

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Teknillinen tiedekunta

Konetekniikan koulutusohjelma

AUTOMATISOIDUN PUUNSAHAUSKONEEN SUUNNITTELU

DESIGN OF AUTOMATED WOOD SAW

Lappeenrannassa

07.03.2013

Miska Salonen

0341674

## SISÄLLYSLUETTELO

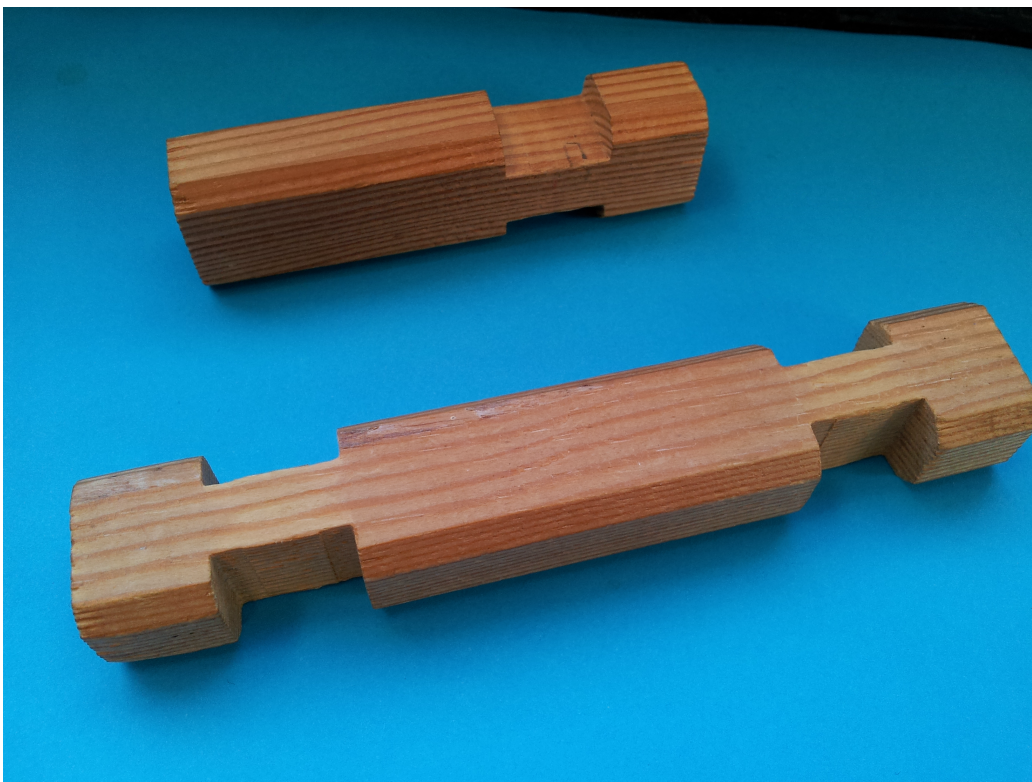
<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b> .....	<b>3</b>
	1.1 Työn tavoite ja rajaus.....	3
<b>2</b>	<b>TEORIA</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>KÄYTETYT MENETELMÄT</b> .....	<b>5</b>
	3.1 Vaatimus ja toivomuslista.....	5
	3.2 Abstrahointi.....	6
	3.3 Ideointi.....	6
	3.4 Ideamatriisi.....	6
	3.5 Valitut ideat.....	7
<b>4</b>	<b>MALLINNUS JA SUUNNITTELU</b> .....	<b>9</b>
	4.1 Syöttöpöytä.....	12
	4.2 Teräkelkka.....	14
	4.3 Teräkelkan ja syöttöpöydän runko.....	15
	4.4 Terät.....	15
	4.5 Sylinterit.....	16
	4.6 Toimilaitteiden mitoitus.....	16
	4.6.1 Hammashihnatyyppin valinta.....	16
	4.6.2 Paineilmasynterierien valinta.....	19
<b>5</b>	<b>TULOSTEN TARKASTELO</b> .....	<b>21</b>
<b>6</b>	<b>YHTEENVETO</b> .....	<b>22</b>
	<b>LÄHTEET</b> .....	<b>23</b>

## 1 JOHDANTO

Työn tarkoituksena oli suunnitella asiakkaan toivoma automatisoitu laite nopeuttamaan valmistettavien puuosien tuotantoa (kuva 1). Ennen varsinaisen suunnittelun aloitusta on kartoitettava asiakkaan tarkemmat vaatimukset laitteen toimintojen ja automaation tason suhteen. Laitteen haluttujen ominaisuuksien selvittämisen jälkeen työssä siirrytään karkeiden toimintorakenteiden valitsemisen kautta laitteen 3D-mallinnukseen ja yksityiskohtien suunnitteluun.

### 1.1 Työn tavoite ja rajaus

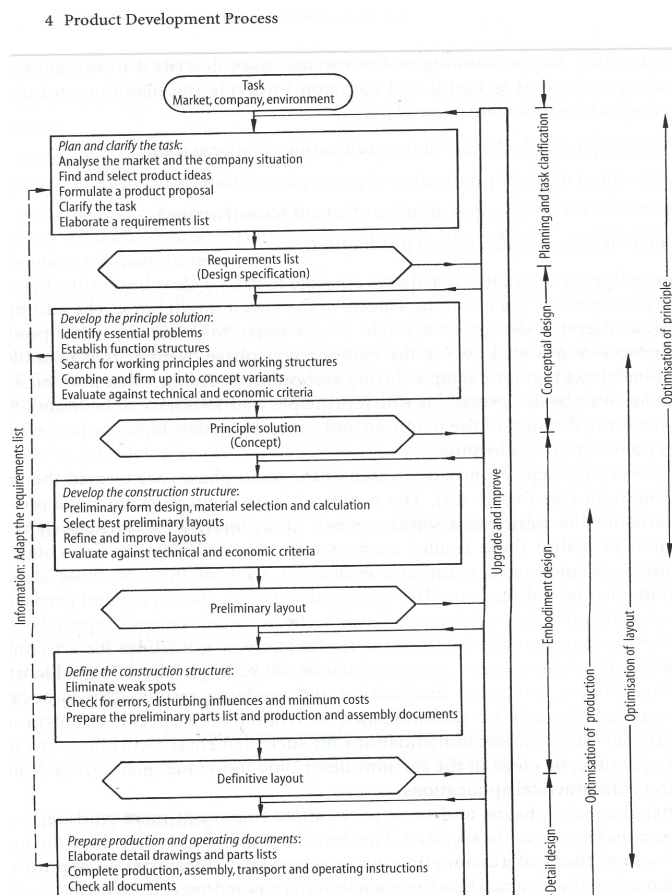
Työn tavoitteena oli löytää tai kehittää mekaaniset ratkaisut laitteen mekaanisiin osatoimintoihin sekä luoda näistä yhtenäinen laite 3D-malleineen. Suunnittelussa keskityttiin toimintojen ratkaisujen löytämiseen, eikä niinkään osien mitoittamiseen mahdollisimman tarkasti. Laitteen valmistuspiirustukset tai ohjelmointi eivät kuuluneet työhön.



**Kuva 1.** Valmiita puokappaleita

## 2 TEORIA

Laitteen suunnittelu eteni karkeasti Pahl G ja Beitz W:n (Pahl G. Beitz W. Feldhusen J. Grote K.-H., 2007. Engineering Design: A Systematic Approach, London) esittämän teorian mukaisesti. Suunnitteluprosessi on alun tehtäväsaannin jälkeen iteratiivinen eli eri suunnittelun vaiheisiin voidaan palata uudelleen ja uudelleen muuttaen tehtyjä valintoja ratkaisun löytämiseksi. Uuteen suunnitteluvaiheeseen siirtyminen saattaa herättää kysymyksiä tai antaa uutta tietoa, minkä takia on palattava edelliseen vaiheeseen. Kuvassa 2 on esitettyä suunnittelun eteneminen tehtävän saannista ratkaisuun. Kuvassa näkyy myös suunnittelun palautuminen edellisiin vaiheisiin, mikäli siihen tulee tarvetta.



**Kuva 2.** Järjestelmällisen koneensuunnittelun etenemiskaavio (Pahl G. Beitz W. Feldhusen J. Grote K.-H., 2007. Engineering Design: A Systematic Approach, London).

### 3 KÄYTETYT MENETELMÄT

Laiteen suunnittelussa lähdettiin liikkeelle järjestelmällisen koneensuunnittelun (Pahl G. Beitz W. Feldhusen J. Grote K.-H., 2007. Engineering Design: A Systematic Approach, London) mukaisesti selvittämällä laitteen tärkeimmät toiminnot ja ideoimalla osakokonaisuuksien karkeat toimintamallit. Tämän jälkeen siirryttiin laitteen mallintamiseen ja yksityiskohtien suunnitteluun 3D-ympäristössä SolidWorks 2011-2012 ohjelmalla.

#### 3.1 Vaatimus- ja toivomuslista

Laitteen suunnittelun ensimmäisessä vaiheessa oli tarkoituksena kartoittaa halutut toiminnot vaatimus- ja toivomuslistaksi.

##### Vaatimukset

- Laite käsittelee 15 x 20 x 3000 mm profiililtaan olevaa puurimaa eli minihirttä
- Mittatarkkuus pituussuunnassa +/-0,05 mm
- Laite pystyy katkaisemaan riman
- Laite pystyy tekemään 20 mm leveän ja 5 mm syvän salvosuran riman ylä- ja alapuolelle
- Pisin valmistettava kappale 800 mm pitkä ja lyhyin 45 mm
- Portaaton kappaleen pituuden säätö
- Salvosterän syvyydensäätö
- Puuta työstettäessä puun pää katkaistaan aina ensimmäiseksi
- Koneeseen lastataan puut, jonka jälkeen laite toimii täysin automaattisesti

##### Toivomukset

- Puukappaleiden värjäyssysteemi kasaamisen helpottamiseksi
- Suuri tuotantonopeus
- Paineilmaverkon hyväksikäyttö

### 3.2 Abstrahointi

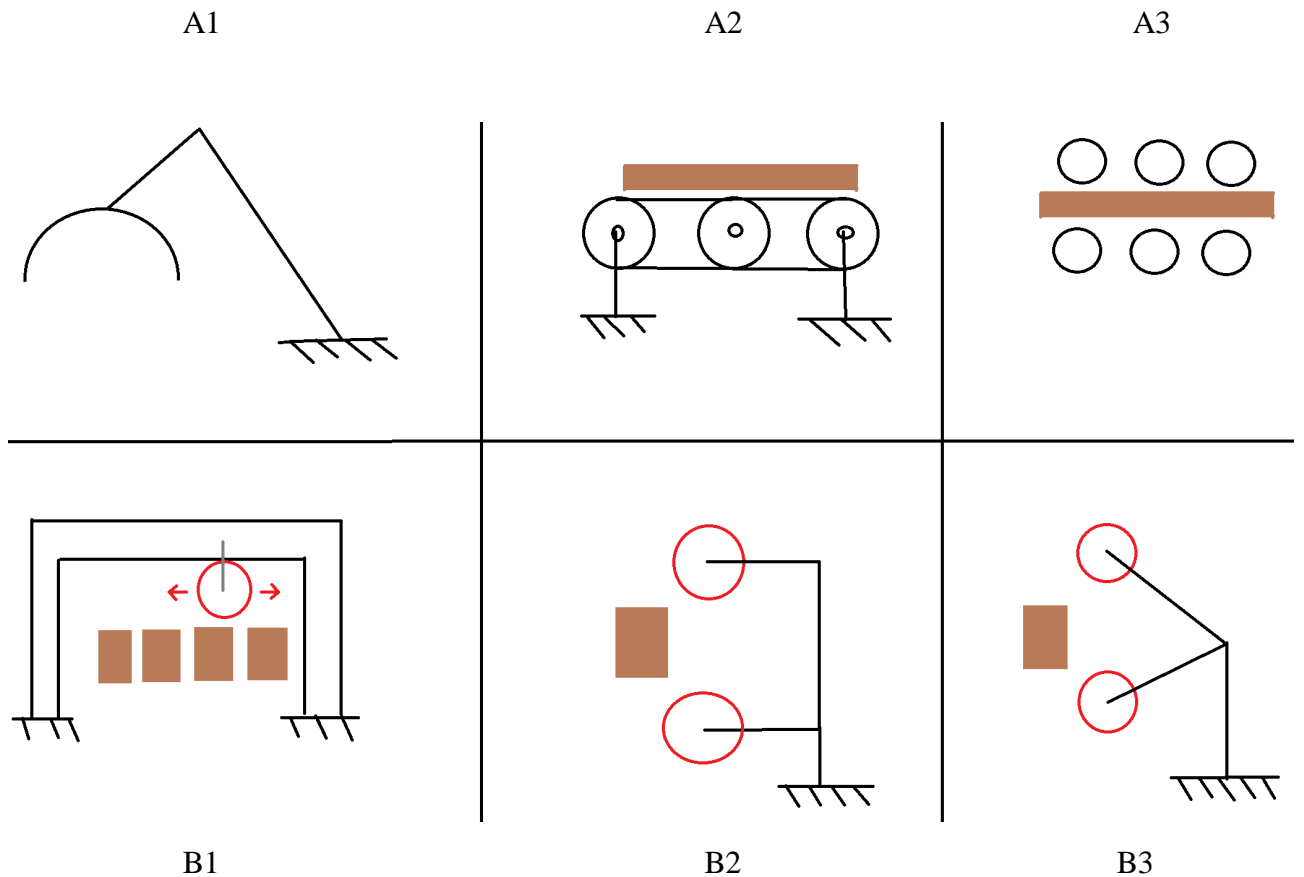
Abstrahoinnissa pyritään tiivistämään laitteen vaatimukset tiiviiksi toteamukseksi ilman ennako-odotuksia toimintojen toteutustavasta. Suunnittelussa on hyvä käyttää abstrahoitua muotoa punaisena lanka, koska se tiivistää halutun lopputuloksen. Haluttu laite abstrahoituna: Laite joka irroittaa 3000 mm pitkistä puusta lyhyemmän kappaleen ja muotoilee siihen yhden tai useamman loven.

### 3.3 Ideointi

Ideointi jakautui alussa karkeasti kahden päätoiminnon ratkaisujen hakemiseen eli puun muotoilun hoitavaan osioon sekä puun syöttöjärjestelmään. Laitteeseen oli tarkoitus lastata puut käsin ja tämän jälkeen laitteen tuli kyetä siirtämään ja käsittelemään puut itsenäisesti. Valmiita kappaleita ei tarvinnut lajitella tai asemoida mitenkään, riitti että laite työntää ne ulos. Saaduista versioista karsittiin hyvin aikaisessa vaiheessa monia lupaavia versioita liian kalliina. Ideoiden kehittämissä kuitenkin tärkeimpinä tekijöinä olivat koneen työstötarkkuus, kuluvien osien helppo vaihdettavuus sekä standardiosien ja profiilien (Ruukki. 2011. Teräsputket Rakennepuutket Poikkileikkausarvot) hyödyntäminen.

### 3.4 Ideamatriisi

Kuvassa 3 olevassa ideamatriisissa on kuvattuna eri vaihtoehtoja puiden liikuttelua sekä puiden muotoilua varten.



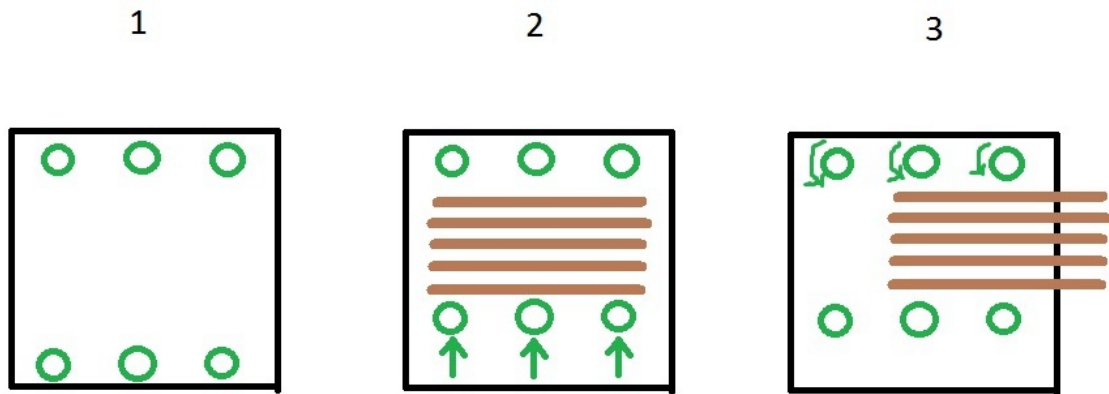
**Kuva 3.** Ideamatriisi puiden liikuttelusta ja teräpään rakenteesta

- A1 Robottivarsi puiden liikutteluun koneessa ja mahdollisesti työstöliikkeen teko.
- A2 Hihnakuuljetin puiden liikuttamiseen työstövaiheeseen.
- A3 Rullat puun liikutteluun koneessa ja mahdollisesti työstöliikkeen teko.
- B1 Portaalin rakenne työstöpään kannattavana rakenteena sekä liikkuva teräpä.
- B2 Teräpäät nivelöityinä pystyrunkoon. Mahdollisesti liikkuva teräpä.
- B3 Teräpäät nivelöityinä runkoon samasta kohdasta. Mahdollisesti liikkuva teräpä.

### 3.5 Valitut ideat

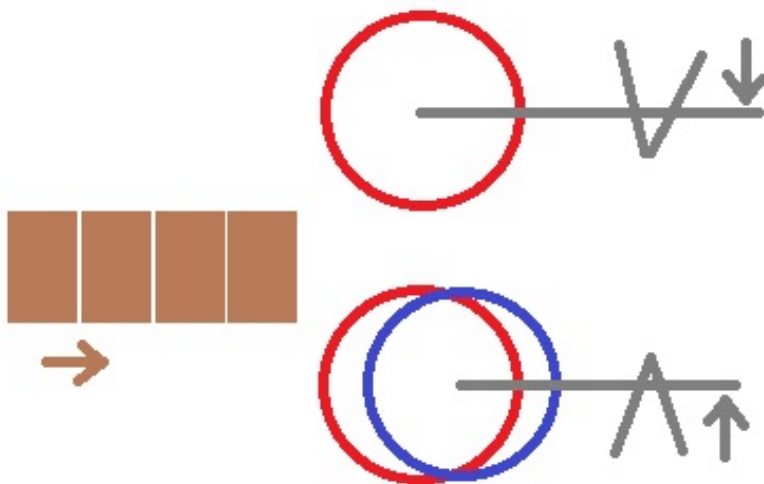
Listatuista ideoista mallinnukseen ja jatkokehittelyyn päätoimintojen osalta valittiin syöttömekanismiksi malli, jossa puut asetetaan käsin syöttöpöydän päälle ja puristetaan sivuilta rullien väliin (kuva 4). Rullat olisivat moottoroidut ja syöttäisivät puuta eteenpäin. Syöttöpöytä itsessään olisi liikkumaton. Mallin mekaniikka olisi suhteellisen yksinkertainen

eikä vaatisi monimutkaisia ja kalliita komponentteja, joita esimerkiksi tarvittaisiin robottivarteen perustuvassa ratkaisussa.



**Kuva 4.** Puiden sijoittuminen ja liikkuminen syöttöpöydällä

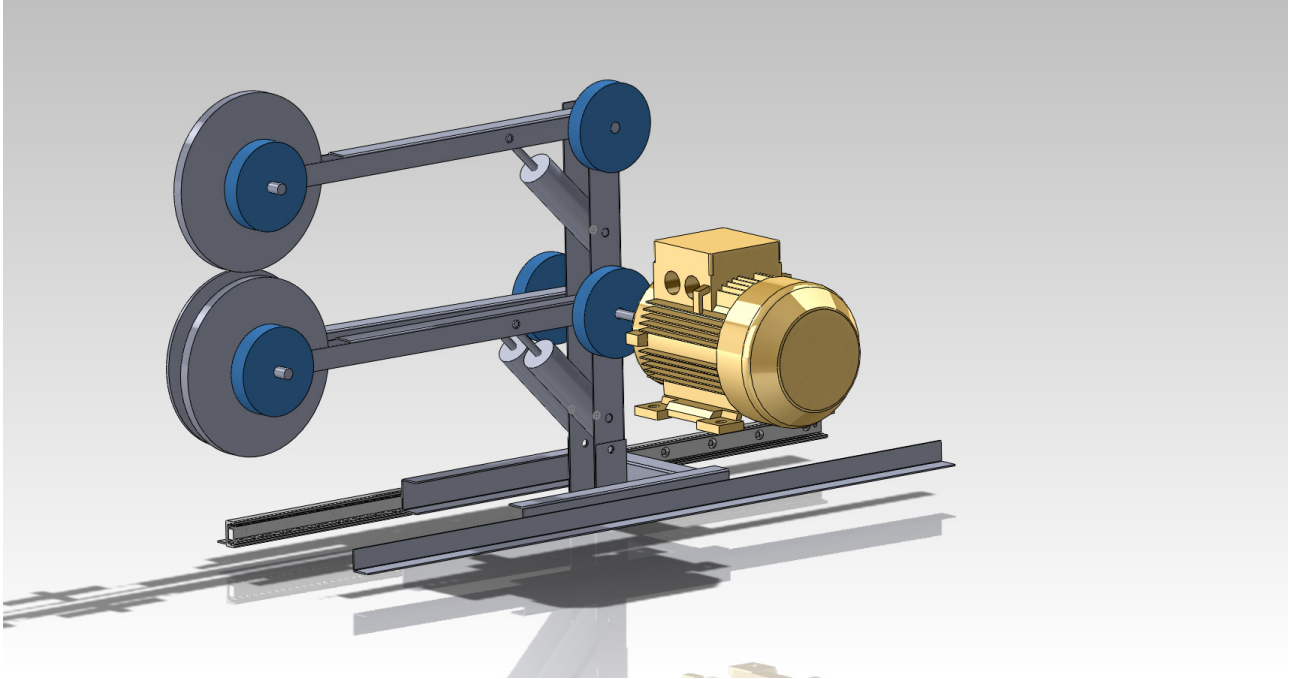
Puun muotoiluun valittiin kolmeteräinen teräkelkka, joka liikkuisi johteiden varassa vaakatasossa edestakaisin muotoillen puut (kuva 5). Salvosterät ovat merkattuina kuvassa punaisella ja katkaisuterä sinisellä. Terien pystysuuntainen liike toteutettaisiin paineilmasylinterien avulla vipuvarsimekanismin avulla. Teräkelkan sekä syöttöpöydän voimansiirtoon valittiin hihnavälitys. Vipuun perustuvan ratkaisun valintaan vaikutti rakenteen yksinkertaisuus, sekä fyysinen tilantarve verrattaessa muihin vaihtoehtoihin.



**Kuva 5.** Puiden ja terien liikkeet

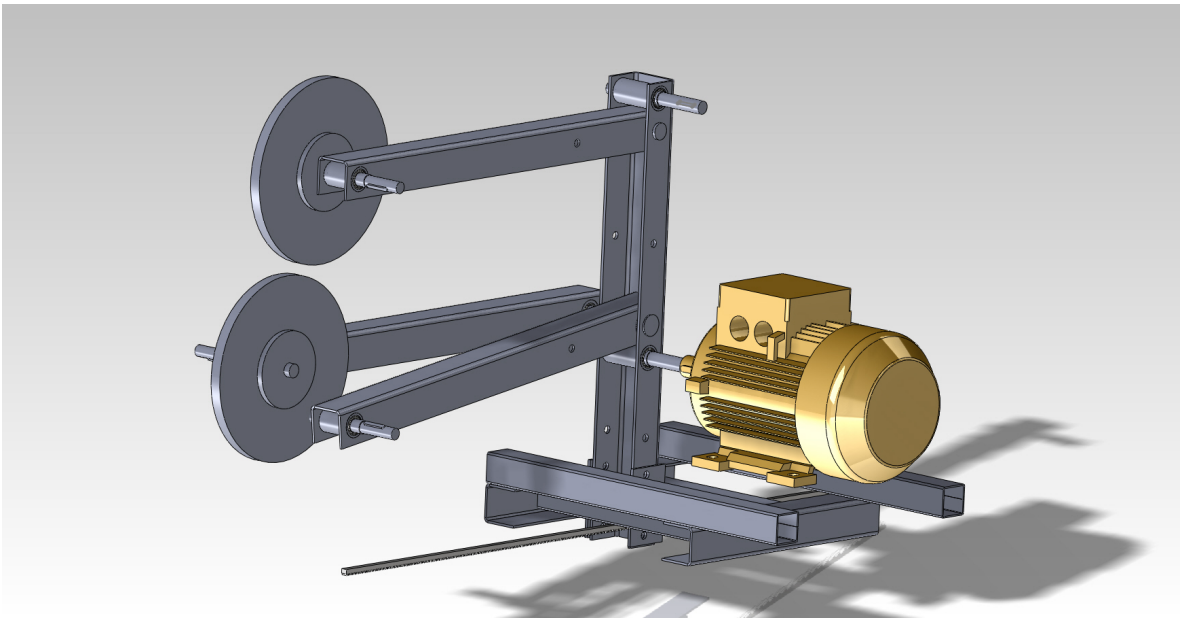


#### 4 MALLINNUS JA SUUNNITTELU

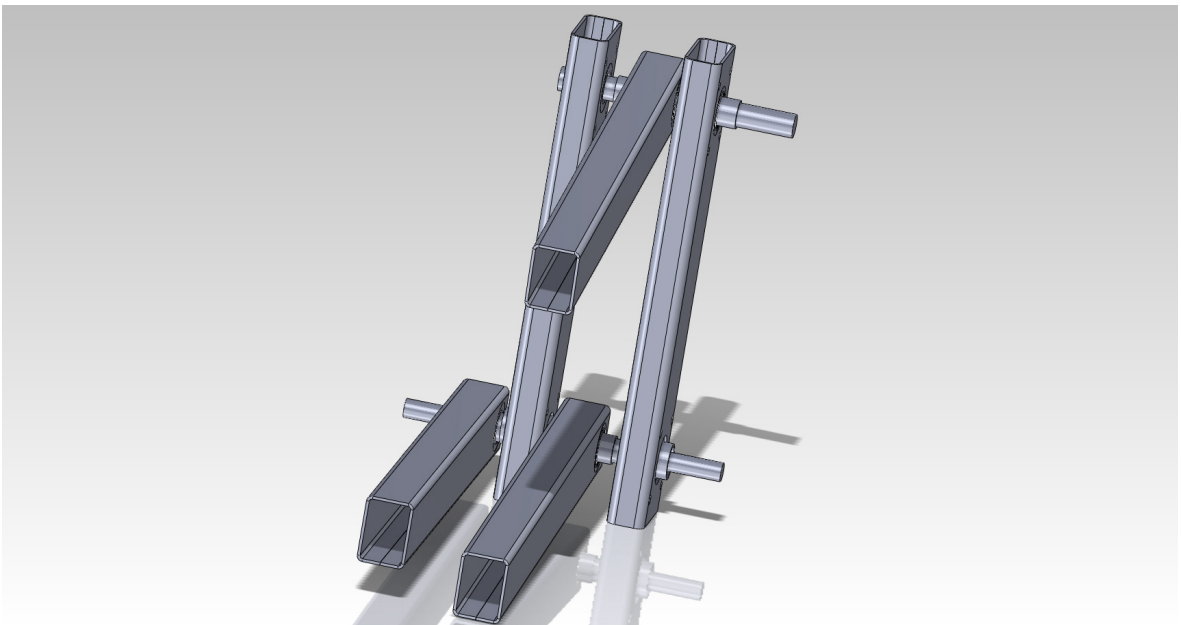


**Kuva 6.** Ensimmäisiä 3D-malleja teräpäätä

Sahan mallinnus aloitettiin luomalla teräkelkasta sekä syöttöpöydästä yksinkertaistetut mallit helpottamaan laitteen hahmottamista sekä perustaksi jatkokehiteltäville versioille (kuvat 6, 8 ja 9). Mallinnuksen aikana malli muuttui useaan kertaan kehittelyn edetessä. Näin laajassa suunnittelukohteessa kaikkien yksityiskohtien huomaaminen muodostuu lähes mahdottomaksi ilman konkreettista prototyyppiä tai 3D-mallia, joten laitteen suunnittelussa kaikkien paitsi päätoimintojen karkea hahmottelu tehtiin rinnakkain 3D-mallinnuksen kanssa.



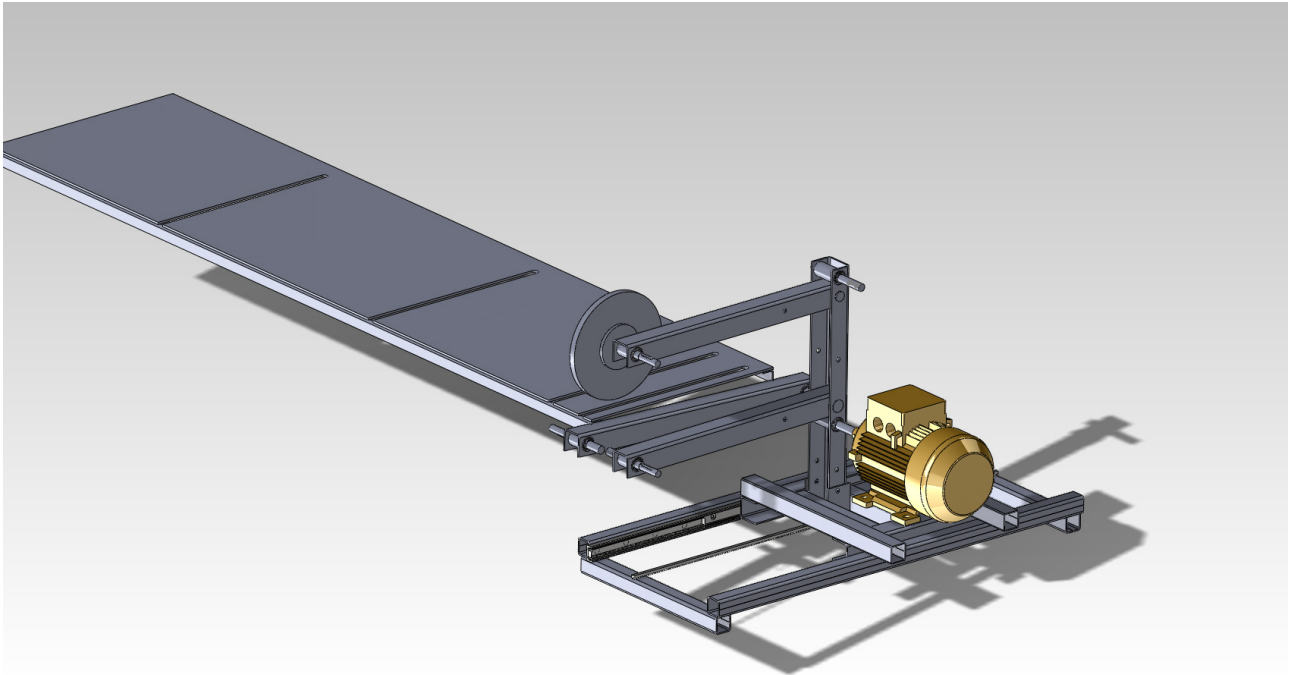
**Kuva 7.** Terävarsien ja hihnarullien erillisakseloitu malli



**Kuva 8.** Tuplarunkoinen malli teräpästä

Esimerkiksi teräpään rakenteesta oli useita eri versioita vielä mallinnuksen aikana.

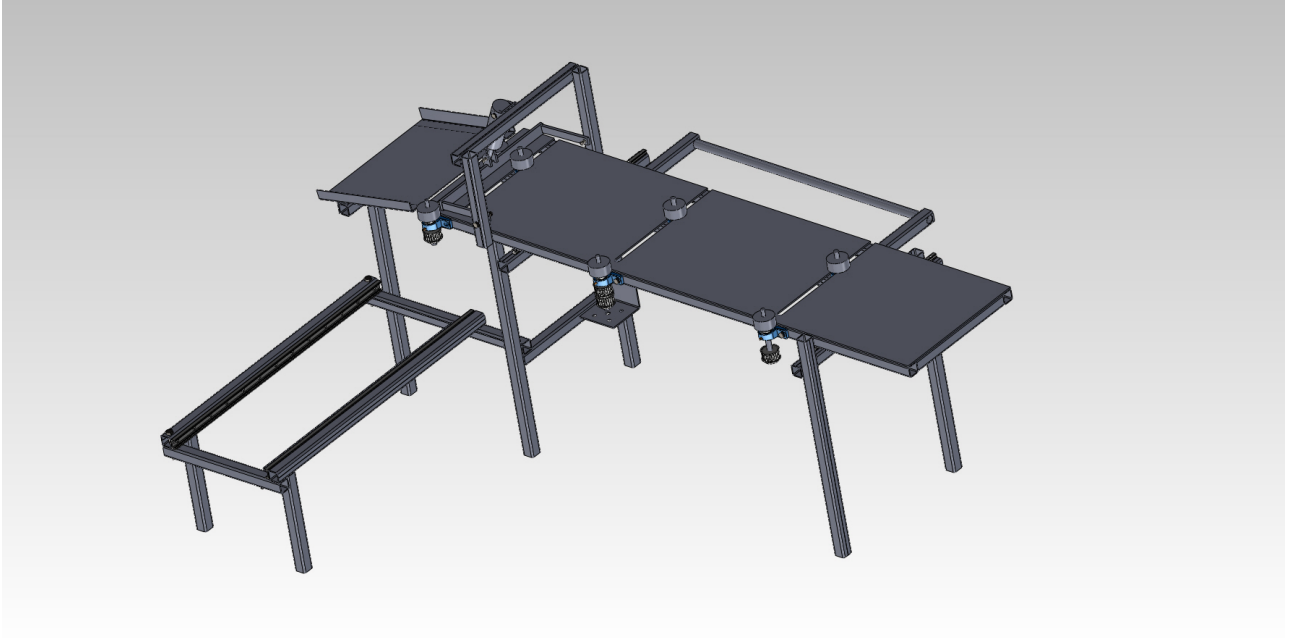
Yhdessä versioista terävarret ja hihnapyörät ovat laakeroitu omille akseilleen (kuva 7). Rakenteessa hinnan kiristämisen toimivuudesta ei kuitenkaan saatu varmuutta, joten se jouduttiin hylkäämään. Kaksipilarista runkorakennetta (kuva 8) kehitettiin kohtuullisen pitkälle, ennen kuin sen puutteet laitteen kasaamisen sekä osien vaihdettavuuden suhteen tulivat ilmi.



**Kuva 9.** Varhainen malli syöttöpöydän ja teräpään yhdistämisestä

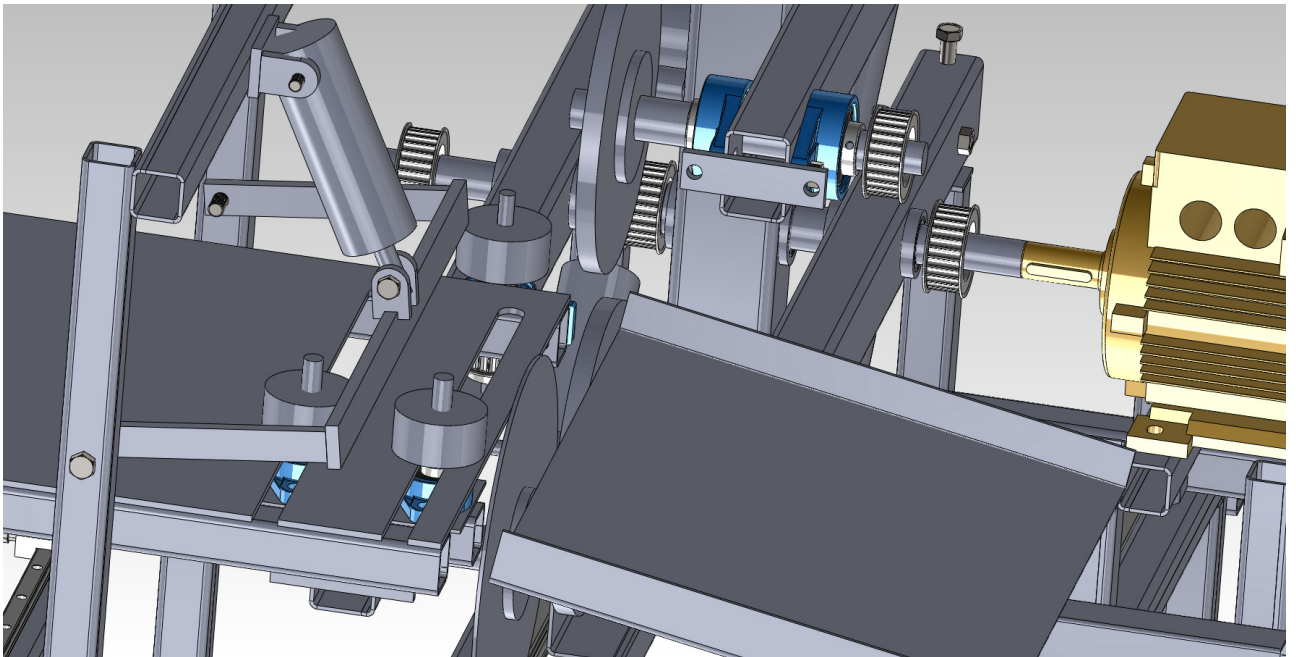
Valittujen ideoiden toimivuutta arvioitiin ennen mallinnuksen aloittamista tekemällä alustavia laskuja aiheutuneista momenteista ja voimista kriittisimmistä kohdista. Mallinnuksen edetessä määrääväksi tekijäksi kriittisten osien mitoille teräkelkassa muodostui laakeroinnin vaatima tilantarve runkopilarissa ja terävarsissa. Toisena määräävänä tekijä rakenteessa oli osien helppo vaihdettavuus. Syöttöpöydän rakenteen ollessa paljon yksikertaisempi kuin teräkelkan, tyydyttiin valitsemaan karkeiden laskujen perusteella tarvittava standardi rakenneputki pöydän tukirakenteita varten. Syöttöpöydässä keskityttiin enemmän osien sijoitteluun teräkelkasta johtuvan tilanahtauden takia

#### 4.1 Syöttöpöytä



**Kuva 10.** Syöttöpöytä kokonaisuudessaan sekä teräkelkan johteet

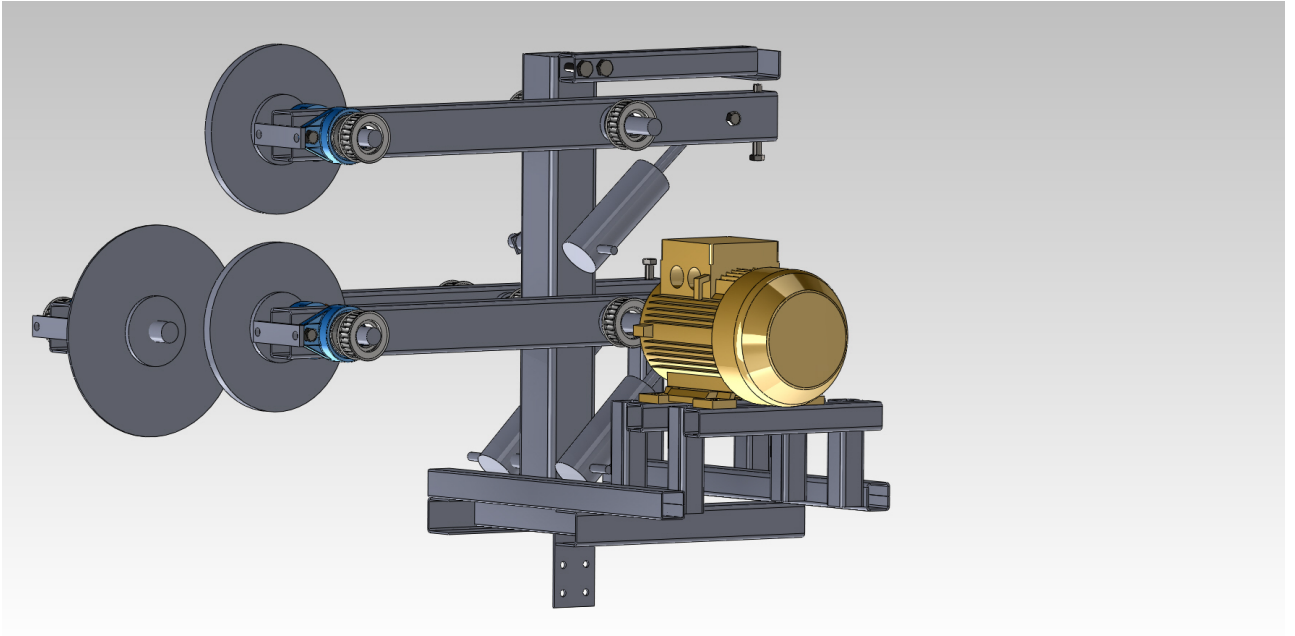
Syöttöpöydän rakenteessa (kuva 10) on kiinteitä sekä liikkuvia rullia joiden väliin sahattavat minihirret asetetaan vierekkäin. Liikkuvat rullat ovat kiinni lineaarijohteilla pöydän rungossa ja niitä pystyy liikuttamaan työntökahvalla. Tämä mahdollistaa portaattoman säädön kerralla laitteeseen asetettavien puiden määrästä. Liikkuvat rullat työnnetään tiukasti kiinni puihin työntökahvan avulla, jonka jälkeen ne lukitaan paikalleen lineaarijohteissa olevilla jarruilla. Kiinteät rullat vastaavat puiden liikuttamisesta ja koska erillistä vastetta ei ole, myös puiden paikoittamisesta. Mittatarkkuuden takia rullia pyöritetään yhdellä servomootorilla. Rullat ovat kytkettyinä toisiinsa hammashihnoin. Kiinteiden rullien kiinnityskohta on säädettävä, jotta niitä pyörittävän hihnan kiristys on mahdollista. Syöttöpöydän viimeiset rullat ennen sahauskohtaa on pyritty sijoittamaan mahdollisimman lähelle leikkauskohtaa tärinän sekä hukkapalojen koon minimoimiseksi. Syöttöpöydässä on myös automaattinen puristin lähellä teräpäätä varmistamassa puiden paikoillaan pysymistä sahausken aikana.



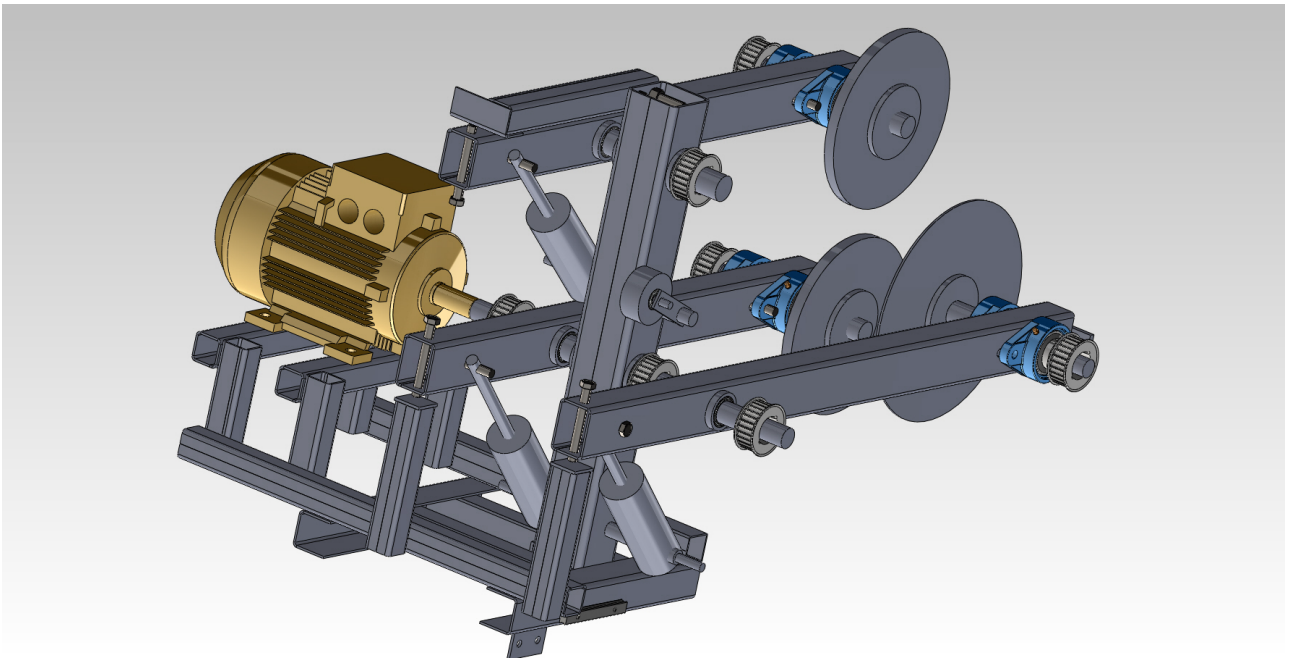
**Kuva 11.** Puiden tuentamekanismien ja terien sijoittuminen lähekkäin

Kuvassa 11 näkyy syöttöpöydän toimintojen sijoittelun ahtaus lähellä puiden leikkauskohtaa ja teräpäätä. Viimeiset rullat ovat sijoitettu niin lähelle pöydän reunaa kuin mahdollista ja niiden väliin sijoittuu automaattipuristimen työntöpää. Valmiit kappaleet tipahtavat poistoränniin, kun uudet kappaleet työntyvät tilalle.

## 4.2 Teräkelkka



**Kuva 12.** Valmiin teräkelkan malli edestä



**Kuva 13.** Valmiin teräkelkan malli takaa

Teräkelkka rakentuu tukevan runkopilarin ympärille, johon muut osat liitetään ja paikoitetaan (kuvat 12 ja 13). Rungon läpi menee kaksi voimansiirtoakselia, ylempi ja alempi. Alemman voimansiirtoakselin päässä on kiinnitettyinä leikkuuteriä käyttävä päämoottori. Voimansiirto terille asti tapahtuu hammashihnavälityksellä. Terät ovat kiinnitettyinä liikkuvilla laakeripesillä terävarsiin, joiden avulla hihna saadaan kiristettyä. Terävarret ovat puolestaan laakeroitu kiinni voimansiirtoakseliin. Voimansiirtoakseleita käytetään siis osien paikoitukseen, kantavina rakenteina sekä voimansiirtoon. Kyseinen rakenne tarvitsee moniolakkeellisen akselin, joka johtaa akselin halkaisijan sekä laakeroinnin koon kasvuun. Akselin tyyppi vaikuttaa samalla määräävästi muiden osien mitoitus ja suunnitteluun. Puun muotoilua varten teräkelkassa on kolme terää ja terävartta. Pällekkäiset terät ovat salvoksen tekoa varten ja kolmas terä on puun katkaisuun. Rakenne mahdollistaa kaikki halutut yhdistelmät salvoksen sijainnista ylä- tai alapuolella sekä puun katkaisusta. Terävarsia liikuttavat paineilmasylinterit. Terien syvyysäättö on toteutettu säätöruuvilla teräkelkan takaosassa. Terävarsien liikettä rajoitetaan kiertämällä ruuvia vasteeseen. Runkopilari liikkuu edestakaisin johteiden varassa hammastangon ja servomoottorin avulla, jotka molemmat ovat sijoitettu runkopilarin alapuolelle.

#### 4.3 Teräkelkan ja syöttöpöydän runko

Rungon päätehtävä on pitää syöttöpöytä sekä teräkelkka yhdessä ja oikealla etäisyydellä toisistaan. Varsinaisia runko-osia on kuitenkin suhteellisen vähän, sillä kantavat rakenteet on pyritty integroimaan suoraan syöttöpöytään tai teräkelkkaan. Rungon johteisiin kiinnitettäviin palkkeihin on tehty säätöreikiä teräkelkan liikkeen hienosäätöön, sekä korjaamaan rungon hitsauksesta aiheutuneet mahdolliset muodonmuutokset.

#### 4.4 Terät

Katkaisuteränä on tavallinen sirkkelin terä, mutta salvosten tekoon käytetään erityistä teräpakkaa. Teräpakka koostuu kahdesta normaalista terästä, joiden väliin on sijoitettu S-muotoinen murskain. Näin kolmesta osasta saadaan käytännössä yksi terä, jolla voidaan jyrsiä yhdellä liikkeellä koko tarvittavan salvoksen leveys.

## 4.5 Sylinterit

Sylinterit ovat kaksitoimisia paineilmasyylintereitä. Paineilmaa on halutussa kohteessa helposti saatavana paineilmaverkon kautta, joten erillistä voimanlähdettä sylintereille ei tarvita. Kaksitoiminen tyyppi valittiin sylinterien työsuunnan ja paremman säädettävyyden takia.

## 4.6 Toimilaitteiden mitoitus

### 4.6.1 Hammashihnatyyppin valinta

Laskennallinen teho taulukon 1 mukaisesti.

*Taulukko 1. Moottorin laskennallisen tehon kertoimia hammashihnojen mitoituksessa (OEM Automatic. Hammashihnojen mitoitus- ja laskentakaavat sivu 9:7)*

Tarkan tehokertoimen laskeminen  
Kerros - perusarvo  $K_1$

	Esimerkkejä käytävästä moottorista								
	Sähkömoottori alhaisella käynnimomentilla (1,5 norm. käynnimom.), tasavirta- ja 2-vaihemoottorit. Polttomoottori 8 tai useampi syl. Vesil- ja höyryturbiinit.			Vaihto- ja tasavirtamoott. normaalia käynnilysmomentilla, 1,5-2,5 x norm. käynnimom. Eristetty oikosukku-tasavirta moottori. 4-6 syl. polttomoottorit.			Vaihto- ja tasavirtamoott. korkealla käynnimom. yli 2,5 x norm. käynnimom. 1-vaihe ja synkronn. korke. vääntömomentilla. Vaihtovirta, jarrumoott. Poltto-moott. 4 syl. saakka. Hydraulikkamoottorit.		
	Käyttötunteja/päivä, h								
Esimerkkejä käytävästä laitteesta	... 5	5-16	yli 16	...5	6-16	yli 16	... 5	6-16	yli 16
Konttorikoneet: Kirjoitus- ja laskukoneet Kamerat, kodinkoneet Takometrit Laskurit	1,0	1,2	1,4	1,2	1,4	1,6	1,4	1,6	1,8
Puuntyöstökoneet: sorvit, höyläkoneet, pyörö- ja vannesahat Painokoneet Sellu- ja paperikoneet Tuuletin 10 kW saakka	1,2	1,4	1,6	1,4	1,6	1,8	1,6	1,8	2,0
Työstökoneet: porat, sorvit, hiomakoneet, pienet jrsimet ja höylät Tekstiilikoneet: puolau-, punonta-, kehruu- ja kudontakoneet Pesukoneet Lävistys- ja puristuskoneet sekä leikkurit	1,3	1,5	1,7	1,5	1,7	1,9	1,7	1,9	2,1
Raskaat sellu- ja paperikoneet: sekoittimet, holanterit	1,4	1,6	1,8	1,6	1,8	2,0	1,8	2,0	2,2

Kerros - kiristyspyörä  $K_2$

Kiristyspyörän sijoitus	$K_2$
Sisäpuolinen ei vetävällä puolella	0,0
Ulkopuolinen ei vetävällä puolella	0,1
Sisäpuolinen vetävällä puolella	0,1
Ulkopuolinen vetävällä puolella	0,2

Kosketuskerros  $K_m$

Vetävien hampaiden lukumäärä	$K_m$
$\geq 6$	1,0
5	0,8
4	0,6
3	0,4
2	0,2

Kerros - välitys  $K_3$

Välitys	$K_3$
1,00-1,24	0,0
1,24-1,74	0,1
1,74-2,49	0,2
2,49-3,49	0,3
>3,49	0,4

Tehokerros  $P_k$

$$P_k = P_m (K_1 + K_2 + K_3) / K_m$$



Mitoituksessa käytettävä moottorin laskennallinen teho  $P_k$  saadaan yhtälöstä 1.

$$P_k = P_m * (K_1 + K_2 + K_3) / K_m \quad (1)$$

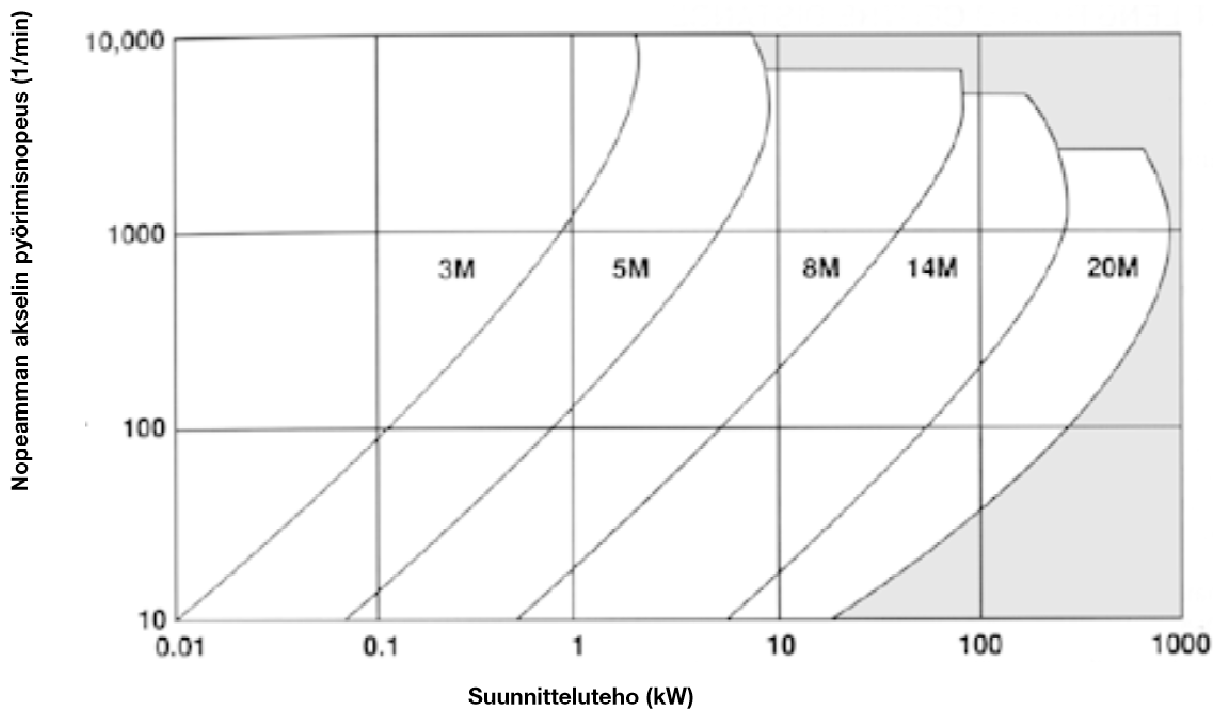
Yhtälössä 1 moottorin teho on  $P_m$ , perusarvokerroin on  $K_1$ , kiristyspyöräkerroin on  $K_2$ , välityskerroin on  $K_3$  ja kosketuskerroin on  $K_m$ .

- $P_m = 3 \text{ kW}$
- $K_1 = 2$
- $K_2 = 0$
- $K_3 = 0$
- $K_m = 1$

$$P_k = 6 \text{ kW}$$

Valitaan taulukosta 2 hihnatyypiksi HTD 8 mm jaolla.

*Taulukko 2. HTD-hihnan hammasjaon valintakäyrästä (SKS Mekaniikka. Gates Hammashihnakäytön suunnitteluopas. 1999, sivu 21)*



Maksimi hammaspyörän halkaisija on 78 mm. Taulukosta 3 valitaan 30 hampainen hammaspyörä.

*Taulukko 3. Suositeltavat HTD-pyöräkoot (SKS Mekaniikka. Gates Hammashihnakäytön suunnitteluopas. 1999, sivu148)*

Hammas- luku	Ulko- halkaisija (mm)	Laipan halkaisija (mm)	Suurin poraus (mm) Hihnan vakioleveys (mm)				Pyörän + navan leveys (mm)			
			20	30	50	85	20	30	50	85
22	54,65	60	25,0	25,0	28,0	28,0	38,0	48,0	70,0	105,0
24	59,75	66	28,0	28,0	28,0	30,0	38,0	48,0	70,0	105,0
26	64,84	71	30,0	30,0	30,0	32,0	38,0	48,0	70,0	105,0
28	70,08	75	30,0	30,0	30,0	32,0	38,0	48,0	70,0	105,0
30	75,13	83	32,0	32,0	32,0	32,0	38,0	48,0	70,0	105,0
32	80,16	87	35,0	35,0	35,0	35,0	38,0	48,0	70,0	105,0
34	85,22	91	42,0	42,0	42,0	42,0	38,0	48,0	70,0	105,0
36	90,30	98,5	42,0	42,0	42,0	42,0	38,0	48,0	70,0	105,0
38	95,39	103	45,0	45,0	45,0	45,0	38,0	48,0	70,0	105,0
40	100,49	106	45,0	45,0	45,0	45,0	38,0	48,0	70,0	105,0
44	110,67	119	45,0	45,0	45,0	45,0	38,0	48,0	70,0	105,0
48	120,86	127	45,0	45,0	45,0	45,0	38,0	48,0	70,0	105,0
56	141,23	148	45,0	50,0	50,0	45,0	38,0	48,0	60,0	105,0
64	161,60	168	45,0	50,0	60,0	60,0	38,0	48,0	60,0	95,0
72	181,97	192	45,0	55,0	60,0	65,0	38,0	48,0	60,0	95,0
80	202,35		50,0	60,0	65,0	65,0	38,0	48,0	60,0	95,0
90	227,81		50,0	60,0	65,0	65,0	38,0	48,0	60,0	95,0
112	283,83		50,0	60,0	65,0	65,0	38,0	48,0	60,0	95,0
144	365,32		50,0	60,0	65,0	70,0	38,0	48,0	60,0	95,0
168	426,44		60,0	60,0	70,0	70,0	38,0	48,0	60,0	95,0
192	487,55		60,0	60,0	70,0	70,0	38,0	48,0	60,0	95,0

Valitaan taulukosta 4 hinnan leveydeksi 20 mm.

Taulukko 4. Tehotaulukko 8 mm jaolla oleville hammashihnoille (SKS Mekaniikka. Gates Hammashihnakäytön suunnitteluopas. 1999, sivu 133)

Nop- ampi akseli (1/min)	Pienemmän pyörän hammasluku															
	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	44	48	56	64	72	80
	Pyörän jakohalkaisija (mm)															
	56,02	61,12	66,21	71,30	76,39	81,49	86,58	91,67	96,77	101,86	112,05	122,23	142,60	162,97	183,35	203,72
10	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,06	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11
20	0,03	0,04	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,11	0,11	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,23
50	0,08	0,09	0,11	0,13	0,16	0,18	0,21	0,23	0,27	0,28	0,31	0,34	0,40	0,45	0,51	0,56
100	0,16	0,19	0,22	0,27	0,31	0,36	0,41	0,47	0,54	0,56	0,62	0,68	0,79	0,90	1,02	1,13
200	0,33	0,37	0,45	0,53	0,62	0,72	0,82	0,93	1,05	1,13	1,24	1,34	1,54	1,73	1,93	2,12
300	0,49	0,53	0,65	0,77	0,90	1,04	1,19	1,34	1,51	1,64	1,78	1,93	2,21	2,50	2,77	3,05
400	0,65	0,71	0,84	0,99	1,16	1,34	1,54	1,74	1,96	2,12	2,31	2,50	2,87	3,23	3,59	3,94
500	0,81	0,89	1,02	1,21	1,42	1,64	1,88	2,13	2,40	2,59	2,82	3,05	3,50	3,94	4,37	4,80
600	0,98	1,07	1,21	1,43	1,68	1,94	2,21	2,51	2,82	3,05	3,32	3,59	4,11	4,63	5,13	5,63
730	1,19	1,30	1,44	1,71	2,00	2,31	2,64	2,98	3,36	3,63	3,95	4,27	4,89	5,50	6,09	6,68
800	1,30	1,42	1,56	1,85	2,17	2,50	2,86	3,24	3,64	3,94	4,28	4,63	5,30	5,95	6,60	7,23
870	1,42	1,54	1,68	1,99	2,34	2,70	3,08	3,49	3,93	4,24	4,61	4,98	5,70	6,41	7,09	7,76
970	1,58	1,72	1,86	2,20	2,57	2,97	3,39	3,84	4,32	4,67	5,08	5,48	6,27	7,04	7,79	8,52
1000	1,63	1,77	1,92	2,26	2,64	3,05	3,49	3,95	4,44	4,80	5,22	5,63	6,44	7,23	7,99	8,74
1170	1,90	2,07	2,25	2,59	3,04	3,51	4,00	4,53	5,10	5,51	5,98	6,45	7,37	8,26	9,13	9,96
1200	1,95	2,13	2,30	2,65	3,11	3,59	4,09	4,63	5,21	5,63	6,12	6,60	7,53	8,44	9,32	10,17
1460	2,37	2,58	2,80	3,15	3,69	4,26	4,86	5,50	6,19	6,68	7,25	7,81	8,90	9,95	10,95	11,92
1600	2,60	2,83	3,06	3,41	4,00	4,61	5,26	5,95	6,70	7,23	7,84	8,44	9,61	10,72	11,79	12,80
1750	2,84	3,09	3,34	3,69	4,32	4,98	5,69	6,43	7,23	7,80	8,46	9,10	10,35	11,53	12,64	13,70
2000	3,24	3,52	3,81	4,18	4,85	5,59	6,37	7,21	8,11	8,74	9,47	10,17	11,53	12,80	13,99	15,08
2500	4,03	4,38	4,74	5,19	5,86	6,75	7,69	8,69	9,77	10,52	11,36	12,17	13,70	15,08	16,32	17,40
2920	4,68	5,09	5,50	6,02	6,66	7,66	8,73	9,86	11,08	11,92	12,84	13,71	15,31	16,71	17,89	18,83
3500					7,71	8,85	10,07	11,36	12,75	13,70	14,68	15,60	17,20	18,47		
4000						9,79	11,13	12,55	14,07	15,08	16,09	16,99	18,47			
4500							12,10	13,62	15,26	16,32	17,30	18,14				
5000								14,57	16,30	17,40	18,31	19,04				
5500									17,20	18,31	19,10					
6000										17,95	19,04	19,65				

Hihnatyyppi teräpään voimansiirrossa on siis HTD-hihna, jako 8 mm ja leveys 20 mm.

#### 4.6.2 Paineilmasyylinterien valinta

Lasketaan likimääräinen terän ja terävarren aiheuttama momentti yhtälöllä 2.

$$M = F * L$$

(2)

Yhtälössä 2 momentti on  $M$ , momenttivarsi on  $L$  ja voima on  $F$

$$- L = 0,6 \text{ m}$$

$$- F = 120 \text{ N}$$

$$M = 72 \text{ Nm}$$

Lasketaan likimääräinen sylinterin tuottama momentti yhtälöllä 3.

$$M = F * Q * L \quad (3)$$

Yhtälössä 3  $M$  on momentti, momenttivarsi on  $L_s$ , sylinterin kulma on  $Q$  ja voima on  $F$ .

$$- L_s = 0,2 \text{ m}$$

$$- Q = 45 \text{ astetta}$$

Sylinterin halkaisija ja voima  $F$  taulukosta 5. (PCM Polarteknik. Tuoteluettelo pneumatiikka. 2009. sivu 1)

Taulukko 5. Eri halkaisijoilla olevien paineilmasylinterien tuottama voima

Sylinteri Ø	Männänvarsi Ø	Liitännätkoko	Männän p-ala cm <sup>2</sup>		Voima N / 6 bar		Vaimennus	
			+liike	- liike	+liike	- liike	pituus mm	p-ala cm <sup>2</sup>
32	12	G 1/8	8,0	6,9	470	410	25	6,0
40	16	G 1/4	12,6	10,6	750	630	28	9,4
50	20	G 1/4	19,6	16,5	1170	980	28	14,7
63	20	G 3/8	31,2	28,1	1860	1650	31	26,5
80	25	G 3/8	50,3	45,4	3000	2650	40	43,2
100	25	G 1/2	78,5	73,5	4700	4300	43	71,4
125	32	G 1/2	122,7	114,7	7300	6800	38	110,0
160	40	G 3/4	201,1	188,5	12000	11100	48	181,0
200	40	G 3/4	314,2	301,6	18800	18000	48	295,0
250	50	G 1	490,8	471,2	29400	28200	53	443,0
320	63	G 1	804,2	773,0	48200	46300	53	756,0

Valitaan sylinterin halkaisijaksi  $40 \text{ mm}$  ja  $F = 630 \text{ N}$ .

$$M = 89 \text{ Nm}$$

Halkaisijaltaan  $40 \text{ mm}$  sylinteriltä saatu  $89 \text{ Nm}$  momentti riittää kumoamaan terän ja terävarren aiheuttaman  $72 \text{ Nm}$  momentin.

## 5 TULOSTEN TARKASTELU

Laitteen suunnitellut ominaisuudet täyttävät laaditun vaatimuslistan toiminnot haluttujen muotoiluominaisuuksien sekä automaation tason suhteen. Toivomuslistan ominaisuuksista vain paineilman hyväksikäyttö voidaan katsoa täysin sisältyvän laitteen ominaisuuksiin. Tuotantonopeus riippuu lopulta kuinka nopeasti teräpää voi työstää puuta työstöjäljen kärsimättä liikaa. Laitteessa voi työstää kerrallaan noin 40 cm leveää nippua, joten verrattuna aikaisempiin valmistusmenetelmiin laitteen nopeus on joka tapauksessa moninkertainen.

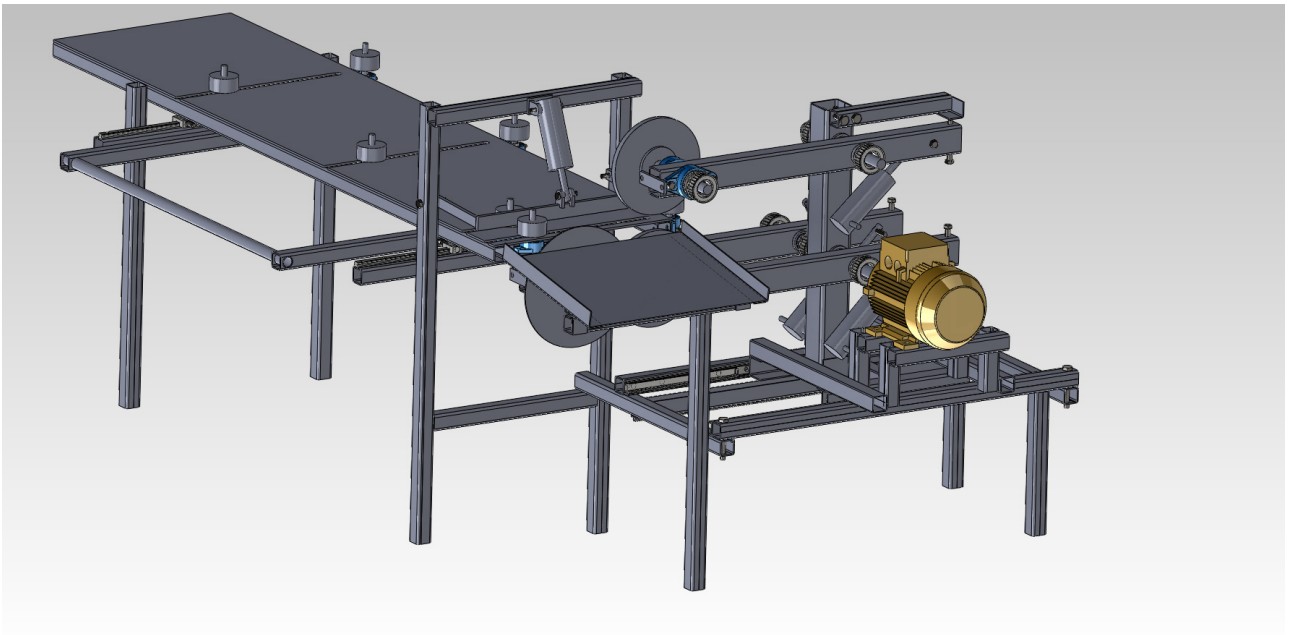
Suunniteltu laite vaatisi käytännön kokeita, jotta sen toiminnasta voitaisiin varmistua. Vasta koekäytön ja tulosten analysoinnin jälkeen mahdollisiin ongelmakohtiin pystyttäisiin vaikuttamaan. Vaadituista ominaisuuksista mittatarkkuuteen ei kyseisellä laitteella todennäköisesti päästä. Suurimpia tarkkuuteen vaikuttavia tekijöitä olisivat servojen, johteiden ja laakeroinnin tarkkuus, terävarsien vapaapituus sekä laitteen värinät. Näistä johteiden, servojen ja laakeroinnin korvaaminen vastaavilla tarkemmilla osilla, tarkkuutta pystytään parantamaan. Samalla kuitenkin laitteen hinta nousisi. Laitteen vapaapituuksia ei yksinkertaisilla muutoksilla nykyisessä mekaniikassa juurikaan pystytä lyhentämään. Laitteen värinöitä voidaan hillitä yksinkertaisimmillaan kasvattamalla rakenneosien materiaavahvuutta. Erilaisten materiaalien käytöllä teräkelkan rakenteissa värinöitä pystyttäisiin myös eliminoidaan. Syöttöpöydän mekaniikan toimivuutta voidaan arvioida kunnolla vain varsinaisen laitteen avulla. Laitetta voidaan ennemminkin pitää säädettävänä prototyyppinä, kuin täysin valmiina tuotteena.

### 5.1 Jatkokehityskohteet

- 1) Toivelistalla oleva värikoodauksen lisääminen.
- 2) Koneen työstötarkkuuden sekä syöttömekaniikan tarkkuuden parantaminen.
- 3) Pyörivien osien suojaaminen puunkappaleilta sekä lastuilta.
- 4) Turvalaitteiden kehittäminen estämään onnettomuuksia ja väärinkäyttöjä.

## 6 YHTEENVETO

Laitteen suunnittelussa onnistuttiin löytämään ratkaisut tärkeimpiin toimintoihin, sekä luomaan yhtenäinen 3D-malli koneesta (kuva 14). Osa suunnitellun mallin mekaanisista ratkaisuista kuitenkin vaatisi testausta, jotta toimivuudesta saataisiin varmuus. Laitteen suunnittelussa on kuitenkin huomioitu suuri liikkuvien osien määrä sekä prototyypin puuttumisen aiheuttama testausongelma. Mahdolliset ongelmakohdat on pyritty suunnittelemaan helposti muunnettaviksi erityyppiselle tai erikokoiselle osalle kiinnittämällä huomiota osien kiinnityksiin, materiavahvuuksiin sekä tilantarpeeseen. Koneen rakenteesta aiheutuvien värinöiden vaikutus laitteen mittatarkkuuteen vaatisi myös testausta. Laite vaatii lisäksi vielä erilaisia terien ja hihnojen suojuksia, sillä pelkkä suunniteltu toiminnallinen rakenne on varsin paljas sekä vaarallinen ilman suojausta. Suunnitellun mallin voidaan katsoa olevan ennemminkin prototyyppi säätömahdollisuuksineen, kuin täysin valmis tuote.



**Kuva 14.** Laite kokonaisuudessaan.

## LÄHTEET

Pahl G. Beitz W. Feldhusen J. Grote K.-H., 2007. Engineering Design: A Systematic Approach. London, Springer

OEM Automatic. Hammashihnojen mitoitus- ja laskentakaavat [verkkajulkaisu]. (Julkaisuaika tuntematon), viitattu 28.10.2012. Saatavissa:

[http://www.oem.se/aut/oem\\_aut/oem\\_aut\\_fi/PDF/moottori/mitoitus\\_laskentakaavat.pdf](http://www.oem.se/aut/oem_aut/oem_aut_fi/PDF/moottori/mitoitus_laskentakaavat.pdf)

SKS Mekaniikka. Gates Hammashihnakäytön suunnitteluopas [verkkajulkaisu]. Julkaistu 1999, viitattu 2.11.2012. Saatavissa:

[http://www.sks.fi/download/sks\\_gates\\_hammashihnakayton\\_suunnitteluopas/\\$file/hammashihnakayton\\_suunnitteluopas\\_1015684.pdf](http://www.sks.fi/download/sks_gates_hammashihnakayton_suunnitteluopas/$file/hammashihnakayton_suunnitteluopas_1015684.pdf)

SKS Mekaniikka. Gates Hammashihnakäytön suunnitteluopas määrämittaiset hinnat [verkkajulkaisu]. Julkaistu 1999, viitattu 2.11.2012. Saatavissa:

[http://www.sks.fi/download/sks\\_gates\\_hammashihnakayton\\_suunnitteluopas\\_maaramittaiset\\_hinnat/\\$file/Hammashihnakaytonsuunnitteluopas1023251.pdf](http://www.sks.fi/download/sks_gates_hammashihnakayton_suunnitteluopas_maaramittaiset_hinnat/$file/Hammashihnakaytonsuunnitteluopas1023251.pdf)

SKS Mekaniikka. Gates PowerGrip® GT3-hammashihnakäytöt ja HTD®-hammashihnapyörät [verkkajulkaisu]. Julkaistu 2008, viitattu 2.11.2012. Saatavissa:

[http://www.sks.fi/download/sks\\_gates\\_powergrip\\_GT3\\_hammashihnakaytot\\_ja\\_HTD\\_hammashihnapyorat/\\$file/GT3\\_hammashihnakaytot\\_1129813\\_08.pdf](http://www.sks.fi/download/sks_gates_powergrip_GT3_hammashihnakaytot_ja_HTD_hammashihnapyorat/$file/GT3_hammashihnakaytot_1129813_08.pdf)

PCM Polarteknik. Tuoteluettelo pneumatiikka [verkkajulkaisu]. Julkaistu 2009, viitattu 4.11.2012. Saatavissa:

[http://archive.pmcpolarteknik.com/files/price\\_lists/Pneumatiikka\\_tuoteluettelo\\_2009.pdf](http://archive.pmcpolarteknik.com/files/price_lists/Pneumatiikka_tuoteluettelo_2009.pdf)

Ruukki. Teräspuutket Rakenneputket Poikkileikkausarvot [verkkajulkaisu]. Julkaistu 2011, viitattu 10.9.2012. Saatavissa:

<http://www.ruukki.fi/~media/Finland/Files/Terastuotteet/Puutket%20ja%20profiilit%20data%20sheets/Ruukki-Rakenneputkien-poikkileikkausarvot.ashx>