



# Varaston automatisointi

## Opinnäytetyö

Miika Kyyhkynen

Opinnäytetyö, AMK

Toukokuu 2022

Tekniikan ala

Konetekniikka

Kyyhkynen, Miika

## **Varaston automatisointi**

Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu. Toukokuu 2022, 54 sivua

Tekniikan ala. Konetekniikan tutkinto-ohjelma. Opinnäytetyö AMK.

Julkaisun kieli: suomi

Verkkojulkaisulupa myönnetty: kyllä

## **Tiivistelmä**

Varastoissa tapahtuvaa keräilyä tahdotaan nykypäivänä tehostaa entistä enemmän. Työntekijöiden runsas vaihtelu varastoissa lisää viivästyksiä tavaroiden lähettämässä asiakkaille. Tämän johdosta insinööritöimistö Prosolve halusi etsiä uusia ratkaisuja varastoimisen tehostamiseen ja pohtia, onko se kannattavaa. Opinnäytetyön tehtävänä oli suunnitella alustava malli varastonautomatisointiin sekä tehdä kustannusarvio suunnitelman toteutuksesta ja vertailla sitä nykyisiin samantyylisten ratkaisuiden kustannuksiin. Lisäksi oli tarkasteltava alustavan mallinnuksen rakenteellista kestävyyttä.

Tutkimusmenetelmänä sovellettiin kehittämistutkimusta. Se on yhdistelmä kumpaakin päämenetelmä tapaa, eli kvantitatiivista ja kvalitatiivista tutkimusta. Työtä lähdettiin toteuttamaan perehtymällä teoria-aineistoon. Tällä saatiin varsin kattava katsaus nykyisiin varastointimenetelmiin. Teoriaosuus sisältää varastointimenetelmien lisäksi tietoa metodeista, joita käytettiin toteutuksessa.

Mallinnus toteutettiin Solidworks-mallinnusohjelmaa käyttäen. Kustannusarvioissa hyödynnettiin jälleenmyyjän verkkosivustoa, josta saatiin komponenttien hintoja automaattiseen ratkaisumalliin. Kustannusarvio tehtiin Excel-taulukkoa käyttäen. Rakenteen kestävyystarkasteluita tehtiin käsin laskettuina.

Tutkimustyön tuloksena saatiin mallinnettua tavarankeräilynostin, joka kykenee ottamaan tavaraa kolmen metrin korkeudesta ja nostamaan 400 kg edestä tavaraa. Kustannusarvioissa todettiin mallin olevan mahdollinen varastoihin, joissa käytetään jo valmiiksi samantyyppisiä ratkaisuja tavarankeräilyyn. Jatkotoimenpiteinä on kehittää alustavaan malliin automaattinen järjestelmä.

## **Avainsanat (asiasanat)**

Automaatiovarasto, varasto, kustannusarvio, AGV

## **Muut tiedot (salassa pidettävät liitteet)**

Esim. opinnäytetyön liitteen salassapitoperuste, ks. raportointiohjeen luku 4.1.2

Kyyhkynen, Miika

### **Storage Automation**

Jyväskylä: JAMK University of Applied Sciences, May 2022, 54 pages

Degree Programme in Mechanical Engineering. Bachelor's thesis.

Permission for web publication: Yes

Language of publication: Finnish

### **Abstract**

It is desirable to find a modern approach for optimizing the gathering of products in a warehouse. A frequent change in staff at warehouses causes recurring delays in products being sent to customers. To combat these challenges, the engineering firm Prosolve wanted to search for new solutions in optimizing warehouse activities and weigh the cost-effectiveness of such a solution. The objective of this thesis was to plan a preliminary model for warehouse automation and provide a cost analysis for its implementation, while comparing it to other similar solutions and their costs. In addition, the structural sustainability of the preliminary model had to be examined.

The research method used was an application of developmental research. It is a combination of both existing main methods, i.e. quantitative and qualitative research. The work was begun by first researching the existing theory. This resulted in a rather expansive overview of modern warehouse management methods. The section on theory also contains information on the methods that were utilized in creating the preliminary model.

The modelling was done using Solidworks. A retailer's website was used as a reference for the prices of components for use in automatic modeling of the cost analysis. The cost assessment was done using an Excel spreadsheet. The sustainability calculations of the structure were done by hand.

As a result of this research, it was possible to build a model of an item handling device. This device is capable of retrieving items from a height of three meters and lifting a load of up to 400 kg. The cost assessment shows this to be a viable option for warehouses that already use similar solutions for item handling. The next step in the project is to develop an automated system for this preliminary model.

### **Keywords/tags (subjects)**

Automation warehouse, warehouse, cost estimate, AGV

### **Miscellaneous (Confidential information)**

For example, the confidentiality marking of the thesis appendix, see Project Reporting Instructions, section 4.1.2

## Sisältö

<b>1</b>	<b>Johdanto .....</b>	<b>4</b>
1.1	Työntilaaja.....	4
1.2	Työn tavoite.....	4
<b>2</b>	<b>Tutkimusasetelma .....</b>	<b>5</b>
2.1	Tutkimusongelma.....	5
2.2	Aineistonkeruu ja -analyysi .....	7
2.3	Luotettavuus .....	7
<b>3</b>	<b>Tietoperusta .....</b>	<b>8</b>
3.1	Tutkimukset.....	9
3.2	Varastointi .....	10
3.3	Varastointimalleja .....	11
3.3.1	Automaattivarasto .....	11
3.3.2	Kuormalavavarasto .....	12
3.3.3	Korkeavarasto .....	13
3.3.4	Liikkuvat hyllyt .....	13
3.3.5	Karuselli.....	14
3.4	Varastoinnin yksikkökuormat.....	15
3.5	Tavarankeräily .....	16
3.5.1	Työvaiheet .....	17
3.5.2	Tulevaisuuden keräilyjärjestelmä .....	18
3.6	Robotit varastoissa.....	19
3.7	Koneiden ja laitteiden hankinta .....	21
3.8	Suunnittelu .....	22
3.8.1	Tuotekonseptisuunnittelu .....	22
3.8.2	Tuotesuunnittelu .....	23
3.9	Automaattiorunkojärjestelmän suunnittelu .....	23
3.10	Tarkastuslaskelmat.....	24
3.10.1	Stabiliteettitarkastelu .....	24
3.10.2	Kaatumistarkastelu .....	27
<b>4</b>	<b>Selvitys aikaisemmista automaattivarastoista rengasvarastoihin.....</b>	<b>28</b>
<b>5</b>	<b>Toteutus .....</b>	<b>30</b>
5.1	Varastomalli .....	31
5.2	Tavarankeräyksen liikkuvuus .....	33

5.3	Nostimet.....	35
<b>6</b>	<b>Stabiilisuus- ja kaatumistarkastelut lopputuloksesta .....</b>	<b>41</b>
<b>7</b>	<b>Kustannusarviot.....</b>	<b>42</b>
<b>8</b>	<b>Yhteenveto.....</b>	<b>44</b>
<b>9</b>	<b>Pohdinta.....</b>	<b>46</b>
	<b>Lähteet .....</b>	<b>49</b>
	<b>Liitteet .....</b>	<b>52</b>
	Liite 1. Kehitysidea 4 + MiR 500 mittoja .....	52
	Liite 2. Stabiiliteettitarkastelu .....	54

## Kuviot

Kuvio 1.	Liikkuvien hyllyjen antama tilansäästö (Karhunen, Pouri & Santala 2004, 360) .....	13
Kuvio 2.	Tavara-automaatti (Rakennusfakta 2008) .....	14
Kuvio 3.	Kauluksinen lava (J. Woltter n. d.).....	15
Kuvio 4.	Muovinen lavakaulus (Karhunen, Pouri & Santala 2004, 313) .....	15
Kuvio 5.	Lavahäkki (Aj n. d.) .....	16
Kuvio 6.	Varastotoimintojen kehittyminen (Hokkanen & Virtanen 2016, 98) .....	18
Kuvio 7.	Tasapainon lajit (Lähteenmäki 2012-2013).....	24
Kuvio 8.	Eulerin perustapaukset (Valtanen 2012) .....	25
Kuvio 9.	Poikkileukkaukseltaan muuttuva sauva (Valtanen 2012) .....	25
Kuvio 10.	Kaatumiseen vaikuttavia voimia (Luosma 2022) .....	27
Kuvio 11.	Weland solution rengasvarastojärjestelmä (Weland solutions n. d.).....	29
Kuvio 12.	Sage automation varaston toimintaperiaate (Sage automation n. d.).....	30
Kuvio 13.	Sage automation rengasvarasto (Sage automation n. d.) .....	30
Kuvio 14.	Ensimmäinen malli kiskojen risteyskohtauksesta.....	33
Kuvio 15.	Kiskot yhdistettynä hammastankoon .....	34
Kuvio 16.	Kehitysidea 1 .....	37
Kuvio 17.	Kehitysidea 2 .....	38
Kuvio 18.	Kehitysidea 3 .....	39
Kuvio 19.	Kehitysidea 4 .....	40
Kuvio 20.	Kehitysidea 4 + MiR 500 yhdistelmä .....	41

**Taulukot**

Taulukko 1. AGV tyyppjä (AGV network n. d.) .....	19
Taulukko 2. Kustannusarviot.....	43

# 1 Johdanto

Rengasvarastot ovat yleisesti tiedossa autoilijoiden keskuudessa. Autoilijat, joilla ei ole omaa autotallia, johon varastoida renkaansa kesäksi ja talveksi, käyttävät rengasvarastoja. Se on helppo tapa säilyttää kesä- ja talvirenkaita. Rengasvarastot ovat pysyneet samanlaisina vuosien ajan. Varastoja käytetään suurimmilta osin ainoastaan kaksi kertaa vuodessa. Näinä kahtena kertana varastot ruuhkautuvat helposti, koska lähes kaikki autoilijat haluavat vaihtaa samaan aikaan autonrenkaansa. Varastojen ylläpitäminen on nykyään manuaalista, eli käytetään varastointityöntekijöitä.

Automaattivarasto ei ole uusi näky suuremmissa varastoissa. Koneet tekevät nopeammin töitä, eivät tee virheitä eivätkä lepää. Pitemmällä aikavälillä automaatio on kannattavaa, koska silloin saadaan leikattua varastotyöntekijöiden kulut ja virheet pois sekä tehostettua varaston toimintaa. Pienempiä varastoja esiintyy yleisesti suurempien varastojen välietappeina. Kuinka paljon tavaraa kulkee varaston läpi? Tässä opinnäytetyössä perehdytään siihen, onko rengasvarastojen tai muiden pienvarastojen automatisointi kannattavaa tänä päivänä. Opinnäytteessä tarkastellaan myös sitä, voidaanko isommissa varastoissa käytetty automaatiotekniikka siirtää myös pienempiin varastoihin.

## 1.1 Työntilaaja

Opinnäytetyön tilaajana toimii jyvaskyläläinen yritys Prosolve. Prosolve on insinööritoimisto, joka tuottaa palveluita erilaisiin projekteihin. Prosolven pääpalvelut ovat konesuunnittelu, 3D-skannauspalvelu, kiinteistöpalvelu ja asennus sekä mittaukset. Opinnäytetyö perustuu konesuunnittelun aluepiiriin. Prosolven koneasuunnitteluun kuuluu kone-, mekaniikkasuunnittelu, lujuuslaskenta ja tuotekehitys. (Prosolve n. d.)

## 1.2 Työn tavoite

Työn tarkoituksena on tehdä kehittämistutkimusta siitä, kuinka kustannustehokasta on pitää rengasvarasto automaattisenavarastona. Tutkimuksen lisäksi tarkoituksena on kehittää alustava konsepti automaattisesta varastojärjestelmästä. Tässä työssä automaattivarasto on paljon pienempi kuin nykyisin tunnettujen suuryritysten varastot, joissa automaatio toimii todistetusti.

Rengasvarastojen tai muiden pienvarastojen ylläpitäjillä ei välttämättä ole varaa teettää tutkimusta automaattisen varastojärjestelmän kustannustehokkuudesta. Automaation hinnat laskevat koko ajan alaspäin markkinoilla. Tästä syystä on hyvä kartoittaa olemassa olevien manuaalivarastojen mahdollista päivittymistä automaattiseksi varastoksi. Kustannusarviolla voidaan helposti miettiä, onko varaston päivitys kannattavaa. Tämän lisäksi opinnäytteen aihe palvelee tulevaisuuden markkinoita niin rengas- kuin pienvarastojen kehittämisessä suurimman osan näistä toimiessa edelleen manuaalisena.

## 2 Tutkimusasetelma

### 2.1 Tutkimusongelma

Tutkimuskysymys, johon tässä opinnäytetyössä haetaan vastausta, on: Onko rengasvarastojen automatisointi kustannustehokasta. Työssä on hyvä perehtyä aikaisempiin automaattisiin järjestelmiin rengasvarastojen osalta. Työntilaaaja on halunnut työhön lisättävän alustavan konseptimallin automaattisesta varastointijärjestelmästä. Alustavasta konseptistä on tarkoitus saada hinta-arvio. Se saadaan, kun etsitään mahdolliset komponentit järjestelmää varten. Tämän jälkeen tarkoituksena on vertailla nykyisen jatkuvan varaston, olemassa olevia saman tyyppisiä ratkaisuja ja oman suunnitelman kustannuksia keskenään. Tarkoituksena on myös selvittää arviolla, onko varaston ylläpitäminen valitulla ratkaisulla hinnaltaan kustannustehokasta. Näiden lisäksi kuuluu tarkastella, onko toimiva kokoonpano toimiva. Tätä tarkastellaan stabiliteettilaskuilla. Alustavan mallinnuksen stabiliteetti laskennoissa tarkastetaan, kestäkö suunniteltu järjestelmä määrättyä painomäärää. Työ koostuu seuraavista neljästä vaiheesta:

1. Selvitys aiemmista rengasvarastoille kehitetyistä automaattivarastoista
2. Mallinnus alustavasta automaation versiosta varastossa
3. Toiminnallisuuden tarkastelu
4. Kustannusarvio suunnitelman toteutuksesta ja vertailu nykyisiin rengasvarastomallin kustannuksiin

Selvitys aikaisemmista automaatiovarastoista rengasvarastoille on kvalitatiivista tutkimusta. Siinä haetaan vastausta kysymykseen: ”Mistä tässä on kyse?” (Kananen 2015, 34). Tietoperustaa haetaan, jotta saadaan mahdollisimman selvä kuva, onko jotain mitä voisi tehdä paremmin ja kuinka

se olisi mahdollista? Selvitystä aikaisemmasta rengasvarastojen automatisoinnista lähdetään hake-  
maan ensisijaisesti Suomen markkinoiden puolelta, mutta myös ulkomaalaisia ongelman ratkaisuja  
pyritään etsimään. Aikaisemmista automatisoiduista rengasvarastoista pyritään huomaamaan,  
mikä on paremmin kuin manuaalisessa varastossa. Lisäksi varaston koolla on väliä. Tässä työssä  
kehitetään pienemmille rengasvarastoille ratkaisua.

Suunnittelu osuudessa käytetään sekä kvalitatiivista että kvantitatiivista tutkimusmenetelmää.  
Tutkimuksen virallinen nimi on kehittämistutkimus. Se ei virallisesti ole oma tutkimusmenetelmä,  
vaan se koostuu molemmista päämenetelmä tavoista. Kyseessä on tutkimus, jossa yhdistellään  
tarpeen mukaan kvalitatiivisia ja kvantitatiivisia tutkimusmenetelmiä. Englannin kielestä tulee  
sana ”blended” tutkimus, eli sekoitustutkimus, joka viittaa aikaisemmin kuvattuun tapaan käyttää  
tutkimus menetelmää. Kehittämistutkimus pyrkii muuttamaan jotakin. (Kananen 2015, 33–34.)

Tutkimuksen rajauksiin kuuluvat varaston layout, automaattisen järjestelmän suunnittelu ja varas-  
ton liiallinen yksityiskohtaisuus suunnittelussa. Konkreettisesti työssä olevassa mallinnuksessa tar-  
koitetaan jotakin hissien tai robotin kaltaista tavarankeräysjärjestelmänmallia, eli kuinka tavara saa-  
taisiin hyllyihin tai pois sieltä. Automaation järjestelmä ei kuulu työnpiiriin. Järjestelmän  
suunnitteluun kuuluisi tekijällä olla konetekniikan opintojen lisäksi automaatio-opinnot käytynä ja  
osattuna. Lisäksi, jos työhön kuuluisi varaston koko suunnittelu pienine yksityiskohtineen, tarvittai-  
siin paljon isompi työryhmä ongelmien ratkomiseen. Työtä avustaa ammattikorkeakoulun ohjaava  
opettaja ja toimeksiantajan puolelta työnantaja.

Kustannusarvioiden ja lujuuslaskelmien tekeminen määräytyy määrälliseen, eli kvantitatiiviseen  
tutkimukseen. Aihepiireihin kiteytyy enimmäkseen numerot, jotka ovat määrällisen tutkimuksen  
peruselementtejä. Tätä tutkimusmenetelmää ei voida hyödyntää, jos aihetta ei tunneta riittävän  
hyvin. (Kananen 2015, 38.)

Kustannusarvioiden tekeminen työssä on merkittävä osa tätä opinnäytetyötä. Tarkasteltava aihe  
perustuukin juuri siihen, onko kustannustehokasta vaihtaa automaattiseen varastointijärjestel-  
mään rengasvarastoissa. Kustannusarvion tekeminen on hyvin karkea versio, koska itse suunnitte-  
lukin on alustavaa työtä. Työssä rajataan pois pakosti liian tarkat kustannusarviot.

Stabiliteetilaskuissa on tarkoitus selvittää, kestäkö alustavasti mallinnettu luonnos nostettavia painoja. On myös hyvä saada selville, pysyykö luonnos pystyssä, kun sillä nostetaan tavaraa hyllyille tai otetaan hyllyiltä pois. Tarkoitus on varmistaa, että vaadittavat kuormat kyetään käsittelemään. Suunnittelussa käydään läpi, kuinka suunniteltava luonnos liikkuu. Liikkuuko se pyörillä vai kiskojen päällä. Mahdollisen nostimen maksimi nostopaino asetetaan 400 kg. Täällä painolla tarkastellaan rakenteen kestävyyttä nurjahtamisen ja kaatumisen osalta.

## 2.2 Aineistonkeruu ja -analyysi

Tässä opinnäytetyössä tutkimus toteutetaan pääsääntöisesti hyödyntäen Jyväskylän ammattikorkeakoulun kirjaston palvelua Janettia ja Google scholarin verkkosivustoa. Janet palvelua hyödynnetään varastoimisen ja logistiikan perustietojen etsimiseen lähinnä kirjallisuudesta. Näitä hyödyntämällä voidaan ymmärtää tämän opinnäytetyön tutkimusongelmaa paremmin ja ratkaista se luotettavammin. Google scholarilla etsitään aikaisempia tutkimuksia varastoinnin kehittymisistä ja erilaisiin kehitettyihin varastoinnin automatisoinnin ratkaisuihin. Näitä tutkimuksia hyödyntämällä pyritään selvittämään, miten tämän opinnäytetyön ongelma saataisiin mahdollisesti ratkaistua.

## 2.3 Luotettavuus

Opinnäytetyö kirjoitetaan tieteellisellä käytännöllä. Siihen kuuluu plagioimisen välttäminen. Mahdollinen plagioiminen tarkastetaan ennen kuin työ voidaan ladata julkiseksi asiakirjaksi. Eettisyys ammatialaa, tutkimusyhteisöä mahdollisia tutkimuksen rahoittajia ja yhteiskuntaa kohtaan kuuluu säilyttää. Tieteellisessä tutkimuksessa käytetty tutkimusvilppi tai piittaamattomuus ovat lainvastaisia tekoja. Lähteiden oikealla merkitsemistyyllillä, voidaan helposti tarkastaa lähteiden paikkansa pitävyys. (Arene 2019.)

Työssä pyritään mahdollisimman objektiivisen teoria-, suunnittelu- ja laskutyöhön. Tätä kuitenkin ei voida toteuttaa täydellisesti. Syitä on vähäinen kokemus varastointialalta, teorian käsittelystä, koneen suunnittelusta ja mallinnuksesta sekä stabiliteetilaskujen laskemisesta.

Varastointiala ja logistiikka ovat aivan eri osa-alueensa kuin koneinsinööriopinnot. Tässä osa-alueessa ei ole ollut koulutusohjelmassa juurikaan yhteneväisyyksiä. Varastointialaa ei ole käsitelty yksittäisinä oppiaineina, kuten esimerkiksi automaatiota. Tämä on haaste, joka pyritään huomiomaan työn aikana niin, että lopputuloksesta tulisi kuitenkin luotettava. Teoriaosuuden etsimisessä nähdään haasteita,

mutta mahdollisimman hyvällä lähdekriittisyydellä pyritään etsimään tarpeellinen tieto varastointialalta. Teoriaosuus pohjautuu suurimmalta osalta nimenomaan varastoinnin ja logistiikan osa-alueeseen. Tästä syystä etenkin on hyvä pohtia kriittisesti teorian paikkansapitävyyttä.

Paikkansapitävyyttä voidaan parantaa katsomalla montaa eri lähdettä, joista saadaan samankaltaista tietoa. Lähteiden tulee olla luotettavia, kuten oppikirjamateriaaliksi luokiteltuja teoksia. Lisäksi henkilöt, jotka ovat menestyneet omalla -alallaan ovat luotettavia. Heistä moni on kehittänyt omalla luovuudellaan liiketulot, joilla on ollut merkitystä liike-elämässä.

Suunnittelutyöhön saadaan apua asiantuntijalta, joka toimii opinnäytteen tilanneessa yrityksessä. Asiantuntija auttaa suunnittelutyön etenemisessä aina loppuun asti. Hän ohjeistaa ja antaa uusia näköaloja, jotta suunnittelu olisi mahdollisimman luovaa. Ongelmakohtissa hän vie asiaa uusiin aihealueisiin, jotta aikaa ei käytettäisi liikaa niihin asioihin, jotka eivät juuri sillä hetkellä etene. Kun suurempi kokonaiskuva työstä on suunniteltu, on mahdollista palata ongelmakohtiin ja ratkaista niitä suuremmalla ymmärryksellä.

Suunnittelutyö ja lujuuslaskujen laskeminen ovat näistä osa-alueista ehkä jopa varmimpia. Kuitenkin tässäkin on hyvä huomata tekijän kokemattomuus. Kehitystä on tullut huomattavasti myös muihin osa-alueisiin, joihin opinnäytetyössä paneudutaan. Laskutoimituksiin saadaan apua koulun puolelta, jos tarve sitä vaatii. Lopputuloksessa on hyvä huomioida tekijän kokemus konetekniikan alalta.

### **3 Tietoperusta**

Tieteellisissä töissä on aina teoreettinen katsaus ilmiöitä selittävistä teorioista ja aikaisemmista tutkimuksista. Tässä opinnäytetyössä käytetään perinteistä tapaa teoreettisesta katsauksesta. Alkuosassa esitetään työhön käytettävä teoriaosuus ja sen jälkeen kokeellinen osuus viitaten teoriaosuuteen. (Kananen 2010, 44)

### 3.1 Tutkimukset

Tutkimuksilla saadaan pohjaa, minkälainen varasto ylipäättään tarvitsisi automaatiota. Missä kulkee manuaalisen ja automaattisen varastoimisen raja? Kysymys olisikin enemmän yleisesti varastoista eikä rengasvarastoista. Rengasvarastoihin ei juurikaan löydy tutkimuksia mistään suunnasta. Tämän takia on syytä paneutua laajemmin varastoalaan ja etsiä sieltä vastauksia ongelmiin.

Tutkimuksia varastoihin ja kuinka saada niistä toimivimpia löytyy ammattikorkeakoulujen opinnäytetöistä ja yliopistojen kandidoista. Diplomi-insinööriyötä tai korkeampaa tutkimusta on haastavaa löytää. Syynä tähän voi olla, että aihe on vielä hyvin uusi. Automaattivarastoja toki on ollut olemassa jo kymmeniä vuosia, mutta itse tutkimuksia aiheesta, milloin on hyvä siirtyä manuaalisesta varastosta automaattivarastoon, ei ole paljoa tehty. Pienemmissä varastoissa on edelleenkin suurimmilta osin manuaalisesti toimiva varastointi järjestelmä. Ja tähän etsitään muuttuvaa ratkaisua.

Automatisoidun ja manuaalisen varaston raja on veteen piirretty viiva. Puoliautomatisoidussa varastossa voi hyvinkin työskennellä suuri määrä varastotyöntekijöitä. Lähtökohtaisesti ei ole kiinteitä määritteitä, mikä on puoliautomaattinen ja mikä manuaalinen varasto. Manuaalisen varaston ylläpitäjän on mietittävä ennen automaation hankkimista, minkälaisia hyötyjä ja minkälaisia haittoja hän saa automaatiosta. Jonkinlainen selvitys asiasta on aina hyvä tehdä, tarvitaanko automaatiota varastoon. (Bito n. d.)

Varastotilan syyt uudistuksille:

- Varastotila loppumassa
- Varastotyöntekijöiden runsas vaihtuminen, kustannukset kasvavat
- Ihminen tekee virheitä
- Tehostaa keräilyä varastossa, asiakkaat odottavat vähemmän
- Kustannukset ovat korkeammat kuin automaattivarasto järjestelmässä
- Työturvallisuus lisääntyy
- Ammattitaitoista henkilökuntaa ei löydy
- Pienet tai olemattomat kausivaihtelut

Parasta olisi olla ihanteelliset olosuhteet automaattivarastolle. Siihen ei vaikuta, minkälainen varasto oikeastaan on, vaan milloin sitä käytetään ja kuinka paljon. On vaikeaa tehdä järjestelmää varastolle, joka on toiminnassa kausiaikoina. Tällöin automaatioon ei saada jatkuvuutta, joka vaikeuttaa järjestelmien toimivuutta ja suunnittelua. Nykypäivänä on kuitenkin mahdollista käyttää pieniä määriä automaattijärjestelmiä hyväksi myös varastoissa, joissa on hyvin kausisuhdanteinen materiaalivirta. Järjestelmiä saadaan järjestettyä tietynlaisin järjestelyin. Algol technics on kehittänyt autostore varastointi- järjestelmän, jolla saadaan pienillekin tavaramäärille lisää kustannustehokkuutta. Sukkulavarastoja voidaan hyödyntää manuaalisissa varastoissa helposti. Lisäksi robottien käyttö, suurimaksi osaksi varastoja AGV (automaattitrucki, mutta lyhenteellä tarkoitetaan enemmän vihivaunua), saadaan helposti mukautumaan manuaalisen varaston järjestelmään. (Biton. d.)

Koivunen (2021) opinnäytetyössään on tehnyt huomion, kuinka epäsiisti varasto lisää työturvallisuusriskiä ja alentaa työviihtyisyyttä työpaikalla. Varasto, jossa ei ole tilaa tarpeeksi tavaroille tai on muuten epäjärjestyksessä, vaikuttaa näyttävästi keräilyn tehokkuuteen. Koivunen ehdottaa pientavaroille varastoautomaattia. Se antaisi merkittävästi tilaa varastossa. Varastoautomaatilla saataisiin yllä mainitut negatiiviset puolet varastossa pois. (Koivunen 2021, 26, 34–35.)

Mahmoudi & Wasso (2020) tekivät opinnäytettä AGV roboteista (automated guided vehicle, eli automaattitrucki), joilla saataisiin kuljetettua kapeissa käytävissä automaattisesti tavaraa. Tavoitteena oli selvittää uudenlaisia tapoja varaston ylläpitämiseen. Tehtävänä oli vapauttaa ihmiset tekemään arvokkaampaa työtä kuin tavaran siirtäminen paikasta A paikkaan B. Ongelmana oli todella kapea käytävä, jolla robotin täytyi kulkea. Esteet tuottivat päänvaivaa, koska robotin kääntyminen oli hankalaa. Lisäksi rullakko, jota robotti veti, jumittui helposti, jos robotin kuului kääntyä esteen vuoksi. Työssä kuitenkin käy ilmi, että robotti pystyy kulkemaan ja siirtämään tavaraa paikasta toiseen. (Mahmoudi & Wasso 2020, 8,33–34.)

### **3.2 Varastointi**

Hokkanen ja Virtanen (2016) havainnollistavat varastointien tarvetta nykypäivänä. Kaupallisista ja tuotannollisista toimista löytyy lähes aina varastoon liittyviä toimintoja. Onnistuneeseen palveluliiketoimintaan tarvitaan myös varastoja. Pieniä varastoja tarvitaan esimerkiksi siivousalalla varastoi-

maan siivous- ja toimistotarvikkeita. Monet yritykset ovat ulkoistaneet omia varastotiloja yrityksille, jotka toimivat omalla ydinalueellaan. Kuinka iso varasto on viittaa, kuinka laaja toiminta on yrityksessä. (Hokkanen & Virtanen 2016, 9.)

Karhunen, Pouri ja Santala (2004) vahvistavat Hokkasen ja Virtasen (2016) havaintoa varastoista tänä päivänä. Varastointi on yhtä tärkeää logistiikan ketjussa kuin kuljetuskin. Kuljetukset alkavat useimmiten varastoista ja päättyvät varastoihin. Varastoissa tapahtuva tavaroiden pakkaaminen, osoittaminen ja kuljetusasiakirjat sekä vastaavasti tavaroiden vastaanotto tarkastuksineen tekevät varastoista elintärkeitä logistisessa ketjussa. Varastoiden ja kuljetuksien välille on synnyttävä yhteinen ymmärrys. Yhteisellä ymmärryksellä logistiikka toimii parhaiten ja on asiakkaille kaikista nopein ja paras ratkaisu. (Karhunen, Pouri & Santala 2004, s.-.)

Tuotteiden arvoon liittyy ongelma aina, kun varastoidaan niitä. Oikeastaan minkään tuotteen hintaa ei ole mahdollista nostaa varastoinnin aikana. Tuotteet, joiden arvo määräytyy esimerkiksi siitä, kuinka kauan tuotetta on säilytetty, voi nostaa tuotteen arvoa. Tällaisia ovat esimerkiksi viinit tai konjakit. Normaaliolosuhteissa varastonhoitaja varmistaa kirjanpidolla, etteivät säilytettävät tuotteet varastossa vanhene tai vahingoitu. Tarve varastoimiseen löytyy usein asiakastarpeen täyttämistä. Kulutuksille alttiit koneet tarvitsevat varaosia. Missä varaosia säilytetään? Varastoissa. Esimerkkinä voisi olla asiakastarpeen täyttämistä auton logistisessa ketjussa. Auton nopea korjaaminen ei ole juurikaan mahdollista nykyteknologialla. Autoteollisuus on kustannussäästöihin vedoten pyrkinyt keskittämään varastointiaan, sen takia on ensisijaisen arvoista asiakkaalle saada rikkoontunut laite mahdollisimman nopeasti takaisin käyttöön. Tässä esimerkissä asiakastarpeen täyttäminen nousee varastoinnin pääsääntöiseksi motiiviksi. (Hokkanen & Virtanen 2016, 10.)

### **3.3 Varastointimalleja**

#### **3.3.1 Automaattivarasto**

Varastoautomaatit saavat nimensä käytettävästä automaatiosta. Automaatiota voidaan käyttää itseohjautuvilla trukeilla, varastohisseillä tai erilaisilla kuljettimilla. Automaatiovarastot ovat kehittyneen tietojärjestelmän ja robotiikan syystä kalliita. Toisaalta automaatiot vähentävät työntekijöiden määrää varastoissa ja antaa tarvetta tietotekniikan ja sen sovellusten käyttämiseen. (Hokkanen & Virtanen 2016, 25.)

Karhunen, Pouri ja Santala (2004) yhtyvät Hokkasen ja Virtasen (2016) ilmaisuun ilmaista automaatiovarasto. He lisäävät vielä erikseen kuljetusjärjestelmiä, joissa käytetään automaatiota. Automaation kuljetinjärjestelmiä ovat erilaiset kuljettimet, hissit ja siirtovaunut. Kuljettimia on runsaasti erilaisia, kuten hihna-, rulla-, kiekko-, lamelli-, verkko-, terännauha- ja ketjukuljettimia. Kuljetinjärjestelmän voi asentaa lattiatasolle tai kattoon. Lattiatasolla oleva kuljetin estää muuta liikettä varastossa, kun sen sijaan katossa oleva kuljetin ei tuota minkäänlaista häiriötä kulkemisille varastossa. (Karhunen, Pouri & Santala 2004, 362–365.)

Pakkaukseen on syytä kiinnittää huomiota, kun käytössä on automaattivarasto. Virhetilanteita syntyy runsaasti esimerkiksi, jos lava ei ole täysin kunnossa. Lavojen tarkkailemisen lisäksi on syytä huomioida, kuinka tuotteet asetetaan lavalle. Tuotteet kuuluvat olla lavojen reunojen sisällä. Pitää olla varuillaan poikkeustilanteiden synnyttyä. Jos lava on viallinen, se voi pysäyttää koko varaston toiminnan väliaikaisesti. Tällaisen tilanteen korjaaminen vaatii varovaisuutta ja kokemusta. Automaatio voi yrittää hyllyttää viallista lavaa korkeallekin. Varaston toiminnan pysäytys voi tällöin olla pitkäkin aika. (Hokkanen & Virtanen 2016, 25.)

### **3.3.2 Kuormalavavarasto**

Lavakuormat ovat yleisin tapa nykypäivänä varastoissa. Sen takia siihen on oivallista varata soveltuvat tilat. Riippuen säilytettävästä tavarasta, tavaraa voidaan säilyttää myös ulkona. Kuormalavavarastoja voidaan soveltaa myös automaation avulla. Varastotilaa saadaan enemmän automaatiolla, mutta kustannuksetkin ovat huomattavasti korkeammat. Ideaali lavatyypin kuormalavavarastoissa on sellainen, jossa lavaa voidaan käsitellä kaikista neljästä suunnasta. Tällaisia lavoja ovat esimerkiksi FI- ja Eur-lavat. (Hokkanen & Virtanen 2016, 26.)

Kuormalavahyllyt mahdollistavat lavojen hyllyttämisen silloin, kun lavoja ei voida pinota päällekkäin. Hyllyt mahdollistavat varastoinnin jopa kuuteen metriin. (Karhunen, Pouri & Santala 2004, 325.)

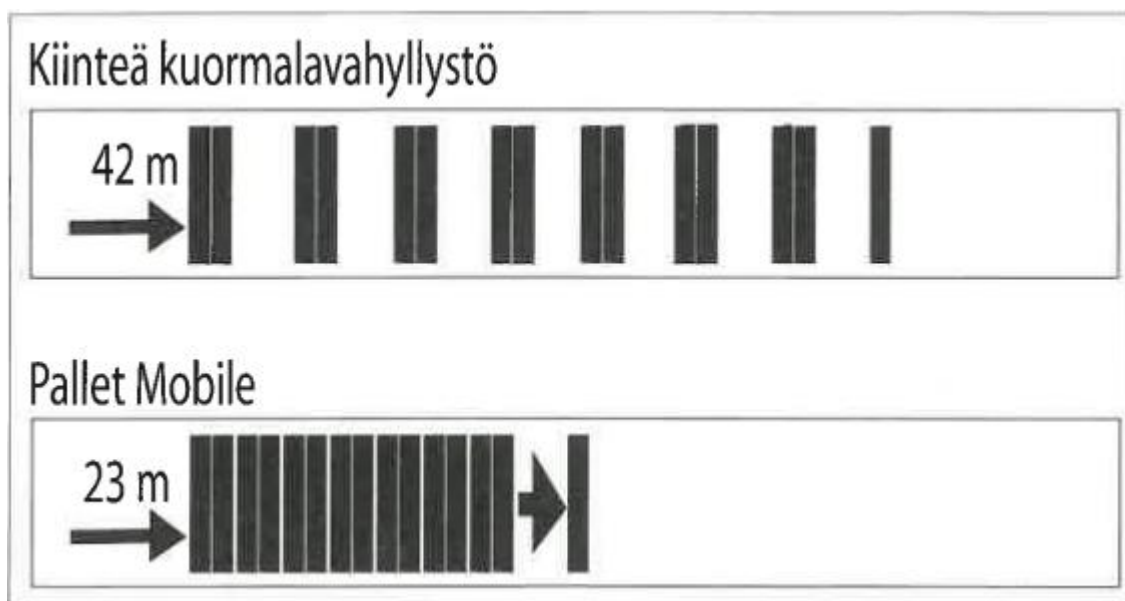
Lavakuormat ovat hyvä tapa varastoida kuten Hokkanen ja Virtanen (2016) mainitsevatkin sen olevan yleisin tapa varastoissa. Epäilemättä myös sen takia, koska lavojen hyllyttäminen on niin helppoa aivan niin kuin Karhunen ja muut (2004) toteavatkin.

### 3.3.3 Korkeavarasto

Korkeavarastot ovat nimensä mukaisesti korkeita. Hyllytasot ylittävät noin 10 metrin rajan. Varastoitavien tavaroiden määrä on suuri. Trukkiin tarvitaan yleensä lisävarusteita mm. kamera, jotta voidaan nähdä tarkemmin otettava tavara. Varastojen laajeneminen pinta-alallisesti on kalliimpaa kuin korkeudellisesti. Tavaroiden siirtely on nopeampaa vertikaalisesti kuin horisontaalisesti. Käytävien tilaa voidaan kaventaa korkeavarastoissa. Voidaan käyttää hyväksi hyllystöhissiä. Se lisää kustannuksia, mutta nopeuttaa tavaroiden keräilyä. Tässä tapauksessa tietotekniikan osuus lisääntyy, jotta voidaan samalla kertaa toteuttaa tuotteiden keräilyä ja hyllyihin säilytystä. (Hokkanen & Virtanen 2016, 27–28.)

### 3.3.4 Liikkuvat hyllyt

Yksi tapa järjestää tavaraa, joka on tiiviisti, on käyttää liikkuvia hyllyjä. Näistä käytetään myös nimiä siirto- ja taajahyllyt. Kiinteän kuormalavahyllystöjen ja liikkuvien hyllyjen ero on, että liikkuvat hyllystöt ovat pakkautuneet toisiinsa tiiviisti. Hyllyjä siirrellään kiskojen avulla erilleen toisistaan, jotta voidaan ottaa haluttu tavara hyllystä. Hyllyjen siirtely toimii sähkömoottorin avulla. Liikkuvat hyllystöt vievät huomattavasti vähemmän tilaa kuin perinteiset kuormalavahyllystöt. Kuviossa 1 selventyy paremmin, kuinka liikkuvat hyllystöt toimivat. (Karhunen, Pouri & Santala 2004, 360.)

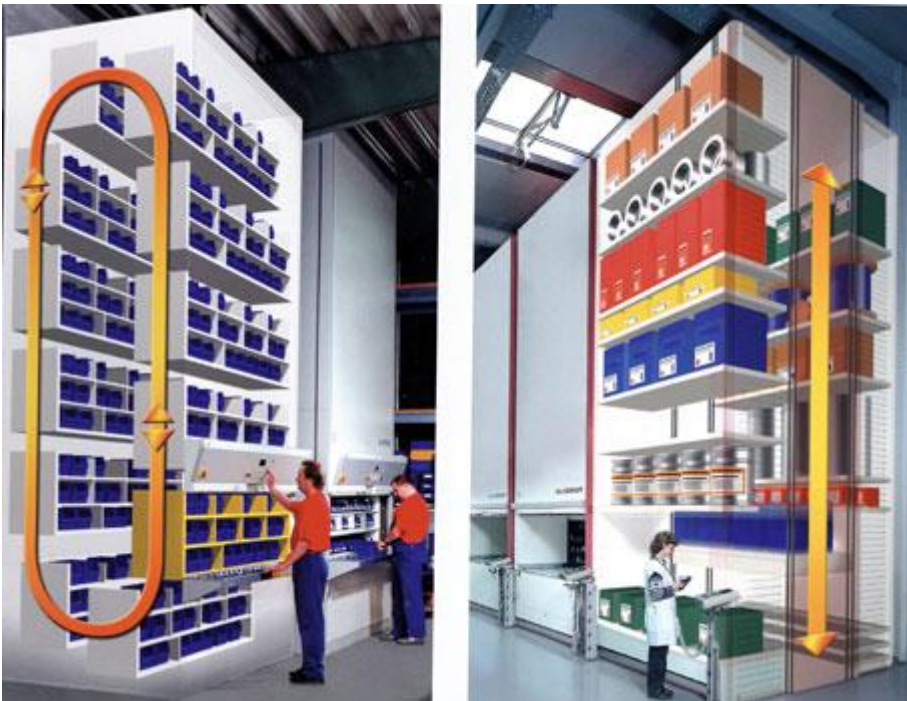


Kuvio 1. Liikkuvien hyllyjen antama tilansäästö (Karhunen, Pouri & Santala 2004, 360)

Haittapuolia liikkuvissa hyllystöissä on, että kahta hyllyvälikkää ei voida käyttää samaan aikaan. Jos tavaraa on paljon, mitä haetaan, ruuhkautuu keräystyö. Keräyksen täytyy olla nopeaa tai varastoon varastoidaan harvoin kysyttyä tavaraa. Liikkuvissa hyllyissä varastoidaan kuormalava-, pientä ja pitkäa tavaraa. (Karhunen, Pouri & Santala 2004, 360.)

### 3.3.5 Karuselli

Pystysuoria karuselleja ovat paternosterit ja tavara-automaatit. Paternosterit voidaan rakentaa 20 metrin korkeuteen asti ja tavara-automaatit 15 metrin korkeuteen. Varastotilaa saadaan säästettyä karuselleja käyttämällä, kun asetetaan kaksi hyllyä toisiaan vasten. Tällä tavalla varastoidaan lava-, pien- ja pitkäa tavaraa. Automaattiin voidaan sijoittaa kaksi eri tasossa olevaa tavaran nouto ja jättö kohtaa, jolloin tavaran keräily on nopeampaa. Kun automaatti itse pyörittää tavaroita edestakaisin, ei varastojen tarvitse itse nousta korkeuksiin kurottelemaan tavaraa. Työturvallisuus paranee huomattavasti, kun varastojen saa työskennellä pääsääntöisesti lattiatasolla. Kuviossa 2 hahmotetaan, kuinka tavara-automaatti toimii käytännössä. (Karhunen, Pouri & Santala 2004, 360–361.)



Kuvio 2. Tavara-automaatti (Rakennusfakta 2008)

### 3.4 Varastoinnin yksikkökuormat

Tehokkuuden maksimoinnin saaminen varastoinnissa on yksikkökuormien oikeanlainen käsittely varastoinnissa ja kuljetuksissa. Yleisimmät kappaletavarat yksikkökuormissa ovat lavat. Eniten käytetyt lavat ovat EUR- ja FIN- lavat. (Karhunen, Pouri & Santala 2004, 309.)

Lavakuormat, jotka on pakattu standardipakkauksin, voidaan pinota päällekkäin helposti. Jos pakkausta on syystä tai toisesta mahdotonta pakata standardin mukaisesti, voidaan lavoihin asentaa tukia, joiden avulla saadaan pinottua lavoja päällekkäin. Kuviossa 3 on kuvattu lava, jolle on asennettu kaulukset, jotka sallivat kuormien pinoamisen päällekkäin. Kuviossa 4 on muovisista kauluksista rakennettu yksikkökuormatila. (Karhunen, Pouri & Santala 2004, 311–312.)



Kuvio 3. Kauluksinen lava (J. Woltter n. d.)



Kuvio 4. Muovinen lavakaulus (Karhunen, Pouri & Santala 2004, 313)

Teräsrakenteiset häkit soveltuvat etenkin raskaiden tavaroiden käsittelyyn varastoinnissa ja kuljetuksissa. Häkin voi asentaa helposti EUR- lavan päälle. Suurin sallittu kuorma lavahäkille on 1200 kg. Kuviossa 5 on kuvattuna lavahäkki. (Karhunen, Pouri & Santala 2004, 314.)



Kuvio 5. Lavahäkki (Aj n. d.)

### 3.5 Tavarankeräily

Varastossa keräily on yleensä kaikista työvaltaisista tehtävistä. Nykyisin keräily jaetaan kahteen osioon sen mukaan, miten keräily tapahtuu. Voidaan käyttää automaatiota tavarankuljettamiseen tai keräilyjä poimii perinteisesti tavarankuljettaja itse. Termejä kutsutaan staattiseksi ja dynaamiseksi keräilytavaksi. Keräilyyn tarvitaan keräilydokumentteja, yleensä sähköisessä muodossa. Tällöin keräily on helpompaa. Lisäarvopalveluiden tuottamisesta puhutaan usein varastotoimien yhteydessä. Lisäarvopalveluilla tarkoitetaan toimintaa, jossa asiakkaalle tehdään ennen tavarankuljettamista jokin sovittu asia tavaralle. Tämä sovittu asia voi olla, että sahauspalvelulla leikataan putki asiakkaan haluamiin mittoihin tai autonrenkaat asennetaan valmiiksi vanteeseen ennen renkaiden lähettämistä asiakkaalle. Lisäarvopalveluita voidaan olettaa lisääntyvän tulevaisuudessa. Varastonhoitajilta tul-laankin vaatimaan yhä enemmän ja enemmän eri ammatillista osaamista. (Hokkanen & Virtanen 2016, 34–35.)

### 3.5.1 Työvaiheet

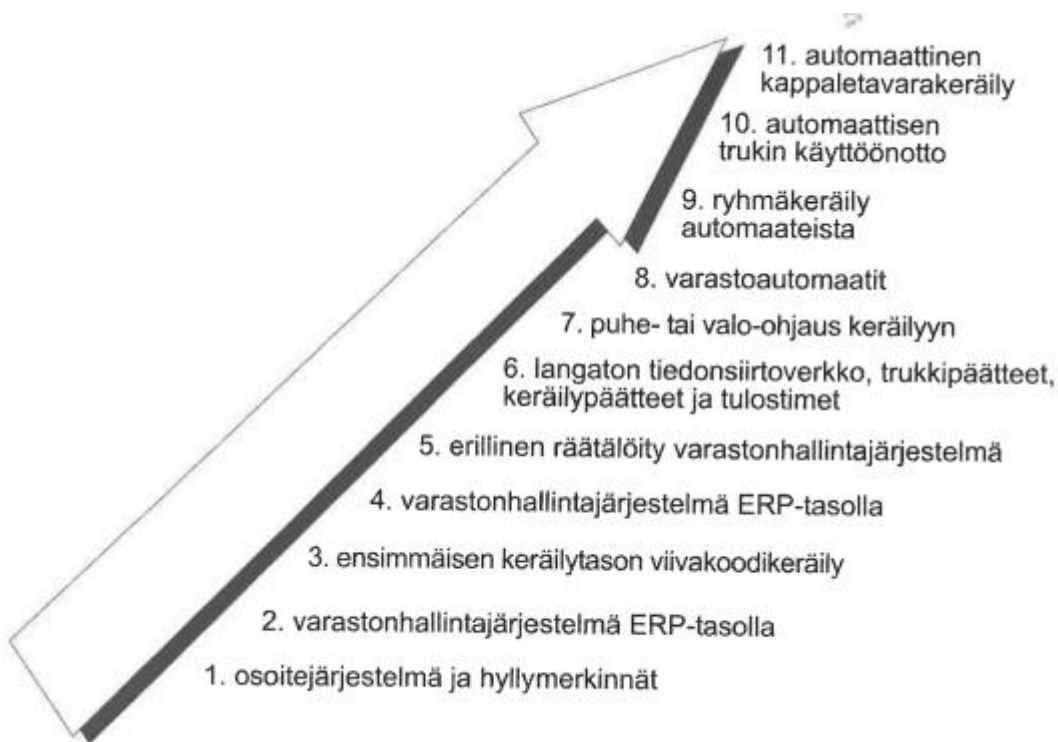
Keräilyä tapahtuu kaikissa varastoissa. Voidaan keräillä tavaroita yksitellen tai lava kerrallaan. Siihen voidaan käyttää hyväksi automaattihissejä tai yksittäisiä työntekijöitä. Tuotantolaitoksen varaston henkilöstö saattaa usein keräillä koko työpäivänsä ajan varastolta tavaraa tuotantoa varten. Samanlaista toimintaa voisi verrata kaupassa asioiviin asiakkaisiin, jotka keräävät tuotteita ostolistojensa perusteella. Kassalla tapahtuu lähetys ja asiakas toimii itse keräilijänä. Keräilyvaiheessa määritellään varaston tehokkuutta ja toimivuutta. Varastoissa työaika kuluu pitkälti keräilyssä. Tavaroiden etsiminen ja kuljettaminen vie oman aikansa. Näiden aikojen minimointi varastoissa antaa loistavan mahdollisuuden varastojen kehittämiseksi. Keräilyn tehokkuutta ja laadullisuutta varastoissa pyritään arvostamaan. Asiakkaalle halutaan antaa se tuote, mitä hän on pyytänyt ja mistä hän on maksanut. Tehokkuudella saadaan kerättyä mahdollisimman paljon tavaraa samalla kertaa, jolloin varastossa kulkemiseen ei mene niin paljoa aikaa. (Hokkanen & Virtanen 2016, 35–36.)

Yläpuolella oli jo keräilyyn liittyen termistö staattinen ja dynaaminen keräily. Staattisella keräilyllä tarkoitetaan, kun automaatti hoitaa keräilyn ja työntekijä poimii tavarat ja tekee sille mahdolliset jatkotoimenpiteet. Tuotteet ovat usein tällaisissa toimintatapojen käytössä pieniä. Staattisella keräilyllä voidaan keräillä hyvinkin erilaisia tuotteita samaan aikaan automaation vuoksi. Mahdollisimman onnistunut keräily vaatii laadukkaan tietojärjestelmän, joka osaa hakea parhaimmat reitit keräilylle. Dynaamisella keräilyllä tarkoitetaan perinteistä toimintatapaa varastojen keräilyssä. Tällöin keräilijänä toimii henkilö, joka kerää tavarat ja vie sen lähetykseen itse. Usein keräiltävät tuotteet ovat isompia kuin staattisella keräilyllä toimitettavat tavarat. Tuotteita voivat olla esimerkiksi laatikoita, lavoja tai rautakankia tai levyjä. (Hokkanen & Virtanen 2016, 36–37.)

Tämänhetkisiä suurimpia keräilyn kehitystekijöitä ovat olleet tekniset laitteet ja tiedonkeruujärjestelmät trukeissa. Hyvin useassa varastossa käytetään dynaamista keräilyä johtuen automaation kalleudesta. Trukkeja ja muita teknisiä apuvälineitä tarvitaan runsaasti nykypäivänä varastoissa. Tavaroiden löytymiseen varastoista on helpottanut viivakoodien ja puheohjauksen lisääntyminen. Viivakoodit mahdollistavat nopean ja virheettömän tavaratunnistamisen. Langaton yhteys antaa seurantaan mahdollisuuden edistämään keräilyä ja päivittämään reaaliaikaisesti varastosaldot. Puheohjauksen hyviä puolia on käsien vapautuminen varsinaiseen varastoimiseen ja tiedon nopeampi välittäminen eteenpäin. (Hokkanen & Virtanen 2016, 37.)

### 3.5.2 Tulevaisuuden keräilyjärjestelmä

Kokonaiskustannuksien alentaminen ja keräilyn tehostaminen on tulevaisuuden haasteita. Joustavuuden varmistaminen on tärkeä osa keräilyn tehostamisessa. Automaation lisääntymisellä on saatu vähentämään virheitä elintarvikeketjussa. Dynaamisessa keräilyjärjestelmässä huonona puolella on työvoimakustannukset, etenkin viikonloppuisin ja yöllä. Varastoprosessissa henkilöstökustannukset ovat jopa 35–55 % kaikista kustannuksista. Keräilyn kustannuksia nostavat varsinkin inhimilliset virheet ja tilapäistyövoima. Suuri työn määrä aiheutuu pienistä myyntieristä. Ilman asianmukaista järjestelmää on tilauksien rivimäärän hinnoittelua vaikea toteuttaa. Yleensä järjestelmät suunnitellaan isommille volyymeille nykypäivänä. (Hokkanen & Virtanen 2016, 97.)



Kuvio 6. Varastotoimintojen kehittyminen (Hokkanen & Virtanen 2016, 98)

Keräilyvaiheen lyhentäminen luo mahdollisuuden kehittää keräilyn tehokkuutta tulevaisuudessa. Kuviossa 6 kuvataan varastoinnissa kehityksen kulkua automatisointiin (Hokkanen & Virtanen 2016, 98).

Kuten luvun alussa Hokkanen ja Virtanen (2016) sekä Karhunen ja muut (2004) totesivatkin, että varastoiminen on tärkeää vielä tänä päivänä ja se on tärkeää siinä missä muutkin logistiset vaiheet




ovat, edelleenkin yrityksissä on varastolla suuri osuus. Niin kauan kuin tavaraa kuljetetaan, on varastoillakin tarvetta. Automaatiolla on nykypäivänä ja tulevaisuudessa suuri osa varastoinnin kanssa. Sen mahdollisuudet varastoimisessa ja sen antamat hyödyt lisääntyvät jatkuvasti. Se tulee helpottamaan varastoimista ja vähentämään inhimillisiä virheitä varastoissa. Tällä saadaan liikevoittoa kasvatetuksi yrityksissä.

### 3.6 Robotit varastoissa

Automaattirobotin lyhenne saa nimensä englannin kielen sanoista automated guided vehicle (AGV). Yleisesti suomeksi sillä tarkoitetaan automaattitrukkeja, joskus voidaan myös käyttää nimitystä vihivaunu. Kuitenkin näillä on eroa. Vihivaunussa ei ole navigointijärjestelmää kuten automaattitrukkeissa. Vihivaunu seuraa lattiaan asennettuja kaapeliohjausta, kun taas automaattitrukkeissa on lasermittausjärjestelmä, jonka avulla se voi paikantaa oman sijainnin varastossa. AGV:t pystyvät suorittamaan samat tehtävät kuin manuaaliset trukitkin. Ne pohjautuvat yleensä standardivarastotrukkimalleihin, kuten lavansiirtovaunuihin ja työntömastotrukkeihin, jotka tunnetaan yleisimpänä trukkimallina. Taulukossa 1 on esitelty yleisempiä AGV malleja. (Toyota n. d.)

Taulukko 1. AGV tyyppjä (AGV network n. d.)

Joitakin AGV tyyppjä		
Alle ajettava vihivaunu		Pienin AGV-tyyppi, joka soveltuu kärryn kuljetukseen. Käytetään muun muassa isoissa verkkokauppavarastoissa kuten Amazon.

<p>Automaattinen kuormalavan tunkki</p>		<p>Paras kuormalavojen siirtämiseen itsenäisesti. Kuten normaali pumppukärry, mutta automaattisesti toimiva. Ei nosta lavoja hyllyille, vaan käytetään vaan lavojen siirtämiseen.</p>
<p>Automaattinen trukki</p>		<p>AGV:n yleisin trukki. Toimii kuten manuaalinen trukki.</p>
<p>Erittäin kapea käytävä AGV</p>		<p>Niin sanottu "Käytävämestari". Paras ajoneuvo kuormalavojen sijoittamiseen 12 metrin korkeuteen vähintään 1,7 m leveällä käytävällä.</p>

Vetotrukki		<p>Suuren kapasiteetin kuljetus, joka pystyy hinaamaan useita vaunuja yhdellä kerralla. Hinnattavana voi olla lähes mitä vain lavoista pitkiin metalli tolppiin.</p>
Yksikkökuorman AGV		<p>Nopea ja kätevä. Paras vaihtoehto vanhan aikaiselle kuljetustyyliille. Kuljetetaan laatikoita yleisesti.</p>

### 3.7 Koneiden ja laitteiden hankinta

Hankintaprosessi käynnistää koneiden ja laitteiden hankinnan. Parhaimman tehokkuuden ja suunnitellun toteuttamiseksi kone täytyy havaita hyödylliseksi tuotantoprosessiin hankintapäätöksellä, sen käyttöön ottamisella ja testiajalla. Koneen hankinta perustuu kannattavuuslaskujen ja kilpailukykyjen mahdollistamaan hintaan. Hankinnan tavoitteeksi määräytyy elinikä tuotteille ja niitä valmistaville koneille sekä laitteille. Koneet ja laitteet sekä niiden varusteet pyritään hankkimaan lyhyillä toimitusajoilla. Tuotantojärjestelmät olisi ideaalisesti kehitetty joustaviksi. Uudet tuotantojärjestelmät ovat sovellettava tulevien tuotteiden kanssa yhteen. (Tuominen 2021, 102.)

Valmistusmahdollisuuksien, laadun- ja kustannusvaatimuksien huomioonottaminen voidaan yhdistää tuotekehitysprosessin hankinnoissa. Hankintojen kehittämisen ja tuotteiden markkinoille tulon aika lyhenee, kun hankinnat hankitaan samaan aikaan. (Tuominen 2021, 103.)

Koneen tai laitteen kuuluu olla yksinkertainen. Huolto- ja korjauskustannukset ovat alhaisia sekä koneen tai laitteen käynti on varmempaa. Osien kuuluu olla standardiratkaisuja, jotka toimivat suunnitellulla nopeudella ja luotettavasti. Käytön pitää olla energiaystävällistä ja turvallista. Kun kone on rakennettu yksinkertaisesti, sen käyttö on helpompaa eikä huoltohenkilöstö tarvitse äärimmäistä vaatimustasoa huoltoon. (Tuominen 2021, 104–105.)

## **3.8 Suunnittelu**

### **3.8.1 Tuotekonseptisuunnittelu**

Konseptisuunnittelu vaihe on yleensä se vaihe, jolla yritykset kartoittavat tuotteen eri käyttömahdollisuuksia. Minkälainen tuote on ja onko tuote kannattava? Asiakaskeskeisyys on tärkeä osa tuotekonseptin tekemisessä. Sillä saadaan hahmotettua tuotteen mahdollista tarvetta markkinoilla. (Hyysalo 2009, 61.)

Kokkonen, Kuuva, Leppimäki, Lähteinen, Meristö, Piira & Sääsilahti (2005), Hyysalo (2009) sekä Hietikko (2015) painottavat asiakastarpeen tunnistamista lähtökohtaisesti. Hietikon mukaan kuitenkin asiakkaat eivät voi yksityiskohtaisesti kertoa, millaisia tuotteita yritys tuottaa. Asiakkaat eivät myöskään voi tuottaa tuotteista informaatiota, joiden käyttämisestä heillä ei ole kokemusta. Tällöin asiakkaat voivat kertoa yrityksille, mitä yritykset haluaisivat kuulla tai pahimmillaan fantasiaa. Tuotteista, joista asiakkailta on kokemusta, voivat olla hyvinkin tarkasti kuvailtua tietoa. Näistä saadaan mahdolliset ongelmat ja tarpeet tuotua esille, joita yritys voi ratkoa. (Hietikko 2015, 61–62.)

Kokkonen ja muut (2005) ovat Hietikon ja Hyysalon kanssa suhteellisen samaa mieltä asiakaskokemuksesta. Visioivassa tuotekonseptissa teknologia voi olla olemassa, mutta on myös tapauksia, joissa sitä ei vielä ole olemassa. Tällöin asiakkailta ei voi olla omaa kokemusta tuotteista, jos teknologiaakaan ei ole vielä olemassa (Kokkonen, V. ja muut 2005, 18.). Kuitenkin on hyvä muistaa tuotesuunnittelussa toteutumismahdollisuus, vaikka tarve tuotteelle löydettäisiinkin. Esimerkiksi iikkiäjälle olisi tilausta energian saamiseksi, mutta se on näillä näkymin mahdoton tapaus. (Jokinen 1987, 17.)

### 3.8.2 Tuotesuunnittelu

Kokkonen ja muut toteavat tuotesuunnittelun lähtevän jostakin tarpeesta. Idea yleensä on vain päähänpisto. Se voi myös olla pelkkä kirjoitus post-it lapulle. (Kokkonen, V ja muut, 2005, 93.)

Myös Jokinen tukee ajatusta, että ideoiminen on tyypillisesti yhtäkkiä mieleen juolahtanut asia (Jokinen, T., 1987, 33). Ideoimiseen on keksitty muutamia eri tapoja, joilla voidaan helpottaa keksimistä. Ideoimisessa on hyvin tärkeää avoin ryhmähenki. Ryhmän jäsenten täytyy vuoro vaikuttaa ryhmän muihin jäseniin oikealla tavalla. Liian äänekäs ryhmäläinen on vaaraksi ideoimisessa. Tässä tapauksessa ryhmän muut jäsenet keskittyvät liikaa tämän yhden henkilön ideoihin eikä välttämättä saa omia ideoita tuotua esiin samalle viivalle. (Grapevine 2019.)

Myös Linkin sivulla Anttila korostaa ideoimisen kulttuurissa ryhmän jäseniä tuomaan rohkeasti ideoita esiin. Ideoiden tuominen omalla tavallaan esiin on Anttilan mielestä myös tärkeää. Ideoita voidaan helpottaa etenkin taustatietojen selvityksellä. Taustatieto synnyttää ihmisessä intuition ja intuitiolla ihminen toimii ideoidessaan uusia luomuksia. (Link 2021.)

Jokinen tukee Anttilan kirjoitusta Linkissä taustatiedon keräämisestä. Uudet ideat syntyvät usein, kun havaintoaineistoa arvioidaan uudella tavalla. Vanhasta tiedostakaan ei ole haittaa, jos sitäkin tarkastellaan uudesta näkökulmasta. Ideoimista ei kylläkään synny, jos ei osata olla tarpeeksi luovia. Liika looginen ajattelu voi ehkäistä ideoiden syntymisen, vaikkakaan loogisuus ei ole pahasta. Ideoimisessa saadaan elää rauhassa satumaailmassa. Ainoastaan lopussa on hyväksyttävä käyttökelpoisimmat luomukset. (Jokinen 1987, 33–34.)

### 3.9 Automaatiorunkojärjestelmän suunnittelu

Automaatiojärjestelmien perinteinen runkoratkaisu on ollut teräspalkkirunko. Ratkaisumalliksi tämä on parhaimpia ratkaisuja. Konepajateollisuudessa olosuhteet ovat rajuja ja liikuteltavat massat suuria, joten rungon kuuluu olla kestävä. Kun lähdetään suunnittelemaan konetta, on mietittävä, mikä olisi suurin liikuteltavan massan paino ja kuormitus koneelle. Materiaalin valinta koostuu yleensä siitä, kuinka paljon rahallista arvoa automaatiolla saadaan aikaan.

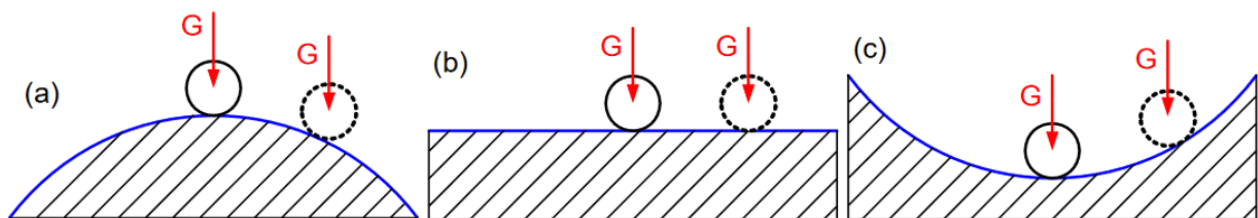
Elektroniikkateollisuuden maailmassa kalliit automaattiset laitteet ovat suotavia, koska tuotannon pysähtyminen voi tuottaa yritykselle valtavia menetyksiä. Tällöin on parempi varmistaa tuotannon

jatkuminen, vaikka se maksaisikin paljon koneelle. (Keinänen, Kärkkäinen, Metso & Putkonen 2002.)

### 3.10 Tarkastuslaskelmat

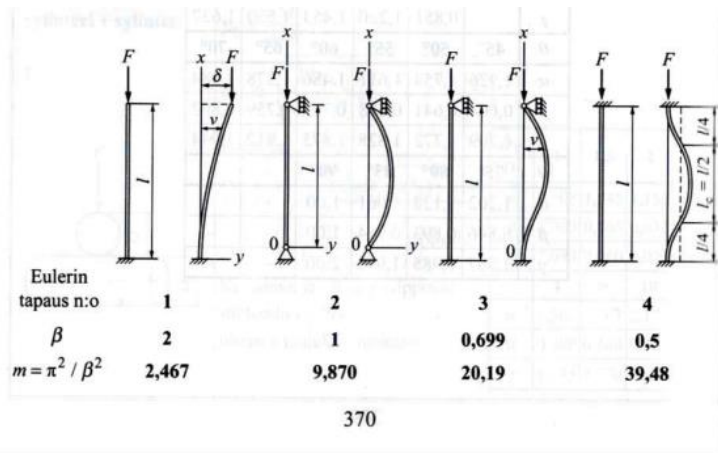
#### 3.10.1 Stabiileittitarkastelu

Rakennesuunnittelijan kuuluu laskea lujuuslaskenta koneen runkoon, tehtiinpä runko alumiinista tai teräksestä. Laskentaa helpotetaan mahdollisimman paljon pelkistämällä hoikan sauvan tapaukseksi. Tässä tilanteessa voidaan laskea luku muutamaa peruskaavaa hyväksikäyttäen. Standardi profiileja käyttäessä saadaan arvot taulukkokirjasta. (Keinänen, Kärkkäinen, Metso & Putkonen 2002.)



Kuvio 7. Tasapainon lajit (Lähteenmäki 2012-2013)

Kuviossa 7 kuvataan kolme eri tasapainon lajia. Ensimmäisessä (a) on horjuva. Pienikin liikeyhdys vakaasta asemasta johtaa tasapainoaseman menettämiseen. Kohdassa (b) on epämääräinen. Vaikka liikuttaisi merkittävästi eroon keskiasemasta, pysyy kappale tasapainoisena joka tapauksessa. Viimeinen (c) on vakaa. Kappale palaa itsestään tasapainoiseen tilaan. Sauva, joka on puristettu keskeisesti, on tasapainolajeista vakaassa asetelmassa. Tilanne muuttuu, kun puristuskuormitus saavuttaa kriittisen arvon  $F_n$ . Tämän jälkeen tasapaino muuttuu epämääräiseksi. Kun kuormitus kasvaa edelleen, sauvan asema muuttuu horjuvaksi. (Lähteenmäki 2012–2013.)

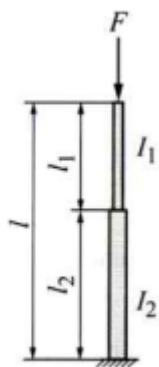


Kuvio 8. Eulerin perustapaukset (Valtanen 2012)

Nurjahdusvoimaa tarkastellaan Eulerin kaavalla. Kuviossa 8 on Eulerin perustapauksia nurjahduk-  
sille.

$$F_n = \frac{\pi^2 EI}{l_n^2}$$

missä  $F_n$  on nurjahdusvoima [N]  
 $E$  on kimmomoduuli [ $N/mm^2$ ]  
 $I$  on jäyhyysmomentti [ $mm^4$ ]  
 $l_n$  on nurjahduspituus [mm]



Kuvio 9. Poikkileikkaukseltaan muuttuva sauva (Valtanen 2012)

Kaava on eri, jos sauvan poikkileikkaus on muuttuva. Tässä tapauksessa nurjahdusvoima lasketaan  
kaavasta. Kuviossa 9 yläpuolella selventyy laskun ero perustapaukseen.

$$F_n = \frac{mEI_2}{l^2}$$

missä  $I_2$  on paksumman sauvan jäyhyysmomentti [ $mm^4$ ]  
 $l$  on tarkasteltavien sauvojen kokonaispituus [mm]  
 $m$  on kerroin, joka saadaan kaavasta

$$m = \frac{I_2 - I_1}{I_1}$$

missä  $I_1$  on hoikemman sauvan jäyhyysmomentti [ $mm^4$ ]

$l_n$  saadaan kaavasta

$$l_n = \beta l$$

missä  $\beta$  on redusoidun pituuden kerroin (taulukkoarvo)  
 $l$  on tarkasteltavan pituus ([mm])

Eulerin kaava kuitenkin pätee vain tietyin ehdoin. Sauvan hoikkuuslukua on tarkasteltava.

$$\lambda_n = \frac{l_n}{i}$$

missä  $\lambda_n$  on hoikkuusluku  
 $i$  on hitaussäde

$i$  saadaan kaavasta

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

missä  $I$  on tarkasteltavan akselin mukaan [ $mm^4$ ]  
 $A$  on poikkipinnan pinta-ala [ $mm^2$ ]

Hoikkuudenraja-arvo saadaan kaavasta

$$\lambda_r = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_s}}$$

missä  $\lambda_r$  on hoikkuudenraja-arvo (on materiaali vakio)  
 $\sigma_s$  on suhteellisuusraja [ $N/mm^2$ ]

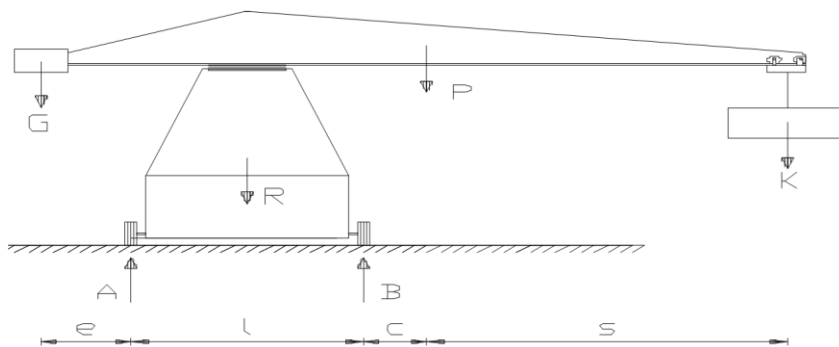
Suora sauva, joka on puristettu keskeisesti, nurjahtaa kun

$$\lambda_n \geq \lambda_r$$

(Valtanen 2013, 370)

### 3.10.2 Kaatumistarkastelu

Vaikka kappale ei nurjahdakaan on syytä tarkastella myös kappaleen kaatumista. Luosma Petrin opetusmateriaalista, ”Rakenne kaatuu, kun kaatavien voimien momentti on suurempi kuin pystyssä pitävien voimien momentti” (Luosma 2022).



Kuvio 10. Kaatumiseen vaikuttavia voimia (Luosma 2022)

Yläpuolella olevassa kuviossa 10 kuvataan rakenteeseen kohdistuvia voimia, jotka vaikuttavat rakennelman pystyssä pysymiseen. Rakennelma kaatuu kuviossa 10, jos pisteeseen B kohdistuu suurempi momentti K:n suunnalta kuin G:n suunnalta. Kaatumista voidaan tarkastella kaavasta

$$K(s + c) + Pc > R \frac{1}{2} + G(l + e)$$

missä	K	on nostettavan kappaleen paino
	s	on varren pituus
	c	on varren voiman etäisyys pisteeseen B
	P	on varren paino
	R	on rakennelman paino
	G	on vastapaino
	l	on rakennelman leveys
	e	on vastapainon etäisyys pisteeseen A

(Luosma 2022)

#### 4 Selvitys aikaisemmista automaattivarastoista rengasvarastoihin

Maailmalla on kehitelty automaattisia rengasvarastoja. Tyypillisesti varastot toimivat karusellimaisesti, mutta muitakin varastointimenetelmiä on käytössä. Tarkoitus on selvittää, minkälaista automaattista rengasvarastoa on kehitelty jo muualla maailmassa. Suomessa tämän tyyppisiä varastoja ei vielä ole olemassa tai ovat hyvin harvassa.

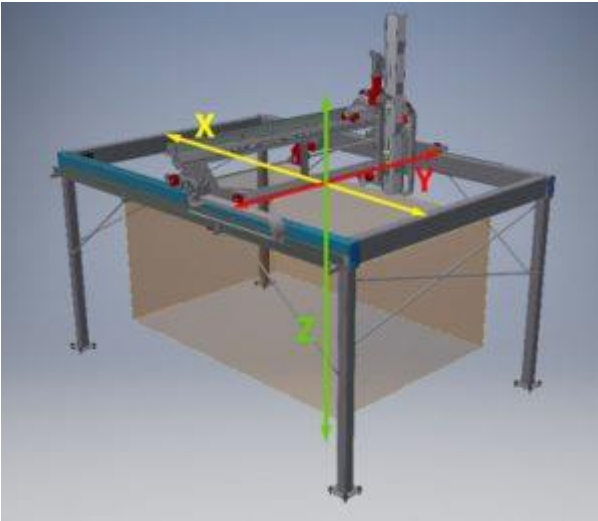
Weland Solutions on ruotsalainen pystyvarastohissejä kehittävä ja valmistava yritys. Welandin varastoilla tarkoituksena on saada itse varastoon enemmän tilaa ja lisätä keräilynopeutta. Kyseessä on automaattivarasto, joka toimii karusellimallin mukaisesti kuten luvussa 3.3.5 on esitetty. (Weland solutions n. d.)



Kuvio 11. Weland solution rengasvarastojärjestelmä (Weland solutions n. d.)

Weland solutionsin varasto on tarkoitettu vain renkaille, joten kokoakin tällä varastolla on paljon enemmän kuin pientavaroille suunnatuissa automaattivarastoissa. Yläpuolella kuviossa 11 kuva Welandin rengasvarastojärjestelmästä. Saman tyyppisiä varaston valmistajia löytyy myös Kanadasta. Yritys nimeltään Vidir valmistaa samanlaista ratkaisua renkaiden varastoimiseen kuin Weland solutions.

Sage automation kehittää erilaisia automaattisia ratkaisuja varastoimiseen ja tavarantuotantoon. Se on yhdysvaltalainen perheyritys Texasista (Sage automation n. d.). Periaate varastoon on hyvin yksinkertainen. Sen liikerata on kuin avaruusstatiikkaa. Kuviossa 12 ja 13 alapuolella kuvaa varaston toiminnasta.



Kuvio 12. Sage automation varaston toimintaperiaate (Sage automation n. d.)



Kuvio 13. Sage automation rengasvarasto (Sage automation n. d.)

## 5 Toteutus

Työ aloitettiin perehtymällä teoriaosuuteen. Siitä saatiin tarvittavat teoreettiset lähtökohdat tuotekehittämiselle. Teoriaosuus antoi perustavanlaatuista käsitystä, mitä varastointi on ja kuinka se on kehittynyt viime vuosien aikana. Automaation lisääntyminen on huomattavaa ja varastoista onkin pyritty poistamaan manuaalinen toimintatapa. Näin on viime vuosina pystytty lisäämään varastoinnin tehokkuutta yrityksissä ja vähentämään toimituskuluja.

Tuotekehitys edistyi erityisesti Prosolven kanssa pidetyissä palavereissa. Näissä käytiin pääsääntöisesti läpi, mitä on saatu aikaiseksi ja minkälaisia ideoita jatkoon on kehitteillä. Ideointitapana palaverissa on käytetty aivoriihettä. Ideoita on tullut molemmin puolin ja niistä on saatu kehitettyä projektin aikana 3D-malleja. Mallit on esitelty aina seuraavassa palaverissa ja suunnittelijan on ollut helpompi tuoda haluamiaan ajatuksia esille, mikä on helpottanut uusien ideoiden keksimistä. Kun näemme konkreettisesti, mitä on ajateltu, on helpompaa hahmottaa sen avulla, kuinka voitaisiin edetä tulevaisuudessa. Teoriaosuuden päämääränä oli kehittää uutta tai yhdistellä olemassa olevia ja uusia ideoita yhteen.

Ideana on kehittää varasto toimimaan mahdollisimman yhdenmukaisesti Lean-ajattelun kanssa. Ajattelussa korostuu siisteys ja järjestys. Nämä ovat niitä asioita, joilla saataisiin varasto toimimaan kustannustehokkaammin. Ratkaisussa pyritään myös löytämään ideoita paremman työturvallisuuden löytämiseksi. Jos ihmiset ja kone erotettaisiin toisistaan selvästi, työturvallisuus paranisi huomattavasti. Näin saataisiin rakennettua selvät jaot, missä ihmiset saisivat liikkua varastossa.

## 5.1 Varastomalli

Alussa mietittiin, miten hyllyt tulisi järjestää uudessa varastointijärjestelmässä. Onko mahdollista järjestää hyllyjä kuinka korkealle tahansa ja mikä olisi hyvä hyllyväli? Ratkaisuja mietittiin liikkuvien hyllyjen, karuselli- ja kuormalavavarastojen välillä. Korkeavarastot ovat hyviä, jos halutaan lisätä varastoon automaattinen järjestelmä, mutta korkeutta ei voi olla kymmeniä metrejä. Korkeudeksi määriteltiin maksimissaan kolme metriä. Tällä saatiin karsittua yksi varastointimenetelmä pois laskuista.

Kuormalavavaraston hyviä puolia ovat helppo järjestely. Suurin osa varastoista toimii tällä menetelyllä, joten se olisi kaikista helpoin toteuttaa nykyvarastoon. Ongelmaksi muodostui kuitenkin tilantarve. Monet varastot haluavat enemmän tilaa varastoihin, kuten monissa opinnäytetöissä olikin aiheina. Yritykset hakevat uusia tapoja, kuinka saada maksimoitua varastojensa tilaa. Tästä syystä poistimme kuormalavavarastot laskuista.

Karusellin vahvuus on sen automatisoinnin helppous. Suurin osa karuselleista ovatkin automatisoituja. Joitakin manuaaliasia järjestelmiä on vielä käytössä, mutta näyttää siltä, että automatisoidut karusellit, etenkin pientavaroille, lisääntyvät roimasti. Koivunen (2021) opinnäytetyössään ehdotti

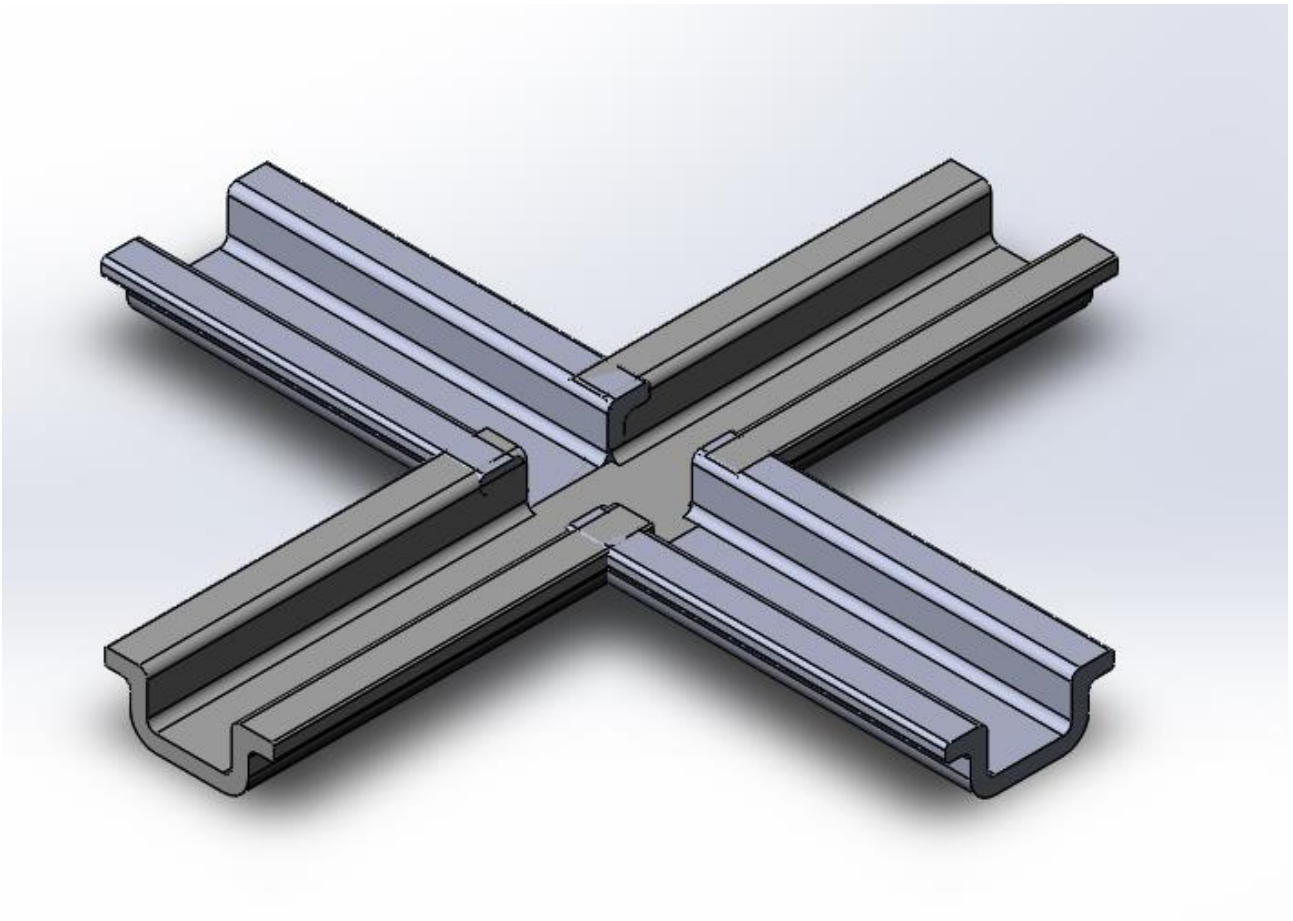
muun muassa varastoautomaattia pientavaroille. Pientavaroille karuselli järjestelmänä toimisi ehkä parhaiten. Suuremmille tavaroille tarvittaisiin paljon enemmän tilaa varastotilassa, jos karusellia haluttaisiin käyttää. Tätäkin on kuitenkin hyödynnetty jo automaattisissa rengasvarastoissa. Ei haluttu lähteä kehittämään samanlaista varastoa, jota on kehitelty jo, vaan haluttiin kehittää jotain uutta.

Liikkuvilla hyllyissä yhdistyy hyvin kuormalavavarastot ja uuden tilan saanti, kuten jo luvussa 3.3.4 saatiin selville. Huonoina puolina on tietysti se, että varastointimalli ei sovellu tavaroiden nopeaan siirtelyyn. Hyllyköt liikkuvat kyllä, mutta tavaroiden saaminen useasta eri väliköistä samanaikaisesti, ei onnistu lyhyellä aikavälillä. Sen takia ei pientavaraa kannata säilyttää tällaisella varastointimallilla. Sen sijaan renkaiden varastointi voisi toimia tällaisella mallilla. Renkaat ovat isoja, mutta silti neljä rengasta mahtuu lavan päälle helposti. Tämän lisäksi lavojen paino ja ulkomitat olisivat samat kaikissa lavoissa. Tämä helpottaa varastoimisen suunnittelua ja järjestelyä huomattavasti.

Projektin alkuvaiheilla mietittiin, mikä olisi hyvä lavamalli varastoon. Millä lavalla saataisiin helposti renkaat pysymään lavanpäällä? Yhtenä vaihtoehtona tarkasteltiin lavahäkkiä. Sillä saataisiin helposti tavara pysymään lavan päällä. Automaattisessa järjestelmässä voi olla haasteena, kuinka tavara pysyisi lavan päällä, jos tapahtuu yllättäviä liikkeitä tai tavara on epäjärjestyksessä lavan päällä. Manuaalisessa varastoinnissa ihminen voi säädellä tavarankeräilyä nopeutta ja tarkkuutta, kun taas järjestelmä ei sitä osaa huomioida. Liikkeet ovat aina samanlaisia, oli kyseessä tyhjä lava tai täysi. Kun teoriaa pääsi hyödyntämään, huomattiin muitakin lavamahdollisuuksia. Mahdollisuudet ovat samantyyppisiä, mutta halvempia ratkaisuja. Lavahäkin voi toteuttaa myös muovista. Tällöin lavan kokonaispainokin laskee huomattavasti. Automaattinen järjestelmä suunnitellaan pienempiin varastoihin, kuten rengasvarastoihin. Pienimmissä varastoissa myös tavarankeräily ja paino ovat paljon pienempiä kuin suuremmissa varastoissa. Tämän takia muoviset lavakaulukset ovat parempia ratkaisuja. Tietenkin, jos tavara pysyy kontrolloidusti lavan päällä, oli lava mikä hyvänsä, ei erikoislavoja tarvita.

## 5.2 Tavarankeräyksen liikkuvuus

Tavarankeräys on työssä suunniteltava staattiseksi keräilyksi. Sillä tarkoitetaan automaattista järjestelmää. Alustavan käyttöön otettavan varastomallin päätöksen jälkeen siirryttiin pohtimaan erilaisia mahdollisuuksia tavaran liikuttamiseen varastossa. Onko kyseessä hihnakuljetin tai kiskoilla kulkeva hissi.

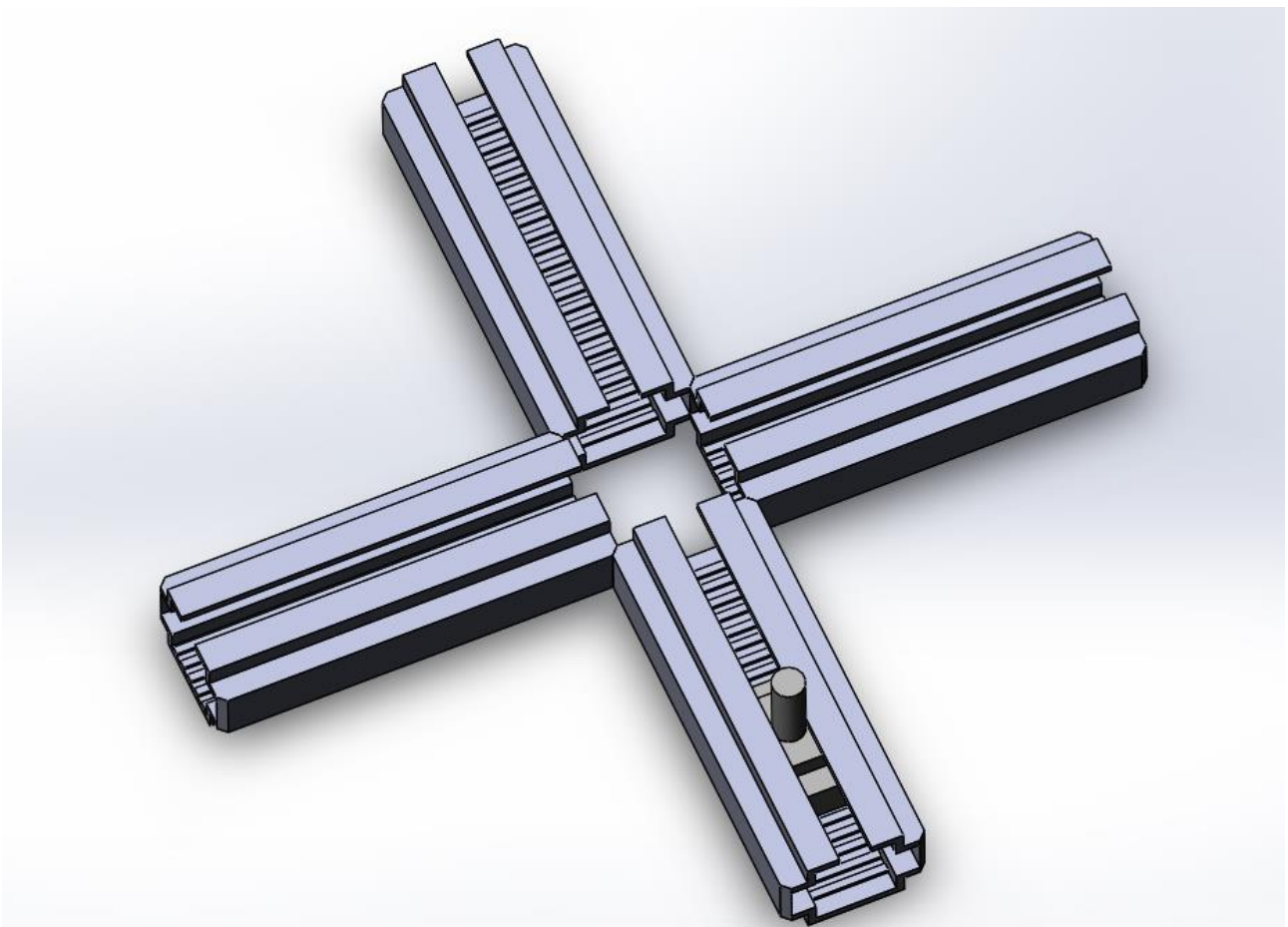


Kuvio 14. Ensimmäinen malli kiskojen risteyskohtauksesta

Kiskot olivat ensimmäinen vaihtoehto järjestelmän liikkuvuuteen. Ne porattaisiin maahan. Tämä on vain yhden kiskon risteyskohtaus. Kiskoja suunniteltiin olevan neljälle ”pyörälle”. Eli kiskoja olisi

kaksi vierekkäin. Risteyskohdat kiskoilla on siellä, missä järjestelmän kuuluisi vaihtaa suuntaa. Jokaiselle hyllyvälille kuuluisi olla tällä systeemillä omat kiskonsa. Hyllyvälien päässä kulkee kiskot 90 asteen suunnassa hyllyihin nähden.

Kuviossa 14 yläpuolella kuvataan risteyskohtaa kiskoille. Lisäksi kuului miettiä, kuinka tarkat kiskot kuuluisivat olla. Kuviossa 14 kiskoissa ei ole mitään millä järjestelmä osaisi pysähtyä tarkasti tai saati pysyä paikallaan noston yhteydessä. Lisäksi pelkona oli, kuinka järjestelmä pysyisi pystyssä kiskojen päällä liikkeessaan tai nostoissa.



Kuvio 15. Kiskot yhdistettynä hammastankoon

Ensimmäisten ongelmien jälkeen suunnitteille tuli kiskojen ja hammastangon yhdistelmä. Hammastangon avulla saataisiin tarkkuutta järjestelmään. Lisäksi suunnitteilla oli ehkäistä järjestelmän pystyssä pysymistä korvaamalla normaalit kiskot C-kiskon tapaisilla kiskoilla. Kuvion 15 tapauk-

sessä C-kiskot pystyisivät pitämään paremmin tulevan järjestelmän pystyssä etenkin nostoissa. Horisontaalisessa C-kiskossa näkyy hieman saman hammastangon ratasväliä kuin vertikaalisessa. Ideana on kuljettaa järjestelmää jonkinlaisella hihnakuljettimella toisiin hyllyväleihin. Harmaan värinen tappi kuvastaa kuviossa järjestelmän ”rengasta”. Se liikkuisi kummassakin suunnassa, horisontaalisesti ja vertikaalisesti, koska sillä on sama ratasväli.

Huonoina puolina kiskoissa on, että ne tulevat lattian pintaan kiinni. Tämä lisää riskiä työturvallisuudelle, jos kiskojen päätä kuuluu työväen liikkua. Tietenkin voitaisiin kehittää ihmisille ja koneille oma liikerata. Tällöin ei tule ihmisen ja koneen tai koneen liikerattaiden välille ongelmaa. Huonoina puolina on myös, kuinka paljon ylimääräistä rautaa kuuluu asentaa varastoon. Varasto ei ole kovinkaan iso, joten on vaikea kuvitella kuinka paljon siellä olisi liikkumatilaa työntekijöille. Parempi olisi, jos saataisiin ratkaisu, johon ei tarvitsisi lattiaan asennettuja metallin palasia. Tällainen ratkaisu olisi todennäköisesti robotti.

### 5.3 Nostimet

Nostimen tärkeimmät tiedot ovat, kuinka paljon se jaksaa nostaa maksimissaan ja kuinka korkealle haarukat voisivat nousta maksimissa. Näiden kysymyksien avulla lähdettiin miettimään mahdollisia nostimia. Kun kyse on rengasvarastosta, päätettiin nostokorkeus kolmeen metriin. Varastot eivät ole kovinkaan suurikokoisia renkaille, muutenkaan ei ole tarkoitus kehittää suurta varasto järjestelmää. Maksimipainoksi asetettiin 400 kg. Paino on reilusti yli neljän renkaan painon, mutta tällä painolla varmasti renkaat saadaan kuljetettua hyllykköön. Toimeksiantaja arvioi asiantuntemuksellaan 400 kg olevan hyvä painoarvio nostimen nostettavaksi. Vaikka työnaiheena on rengasvarasto, on mahdollista soveltaa tätä samaa kehitysideaa muissakin pienvarastoissa.

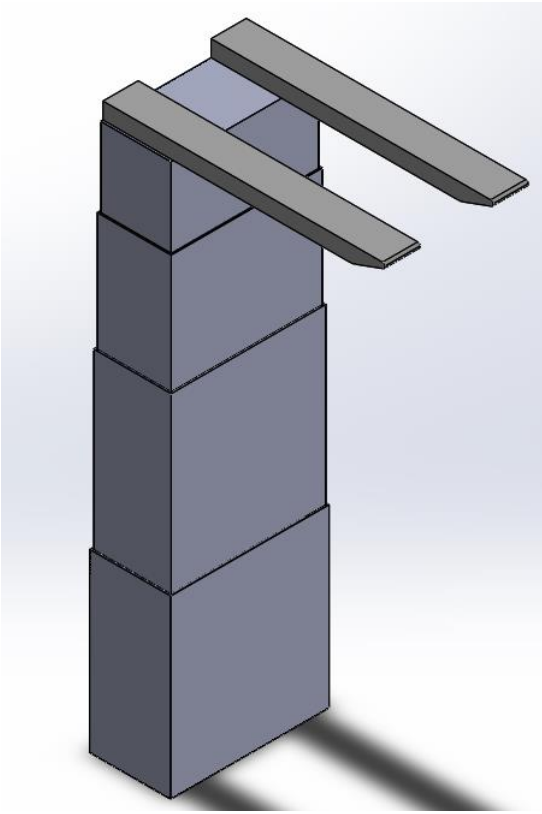
Nostimen rakenteen kuului olla tarpeeksi kestävä, jotta se pysyisi pystyssä eikä nurjahda nostaessaan tavaraa. Nostimen rungon materiaaliksi valittiin S235. Pystyssä pysymiseen suunniteltiin lisäpinta-alaa nostimen alustalle ja lisäpainoja.

Nostin olisi tarkoitus rakentaa mahdollisimman helpporakenteiseksi käyttäen standardi osia valmistukseen. Tällöin tuleviin huoltotoimenpiteisiin ei tarvittaisi erikoisosaamista ja uudet kuluneet

tai rikki menneet osat ovat helppo saada ostettua, kun ne ovat standardeja. Kun osia saa standardeina valmistukseen ja rakenne on mahdollisimman helppo rakentaa, valmistus aika lyhenee, kuten luvussa 3.7 asia todetaan.

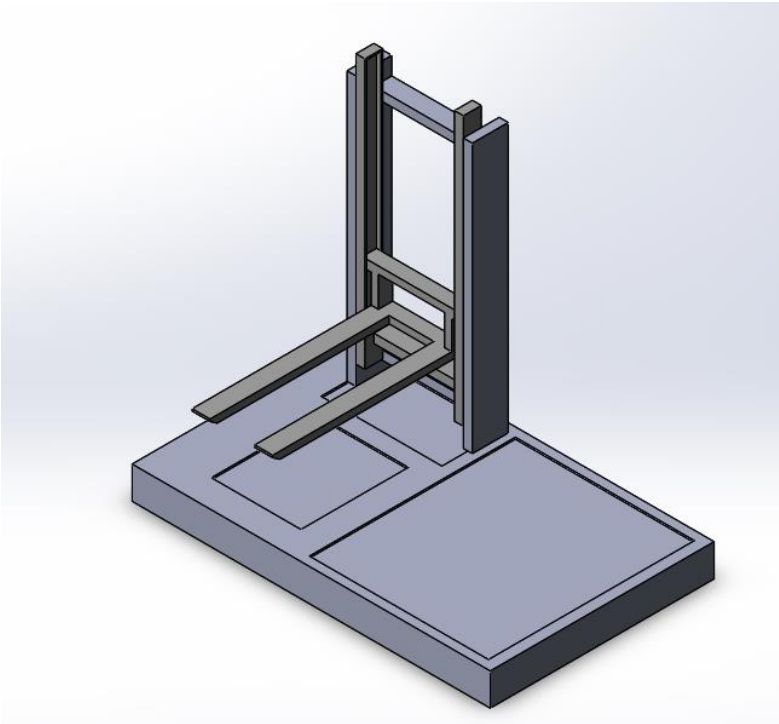
Kehitysideoita syntyi yhteensä viisi kappaletta, joista yksi on lopullinen tulos. Ideat pohjautuvat teleskooppi- tai saksimalliseen ratkaisuun. Näitä kahta mallia ajateltiin aivan alussa toimiviksi ratkaisuiksi. Kiskoilla pyrittiin kehitellä jotain järjestelmän kaltaista, jossa on enemmän liikkuvia osia kuin pelkkä nostin. Kehitysideat 1 ja 3 toimisivat kiskojen avulla. Kehitysideat 2 ja 4 suunniteltiin toimimaan AGV:n tapaan, eli ideaa sovellettiin robottiin. AGV vaihtoehdossa pyrittiin saamaan nostinta sovellettua saman suuntaiseksi, kuin alle ajettava vihivaunu. Ideana on kehittää nostin, joka pääsee kuormalavahyllykön alle, mutta kuitenkin niin, että haarukat pääsevät lavaan kiinni. Tässä tapauksessa hyllyköiden kuuluisi olla suunniteltuna niin, että nostin/robotti pääsee hyllykön alapuolelle. Hyllykössä kuuluisi olla vapaata tilaa minimissään 500 mm. Tässä tapauksessa hyllykön maaraja-asteikolle ei saada tavaraa varastoitua. Tällöin varaston yhtä tärkeimmistä puolista ei voida täyttää, eli hyödyntää kaikki mahdollinen tila.

Ensimmäinen kehitysidea rakentui teleskoopin varaan. Ideana oli kehittää jotain, jolla voitaisiin nostaa mahdollisimman yksinkertaisella tavalla tavaraa. Liikkumista ei ajateltu sen enempää, nostaminen oli tärkeämpää. Kuviossa 16 on hyvin yksinkertainen teleskooppinostin, joka kuvastaa kehitysidea 1:stä. Ideana on selventää, minkälaiseen ratkaisuun ollaan pyrkimässä. Kehitysidea 1 ei ole oikeastaan sovellettavissa varaston keräilijäksi, vaan keräilijän suuntaa antavana mallina. Haarukat saadaan laskettua mallissa noin 750 mm. Tavoiteltava korkeus on 500 mm.



Kuvio 16. Kehitysidea 1

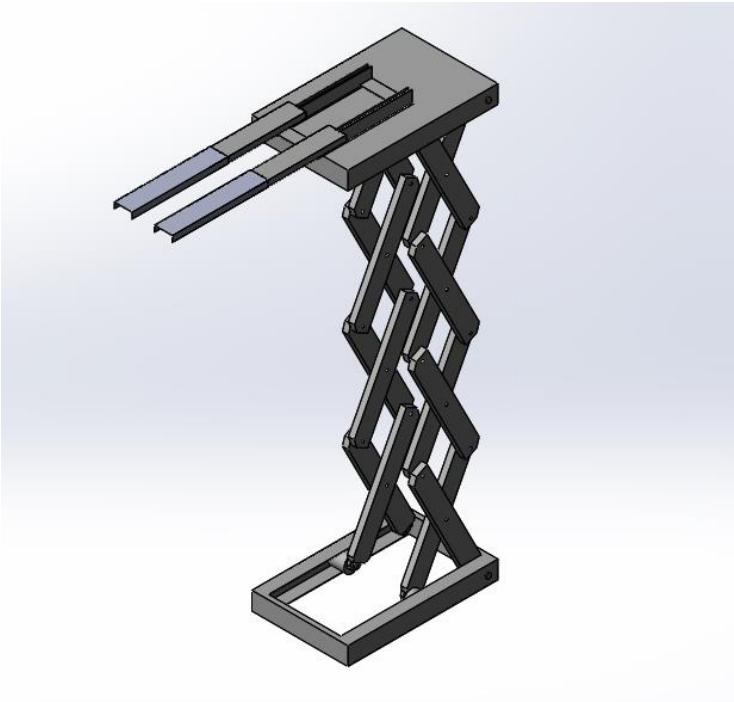
Kehitysideassa 2 on haettu samankaltaisuutta kuin automaattitrukissa. Leveämpi ja pitempi runko. Rungossa on mahdolliselle robotille ja vastapainoille paikat. Nämä näkyvät tyhjillä alueilla. Idea toimisi samalla toimintatavalla kuin tämän väliluvun kolmannessa saatetekstissä kuvaillaan. Eli kehitysidea 2 liikkuu pyörillä eikä kiskoilla ja robotti ohjaa sitä. Kehitysidea 2 siirtyy hyllykön alle, jolloin haarukat pääsevät kiinni nostettavaan lavaan ja haarukat nostavat hieman lavaa ylöspäin. Tämän jälkeen kehitysidea 2 siirtyy hyllykön alta pois ja laskee lavan mahdollisimman alas, jotta se pystyisi liikkumaan mahdollisimman nopeasti ilman kaatumista. Alapuolella kuviossa 17 on kuvaus kehitysidea 2:sta. Tyhjät ruudukot kuvaavat mallissa robotin ja vastapainojen suunniteltua paikkaa kehitysideassa. Pienempi tyhjä ruudukko on robotille ja isompi vastapainoille.



Kuvio 17. Kehitysidea 2

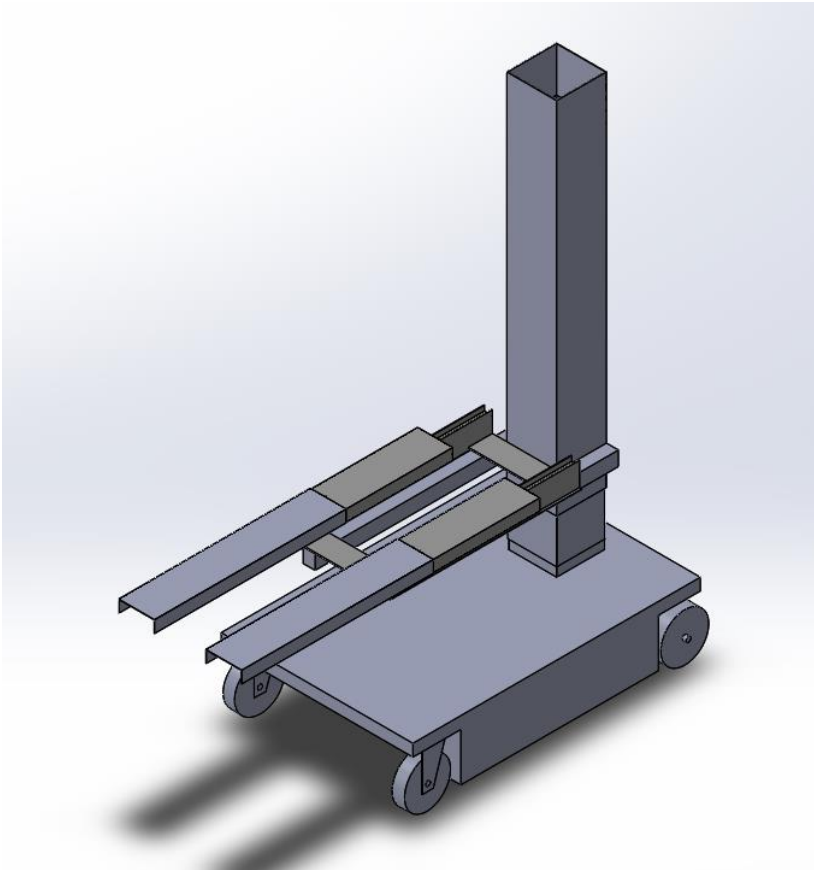
Kuviossa 18 kuvataan kehitysidea 3. Idea pohjautuu saksityyliseen nostomekanismiin. Nostamiseen tarvittavaa voimaa käytetään tässä ideassa metrimääräisesti saman verran kuin yhden poikki tangon pituus on. Saksit työntävät toisiansa ylöspäin, jolloin ei tarvitse tuottaa voimaa jokaiseen tankoon erikseen kuten teleskooppimallisessa versiossa. Liikkuminen ajateltiin tapahtuvan alustavasti tämän idean kohdalla kiskoilla. Robottiakin pohdittiin, mutta ei saatu kuvaa, mihin robotti asennettaisiin, joten päädyimme kiskoihin tämän osalta.

Ongelmana saksinostimessa on, että se ei pääse hyllykön alle nostamaan tavaraa. Haarukat suunniteltiin ideaan teleskooppimallisiksi. Haarukoilla saadaan tällöin otettua tavaraa hyllyköistä ilman, että laitteen kuuluu mennä hyllykköä lähemmäksi. Haarukat pitenevät maksimissaan noin kolmeen metriin, ottavat kiinni lavasta, saksinostin nostaa hieman haarukoita ylöspäin, haarukat lyhenevät, jolloin lava tulee haarukoiden mukana saksinostimen päälle ja saksinostin laskeutuu alas kuljetus asentoon.



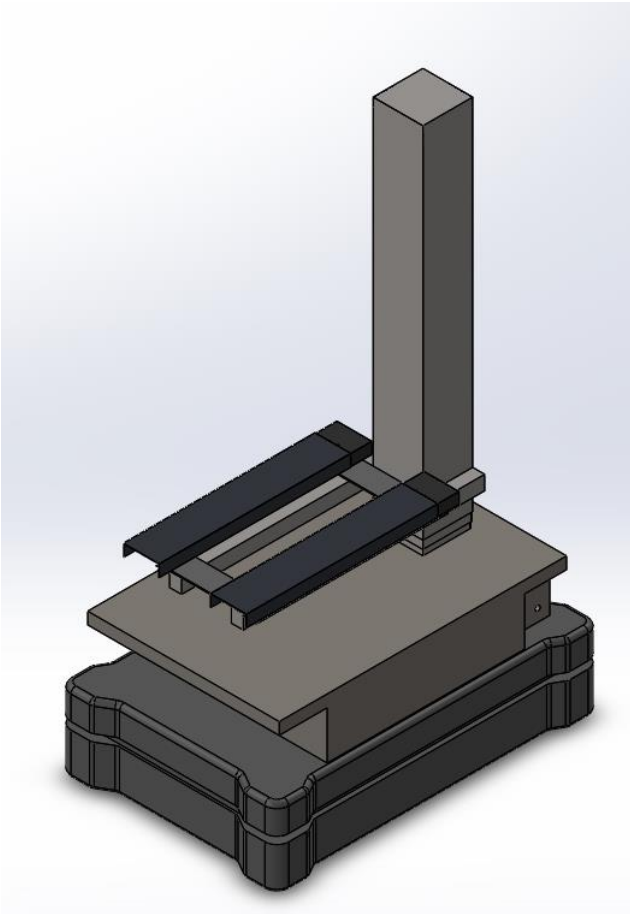
Kuvio 18. Kehitysidea 3

Kehitysidea 4, kuviossa 19, joka valittiin toteutukseksi, arveltiin toimivan. Suurin puolestapuhuja, mistä idea saatiinkin, on henkilönostin. Tämä nostin on kooltaan suurin piirtein lavan kokoa, eli 800x1200 mm. Se nostaa 200 kg ja on muodoltaan juuri sellainen, joka mahtuisi kätevästi hyllykön alle, mutta kuitenkin niin, että haarukat saisivat lavasta kiinni. Jos nostimeen asentaa voimakkaamman sähkömoottorin ja saa lisättyä AGV:n ohjaamaan nostinta, saadaan haluttu lopputulos aikaan. Kehitysidea 4:n mukaan ei nostimessa kuuluisi olla trukinmallin mukaisia vastapainoja. Automaattinen trukki voi nostaa ja siirtää monen tuhannen kilon verran tavaraa, mutta tässä on tarkoitus nostaa tai siirtää vain 400 kg edestä tavaraa. Tämän takia vastapainot eivät ole välttämättömiä. Lisäksi nostimen paino vaikuttaa, kuinka paljon sen liikkumiseen tarvitaan energiaa. Liian painava nostin on kömpelö ja hidas nostamaan sekä liikuttamaan tavaraa. Ilman suuria lisäpainoja nostimesta saadaan nopeampi ja vähemmän energiaa kuluttava työväline.



Kuvio 19. Kehitysidea 4

Työntoteutuksena tullut MiR 500 ja kehitysidea 4:n yhdistelmä. Alapuolella on mallinnettu kuvastamaan MiR 500 ja päälle on asetettu kehitysidea. Ideana AGV vaunu ohjautuu niin, kuin on suunniteltu ja kehitysidea poimii tavarat kyytiin ohjelmoidusti. Yhdistelmä voi poimia tavaroita 3 metrin korkeudesta. Muut mitat yhdistelmällä ovat samat kuin EUR-lavalla eli 800 mmx1200. Liitteessä 1 on tärkeimmät mitat yhdistelmästä. Kuviossa 20 alapuolella on kuva yhdistelmästä.



Kuvio 20. Kehitysidea 4 + MiR 500 yhdistelmä

## 6 Stabiilisuus- ja kaatumistarkastelut lopputuloksesta

Laskennat suoritettiin, jotta voidaan varmistua idean teoreettisesta toimivuudesta käytännössä. Liitteissä 2 on käsittehdyt laskut. Stabiilisuutta tarkasteltiin palkin kestävyden kannalta. Tarkoituksena oli saada nostin nostaman vähintään kolmen metrin korkeudesta 400 kg edestä tavaraa. Laskuissa käytettiin alkuun Eulerin perustapausta, jonka jälkeen varmistettiin vielä poikkileikkaukseltaan muuttuvan sauvan laskun myötä, kestääkö sauva nurjahdukselta. Laskuissa käytettiin korkeutena 2 700 mm. Liitteessä 1 on kuvattu nostimen ja AGV robotin yhteiseksi lasketuksi korkeudeksi yli 500 mm, mutta laskujen varmentumiseksi on parempi asettaa palkin korkeudeksi 2 700 mm kuin 2 500 mm. Laskujen seurauksena palkin paksuutta jouduttiin lisäämään merkittävästi, jotta palkki ei nurjahtaisi. Lisättyä palkin paksuutta, laskettiin palkin nurjahdusvoimaksi ( $F_n$ ) 40 662 N. Tässä tapauksessa palkki ei nurjahda, koska vaadittava nostokuorma on 4 000 N. Hoikkuusluku ( $\lambda_n$ ) on 79,7 ja hoikkuudenraja-arvo ( $\lambda_r$ ) on 93,9. Koska hoikkuusluku on pienempi, ei runko nurjahda.

Kaatumistarkastelussa voidaan todeta luvun 3.10.2 myötä, että nostin ei kaadu liikkumattomana. Syy tähän on kannateltavan painopisteen sijainti, joka on rakennelman, eli tässä tapauksessa nostimen ja robotin, päällä. Kun paino piste on rakennelman päällä, ei tarvittavia momenteja synny kaatumiseen. Painopisteen kuuluisi olla rakennelman ulkopuolella, jotta tarvittava momentti syntyisi ja rakennelma kaatuisi. Tarkastelussa ei ole otettu huomioon kiihtyvyyttä tai hidastuvuutta.

## 7 Kustannusarviot

AGV hintoja kerättiin eri verkkosivustojen kautta. Hinnat ovat suuntaa antavia oikeista hinnoista. Hinta-arviot ovat opinnäytetyöntekijän arvioita tiettyjen verkkosivustojen antamista hinnoista. Taulukossa 2 luetellaan erilaisia AGV-malleja, joissa on näiden arvioidut hinnat. Kappalehinnan jälkeen olevaan lopulliseen hinta-arvioon on lisätty järjestelmän ja latauspisteen hinta. Tämän jälkeen on näytetty, kuinka kauan AGV mallin kuuluu olla käytössä, jotta se maksaisi itsensä takaisin. Takaisinmaksussa on käytetty hyväksi varastotyöntekijöiden palkkavertailua. Palkka keskimääräisellä varastotyöntekijällä on 2000 €/kk. Lisäksi on huomioitu arvioitu maksimi varastotyöntekijän palkka, joka on 3200 €/kk. (Palkkavertailu n. d.). Palkkoihin on lisätty työnantajan palkkakulut, joka on kertoimella 1,21 (Veronmaksajat, 2022).

Takaisinmaksuun ei ole huomioitu työntekijän mahdollisia sairaspäiviä, varastossa tapahtuvia virheitä tai lomiam. Myöskään AGV:n huoltoja ei ole otettu. Huomionarvoista on myös huomata, että palkkavertailu on tehty varastotyöntekijöille, jotka työskentelevät ns. ”normaalivarastossa”, tarkoittaen sitä, että tällaiset varastot toimivat kokoaikaisesti eikä kausien mukaan kuten rengasvarastot yleensä.

Taulukko 2. Kustannusarviot

AGV-malleja	Hinta-arvio/kpl	Lopullinen hinta-arvio	Takaisinmaksu kk 2000	Takaisinmaksu kk 3200
MiR 200	23 000 €	34 100 €	14,1	8,8
MiR 250	25 000 €	36 100 €	14,9	9,3
MiR 500	59 900 €	72 100 €	29,7	18,6
Kuormalavatunkki	60 000 €		24,7	15,5
Trukki	90 000 €		37,1	23,2
Aethon tug robot	107 500 €		44,3	27,7
Kapeankäytäväntrukki	160 000 €		65,9	41,2
Kehitysidea 5 + MiR 500	69 900 €	82 100 €	33,8	21,1

MiR mallit ovat alle ajettavia vihivaunuja. Hinnat ovatkin näissä kahdessa paljon alemmat kuin muissa tuotteissa. Syynä tähän on ilmeisesti, kuinka paljon ne jaksavat nostaa tavaraa. Ne ovat kaikista pienimpiä näistä laitteista ja vievät täten valmistukseen vähiten resursseja. Kuormalavatunkki on hyvin samanlainen kuin alle ajettavat vihivaunut. Erona on, niin kuin yläpuolella mainitaan, kuinka paljon se jaksaa kuljettaa tavaraa. MiR 500 on samanhintainen suunnilleen kuin kuormalavatunkki. Kuormalavatunkin hintaa nostaisi siihen ostettava järjestelmä, kuten se nostaa alle ajettavia vihivaunujenkin hintaa. MiR 500 järjestelmän ja latauspisteen yhteishinta on Aplied automation verkkokaupassa 12 200 € (Applied automation, n. d.). MiR 200 latauspisteen hinta on saman verkkokaupan mukaan 3 200 €. Järjestelmän hinta on kaikissa taulukon MiR roboteissa sama.

Taulukon viimeisessä sarakkeessa on hinta-arvio kehitysidea 5 ja MiR 500 yhdistelmästä. Kehitysidea 5:n hinta-arvio perustuu henkilönostimen hintaan, joka on noin 10 000 € (Konetalo Vainikka, n. d.). Näiden kahden yhdistelmä laskettiin vain yhteen, jolloin tulokseksi saatiin 69 900 €. Hintaan ei ole lisätty valmistuksesta koituvia kustannuksia. Tällä summalla yhdistelmä maksaisi itsensä takaisin noin 34 kk varastossa, jossa on normaalit olosuhteet. Kausivarastoissa takaisinmaksu on pitempikestoisempaa, kuten on jo aikaisemmin mainittu.

## 8 Yhteenveto

Voisi todeta, että trukki ja kapeankäytävän trukki ovat liian kalliita investointeja pienempään rengasvarastoon. Takaisinmaksussa taulukon mukaan automaattitrukilla menee noin 44 kk ja kapeankäytäväntrukilla noin 67 kk. Lisäksi on hyvä huomioida, milloin varastoa käytetään. Rengasvarastot ovat kausivarastoja, eli niitä käytetään vain tiettyinä ajankohtina, tässä tapauksessa vain keväisin ja syksyisin. Lisäksi järjestelmien hinnat nostavat vielä näiden kahden hintoja reilusti ylöspäin kuten MiR kohdalla käy. Eli takaisinmaksuun menee enemmän kuin arvioitu 44 kk tai 67 kk.

Kehitysidea 4 ja MiR 500 yhdistelmän hinta on yhdeltä kappaleelta noin 82 100 €. Jos varastotyöntekijä saa palkaksi vuodessa 24 000 €, menee takaisinmaksuun noin 34 kk. Sen lisäksi kausivarasto, joka on rengasvarasto, pitkittää takaisinmaksua huomattavasti. Mobile industrial robots mukaan MiR 500:n käyttöikä on 5 vuotta tai 20 000 työtuntia (Mobile industrial robots, n. d.). Tässä tapauksessa robotti palvelee varastossa takaisinmaksun jälkeen kaksi vuotta. Jos AGV vaunuja on enemmän käytössä varastossa, ja siellä on niille käyttöä tarpeeksi, robotin hyöty lisääntyy rahallisesti enemmän.

Palkkavertailussa takaisinmaksu lyhenee suuremman palkan kohdalla, koska silloin palkatun henkilön palkka saavuttaa lyhyemmässä ajassa AGV robotin hinnan kuin pienempi palkka. Tärkeää on kuitenkin huomioida, että suuremman palkan omaavalla on alan kokemusta, jota ei voida koneellisesti korvata.

Taulukko 2 on vain kaksi mahdollista AGV robottia varaston soveltamiseen näillä perusteilla. Ongelmana on, että nämä kaksi eivät kykene nostamaan haluttua tavara määrää. Pienempään rengasvarastoon näillä tiedoilla ei ole kustannustehokasta järjestää tämän kaltaista AGV järjestelmää. Se tulee liian kalliiksi. Rengasvarastot toimivat pääsääntöisesti kausikohtaisesti, joten AGV vaunujen järjestelmän toimiminen on haastavaa toteuttaa epäsystemaattisessa varastossa. Tämä tarkoittaa sitä, että varasto ei toimi samalla syklillä koko aikaa, jolloin automaattisesti toimiva järjestelmän on vaikea ohjelmoida ottamaan tai viemään tavaraa hyllylle haluttuina hetkinä. Automaattinen järjestelmä pystytään helpommin toteuttamaan varastoon, joka on jatkuvassa käytössä.

Robottien hinnat laskevat suhteessa, mitä enemmän robotteja on käytössä. Järjestelmän ja latauspisteen hinnat ovat hyvin kalliita yhdelle robotille. Järjestelmä voi ohjata sataa (100) AGV vaunua samanaikaisesti. Tietenkin tähän ratkaisuun kuuluu ostaa enemmän latauspisteitäkin, jotka taas nostavat hintaa ylöspäin. Tällaiseen ratkaisuun varaston kuuluisi olla riittävän suuri, jotta kustannukset saataisiin minimoitua mahdollisimman alhaisiksi. Pienemmässä rengasvarastossa ei ole kustannustehokasta pitää sataa tai edes kymmentä AGV vaunua kausiluontoisuuden takia. Toiseksi vaikka varasto olisikin iso, on uuden varastojärjestelmän sovittava vanhanjärjestelmän kanssa yhteen siten, että uuteen vaihtaminen olisi mahdollisimman nopeaa ja tällöin vaihtaminen veisi vähemmän resursseja.

AGV vaunu ei ole suuremmissa varastoissa uusi näky. Esimerkiksi Amazon käyttää Kiva vihivaunuja varastoissaan. Ongelma alle ajettavissa vihivaunuissa on se, että se ei voi ottaa muuta kuin alimmaisesta lavan tai niin, kuin Amazonin varastoissa, pienen hyllyn kannettavaksi. Vaunu ei pysty ottamaan toiselta tai kolmannelta hyllyköltä lavaa. Työn tarkoituksena oli selvittää pienirengasvarastolle automaattinen järjestelmä ja pohtia, onko se kustannustehokasta. Vaikka loppupäätelmä on kustannustehokkuuden kannalta kielteinen, voidaan työnlopputulosta pitää onnistuneena uuden kehittämisen kannalta. Kehitysidea 4 ja MiR 500 yhdistelmä voi teoriassa ottaa lavan toiselta tai kolmannelta hyllyltä. Vaikka yhdistelmää ei voitaisi käyttää hintansa takia pienemmissä varastoissa, on mahdollista käyttää sitä suuremmissa varastoissa siinä missä alle ajettavia AGV robotteja käytetään jo tänä päivänä.

Ongelmana on, että nostimen paino ylittää 100 kg rajan. Tällöin AGV robotti ei jaksakaan kantaa nostimen lisäksi tahdottua 400 kg tavaralastia. Ongelman ratkaisuksi voidaan kehittää kevyempi kehitysidea, jonka paino alittaa 100 kg rajan. Toisaalta se voi olla hyvin haastavaa, koska nostimen sähköakku painaa jo paljon. Muuta olevaa materiaalia voidaan vähentää, mutta silloin on tarkistettava stabiliteetti- ja kaatumislaskut uudelleen. Näissä laskuissa laskettiin yhdistelmän kokonaispainoksi 420 kg, josta 220 kg on AGV:n paino. Jos nostimen paino olisi vain 100 kg, yhdistelmä kaatuisi. Nostettavan tavaran momentti on liian suuri verrattuna yhdistelmän tuottamaan momenttiin. Mutta nostimen arveltu paino ylittää 200 kg painon. Tässä tapauksessa yhdistelmä pysyy pystyssä, jos haarukoiden pituutta lisätään 400 mm. Tällöin tavaran tuottaman voiman tasapainopiste siirtyy lähemmäksi yhdistelmän painopistettä Y-akselin suhteen. Teleskooppiputken paksuus ja materiaali vaikuttavat idean painoon, mutta mittojen liian radikaalinen asettaminen on

työn kannalta mahdottomuus. Laskuissa liian ohuet putket eivät pysty pitämään haluttua painoa ylhäällä, vaan ne nurjahtavat. Toinen ratkaisu on asentaa voimakkaampi AGV robotti kehitysidean alle. Tässä ratkaisussa hinta vääjäämättä nousee, kuten taulukossa 2 näkyy MiR 250 ja MiR 500 hintaero, hinta tuplaantuu näiden kahden kohdalla. Jos halutaan parantaa nostokykyä AGV:n osalta, on mahdollista saada vielä MiR 600 tai MiR 1000. Jälkimmäisen hinta, saman verkkokaupan sivulla kuin MiR 500, ylittää 100 000 € hinnan. MiR 600 olisi tietenkin parempi vaihtoehto, jos se pystyisi nostamaan kehitysidean ja halutun paino määrän.

## 9 Pohdinta

Työn teoriaosuus on varsin kattava. Syyksi tähän on tekijän tietämättömyys varastoimisesta, logistiikasta ja robotiikasta. Perehtyminen teoriaosuuteen lisäsi tutkimusongelman ratkaisua. Perustietämys avasi suunnittelutyölle uusia ulottuvuuksia. Sai tietää nykyisin käytetyistä automaattivarastoista, kuinka ne toimivat, mitkä ovat hyviä ja huonoja puolia sekä kuinka niitä on kehitetty viimevuosina eteenpäin. Tämän tuntemus lisäsi varmuutta suunnittelutyölle. Ilman tietämystä teoriasta olisi ollut huomattavasti vaikeampaa lähestyä ongelman ratkaisua.

Tarkastelulaskelmiin kannattaa suhtautua kriittisesti. Tekijällä ei ole kovinkaan paljoa taustakokemusta. Nurjahduslaskelmissa on pyritty laskemaan kahdella eri tavalla tangon kestävyyttä, Eulerin perustapauksella ja poikkileikkaukseltaan muuttuvan sauvan tapauksen mukaan, siitä syystä, että oltaisiin varmempia, kestäkö tanko varmuudella halutun painomäärän. Molemmissa laskuissa tankoon ei kohdistu sellaisia voimia, jotka mahdollistaisivat nurjahduksen. Tästä syystä voidaan olla varmempia rakenteen kestävyyslaskujen todennäköisistä syistä olla totuudenmukaisia. Ensimmäisen laskun jälkeen todettiin, että tangon paksuus ei riitä takaamaan nurjahduksen syntymistä. Tästä syystä tangon paksuutta jouduttiin lisäämään merkittävästi. Kuitenkin lisälaskujen jälkeen todettiin, että paksuutta voitaisiin vähentää jonkin verran. Tämä vähentäisi nostimen painoa AGV robotin päällä. Kuten jo yhteenvedossa on mainittu, nostin painaa liikaa ja siitä olisi hyvä leikata kaikki turha pois, jotta painoa saataisiin laskettua mahdollisimman alhaiseksi. Kuitenkin on hyvä muistaa, että nostimen ja AGV robotin yhteispaino ei saa olla liian kevyt. Kaatumistarkastelussa verrataan rakennelman, eli tässä tapauksessa nostimen ja AGV robotin yhdistelmän painoa, ja nostettavan kuorman painoa toisiinsa.

Kaatumistarkasteluissa huomattiin haarukoiden olevan liian lyhyet. Pituuden asettaminen suunnittelu vaiheessa oli huolimattomuusvirhe. Tarkoituksena oli asettaa haarukoiden pituus 1 200 mm, joka on kahden yleisimmän lavakoon pituus. Jatkotoimenpiteinä rakenteen kestävyys tarkastelussa kuuluisi perehtyä nurjahtamisen lisäksi rakenteen taipumiseen ja kaatumistarkasteluissa rakenteen kiihtyvyyteen sekä hidastuvuuteen, ja pohtia näiden osalta rakenteen kestävyyttä. Kiihtyvyyttä on parempi tarkastella, kun tiedetään rakenteen liikkumanopeuksia tarkemmin. Tämä kuulu detail-suunnittelun piiriin.

Monissa suunnitteluvaiheissa unohdettiin varmistaa kestävyys mahdollisimman paksuilla rakenteilla tai pystyssä pysymistä tarpeeksi leveillä, painavilla tai pitkillä nostimen osilla. Esimerkiksi nurjahuudusta tarkastellessa huomattiin nostimen rungon olevan liian ohut seinäinen. Tätä jouduttiin paksuntamaan reilusti. Kuitenkin laskuissa saatiin monia virheitä korjatuiksi ja korjausehdotuksia työn laadun parantamiseen.

Taulukon 2 AGV mallit MiR, ovat tanskalaisen yrityksen Mobile industrial robots robotteja. Yritys kehittää alle ajettavia vihivaunuja ja pieniä robotti vetotrukkeja varastoihin. Ensimmäiset robotit ovat tässä tapauksessa käytettyjä. Hinnat ovat saatu Maschinensucher verkkosivustolta, jossa myydään käytettyjä teknologisia tarvikkeita (Maschinensucher, 2021). Roboticbusinessreview mukaan uusi MiR 200 robotti maksaa noin 30 000 € (rbr, 2016). Taulukossa käyttämä 23 000 € ja 25 000 € eivät tässä kontekstissa ole huonosti arvioituja hintoja. Automaattisen kuormalavantun-kin, trukin ja kapeankäytäväntrukin hinnat ovat keskiarvoja AGV networking verkkosivustolta (AGV networking, n. d.). Aethon tug robotin hinta on saatu Practo care verkkosivustolta (Practo, 2015). Aethon tug eroaa huomattavasti edellä mainittuihin robotteihin. Se ei ole suunniteltu varastointi käyttöön, vaan sairaalakäyttöön. Mutta on hienoa huomata, minkälaisiin tehtäviin sitä mieluummin käytetään kuin ihmisiä. Vaikka robotti maksaakin maksimissaan verkkosivun mukaan \$140 000, on sairaalat valmiita korvaamaan ihmisen käytön tietynlaisissa työtehtävissä. MiR 500 hinta saatiin jälleenmyyjän verkkosivulta Applied automation. Verkkosivu on yhdysvaltalainen ja alkuperäiset hinnat ovat dollareissa. Kuitenkaan hintaerot eivät ole kovinkaan suuria eurooppalaiseen hintoihin nähden. Jos hintoihin tulee muutoksia, on ne verojen ja tullien ansiosta pieniä verrattuna myytävään hintaan.

Työn päätarkoituksina oli saada toimiva alustavasti suunniteltu konsepti pienelle automatisoidulle rengasvarastolle ja suorittaa siihen kustannuslaskelmat. Alustavasti konsepti pienelle rengasvarastolle osoittautui liian kalliiksi robottien hintojen myötä. Kuitenkin kehitysideo ja MiR 500, tai MiR 600, nostovoiman takia yhdistelmän vuoksi työ voitaisiin luokitella onnistuneeksi. Yhdistelmä ei sovellu todennäköisesti pieniin varastoihin, koska se ei saa välttämättä maksettua itseään takaisin ennen kuin käyttöikä saavuttaa rajansa. Kuten luvussa 3.10 automaattirunkojärjestelmän suunnittelussa todettiin, ”materiaalin valinta koostuu yleensä siitä, kuinka paljon rahallista arvoa automaatiolla saadaan aikaan.” Pienemmissä varastoissa, varsinkaan rengasvarastoissa, tuskin saadaan varaston tavaran rahallista arvoa niin kalliiksi, että tämän kaltainen robotti olisi hyödyksi varastossa hintansa takia. Kuitenkin suurempiin varastoihin on mahdollista saada myytyä kehitysideo. Jos suuremmassa varastossa on jo käytössä robotteja, varsinkin alle ajettavia AGV robotteja, on hyvin mahdollista, että tämän kaltaiset varastot ottaisivat mielellään idean vastaan. Hintaa tulee hieman enemmän kuin alle ajettavaan AGV robottiin, mutta hinnan lisäys jo valmiiseen 60 000 € tai sitä enempään ei prosentuaalisesti ole merkittävää, jos robotin käytön lisääntyminen lisääntyy tarpeeksi merkittävästi varastossa.

## Lähteet

AGV Network. N. d. Automated Guided Vehicle? All the answers in one shot. Viitattu 18.3.2022. <https://www.agvnetwork.com/what-is-automated-guided-vehicle-agv-robot>

Aj. N. d. Lavahäkki bulk. Viitattu 1.12.2021. [https://www.ajtuotteet.fi/varasto-teollisuus/pakkausmateriaalit-ja-laitteet/kuormalavat-ja-lavatarvikkeet/lavahakit/lavahakki-18623-18625?gclid=EAlaIQobChMI4ZixwMnC9AIVxhB7Ch05MgUOEaQY-BiABEgJc4fD\\_BwE&gclsrc=aw.ds](https://www.ajtuotteet.fi/varasto-teollisuus/pakkausmateriaalit-ja-laitteet/kuormalavat-ja-lavatarvikkeet/lavahakit/lavahakki-18623-18625?gclid=EAlaIQobChMI4ZixwMnC9AIVxhB7Ch05MgUOEaQY-BiABEgJc4fD_BwE&gclsrc=aw.ds)

Applied automation. N. d. MiR Fleet PC. Viitattu 28.3.2022. <https://shop.appliedindustrialautomation.com/products/MiR%20Fleet%20PC>

Applied automation. N. d. MiR 500 Charging Station. Viitattu 28.3.2022. <https://shop.appliedindustrialautomation.com/products/MiR500%20Charging%20Station>

Arene. 2019. Ammattikorkeakoulujen opinnäytetöiden eettiset suositukset. Viitattu 15.3.2022. [AMMATTIKORKEAKOULUJEN OPINNÄYTETÖIDEN EETTISET SUOSITUKSET 2020.pdf \(arene.fi\)](#)

Bito. N. d. Milloin varaston automatisointi on järkevää?. Viitattu. 24.2.2022. <https://www.bito.com/fi-fi/asiantuntija/artikel/milloin-varaston-automatisointi-on-jarkevaeae/>

Grapevine. 2019. 3 tehokasta brainstorming-tekniikkaa: näin vauhditat tiimin luovaa ideointia. Viitattu 4.1.2022. <https://grapevine.fi/3-tehokasta-brainstorming-tekniikkaa-nain-vauhditat-tiimin-luovaa-ideointia/>

Hietikko, E. 2015. Tuotekehitystoiminta. Helsinki: Books on demand.

Hokkanen, S. & Virtanen, S. 2016. Varastonhoitajan käsikirja. Jyväskylä: Sho business development Oy.

Hyysalo, S. 2009. Käyttäjätuotekehityksessä. Helsinki: Otava.

Jokinen, T. 1987. Tuotekehitys. Helsinki: Otatieto.

J. Woltter. N. d. Lavakaulukset. Viitattu 1.12.2021. <https://www.woltter.fi/lavakaulukset.html>

Kananen, J. 2010. Opinnäytetyön kirjoittamisen käytännönopas. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Kananen, J. 2015. Kehittämistutkimuksen kirjoittamisen käytännön opas. Jyväskylä: Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

Karhunen, J., Pouri, R. & Santala, J. 2004. Kuljetukset ja varastointi. Helsinki: WS Bookwell Oy.

Keinänen, T., Kärkkäinen, P., Metso, T. & Putkonen, K. 2002. Logiikat ja ohjausjärjestelmät. Porvoo: WS Bookwell Oy.

Koivunen, T. 2021. Nykytila-analyysi ja varaston käyttöasteen kehittäminen. Opinnäytetyö. Thesus.

Kokkonen, V., Kuuva, M., Leppimäki, S., Lähteinen, V., Meristö, T., Piira, S. & Säaskilahti, M. 2005. Visioiva tuotekonseptointi. Helsinki: Teknologiateollisuus.

Konetalo Vainikka. N. d. Henkilönostin Safelift Pusharound 30. Viitattu 28.3.2022. <https://konetalovainikka.fi/tuote/henkilonostin-safelift-pusharound-30/>

Kouri, I. 2010. Lean taskukirja. Helsinki: Teknologiateollisuus ry.

Laadullinen tutkimus. 2021. Koppa Jyväskylän yliopisto. Viitattu 11.11.2021. [Laadullinen tutkimus — Jyväskylän yliopiston Koppa \(jyu.fi\)](https://www.koppa.jyu.fi/)

Link. 2021. Uskallatko oikeasti ideoida?. Viitattu 4.1.2022. <https://linkdesign.fi/linkin-5-vinkkia-systemaattiseen-ideointiin/>

Luosma, P. 2022. Kaatuminen. Opetusmateriaali. Viitattu 12.4.2022.

Mahmoudi, M. & Wasso, A. 2020. Digi-Salama AGV MiR100. Opinnäytetyö. Thesus.

Maschinensucher. 2021. Mobile industrial Robots MiR250. Viitattu 23.3.2022. [▶ Used MiR250 Autonomous Mobile Robot \(AMR\) Mobile Industrial Robots MiR250 for sale - MachineSeeker.com](https://www.maschinensucher.com/en/mobile-industrial-robots/mir250)

Lähteenmäki, M. 2012–2013. Nurjahdus. Luentomateriaali. Viitattu 11.4.2022. [https://mlahteen.fi/arkistot/luj2\\_pdf/nurja\\_k.pdf](https://mlahteen.fi/arkistot/luj2_pdf/nurja_k.pdf)

Mobile industrial robots. N. d. MiR 500. Viitattu 6.4.2022. <https://www.mobile-industrial-robots.com/solutions/robots/mir500/>

Määrällinen tutkimus. 2015. Koppa Jyväskylän yliopisto. Viitattu 11.11.2021. [Määrällinen tutkimus — Jyväskylän yliopiston Koppa \(jyu.fi\)](https://www.koppa.jyu.fi/)

Palkkavertailu. N. d. Varastotyöntekijän palkka. Viitattu. 23.3.2022. [Varastotyöntekijä palkka - Palkkavertailu](https://www.palkkavertailu.fi/)

Practo. 2015. What is TUG?. Viitattu 23.3.2022. [Medical Gadget of the Month: The TUG Robot - The Practo Blog for Doctors](https://www.practo.com/blog/medical-gadget-of-the-month-the-tug-robot-the-practo-blog-for-doctors)

Prosolve. N. d. Prosolve oy. Viitattu 9.3.2022. <https://www.prosolve.fi/>

Rakennus fakta. 2008. Hänel-automaatit optimoivat varastotilojen käytön. Viitattu 1.12.2021. [https://www.rakennusfakta.fi/14/pdcnewsitem/01/24/31/index\\_14.html](https://www.rakennusfakta.fi/14/pdcnewsitem/01/24/31/index_14.html)

Rbr. 2016. MiR Moves Into U.S. Logistics Automation Market. Viitattu 23.3.2022. [MiR Moves Into U.S. Logistics Automation Market - Robotics Business Review](#)

Rocla. N. d. Reach Mast AGV. Viitattu 18.3.2022. <https://www.rocla-agv.com/en/products/reach-mast-agv>

Sage automation. N. d. About. Viitattu 9.3.2022. [About Us - Sage Automation Inc. \(sagerobot.com\)](#)

Sage automation. N. d. Gantry robots. Viitattu 9.3.2022. [Gantry Robots - Sage Automation Inc. \(sagerobot.com\)](#)

Toyota. N. d. Mikä on automaattitrukki (AGV)?. Viitattu 16.3.2022. <https://kampanja.toyota-forklifts.fi/vihivaunu>

Tuominen, K. 2021. Tehoa ja laatua kunnossapidon kehittämiseen. Turenki: HansaBook.

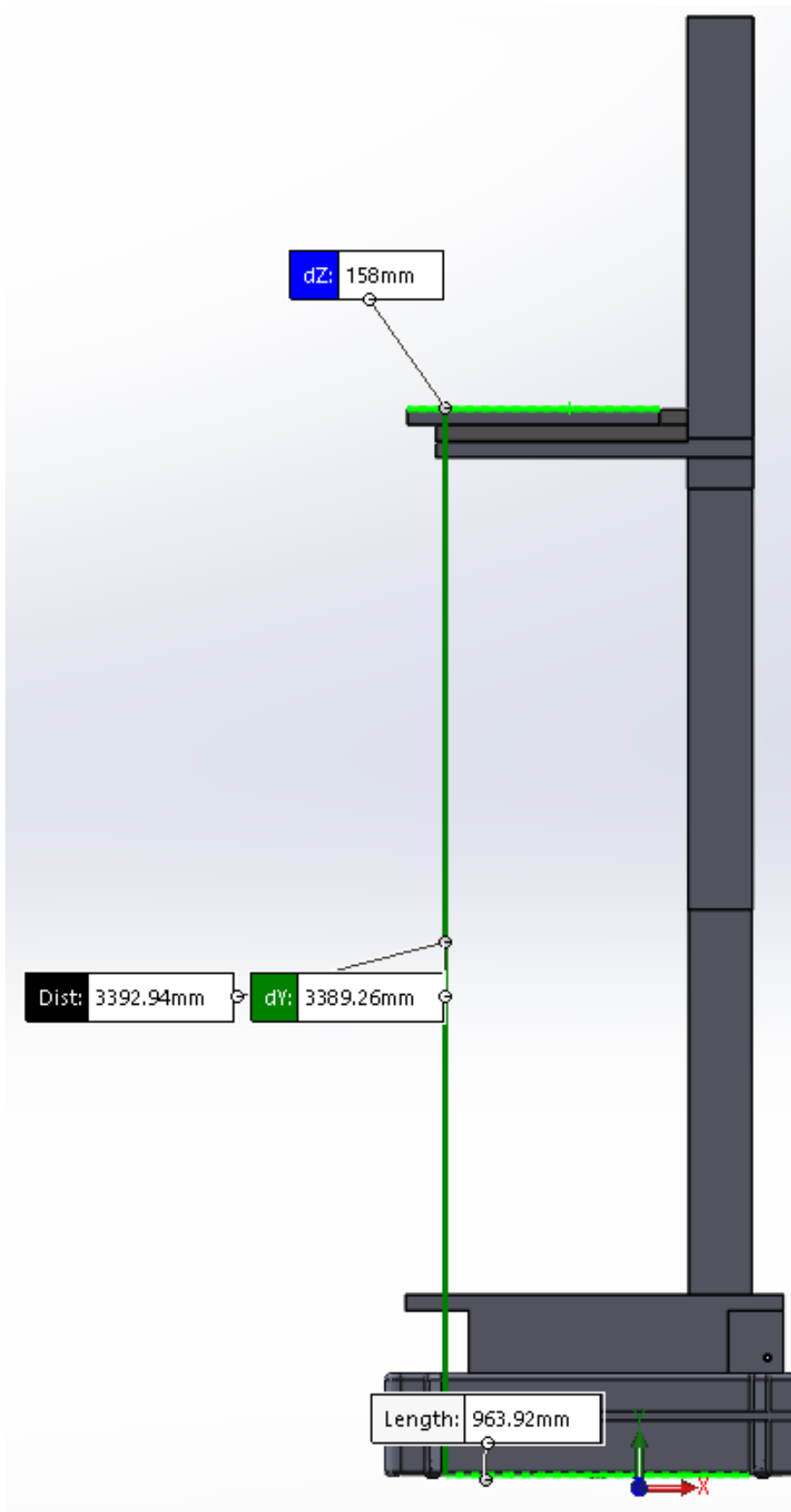
Valtanen, E. 2013. Tekniikan taulukkokirja. Hyvinkää: Genesis-kirjat oy.

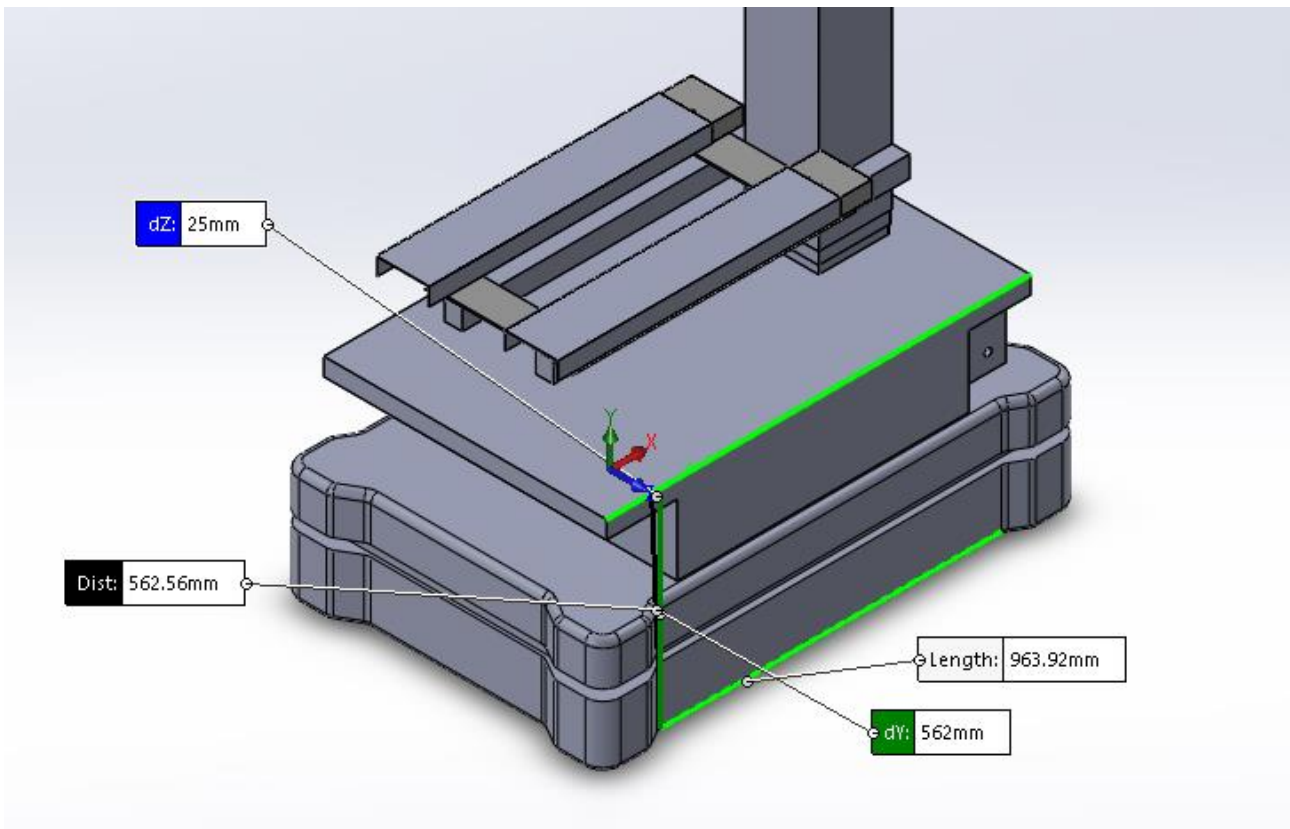
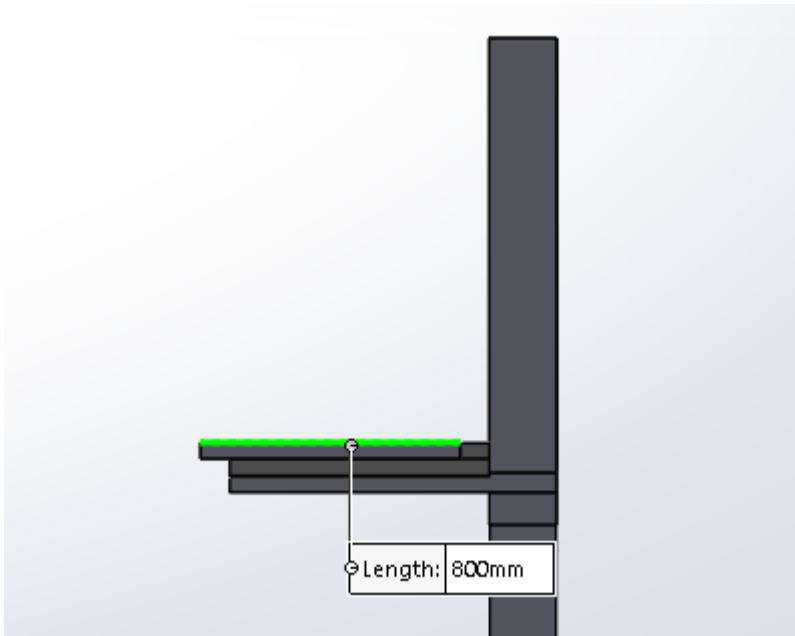
Veronmaksajat. 2022. Palkkakuitti 2022. Viitattu 28.3.2022. <https://www.veronmaksajat.fi/luvut/Laskelmat/palkkakuitti/#2910aff0>

Weland Solutions. N. d. About the company. Viitattu 7.3.2022. <https://www.welandsolutions.com/en/foretaget/>

## Liitteet

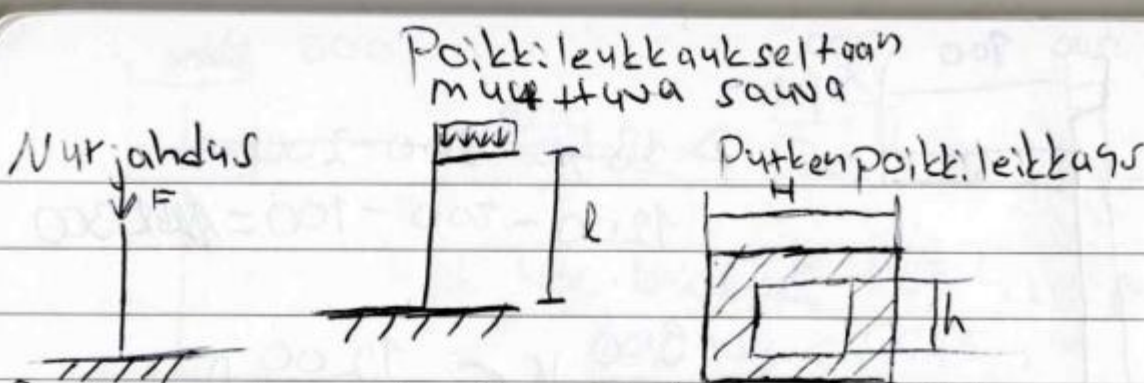
### Liite 1. Kehitysidea 4 + MiR 500 mittoja





## Liite 2. Stabiileettitarkastelu

Poikkileikkaukseltaan muuttuva saana



Nurjahdus

Putken poikkileikkaus

Putken materiaali: S235,  $E = 210 \text{ GPa}$   
 $\sigma_s = 235 \text{ MPa}$

$H_1 = 198 \text{ mm}$ ;  $h_1 = 192 \text{ mm}$        $l = 2700 \text{ mm}$   
 $H_2 = 204 \text{ mm}$ ;  $h_2 = 198 \text{ mm}$        $F = 4000 \text{ N}$

$$I = \frac{H^4 - h^4}{12}; F_n = \frac{mEI_2}{l^2}; m = \frac{I_2 - I_1}{I_1}$$

$$I_2 = 1,625 \cdot 10^7 \text{ mm}^4; I_1 = 1,483 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$m = 0,095; F_n = 44531,7 \text{ N}$$

Nurjahdus voima ylittää reilusti 4000 N rajan. Tässä ei nurjahdus vaaraa

$$\lambda_n = \frac{l_n}{i}; l_n = \beta l; \beta \text{ taulukosta} = 2,068$$

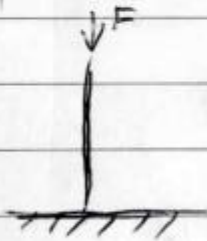
$$i = \sqrt{\frac{I_2}{A_2}}; A_2 = \frac{\pi}{4}(H^2 - h^2); l_n = 5584 \text{ mm}; i = 82,1$$

$$\lambda_n = 68; \lambda_r = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_s}} = 93,9$$

$$\lambda_n < \lambda_r \Rightarrow \text{Ei nurjahdus}$$

# Nurjautus perustapaus 1

Putkien keskimääräisen paksuuden mukaan



$$H=201; h=155; l=2700$$

$$I=1553 \cdot 10^7 \text{ mm}^4; B=2$$

$$l_n = \beta l; F_n = \frac{EI}{l_n^2}$$

$$l_n = 5400 \text{ mm}$$

$$F_n = 1,1 \cdot 10^6 \text{ N} \Rightarrow \text{yliittää reilusti } 4000 \text{ N}$$

rajan,  $E$ ; nurjautus vaaraa.

$$\lambda_n = \frac{l_n}{i}; \lambda_r = \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_s}}; i = \sqrt{\frac{I}{A}}$$

$$i = 90,8; \lambda_n = 66,8; \lambda_r = 93,9$$

$\lambda_n < \lambda_r \Rightarrow E$  tässäkin nurjautus vaaraa