

Saimaan ammattikorkeakoulu
Tekniikka Lappeenranta
Kone- ja tuotantotekniikka
Kone- ja tuotesuunnittelu

Veli-Matti Valtonen

Varasto paternoster

Opinnäytetyö 2012

Tiivistelmä

Veli-Matti Valtonen

Varasto paternoster, 31 sivua, 4 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Kone- ja tuotantotekniikka

Kone- ja tuotesuunnittelu

Opinnäytetyö 2012

Ohjaajat: yliopettaja Seppo Toivanen, toimitusjohtaja Mika Pukki, CMT-Engineering Oy

Opinnäytetyöni aiheena oli suunnitella paternostervarastointilaitte. Tavoitteena oli varastointilaitte, joka soveltuu käytettäväksi työpajalla, jossa huolletaan teollisia elektroniikkakomponentteja. Kyseiselle laitteelle esiintyi tarve, kun yritys päätti muuttaa uusiin toimitiloihin, joissa oli huomattavasti suurempi huonekorkeus. Uusien tilojen korkeus haluttiin hyödyntää varastointiin siten, että huollettavat laitteet olisivat edelleen noudettavissa lattiatasosta. Yrityksen tarpeisiin soveltuvia paternostereita ei ollut tarjolla, koska kaupallisesti tarjolla olevat laitteet on suunniteltu huomattavasti suuremmille kohteille. Pääsääntöisesti kaikki paternosterit on suunniteltu raskaaseen teolliseen käyttöön. Siksi päätettiin suunnitella oma laite, joka olisi räätälöity yrityksen tarpeisiin.

Paternosterlaitteista ei perusidean lisäksi ollut saatavilla kovinkaan paljon tietoa, joten minun täytyi suunnitella täysin alkuperäinen tuote. Tavoitteena oli kehittää tuote, joka toiminnallisten vaatimusten täyttämisen lisäksi olisi myös edullinen valmistaa. Alhaisien valmistus- ja käyttökustannuksien saavuttamiseksi laitteessa käytettiin akseleita lukuun ottamatta, ainoastaan standardiprofiileita ja -osia. Laitteessa myös hyödynnettiin huoltovapaita komponentteja, jotta laitteen käyttö olisi huolettomampaa ja paremmin käyttöympäristöön soveltuvaa.

Lopputuloksena oli tuote, joka täytti yrityksen varastointitarpeet ja sisälsi seuraavat ominaisuudet. Laite on kokoonpantavissa ja pystytettävissä lattiatasosta käsin. Runko on avoin, varaston valvonnan helpottamiseksi. Tuote on koottavissa pelkillä käsityökaluilla. Laite pystyy käsittelemään 20 kappaletta varastolaatikoita, eikä se tarvitse säännöllistä huoltoa. Tämä raportti käsittelee laitteen kehitysvaiheet ja siihen liittyvät ongelmat ratkaisuihin. Tämä työ myös valottaa tämäntyyppisen poikkeuksellisen tuotteen erityisiä suunnitteluhaasteita.

Asiasanat: paternoster, varastointilaitte, ketjukäyttö

Abstract

Veli-Matti Valtonen

Storage paternoster, 31 Pages, 4 Appendices

Saimaa University of Applied Sciences

Technology Lappeenranta

Mechanical Engineering

Machine- and Product Design

Bachelor's Thesis 2012

Instructors: Seppo Toivanen, Mika Pukki, CMT-Engineering Oy

The topic of this thesis was to design a paternoster-type storage handling device. The objective was to create a storage handling device that would be applicable in a workshop that does maintenance on industrial electronic components. The need for such a device arose when the company decided to move in to a new location, which had a greater ceiling height than the old one. The company wanted to take advantage of the greater vertical space for storage, while still being able to retrieve the items from ground level. Since there were no commercially available devices that could satisfy their requirements, they decided to design one of their own. The problem with these types of machines is that, they are primarily designed for the needs of heavy industry. Machines that are useful for such small scale storage are simply not available.

Except for the basic idea, there wasn't a lot of information available on these types of machines, so I had to create a completely original design. My intention was to create a design that would satisfy its operating requirements and be cost-effective to produce at the same time. To achieve this goal, I mainly used standard components and profiles for the design. I also made extensive use of maintenance free components to create a carefree product that is well suited for its operating environment.

The result of this design was a paternoster storage handling device that filled its operating requirements and contained the following features. The machine can be fully assembled from ground level with only hand tools required. The frame is open for visual storage monitoring. The machine can handle up to 20 storage boxes and it does not require regular maintenance. This thesis will cover the development phases of the device, along with the associated problems and solutions. This thesis also presents some of the problems of designing a product for such a niche market.

Keywords: paternoster, storage handling, chain drive

Sisältö

1	Johdanto	5
2	Taustaa	7
3	Vaatimukset ja toivomukset	7
4	Suunnitteluprosessi	9
4.1	Rungon suunnittelu	9
4.2	Kuljetinmekanismi	11
4.3	Koura	12
5	Rakenne	13
5.1	Runko	14
5.2	Pyörät ja ketjut	19
5.3	Akselit	21
5.4	Koura	25
6	Yhteenveto ja pohdinta	27
	Kaavat	28
	Kuvat	30
	Lähteet	31

Liitteet

- Liite 1 Paternosterin päämittakuva
- Liite 2 Kuormalaatikon päämittakuva
- Liite 3 SKS Mekaniikka 2008. Ketjupyörät ja tarvikkeet s.36
- Liite 4 SKS Mekaniikka 1999. Tsubaki itsevoitelevat lambda-ketjut s.5

1 Johdanto

Työn tavoitteena on suunnitella työpajakäyttöön paternoster-tyyppinen varastointilaitte, joka mahtuu noin yhden neliömetrin lattia-alalle, on noin viisi metriä korkea ja pystyy käsittelemään mahdollisimman suuren määrän ennalta valittuja, enimmillään kahdenkymmenen kilogramman painoisia varastolaatikoita. Rakenteen tulee olla avoin, visuaalisen varastonvalvonnan mahdollistamiseksi. Kokoonpanoa varten on laitteen rungon oltava saranoitu jalustaan, jotta kokoonpano voidaan suorittaa lattiatasosta käsin. Laitte on mahdollista tukea kiinnittämällä se kattoon. Laitteen ohjaus toteutetaan asiakkaan suunnittelemalla manuaalisella järjestelmällä. Laitteen tulee koostua mahdollisimman suurelta osin standardikomponenteista ja -profiileista.

Varastointilaitte tulee käyttöön työpajalla, jossa huolletaan teollisia elektroniikka-komponentteja ja -laitteita. Varastointilaitteella saadaan työpajan korkeus hyödynnettyä siten, että varastolaatikat ovat helposti noudettavissa halutulta korkeudelta. Työpajalle huoltoon tulevat laitteet puretaan vianmäärittystä varten ja varastoidaan laatikoihin odottamaan asiakkaan vastausta tarjoukseen. Tehokas varaston käsittelyjärjestelmä auttaa purettuja osakokonaisuuksia säilymään yhdessä, ilman uudelleen kokoamista. Tämä nopeuttaa jatkotoimenpiteitä, kuten huoltoa tai palautusta varten kokoamista, kun asiakas on vastannut tarjoukseen.

Suunnittelen varastointilaitteen, joka täyttää yrityksen varastointitarpeet mahdollisimman hyvin ja edullisesti. Suunnittelussa pyrin mahdollisimman huoltovaapaaseen rakenteeseen, joka soveltuu hyvin työpajalle, jolla ei ole kapasiteettia eikä osaamista kyseisen laitteen huoltoon. Tavoitteena on myös pitää valmistus- ja käyttökustannukset mahdollisimman pieninä, edullisen laitekokonaisuuden aikaansaamiseksi.

Merkinnot

X-X	Sauvan poikkileikkauksen akseli
Y-Y	Sauvan poikkileikkauksen akseli
Z-Z	Sauvan pituussuuntainen akseli
A	Pinta-ala
g	Painovoimakiihtyvyys, $g=9,81 \text{ m/s}^2$
m	Massa
E	Kimmokerroin, $E_{\text{teräs}}=210000 \text{ MPa}$
G	Liukkerroin, $G_{\text{teräs}}=82000 \text{ MPa}$
I	Neliömomentti
W	Taivutusvastus
W_v	Vääntövastus
S	Staattinen momentti
F	Vaikuttava voima
σ	Normaalijännitys
τ	Leikkausjännitys
M_t	Taivutusmomentti
M_v	Vääntömomentti
f_m	Taipuma

2 Taustaa

Paternosterhissi on laite, jossa taakat kiertävät ympäri, säilyttäen asentonsa suhteessa lattiatasoon, kuten esimerkiksi Industoren Rotomat[®] Vertical Storage Carousel (1). Esimerkiksi tavarahyllyt voivat kiertää rataansa, säilyttäen pystysuoran asentonsa ilman, että ne kippaavat ympäri kääntökohdissa. Näin saadaan varastoitavat nimikkeet kulkemaan haluttua reittiä loputtomassa kierteesä, ilman erillistä kiinnitystä. Tämän tyyppisen laitteen ansiosta saadaan tilan syvyys, korkeus tai molemmat hyödynnettyä varastointiin, siten että kaikki varastoyksiköt ja nimikkeet ovat noudettavissa samasta paikasta.

Kohdeyritys on siirtämässä toimintaansa uusiin toimitiloihin, joissa on käytettävissä huomattavasti enemmän huonekorkeutta, joka halutaan hyödyntää mahdollisimman tehokkaasti. Elektroniikkatyöpajalla ei ole minkäänlaista varastokalustoa; kuten trukkia, eikä myöskään tilaa tai osaamista sellaisten käyttöön. Tästä syystä tämän kaltainen varastointilaitte on erittäin käytännöllinen, sillä melko pienet varastonimikkeet ja -painot mahdollistavat suhteellisen siron laiteratkaisun, johon tällainen mekanismi soveltuu hyvin.

3 Vaatimukset ja toivomukset

Lähtövaatimukset laitteelle ovat seuraavat: sen on mahduttava 1 neliömetrin lattia-alalle, korkeussuunnassa tilaa on käytettävissä enintään 5,2 metriä, laitteen on säilytettävä mahdollisimman suuri määrä ennalta valittuja, muovisia (jo käytössä olevia) Contico[®]-säilytyslaatikoita, joiden suurin käyttöpaino on 20 kilogrammaa kappaleelta, sen on oltava koteloimaton visuaalisen varaston valvonnan mahdollistamiseksi, pääkokoonpano on pystyttävä suorittamaan lattiatasosta, runkorakenteen tulee koostua standardiprofiilista ja laitteessa tulee hyödyntää mahdollisimman paljon standardiosia.

Asiakas on lisäksi esittänyt tiettyjä toivomuksia rakenteen suhteen, joiden taustalla ovat asiakkaan omat mieltymykset ulkonäön ja kokoonpantavuuden suhteen sekä mahdolliset lisävarustelut. On toivottu, että runko koostuu I-profiilista, mahdollisten lisävarustekiinnityksien ja sen ulkonäön vuoksi. Lisäksi laitteen on oltava käsityökaluilla kokoonpantavissa.

Hyötykuormana käsiteltävät laatikot ovat ennalta valittuja, muovisia varastolaatikoita. Laatikot ovat asiakkaan valitsemia ja ne täyttävät asiakkaan varastointitarpeet ja -vaatimukset. Laatikon on tarkoitus kantaa enimmillään 20 kilogramman kuorma elektroniikkakomponentteja. Laitteessa käytettävä varastolaatikko on nähtävissä kuvassa 1. Laatikon tarkemmat mitat on esitetty liitteessä 2.



Kuva 1. Käytettävä kuormalaatikko

4 Suunnitteluprosessi

Suunnitteluprosessi jakaantui selkeästi kolmeen vaiheeseen: rungon suunnittelu, kuljetusmekanismin suunnittelu ja kiinnityskouran suunnittelu. Jokainen yksittäinen vaihe asetti omat rajoituksensa seuraavalle vaiheelle. Runkoratkaisut määräsivät mekanismille käytettäväksi jäävän tilan. Kouran suunnittelu oli suurelta osin itsenäinen osuus, mutta valittu ketjuratkaisu asetti omat vaatimuksensa kouran kiinnitykselle. Olen koko suunnitteluprosessissa pyrkinyt mahdollisimman vähäistä huoltoa tarvitsevaan laitteeseen. Erityisesti liikkuvat osat, kuten ketjut ja laakerit, jotka tavanomaisesti tarvitsevat eniten huoltoa, on valittu mahdollisimman vähäistä huoltoa tarvitsevistä komponenteista. Pieni huollontarve mahdollistaa selkeästi pienemmät käyttökustannukset yritykselle, jolla ei ole valmiuksia suorittaa itse huoltoa.

4.1 Rungon suunnittelu

Rungon täytyy ensisijaisesti kannatella mekanismin ja kuorman paino sekä käytön rasitukset. Lisäksi rungon on sallittava mekanismille ja taakoille riittävä liikkumatila rungon sisällä. Runkorakenteen suhteen minulla oli alusta alkaen selkeä ajatus siitä, minkälainen rakenne parhaiten toteuttaisi sille asetetut vaatimukset. Tästä alustavasta suunnittelulinjasta huolimatta kehitin myös muita rakennevaihtoehtoja. Näiden kilpailevien vaihtoehtojen tarkoituksena oli tutkia mahdollisuuksia säästää tuotantokustannuksissa sekä ehkäistä ensimmäisen idean aiheuttamaa sokeutta muiden ratkaisumallien suhteen. Pääsääntöisesti eri kehityssuuntien ongelmaksi osoittautui se, että rakenteen yksinkertaistamisessa saavutetut säästöt kumoutuivat selkeästi kasvaneiden kokoonpanokustannusten vuoksi.

Tässä osiossa käydään ensin läpi kilpailevat ratkaisuvaihtoehdot, jonka jälkeen syvennytään toimivimmaksi osoittautuneen rungon rakenteeseen sekä siihen, miten muut vaihtoehdot vaikuttivat sen suunnitteluratkaisuihin.

Ensimmäinen vaihtoehto oli yksinkertainen neljällä suoralla jalalla varustettu yhtenäinen torni, jonka etuna oli yksinkertainen rakenne, joka täytti mekanismin perusvaatimukset, mutta ei täysin täyttänyt laajempia tuotevaatimuksia. Edulli-

nen rakenne osoittautui välittömästi riittämättömäksi toteuttamaan asetetut vaatimukset. Runkoa kokoonpantaessa sitä olisi täytynyt joko kyetä liikuttamaan kokonaisena paikoilleen tai koottava paikoillaan vaatien korkealla suoritettavaa työtä, mikä olisi edellyttänyt telineiden tai henkilönostimien käyttöä.

Seuraavana vaiheena harkinnassa oli variaatio ensimmäisestä vaihtoehdosta, jossa sama tornirakenne koostui useasta lyhyemmästä osasta. Tässä vaihtoehdossa runko koottaisiin kerroksittain ylhäältä alaspäin, siten että ylempää osaa nostetaan ilmaan ja kiinnitetään seuraava osa sen alapuolelle. Vaikka rakenne sinänsä täytti vaatimuksen kokoonpanosta ilman telineitä tai henkilönostimia, oli se selkeästi epäkäytännöllinen ja hankala tapa ratkaista kokoonpanovaatimukset. Kokoonpanoa varten olisi edelleen tarvittu jonkinlainen nostolaite.

Kolmantena vaihtoehtona oli kolmiosainen rakenne, jossa kukin itsenäinen osa oli erikseen saranoitu edelliseen. Rakenne koostui kolmesta erillisestä osasta: jalusta, keskiosa ja huippu. Kiinnitysmekanisminsa ansiosta yksittäiset palat voitaisiin kipata yksitellen paikoilleen. Rakenne oli turhan monimutkainen ja sisälsi runsaasti ylimääräisiä osia. Saavutettu asennuskorkeuden madallus oli liian pieni vaikuttaakseen olennaisesti kokoonpantavuuteen.

Ensisijaisena kehityssuuntana ollut runkorakenne, jossa on erillinen jalustaosa ja siihen saranoitu torniosa. Rakenteessa esiintyy useita muiden rakennekonseptien ominaisuuksia yhdistettynä toimivaksi kokonaisuudeksi. Rungon itsenäinen jalustaosa mahdollistaa helpon asemoinnin ja kiinnityksen lattiaan. Jalustaosa voidaan helposti liikuttaa haluttuun asemaan ja ankkuroida lattiaan, jonka jälkeen jalusta ohjaa torniosan paikoilleen. Yksinkertaisen saranamekanismin ansiosta torniosa voidaan kokoonpanna vaakatasossa ja nostaa pystyyn jalustalle, mikä mahdollistaa kaiken kokoonpanon suorittamisen lattiatasosta käsin ilman apuvälineitä. Yksittäisenä osakokoonpanona toteutettu torniosa vähentää osien määrää. Torni voidaan koota vaakatasossa lattialla, kiinnittää saranointiin ja nostaa paikoilleen. Kokoonpanoa varten tarvitaan vain käsityökalut. Rakenneosat on pyritty pitämään kooltaan sopivan kokoisina yhden miehen käsiteltäviksi, kuljetuksen ja kokoonpanon helpottamiseksi. Kyseinen rakennevaihtoehto täyttää parhaiten asetetut vaatimukset.

Saranamekanismin vuoksi runkorakenne tarvitsee lisäosia pitämään rungon osia asemissaan pystytyksen aikana. Rakenteen tueksi on sijoitettu useita latta-tankoja, jotka kiinnittyvät rungon pilareihin. Nämä tukitangot pitävät runkoa kassassa, kun torniosa nostetaan vaakatasosta pystyyn. Pystytyksen jälkeen tangot antavat ylimääräistä jäykkyyttä nurjahtamisen suhteen sekä toimivat kiinnityskohtina mahdollisia lisälaitteita tai kotelointia varten.

4.2 Kuljetinmekanismi

Kuljetusmekanismeja varten oli ensimmäiseksi suunniteltava mekanismi, joka hyödyntäisi käytettävissä olevan tilan mahdollisimman hyvin. Kuljetinratkaisun tulisi sallia taakkojen tiheä sijoittelu, sallien mahdollisimman suuren laatikkomäärän käsittelyn. Käytettävissä oleva tila rajoittaa liikeradan yksinkertaiseen kehään, jossa laatikot ovat ikään kuin parijonossa. Käyttökelpoiset mekanismit rajoittuivat seuraaviin kahteen vaihtoehtoon.

Nelipyöräisessä mekanismissa, laatikot kiertävät suorakaiteen muotoista rataa. Mekanismi näennäisesti sallii suuremman kuormatiheyden, mutta liikkeessä peräkkäisten laatikoiden kohtaaminen kulmakohdissa aiheuttaa ongelmia. Kyseisessä vaihtoehdossa liikkuvien laatikoiden kohtaaminen käänkökohdissa edellyttää suurempaa etäisyyttä ketjulla, joka pienentää sijoittelutiheyttä. Nelipyöräinen rakenne vaatisi monimutkaisempia kiinnityksiä, kuten useita akseleita ja laakerointeja, jotka lisääisivät tarvittavien osien määrää.

Kaksipyöräisessä mekanismissa, laatikot kiertävät rataa, jonka päissä ne kaartavat takaisin tulosuuntaan. Isojen ketjupyörrien aiheuttama laaja kääntymissäde sallii tiheimmän mahdollisen laatikkosijoittelun. Lisäksi kahden ketjupyörän mekanismi vähentää huomattavasti tarvittavien osien määrää. Kaksipyöräinen rakenne on toteutettavissa kahdella läpiviedyllä akselilla, joka vähentää osien määrää ja yksinkertaistaa kiinnitystä. Laidasta laitaan yltävä akseli mahdollistaa kiinnityksen, joka ei aiheuta vääntömomenttia vaakasuoriin runkopalkkeihin.

Ketjujen valinnan kannalta olennaisin asia on kourien kiinnitystapa. Riittävän lujuuden omaavan ketjun löytäminen on vain valintakysymys. Ensimmäinen aikomukseni oli käyttää hyvin yleistä kourakiinnitysratkaisua, jossa koura kiinnit-

tyy laakeroituna ketjun linkkitapin läpi. Kyseinen kiinnitystapa on hyvin yleinen perinteisissä raskaissa varastopaternostereissa, joissa käytetään raskaita kuljetinketjuja, jotka on koottu isoilla ontoilla linkkitapeilla.

Ongelmana edellä mainituissa kuljetinketjuissa sekä niiden ketjupyörissä on se että, ne ovat itsessään kohtuuttoman raskaita käytettäväksi kyseisessä rakenteessa, koska suunniteltavan varastointilaitteen koko ja kuormat ovat suhteellisen pieniä, olisi saatavilla olevien kuljetinketjuvaihtoehtojen massa moninkertainen hyötykuormaan nähden ja niiden kantavuus selkeästi ylimitoitettu. Käyttökelpoisissa ketjuvaihtoehdoissa kiinnittimet ovat niin pieniä ja umpirakenteisia, että ne estävät alkuperäisen rakenneajatuksen. Ratkaisuna on käytettävä erikoisketjua, jossa on omat kiinnityskohdat sisäänrakennettuina.

4.3 Koura

Koura on osa, jonka kautta kuormalaatikat kiinnittyvät kuljettimeen, joten sen avainominaisuudet ovat kiinnitykset laatikkoon ja kuljetinketjuun. Rakenne vaihtoehtoina kouralle olivat joko lukittava tai lukitsematon vaihtoehto. Lukitusvaihtoehtojen tarkoituksena on tarjota asiakkaalle ratkaisu, joka joustavasti mahdollistaa seuraavat käyttötavat.

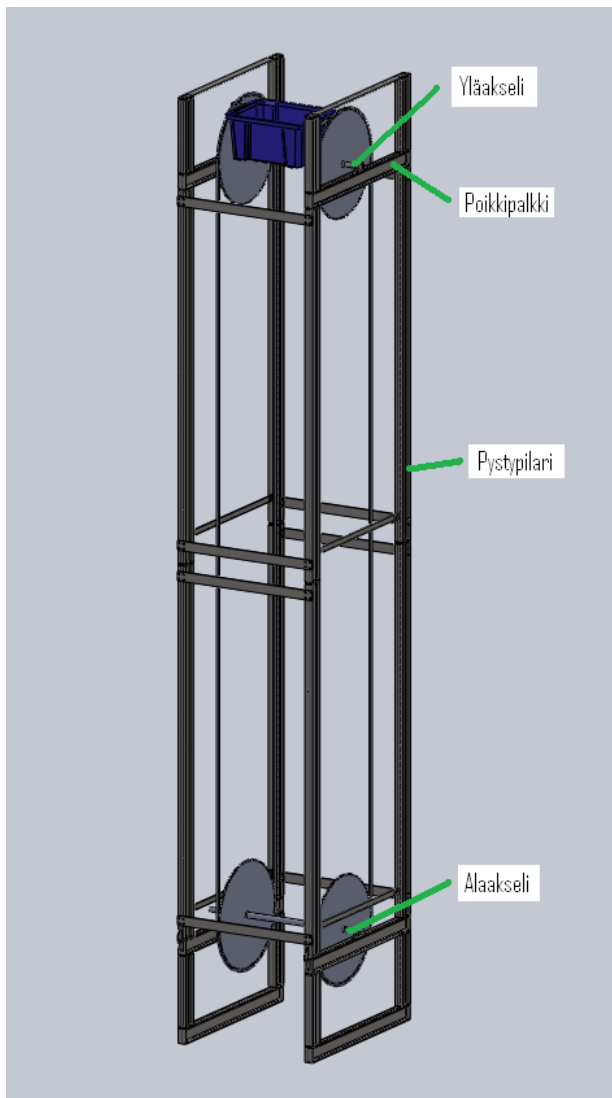
Lukitukseton koura sallii nopeamman laatikon poiston ja lastauksen, mutta suurissa liikenopeuksissa esiintyy laatikon irtoamisen riski. Tämä ratkaisu on hyvä, kun halutaan mahdollisimman helppo ja nopea kuormanvaihto, mutta tarvetta suurelle pyörimisnopeudelle ei ole. Esimerkkinä tästä on käyttö, jossa laatikoita käydään läpi järjestyksessä, jolloin yksittäiset liikkeet ovat lyhyitä eikä erillistä kiinnitystä tarvita. Työhön voidaan saada sujuvuutta välttämällä tarpeettomat lukitsemistoimenpiteet.

Lukituksella varustettu koura puolestaan varmistaa kuorman kiinnityksen kuljettimeen rajujenkin liikkeiden aikana. Esimerkiksi jos halutaan nopeasti hakea yksittäisiä laatikoita kuljettimen eri vaiheista, voi nopea kelaus aiheuttaa liikkeitä, jotka irrottaisivat lukitsemattoman kuorman kiinnikkeestä. Tämäntyyppisessä käytössä lukitus on turvallisen käytön kannalta olennainen, vaikka se hidastaa kin yksittäisen laatikon kiinnitystä ja poistoa.

Suunnittelussa päädyin lukituksettomaan kouramalliin, koska se soveltui parhaiten yrityksen tarpeisiin. Lukitukseton kouravaihtoehto antaa riittävän hyvän otteen kuormalaatikosta, hankaloittamatta tarpeettomasti niiden poistoa ja lastausta. Tämä kouramalli on lisäksi edullisempi ja helpompi valmistaa suurissa erissä.

5 Rakenne

Lopullinen runkorakenne on esitetty kuvassa 2. Kuvassa laitteeseen on asennettu vain yksi kuormalaatikko.



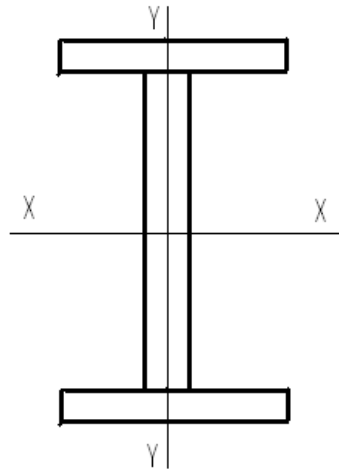
Kuva 2. Paternostervarastointilaitte työpajakäyttöön

5.1 Runko

Rungon kantavien rakenteiden suunnittelussa on kauttaaltaan käytetty samaa profiilia, IPE80. Kyseinen profiili täyttää rakenteellisten vaatimusten lisäksi asiakkaan ulkonäölliset toivomukset. Käytetty I-profiili on hyvä myös siksi, että siinä on hyvät kiinnitysmahdollisuudet niin lisävarusteiden kuin koteloinnin kiinnitykselle. Profiilin kestävyys on tarkastettu vaativimmissa kuormitustapauksissa, joissa runko rasittuu eniten. Mikäli kriittiset kohdat kestävät, kestävät muutkin. Runko on saranoitu jalustaan, jotta laite pystytään kokoamaan lattiatasossa ja nostamaan pystyyn. Saranointi on toteutettu reiällisillä teräslevyillä, jotka on hitsattu kiinni alempiin pystypalkkeihin. Saranalevyt on yhdistetty pultilla, joka toimii sarana-akselina. Kokoonpanossa ei ole tarvetta nousta tekemään kokoonpanoa vaan kaikki kokoonpano ja huolto ovat suoritettavissa lattiatasosta. Suunniteltu runko sallii mekanismille 1000 x 700 millimetrin toimintakuilun, joka on 5000 millimetriä korkea. Runkopalkkien tarkastettavat kuormitustapaukset ovat: taivutus- ja leikkausvoima ylemmässä vaakapalkissa, nurjahdus- ja puristusvoima pystyjaloissa sekä tornijalkoihin ja liitoksiin pystytysvaiheessa kohdistuvat taivutus- ja leikkausvoimat. Rungossa on käytetty SFS-EN 10034 (SFS 2029) standardin mukaista, IPE 80 palkkiprofiilia, jonka poikkileikkaussuureet ovat lueteltu taulukossa 1 (2) ja poikkileikkausakselit ovat nähtävissä kuvassa 3. Laskennassa varmuuskertoimena on 2 ja materiaalina teräs S355, jolloin sallittu jännitys on 177 N/mm^2 .

Pinta-ala, A	764 mm ²
Neliömomentti, I _x	801000 mm ⁴
Neliömomentti, I _y	84900 mm ⁴
Taivutusvastus, W _x	20000 mm ³
Taivutusvastus, W _y	3690 mm ³
Staattinen momentti, S _x	11600 mm ³

Taulukko 1. IPE 80 Profiilin poikkileikkaussuureet (2)



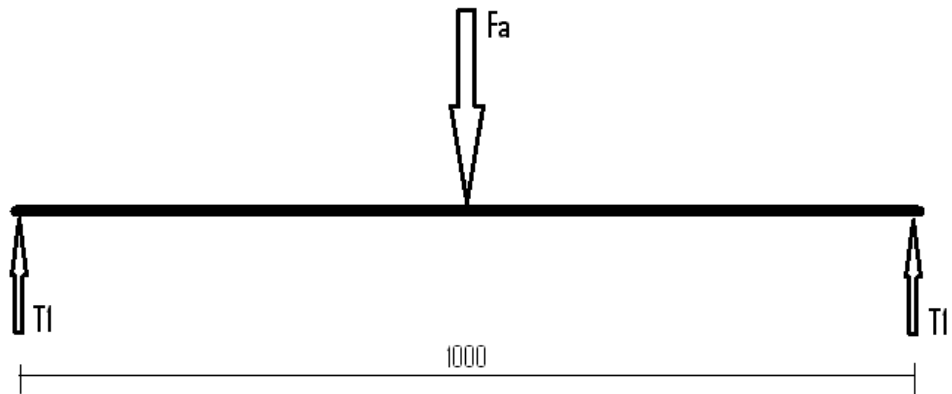
Kuva 3. IPE-palkin poikkileikkausakselit

Ylimmän poikkipalkin kantavuus tarkistetaan taivutuksen, leikkauksen ja näiden vertailujännityksen suhteen. Palkki on vaakatasossa päistään tuettuna. Palkkia kuormittaa puolet täyden kuormalaatikkomäärän ja arvioidun kuljetinmekanismin yhteispainosta. Mekanismin kokonaispainon muodostavat 20 kappaletta kuormalaatikoita, painoltaan 20 kg/kpl, yhteensä 400 kg ja 200 kg:n varaus mekanisme varten eli yhteensä 600 kg. Kaavasta 1 saadaan selville kuormitus F_A , joka on 2944 Newton. Vapaakappalekuvasta (Kuva 4) havaitaan, että kuorma jakautuu tasaisesti molemmille tukipisteille, joten T_1 on 1472 Newtonia. Leikkausvoimaksi saatiin 1472 Newtonia ja taivutusvoimaksi saadaan kaavasta 2, $M_t=736$ Nm. Edellä mainittujen voimien jakautuminen palkissa on nähtävissä kuvissa 5 ja 6.

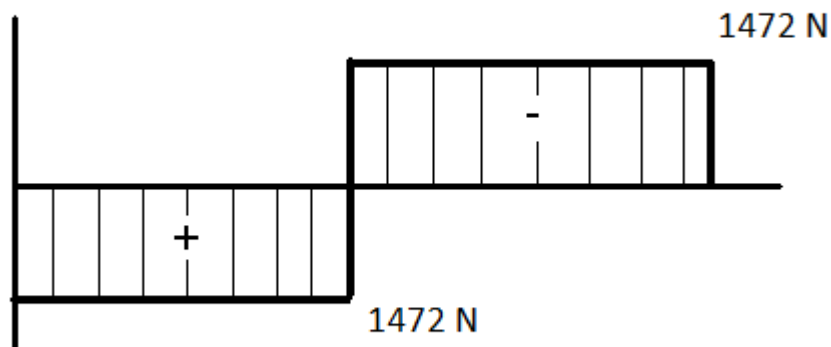
$$F_A = \frac{g \times m}{2} \quad (1)$$

$$T_1 = F_A \div 2$$

$$M_t = T_1 \times \frac{l}{2} \quad (2)$$



Kuva 4. Vaakapalkin vapaakappalekuva

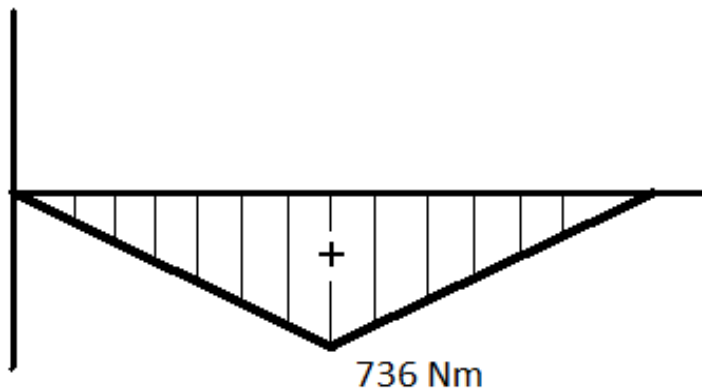


Kuva 5. Vaakapalkin leikkausvoimakuvio

Palkin poikittainen leikkausjännitys saadaan laskettua kaavasta 3, josta saadaan jännitykseksi $\tau_{xy}=1,93 \text{ N/mm}^2$. Taivutuksen aiheuttama pituussuuntainen leikkausjännitys saadaan kaavasta 4. Pituussuuntaiseksi leikkausjännitykseksi saadaan $\tau_{yz}=5,61 \text{ N/mm}^2$. Leikkausjännitysten jäädessä häviävän pieniksi, tulevat taivutusreaktiot määrääviksi.

$$\tau_{xy} = F \div A = T_1 \div A \quad (3)$$

$$\tau_{yz} = \frac{F \times S}{I \times b} = \frac{T_1 \times S}{I_x \times b} \quad (4)$$



Kuva 6. Vaakapalkin taivutusmomenttikuvio

Taivutusjännitys lasketaan kaavasta 5, josta saadaan tulokseksi $\sigma=36.8 \text{ N/mm}^2$. Vertailujännitys vakiovääristymisenergiahypoteesin mukaan, joka kuvaa eri jännitysten yhteisvaikutusta lasketaan kaavasta 6. Tulokseksi saadaan $\sigma_{vert}=38,2 \text{ N/mm}^2$. Palkin taipuma saadaan kaavasta 7, $f_m=0,37 \text{ mm}$. Taipuma on tässä tapauksessa tärkein kriteeri, koska se voi aiheuttaa kuljetinketjun löystymistä, joka olennaisesti vaikuttaa ketjun toimintavarmuuteen ja edistää ennenaikaista kulumista.

$$\sigma_z = \frac{M_t}{W} \quad (5)$$

$$\sigma_{vert} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \times \tau^2} \quad (6)$$

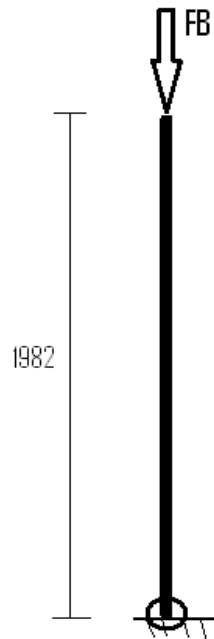
$$f_m = \frac{F \times l^3}{48 \times E \times I} = \frac{F_A \times l^3}{48 \times E \times I_x} \quad (7)$$

Pystypilarin kantavuus tarkistetaan puristus- ja nurjahdustapauksessa. Piliaria puristava voima on sama kuin vaakapalkin tukivoima, $F_B = T_1 = 1472$ N. Pilarin puristusjäännitykseksi kaavasta 8 saadaan $\sigma = 1,93$ N/mm². Puristusjäännitykset rakenteessa ovat olemattomia.

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{F_B}{A_{poik}} \quad (8)$$

Kuvasta 7 nähdään, että pilarin tukemattomalle osalle kyseessä on Eulerin nurjahdusteorian mukainen nurjahdustapaus 2. Tässä tapauksessa nurjahduspi- tuus L_n on samanpitäinen kuin jänteen pituus L , eli $L_n = L$. IPE 80-profiilin nur- jahdus suunta on Y-Y akselin ympäri. Kappaleen hoikkuusluku tässä suunnassa λ saadaan laskettua kaavasta 9. Pilarin hoikkuudeksi tukemattomalle osalle saatiin, $\lambda = 188$.

$$\lambda = \frac{L_n}{\sqrt{\frac{I_y}{A}}} \quad (9)$$



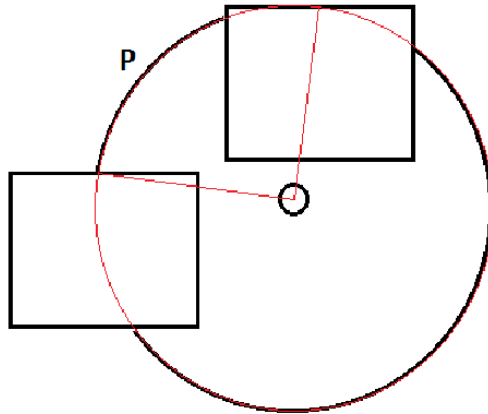
Kuva 7. Pystypilarin vapaakappalekuva

Käytettäessä nurjahdusmitoituksen Omega-menetelmää (2) saadaan kappaleelle, jonka materiaali on S355, nurjahdusarvo $\omega=9,14$. Omega-arvoa käytetään korottamaan puristavan kuormituksen arvoa tasolle, jossa nurjahdusta ei esiinny, lisäämällä arvo kaavaan 8. Näin saadaan puristusmitoituksen laskentaan uusi kaava 9, josta saadaan puristusmitoitukselle uusi arvo $\sigma=17,6 \text{ N/mm}^2$.

$$\sigma = \frac{\omega \times F}{A} = \frac{\omega \times F_B}{A_{poik}} \quad (10)$$

5.2 Pyörät ja ketjut

Ketjupyöräksi on valittu suurin mahdollinen ketjupyörä, joka mahtuu toimimaan rungon sallimassa tilassa. Kuten kuvasta 8 nähdään, mahdollisimman suuri ketjupyörä maksimoi käsiteltävien laatikoiden määrän sekä minimoi laatikoiden tarvitseman välin ketjulla.



Kuva 8. Ketjupyörän periaatekuva

Mekanismissa käytetyt ketjut ovat DIN 8187–8188-standardin mukaisia.

Ketjupyöräksi on valittu suurin mahdollinen ketjupyörä, joka mahtuu toimimaan rungon sallimassa tilassa. Kuten kuvasta 8 nähdään, mahdollisimman suuri ketjupyörä maksimoi käsiteltävien laatikoiden määrän sekä minimoi laatikoiden tarvitseman välin ketjulla. Mekanismissa käytetään standardiketjupyörää. Isot levyketjupyörät on mahdollista keventää poistamalla materiaalia symmetrisesti pyörän rungosta. Laitteen rakenne on mitoitettu kantamaan keventämättömät ketjupyörät ongelmitta. Standardiketjupyörät on suunniteltu kuormankantokyvyllään vähintään niille soveltuvien ketjujen tasolle.

Ketjupyöräksi on valittu 5/8" x 3/8" ketjupyörä, jonka hammasluku on 114 (3).

Mekanismin toiminnan kannalta on olennaista, että laatikot mahtuvat liikkumaan törmäämättä. Kourien välin ketjulla on oltava vähintään 475 millimetriä, jotta vältetään yhteentörmäykseltä laatikoiden kiertäessä ketjupyörää. Kyseisellä laattokvälillä saavutetaan 20 laatikon maksimikapasiteetti.

Ketjuina käytetään erikoisrullaketjua, jossa on sopivat kiinnityskohdat kuormakourille. Valitun 5/8" x 3/8" ketjupyörän kanssa yhteensopivan ketjun on täytettävä seuraavat vaatimukset: jako 15,875 mm, sisäleveys 9,65 mm ja rullanhalkaisija 10,16 mm. Ketjuksi on valittu huoltovapaa Tsubaki RSC 50 LABDA SK-1-ketju, molemminpuolisin pystykiinnikkein.

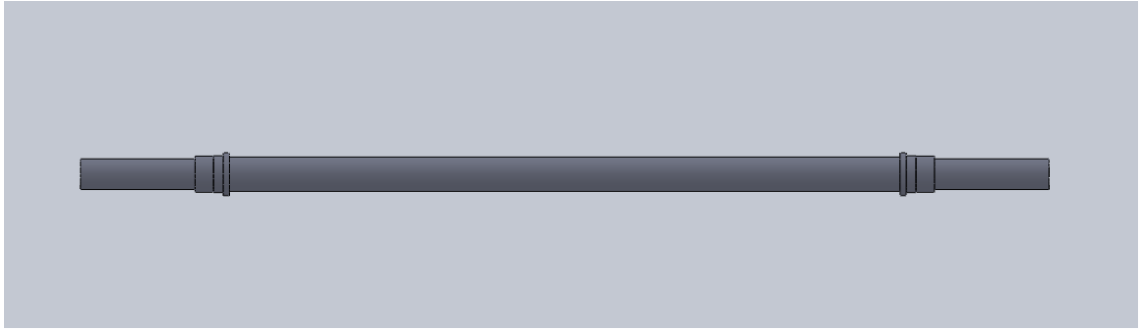
Ketjujen vaadittu vetokestävyys varmuuskertoimella 2 voidaan laskea kaavasta 11. Tasapainosäännön mukaan kuormittava massa on puolet kokonaiskuormasta, eli noin 200 kilogrammaa. Vaadituksi vetokestävyudeksi saadaan 3924 N.

$$F = m \times g \times 2 \quad (11)$$

Valitun Tsubaki RSC 50-ketjujen (DIN 8188) sallittukuormitus on 4300 N (4), kuormankantokyky on valmistajan ilmoittaman arvon mukaan riittävä. Käytettävän ketjun lenkkiluku on 624, joka antaa ketjulle pituudeksi noin 9906 millimetriä. Pystykiinnikkeelliset lenkit sijoitetaan ketjulle 30 lenkin välein.

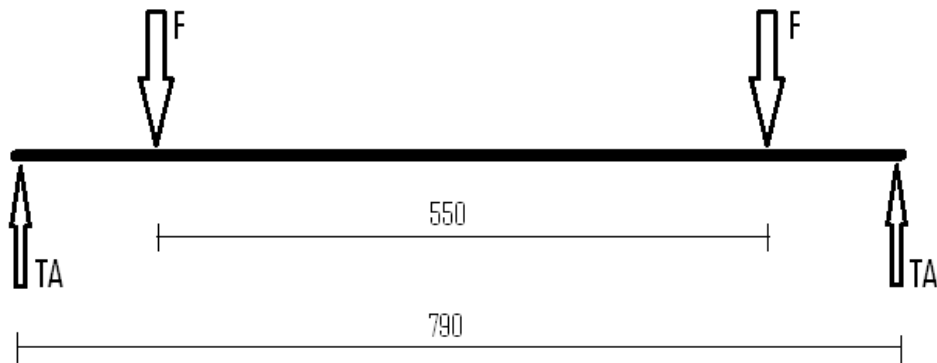
5.3 Akselit

Akselin mitoituksessa tärkeät kuormitustapaukset ovat maksimitaivutusmomentti ja -leikkausvoima sekä maksimivääntömomentti. Suurimmat taivutus- ja leikkausvoimat esiintyvät yläakselissa, joka pääasiassa kannattelee kuormaa. Suurin vääntömomentti esiintyy ala-akselissa, joka on mekanismin voimansiirto- eli vetäväakseli. Valituille ketjupyörille standardiakselin reikä on halkaisijaltaan 30 mm (3). Välttääkseni standardista poikkeavia muutoksia osien rakenteeseen pyrin käyttämään maksimissaan 30 millimetriä paksua akselia. Yläakseli on suunniteltu siten, että pyörien kiinnityskohdat ovat halkaisijaltaan 30 mm, keski-osa 28 mm ja päädyt 25 mm. Lisäksi akselissa on ketjupyörien paikoitusolakkeet. Päistä ja keskeltä ohennettu akseli helpottaa pyörien asennusta ja lisää laatikoiden liikkumavaraa akselia ylitettäessä.



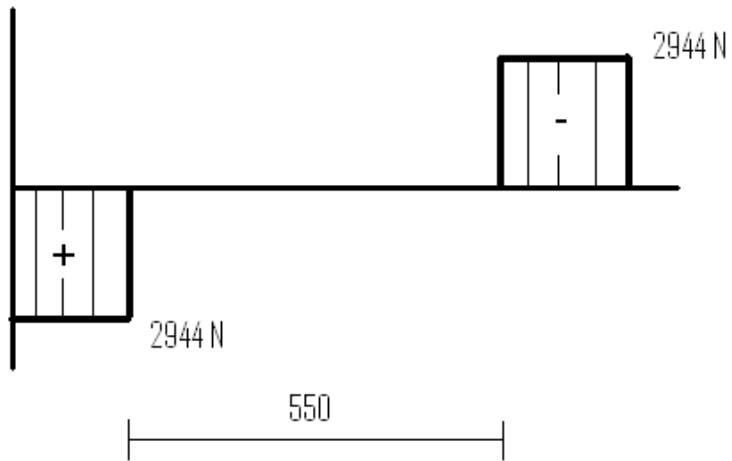
Kuva 9. Yläakseli

Kuvassa 10 on esitetty yläakseliin vaikuttavat voimat. Kuvassa esiintyvät voimat ovat, $F=T_A=2944$ N. Akselissa vaikuttava taivutusmomentti lasketaan kaavasta 12, $M_t= 353,3$ Nm. Akselin materiaalina käytetään S420 terästä ja varmuuskerrointa 1,5, josta seuraa $\sigma_{sall}=280$ N/mm² ja $\tau_{sall}=162$ N/mm². Voimien jakautuminen akselissa on esitetty kuvissa 11 ja 12.

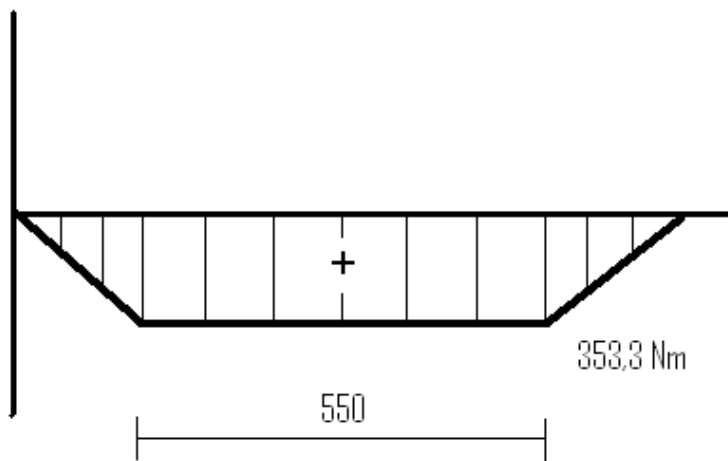


Kuva 10. Yläakselin vapaakappalekuva

$$M_t = F \times l = F \times \frac{l-x}{2} \quad (12)$$



Kuva 11. Yläkselin leikkausvoimakuvio



Kuva 12. Yläkselin taivutusmomenttikuvio

Akselin leikkausjännitys on laskettavissa kaavasta 3, josta jännitykseksi saadaan $\tau = 6 \text{ N/mm}^2$. Taivutusjännitys lasketaan kaavalla 5, josta saadaan jännitykseksi $\sigma = 230,3 \text{ N/mm}^2$. Akselin taipuma lasketaan kaavasta 13. Taipumaksi saadaan $f_m = 3,5 \text{ mm}$, joka on hyväksyttävä, kun sallittu taipuma on 5 mm/m .

$$f_m = 2 \times \frac{F \times b \times \sqrt{(l^2 - b^2)^3}}{9 \times \sqrt{3} \times E \times I \times l} \quad (13)$$

Vetävänä akselina ala-akselia kuormittaa pääasiassa vääntöjännitys. Ala-akselin päätehtävä on toimia mekanismin voimansiirtona, joka pyörittää mekanisme. Alemman akselin kohdalla ei ole vaaraa siitä, että laatikot koskettaisivat akselia, joten voidaan käyttää ohentamatonta akselia. Paksumpi akseli antaa enemmän vääntöjäykkyyttä, mikä varmistaa ketjujen samanaikaisen ajoituksen. Akselin vääntövastus on laskettu kaavasta 14 ja maksimivääntömomentti kaavasta 15, $W_v = 3068 \text{ mm}^3$, $M_{v,max} = 497 \text{ Nm}$.

$$W_v = \frac{\pi \times d^3}{16} \quad (14)$$

$$M_{v,max} = \tau_{sall} \times W_v \quad (15)$$

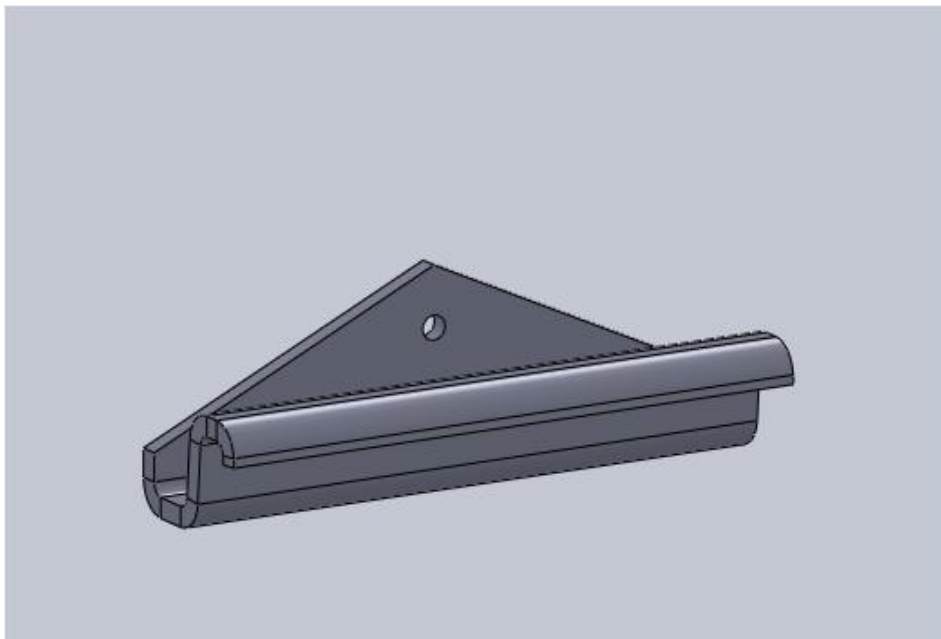
Ketjupyörien välinen kiertymä on ketjupyörien ajoituksen kannalta olennainen tekijä. Ketjupyörien välinen akselin kiertymä maksimimomentilla voidaan laskea kaavasta 16, $\alpha = 0,028$ radiaania eli noin $1,6$ astetta, joka ei aiheuta haittaa mekanismin toiminnalle.

$$\alpha = \frac{M_v \times l}{G \times I_p} \quad (16)$$

Akseleiden laakereina käytetään SKF:n laakeria P 25 FM P 52 YET 205 (6), joka huoltovapaan rakenteensa ansiosta soveltuu hyvin kyseisen yrityksen tarpeisiin. Akselin suositeltu maksimi pyörimisnopeus on 200 kierrosta minuutissa. Tämä nopeus mahdollistaa turvallisen käytön, joka kuitenkin sallii koko varaston läpikierron noin kahdessa sekunnissa.

5.4 Koura

Kourat (Kuva 13) on suunniteltu tarttumaan laatikoiden kantokahvoista molemmin puolin.



Kuva 13. Koura

Koura on suunniteltu siten, että se tarttuu kiilautumalla kantokahvaan (Kuva 14). Koura kiilautuu kantokahvaan niin, että sen viistot pinnat kiilautuvat laatikon viistoa kylkeä ja kahvanreunaa vasten, estäen sivuttaisliikkeen. Leveysuunnassa kouran reunat ottavat kiinni kantokahvan jäykisteisiin, estäen näin laatikon edestakaisen liikkeen.



Kuva 14. Kuormalaatikon kantokahva

Tällä ratkaisulla saavutetaan hyvä ja jäykkä kiinnitys. Kourat valmistetaan levystä taivuttamalla, mikä mahdollistaa kourien edullisen massatuotannon. Edullisella rakenteella saavutettavat säästöt tuotantokustannuksissa ovat huomattavat, sillä yksi varastointilaitte tarvitsee 40 kappaletta kouria. Koura taivutetaan yhdestä teräslevystä, johon porataan yksi kiinnitysreikä. Kiinnitysreiästä tehdään riittävän väljä kiinnitystappiin nähden, jotta se säilyttää orientaationsa painovoiman vaikutuksesta. Lisäosina rakenteeseen on mahdollista lisätä ohjaimet, jotka varmistavat, että kuormalaatikot säilyttävät orientaationsa tasoon nähden, eivätkä kippaa käännekohtissa.

6 Yhteenveto ja pohdinta

Suunniteltu paternostervarastointilaitte täytti kaikki sille asetetut vaatimukset ja sen kuormakapasiteettiin oltiin tyytyväisiä. Tämän tyyppiselle laitteelle saattaisi olla enemmänkin kysyntää yrityksissä, joissa ei ole edes harkittu tällaista laitetta niiden suuren koon vuoksi. Laitteella on paljon kehityspotentiaalia, niin lisälaitteiden ja ominaisuuksien kuin rakenteen optimoinninkin kannalta. Lopullinen tuote sai kiitosta yksinkertaisuudestaan ja erityisesti huoltovapaasta toiminnastaan. Kourien kustannustehokas valmistusmenetelmä oli erityisen hyvä ratkaisu, suurien valmistusmääriensä vuoksi.

Laitteen toimilaitteiden kuten sähkömoottorin valinta eivät kuuluneet tähän työhön, mutta haluan tuoda esille muutamia niiden valintaan liittyviä seikkoja. Moottorin yhteyteen on valittava pidätinjarru, joka estää kuormaa pyörimästä vapaasti moottorin sammuttua. Lisäksi hallintalaitteiden käytössä ja valinnassa on huomioitava koteloimattoman rakenteen aiheuttamat vaarat.

Päätöksenä voin sanoa, että olen tyytyväinen suunnittelun lopputulokseen, sillä se on hyvin toimiva ja tarkoituksensa täyttävä laite, jolla on potentiaalia jatkokehitykseen. Paternoster sisältää monia osa-alueita, joissa sitä voitaisiin jalostaa kaupallisesti kannattavaksi tuotteeksi. On olemassa useita yrityksiä, joiden hukan menevä varastotila saataisiin tehokkaasti hyödynnettyä tällä laitteella.

Kaavat

Käytetyt kaavat ovat saatu Tekniikan taulukkokirjasta (2)

$$F = \frac{g \times m}{2} \quad (1)$$

$$M_t = T_1 \times \frac{l}{2} \quad (2)$$

$$\tau = F \div A = T_1 \div A \quad (3)$$

$$\tau = \frac{F \times S}{I \times b} = \frac{T_1 \times S}{I_x \times b} \quad (4)$$

$$\sigma = \frac{M_t}{W} \quad (5)$$

$$\sigma_{vert} = \sqrt{\sigma^2 + 3 \times \tau^2} \quad (6)$$

$$f_m = \frac{F \times l^3}{48 \times E \times I} \quad (7)$$

$$\sigma = \frac{F}{A} = \frac{F_B}{A_{poik}} \quad (8)$$

$$\lambda = \frac{L_n}{\sqrt{\frac{I}{A}}} \quad (9)$$

$$\sigma = \frac{\omega \times F}{A} = \frac{\omega \times F_B}{A_{poik}} \quad (10)$$

$$F = m \times g \times 2 \quad (11)$$

$$M_t = F \times l = F \times \frac{l-x}{2} \quad (12)$$

$$f_m = 2 \times \frac{F \times b \times \sqrt{(l^2 - b^2)^3}}{9 \times \sqrt{3} \times E \times I \times l} \quad (13)$$

$$W_v = \frac{\pi \times d^3}{16} \quad (14)$$

$$M_v = \tau_{sall} \times W_v \quad (15)$$

$$\alpha = \frac{M_v \times l}{G \times I_p} \quad (16)$$

Kuvat

Kuva 1. Käytettävä kuormalaatikko, s.8

Kuva 2. Paternostervarastointilaite työpajakäyttöön, s.13

Kuva 3. IPE-palkin poikkileikkaus akselit, s.15

Kuva 4. Vaakapalkin vapaakappalekuva, s.16

Kuva 5. Vaakapalkin leikkausvoimakuvio, s.16

Kuva 6. Vaakapalkin taivutusmomenttikuvio, s.17

Kuva 7. Pystypilarin vapaakappalekuva, s.19

Kuva 8. Ketjupyörän periaatekuva, s.20

Kuva 9. Yläakseli, s.22

Kuva 10. Yläakselin vapaakappalekuva, s.22

Kuva 11. Yläakselin leikkausvoimakuvio, s.23

Kuva 12. Yläakselin taivutusmomenttikuvio, s.23

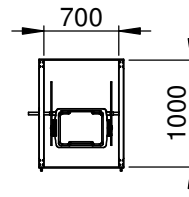
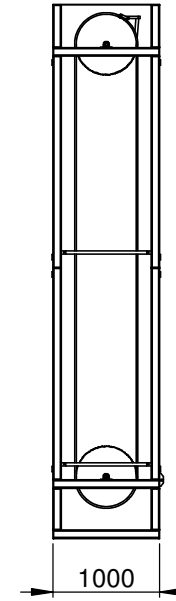
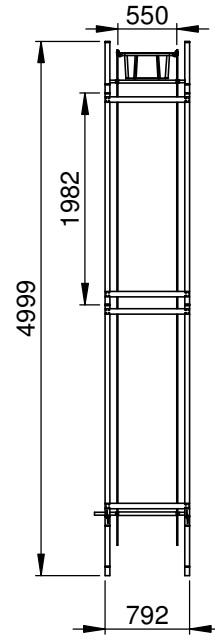
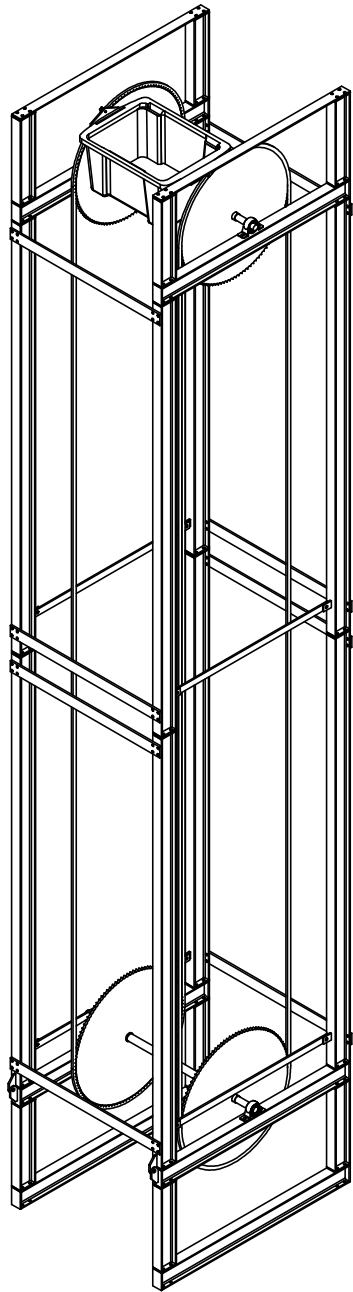
Kuva 13. Koura, s.25

Kuva 14. Kuormalaatikon kantokahva, s.26

Lähteet

1. Hänel's Rotomate® Office Carousels.
<http://www.industore.co.uk/rotomat-office-carousels/> Luettu 18.5.2012
2. Valtanen, E. 2008. Tekniikan taulukkokirja. Jyväskylä: Genesis-kirjat Oy.
3. SKS Mekaniikka 2008. Ketjupyörät ja tarvikkeet, Esitenumero. 731216.
4. SKS Mekaniikka 1999. Tsubaki itsevoitelevat lambda-ketjut, Esitenumero. 867077.
5. SKS Mekaniikka 2001. Tsubaki vakio- ja erikoisketjut, Esitenumero. 731265.
6. SKF Online catalogue 2012.
<http://www.skf.com/portal/skf/home/products?maincatalogue=1&newlink=first&lang=en> Luettu 12.5.2012

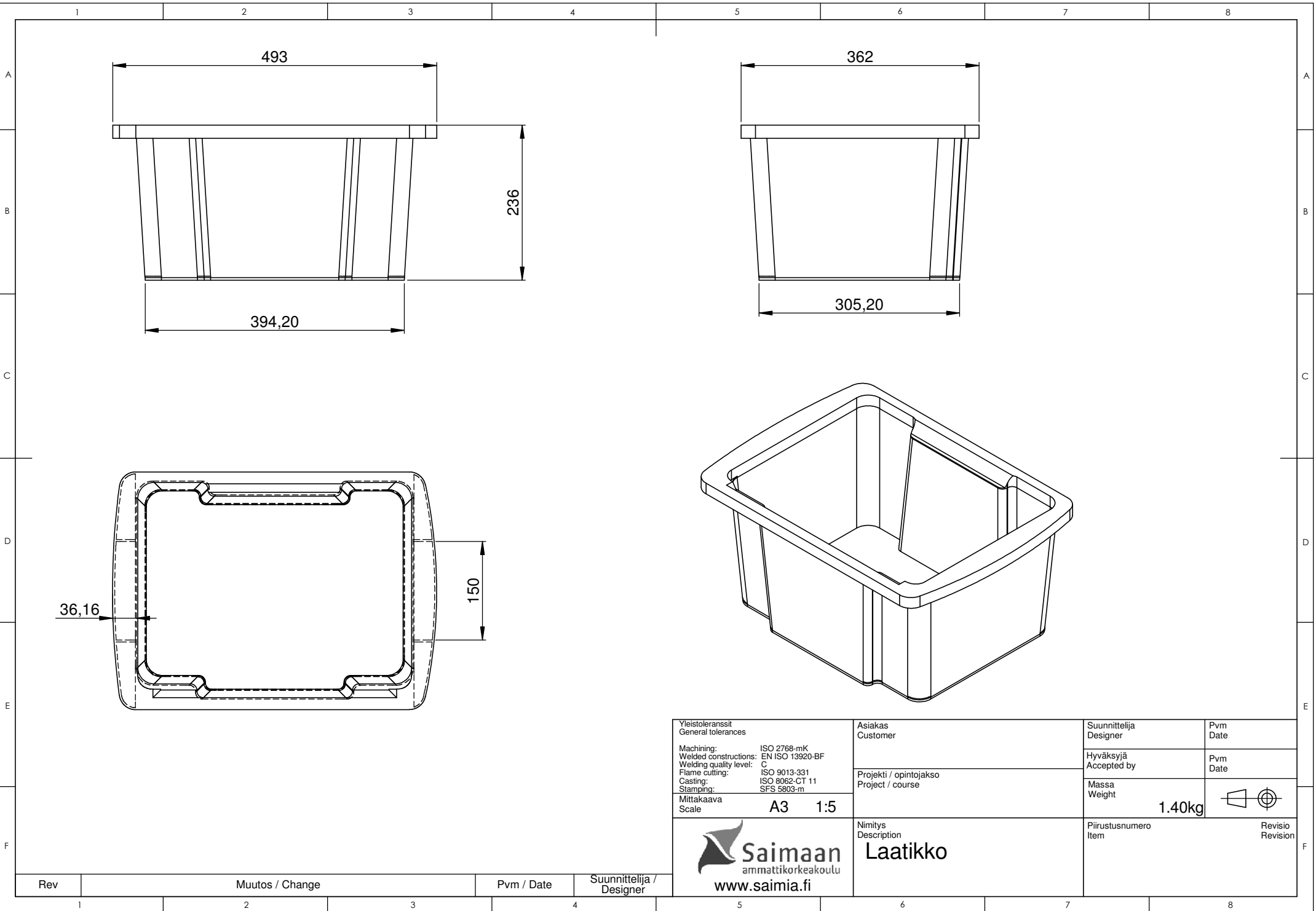
Liite 1



Yleistoleranssit General tolerances Machining: ISO 2768-mK Welded constructions: EN ISO 13920-BF Welding quality level: C Flame cutting: ISO 9013-331 Casting: ISO 8062-CT 11 Stamping: SFS 5803-m		Asiakas Customer CMT-Engineering Projekti / opintojakso Project / course		Suunnittelija Designer V-M Valtonen		Pvm Date	
Mittakaava Scale A3 1:50		Paternoster		Hyväksyjä Accepted by		Pvm Date	
		Nimitys Description Päämittapiirros		Massa Weight 194.87kg			
		Saimaan ammattikorkeakoulu www.saimia.fi		Piirustusnumero Item		Revisio Revision	

Rev	Muutos / Change	Pvm / Date	Suunnittelija / Designer
1			

Liite 2



Yleistoleranssit General tolerances Machining: ISO 2768-mK Welded constructions: EN ISO 13920-BF Welding quality level: C Flame cutting: ISO 9013-331 Casting: ISO 8062-CT 11 Stamping: SFS 5803-m	Asiakas Customer	Suunnittelija Designer	Pvm Date	
	Projekti / opintojakso Project / course	Hyväksyjä Accepted by	Pvm Date	
Mittakaava Scale	A3 1:5	Massa Weight	1.40kg	
 Saimaan ammattikorkeakoulu www.saimia.fi		Nimitys Description	Piirustusnumero Item	Revisio Revision

Rev	Muutos / Change	Pvm / Date	Suunnittelija / Designer
1			

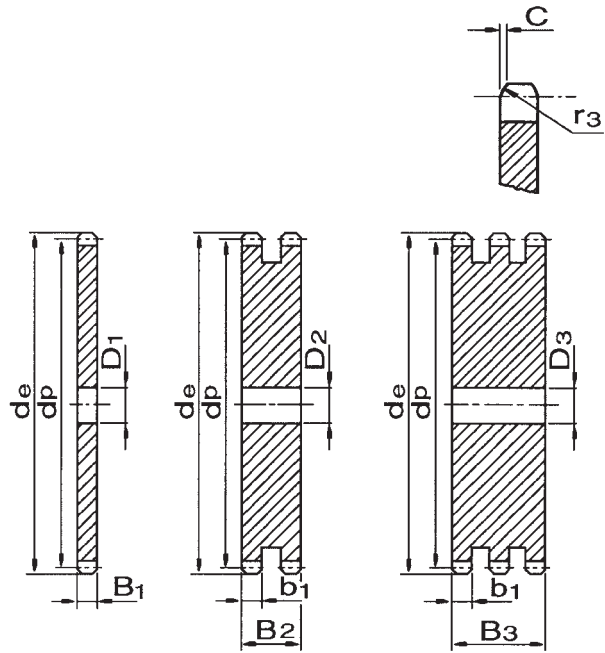
LEVYKETJUPYÖRÄT 5/8" x 3/8"



Rullaketjuille
SFS 2392
DIN 8187 - 8188
SMS 1613
ISO/R 606 - ANSI B 29.1

KETJUPYÖRÄ	ISO mm	ASA-50 mm
Hampaan säde r_3	16,0	17,0
Hampaan viiste C	1,6	2,0
Hammasleveys B_1	9,1	9,0
Hammasleveys b_1	9,0	8,8
Hammasleveys B_2	25,5	26,9
Hammasleveys B_3	42,1	45,0

KETJU	mm	mm
Jako	15,875	15,875
Sisäleveys	9,65	9,52
Rullan \emptyset	10,16	10,16

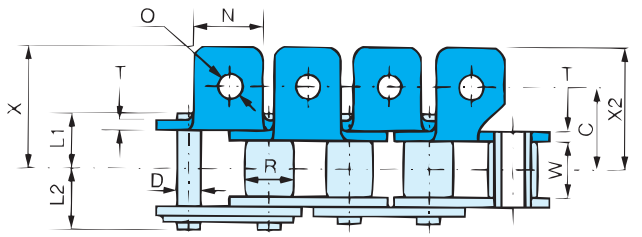


Toimitamme myös piirustusten mukaiset ketjupyörät sekä pyörät induktiokarkaistuilla hampailla tai erikoispinnoituksilla. Tilauksesta myös ruostumattomasta tai haponkestävästä teräksestä.

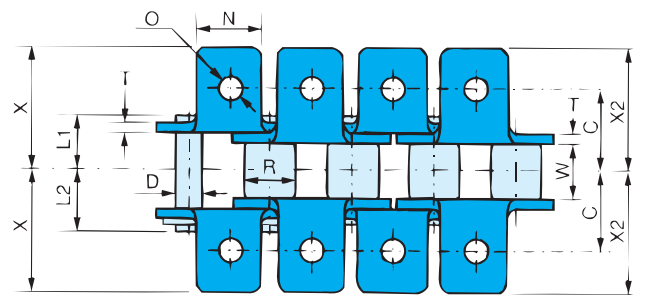
Z	d_e	d_p	YKSIRIVINEN		KAKSIRIVINEN		KOLMIRIVINEN	
			Tilausnumero	D_1	Tilausnumero	D_2	Tilausnumero	D_3
8	47,0	41,48	P58-8	10	PD58-8	10	PT58-8	12
9	52,6	46,42	P58-9	10	PD58-9	10	PT58-9	12
10	57,5	51,37	P58-10	10	PD58-10	10	PT58-10	12
11	63,0	56,34	P58-11	10	PD58-11	12	PT58-11	12
12	68,0	61,34	P58-12	10	PD58-12	12	PT58-12	12
13	73,0	66,32	P58-13	10	PD58-13	12	PT58-13	12
14	78,0	71,34	P58-14	10	PD58-14	12	PT58-14	12
15	83,0	76,36	P58-15	10	PD58-15	12	PT58-15	12
16	88,0	81,37	P58-16	12	PD58-16	12	PT58-16	16
17	93,0	86,38	P58-17	12	PD58-17	12	PT58-17	16
18	98,3	91,42	P58-18	12	PD58-18	12	PT58-18	16
19	103,3	96,45	P58-19	12	PD58-19	12	PT58-19	16
20	108,4	101,49	P58-20	12	PD58-20	12	PT58-20	16
21	113,4	106,52	P58-21	12	PD58-21	16	PT58-21	16
22	118,0	111,55	P58-22	12	PD58-22	16	PT58-22	16
23	123,5	116,58	P58-23	12	PD58-23	16	PT58-23	16
24	128,3	121,62	P58-24	12	PD58-24	16	PT58-24	16
25	134,0	126,66	P58-25	12	PD58-25	16	PT58-25	16
26	139,0	131,70	P58-26	16	PD58-26	16	PT58-26	20
27	144,0	136,75	P58-27	16	PD58-27	16	PT58-27	20
28	148,7	141,78	P58-28	16	PD58-28	16	PT58-28	20
29	153,8	146,83	P58-29	16	PD58-29	16	PT58-29	20
30	158,8	151,87	P58-30	16	PD58-30	16	PT58-30	20
31	163,9	156,92	P58-31	16	PD58-31	20	PT58-31	20
32	168,9	161,95	P58-32	16	PD58-32	20	PT58-32	20
33	174,5	167,00	P58-33	16	PD58-33	20	PT58-33	20
34	179,0	172,05	P58-34	16	PD58-34	20	PT58-34	20
35	184,1	177,10	P58-35	16	PD58-35	20	PT58-35	20
36	189,1	182,15	P36-36	20	PD58-36	20	PT58-36	25
37	194,2	187,20	P58-37	20	PD58-37	20	PT58-37	25
38	199,2	192,24	P58-38	20	PD58-38	20	PT58-38	25
39	204,2	197,29	P58-39	20	PD58-39	20	PT58-39	25
40	209,3	202,34	P58-40	20	PD58-40	20	PT58-40	25
41	214,8	207,39	P58-41	20	PD58-41	20	PT58-41	25
42	219,9	212,44	P58-42	20	PD58-42	20	PT58-42	25
43	224,9	217,49	P58-43	20	PD58-43	20	PT58-43	25

Z	d_e	d_p	YKSIRIVINEN		KAKSIRIVINEN		KOLMIRIVINEN	
			Tilausnumero	D_1	Tilausnumero	D_2	Tilausnumero	D_3
44	230,0	222,53	P58-44	20	PD58-44	20	PT58-44	25
45	235,0	227,58	P58-45	20	PD58-45	20	PT58-45	25
46	240,1	232,63	P58-46	20	PD58-46	25	PT58-46	25
47	245,1	237,68	P58-47	20	PD58-47	25	PT58-47	25
48	250,2	242,73	P58-48	20	PD58-48	25	PT58-48	25
49	255,2	247,78	P58-49	20	PD58-49	25	PT58-49	25
50	260,3	252,82	P58-50	20	PD58-50	25	PT58-50	25
51	265,3	257,87	P58-51	20	PD58-51	25	PT58-51	25
52	270,4	262,92	P58-52	20	PD58-52	25	PT58-52	25
53	275,4	267,97	P58-53	20	PD58-53	25	PT58-53	25
54	280,5	273,03	P58-54	20	PD58-54	25	PT58-54	25
55	285,5	278,08	P58-55	20	PD58-55	25	PT58-55	25
56	290,6	283,13	P58-56	25	PD58-56	25	PT58-56	25
57	296,0	288,18	P58-57	25	PD58-57	25	PT58-57	25
58	300,7	293,23	P58-58	25	PD58-58	25	PT58-58	25
59	305,7	298,27	P58-59	25	PD58-59	25	PT58-59	25
60	310,8	303,32	P58-60	25	PD58-60	25	PT59-60	25
62	321,4	313,43	P58-62	25	PD58-62	25	PT58-62	30
64	331,5	323,53	P58-64	25	PD58-64	25	PT58-64	30
65	336,5	328,58	P58-65	25	PD58-65	25	PT58-65	30
66	341,6	333,63	P58-66	25	PD58-66	25	PT58-66	30
68	351,7	343,74	P58-68	25	PD58-68	25	PT58-68	30
70	361,8	353,84	P58-70	25	PD58-70	25	PT58-70	30
72	371,9	363,95	P58-72	25	PD58-72	25	PT58-72	30
75	387,1	379,09	P58-75	25	PD58-75	25	PT58-75	30
76	392,1	384,16	P58-76	25	PD58-76	25	PT58-76	30
78	402,2	394,25	P58-78	25	PD58-78	25	PT58-78	30
80	412,3	404,35	P58-80	25	PD58-80	30	PT58-80	30
85	437,6	492,62	P58-85	30	PD58-85	30	PT58-85	30
90	462,8	454,88	P85-90	30	PD58-90	30	PT58-90	30
95	488,5	480,14	P58-95	30	PD58-95	30	PT58-95	30
100	513,4	505,39	P58-100	30	PD58-100	30	PT58-100	30
110	563,9	555,92	P58-110	30	PD58-110	30	PT58-110	30
114	584,1	576,13	P58-114	30	PD58-114	30	PT58-114	30
120	614,4	606,45	P58-120	30	PD58-120	30	PT58-120	30
125	639,7	631,51	P58-125	30	PD58-125	30	PT58-125	30

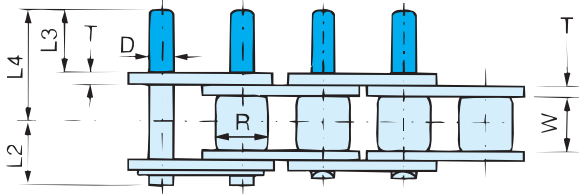
DIN 8188 VAIHTOKELPOISET LAMBDA-KORVAKEKETJUT (ASA)



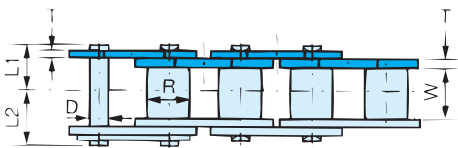
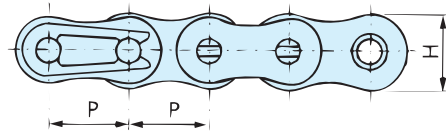
A-1 Toispuolisin taivutetuin kiinnikkein



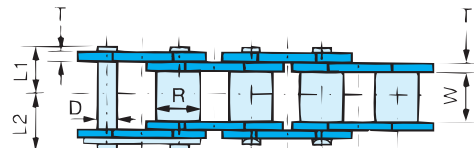
K-1 Molemminpuolisin taivutetuin kiinnikkein



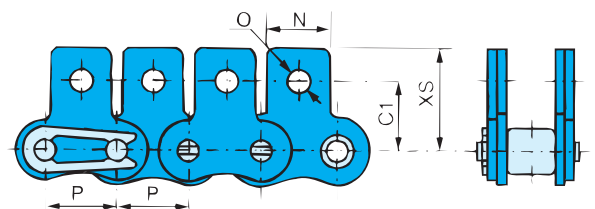
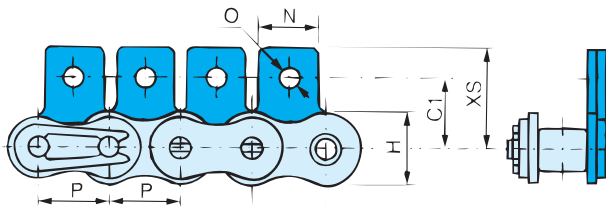
EXP Toispuolisin pidennetyin tapein



SA-1 Toispuolisin pystykiinnikkein



SK-1 Molemminpuolisin pystykiinnikkein



Ketjun nro	Jako	Rullan Ø	Sisäleveys	Sivulevy		Tappi			Keskimääräinen murto-kuorma N	Suurin sallittu kuormitus N	Paino n. kg/m
				T	H	D	L ₁	L ₂			
RSC 40 LAMBDA	P	R	W	T	H	D	L ₁	L ₂	15700	2600	0,64
RSC 50 LAMBDA	12,7	7,94	7,95	1,5	12,0	3,97	8,25	9,95	25500	4300	1,04
RSC 60 LAMBDA	15,875	10,16	9,53	2,0	15,0	5,09	10,30	12,00	37300	6300	1,53
RSC 80 LAMBDA	19,05	11,91	12,70	2,4	18,1	5,96	12,85	14,75	63700	10700	2,66
RSC100 LAMBDA	25,4	15,88	15,88	3,2	24,1	7,94	16,25	19,25	100000	17100	3,99
RSC100 LAMBDA	31,75	19,05	19,05	4,0	30,1	9,54	19,75	22,85			

Ketjun nro	Kiinnikkeiden mitat												
	C	C ₁	N	O	S	T	X	X ₂	X _s	D	L ₃	L ₄	
RSC 40 LAMBDA	12,7	12,7	9,5	3,6	8,0	1,5	17,8	17,8	17,4	3,97	9,5	16,8	
RSC 50 LAMBDA	15,9	15,9	12,7	5,2	10,3	2,0	23,4	23,4	23,05	5,09	11,9	21,0	
RSC 60 LAMBDA	19,05	18,3	15,9	5,2	11,9	2,4	28,2	28,2	26,85	5,96	14,3	25,85	
RSC 80 LAMBDA	25,4	24,6	19,1	6,8	15,9	3,2	36,6	36,6	35,45	7,94	19,1	33,9	
RSC100 LAMBDA	31,75	31,8	25,4	8,7	19,8	4,0	44,9	44,9	44,0	9,54	23,8	41,8	

Kiinnikkeet on piirretty kaikkiin ketjulenkeihin. Liitoslenkki RSC40...RSC60 telkijousellinen; RSC80...100 sokallinen.