



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

Polttomoottorikäyttöisen poltto- puusirkkelin kehitystyö

TEKIJÄ: Marko Korhonen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Marko Korhonen			
Työn nimi Polttomoottorikäyttöisen polttopuusirkkelin kehitystyö			
Päiväys	8.12.2014	Sivumäärä/Liitteet	29/1
Ohjaaja(t) Risto Rönkä ja Pentti Halonen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Maatila Pertti Ryhänen			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyönä suunniteltiin bensiinikäyttöisellä pienmoottorilla toimiva polttopuusirkkeli. Laite on tarkoitettu kesämökki- sekä omakotitalo käyttöön halkaisijaltaan alle 18 senttimetrinen puiden katkaisuun polttopuiksi vaivattomammin sekä ergonomisemmin kuin moottorisahalla sahaten. Opinnäytetyössä oli lähtökohtana uudenlaisen polttopuusirkkelin tuotekehitys jossa suunniteltiin liukupöytä-mekanismeilla toimivan polttopuusirkkelin prototyyppi.</p> <p>Solid Works- ohjelman avulla mallinnetusta 3D-mallista rakennettiin itse tehty prototyyppi jonka rakenteessa tähdättiin yksinkertaisiin koneteknisiin ratkaisuihin ja materiaaleihin jotta prototyyppi oli toteutettavissa ilman teollisia resursseja yhteistyökumppanin työtiloissa. Laite poikkeaa rakenteellisesti yleisistä kaupallisista polttopuusirkkelleistä.</p> <p>Prototyypin koneteknisessä suunnittelussa tarvitsi perehtyä puunkatkaisun teoriaa käsittelevään kirjallisuuteen ja soveltaa sitä prototyypin suunnitteluun jotta se toimisi oikein. Opinnäytetyössä yhdistyy kone- sekä puutekniikan soveltaminen käytäntöön. Prototyyppi rakennettiin jotta saatiin käytännön tuloksia suunnittelun toiminnasta. Valmistustoleransseja ei käytetty suunnittelussa koska prototyypin rakentamisessa ei ollut teollisia tuotantomenetelmiä käytössä.</p>			
Avainsanat Bioenergia, polttopuu, konetekniikka, Solid Works			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Mechanical Engineering			
Author(s) Marko Korhonen			
Title of Thesis Development Project of Internal Combustion Engine Woodsaw			
Date	8.12.2014	Pages/Appendices	29/1
Supervisor(s) Risto Rönkä and Pentti Halonen			
Client Organisation /Partners Farm Pertti Ryhänen			
<p>Abstract</p> <p>An internal combustion engine woodsaw that is powered by a small petrol-driven motor was designed in this thesis project. The device is intended to be used at summer cottages and detached houses to cut firewood easier and more ergonomically than with a chainsaw. The starting point in this project was the product development of a new type of a woodsaw and a prototype of this woodsaw with a sliding table mechanism was designed.</p> <p>A self-made prototype was built from a 3D model made with the Solid Works program. The structure of this prototype aimed at simple mechanical solutions and materials so that it was possible to build the prototype without industrial resources in the workspaces of the project partner. The device differs structurally from common commercial firewood circular saws.</p> <p>In the mechanical planning of the prototype the author needed to familiarize himself with the theory of wood cutting and apply the knowledge to the prototype design so that the prototype would work correctly. The thesis combines mechanical engineering and wood technology in practice. The prototype was built to provide practical operations. Manufacturing tolerances were not used in design because there were no industrial production methods used in building the prototype.</p>			
Keywords Bioenergy, firewood sawing, mechanical engineering, Solid Works			

ESIPUHE

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma Savonia-ammattikorkeakoulussa on painottunut Ylä-Savon alueella vahvasti konepajateollisuuden tuotteisiin ja tämä perinteinen koulutusala onkin ollut yksi Suomen viennin tukijalka teollisuudessa. Olen seurannut sekä tutkinut vapaa-ajallani mielenkiinnosta erilaisia bioenergian muotoja ja alan kehitystä Suomessa. Bioenergia kiinnostaa minua tällä hetkellä eniten alalta, jonne haluan työllistyä ja uskon että Suomessa on potentiaalia tälle uudelle teollisuuden sektorille todella paljon tulevaisuudessa. Toivon, että myös pian Ylä-Savossakin tämä ala työllistää paljon ihmisiä.

Kiitän Iisalmen Savonialta Pentti Halosta ja Sari Turpeista opintojeni ohjaamisesta, opinnäytetyöni ohjaajaa Risto Rönkää Savonian Kuopion kampukselta avusta opinnäytetyöni parissa, sekä läheisiäni tuesta opintojeni aikana. Työtilat prototyypin rakentamiselle mahdollisti Pertti Ryhäsen maatila.

SISÄLTÖ

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

ESIPUHE

1 JOHDANTO	6
2 KOTIKÄYTTÖÖN TARKOITETTUJA POLTTOPUUSIRKKELEITÄ	7
2.1 Puun katkaisun perusteita yleisesti.....	9
2.2 Sirkkelinterän ominaisuuksien pohjatietoa.....	9
2.3 Lyhenteet ja määritelmät	11
2.4 Tausta-aineistot	12
3 POLTTOPUUSIRKKELIN SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT	13
4 PROTOTYYPIN RAKENTAMINEN.....	16
4.1 Moottori, teräkseli, voimansiirto komponenteista tietoa.....	16
4.2 Liukupöydän kehitystyö.....	17
4.3 Prototyypin runko.....	21
4.4 Levyosat, katkaisuterän suojus, hihnavedon suoja	22
4.5 Mekaaninen kokoonpanotyö	22
4.6 Prototyyppi mallinnettuna Solid Worksilla	22
5 PROTOTYYPIN PINTAKÄSITTELY	23
6 PROTOTYYPIN KOEKÄYTTÖ JA NIIDEN KOKEMUSTEN ARVIONTIA.....	24
7 IDEOINTIA LAITTEEN VALMISTUTUMISEN JÄLKEEN	24
8 YHTEENVETO OPINNÄYTETYÖSTÄ.....	26
LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT.....	28
LIITE 1: KUVIA VALMIISTA PROTOTYYPISTÄ.....	29

1 JOHDANTO

Tämä opinnäytetyöni yhdistelee yhdeksi kokonaisuudeksi uusiutuvan bioenergian tuotantoa, konepajatuotteen valmistusta, koneteknistä suunnittelua sekä tietokoneella Solid Worksilla suunnitellun koneen rakentamisen käytännössä. Pohjustetaan ensiksi polttopuusirkkelin kehitystarvetta perustiedoilla puuenergiasta. Puu on ollut pitkään perinteinen lämmönlähde pientaloissa Suomessa. Suomessa on tilastoitu 2,9 miljoona tulisijaa sekä puukiukaita noin 1,1 miljoonaa. Uusia tulisijoja hankitaan vuosittain lähes 70 000 kpl (Suomen Metsäkeskus, pilketuotanto-opas.pdf). Suomen väkilukuun nähden suuri tulisija määrä tarvitsee siten jatkuvasti suuren määrän kuivaa polttopuuta, jonka pääsääntöisesti pientalojen asukkaat ovat kyenneet itse erilaisin menetelmin tekemään.

Suomessa käytettiin 6,7 miljoonaa kuutiometriä polttopuuta 2006- 2007 lämmityskautena Metsätilastotiedotteen 26/2009 mukaan. Kylmä talvi lisää pientalon lämmitystarvetta ja käänteisesti leuto talvi alentaa lämmitystarvetta. Perinteisen luonnonpuusta tehdyn puupilkkeen kaupallinen tuotanto on ollut Suomessa hyvin pientä myyntivolyymiltään ja siitä määrästä suurin osa on maatilojen ja yhteisöjen sivutoimista myyntiä. Puupilkkeen ohelle on jalostunut nykyään muutamia erilaisia kaupallisia puutuotteita, joilla on hyvin optimaalisia ominaisuuksia verrattuna luonnon puuhun. Suomessa toimii nykyään muutamia kaupallisia valmistajia, jotka tekevät sahateollisuuden ylijäämä puujätteistä, kuten sahanpurusta ja höylälastuista, valmistettavia puristamalla valmistettuja puupellettejä sekä kooltaan suurempia puubrikettejä. Näillä puujalosteilla saavutetaan helppo säilytys sekä niissä on enemmän saatavaa lämpöenergiaa tiiviimmässä koossa verrattuna raakapuuhun. Puristeet ovat heti käyttövalmiita hyvin kuivia ja tasalaatuisia puujalosteita. Luonnon puusta valmistettu puupilke vaatii aina oikeaoppisen säilytyksen säältä suojattuna jotta se alkaa kuivua sekä lämpöenergia määräänsä nähden paljon säilytystilaa koko elinkaarensa ajan. Luonnonpuuta ei myöskään voi heti käyttää poltettavaksi uunissa lämpöenergiaksi puun kaatamisen jälkeen polttopuun tarvitseman luonnollisen kuivumisajan vuoksi.

Polttopuun kuivuuden tärkeyden voi testata empiirisesti. Liian kostea polttopuu palaa huonosti ja sen syttyminen on hyvin vaivalloista. "Tuoreen puun kosteus on noin 50 %, puuvajassa kuivanut noin 20 %, sisällä kuivaneiden alle 15 %. Kuiva puu on kevyen tuntuinen ja sitä lyödessä toista kuivaa puuta vasten ääni on napakka, terävä kalahdus."

(http://wikikko.info/wiki/Polttopuut#Polttopuun_kuivaaminen)

Polttopuun talteenotto- sekä tuotantomenetelmät ovat kehittyneet nykyaikana koneellistumisen myötä tehokkaammiksi sekä paremmiksi sekä ympäristölle sekä työntekijälle, mutta vieläkin vanhimmat tavat ovat yhä käyttökelpoisia tuottaa polttopuuta pienissä erissä. Kirves ja saha, niillä työkaluilla voidaan yhä talon lämmityspuut valmistaa. Konevoima keventää tätä raskasta puunkäsittely työtä ja mahdollistaa Lean-oppeja mukaillen paremman materiaalin virtauksen käytettyyn aikaan nähden.

Opinnäytetyönä tuotekehittiin sekä rakennettiin prototyyppi uudeltaisesta polttopuusirkkelistä joka poikkeaa markkinoilla olevista kaupallisista malleista. Prototyypin suunnittelun pääkohdat joita haluttiin kehittää pohjautuvat tieto/taitoon niistä käytännön seikoista joita perinteinen moottorisahalla ja sahauspukin avulla tehty työ polttopuun sahausessa kohdistaa työntekijälle. Prototyypille asetettiin tiettyjä erityisvaatimuksia joita suurin osa tarjolla olevista kaupallisista laitteista ei täyttänyt. Laitteen suunnittelussa huomioitiin se että prototyyppi rakennettiin itse ilman varsinaista alihankintatyötä sekä alihankintana erikseen valmistettavia komponentteja.

Prototyypin kalleimmat ostetut komponentit olivat käytettyinä hankittuja mutta prototyypin rakenne mahdollistaa kyllä vastaavien uusienkin komponenttien käytön ilman suuria modifiointeja. Näin ollen prototyypin rakenne soveltuu myös nykyisillä moottori- sekä teräksimalleilla toteutettavaksi. Prototyypin rakentamisessa ei vielä varsinaiseen teolliseen tuotannonlaatuun päästy käsityömenetelmin.

Prototyypin valmistus- sekä rakennusmateriaalit tarvitsi soveltaa prototyypin rakenteessa mahdollisimman pitkälle erilaisin käsikäyttöisin sähkötyökaluin tehtäviksi, jolloin valmiita metallituotteita, kuten erilaista neliöputkea ja L- profiilitärsiä käytettiin valmistuksessa. Prototyypillä testattiin sekä tutkittiin sen suunnitellun rakenteen ominaisuuksia käytännössä ja siltä kokemuspohjalta voitiin arvioida suunnittelun onnistumista sekä mahdollisia jatkokehitys tarpeita.

2 KOTIKÄYTTÖÖN TARKOITETTUA POLTTOPUUSIRKKELEITÄ

Keskimääräinen arvio on tehty (Metsäntutkimuslaitos) että pientalo tarvitsee noin neljä-viisi kiintokuutiometriä lämmityskaudessa kuivaa polttopuuta. Kun hahmottaa millainen polttopuupino se on käytännössä, voi silloin arvioida millainen on tarpeeksi tehokas kone sen puumäärän valmistamiseen. Jos polttopuut ovat 33 senttimetriä pitkiä ja niitä laitetaan kaksi riviä 2 *4 metriä puupinoon niin siinä on reilut viisi kiintokuutiota polttopuuta. Polttopuusirkkeli on sen koneenosista muodostuva mekaaninenkokonaisuus jossa puun katkaisutapahtuma tapahtuu siten että laitteen moottorin voimalla pyörivään sirkkelinterään syötetään katkaistava puumateriaali manuaalisesti. Käyttäjä työntää niveloitujen syöttökourun avulla puun halutulla nopeudella jolloin pyörivä sirkkelinterä katkaisee puun. Kaikkein halvimmat pienellä terällä sekä sähkömoottorilla toimivat polttopuusirkkelit löytyvät autotarvikeliikkeiden ja rautakauppojen valikoimista. Kalliimpia kotimaisia tuotteita jälleenmyyvät maatalouspuolen kaupat joita on useilla eri valmistajilla. Eräs kotimainen puusirkkelimalli joka on kokoluokaltaan sama kuin prototyyppi, maksaa lähes 2700 euroa polttomoottorilla varustettuna.

Prototyyppi polttopuusirkkeli rakennettiin yksinkertaisesti itse sekä ilman raskaita konepajalaitteita. Polttopuusirkkeliiden mekaaninen rakenne on tarkoituksella pelkistetty, kuten voidaan havaita myös teollisista polttopuusirkkeleistä, kuten esimerkki laite KUVASSA 1, joka on eräs kaupallinen polttopuusirkkeli autotarvikeliike Bilteman valikoimista. Nämäkin laitteet ovat muodoiltaan kantikkaita juuri kustannussyistä koska pyöreiden muotojen tekeminen metalliin on kallista teollisesti. Solid Worksilla on helppo toteuttaa hienosti muotoiltu tuote, osa tai komponentti, mutta on tärkeää huomioida koko ajan valmistettavuuskin.

Prototyyppiä ei siis tarkoitettu haastamaan isoja traktorikäyttöisiä klapikoneita ja sirkkeleitä, mutta siinä on kaupallista potentiaalia sirkkelinä jollaista ei ole vielä ollut markkinoilla. Prototyypin rakenne on helposti toteutettavissa suuremmissa mittakaavassa sen mittoja laajentamalla samalla periaatteella. Prototyyppiin on myös ideoitu lisäoptiona generaattori- lisäosat joilla sirkkelin polttomoottori kehittäisi sähköä terän pyörittämisen ohella siten että laitteesta voisi ottaa hihnavedon avulla voiman sähköä tuottavalle tasavirtageneraattorille. Sovelsin tähän kohti sähköalan koulutuksen tietämystäni. Yleisillä markkinoilla ei ole kyllä tällaista puusirkkeliä joka toimisi näin.

Tutkimuskohteena prototyypin mielenkiintoisin ja haastavin yksittäinen asia oli liukusysteemin toteutus tarpeeksi edullisesti jotta sen valmistus myös olisi kannattavaa. Lineaariliike komponentteja on toki olemassa monenlaisia valmiitakin, mutta niiden hinta sekä käyttötarkoitus olivat sopimattomia tähän käyttöön joka oli prototyypin kokonaiskustannuksiin nähden liikaa. Esimerkkinä Bilteman myymä edullinen polttopuusirkkeli:



KUVA 1 Biltema LC400A sähkömoottorilla toimiva polttopuusirkkeli. (www.biltema.fi)

Hiukan kalliimmissa polttopuulaitteissa voi olla myös lisäksi niin sanottu halkaisuruuvi, jolla katkaistu polttopuu voidaan mekaanisesti halkaista. Prototyyppiin ei tarvittu halkaisuruuvia koska päätettiin ettei sellaista polttopuuta jota sillä valmistetaan pysty halkaisemaan riittävän vaivattomasti hyvällä halkaisukirveellä. Traktorikäyttöisissä sirkkeleissä halkaisuruuvi on yleinen myös, koska se ei laitteen kokonaiskustannuksia kovin paljon lisää saavutettavaan hyötyyn nähden. Jos katkaistut polttopuut ovat hyvin oksaisia on siinä tapauksessa sähköllä toimiva hydraulinen puunhalkomiskone turvallisin tapa halkaista puut kirveen sijaan.

Kaupallisen polttopuusirkkelin hinta muodostuu tyypillisesti hyvin pitkälti sen osien summana. Sirkkelinterä ja sen moottori ovat arvokkaimmat komponentit ja runko on tyypillisesti edullista kalusteputkea, jossa on yksinkertainen laitteen rakenne toteutettu valmistuskustannusten kurissa pitämi-

seksi. Katkaisukourun nivelöinti on niissä poikkeuksella toteutettu vain kannatin putkien läpimenevällä pultilla, joka kiinnittää katkaisukourun sirkkelin runkoon ja tämä pulttiliitos toimii nivelenä. Trakto-reissa on myös öljynpaine työkoneelle tarjolla, ja kuten tiedetään, hydraulikka on yksi kalleimmista voiman tuottotavoista.

2.1 Puun katkaisun perusteita yleisesti

Puuta katkaistaan nykyään pääsääntöisesti teräketjulla tai pyöröterällä. Sahateollisuudessa on myös puunhalkaisuun käytössä myös vannesahoja mutta niiden käyttö polttopuiden sahauksessa on hyvin harvinaista. Teräketju on tuttu vaikkapa moottorisahasta ja metsäkoneissakin se on käytössä puun kaatamisessa. Tässä opinnäytetyössä käsitellään tuoreen luonnonpuun katkaisua pyörivällä sirkkelin-terällä. Sirkkelinteriä on käytetty hyvin pitkään sekä puun katkaisussa sekä halkaisussa ja terien kehitys on ollut kuitenkin hillittyä. Sirkkelinteriä on hyvin vanha keksintö ja sen materiaalit ja hammasmuoto ovat ne selvimmät tekijät jotka erottavat entisaikojen ”peltiterän” nykyaikaisesta kovametallihampaisesta suurnopeusterästä. Kehitys on tuonut paremmat valmistusmateriaalit sirkkelin-terän kestoja sekä suorituskykyä parantamaan. Kehitys puunsahauksessa on ollut samankaltaista kuin metallintyöstössä on ollut kehitys pikateräksestä kovametalliin siirryttäessä työstöterissä.

Jos on käyttänyt sähköllä toimivia puunkatkaisulaiteita, tietää sen että moni asia vaikuttaa katkaisutapahtumaan ja sen laatuun. Nämä asiat ovat helposti havaittavia laitteen käytössä kuten sahanteriä, sahanmoottorin teho sekä käytössä olevan terän terävyys. Tavallisella sähköjiirisahalla kun katkaistaan vaikkapa lautoja tulee silloin jiirisahan moottorin teho keskeiseksi tekijäksi terän laadun kanssa, jotta lauta katkeaa siistillä sahausjäljellä. Samalla havaitaan helposti se että paksumpaa lankkua saa jo hitaammin katkaista jottei sahausjälki ala muuttua karkeaksi lankun poikkipinnassa. Samat periaatteet puunkatkaisussa toimivat aivan samalla tavalla myös isommissa mittasuhteissa sahatessa puuta. Puuta leikatessa terän tulee saavuttaa tarpeeksi leikkausnopeutta jotta puun lastuaminen onnistuu ja terän hammasprofiiliin tulee soveltua sahaustavalle jolla puuta sahataan. Terien erottelu tapahtuu halkaisijan lisäksi niiden hampaiden rintakulmien mukaan.

2.2 Sirkkelin-terän ominaisuuksien pohjatietoa

Koska tämä opinnäytetyö käsittelee puun katkaisua poikittaissuunnassa, mainitaan se että puun halkaisusahausta rajataan ulkopuolelle, koska tällä laitteella sitä ei ole tarkoitus tehdä. On kuitenkin olemassa myös molempiin käyttöön tarkoitettuja yleiskäyttöisiä sirkkelinteriä jotka ovat tarkoitettu rakennussirkkeliin. Raakapuun ammattimaiseen halkaisuun tarkoitettujen isot sirkkelinteriä ovat kalliita ja niissä on hyvin pitkälle huomioitu terän jatkuvaan käyttöön riittävä kestävyys, tehokkuus, taloudellisuus sekä tehontarve. Sirkkelin-terän yksi ongelma on että sen kehänopeus pitää olla riittävä mutta sitä ei saa olla myöskään liikaa vaikka kuormitus vaihtelee. Näin ollen terää pyörittävä moottorin tulee kyetä tarvittavaan vakioitehoon, jolla sahaustapahtumassa ei tapahdu teränopeuden hyytymistä puun katkaisun aikana. Sirkkelin-terän jatkuva uhka on kieroutuminen siihen vaikuttavien voimien myötä terän hampaiden tylsymisen ohella.

Tavalliset sirkkelinterät ovat nykyaikaisilla metallien seosaineilla seostettuja hienoteräksiä joita on rauta- ja halpatavarakaupoissa myytävissä puusirkkeleissä. Näitä teriä joissa ei ole kovametallipaloilla vahvistettuja hampaita voi sanoa tavallisiksi teriksi. Sellainen sirkkelinterä on yleinen ja halpa kaikenlaisen puun sahaamiseen. Tavallisen sirkkelinterän voi myös teroittaa useasti jopa itsekin ja niiden laatu on hyvä jo halvassa hintaluokassakin. Terä kaipaa vain vähän huoltoa ja on suhteellisen pitkäikäinen. Terä tylsyy käytössä vähitellen ja sen huomaa huonompana repivänä sahausjälkenä kun terä alkaa kaivata teroitusta viimein. Kun sirkkelinterä tylsyy tarpeeksi niin silloin kasvaa myös pääleikkuuvoima josta seuraa katkaistavan puun poikkipinta-alan pinnanlaadun huononeminen sekä lastujen rikkonaisuus sitä enemmän mitä tylymmäksi terä ajetaan. Huonosti lastuava terä on epätaudellinen. Visuaalinen tarkkailu sahausjäljessä paljastaa nopeasti sirkkelinterän kunnon.



KUVA 2. Black & Decker-merkinen perinteinen pyörösahanterä. (Korhonen 2014)

Nykyään ovat yleistyneet kaikissa hintaluokissa niin sanotut kovapalaterät. Ne ovat jo tarpeeksi edullisia myös edullisissa klapisirkkeleissä joissa terän halkaisija on 400- 700 millimetriä. Kovapalaterän parhaita etuja on erinomainen kestävyys ja mahdollinen suurempi leikkausnopeus. Tehokkaammin puuta lastuavan hammastuksen myötä kovapalaterillä on suurempi katkaisunopeus. Kun sirkkelinterä lastuaa tehokkaammin puuta, voi myös puuta syöttää nopeammin jolloin käytetyssä ajassa valmistuu enemmän polttopuuta. Kovapalaterät kestävät myös tavallisia teriä paremmin puunrungoissa olevia epäpuhtauksia, kuten hiekkaa, jäätä ja muuta maa-ainesta voi olla maahan pinotuissa puunrungoissa.



KUVA 3. Black & Decker-jiirisirkkelin laadukas kovapalaterä. (Korhonen 2014)

Nykyään on saatavilla työkalukauppojen valikoimista monenlaisia sirkkelinteriä joiden hammastusmalli voi kuluttajia ihmetyttää niiden perinteisten teränmallien lisäksi joka on esimerkkinä kuvassa 2. Terävalmistajat ovat tehneet paljon kehitystyötä löytääkseen hyviä kompromisseja puuntyöstämiseen jotta yksi terämalli riittäisi puun katkaisuun sekä halkaisuun. Tässä opinnäytetyössä tutkittiin yleisimpiä seikkoja sirkkelinterien ominaisuuksista sekä puunsahauksen teoriasta jotta päästään prototyypin konetekniseen toteutukseen käsiksi. Tarvittava terähuolto ulkoistetaan alan ammattilaiselle ostettavaksi palveluksi. Klapisirkkelin terällä saadaan paljon polttopuuta sahattua ennen kuin se kappaa teroitusta.

2.3 Lyhenteet ja määritelmät

Sirkkelinterän rintakulma tarkoittaa sitä että mitä enemmän sirkkelinterän yksittäinen hammas on pyörimissuuntaan nähden kallellaan, sitä enemmän on terässä rintakulmaa joka on jokin asteluku. Sopivan sirkkelinterän valinta riippuu sahattavasta materiaalista, työstötavasta ja konetyypistä. Toisin sanoen käytetäänkö terää puun katkaisussa, halkaisussa vai yleiskäytössä. Katkaisusirkkelin kohdalla terän valinta on helpompaa, kun tiedetään tarvittava terän koko, on sen jälkeen hinta- ja saatavuus kysymys millaisen terän lähityökalukauppa saa myytyä. Katkaisuterissä ei ole niin suurta variaatiota joista valita joku tietty ominaisuus. Suuren rintakulman halkaisuterän laittaminen klapisirkkelisiin voi pahimmillaan jopa aiheuttaa vaaratilanteen että tulee niin sanottu "takapotku" jolloin on mahdollista että epäsuotuisissa olosuhteissa katkaistava puu voi singahtaa terän heittäjänä sahaajan. Asia perustuu siihen missä kulmassa sirkkelinterän hampaat koskettavat katkaistavaa puupinta ja ei-sovelias rintakulma täytyy tietää kun laitteeseen valitaan terä.

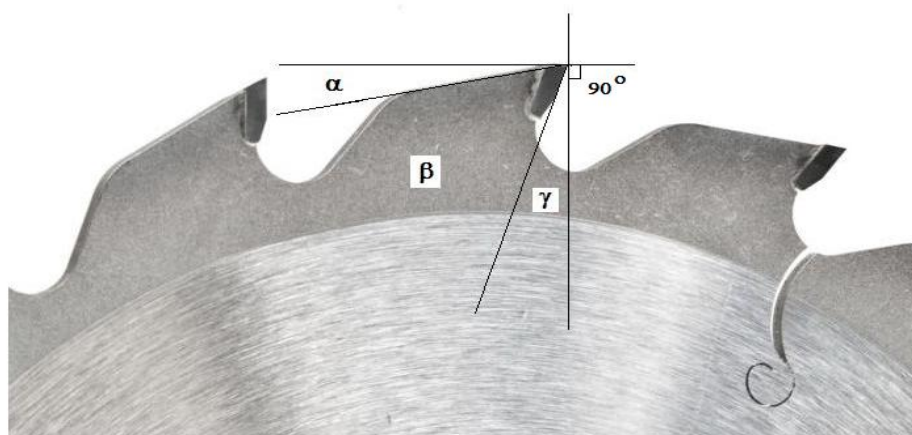
Tavallinen nolla-asteinen puunkatkaisuterä on huono ominaisuuksiltaan raakapuun halkaisuun mutta sen sijaan keskiverto kovapalaterä on vähintään kohtuullisen hyvä sekä katkaisussa että halkaisussa. Klapisirkkeleiden oikeita katkaisuteriä on 600 ja 700 millimetrin halkaisijalla yleisesti myynnissä, joten väärän terän saaminen on riski lähinnä käytetyn terän ostamisessa jos myyjä ei tiedä millaista terää on myymässä.

Sirkkelinterän yleisimmät termit ja niiden tarkoitus:

α = päästökulma

β = leikkuukulma (teroituskulma)

γ = rintakulma



KUVA 4 Sirkkelinterän hampaan geometria (Kainuunterähuolto)

Sirkkelinterillä on kolme erilaista yleisintä hammastustyyppiä jotka ovat määritellyt niiden hammastuksen rintakulman mukaan: hammastusmuoto "A" 30°, "F" 0°, "D" 20°. (Voutilainen, Jussila, Kuikka, Mononen ja Vuorenmaa 1993, 38.). On myös olemassa näistä yleisistä terätyypeistä poikkeavia teriä. Lisäksi sirkkelinterän hampaiden hiontaa voidaan käyttää lisämääränä tarkentamaan hammastuksen ominaisuuksia. Esimerkiksi BA-terä tarkoittaa sirkkelinterää jonka hampaiden päästöpinnot ovat vuoroitellen vasempaan ja oikeaan hiotut. Tällainen teränhammastus on hyvä yleisterässä jota käytetään massiivipuun katkaisuun ja halkaisuun.

A-tyyppin terä on sovelian kuivan puutavaran halkaisuun

F-tyyppin terä on sovelian massapuun katkaisu sahauksessa

D-tyyppin terä on sovelian samoin kuivan puun halkaisu

2.4 Tausta-aineistot

Prototyypissä käytettävän bensiinimoottorin tiedot löytyvät valmistajan internet-sivulta moottorin tyyppinumero haulla engine data-valikosta. Tämän moottorin valintaan prototyyppiin käytettäväksi vaikutti eniten se että moottorin mallin tiedot ovat julkisesti saatavilla jotta tarvittavia teknisiä laskelmia on mahdollista tehdä luotettavasti. Vähemmän tunnetuilla aasialaisilla pienmoottorinvalmista-

jilla näitä tietoja ei välttämättä ole tarjolla halvoista moottori malleista ja omaa aikaa halvan tuntemattoman pienmoottorin tehomittaukseen ei haluttu käyttää.

3 POLTTOPUUSIRKKELIN SUUNNITTELUN LÄHTÖKOHDAT

Ensimmäinen tärkeä lähtökohta prototyyppi polttopuusirkkelille projektia aloittaessa oli se, että sirkkeliä voi käyttää siellä missä ei ole verkkovirtaa saatavilla kuten sähköttömällä kesämökeillä ja kaukana metsässä joten bensiinipolttomoottori oli selkeä valinta prototyypin voimanlähteeksi. Lisävaatimuksena laite haluttiin suunnitella henkilöauton peräkärillä kuljetettavaksi. Siten prototyypin painon haluttiin jäävän kohtuulliseksi ja sen liikuteltavuutta lisää suhteellisen isot 10-tuumaiset pyörät. Jos on tarve liikuttaa laitetta pehmeällä maaperällä niin isot pyörät helpottavat siirtämistä.

Prototyypin suunnitellulla rakenteella saavutettiin se että se on helposti yksin liikuteltava. Laitteen tasapainossa pysyminen varmistetaan mekaanisella tukijalla. Laitteessa on kaksi pyörää samalla akselilla. Rakenteessa on huomioitu renkaiden akselin paikka keskelle jolloin laite on tasapainossa ja siten on kevyt siirtää. Sirkkelin liikuteltavuus korostuu hieman miksi se on tärkeää että laitetta on helppo työntää muuallakin kuin autotallin lattialla, mutta kuoppaisella metsäautotiellä voi testata hyvän ja huonon liikuteltavuuden erot.

Prototyypin toteutuksessa katkaistava puu syötetään vaakatasossa tapahtuvalla liikkeellä. Tässä toteutuksessa sirkkelinterällä puun katkaisu asettaa suurimman haasteen siinä että teräkselin sijainti laitteen rungossa syöttöön nähden pitää olla lähellä, jotta suurimman osan sirkkelinterän katkaisusäteestä tulee hyötykäyttöön. Prototyypissä kehitetyn liukupöydän ja teräkselin sijoittaminen laitteen runkoon vaati muutamien eri vaihtoehtojen tutkimista käytännössä koska lineaarisen syöttöliikkeen vuoksi asiassa oli monta eri muuttujaa jotka tuli saada sopimaan yhteen jotta 600 mm terällä voidaan katkaista mahdollisimman suurella hyötysäteellä puuta sillä liukukiskot vaativat tilaa jota teräkseli vie pois. Näiden asioiden yhteensovittaminen oli haastavinta.

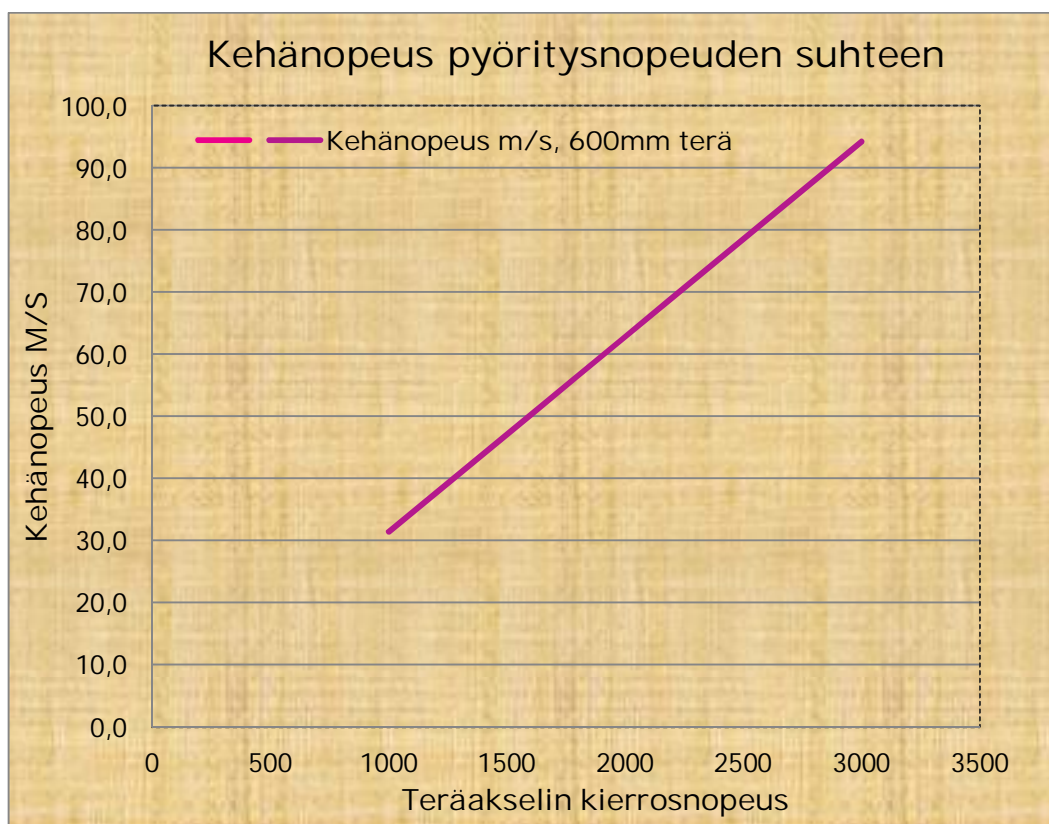
Puuta katkaisevan laitteen suunnittelu koostuu tämän paketin toimivuuden yhteen sovittamisesta. Laitteen työturvallisuus on huomioitu siten, että laitteen puunsyöttöpöytää liikuttamalla molemmin käsin sen sivussa olevasta työntökahvasta, jolloin pyörivään terään ei ole mahdollista käsin koskea. Teräsuojus vaatisi nykyisten työturvastandardien mukaan vielä erillisen peltisen lisäsuojan joka on jousikuormitteinen siten että se lisäosa menee haitarimaisesti isomman teräsuojan sisään kun katkaistava puu lähestyy sirkkelin terää.

Käytettävä sirkkelinterä myös määrittää useita teknisiä seikkoja jotka on huomioitava suunnittelussa jo alkuvaiheessa. Sirkkelinterälle on sen valmistaja määrittänyt suurimman sallitun kierrosnopeuden jonka ylitys on yksi suurin sahauksen vaaratekijä. Terällä on optimi käyttönopeus alue jossa sen toiminta on taloudellista ja tehokkainta. Käytössä olevalle 600 mm sirkkelinterälle laskin Excelillä muutamia keskeisiä kierrosnopeuksia kaavalla $v = \pi dn$. Käytössä oleva terä on hammasmuodoltaan "F", 0-asteinen tavallinen pyöröterä. Sen hammastus siis muistuttaa eniten tasasivuista kolmiota sivusta katsottuna.

$v = \pi * \text{terän halkaisija (d)} * \text{terän kierrosnopeus (n)} \text{ m/s} \Rightarrow$

$$\pi * 0.60\text{m} * (X_{\text{rmp}}/60) = xx \text{ m/s.}$$

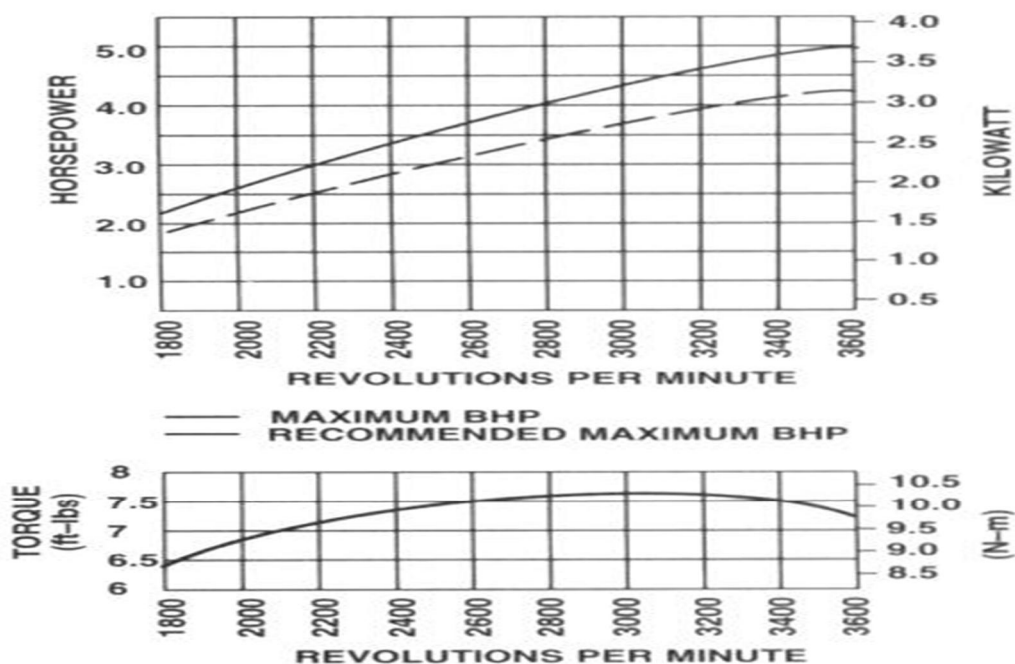
Kaavan avulla laskin Excelillä arvot eri kehänopeuksille ja niistä arvoista tein kuvaajan jossa muuttujina ovat akselinopeus ja kehänopeus. "X" tarkoittaa tässä laskemisessa teräkselin kierrosnopeutta 1/minuutissa, ei polttomoottorin käyntinopeutta. Tätä tietoa soveltamalla voidaan siirtyä voimansiirron välityssuhteen mitoittamiseen. Kuvaajasta 1 on nähtävissä se että teräkselin pyörimisnopeuden lisääminen on suoraan verrannollinen suhteessa terän kehänopeuteen:



KUVAAJA 1 Terän kehänopeuden suhde käytettävään pyöritysnopeuteen. (Korhonen 2014)

Tätä tietoa tarvittiin ensimmäiseksi kun alettiin mitoittamaan hihnavedon komponentteja millä moottori on sen sopivimmalla kierros- sekä vääntömomentti alueella jotta sirkkelinterässä on tarpeeksi kehänopeutta. Moottoriksi valittiin Briggs & Strattonin viisihevosvoimainen vaaka-akselinen bensiinimoottori joka on yleinen sekä luotettava malli kaikenlaisissa puutarhapienkoneissa. Moottorin tyyppinumero on 135232. Vastaavan mallisia vaaka-akselisia moottoreita on tarjolla nykyään useilla eri valmistajilla jotka käyvät suoraan prototyypissä olevan hiukan vanhemman käytetyn moottorin korvikkeeksi suoraan. Näin ollen tätä hiukan vanhempaa 135232 mallia ei tarvitse etsiä vaan voi valita uudemman moottorin mitä on yleisemmin tarjolla nykyään.

Briggs & Stratton on eräs suuri ja tunnettu amerikkalainen pienmoottorivalmistaja, joten nämä moottorin tiedot saatiin heidän tekemästä tehomittauksesta:



KUVIO 1 Moottorin 135232 Teho- ja vääntömomentti käyrät (Briggs & Stratton valmistajan www-sivu.)

Käytetyn bensiinipolttomoottorin vääntö- ja kierrosnopeus eivät ole lineaarisia suureita koko tarvittavan moottorin pyörimisnopeuden alueella kuten on sähkömoottorilla. Tiedoista pääteltiin se että voimansiirron hihnavälitys on tarpeen mitoitettava sellaiseksi että polttomoottorista saadaan sopiva vääntömomentti riittävän suurella teräkselin kehänopeudella, jotta sirkkelinterän kehänopeus ei laske liikaa kun puunkatkaisu etenee. Liian alhaisesta kehänopeudesta seuraa myös monia ei-toivottuja seikkoja jotka huonontavat oleellisesti puunkatkaisuprosessia. Aiheesta tehtiin taustatutkimusta, josta puutekniikan kirjallisuus antaa varsin laajalla skaalalla kehänopeudelle arvoja jopa puulaji kohtaisesti ja asiaan vaikuttaa myös puun lämpötila sekä kosteusprosentti. Koska prototyypillä sahataan tuoretta vasta kaadettua puuta, etsittiin sille materiaalille sopivin kehänopeus suositus. Pehmeälle puulle tavallisella pikaterästerällä sahatessa sopivia terän kehänopeuksia 50- 80 m/s.

Moottorin mittaustiedoista voidaan havaita, että 135232- moottori saavuttaa suurimman vääntömomenttinsa noin 10 Newton-metriä 3 000 kierrosta minuutissa, jonka jälkeen vääntö ei lisääny vaan alkaa laskea. Tästä voidaan arvioida se, että moottorin työkierrokset ovat käytössä varsin korkealla ja huippuvääntö kapealla kierrosalueella. Voimansiirrosta piti suunnitella teräkselin pyörimisnopeutta alentava suhteessa moottorin käyntinopeuteen. Tutustuessa eräisiin kaupallisiin polttomoottori sirkkeleihin sieltä löytyi kyllä malleja joissa on suurempi 700 mm halkaisijan terä ja melko korkeat käyttökierrokset polttomoottorissa.

Prototyypin ensimmäinen koekäyttö tehtiin seuraavilla hihnapyörillä: ensiöihnapyörä on halkaisijaltaan 75 mm ja toisioihnapyörä on 135 mm. Niiden laskennallinen kokonaisvälitys on siten laskettavissa kaavalla: $D1/D2 \Rightarrow 75 \text{ mm}/135 \text{ mm} = 0,55$. Tällä kokonaisvälityksellä laskettiin, että teräksellä silloin saavuttaa pyörimisnopeuden 1650 kierrosta minuutissa kun moottorissa on 3 000 kierrosta minuutissa kierrosnopeus, jolla sirkelinterä saavuttaa laskennallisen kehänopeuden 47 metriä sekunnissa laskettuna Excelillä (KUVAAJA 1).

4 PROTOTYYPIN RAKENTAMINEN

Ensimmäinen versio prototyypistä valmistettiin itse kustannus syistä. Projektissa ei ollut ulkoista rahoitusta, joten sekin puolsi tätä seikkaa. Prototyypin rakentamisesta ja sen metallityöstä käydään tässä pintapuolisesti yleiset kohdat läpi, koska prototyyppi tehtiin olosuhteissa jotka ovat kuitenkin kaukana varsinaisesta konepajasta mutta kuitenkin riittävillä valmistusresursseilla jotta prototyyppi onnistuneesti voitiin rakentaa. Prototyypin mekaaninen valmistus vei selvästi suunniteltua enemmän aikaa vaikka jälkikäteen on helpompi sanoa että jonkun asian tekee nyt varmasti erilailla nopeammin kuin itse tieto on hankittu laitteen rakentamisen kautta. Prototyypin erilaisten rakennustarvikkeiden ja komponenttien etsintään kului aikaa, vaikka laite sinänsä muodostui yksinkertaisista komponenteista.

Työ aloitettiin hahmottelemalla prototyypin runko 3D- suunnittelulla jonka avulla mitoitettiin prototyypin koneenosien sijainnit rungossa. Kun tiedettiin moottorin fyysinen koko valmistajan spekseistä, teräkselin mitat ja kiinnitys sekä terän koko, päästiin Solid Worksiilla tutkimaan miten osat sijoittuvat neliöputkesta tehtävään laitteen runkoon.

Työ eteni päärunгон rakentamisella kalusteputkesta, jotka liitettiin toisiinsa hitsaamalla. Hitsauksessa käytettiin silloituksissa mag-hitsausta umpilangalla sekä puikkohitsausta lopullisiin rungon hitsausliitoksiin. Perusrungon rakennustyö on yksinkertaista neliprofiiliputkista. Metrimitalla ja magneetti suorakulmalla päästiin riittävän hyvään valmistustarkkuuteen. Perusrungon tulee olla tarpeeksi tarkasti mitoissaan koska laitteen muiden osien sijoittuminen pohjautuu siihen. Valmistus toleransseja ei silti ole käytössä suunnittelussa, mutta osaava metallimies kyllä pääsee metrimitan millimetrin mittaustarkkuuteen työn jäljessä.

Teräsputkesta rakennetaan hitsaamalla tasalujin hitsausliitoksin perusrunko johon erillinen liukupöytä-kokoonpano pultataan kiinni. Peltiosat rakennetaan 1 mm ohutlevystä ja koottiin pistehitsein jotka tehtiin mag-hitsaten. Työtapa oli kädentaitoja vaativa mutta ohutlevystä valmistetun pyöreän kotelon rakennus ilman särmäystä vaati tämän työtavan.

4.1 Moottori, teräkseli, voimansiirto komponenteista tietoa

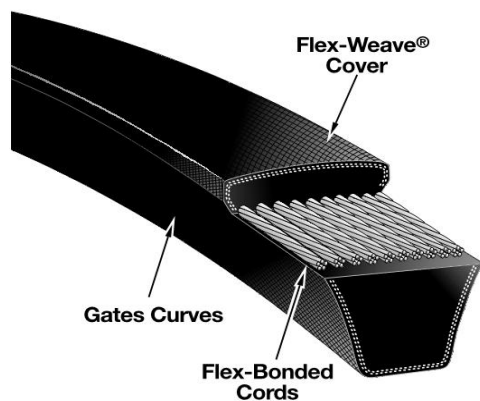
Prototyypin valmiit komponentit ovat polttomoottori, hihnavedon osat, teräkseli sekä 600 mm sirkelinterä ja ne ovat kaikki yleisiä komponentteja joita löytyy markkinoilta monesta eri kaupasta.

Moottoriksi valittiin aiemmin jo esitelty Briggs & Stratton- moottori. Voimansiirto muodostuu ensiö- ja toisiohinaryöristä joilla moottorin teho siirretään teräkselin kautta pyörimisliikkeeksi. Kytintä ja vaihteistoa ei ole, vaan laite on mekaanisesti suoravetoinen kiinteällä hihnavedolla. Hihnaveto oli helppoa valita prototyyppiin jo siksi koska teräkseli myydään kiilahihnapyörillä varustettuna. Hihnaveto on hyvin huoltovapaa ja soveltuu oikein hyvin tällaiseen koneeseen.

Varsinaista voimansiirron katkaisevaa keskipakokytkintä ei siis ole, vaan terä pyörii koko ajan kun moottori on käynnissä. Tämä seikka tekee sen että moottori on ruohonleikkurin tapaan raskas käynnistää käynnistinnarusta vetämällä. kytkimien valikoimaan tutustustuttin ja sopivia keskipakokytkimiä on saatavilla, jopa edullisesti, mutta sen käyttö olisi vaatinut sorvattujen osien teettämistä joten kytkimestä luovuttiin koska sen tarpeellisuus olisi puunsahaus käytössä varsin pieni. Kunhan moottori on säädöissä ja huollettu niin moottori käynnistyy helposti jonka ei näe olevan käytön kannalta liian raskasta. On myös sähköstartillisia pienmoottoreita kalliimmassa hintaluokassa.

Hihnojen kireys tarkistettiin ja todettiin sopivaksi mittaamalla hihnan taipuma vesivaakaa vasten hihnojen koko välimatkalta ennen ensimmäistä koekäyttöä. Hihnojen kireydelle on kirjallisuudessa laskentakaavoja, mutta havaittiin että sentin hihnojen joustolla moottori sammuu ennemmin kuin hihnat luistavat. Prototyypissä on voimansiirto toteutettu kahdella v- kiilahihnalla jotka oli helppo valinta prototyyppiin koska tämä on yleinen malli myös hihnapyörissä jotka käyvät näihin pienmoottoreihin.

kiilahihnan malli:



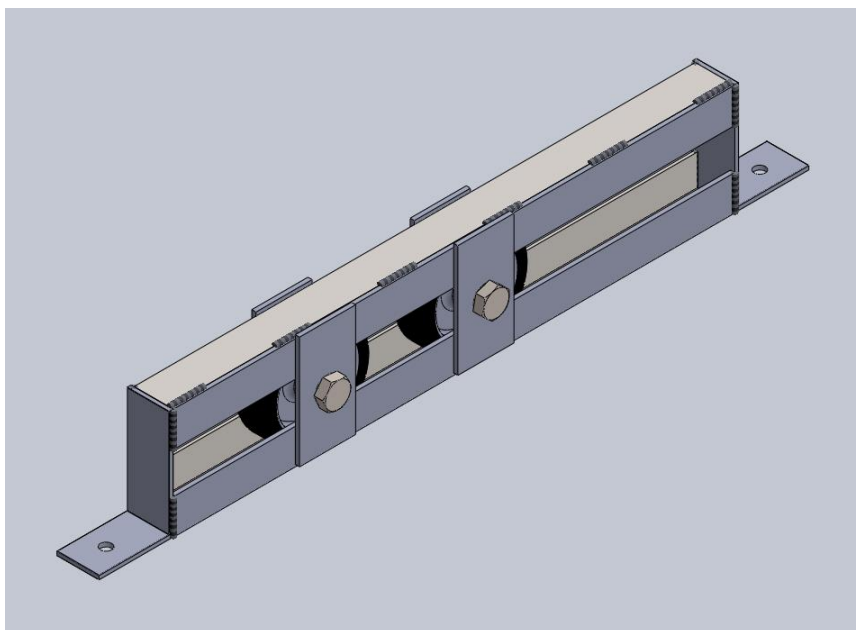
KUVA 5 Kiilahihna (Gates www-sivu)

4.2 Liukupöydän kehitystyö

Se miten tämä suunniteltu prototyyppi polttopuusirkkeli eroaa eniten kaupallisista kilpailijoistaan on kehitetty vaakatasossa tapahtuva puunsyöttöliike. Siitä voidaan myös tehdä helposti suurempi kokoinen samalla toimintaperiaatteella laitteen dimensioita suurentamalla. Syöttöpöydän liikuttaminen hydraulissylinlerin voimalla olisi helppoa mikäli laitteen moottorikoko on tarpeeksi suuri erillisen hydraulikkapumpun tarpeisiin. Näin tällä ideallani voisi rakentaa isomman ja tehokkaamman polttopuiden sahauslaitteen kuin mitä nämä traktorin lisälaitteet ovat. Markkinoilla on erilaisia valmiita rat-

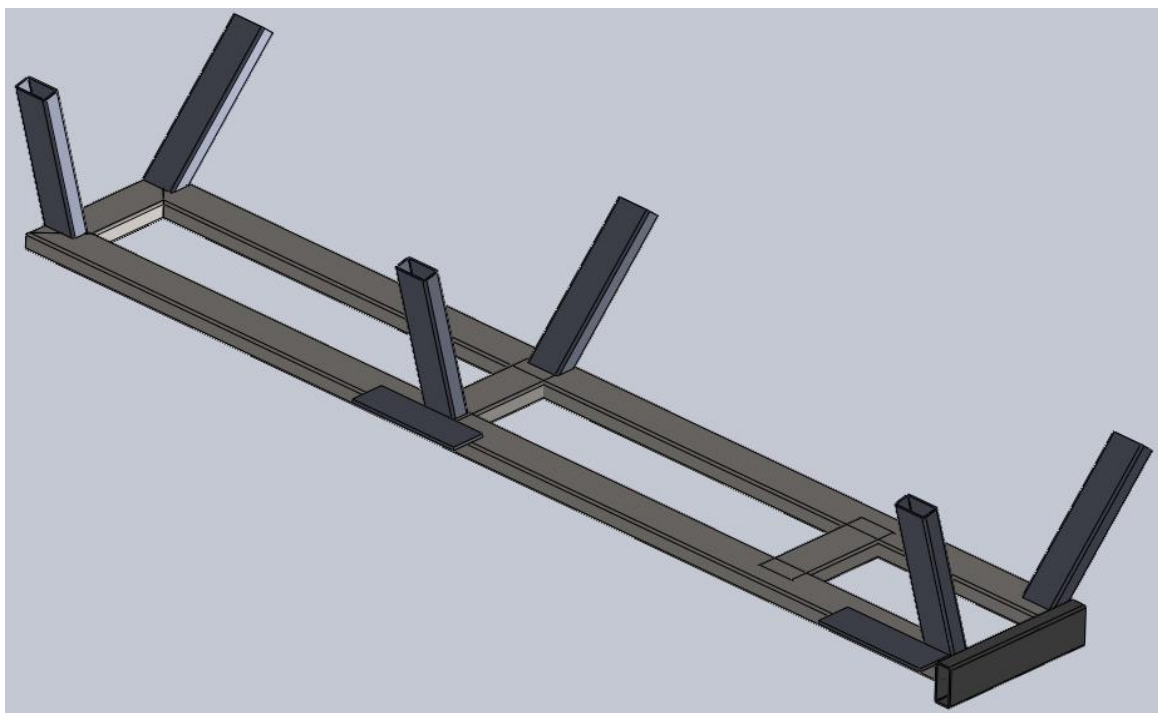
kaisuja kuten erilaisia pyöreitä metallitankoja pitkin liikkuvia lineaarijohteita joiden käyttö sinänsä helpottaisi rakennus työtä paljonkin mutta niiden hinta oli liian suuri tällaiseen käyttökohteeseen. Myöskään jatkuvaa rasvausta tarvitsevat liukukomponentit eivät tulleet kyseeseen. Tätä ratkaisua aluksi mallinsin Solid Worksilla muutamia eri variaatiota läpi ja tässä osassa suurin haaste oli löytää mitoiltaan sopiva kiskomateriaali joka sopisi mitoiltaan johonkin kaupalliseen rullaan. Erilaisia rullia ja pyöriä on markkinoilla on todella paljon erilaisia myynnissä. Nämä käytössä olevat rullat valittiin helpon saatavuuden ja hinnan perusteella eräästä autotarvikeliikkeestä.

Kun rullat oli valittu tultiin siihen lopputulokseen että sopivan liukukiskon itse rakentaminen niille onnistuu yksinkertaisesti tekemällä kiskot L-kulmaraudasta johon hitsataan 3 mm vahvuinen 30 mm leveä lattarauta sopivasti toiseen reunaan. Sopivaan u-kulmarautaa ei teräskauppiaiden valikoimista löytynyt joten tee itse-ratkaisu piti kehittää. Kolmas vaihtoehto on koneellisesti muokata teräslevystä noilla mitoilla oleva kisko. Tästä liukukisko kokoonpanosta muodostuu kokonaisuus jossa pyörät liikkuvat kannatten liukupöydän. Kahdet kiskot joissa on kaksi rullaa per kisko riittää kannattelemaan käsin kannettavat puut hyvin koska yhden rullan maksimi kuormankesto on parisataa kiloa. Kehitetyn liukukiskon yksikköhinta on tällä toteutuksellani hyvin halpa, joten voisi liukupöytä pidentää sekä siten lisätä kuormankestokykyä helposti lisäkiskolla tai useammallakin, joten syöttöpöydän laajennus pituus- ja leveysuunnassa on helppoa ja edullista toteuttaa mikäli laitteesta tekisi suuremman. Tässä on valmis ja toimiva versio yhdestä liukukiskosta mallinnettuna Solid Worksilla:



KUVA 6 Valmis liukukisko-mekanismi mallinnettuna Solid Worksilla (Korhonen 2014.)

Tämän liukukiskon päälle tulee syöttöpyörä-kokoonpano johon hitsataan kiinni myös KUVA8: ssa näkyvät lattaraudat joiden keskellä on M12-pultit. Sivulattaraudat toimivat myös ohjureina rullille jolloin kuormitus kevenee rullan reunoilla. Yläpöytä yhdistetään osakierteisin M12-pultein rulliin josta muodostuu puunsyöttö mekanismi joka toteuttaa lineaariliikkeen.

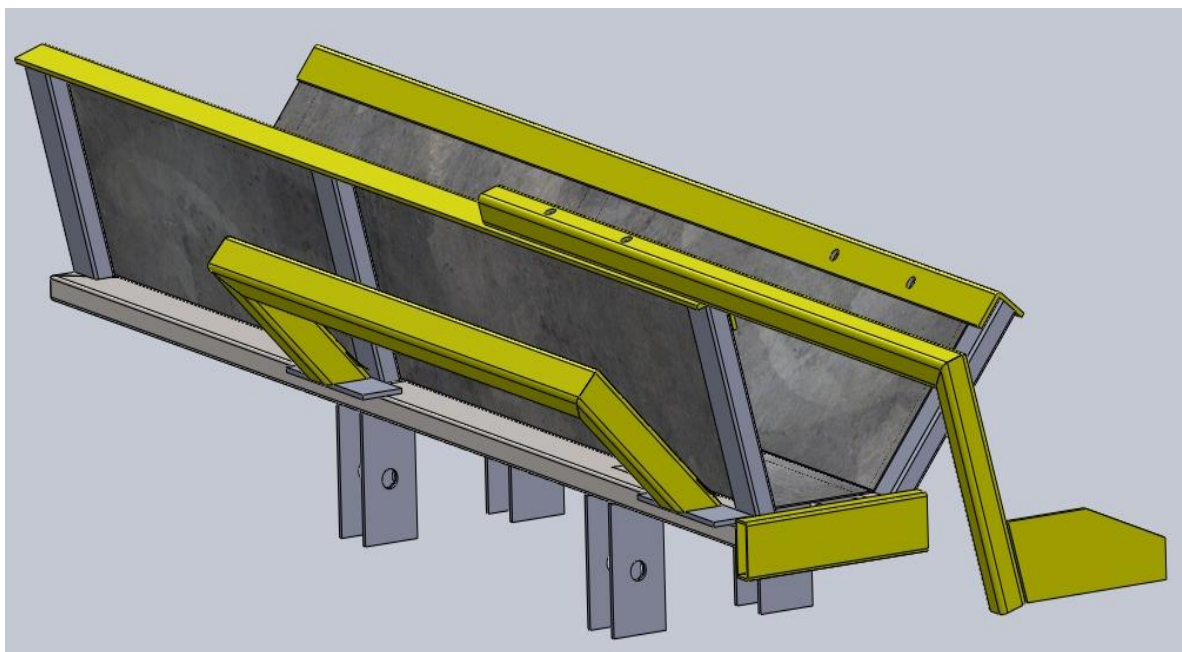


KUVA 7 liukupöydän runko mallinnettuna Solid Worksilla (Korhonen 2014.)

Renkaissa on tehdastekoiset laakerit valmiina. Täytyy muistaa että laitteella on päätarkoitus katkoa sellaista puuta, jota käsitellään ihmisvoimin. Käytössä olevan pyörän kantavuus on satoja kiloja, joten molempien kiskojen kantavuus ei tule ylittymään sellaisen puun painosta, jota prototyypillä voi sahata. Syöttökouru on mitoitettu niin, että siihen mahtuu maksimissaan sellainen puu jonka terällä pystyy kerralla katkaisemaan. 18 senttimetrin paksuista luonnonpuuta on katkaistu prototyypillä onnistuneesti ja suunnittelua tältä osin pidän hyvin onnistuneena.

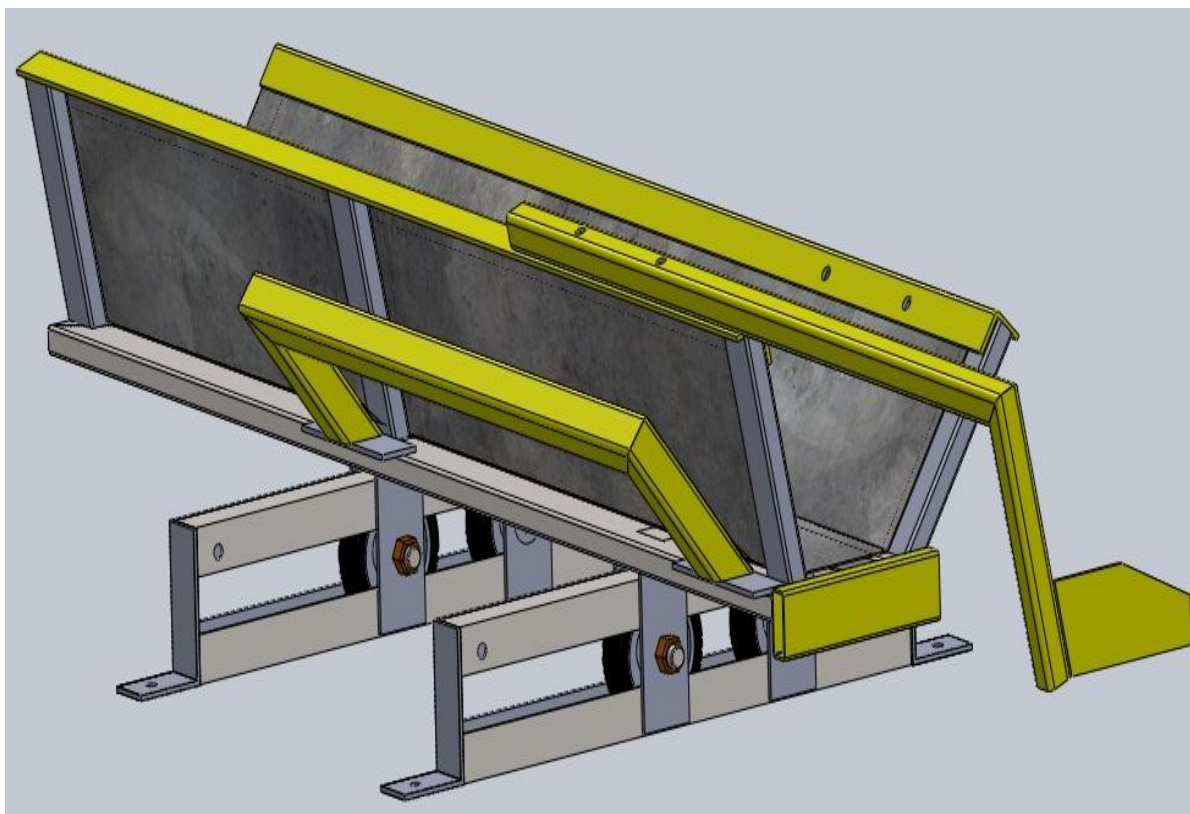
Liukukiskojen päälle asennetaan liukupöytä-kokoonpano. Sen runko rakennettiin tarkoituksella ohuesta suunnikkaan muotoisesta putkipalkista. Se on yksinkertainen putkista valmistettu kehikko joka hitsataan tasalujasti yhteen. Tämän pohjan päälle tulee seuraavaksi kourun pohjapelti sekä sivulaitojen pystyputket. Sivulaidat muodostuu pystyyn hitsatuista putkista, joihin laitapellit kiinnitetään pätkähitsein. Tällä haettiin rakenteen lisäjäykkyyttä vaikka sinänsä nämä pellit voisi kiinnittää vaikkapa pop-niiteilläkin. Yläreunaan hitsattiin L-profiililinen teräslista, jottei terävän ohutlevyn reuna ole vaaraksi käyttäjälle. Liukupöydän terän puoleiseen reunaan ulkoreunaan kiinnitetään sahausvaste. Säädettyvä vaste rajoittaa sahattavan puun mekaanisesti 33 cm pituisiksi terän reunaan nähden ja muunlaisille polttopuun mitoille on mahdollisuus se säätää. Sahausvaste on oikein toimiva apuväline jonka avulla voidaan polttopuut katkaista määrämittäisiksi helposti.

Kourun tarkoitus on ohjata sekä pitää paikallaan katkaistava puu. Kourun laitojen muoto perustuu siihen, että katkaistava puu ei pyri nousemaan jyrkempi kulmaisen käyttäjän suunnalta katsottuna etummaisesta laidan yli. Kouru on silti avara jotta etenkin ohutta puumateriaalia on helppo käsitellä sahatessa.



KUVA 8 Liukupöydän kokoonpano (Korhonen 2014.)

Kiskojen idea on kannattaa x- ja y-suuntaiset kuormat, jotka tulevat puun painosta sekä mahdollistaa syöttöpöydän vaakatasossa liikkuminen. Liukukiskoja on prototypissä käytössä kaksi kappaletta ja ne kiinnitetään perusrunkoon pulttiliitoksien ja syöttöpöytä kiinnitetään sen kiinnityskorvakkeista M12-pulteilla liukukiskojen rulliin:

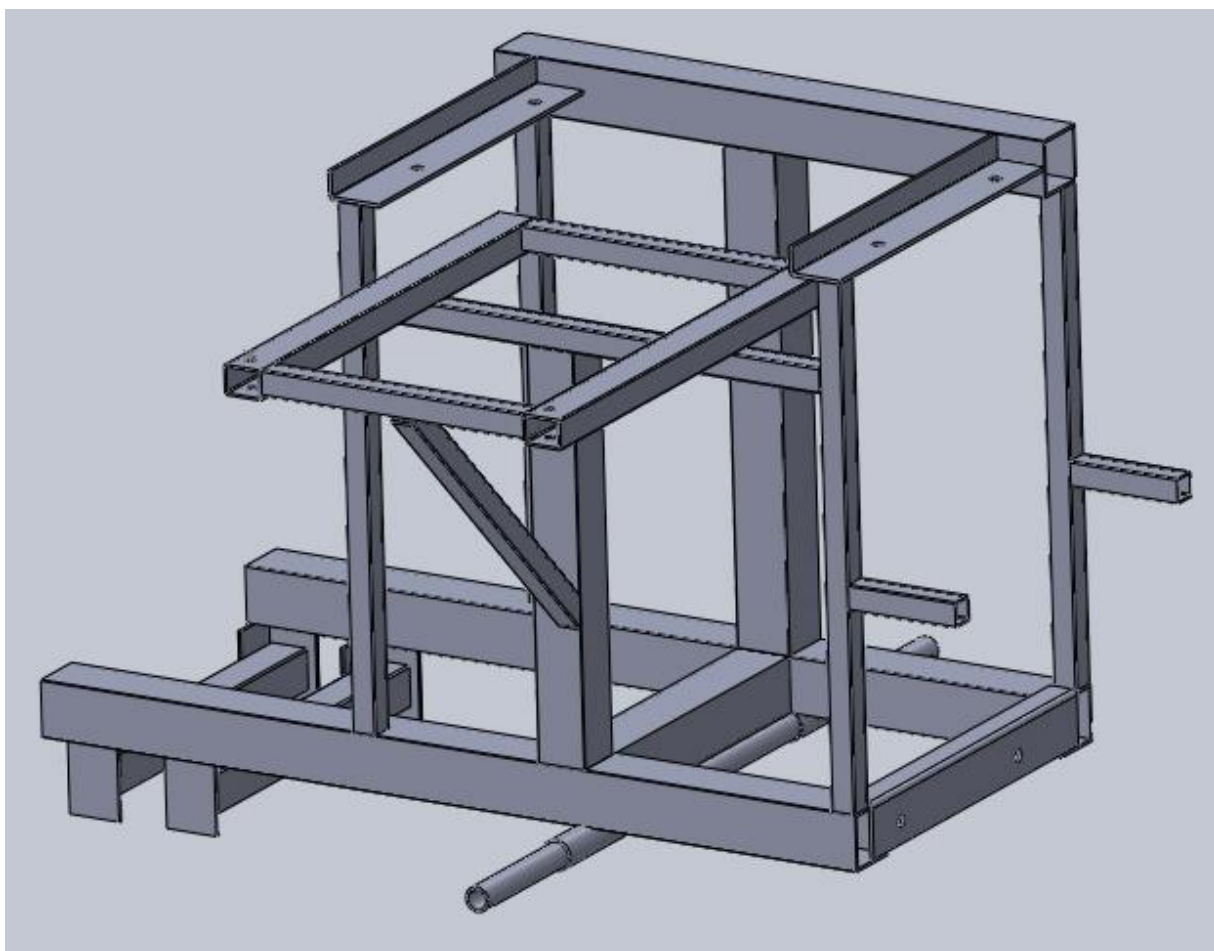


KUVA 9 Liukupöydän kokoonpano yhdistettynä liukukiskoihin (Korhonen 2014.)

Tämä suunnittelemani puunsyöttömekanismi on avaintekijä miksi prototyyppi on muista puusirkkeleistä selvästi erilainen malli. Kahdesta liukukiskosko-kokoonpanosta ja liukupöytä-kokoonpanosta muodostuva kokonaisuus kiinnitetään prototyypin päärunkoon neljällä M10-pulttiliitoksella.

4.3 Prototyypin runko

Prototyypin päärunko on rakennettu hitsaamalla liittäen 50x50 millimetristä kalusteputkea ja apurunkoon käytettiin 30x30x3 mm putkipalkkia. Päärunkoon hitsattiin takaosaan erilliset L-kulmaraudasta tehdyt moottorin kiinnikkeet, teräkselin kiinnityspalkit sekä tukijalan kokoonpano. Runko-osiin kuuluu erikseen valmistettava työntöaisa-kokoonpano joka valmistettiin 30 mm pyöreästä teräsputkesta.



KUVA 10 Prototyypin putkipalkeista hitsattu runkokokoonpano (Korhonen 2014.)

Kuvasta selviää että teräkseli on hyvin lähellä liukupöydän kiskoja. Moottorin kiinnitys tapahtuu moottorin alapinnan korvakkeista pulttaamalla moottori alustaan. Neljä kappaletta M8 x 60 pultteja tarvitaan muttereineen kiinnitykseen. Tämä polttomoottori kiinnitetään neljällä M8- pultilla rungossa olevaan hitsattuun alustaan. Moottorin kiinnityspulttien alle laitettiin 5 mm kumilevystä valmistetut aluslevyt varsinaisten metallisten shimmi-prikkojen alle moottorin aiheuttaman värinän vaimentamiseksi.

Yksisylinterisen polttomoottorin ominaisresonanssit ovat tunnetusti matalataajuisista tärinää minkä takia siitä aiheutuvan värinän vaimennuksessa käytettävää pehmeää materiaalia, kuten kumia tässä-

ratkaisussa ei käytetty kokonaan välilevyissä moottorin korkeudensäätöön. Voimansiirron hihnojen kireydet voidaan säätää moottorin kiinnityspulttien alle tulevien metallisten korialuslevyjen määrää lisäämällä tai vähentämällä. Tämä yksinkertainen tapa todettiin hyväksi ratkaisuksi. Teräsaluslevyjä on kolme kappaletta moottorin kiinnityspulttia kohden jotka tulevat viiden millimetrin kumimatosta tehtyjen palojen päälle.

4.4 Levyosat, katkaisuterän suojus, hihnavedon suoja

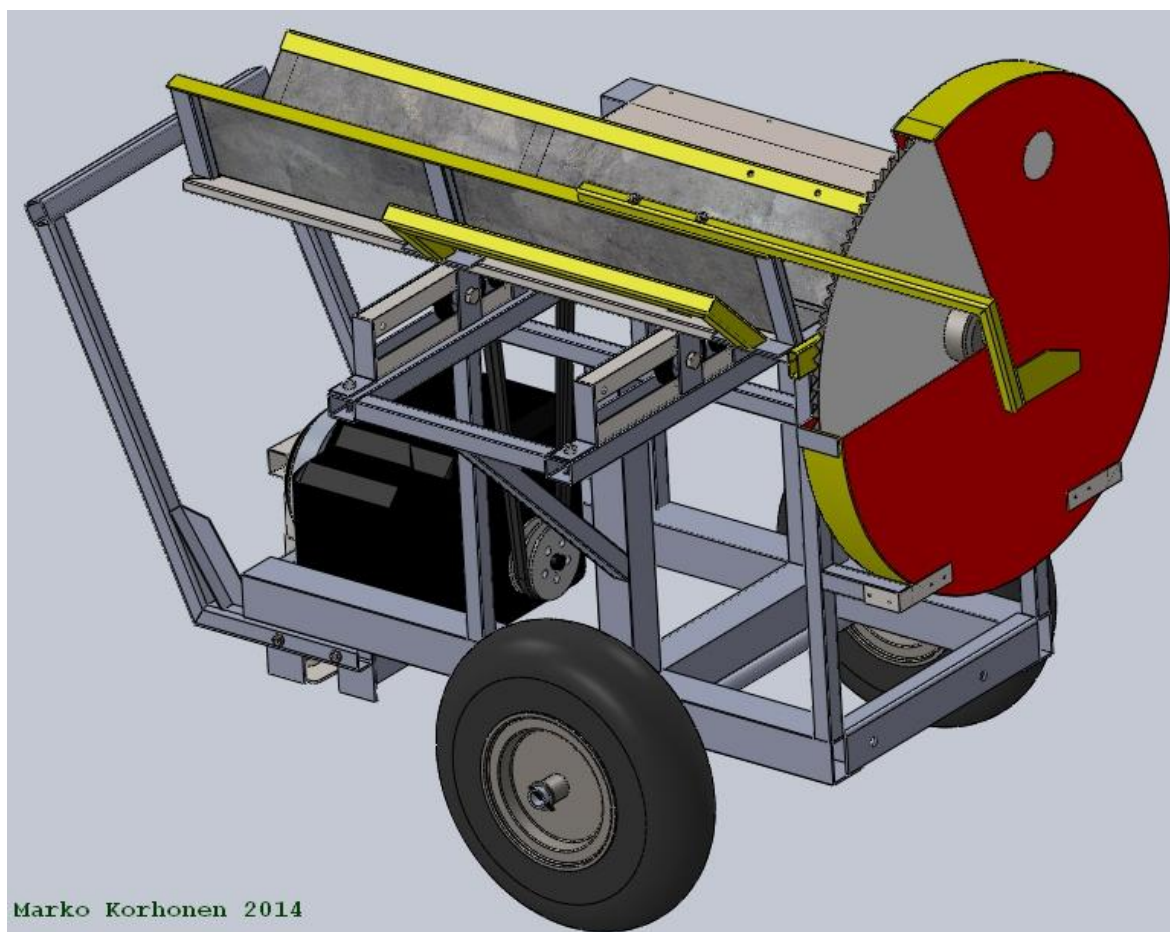
Teräsuoja on ohutlevystä tehty ja sen voi avata terän irroitusta varten. Prototyypin pyöreä teräsuoja valmistettiin ohutlevystä josta sen kaarevat muodot oli mahdollista valmistaa itse. Pyöreän teräsuojan valmistus pellistä taivuttamalla ei ollut mahdollista vaan reuna tehtiin hitsaamalla erillinen taivutettu pellinsiivu pyöreän pohjalevyn reunaan. Pyöreä pohjapelti leikattiin ohutlevyarkista kuviosahalla metalliterällä. Prototyypin yläpintaan kiinnitettiin pop-niiteillä ruostumattomasta teräksestä tehty suojalevy jonka alle teräkseli jää piiloon. Prototyypin hinasuoja valmistetaan muodoltaan neliskanttiseksi helpomman valmistettavuuden vuoksi. Hinasuojakin tulee rakentaa kaksiosaiseksi jotta sen voi avata huoltoa varten.

4.5 Mekaaninen kokoonpanotyö

Prototyypin perusrunkoon ja sen osiin on tehty tarvittavat pulttiliitosten reiät poraamalla. Laitteen mekaanisten osien asennus kokoonpano on nopein vaihe laitteen rakentamisessa. Työssä tarvitaan perustyökaluja joilla pulttiliitokset kiristetään. Teräsuoja on järjestyksessä purkautuva siten että pohjaosa kiinnitetään paikalleen ennen terää jonka jälkeen päätyperä voidaan asentaa lopuksi paikalleen. Tarkkuutta vaativa koneenasennuksen osuus oli linjata moottorin hihnapyörä sekä sen yläpuolella oleva teräkselin toisiohlnapyörä siten että hihnojen linjaus on suorassa pystysuunnassa. Tämä tehtiin vatupassilla mittaamalla. Näin varmistuttiin siitä että moottori on suorassa linjassa teräkseliin nähden jonka jälkeen moottorin kiinnityspultit kiristettiin. Sen jälkeen tarkastettiin hihnojen kireys. Ohutlevyosien kiinnitys tehdään pulttiliitoksin laitteen runkoon sekä myös pop-niitein.

4.6 Prototyyppi mallinnettuna Solid Worksilla

Tarvittavat tehdastekoiset koneenosat ja itsevalmistettavat komponentit tehtiin Solid Works-mallintamalla 3D-malleiksi jotta prototyypin kokoonpano voitiin rakentaa tietokoneella. Prototyypin kehitetty runkorakenne on todettu mekaanisesti toimivaksi kokonaisuudeksi. Laitteen kokonaismassaksi Solid Works osaa määrittää valmiin kokoonpanon "mass properties"-toiminnolla sen että prototyypin kokonaispaino on noin 80 kilogrammaa. Paino vaikuttaa järkevältä sillä huomiottiin se että prototyypin sisältämien part-osien materiaalit vastaamaan sitä mitä ne ovat oikeasti. Polttomoottori on tarkoituksella hyvin karkeasti mallinnettu ajan säästön vuoksi, koska tiedetään moottorin luonnolliset mitat ja riittää että 3D-mallin rungossa on moottorin kiinnityspaikka oikealla kohdalla laitteen muihin osiin nähden.



KUVA 11 Prototyypin kokoonpanokuva Solid Worksilla tehtynä (Korhonen 2014.)

5 PROTOTYYPIN PINTAKÄSITTELY

Polttopuusirrkeli on tarkoitettu vain ulkokäyttöön bensiinimoottorin pakokaasujen takia. Nelitahtimoottorin pakokaasut ovat tunnetusti ihmisen terveydelle vaarallisia suljetussa tilassa. Laitte joutuu Suomen luonnon voimien armoille niin kesällä kuin talvellakin ja sen käyttö on tyypillisesti kausiluonteista. Maalipinnalle vaatimuksina oli helppo maalattavuus, hyvä peittokyky, kestävyys sekä soveltuvuus paikkausmaalaamiseen jälkikäteen. Koska pintakäsittelmättömällä teräksellä on tapana ruostua nopeasti hitsatuista kohdista, tulee teräksen pintakäsittelyn olla kunnossa jotta hitsatun teräsrakenteen pitkäikäisyys voidaan saavuttaa ja sitä myötä pitkä laitteen käyttöikä. Myös laitteen elinkaariajattelua on huomioitu että se on suomalaisen konepajateollisuuden perinteitä kunnioittaen pitkäikäinen sekä kestävä kone. Koneena tämän polttopuusirrkelin hiilijalanjälki on yllättävän pieni sillä laitteessa on vain vähän painoon nähden ei-kierrätettävää materiaalia.

Jo edellisissä projekteissani oleellista on ollut hitsatun teräksen ruosteensuojaus, joka onkin hyvin tärkeää tehdä nopeasti koska ilmankosteus on jatkuva uhka, joka edesauttaa hitsatun teräksen korroosion alkamista nopeasti. Koska prototyypin eri osakokonaisuudet valmistuivat eri aikaan oli tarpeen suojata eri osien hitsikohdat ammattikäyttöön tarkoitettulla ruosteesto suihkemaalilla heti hitsausten jälkeen, jonka jälkeen tehtiin pintavärin maalaus. Prototyyppi maalattiin Tikkurilan Panssarimaalilla. Erilaisten sääolosuhteiden vaikutukselle altistuvalla hitsatulle teräsrakenteelle olen saanut suunnittelu kokemusta jo edellisestä projektistani. Tähän kokemukseen perustuen

prototyypin runkoputkien sisälle suihkutettiin autokäyttöön tarkoitettua kotelonsuojamassaa estämään putkirakenteen korroosiota.

6 PROTOTYYPIN KOEKÄYTTÖ JA NIIDEN KOKEMUSTEN ARVIONTIA

Prototyypin rakennusvaiheen valmistuttua oli aika valmistautua sen ensimmäiseen koekäyttöön. Moottoriin tehtiin ennen sitä käyttöönotto huolto. Moottoriin vaihdettiin moottoriöljyt, sytytystulppa sekä ilmanpuhdistaja puhdistettiin. Pienkoneiden huoltoon ohjeita löytyy vaikkapa Chilton's Guide to small engine repair- kirjasta ja aiheesta löytyy toki myös kotimaisia oppaita. Huollon jälkeen moottori oli valmis työhön.

Prototyypillä sahattiin ensitestinä kottikärryllinen sekalaista rakennusjäte lautaa sekä lankkua saunapuiksi. Katkaistut puut voi kerätä näppärästi kottikärryyn siten että katkaistut puut tippuvat suoraan kottikärryyn joka on asetettu prototyypin viereen. Kottikärry mahtuu sopivasti teräsuojan viereen. Prototyypillä puiden sahaaminen on selvästi nopeampaa sekä vaivattomampaa katkoa erilaista polttopuuta. Siinä laitteen toteutus on erittäin hyvin onnistunut. Prototyyppi polttopuusirkkelin nopeus tulee esille etenkin ohutta sekalaista puutavaraa katkaistaessa paljon samalla kertaa. Ohut puumateriaali on aina hankalasti käsiteltävää moottorisahalla sahaten.

Marraskuun puolivälin jälkeen kävin testaamassa sirkkeliä suuremman polttopuumäärän teossa. Sahailin prototyypillä nopeasti noin heittokuution rakennusylijäämä laudoista ja sekalaisesta 5-18 senttimetriä halkaisijaltaan olevista puista koostuvan polttopuu erän. Laitte on sopivan kokoinen ja se on helppoa siirtää niin pihamaalla kuin kuljetettavaksi auton peräkärreille. Se pysyy hyvin paikallaan sahatessa eikä ole huera käytössä. Parin metrin siltapuita pitkin laitteen jaksaa työntää henkilöauton peräkärreyn kyytiin. Noin parilla litralla bensiiniä saatiin tuo noin kuution polttopuumäärä sahattua, aikaa tuohon meni noin 40 minuuttia reippaalla sahaustahdilla. Erään toisen moottorivalmistajan ilmoittama samankaltaisen moottorin bensankulutus on pari litraa bensiiniä tunnissa. Pidän sitä moottoria ykkösvalintana sekä hinnan ja tuon arvon perusteella seuraavaksi. Vaikka prototyypin moottori on nelitahtinen, niin sen bensankulutus voisi olla pienempikin. Tämä asia selittyy toki huomattavalla epäedullisella hihnavedon välityssuhteella. Prototyypin polttomoottori on hiukan yli 200 kuutiosenttimetriä iskutilavuudeltaan, joten se on kuitenkin moninkertaisesti moottorin kokoa isoon kaksitahti moottorisahaan nähden. Yksinkertaista polttomoottoritekniikkaa oleva nelitahtimoottori ja korkeavirtteinen moottorisahan moottori ovat kuitenkin huonosti keskenään vertailukelpoisia.

7 IDEOINTIA LAITTEEN VALMISTUTUMISEN JÄLKEEN

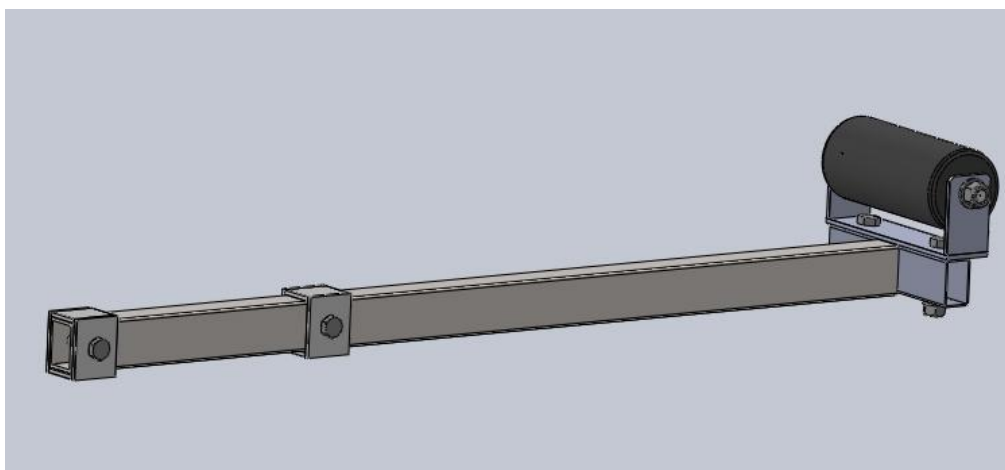
Opinnäytetyön alussa tuli mieleen pari erikoista lisä ideaa joita voisi prototyyppiin soveltaa jatkokehityksenä. Jo mainittu agrikaatti-optio on toteutettavissa jopa yksinkertaisesti tarvittaessa ja sähkötekninen osaaminen on tätä varten. Jo koesahauksissa lyhyt työpäivä luonnonolosuhteista johtuen loppuvuodesta rajoittaa polttopuiden sahaamista laitteella ulkona joten puukasalla kaipaisi työhön tarvittavaa lisävaloa ilman jatkoroikkien virittelyä. Puhumattakaan että sahataan pimeässä metsässä

metsäautotien varressa. Toinen jatkojalostettava asia on moottorin äänenvaimennus. Moottori ei ole kuulosuojaimia käytettäessä liian kovaääninen työturvallisuutta ajatellen, mutta kuitenkin moottorin ääni voisi olla hiljaisempikin. Moottorin alkuperäinen yksinkertainen äänenvaimennin ei kovin tehokkaasti ääntä hiljennä ja on tarkoitus ainakin kokeilla jotain parempaa äänenvaimentajaa. Moottorin oma tehdastekoinen äänenvaimennin on yksinkertainen peltirasia, jossa on sisällä välilevy johon on porattu muutamia reikiä. Tehon noususta tai laskusta ei tällaisessa moottorissa voi mennä kuin parempaan suuntaan kun vertaa lähtökohdan ominaisuuksia. Kuitenkin on suotavaa käyttää sahatessa kuulosuojaimia ja metsurinkypärä on aina suotavaa pitää työturvallisuuden vuoksi.

Prototyypin voimansiirron kokonaisvälitys voisi olla siis pienempi jotta terään tulee lisää pyörimisnopeutta. Asia todettiin koesahausten aikana siten että moottorin teho riittääkin yllättävän hyvin myös paksumpaa puuta sahatessa, mutta moottorin polttoainetaloudellisuus voisi olla parempi. Tämä selittyy sillä että moottori toimii kierrosalueensa yläpäässä myös ohutta puuta sahatessa johon riittää vähemmätkin moottorin tuottamat Newton metrit kunhan sirkkelinterässä on nopeutta tarpeeksi. Vaikka käytetty teräkseli on kevyen näköinen, siihen varastoituu pyörivän terän kanssa inertiaenergiaa yllättävän hyvin joka edesauttaa terän leikkuunopeuden säilymistä kuormituksen aikana puuta sahattaessa. Toki tämä asia on helposti päivitettävissä uudella sopivasti isommalla (tarkastetaan arvo laskemalla) ensiöihnapyörällä jonka vaihtaminen on helppo asia.

Havaitsin koekäytössä että prototyypin liukupöydän liike on hiukan liian jähmeä. Koska liukupöydän liukukiskoihin kohdistuu puutavaran paino x- ja y-suunnissa joissa sahattavan puun massa pyrkii painamaan alaspäin ja myös nostamaan koko liukupöytää teränpuolen reunasta ylöspäin kun pidempää puuta sahataan. Pääteltiin että tulisi kiskoilla liikkuvien liukurullien olla vieläkin kovemmasta materiaalista valmistetut. Nykyiset kovasta kumista tehdyt rullat hankaavat liukukiskojen sivupintoihin liian suurella kitkalla. Suunnitelmissa on vaihtaa nämä kumipintaisten rullat nylonista tehtyihin vastaavan kokoisiin rulliin. Prototyyppi toimi oikein hyvin kokonaisuutena ja tuloksiin oltiin varsin tyytyväisiä. Havaittujen seikkojen päivitysten jälkeen laite on koneteknisesti oikein hyvä puusirkkeli.

Suunnittelin testikäytön jälkeen prototyyppiin liitettävän apulaitteen syöttöpöydän jatkoksi jotta pitkät puut on vaivattomampi käsitellä sahatessa:



KUVA 12 Tukivarsi lisäosa (Korhonen 2014.)

8 YHTEENVETO OPINNÄYTETYÖSTÄ

Opinnäytteen tekeminen oli erittäin opettavainen kokemus minulle ja siinä yhdistyivät monien ammattioppiaineiden sisällöt Savonia-ammattikorkeakoulussa sekä oma ammatillinen osaaminen osamiskokonaisuudeksi. Työssä etsim uutta tietoa puualalta ja sovelsin sitä tähän työhön. Opinnäytetyö tarjosi minulle haasteita joissa onnistuminen oli hyvin palkitsevaa. Erittäin mieluista työssä oli luova tuotekehitys, jossa sain itse pohtia prototyypin teknisiä ratkaisuja ja miten ne pystyisi toteuttamaan käytännössä. Vaikka suunniteltu prototyyppi on tehtävissä kaupalliseen myyntiinkin kunhan on käytössä tarvittavat resurssit sen teolliseen valmistukseen, on prototyypistä vielä puuttuva CE-merkintä lievä ongelma. CE-merkintä ei tähän opinnäytetyöhön aikataulullisesti merkinnän vaatimusten laajuuden vuoksi ennätä. Myöskään henkilökohtaisesti en alkanut mallisuojausta tai patenttia hakemaan prototyypille sen hinnan vuoksi. Jos joku kaupallinen taho haluaa tästä kehittää myyntiversiön, olen mielelläni tässä yhteistyössä mukana.

CE-merkintä tarkoittaa sitä että koneen valmistaja on rakentanut laitteen siten että se täyttää olemassa olevat turvallisuusstandardit niin toimintojen kuin laitteen materiaalienkin osalta, jotka ovat hyvin yksityiskohtaiset. Haaste on, kuten edellä mainittu, pyörivän terän koteloinnin kehitys sellaiseksi että pyörivään sirkkeliin ei voi koskettaa kuin katkaistava puu. Prototyypin teräsuojusta pitää jatkokehittää vielä, kuitenkin nykyistä tarvitsee vain modifioida hiukan koska sen perusrakenne on varsin toimiva jo nyt.

”Kone” tarkoittaa virallisen määritelmän mukaan seuraavaa:

”toisiinsa liitettyjen osien tai komponenttien yhdistelmä, jossa ainakin yksi liikkuu, jossa on tarvittavat hallintalaitteet ja ohjaus- ja energiansyöttöpiirit ja jotka ovat liitetty yhteen suorittamaan tiettyä toimintaa, tai koneyhdistelmä, joka on järjestetty ja ohjattu toimimaan yhtenä kokonaisuutena, tai joka on toisen koneen toimintaa muuttava käyttäjän kytkettävissä oleva laite”
(Konedirektiivin soveltaminen ja kansallinen lainsäädäntö)

CE-merkinnän saaminen koneelle edellyttää sitä että koneessa on oltava merkittynä seuraavat tekniset tiedot käyttäjän nähtävillä:

- valmistajan nimi ja osoite
- CE-merkintä on standardoitu muoto, tarra tai maalaus laitteessa
- sarja- tai tyyppimerkintä
- mahdollinen sarjanumero
- valmistusvuosi
- varoitustekstit ja – merkinnät CE- standardin mukaisesti.

Jotta kone tai laite voisi saada CE-merkinnän, on standardin SFS-EN 45 014¹ mukaan yleisen määritelmän mukaan oltava vaatimustenmukaisuusvakuutus, joka on tuotteen toimittajan yksinomaan omalla vastuullaan antama lausunto ja ilmoitus, jonka tarkoituksena on kertoa, että jokin tuote, prosessi tai palvelu on tietyn, erikseen vakuutuksessa ilmoitetun asiakirjan tai asiakirjojen mukainen.

CE-merkkinnässä koneen valmistajan tulee laatia koneen käyttöopas jossa selvitetään käyttäjälle koneen oikeaoppinen käyttö, käsittely, kunnossapito, tapaturmariskit sekä turvallisuustekijät. Tarvitaan myös tiedot koneen synnyttämästä melupäästöstä jotta CE-merkintä voidaan koneeseen hyväksyä. Ilman CE-hyväksyntää laitetta ei voi jälleenmyydä Suomessa. CE-merkintä tarkoittaa sitä että kone tai laite on käyttäjälle valmistajan ohjeiden mukaan käytettynä turvallinen (Tukes).

Kustannusarvio prototyypin komponenteille oli projektin alussa aika tiukka. Laitteen rakentaminen toteutettiin itse oppilastyönä. On selvää, että konepajatuntihinnoin laitteen valmistettavuus on saatava edulliseksi valmistaa kaupalliseen tarkoitukseen ja laitteen valmistuskuluja pienennettävä eräkokoa kasvattamalla. Laitteen komponenttien hinnat ja materiaalit jäivät noin puoleen siitä hinnasta mitä vastaavanlaisen sirkkelin rautakauppaversiot maksavat kun prototyypin rakentaminen ja suunnittelu toteutettiin oppilastyönä. Prototyypin tuotantoteknisiä tekijöitä valmistettavuudessa tulee kehittää. Tässä on varmasti yhden opinnäytetyön verran lisää tutkittavaa, jos tästä prototyypin mallista haluaisi alkaa myyntiin valmistamaan polttopuusirkkeleitä siten, että valmistuskustannukset muodostuu halvemmaksi ja tuotantotekniset tekijät kohdalleen. Prototyypin piirrustuksista voi tietenkin valmistaa seuraavaksi isomman mallin tarpeen mukaan ja tässä näen mahdollisuuden polttopuusirkkeleiden tuotesarjaan.

Tavoite oli rakentaa prototyyppi korkeintaan sen komponenttien hinnalla ja tässä onnistuttiin (liite 1). Kustannusarvioksi asettiin prototyypin komponenttien hinnaksi puolet erään kaupallisen polttopuusirkkelin 800 euron myyntihinnasta. Tähän tavoitteeseen päästiin käytettyinä ostetuilla osilla jotka olivat moottori, teräakseli ja hihnavedon osat.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

Blom, S. , Lahtinen P. , Nuutio E. , Pekkola K. , Pyy S. , Rautiainen H. , Sampo A. , Seppänen P. , Suosara E 1999. Kone-elimet ja mekanismit. Helsinki: Edita.

Rautaruukin terästuotteet Suunnittelijan opas 2000. Keuruu: Otava.

Jokinen, Tapani 2001. Tuotekehitys. Helsinki: Otatieto

Konedirektiivin soveltaminen ja kansallinen lainsäädäntö 1997. Metalliteollisuuden Keskusliitto. 4.uudistettu painos Yleisjäljennös Oy

Voutilainen M., Jussila A., Kuikka K., Mononen M., Vuorenmaa M. 1999. Puutekniikka Tuotantotekniikka 1993. Keuruu: Otava.

Voutilainen, S., Isomäki, O., Jussila A., Lampinen Timo E., Lindeman I., Mäkinen K., Osara O., Peltonen A., Sahinoja T., Taskinen L., Vanhatalo A., Varonen U., Virolainen S., Welling I., 2002. Puuteollisuus 1. Tekniset ja taloudelliset perusteet. Helsinki: Edita

Painamattomat lähteet

BILTEMA OY polttopuusirkkeli LC400A, tuorenumero 17478 [viitattu 18.11.2014]. Saatavissa: www.biltema.fi

BRIGGS & STRATTON CORPORATION USA [www-sivu](http://www.briggsandstratton.com/us/en/support/faqs/engine-specifications-online) [viitattu 2.12.2014]. Saatavissa <http://www.briggsandstratton.com/us/en/support/faqs/engine-specifications-online>

GATES CORPORATION hihnojen valmistaja [viitattu 21.11.2014]. Saatavissa: <https://ww2.gates.com/europe/index.cfm>

Metsäntutkimuslaitos Metsätalastotiedote 26/2009, 2.7.2009 [viitattu 3.12.2014]. Saatavissa: <http://www.metla.fi/tiedotteet/metsatilastotiedotteet/2009/pientalopolttopuu2008.htm>

Kainuun teräshuolto, KUVA 4, [viitattu 14.12.2014]. Saatavissa: <http://www.kainuunterahuolto.fi/teratietoutta/>

PILKETUOTANTO-OPAS Lähdetiedot tulisijojen määrään, [viitattu 24.11.2014]. Saatavissa <http://www.metsakeskus.fi/sites/default/files/pilketuotanto-opas.pdf>

TUKES viitattu CE-merkinnässä [viitattu 1.10.2014]. Saatavissa: <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Kuluttajaturvallisuus/CE-merkki/>

WIKIKKO [www-sivu polttopuun kuivuminen](http://www.wikikko.info/wiki/Polttopuun_kuivuminen) [viitattu 25.11.2014]. Saatavissa: http://wikikko.info/wiki/Polttopuut#Polttopuun_kuivaaminen

LIITE 1: KUVA VALMIISTA PROTOTYYPISTÄ



KUVA 13 Prototyyppi sirkkeli oli testikäytössä marraskuussa (Korhonen 2014)