa ja koeajaa joulukuun aikana. Työn loppupuolella yrityksellä oli muita kiireitä, joten olimme erittäin tyytyväisiä, että pääsimme testaamaan varsijyrsintä ennen joulua. Muut puuntyöstöterät on tarkoituitus testata vuoden 2015 alkupuolella. Muuten opinnäytetyö saavutti mielestäni hyvin asetetut tavoitteet. Työn tekeminen Lahden Teräteoksella on ollut erittäin mielenkiintoista ja opettavaista. Sain työn tekemiseen hyvin ohjausta ja tukea Pentti Lounatmaalta, Juha Viinikalta, Ville Laaksolta ja Hannu Hiltuselta Lahden Teräteos Oy:stä. Toivon, että Lahden Teräteos Oy pystyy hyödyntämään opinnäytetyöni tuloksia mahdollisimman tehokkaasti tulevaisuudessa.

LÄHTEET

Lahden Teräteos Oy, 2007. Kursoava työstö. Koulutusaineisto.

Lahden Teräteos Oy, 2009. Terien laatu. Koulutusaineisto.

Lahden Teräteos Oy, 2011. Teräkulmat. Koulutusaineisto.

Lahden Teräteos Oy, 2011. Terämateriaalit ja niiden pääkäyttökohteet. Koulutusaineisto.

Lahden Teräteos Oy, 2006. Terätyypit. Koulutusaineisto.

Lahden Teräteos Oy, 2014. Tuotteet. Esite.

Leuco Ledermann GbmH + Co, Saksa, 2014. Perusterien käsikirja. Koulutusaineisto.

Lounatmaa, P. 2014. Myyntipäällikkö. Lahden Teräteos Oy. Haastattelu 4.12.2014.

LSAB. 2014. Tuotteet. LSAB [viitattu 14.1.2015]. Saatavissa:

<http://www.lsab.fi/tuotteet-puuteollisuus/tuotteet-jatkojalostukseen/levyntyosto>

Ojala, E. & Räsänen, J. 1980. Puualan perusoppi 8: Kursoava työstö & viimeistely. Helsinki: Otava.

SFS-EN 847-1. 1997. Puuntyöstötyökalut. Turvallisuusvaatimukset. Osa 1: Jyrsintätyökalut, pyörösahanterät. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

SFS-EN 847-3. 2003. Puuntyöstötyökalut. Turvallisuusvaatimukset. Osa 3: Kiinnityslaitteet. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto.

Teroitusliike Teho Oy. 2014. Timanttiterä. Teroitusliike Teho Oy [viitattu 14.1.2015]. Saatavissa: <http://www.teroitusliike.com/timanttitera>

Stén & Co Oy Ab, 2004. Teräkset. Esite.

Kaikki liitteet poistettu, salaisia.