

Raimo Yli-Peltola

**ROBOTTIKONSEPTIEN VAIKUTUSTEN ARVI-  
OINTI SAIRAALAN SISÄISEN KULJETUKSEN  
KUSTANNUSTEHOKKUUTEEN**

Diplomityö  
Tekniikan ja luonnontieteiden tiedekunta  
Reza Ghabcheloo  
Jukka Yrjänäinen  
Marraskuu 2020

# TIIVISTELMÄ

Raimo Yli-Peltola: Robottikonseptien vaikutusten arviointi sairaalan sisäisen kuljetuksen kustannustehokkuuteen

Diplomityö

Tampereen yliopisto

Automaatiotekniikka

Marraskuu 2020

---

Nousevat terveydenhuollon kustannukset, syntyvyyden pienenemisestä ja ikääntyvästä väestöstä johtuva työvoimapula, sekä eläke-, hoivamenojen kasvu pakottavat myös terveydenhuoltoorganisaatioiden tutkimaan vaihtoehtoja terveydenhuollon toimintavarmuuden ylläpitämiseksi myös tulevaisuudessa.

Tutkimuksen tavoitteena onkin selvittää valmistavassa teollisuudessa jo vuosikymmeniä kustannustehokkuutta parantaneen robotiikan käyttöä sairaanhoollon sisäisessä logistiikassa. Viimeisen vuosikymmenen aikana robotiikan käyttö on lisääntynyt jonkin verran myös sairaanhoollossa. Tästä hyvä esimerkki on Suomen sairaanhoollon mobiilirobotiikan pioneeri, Seinäjoen keskussairaala, jossa työskentelee työn kirjoittamisen aikaan 10 mobiilirobotia varastotavara-, välinehuolto- ja lääkekuljetuksien tehtävissä.

Työn teoreettisessa osuudessa tutustutaan erilaisiin mobiiliroboteihin ja niiden käyttötarkoituksiin. Työssä käydään läpi erilaisia robotiikkainvestoinnin apuna käytettäviä kehittämismenetelmiä ja käsitellään robotti-investoinnin vaikutuksia sairaalan toimintoihin. Konseptien kehittämistä varten haastateltiin Seinäjoen keskussairaalan logistiikka-asiantuntijaa käytännön asioiden selvittämiseksi. Työn aikana tarjoutui myös ainutlaatuinen tilaisuus testata mobiilirobotia käytännön tehtävässä oikeassa ympäristössä.

Työssä kehitetään erilaisia konsepteja kolmen kustannuksiltaan suurimman Tays keskussairaalan sisäisen kuljetuksen kuljetusprosessien osittaiseksi automatisoimiseksi. Robottien tarvemäärää pyritään arvioimaan tarkastelemalla tehtäviin keskimäärin käytettyä aikaa. Konsepteista on tarkoituksena valita luotettavimmat ja toimivimmat ratkaisut, jotka mahdollistavat mahdollisimman korkean kustannustehokkuuden. Konsepteja valittaessa toimintavarmuutta pidetään kuitenkin merkittävimpänä yksittäisenä ominaisuutena.

Konseptien valinta tehdään liiketoiminnan vaikutusanalyysin ja arvoanalyysin avulla, jotka mahdollistavat hyvinkin erilaisten ratkaisujen keskinäisen vertailun kokonaisvaltaisesti. Tutkimustuloksien valossa nähdään, että robotiikalla tulee olemaan suuri merkitys terveydenhuollon toimintavarmuuden ylläpitämiseksi.

Avainsanat: kustannustehokkuus, AMR, logistiikka, sisäinen kuljetus, sairaala

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

# ABSTRACT

Raimo Yli-Peltola: Impacts of robotic concepts to the cost-efficiency of a hospital's in-house logistics

Master's thesis

Tampere University

Master's Degree Programme in Automation Engineering

November 2020

---

Rising health care expenses, decreasing birthrate, and the aging population are causing labor shortage and the rise of pension and care services expenses. Which are forcing healthcare organizations to search for options to maintain health care reliability in the future.

This research aims to examine the use of robotics in the in-house logistics of the health care industry. The use of robotics has been improving the cost-efficiency of the manufacturing industry already for tens of years. During the last ten years, the use of robotics has also increased in health care. An excellent example of this, in the healthcare field, is the Finnish pioneer of mobile robotics, Seinäjoki central hospital. There now works ten mobile robots doing central storage, instrument maintenance, and medicine delivery tasks.

In the theoretical part of the thesis, we get acquainted with different types of mobile robots and their use. We will go through different developing methods and consider the effects of a robot investment on hospital operations. The writer interviewed a logistics expert from Seinäjoki central hospital to find answers to the hands-on questions related to mobile robotics' deployment for developing the thesis's concepts. During the time of doing the thesis, a unique opportunity presented itself, and the writer was able to test a mobile robot in a real hospital environment.

In the thesis concepts are developed to partially automatize the three most expensive in-house logistical processes of Tays central hospital. Then the robots' total quantity is approximated by scrutinizing the time used for each task in the delivery missions. The most reliable and functional concepts are selected, solutions that allow as high cost-efficiency as possible. Furthermore, when selecting concepts, operational reliability is regarded as the most significant quality.

The concept selection is done with the help of business impact analysis and cost benefit analysis, allowing wholesome comparison of different solutions. In light of the research results, robotics will have great significance in keeping up the health care reliability.

Keywords: cost-efficiency, AMR, logistics, inhouse logistics, hospital

The originality of this thesis has been checked using the Turnitin OriginalityCheck service.

## ALKUSANAT

Haluan kiittää Tuomi Logistiikkaa mahdollisuudesta tehdä diplomityö erittäin merkittävästä ja mielenkiintoisesta aiheesta. Ohjaajani Olli Ahvenniemi ja Hannu Lehmonen Tuomi Logistiikalta ansaitsevat kiitokset antamistaan neuvoista ja työn alueen rajaamisesta tarvittaessa. Alun suuntaviivojen näyttämisestä kiitokset professori Tero Juutille. Robotin testiviikon mahdollistamisesta kiitokset professori Reza Ghabcheloolle. Teron tilalle tullutta Jukka Yrjänäistä haluan kiittää mainioista, työtä kehittäivistä kommentista. Erityiskiitokset kuuluvat vaimolleni jokapäiväisestä tuesta. Haluan myös kiittää isääni uusien näkökulmien antamisesta.

Tampereella, 23.11.2020

Raimo Yli-Peltola

# SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO .....	1
1.1 Tutkimuksen kuvaus ja rakenne .....	3
1.2 Tutkimuksen rajaus .....	3
1.3 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset .....	4
1.4 Tutkimusasetelma .....	5
2. ROBOTTI-INVESTOINTI .....	6
2.1 Itseohjautuvasta vaunusta autonomiseen mobiilirobottiin .....	6
2.2 Kehittämismenetelmät ja toimintasuunnitelma .....	7
2.2.1 Arvoanalyysi .....	8
2.2.2 Liiketoiminnan vaikutusanalyysi .....	9
2.2.3 Vertailukehittäminen .....	10
2.2.4 Toimintasuunnitelma .....	12
2.3 Robotti-investoinnin vaikutukset .....	14
2.3.1 Robottijärjestelmän käyttöönotto sairaalassa .....	14
2.3.2 Robottijärjestelmän integrointimenetelmät .....	17
2.3.3 Robotti-investoinnin takaisinmaksuaika .....	18
2.3.4 Toimintojen tehokkuus .....	19
3. TAPAUS SEINÄJOKI JA TESTIVIIKKO TAYSILLA .....	20
3.1 Seinäjoen keskussairaala .....	20
3.1.1 Robottien käyttöönotto .....	20
3.1.2 Robottien käyttöaste .....	21
3.1.3 Ilmenneet ongelmat ja robottien valvonta .....	21
3.1.4 Muutokset prosesseissa .....	22
3.1.5 Yhteenveto .....	22
3.2 Robotin testaaminen sairaalaympäristössä .....	22
3.2.1 Testirobotti .....	23
3.2.2 Robotin toiminta ja turvallisuus kaltevalla rampilla .....	23
3.2.3 Robotin toiminta pienessä tilassa .....	26
3.2.4 Välinehuollon kuljetustehtävä .....	27
3.2.5 Kuljetustehtävän valmistelu .....	28
3.2.6 Testiviikon tulokset .....	29
4. TUOMI LOGISTIIKKA OY JA SISÄLOGISTIIKKA TAMPEREEN YLIOPISTOLLISESSA KESKUSSAIRAALASSA .....	31
4.1 Tuomi Logistiikka Oy .....	31
4.2 Tampereen yliopistollinen sairaala – Tays .....	31
4.3 Tutkimusalueen rajaus .....	32
4.4 Tutkittavat prosessit .....	34
4.4.1 Jätekuljetusprosessi .....	34
4.4.2 Ruokakuljetusprosessi .....	35
4.4.3 Välinehuoltokuljetusprosessi .....	36
5. ROBOTTIKONSEPTIT .....	38
5.1 Oletukset konsepteissa .....	38

5.1.1	Robottien käyttöasteen vaikutus työvoimakustannuksiin .....	38
5.1.2	Robottien ominaisuudet .....	40
5.1.3	Investoinnit infraan ja tukitoimintoihin .....	40
5.1.4	Ajankäyttö valituissa prosesseissa .....	42
5.1.5	Prosesseissa tarvittavien robottien määrän arviointi .....	45
5.2	Jätekonseptit .....	46
5.2.1	Konsepti 1: jäteaseman hoitaja .....	47
5.2.2	Konsepti 2: automatisoitu jäteasema .....	49
5.2.3	Konsepti 3: runkokuljetus-osastorobotti hybridi .....	50
5.3	Ruokakonseptit .....	51
5.3.1	Konsepti 4: kuljetusrobotti .....	52
5.3.2	Konsepti 5: runkokuljetus-osastorobotti hybridi .....	53
5.3.3	Konsepti 6: logistikko-osastorobotti hybridi .....	54
5.4	Välinehuoltokonseptit .....	55
5.4.1	Konsepti 7: kuljetuksen tilaus napilla .....	56
5.4.2	Konsepti 8: ajoitetut kuljetukset .....	57
5.4.3	Konsepti 9: tilaus napilla ja mobiili käsivarsirobotti .....	57
6.	KONSEPTIEN ARVIOINTI .....	58
6.1	Liiketoiminnan vaikutusanalyysi .....	58
6.1.1	Jätekonseptit .....	58
6.1.2	Ruokakonseptit .....	60
6.1.3	Välinehuoltokonseptit .....	62
6.2	Arvoanalyysi .....	63
6.2.1	Arvoanalyysin ominaisuudet .....	64
6.2.2	Jätekonseptit .....	66
6.2.3	Ruokakonseptit .....	66
6.2.4	Välinehuoltokonseptit .....	67
6.2.5	Arvoanalyysitaulukko .....	68
6.3	Valitut konseptit .....	68
6.3.1	Parannusehdotukset prosesseihin .....	69
6.3.2	Liiketoiminnan vaikutusanalyysi .....	69
6.3.3	Arvoanalyysi .....	71
7.	KESKUSTELU .....	73
7.1	Prosessit .....	73
7.1.1	Jäteprosessi .....	74
7.1.2	Ruokaprosessi .....	75
7.1.3	Välinehuoltoproessi .....	75
7.2	Robotin testiviikko .....	76
7.3	Robotisaation uhkat ja mahdollisuudet .....	77
8.	YHTEENVETO .....	79
	LÄHTEET .....	81
	LIITE 1 – KANTOKEHIKKO .....	86
	LIITE 2 - VETOKOUKKU .....	87
	LIITE 3 – HAASTATTELUKYSYMYKSET .....	88

# KUVALUETTELO

<b>Kuva 1.</b>	<i>Tampereen yliopistollisen sairaalan yksiköt. Työn rajaus lihavoidulla fontilla.</i> .....	4
<b>Kuva 2.</b>	<i>Tutkimusstrategia.</i> .....	5
<b>Kuva 3.</b>	<i>Autonomisen mobiilirobotin ohjausarkkitehtuuri. Toimintaperiaate voidaan kiteyttää seuraavasti: näe-mieti-toimi. Mukailen (Siegwart, Nourbakhsh et al. 2011)</i> .....	7
<b>Kuva 4.</b>	<i>Kokonaisvaltainen liiketoiminnan vaikutusanalyysi. Mukailen (Snedaker, Rima 2014)</i> .....	10
<b>Kuva 5.</b>	<i>Suositteluja yhdistelmiä vertailukehittämiseen. Mukailen (Andersen, Pettersen 1996).</i> .....	11
<b>Kuva 6.</b>	<i>Vertailukehittämispöytä. Mukailen (Andersen, Pettersen 1996)</i> .....	12
<b>Kuva 7.</b>	<i>Ehdotettu sisäisen kuljetuksen toimintasuunnitelman hierarkia. Mukailen (Granlund, Wiktorsson 2014)</i> .....	13
<b>Kuva 8.</b>	<i>Kuljetusjärjestelmän käyttöönoton päävaiheet Seinäjoen keskussairaalassa. Mukailen (Lappalainen 2019)</i> .....	15
<b>Kuva 9.</b>	<i>Viitekehys logistisen robottijärjestelmän systeemisten vaikutusten ymmärtämiseen eri ammattiryhmien näkökulmasta. (Lappalainen, Talja et al. 2017)</i> .....	16
<b>Kuva 10.</b>	<i>Välinehuoltovaunua kantava MiR100-robotti.</i> .....	24
<b>Kuva 11.</b>	<i>Rullakkoa vetävä MiR"Hook"100</i> .....	25
<b>Kuva 12.</b>	<i>Robotin laserskannereiden avulla luotu siivoamaton ja suoristamaton kartta.</i> .....	26
<b>Kuva 13.</b>	<i>Muuttolaatikoista luotu testausympäristö mittoineen.</i> .....	27
<b>Kuva 14.</b>	<i>Kuljetustehtävän 219 m pituinen reitti D- ja B-siipien välillä.</i> .....	28
<b>Kuva 15.</b>	<i>Robotin sensoreilla luotu kartta päällekkäin talon pohjapiirustuksen kanssa.</i> .....	29
<b>Kuva 16.</b>	<i>Testirobotti peruuttamassa ulos hissistä välinehuollon kuljetustehtävän aikana tallennetulla videolla. <a href="https://www.youtube.com/watch?v=ivunlUxeQHc">https://www.youtube.com/watch?v=ivunlUxeQHc</a></i> .....	30
<b>Kuva 17.</b>	<i>Tays Keskussairaala. (Tays 2020b)</i> .....	32
<b>Kuva 18.</b>	<i>Tays keskussairaalan kolmen suurimman prosessin kustannukset ja käyntimäärät.</i> .....	33
<b>Kuva 19.</b>	<i>A-siivessä sijaitseva jäte-/pyykkikuilu. Säkit tiputetaan osastoilta kuiluihin, joista ne ohjautuvat kuvan tasolle, josta ne lajitellaan oikeisiin vaunuihin.</i> .....	35
<b>Kuva 20.</b>	<i>Keittiöön palautettuja ruoankuljetusvaunuja. Vetotrukin perässä voidaan vetää vakuutusyistä maksimissaan kolmea ruoankuljetusvaunua kerrallaan.</i> .....	36
<b>Kuva 21.</b>	<i>D-siiven välinehuoltokeskuksen vaunut palautettu puhdistettavaksi.</i> .....	37
<b>Kuva 22.</b>	<i>Logistikkojen määrä arkisin kolmessa suurimmassa prosessissa.</i> .....	43
<b>Kuva 23.</b>	<i>Palkit kuvaavat logistikkojen määrää arkisin nykymallin mukaan kolmessa suurimmassa prosessissa ja viivat logistikko-robotti hybridimallia.</i> .....	44
<b>Kuva 24.</b>	<i>Yhdistetty jäterullakkomalli.</i> .....	47
<b>Kuva 25.</b>	<i>Jätekuljetuskonseptin 1 periaatekaavio</i> .....	48
<b>Kuva 26.</b>	<i>Jätekuljetuskonseptin 2 periaatekaavio</i> .....	50
<b>Kuva 27.</b>	<i>Jätekuljetuskonseptin 3 periaatekaavio</i> .....	51
<b>Kuva 28.</b>	<i>Ruoankuljetuskonseptin 4 periaatekaavio</i> .....	53
<b>Kuva 29.</b>	<i>Ruoankuljetuskonseptin 5 periaatekaavio</i> .....	54
<b>Kuva 30.</b>	<i>Ruoankuljetuskonseptin 6 periaatekaavio</i> .....	55
<b>Kuva 31.</b>	<i>Välinehuoltokuljetusprosessin periaatekaavio</i> .....	56

<b>Kuva 32.</b>	<i>Robotti-investoinnin säästö-panos vaikutukset jätekuljetusprosessiin viiden ensimmäisen vuoden aikana. ....</i>	<i>59</i>
<b>Kuva 33.</b>	<i>Jätekuljetuskonseptien takaisinmaksuajat eri robottimalleilla. ....</i>	<i>60</i>
<b>Kuva 34.</b>	<i>Robotti-investoinnin säästö-panos vaikutukset ruokakuljetusprosessiin viiden ensimmäisen vuoden aikana. ....</i>	<i>61</i>
<b>Kuva 35.</b>	<i>Ruokakuljetuskonseptien takaisinmaksuajat eri robottimalleilla. ....</i>	<i>62</i>
<b>Kuva 36.</b>	<i>Robotti-investoinnin säästö-panos vaikutukset välinehuoltokuljetusprosessiin viiden ensimmäisen vuoden aikana. ....</i>	<i>62</i>
<b>Kuva 37.</b>	<i>Välinehuoltokuljetuskonseptien takaisinmaksuajat eri robottimalleilla. ....</i>	<i>63</i>
<b>Kuva 38.</b>	<i>Robottiinvestoinnin mahdollistamat säästöt 15 vuoden ajalla: mahdolliset säästöt lisääntyvät asteittain kolmen ensimmäisen vuoden ajan työvoimakustannuksien pienentyessä. Laskelmat sisältävät 5 MiR250-robottia ja 8 TUG T3 robottia. ....</i>	<i>70</i>
<b>Kuva 39.</b>	<i>Voittokonseptien takaisinmaksuajat eri robottimalleilla. Huomaa robottien määrä on nyt sama kaikissa konsepteissa. ....</i>	<i>71</i>



## TAULUKKOLUETTELO

Taulukko 1.	Tarkasti kuvailtu subjektiivinen arvosana-asteikkomalli (Routio 2006).	8
Taulukko 2.	Arvoanalyysin muodostamisen esimerkki, mukailten (Routio 2006).	9
Taulukko 3.	Liiketoiminnan vaikutusanalyysi malli. Mukailten (Mämmelä 2019).	10
Taulukko 4.	Eri toteutusmallien hyviä ja huonoja puolia. Mukailten (Bocij, Hickie et al. 2015).	15
Taulukko 5.	MiR-robotin laskettuja keskinopeuksia 7 % kulmassa olevalla rampilla.	24
Taulukko 6.	Arvioitu robottien suorittamien tehtävien osuus käyttöönoton jälkeen.	39
Taulukko 7.	Käyttöönoton jälkeiset työvoimakustannukset verrattuna nykykustannuksiin.	39
Taulukko 8.	Laskelmiin valittujen robottien tärkeimpiä ominaisuuksia. (MiR 2020, Aethon 2016, Agilox 2020).	40
Taulukko 9.	Investoinnin jakautuminen prosesseille kolmen ensimmäisen vuoden aikana.	41
Taulukko 10.	Logistikkojen työtehtäviin varattu aika arkisin ja viikonloppuisin vasemmalla. Työtuntien mukaan keskimääräisiin käyntimääriin suhteutetut käyntimäärät oikealla.	44
Taulukko 11.	Prosessien käyntimäärät eri nopeuksilla roboteilla.	46
Taulukko 12.	Konseptien pisteyttämiskriteerit. Kriteeri "i" tunnistettiin työn myöhemmässä vaiheessa, eikä sitä käytetä ensimmäisen vaiheen pisteytyksessä. Sen mukana oleminen ensimmäisessä vaiheessa ei olisi kuitenkaan muuttanut voittaneita konsepteja.	65
Taulukko 13.	Konseptit arvoanalyysissä. Prosessin eniten pisteitä saanut konsepti korostettu vihreällä.	68
Taulukko 14.	Eniten pisteitä saaneiden konseptien pistetilanne iteroinnin jälkeen. Lihavoidut pisteet muuttuneet.	72
Taulukko 15.	Yhteenvetotaulukko robotti-investoinnin tekemisestä.	79

## LYHENTEET JA MERKINNÄT

AGV	itseohjautuva kuljetusvaunu (engl. automated guided vehicle), myös vihivaunu
AMR	autonominen mobiilirobotti (engl. autonomous mobile robot)
BIA	liiketoiminnan vaikutusanalyysi (engl. Business Impact Analysis)
CBA	arvoanalyysi (engl. Cost benefit analysis)
EDI	organisaatioiden välinen tiedonsiirto (engl. Electronic data interchange)
EVA	Elinkeinoelämän valtuuskunta
GPS	maailmanlaajuinen paikallistamisjärjestelmä (engl. global positioning system)
HYKS	Helsingin seudun yliopistollinen keskussairaala
JIT	juuri ajallaan (engl. Just-in-time), myös suomeksi JOT eli Juuri Oikeaan Tarpeeseen, teollisuuden ja kaupan alojen johtamisfilosofia
LGV	laser ohjautuva ajoneuvo (engl. laser guided vehicle)
PSHP	Pirkanmaan sairaanhoitopiiri
RFID	radiotaajuinen tunnistus (engl. radio frequency identification)
siku	sisäinen kuljetus
TAYS	Tampereen yliopistollinen sairaala
TK	tutkimuskysymys
VPN	virtuaalinen erillisverkko (engl. Virtual Private Network)
<i>jkk</i>	jatkokuljetuskerroin
<i>pk</i>	pysähtymiskerroin
<i>s</i>	matka
<i>th</i>	yhdensuuntaisen hississä käytetyn aika
<i>tk</i>	kohdepisteessä käytetty aika
<i>tl</i>	lähtöpisteessä käytetty aika
<i>v</i>	maksiminopeus

# 1. JOHDANTO

Kehittyneissä maissa korkeampi koulutustaso, nousevat terveydenhuollon kustannukset, toimintojen tehostaminen, syntyvyyden pienenemisestä ja ikääntyvästä väestöstä syntyvä työvoimapula, sairauspoissaolot ja tutkimuksen aikaan maailmalla vallinnut pandemia (Koponen 2015, Matveinen 2019, Kokkonen, Myöhänen 2020, Rotkirch, Helamaa 2018, Ventä, Honkatukia et al. 2018, Turja, Van Aerschot et al. 2018), liittyvät kaikki osaltaan robotiikan yleistymiseen tai sen tarpeeseen. Robotiikan nopean kehityksen ja tunnistetun tarpeen vuoksi voidaan olettaa, että erilaiset palvelurobotit tulevat toimimaan merkittävänä osana sosiaali- ja terveystalouden toimintoja niin Suomessa kuin muissakin kehittyneissä maissa (Alho, Hänninen et al. 2018). Vanhempi väestö tarvitsee tutkitusti myös enemmän sairaalahoitoa (Institute of Medicine 2008), väestön ikääntyessä myös työkuorma ja tehtävien määrä kasvaa potilaiden ollessa vähemmän liikkuvia (Granlund, Wiktorsson 2013a). Raportissaan Lassila ja Valkonen (2013) toteavat, että Suomen väestön ikääntyminen kasvattaa eläke-, terveys- ja hoivamenoja, eikä heidän kestävyyslaskelmien mukaan nykyinen verotaso riitä niiden rahoittamiseen, jos julkiset menot kehittyvät nykyisten sääntöjen ja käytäntöjen mukaisesti. Sairaaloilla onkin tarve käydä läpi terveydenhuollon tavat, haasteena parantaa niiden tuottavuutta sekä vaikuttavuutta (Poulin 2003, Goh, C. Chow-Chua and M. 2000). Sairaalassa logistiikkaa on hyvä tarkastella senkin vuoksi, että hoitajat käyttävät noin 30 % ajastaan lääkkeiden, tarvikkeiden ja laboratoriotuloksien haeskeluun (Bloss 2011). Vähentämällä logistiikkakustannuksia voidaan kuitenkin pienentää terveydenhuollon kustannuksia sen kuitenkään vaikuttamatta potilaiden hoitoon (Jarrett 2006).

Useissa lähteissä mainitaan, että Suomessa sairaaloissa palvelurobotiikkaa on hyödynnetty toistaiseksi vähän (Holmén 2019, Alho, Hänninen et al. 2018, Lappalainen 2019). Eikä aiheesta ole julkaistu toistaiseksi paljoa tieteellisiä tutkimuksia (Talja, Lappalainen et al. Aug 16, 2017), vaikka Granlundin ja Wiktorssonin (2013) mukaan automaatio terveydenhuollon logistiikassa on kasvava teollisuuden ala, he toteavat myös, että sen osoittavat tapaukset ovat harvoin dokumentoitu tieteellisessä asiayhteydessä. Evan (Elinkeinoelämän valtuuskunta) raportissa Anderson ja Kangasniemi (2016) kuitenkin arvoivat, että vuoteen 2020 mennessä viidennes hoitajien työtehtävistä pystytään automatisoimaan. Jää kuitenkin nähtäväksi, tullaanko ylitse jäänyt aika käyttämään potilaiden kanssa, kuten Anderson ja Kangasniemi odottavat, vai nostetaanko

sillä voittoja tai parannetaan kustannustehokkuutta. Joka tapauksessa robotiikkaan ja automaatioon kohdistuu suuria odotuksia (Ventä, Honkatukia et al. 2018).

Sairaanhuollon toimiala on perinteisesti nähty erilaisena muista teollisuuden aloista, vaikka siihen ei ole välttämättä perusteita. Sairaaloiden johtajat kuitenkin perustelevat eroa muihin toimialoihin sillä, että he eivät voi tietää tulevia potilaitaan ja näin ollen määrittellä tarvikkeiden menekkiä (Jarrett 1998). Tämän vuoksi sairaaloissa ei ole otettu käyttöön myöskään teollisuudessa laajalti käytettyä JIT-periaatetta (Just-In-Time). Siihen on kuitenkin kiinnostusta ja esimerkiksi Özkil (2011) mainitsee että sairaalat ovat monella tavalla hyvin samanlaisia kuin tuotantolaitokset. Aptel ja Pourjalali (2001) ehdottavatkin JIT-periaatteen käyttöä myös sairaaloissa. Samoin Jarrett (2006) sanoo, että toimitusketju sairaaloissa, niin kuin valmistavassa teollisuudessa on loppujen lopuksi keskeisiltä osilta sama. Vaikka sen monimutkaisuuden ja joustavuuden tasolle ylittää ainoastaan selkkaustilassa oleva asevoimien organisaatio (Jarrett 2006).

Anderson ja Kangasniemi toteavat raportissaan (2016), että robottien käyttöönoton suurimpia ongelmia ovat robottijärjestelmien korkea hintalappu, tarvittavan infrastruktuuri puute, erityisesti riittävän kattava kommunikaatioverkko, työntekijöiden vastustus, sekä tuotteiden ja tuen saatavuus. Automatisoimalla osan toiminnoista voidaan terveydenhuollon alalla kuitenkin tehdä suuriakin säästöjä. Robotit eivät kuitenkaan tuota itsessään arvoa ennen kuin ne toimivat yhdessä muun järjestelmän kanssa. Yhteen toimiminen järjestelmän kanssa taas vaatii tehokkaan integraation, mikä taas ottaa aikaa ja vaatii investointeja.

Ihmiset ovat kuitenkin hyvin kiinnostuneita roboteista ja tekevät niiden kanssa mielellään töitä (2018). Ventä, Honkatukia et al. mukaan ihmiset tuntevat ylpeyttä työskennellessään yrityksessä, jossa on robotiikkaa ja pitkälle kehittynyttä automaatiota. Heidän mukaansa tämä taas vaikuttaa työtyytyväisyyteen, keskittymiskykyyn ja motivaatioon positiivisesti, jotka auttavat myös parantamaan työtehoa, tuottavuutta ja laatua. Myös Seinäjoen keskussairaalassa huomattiin positiivista suhtautumista jo puolen vuoden kuluttua robottien käyttöönotosta (Lappalainen, Talja et al. 2017). Vaikka terveydenhuollon ammattilaisilla on vähemmän kokemusta robotiikasta ja he näkevät robotiikan negatiivisemmin kuin väestö yleisesti, he toivottavat robotiikan tervetulleeksi tiettyihin tehtäviin, joihin sisältyy esimerkiksi logistiikka ja raskaiden kuormien nostelu (Turja, Van Aerschot et al. 2018). Turja, Van Aerschot et al. (2018) lisäävät, että aikaisempi kokemus robottien kanssa lisäsi vastaavasti robottien hyväksynnän astetta ja että ylihoitajilla ja muilla esimiehillä oli positiivisemmat näkemykset roboteista kuin muilla tutkimuksen verrokeilla.

Sairaalan käytävien ruuhka johtuu eniten tavaroiden liikuttelua tekevästä henkilökunnasta ja toiseksi eniten sairaalahenkilökunnasta (Özkiil 2011). Käytäviä ei ole kuitenkaan mahdollista leventää tungoksen välttämiseksi. Tukoksia voidaan kuitenkin vähentää ympärivuorokautisella toimintamallilla ja useammat päivittäiset kuljetukset mahdollistavat tarvikkeiden paremman saatavuuden (Talja, Lappalainen et al. Aug 16, 2017, Özkiil 2011). Myös Lehmonen (2007) on tunnistanut tutkimuksessaan, Tays keskussairaalan vanhimpiin osiin kuuluva B-siiven hissien olevan ruuhkaisia, samanaikaisesti suoritettavien prosessien yhtäaikaisen käytön vuoksi.

## 1.1 Tutkimuksen kuvaus ja rakenne

Tutkimuksessa tutkitaan robottikonseptien vaikutuksia Tays Keskussairaalan sisäisen kuljetuksen kolmeen suurimpaan kuljetusprosessiin. Työn tutkimusmenetelmät ovat laadullisia ja empiirisiä.

Luvussa 2 esitetään lukijalle ensin robotti-investointiin liittyvää tietoa mobiiliroboteista, kehittämismenetelmistä ja robotti-investoinnin vaikutuksista sairaalan toimintaan. Aliluvussa 3.1 selvitetään asiantuntijahaastattelun avulla robotiikkainvestoinnin käytännön asioita. Aliluvussa 3.2 kuvataan tutkimuksen aikana sairaalaympäristössä suoritettuja robotin toimintaan liittyviä toimintakokeita. Kappaleessa 4 esitellään työn toimeksiantaja, Tuomi Logistiikka Oy ja Tays keskussairaala, jossa tutkimuskohde sijaitsee. Aliluvussa 4.3 määritetään diplomityöhön resursseihin sopiva tutkimusalue. Aliluvussa 4.4 tutkittavien prosessien toiminta kuvataan nyky muodossaan. Toimintakuvaukset perustuvat empiiriseen tutkimukseen ja Tuomi Logistiikan kuljetuspalvelujen kuvauksiin. Luvun 5 alussa esitetään ensin konseptien tekemiseen tarvittavat esitiedot ja oletukset. Aliluvuissa 5.2, 5.3, ja 5.4 konseptit esitetään prosesseittain. Luvussa 6 arvioidaan edellä mainitut konseptit, ensin liiketoiminnan vaikutusanalyysin avulla, minkä jälkeen konsepteille tehdään arvoanalyysi. Analyysien perusteella jokaisesta prosessista valitaan parhaat konseptit. Valituille konsepteille tehdään yhtenäinen liiketoiminnan vaikutusanalyysi ja arvoanalyysi. Kappaleessa 7 keskustellaan työn tuloksista. Lopuksi, kappaleessa 8 esitetään työn yhteenveto.

## 1.2 Tutkimuksen rajaus

Pirkanmaan sairaanhoitopiiriin (PSHP) henkilöstömäärä oli vuonna 2018, 9 359 henkilöä. Tampereen yliopistollinen sairaala on osa PSHP-konsernia ja siihen kuuluu 5 eri sairaalayksikköä, jotka ovat: Tays Hatanpää, Tays Sastamala, Tays Valkeakoski, Tays Pitkämäki ja Tays Keskussairaala, jonka alueella toimivat myös Tays Sydänsairaala ja tekonivelsairaala Coxa, kuva 1. (Pirkanmaan sairaanhoitopiiriin viestintä 2020)

Jokaiseen sairaaloista kuuluu erilaisia sisäisen- ja ulkoisen kuljetuksen toimintoja, sekä henkilökuljetuksia niiden välillä. Kuvassa 1 nähdään tutkimuskohteen rajausta Tays keskussairaalan sisäisen kuljetuksen toimintoihin. Työtä rajattiin edelleen diplomityön resurssien puitteissa kolmeen suurimpaan sisäisen kuljetuksen toimintoon, jotka ovat jäte-, ruoka- ja välinehuoltokuljetusprosessit.



**Kuva 1.** Tampereen yliopistollisen sairaalan yksiköt. Työn rajaus lihavoidulla fontilla.

### 1.3 Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Tutkimuksen päätavoitteena on selvittää robotisoinnin vaikutukset Tuomi Logistiikan kustannustehokkuuteen. Tutkimuksen toisena tavoitteena on määrittellä tapa, jolla robottien määrää voidaan arvioida mahdollisimman yksinkertaisesti ja luotettavasti. Tutkimuksen kolmantena tavoitteena on määrittää sopiva suhde logistikkojen (logistikko tarkoittaa henkilöä, joka tekee sisäisen kuljetuksen tavarakuljetuksia) ja robottien välille tarkasteltavissa prosesseissa. Tutkimuksen neljäntenä tavoitteena on selvittää ympäristön ja prosessien roboteille asettamat ominaisuusvaatimukset, kuten kuormankanto-/vetokyky ja nousukyky kaltevilla osuuksilla. Tutkimuksen tavoitteiden mukaisesti muotoillaan seuraavat tutkimuskysymykset:

**TK 1:** Voidaanko robotiikkaa hyödyntämällä parantaa Tuomi Logistiikan kustannustehokkuutta?

**TK 2:** Miten tarvittavaa robottien määrää sairaalassa voidaan arvioida mahdollisimman yksinkertaisesti ja luotettavasti?

**TK 3:** Mikä on sopiva robottien ja logistikkojen suhde jäte-, ruoka ja välinehuoltoprosesseissa?

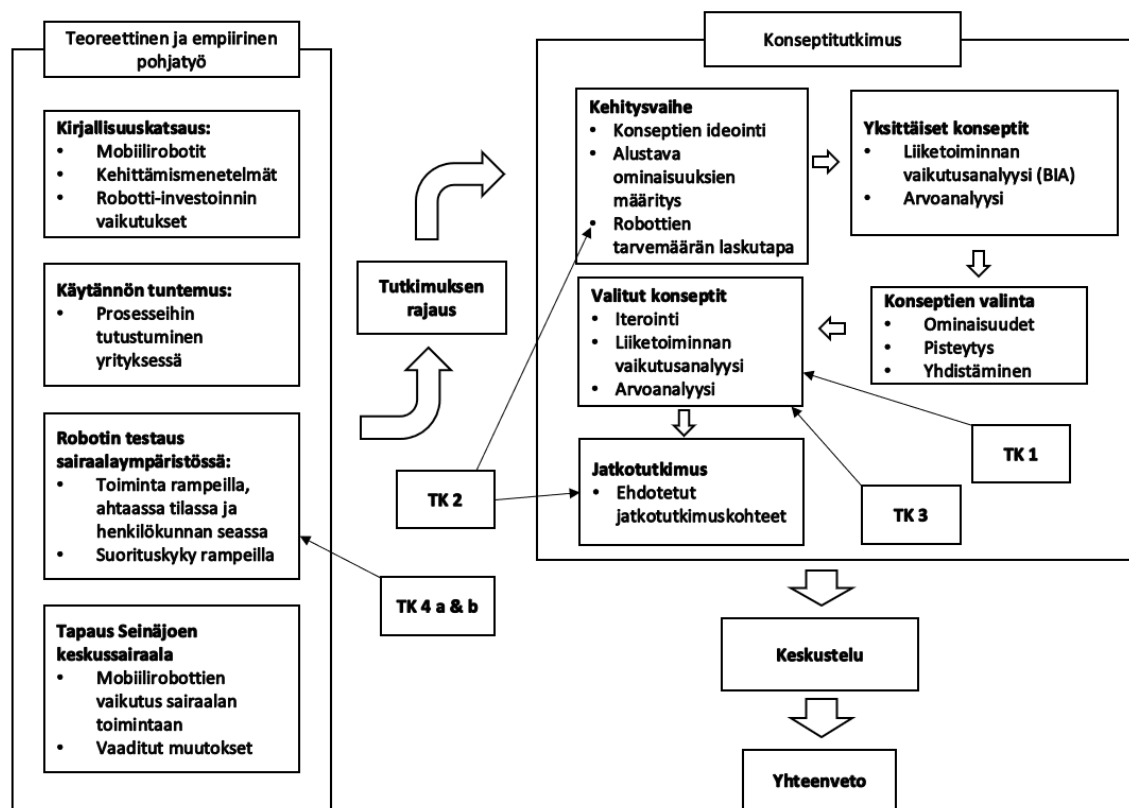
**TK 4:** Minkälaisia vaatimuksia robotiikan käyttäminen asettaa:

(a) ympäristölle (käytävien leveys, lattian epätasaisuudet esim. kaivonkannet ja rampit)?

(b) roboteille (kuormankanto-/vetokyky, nousukyky, nopeus, jne.)?

## 1.4 Tutkimusasetelma

Tutkimusmenetelmäksi valittiin laadullinen empiirinen lähestymistapa. Tutkimussuunnitelman osa-alueet havainnollistetaan kuvan 2 tutkimuskartassa. Tutkimuskartassa esitellään miten tutkimus etenee ja minkälaisia tavoitteita tutkimuksessa on, sekä missä tutkimuksen vaiheessa pyritään vastaamaan mihinkäkin tutkimuskysymykseen.



*Kuva 2. Tutkimusstrategia.*

## 2. ROBOTTI-INVESTOINTI

Tässä luvussa tehdään kirjallisuuskatsaus robottien käyttöönottamiseen sairaalassa liittyviin asioihin. Ensin tutustutaan millaista teknologiaa kuljetustehtävien automatisoinnissa voidaan käyttää. Tämän jälkeen esitetään menetelmiä investoinnin tueksi. Luvussa 2.3.1 esitetään millaisia vaikutuksia käyttöönotolla oli Seinäjoen keskussairaalan henkilökuntaan ja sairaalan toimintaan. Kirjallisuuskatsauksen lopuksi katsotaan hie-man minkälaisia takaisinmaksuaikoja robotti-investoinneilla on saavutettu.

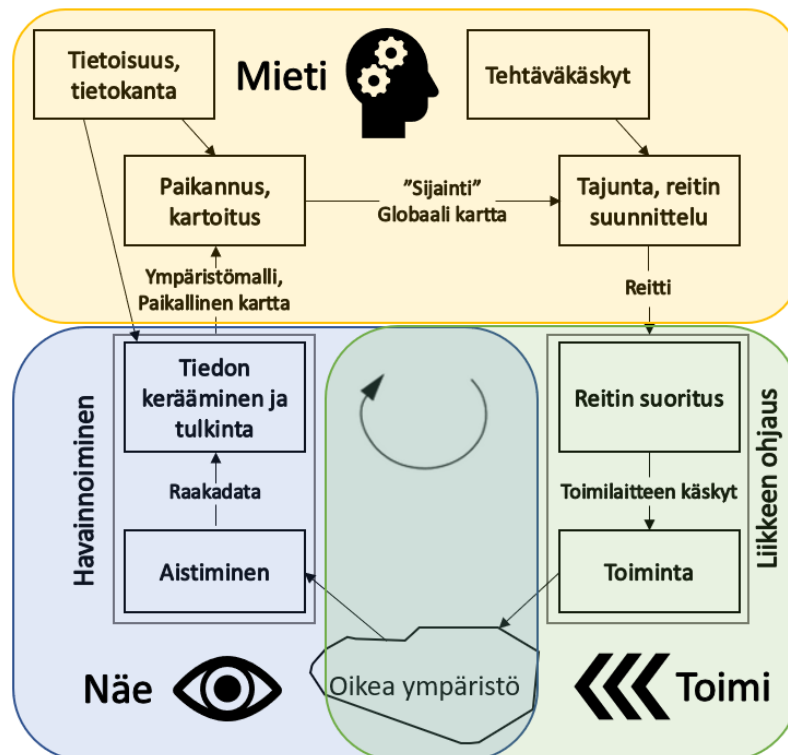
### 2.1 Itseohjautuvasta vaunusta autonomiseen mobiilirobottiin

Vuonna 1954 Barrett Electronics kehitti ensimmäisen vihivaunun, toiselta nimeltään itseohjautuva vaunu (AGV, engl. automated guided vehicle) jota sen valmistaja kutsui nimellä Guide-O-Matic (Andel 2010). Laitteen navigointi perustui lattiaan asennettuun johtimeen, kuten vielä nykyisinkin osassa itseohjautuvista vaunuista. Johtimien lisäksi itseohjautuvien vaunujen navigoinnin apuna käytetään nykyään myös magneettiliuskaa, laserohjausta (engl. laser guided vehicle, LGV) (Siegwart, Nourbakhsh et al. 2011) ja kameraa, jonka avulla seurataan lattiaan maalattua viivaa. Magneettiliuskojen tai johtimien asentaminen lattiaan on kuitenkin aina paljon aikaa vievää, kallista ja niitä on hankala muuttaa jälkikäteen, eikä lasermittauksessa tarvittavia majakoja ole tehokasta sijoittaa pitkille käytäville. Perinteisesti vihivaunut eivät myöskään osaa kiertää niiden reitille osuvaa estettä. Riittäväillä sensoreilla ja tilanteen sen salliessa se voi kuitenkin olla mahdollista (Halldén, Saltvik 2018). Mutta jos vihivaunujen toimintaa on hankala muuttaa jälkikäteen, on niissä myös hyviä puolia. Ne ovat helppoja ohjelmoida, eivät ikinä eksy reitiltä ja takaavat korkean sijaintitarkkuuden, minkä vuoksi ne myös sopivat paremmin valmistavan teollisuuden ympäristöön.

Sairaalan dynaamiseen ympäristöön soveltuu kuitenkin paremmin laserskannereiden ja 3D-kameroiden avulla navigoiva autonominen mobiilirobotti (AMR, autonomous mobile robot). Toisin kuin vihivaunun, autonomisen mobiilirobotin käyttöönottaminen ei vaadi välttämättä muutoksia sen toimintaympäristöön, vaan se pystyy suorittamaan yksinkertaisia tehtäviä käytännössä lähes välittömästi. Mutta myös autonomisten mobiilirobottien kanssa voidaan käyttää RFID-majakoja kiinteinä referenssipisteinä parantamaan paikoitustarkkuutta sen vaatiessa (Bloss 2011).



Mobiilirobottien tieteenhaara on vielä sen verran nuori, että sillä ei ole standardisoitua arkkitehtuuria. Kuvassa 3 kuvataan *Introduction to autonomous mobile robotics* -kirjassa (Siegwart, Nourbakhsh et al. 2011) ehdotettua autonomisen mobiilirobotin ohjausarkkitehtuuria. Yksinkertaisesti kuvattuna robotin täytyy ensin aistia eri antureiden, kuten laserskannerin, pyörien asentoanturin tai GPS:n (Global Positioning System), avulla merkityksellistä tietoa sen mahdollisesta sijainnista. Joiden avulla robotti voi päätellä missä se on, perustuen sen muistiin kerättyyn dataan. Data voi muodostua esimerkiksi viiden minuutin ajosta pitkin käytävää, tai robotin muistiin etukäteen tallennetusta koko rakennuskompleksin kattavasta karttojen kokonaisuudesta. Robotin täytyy kuitenkin pystyä määrittämään sijaintinsa, ennen kuin se voi täsmentää reitin ja suoritettavat toiminnot määränpään saavuttamiseksi. Kun reitti on selvillä, voi robotti alkaa seuraamaan sitä, mukauttamalla moottorien lähtötehon saavuttaakseen halutun liikeraidan, jatkuvasti kuitenkin seuraten muuttuvaa ympäristöä ja varmistuen että ympärillä ei ole esteitä liikkumiselle.



**Kuva 3.** Autonomisen mobiilirobotin ohjausarkkitehtuuri. Toimintaperiaate voidaan kiteyttää seuraavasti: näe-mieti-toimi. Mukailten (Siegwart, Nourbakhsh et al. 2011)

## 2.2 Kehittämismenetelmät ja toimintasuunnitelma

Tässä luvussa käydään läpi konseptien arvioinnissa käytettäviä työkaluja, arvoanalyysia ja liiketoiminnan vaikutusanalyysia. Tämän jälkeen esitetään sairaalojenkin toimintojen parantamisessa käytettävää vertailukehittämistä, jonka avulla voidaan kartoittaa

olemassa olevia mahdollisuuksia hyvin tehokkaasti vertaamalla parhaisiin vertailukoh-teisiin. Viimeisessä aliluvussa käydään läpi toimintasuunnitelman käyttämistä sairaalan logistiikkainvestoinnin tukena.

### 2.2.1 Arvoanalyysi

Arvoanalyysi, tai kustannuksien ollessa mukana myös hyötykustannusanalyysi (engl. cost benefit analysis) on selkeästi kvantitatiivinen metodi. Sitä käytettäessä mitataan kaikkia tarkasteltavia ominaisuuksia. Analyysin avulla haetaan yhteinen optimi kaikille merkittävälle tuotteen ominaisuuksille. Analyysin vaiheet ovat seuraavanlaiset: ensin laaditaan tarkasteltavien ominaisuuksien hyväksyttävyyssasteikko, kuten taulukon 1 asteikkomalli. Toiseksi määritetään tutkittavien ominaisuuksien painoarvot, kuten taulukon 2 yläosassa. Kolmanneksi ristiintaulukoidaan vaihtoehdot ja ominaisuudet. Taulukossa vaakasuunnassa on vertailtavat vaihtoehdot, ja pystysuunnassa arvioitavat ominaisuudet arvosanoineen ja painoineen. Neljänneksi taulukkoon lisätään sarakkeet yhteenlasketulle arvosanalle  $A$  ja painotetulle arvosanalle  $PxA$ , joka lasketaan painoarvojen  $P$  ja arvosanojen  $A$  yhteenlasketusta tulosta. Korkeimman arvosanan saanut vaihtoehto on paras. (Routio 2006)

<i>Taulukko 1. Tarkasti kuvailtu subjektiivinen arvosana-asteikkomalli (Routio 2006).</i>	
Ominaisuus: käytön helppous	Arvosana
Useimmat toiminnot ovat täysin automaattisia. Jos kone tarvitsee jotakin toimintoa varten lisätietoja, se kysyy niitä suomeksi.	5
Useat toiminnot on automatisoitu. Käyttöohje on tarkka ja selkeä.	4
Käyttö ja käyttöohjeet tavanomaiset.	3
Käyttö hieman hankalaa. Käyttöohje on vaikeatajuinen.	2
Toiminnot vaativat paljon säätämistä. Suomenkielistä käyttöohjeetta ei ole, tai se on sekava tai sisältää virheitä.	1

Edellä mainitun subjektiivisen asteikkomallin, eli henkilökohtaisen asteikon lisäksi on olemassa myös, intersubjektiivinen eli koko asiakaskunnan kattava asteikko ja objektiivinen, eli ehdottomat vaatimukset määrittävä asteikko. Objektiivista arviointia käytetään silloin kun tuotteen käyttöarvosta ei ole erimielisyyttä. Esimerkiksi arvioitaessa nauhurin äänentoistoalueen laajuutta, katsotaan että 5 kHz arvostellaan huonoksi, 10 kHz välttäväksi ja paras arvosana saavutetaan äänentoistoalueella 20 kHz, koska ihmiskorva ei kuule sitä korkeampia ääniä. (Routio 2006)

Taulukko 2. *Arvoanalyysin muodostamisen esimerkki, mukailten (Routio 2006).*

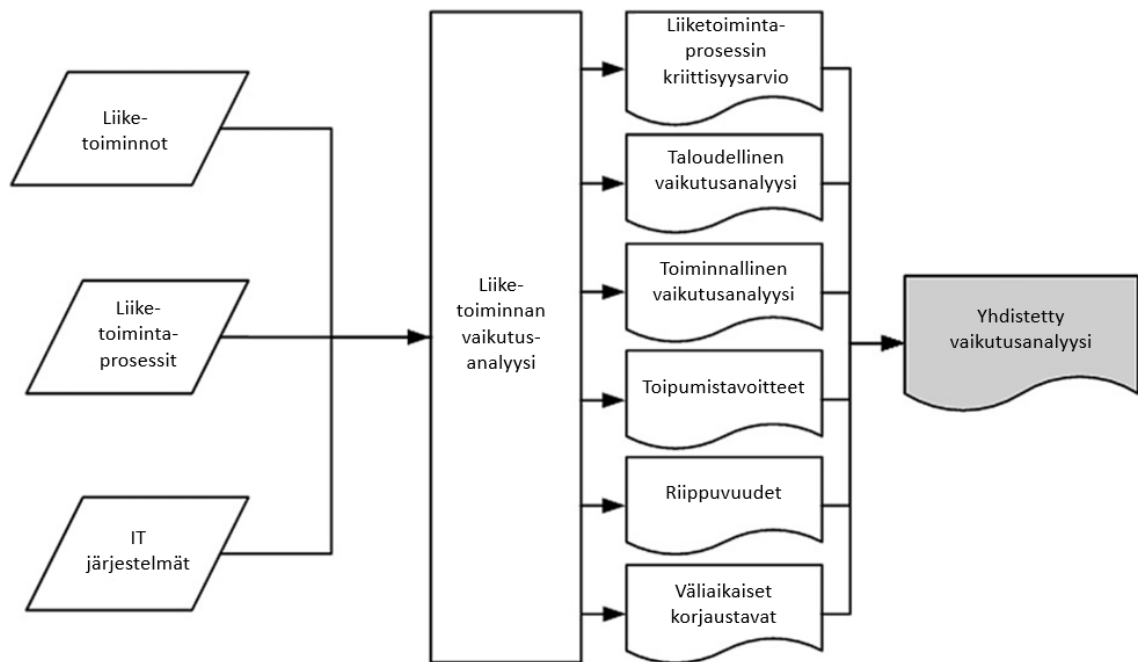
Painoarvo P:	40	40	10	10		
		Käytön helppous	Muotoilu	Materiaalit	Yhteenlasketut arvosanat (A)	Yhteenlasketut pai- notetut arvosanat (PxA)
<b>Vaihtoehdot</b>	Kustannus					
Vaihtoehto 1	2	3	5	3	<b>13</b>	<b>280</b>
Vaihtoehto 2	5	4	2	2	<b>13</b>	<b>400</b>

Taulukon 2 havainnollistamassa arvoanalyysitaulukossa on tärkeä huomata, että vaikka molemmat vaihtoehdot saavat yhtä korkean yhteenlasketun arvosanan, vaihtoehto 2 yhteenlaskettu painotettu arvosana on merkittävästi korkeampi kuin vaihtoehto 1. Tämä johtuu siitä, että vaihtoehtojen arvosanat ovat jakautuneet eriarvoisesti painotetuille ominaisuuksille.

Arvoanalyysissä arvioidut ominaisuudet jaotellaan hyötyarvoiksi ja uhrauksiksi. Esimerkiksi ostohinta tai käyttökustannukset nähdään uhrauksena ja käytön helppous hyötyarvona. Jos arvoanalyysissä arvioidaan vain hyötyarvoja, analyysissä asetetaan lopuksi vastakkain hyödyt ja uhraukset. Tämä tehdään ottamalla erikseen jokaisen vaihtoehdon yhteenlasketusta painotetusta arvosanasta osamäärä sen kustannuksella. Jolloin edullisin vaihtoehto voittaa. Jos kustannus sijoitetaan jo arvoanalyysitaulukkoon, kuten ylhäällä, säästetään yksi työvaihe, mutta tällöin hyödyn ja hinnan keskinäiset suhteet voivat jäädä hieman epäselviksi. (Routio 2007)

### 2.2.2 Liiketoiminnan vaikutusanalyysi

Liiketoiminnan vaikutusanalyysi (engl. Business Impact Analysis, BIA) on kokonaisuudessaan hyvin laaja prosessi ja vaatii paljon datan keräämistä organisaation eri tahoilta (Snedaker, Rima 2014). Liiketoiminnan vaikutusanalyysin pääasiallinen tarkoitus on selvittää mitkä prosessit ovat elintärkeitä meneillään oleville toiminnoille, ja mikä niiden keskeytyksen vaikutus on liiketoiminnalle (Snedaker, Rima 2014). Kuva 4 esittää miltä analyysi voi kokonaisuudessaan näyttää. Tämän projektin kannalta analyysiä kuitenkin supistetaan ja keskitytään projektin kannalta olennaisiin ja resurssien puitteissa selvittävässä oleviin asioihin.



**Kuva 4.** Kokonaisvaltainen liiketoiminnan vaikutusanalyysi. Mukailten (Snedaker, Rima 2014)

Taulukossa 3 esitetään Mämmelän (2019) väitöskirjassa esittämän liiketoiminnan vaikutuksen laskemiseen käytettävän työkalun mukautettu versio. Taulukon vasemmassa reunassa kuvataan liiketoiminnan vaikutuksen tekijöitä ja oikeassa reunassa yhtiön määrittelemiä arvioita niiden rahallisista vaikutuksista. Taulukossa eritellään kertainvestoinnit ja vuosittain toistuvat investoinnit. Kertainvestointi tehdään yleensä investoinnin alkuvaiheessa ja se voi koostua esimerkiksi uuden laitteiston hankinnasta. Vuosittainen investointi taas voi toistua investoinnin elinkaaren ajan, ja siihen voidaan laskea esimerkiksi huoltosopimuksen kustannukset.

Taulukko 3. *Liiketoiminnan vaikutusanalyysi malli. Mukailten (Mämmelä 2019)*

Arvon määrittäminen	Kertainvestointi €	Vuosittainen investointi €	€	Yhteensä €
<b>Hinta:</b> Uuden teknologian vaikutus tuotteen hintaan?			-350 000	-350 000
<b>Hankinnat:</b> Uuden teknologia vaikutus hankintoihin?	-130 000	-10 000		-140 000
<b>Liiketoimikohtainen suunnittelu:</b> Uuden teknologian vaikutukset liiketoimikohtaiseen suunnitteluun?		-30 000		-30 000
<b>Liikevaihto:</b> Uuden teknologian vaikutukset liikevaihtoon?			520 000	520 000

### 2.2.3 Vertailukehittäminen

Automaatiosovelluksien tarpeiden laatiminen nähdään vaikeana, kuten myös niiden kehittäminen (Granlund, Wiktorsson 2014). Minkä seurauksena laaditut ratkaisut voivat

olla tarpeettoman kalliita ja/tai monimutkaisia. Granlund ja Wiktorsson epäilevät, että tämä on seurausta tiedon ja kokemuksen puutteesta siitä mitä automaation avulla voidaan ratkaista, minkälaiset odotukset/vaatimukset ovat realistisia, sekä siitä minkälaisia vaihtoehtoja ja ratkaisuja on olemassa. Yhtenä tapana ongelman ratkaisemiseksi he ehdottavat vertailukehitystä (engl. benchmarking). Myös Aptel ja Pourjalali ehdottavat tutkimuksessaan (2001), että sairaaloiden, jotka pyrkivät parantamaan toimintojaan tulisi käyttää vertailukehitystä kehityksen tukena. Vertailukehityksen avulla voidaan helpottaa arviointia toiminnoista ja niiden tarpeesta organisaatiolle. Esimerkiksi onko varaston koko verrannollinen muussa vastaavankokoisessa sairaalassa, minkä perusteella voidaan päätellä tarvittavat jatkotoimenpiteet.

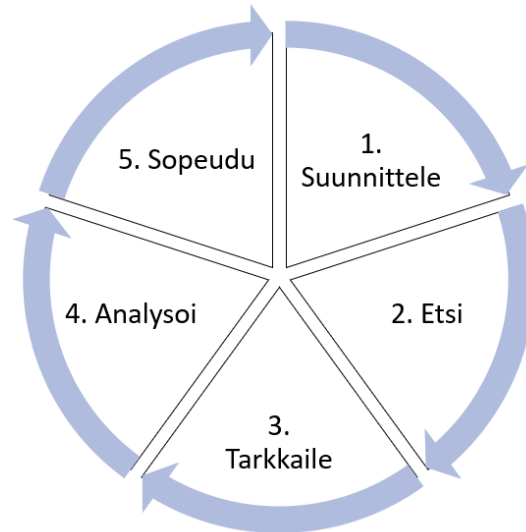
Vertailukehittämistä pidetään ensimmäisenä kehittämistyökaluna, siinä oman organisaation toimintaa verrataan alalla tunnistetun parhaan organisaation toimintaan. Se kehitettiin 1970-luvulla Xeroxin toimesta herättämään organisaatio parannuksiin. Toinen syy sen kehittämiseksi oli organisaation motivointi kehittymään ja näyttämään, että parannuksia voidaan tehdä, osoittamalla jo niin tehneitä verrokkeja. Vertailukehittämissyyppejä on kuitenkin useampia ja ne voidaan määritellä tarkemmin sen mukaan mitä vertaillaan ja mitä vastaan. Vertailtaviin asioihin luetaan tehokkuus, prosessi ja strategia. Vertailukohde voi olla sisäinen, kilpailija, toiminnallinen ja yleinen. Kuva 5 osoittaa parhaiten yhteensopivat vertailukehittämissyypit. (Andersen, Pettersen 1996)

	Sisäinen vertailu- kehittäminen	Kilpailija vertailu- kehittäminen	Toiminnallinen vertailu- kehittäminen	Yleinen vertailu- kehittäminen
Suorituskyvyn vertailukehittäminen				
Prosessin vertailukehittäminen				
Strategian vertailukehittäminen				

Asiankuuluvuus,  
arvo: Korkea Keskisuuri Matala

**Kuva 5.** Suositeltuja yhdistelmiä vertailukehittämiseen. Mukailten (Andersen, Pettersen 1996).

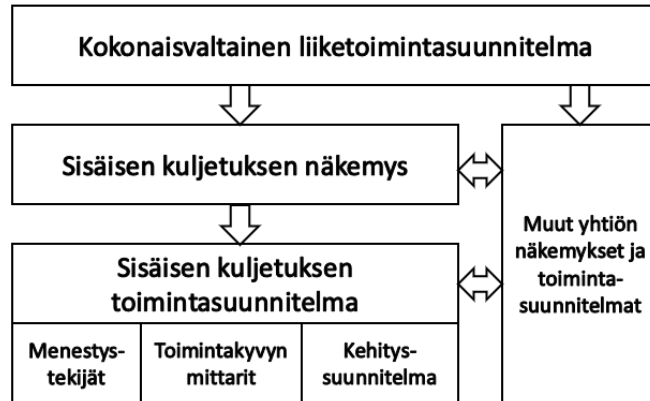
Vertailukehittäminen etenee kuvan 6 askeleitten mukaan seuraavasti: 1. suunnittele: tunnista kriittiset menestystekijät, valitse prosessit vertailukehittämistä varten, dokumentoi prosessi ja kehitä suorituskyvyn mittarit. 2. etsi vertailukehittämiskumppanit. 3. tarkkaile: ymmärrä ja dokumentoi kumppanien prosessit, sisältäen tehokkuuden ja käytännön. 4. analysoi ja löydä aukot tehokkuudessa, löydä juurisyyt aukoilte tehokkuudessa. 5. sopeudu: valitse ”paras käytäntö” ja sopeudu yhtiön tilaan ja tee muutokset. (Andersen, Pettersen 1996)



**Kuva 6.** Vertailukehittämisyörä. Mukailten (Andersen, Pettersen 1996)

#### 2.2.4 Toimintasuunnitelma

Granlund ja Wiktorsson toteavat tutkimuksessaan (2014), että useimmilla yhtiöillä on huono käsitys toimintojen nykytilasta ja tulevaisuuden halutusta tilasta, mikä vaikuttaa suuresti mahdollisuuksiin parantaa toimintoja menestyksekkäästi. Heidän mukaansa vajavainen käsitys sisäisen kuljetuksen toiminnoista on seurausta puutteellisesta näkemyksestä ja toimintasuunnitelmasta sisäisen kuljetuksen toiminnoissa, josta puuttuu myös selvä strateginen vastuu. He suosittelevatkin toimintasuunnitelman tekemistä sisäiselle kuljetukselle, joka sisältää menestystekijöitä, toimintakyvyn mittareita ja kehityssuunnitelman, joilla pystytään välittämään riittävä pohja sisäisen kuljetuksen johtamiselle ja kehittämiselle. Edelleen he huomauttavat, että automaation kehitysprojektissa on tarve myös selkeälle, jäsennellylle ja hyvin tuetulle menetelmämallille. Jota tukee halutun työskentelytavan kattava automaatiostrategia. Heidän mukaansa toimimalla edellä mainitulla tavalla yhtiöt pystyvät tekemään hyvin tuettuja automaatiopäätöksiä ja parantamaan näin ollen mahdollisuuksia onnistua automaatioprojekteissa. Tutkimuksen pohjalta he ovat määritelleet kuvan 7 mukaisen sisäisen kuljetuksen toimintasuunnitelman hierarkian.



**Kuva 7.** Ehdotettu sisäisen kuljetuksen toimintasuunnitelman hierarkia. Mukailten (Granlund, Wiktorsson 2014)

Granlund ja Wiktorsson jatkavat, että logistiikan toimintasuunnitelman integroiminen on erittäin tärkeää ja että sen tulee olla linjattu kokonaan organisaation ja sen muiden toimintojen ja strategioiden kanssa. Esimerkiksi, sisäisen kuljetuksen näkemys täytyy johdattaa kokonaisvaltaisesta liiketoimintasuunnitelmasta ja sen ei tule heijastaa ainoastaan liiketoimintastrategiaa ja tavoitteita, vaan painopistee täytyy olla sisäisen kuljetuksen tärkeimmistä piirteistä yhtiössä. Sisäisen kuljetuksen näkemyksestä johdetaan sisäisen kuljetuksen toimintasuunnitelma. Näistä molemmat ovat vaikutuksessa muiden yhtiön näkemyksien ja toimintasuunnitelmien kanssa. (Granlund, Wiktorsson 2014)

Tutkimuksen löydöksiä perusteella Granlund ja Wiktorsson ehdottavat, että sisäisen logistiikan strategia jaetaan kolmeen jo edellä mainittuun osaan, menestystekijöihin, toimintakyvyn mittareihin ja kehityssuunnitelmaan. Menestystekijöihin tutkimuksessa luetaan perustoiminnot, tunnusmerkit, tehokkuus ja sisäisen kuljetuksen osatekijät. Jotka näin ollen tulee tyydyttää, toteuttaa ja toimia oikealla tavalla saavuttaakseen halutun järjestelmän toimintakyvyn. Toimintakyvyn mittareilla saattaa olla paljon samankaltaisuuksia menestystekijöiden kanssa, ja ne määrittävät mitkä toimintakyvyn kriteerit ovat tärkeimpiä ja miten tärkeitä tietyt näkökulmat ovat verrattuna toisiinsa. Edelleen niiden avulla pyritään löytämään tärkeimmät näkökulmat ja kriteerit menestykselle ja kilpailulle. Näin ollen ne ovat myös hyvin yhtiökohtaisia. Kehityssuunnitelma määrittää miten sisäistä kuljetusta tulee kehittää ja parantaa järjestelmällisesti aloittamalla jatkuvia parannuksia sopeuttaen ne menestystekijöiden kanssa, samalla pyrkien saavuttamaan toimintakyvyn mittarit. Perustuen tutkimuksen empiirisiin löydöksiin kehityssuunnitelmaan tulee sisältää eri näkökulmia, kuten organisaatio, vastuu, omistajuus, vertailukehittäminen, liiketaloudelliset näkökulmat kuten budjetti, ja suunnitelma miten logistiikan toimintoja jatketaan ja arvioidaan. (Granlund, Wiktorsson 2014)

Granlund ja Wiktorsson ehdottavat sisäisen kuljetuksen toimintasuunnitelman rinnalle myös toimintasuunnitelmaa automaation käytölle, jolla opastetaan automaatioon liittyviin parannuksiin. Suunnitelmalla pyritään vastaamaan eri kysymyksiin, kuten vastuu, henkilöstön koulutus, ja sillä tähdätään antamaan suuntaviivoja, tukea ja ohjeita koston eri automaation menetelmiä. Joita ovat esimerkiksi hankinta, arviointi, kehitys ja huolto. Toimintasuunnitelman tulee myös vastata kenet/mitkä toiminnot tulee sisällyttää eri vaiheissa, että voidaan taata erittäin tärkeä varhainen osallistuminen eri henkilöstön osilta. Automaation toimintasuunnitelma vastaa myös kysymyksiin, minkä tyyppistä ja tasoista automatisointitasoa yhtiö tavoittelee. Toimintasuunnitelman tulee myös vastata siihen mitä ovat erilaiset teknologian tuomat edellytykset. Granlund ja Wiktorsson huomasivat tutkimuksessaan, että yhtiöt, joilla oli heidän tarpeisiinsa sopiva automaatio, olivat kehittäneet standardoidummat työmenetelmät, joka johti parempaan sijoitetun pääoman tuottoon. (Granlund, Wiktorsson 2014)

## 2.3 Robotti-investoinnin vaikutukset

Sairaalan näkökulmasta sisäisen kuljetuksen tulee olla luotettavaa, joustavaa, ekonomista, sekä korkealaatuista (Kriegel, Jehle et al. 2013). Aliluvussa 2.3.1 perehdytään siihen, minkälaisia menetelmiä Seinäjoen keskussairaalassa käytettiin robotiikkainvestoinnin suunnittelun tukena. Aliluvussa 2.3.2 käydään läpi, miten autonomisten kuljetusrobottien integraatio voidaan tehdä vakiintuneessa sairaalaympäristössä. Aliluvussa 2.3.3 katsotaan hieman robotiikkajärjestelmien takaisinmaksuajoista eri sairaaloissa. Aliluvussa 2.3.4 tarkastellaan minkälainen vaikutus toimintojen tehokkuudella on sairaalan toimintaan.

### 2.3.1 Robottijärjestelmän käyttöönotto sairaalassa

Seinäjoen keskussairaalassa käyttöön otettiin kaksi ensimmäistä robottia syyskuussa 2016, kesällä 2017 käyttöön otettiin kolme uutta robottia ja niiden käyttöönottoa tutkittiin Teknologian Tutkimuskeskus VTT:n toimesta ainakin vuosina 2016-2018. Tällöin Lappalainen (2019) tutki logistiikkarobottien käyttöönoton vaikutuksia eri ammattiryhmien näkökulmasta sairaalan palvelujärjestelmässä. Logistiikkarobottien käyttöönoton idea syntyi kuitenkin lähes 10 vuotta ennen ensimmäisten robottien käyttöönottoa. Käyttöönottoa suunniteltaessa päädyttiin käyttämään Bocij, Hickie et al. (2015) mainitsemaa, taulukon 4, *vaiheittaista toteutusta* (ja *pilotointi strategioita, joiden avulla* päädyttiin ratkaisuun, jossa sairaalaan hankitaan 8 TUG-robottia kolmen vuoden aikana. (Lappalainen 2019)



Taulukko 4. Eri toteutusmallien hyviä ja huonoja puolia. Mukailten (Bocij, Hickie et al. 2015)

Metodi	Päähyödyt	Päähaitat
Välitön vaihto	Nopea, matalimmat kustannukset	Korkeat riskit jos järjestelmässä on virheitä
Rinnakkainen toiminta	Matalampi riski kuin välittömässä vaihdossa	Hitaampi ja kalliimpi kuin välitön vaihto
Vaiheittainen toteutus	Hyvä kompromissi välittömän vaihdon ja rinnakkaisen toiminnan välillä	Vaikea saavuttaa teknisesti moduulien riippuvuuksien vuoksi
Pilotointi	Elintärkeää monikansallisissa tai kansallisissa julkistuksissa	Täytyy käyttää yhdessä muiden metodien kanssa

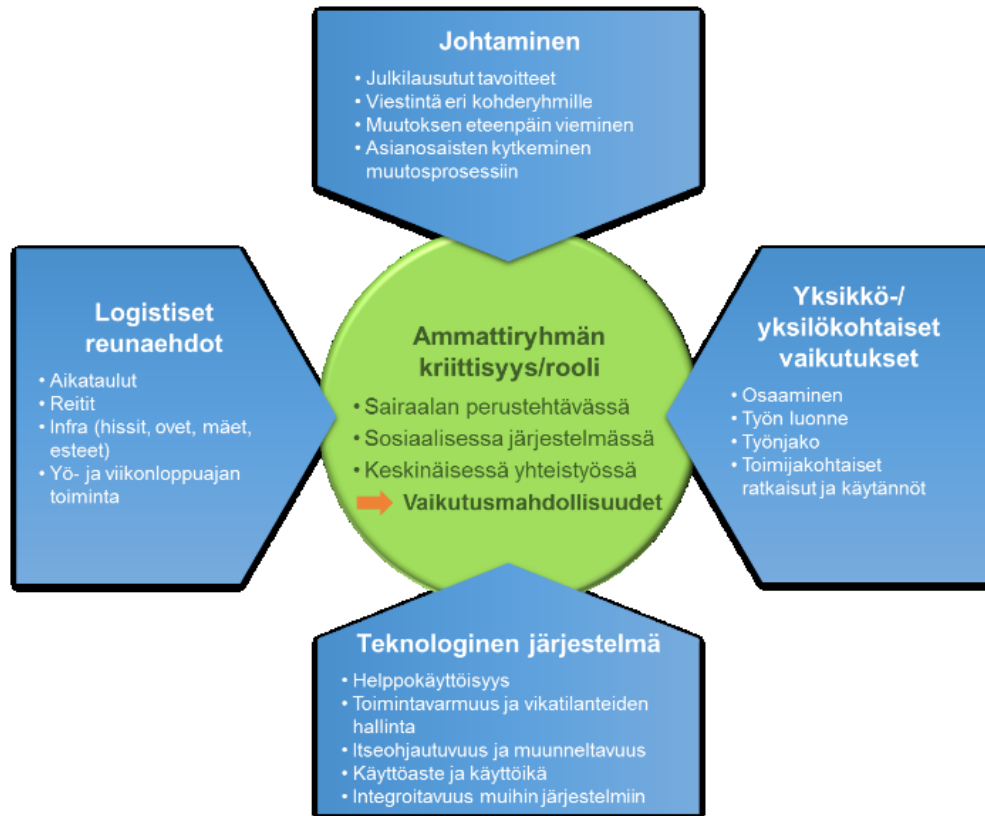
Ensimmäinen käyttöön otettu robotti alkoi suorittamaan välinehuollon kuljetustehtäviä välinehuoltokeskuksen ja kolmen toiminnallisen osaston välillä. Samaan aikaan toinen robotti alkoi kuljettamaan materiaaleja keskusvarastolta valituille osastoille. Vähitellen osastojen määrää lisättiin, niin että helmikuussa 2017 robotit palvelivat 17 eri osastoa. Myöhemmin saman vuoden kesällä edellä mainittuihin prosesseihin lisättiin kolme uutta robottia, nyt uutena toimintona mukaan otettiin myös erikoisruokakuljetukset. Kuvassa 8 tiivistetään kuljetusjärjestelmän käyttöönottoon liittyvät päävaiheet, urauurtavasta suunnittelusta robottien käyttöönottoon. Jossa suunnittelu, kommunikointi sidosryhmien kanssa ja yhteistyössä tehdyn kehittämisen johtaminen ovat kriittisessä osassa toimia. (Lappalainen 2019)



**Kuva 8.** Kuljetusjärjestelmän käyttöönoton päävaiheet Seinäjoen keskussairaalassa. Mukailten (Lappalainen 2019)

Tutkimuksessa Lappalainen haastatteli kahdessa vaiheessa eri sidosryhmiä, toimintojen johtajista, hoitajiin ja logistiikkatyöntekijöihin. Tutkimuksen empiiriset tulokset paljastivat monimutkaisia riippuvuuksia dynaamisen sairaalan palvelutoimintojen välillä,

näitä riippuvuuksia summataan kuvassa 9. Tutkimuksen empiiriset tulokset ehdottavat kaikkien haastattelujen perusteella, että autonominen logistiikkajärjestelmä on mahdollistanut tehokkaamman ja asiakaspainotteisemman hoitotyön. Vaikka käyttöönoton alkuvaiheessa olikin monenlaisia ongelmia, ne nähtiin monimutkaisen järjestelmän käyttöönoton luonnollisena osana. (Lappalainen 2019)



**Kuva 9.** Viitekehys logistisen robottijärjestelmän systeemisten vaikutusten ymmärtämiseen eri ammattiryhmien näkökulmasta. (Lappalainen, Talja et al. 2017)

Robottien käyttöönotto keskusvaraston kuljetustehtävissä madalsi työvoimakustannuksia odotetusti, sekä paransi tehokkuutta ja poisti yksitoikkoista työtä. Toisaalta käyttöönotto toi myös negatiivisia kokemuksia vähentämällä hallinnan tunnetta ja tuomalla väliaikaista työkuormaa. Välinehuollon kuljetuksissa robottien käyttöönottoon suhtauduttiin varautuneemmin, kuten kustannustehokkuuteen ja palvelun luotettavuuteen, sekä keskeytyksiin ydintyössä. Pilotointivaiheen jälkeen robotteihin suhtauduttiin kuitenkin positiivisemmin, niin kauan kuin ne palvelivat intensiivistä ja aikakriittistä hoitotyötä esimerkiksi leikkaus- ja synnytysosastoilla, sekä antoivat hoitotyöntekijöiden keskittyä ydintehtäviinsä keskeytyksettä. Automatisoituihin ruokahuollon kuljetuksiin sopeuduttiin melko tasapainoisesti, huolimatta sen erityispiirteistä, kuten katkeamattomasta lämpöketjusta. Automatisointi vaikutti ruokahuoltoon laskemalla sen kustannuksia ja tuomalla työntekijöille yhteistä iloa, mutta se lisäsi myös painetta ja ainakin väliaikaisesti myös lisätehtäviä. Keskusvaraston ja ruokahuollon kuljetuksissa robottien

käyttö lisäsi työntekijöiden ylpeyden tunnetta mediassa olleen urauurtavan kuvan vuoksi. (Lappalainen 2019)

Robottijärjestelmän päävaikutukset nähtiin projektipäällikön, asiantuntijoiden/tuen, keskusvaraston, logistikkojen ja välinehuollon työntekijöiden tehtävissä. Heidän päivittäisessä rutiinissansa, pätevyyydessä ja sosiaalisessa arvioinnissa. Tutkimustulosten valossa, järjestelmän käyttöönotolla oli rajalliset vaikutukset itse hoitotyöhön. Joka tapauksessa tutkimuksen tulokset näyttävät, että onnistunut omaksuminen vaatii asiaankuuluvien arvoverkon toimijoiden sitoutumista suunnitteluprosessiin. Tutkimuksen mukaan myös odotetut arvot ovat riskissä jäädä saavuttamatta, ellei teknologiaa integroida systemaattisella tavalla. (Lappalainen 2019)

### 2.3.2 Robottijärjestelmän integrointimenetelmät

Özkil (2011) ehdottaa väitöskirjassaan autonomisten kuljetusrobottien integroimiseen sairaalan olemassa olevaan systeemiin sairaalaympäristöön kolmea eri menetelmää, *systemin mukauttaminen*, *systemin osittainen uudelleenkonfigurointi* ja *systemin uudelleenrakentaminen*. Özkil kuvaa menetelmiä seuraavasti:

1. *Systemin mukauttaminen* olemassa olevaan järjestelmään: kuljetussysteemi pysyy yleisesti samana. Robotteja käytetään tietyissä tehtävissä tekemään olemassa olevia kuljetustehtäviä. Rutiinit pysyvät sellaisenaan, tällä tavoin on helppo pitää olemassa olevat roolit.
2. *Systemin osittainen uudelleenkonfigurointi*: Tietyt tehtävät tunnistetaan ja robotit optimoidaan tehtäviin sopiviksi. Kuljetusrutiinit optimoidaan robottien ominaisuuksille sopiviksi. Olemassa olevia varastoja käytetään hyväksi ja kuljetusrutiinit venytetään ympärivuorokautisiksi.
3. *Systemin uudelleenrakentaminen*: Optimisoinnin helpottamiseksi toteutetaan keskusvarastojärjestelmä, jossa voidaan varastoida usean tyyppisiä materiaaleja. Järjestelmän päähyöty on yhdistää usean tyyppisiä materiaaleja keskusvarastossa ja lähettää ne yhdessä; näin lähetyksien määrä minimoidaan. Erityyppiset robotit otetaan käyttöön sen mukaisesti ja reitit optimoidaan ympärivuorokautisiksi.

Özkil (2011) mukaan jos robotit otetaan käyttöön *mukauttamalla* ne olemassa oleviin toimintamalleihin, joissa logistiikkatehtävät suoritetaan pääosin päiväsaikaan, ei korkean käyttöasteen saavuttaminen ole mahdollista. Lappalainen (2019) lisää että tällä tavoin robottien kapasiteettia ei pystytä hyödyntämään täysin, ja se saattaa heikentää

joustavuutta ja neuvoteltavuutta. Özkil (2011) myös toteaa tutkimuksessaan, että *systemin uudelleenrakentaminen* muussa kuin täysin uudessa sairaalassa ei ole kannattavaa. Myös Lappalaisen (2019) mukaan tämän menetelmän käyttö vanhassa sairaalassa on haastavaa ja se vaatii uudelleenmiettimistä, sekä laitoksellisten roolien ja logiikan muuttamista. Özkil (2011) ehdottaakin, että muissa kuin uusissa sairaaloissa tehtävät kannattaa *uudelleenkonfiguroida* paremmin robottien ominaisuuksille sopiviksi, ja niin että tehtäviä suoritetaan myös öisin. Tällä tavoin robottien kapasiteettiä pystytään hyödyntämään paremmin.

Lappalainen (2019) arvioi autonomisten kuljetusrobottien integroimista Seinäjoen keskussairaalan toimintaan seuraavasti. Tutkimustuloksien valossa *systemin mukauttaminen* olemassa olevaan järjestelmään näytti olevan vallitseva menetelmä vakiintuneessa sairaalan palveluympäristössä. Vaikka sopeutuminen toimintaan autonomisten kuljetusrobottien kanssa vähensi työntekijöiden hallinnan tunnetta ja lisäsi ainakin väliaikaisesti työkuormaa. Haastatellut näkivät *osittaisen uudelleenkonfiguroinnin* ja jopa *uudelleenrakentamisen* pääosin positiivisena. Robottien käyttöönottoon liittyvät tekijät nähtiin rajoitteena, mutta myös mahdollistajana. Yhteentoimivuutta, luotettavuutta ja teknisten järjestelmien käytettävyyttä pidettiin tärkeimpinä *mukauttamismenetelmässä*. Osittaisessa *uudelleenkonfigurointimenetelmässä* käyttöaste nähtiin keskiössä ja *uudelleenrakentamismenetelmän* ytimessä nähtiin autonomisuus ja muunneltavuus.

### 2.3.3 Robotti-investoinnin takaisinmaksuaika

Robottien takaisinmaksuajoiksi mainitaan aikoja 1,5 - 4 vuoden välillä (Dobrzańska, Dobrzański et al. 2013, Anderson, Haavisto et al. 2016). Seinäjoen keskussairaalassa arvioitiin 8 robotin kokonaisinvestoinnin kustantavan 1,4 miljoonaa euroa ja takaisinmaksuajaksi arvioitiin 6-7 vuotta (Anderson, Haavisto et al. 2016). Näin ollen Seinäjoen arvioidun takaisinmaksuajan pituus on huomattavasti suurempi kuin verrokeissa. Siihen saattavat toki vaikuttaa työvoimakustannukset Suomen ja esimerkiksi Yhdysvaltojen välillä. Seinäjoen arvioidun takaisinmaksuajan keskiarvosta poikkeava pituus saattaa johtua myös laskelmissa käytetystä lähtökohdasta, jonka mukaan robotti ei pysty täysin korvaamaan yhden logistikon työpanosta.

Kirjoittajakaan ei usko, että robotti pystyy suorittamaan saman kuljetustehtävän yhtä nopeasti kuin ihminen, toisaalta robotilla on noin kolme kertaa enemmän työaikaa vuorokaudessa kuin logistikolla. Vaikka robotti suorittaisi keskimäärin vain puolet logistikon suorittamista tehtävistä 8 tunnin aikana, kolminkertaisen työajan vuoksi yhden robotin suorittama tehtävämäärä vuorokaudessa olisi silti noin 50 % korkeampi kuin logistikon.

Tämä vaatii toki sen, että tehtäviä voidaan tehdä riittävän laajalla aikaikkunalla, mieluiten ympärivuorokautisesti. Näin ollen tehtävien tasaaminen on hyvin tärkeää korkean käyttöasteen saavuttamiseksi.

### **2.3.4 Toimintojen tehokkuus**

Logistiikan merkitystä ei kannata vähätellä, vaikka sitä monesti tehdäänkin (Ozkil, Fan et al. 2009). Logistiikkaan liittyvät kustannukset ovat yleisesti noin 10-20 % tuotteen loppuhinnasta (Haapanen, Vepsäläinen et al. 1999). Sairaaloissa logistiikkakustannukset voivat olla vielä korkeammat, esimerkiksi Poulin totesi (2003) analyysissään että sairaalan toimintakustannuksista 30-46 % syntyy eri logistiikan toiminnoista ja että lähes puolet toimitusketjun kustannuksista pystyttäisiin karsimaan toimimalla tehokkaammin. Tehokkuus voidaan kuvata Granlundin ja Wiktorssonin (2013) mukaan tekemällä asiat oikein ja tehokkuus on Tangen (2004) mukaan voimakkaasti yhteydessä resursien hyödyntämiseen. Analyysissään Poulin totesi (2003) että noin 60 % sairaalan toimintakustannuksista selittyy työvoimakustannuksilla, missä kustannuslaskelmien ensimmäinen vaikuttava osatekijä on logistiikkatoimintoja suorittava henkilökunta ja toisena vaikuttavana osatekijänä on teknologian huoltokustannukset. Toimintojen parantamiseen liittyy automaattisen varastohallintajärjestelmän lisäksi Landry, Beaulieu et al. (2016) mukaan henkilökunnan koulutus, tuotteiden standardisointi, organisaatioiden välisen tiedonsiirtojärjestelmän (EDI, engl. Electronic Data Interchange) käyttöönotto, sekä informaation jakaminen sisäisten ja ulkoisten partnereiden kanssa.

## 3. TAPAUKSEINÄJOKI JA TESTIVIIKKO TAYSILLA

Vertaaminen jo olemassa olevaan tapauksiin on tärkeää. Kuten kappaleessa 2.2.3 todettiin, näin voidaan välttää muiden tekemiä virheitä voidaan ja ottaa oppia hyvistä, jo toimiviksi todetuista toimintatavoista. Kappaleessa 3.1 tutustutaankin Seinäjoen keskussairaalan robottien käyttöönottoon. Seinäjoen keskussairaala on mobiilirobottien käytön edelläkävijä Suomen sairaaloissa. Missä roboteista saatu kokemus on ollut pääasiassa positiivista, mutta joitain negatiivisiakin kokemuksia on tullut (Holmén 2019). Kirjoittajan mielestä Seinäjoella kerättyjä kokemuksia kannattaakin käyttää Tays keskussairaalan robotiikkainvestointitutkimuksen edetessä.

Kappaleen 3.2 tutkimus on työn aikana Tampereen yliopiston, Tuomi Logistiikan ja kirjoittajan yhteistyössä suorittama empiirinen tutkimus Tays keskussairaalassa. Tutkimuksessa tutkittiin robotin soveltuvuutta eri tehtävien suorittamiseen ja robotin soveltuvuutta sitä ympäröivään sairaalaympäristöön. Tutkimuksessa testattiin MiR100-mobiilirobottia Tays keskussairaalassa viikon ajan. Testiviikon toteuttaminen vaati suuria ponnisteluja asianosaisilta. Testiviikolla nähtiin kuitenkin, että alkuvalmistelut ja viestintä robotin testaamisesta sairaalan ympäristössä olivat kannattaneet. Tutkimuksen avulla pyritään vastaamaan tutkimuskysymykseen 4.

### 3.1 Seinäjoen keskussairaala

Tutkimustulokset saavutettiin noin kahden tunnin puhelinkeskustelun kautta tehdyn asiantuntijahaastattelun avulla. Haastattelussa kirjoittaja haastatteli Seinäjoen keskussairaalan logistiikka-asiantuntijaa ja haastattelussa oli mukana Tays keskussairaalan kuljetuspäällikkö. Haastattelukysymykset esitetään liitteessä 3, kysymykset toimitettiin haastateltavalle etukäteen niin että haastateltavalla oli aikaa tutustua niihin. Haastattelun kysymyksillä pyrittiin selvittämään robottien käyttöönottoon liittyviä käytännön asioita, joita on hyvin hankala löytää olemassa olevasta kirjallisuudesta.

#### 3.1.1 Robottien käyttöönotto

Seinäjoen keskussairaalassa otettiin syksyllä 2016 käyttöön TUG-järjestelmä, jonka ensimmäisessä vaiheessa käyttöön otettiin kaksi TUG-robottia (Ventä, Honkatukia et al. 2018). Tämän jälkeen uusia robotteja on otettu käyttöön keskimäärin kaksi joka vuosi. Viimeisimmät kaksi robottia saapuivat 2020 tammikuussa ja niiden kokonaismäärä on työn kirjoittamishetkellä 10.

Robotteja käytetään Seinäjoella työn kirjoitushetkellä varastotavara-, välinehuolto- ja lääkekuljetuksissa. Jatkossa mahdollisesti myös posti- ja ruokakuljetuksissa. Ruokakuljetuksia sairaalassa pilotoitiin robottien käyttöönoton alkuvaiheessa, jolloin kokeilussa oli mukana 1-2 osaston ruokakuljetukset. Tuolloin järjestelmästä oli kuitenkin vielä liian vähän käyttäjäkokemusta ja siinä ilmeni teknillisiä ongelmia sekä epävarmuutta käytössä.

Seinäjoen keskussairaalassa robotit pystyvät ohjaamaan nykyisin 10 hissiyksikköä, yhden hissiyksikön vaatimat muutoskustannukset olivat 5 000 – 10 000 €. Robotit pystyvät ohjaamaan myös 87 ovea, näiden asentamisesta syntyi keskimäärin 1 500 € kustannukset per ovi.

### **3.1.2 Robottien käyttöaste**

Haastattelussa selvisi, että korkeimmat käyttöasteluvut ovat olleet 60-70 % luokkaa. Mutta viimeksi saapuneet 4-5 robottia ovat saapuneet niin lyhyellä aikataululla, että heillä ei ole ollut aikaa saada niitä toimimaan tehokkaasti. Tästä voidaan päätellä, että heillä on kuitenkin hyvin korkea luottamus siihen, että jakelutehtävät sairaalan sisäisissä kuljetuksissa tullaan suorittamaan jatkossa entistäkin robottipainotteisemmin, mutta että niiden käyttöönottamiselle tulee varata riittävästi aikaa ja resursseja. Tätä tukee myös Seinäjoen keskussairaalan käyttöönoton aikaisen logistiikkapäällikön lausunto (Sweco 2020).

### **3.1.3 Ilmenneet ongelmat ja robottien valvonta**

Haastattelussa summattiin erilaisia käyttöönottoon liittyviä ongelmia, joita olivat muun muassa; tekniset ongelmat, reititykseen liittyvät ongelmat, toiminnalliset esteet (ahtaita paikkoja, ei osattu huomioida robotin vaatimaa tilaa) ja käyttäjälähtöiset ongelmat (tavaroiden jättäminen robotin reitille). Alun ongelmista ainakin tekniset ja reititykseen liittyvät ongelmat liittyivät jollain tapaa siihen, että roboteille ei ollut nimetty erikseen operaattoria, vaan tehtävässä toimittiin muiden tehtävien ohella. Pian kuitenkin huomattiin, että tarvitaan henkilö, joka keskittyy ainoastaan robottien operoimiseen. Alkuvaiheessa oli myös erilaisia henkilövaihdoksia, joiden aikana robottien toiminnan kehittäminen jäi vähemmälle.

Robotteja valvotaan ympärivuorokautisesti robottien valmistajan toimesta, joka mahdollistaa myös ympärivuorokautisen etätuen. Jos robottien toiminnassa ilmenee ongelmia virka-ajan ulkopuolella, etätuki ilmoittaa siitä tekniikan päivystykseen, joka päivystää sairaalan muutakin laitteistoa. Joissain tilanteissa ongelma pystytään korjaamaan etähallinnan avulla, kun se ei ole mahdollista, etätuki ilmoittaa siitä päivystykseen. Käytössä olevien robottien etätuki/-valvonta kustannukset ovat robottikohtaisia ja joista

syntyvät kahden ensimmäisen vuoden kustannukset ovat takuun alaisia. Kahden vuoden kuluttua takuun umpeuduttua, etätukea ja -valvontaa jatketaan huoltosopimuksella.

### **3.1.4 Muutokset prosesseissa**

Seinäjoen keskussairaalan prosessit eivät ole muuttuneet olennaisesti robottien käyttöönoton jälkeen, suurin osa tehtävistä oli aikataulutettuja ja sitä ne ovat edelleen. Eikä Seinäjoella robottien käyttöönotto ole aiheuttanut irtisanomisia (Sweco 2020). Väli- nehuollon ja leikkausosastojen välisissä kuljetuksissa logistikoille on ennen soitettu, nyt kuljetus tehdään painamalla nappia. Yksiköille on kuitenkin sama, hakeeko rullakon logistikko vai robotti. Robotien hakiessa rullakon, se täytyy kuitenkin sijoittaa tarkasti teipillä lattiaan merkatun paikan sisään.

Yöllä hoidettavat kuljetukset valmistellaan päivällä ja ne sijoitetaan niille merkityille paikoille odottamaan noutoa. Että rullakko myös päätyy oikeaan määränpäähän, on ihmisen vastuulla, että oikea rullakko on sijoitettu oikealle lähtöpaikalle. Lääke- tai muita kuljetuksia tehtäessä, joissa vaunua ei voi jättää käytävälle odottamaan ilman valvontaa, robotti ilmoittaa ennen saapumistaan vaunun purun suorittavalle henkilölle tekstiviestillä, näin vältetään turhalta odottelulta.

### **3.1.5 Yhteenveto**

Haastattelun perusteella robotit ovat toimineet alun ongelmien jälkeen hyvin. Eivätkä ne ole aiheuttaneet muita potilasturvallisuuteen liittyviä haittailmoituksia, kuin tapauksen jo aiemmin mainitusta ruoan kuljetutus pilotista, jossa robotti ei kuljettanut ruoka-vaunua perille saakka. Robotit ovat myös saaneet olla hyvin rauhassa ilkevallalta. Tois- taiseksi robotit eivät ole liikkuneet öisin osastoille, joissa ei ole henkilökuntaa paikalla, tämä saattaa kuitenkin muuttua lähitulevaisuudessa. Sillä Seinäjoella on todettu, että niin ihmiselle, kuin robotille automaattisesti aukeavan ja sulkeutuvan oven perästä osastolle pääsee halutessaan sinne haluava. Sillä harvoin kukaan katsoo, kulkeeko joku perässä vai ei, joka paikassa on myös valvontakamerat.

## **3.2 Robotin testaaminen sairaalaympäristössä**

Tampereen yliopiston, Tuomi Logistiikan ja kirjoittajan yhteistyössä Tays keskussairaala- lassa testattiin MiR100-robottia viikon ajan. Testiviikkoon sisältyi erilaisia testejä liittyen robotin toimintakykyyn erilaisissa sairaalaympäristölle ominaisissa paikoissa, kuten kal- tevilla rampeilla, joita sairaalan pohjakerroksen yhdyskäytäviltä löytyy kymmenittäin. Testeissä selvitettiin myös mikä on testeissä käytetyn robotin pienin mahdollinen toi-



mintaympäristö, pystyykö robotti esimerkiksi noutamaan monesti hieman ahtaasta jätehuoneesta jätewaunun, vai pitäisikö se tuoda esimerkiksi osaston ulkopuolelle noudettavaksi kuten Grandlund ja Wiktorsson (2013b) tutkimuksessa. Robotin rullakon kantamisen lisäksi selvitettiin miten rullakon vetäminen onnistuisi, erityisesti kaltevilla rampeilla. Ehkä eniten tietoa robotin toimintakyvystä sairaalassa kertoi kuitenkin kappaleen 3.2.4 testi, jossa robotti ohjelmoitiin suorittamaan logistikon suorittamaa välinehuoltokuljetustehtävää autonomisesti. Testausta varten teetettiin kirjoittajan suunnittelema kantokehikko (liite 1) ja vetokoukku (liite 2) robotin ja vaunun väliin.

### 3.2.1 Testirobotti

Testissä käytetty MiR100-robotti (kuvat 8 ja 9) on Tanskan Odensen robottikeskityksessä sijaitsevan MiRin valmistama mobiilirobotti. Robotti on 89 cm pitkä, 58 cm leveä ja 35 cm korkea, se painaa noin 70 kg ja kantaa maksimissaan 100 kilon kuormaa nopeudella 1,5 m/s (Mobile Industrial Robots 2017). Siihen on saatavilla myös erilaisia lisäosia, kuten rullakon vetämiseen käytettävä tarrain, MiRHook (Mobile Industrial Robots 2020). Tarraimen avulla robotti pystyy tarttumaan autonomisesti vedettävään rullakkoon ja jättämään sen ennalta määrättyyn paikkaan. Sen avulla robotti pystyy vetämään maksimissaan 300 kilon kuormaa (Mobile Industrial Robots 2020). Robotin ohjelmoinnissa käytettiin robotin omaa, selainpohjaista käyttöliittymää. Selainpohjaisen käyttöliittymän vuoksi robottia voidaan ohjelmoida hyvin monentyyppisillä laitteilla. Tämän vuoksi myös robotin manuaalinen liikuttelu tapahtuu kätevästi puhelimen selaimen kautta.

### 3.2.2 Robotin toiminta ja turvallisuus kaltevilla rampilla

Että robotin toiminta haastavassa sairaalaympäristössä pystytään takaamaan, täytyy robotin pystyä toimimaan tasaisen alustan lisäksi myös kaltevilla rampeilla. Eräs Tays keskussairaalan kaltevimmistä ja käytetyimmistä rampeista sijaitsee Radius-rakennuksen alapuolella. Kyseistä rampia pitkin suoritetaan esimerkiksi varastotavara-, apteekki- ja jätekuljetuksia. Tulevaisuudessa keittiön Radiukseen siirtymisen jälkeen, myös kaikki ruokakuljetukset tulevat kulkemaan sen kautta. On siis ensiarvoisen tärkeää, että robotti pystyy toimimaan turvallisesti ja varmasti myös tällä rampilla.

Rampilla suoritettiin robotin toimintaan, suorituskykyyn ja turvallisuuteen liittyviä testejä. Testit sisälsivät rampin nousu- ja laskukykyyn, sekä jarrutus- ja esteenkiertokyyntä liittyviä kokeita. Nämä kokeet suoritettiin pääosin siten, että robotti kantoi kuormaa kuvassa 10 esitetyllä, siihen pultatulla välinehuoltokuljetusvaunulla, josta poistettiin pyörät. Mutta ne sisälsivät myös testejä, jossa rullakkoa vedettiin robotin perässä, kuvan 11

mukaisesti. Testeissä eri kuormia simuloitiin sijoittamalla rullakkoon eripainoisia hiekkalaatikoita. Että robotti voitiin ohjata kulkemaan autonomisesti pitkin ramppia, testialueen ympäristö kartoitettiin ennen testejä. Kartoittamiseen käytettiin robotin sensoreja.



**Kuva 10.** Välinehuoltovaunua kantava MiR100-robotti.

Taulukossa 5 esitetään edellä mainitulla, Radiuksen rampilta lasketut robotin kulkemat keskinopeudet. Taulukon vasemmassa reunassa esitetään kannettu kuorma. Toisessa ja kolmannessa sarakkeessa ilmoitetut keskinopeudet on mitattu robotin kulkiessa rampin alusta loppuun. Koko rampin pituus on 40 m ja koko rampin kulkemiseen käytettyä aikaa mitattaessa, robotti lähti liikkeelle lattian tasaiselta osuudelta. Tämän lisäksi 40 m matkaa mitattaessa robotti kulki maksiminopeudella saavuttaessaan ensimmäisen mittauspisteen, eli rampin alun. Tämän vuoksi 40 m tulokset eivät ole suoraan verrannollisia taulukon 4-7 sarakkeessa ilmoitettujen 10 m ja 20 m matkalla mitattujen nopeuksien kanssa. Koska tällöin robotti lähti liikkeelle kulmassa olevalta osuudelta ja mittaus aloitettiin samanaikaisesti robotin liikkeelle lähdön kanssa. Kuljetut etäisyydet mitattiin etukäteen ja keskimääräinen nopeus laskettiin kahden mittauspisteen välillä kulutetun ajan perusteella. Ajanottamiseen käytettiin sekuntikelloa ja mittaukset suoritettiin 2-3 kertaa jokaiselle matkalle. Minkä jälkeen mittaustuloksista otettiin keskiarvo.

**Taulukko 5.** *MiR-robotin laskettuja keskinopeuksia 7 % kulmassa olevalla rampilla.*

Kuorman paino (kg)	Lähtö lattian suoralta osuudelta, 40 m (m/s)		Kulmassa liikkeelle lähtö, 20 m (m/s)		Kulmassa liikkeelle lähtö, 10 m (m/s)	
	Lasku	Nousu	Lasku	Nousu	Lasku	Nousu
42	1,49				1,15	1,12
62	1,50					
71		1,35	1,35	1,28	1,22	1,15
81	1,50					
90	1,52					
100	1,51	1,35	1,35	1,27	1,23	1,16

Vaikka robotin käyttö 5 % jyrkemmässä mäessä on valmistajan ohjearvojen ulkopuolella (Mobile Industrial Robots 2017), oli sen autonominen ajo hyvin sujuvaa myös 7 % rampilla. Kun nousuun ja laskuun kulunutta aikaa verrataan toisiinsa, huomataan että keskinopeus alamäkeen on noin 10 % korkeampi. Tuloksissa nähdään myös korrelaatio kuljetun matkan ja nopeuden välillä, mitä pidempi matka, sitä suurempi keskinopeus. Mikä on odotettavaa erityisesti robotin lähtiessä liikkeelle paikaltaan.



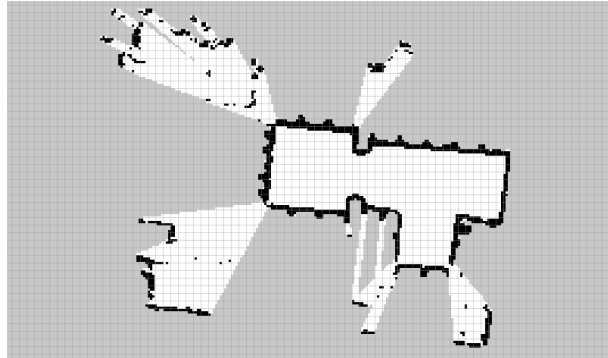
**Kuva 11.** Rullakkoa vetävä MiR"Hook"100

Vetotesteissä huomattiin, että robotin toiminta kuormaa kantaessa, on merkittävästi sujuvampaa kuin sitä vetäessä. Alamäessä perässä tullut 64 kg painoinen rullakko työnsi vain hieman raskaamman robotin sivuttain pienestäkin kääntöliikkeestä. Huomioitavaa on kuitenkin, että vetotesteissä käytettiin omavalmiste vetokoukkuja, joka siirsi rullakon tarpeettoman kauas robotista. Jos rullakko olisi kiinnitetty suoraan robotin keskipisteen yläpuolelle ja mahdollisimman lähelle robottia, kuten kaupallisessa esikuvassaan MiR Hookissa (Mobile Industrial Robots 2020), yhdistelmän kulku olisi varmasti ollut jonkin verran vakaampaa ja vaivattomampaa. Ei ole silti varmaa olisiko yli 60 kg rullakon perässä vetäminen sairaalan rampeilla luotettavaa näin kevyellä robotilla. Rullakon vetäminen rampilla katsottiin siinä määrin toimimattomaksi, että vetokokeet päädyttiin keskeyttämään.

Kun rullakkoa kantavan robotin reitille sijoitettiin tyhjä pahvilaatikko esteeksi, robotti pystyi kiertämään sen turvallisesti, jos esteen ympärillä oli riittävästi tilaa kiertämiseen. Jos tilaa ei ollut riittävästi, robotti pysähtyi noin metrin päähän esteestä ja jäi siihen odottamaan. Esteen ilmaantuessa yhtäkkiä robotin tielle, se jarrutti täysillä ja pysähtyi alle metrin matkalla. Jarrutus aiheutti kuitenkin robotin sisäisen hätä-seis-toiminnon, joka katkaisee sähköt vetävien pyörien moottoreilta, säästääkseen niitä. Tästä voidaan päätellä, että kuljettu vauhti oli liian kova 7 % rampille ja että nopeutta tulee pienentää vastaavissa paikoissa ongelmien välttämiseksi.

### 3.2.3 Robotin toiminta pienessä tilassa

MiR100-robotti käyttää navigointiin ja esteen tunnistamiseen kahta 19 cm korkeudessa lattiassa sijaitsevaa laserskanneria. Skannerit sijaitsevat vastakkaisissa kulmissa ja joiden avulla robotti pystyy luomaan ympärilleen 360 asteen näkökulman. Rajoittamalla skannereiden näkymää esimerkiksi laatikoilla voidaan luoda helposti muokattava tila erikokoisten tilojen simulointia varten. Kuvassa 12 nähdäänkin robotin skannereilla luotu muuttolaatikoista kasattu testausympäristö. Jossa skannerit ovat kartoittaneet laatikoiden välistä myöskin niiden ulkopuolella olevaa ympäristöä.

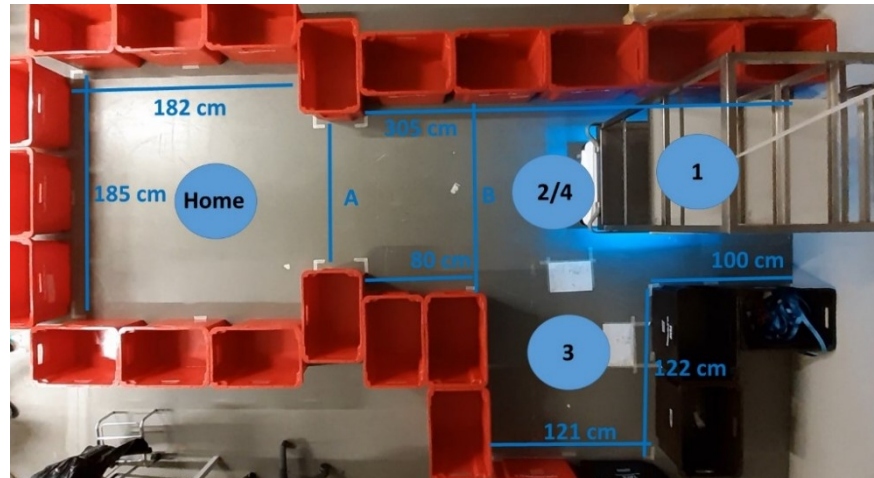


*Kuva 12. Robotin laserskannereiden avulla luotu siivoamaton ja suoristamaton kartta.*

Kuvassa 13 nähdään edellä kuvattu tila ylhäältä päin kuvattuna. Kuvaan merkityt numerot 1-4 tarkoittavat robottiin ohjelmoitua tehtävää. Tehtävässä simuloitiin rullakon noutoa, joka sijaitsee oletetusti pisteessä 3. Robotti lähtee liikkeelle kotiasemasta ja ajaa suoraan pisteeseen 1. Minkä jälkeen robotti peruuttaa pisteeseen 2, kääntyy -90 astetta ja jatkaa peruuttamista oletetun rullakon alle pisteeseen 3. Tämän jälkeen robotti jatkaa pisteeseen 4, kääntyy -90 astetta ja palaa takaisin kotiasemaan. Kotiasemassa robotti kääntyy 180 astetta, niin että sen menosuunta osoittaa kohti pistettä 1.

Kuvaan 13 merkityt mitat pysyivät testien aikana muuttumattomina. Mutta kuvaan kirjaimilla A ja B merkityjä etäisyyksiä pienennettiin testien aikana muutamia kertoja, että voitiin selvittää mikä on pienin mahdollinen tila robotin toiminnalle. Kun oviaukon A läpimitta oli 95 cm, robotti pystyi ajamaan sen läpi ongelmitta. Oviaukon A kaventamisen jälkeen 90 cm leveäksi, robotti läpäisi sen noin 50 % testikerroista. Käytävän B leveys asetettiin ensin 142 cm leveäksi, tällöin robotti suoritti edellä kuvatun tehtävän sujuvasti. Tämän jälkeen tutkittiin robotin toimintaa muuttuvassa ympäristössä kuitenkin päivittämättä robotin muistissa olevaa karttaa. Kokeessa käytävä B kavennettiin 132 cm leveäksi. Tällöin robotti pystyi käymään kaikissa pisteissä, mutta se ei löytänyt enää keinoa palata pisteestä 4 kotiasemaan oviaukon A kautta. Kun sama testi toistettiin päivitetyllä kartalla, kaikki vaiheet sujuivat jouhevasti. Käytävä B kavennettiin edelleen 125

cm leveäksi ja kartta päivitettiin, robotti pääsi vaiheeseen 4, mutta ei löytänyt enää tietä kotiasemaan, oviaukko A oli tuolloin 95 cm leveä.



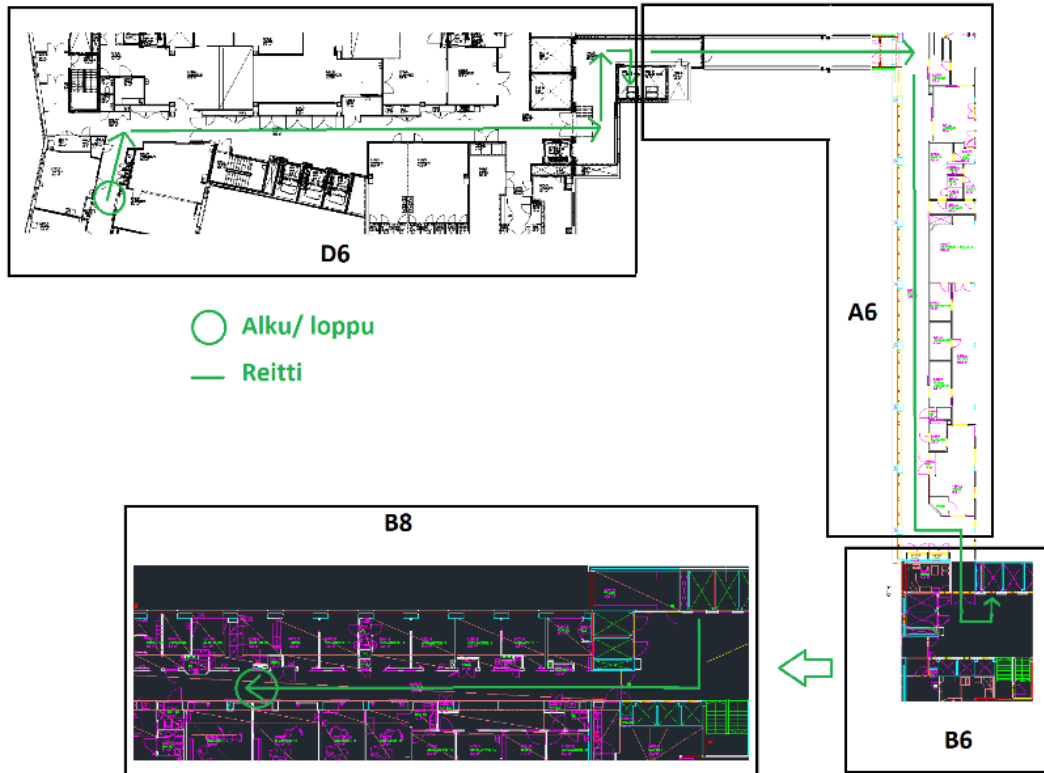
**Kuva 13.** Muuttolaatikoista luotu testausympäristö mittoineen.

Robotin toistaessa edellä selostettua tehtävää muuttumattomassa ympäristössä. Robotin oikeaan kylkeen kiinnitettiin kynä, sen keskimmäisen pyörän viereen ja toinen kynä robotin keulan keskelle. Robotin pysäytyessä pisteeseen 3, kynillä merkattiin kuvassa 13 näkyviin lattiaan teipattuihin valkoisiin A4-papereihin merkki. Koe toistettiin 11 kertaa, tuolloin pisteet sijoituivat 25 mm säteen sisälle molemmissa papereissa. Tämän jälkeen käytävää B kavennettiin 10 cm:llä, päivittämättä robotin muistissa olevaa karttaa. Tämä siirsi robotin sijaintia noin 5 cm edellä mainitun ryppään keskipisteestä käytävän kavennuksen suuntaisesti. Viimeksi mainitun kokeen tarkoituksena oli selvittää miten paljon tunnettujen mittauspisteiden siirtäminen vaikuttaa robotin paikoituskykyyn. Eli pystyykö robotti toimimaan dynaamisessa ympäristössä, esimerkiksi tilanteessa, jossa huoneen yhden seinän vierusta peittyvät laatikoista.

### 3.2.4 Välinehuollon kuljetustehtävä

Robotin soveltuvuuden testaamiseksi välinehuollon kuljetuksissa pyrittiin valitsemaan tehtävä, joka kuvaa mahdollisimman hyvin sairaalan ympäristöä, mutta joka on kuitenkin tarpeeksi helposti määritettävä robotin ensimmäiseksi tehtäväksi. Päädyttiin kuljetustehtävään D-siiven 6:ssa kerroksessa sijaitsevan välinehuoltokeskuksen ja B-siiven 8:ssä sijaitsevan välinehuollon välille. Tehtävän reitti esitetään kuvassa 14. Reitti näiden kahden sijainnin välillä kulkee A-siiven läpi ja sen varrella pitää käyttää kahta eri hissiä. Reitillä on useita ovia, joista kaikki toimivat sähköisellä ovipumpulla. Ovet ja hissit vaativat kuitenkin ihmisen ohjaamaan ne auki. D-siiven 6:ssa kerroksessa on hyvin avarat käytävät, jotka on suljettu ulkopuolisilta. Kuljetustehtävän määränpää Gastroenterologian poliklinikka B-siivessä kuuluu sairaalan vanhimpiin osiin ja on valmistunut 1960-luvun alussa (Näriäinen 2019). Poliklinikalla on kapeat käytävät ja siellä

on normaalisti päiväsaikaan paljon hoitohenkilökuntaa ja asiakkaita, mikä vaikuttaa suuresti robottiin ohjelmoitavaan alueelliseen maksiminopeuteen.



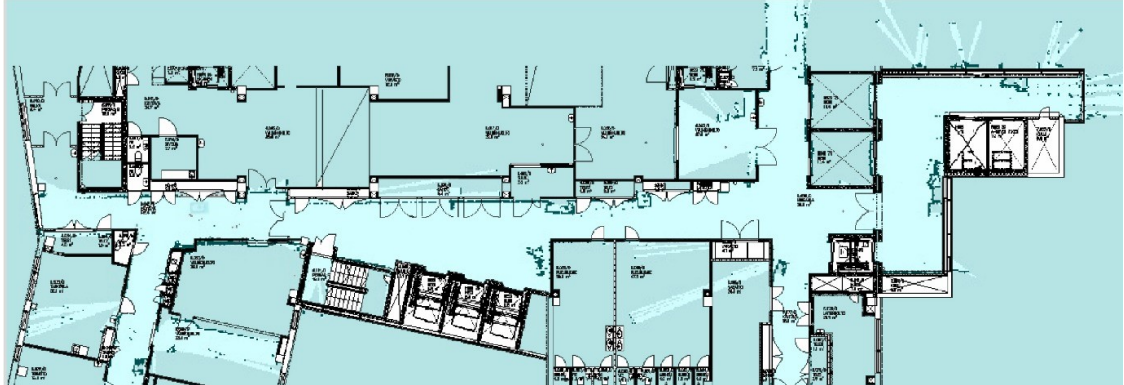
**Kuva 14.** Kuljetustehtävän 219 m pituinen reitti D- ja B-siipien välillä.

Edellä kuvatulla reitillä käytettyjen D-siiven hissien syvyys on 314 cm ja ne ovat 230 cm leveitä, niissä on 143 cm leveä oviaukko. B-siiven hissit ovat lähes samankokoisia, mutta niiden oviaukot ovat vain 110 cm leveitä. Reitillä olevat ovet ovat suurimmaksi osaksi 2 x 115 cm leveitä tuplaovia, eikä robotilla ollut ongelmia ajaa niistä, vaikka vain toinen ovista aukaistiin. Reitillä käytävien leveys vaihteli 230 cm ja 400 cm välillä. Kuitenkin joidenkin käytävien seinustoilla säilytetään esimerkiksi pyykkirullakoita ja sairaalasänkyjä, jotka kaventavat joitain käytävien osia huomattavasti. Tämä vaikuttaa edelleen huomattavasti robottiin ohjelmoitavaan alueelliseen maksiminopeuteen, sekä voi rajoittaa kahdensuuntaista liikennettä, erityisesti jos vastaan tulija on sairaalasänky. Viimeksi mainitussa tilanteessa tämä voi vaikuttaa jopa potilasturvallisuuteen.

### 3.2.5 Kuljetustehtävän valmistelu

Robotin käyttöönotto alkaa lataamalla alueen pohjakuva sen muistiin tai kartoittamalla alue robotin sensoreiden avulla. Testeissä päädyttiin jälkimmäiseen vaihtoehtoon, mikä osoittautui yllättävän helpoksi ja nopeaksi tavaksi kartoittaa tehtävän alue. Kuvassa 15 esitetään laserskannereilla skannattu ympäristö, jonka päälle on sijoitettu talon pohjapiirustuksesta rajattu osa vertailua varten. Kuvan värejä muutettiin hieman yksityiskoh- tien erottamiseksi. Kuvassa vaaleansiniset alueet merkitsevät alueita, joissa robotti on

liikkunut ja mitkä se on kartoittanut sensoreillaan. Tummansiniset alueet vastaavasti merkitsevät alueita, joita robotin sensorit eivät ole kartoittaneet. Kartassa nähdään, että kartoituksen aikana myös muutama ovi oli auki. Valokeilan muotoiset vaaleammat alueet, jotka näyttävät menevän seinien läpi, ovat kuitenkin syntyneet heijastuksista. Kuvan oikeassa reunassa sijaitsee lasiseinäinen hissiaula. Laserskannerit eivät kuitenkaan aisti lasia ja siksi aulassa on enemmän seiniä lävistäviä keiloja kuin muualla.



*Kuva 15. Robotin sensoreilla luotu kartta päällekkäin talon pohjapiirustuksen kanssa.*

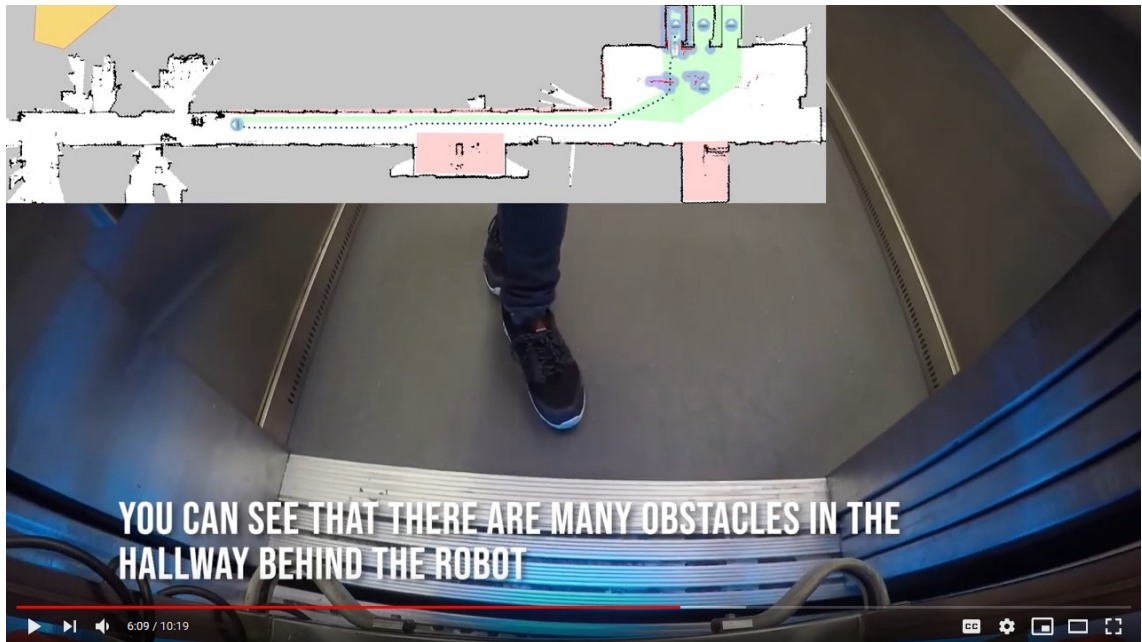
### 3.2.6 Testiviikon tulokset

Kappaleessa 3.2.2 huomattiin että robotin toiminta rampilla oli hyvin toimivaa. Mutta vastaavaa robottia käyttöönotettaessa sen maksiminopeutta ja -kuormaa tulee vähentää paikoissa, joissa lattian kaltevuus on jyrkempi kuin 5 %.

Kappaleen 3.2.3 tuloksista voidaan päätellä, että MiR100-robotti kulkee luotettavasti vähintään 95 cm leveästä oviaukosta. Robotti vaatii kuitenkin noin 120 cm leveän käytävän pystyäkseen liikkumaan siinä jouhevasti. Robotin kääntösäteen jalanjälki on sen keskipisteen ympäri 52 cm (Mobile Industrial Robots 2017), mutta kääntyäkseen 90 astetta se vaatii kuitenkin noin 130 cm leveän tilan. Tilantarvetta selittää robotin laserskannereiden tarkkailema turva-alue, joka oli testien aikana asetettu tehdasasetukselle. Kappaleessa 3.2.3 mainittu pysähtymisen 25 mm toistotarkkuus riittänee rullakon kyytiin poimimiseen. Kuitenkin ennen robotin pysähtymistä oletetun rullakon alle, pisteeseen 3, robotti teki monesti viimeisiä korjausliikkeitä sen kääntösäteen ympäri, mikä saattaa aiheuttaa robotin osumisen rullakkoon. Lisäksi kappaleessa 3.2.3 todistettiin että tilanteessa, jossa yksi huoneen seinän vierustoista on esimerkiksi laatikkojen peitossa, huonontaa se merkittävästi robotin paikannustarkkuutta.

Kappaleessa 3.2.4 esitetyssä välinehuollon kuljetustehtävässä testirobotin toiminta oli hyvin toimivaa. Robotti kulki tehtävän reitin autonomisesti kolme kertaa molempiin suuntiin. Reitillä robotti ajoi autonomisesti esimerkiksi hisseihin ja niistä ulos. Testirobo-

tin maksiminopeus on 1,5 m/s ja vastaa reipasta kävelynopeutta (Verne 2015). Ympäristön mukaan se rajoitettiin kuitenkin edellä mainitulla reitillä välille 0.3 - 0.8 m/s. Välinehuollon kuljetustehtävän testauksen aikana syntyi myös kuva(kaappauksen) 14 video (Yli-Peltola 2020). Video on tekstitetty ja siinä voidaan nähdä robotin aistimat esteet sen sensoreilla kartoitetussa kartassa, joka nähdään kuvan 16 yläreunassa. Videon lopussa esitetään miten robotti reagoi vastaantulijoihin eri tilanteissa. Kun robottia lähestytään edestäpäin, vastaantulijan nopeudesta ja ympärillä olevasta tilasta riippuen se pysähtyy tai laskee uuden reitin pysähtymättä.



**Kuva 16.** Testirobotti peruuttamassa ulos hissistä välinehuollon kuljetustehtävän aikana tallennetulla videolla. <https://www.youtube.com/watch?v=ivunlUxeQHc>

Kappaleessa 3.2.5 kerrottiin kuljetustehtävän alueen kartoittamisesta ja huomattiin, että alueiden kartoitus robotin sensoreilla on hyvin tehokasta ja tulokset ovat tarkkoja. Kuvassa 13 olevan noin 340 m<sup>2</sup> kartan luomiseen ja tallentamiseen kului alle 10 minuuttia. Minkä jälkeen robotti pystyi paikantamaan itsensä ja navigoimaan eri pisteiden välillä, kunhan sille avattiin tarvittaessa ovi.



## **4. TUOMI LOGISTIikka OY JA SISÄLOGISTIikka TAMPEREEN YLIOPISTOLLISESSA KESKUSSAIRAALASSA**

Tässä kappaleessa esitellään työn toimeksiantoyritys Tuomi Logistiikka Oy ja Tampereen yliopistollinen keskussairaala, jonka tiloihin ja toimintaan toimeksianto liittyy. Tämän jälkeen rajataan työn tutkimusalue ja kuvataan työssä tutkittavat prosessit riittäväällä tarkkuudella, niin että lukija tuntee ne ja niihin voidaan viitata seuraavissa kappaleissa.

### **4.1 Tuomi Logistiikka Oy**

Vuonna 2016 Tampereen Logistiikka Liikelaitoksen ja Pirkanmaan sairaanhoitopiirin materiaalipalveluiden yhdistyessä syntyi Tuomi Logistiikka Oy. Joka on vuonna 2020 Tampereen kaupungin, Pirkanmaan sairaanhoitopiirin ja 19 Pirkanmaalaisen kunnan omistama yhteishankinta- ja logistiikkayhtiö. Yhtiö tarjoaa omistajilleen hankinta-, materiaali-, kuljetus- ja henkilöliikennepalveluita. Yrityksen tavoitteena on tuottaa palveluita omistajilleen mahdollisimman kustannustehokkaasti ja laadukkaasti, sekä tehdä asiakkaidensa arjesta mahdollisimman helppoa. (Tuomi Logistiikka 2020c) Vuonna 2019 yhtiön palveluksessa oli keskimäärin 256 henkilöä ja sen liikevaihto nousi vuoden takaisesta lähes 8 miljoonalla eurolla 109 miljoonaan euroon (Tuomi Logistiikka 2020b).

### **4.2 Tampereen yliopistollinen sairaala – Tays**

Tampereen yliopistollinen sairaala kuuluu Pirkanmaan sairaanhoitopiiriin ja tuottaa hoitoja lähes miljoonalle Suomalaiselle. Pirkanmaan sairaanhoitopiiri on 23 jäsenkunnan omistama kuntayhtymä ja sen erityisvastuualue koko on väkiluvultaan toiseksi suurin Helsingin yliopistollisen keskussairaalan jälkeen. (Tays 2020a, Kuntaliitto 2019)

Tampereen yliopistolliseen sairaalaan kuuluu Tampereella sijaitsevat Tays Hatanpää ja Tays Keskussairaala, Sastamalassa sijaitseva Tays Sastamala, Valkeakoskella sijaitseva Tays Valkeakoski ja Nokialla sijaitseva Tays Pitkäniemi. Tays Keskussairaalassa hoidetaan valtaosa Tampereen yliopistollisen sairaalan potilaista. Vuonna 2018 sairaanhoitopiirin sairaaloissa oli hoidettavana lähes 210 000 eri potilasta, tuolloin sairaanhoitopiirin toimintakulut olivat 862 miljoonaa euroa. (Tays 2020)

Tampereen yliopistollisen sairaalan eri toimipisteissä työskentelee noin 9000 (Tays 2020), joista valtaosa Tays Keskussairaalan alueella, kuva 17. Sairaala-alueen rakennukset on yhdistetty toisiinsa maanalaisilla yhdyskäytävillä. Yhdyskäytävät sijaitsevat 00 ja 0 -kerroksissa, joita pitkin Tuomi Logistiikan logistiikkatoiminnot ulottuvat sairaalan jokaiseen osaan. Kampusalueella sijaitsee myös Tampereen yliopiston lääketieteen yksikkö.



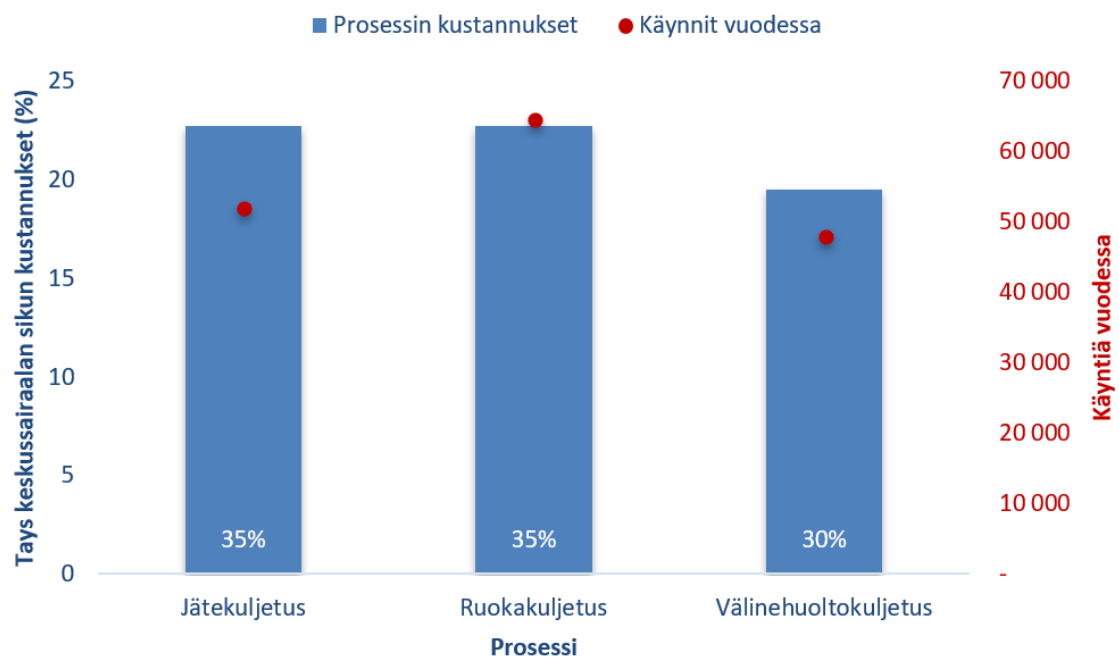
*Kuva 17. Tays Keskussairaala. (Tays 2020b)*

### 4.3 Tutkimusalueen rajaus

Tays keskussairaalaossa on yhteensä 9 sisäisen kuljetuksen kuljetusprosessia, joita ovat: apteekki-, jäte-, lääkintälaitte-, näyte-, posti-, pyykki-, ruoka-, varasto- ja välinehuoltokuljetusprosessit. Prosessien vuotuisia kustannuksia tarkasteltaessa huomataan, että jäte-, ruoka- ja välinehuoltokuljetuksien kustannukset ovat huomattavasti muita korkeampia. Nämä kolme prosessia mainitaan myös vuonna 2017 julkaistun tutkimuksen visioissa, joka käsitteli seuraavan viiden vuoden terveydenhuoltolaitosten tukevaa työvoimaa (Hannala, Kämäräinen et al. 2017). Vuotuisissa käyntimäärissä huomataan, että edellä mainitut prosessit ovat suuria myös käyntimääriltään. Kuitenkin postikuljetusprosessin käyntimäärät ovat jopa hieman korkeammat kuin kolmessa edellä mainitussa prosessissa. Mutta postikuljetusprosessin vuotuiset kustannukset ovat toisaalta vain noin puolet siitä seuraavaksi suurimman, välinehuoltokuljetusprosessin kokonaiskustannuksista. Koska yksi työn tavoitteista on parantaa sisäisen logis-

tiikan kustannustehokkuutta, rajataan työn tutkimusalue diplomityön resursseihin sopivaksi, kolmeen suurimmat säästöt mahdollistaviin prosessiin, investointien takaisinmaksun mahdollistamiseksi.

Kuvasta 18 huomataan että kolmen suurimman prosessin kustannukset ja keskimääräiset kuljetusmäärät ovat suhteellisen lähellä toisiaan. Ruoka- ja jätekuljetuksien alhaisempi käyntihinta selittynee sillä, että normaalisti näissä kuljetuksissa vaunuja pystytään kuljettamaan useampia kerralla, toisin kuin välinehuoltokuljetuksissa, joissa kuljetustehtävien vaunut ovat monesti yksistään kuljetettavia. Täten voidaan myös ajatella, että välinehuoltokuljetuksissa mobiilirobotteja pystytään soveltamaan pienemmillä muutoksilla, kuin muissa tutkittavissa prosesseissa. Tätä päätelmää tukee myös se, että esimerkiksi Seinäjoen keskussairaalassa robotit suorittavat välinehuoltokuljetuksia, mutta eivät jäte- tai ruokakuljetuksia. Seinäjoen keskussairaalassa on kuitenkin jo suunnitteilla robottien hyödyntäminen myös ruokakuljetuksissa kuten kappaleessa 3.1 nähdään.



**Kuva 18.** Tays keskussairaalan kolmen suurimman prosessin kustannukset ja käyntimäärät.

Kun tarkastellaan kolmen suurimman prosessin kustannuksia tarkemmin, huomataan että kustannukset ovat 2/3 logistikkosten työvoimakustannuksia. Loput 1/3 kustannuksista sisältää kaikki muut prosessiin liittyvät kustannukset, kuten tilojen vuokraamisesta syntyvät kulut. Prosenttimäärä palkin sisällä kuvaa prosessin työvoimakustannuksien osuutta kolmesta suurimmasta prosessista.

## 4.4 Tutkittavat prosessit

Kuten edellä mainittiin tutkimuksen alue, rajataan kolmeen suurimpaan ja näin ollen myös suurimmat säästöt mahdollistavaan prosessiin, eli jäte-, ruoka- ja välinehuoltokuljetusprosesseihin. Näiden prosessien nykyiset suoritusmallit käydään läpi aliluvuissa 4.4.1, 4.4.2 ja 4.4.3.

### 4.4.1 Jätekuljetusprosessi

Jätekuljetusprosessi Tays keskussairaalassa käsittää jätteiden ja likapyykkien kuljetusta osastoilta ja jätekuiluista jäteasemalle ja pyykkiterminaaliin. Jäteasema ja pyykkiterminaali ovat vierekkäin 00-kerroksessa K-rakennuksen alapuolella. Jätteet koostuvat eri jätelajeista, kuten energia-, seka-, pahvi-, bio- ja särnäisjätteestä (terveydenhuollon erityisjäte), jotka luetellaan edellä jätemäärän mukaan suurimmasta pienimpään. Likapyykit lajitellaan kahteen eri lajiin, niiden määrän mukaan perusteella. Terveystuollon erityisjätteisiin luetaan muun muassa biologinen jäte, pistävä ja viiltävä jäte, lääkejätteet sekä tartuntavaarallinen jäte (HSY 2019).

Energia- ja sekajätteet sekä likapyykit tiputetaan suurimmaksi osaksi osastoilta jätekuiluja pitkin 00-kerroksen jätehuoneisiin. Bio-, särnäis- ja muita jätteitä ei tiputeta kuiluihin niiden pakkauksien suuren rikkoutumisriskin vuoksi, vaan ne kerätään osastoilta logistikkojen toimesta. Kaikkiin 00-kerroksen jätehuoneisiin ei kuitenkaan tule omia kuiluja jätteille ja likapyykkeille, vaan ne tiputetaan samoihin kuiluihin, kuten kuvassa 19. Jätteiden ja likapyykkien sekoittuminen estetään tiputtamalla ne eri kellonaikoihin, ja jätteet kerätään pois ennen likapyykkien tiputtamista ja toisin päin.

Osassa kuiluista voidaan valita jäte- tai pyykkilaji ennen kuiluun pudottamista, joka kääntää 00-kerroksen jätehuoneessa karusellin oikeaan asentoon jätteille tai pyykille sopivaksi. Kuiluissa, joissa likapyykkeitä ei pystytä erittelemään kuiluun tiputtamisen yhteydessä, lajitellaan ne rullakoihin logistikon toimesta maanalaisessa jätehuoneessa. Kun logistikko on kerännyt jätteet jätehuoneista, hän kuljettaa ne vaunuissa jäteasemalle. Jäteasemalla hän tyhjentää jäteastiat jätepuristimiin ja muihin jäteastioihin. Pyykkiterminaalissa rullakko lykätään käytävän toiselle puolelle kohdemäärän mukaan ja pyykkilajin mukaan. Uudemmissa rakennuksissa on myös käytössä alipaineen avulla toimivia putkistoja, jotka kuljettavat jätteet osastoilta suoraan jätelavoille.

Jätekuljetusprosessi ei ole sinällään sidottu tiukkoihin aikatauluihin, toisin kuin ruoka- ja välinehuoltokuljetukset. Jäteastiat on kuitenkin tyhjennettävä yleensä ottaen 1-3 kertaa vuorokauden aikana, jätemäärät ovat siis hyvin vaihtelevia. Eräs logistikko mainitsikin prosessiin perehtymisen aikana seuraavasti ”jätteiden määrä ei ole ikinä vakio, sitä on aina joko paljon tai vähän”.



*Kuva 19. A-siivessä sijaitseva jäte-/pyykkikuilu. Säkit tiputetaan osastoilta kuiluihin, joista ne ohjautuvat kuvan tasolle, josta ne lajitellaan oikeisiin vaunuihin.*

#### 4.4.2 Ruokakuljetusprosessi

Sairaalassa tapahtuu joka päivä neljä eri ruokakuljetusprosessia; aamiainen, lounas, kylmätuotteet ja päivällinen. Prosessit suoritetaan edellä mainitussa järjestyksessä. Kylmätuotteet kuljetetaan keittiön kylmiöstä lankahäkeissä ja tulevan keittiömuutoksen myötä ateriakuljetukset kuljetetaan eristetyissä osastoilla sähköllä lämmitettävissä ruokavaunuissa. Keittiössä ruoka annostellaan tarjottimille ja pakataan kuljetusvaunuihin, ja niiden tulee olla osastoilla viimeistään tuntia ennen niiden ajoitettua tarjoilu-aikaa. Ruoat pidetään kylminä siihen asti niihin keittiöllä tankatulla hiilidioksidilla.

Kaikki ruokakuljetukset tehdään tulevan keittiömuutoksen myötä jatkossa Radiuksesta. Nykykäytäntöön verrattuna prosessi muuttuu siten, että lounaan ja päivällisen viemisen yhteydessä edellisen aterian vaunu kuljetetaan takaisin keittiölle, eikä niitä noudeta erikseen kuten nykykäytännön mukaan. Päivällisen vaunut kuitenkin noudetaan ja pestään saman päivän aikana hygieniasyistä. Nykykäytännön mukaan ruokavaunu palautetaan hissillä 00-kerrokseen osaston toimesta, josta logistikko noutaa sen.

Tilastojen mukaan Taysilla suoritetaan keskimäärin 177 ruokakuljetuskäyntiä arkisin. Ruokakuljetusprosessissa yksi käynti tarkoittaa ruokavaunun vientiä osastoille aamiaisen, lounas- ja päivällisprosessien yhteydessä, minkä lisäksi noin 20 kylmäkuljetusvaunun kuljetusta hajautetuille osastoille. Kylmäkuljetusvaunujen määrä on vaihteleva, sillä yksi vaunu täyttää normaalisti 1-2 osaston tarpeet. Tarpeet osastot määrittelevät itse tilaamalla oikean määrän tuotteita. Ruoka- ja kylmäkuljetuksien viennin yhteydessä logistikko lukee QR-koodin, josta järjestelmään tulee merkintä yhdestä käynnistä. Ruokavaunut noudetaan erikseen osaston alapuolelta 00-kerroksesta viemisjärjestyksessä ja

siitä ei yleisesti oteta käyntimerkintää, vaikka vaunuja voidaan ajoittain joutua haeskelemaan niiden myöhäisen palautuksen vuoksi. Kuvassa 20 ruoankuljetusvaunuja on juuri palautettu keittiölle. Käytännössä ruokakuljetuksien käyntimäärä on kuitenkin noin 300 käyntiä päivässä, edellä mainittujen seikkojen vuoksi. Sillä erolla kuitenkin, että palautusmatka on lyhempi kuin vientimatka, koska ruokavaunu palautetaan osaston toimesta rakennuksen alapuolella olevalle yhdyskäytävälle. Kylmäkuljetuksien yhteydessä vaunut palautetaan keittiöön, ennen palautusta logistikko kerää vaunuun hajautettujen osastojen tyhjät korit edelliseltä päivältä.



*Kuva 20. Keittiöön palautettuja ruoankuljetusvaunuja. Vetotrukin perässä voidaan vetää vakuutusyistä maksimissaan kolmea ruoankuljetusvaunua kerrallaan.*

#### **4.4.3 Välinehuoltokuljetusprosessi**

Välinehuoltokuljetukset ovat välinehuoltokeskuksesta osastoille lähteviä puhtaiden instrumenttien ja muun hoitotarvikkeiston kuljettamista. Välinehuoltokuljetukset käsittävät myös osastoilta palautuvien likaisten instrumenttien kuljettamista takaisin välinehuoltokeskukseen. Prosessin kuljetuksissa on kolme toimijaa: asiakas (osastojen henkilökunta), välinehuoltokeskus ja Tuomi Logistiikka. (Tuomi Logistiikka 2020a)

Prosessi toimii seuraavasti: asiakas tekee tilauksen välinehuoltokeskuksen tietojärjestelmään, minkä jälkeen välinehuoltajat pakkaavat tilatut tavarat kuljetusvaunuihin ja toimittavat ne lähtöalueelle, josta logistikko noutaa vaunut sovitun aikataulun mukaisesti ja kuljettaa ne osastoille. Joskus puhtaita instrumentteja viedessä osastolle on myös sovittu likaisien instrumenttien palauttamisesta. Välinehuoltokuljetuksia tehdään vakiokuljetusaikataulujen mukaisesti, mutta myös päivystysluonteisena. Päivystys tarkoittaa, että kuljetuksia suoritetaan sähköisten tilausten perusteella. Vakiokuljetusaikatauluihin on myös mahdollista tehdä sähköinen muutospyyntö. (Tuomi Logistiikka 2020)

Kuvassa 21 on Tays keskussairaalan D-siiven välinehuoltokeskus, joka palvelee koko Tays keskussairaalan aluetta sekä Tays Hatanpäättä ja Tays Pitkäniemeä. Välinehuol-

tokeksessa erilaiset hoitotyön välineet puhdistetaan, desinfioidaan ja/tai steriloidaan, tarkistetaan ja pakataan. Välinehuollon kuljetusprosessi on 132 päivittäisellä käynnillä pienin tarkasteltavista prosesseista.



**Kuva 21.** D-siiven välinehuoltokeskuksen vaunut palautettu puhdistettavaksi.

## 5. ROBOTTIKONSEPTIT

Aliluvussa 5.1 esitetään konsepteja luotaessa käytetyt oletukset robotiikan avulla automatisoitujen tehtävien määrästä, robottien ominaisuuksista ja infrainvestoinneista. Näiden lisäksi luvussa tarkastellaan työajan jakautumista prosesseissa, ja käydään läpi kaavat, joiden avulla robottien tarpeen määrää arvioitiin konsepteissa.

Aliluvuissa 5.2, 5.3 ja 5.4 esitetään konseptit prosesseittain. Konseptit pyrittiin tekemään mahdollisimman yhtenäisellä tavalla, niin että erot niiden välillä on helppo nähdä ja niistä on helppo valita parhaimmat.

### 5.1 Oletukset konsepteissa

Tässä luvussa käydään läpi konseptien laskemisessa käytettävät oletukset. Ensin tarkastellaan miten tehokkaasti robotit pystyvät suorittamaan tehtäviä investoinnin alussa. Samassa arvioidaan, miten paljon tehtävistä voidaan automatisoida ja minkälaisia vaikutuksia automatisoinnilla on työvoimakustannuksiin. Tämän jälkeen tarkastellaan konseptien laskelmiin valittujen robottimallien ominaisuuksia. Aliluvussa 5.1.3 arvioidaan robotiikkainvestoinnin infraan vaatimia investointeja. Lopuksi esitellään työn aikana kehitetyt kaavat tarvittavien robottien tarvemäärän arvioimiseksi.

#### 5.1.1 Robottien käyttöasteen vaikutus työvoimakustannuksiin

Analyysissään (Chui, Manyika et al. 2016) arvioivat että nykyteknologian avulla 81 % ennakoitavissa olevista fyysisistä tehtävistä on automatisoitavissa ja 60 % kaikista kuljetus ja varastointitehtävistä. Tutkimusta mukaillen ja kirjoittajan prosessiin tutustumisen, sekä robotiikan tuntemuksen perusteella arvioidaan, että 80 % kuljetustehtävistä on riittävän rutiininomaisia ja näin ollen automatisoitavissa, jäljelle jäävät 20 % tehtävistä hoidetaan kuten nykyisinkin. Tätä tukee esimerkiksi myös kaikkien kuljetuksien 80 % automatisointiaste El Camino Hospital -sairaalassa (Bloss 2011), tässä on kuitenkin otettava huomioon, että robottien käyttöönotto päätettiin jo sairaalaa suunniteltaessa, eikä vastaaviin lukemiin välttämättä päästä vanhassa sairaalassa.

Robottien käyttöönotto ei kuitenkaan tapahdu yhdessä yössä. Uusien asioiden ja käytäntöjen oppiminen vie aikaa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että robotit eivät ala maksamaan itseään takaisin välittömästi, vaan ne täytyy saada tehokkaaseen käyttöön ennen sitä. Investoinnin analysoimiseksi taulukossa 6 esitetään kirjoittajan tekemät oletukset robottien suorittamien tehtävämäärästä puolen vuoden ja vuoden jaksoissa. Kirjoittaja olettaa, että ensimmäisenä ja kolmantena vuotena käyttöönotettavien tehtävien



määrä kasvaa 8 % puolivuositain ja toisen vuoden aikana 16 % puolivuositain. Kirjoittaja olettaa edelleen, että robotit saavuttavat täyden kapasiteettinsa kolmessa vuodessa.

Taulukko 6. *Arvioitu robottien suorittamien tehtävien osuus käyttöönoton jälkeen.*

Kuukautta käyttöönotosta	Robotit suorittavat jäte-, ruoka ja VHK tehtävistä, %	Osuus vuoden tehtävistä, %
0-6	8	
6-12	16	12
12-18	32	
18-24	48	40
24-30	64	
30-36	72	68
36+	80	80

Kuten voidaan helposti ajatella, ensimmäinen vuosi käyttöönoton jälkeen on kaikista hankalin, järjestelmä on vielä tuore ja tuntematon. Hissien ohjelmointi, joka mahdollistaa robottien autonomisen liikkumisen on vasta aluillaan, kuten myös oven avaajien asennukset. Operaattorit opettelevat vielä parhaita toimintatapoja robottien ohjelmointiksi ja logistikot tekevät edelleen pääosan kuljetustehtävistä. Myös sairaanhoitohenkilökunta ja potilaat saattavat olla epäluuloisia robotin kykyjä kohtaan. Toisena vuotena henkilökunta ja asiakkaat ovat jo tottuneet toimimaan robotin kanssa samassa ympäristössä. Kolmannes hisseistä ja oven avaajista on asennettu. Operaattori tuntee järjestelmän erittäin hyvin. Lähes puolet tehtävistä on robotin suorittamia. Kolmantena vuotena kaikki hissit on ohjelmoitu ja ovenavaajat asennettu. Robottien toiminta on tehokasta ja käyttöaste korkea. Robottien hallinta tapahtuu parviovihjousjärjestelmän avulla, jolloin tehtävien antamiseen roboteille käytetään erilaisia kriteerejä, kuten robotin sijaintia, akun varausta tai tehtävän tärkeysjärjestystä.

Taulukossa 7 arvioidaan robottien käyttöönoton vaikutuksia sisäisen kuljetuksen vuosittaisiin työvoimakustannuksiin käyttöönoton alusta. Työvoimakustannuksien muutos arvioidaan olevan käänteinen robottien suorittamien tehtävien määrään nähden.

Taulukko 7. *Käyttöönoton jälkeiset työvoimakustannukset verrattuna nykykustannuksiin*

Vuosi	Prosenttia nykykustannuksista
1	88 %
2	40 %
3	32 %
4+	20 %

### 5.1.2 Robottien ominaisuudet

Taulukossa 8 esitetään laskelmiin valittujen robottien pääominaisuuksia. Kun tarkastellaan ominaisuuksien vaikutusta huomataan, että nopeus vaikuttaa suuresti siihen, miten monta tehtävää robotit ehtivät suorittamaan sairaalan pitkillä käytävillä. Kantavuus taas vaikuttaa maksimikuormaan, joka toisaalta saattaa vähentää käyntien määrää. Jotkin robotit pystyvät myös kuljettamaan useampaa kuin yhtä vaunua/rullakkoa kerralla, kuten alla tarkasteltava Agilox IGV. Maksimikaltevuus taas kuvaa minkälaisessa ympäristössä robotti voi suorittaa tehtäviä ja minkälaisella kuormalla. Vuorokausittainen latausaika taas vaikuttaa siihen, paljonko pakollisten lataamisten jälkeen jää aikaa tehtävien suorittamiselle. MiR ilmoittaa laitteen suunnitellun käyttöiän olevan 5 vuotta tai 20 000 tuntia, mikä vaikuttaa merkittävästi investointikustannuksiin ja takaisinmaksu-aikaan. Toisaalta Aethonin robotin hinta on yli kaksinkertainen kilpailijaansa verrattuna, mutta valmistaja ei ilmoita laitteen suunniteltua käyttöikää, kuten ei myöskään Agilox. Agilox älytrukin hinta on arvioitu.

Taulukko 8. *Laskelmiin valittujen robottien tärkeimpiä ominaisuuksia. (MiR 2020, Aethon 2016, Agilox 2020)*

	MiR250	Aethon TUG T3	Agilox IGV
Nopeus (m/s):	2	0,76	1,4
Kantavuus (kg):	250	453	1 000
Maksimikaltevuus maksimikuormalla (%):	5	8	-
Vuorokausittainen latausaika (t):	1,5	3	1,5
pituus:	800	1164	1510
Mitat (mm), leveys:	580	569	800
korkeus:	300	1226	1850
Kääntösäde (mm):	490	635	850
Paino (kg):	83	-	400
Toiminta-aika yhdellä latauksella (t):	13	10	-
Vetotapa:	2 vetävää pyörää keskellä, kulmissa 4 kääntöpyörää	4 mecanum pyörää	4 vetävää (360° kääntyvää)
Suunniteltu (v):	5	-	-
käyttöikä, (t):	20 000	-	-
Kappalehinta (€):	40 000	94 000	150 000

### 5.1.3 Investoinnit infraan ja tukitoimintoihin

Robottien käyttöönotto vanhassa kiinteistössä vaatii erilaisia investointeja kiinteistön infraan ja tukitoimintoihin. Näiden avulla mahdollistetaan robottien autonominen toiminta. Robottien liikkussa suorittamaan tehtäviä, on niiden matkalla useita ovia. Joita ne pystyvät ohjaamaan sähköisesti alla kuvattujen investointien avulla. Näihin in-

vestointeihin kuuluu ovien ja hissien etäohjauksen mahdollistaminen, rullakkojen alustojen muokkaaminen roboteille sopiviksi tai kokonaan uusien hankinta ja kuljetuksen automaattinen tai osittain automaattinen tilausjärjestelmä. Robotti-investointi vaatii myös operaattorin, joka esimerkiksi ohjelmoi robottiin uudet tehtävät ja ratkoo robottiin liittyviä ongelmia. Mutta koska robotit työskentelevät ympärivuorokautisesti, mutta operaattori ei, tarvitaan tuki, joka varmistaa toiminnan kaikkina vuorokauden aikoina. Tämä varmistetaan valmistajan tarjoaman etätuen ja -valvonnan avulla. Robottien hankinnan lisäksi niihin tulee hankkia myös erilaisia lisälaitteita ja ohjelmistoja. Ruokakuljetusprosessissa ehdotetaan ruokavaunujen telakointiaseman käyttöönottoa, jonka avulla robotti voi kytkeä ruokavaunun suoraan sen lämmityksen vaatimaan sähköön.

Taulukossa 9 esitetään edellä mainittujen infra- ja tukitoimintojen investointikustannuksia, niiden jakautumista eri prosesseille ja mille ajalle kustannukset jaetaan kappaleessa 6.1 tehtävässä liiketoiminnan vaikutusanalyysissä. Esimerkiksi hissien etäohjauksen investoinnin arvioidaan maksavan yhteensä 150 000 €, tämä kustannus jaetaan tarkasteltaville prosesseille niiden kustannusosuuksien mukaan ja investointi lasketaan kokonaisuudessa kolmelle ensimmäiselle vuodelle.

Taulukko 9. *Investoinnin jakautuminen prosesseille kolmen ensimmäisen vuoden aikana.*

Investointi	Hinta €	Jäte (35 %)	Ruoka (35 %)	VHK (30 %)	Investoinnin vuosiosuus			Huomiot
					1	2	3	
TUG T3	94 000	32 900	32 900	28 200	1/3	1/3	1/3	Per robotti
Robotit								
MiR250	40 000	14 000	14 000	12 000	1/3	1/3	1/3	Per robotti
IGV	150 000	52 500	52 500	45 000	1/3	1/3	1/3	Per robotti
Hissien etäohjaus	150 000	52 500	52 500	45 000	1/3	1/3	1/3	-
Ovien etäohjaus	300 000	105 000	105 000	90 000	1/3	1/3	1/3	-
Rullakot	90 000	31 500	31 500	27 000	1/3	1/3	1/3	-
Kuljetuksen tilausjärjestelmä	50 000	50 000	-	50 000	1/1	-	-	Ei kaikissa konsepteissa
Operaattori	52 000	18 200	18 200	15 600	2	1	1	1. vuosi 2 operaattoria, sen jälkeen 1
Huolto, etätuki ja -valvonta	7 500	2 625	2 625	2 250	1	1	1	Per robotti, riippuu valmistajasta
Lisälaitteet ja ohjelmistokulut	5 000 – 15 000	5 250	5 250	4 500	1/3	1/3	1/3	Per robotti, riippuu mallista
Ruokavaunujen telakointijärjestelmä	50 000	-	50 000	-	1/1	-	-	Vain ruokaprosessi
Jäteaseman modernisointi	300 000	300 000	-	-	1/1	-	-	Vain jäteprosessi

Kappaleessa 3.1 mainittujen etäohjattavien hissien ja ovien määrän perusteella, arvioidaan että robottien tehokas autonominen toiminta yli kaksi kertaa suuremmassa Tays keskussairaalassa vaatii 20 hissien ohjelmoinnin ja 200 oven avaajan asentamisen

ovien etäohjauksen mahdollistamiseksi. Arvioidaan että rullakon muokkaaminen robotin kanssa yhteensopivaksi tai uuden hankkiminen maksaa keskimäärin 300 €, ja että niitä tarvitaan noin 300. Osassa konsepteissa ehdotetaan kuljetuksen tilausjärjestelmää. Kappaleessa 3.1 mainittujen kokemusten perusteella laskelmissa lasketaan kaksi robottioperaattoria ensimmäiselle vuodelle ja siitä eteenpäin yksi. Huolto, etätuki ja -valvonta on yksi suurimpia kustannuseriä sen vuosittaisen toistuvuuden vuoksi, huolto-, etätuki- ja -valvontasopimuksen arvioidaan kustantavan 7 500 € per robotti. Robotin käyttökustannukset lasketaan myös robottien käyttämän käyttöenergian kustannukset, ne jäävät kuitenkin huomattavasti alle euron päiväkustannuksiin per robotti ja niitä voidaan pitää merkityksettömiä tämän luokan investoinnissa. Robotit vaativat myös lisälaitte-/ohjelmistoinvestointeja, kuten MiR-robotin laturi ja lisäosa, joka mahdollistaa rullakon kantamisen robotin päällä. Ohjelmistoihin lasketaan esimerkiksi parvenhallintaohjelmisto. Aethon robotin mukana toimitetaan laturi ja siihen on integroitu rullakkojen kantamiseen tarkoitettu järjestelmä. Robottien toiminnan kannalta saattaa olla kuitenkin riittävää, että esimerkiksi vain joka toista robottia kohden on laturi, jos niiden lataus ajoitetaan tehokkaasti.

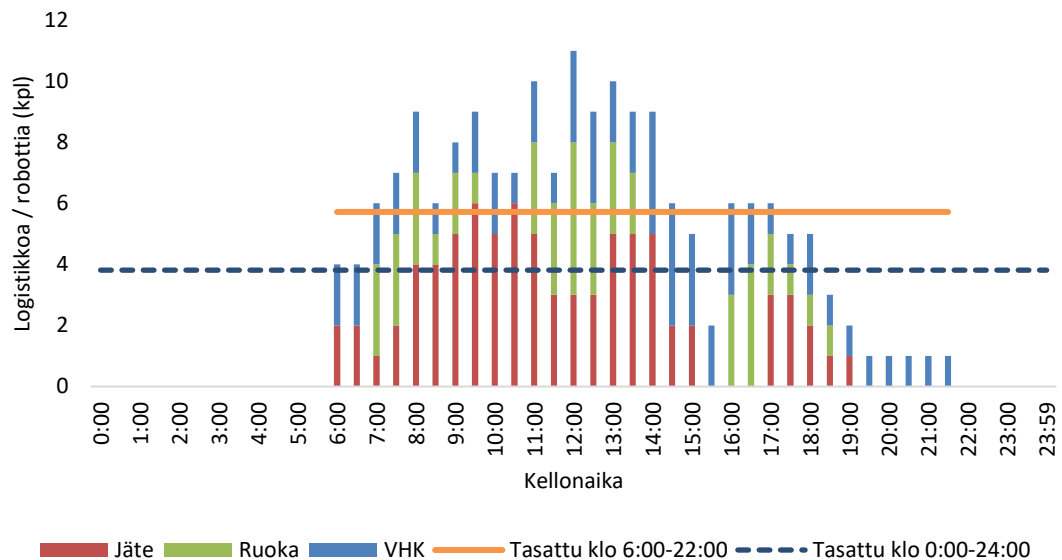
Jätteiden määrä vaihtelee hyvin paljon päivittäin, toisinaan osastoilla ei muodostu juuri ollenkaan jätteitä, kun taas toisena päivänä jäteasiat pursuavat niitä. Täysin aikataulutetun tai manuaalisesti tilattavan kuljetuksen sijasta, ehdotetaan tarpeen mukaan kuljetuksen automaattisesti varaavaa järjestelmää. Jolla voidaan vähentää ylimääräisiä käyntejä, asiakkaan tarvetta tehdä tilauksia ja joka johtaa edelleen ruuhkan vähenemiseen käytävillä. Järjestelmä, joka toimii esimerkiksi tarkkailemalla jätteen määrää astiassa tai sinne tiputettujen jättesäkkien määrää, ja tekee kuljetuksen tilauksen automaattisesti. Jätteen määrän tarkkailu astiassa voisi toimia esimerkiksi painon, pinnankorkeuden, tai edellä mainittujen tapojen yhdistelmällä.

#### **5.1.4 Ajankäyttö valituissa prosesseissa**

Sairaalassa on henkilökuntaa ympäri vuorokauden, työpanos painottuu kuitenkin virka-aikaan. Logistikot työskentelevät aamu kuuden ja ilta kymmenen välillä. Töiden keskittyminen virka-aikaan luo kuitenkin ajoittain ruuhkaa sairaalan käytävillä, erityisesti 2-3 tuntia ennen ja jälkeen keskipäivän, jolloin Radiuksen vastaanottoterminaalista kuljetetaan varastotavaroita ympäri sairaalaa, henkilökunta siirtyy syömään ja samanaikaisesti osastoille kuljetetaan ruokaa. Kaikesta tästä syntyy myös valtava määrä jätteitä, joita kuljetetaan myös samanaikaisesti, kuten voidaan nähdä kuvassa 22.

Kuva 22 esittää logistikkojen määrää arkisin kolmessa suurimmassa prosessissa. Kuviossa oranssi viiva kuvaa teoreettista tilannetta, jossa kaikki työ on jaettu tasaisesti klo

6:00-22:00 välille ja sininen katkoviiva taas teoreettista tilannetta, jossa tehtävät on tasattu ympärivuorokautisiksi. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että yhteensä näiden prosessien tehtäviä tekisi jatkuvasti 6 tai 4 henkilöä. Kuten edellä mainittiin prosesseissa ja kuvassa 22 nähdään, prosesseissa on piikkejä, eikä tehtäviä ole mahdollista tasata täysin. Eritoten silloin kun sairaalassa on enemmän ihmisiä, töissä tai hoidettava.



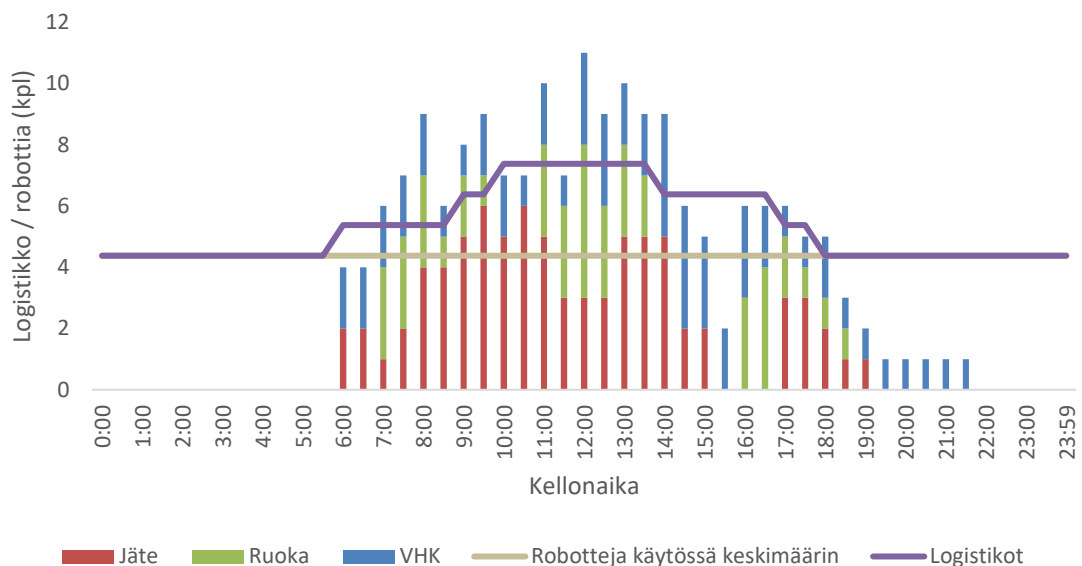
**Kuva 22.** Logistikkojen määrä arkisin kolmessa suurimmassa prosessissa.

Seuraavaksi tarkastellaan miten logistikkojen työtunnit jakautuvat prosesseissa eri viikonpäiville. Taulukon 10 kolmanneksi viimeisessä sarakkeessa ilmoitetaan keskimääräiset käyntimäärät, kahdessa viimeisessä sarakkeessa käyntimäärät suhteutetaan arki- ja viikonlopputyötuntien määrään. Taulukon vasemmassa reunassa ilmoitetaan arkisin ja viikonloppuisin tarkasteltaviin prosesseihin varatusta ajasta. Huomataan että jäte- ja välinehuoltokuljetusprosessien kuljetuksiin varattu aika viikonloppuisin on huomattavasti matalampi kuin arkisin. Ainoastaan ruokakuljetusprosessiin varattu aika on lähes sama viikon jokaisena päivän. Tästä voidaan päätellä, että sairaalan toiminnot ovat huomattavasti vähäisempiä viikonloppuisin. Myös robottien tarvemäärä laskiessa vinoutunut tarve täytyy ottaa huomioon ja niiden lukumäärä tulee mitoittaa korkeimman tarpeen mukaan, eli arkipäivien.

Taulukko 10. *Logistikkojen työtehtäviin varattu aika arkisin ja viikonloppuisin vasemmalla. Työtuntien mukaan keskimääräisiin käyntimääriin suhteutetut käyntimäärät oikealla.*

Prosessi	Arkisin Tuntia	Viikonloppuisin Tuntia	Osuus 3 suurim- masta proses- sista	Keskimääräi- nen käynti- määrä	Tuntimäärään suhteutettu käyntimäärä	
					Arkisin	Viikonloppuisin
Jäte	40	19,0	44 %	143	168,2	79,9
Ruoka	22	18,8	27 %	177	184,3	157,0
VHK	29,5	6,3	29 %	132	170,4	36,1

Kuvassa 23 tarkastellaan samaa tilannetta kuin edellä. Nyt työtä suorittavat logistikkojen kanssa yhteistyössä robotit. Tässä skenaariossa on 5 robottia, jotka kolmen tunnin (3 x 1 h) lataamisella pystyvät työskentelemään loput 21 tuntia. Samoja robotteja käytetään kaikkien prosessien kesken ja prosesseissa tarvittava aika allokoidaan niiden käyntimäärien mukaan, näin jäte-, ruoka- ja välinehuoltokuljetuksien suorittamiseen on edellä mainitussa järjestyksessä 6 t 43 min, 8 t 11 min ja 6 t 6 min aikaa. Robotit suorittavat rutiininomaisimmat tehtävät ja logistikot vaativimmat ja mielekkäimmät sekä ihmisten kanssa vuorovaikutustaitoa vaativat tehtävät. Jokaista prosessia kohden laskeaan myös yhden logistikon työpanos, joka tasataan tarpeen mukaan tarkasteltaviin prosesseihin ja on noin 25 % logistikkojen nykymäärästä arkisin.



**Kuva 23.** *Palkit kuvaavat logistikkojen määrää arkisin nykymallin mukaan kolmessa suurimmassa prosessissa ja viivat logistikko-robotti hybridimallia.*

Jäte-, ruoka- ja välinehuoltokuljetusprosesseissa logistikoille on laskettu yhteensä 96 tunnin työpanos. Edellä kuvatun yhteistyömallin jälkeen työtunteja on käytössä yhteensä 127,5, joista 5:n robotin osuus on yhteensä 105 tuntia ja logistikkojen 22,5 tuntia. Eli noin 33 % enemmän kuin lähtötilanteessa. Tämän mahdollistaminen vaatii toki suuria muutoksia kaikkien siirrettävissä olevien tehtävien hiljaisempaan aikaan.

### 5.1.5 Prosesseissa tarvittavien robottien määrän arviointi

Tays keskussairaalan toiminta sijoittuu 23 erilliseen rakennukseen, joista suurin osa on yhdistetty toisiinsa 00- ja 0 kerroksissa sijaitsevien yhdystunnelien avulla. Että robottien tarvemäärää voidaan arvioida, tulee tietää montako käyntiä ne pystyvät suorittamaan annetun ajanjakson sisällä. Työssä robottien tarpeen arviointiin käytetään kaavaa 1:

$$\frac{\text{Suoritettavien käyntien lukumäärä}}{\text{käytettävissä oleva aika [t] * robotin tunnissa suorittamat käynnit}} = \text{robottien tarvemäärä} \quad 1$$

Jossa robottien prosesseissa käytettävä aika saadaan kaavan 2 avulla:

$$\begin{aligned} & (24 \text{ tuntia} - \text{robotin lataamiseen vrk:ssa käytetty aika}) \\ & * \text{osuus kolmen suurimman prosessin tehtävistä} \\ & = \text{käytettävissä oleva aika} \end{aligned} \quad 2$$

Ja robotin tunnissa suorittamat käynnit arvioidaan prosessikohtaisesti kerroksien mukaan painotetun keskimääräisen yhdensuuntaisen matkan ( $s$ ), yhdensuuntaisen hississä käytetyn ajan ( $th$ ), lähtö- ja kohdepisteissä käytetyn ajan ( $tl$ ,  $tk$ ), sekä maksiminopeuden ( $v$ ) ja pysähtymiskertoimen ( $pk$ ) sekä jatkokuljetuskertoimen ( $jkk$ ) avulla kaavan 3 mukaisesti:

$$\frac{3600 [s]}{\frac{s [m] * 2}{v [\frac{m}{s}] * pk} + t_h [s] * 2 + t_l [s] + t_k [s]} * jkk = \text{käynnit tunnissa} \quad 3$$

Pysähtymiskertoimen avulla arvioidaan robotin pysähtymisestä ja hiljaisemmasta ajonopeudesta osastoilla johtuvaa matkan hidastumista, kerroin on reaalityyppinen väliltä 0-1 ja tarkoittaa käytännössä robotin keskimääräistä nopeutta sen maksiminopeudesta. Konseptien laskelmissa käytetään arvoa 0,65 jos muuta ei ilmoiteta. Yhdyskäytävillä liikkessaan robotti voi ajaa maksiminopeudella, kun taas osastoilla ja paikoissa missä liikkuu paljon ihmisiä, nopeuden täytyy olla turvallisuussyistä alempi.

Laskelmien yhdensuuntainen matka on prosessikohtainen ja siinä mitattu matka painotetaan rakennuksien kerrosmäärien mukaan, siten että mitä korkeampi rakennus on, sitä korkeampi matkan painoarvo sillä on. Yhdyskäytävillä kuljetun matkan osuus on koko matkasta jäte- ja ruokakuljetuksissa noin 90 % ja välinehuoltokuljetuksissa noin 80 %. Jäte- ja välinehuoltokuljetuskuljetuksien painotetut keskimääräiset etäisyydet

ovat 251 m ja 265 m, niiden keskinäisten lähtö/kohdesijaintien vuoksi. Kun taas ruokakuljetuksien painotettu keskimääräinen matka on 422 m suuntaansa, sairaalan keskipisteestä sivussa sijaitsevan keittiön vuoksi. Pitkien yhdyskäytävillä ajettujen matkojen vuoksi myös sen osuus koko matkasta on korkea. Jättekuljetuksissa korkean yhdyskäytävillä ajettun osuuden selittää 00-kerroksessa sijaitsevat jätehuoneet, jolloin koko matka kuljetaan yhdyskäytävillä eikä hissiä tarvitse käyttää ollenkaan.

Jatkokuljetuskertoimen avulla arvioidaan kuljetuksien määrää, jolloin robotti jatkaa seuraavalla kuljetustehtävällä edellisen kuljetuksen kohdepisteestä. Tämä luku on väliltä 1-2, 1 jos robotti jatkaa kohdepisteestä aina ilman kuljetettavaa, 2 jos robotti jatkaa aina uuden kuorman kanssa. Kirjoittaja arvioi, että robotilla on jatkokuljetettavaa noin 50 % ajasta, eli laskuissa käytettävä kerroin on 1,5, ellei muuta ilmoiteta.

Robotin hissillä kerroksen vaihtamiseen käyttämäksi ajaksi arvioidaan 120 sekuntia kappaleen 3.2.4 ja Seinäjoen keskussairaalassa vierailun perusteella. Tuo aika lähtee liikkeelle siitä, kun robotti saapuu hissin luo ja kutsuu sen sähköisesti oikeaan kerrokseen ja loppuu siihen, kun robotti on ajanut hissistä ulos. Ruoka- ja välinehuoltokuljetuksien käyntejä arvioitaessa tuo aika kerrotaan vielä 2:lla, molempiin suuntiin kuljetun matkan vuoksi. Jättekuljetuksissa käytetään vain noin 50 % käyntikerroista hissiä, eikä 2:lla kertominen ei ole tarpeellista.

Taulukossa 10 tutkitaan laskennallisia käyntimääriä kolmessa suurimmassa prosessissa eri nopeuksilla roboteilla. Käyntimäärien laskemisessa käytetään edellä mainittua kaavaa 3. Kaavaan sijoitettavat arvot ilmoitetaan edellä. Kuten taulukosta huomataan robotin nopeus vaikuttaa merkittävästi tunnissa suoritettavien käyntien lukumäärään. Vaikka nopeus osastoilla täytyykin olla matalampi. Silti yhdyskäytävien suuri osuus kuljettavasta keskimääräisestä matkasta mahdollistaa suuremmat käyntimäärät nopeammilla roboteilla.

Taulukko 11. *Prosessien käyntimäärät eri nopeuksilla roboteilla.*

Prosessi	Keskimääräinen matka [m]	Robotin nopeus [m/s]			
		0,76	1,1	1,4	2
Jäte	251	3,9	5,1	5,9	7,2
Ruoka	422	2,6	3,5	4,2	5,4
VHK	265	3,8	4,9	5,7	7,0
	Keskiarvo:	<b>3,4</b>	<b>4,5</b>	<b>5,3</b>	<b>6,5</b>

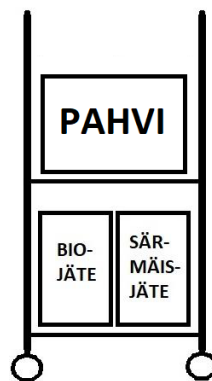
## 5.2 Jätekonseptit

Jättekuljetusprosessi esiteltiin kappaleessa 4.4.1, tässä kappaleessa esitetään kolme erilaista konseptia prosessin osittaiseksi automatisoimiseksi. Ensimmäisessä konseptissa osa kuljetuksista automatisoidaan siten, että jätteet kuljetetaan jäteasemalle automaattisesti ja jäteaseman hoitaja tyhjiä vaunut ja pitää huolta, että tyhjiä vaunuja on



saatavilla. Toisessa konseptissa myös jäteaseman toiminnot on automatisoitu. Kolmas konsepti on samankaltainen ensimmäisen konseptin kanssa, sillä erolla että siinä hyödynnetään useampaa vaunua kerralla kuljettavia robottimalleja. Jätekuljetusprosessiin allokoidaan 6 t 43 min vuorokausittain prosesseille allokoidusta ajasta. Tässä työssä ehdotetaan, että jäteprosessissa otetaan käyttöön automaattinen kuljetuksen tilausjärjestelmä, jonka avulla pyritään vähentämään tarpeettomia käyntejä.

Robotit keräävät jätteet ja likapyykit yhdyskäytävien ja osastojen jätehuoneista, joissain tapauksissa myös osastojen käytäviltä. Osa jätteistä kerätään jatkossakin osastoilta, jätekuiluun tiputtamisen sijasta, niiden pakkauksien rikkoutumisvaaran vuoksi. Työssä ehdotetaan kuitenkin, että robotisoinnin yhteydessä jätteet, joita ei voida tiputtaa kuiluun, kerätään osastoilla suoraan esimerkiksi kuvan 24 mukaisiin yhdistettyihin jäterullakoihin. Tätä ehdotetaan mahdollisimman täysien rullakoiden kuljettamiseksi, joka vähentää edelleen tarpeetonta liikkumista osastoilla. Robotit siirtävät rullakot sitten aikataulun mukaisesti jäteasemalle jäteaseman hoitajan tyhjennettäväksi. Likapyykit lajitellaan osastoilla rullakoihin ja robotit kuljettavat ne määränpään perusteella paikoilleen pyykkiterminaaliin.



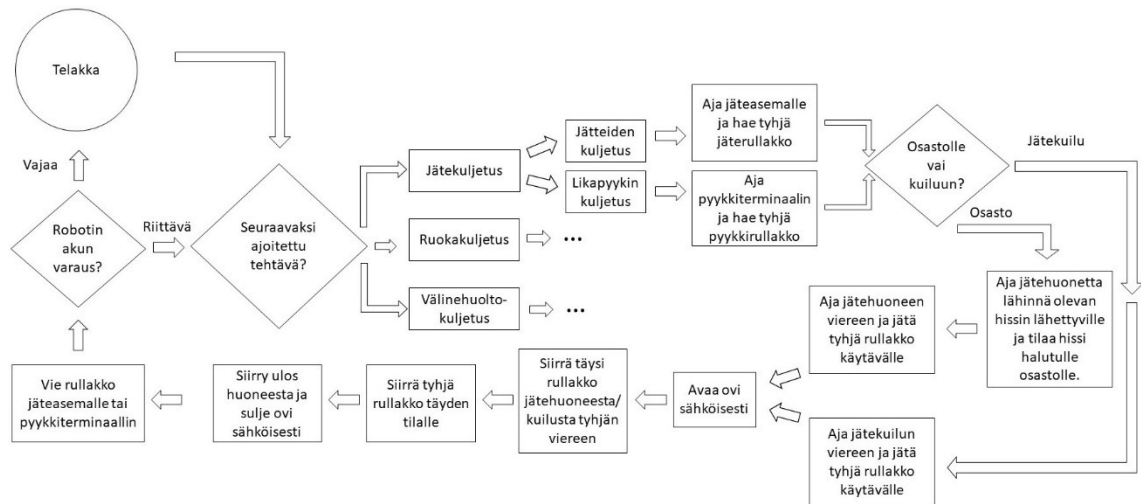
*Kuva 24. Yhdistetty jäterullakomalli.*

### 5.2.1 Konsepti 1: jäteaseman hoitaja

Konseptissa esitetään jäteprosessin osittaista automatisointia autonomisesti yhtä vaunua kerrallaan kuljettavien robottien avulla. Robotit kuljettavat jäte- ja pyykkirullakoita jäteasemalta ja pyykkiterminaalista osastoille ja toisin päin. Konseptissa jäteaseman toiminnasta huolehtii jäteaseman hoitaja, jonka päätehtäviin kuuluu tyhjentää robottien jäteasemalle tuomat rullakot. Hoitaja pitää myös huolta jäteaseman siisteydestä ja siitä että asemalla on aina riittävästi tyhjiä rullakoita täysien korvaamiseksi. Jäteastioita tyhjennettäessä jäteaseman hoitaja varmistaa myös, että jätteet on lajiteltu oikein.

Saatuään käskyn lähteä suorittamaan jätekuljetusta, robotti lähtee kulkemaan määränpäättä lyhintä mahdollista reittiä. Jätehuoneen löydettyään robotti jättää tyhjän rullakon käytävälle, sille varattuun paikkaan ja avaa oven jätehuoneeseen sähköisesti. Kun ovi

on auennut robotti noutaa jätehuoneesta korvattavan rullakon, vie sen käytävällä olevan tyhjän viereen ja siirtää korvattavan vaunun paikalle tyhjän vaunun. Kun täysi vaunu on korvattu tyhjällä, robotti ajaa ulos jätehuoneesta ja sulkee oven sähköisesti perässään. Tämän jälkeen robotti ajaa käytävällä olevan korvattavan vaunun alle ja kuljettaa sen jäteasemalle, robottiin ohjelmoitua optimaalisinta reittiä pitkin. Edellä kuvattu toiminta esitetään kuvan 25 periaatekaaviossa.



**Kuva 25. Jätekuljetuskonseptin 1 periaatekaavio**

Jäteprosessin yksi käynti tarkoittaa tyhjän rullakon tai vaunun noutamisen jäteasemalta tai pyykkiterminalista ja sen vaihtamisen jätteitä täynnä olevaan vaunuun jätehuoneessa. Koska yksi käynti sisältää myös paluumatkan, on kappaleessa 0 robottien tarpeen laskemisen apuna esitelty jatkokuljetuskerroin 1. Arvioidaan että rullakon vaihtamiseen tyhjäan jätehuoneella kuluu noin 90 sekuntia kappaleen alussa kuvatulla tavalla. Jäteasemalla tai pyykkiterminalissa robotti voi ajaa rullakon suoraan paikalleen, sen vuoksi siihen lasketaan vain 60 sekuntia. Edellä mainituilla arvoilla, 2 m/s ja 1,4 m/s kulkevien robottien tunneittain suorittaviksi käyntimääräksi arvioidaan kappaleessa 0 esitetyn kaavan 3 mukaisesti 4,6 ja 2,6 käyntiä tunnissa.

Nykyisin joka arkipäivä jätekuljetusprosessin parissa työskentelee logistikkoja 40 työtuntin edestä. Konseptin jäteaseman hoitajan työtuntien osuus tuosta on noin 19 %. Kun huomioon otetaan kappaleessa 5.1.4 esitetyn yhteistyömallin logistikon työpanos, nousee työtuntien osuus 38 % nykyisestä. Työssä oletetaan, että työtuntien osuus on suoraan verrannollinen työvoimakustannuksiin. Yhteistyömallissa logistikko työskentelee robotin kanssa yhteistyössä ja tekee tehtäviä, jotka soveltuvat paremmin ihmisen tekemäksi. Tai tehtäviä, joiden mahdollistaminen robottien tehtäväksi olisi kannattamattomasta esimerkiksi liian suurien inframuutosten vuoksi.

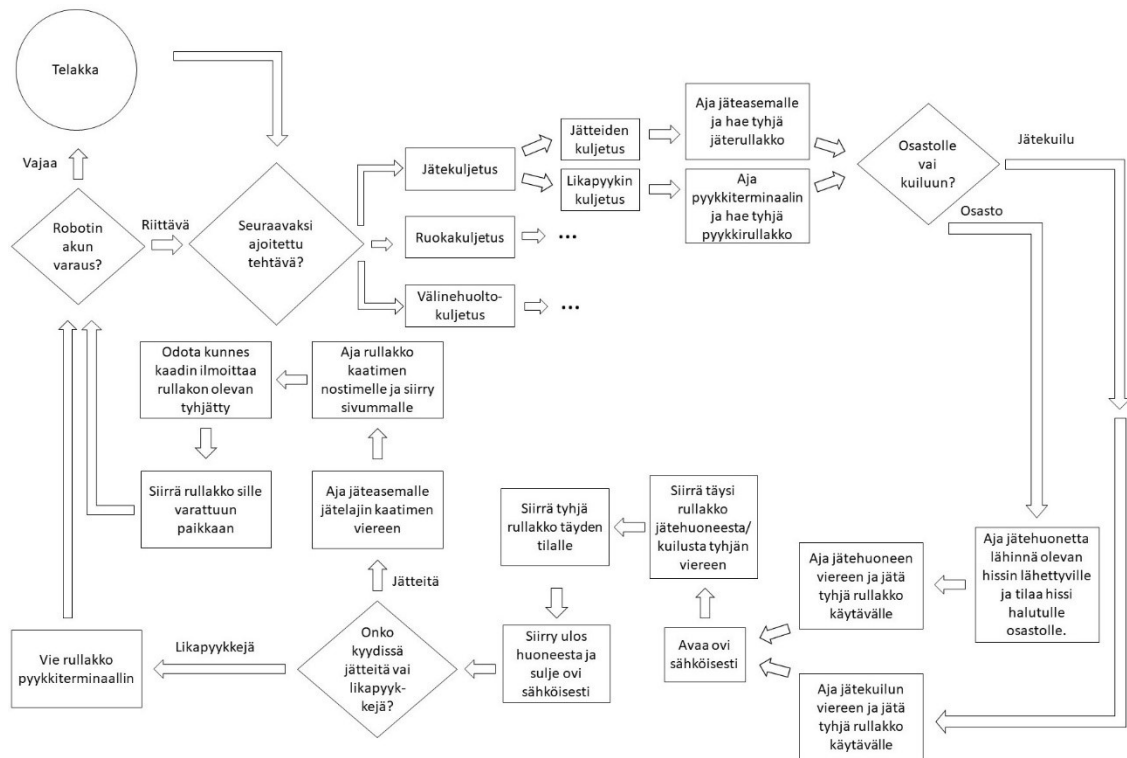
Arkisin jäteprosessissa tehdään keskimäärin 168 käyntiä. Oletetaan että logistikkojen suorittamat käyntimäärät ovat suoraan verrannollisia suoritettuun tuntimäärään. Näin ollen, kun käyntimäärästä vähennetään 32 logistikon suorittamaa käyntiä, eli 19 % osuus kaikista käynneistä. Roboteille jää tehtäväksi 136 käyntiä. Kun edellä mainitut luvut sijoitetaan kappaleessa 0 esitettyyn kaavaan 1 ja pyöristetään tulos ylöspäin, saadaan 2 m/s kulkevien robottien tarvemääräksi 5 ja 0,76 m/s kulkevien robottien tarvemääräksi 8.

### **5.2.2 Konsepti 2: automatisoitu jäteasema**

Tämä konsepti vastaa konseptia 1, sillä erolla, että tässä konseptissa jäteasemalla ei toimi jäteaseman hoitajaa vaan jäteaseman toiminta on automatisoitu. Täten laskennallisesti ainoat erot edelliseen konseptiin on automatisoidusta jäteasemasta syntyvät investointikustannukset ja 19 % suurempi säästöpotentiaali, eli 81 % työvoimakustannuksista. Kuvassa 26 esitetään konseptin periaatekaavio.

Automatisoitu jäteasema ehdotetaan toteutettavaksi seuraavalla tavalla. Yhdistetty jäterullakko tuodaan jätöpaikkaan jäteasemalle. Paikalla on ottimet, jotka nostavat kerralla kaikki rullakossa olevat astiat. Ottimet siirtävät astiat omille kuljettimilleen, jotka kuljettavat astiat jäteastioiden kaatimille. Kun astiat on nostettu rullakosta, ottimet sijoittavat rullakkoon tyhjät astiat ja mahdollistavat nopean käynnin rullakon tuojalle. Samanaikaisesti kaatimet tyhjäävät astiat autonomisesti ja automatiikka pitää huolen jäteastioiden puristimien toiminnasta. Kun astiat on tyhjäetty, astiat palautetaan jäterullakon ottopaikan lähetyville omaa kuljetinta pitkin, josta astiat voidaan siirtää seuraavaan rullakkoon.

Energia- ja sekajäte ovat määrällisesti suurimpia jätelajeja, eikä niiden sijoittaminen yhdistettyyn rullakkoon ole mahdollista jätelajien suuren volyymin vuoksi. Siksi energia- ja sekajäte kuljetetaan suoraan jätelajin omille kaatimille. Vaunu tuodaan kaatimen läheisyyteen, josta tarttuvat siirtävät vaunun kaatimen päälle, johon vaunu lukitaan mekaanisesti. Tämän jälkeen kaadin nimensä mukaisesti kaataa vaunun jäteastiaan ja tyhjäettyään sen kaadin palauttaa vaunun edelleen kuljetettavaksi.



Kuva 26. Jätekuljetuskonseptin 2 periaatekaavio.

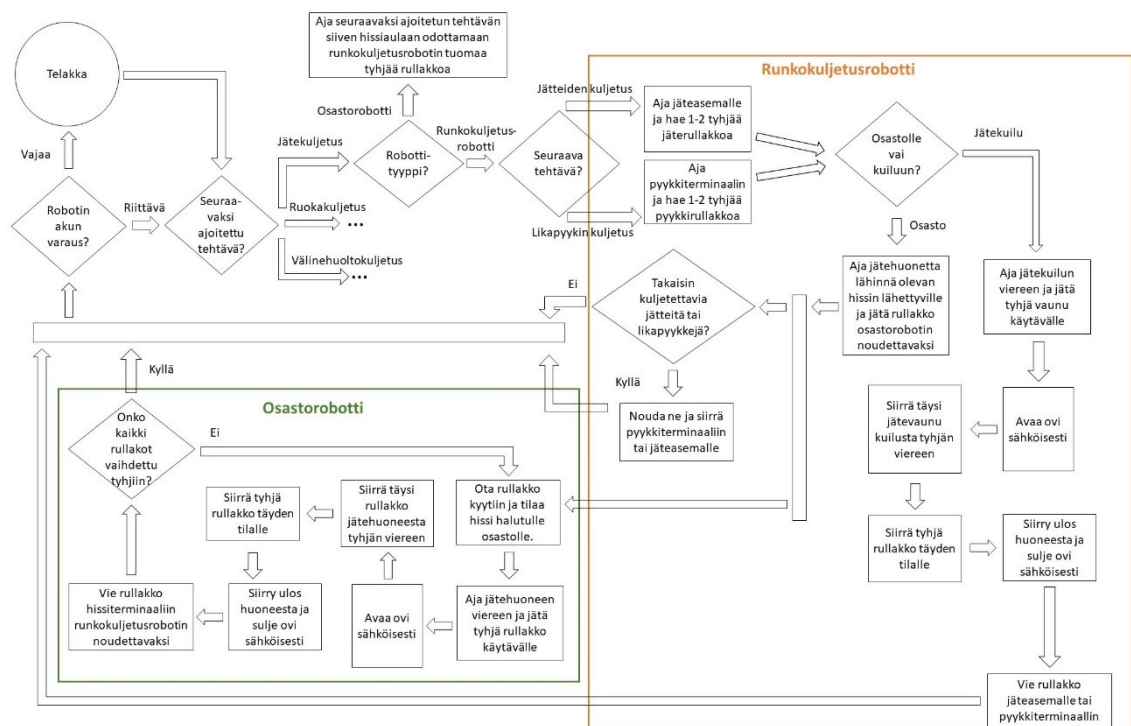
### 5.2.3 Konsepti 3: runkokuljetus-osastorobotti hybridi

Tämä konsepti on pääosin sama kuin konsepti 1, sillä erolla että tässä konseptissa käytetään kahdenlaisia robotteja suorittamaan kuljetuksia. Kuljetuksia hoitaa maksimissaan 1 vaunua ja 2 rullakkoa kerralla kuljettava runkokuljetusrobotti, joka liikkuu ainoastaan yhdyskäytävillä. Konseptissa runkokuljetusrobotin kanssa toimii vaunuja ja rullakoita yhdyskäytäviltä osastoille ja toisinpäin, yksitellen kuljettava osastorobotti. Kuten konseptissa 1 jäteasemalla toimii siis jäteaseman hoitaja, sekä ihmiselle paremmin sopivia kuljetuksia hoitava logistikko. Säästöpotentiaali on täten myös sama, eli 62 %.

Konseptissa runkokuljetusrobotit suorittavat kaikki niille yhdyskäytävillä sopivat tehtävät. Tehtävien suorittamista saattaa kuitenkin rajoittaa runkokuljetusrobotin isommat mitat osassa jätehuoneita (katso kappale 5.1.2). Tehtävissä, joissa käytetään molempien tyyppisiä robotteja, runkokuljetusrobotti kerää jätteet osastoilta kappaleessa 5.2.1 mainitulla tavalla. Tämä esitetään myös kuvan 27 periaatekaaviossa. Osastorobotti kuljettaa rullakot yhdyskäytävälle hissitermiinalin läheisyyteen ja ilmoittaa parvenhallintajärjestelmään jäterullakon olevan noudettavissa. Parvenhallintajärjestelmä ilmoittaa edelleen runkokuljetusrobotille rullakon olevan kuljetettavissa. Kun runkokuljetusrobotti saa tehtävän hoidettavakseen, se kerää mahdollisuuksien mukaan maksimimäärän rullakoita kuljetettavakseen.

Oletetaan että keskimääräinen matka hissiterminaalista rullakon noutopaikkaan osastolla on 50 m. Nyt lasketaan kaavan 3 avulla että yksi 2 m/s kulkeva osastorobotti ehtii tekemään 7,7 käyntiä osastolla tunnin aikana ja 0,76 m/s robotti 6,1 käyntiä tunnissa. Oletetaan että runkokuljetusrobotti kuljettaa keskimäärin 1,5 rullakkoa/vaunua kerrallaan maksiminopeudella 1,4 m/s ja ehtii suorittamaan edellä mainitun kaavan mukaan 9,1 käyntiä tunnin aikana.

Sijoittamalla kappaleessa 0 esitettyyn kaavaan 1 edellä mainitut arvot pyöristämällä tulos ylöspäin saadaan 2 m/s kulkevien osastorobottien tarvemääräksi 3, 0,76 m/s kulkevien osastorobottien tarvemääräksi 4 ja 1,4 m/s kulkevien runkokuljetusrobottien tarvemääräksi 3.



Kuva 27. Jättekuljetuskonseptin 3 periaatekaavio.

### 5.3 Ruokakonseptit

Ruokakuljetusprosessi esiteltiin kappaleessa 4.4.2, tässä kappaleessa esitetään kolme erilaista konseptia prosessin osittaiseksi automatisoimiseksi. Ensimmäisessä konseptissa keittiön ja osaston väliset ruokakuljetukset automatisoidaan kokonaan yhtä vaunua kerralla kuljettavilla roboteilla. Toisessa konseptissa ruokavaunuja kuljetetaan kahta ruokavaunua kerralla kuljettavilla runkokuljetusroboteilla ja yhtä vaunua kerralla

kuljettavilla osastoroboteilla. Kolmannessa konseptissa runkokuljetuksia hoitaa kolmea ruokavaunua kerralla vetotrukin perässä vetävä logistikko.

Ruokaprosessi on prosessina sellainen, että sen toimintoja ei ole juurikaan mahdollista jakaa vuorokauden muille tunneille, vaan ne tulee suorittaa tarkkaan rajattuna aikana. Ruokakuljetusprosessiin allokoidaan laskennallisesti 8 t 11 min vuorokausittain prosesseille allokoidusta ajasta. Jokaiselle aterialle lähtee kerrallaan noin 50 vaunua ja keittiöltä niiden osastolle viemiseen on 1 t 45 min aikaa. Laskelmissa yhden vaunun kuljetus keittiöltä osastolle tai osastolta keittiölle lasketaan yhdeksi käynniksi. Aamupalan vaunujen palautus hoidetaan lounaan yhteydessä ja lounaan vaunujen palautus hoidetaan päivällisen yhteydessä. Päivällisen vaunut noudetaan erikseen. Aamiaisvaunujen viennin yhteydessä ei palauteta vaunuja, täten aamiaisen jatkokuljetuskerroin on 1, lounaan ja päivällisen jatkokuljetuskerroin on 2, päivällisen astioiden palautuksessa jatkokuljetuskerroin on myös luonnollisesti 1. Konsepteissa arvioidaan, että ruokavaunujen keräämiseen keittiöltä ja niiden jättäminen osastoille kestää molemmissa 60 s.

Kirjoittajan mielestä kylmäkuljetuksien toiminta nykymallilla on hyvin toimivaa ja tehokasta, sen automatisointi olisi myös hyvin hankalaa ja toisi myös lisätehtäviä sairaanhoitohenkilökunnalle, ellei robotti osaisi itse purkaa lastiaan hajautetuilla osastoilla. Automatisointia hankaloittaa myös se, että vaunut pakataan siten että yksi häkki voi sisältää tuotteita usealle eri osastolle. Tämän vuoksi kirjoittaja ei suosittele kyseisen prosessin automatisointia. Kylmätuotteita kuljetetaan arkisin 12:00-14:00 välillä kahden logistikon toimesta, näihin kuljetuksiin varataan laskuissa arkisin 3 h 30 min, mikä vastaa noin 16 % koko ruokaprosessiin varatusta ajasta.

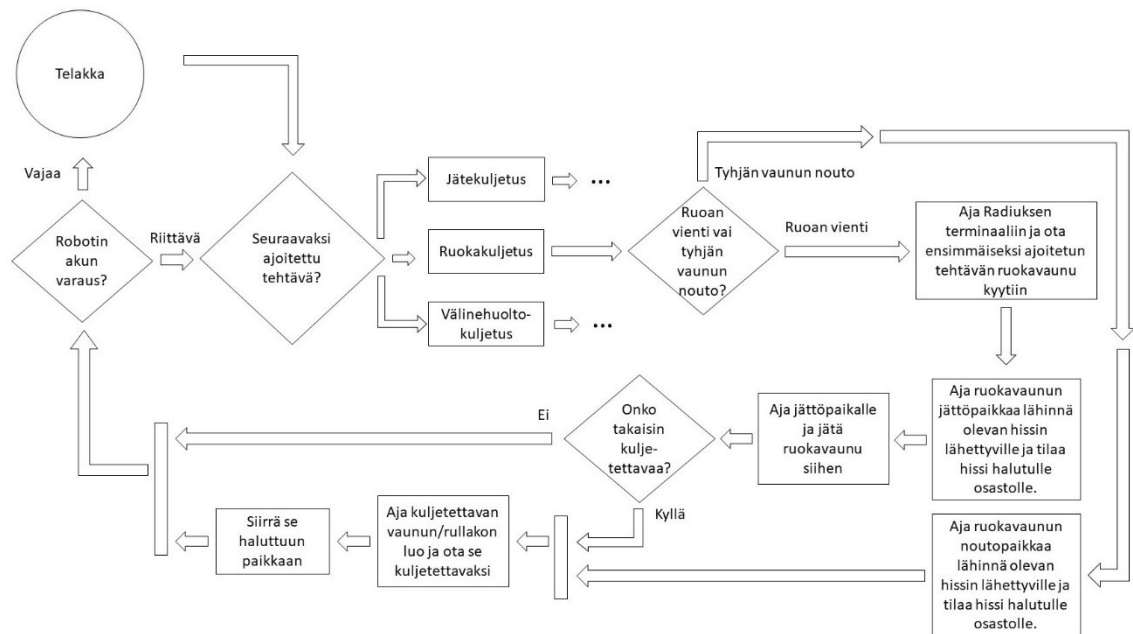
### **5.3.1 Konsepti 4: kuljetusrobotti**

Konseptissa robotti noutaa ruokavaunun suoraan keittiöltä ja kuljettaa sen kuvan 28 mukaisesti osastolle. Kun robotti on saapunut osastolle ja sijoittanut ruokavaunun paikalleen, se ilmoittaa siitä tekstiviestillä osastolle. Viestissä kerrotaan, että ruokavaunu on toimitettu ja voidaan kytkeä pistorasiaan lämmitystä varten. Vaunujen palautus tapahtuu kappaleessa 5.3 mainitulla tavalla.

Tässä konseptissa ateriakuljetustehtävät suoritetaan kokonaan robottien toimesta ja kylmäkuljetukset suoritetaan logistikkojen toimesta. Tämän konseptin robotiikan mahdollistama säästöpotentiaali on siis 84 %.

Prosessin kiireisimmät ajat ovat lounaan ja päivällisen kuljetuksen ajat, koska näiden yhteydessä vaunuja kuljetetaan kahteen suuntaan. Molempien, lounaan ja päivällisen kuljettamiseen on siis laskettu 1 h 45 min. Lasketaan yhden aterian kuljettamiseksi va-

ratun ajan mukaan tunnissa suoritettavien tehtävien määrä sijoittamalla kaavaan 3 jatkokuljetuskertoimeksi 2. Saadaan 3,5 käyntiä 0,76 m/s kulkevalla robotilla ja 7,1 käyntiä 2 m/s kulkevalla robotilla. Kappaleessa 0 esitetyn kaavan 1 sijoittamisen ja ylöspäin pyöristämisen jälkeen saadaan 2 m/s kulkevien robottien tarvemääräksi 9 ja 0,76 m/s kulkevien robottien tarvemääräksi 17.



**Kuva 28.** Ruoankuljetuskonseptin 4 periaatekaavio.

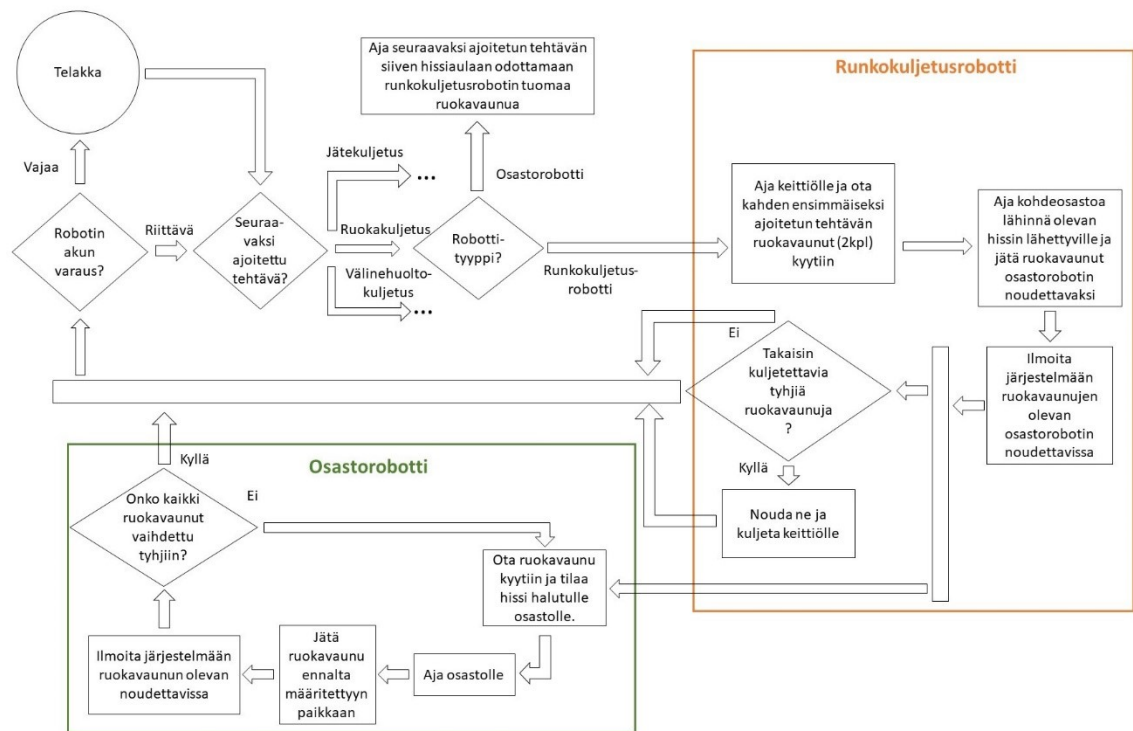
### 5.3.2 Konsepti 5: runkokuljetus-osastorobotti hybridi

Tämä konsepti on pääosin sama kuin konsepti 4, sillä erolla että tässä konseptissa käytetään kahdenlaisia robotteja suorittamaan kuljetuksia. Kuljetuksia hoitaa maksimissaan 2 ruokavaunua kerralla kuljettava runkokuljetusrobotti, joka liikkuu ainoastaan yhdyskäytävillä. Konseptissa runkokuljetusrobotin kanssa toimii vaunuja ja rullakoita yhdyskäytäviltä osastoille ja toisinpäin, yksitellen kuljettava osastorobotti. Säästöpotentiaali on myös sama kuin konseptissa 4, eli 84 %. Kuvassa 29 kuvataan konseptin periaatekaavio.

Robottien tarpeen laskeminen menee samalla tavalla kuin kappaleessa 5.3.1. Eli ensin lasketaan kuinka monta käyntiä kukin robottityyppi ehtii tekemään tunnin aikana. Kun käyntimäärät ovat tiedossa, voidaan niiden laskea robottien tarpeen määrä. Runkokuljetusrobottien suorittamien ruokakuljetuksien yhdensuuntainen matka yhdyskäytävillä on noin 50 metriä lyhempi kuin kokonaismatka, eli 372 metriä. Tämä osuus voidaan kulkea aina suuremmalla nopeudella, pysähtymiskertoimeksi arvioidaan 0,8. Kahta

vaunua kerralla kuljettavan runkokuljetusrobotin maksiminopeus on 1,4 m/s. Osastorobotille jää kuljettavaksi 50 metriä.

Kun edellä mainitut arvot sijoitetaan kappaleessa 0 esiteltyyn kaavaan 3 saadaan selville, että runkokuljetusrobotti ehtii suorittamaan 18,4 käyntiä tunnin aikana ja 0,76 m/s kulkeva osastorobotti 12,8 käyntiä, sekä 2 m/s kulkeva robotti 16,5 käyntiä. Nyt lasketaan robottien määrä kaavalla 1. Sijoitetaan ensin edellä mainitut arvot kaavaan ja pyöristetään tulos ylöspäin, saadaan 2 m/s kulkevien osastorobottien tarpeen lukumääräksi 4, 0,76 m/s kulkevien osastorobottien tarvemääräksi 5 ja 1,4 m/s kulkevien runkokuljetusrobottien tarvemääräksi 4.



Kuva 29. Ruoankuljetuskonseptin 5 periaatekaavio.

### 5.3.3 Konsepti 6: logistikko-osastorobotti hybridi

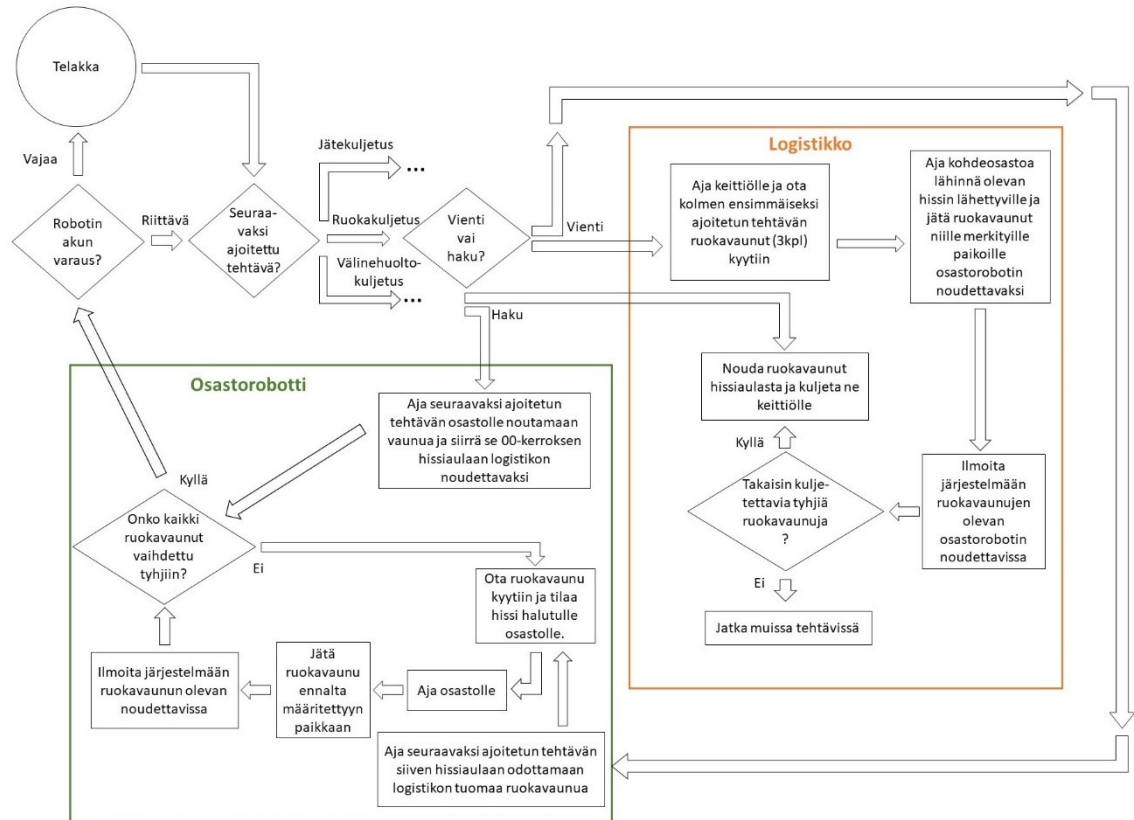
Tämän konseptin idea on sama kuin konseptissa 5, sillä erolla että runkokuljetusrobotin sijasta runkokuljetuksia hoitaa logistikko. Osastorobotit kuljettavat ruokavaunut 00-kerroksesta osastoille kuten edellisessä konseptissa. Kuvassa 30 kuvataan konseptin periaatekaavio.

Logistikko vetää vetotrukin perässä suuntaansa 3 ruokavaunua maksiminopeudella 2,5 m/s. Logistikon ei tarvitse hidastella yhdyskäytävillä juurikaan, pysähtymiskertoimeksi asetetaan 0,8. Vaunujen kiinnitys ja irrotus ottaa noin minuutin alkua- ja loppupisteessä. Sijoitetaan luvut kaavaan 3 ja saadaan selville, että logistikko ehtii kuljettamaan 43,9



ruokavaunua tunnissa jatkokuljetuskertoimella 2. Tämä tarkoittaa sitä, että yksi logistikko ei ehdi kuljettamaan kaikkia ruokavanuja annetussa ajassa (1 t 45 min). Vaan tehtävässä tarvitaan toisen logistikon työpanos noin 30 min ajaksi. Yhteenlaskettuna tämä tarkoittaa 6 h 45 min työpanosta, taukoineen lasketaan työpäivän tunnit.

Tämän konseptin robotiikan mahdollistama säästöpotentiaali on täten noin 50 % työvoimakustannuksista. Osatorobottien tarvemäärä on sama kuin konseptissa 5, eli 4 kappaletta 2 m/s kulkevaa robottia ja 5 kappaletta 0,76 m/s kulkevaa robottia.

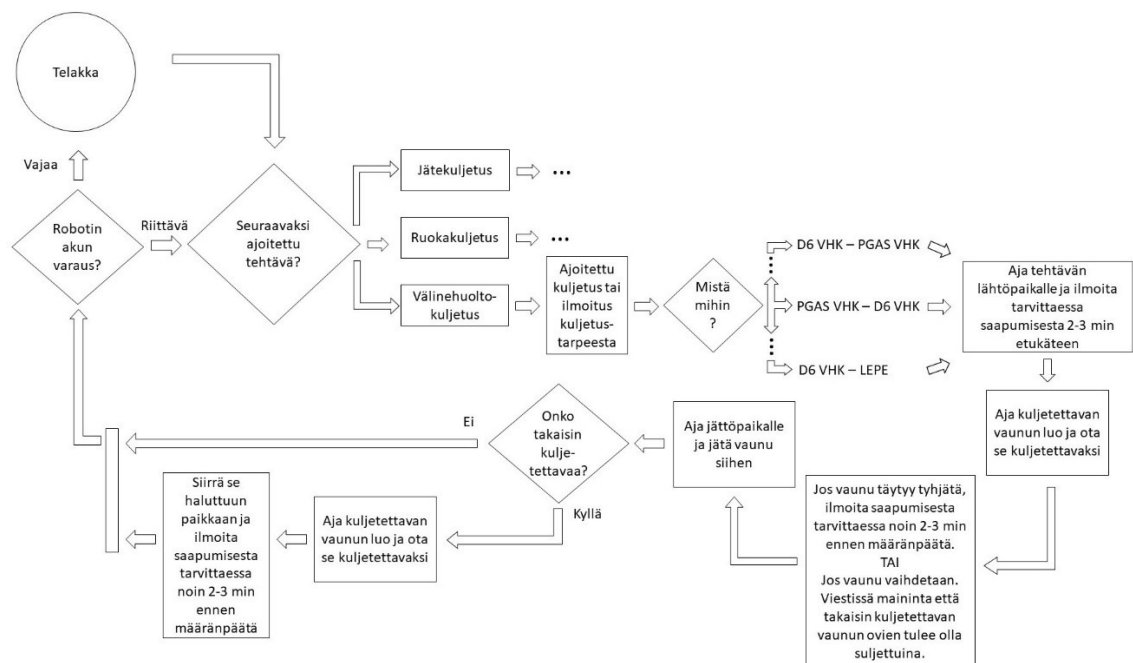


**Kuva 30. Ruoankuljetuskonseptin 6 periaatekaavio.**

## 5.4 Välinehuoltokonseptit

Välinehuoltokuljetusprosessi esiteltiin kappaleessa 4.4.3, tässä kappaleessa esitetään kolme erilaista konseptia prosessin osittaiseksi automatisoimiseksi. Ensimmäisessä konseptissa kuljetuksen tilausjärjestelmän avulla pyritään vähentämään ylimääräisiä käyntejä. Toisessa konseptissa kuljetukset ovat ajoitettuja kuten nykyisin. Kolmannes konsepti on muuten samanlainen kuin ensimmäinen, sillä erolla että konseptissa ehdotetaan mobiilikäsivarsirobotin käyttämistä asiakkaan ajan säästämiseksi osassa välinehuoltokuljetuksien vastaanottoa ja pakkaamista.

Välinehuoltokuljetusprosessiin allokoitetaan 6 t 6 min vuorokausittain prosesseille allokoitusta ajasta. Työssä arvioidaan, että robotiikan mahdollistama säästöpotentiaali välinehuoltoprosessissa on 75 % työvoimakustannuksista. Muista prosesseista poiketen, välinehuoltoprosessin periaatekaavio esitetään kuvassa 31 yhtenäisenä kaikille konsepteille, niiden pienien erojen vuoksi. Lyhykäisyydessään parvenhallintajärjestelmä ilmoittaa robotille kuljetustehtävästä, robotti ajaa lähtöpisteen ja noutaa esimerkiksi puhdistetut ja pakatut instrumentit, pakattuna kuljetusvaunuun. Minkä jälkeen robotti kuljettaa vaunun osastolle ja ilmoittaa tarpeen vaatiessa henkilökunnalle saapumisestaan etukäteen. Poistuessaan robotti kuljettaa mahdollisuuksien mukaan likaiset instrumentit takaisin välinehuoltokeskukseen puhdistettavaksi. Konsepteissa arvioidaan, että vaunun kerääminen ja jättäminen kestää 60 s.



**Kuva 31.** Välinehuoltokuljetusprosessin periaatekaavio.

### 5.4.1 Konsepti 7: kuljetuksen tilaus napilla

Tässä konseptissa hyödynnetään kuljetuksen tilausjärjestelmää, jolla pyritään vähentämään mahdollisia turhia ”tarkastuskäyntejä” osastoilta. Kirjoittaja arvioi prosessiin tutustumisen perusteella, että toimintaa on mahdollista tehostaa noin 20 % muuttamalla osan ajoitetuista tehtävistä tilattaviksi, koska tutustumisen aikana osastoilla oli useita käyntejä, jolloin ei ollut mitään kuljetettavaa. Konseptissa tilaukset suoritetaan helposti ja nopeasti nappia painamalla. Käyntien vähentäminen vähentää myös liikennettä käytäviltä. Koska prosessiin tutustuminen tehtiin yhden päivän aikana, on mahdollista, että vallinneen epidemiatilanteen vuoksi konseptilla tehtävä ”tarkastuskäyntien” määrän vähentäminen ei ole todellista normaalitilanteessa.

Prosessissa on mukana myös yksi logistikko arkisin yhden työpäivän panoksella, jonka osuus nykyisin tehtävien määrästä on noin 25 %. Vähennetään 170 käynnistä tuo 25 % osuus, jäljelle jää 128 käyntiä. Joista vähennetään aiemmin mainitun prosessin tehostamisen 20 % käynneistä, näin ollen roboteille jää tehtäväksi arkisin 103 käyntiä. Lasketaan kappaleessa 0 esitetyn kaavan 1 avulla kahden eri nopeuksisen robotin tarve, joiden maksiminopeudet ovat 2 m/s ja 0,76 m/s. Kaavaan 1 sijoittamisen ja ylöspäin pyöristämisen jälkeen saadaan 2 m/s kulkevien robottien tarvemääräksi 3 ja 0,76 m/s kulkevien robottien tarvemääräksi 5.

#### **5.4.2 Konsepti 8: ajoitetut kuljetukset**

Prosessi pysyy nykykäytännön mukaan ajoitettuna. Mikä tarkoittaa 128 välinehuoltokuljetuskäyntiä konseptissa 7 mainitun logistikon suorittamien käyntien lisäksi. Kuten edellä tehdään esimerkkilaskelma kahdella eri nopeuksisella robotilla. Kappaleessa 0 esitetyn kaavan 1 sijoittamisen ja ylöspäin pyöristämisen jälkeen saadaan 2 m/s kulkevien robottien tarvemääräksi 3 ja 0,76 m/s kulkevien robottien tarvemääräksi 6.

#### **5.4.3 Konsepti 9: tilaus napilla ja mobiili käsivarsirobotti**

Tässä konseptissa hyödynnetään konseptissa 7 mainittua kuljetuksien tilausjärjestelmää, sekä mobiilirobotin päälle asennettua käsivarsirobottia, joka purkaa ja/tai pakkaa kuorman valituissa kohteissa. Näissä laskelmissa käsivarsimobiilirobottia hyödynnettäisiin kuitenkin vain yhdessä välinehuoltokeskuksessa. Kuljetuksia suorittavien robottien tarvemäärä ei kuitenkaan muutu ja on sama kuin konseptissa 7.

## 6. KONSEPTIEN ARVIOINTI

Tässä luvussa arvioidaan luvussa 5 esitellyt konseptit. Konseptit arvioidaan ensin karkeasti kappaleessa 2.2.2 esitellyllä liiketoiminnan vaikutusanalyysillä. Tämän jälkeen määritellään kappaleessa 2.2.1 mainittu hyväksymisasteikko samassa kappaleessa kuvaillulle konseptien arvoanalyysille, joiden perusteella konseptit pisteytetään. Kun konseptit on pisteytetty, jokaisesta prosessista valitaan paras. Minkä jälkeen parhaat konseptit yhdistetään yhtenäisempään muotoon ja niille tehdään liiketoiminnan vaikutusanalyysi uudelleen.

### 6.1 Liiketoiminnan vaikutusanalyysi

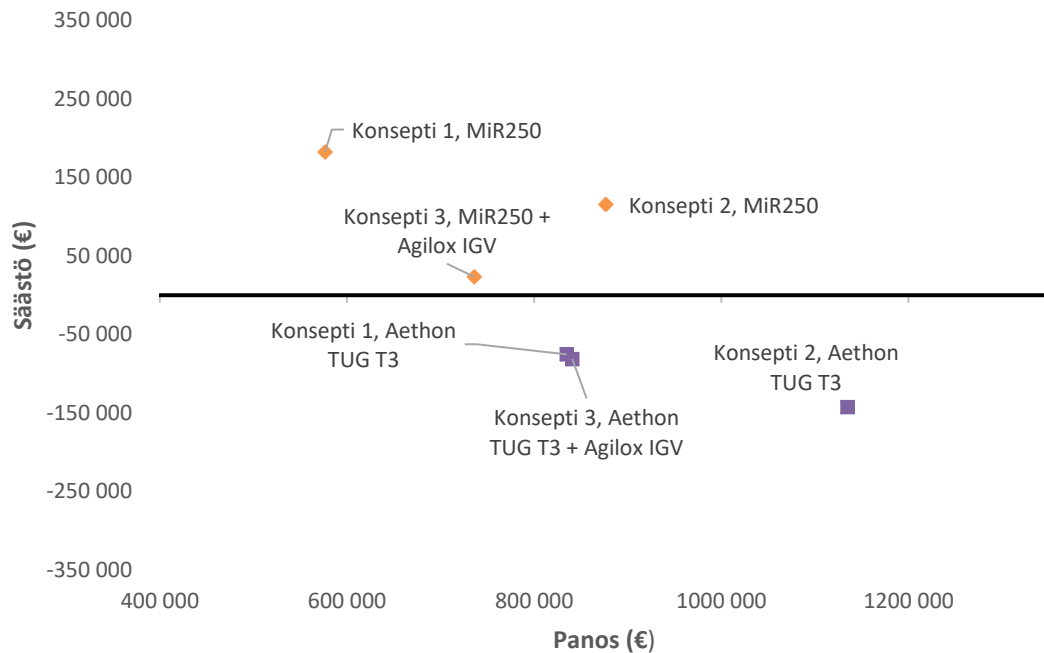
Tässä kappaleessa konsepteille tehdään karkea konseptikohtainen liiketoiminnan vaikutusanalyysi prosesseittain. Jolloin takaisinmaksuaikojen ja muiden lukujen vertailu prosessien sisällä on helpompaa. Analyysin konseptikohtaiset tulokset sijoitetaan panos-säästö kenttään ja lopuksi esitetään arvioidut takaisinmaksuajat eri konsepteille. Laskelmat perustuvat kappaleessa 5.1 mainittuihin oletuksiin ja kappaleessa 4.3 esiteltyihin vuotuisiin prosessien kustannuksiin. Kappaleessa käytettävä analyysi esiteltiin kappaleessa 2.2.2.

#### 6.1.1 Jätekonseptit

Jätekuljetusprosessi on työvoimakustannuksiltaan samansuuruinen kuin ruokakuljetusprosessi, mutta hieman suurempi kuin välinehuoltokuljetusprosessi. Investointikustannuksiltaan se on kuitenkin hieman korkeampi kuin muut tarkasteltavat prosessit. Jäteprossin robottien tarve konsepteissa näkyy eri nopeuksilla ja hintaisilla robottimalleilla kuvan 32 säästö-panos kentässä siten, että nopeammat ja myös edullisemmat robottimallit maksavat itsensä takaisin viiden vuoden sisällä. Toisin kuin niiden hintavammat ja hitaammat verrokkit.

Kun tarkastellaan kuvan 33 vaaka-akselia huomataan, että konseptin 2 (automatisoitu jäteasema) jäteaseman modernisointi nostaa konseptin molempien versioiden investoinnin jätekonseptien korkeimmiksi. Mielenkiintoista on kuitenkin se, että jos tarkastellaan kuvan 33 takaisinmaksuaikoja, huomataan että konseptin 2 edullisempi versio mahdollistaa suurimman säästöpotentiaalin, jos niitä tarkastellaan riittävän pitkällä aikavälillä. Tämä johtuu siitä, että konseptin 2 alkuinvestointi näkyy pitkänä takaisinmaksuaikana, mutta matalampien työvoimakustannuksien muodossa säästöt nähdään

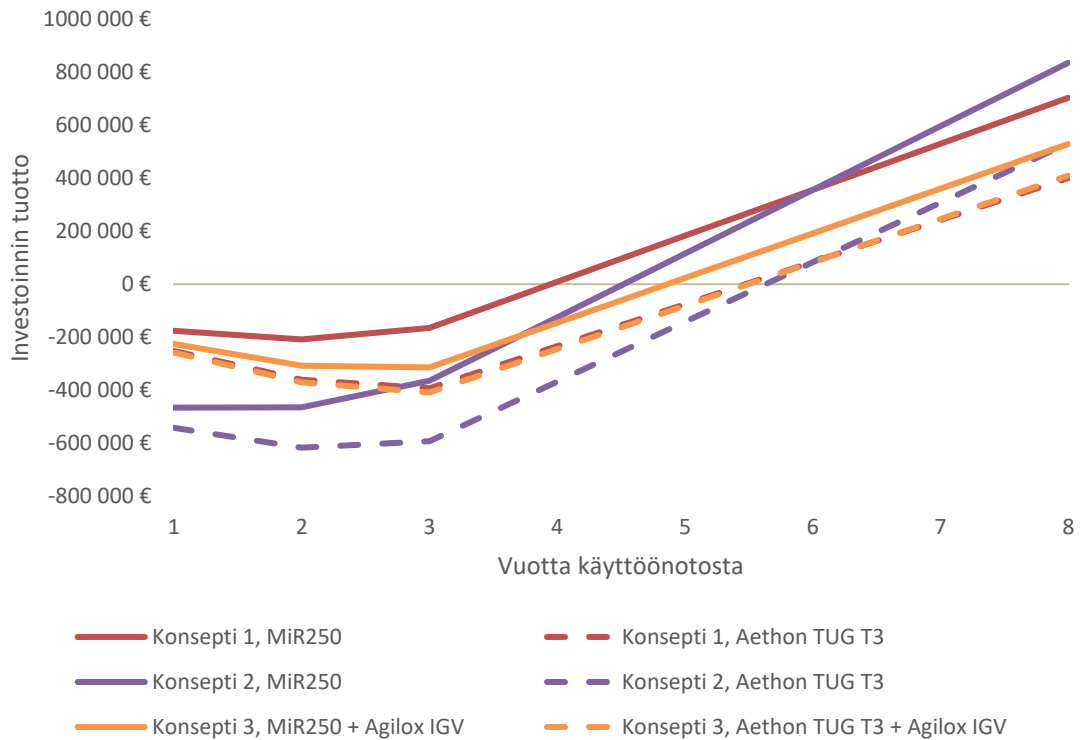
vasta myöhemmin. Mutta ei ole kuitenkaan selvää onko konseptin 2 automatisoidun jäteaseman toiminta riittävän autonomista ja luotettavaa.



**Kuva 32.** Robotti-investoinnin säästö-panos vaikutukset jätekuljetusprosessiin viiden ensimmäisen vuoden aikana.

Kuvan 33 pysty-akselilla nähdään, että kaksi suurinta investointia erottuvat selvästi verrokeistaan korkeampien alkuinvestointien vuoksi. Muiden vaihtoehtojen alkuinvestoinnit ovat suhteellisen lähellä toisiaan. Konsepti 1 (jäteaseman hoitaja) edullisempi vaihtoehto erottuu kuvan 33 pystyakselilla. Konsepti 1 erottuu myös edullisimpana vaihtoehtona säästö-panos kuvaajassa, mahdollistaen suurimmat säästöt pienimmällä panoksella. Sama asia voidaan todeta kuvan 33 takaisinmaksukuvaajassa, konseptin 2 ollessa ainut suuremmat säästöt pidemmällä aikavälillä mahdollistava konsepti. Analyysin mukaan kaikki konseptit maksavat itsensä takaisin 3,8 – 5,5 vuoden aikana.

Kuvan 33 vasemmassa reunassa nähdään kaikkien konseptien kohdalla investoinnin positiivinen kehitys kolmen ensimmäisen vuoden aikana, minkä jälkeen kehitys tasaantuu. Kehitys johtuu askeleittaan pienenevistä työvoimakustannuksista ja siitä että myös investointi lasketaan tasaisesti kolmen ensimmäisen vuoden ajalle. On kuitenkin tärkeää muistaa, että kuvan 33 kustannuksista suurin osa syntyy edelleen kappaleessa 5.2 mainituista työvoimakustannuksista.



**Kuva 33.** Jättekuljetuskonseptien takaisinmaksuajat eri robottimalleilla.

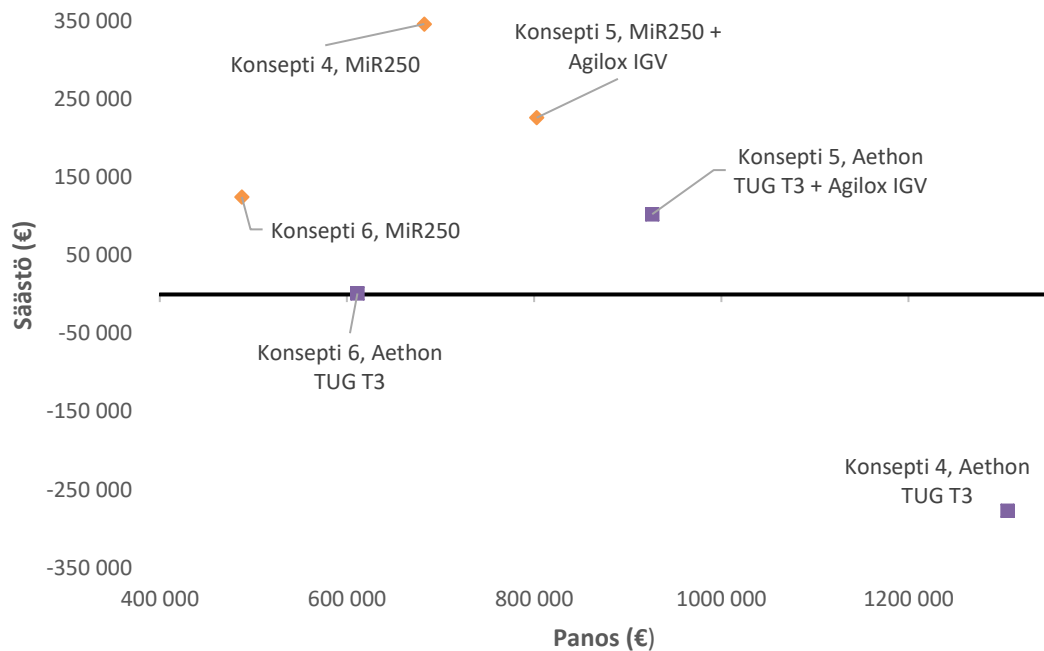
### 6.1.2 Ruokakonseptit

Logistikot vetävät nykykäytännön mukaan maksimissaan kolmea ruoankuljetusvaunua vetotrukillla. Kun huomioon otetaan, että ruoankuljetusprosessin keskimääräinen yhdensuuntainen matka on merkittävästi pidempi kuin muiden tarkasteltavien prosessien. Ja että useimmat robottimallit pystyvät kuljettamaan ainoastaan yhtä vaunua kerrallaan, tullaan konseptin 4 (kuljetusrobotti) kaltaiseen tilanteeseen. Jossa erityisesti hitaampien robottien tarve kaksinkertaistuu suhteessa nopeampien robottien tarpeeseen. Tämä tarve nähdään kuvassa 34 verrattavien konseptien korkeimpana panoksena ja matalimpana säästöpotentiaalina.

Kuvan 35 mukaan konseptin 4 hitaammalla robottivaihtoehdolla on myös verrokkien piisin takaisinmaksuaika. On kuitenkin hyvin mielenkiintoista nähdä, että konseptin 4 nopeammalla robottimallilla saavutetaan ruokakonseptien suurin säästöpotentiaali. Mutta toisin kuin jäteprosesseissa, suurinta säästöpotentiaalia ei saavuteta pienimmällä panoksella. Ruokaprosessin keskimääräiset investointikustannukset ovat tarkasteltavien prosessien keskiluokkaa. Lähes kaikki prosessin konseptit maksavat itsensä takaisin 5 vuoden aikana.

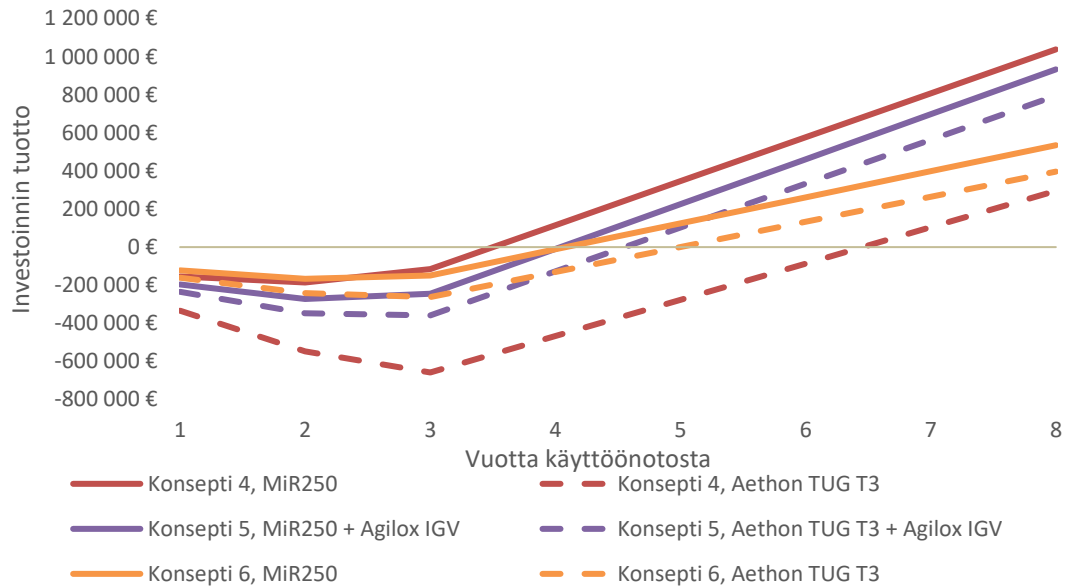
Kuten jäteprosessissa, myös ruokaprosessissa on nähtävissä samankaltainen trendi nopeampien ja hitaampien robottien välillä. Nopeampia robotteja tarvitaan vähemmän

ja ne maksavat itsensä nopeammin takaisin, myös sen takia että nopeammat robotit ovat edullisempia.



**Kuva 34.** Robotti-investoinnin säästö-panos vaikutukset ruokakuljetusprosessiin viiden ensimmäisen vuoden aikana.

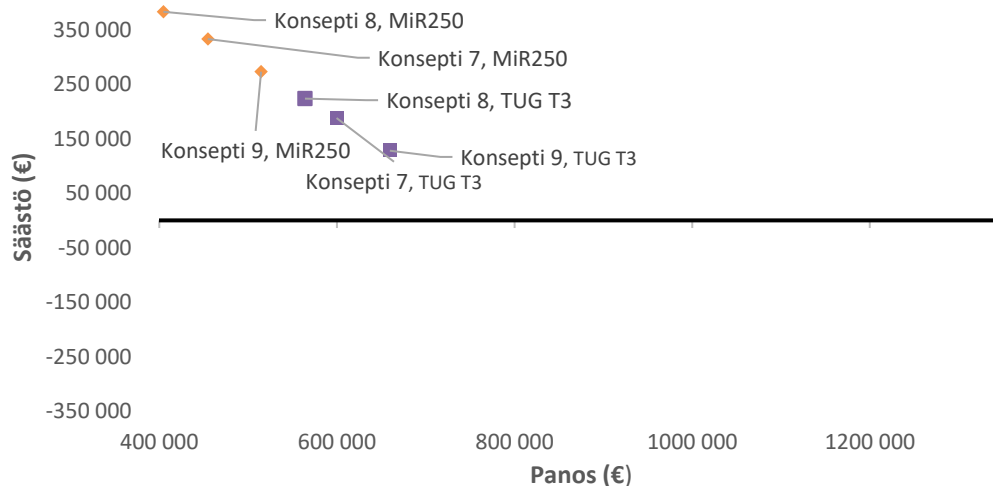
Kuvan 35 vasemmassa reunassa nähdään, että konseptien alkuinvestoinnit ovat kohtalaisen lähellä toisiaan, lukuun ottamatta konseptin 4 hintavampaa vaihtoehtoa. Kuvajasssa nähdään myös, että konseptin 6 (logistikko-osastorobotti hybridi) edullisempi vaihtoehto vaatii matalimman alkuinvestoinnin. Suurempien työvoimakustannuksien muodossa sen takaisinmaksuaika kuitenkin pitkittyy hieman, samalle tasolle konseptin 5 (runkokuljetus-osastorobotti hybridi) kanssa. Tässä välissä on hyvä muistuttaa, että konseptien 5 ja 6 suurin ero on automatisoinnin taso, konseptissa 5 se on 34 % korkeampi. Kuvasta 35 voidaan todeta myös, että tarkasteltaessa investoinnin kehitystä pitkällä aikavälillä, konseptin 6 molemmat vaihtoehdot mahdollistavat pienimmät säästöt. Sijoittaminen konseptiin 6 voidaan nähdä matalimman panoksen vuoksi riskittömimpänä vaihtoehtona. Myös siksi että konseptin 6 toimintaperiaate on samankaltaisin nykykäytäntöön verrattuna ja todennäköisesti se myös mahdollistaa ruokaprosessin konseptien korkeimman toimintavarmuuden.



**Kuva 35.** Ruokakuljetuskonseptien takaisinmaksuajat eri robottimalleilla.

### 6.1.3 Välinehuoltokonseptit

Välinehuoltokuljetusprosessin investointikustannukset ovat tarkasteltavien prosessien pienimmät. Kuten kuvasta 36 nähdään, konseptien mukaiset automatisoinnit ovat myös kustannuksiltaan suhteellisen samankaltaisia ja maksavat itsensä takaisin alle 5 vuoden aikana. Verrattaessa muihin tarkasteltaviin prosesseihin, välinehuolto prosessi myös mahdollistaa keskimääräistä korkeamman säästöpotentiaalin.

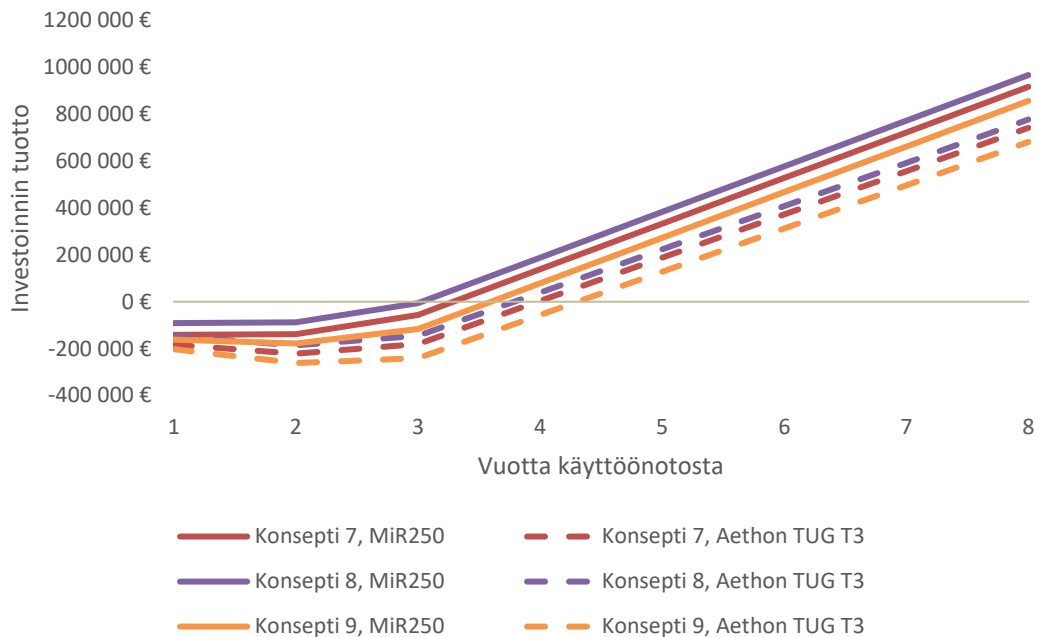


**Kuva 36.** Robotti-investoinnin säästö-panos vaikutukset välinehuoltokuljetusprosessiin viiden ensimmäisen vuoden aikana.

Kuvasta 37 voidaan tulkita, että välinehuoltokonseptien investoinnin takaisinmaksu on suoraviivaisempaa kuin muissa prosesseissa. Pienimmällä investoinnilla saavutetaan



lyhin takaisinmaksuaika ja korkeimmalla investoinnilla pisin takaisinmaksuaika. Tämä johtuu siitä, että prosessin konsepteissa ei ole suuria eroja. Erot vaikuttavat kuitenkin merkittävästi asiakkaan suorittamiin tehtäviin. Analyysissä on kuitenkin huomioitu ainoastaan kustannustehokkuuden suora vaikutus sisäisen logistiikan toimintoihin. Eikä esimerkiksi konseptin 9 (tilaus napilla ja mobiili käsivarsirobotti) laskuissa ei ole huomioitu asiakkaan mahdollistamia ajallisia säästöjä.



**Kuva 37.** Välinehuoltokuljetuskonseptien takaisinmaksuajat eri robottimalleilla.

## 6.2 Arvoanalyysi

Tässä kappaleessa esitetään arvoanalyysin tunnistetut ominaisuudet, minkä jälkeen konseptit arvostellaan sanallisesti prosesseittain. Lopuksi esitetään arvoanalyysin arvosteluasteikko. Arvoanalyysi esiteltiin kappaleessa 2.2.1. Analyysi perustuu kappaleessa 5.1 mainittuihin oletuksiin ja kappaleen 6.1 liiketoiminnan vaikutusanalyysin tuloksiin.

Konseptien arvioinnissa käytettävät ominaisuudet tunnistettiin pienen työryhmän sisällä, joka koostui Tuomi Logistiikan logistiikkajohtajasta, kehityspäälliköstä, kehitysvastaavasta ja allekirjoittaneesta. Työryhmässä arvioitiin myös ominaisuuksien painoarvoja. Ominaisuuksia suunniteltaessa pyrittiin tunnistamaan ominaisuuksia, jotka tuovat asiakkaan näkökulman parhaiten esiin.

Työryhmä päätyi valitsemaan seuraavat ominaisuudet konseptien tarkasteluun; toimintavarmuus, käyntien määrä, tauoton toiminta, kokonaisinvestointi, asiakkaan täsmällisyys ja tehtävämäärä, inframuutosvaatimukset ja joustavuus. Ominaisuudet kuvataan

ensin sanallisesti, minkä jälkeen esitetään taulukon 12 pääosin subjektiivinen ja osittain objektiivinen arvosteluasteikko. Taulukon ominaisuuksien pisteytyskriteereillä pyritään mahdollisimman selkeään ja tasavertaiseen pisteytykseen.

### **6.2.1 Arvoanalyysin ominaisuudet**

*Toimintavarmuus* kriteeri ottaa kantaa siihen miten varmatoiminen järjestelmä on. Toimintavarmuutta huonontaa työvaiheiden, teknisten komponenttien ja prosessin tarpeeton monimutkaistaminen. Sitä taas parantaa kuljetustehtäviä suorittavien robottien ja logistikkojen määrä. Järjestelmä vaatii kuitenkin joustavan komponentin toimiakseen riittävällä toimintavarmuudella, työssä ehdotetaan, että joustava komponentti on logistikko.

*Käyntien määrällä* tarkoitetaan toimintatapojen muuttamisesta johtuvaa käyntimäärän muutosta. Esimerkkinä mainitaan kuljetuksien tilausjärjestelmä, joka karsii turhia käyn-  
tejä ja tilaa niitä vain tarpeen mukaan. Tilausjärjestelmä toimii itsenäisesti kuljetusjärjestelmän rinnalla.

*Tuoton toiminta* kuvaa prosessin suorittamisen aikaikkunan vaikutusta robottien käytösteeseen. Korkeammalla automaatioasteella voidaan laajentaa prosessin toiminta-aikaa ja nostaa käyttöastetta edelleen.

*Kokonaisinvestointi* keskittyy investoinnin suuruuteen konseptikohtaisesti.

*Asiakkaan täsmällisyydellä* haetaan toimintatapojen muutoksesta johtuvaa vaaditun tarkkuuden määrää. Esimerkiksi robottijärjestelmä vaatii hyvin tarkasti sijoitetut rullakot ja entistäkin vapaammat käytävät.

*Asiakkaan tehtävämäärä* edustaa toimintatapojen muutoksesta johtuvaa logistiikkatoimintoihin liittyvää asiakkaan suorittamaa tehtävämäärää. Esimerkiksi ajoitettu kuljetustehtävä vs. tilattu kuljetustehtävä; ensin mainitussa on yksi tehtävä vähemmän, jälkimmäisessä yksi tehtävä enemmän mutta vähentää turhia käyn-  
tejä.

*Takaisinmaksuaika* osoittaa konseptikohtaisen laskennallisen takaisinmaksuajan.

*Inframuutosvaatimukset* pyrkii vastaamaan minkälaisia inframuutoksia konseptit vaativat toimiakseen. Kaikki konseptit vaativat jonkin verran muutoksia, kuten etäohjattavat ovipumput ja hissit. Osa konsepteista vaatii myös prosessi- tai konseptikohtaisia inframuutoksia. Esimerkiksi: jäteprosessissa jäteaseman modernisointi on konseptikohtainen muutos ja 00-kerroksen jätehuoneiden modernisointi prosessikohtainen.

*Joustavuus* arvio logistikkojen ja robottien määrän vaikutusta järjestelmän joustavuuteen. Myös robottien ohjausjärjestelmä vaikuttaa suuresti järjestelmän joustavuuteen,

esimerkiksi jos järjestelmä pystyy jakamaan tehtävän robotille, joka on valmiiksi tehtävän alkupisteen lähellä tai priorisoimaan tärkeämmän tehtävän suoritettavaksi ensin.

Taulukko 12. *Konseptien pisteyttämiskriteerit. Kriteeri "i" tunnistettiin työn myöhemmässä vaiheessa, eikä sitä käytetä ensimmäisen vaiheen pisteytyksessä. Sen mukana oleminen ensimmäisessä vaiheessa ei olisi kuitenkaan muuttanut voitaneita konsepteja*

	Pistettä:	5	4	3	2	1
a	<b>Konseptin vaikutus toimintavarmuuteen:</b>	Järjestelmä voidaan arvioida toimivan varmasti, se on yksinkertainen ja siinä on joustava komponentti	Järjestelmä on suhteellisen yksinkertainen ja siinä on joustava komponentti	Järjestelmä on suhteellisen monimutkainen, mutta siinä on myös joustava komponentti	Järjestelmä on monimutkainen	Järjestelmä on erittäin monimutkainen
b	<b>Toimintatapojen vaikutus käyntimääriin:</b>	Toimintatapojen muutos laskee huomattavasti käyntimääriä	Toimintatapojen muutos tiputtaa hieman käyntimääriä	Toimintatapojen muutos ei vaikuta käyntimääriin	Toimintatapojen muutos nostaa hieman käyntimääriä	Toimintatapojen muutos nostaa huomattavasti käyntimääriä
c	<b>Toiminta-aika:</b>	Ympäri vuorokautinen toiminta	Laajempi toiminta-aika	Hieman laajempi toiminta-aika	Toiminta-aika pysyy ennallaan	Toiminta-aika kutistuu
d	<b>Investoinnin suuruus:</b>	Keskimääräistä huomattavasti pienempi	Keskimääräistä hieman pienempi	Keskimääräinen	Keskimääräistä hieman korkeampi	Keskimääräistä huomattavasti suurempi
e	<b>Asiakkaan täsmällisyys:</b>	Vaatii huomattavasti vähemmän huomiota	Vaatii hieman vähemmän huomiota	Ei vaadi enemmän tai vähemmän huomiota kuin nyky-malli	Vaatii hieman enemmän huomiota	Vaatii enemmän huomiota
f	<b>Tehtävämäärän muutos:</b>	Vähenee huomattavasti	Vähenee hieman	Pysyy ennallaan	Kasvaa hieman	Kasvaa huomattavasti
g	<b>Takaisinmaksu-aika vuosina:</b>	2,5-2,9	3,0-3,4	3,5-3,9	4,0-4,4	4,5-4,9
h	<b>Inframuutoksen tarve:</b>	Huomattavasti vähemmän inframuutoksia (pystyy avaamaan ovet autonomisesti ilman inframuutoksia)	Hieman vähemmän muutoksia (pystyy ohjaamaan hissiä autonomisesti ilman inframuutoksia)	Vähimmäismuutokset	Hieman enemmän kuin vähimmäismuutokset	Huomattavasti enemmän kuin vähimmäismuutokset
i	<b>Joustavuus:</b>	Robotteja ja logistikkoja on vähimmäismäärää enemmän ja ohjausjärjestelmä on joustavampi	Robotteja ja logistikkoja on hieman vähimmäismäärää enemmän tai ohjausjärjestelmä on hieman joustavampi	Robotteja ja logistikkoja on vähimmäismäärää ja ohjausjärjestelmä ei ole erityisen joustava eikä jäykkä	Robotteja ja logistikkoja on alle vähimmäismäärän tai ohjausjärjestelmä on jäykkä	Robotteja ja logistikkoja on alle vähimmäismäärän ja ohjausjärjestelmä on jäykkä

## 6.2.2 Jätekonseptit

**Konsepti 1: jäteaseman hoitaja** on suhteellisen yksinkertainen, jossa käyntimäärien voidaan arvioida pysyvän ennallaan. Robotisoinnissa jäteprosessi laajenee lähtökohtaisesti ympärivuorokautiseksi. Konseptin vaatima investointi on keskimääräinen, takaisinmaksuaika 3,8 vuotta ja asiakkaalta vaadittu tehtävämäärä pysyy ennallaan. Konseptissa jäteaseman hoitaja voi korjata lajitteluvirheitä jäteasemalla, vaunujen paikalle sijoittaminen vaatii kuitenkin enemmän huomiota asiakkaalta kuin nykymalli. Laaja ympärivuorokautinen toiminta vaatii muutoksia myös yhdyskäytävien jätekuiluihin automatisoinnin mahdollistamiseksi, sillä ne ovat yleensä ahtaita ja sokkeloisia, eivätkä jätteet ja likapyykit mene vanhimmissa kuiluissa suoraan vaunuihin vaan monesti logistikko joutuu keräämään ne lattialta tai tasanteelta. Yhdyskäytävien jätekuilujen modernisointi-investointeja ei ole huomioitu laskelmissa ja niiden tarpeiden ja kustannuksien määrittely vaatii jatkotutkimuksen. Kuilujen modernisointi-investoinnit jätetään laskujen ulkopuolelle siksi että kaikki jätekuilut ovat erilaisia ja osa niistä mahdollisesti korvataan uudemmissa rakennuksissa jo käytössä olevalla roskien alipainekuljetusjärjestelmällä.

**Konsepti 2: automatisoitu jäteasema** on muutamaa kohtaa lukuun ottamatta sama kuin konsepti 1. Konseptissa 2 jäteasema automatisoidaan, joka lisää järjestelmän monimutkaisuutta merkittävästi ja nostaa sekä investointimäärää että takaisinmaksuaikaa huomattavasti. Automaation lisääminen vähentää myös prosessin joustavuutta jonkin verran, sillä väärin lajiteltua jätettä ei tarkisteta kuten konseptissa 1. Jäteaseman automatisointi mahdollistaa kuitenkin aidon ympärivuorokautisen ja -vuotisen toiminnan, sekä takaa että jätevaunuja ja -rullakkoja on riittävästi kaikkina vuorokaudenaikoina.

**Konsepti 3: runkokuljetus-osastorobotti hybridi** on kuljetuksia suorittavia robottien tyyppisiä lukuun ottamatta sama kuin konsepti 1. Robottityyppien lisääminen prosessiin lisää kuitenkin työvaiheita prosessiin ja tekee sen edelleen monimutkaisemmaksi. Konseptin takaisinmaksuaika ja investointikustannukset ovat myös keskimääräistä korkeampia.

## 6.2.3 Ruokakonseptit

**Konseptissa 4: kuljetusrobotti** käytettävä yksi robottityyppi pitää järjestelmän mahdollisimman yksinkertaisena. Robotti-investoinnista johtuvat käyntimäärät ja suoritus-aika ennakoidaan pysyvän ennallaan, robotti-investoinnista riippumattoman keittiömuutoksen myötä käyntimäärät kuitenkin tippuvat jonkin verran ja suoritus-aika laajenee hieman toimintatapojen muutoksen myötä. Ruokavaunujen oikealle paikalle järjestäminen vaatii asiakkaalta jonkin verran enemmän huomiota kuin nykymallissa. Asiakkaalle

tulee myös yksi tehtävä lisää, ruokavaunun kytkeminen pistorasiaan osastolla sen lämmitystä varten ja ruokailun jälkeen se poiskytkeminen. Keittiön hieman syrjäisestä sijainnista johtuvat pidemmät kuljetusmatkat peilautuvat yhtä ruokavanua kerralla kuljetavien robottien määrään ja edelleen niiden vaatimiin investointikustannuksiin. Korkeitten logistikkojen työvoimakustannuksista tehtävien säästöjen takia takaisinmaksuaika pysyy kuitenkin hyvin kilpailukykyisenä. Konsepti ei vaadi lisäinvestointeja infraan.

**Konsepti 5: runkokuljetus-osastorobotti hybridi** on kuljetuksia suorittavia robottien tyyppejä lukuun ottamatta sama kuin konsepti 4. Robottityyppien lisääminen prosessiin lisää kuitenkin työvaiheita prosessiin ja tekee sen edelleen monimutkaisemmaksi. Runkokuljetusrobottien korkean rahallisen arvon vuoksi myös investointi kasvaa huomattavasti ja takaisinmaksuaika pitenee. Konsepti vaatii myös vaunun vaihtopisteitä runko- ja osastorobottien välille hissiaulojen läheisyyteen.

**Konsepti 6: logistikko-osastorobotti hybridi** ero konsepti 5:een on logistikon käyttö runkokuljetusrobotin sijasta. Logistikko osana prosessia tuo siihen joustavuutta. Konseptin vaatima investointi on matalampi kuin verrokeissa, takaisinmaksuaika kuitenkin pitenee matalampien työvoimakustannuksista tehtyjen säästöjen vuoksi.

#### 6.2.4 Välinehuoltokonseptit

**Konsepti 7: kuljetuksen tilaus napilla** kuljetuksen erikseen tilaaminen monimutkistaa prosessia hieman ja lisää yhden tehtävän asiakkaalle. Voidaan kuitenkin arvioida, että se tiputtaa käyntien määrää ja pienentää robottien tarvetta hieman. Konsepti mahdollistaa helposti tilattavat kuljetukset kaikkina kellonaikoina, vaarana on kuitenkin kuljetuksien kasaantuminen, koska töissä oleva henkilökunnan määräkään ei ole tasainen vuorokauden ympäri. Konseptin investointimäärä on keskimääräinen ja takaisinmaksuaika 3,3 vuotta. Tilauksen tekeminen manuaalisesti ja vaunujen oikeille paikoille järjestäminen vaatii hieman enemmän huomiota kuin nykymalli. Konsepti vaatii myös investoinnin kuljetuksien tilausjärjestelmään.

**Konsepti 8: ajoitetut kuljetukset** ajoitetut kuljetukset tuovat varmuutta päivittäin samaan aikaan tapahtuvien kuljetuksien vuoksi, niitä on myös tarpeellista mukauttaa tarpeen mukaan. Kuljetukset toimivat nykykäytännön mukaan ajoitetusti ja niiden määrän voidaan arvioida pysyvän ennallaan. Ajoittamalla kuljetukset, niiden suoritusajankohta voidaan pakottaa laajemmaksi. Konsepti vaatii keskimääräistä matalamman investoinnin. Muut kohdat vastaavat konseptia 7.

**Konsepti 9: tilaus napilla ja mobiili käsivarsirobotti** on käytännössä muuten sama kuin konsepti 7, sillä erolla että siinä ehdotetaan mobiilikäsivarsirobotin käyttöönotta-

mista valituissa välinehuoltokeskuksissa. Mobiilikäsivarsirobotin käyttöönottoaminen kuitenkin lisää järjestelmän monimutkaisuutta ja nostaa investointimäärää, sekä takaisinmaksuaikaa.

## 6.2.5 Arvoanalyysitaulukko

Taulukko 13 esittää taulukon 12 arvosana-asteikon ja kappaleiden 0, 6.2.3 ja 6.2.4 sanelusten arvosteluiden mukaiset arvosanat konseptien ominaisuuksille. Taulukon yläreunassa nähdään ominaisuuksille annetut painoarvot. Erot ominaisuuksien painoarvoissa ovat suhteellisen pieniä. Näin ollen konseptien painotettu yhteenlaskettu arvosana vain selventää eroja konseptien välillä.

Taulukko 13. *Konseptit arvoanalyysissä. Prosessin eniten pisteitä saanut konsepti korostettu vihreällä.*

Prosessi	Konseptin numero	Konseptin nimi:	Ominaisuuden tunnus:								Yhteenlasketut arvosanat (A)	Yhteenlasketut painotetut arvosanat (PxA)
			a	b	c	d	e	f	g	h		
			Painoarvo P:									
			10	7	8	7	8	8	7	8		
			Toimintavarmuus	Käyntien määrä	Tuoton toiminta	Kokonaisinvestointi	Asiakkaan täsmällisyys	Asiakkaan tehtävämäärä	Takaisinmaksuaika	Inframuutosvaatimukset		
Jäte	1	Jäteaseman hoitaja	4	3	4	3	2	3	3	2	24	174
	2	Automatisoitu jäteasema	2	3	5	1	1	3	2	1	18	132
	3	Runkokuljetus-osastorobotti hybridi	2	3	4	2	2	3	1	2	19	133
Ruoka	4	Kuljetusrobotti	3	3	3	3	1	1	4	3	21	140
	5	Runkokuljetus-osastorobotti hybridi	2	3	3	1	1	1	2	2	15	101
	6	Logistikko-osastorobotti hybridi	4	3	3	4	2	1	4	2	23	164
VHK	7	Tilaus napilla	3	4	4	3	1	2	4	2	23	156
	8	Ajoitetut kuljetukset	4	3	4	4	2	3	4	3	27	189
	9	Tilaus napilla + käsivarsirobotti	2	4	4	2	1	2	3	2	20	132

## 6.3 Valitut konseptit

Tässä kappaleessa käydään läpi jokaiseen prosessiin valitut konseptit, eli eniten pisteitä saaneet konseptit 1, 6 ja 8. Konseptit myös yhdistetään yhdeksi kokonaisuudeksi. Konsepteja on tähän mennessä käsitelty niille allokoitua aikaa lukuun ottamatta riippumattomana muihin prosesseihin. Nyt ne kuitenkin yhdistetään yhtenäisemmäksi kokonaisuudeksi ja jatkossa lasketaan kustannuksia sairaalan robotti-investoinnille, konseptikohtaisen investoinnin sijaan. Kappaleessa kerrotaan iteroitaessa syntyneet erot aikaisempaan ja taulukossa 13 nähdään pistetilanne uudelleen.

Valituissa konsepteissa laskettiin hieman eri määrä robotteja, mutta että niitä olisi riittävästi jokaista prosessia kohden, niiden määrän määrittää robotteja eniten vaativa prosessi, joka on tässä tapauksessa jäteprosessi. Jäteprosessi vaatii vähintään 5 tai 8 robottia, riippuen niiden nopeudesta. Näin ollen kahdelle muulle prosessille jää ylikapasiteettia, se ei kuitenkaan haittaa, koska se voidaan käyttää tämän tutkimuksen ulkopuolelle jääneissä prosesseissa. Ylikapasiteettia voidaan myös käyttää joustavuuden lisäämiseksi.

### **6.3.1 Parannusehdotukset prosesseihin**

Kaikkien prosessien toimintaa on mahdollista sujuvoittaa hieman lisäämällä vaunuihin niiden reaaliaikaisen seurannan mahdollistama tunnistete. Näin vaunujen niille merkityille paikoille sijoittamisen sijasta, ne voidaan paikantaa tunnisteen avulla merkityn paikan ulkopuoleltakin. Tunnisteessa kulkee tieto mitä vaunussa on, minne se on matkalla ja missä se kulloinkin on. Näin pystytään vähentämään mahdollisia virhetilanteita, jossa vaunu on eksynyt väärälle osastolle tai arvokas instrumentti kadoksissa. Vaunut täytyy kuitenkin jatkossakin sijoittaa siten että robotti pystyy ajamaan sen alle esteettömästi.

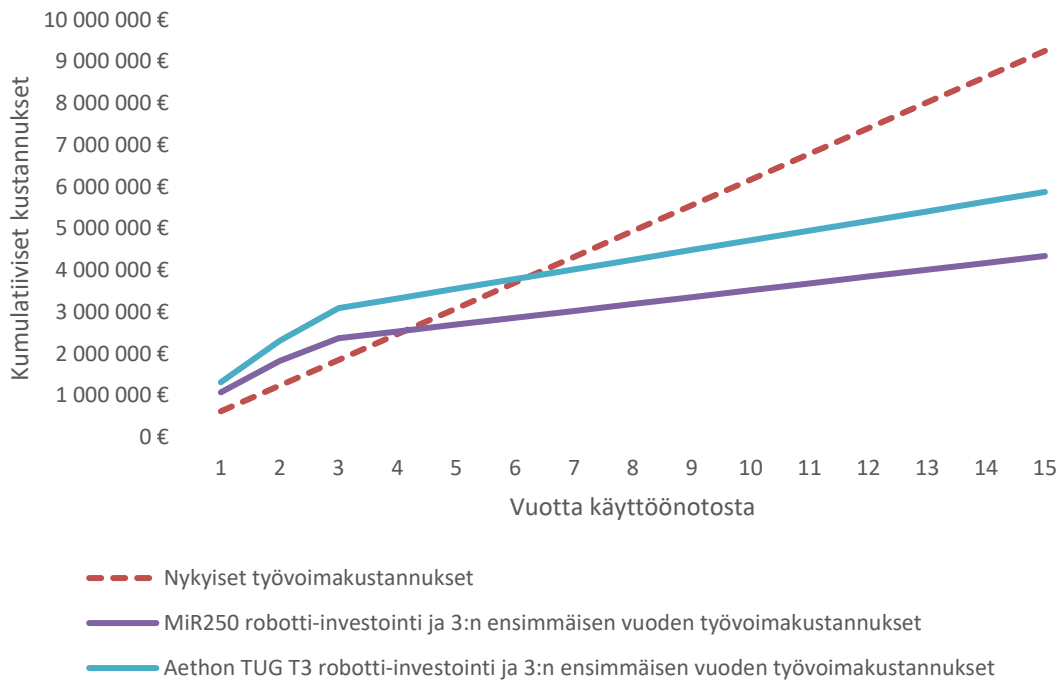
Ruokakuljetuskonsepteissa esitetään, että osaston henkilökunta liittää ruokavaunun pistorasiaan lämmitystä varten. Tässä ehdotetaan, että ruokavaunuille rakennetaan telakka johon robotti ajaa vaunun. Näin osastolle saavuttuaan osatorobotti kuljettaa ruokavaunun suoraan sille varattuun telakkaan, jossa ruokavaunun lämmitys alkaa automaattisesti siihen ohjelmoidun ajan mukaisesti. Ruokavaunun telakka on mahdollisimman yksinkertainen, siinä on robotin tarkkaa kohdistusta varten jokin sen tuntema muoto, kuten kolmio, jonka avulla se pystyy paikoittamaan ruokavaunun hyvin tarkasti kosketinliuskoihin vaunun sähkölämmitystä varten. Kosketinliuskat ovat kosketussuojattu normaalisti ja avautuvat mekaanisesti ruokavaunun lähestyessä sitä. Suojausmekanismi rakennetaan esimerkiksi siten että sen avaaminen vaatii vähintään kahden viivun tai muun vastaavan mekaanisen kytkimen samanaikaisen operoinnin.

Kuten jäteprosessissakin täysin aikataulutetun tai manuaalisesti tilattavan kuljetuksen sijasta, myös välinehuoltokuljetusprosessissa voidaan automaattisesti kuljetuksen tilaavalla järjestelmällä saavuttaa hyötyjä. Järjestelmän avulla voidaan vähentää ylimääräisiä käyntejä, joka johtaa edelleen ruuhkan vähenemiseen käytävillä, sekä asiakkaan tarpeeseen tehdä tilauksia. VHK-prosessissa automaattisesti tilaava järjestelmä voisi toimia esimerkiksi sulkemalla vaunun oven tai siirtämällä vaunu tietylle paikalle.

### **6.3.2 Liiketoiminnan vaikutusanalyysi**

Liiketoiminnan vaikutusanalyysin mukaan investoimalla eri robotteihin voidaan sisäisen kuljetuksen työvoimakustannuksista säästää 15 vuoden aikana 53 % tai 37 %, eli noin

4 900 000 € tai 3 400 000 €, kuten kuvasta 38 voidaan nähdä. Laskelmassa käytetään oletusta, että kolmen suurimman prosessin vuosittaisista työvoimakustannuksista voidaan korvata robotiikalla noin 62 % osuus. Loput 38 % menee jatkossakin työvoimakustannuksiin. Mallissa logistikot ja robotit tekevät yhteistyötä, siten että robotit tekevät kaikista yksinkertaisimmat ja toistoa vaativat tehtävät ja logistikot heille paremmin sopivat tehtävät, joissa vaaditaan vuorovaikutustaitoja ihmisten kanssa tai ne eivät vain muuten sovi robottien tehtäväksi.

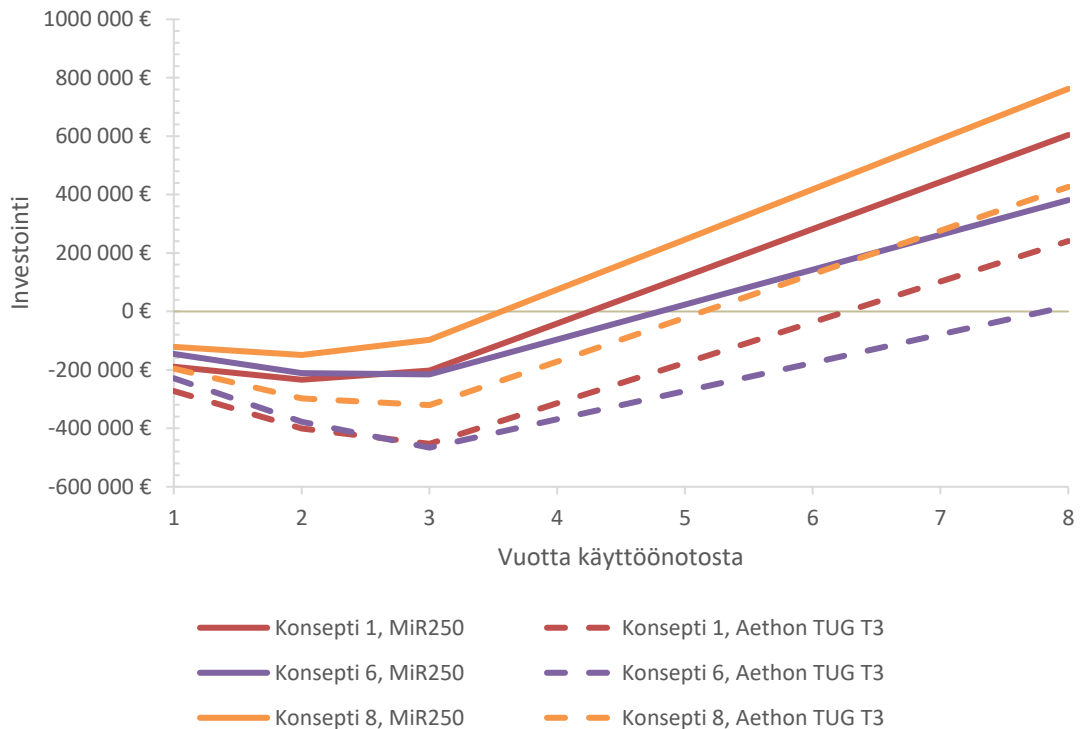


**Kuva 38.** Robotiikkainvestoinnin mahdollistamat säästöt 15 vuoden ajalla: mahdolliset säästöt lisääntyvät asteittain kolmen ensimmäisen vuoden ajan työvoimakustannuksien pienentyessä. Laskelmat sisältävät 5 MiR250-robotia ja 8 TUG T3 robotia.

Myös roboteista ja niiden operoimisesta syntyy kustannuksia, ne ovat kuitenkin vain noin 21-28 % robotiikalla korvattavista kustannuksista. Laskelmassa robotit maksavat itsensä takaisin 4,1 - 8 vuoden kuluttua, kuten kuvasta 39 voidaan todeta. Takaisinmaksuaika riippuu jälleen robottimallista ja erityisesti niiden nopeudesta, ja korostuu edelleen koska laskelmissa käytetyt nopeammat robotit ovat myös edullisempia. Sekä niiden nopeuden vuoksi niitä tarvitaan vähemmän kuin kalliimpia ja hitaampia verrokkejaan. Myös yksittäisen robotin vuotuiset käyttökustannukset vaikuttavat suuresti sen takaisinmaksuaikaan, niiden vuosittain toistuvan luonteen vuoksi ja kertaantuvat robotien määrän mukaisesti. Esimerkiksi robotin käyttökustannuksien nostaminen 7 500 eu-



rosta 10 000 euroon pidentää laskelmissa käytettyjen viiden MiR-robotin takaisinmaksuajan 4,1:sta vuodesta 4,5 vuoteen ja kahdeksan Aethon robotin takaisinmaksuajan 6,3 vuodesta 7,3 vuoteen.



**Kuva 39.** Voittokonseptien takaisinmaksuajat eri robottimalleilla. Huomaa robottien määrä on nyt sama kaikissa konsepteissa.

Yksi huomionarvoinen asia analyysissä on se, että kaikki robottivalmistajat eivät ilmoita laitteidensa suunniteltua käyttöikä. Näin ollen uudelleeninvestoinnin tarvetta ei huomioidu laskelmissa ollenkaan. Kappaleessa 5.1.2 mainittiin kuitenkin, että MiR250-robotin suunniteltu käyttöikä on 5 vuotta tai 20 000 tuntia, riippuen siitä kumpi tulee ensin. Joka tapauksessa uudelleeninvestoinnin tarve voi kaventaa tarkasteltavien robottimallien eroja merkittävästi.

### 6.3.3 Arvoanalyysi

Kappaleessa 6.2 arvoanalyysillä valittiin parhaimmat konseptit. Nyt arvoanalyysi tehdään taulukossa 14 edellä voittaneille konsepteille. Konsepteja on kuitenkin ensin paranneltu kappaleessa 6.3.1 mainituilla tavoin. Taulukossa esitetään jälleen taulukon 11 arvosana-asteikon mukaiset arvosanat konseptien ominaisuuksille. Kun konsepteja lähdettiin parantelemaan, huomattiin että on syytä ottaa uusi arvioitava ominaisuus, joustavuus. Sen avulla pyritään arvioimaan logistikkojen ja robottien määrän vaikutusta järjestelmän joustavuuteen.

Kaikissa prosesseissa voidaan saavuttaa hyötyjä rullakoiden sähköisillä tunnisteilla, näin rullakoiden asettaminen tarkasti merkatulle paikalle ei ole pakollista. Tämä vähentää asiakkaalta vaadittua täsmällisyyttä. Jäteprosessin automaattisen tilausjärjestelmän rakentaminen tarkkailemaan jäteastioiden täyttöastetta vähentää käyntien määrää osastoille huomattavasti ja mahdollistaa hieman lyhyemmän takaisinmaksuajan.

Ruokakonsepteissa näiden ehdotusten joukossa nähtiin myös ruokavaunun automaattinen lämmitykseen kytkeminen, tämän avulla voidaan vähentää osastohenkilökunnan tehtävien määrää nykyiselle tasolle. Logistikon mukana oleminen tuo ruokaprosessiin hieman joustavuutta.

Välinehuoltokuljetukseen ehdotettiin automaattisen tilauksen tekemää järjestelmää. Järjestelmän tarkoituksena on poistaa tarve tehdä tilauksia paikoissa, joissa osastohenkilökunta tilaa kuljetukset nyt erikseen. Tilausjärjestelmän arvioidaan myös vähentävän hieman käyntien määrää ja näin ollen myös ruuhkaa käytäviltä.

Taulukko 14. *Eniten pisteitä saaneiden konseptien pistetilanne iteroinnin jälkeen. Lihavoidut pisteet muuttuneet.*

		Ominaisuuden tunnus:											
		a	b	c	d	e	f	g	h	i			
		Painoarvo P:											
Prosessi	Konseptin numero	Toimintavarmuus	Käyntien määrä	Tuoton toiminta	Kokonaisinvestointi	Asiakkaan täsmällisyys	Asiakkaan tehtävämäärä	Takaisinmaksuaika	Inframuutosvaatimukset	Joustavuus	Yhteenlasketut arvosanat (A)	Yhteenlasketut painotetut arvosanat (PxA)	
Jäte	1	Jäteaseman hoitaja	4	<b>4</b>	4	2	<b>3</b>	3	<b>2</b>	2	3	<b>27</b>	<b>222</b>
Ruoka	6	Logistikko-osastorobotti hybridi	4	3	3	3	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1</b>	2	<b>4</b>	<b>26</b>	<b>217</b>
VHK	8	Ajoitetut kuljetukset	4	<b>4</b>	4	4	<b>3</b>	<b>4</b>	4	3	<b>4</b>	<b>34</b>	<b>276</b>

## 7. KESKUSTELU

On selvää, että saatavilla on uutta automaatioteknologiaa, josta myös vanha sairaala pystyy hyötymään (Granlund, Wiktorsson 2013). Kuitenkin avain onnistuneeseen toteutukseen on siinä, että löytää tarkoitukseen sopivimman ja tasoisen automaatoratkaisun, joka tapaa yhtiön tarpeet, edellytykset ja ehdot (Granlund, Wiktorsson 2014). Automatisoimalla kuljetuksia pystytään saavuttamaan huomattavasti joustavampi kuljetusjärjestelmä, joka ei ole rajattu ihmisvoiman tarpeeseen ja, kuten Özkil et al. (2009) mainitsee robotisaatio mahdollistaa useammat kuljetukset kaikkina vuorokaudenaikoina. Automaation käyttö ja logistiikan strategisempi hoitaminen, katselu ja parantaminen ovatkin avaimia tehokkaaseen terveydenhuoltoon. (Landry, Beaulieu et al. 2016, Granlund, Wiktorsson 2013)

### 7.1 Prosessit

Robottien määrää tarkasteltaessa täytyy huomioida myös oletus, jonka mukaan niiden käyttöaste on hyvin korkea ja toiminta jokseenkin tehokasta ympäri vuorokauden. Luvussa 5.1.4 esitettiin että käytössä oleva tuntimäärä on yhteistyömallilla 33 % korkeampi kuin nykyisin. Vaatii kuitenkin jatkoselvityksen selvittämään riittääkö tuo työpanos tehtävien suorittamiseen ajallaan. Joka tapauksessa kuljetuksien siirtäminen ympäri vuorokautisiksi ja robotiikan hyödyntäminen asettavat uudenlaisia haasteita logistiikka-toiminnoille. Koko kuljetustoiminnan täytyy olla entistä suunnitelmallisempaa. Esimerkiksi yöllä suoritettavat kuljetustehtävät voidaan valmistella jo illalla, pakkaamalla ne rullakoihin tai vaunuihin ja asettamalla ne robotin noutopaikkaan, kuten luvussa 3.1 todettiin. Tämä tarkoittaa myös sitä, että logistikkojen työaikoja ei tarvitse laajentaa nykyisestä.

Kappaleen 6.3 analyseissä robotiikan avulla suoritetaan 62 % nykyisistä kolmen suurimman sisäisen kuljetuksen prosesseista. Tämä tarkoittaa aluksi suurta alkuinvestointia, mutta pidemmällä aikajaksolla tarkasteltuna merkittäviä vuosittaisia säästöjä. Konsepteissa automaation käyttäminen logistiikassa tuo toimintaan ympärivuorokautisen vakiokapasiteetin, jossa piikit hoidetaan logistikkojen toimesta. Konsepteja kehitettäessä pyrittiin löytämään parhaita työn toteuttajia kombinaatioita. Kuten Ventä, Honkatukia et al. (2018) toteavat: ihmisillä ja roboteilla on eri vahvuuksia, eikä muutenkaan oleellista ole pyrkiä 100 % automaatio-/robotiikka-asteeseen. Ihmisen ja robotin yhteistyö voi olla tehokkaampaa kuin pelkästään robotin tai pelkästään ihmisen. He lisäävät, että ihminen on kyvykkäämpi, joustavampi ja monipuolisempi tekijä moneen tehtävään.

Työssä robottien käyttöaika allokoidaan käyntimäärien perusteella. Kuitenkin kappaleessa 5.1.4 esitetyn, myöhemmin saadun tiedon mukaan. Käyttöajan allokoiminen käyntimäärien perusteella voi olla kuitenkin huonompi tapa kuin käyttää käyttöajan allokoimiseen nykyisin logistikoille allokoitua aikaa. Kappaleessa 5.1.4 nähdään esimerkiksi, että logistikkojen suorittamiin jätekuljetuksiin allokoidaan nykyisin huomattavasti enemmän aikaa kuin ruoka- tai välinehuoltokuljetuksiin. Käyttämällä kappaleessa 5.1.4 mainittuja tuntimääriä, käyntimäärien sijaan, kappaleessa 0 esitettyyn kaavaan 2, jakautuisi prosesseille allokoitu robottien käyttöaika eri tavalla. Ei ole kuitenkaan selvää vaikuttaisiko se robottien määrään tai laskelmien luotettavuuteen, koska ihmiset ja robotit suorittavat tehtäviä eri tahtiin. Tehtävä, jonka ihminen suorittaa hitaasti, robotti voi suorittaa nopeammin, ja toisinpäin.

Tilanteessa, jossa robotti noutaa rullakkoa, on sen hyvin vaikea päätellä mikä rullakko on mikäkin, jos ei sitä ole sijoitettu oikealle paikalleen, kalusteisiin asennetuilla lähettimillä robotin on kuitenkin mahdollista löytää noudettava rullakko. Sama pätee myös sairaalasänkyyn, robotti ei osaa päätellä normaalia suuremmalla nopeudella lykättävästä sairaalasängystä tai sen ympärillä pyörivistä hoitajista, että nyt on tosi kyseessä. Mutta kuten rullakoihin, myös sairaalasänkyihin on mahdollista asentaa lähettimiä, jotka aktivoituvat esimerkiksi vasta kun sängyn päällä on kuormaa ja se on liikkeessä, aktivoituessaan lähettimet kertovat lähestyvälle robotille, että sen täytyy ajaa nyt sivuun, näin mahdollistetaan sujuva liikkuminen. Vaunujen seuraamiseen ehdotetut reaaliaikaiset seurantajärjestelmät eivät kuitenkaan ole vielä saavuttaneet riittävää kypsyyttä, tutkijoiden suuren kiinnostuksen vuoksi ne kuitenkin kehittyvät jatkuvasti (Yoo, Kim et al. 2018), ja saattavat olla lähitulevaisuudessa kaupallisella asteella.

### **7.1.1 Jäteprosessi**

Kaikki jäteasiat on mahdollista tyhjentää yöaikaan ja suorittaa jätekuljetuksia päivisin ainoastaan tarpeen mukaan. Puhtaat pyykit toimitetaan osastoille nykykäytännön mukaan aamuisin, mutta myös nämä kuljetukset voitaisiin siirtää kokonaan kuljetettavaksi yöaikaan. Puhtaan pyykin tyhjien rullakoiden palauttamisen prosessia on myös mahdollista parantaa. Sillä rullakoita ei aina tyhjennetä kokonaisuudessaan ja koska ne eivät ole tyhjiä, niitä ei voi palauttaa. Mikä taas aiheuttaa pulaa rullakoissa. Tässä on mahdollista ottaa käytäntö jossa samalla kun robotti tuo puhtaita pyykejä se palauttaa tyhjät rullakot varastoon, toki tämä edellyttää sitä, että rullakot tyhjennetään kokonaan. Huomionarvoista on, että sairaalan vanhimpien osien yhdyskäytävien varrella sijaitsevat jäte-/pyykkikuilut ovat monesti hyvin ahtaita ja sokkeloisten reittien takana. Nykyisin

kuiluissa jätteet ja pyykkiä lajitellaan lihasvoimin ja niiden modernisointi roboteille sopiviksi tarkoittaisi merkittäviä investointeja. Kuilujen investointikustannuksia olisi kuitenkin mahdollista pienentää, käyttämällä niitä vain yhdentyypisten pyykkien ja/tai yhdentyypisten jätteiden keräämiseen, riippuen siitä tuleeko kuiluun jätteille ja likapyykkeille oma putki, ja keräämällä robottien avulla jäljelle jääneet jätteet tai likapyykit suoraan kerroksista yöaikaan. Näin jätteet ja pyykkiä voitaisiin tiputtaa suoraan niille varattuihin vaunuihin ja noutaa ne niiden täytyessä. Koska jätteiden määrä ei ole vakio, myös jäteprosessissa on mahdollista saavuttaa merkittäviä hyötyjä ylhäällä mainitulla järjestelmällä, joka tarkkailee roskien määrää jäteastioissa ja ilmoittaa kun ne ovat täynnä. Kuiluissa tämä voisi toimia esimerkiksi laskemalla sinne tiputettujen säkkien määrän ja vaunun hakeminen nollaisi laskurin automaattisesti. Myös pinnankorkeuden tarkkailu jäteastioissa voisi olla toimiva ratkaisu.

Laskelmissa ei huomioitu sairaalan vanhempien siipien kuilujen vaatimia investointeja. Koska on mahdollista, että sairaalan vanhimmat ja moneen kertaan saneeratut osat poistuvat potilaskäytöstä (Näriäinen 2019). Tai että niiden tilalle tulee uudemmissa rakennuksissa jo käytössä oleva alipaineen avulla roskien kuljetusputkisto, joka kuljettaa jätteet suoraan jätelavalle.

### **7.1.2 Ruokaprosessi**

Ruokaprosessin automatisointi toisi jonkin verran lisätehtäviä osastojen henkilökunnille, ruokavaunujen lämmitykseen kytkemisen muodossa, ellei vaunun kytkemiseen sähköön otettaisi käyttöön telakkaa tai jotain muuta vastaavaa menetelmää sen automatisoimiseksi. Tuleva keittiömuutos, joka aikaistaa ruokakuljetuksia noin tunnilla, mahdollisesti myös vähentää vajetta trukkien tarpeessa.

### **7.1.3 Välinehuoltoprosessi**

Prosessiin tutustuminen tapahtui pian koronaepidemian pandemiaksi julistamisen jälkeen (Kokkonen, Myöhänen 2020). Tilanne vaikutti suuresti kuljetettavien tarvikkeiden määrään, mutta tehtävät pysyivät kuitenkin samana. Tutustumisen aikana tämä näkyi vähäisinä kuljetustarpeina. Siksi konseptissa 7 ehdotettava kuljetuksien tilausjärjestelmä ei välttämättä muuttaisi kuljetusmääriä merkittävästi. Tutustumisen aikana se olisi tehostanut prosessia huomattavasti, vähentämällä tarkastuskäyntien määrää. Tutkimuksessa ilmeni myös riski muuttaa ajoitetut kuljetukset tilattavaksi, koska se saataisi luoda entistäkin kovempia ruuhkapiikkejä. Mutta tasaamalla prosessin tehtävien suoritusajkoja, erityisesti yöaikaan, voidaan vähentää ajoittain ruuhkapiikkien aikaan muodostuvaa vaunujen puutetta. Kirjoittajan mielestä on kuitenkin tutkimisen arvoista selvittää mahdolliset tilausjärjestelmän hyödyt, kun sairaalan arki palaa normaaliksi.

Nykyisin logistikon kuljettaessa vaunuja eri osastoille, kuten gastroenterologian välinehuoltoon, logistikko siirtää esimerkiksi puhdistetun tähystimen laatikon tuomastaan vaunusta välinehuollon tähystimien säilytykseen varattuihin kaappeihin. Jos tämä kuljetehtävä automatisoitaisiin, jonkun täytyisi siirtää tähystin kaappiinsa. Tämä lisäisi kuitenkin yhden tehtävän osaston henkilökunnalle. Siirto vaunusta kaappiin voitaisiin myös automatisoida, kuten kappaleessa 5.4.3 esitettiin. Ei ole kuitenkaan varmaa pystyykö tämän tehtävän automatisoimaan riittävän varmasti nykyteknologian avulla. Työssä ehdotetaan, että sopivin tapa selvitetään jatkossa.

## 7.2 Robotin testiviikko

Uusien teknologioiden, kuten autonomisten mobiilirobottien, käyttöönottoaminen vanhoissa sairaaloissa saattaa olla rajoitteellista yhdyskäytävien jyrkkien ramppien ja kaapeiden hissien vuoksi. Ja vaikka kyseessä onkin kypsä teknologia, investointi on arvoakas (Granlund, Wiktorsson 2013). Kuitenkin työn aikana suoritetun autonomisen mobiilirobotin testauksessa sairaalan vanhimmissa osissa, A- ja B-siivissä, sairaalan uudessa D-siivessä ja yhdyskäytävän jyrkillä rampeilla ei huomattu edellä mainittua ongelmaa liian kapeista hisseistä. Jyrkät rampit kuitenkin rajaavat vaihtoehtoja robotteja valittaessa, kuten luvussa 3.2.2 huomattiin.

Robotin testiviikon aikana paljastui, että vaikka sairaalan nykyisiä rullakkoja pystyttäisiin vetämään robotin perässä, ei kevyellä robotilla rullakoiden vetäminen sovellu sairaalan jyrkille rampeille. Vedettävän kuorman ollessa lähellä robotin omapainoa ei lattian ja robotin pyörien välinen kitka ole riittävä pitämään yhdistelmää hallinnassa. Testiviikon havaintojen perusteella robotin toimintaa voidaan kuvata varovaiseksi ja toimivaksi, se ei tee odottamattomia liikkeitä, ainoastaan mitä se on ohjelmoitu tekemään.

Robotin liikkeessä normaali kävelyvauhtia hitaammin, joka on terveellä aikuisella ihmisellä noin 1.2 m/s tai 4,3 km/h (Verne 2015), voidaan hitaasti liikkuvan robotin liikehdintä kokea sairaalan kiireisillä käytävillä liian hitaana. Kuten Holmén (2019) totesi artikkelissaan Seinäjoen keskussairaalaista, jossa robottien tekninen maksiminopeus on 0,76 m/s. Toki robotti ei voi liikkua sairaalassa liian suurellakaan nopeudella, erityisesti ahtaammilla käytäväosuuksilla, pisimmät etäisyydet kuljetaan kuitenkin yhdyskäytävillä, joissa voidaan liikkua myös suuremmilla nopeuksilla. Kirjoittajan mielestä on parasta jatkotutkia ympäristölle sopiva nopeus joka alueelle, kuten liikenteessä.

### 7.3 Robotisaation uhkat ja mahdollisuudet

Sairaanhuolto on yksi yhteiskuntamme tukipilareista. Sen ylläpitäminen on myös hyvin kallista, vuonna 2018 se kustansi 9 % bruttokansantuotteesta (Matveinen 2020). On hyvin tärkeää, että se pysyy toimintavarmana myös tulevaisuudessa. Kaikki voisivatkin varmasti yhtyä siihen, että työnantajan näkökulmasta on erittäin houkuttelevaa palkata robotti, joka alkuinvestoinnin jälkeen työskentelee ympärivuorokautisesti sähkön hinnalla. Korkeatasoista teknologiaa käyttävä sairaala, kuitenkin asettaa korkeammat vaatimukset myös siellä toimivan henkilökunnan pätevyydelle (Granlund, Wiktorsson 2014).

Vaikka sairaalan logistiikkatehtävät ovat myös suurelta osin rutiininomaisia, niitä tehdessä on kuitenkin muuttujia. Joskus käytävät ovat ruuhkaisia, joskus taas tyhjiä, tai entä jos noudettava rullakko ei olekaan noutopaikalla silloin kun se on määritetty noudettavaksi, tai jos potilasta kuljetetaan ahtaalla käytävällä kiireisesti leikkaussaliin eikä hetkeäkään ole hukattavaksi. Nämä kaikki ovat todellisia pulmia, joiden ratkaisemiseen on löydettävä parhaat ratkaisut ennen robottien käyttöönottoa.

Khan, Siddique et al. mukaan (2020) erilaisia robotteja hyödyntämällä voidaan myös estää bakteerien leviäminen sairaalaympäristössä vähentämällä ihmiskontakteja. He mainitsevat esimerkiksi että siivous- ja sterilointirobotteja hyödyntämällä voidaan varmistaa puhtaat tilat myös karanteeniosastoilla vaarantamatta ihmistyöntekijöitä. Voidaan päätellä, että myös logistiikkarobotit vähentävät bakteerien ja viruksien leviämisen riskiä koska ne eivät koske ovien kahvoja, hissien painikkeita tai muita yleisesti kosketeltavia pintoja.

Kaikki yhteisöä hyödyntämään luodut sovellukset eivät kuitenkaan aina tuo samoja hyötyjä kaikille yhteisön jäsenille (Grudin 1994). Joskus tällaisten sovelluksien toiminta saattaa vaatia joitain henkilöiltä muuttamaan työtapojaan yhteisen hyvän vuoksi enemmän kuin muita, tai tekemään enemmän lisätoita (Mutlu, Forlizzi 2008). Tämän vuoksi robotteja käyttöönottaessa täytyy tarkastella tarkasti, miten niiden käyttöönottaminen vaikuttaa eri työntekijäryhmiin ja päästäänkö näin haluttuun lopputulokseen. Esimerkiksi voi olla hyväksyttävää, jos robottien käyttöönotto siirtää joitain sairaanhoitohenkilökunnan logistiikkaan liittyviä tehtäviä sairaanhoitoa tukevan henkilöstön tehtäväksi, mutta ei toisinpäin, jos näin voidaan säästää sairaanhoitohenkilökunnan aikaa potilaiden hoitoon.

Eri ryhmillä on myös eri tavoitteet, ja heidän käsityksensä roboteista vaihtelevat sen mukaisesti (Mutlu, Forlizzi 2008). Tutkimuksessaan Mutlu ja Forlizzi (2008) toteavat

että robottien hyväksymiseen eri osastojen sairaanhoitohenkilökunnassa vaikutti suuresti se, minkälaisia hoitoja osastoilla tehtiin, esimerkiksi synnytysosastolla robotit nähtiin tervetulleena ja tarpeellisena, kun taas vakavasti sairaiden osastoilla robotit nähtiin jopa taakkana. Heidän mukaansa tähän on syynä eri osastojen sairaanhoitohenkilökunnan korkeampi stressitaso ja pienempi toleranssi keskeytyksille. Tutkimuksessa robotit oli ohjelmoitu toimimaan kaikilla osastoilla samoilla tavoin. He ehdottavatkin, että keskeytettävyys eri osastoilla on avainasemassa robottien hyväksynnässä ja robotit on parempi ohjelmoida toimimaan eri osastoilla eri tavoin. Tutkimuksessa robotti toisti samaa viestiä saapumisestaan osastolle, niin kauan että se huomioitiin. He ehdottavatkin, että esimerkiksi saapumisviestit tietyillä osastoilla tulee olla hienovaraisempia ja että robotin toiminta on suunniteltava siten että se minimoi keskeytykset. He näkivät myös robottiin tallennetut personoidut viestit mahdollisuutena tukea ihmissuhteita (esimerkiksi ”Tuula tässä on Virtasen uudet kemoterapialääkkeet”), jolla tavoin voidaan myös vähentää keskeyttämisen tunnetta ja mahdollistaa robotti osaksi intiimiä sosiaaliympäristöä, sekä lieventää muutosvastarintaa. Seinäjoen keskussairaalassa ei robottien käyttöönoton jälkeen kuitenkaan törmätty edellä mainittuihin ongelmiin (Lappalainen 2019). Lappalaisen mukaan tämä johtuu erilaisesta palvelumallista ja siihen liittyvästä tehtävien jaon mallista eri organisaatioissa.



## 8. YHTEENVETO

Tutkimuksen päätavoitteena oli selvittää robotti-investoinnin vaikutukset sairaalan sisäisen kuljetuksen kustannustehokkuuteen. Liiketoiminnan vaikutusanalyysissä, luvussa 6.3.2 huomattiin, että robotti-investoinnilla voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä. Tuloksien valossa kirjoittaja suosittelee robotiikan hyödyntämistä Tays keskussairaalan sisäisissä kuljetuksissa ja ehdottaa päätöksien tekemisen tueksi Seinäjoen keskussairaalan robotiikkainvestoinnin tukena käytettyä vertailukehittämistä. Taulukossa 15 summataan työssä tunnistettuja asioita ja menetelmiä robotti-investointia miettivälle.

Taulukko 15. *Yhteenvetotaulukko robotti-investoinnin tekemisestä.*

Integrointimenetelmän valinta	Systeemin mukauttaminen, systeemin osittainen uudelleenvalinta ja systeemin uudelleenrakentaminen. Katso tarkemmin luku 2.3.2.
Analysointimenetelmät	Arvoanalyysi ja liiketoiminnan vaikutusanalyysi. Katso luvut 2.2.1 ja 2.2.2. Tuloksia nähtävissä luvuissa 6.3.2 ja 6.3.3.
Robottien määrän laskenta	Laskuissa käytettävä kaavat esitetään luvussa 5.1.5.
Investointitarpeet	Infra- ja robotti-investoinnit. Katso tarkemmin luvut 5.1.2 ja 5.1.3.
Vertailukehittäminen	Toiminnan kehittämiseksi. Katso luku 2.2.3.
Toimintasuunnitelma	Investoinnin vaiheiden tukena. Katso luku 2.2.4.

Tutkimuskysymyksiin vastaamiseksi päädyttiin menetelmään, jossa eri ratkaisuja vertailtiin konseptien muodossa. Tämä mahdollisti hyvinkin erilaisten ratkaisujen keskinäisen kokonaisvaltaisen vertailun ja sen avulla pystyttiin vastaamaan tutkimuskysymyksen 1. Konsepteja vertailtaessa huomattiin, että käyttämällä eri resursseja tehtävien suorittamiseen voidaan saavuttaa luotettavimmat ja toimivimmat ratkaisut. Sopivaa logistikkojen ja robottien suhdetta arvioitiin luvussa 5.1.1, tutkimuskysymyksen 3 vastaamiseksi, jää kuitenkin jatkoselvitettäväksi mikä osuus tehtävistä voidaan tehdä robotiikan avulla. Robottien määrän arvioimiseksi, kehitettiin luvussa 5.1.5 esitetyt kaavat, joiden avulla pyrittiin vastaamaan tutkimuskysymyksen 2.

Kappaleen 3.2 robotin testaus tarjosi kirjoittajalle ainutlaatuisen tilaisuuden tutustua ja ohjelmoida robotti suorittamaan todellisia kuljetustehtäviä sairaalaympäristössä. Robotin testauksella pystyttiin vastaamaan tutkimuskysymykseen 4. Testiviikon aikana tunnistettiin robottien määräänkin suuresti vaikuttava jatkotutkimusaihe, robotin maksiminopeudesta sairaalan eri osissa. Työssä tunnistettiin, että ruoka- ja välinehuoltokuljetusprosesseissa on tehtäviä, joiden automatisoiminen siirtää osan nyt logistikkojen suorittamista tehtävistä sairaanhoitohenkilökunnan hoidettavaksi, mutta joita on mahdollista automatisoida kehittämällä ruokavaunujen sähköön liittämiseen telakka ja lisäämällä vaunujen pakkaamiseen ja purkuun käytettäviä kappaleen 5.4.3 mukaisia automaattioratkaisuja. Jäteprosessissa ehdotetun automaattisen kuljetuksen tilausjärjestelmän avulla jätteiden kuljetukseen allokoitua aikaa on myös mahdollista pienentää.

Kirjoittaja ehdottaa lisäksi työn toimeksiantajayritykselle seuraavia jatkotutkimusaiheita ja toimintatapoja, joilla ne voidaan selvittää. Kartoitus, jossa selvitetään missä kaikissa tehtävissä robotteja voidaan käyttää kokonaisten prosessien sijasta, sekä mitkä tehtävistä soveltuvat laajemmalle aikataululle. Eri toimijoiden kanssa yhteistyössä tehtävä selvitys siitä minkälaiset robotit ovat sopivin ratkaisu Tays keskussairaalaan. Tietoturvakartoitus, jossa selvitetään minkälaisia tietoturvariskejä robotisaatio aiheuttaa sairaalaorganisaatiolle. Prosessien ja niiden toiminta-alueiden kartoitus, jonka avulla selvitetään miten paljon ovia ja hissejä täytyy modernisoida robottien käytettäväksi. Selvitys siitä minkälaisia rakenteellisia muutoksia sairaalan rakennuskantaan tulee lähivuosina. Pysyykö esimerkiksi A- ja B-siipien jätejärjestelmä ennallaan vai korvataanko se esimerkiksi alipaineputkistolla, tai muuttuuko kyseisten siipien käyttötarkoitus tulevaisuudessa kokonaan. PSHP:n kanssa on selvitettävä onko sairaalassa sellaisia paikkoja, joissa robotteja ei voi käyttää potilasturvallisuuden vuoksi. Esimerkiksi paikkoja, joissa tapahtuu usein kriittistä potilasliikennettä ja jossa kuljetusrobotti voi aiheuttaa viivästystä.

Vaikka työssä keskityttiinkin jäte-, ruoka- ja välinehuoltokuljetuksiin, robottien käyttömahdollisuudet eivät kuitenkaan rajoitu niihin. Sillä on hyvin todennäköistä, että robotit sopivat erittäin hyvin suorittamaan myös posti-, lääke- ja varastokuljetuksia. Mahdollisesti jopa paremmin.

Tutkimusprosessi oli haasteellinen, mutta kuitenkin onnistunut kokonaisuus. Tutkimusalue kasvoi jonkin verran suunnitellusta, mutta kaikkiin tutkimuskysymyksiin kyettiin kuitenkin vastaamaan. Tutkija on tyytyväinen saavutettuihin tuloksiin ja kokee, että ne hyödyntävät kohdeyrityksen toimintaa.

## LÄHTEET

AETHON, 2016-last update, TUG T3 Autonomous Mobile Robot. Available: [https://aethon.com/PDF/T3\\_Datasheet.pdf](https://aethon.com/PDF/T3_Datasheet.pdf) [Oct 28, 2020].

AGILOX, 2020-last update, Agilox IGV - Intelligent Guided Vehicle. Available: <https://www.agilox.net/en/agilox-igv> [Nov 4, 2020].

ALHO, T., HÄNNINEN, P., NEITTAANMÄKI, P. and TAMMILEHTO, O., 2018. *Palvelurobotiikka*. Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto.

ANDEL, T., Aug 19th, 2010-last update, AGVs follow paths undreamed of by inventor. Available: <https://www.mhlnews.com/chain-of-thought/article/22053693/agvs-follow-paths-undreamed-of-by-inventor> [Oct 1, 2020].

ANDERSEN, B. and PETTERSEN, P., 1996. *Benchmarking Handbook*. 1 edn. London, UK: Chapman & Hall.

ANDERSON, C., HAAVISTO, I., KANGASNIEMI, M., KAUKANEN, A., TIKKA, T., TÄHTINEN, L. and TÖRMÄNEN, A., 2016. *Robotit töihin*. Helsinki: Nextprint Oy.

APTEL, O. and POURJALALI, H., 2001. Improving activities and decreasing costs of logistics in hospitals: a comparison of U.S. and French hospitals. *The International journal of accounting education and research*, **36**(1), pp. 65-90.

BLOSS, R., 2011. Mobile hospital robots cure numerous logistic needs. *Industrial Robot: An International Journal*, **38**(6), pp. 567-571.

BOCIJ, P., HICKIE, S. and GREASLEY, A., 2015. *Business information systems: technology, development and management for the e-business*. 5th edn. Harlow: Pearson Education.

CHUI, M., MANYIKA, J. and MIREMADI, M., 2016. Where machines could replace humans--and where they can't (yet)

DOBRZAŃSKA, M., DOBRZAŃSKI, P. and ŚMIESZEK, M., 2013. Modern logistics in health service  
. *MODERN MANAGEMENT REVIEW*, vol. XVIII, 20 (3/2013), , pp. 53-64.

GOH, C. CHOW-CHUA AND M., 2000. *Quality improvement in the healthcare industry: Some evidence from Singapore*.

GRANLUND, A. and WIKTORSSON, M., 2014. Automation in Internal Logistics: Strategic and Operational Challenges. *International Journal of Logistics Systems and Management*, **18**, pp. 538-558.

GRANLUND, A. and WIKTORSSON, M., 2013a. Automation in Healthcare Internal Logistics: A Case Study on Practice and Potential. *International Journal of Innovation and Technology Management*, **10**.

GRANLUND, A. and WIKTORSSON, M., 2013b. Automation in Healthcare Internal Logistics: A Case Study on Practice and Potential. *International Journal of Innovation and Technology Management*, **10**.

GRUDIN, J., 1994. Groupware and social dynamics: eight challenges for developers. *Communications of the ACM*, **37**(1), pp. 92-105.

HAAPANEN, M., VEPSÄLÄINEN, A.P.J. and BASK, A., 1999. *Jakelu 2020 : asiakkaan läpimurto*. Espoo: ELC Finland].

HALLDÉN, M. and SALTVIK, F., 2018. *Obstacle circumvention by automated guided vehicles in industrial environments*, Chalmers University of Technology.

HANNALA, L., KÄMÄRÄINEN, J., KOISTINEN, P. and KYRKI, V., 2017. Robotics in Care Services: A Finnish Roadmap.

HOLMÉN, J., -04-02T05:25+00:00, 2019-last update, Kuka kuljettaa tarvikkeita sairaalan käytävillä?. Available: <https://read.xamk.fi/2019/logistiikka-ja-merenkulku/kuka-kuljettaa-tarvikkeita-sairaalan-kaytavilla/> [Mar 9, 2020].

HSY, Jul 23, 2019-last update, Terveystieteiden erityisjätteiden vastaanottaminen | HSY. Available: <https://www.hsy.fi/443/fi/yhteisollejayritykselle/jatehuolto/jatteiden-lajittelu/Sivut/Terveystieteiden-erityisjatteen.aspx> [Mar 27, 2020].

INSTITUTE OF MEDICINE, (., 2008. Retooling for an Aging America: Building the Health Care Workforce, Committee on the Future Health Care Workforce for Older Americans.

JARRETT, G., 2006. An analysis of international health care logistics: The benefits and implications of implementing just-in-time systems in the health care industry. *International journal of health care quality assurance incorporating Leadership in health services*, **19**(1), pp. 1-10.

JARRETT, G., 1998. Logistics in the health care industry. *International journal of physical distribution & logistics management*, **28**(9), pp. 741-772.

KHAN, Z.H., SIDDIQUE, A. and LEE, C.W., 2020. Robotics Utilization for Healthcare Digitization in Global COVID-19 Management. *International journal of environmental research and public health*, **17**(11), pp. 3819.

KOKKONEN, Y. and MYÖHÄNEN, U., Mar 11, 2020-last update, WHO: Koronavirus-epidemia on muuttunut pandemiaksi. Available: <https://yle.fi/uutiset/3-11252573> [Oct 15, 2020].

KOPONEN, E., 2015. *Sosiaali- ja terveysalan työvoiman riittävyys nyt ja tulevaisuudessa*. Työ- ja elinkeinoministeriö.

KRIEGEL, J., JEHLE, F., DIECK, M. and MALLORY, P., 2013. Advanced services in hospital logistics in the German health service sector. *Logistics Research*, **6**(2), pp. 47-56.

KUNTALIITTO, Dec 20, 2019-last update, Erikoissairaanhoito. Available: <https://www.kuntaliitto.fi/sosiaali-ja-terveysasiat/terveydenhuolto/erikoissairaanhoito> [Sep 21, 2020].

LANDRY, S., BEAULIEU, M. and ROY, J., 2016. Strategy deployment in healthcare services: A case study approach. *Technological Forecasting and Social Change*, **113**, pp. 429-437.

LAPPALAINEN, I., 2019. Logistics Robots as an enabler of hospital service system renewal? *10th Naples Forum on Service*, Jun 4, 2019 2019, VTT, pp. 15.

LAPPALAINEN, I., TALJA, H. and NIEMELÄ, M., 2017. *Robotit haastavat koko sairaalan työn tekemisen systeemin*. VTT.

LASSILA, J. and VALKONEN, T., 2013. Julkisen talouden rahoituksellinen kestävyys .

LEHMONEN, H., 2007. *Kuljetusprosessien analysointi sekä kuljetuspalveluiden tuoteistaminen sairaalaympäristössä*, Jyväskylän ammattikorkeakoulu.

MÄMMELÄ, J., 2019. *Technology Value Mapping (TVM) : method for designing technology value capture by visually modelling product properties and behaviours*. Tampere: Tampereen yliopisto.

MATVEINEN, P., Jul 31, 2020-last update, Terveystieteiden tutkimuskeskus - THL. Available: <https://thl.fi/fi/tilastot-ja-data/tilastot-aiheittain/sosiaali-ja-terveydenhuollon-resursit/terveydenhuollon-menot-ja-rahoitus> [Sep 18, 2020].

MATVEINEN, P., 2019. *Terveystieteiden tutkimuskeskus - THL. Terveystieteiden tutkimuskeskus - THL. Terveystieteiden tutkimuskeskus - THL.*

MIR, 2020-last update, MiR250 | Mobile Industrial Robots. Available: <https://www.mobile-industrial-robots.com/en/solutions/robots/mir250/> [Sep 10, 2020].

MOBILE INDUSTRIAL ROBOTS, 2020-last update, MiR Hook 100 TM | Mobile Industrial Robots. Available: <https://www.mobile-industrial-robots.com/en/solutions/robots/mir-top-modules/mir-hook-100-tm/> [Oct 13, 2020].

MOBILE INDUSTRIAL ROBOTS, 2017. *MiR100 User guide* . 1.0 edn. Odense, Denmark: Mobile Industrial Robots.

MUTLU, B. and FORLIZZI, J., 2008. *Robots in organizations: the role of workflow, social, and environmental factors in human-robot interaction*. ACM.

NÄRIÄINEN, M., 2019. *Tays Keskussairaalan B-siiven kunto- ja rakennettavuusselvitys*. Tampere: Pirkanmaan sairaanhoitopiiri.

OZKIL, A.G., FAN, Z., DAWIDS, S., AANES, H., KRISTENSEN, J.K. and CHRISTENSEN, K.H., 2009. *Service robots for hospitals: A case study of transportation tasks in a hospital*. IEEE.

- ÖZKIL, A.G., 2011. *Service Robots for Hospitals:Key Technical issues*, DTU Management.
- PIRKANMAAN SAIRAANHOITOPPIIRIN VIESTINTÄ, 2020. *TAYS vuosikertomus 2018*. Tampere: PSHP.
- POULIN, E., 2003. Benchmarking the hospital logistics process: A potential cure for the ailing health care sector. *CMA Management*, **77**(1), pp. 20.
- ROTKIRCH, A. and HELAMAA, T., 2018-last update, Syntyneiden määrä. Available: [https://www.vaestoliitto.fi/tieto\\_ja\\_tutkimus/vaestontutkimuslaitos/tilastoja/syntyvyys/syntyneiden-maara/](https://www.vaestoliitto.fi/tieto_ja_tutkimus/vaestontutkimuslaitos/tilastoja/syntyvyys/syntyneiden-maara/) [Oct 15, 2020].
- ROUTIO, P., Aug 3, 2007-last update, Ehdotusten arvioiminen . Available: <http://www2.uiah.fi/projects/metodi/089.htm> [Nov 4, 2020].
- ROUTIO, P., Jan 25, 2006-last update, Tuotetiede - tuotteiden kehittämistä avustava tutkimus. Available: <http://www.uiah.fi/projekti/metodi/kirja.pdf> [Nov 4, 2020].
- SIEGWART, R., NOURBAKSH, I.R. and SCARAMUZZA, D., 2011. *Introduction to autonomous mobile robots*. 2 edn. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- SNEDAKER, S. and RIMA, C., 2014. *Chapter 5 - Business Impact Analysis*. Elsevier Inc.
- SWECO, May 18, 2020-last update, Mobiilirobotit tehostavat kuljetuksia myös vanhoissa sairaaloissa. Available: <https://www.sweco.fi/uutiset/uutisarkisto/news-2020/mobiilirobotit-tehostavat-kuljetuksia-myoos-vanhoissa-sairaloissa/> [Oct 27, 2020].
- TALJA, H., LAPPALAINEN, I. and NIEMELÄ, M., Aug 16, 2017. Adopting a logistics robot system in a central hospital: Perspectives of different internal stakeholders, *3rd International Interdisciplinary Conference on Research on Work and Working Life, WORK2017*, 16/08/17 → 18/08/17 Aug 16, 2017, University of Turku.
- TANGEN, S., 2004. *Evaluation and Revision of Performance Measurement Systems*, Royal Institute of Technology.
- TAYS, Jul 13, 2020a-last update, Pirkanmaan sairaanhoitopiiri. Available: <https://www.tays.fi/fi-FI/Sairaanhoitopiiri> [Sep 21, 2020].
- TAYS, 2020b-last update, Tayskartta. Available: <https://www.tays.fi/fi-FI/Kartat/tayskartta> [21.09., 2020].
- TUOMI LOGISTIIKKA, 2020a. *Kuljetuspalvelun kuvaukset*. Tampere: .
- TUOMI LOGISTIIKKA, 2020b. *Tilinpäätös ja toimintakertomus 2019 - Tuomi Logistiikka Oy*. Tampere: .
- TUOMI LOGISTIIKKA, 2020c. *Yritys*.
- TURJA, T., VAN AERSCHOT, L., SÄRKIKOSKI, T. and OKSANEN, A., 2018. Finnish healthcare professionals' attitudes towards robots: Reflections on a population sample. *Nursing open; Nurs Open*, **5**(3), pp. 300-309.

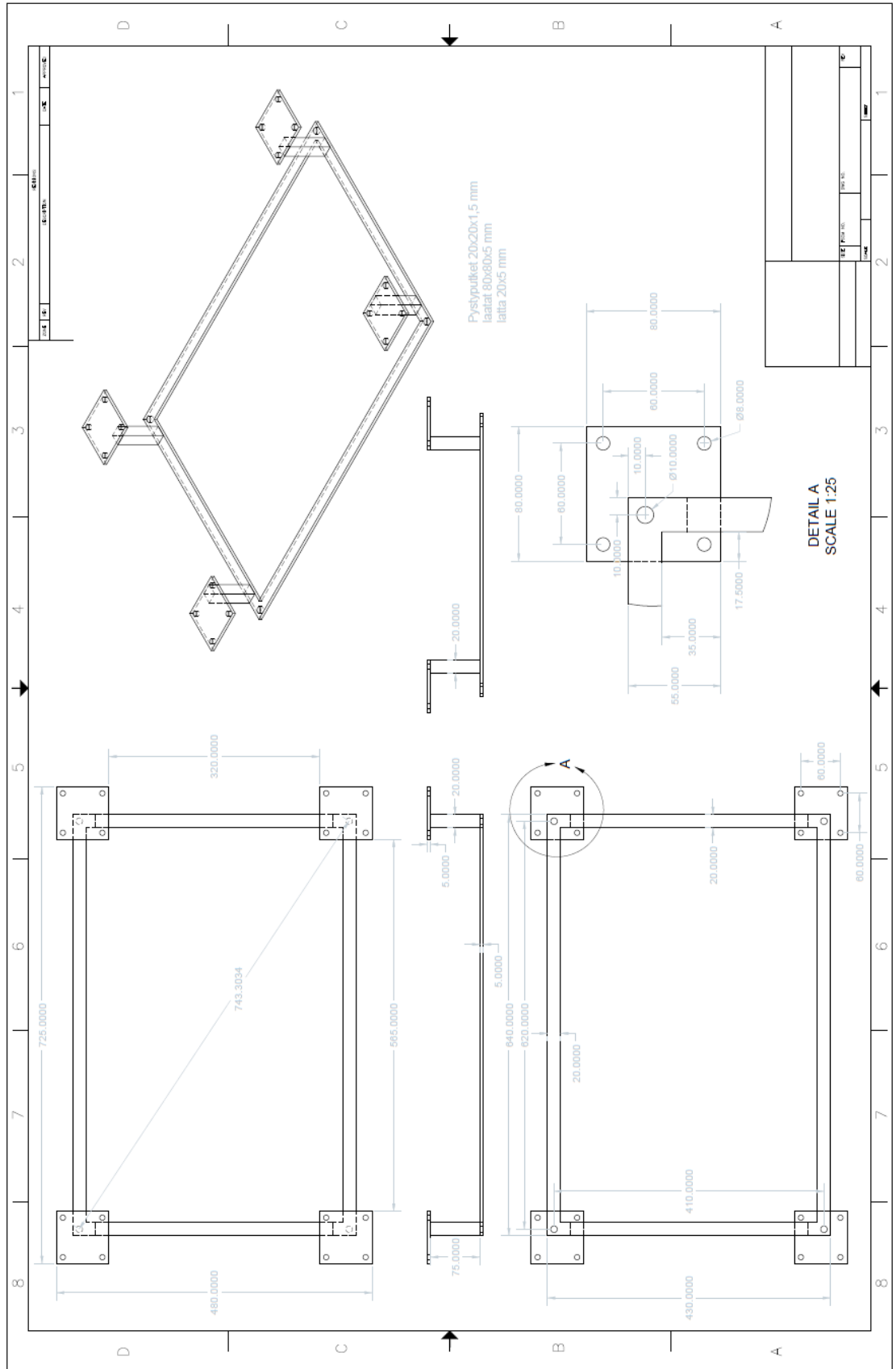
VENTÄ, O., HONKATUKIA, J., HÄKKINEN, K., KETTUNEN, O., NIEMELÄ, M., AIRAKSINEN, M. and VAINIO, T., 2018. *Robotisaation ja automatisaation vaikutukset Suomen kansantalouteen 2030*. Valtioneuvoston kanslia.

VERNE, Sep 29, 2015-last update, Kävelynopeus. Available: [http://www.tut.fi/pedia/index.php/Jalankulkija#cite\\_note-simpleFlow-3](http://www.tut.fi/pedia/index.php/Jalankulkija#cite_note-simpleFlow-3) [Oct 15, 2020].

YLI-PELTOLA, R., 2020. *Autonomous instrument service mission at Tays central hospital*. Tampere: Youtube.

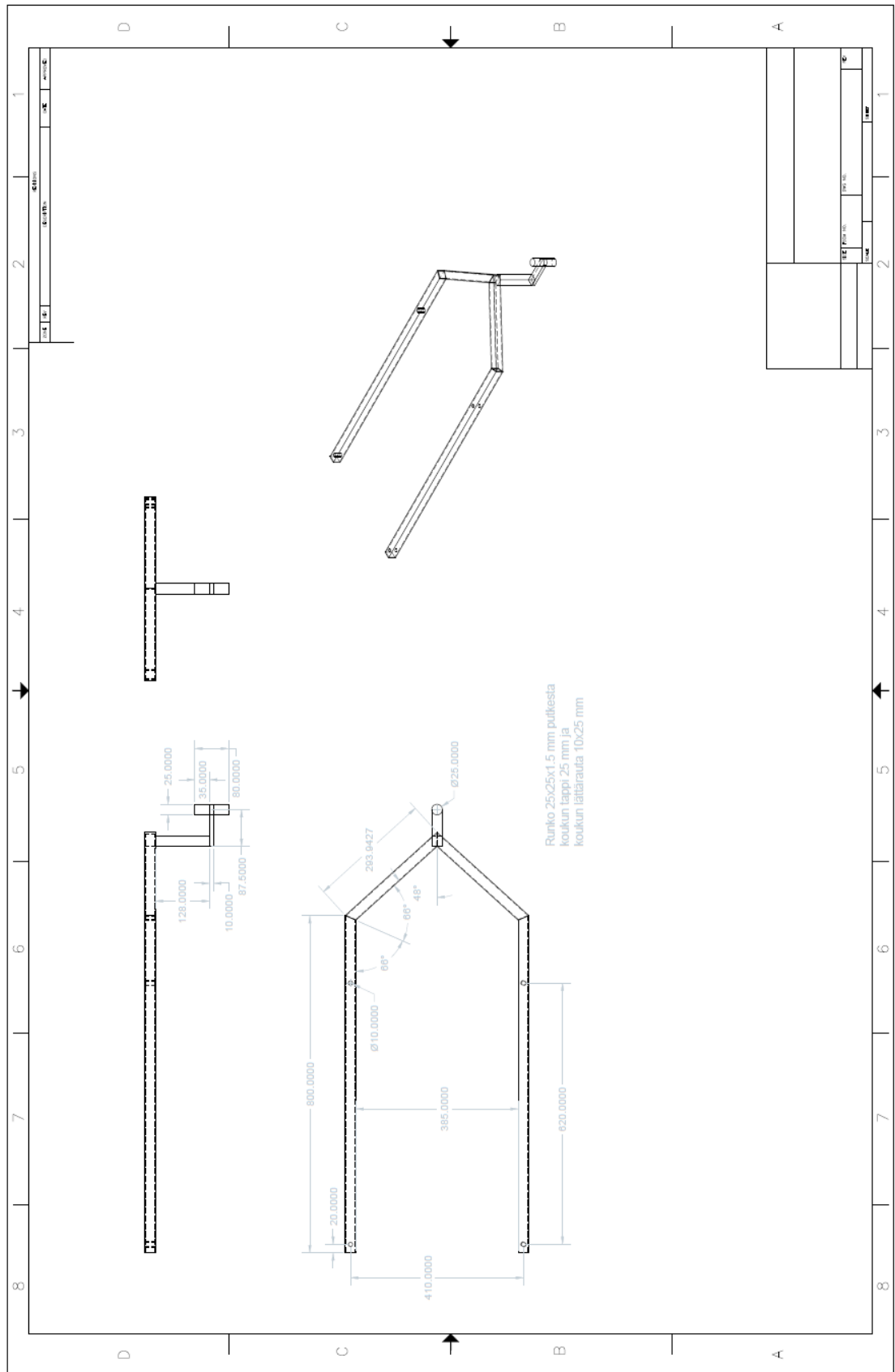
YOO, S., KIM, S., KIM, E., JUNG, E., LEE, K. and HWANG, H., 2018. Real-time location system-based asset tracking in the healthcare field: lessons learned from a feasibility study. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, **18**(1), pp. 80.

# LIITE 1 – KANTOKEHIKKO





# LIITE 2 - VETOKOUKKU



## LIITE 3 – HAASTATTELUKYSYMYKSET

Haastattelu tapahtui maanantaina 18.05.2020, klo. 09:00 - 10:50. Alla luetellaan haastattelussa tehdyt kysymykset, mutta ei välttämättä kysymisjärjestyksessä.

- a. Onko Seinäjoella järjestelmä mihin ilmoitetaan kuljetustarpeesta vai ovatko kaikki kuljetukset ajoitettuja?
- b. Käytetäänkö robotteja ruokakuljetuksissa?
- c. Oliko ruokakuljetuskokeilu yhdelle osastolle?
- d. Onko logistiikkarobotteja hyödyntämällä saavutettu säästöjä? Paljonko?
- e. Ovatko robotit maksaneet itsensä takaisin?
- f. Minkälaisia alun ongelmat olivat?
- g. Onko robotteja ollut helppo käyttää?
- h. Missä tehtävissä niitä käytetään?
- i. Soveltuvatko robotit mielestäsi hyvin näihin tehtäviin ja voisitko suositella näitä tehtäviä robotin suoritettavaksi myös Tampereella?
- j. Ramppien maksimikaltevuudet robottien reiteillä?
- k. Mihin aikoihin niitä käytetään? Myös yöllä, osastoilla?
- l. Toimiiko Seinäjoella jatkuvasti robottien valvoja tai jokin muu sellainen?
- m. Robottien etävalvonta kustannukset?
- n. Koska robotit tulivat Seinäjoelle?
- o. Miksi Seinäjoelle hankittiin Aethon-robotit jonkin muun valmistajan sijaan?
- p. Kerrotko seuraavista Aethon-robottien ominaisuuksista?
  - i. Maksimi nousukaltevuus maksimikuormalla
  - ii. Latausaika
  - iii. Kpl hinta
  - iv. Montako telakkaa sairaalassa on?
  - v. Saako robotteihin lisäosia?
  - vi. Käyttöönotto kesto
  - vii. Jos kaikki on hyvin suunniteltu, paljonko kuljetusyksikön resursseja tulee olla varattuna robottien käyttöönoton ajaksi, siten että homma etenee jouheasti?
  - viii. Ovatko kaikki käytössä olevat robotit saman tyyppisiä vai käytetäänkö eri tehtävissä eri malleja?
  - ix. Robottien vuotuiset huoltokustannukset?
- q. Onko robottien lastausta tai purkua automatisoitu?

- r. Paljonko investoinnit maksoivat infraan?
  - i. Hisseihin
  - ii. Oviin
  - iii. Rullakoihin
- s. Onko rullakko tippunut/kaatunut kyydistä?
- t. Onko rullakoiden painoja ikinä punnittu?
- u. Onko robotteihin kohdistunut ilkivaltaa tai häirintää?
- v. Miten kauan logistikoilla, jotka pakkaavat vaunuja/rullakoita on odottelua?
- w. Minkälainen toleranssi rullakon jättämispaikalla on?
- x. Käytetäänkö rullakoiden tunnistamiseen QR-koodeja tai muita tunnisteita?
- y. Paljonko Seinäjoella oli logistikkoja ennen muutosta?
- z. Miten keskeisellä paikalla terminaali on Seinäjoen keskussairaalassa?
- å. Olen huomannut laskelmissani, että robottien maksiminopeudella on hyvin suuri vaikutus robottien määrään, voisivatko robotit mielestäsi liikkua nopeampaa?
- ä. Miten paljon prosessit ovat muuttuneet automatisoitujen kuljetuksien vuoksi?
- ö. Minkälaista työtä tai tehtäviä on tullut lisää?
- aa. Vaatiiko robottien seuraaminen täyden työpanoksen?
- bb. Jos yöllä tapahtuu ongelma/virhe, niin kuka sen näkee ja korjaa?
- cc. Onko robotit aiheuttaneet haittailmoituksia liittyen potilasturvallisuuteen?
- dd. Riskit ovat siis olleet pienet ja hallinnassa?
- ee. Robottien käyttöaste?
- ff. Kauanko robotit joutuvat odottamaan hissejä?
- gg. Onko tapahtunut yhteentörmäyksiä ihmisen kanssa?
- hh. Ongelmia esteiden kanssa?
- ii. Olisiko sinulla jotain lisättävää/tarkennettavaa mielessä liittyen aiheeseen?
- jj. Liikkuvatko robotit osastoilla myös yöaikaan?
- kk. Aiheuttavatko robotit tai niiden kyydissä olevat rullakot melua?
- ll. Kuka teillä vastaa kuljetus- ja varastotoiminnasta?
- mm. Minkälainen koulutus roboteista vastaavalla operaattorilla on?