

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU  
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma  
Lentokonetekniikka

Tutkintotyö



Jaakko Haapasalmi

# TYÖNTÖLAITE TEOLLISUUDEN TYÖKONEIDEN LIIKUTTAMISEEN

Työn ohjaaja Yliopettaja Heikki Aalto  
Tampere syksy 2006

## ALKUSANAT

Idean opinnäytetyöhöni antoi entinen esimieheni, espanjalaista erikoiskuljetusliikettä pyörittävä herrasmies. Jo työharjoitteluaikanani hän usein valitti koneiden työntämisestä väsynyttä selkäänsä ja haaveili laitteesta, joka siirtäisi koneita hänen puolestaan. ”Olenhan minä kysellyt noilta insinööreiltä, mutta tulisi kuulemma niin kalliiksi” hän sanoi. Tuohon aikaan ajattelin, että kai se asia sitten niin on, jos kerran insinöörit niin sanoo. Opintojen loppuvaiheessa, miettiessäni aihetta päättötyöhöni, mieleeni palasivat nuo sanat. Tämä jos mikä olisi hyvä tilaisuus näyttää suomalaisen insinööriopiskelijan kykyjä.

Opinnäytetyötäni seuranneet henkilöt jakautuivat kahteen ryhmään, toiset uskoivat siihen ja toiset epäilivät, ettei idea toimisi ikinä. ”Mutta antaapa pojan kokeilla”.

Haluankin kiittää kaikkia, jotka uskoivat ideani toimivuuteen ja kannustivat minua yrittämään.

E erityisesti haluan kiittää heitä, jotka epäilivät ideaani: mikään ei ole suurempi kannustin kuin kokenut insinööri, jota vastaan väitellä.

Olen saanut suurta apua Tampereen ammattikorkeakoulun henkilökunnalta, perheeltäni ja ystäviltäni.

Kiitos

Tampere, 20.9.2006

Jaakko Haapasalmi

TAMPEREEN AMMATTIKORKEAKOULU

Kone- ja tuotantotekniikka

Lentokonetekniikka

Haapasalmi, Jaakko

Tutkintotyö

Työn ohjaaja

Työn teettäjä

Elokuu 2006

Työntölaite teollisuuden työkoneiden siirtämiseen

35 sivua + 4 liitesivua

Yliopettaja Heikki Aalto

Transportes Baños S.L.

## TIIVISTELMÄ

Tämä opinnäytetyö on tehty toimeksiantona espanjalaiselle erikoiskuljetusyritykselle, joka kuljettaa erilaisia teollisuuden työkoneita, kuten automaattisorveja, prässejä (puristimia) ja sahoja. Kuljetettuaan työkoneet määränpäähänsä, ne lasketaan pyörille ja työnnetään käsin paikoilleen.

Toimeksiantona oli rakentaa laite, jolla voitaisiin siirtää pyörillä olevia työkoneita ja näin vähentää tarvittavan miestyövoiman määrää sekä parantaa työturvallisuutta. Työturvallisuuden parantaminen oli tärkeä osa projektia sillä noin neljännes teollisuudessa raportoiduista tapaturmista liittyy kappaletavaran tai tuotteen käsittelyyn käsin. Opinnäytetyö on ollut täydellinen ideasta tuotteeksi -projekti. Laitteen toimintaperiaate ja rakenne ovat täysin työn suorittaneen opiskelijan suunnittelemat. Suunnittelussa käytettiin sekä nykyaikaista 3D-mallinnusohjelmaa että perinteisiä insinöörin rakennelaskuja. Tietoa laitteen vaatimuksista ja toimintaympäristöstä kerättiin työharjoittelujakson yhteydessä kesällä 2005. Laite rakennettiin itsenäisesti Tampereen ammattikorkeakoulun metallityöpajassa.

Valmis laite kuljetettiin Espanjaan, jossa sen toimintaa kokeiltiin kesällä 2006 eri käytännön tilanteissa. Laite toimii vaatimusten mukaisesti ja täyttää sille alussa asetetut tavoitteet.

Määränpäässään työni sai paljon kiitosta ja laite herätti kiinnostusta myös muissa teollisuuden yritysissä.

Laitteesta on olemassa tarkat piirustukset ja suunnitelmat, joten useampiakin laitteita on mahdollista rakentaa tulevaisuudessa, mikäli tarvetta esiintyy.

TAMPERE POLYTECHNIC

Mechanical and Production Engineering

Aeronautical Engineering

Haapasalmi, Jaakko

Engineering Thesis

Thesis Supervisor

Commissioning Company

August 2006

Pusher machine for moving industrial machines

35 pages + 4 appendices

Heikki Aalto

Transportes Baños S.L

## ABSTRACT

This thesis has been made a commission by a Spanish transportation company. The company delivers industrial machinery, such as automatic lathes, presses, and industrial saws. When a machine is delivered to its destination, it is laid on wheels and pushed to a desired location by hand.

Commission was to build a machine that would move and maneuver these industrial machines once they are mounted on transportation wheels. This would reduce the manpower needed in the operation and increase the safety at work.

Improving the safety at work was very important part of the project, hence one fourth of the accidents reported in industry are related to moving and maneuvering products.

This thesis has been a complete "from idea to finished product" -project.

The principle of operation and the structure of the machine have been fully designed by the student at issue.

Both, modern 3D –modeling as well as traditional engineering calculations, have been used in the design.

The machine has been built in the workshop of Tampere polytechnic university by the student at issue.

The information of the requirements and the operation environment of the machine have been collected during the practical training period in summer 2005.

In summer 2006, the machine was transported to Spain where the functioning of the machine has been tested in different situations.

The machine is working as it was required and it has reached the goals set at the beginning.

The client was very pleased of the machine and many other companies showed their interest for the machine also. The 3D-drawings and the plans of the machine make further production possible if needed in future.

## SISÄLLYSLUETTELO

### ALKUSANAT

### TIIVISTELMÄ

### ABSTRACT

<b>SISÄLLYSLUETTELO .....</b>	<b>5</b>
<b>1 JOHDANTO.....</b>	<b>7</b>
<b>2 TYÖTURVALLISUUS JA TAAKAN KÄSITTELY TEOLLISUUDESSA .....</b>	<b>7</b>
<b>3 SUUNNITTELU .....</b>	<b>8</b>
3.1 Eri vaihtoehdot.....	9
3.2 Vetäminen.....	9
3.3 Koneen painon hyödyntäminen .....	9
3.4 Työntäminen .....	10
3.4.1 Kiilaus .....	10
3.4.2 Momentti .....	11
<b>4 MOMENTTILUKKO.....</b>	<b>11</b>
<b>5 TYÖNTÖLAITTEEN OMINAISUUDET .....</b>	<b>13</b>
5.1 Työntövoima .....	13
5.2 Laitteen työntönopeus .....	14
<b>6 KÄYTTÖVOIMA .....</b>	<b>15</b>
6.1 Paineilma .....	15
6.2 Sähkö.....	15
6.2.1 Akkuporakone.....	17
6.2.2 Moottorin testaus .....	17
6.2.3 Kokeen tulokset .....	19
<b>7 PROJEKTIN TILANNE.....</b>	<b>19</b>
<b>8 RAKENTEEN SUUNNITTELU .....</b>	<b>19</b>
<b>9 MATERIAALIHANKINNAT .....</b>	<b>21</b>
9.1 Renkaat .....	22
9.2 Laakerointi .....	22
<b>10 RUNGON RAKENTAMINEN.....</b>	<b>22</b>
<b>11 TAKA-AKSELI .....</b>	<b>23</b>
<b>12 PROJEKTIN TILANNE.....</b>	<b>25</b>
<b>13 MOOTTORI .....</b>	<b>25</b>
13.1 Moottori löytyy.....	25
13.2 Moottorin lähtömomentti .....	27
13.3 Moottorin sovitus.....	27

<b>14 ALENNUSVAIHTTEISTO.....</b>	<b>28</b>
14.1 Alennusvaihteiston rakenne.....	28
14.2 Alennusvaihteiston rakentaminen.....	29
<b>15 RUNGON VIIMEISET OSAT.....</b>	<b>30</b>
15.1 Akkuteline ja akut.....	30
15.2 Ohjaussauva.....	31
<b>16 SÄHKÖT.....</b>	<b>31</b>
16.1 Nopeudensäätimen toiminta.....	33
<b>17 RUNGON VIIMEISTELY JA KOEAJO.....</b>	<b>33</b>
<b>18 TYÖNTÖLAITE TOIMINNASSA.....</b>	<b>33</b>
18.1 Ensimmäinen käytännön kokeilu.....	34
18.2 Toinen käytännön kokeilu.....	35
<b>19 LOPPUPÄÄTELMÄT.....</b>	<b>36</b>
<b>LÄHDELUETTELO.....</b>	<b>37</b>
<b>LIITTEET</b>	
<b>1 Taka-akselin vääntöjännityksen laskeminen</b>	
<b>2 Välityssuhteiden laskeminen</b>	
<b>3 Kuvia alennusvaihteiston rakentamisesta</b>	
<b>4 Kuvia valmiista koneesta</b>	

## 1 JOHDANTO

Tutkintotyö on tehty toimeksiantona espanjalaiselle kuljetusyritykselle, joka siirtää ja kuljettaa erilaisia metallintyöstökoneita Katalonian alueella. Kalustona yrityksellä on kuorma-auto, joka on varustettu 10 tonnin nosturilla.

Siirrettävät koneet lasketaan määränpäässä pyörille ja työnnetään haluttuun paikkaan. Alustana ovat hallien erilaiset betonilattiat ja asfaltti.

Koneiden työntäminen tapahtuu useimmiten käsin ja työntämiseen tarvitaan useita henkilöitä, riippuen koneen koosta ja painosta. Aina tarvitaan kuitenkin vähintään kolme henkilöä.

Toimeksiantona on rakentaa laite, joka suorittaa kuljetettavien koneiden liikuttamisen ja täten vähentää siirrossa tarvittavien henkilöiden määrää ja parantaa työturvallisuutta.

Ensimmäisenä vaatimuksena laitteelle on työntö- /vetovoima, laitteen tulisi pystyä siirtämään vähintään 5000 kg:n painoisia koneita. Toisena vaatimuksena on mahdollisimman pieni koko ja paino, jotta laite olisi tarvittaessa siirrettävissä henkilöauton tavaratilassa. Kolmantena vaatimuksena ovat mahdollisimman pienet valmistuskustannukset.

Opiskelijan näkökulmasta tavoitteena on saada kokemusta koneensuunnittelusta ja 3D-mallintamisesta sekä pitää yllä ja kehittää kädentaitoja.

Vastaavaan käyttötarkoitukseen rakennettuja laitteita on markkinoilla, mutta ne eivät täytä yllä olevia vaatimuksia, yleensä koon ja painon takia.

## 2 TYÖTURVALLISUUS JA TAAKAN KÄSITTELY TEOLLISUUDESSA

Toimeksiantoyrityksen työntekijät kärsivät jatkuvasti erilaisista selkä- ja hartia säryistä. Säryistä johtuvia poissaoloja syntyy usein ja tämä vaikuttaa työtulokseen. Tästä syystä yksi projektin tärkeimpiä tavoitteita oli juuri työturvallisuuden parantaminen.

Lähes jokaisella teollisuudenalalla joudutaan käsittelemään tuotteita tai raaka-aineita käsin, ainakin jossain tuotantovaiheessa.

Noin neljännes teollisuudessa raportoiduista tapaturmista liittyy kappaletavaran tai tuotteen käsittelyyn käsin. Yhden vuoden aikana sattuneita tavarankäsittelytapaturmia tarkasteltaessa on havaittu, että:

- 50 % tapaturmista liittyy selkään
- 30 % on hartian, käsivarren tai selän rasitusoireita tai nyrjähdyksiä
- asentajan, tavarankäsittelijän ja koneenkäyttäjän työtehtävissä sattuu eniten tapaturmia tavarankäsittelyssä ja siirtämisessä.

Selkätapaturmien ja tavaran käsittelyn yhteyttä tutkittaessa on havaittu, että:

- nostaminen ja kantaminen liittyvät 49–60 %:iin tapaturmista ja
- epämukavat työasennot liittyvät 12–19 %:iin tapaturmista.

*/6/* Teollisuusergonomia

### 3 SUUNNITTELU

Koneen tai laitteen suunnittelu ei ole helppo urakka, etenkin valmistumaisillaan olevalle nuorelle insinöörille. Nelivuotisen koneinsinöörin koulutuksen aikana käydyt kurssit ovat valmentaneet ja antaneet hyvän perustiedon ja pohjan suunnittelulle, mutta varsinaiseen koneenrakennukseen on harvoin päästy tutustumaan.

Erilaisia rakenteita, komponentteja ja materiaaleja on opiskeltu ja matemaattiset aineet, kuten lujuusoppi, statiikka ja dynamiikka ovat kehittäneet suunnittelutaitoja.

Alettaessa suunnitella ensimmäistä konetta, joutuu usein palaamaan vanhoihin muistiinpanoihin ja etsimään unohtumaan päässeitä kaavoja ja ratkaisuja.

Voisi sanoa, että vasta todellisessa suunnittelutehtävässä ymmärtää useita kaavoja ja asioita joita on opiskellut. Opiskeluaikana ei tule suurta vahinkoa, mikäli laskut tai kokeet ovat menneet pieleen, ainoastaan numerossa näkyy. Suunniteltaessa todelliseen käyttöön tulevaa laitetta täytyisikin aina olla oikeassa, eikä virheitä saisi juuri tehdä. Nuorelle insinöörille saattaa tulla tästä epävarma olo ja syntyä paineita.

Suunnittelutehtävässä olevan insinöörin täytyykin olla itsevarma ja uskoa omiin kykyihinsä. Lähes aina suunnittelussa ja rakentamisessa on olemassa useita erilaisia ratkaisuja ja liikaa neuvoja kysellessä saattavat asiat vain sekavoitua liikaa.

Opinnäytetyönä itsenäisesti suunniteltava laite onkin erittäin hyvää valmennusta insinöörin tehtäviin, koska vielä on varaa pieniin virheisiin ja lopulta onnistuessa valmistuva insinööri saa paljon luottamusta omiin kykyihinsä.

#### **Intuitio**

Intuitio tarkoittaa alitajunnan käyttöä tietoisien tajunnan rinnalla. Ongelma on siinä, ettemme koskaan voi tiedostaa alitajunnan sisältöä, emmekä näin ollen voi täsmällisesti määrittellä sitä. Me voimme kuitenkin lisätä kykyämme ohjata sitä aktiivisesti ja näin lisätä luovuuttamme. */7/*

#### **Heureka**

Paneutuessamme ongelman ratkaisun löytymiseen, me tutkimme kriittisesti ja analyyttisesti käytettävissä olevaa tietoa. Kun tämä ei vie aivan perille saakka, me teemme



kokeita ja havaintoja ongelman alueelta ja analysoimme niiden tuloksista uutta tietoa. Uusi tieto yhdistettynä vanhaan kokonaisuuteen pitäisi viedä ratkaisuun. Joskus näin käykin, mutta usein joudumme jatkamaan työtä viikosta toiseen, eikä ratkaisu nouse näköpiiriin. Sitten jonain rentoutumishetkenä, kävelyllä, saunassa, partaa ajettaessa tai missä tahansa ratkaisu saattaa välähtää mieleen täysin kirkkaana, vaikka emme sitä juuri silloin tietoisesti ajatelleetkaan. Tapahtuu Heureka-ilmiö. */7/*  
Juuri näin tapahtui, suunniteltaessa tämän laitteen toimintaa.

### 3.1 Eri vaihtoehdot

Ensimmäisenä tehtävänä oli päättää laitteen toimintaperiaate: tapahtuisiko koneiden siirtäminen vetämällä vai työntämällä, vai käytettäisiinkö siirtämiseen jonkinlaista vinssimekanismia.  
Vinssimekanismi hylättiin melko aikaisessa vaiheessa vaikeiden valmistusteknillisten ratkaisujen vuoksi.

Eri vaihtoehtoja suunniteltaessa on käytetty lähteitä */2; 3; 4; 5/*

### 3.2 Vetäminen

Suunnittelun alkuvaiheessa parhaalta ratkaisulta vaikutti koneiden siirtäminen vetämällä. Tähän tarkoitukseen voitaisiin rakentaa veturi, joka kiinnitettäisiin siirrettävään koneeseen taljoilla.  
Veturi ratkaisu vaikutti hyvältä juuri kiinnitystapansa perusteella. Siirrettävät koneet ovat hyvin epäsäännöllisen muotoisia, ja taljoilla kiinnitettävä veturi olisi vaivaton kiinnittää kaiken mallisiin koneisiin.  
Ensimmäiset piirustukset ja laskelmat tehtiin veturilaitteelle, mutta oikeaa ratkaisua oli hyvin vaikea löytää.  
Luonnoksia tehtäessä suurin ongelma oli pidon saaminen renkaille. Veturin pituus ylitti aina vaatimukset, jotta pito renkaissa olisi riittänyt.  
Useiden kokeilujen jälkeen veturiratkaisu piti hylätä ja keksiä muita vaihtoehtoja.

#### 3.2.1 Koneen painon hyödyntäminen

Kuten yllä on mainittu, renkaiden pito oli suurin ongelma vetolaitetta suunniteltaessa. Suunniteltaessa laitetta syntyi ajatus siirrettävän koneen painon hyödyntämisestä pidon aikaansaamiseksi.  
Mikäli konetta haluttiin siirtää vetämällä, täytyisi painava kone laskea vetolaitteen päälle. Tämä vaatisi vetolaitteelta raskasta rakennetta ja erittäin tehokasta moottoria. Toinen vaihtoehto oli siirrettävän koneen kiinnittäminen vetolaitteeseen tukivarsilla, joilla painoa

voitaisiin siirtää vetolaitteelle tarvittava määrä. Tämä vaihtoehto vaatisi hyvin monimutkaisia teknisiä ratkaisuja.

Koneiden siirtäminen vetämällä alkoi tuntua mahdottomalta.

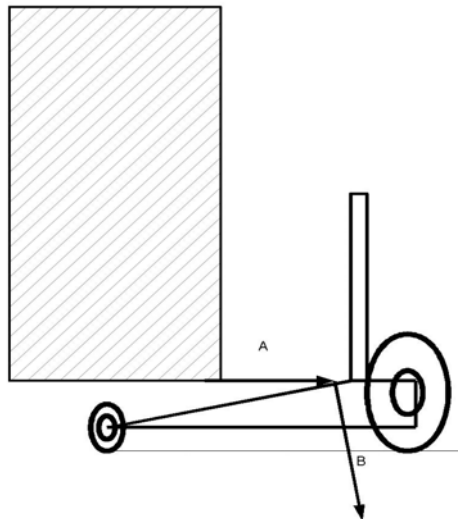
### 3.3 Työntäminen

Kun tarkasteltiin siirrettävän koneen painon hyödyntämistä siirtolaitteella, koneiden siirtäminen työntämällä alkoi vaikuttaa ainoalta vaihtoehdolta.

#### 3.3.1 Kiilaus

Ensimmäinen ajatus oli rakentaa laite, joka kiilautuisi siirrettävän koneen alle, ja täten tarvittava pito saataisiin aikaiseksi.

Laitteesta on hahmotelma kuvassa 1



**Kuva 1** Kiilautuva työntölaite

Laitteen eturenkaat menisivät siirrettävän koneen alle ja laitteen kiilamainen rakenne kiilautuisi koneen pohjaa vasten. (kuvassa 1, nuoli A) Takapyörille kohdistuisi tällöin voima, joka takaisi riittävän pidon renkailla. (kuvassa 1, nuoli B)

Ongelmia alkoi syntyä, kun alettiin miettiä laitteen poistamista siirrettävän koneen alta. Mikäli siirrettävä kone painaisi 5000 kg, ja siirtolaite kiilautuisi koneen alle käyttäen esimerkiksi yhden neljäsosan siirrettävän koneen painosta, olisi mahdotonta poistaa siirtolaitetta koneen alta.

Ratkaisu tähän ongelmaan olisi siirtolaitteen kiilaosan liikutettavuus: kun kone olisi siirretty halutulle paikalle, voitaisiin kiila laskea alas ja siirtolaite poistaa koneen alta.

Tämä ratkaisu tekisi siirtolaitteesta jälleen liian monimutkaisen, joten ajatus hylättiin. Siirrettävien koneiden pohjat ovat hyvin epäsäännöllisiä, ja tämä olisi tuonut lisää ongelmia siirtolaitteelle.

### **3.3.2 Momentti**

Kiilausidean jälkeen syntyi ajatus jonkinlaisen momenttilukon kehittämisestä. Työntävä kone voisi käyttää sekä työntövoimaansa että työnnettävän koneen painoa hyödyksi riittävän pidon saamiseksi. Tämä ajatus vaikutti tähän mennessä parhaalta ja toimivimmalta ratkaisulta ja sitä alettiin todenteolla kehittää ja kokeilla.

## **4 MOMENTTILUKKO**

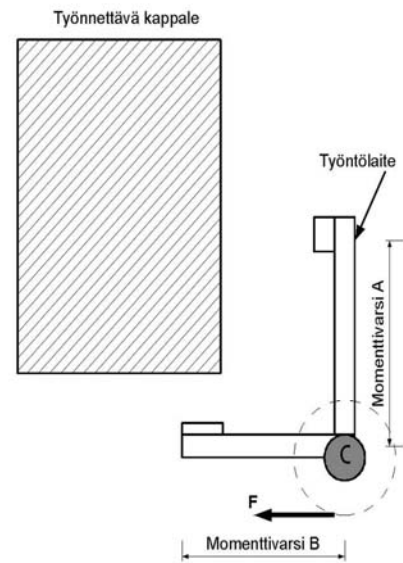
Työnnettävä kone vaatii liikkuaakseen tietyn suuruisen voiman. Liikkumiseen vaadittava voima on huomattavasti pienempi, kuin voima, joka vaadittaisiin koneen nostamiseen maasta. Momenttilukon toimintaperiaate on esitetty, kuvan 2 avulla, vaiheittain seuraavalla sivulla

Vaihe 1

Työntölaite liikkuu esteettä eteenpäin.

Tässä vaiheessa työntölaiteeseen vaikuttaa ainoastaan moottorin synnyttämä voima  $F$ , joka liikuttaa laitetta.

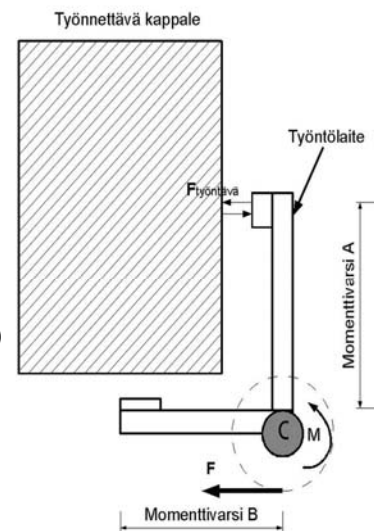
Laitteeseen vaikuttaa myös maan vetovoima, mutta sitä ei ole otettu huomioon momenttilukon toimintaperiaatetta kuvattaessa.



Vaihe 2

Työntölaite kohtaa työnnettävän kappaleen.

Laitteeseen kohdistuu voima  $F_{\text{työntävä}}$ , joka synnyttää momenttivarsi A:n välityksellä momenttivoiman  $M$ . Voima  $M$  alkaa kammata työntölaiteen etureunaa ylös, kohti työnnettävän kappaleen pohjaa. (Voidaan kuvitella, että työntölaite alkaisi pyörimään kuvassa katsottuna myötäpäivään akselin C ympäri.)



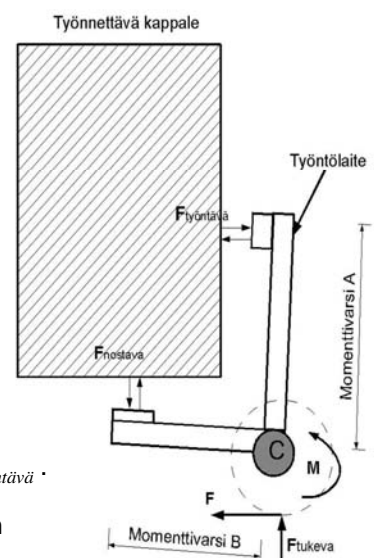
Vaihe 3

Momenttivoiman  $M$  aiheuttama liike estyy työntölaiteen etuosan osuessa työnnettävän kappaleen pohjaan. Syntyy voima  $F_{\text{nostava}}$ , joka yhdessä voiman  $F_{\text{työntävä}}$  -avulla, aiheuttaa voiman  $F_{\text{tukeva}}$ , joka antaa työntölaiteen renkaille lisää pitoa. Työntölaiteen moottorin antama voima  $F$ , liikuttaa laitetta jälleen eteenpäin.

Lyhyesti sanottuna

Työntölaiteen moottori synnyttää työntövoiman  $F_{\text{työntävä}}$ .

Voima aiheuttaa momentin avulla tukivoiman laitteen pyörille, joka kasvattaa pyörien pitoa.



Kuva 2 Momenttilukko

Koska sekä siirrettävien koneiden pyörät että lattioiden pinnanlaadut vaihtelevat huomattavasti, on työntölaitteen momenttivartta  $A$ , säädeltävä tapauskohtaisesti. Näin saadaan tehokkain tulos työntämiseen ja rasitetaan työntölaitteen moottoria mahdollisimman vähän. **/3; 4/**

Valinta

Useiden suunnitelmien ja laskujen, useiden kokeilujen ja pienoismallien sekä useiden huonosti nukuttujen öiden jälkeen päädyttiin työntölaitteeseen, joka käyttää momenttia ja koneen painoa hyväksi parhaan pidon saavuttamiseksi.

Seuraavia suunniteltavia asioita olivat vaadittava työntövoima, laitteen rakenne ja tarvittavat komponentit.

## 5 TYÖNTÖLAITTEEN OMINAISUUDET

### 5.1 Työntövoima

Ensimmäisenä oli laskettava, mitä suuruusluokkaa laitteelta vaadittava työntövoima olisi. Fysiikan kaavoilla laskettuna koneiden liikuttamiseen vaadittava työntövoima oli erittäin epätarkka ja vaihteleva. Laskuja ei voitu pitää luotettavina johtuen eri painoisista ja kokoisista koneista, erilaisista alustapyöristä ja alustamateriaaleista.

Yrityksestä ilmoitettiin, että 5000 kg koneen siirtämiseen tarvitaan neljä tai viisi miestä. Nyt oli selvitettävä, kuinka paljon mies jaksaa työntää.

Digitaalisella henkilövaa'alla ja kolmen eri painoisen miehen avulla kokeiltiin, kuinka suuren lukeman yksi mies saa työnnettyä seinää vasten olevaan vaakaan.

Parhaaksi luotettavaksi tulokseksi saatiin noin 65 kg. Tämä kerrottiin vielä varmuuskertoimella 1,5, joten tulokseksi saatiin 97.5kg.

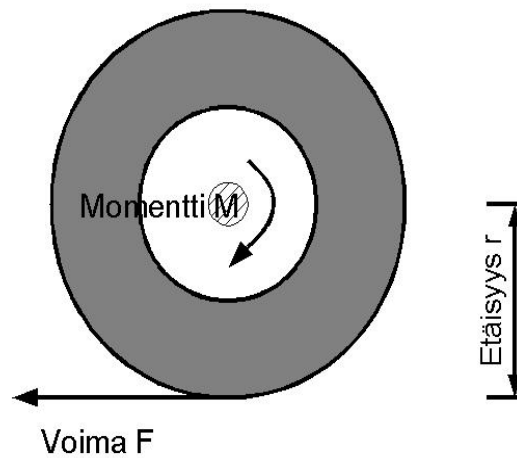
Työntövoimavaatimuksia alettiin siis laskea oletuksella, että mies työntää parhaissa olosuhteissa enimmillään 100 kg.

Viisi miestä työntäisi tällöin yhteensä 500 kg, joka muutettiin voimaksi käyttämällä kerrointa  $1 \text{ kg} = 10 \text{ N}$  ( $1 \text{ kg} = 9,81 \text{ N}$  sijaan). Tämä tehtiin, että vaadittava työntövoima tulisi laskettua mahdollisimman suureksi.

Laitteelta vaadittavaksi maksimityöntövoimaksi saatiin siis 5000 N. Alustavissa suunnitelmissa oli tavoitteena, että työntölaitteen vetävien pyörien halkaisija olisi maksimissaan 10 cm.

Tällöin pyöriä pyörittävälle akselille täytyisi saada 250 Nm vääntömomentti, yhtälön 1 mukaisesti. **/3; 5/**

Kuvassa 3 on esitetty akselilta vaaditun vääntömomentin laskeminen.



**Kuva 3** Vetoakselin vääntömomentti

Vääntömomentin laskeminen

$$M = F \cdot r \quad (1) \quad /5/$$

Jossa M = vaadittava vääntömomentti

$$F = 5000N$$

$$r = 0,05m$$

$$M = 5000N \cdot 0,05m = 250Nm$$

$$M = 250Nm$$

## 5.2 Laitteen työntönopeus

Moottoria mitoitettaessa täytyi ottaa huomioon myös laitteen työntönopeus. Nopeudelle ei ollut varsinaisesti annettu vaatimuksia, mutta rauhallinen kävelyvauhti oli hyvä tavoite.

Vauhtia mitoitettaessa ajateltiin, että parempi liian hidas kuin liian nopea vauhti, koska painavien koneiden siirtäminen suurella nopeudella olisi vaarallista.

Tarkempi laitteen työntönopeus tulisi riippumaan käytetystä moottorista, mutta nopeuden suuruusluokaksi arveltiin 0,5 – 1 m/s.

Tämän nopeuden saavuttamiseksi täytyi laskea työntölaitteen vetopyörien pyörimisnopeus.

Laitteen pyörien halkaisija tulisi olemaan siis noin 10 cm, joten pyörimisnopeus laskettiin yhtälön 2 mukaisesti.

Takarenkaan halkaisija:

$$d = 10\text{cm} = 0,1\text{m} \quad (2) \quad /5/$$

Renkaan piiri eli laitteen yhdellä renkaan kierroksella kulkema matka:

$$p = \pi \cdot d = \pi \cdot 0,1\text{m} \quad (2) \quad /5/$$
$$p = 0,31\text{m}$$

Jotta laite kulkisi 0,75 m/s, tulee renkaan pyörimisnopeuden olla 2,42 kierrosta / s = 145 kierrosta/m.

$$\frac{0,75\text{m/s}}{0,31\text{m}} = 2,419 \approx 2,42 \frac{1}{\text{s}} \quad (2) \quad /5/$$

## 6 KÄYTTÖVOIMA

### 6.1 Paineilma

Etsittäessä tehokasta ja riittävän vääntömomentin omaavaa moottoria, joka olisi kuitenkin kohtuullisen pieni ja kevyt, parhaalta vaihtoehdolta vaikutti paineilmamoottori.

Paineilmamoottorit ovat myös melko edullisia, ja ensimmäiseen prototyyppiin moottorin voisi hankkia esimerkiksi paineilmavääntimestä.

Kuljetusyrityksen käyttämissä kuorma-autoissa on paineilmalähdöt, ja useimmat hallit, joihin koneita kuljetetaan, on varustettu tehokkailla kompressoreilla.

Tarkemmin paineilmamoottoreita tutkittaessa esiin nousi yksi merkittävä ongelma, paineilmamoottorin ilmankulutus. Ilmankulutus tarvittavan tehokkaassa moottorissa nousee luokkaan 1500–2000 litraa/minuutti. Vastaavan ilmantuoton saavuttamiseksi kuorma-auton kompressorilla tulisi kuorma-auton moottorin kierrosnopeutta pitää hyvin korkeana. Moottorin jatkuva käyttäminen korkealla kierrosnopeudella on sekä taloudellisesti että ympäristön kannalta epäkäytännöllistä.

Useissa halleissa on toki paineilmaverkostot, joista tarvittava ilmantuotto saataisiin, mutta on myös paljon halleja, joissa on pienemmät kompressorit, joiden teho ei riitä paineilmamoottorille.

Myös pitkän letkukelan kuljettaminen siirtolaitteen mukana on melko epäkäytännöllistä, joten paineilmamoottori voimanlähteenä jouduttiin hylkäämään.

### 6.2 Sähkö

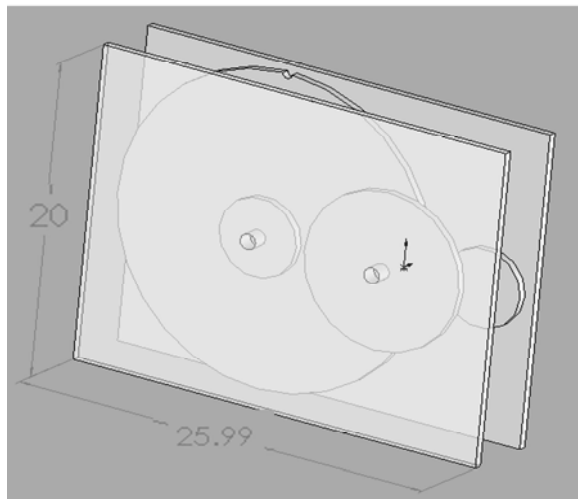
Paineilma voimanlähteenä olisi ollut melko yksinkertainen toteuttaa sekä liitäntöjen että nopeudensäädön kannalta.

Toisena vaihtoehtona ollut sähkö nousi nyt esille ainoana järkevänä käyttövoimana.

Sähkön käyttö vaati hieman enemmän suunnittelua ja tutkimista. Ensin piti päättää, käytettäisiinkö vaihtovirtaa (AC) vai tasavirtaa (DC). Tasavirran käyttö olisi toki huomattavasti järkevämpi vaihtoehto yksinkertaisuutensa takia. Ongelma oli siinä, että moottorin hankkimiseen ei ollut käytettävissä paljoa rahaa, joten moottori oli tarkoitus purkaa jostakin muusta laitteesta. Vaihtovirtatoimisia laitteita, joissa oli valmiit moottorin nopeuden säädöt ja yksinkertainen rakenne, oli tarjolla huomattavasti enemmän kuin tasavirralla toimivia.

Kun oli päätetty, että moottorina tulisi olemaan sähkömoottori, oli selvää, että moottori vaatisi suuren alennusvaihteiston tuottaakseen tarpeeksi suuren väännön. Alennusvaihteiston avulla moottori, jonka kierrosnopeus on suuri, antaisi riittävästi vääntöä siirrettävien koneiden liikuttamiseen. Purkutyön ja tutkimuksen kohteeksi joutuivat siis kaikki suuren kierroslukunopeuden omaavat laitteet, joita löydettiin, kuten kulmahiomakone ja jyrsin.

Koska myös alennusvaihteisto oli tarkoitus rakentaa itse, käyttäen mopon rattaita ja ketjuja, se täytyi ensin suunnitella ja piirtää. 3D-mallintamisen jälkeen alennusvaihteiston koko kasvoi niin suureksi, että jo pelkkä alennusvaihteisto ylitti laitteen koolle asetetut vaatimukset, kuten kuvasta 4 on nähtävissä.



**Kuva 4** Liian suuri alennusvaihteisto

Suuren kierrosnopeuden omaavat laitteet täytyi siis hylätä ja etsiä laitteita, joissa olisi suuri vääntömomentti ja kierrosnopeus noin 500–1000 kierrosta minuutissa. Nyt purkutuomion saivat vanhat porakoneet ja muutama halpa akkuporakone.



### 6.2.1 Akkuporakone

Parhaalta vaihtoehdolta alkoi näyttää akkuporakoneen moottori, jossa on alennusvaihteisto jo valmiina. Tällöin työntölaitteessa ei myöskään tarvittaisi pitkää johtokelaa, joka vaihtovirtamoottorilla olisi ollut välttämätön.

Markkinoilla on akkuporakoneita, joiden vääntömomentiksi ilmoitetaan jopa 70 Nm. Toki valmistajien ilmoittamiin arvoihin täytyy suhtautua joskus melkoisellakin varauksella.

Lähempään tarkkailuun otettiin akkuporakone, jonka vääntömomentiksi ilmoitettiin 65 / 31 Nm. Ensimmäinen luku kertoo porakoneen kovan momentin, ja jälkimmäinen luku on poran pehmeä momentti. Kovaan momenttiin lasketaan, pehmeän momentin lisäksi, poran pyörimisnopeuden aiheuttama voima äkillisessä pysähdyksessä. Kova momentti tulee kysymykseen esimerkiksi koneruuvia väännettäessä. Pehmeä momentti on porakoneen maksimi jatkuva vääntömomentti, tämä tulee kysymykseen esimerkiksi puuruuvia väännettäessä. Pehmeä momentti on myös se, joka on otettu huomioon työntölaitetta mitoittaessa.

Kyseessä olevan akkuporakoneen kierrosnopeudeksi ilmoitettiin 0 – 1200 rpm. Myös kierrosnopeutensa puolesta porakoneen moottori sopisi työntölaitteelle.

Mikäli valmistajan ilmoittamasta pehmeästä vääntömomentista edes kaksi kolmasosaa olisi todellista, olisi moottori silti kokeilun arvoinen ainakin työntölaitteen prototyyppeihin.

Tässä vaiheessa työntölaitteen suunnittelu alkoi näyttää valoisammalta, koska suurin ongelma oli tähän mennessä ollut juuri moottori: mistä moottori hankittaisiin, minkälainen moottori ja mistä se saisi käyttövoimansa.

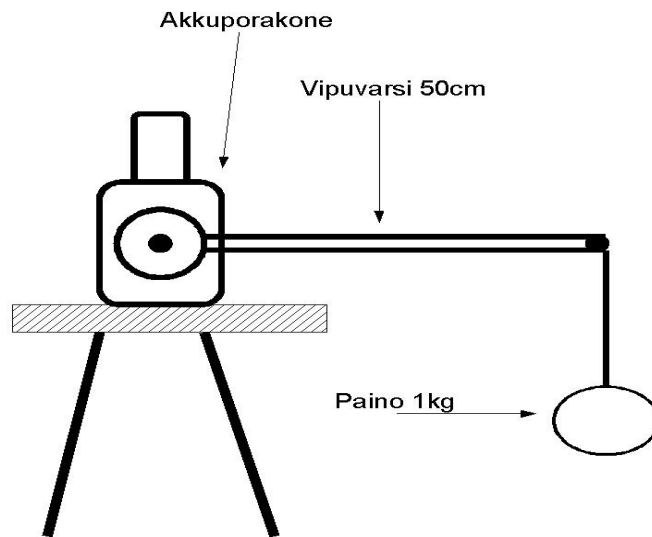
### 6.2.2 Moottorin testaus

Valmistajien ilmoittamissa akkuporakoneiden arvoissa oli suuria eroja. Koska tarkkaa kaaviota kierrosnopeuden, virrankulutuksen ja moottorin tehon yhteyksistä ei löytynyt, oli parasta testata moottori itse. Myöskään moottorin lähtömomenttia eli momenttia, jonka moottori antaa lähtiessä pyörimään pysähdyksistä, ei ilmoitettu missään, ja tämä oli työntölaitteen mitoituksen kannalta erittäin tärkeä.

Testaus suoritettiin hyvin yksinkertaisella tavalla, käyttäen hyväksi fysiikan lakeja.

Akkuporakoneen testauksessa käytettiin keskihintaista ja keskilaatuista akkuporakonetta, jonka pehmeäksi momentiksi ilmoitettiin 20 Nm.

Akkuporakone kiinnitettiin penkkiin kuvan 4 mukaisesti. Akkuporakoneen istukkaan kiinnitettiin 0,5 metrin pituinen momenttivarsi, ja momenttivarren päähän kiinnitettiin 1 kg:n painoinen punnus. Punnuksen painoa oli tarkoitus lisätä kokeen edetessä.



**Kuva 4** Akkuporakoneen moottorin testaus

Mikäli akkuporakone jaksaisi nostaa 1 kg:n punnuksen ylös, ylittäisi akkuporakoneen lähtömomentti arvon 4,9 Nm, arvo on laskettu yhtälöillä 3 ja 4. **/5/**

Punnuksen synnyttämä painovoima:

$$F = m \cdot g \quad (3) \quad /5/$$

Moottorille syntyvä vääntömomentti

$$M_b = F \cdot c \quad (4) \quad /5/$$

Jossa  $M_b$  = Moottorin lähtömomentti.

$c$  = momenttivarren  $c$  pituus 0,5m.

$M$  = punnuksen massa 1kg.

$$F = 1kg \cdot 9,81m/s^2 = 9,81N$$

$$M_b = 9,81N \cdot 0,5m = 4,91Nm$$

### 6.2.3 Kokeen tulokset

Valmistajan ilmoittama porakoneen pehmeä momentti oli 20 Nm, joten punnuksen pitäisi nousta helposti.

Suureksi pettymykseksi jouduttiin kuitenkin toteamaan, että punnus ei hievahtanutkaan. Koe tehtiin myös hieman voimakkaammalla porakoneella, eikä sekään jaksanut nostaa punnusta. Molemmat porakoneet jaksoivat kyllä pyörittää punnusta, kun se oli ensin käsin avustettu liikkeelle.

Tästä voitiin päätellä, että joko valmistajien ilmoittamat arvot eivät pidä paikkansa, tai porakone saavuttaa suurimman vääntönsä vasta tietyn kierrosnopeuden saavutettuaan. On mahdollista, että kalliimman hintaluokan akkuporakone, jossa on vielä suurempi vääntömomentti, olisi nostanut punnuksen. Tällainen porakone olisi kuitenkin ylittänyt reilusti tavoitellun budjetin, joten sitä ei voitu kokeilla. Akkuporakoneen moottori voimanlähteenä alkoi näyttää mahdottomalta.

## 7 PROJEKTIN TILANNE

Tämä takaisku toi työntölaitteen rakentamiseen ja koko projektin etenemiseen lisää ongelmia. Moottorin suhteen oli aloitettava jälleen tyhjältä pöydältä ja etsittävä uusia vaihtoehtoja. Aika alkoi käydä vähiin, ja laitteen rakentaminen pitäisi aloittaa mahdollisimman pian.

Työntölaitteen runkoa päätettiin ruveta mallintamaan Solidworks 2004 -ohjelmalla. Koska käytettävästä moottorista ei ollut vielä tietoa, laite täytyi suunnitella rakennettavaksi siten, että lopullinen kokoonpano tehtäisiin viimeisenä ja että tarvittavat muutokset moottorin asennukseen, kunnollisen moottorin löydyttyä, olisivat mahdollisia.

## 8 RAKENTEEN SUUNNITTELU

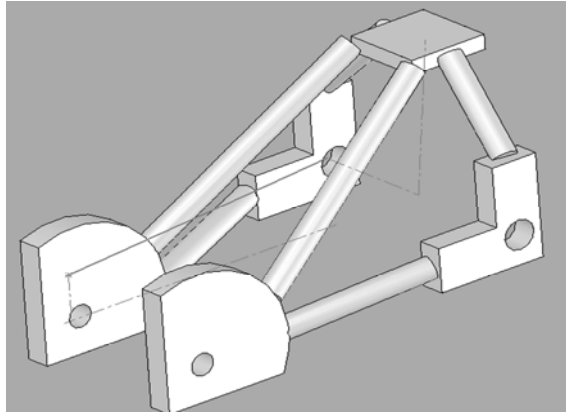
Koko projektin ajan laitteen mahdollinen rakenne ja laitteessa käytettävät osat olivat olleet ajatuksissa. Suunnittelijan päässä oli melkoinen sekoitus palkkeja, pyöriä, rattaita ja rautaa. Oli siis korkea aika laittaa suunnitelmia tarkemmin paperille ja alkaa purkaa päässä olevaa varastoa järkevään muotoon.

Työntölaite tulitisiin rakentamaan Tampereen ammattikorkeakoulun tekniikan osaston työpajassa, joten ensimmäinen tehtävä oli materiaalikartoitus. Työpajassa käytiin katsomassa, millaisia rakennusmateriaaleja oli saatavilla, ja kirjattiin ylös profiilimuotoja ja materiaalien paksuuksia.

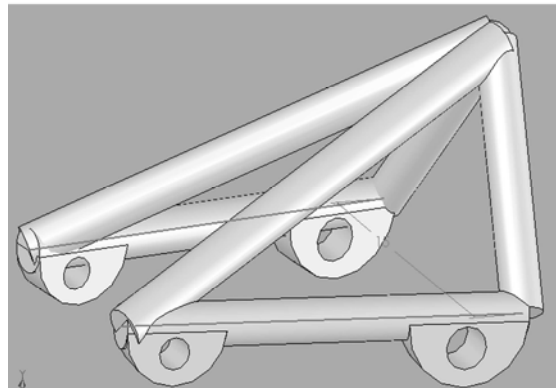
Laite päätettiin rakentaa siten, että lopullinen kokoonpano hitsiliitoksin voitaisiin tehdä vasta sitten, kun laitteen toimintaa olisi jo voitu kokeilla. Tällöin mahdolliset muutokset rakenteessa olisi helpompi toteuttaa. Purettavia pulttiliitoksia päätettiin myös käyttää

mahdollisimman paljon. Tämä siksi, että mahdollisten vaurioiden satuttua laitteen eri osia voitaisiin vaihtaa uusiin.

Erilaisia toinen toistaan pienempiä runkovaihtoehtoja alkoi syntyä, ja aikaa kului enemmän Solidworks -ohjelman opetteluun kuin työntölaitteen järkevään suunnitteluun. Kuvissa 5 ja 6 on ensimmäisiä luonnoksia mahdollisesta rungosta.



**Kuva 5** Ensimmäinen luonnos laitteen rungosta



**Kuva 6** Toinen luonnos laitteen rungosta

Mikään tähänastisista runkovaihtoehtoista ei oikein miellyttänyt, ja kaikki vaikutti liian monimutkaiselta. Laite ja sen rakenne oli pidettävä mahdollisimman yksinkertaisena. Palattiin takaisin työpajalle ja alettiin suunnitella rungon rakennetta uudelleen. Jonkun aikaa rakennetta mietittyäni ja erilaisia materiaalivaihtoehtoja tutkittuani alkoi päässäni hahmottua oikean tuntuinen rakenne.

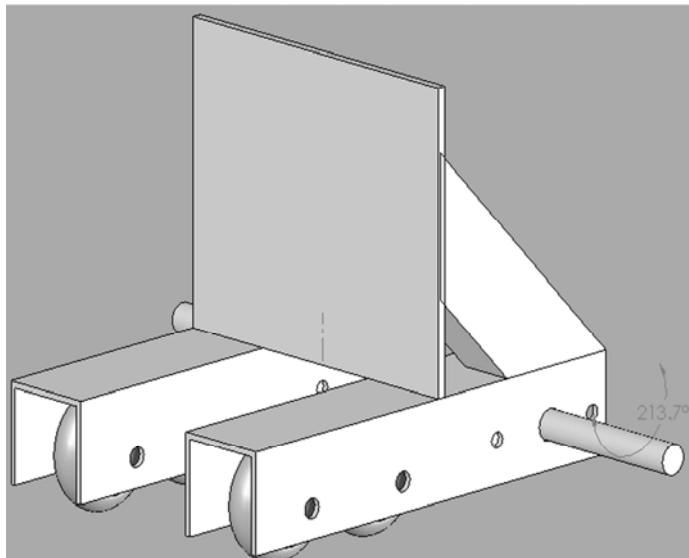
Kuvissa 5 ja 6 oleviin runkoihin olisi täytynyt rakentaa suorakulman muotoinen työnninkappale, joka olisi ollut kosketuksissa työnnettävään koneeseen, synnyttäen halutun momenttivaikutuksen työntölaitteen takarenkaille.

Uudessa yksinkertaisemmassa rakenteessa itse työntölaitteen runko muodostaisi tämän suorakulman ja täten tekisi rakenteesta huomattavasti yksinkertaisemman ja kestävämmän.

Siirryttiin takaisin tietokoneen ääreen, ja yksinkertainen runkorakenne alkoi piirtyä lähes itsestään.

Tässä vaiheessa täytyi päättää myös, minkä kokoinen laitteesta tulisi. Pituudeksi päätettiin noin 25 - 30 cm, leveydeksi noin 20 cm ja korkeudeksi noin 20 cm. Näille mitoille ei ollut vielä tarvetta tehdä minkäänlaisia laskelmia, täytyi vain päättää minkä kokoinen laite rakennettaisiin.

Kuvassa 7 on ensimmäinen mallinnus uudesta runkorakenteesta.



**Kuva 7** Luonnos uudesta runkoratkaisusta

## 9 MATERIAALIHANKINNAT

Työntölaitteen lopullinen rakenne oli nyt päätetty, ja täytyi alkaa hankkia materiaaleja rakentamista varten.

Kaikki mikä oli mahdollista rakentaa, päätettiin rakentaa itse. Ainoastaan renkaat, laakerit, voimansiirtokomponentit, sähkökomponentit, moottori ja akku täytyisi ostaa.

Ensimmäisenä hankintalistalla olivat etu- ja takarenkaat sekä taka-akselin laakerit.

Ennen kuin mitään voitiin hankkia, täytyi kuitenkin miettiä, millaisia renkaita käytettäisiin ja minkälainen laakerointi taka-akselille tehtäisiin.

## 9.1 Renkaat

Alustavissa suunnitelmissa ja laskelmissa renkaiden koot olivat jo hieman hahmottuneet mielessä. Takarenkaiden halkaisija tulisi olla noin 10 cm, materiaalina pehmeähkö kumi ja kantokyky mahdollisimman suuri.

Eturenkaiden halkaisija tulisi olla noin 5 - 7 cm, mutta materiaalilla ja kantokyvyllä ei ole suurta merkitystä, koska renkailla ei tule painoa. Eturenkaissa tulisi olla laakerointi valmiina.

Eturenkaiksi sopisivat esimerkiksi rullaluistimen pyörät, mutta takarenkaiksi piti ruveta etsimään sopivia irtopyöriä.

Muutamien päivien etsinnän jälkeen sopivan tuntuiset pyörät löytyvät. Eturenkaiksi hankittiin 8 cm halkaisijaltaan olevat laakeroidut, peltirunkoiset pyörät. Niistä saisi sorvaamalla ja hieman modifioimalla sopivat.

Takarenkaiksi löytyivät 10 cm halkaisijaltaan olevat maatalouspyörät, joissa oli laakerointi ja kääntyvä kiinnityseline. Kantokykyä ei ilmoitettu, mutta hieman rakennetta vahvistamalla renkaat saataisiin varmasti kestävämmiin.

## 9.2 Laakerointi

Voimansiirto moottorilta taka-akselille päätettiin toteuttaa joko ketju- tai hihnavedolla.

Takarenkaiden ja taka-akselin kiinnityksistä päätettiin tehdä mahdollisimman yksinkertaiset. Päätettiin siis laakeroida ainoastaan taka-akseli työntölaitteen runkoon ja veto taka-akselilta siirtyisi suoraan renkaalle.

Kaikki mahdolliset kaupat kierrettyäni jouduin toteamaan, että haluttua laakeriratkaisua ei löytynyt mistään. Jouduttiin ostamaan laakerit, joissa oli hieman epäkäytännöllinen laakeripesä valmiina. Tämä tiesi hieman lisää työtä suunnitteluun, mutta onnistuisi kyllä.

Laakerin reiän halkaisija on 15 mm, joka sopi hyvin suunniteltuun taka-akseliin.

Taka-akselin mitoitus ja suunnittelu on esitetty tarkemmin kohdassa "taka-akseli".

## 10 RUNGON RAKENTAMINEN

Ensimmäiset tarvittavat osat oli nyt hankittu, ja laitteen rakentaminen voitiin aloittaa.

Rakentaminen aloitettiin U-palkeista, jotka toimivat työntölaitteen perusrunkona. U-palkkeihin täytyi sovittaa eturenkaat, taka-akseli ja taka-akselin laakerointi. Taka-akselin laakeripesiä varten täytyi rakentaa erilliset laakeripukit ja sovittaa ne rungon U-palkkeihin.

Eturenkailla täytyi rakentaa sopivat akselit, jotta ne saatiin sovitettua U-palkkeihin.

U-palkit, etu- ja takarenkaat ja laakeripukki laakereineen ovat kuvassa 8.

Myöhemmin osia jouduttiin vielä hieman muuttamaan kokoonpanon helpottamiseksi, mutta kuvissa näkyvä perusrakenne on sama.



**Kuva 8** Laakeripukki, U-palkki ja renkaat

## 11 TAKA-AKSELI

Seuraava kohde, jota ruvettiin työstämään, oli taka-akseli. Taka-akselin valmistus oli yksi projektin vaikeimpia vaiheita.

Materiaalina käytettiin terästankoa, jonka halkaisija on 16 mm. Mikäli akselille saataisiin tavoiteltu 250 Nm vääntömomentti, terästangon tulisi kestää syntyvä vääntöjännitys.

Vääntöjännitys on laskettu liitteessä 1.

Ensimmäisenä oli suunniteltava renkaiden kiinnitys akselille. Akselin kiinnitys itse laitteen runkoon tulee tapahtumaan siis laakeroinnilla. Koska laakerit eivät tule olemaan akselin päissä, vaan renkaiden sisäpuolella, oli renkaiden kiinnitys hieman hankalaa. Akseli tullaan asennettaessa syöttämään laakereiden läpi, joten akselin päät täytyy jättää ohuiksi, eikä esimerkiksi renkaiden kiinteä asennus olisi mahdollinen.

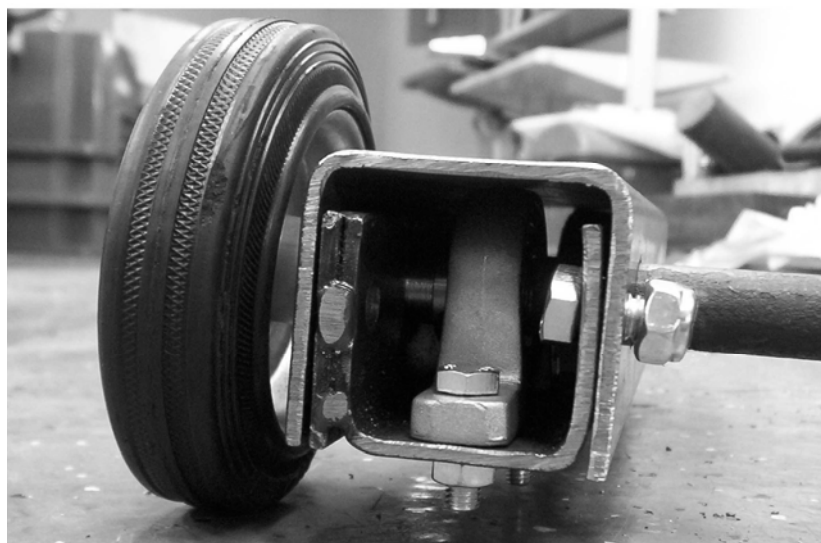
Kiilauran tekeminen akselille olisi ollut luotettavin vaihtoehto, mutta sitä ei voitu käytössä olevilla työkaluilla toteuttaa.

Päätettiin turvautua mutterikiinnitykseen. Hankituista renkaista piti porata ensin laakerointi pois, ja renkaalle tehtiin akseli teräsputkesta, jonka halkaisija oli 12 mm. Taka-akseli sorvattiin, hieman kiilamaisesti, renkaan akselille sopivaksi. Lopuksi akselin päähän tehtiin 10 mm kierre mutteria varten, jolla rengas puristettaisiin akselin kiilamaiseen sovitukseen. Takarenkaiden kiinnitys vaikutti riittävän kestävältä, mutta lopullinen toimivuus nähtäisiin vasta laitetta kokeiltaessa.

Renkaiden kiinnityksen jälkeen akseli sorvattiin vielä laakereille sopivaksi, ja taka-akseli oli valmis. Kuvassa 9 näkyy valmis akseli, ja kuvassa 10 on renkaiden kiinnitys ja akselin laakerointi.



**Kuva 9** Valmis taka-akseli



**Kuva 10** Taka-akselin laakerointi ja renkaan kiinnitys



## 12 PROJEKTIN TILANNE

Tässä vaiheessa työntölaitteen perusrakenteen osat alkoivat olla valmiit, ja pieniä kokoonpanoja voitiin kokeilla. Laitetta täytyi purkaa ja koota useita kertoja päivässä, jotta saatiin tarkempi näkemys laitteen tulevasta ulkonäöstä. Olihan laite toki hahmoteltu jo tietokoneella, mutta fyysisen rungon näkeminen helpotti projektin kulkua. Tällä hetkellä laite näytti kuvan 11 kaltaiselta.



**Kuva 11** Laitteen ensimmäisiä kokoonpanoja

## 13 MOOTTORI

### 13.1 Moottori löytyy

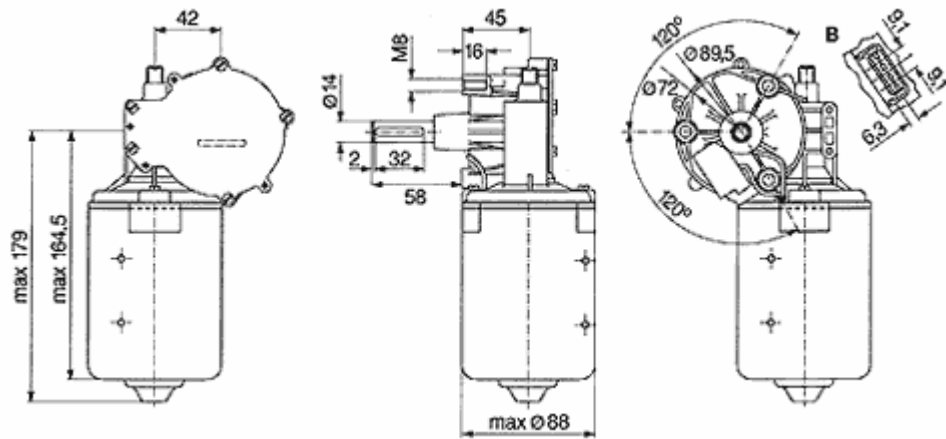
Laitetta rakennettaessa kävi työpajassa yksi jos toinenkin silmäpari kummastelemassa moista "härveliä", kuten jotkut sitä kutsuivat. Vierailijoista oli kyllä hyötyäkin, useat antoivat vinkkejä ja mielipiteitään ja avustivat työkalujen löytämisessä. Eräs Tampereen ammattikorkeakoulun laboratorioinsinööri kävi myös katsomassa laitetta, ja hän kertoi, että käytävän toisella puolella on laboratorioinsinööri Pekka Kaakinen, jolta varmasti saisi vinkkiä moottorin hankkimiseen.

Seuraavaksi käytiin siis tutustumassa Pekka Kaakiseen, ja hänestä olikin korvaamattoman suuri apu projektin etenemiselle.

Hänellä oli käytössään erilaisia alennusvaihteistolla olevia moottoreita muun muassa polkupyörässä ja kottikärryissä. Häneltä löytyi kuvasto kyseisistä moottoreista ja hän lupasi auttaa moottorin hankinnassa.

Pari päivää kuvastoa tutkittuani ja laskuja laskettuani, sopiva moottori löytyi, ja jo seuraavalla viikolla kuvassa 10 esitetty moottori oli tilattuna.

Moottorin tekniset tiedot nähdään taulukossa 1 ja kuvassa 11.



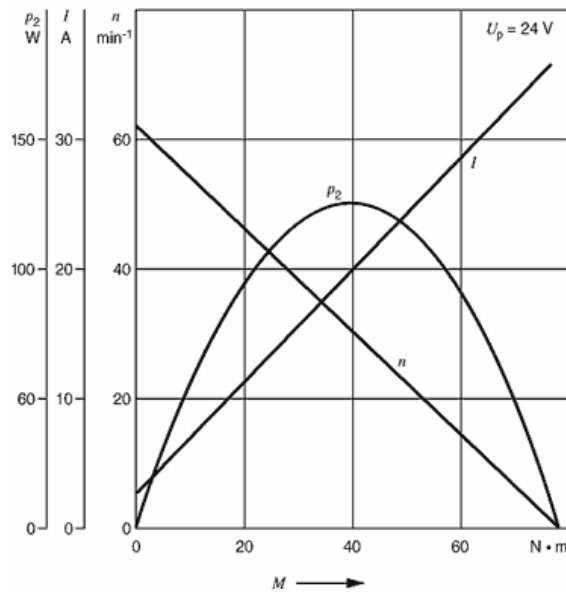
**Kuva 10** Bosch - tasavirtamoottori EFP 24 V 56 W

/1/

**Taulukko 1** Moottorin tekniset tiedot

/1/

Nimellisjännite	$U_n$	24 V
Nimellisteho	$P_n$	56 W
Nimellisvirta	$I_n$	9 A
Maksimivirta	$I_{max}$	36 A
Nimellisoopeus	$N_n$	60 kierrosta / min
Jatkuvamomentti	$M_n$	10 Nm
Lähtömomentti	$M_a$	70 Nm



Kuva 11 Moottorin ominaiskäyrät

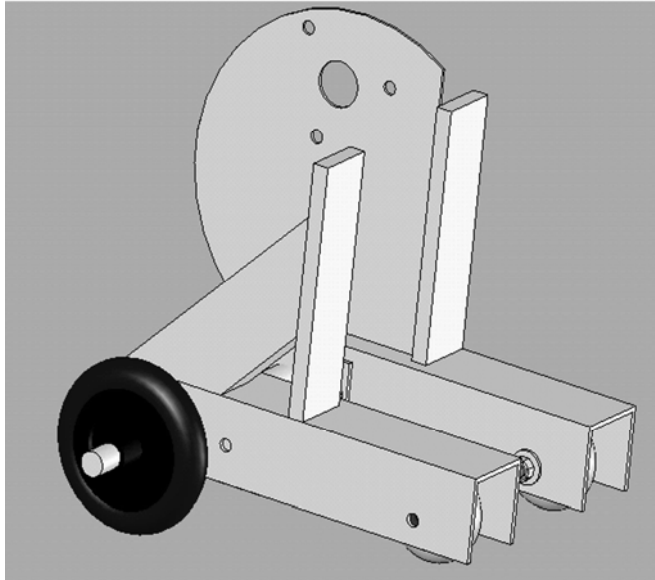
/1/

### 13.2 Moottorin lähtömomentti

Kuvasta 11 nähdään, että moottorin maksimivääntömomentti saavutetaan liikkeelle lähdössä, kuten useimmiten sähkömoottoreilla. Tämä oli työntölaitteen kannalta tärkeää, koska juuri liikkeelle lähtö vaatii suurimman työntövoiman. Kun työnnettävä kone on saatu liikkeelle, työntövoiman ja vääntömomentin tarve laskee. Samalla laskee moottorin virran kulutus, mutta teho ja pyörimisnopeus kasvavat. Moottori vaikutti erittäin sopivalta voimanlähteeltä työntölaiteelle.

### 13.3 Moottorin sovitus

Hankittu moottori oli muodoltaan ja kooltaan melko erilainen kuin laitteen suunnitteluvaiheessa oli ajateltu. Täytyi palata takaisin tietokoneen ääreen ja alkaa suunnitella, miten moottori saataisiin sovitettua rakennettuun runkoon. Moottori oli melko iso ja painava työntölaitteen runkoon nähden, joten suunnittelu vaati hieman aikaa. Myös tarvittavalle alennusvaihteistolle oli jätettävä tilaa. Suunnittelun ja hahmottelun jälkeen moottori saatiin sopimaan runkoon, ja alennusvaihteistokin olisi mahdollista sovittaa. Uudesta laitteesta on 3D-mallinnus kuvassa 13.



Kuva 13 3D-mallinnus moottorin sovitamisesta laitteeseen

## 14 ALENNUSVAIHEISTO

Moottorin teknisistä tiedoista on nähtävissä, että moottorin vääntömomentti on huomattavasti korkeampi kuin aikaisemmissa moottorivaihtoehdoissa oli ollut.

Myös moottorin kierrosnopeus on huomattavasti alhaisempi.

Tästä syystä työntölaitteeseen rakennettavan alennusvaihteiston ei tarvitsisi olla kovin suuri, mikä helpottaisi rakentamista huomattavasti.

Mikäli rakennettaisiin alennusvaihteisto suhteella 1:3, alkaisi vaadittava vääntömomentti olla lähes kohdallaan.

Moottorin nopeus ei tosin riittäisi tällaisella välityssuhteella lähellekään haluttua työntölaitteen nopeutta. Aika alkoi käydä vähiin, eikä parempiakaan moottorivaihtoehtoja ollut tiedossa. Täytyi siis konsultoida asiaa toimeksiantajayritykseltä, ja he sanoivat, että koneen nopeudella ei ole mitään merkitystä, Espanjassa ei ole kiire.

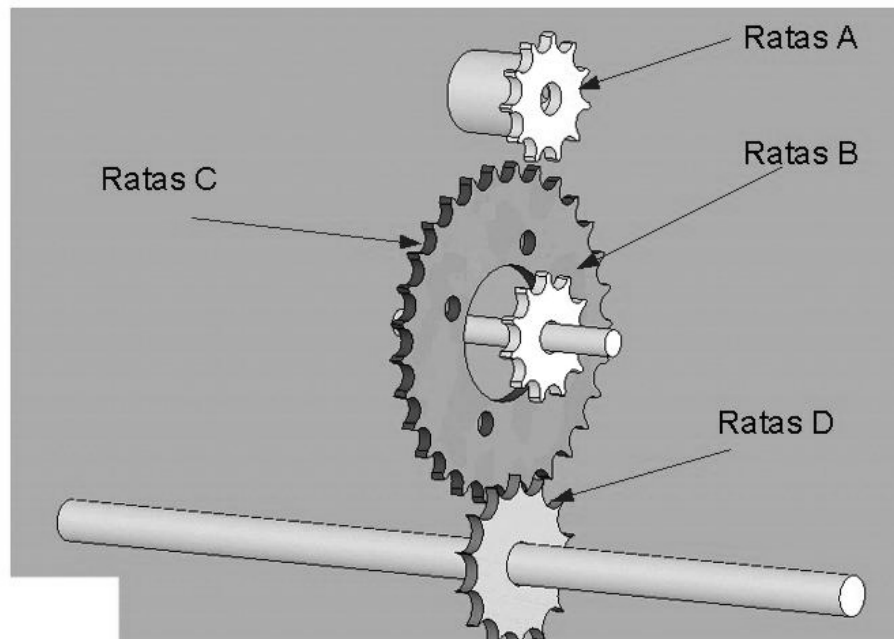
Asia oli siis päätetty: rakennetaan alennusvaihteisto suhteella noin 1:3, riippuen markkinoilla olevista rattaista.

### 14.1 Alennusvaihteiston rakenne

Muutamia moottoripyöräliikkeitä kierrettiin ja löydettiin seuraavanlaiset rattaat: kaksi kappaletta 11-piikkisiä, halkaisijaltaan 3,5 cm rattaita sekä yksi 28-piikkinen, halkaisijaltaan 8,5 cm ratas ja yksi 15 -piikkinen, halkaisijaltaan 5 cm ratas.

Lisäksi ostettiin rattaille sopivat moottoripyörän ketjut, joista saataisiin lyhennettyä kahdet sopivat ketjut.

Alennusvaihteistosta päätettiin tehdä kaksivaiheinen, koska se saataisiin parhaiten sovitettua itse laitteen runkoon. Hankituilla rattaila rakennettu alennusvaihteisto muuttaisi moottorilta saadun voiman siten, että laitteen työntövoimaksi tulisi 4857 N, joka riittäisi hyvin. Voiman muutokset on laskettu joka yksitellen välitykselle liitteessä 2. Alennusvaihteiston suunnitelma on kuvassa 12.



**Kuva 12** Alennusvaihteiston 3D-mallinnus

Kuvassa 12 ratas A on moottorin akselille tuleva ratas, ratat B ja C toimivat alennusvaihteena ja ratas D on työntölaitteen taka-akselille tuleva ratas.

## 14.2 Alennusvaihteiston rakentaminen

Alennusvaihteiston rakentaminen vaati erityistä tarkkuutta ja suunnittelua. Kaikki neljä ratasta ketjuineen oli saatava soviteltua työntölaitteen runkoon, ja kaikkien oli pyörittävä kevyesti samassa linjassa.

Solidworks -ohjelmalla suunniteltiin rattaiden sovitus runkoon. Alennusvaihteistolle täytyi rakentaa vielä akseli ja akselille tietysti laakerointi. Tätä varten hankittiin halkaisijaltaan 30 mm laakerit, ja niille täytyi rakentaa laakeripesät.

Kaikki rattaat vaativat erilaisia sovituskappaleita, jotta ne saatiin kiinnitettyä akseleille. Jokaiselle rattaille oli siis suunniteltava ja rakennettava sovituskappale.

Suurimman ongelman tuotti moottorin akselille kiinnitettävä ratas. Moottorin akselilla oli kiilaura, mutta siihen sopivaa kiilaa ei ollut mahdollista hankkia ajan puutteen takia. Rattaalle oli rakennettava kiinnitysholkki, johon tehtiin kierteet kahdelle kiilaruuville ja holkki hitsattiin rattaaseen kiinni. Näin saatiin purettavissa oleva kiinnitys moottorin akselin rattaalle.

Alennusvaihteisto rattaineen, laakereineen ja akseleineen alkoi olla valmis, ja oli aika kokeilla ketjuja rattaille. Tässä vaiheessa paljastui hieman hätäisen suunnittelun aiheuttama virhe; rattaat olivat hieman väärällä etäisyydellä toisistaan. Ketjuja ei saatu sovitettua rattaille millään, ne olivat joko liian lyhyen tai liian pitkät. Ketjuvälityksen toimivuutta kokeiltiin useaan kertaan syöttämällä moottorille pientä jännitettä, mutta ketjujen välitys oli liian suuri.

Aika alkoi todellakin käydä vähiin, ja pitkien työpäivien aiheuttama väsymys alkoi painaa. Ketjut päätettiin jättää tässä vaiheessa löysiksi, koska rakentamista oli jatkettava suunnitellun aikataulun mukaisesti, tai muuten laite ei valmistuisi määräaikaan mennessä. Mikäli aikaa jäisi, ketjuille tehtäisiin kiristimet.

Alennusvaihteiston rakentamisen vaiheita ja kuvia eri kappaleista on esitetty liitteessä 3.

## 15 RUNGON VIIMEISET OSAT

Työntölaitteen tärkeimmät mekaaniset komponentit ja kappaleet oli nyt ostettu, suunniteltu ja rakennettu. Viimeisinä mekaanisina osina laitteeseen täytyi suunnitella ohjaussauva ja akkuteline.

### 15.1 Akkuteline ja akut

Ensin käytiin hankkimassa moottorille sopivat akut. 24 voltin käyttöjännite päätettiin ottaa kahdesta sarjaan kytketystä 12 V akusta. Hankittiin akut joiden mitat ovat 151 mm, 65 mm, 112 mm (pit, lev, kork) ja paino 3,3 kg.

Akkujen kapasiteetti on vain 4,5 Ah, ja ottaen huomioon moottorin ilmoitetun nimellisvirran 9 A, voitaneen työntölaitetta käyttää yhtäjaksoisesti hieman alle 30 minuuttia.

Työntölaitteen toiminta saataisiin kuitenkin kokeiltua, ja tehokkaammat akut voitaisiin tarvittaessa hankkia myöhemmin.

Akkuteline suunniteltiin jälleen Solidworks -ohjelmalla. Akkuteline päätettiin rakentaa 2 mm paksusta ja 10 mm leveästä lattaraudasta ja sijoittaa työntölaitteen takaosaan.

Akkutelineestä haluttiin tehdä helposti irrotettava latausta ja kuljetusta varten. Tätä varten työntölaitteen runkoon täytyi rakentaa terästangosta uroskappaleet, joihin akkutelineen teräsputkesta rakennetut naaraskappaleet saataisiin työnnettyä helposti.

Akkuteline on esitetty kuvassa 14



**Kuva 14** Akkuteline

## 15.2 Ohjaussauva

Työntölaiteen hallitsemista varten täytyi rakentaa ohjaussauva, jonka kahvaosassa olisi moottorin ohjauskytkimet. Ohjaussauvasta täytyi tehdä tarpeeksi kestävä, jotta se kestäisi kovakouraisenkin työntölaiteen ohjaamisen ja jotta sillä voitaisiin tarvittaessa vääntää lisäpitoa takarenkaille.

Ohjaussauvan haluttiin myös olevan nopeasti irrotettavissa työntölaiteesta.

Sauvalle täytyi rakentaa kiinnityskappale itse työntölaiteen runkoon. Tästä kiinnityskappaleesta tulikin yksi tärkeimpiä työntölaiteen rungon tukikappaleita, joten se valmistettiin 7 mm paksusta lattateräksestä. Ohjaussauvaa varten lattateräksen hitsattiin 50 mm pituinen teräsputken pala, jonka sisään ohjaussauva voitaisiin työntää ja kiinnittää helposti ruuveilla.

Ohjaussauvan kahvaosa rakennettiin myös teräsputkesta, ja siihen rakennettiin alumiinilevystä ohjausyksikkö, johon sijoitettiin laitteen kytkimet. Ohjaussauvan kahva on 1m korkeudella maasta, joten työntölaite voidaan käyttää selkä suorana.

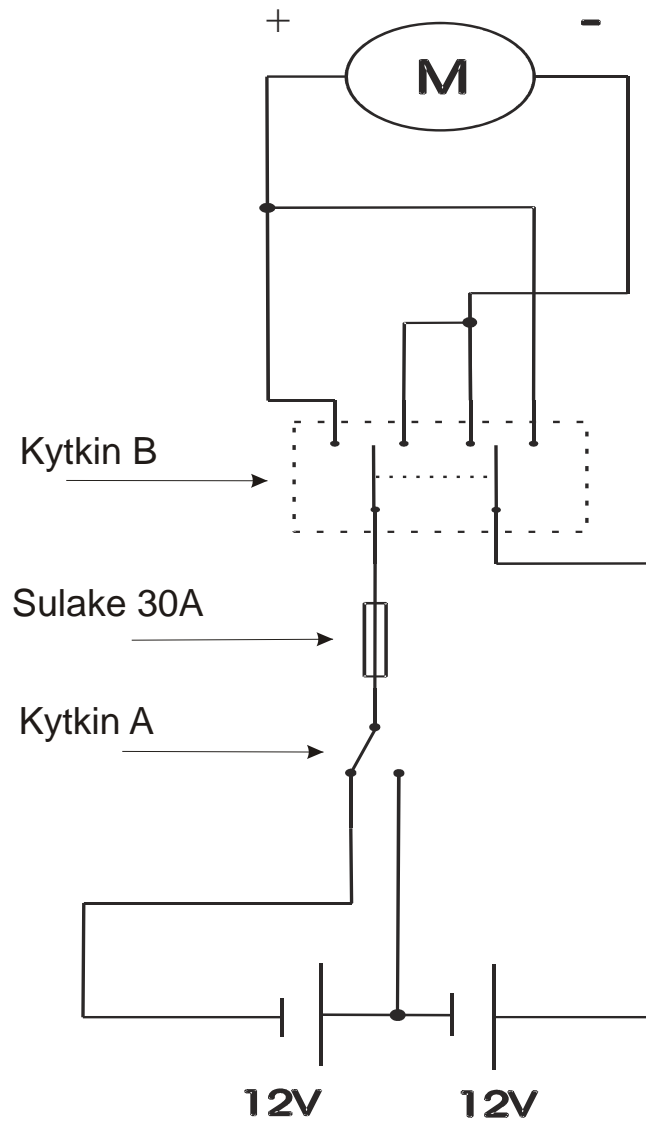
## 16 SÄHKÖT

Moottorin teknisistä tiedoista nähdään, että moottori on 24 voltin tasasähkömoottori. Tämä sopii työntölaiteelle hyvin, sillä kuljetuksia suorittavien kuorma-autojen sähköjärjestelmä on juuri 24 voltin tasasähköjärjestelmä ja kuorma-autoissa on täten myös 24 voltin sähköulosotot. Työntölaite voidaan siis tarvittaessa käyttää myös ilman akkuja, suoraan kuorma-auton sähköjärjestelmästä.

Työntölaiteen pääasiallisena jännitelähteenä oli kuitenkin tarkoitus käyttää akkuja, jotta laitetta voitaisiin käyttää itsenäisesti.

Erilaisia nopeudensäätimiä moottorille oli markkinoilla, sekä valmiita että itse rakennettavia. Moottorin käyttämä virta saattaa kuitenkin nousta jopa 36 ampeeriin, joten

säätimen tarvittavien komponenttien täytyisi olla melko järeitä, ja näin säätimen hinta nousee reilusti yli budjetin.  
Internetistä löytyi yksi mahdollinen, itse rakennettava säädin, joka olisi ollut budjettiin sopiva, mutta toimitusajat ylittivät projektiin varatun ajan.  
Täytyi siis turvautua yksinkertaiseen ja nopeasti rakennettavaan analogiseen säätimeen. Säätimestä on piirikaavio kuvassa 13.



**Kuva 13** Moottorin nopeudensäätimen piirikaavio



## 16.1 Nopeudensäätimen toiminta

Kuvassa 13 on esitetty rakennetun moottorin nopeudensäätimen toiminta. Virtalähteenä käytetään kahta 12 voltin akkua. Ensimmäinen kaksiasentoinen, kolmenapainen kytkin kytkee piiriin joko yhden akun (12 V) tai kaksi akkua sarjaan kytkettynä (24 V). Tällä kytkimellä valitaan siis laitteen nopeus, hidas tai nopea. Kytkimen jälkeen piirissä on 30 ampeerin sulake, joka suojaa moottoria palamiselta. Sulakkeen jälkeen virta kulkee palautuvan kolmeasentoisen, kuusinapaisen kytkimen läpi. Tällä kytkimellä valitaan moottorille menevän virran suunta, joten moottorin pyörimissuuntaa saadaan muutettua. Kun sähkökaavio oli suunniteltu paperille, täytyi sähköt vielä rakentaa työntölaitteelle. Tässä vaiheessa johtoja ja kytkimiä ei asennettu laitteeseen erityisen ”kauniisti”, tarkoitus oli vain päästä kokeilemaan laitteen toimivuutta. Tällä tavoin sähköjärjestelmä olisi vielä helposti muutettavissa, mikäli esimerkiksi parempi nopeudensäädin löytyisi.

## 17 RUNGON VIIMEISTELY JA KOEAJO

Kaikki työntölaitteen osat olivat nyt valmiit, ja laitteen toimivuutta oli jo päästy kokeilemaan sähköjen ja ketjuvälityksen suhteen. Kaikki hitsaamalla koottavat osat voitiin siis kiinnittää ja viimeistellä. Työntölaite koottiin lopulliseen kokoonpanoonsa, ja koeajon aiheuttama jännitys alkoi nousta. Työntölaitteen ensimmäistä kokeilua oli tullut seuraamaan useita rakennusvaiheessa mukana olleita henkilöitä. Laitetta kokeiltiin työpajan lattialla, ja laite liikkui nytkähdellen eteenpäin, se oli ensimmäinen positiivinen merkki. Työpajassa olleita kevyehköjä työkalulaatikoita työnnettiin varovasti ja myös ne liikkuivat. Työntölaitteen toimintaperiaate oli siis toimiva ja nyt laite vaati vain hieman viimeistelyä.

Kaikki osat hiottiin ja viimeisteltiin, ja aikaa jäi vielä ketjunkiristimienkin rakentamiseen. Työntölaite oli siis lopullisesti valmis, tai niin valmis, kuin tavoite oli tähän mennessä ollut. Kaikki purettiin vielä hyvillä mielin, ja aikaa jäi jopa laitteen maalaamiselle. Muutaman kerroksen pohjamaalaus, ja lopullinen maalaus voitaisiin tehdä myöhemmin.

## 18 TYÖNTÖLAITE TOIMINNASSA

Työntölaite oli nyt kuljetettu Espanjaan opinnäytetyön toimeksiantajalle. Pienikokoisen laitteen nähdessään ei yrityksessä kukaan uskonut, että se voisi työntää suuria metallintyöstökoneita. Sopivaa koeajotilaisuutta jouduttiin odottamaan lähes viikko, joten viikon päivät kuluivat työntölaitteen toiminnan selittämisessä teoriassa.

## 18.1 Ensimmäinen käytännön kokeilu

Sopiva tilaisuus käytännön kokeiluun saatiin vihdoin, kun erään asiakkaan tiloihin täytyi kuljettaa puristin, jolla tehdään puuovia. Puristimen paino oli 5300 kg, eli työntölaite joutuisi välittömästi melko äärimmäiseen testiin.

Hallissa, johon puristin työnnettäisiin, oli karkeahko betonilattia, joka oli työntölaitteen kannalta positiivinen asia.

Puristin laskettiin pyörille ja sitä työnnettiin kokeilumielessä viiden miehen voimin.

Liikkeellelähtö vaati yllättävän paljon ponnisteluja viideltä mieheltä, eikä kaikki tuntunut olevan kohdallaan. Lähemmän tarkastelun jälkeen huomattiin, että osa kumipyöristä, joille puristin laskettiin, oli halkeillut ja murtunut erilaisten öljyjen ja ajan syövyttämänä. Tästä syystä puristimen liikuttaminen vaati niin paljon voimia.

Työntölaite päätettiin kokeilla joka tapauksessa. Työntölaite aseteltiin paikoilleen erilaisten puupalikoiden avulla, koska puristimen alaosa oli ohutta peltiä. Yksi mies meni puristimen etupuolelle ohjaamaan ja tarvittaessa vetämään puristinta, mutta muita avustajia kokeiluun ei huolitettu.

Kaikki oli valmista ja työntölaitteen kahvasta väännettiin laite liikkeelle. Työntölaite lukittui hitaasti puristimen alle ja puukappaleet raksahtelivat työntölaitteen ja puristimen välissä.

Puristin ei liikkunut, mutta myöskään työntölaitteen renkaat eivät luistaneet. Missä vika?

Pieni avustustönäisy sai yhdistelmän liikkeelle, kunnes se pysähtyi taas.

Uusi yritys paljasti, että takarenkaiden kiinnitys askelilla oli pettänyt. Lopullinen renkaiden kiristys oli unohtunut, koeajon tohinassa.

Akselille laitettiin toinen mutteri ja renkaat kiristettiin kunnolla. Työntämistä kokeiltiin jälleen ja nyt kaikki toimi kuten pitikin, ainoastaan rikkoutuneet kuljetinrenkaat aiheuttivat hieman harmia, eikä koeajoa voitu suorittaa täysin puhtaasti.

Toiminnasta jäi kuitenkin erittäin hyvä ja positiivinen mieli, laite toimi ja laitteen toimintaperiaate oli juuri niin kuin se oli suunniteltu ja asiakkaat olivat tyytyväisiä.

Koeajotilanne on esitetty kuvassa 14.



**Kuva 14** Työntölaitteen ensimmäinen käytännön kokeilu

## 18.2 Toinen käytännön kokeilu

Taka-akselin ja renkaiden kiinnitys oli nyt lopullisesti korjattu, ja rikkoutuneet siirtopyörätkin oli uusittu. Siirrettävänä oli jälleen puristin, mutta painoa tällä kertaa oli vain 2700 kg. Hallin lattia tosin huolestutti hieman. Lattia oli erittäin liukas, maalattu betonilattia, joka oli täynnä pientä puujauhoa.

Puristimen työntäminen käsin vaati tällä kertaa kolme miestä. Työntölaite aseteltiin paikoilleen ja kytkimestä laite liikkeelle. Nyt kaikki sujui kuin unelma. Yhdistelmä liikkui erittäin kevyesti, eikä juuri minkäänlaista luistamista esiintynyt. Tiukoissa paikoissa takarenkaat luistivat hieman, mutta kevyt painaminen työntölaitteen ohjaussauvasta synnytti pidon jälleen renkaille.

Puristin työnnettiin paikoilleen ja koeajo kuvattiin videolle. Työntölaite oli nyt lopullisesti valmis, ja toimeksiantaja oli tyytyväinen.

## 19 LOPPUPÄÄTELMÄT

Itsenäisesti suunnitellun ja toteutetun laitteen näkeminen toiminnassa on yksi parhaista kannustimista, joka innostaa nuorta insinööriä jatkamaan.

Suunnitteluvaiheessa kaikki aikaisemmin opiskeltu joutuu vihdoinkin koetukselle, ja kaikki opitut kaavat ja säännöt löytävät paikkansa.

Tämä opinnäytetyö onkin ollut yksi parhaista kokemuksista koulutuksen varrella.

Työntölaiteessa ja sen toiminnassa ei ole paljon valitettavaa, parannettavaa kuitenkin olisi paljon.

Laite voisi olla nopeampi, tähän riittäisi pienemmät välitykset, koska työntövoimaa kyllä riittää. Laite voisi olla myös hieman pienempi ja kevyempi, nyt toteutettu rakenne on hieman turhan järeä.

Rungon rakenteessa ei juuri ole parannettavaa, mutta joissakin osatoteutuksissa kyllä.

Esimerkiksi taka-akselin laakerointi ja renkaiden kiinnitys vaatisivat hiomista.

Sähköjärjestelmä olisi ollut parannettavissa, mikäli aikaa ja rahaa olisi ollut hieman enemmän.

Mikäli työntölaite rakennettaisiin nyt uudestaan, tulos olisi varmasti parempi, mutta nykyiseenkin tulokseen olen hyvin tyytyväinen.

Valmiista koneesta on kuvia liitteessä 4.

## LÄHDELUETTELO

- 1 Bosch Motors and Controls for Industry. [www-sivu]. [Viitattu 14.8.2006]  
Saatavissa: <http://www.boschautoparts.co.uk/> ja tarkemmin:  
<http://www.boschmotorsandcontrols.co.uk/elektromotoren/gleichstrommotoren/ohne-getriebe/index.htm>
- 2 Lähteenmäki, Matti, Lujuusopin jatkokurssi, Luennot 2005-2006, Tampereen ammattikorkeakoulu.
- 3 Outinen, Hannu, Dynamiikka, 4. painos, Pressus Oy. Tampere 1997.
- 4 Outinen, Hannu, Lujuusoppi 2, Tampereen teknillinen korkeakoulu, 1979.
- 5 Tammertekniikka, Tekniikan Kaavasto, (työryhmä: Mäkelä – Soininen – Tuomola – Öistämö) Gummerus Kirjapaino Oy 2001, 3. painos.
- 6 Teollisuusergonomia Käsikirja suunnitteluun, (Aluperäsiteos: Ergonomic Design for People at Work), Työterveyslaitos. Helsinki 1992.
- 7 Tuomaala, Jorma, Tammertekniikka, Luova koneensuunnittelu, Gummerus Kirjapaino Oy 1995, 1. painos.