



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

VILLE VUORIO  
LINJASANEERAUKSEN PULLONKAULAT

Diplomityö

Tarkastajat: Prof. Jukka Pekkanen ja  
DI Anssi Koskenvesa  
Tarkastajat ja aihe hyväksytty  
Tuotantotalouden ja rakentamisen  
tiedekuntaneuvoston kokouksessa  
9.12.2015

## TIIVISTELMÄ

**Ville Vuorio:** Linjasaneerauksen pullonkaulat  
Tampereen teknillinen yliopisto  
Diplomityö, 79 sivua, 11 liitesivua  
Elokuu 2016  
Rakennustekniikan Diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma  
Pääaine: Rakennustuotanto  
Tarkastaja: Professori Jukka Pekkanen, DI Anssi Koskenvesa

Avainsanat: linjasaneeraus, kylpyhuone, pullonkaula, kapeikko, läpivirtaus, virtaus.

Linjasaneerauksilla on tällä hetkellä suuri tarve, joka vain jatkaa kasvuaan. Linjasaneerausprojektit ovat kuitenkin todella aikaa vieviä ja pitävät sisältävät paljon hukka-aikaa. Linjasaneerauksen läpimenoajan lyhentämiseksi, tutkimuksen päätavoitteena oli löytää linjasaneerauksien tuotannosta pullonkaulat eli esteet, jotka rajoittavat sujuvaa läpivirtausta. Tutkimuksessa pyrittiin myös löytämään keinoja, joilla näitä löydettyjä pullonkauloja voidaan kehittää niin, että läpivirtausta saadaan paremmaksi. Tätä kautta taas linjasaneerauksen läpimenoaika lyhentyy ja tuotanto parantuu. Tutkimus rajautui kerrostaloihin perinteisellä menetelmällä tehtäviin linjasaneerauksiin sekä empiirisessä osassa kahteen Case-kohteeseen.

Jokaisella systeemillä tai organisaatiolla on rajoite tai pieni määrä rajoitteita, jotka hallitsevat koko systeemiä ja rajoittavat tuotantoa. Systeemi tulee vahvemmaksi vain, kun parannetaan heikointa kohtaa. Läpivirtauksen parantamiseksi on välttämätöntä poistaa pullonkauloja ja saada systeemi toimimaan yhtenäisesti. Pullonkaulojen poistaminen nopean ja sujuvan läpivirtauksen aikaansaamiseksi ei ole vain kertaluonteinen asia vaan jatkuvan parantamisen prosessi.

Rakennustyömaan läpivirtausta rajoittavat pullonkaulat eivät välttämättä ole itsestään selviä ja helposti tunnistettavissa. Tämän vuoksi on oltava keinot pullonkaulojen tunnistamiseen sekä niiden poistamiseen. Rakennusala on vielä paljon jäljessä monesta muusta teollisuuden alasta. Onkin välttämätöntä hakea oppia muualta teollisuudesta ja luoda uusia keinoja rakennusalan tuotannonohjaukseen. Tätä kautta voidaan myös tunnistaa rakennustyömaan läpivirtausta rajoittavat tekijät.

Tutkimuksen empiirinen osa keskittyi kahden linjasaneerausprojektin ympärille. Molempia kohteita tutkittiin kameroilla sekä teemahaastatteluilla. Yhdessä kameroiden ja haastatteluiden avulla pyrittiin tunnistamaan linjasaneerauksen pullonkaulat sekä keinot niiden poistamiseen. Tutkimus rajautui perinteisen linjasaneerauksen töihin, joista pääosa toistuu projektista toiseen.

Tutkimuksen tuloksina esitetään Case-kohteista tunnistetut linjasaneeraustuotannon pullonkaulat sekä, miten näitä pullonkauloja voitaisiin parantaa ja poistaa läpivirtauksen parantamiseksi. Case-kohteet eivät olleet täysin samanlaisia projekteja, mutta niiden tuloksia pystyttiin hyvin vertaamaan sekä keskeisimmät ongelmat tunnistamaan.

## ABSTRACT

**Ville Vuorio:** Constraints of a HVAC renovation project  
Tampere University of Technology  
Master of Science Thesis, 79 pages, 11 Appendix pages  
August 2016  
Master's Degree Programme in Civil Engineering  
Major: Construction Management  
Examiner: Professor Jukka Pekkanen, M.Sc Anssi Koskenvesa

**Keywords:** HVAC renovation, bathroom, bottleneck, constraint, throughput, flow

At the moment there is a great and growing need for HVAC renovation projects. However, HVAC renovation project includes a lot of waste time and takes a long period to complete. To shorten the downtime in production of HVAC renovation project, the main objective was to identify the constraints which limit fluent throughput. The aim was also to find the ways to improve these identified constraints so the throughput would improve. As result of this the lead time would get shorter and production improved. The study is restricted to traditional HVAC renovation of multi-storey buildings. The empirical part of the study focuses on two Case- projects.

Every system or organization has a constraint or a small number of constraints, which rule the whole system and limit the production. The system comes stronger only if the weakest part of the system will improve. To improve the throughput, it is necessary to remove constraints and get the system work as together. Removing the constraints and improving the throughput is not done once since it is a process of continuing improving.

The constraints which limit a construction site is not necessary obvious and easy to identify. That is why there has to be ways to identify the constraints and to remove them. The construction sector is still way behind other manufacturing sectors in production so it is necessary to learn from others and create new ways for production management to be able to identify the throughput limiting constraints.

The empirical part of the study focuses on two different HVAC renovation projects. Both projects were studied by camera-analysis and theme interviews. Together with cameras and interviews the study focused on finding of constraints and ways to remove those. The study is restricted to stages of traditional HVAC renovation projects where most of the stages are frequent from project to project.

Results of the study are the constraints of HVAC renovation projects identified from the two Case-projects as well as how these constrains could be improved or removed to achieve better throughput. Case-projects were not fully similar but their results were able to compare in a way to identify the main problems.

## ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty opinnäytteeksi Tampereen teknillisen yliopiston rakennustekniikan laitokselle. Työn tekeminen oli todella opettavainen ja myös vaativa prosessi, joka lisäsi tutkijan ymmärrystä sekä mielenkiintoa aiheeseen ja avasi suuren pullonkaulan työuralta.

Haluan osoittaa suuret kiitokset työn ohjaajille Harri Heikuralle, Jaakko Viitaselle ja Anssi Koskenvesalle ammattitaitoisesta ja kannustavasta ohjaamisesta, jota ilman työn tavoite ei olisi ollut kirkkaana mielessä. Haluan kiittää myös Tuula Råmania ja Anna Masantia kannustuksesta. Kiitokset myös työn tarkastajalle, professori Jukka Pekkaselle sekä muille työhön vaikuttaneille henkilöille.

Viimeisenä, mutta ei vähäisempänä haluan kiittää perhettä ja opiskelukavereita, jotka ovat olleet tukenani koko opiskeluajan.

Helsingissä 12.8.2016

## SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
1.1	Tutkimuksen tausta .....	1
1.2	Tutkimuksen tavoitteet .....	3
1.3	Tutkimuksen rajaukset .....	3
1.4	Tutkimuksen toteutus ja rakenne .....	4
2.	LINJASANEERAUS .....	5
2.1	Linjasaneerausten tarve ja toteutusmahdollisuudet .....	5
2.2	Perinteisen linjasaneerauksen yleinen malli .....	6
2.3	Linjasaneeraukset kohdeyrityksen tuotannossa .....	9
3.	KAPEIKKOTEORIA .....	10
3.1	Kapeikkoteorian perusteet .....	10
3.2	Läpivirtausmaailma .....	12
3.3	Jatkuvan parantamisen prosessi .....	17
4.	KAPEIKKOJEN TUNNISTAMINEN TUOTANNOSSA .....	20
4.1	Tuotannonohjauksen keinot kapeikkojen tunnistamiseen .....	20
4.2	CCPM .....	24
4.2.1	Perusteet .....	24
4.2.2	Rakennusosalalla .....	26
4.3	Arvovirtakartoitus .....	28
4.4	Tahtiaika tuotannonohjaukseen .....	30
4.4.1	Periaatteet .....	30
4.4.2	Tahtiajan etenemisnopeus .....	31
4.4.3	Tahtiaikasuunnittelun edut .....	33
4.4.4	Prosessi tuotantosuunnittelulle käyttämällä tahtiaikaa .....	33
4.4.5	Tahtiaikatuotannon haasteet .....	35
4.4.6	Tahtiaika Case 1 .....	36
4.4.7	Tahtiaika Case 2 .....	40
4.5	Last Planner .....	42
4.6	LBMS .....	44
4.6.1	Sijaintiperusteinen suunnittelusysteemi .....	45
4.6.2	Sijaintiperusteinen Johtamissysteemi .....	45
4.7	Yhteenvedo kapeikoista .....	47
4.7.1	Pullonkaulojen tunnistus .....	47
4.7.2	Virtauksen parantaminen .....	49
5.	TUTKIMUSMENTELMÄT JA AINEISTO .....	53
5.1	Tutkimusmenetelmät .....	53
5.2	Kirjallisuusselvitys .....	53
5.3	Case- tutkimus .....	54
5.3.1	Kamera- analyysi .....	54
5.3.2	Teemahaastattelut .....	54

5.3.3	Case-kohteiden esittely .....	55
5.4	Tutkimusmenetelmien arviointi .....	55
6.	TULOKSET .....	57
6.1	Tulosten esittely .....	57
6.2	Case 1 .....	57
6.2.1	Aluksi .....	57
6.2.2	Sytä puskuriajoille .....	59
6.2.3	Vedeneristys- ja laatoitustyöt.....	60
6.2.4	Purkutyöt.....	60
6.2.5	Keittiönpuoleinen putkistohormin avaus .....	61
6.2.6	Urakkarajat.....	61
6.2.7	Yhteistyö .....	62
6.2.8	Uusien putkistojen painekokeet ja putkien eristys.....	62
6.2.9	Muita havaintoja .....	63
6.3	Case 2 .....	63
6.3.1	Aluksi.....	63
6.3.2	Viimeistelytyöt.....	66
6.3.3	Kylpyhuonekohtaisen aikataulutuksen toimivuus .....	66
6.3.4	Sytä puskuriajoille .....	67
6.3.5	Purkutyöt.....	67
6.3.6	Vedeneristys- ja laatoitustyöt.....	68
6.3.7	Rappaustöiden kesto .....	68
6.3.8	Muita ongelmia .....	69
6.4	Yhteenveto tuloksista .....	69
6.4.1	Aluksi.....	69
6.4.2	Ydinongelmat.....	70
6.4.3	Kylpyhuonetöiden pullonkaulat.....	71
7.	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	73
7.1	Tavoitteiden asettaminen ja niiden saavuttaminen.....	73
7.2	Tulosten kriittinen arviointi ja hyödynnettävyys .....	73
7.3	Jatkotutkimusaiheet .....	74
	LÄHDELUETTELO.....	75

LIITE 1: Case 1. Työvaiheanalyysi

LIITE 2: Case 1. Kylpyhuoneprosessi

LIITE 3: Case 2. Työvaiheanalyysi

LIITE 4: Case 2. Kylpyhuoneprosessi

LIITE 5: Case 1. Haastattelupohja

LIITE 6: Case 2. Haastattelupohja

## KESKEISET TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

CCPM	Critical Chain Project Management, suomeksi kriittisen ketjun projektinhallinta. Projektinjohtomenetelmä, jossa pyritään eritoten tehokkaaseen puskurien käyttöön.
CPM	Critical Path Method, suomeksi kriittisen polun menetelmä. CPM:ssä tutkitaan tehtävien riippuvuuksia ja muodostetaan sen avulla aikataulu.
JIT/JOT	Just-in-Time, suomeksi Juuri oikeaan tarpeeseen. Toyotan kehittämä tuotantofilosofia.
LBMS	Location-Based Management System. LBMS on paikkaperusteinen työmaan johtamis- ja aikataulutussysteemi.
Lean	Lean- termi on luotu kuvaamaan Toyotan tuotantojärjestelmää ja filosofiaa liiketoiminnan harjoittamisessa.
Lean Construction	Lean Construction eli Lean rakentaminen on lyhyesti tiivistettynä Lean tuotannonohjauksen soveltamista rakennusalle ja uusi teoriapohjainen lähestymistapa rakentamiseen.
LPS	Last Planner System. Lean Constructioniin perustuva rakennustyömaan tuotannonohjausmenetelmä.
Tahtiaika	Tahtiaika on asetus aika tietyn prosessin toimitukselle, jota ajaa asiakkaan vaatimus.
TOC	Theory of Constraints, suomeksi kapeikkoteoria, pullonkaulateoria tai rajoitteiden teoria. TOC:n filosofian pääajatus on se, että jokaisella systeemillä tai organisaatiolla on rajoite tai pieni määrä rajoitteita, jotka hallitsevat koko systeemiä ja rajoittavat tuotantoa.
TPS	Toyota Production System, suomeksi Toyotan tuotantosysteemi. TPS keskittyy hukan välttämiseen tuotannossa.
VSM	Value Stream Mapping, suomeksi arvovirtakartoitus. VSM on yksi Leanin työkaluista hukan tunnistamiseen ja sen poistamiseen valitussa arvovirrassa.

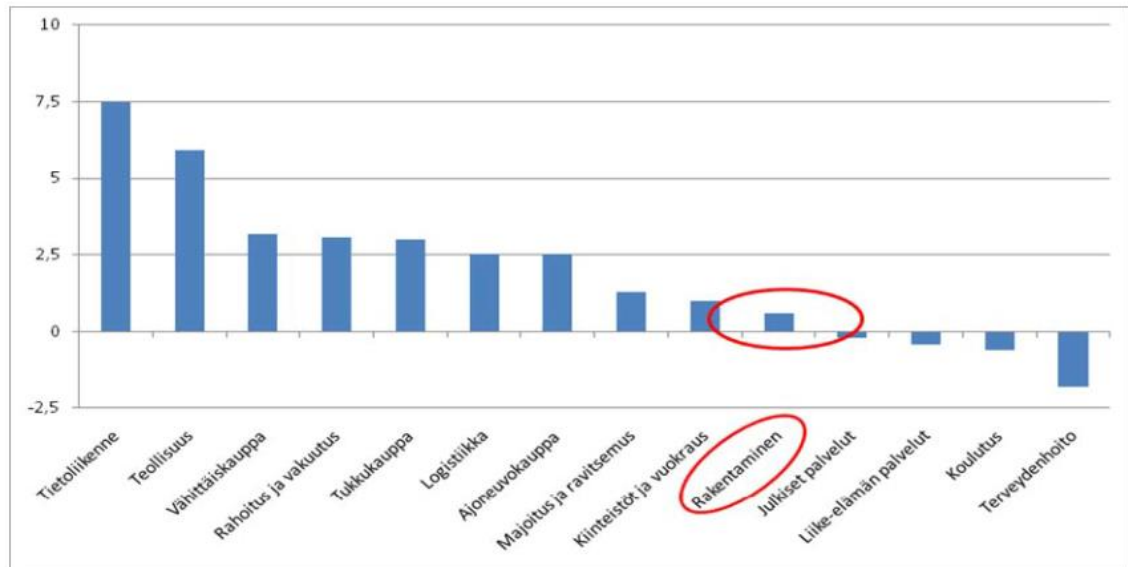


# 1. JOHDANTO

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Toiminnanohjauksen teoria on käynyt läpi suuren muutoksen viimeisten 40 vuoden sisällä, jossa taloudellisesta kustannusnäkökulmasta ollaan siirrytty korostamaan virtausta ja jatkuvaa hukkan poistamista sekä variaation hallintaa. Tämä muutos teollisuusajattelussa ei ole ollut kovin ilmeinen erillisten toimintojen omaavan projektinjohdon alalla, jossa perustana oleva teoria projektisuunnittelulle ja sen hallinnalle on säilynyt kustannuksiin keskittyneenä eikä ole suuremmin muuttunut viimeisten 50 vuoden aikana. Esimerkiksi on pitkään tiedetty, että suunnittelu- ja ohjaustyökalut kuten verkostosuunnittelu ja -aikataulut eivät tue tehokkaasti projektinhallintaa yleisellä tasolla eikä erityisesti rakentamisessa. Perinteinen rakennusalan projektinjohto on myös hyvin hajautettu ja johdannut osaoptimointiin. Tällöin projektin eri tahot pyrkivät saavuttamaan vain omaa etuaan, vaikka keskiössä pitäisi olla koko projektin tehostaminen. Tähän vaikuttaa suuresti tuotannonohjausmenetelmät, mutta myös heikko informaation ja tiedon hallinta. Rakennusosalalla ei yleensä tunnisteta edellytyksiä, joita vaaditaan esimerkiksi seuraavien työvaiheiden onnistumiseen. Rakentaminen nähdään vain peräkkäisinä työvaiheina, eikä jatkuvana virtausprosessina. Rakennusprojektin johtaminen onkin yleisesti ottaen informaatiovirran hallintaa. (Stratton et al. 2010; Li et al. 2009)

Rakentamisen arvonlisäyksen osuus bruttokansantuotteesta on viime vuosina ollut noin 5,5 prosenttia, mutta silti alalla on huono tuottavuuskehitys ja toimintatavat vanhanaikaisia (Rakennusteollisuus 2016). Jopa lähes 60 prosenttia Suomen rakentamisesta on hukkaa (Koskenvesa 2011). Rakennusalan tuottavuus verrattuna muihin aloihin onkin melko heikkoa. Vuosina 1980-2007 se on Elinkeinoelämän tutkimuslaitoksen (ETLA) mukaan ollut vain 0,6% vuodessa (Kuva 1.) ja viime vuosikymmenellä se on ollut tätäkin heikompa, vaikkakin rakentamisen sisällä tuottavuuden kehityksessä on huomattaviakin eroja. (Merikallio & Haapasalo 2009)



**Kuva 1.** Työn tuottavuuden kehitys palvelualoittain 1980-2007 (Etila, Haapasalon & Merikallion 2009, s.32 mukaan)

Forbes & Ahmed (2011, s. 2-3) mukaan tutkimus- ja kehitysinvestoinnit ovat sidoksissa tuottavuuden kasvuun, mutta silti tutkimus- ja kehitysinvestoinnit ovat säilyneet rakennusalanalla hyvin pieninä. Rakennusalan yleiseen tuottavuuteen on myös voimakkaasti vaikuttaneet muun muassa viranomais määräykset, ympäristö, ilmastolliset vaikutukset, energian hinta. Tuottavuuden parantaminen ei ole kuitenkaan ikinä ollut huomion keskipisteenä rakennusalla. Tämä saattaa mahdollisesti johtua mallin puutteesta, joka voi tuoda yhteen koko rakennusprosessin sirpaloituneet komponentit. (Forbes & Ahmed 2011, s.2-3)

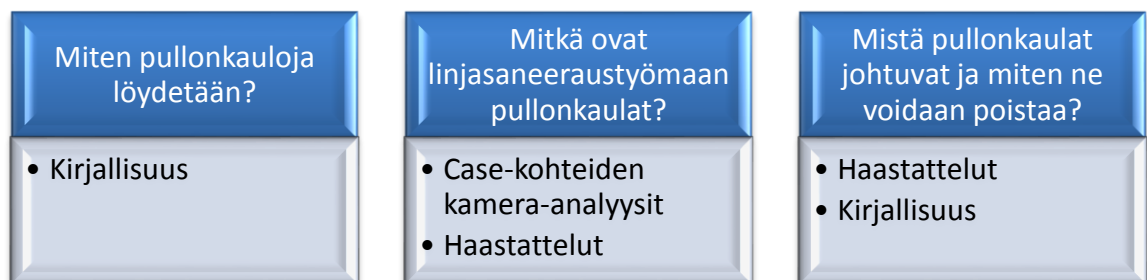
Tällä hetkellä linjasaneerauskohteen häiriöaika on todella pitkä, jolloin asiakkaat joutuvat olemaan poissa kotoa jopa muutaman kuukauden. Jos tuotantoa saadaan tehokkaammaksi ja häiriöaikaa lyhemmäksi, vaikuttaa se positiivisesti myös kustannuksiin. Tätä kautta putkiremontti tulee myös osakkaille edullisemmäksi. Putkiremontin häiriöajan lyhentyessä osakkaiden kustannukset myös tilapäisestä asumisesta pienenevät oleellisesti.

Rakennusalanalla jokainen hanke yleensä on omanlaisensa ja monet samana toistuvat säännöt eivät aina päde kuin samaa tuottavassa tehtaassa. Linjasaneeraukset voivat osakseen olla kuitenkin suhteellisen samanlaisia hankkeita verrattuna toisenlaisiin rakennushankkeisiin. Yksi keino häiriöajan lyhentämiseen voisi olla läpivirtauksen parantaminen pullonkaulojen löytämisen kautta (Goldratt 2014). Kuten monissa tehtaissa, myös rakennusprojekteista voi löytyä pullonkauloja, jotka rajoittavat läpivirtausta. Nämä pullonkaulat tunnistamalla ja niitä parantamalla, pystytään saavuttamaan huomattavasti parempi läpivirtaus. Tätä kautta taas linjasaneerauksen läpimenoaika voisi lyhentyä ja tuotanto parantua.

## 1.2 Tutkimuksen tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena on tunnistaa paremman läpivirtauksen ja nopeamman läpime-  
noajan esteenä olevat pullonkaulat linjasaneerausprojektien tuotannosta. Tämän tavoitteen  
saavuttamiseksi tutkimus pyrkii ensimmäisenä löytämään kirjallisuudesta menettelyt,  
joilla pullonkauloja voidaan tunnistaa rakennustyömaalta sekä keinot, joilla pullon-  
kauloja voidaan poistaa ja läpivirtausta parantaa. Tavoitteen saavuttamiseksi, tutkimuk-  
sen empiirinen osa keskittyy kahden Case-kohteen ympärille. Näiden Case-kohteiden  
avulla tutkimus pyrkii löytämään linjasaneerausprojektin pullonkaulat ja keinot niiden  
tehostamiseen.

Kuvassa 2. on esitetty tutkimuskysymykset ja niiden ratkaisuihin käytettävät tutkimus-  
menetelmät. Tutkimuksen teoreettiseen viitekehykseen kerätään aineistoa erilaisista jul-  
kaisuista kuten kirjallisuudesta, artikkeleista sekä vanhoista tutkimuksista ja Caseista.  
Osa aineistosta on sähköisessä muodossa ja osa kirjastoissa. Tutkimusmenetelmiä käsi-  
tellään tarkemmin luvussa 5. Tutkimusmenetelmät ja aineisto.



*Kuva 2. Tutkimuskysymykset sekä niiden ratkaisemiseen käytettävät menetelmät.*

## 1.3 Tutkimuksen rajaukset

Tutkimuksen teoreettisessa osassa etsitään menettelyjä rakennustyömaan pullonkaulojen  
tunnistamiseen vain operatiivisella tasolla työmaan tuotannonohjauksen keinoin. Tutki-  
muksen rajauksena ovat linjasaneeraustyömaan keskeiset kylpyhuoneessa tapahtuvat työ-  
vaiheet, jotka toistuvat jokaisella niin sanotulla perinteisellä menetelmällä toteutettavalla  
linjasaneeraustyömaalla. Perinteistä linjasaneerausta käsitellään luvussa 2. Linjasanee-  
raus. Tutkimuksen alussa valittuihin Case-kohteisiin asennetut kamerat kuvaavat vain

kylpyhuoneessa tapahtuvia töitä. Niiden materiaalia pyritään käyttämään mahdollisimman paljon hyväksi. Tutkitaan siis vain valittujen Case-kohteiden tuotantoprosessia. Tutkimus on kvalitatiivinen, johtuen ennalta määritetyistä Case-kohteista ja niiden rajallisuudesta määrästä.

## 1.4 Tutkimuksen toteutus ja rakenne

Johdanto-osuuden jälkeen tutkimuksen toisessa kappaleessa tutustutaan ensimmäisenä linjasaneeraukseen. Tarkoituksena on kertoa lukijalla lyhyesti, mitä linjasaneerauksella tarkoitetaan ja mitä se pitää sisällään. Kolmannessa luvussa tutustutaan teoreettisena viitekehyyksenä Eliyahu Goldrattin esittelemään Kapeikkoteoriaan (Theory of Constraints, TOC), jonka kautta pyritään kertomaan miksi pullonkaulat ja läpivirtaus täytyvät ottaa huomioon myös rakennusosalalla. Tämän jälkeen tutkimuksen neljännessä teoreettisessa luvussa käydään läpi erilaisia tuotannonohjauksen menetelmiä, joilla rakennustyömaan tuotantoprosessi voitaisiin saada paremmin virtaavaksi ja miten niiden kautta voitaisiin tunnistaa työmaalla piileviä pullonkauloja. Pyritään siis kehittämään ajattelua enemmän virtausajattelua kohti, missä ei keskitytä parantamaan prosessin yksittäisiä vaiheita, vaan pyritään hahmottamaan enemmän projektin kokonaisuutta.

Tutkimuksen empiirisen osan päätarkoitus on havainnoida ja analysoida kahden eri Case-kohteeseen asennettujen kameroiden tallenteet, jotka laitettiin tutkimuksen alulla kuvaamaan yhden linjan yhtä kylpyhuonetta. Tallenteista pyritään analysoimaan työvaiheiden todelliset kestot, hukka-ajat ja näiden perusteella pullonkaulavaiheet. Erinäisiä tietoja saadaan myös työmaiden aikatauluista. Koska yksi kylpyhuone ei kuitenkaan kerro totuutta esimerkiksi koko linjan osalta, pyritään kameroiden tallenteiden perusteella haastattelemaan työmaiden henkilöstöä siitä, mistä pullonkaulat sekä huono tuottavuus ja ongelmat johtuvat. Tällä tavoin tutkimus pyrkii luomaan myös suuremman kuvan ongelmista tai toisin sanoen mahdollisuuksista.

## 2. LINJASANEERAUS

### 2.1 Linjasaneerausten tarve ja toteutusmahdollisuudet

Linjasaneerauksella eli putkiremontilla tarkoitetaan kiinteistön putki- ja/tai sähköremonttia, jonka yhteydessä voidaan suorittaa myös muita kiinteistön tai taloyhtiön korjaushankkeita. Tässä tutkimuksessa linjasaneerauksella tarkoitetaan asuinkerrostaloissa tehtävää putkijärjestelmien uudistamista. Linjasaneerausprojektilla on paljon muusta rakentamisesta poikkeavia haasteita. Ensinnäkin on otettava huomioon olemassa oleva rakennus ja etenkin siinä asuvat ihmiset. Asukkaat saattavat myös asua huoneistossaan koko projektin ajan. Linjasaneerauksen tulee olla aina asiakaskeskeinen. Koska tällä hetkellä linjasaneeraus tehdään useimmiten noin vanhoihin 60- 70-luvun asuntoihin, ei niistä välttämättä löydetä alkuperäisiä suunnitelmia tai ne eivät pidä paikkaansa. Tärkeä osa linjasaneeraushanketta onkin hankesuunnittelu, jossa etsitään sopivia ratkaisuvaihtoehtoja hankkeen toteutukselle. Erilaiset mahdollisuudet ja toteutustavat täytyy ottaa huomioon erityisesti linjasaneeraushankkeissa, koska niillä vaikutetaan kustannusten lisäksi kiinteistön toimivuuteen, käyttökustannuksiin ja koko elinkaareen pidemmällä tähtäimellä. Hyvällä suunnittelulla ehkäistään myös yllättävät muutostarpeet, jotka voivat johtua muun muassa suunnittelun sisällön, toteutustavan ja hankkeen erityistarpeiden puutteellisesta määrittelystä. (RIL 2009)

1960- luvulla rakennustekniikkaa ja –menetelmiä pyrittiin kehittämään massatuotantoon soveltuviksi. Erilaisista talotyypeistä kerrostalo sopii parhaiten määrällisesti suureen tuotantoon ja tämän vuoksi kerrostalojen teollista massatuotantoa lähdettiin kehittämään. Perinteisestä työvoimavaltaisesta paikalla rakentamisesta oli päästävää nopeampaan ja taloudellisempaan rakennustapaan. Suurin osa 2010- luvulla peruskorjaukseen tulevista kerrostaloista onkin 1960- ja 1970- luvuilla rakennettuja betonielementtitaloja. Linjasaneerausten tarve vielä tulee kasvamaan merkittävästi, kun myös seuraavan vuosikymmenen aikana rakennetut suuret rakennusmassat tulevat korjausikään. Näiden rakenne, korjaustarpeet ja korjausmenetelmät ovat hyvin yhtenäisiä, mikä auttaa suunnittelijoita ja suorittajia kehittämään hyvin hallittuja teollisempia ratkaisuja ja parantamaan niitä. Tällä hetkellä korjataan metallisia putkistoja, koska ennen 1970- lukua viemäreitä ja vesijohtoja ei juuri tehty muista materiaaleista. Metallisten putkien kestoikäksi arvioidaan normaaleissa olosuhteissa ja tavanomaisessa käytössä vähintään 50 vuotta. Muovisten putkien käyttö aloitettiin kylmävesijohdoissa ja viemäreissä 1970- luvulla ja lämminvesijohdoissa 1990- luvulla. Muoviputkien kestoään arvellaan olevan sama kuin metalliputkien, joten putkiremontteihin ei pitäisi tulla materiaalien kestoästä johtuvaa epäjatkuvuuskohetta. Korjattavan materiaalin muuttuminen kuitenkin tulee antamaan omat haasteensa tekniseen toteutukseen. (RIL 2009)

Tässä tutkimuksessa keskitytään rajauksien vuoksi vain perinteiselle menetelmällä toteutettaviin linjasaneerauhankkeisiin. Perinteisellä menetelmällä tarkoitetaan putkistojen ja sähkölinjojen uusimista vanhoille paikoilleen. Menetelmänä se vaatii raskaita rakennustöitä kuten rakenteiden avaamista ja uusimista. Tällä haetaan kuitenkin uuden järjestelmän uutta elinkaarta ja jossa vakuutuksen epävarmuutta ei ole. (RIL 2009, s.109-113).

Linjasaneerauksen voi kuitenkin toteuttaa muutamalla eri menetelmällä riippuen mahdollisuuksista, tarkoituksesta ja siitä mikä on tavoiteltu elinkaari korjatuille järjestelmille. Perinteisen menetelmän ohella putkistot voidaan uusida myös uusiin kohtiin. Tällöin käytetään esimerkiksi moduuliratkaisuja tai pinta-asennuksia vesiputkille. Mikäli halutaan käyttökästä pidentävä ratkaisu, voidaan käyttää vesiputkien pinnoitusratkaisuja ja viemärien sujutus-/sukitusratkaisuja. Tällöin toimenpiteet tulee ajoittaa siten, että putkien kunto on riittävän hyvä. On kuitenkin tärkeää ymmärtää eri menetelmien yhteiskäytön mahdollisuudet eli niin sanotut hybridiratkaisut. Jos taloyhtiössä on esimerkiksi tehty paljon märkätilaremontteja, on saneerattujen rakenteiden avaaminen ja uudelleen rakentaminen lisäkynnys. Tällöin voidaan asentaa kylpyhuoneiden pintaan putket, jolloin rakenteiden avaamiselta vältytään. Toinen vaihtoehto voisi olla, että rakennuksen keskellä olevissa hormeissa sijaitsevat nousulinjat märkätilaliitäntöineen sukutetaan, mutta vaakalinjat lämpökeskuksesta nousuihin uusitaan venttiileineen ja säätöventtiileineen. (RIL 2009, s.109-113)

## 2.2 Perinteisen linjasaneerauksen yleinen malli

Seuraavassa kerrotaan vaiheittain Ratu toteutusohjeen G-0295 mukaan, mitä linjasaneerauksen työt pitävät sisällään, kun putkistot uusitaan vanhoille paikoilleen.

### 1. Huoneistojen ja porrashuoneen valmistelutyöt

Valmistelutyöt pitävät sisällään työt kuten porrashuoneiden ja asuntojen suojauksen, sähköistyksen ja palosuojelun. Myös tarvittavat koneet ja laitteet on saatava porrashuoneisiin. Jokaiseen huoneistoon jaetaan huoneistokortit, joista nähdään kyseiseen asuntoon tehtävät työt yksityiskohtaisemmin.

### 2. Putkistolinjojen sulkeminen ja vesikalusteiden irrottaminen

Porrashuoneen vesijohdot suljetaan nousulinjojen sulkuventtiileistä tai muista vastaavista sulkuventtiileistä. Myös kyseisen putkistolinjan viemäriinjojat poistetaan käytöstä kieltoilmoituksilla. Tämän jälkeen kylpyhuoneiden vesikalusteet, hanat, wc-istuimet ja altaat irrotetaan tilanteesta riippuen joko ehjinä tai rikkoen.

### 3. Pintojen (laatoitus, muovimatto, tasoite ja muut samankaltaiset) purkutyö

Tavanomaiset pintarakenteen kuten seinien ja lattioiden laatoitus sekä haluttu määrä vanhaa tasoitetta puretaan piikkaamalla. Muovimatot irrotetaan petkeleellä ja puiset alakatot purkurautaa ja sahaa käyttämällä. Lattian pintalaatta puretaan suunnitelmien mukaisessa laajuudessa tai kokonaan. Asbestia sisältävät pintarakenteet täytyy purkaa omana työvaiheenaan yleensä ennen tavanomaisia purkutöitä tai niiden ohessa.

#### **4. Hormirakenteiden purkaminen**

Hormit, joihin putkistot on sijoitettu, puretaan tarvittavilta osin. Yleensä kuitenkin yhdeltä tai kahdelta sivulta niin, että putkistot saadaan irrotettua ja poistettua.

#### **5. Putkistojen purkaminen**

Vesijohtojen ja viemäreiden purku aloitetaan ylimmästä kerroksesta purkamalla ne kokonaisina putkina. Asuntokerroksissa irrotetaan vesijohtojen ja viemäreiden kytkentäputket ja -viemärit.

#### **6. Kylpyhuoneen viemärien purku- ja asennustyöt**

Lattiarakenteessa oleva lattiakaivo ja liittymäviemäri sekä pesualtaan ja wc-istuimen liittymäviemärit piikataan esiin, puretaan ja uusitaan entisille paikoilleen tai asennetaan kokonaan uuteen paikkaan suunnitelmien mukaisesti.

Jos vesikalusteiden viemäriputket ja lattiakaivo uusitaan entisille paikoilleen, piikataan ne esiin välipohjalaatasta, irrotetaan ja asennetaan tilalle uusi vastaava järjestelmä. Asennusroilot valetaan täyteen laastilla.

Mikäli järjestelmä asennetaan uudelle paikalle välipohjalaataan, tulpataan vanhat viemäriputket ja täytetään lattiakaivo sementillä. Välipohjalaataan piikataan uudet roilot, joihin uusi vastaava järjestelmä asennetaan.

Uudelle paikalle asennettaessa vanha lattiakaivo porataan irti timanttiporalla. Uusi kaivo voidaan asentaa vanhan paikalle. Kaivon alapuoli täytyy muotittaa ja tukea ympäröiviin rakenteisiin. Kaivon ympäryks valetaan täyteen betonilaastilla. Pesualtaan, pesukoneen poistovesiputken ja wc-istuimen vanhat putket tulpataan ja uusille putkille piikataan uudet roilot. Uusi lattiakaivoviemäri kiinnitetään alapuolella olevaan kattoon, josta se kuljetetaan hormiin ja siellä uuteen nousuputkeen. Kylpyhuoneen seiniin ja mahdollisesti kattoon piikataan roilot myös sähköasennusten suojaputkia varten.

#### **7. Uusien nousuputkistojen asentaminen ja liittäminen**

Uusien vesijohtojen ja viemärien nousuputket asennetaan paikoilleen hormiin ja kiinnitetään seinärakenteeseen. Myös uudet sähköjohdot asennetaan suunnitelmien mukaisesti joko hormiin tai ulkopuoliseen koteloon. Hormiin ja koteloihin rakennetaan kerrostasojen kohdalle palokatkot palovillasta, -kitistä ja muista palamattomista materiaaleista.

Myös huoneistokohtaiset vesijohtojen kytkentäjohdot, haara- ja sulkuventtiilit sekä vesimittarit asennetaan paikoilleen. Kytkentäjohdot täytyy tulpata ennen kaluste- ja varusteasennusta. Kaikki putkistoasennukset koepaineistetaan ja tarkastetaan ennen kuin hormi suljetaan.

#### **8. Sähkö- ja ilmanvaihtoasennukset**

Sähköasennuksia varten kylpyhuoneen sienien ja kattojen roiloihin asennetaan sähköjohtojen suojaputket. Ilmanvaihtojärjestelmää parannetaan ja uusitaan kattorakenteen edellyttämällä tavalla. Ilmanvaihtohormit, ritilät ja venttiilit puhdistetaan. Jos kylpyhuoneeseen asennetaan uusi alakatto, johdetaan ilmanvaihtohormista tilaan uusi ilmanvaihtokanava.

#### **9. Hormi- ja pintarakenteiden korjaus ja uudelleen rakentaminen**

Putkien ja kaivojen asennusten jälkeen paikataan lattian piikkausurat ja lattiakai-  
von ympärys korjausmassalla valamalla. Seinissä olevat asennusurat täytetään se-  
menttilaastilla rappaamalla. Hormit rakennetaan umpeen tiilillä tai harkoilla muu-  
raamalla tai vaihtoehtoisesti levyrakenteisena.

#### **10. Lattia**

Puretun pintalaatan tilalle valetaan uusi pintavalu korjauslaastilla. Pintavalun  
avulla tasoitetaan lattia ja muodostetaan riittävät kallistukset lattiakai-  
vuon, suihkuun sekä myös muualle lattiaan. Mahdolliset lattian lämmitysjärjestelmät voi-  
daan asentaa joko pintavalukerrokseen tai ohuen kiinnitys-laastikerroksen avulla  
pintavalukerroksen päälle.

#### **11. Seinät ja katto**

Kylpyhuoneen seinät ja mahdollisesti myös katto tasoitetaan märkätilaan soveltu-  
valla laastilla. Ennen tasoitusta, tarkistetaan vesijohto-, viemäri ja sähköasennus-  
ten valmius. Seinät, nurkat ja kulmat tasoitetaan suoriksi ja tasaisiksi.

#### **12. Vedeneritys**

Kylpyhuoneen seinät ja lattia vedeneristetään suunnitelluilla materiaaleilla. Ve-  
deneristystä tarkkaillaan työn aikana esimerkiksi ottamalla näytepaloja vedeneris-  
tyskerroksesta ja seuraamalla materiaalin menekkiä.

#### **13. Seinät- ja lattiapinnat**

Seinä- ja lattiapinnat laatoitetaan ja saumataan suunnitelmien mukaisilla tai huo-  
neiston omistajan toimittamilla materiaaleilla. Laatoituksen liitossaumat, seinien  
nurkka- sekä ovikarmisaumat kitataan joustavalla märkätiloihin tarkoitettulla ki-  
tillä.

#### **14. Katto**

Kylpyhuoneen katto joko maalataan tai kattoon rakennetaan alakatto. Ennen maa-  
laustyötä tai alakattotöitä varmistetaan kattoon tulevien sähköasennusten ja il-  
manvaihtojärjestelmän asennusten valmius ja toimivuus.

#### **15. Vesi- ja kylpyhuonekalusteiden asentaminen**

Kylpyhuoneeseen asennetaan kalusteet kuten pesualtaan kaappi, peili tai peili-  
kaappi, wc-paperiteline ja pyyheliinakoukut. Myös vesikalusteet kuten wc-istuin,  
pesuallas, hana ja poistoputki sekä suihkuvarusteet ja sekoittaja asennetaan pai-  
koilleen sekä liitetään vesi- ja viemärijohtoihin. Lattiakai-  
vuon täytyy asentaa rei-  
käkansi ja oveen uusi tai kunnostettu kynnyks.

#### **16. Koekäyttö**

Kaikkien vesi- ja viemäri-  
linjaston asennusten jälkeen suoritetaan linjastossa yh-  
teiskäyttökokeilu, jolla varmistetaan asennusten ja laitteiden toimivuudesta sekä  
liitosten tiiviyydestä.

#### **17. Siivous**

Huoneisto siivotaan puhtaaksi ja pölyttömäksi. Poistetaan myös kaikki työnaikai-  
set sähkö-, ilmanpuhdistus- ja laiteasennukset sekä tilojen ja rakenteiden suo-  
jaukset.

#### **18. Työn luovutus**



Linjasaneeraustyön valmistuttua, se luovutetaan huoneiston haltijalle ja tilaajalle sopimusasiakirjoissa esitetystä järjestyksessä. Yleensä asunnot luovutetaan käyttöön heti linjakohtaisen korjaustyön valmistuttua. Kokonaisuudessa hanke luovutetaan tilaajalle vasta hankkeen kaikkien töiden valmistuttua.

Tarkastusta varten osakkaat tekevät huoneistoissa havaituista virheistä virheluettelo, jonka valvoja ja urakoitsija käyvät läpi tarkastuksen yhteydessä. Virheet ja puutteet korjataan ennen työn luovuttamista tilaajalle.

Hankkeen luovutustarkastuksessa eli niin sanotussa vastaanottotarkastuksessa taloyhtiön edustaja, valvoja ja urakoitsija tarkastavat urakkasuorituksen.

### **2.3 Linjasaneeraukset kohdeyrityksen tuotannossa**

Tutkimuksessa käytettävät Case-kohteet ovat Fira Palvelut Oy:n työmaita. Linjasaneerauksilla on hyvin pitkälti sama tavoite, mutta toteutusmahdollisuudet ja tuotantotapa voivat kuitenkin poiketa eri yritysten välillä.

Fira Palvelut on linjasaneerauksia toteuttava rakennusliike, jonka liiketoiminnan kulttuurina ajaa vahva palveluliiketoiminta. Vuonna 2015 Fira Palveluilla oli jatkuvasti 7-9 hanketta auki huoneistolinjojen osalta. Asunnoissa tämä tarkoitti 220-280. Yhteensä asuntoja kyseisen vuoden aikana remontoitiin noin 850. Lämpimenoaika asuntojen remontoinnilla oli noin 12 viikkoa, joka hyvin normaali linjasaneerauksille tällä hetkellä. Vuoteen 2017 mennessä Fira Palveluilla on tavoitteena huomattavasti nopeammat läpimenoajat ja sulavampi tuotantoprosessi. Tällöin hankkeita olisi auki samanaikaisesti 4-5 tarkoittaen asunnoissa 120-160 kappaletta ja yhteensä niitä valmistuisi noin 1200 vuodessa. Myös asuntojen läpimenoajat lyhenisivät neljään viikkoon, jolloin työmaiden suunnittelu ja seuranta tarkentuisi viikko- tai päivätasolta jopa tuntitasolle. (Fira Palvelut Oy 2016)

Koska suuri osa rakentamisesta on tällä hetkellä hukkaa, Fira Palvelut pyrkii koko ajan kehittämään linjasaneerausprojekteja parempaan suuntaan esimerkiksi uusilla ja paremmilla hankemalleilla, suunnittelulla ja organisoinnilla. Tuotteistamisen sijaan Fira Palvelut keskittyy enemmänkin perinteisellä menetelmällä tehtävien projektien aikataulutuksen ja organisoinnin parantamiseen sekä yleisesti tuotannonohjauksen virtausajatteluun. Fira Palvelujen tutkimuksen mukaan linjasaneerauksen aikana kylpyhuoneet ovat tyhjillään jopa 82 prosenttia. Suuri hukka aika on mitattu silloin, kun linjasaneerauksen työvaiheet aikataulutetaan linjakohtaisesti eli yhden putkistolinjan kaikki asunnot kerralla. Tästä johtuen Fira Palvelut ovat lähteneet aikatauluttamaan projekteja tarkemmin. Eräässä Fira Palvelujen Case-kohteessa lähdettiin aikatauluttamaan linjakohtaisesta poiketen asuntokohtaisesti niin, että montaa asiaa ei tehty kerralla vaan työvaiheet etenivät asuntokohtaisesti alusta loppuun. Kokonaisuuden optimoiminen vaati myös paljon muuta kuten yhdessä suunnittelemista sekä varmistamista, että kaikki tietävät mitä tehdä oikeana hetkenä. Kyseisessä kohteessa päästiin keskimäärin 27 prosenttia nopeampiin läpimenoaikoihin. (Fira Palvelut Oy 2016)

## 3. KAPEIKKOTEORIA

### 3.1 Kapeikkoteorian perusteet

Kapeikkoteorian kehitti Israelilainen fyysikko, Eliyahu Goldratt, josta tuli myöhemmin teoriansa ansiosta yksi talousmaailman guruista. Kaikki sai alkunsa Goldrattin kirjasta ”The Goal” vuonna 1984, jossa hän ensimmäisen kerran toi esille mullistavan tuotannon aikatauluteoriansa. Kapeikkoteoriasta voidaan käyttää myös nimitystä Pullonkaulateoria tai Rajoitteiden teoria. Tässä tutkimuksessa käytetään kuitenkin nimitystä Kapeikkoteoria. Kapeikkoteorian filosofian pääajatus on se, että jokaisella systeemillä tai organisaatiolla on rajoite tai pieni määrä rajoitteita, jotka hallitsevat koko systeemiä ja rajoittavat tuotantoa. Systeemi tulee vahvemmaksi vain, kun parannetaan heikointa kohtaa. Kapeikkoteoria adoptoi yleisen käsityksen ”ketju ei ole vahvempi kuin sen heikoin lenkki” uutena johtamisen ajatusmallina. Tämä tarkoittaa, että prosessit, organisaatiot systeemit tai muut vastaavat ovat haavoittuvaisia, koska heikoin osa tai henkilö aina vahingoittaa tai rikkoo ne tai vähintäänkin vaikuttaa tuotantoon haitallisesti. (Jan & Ho 2006; Tulasi & Rao 2012)

Rajoite tunnistetaan yleensä fyysiseksi systeemiksi kuten pullonkaulaksi, kapeikoksi, ah-  
taumaksi, joka rajoittaa virtausta systeemin läpi. Fyysinen ketju on yleisin rekvisiitta kuvaamaan Kapeikkoteorian kuvaamaa rajoitetta. Ketjun tarkoitus on kestää siihen kohdistunut jännitys. Voidaan helposti ajatella, että ketjun heikoin lenkki määrittää koko ketjun kestävyuden. Jos lisätään muiden kuin heikomman lenkin kestävyyttä, ei sillä ole vaikutusta ketjun kestävyteen kokonaisuudessaan. (Balderstone & Mabin 1998; Leach 2014, s.53-54)

Jokainen systeemi on siis rajoitettu muutaman tai vähintään yhden rajoitteen tai pullonkaulan vuoksi. Tämän vuoksi Kapeikkoteorian prosessi pyrkii tunnistamaan rajoitteet ja uudelleen rakentamaan muun organisaation niiden ympärille. Salaisuus menestykseen piilee näiden rajoitteiden hallinnassa ja siinä, kuinka systeemi on vuorovaikutuksessa niiden kanssa. Tähän pyritään Goldrattin esittämän viiden askeleen avulla, jotka esitellään myöhemmin tässä tekstissä. (Tulasi & Rao 2012)

Tosielämän muuttajat tekevät pullonkaulojen löytämisen monimutkaiseksi. Tosielämän systeemeissä, prosessit eivät ole staattisia ja voivat muuttua. Pullonkauloista on olemassa monia erilaisia käsitteitä. Pullonkaula voidaan määritellä olevan prosessi, joka rajoittaa tuotantoa. Se voidaan myös määritellä olevan prosessi, jonka eristetyllä tuotantoasteella on suurin vaikutus koko systeemiin verrattuna muihin prosesseihin. Yhtenä määritelmänä pullonkaula on systeemin taso, jolla on suurin vaikutus koko systeemin hidastumiseen tai sen pysähtymiseen. Pullonkaula on prosessi, joka vaikuttaa koko systeemin läpivirtaukseen. Mitä suurempi vaikutus, sitä merkittävämpi pullonkaula on. (Roser & Nakano 2015)

Edellä mainittuun määritelmään perustuen yleensä useampi kuin yksi prosessi on pullonkaula, joten on kiinnostavaa vertailla eri pullokaulojen relevanssia. Mitä suurempi pullonkaula, sitä suurempi on sen vaikutus koko systeemin läpivirtaukseen. Tämä vaikutus on vaikeaa tutkia analyttisesti, mutta sitä voidaan tutkia kokeellisesti vertailemalla systeemien käyttäytymistä vertailemalla erilaisia tuotantonopeuksia. (Roser & Nakano 2015)

Jos systeemillä tai organisaatiolla ei olisi yhtään rajoitetta, sen tuotanto joko nousisi ikuisesti tai painuisi nolnaan. Tämän vuoksi rajoite rajoittaa minkään systeemin tuotantoa laskemaan nolnaan. Salaisuus menestykseen piilee näiden rajoitteiden hallinnassa, ja siinä kuinka systeemi on vuorovaikutuksessa näiden rajoitteiden kanssa saadaksesen systeemin toiminaan parhaalla mahdollisella tavalla. (Leach 2014)

(Watson et. al 2007, s. 400) tutkivat artikkelissaan kapeikkoteorian kehitystä, jossa he tutkivat yli 400 kirjaa, akateemista artikkelia, väitöskirjaa, lehtiartikkelia, konferenssi pöytäkirjaa, raportteja ja muita samanlaisia. Heidän mukaansa yli puolet näistä oli kirjoitettu 1998 vuoden jälkeen, joten huomataan, että ajansaatossa teoria on tullut entistä tunnetummaksi. Lisäksi, kapeikkoteoriaa läpikäyvät julkaisut ovat parantuneet huomattavasti samaan aikaan kuin ne ovat lisääntyneet. Tämä lisääntynyt hyväksyntä näyttää tulevan Kapeikkoteorian käyttöön otton tuomista hyödyistä. Suuri osa Kapeikkoteorian hyödyistä ei tule vain operatiivisten ja taloudellisten toimien parantumisesta, mutta myös monessa muussa muodossa. Näitä ovat Watson et al (2007) mukaan:

- 70% lyhentyminen tilaus-toimitusajassa. 32 havainnon otannasta 75% kertoivat parannuksen olevan yli 50%.
- 65% vähentyminen valmistusajassa 14 havainnon mukaan.
- 49% varastojen vähentyminen 32 havainnon mukaan.
- 63% parantuminen läpivirtauksessa 22 havainnon mukaan, joista viiden mukaan parantuminen oli yli 100%. Mukaan ei laskettu Lucent Technologiesia, jolla parantuminen oli ollut yli 600%
- 44% parantuminen eräpäivätehokkuudessa 13 havainnon mukaan.

Kapeikkoteoria tekee harppauksen läpivirtausketjuihin ja esittää teorian, että jokaiselle ketjulle läpivirtaus on rajoitettu enintään yhdellä rajoitteella. Tämä on mahdollisesti helpompi ymmärtää projekteissa, joissa projektisuunnitelmalla voi olla vain yksi pisin polku. Vain silloin, kun kaksi tai useampi polku olisi juuri saman pituisia, asia ei olisi näin. Heti, kun projekti alkaa, on todennäköistä, että yksi polku tulee todelliseksi rajoitteeksi. Tämä rajoite eli pisin polku tulee vaihtelevaan projektitoiminnan tehokkuuden vuoksi. Mutta koko ajan vain yksi kontrolloi projektin valmistumisaikaa. (Leach 2014)

Kapeikkoteorian perusteiden ymmärtäminen johtaa moniin periaatteisiin. William Dettmer esitti seuraavan listan kapeikkoteorian periaatteista (Leach 2014):

1. Muutoksen hallintaan ja ongelmien ratkaisemiseen systeemiajattelu on suositeltavampaa analyttiseen ajatteluun verrattuna.
2. Optimaalinen systeemin ratkaisu heikkenee ajan saatossa ympäristövaihtelujen vuoksi. Tämän vuoksi prosessin jatkuva parantaminen on tärkeää ratkaisujen tehokkuuksien päivittämiseen ja ylläpitämiseen.
3. Optimaalinen systeemi ei ole paikallisten optimointien summa. Systeemin eri osaluokkien paikallinen optimointi ei välttämättä lisää systeemin tehokkuutta.
4. Systeemit ovat kuin ketjuja. Jokaisella systeemillä on heikoin lenkki eli rajoite, joka rajoittaa koko systeemiä.
5. Jos parannetaan jonkin muun kuin heikoimman lenkin suorituskykyä, se ei auta mitenkään koko systeemin suorituskykyyn.
6. Jotta tiedetään mitä muuttaa, vaatii se perusteellista ymmärtämistä, mikä on systeemin nykyinen todellisuus, sen tavoite, suuruus ja suunta.
7. Suurin osa systeemin epätoivotuista vaikutuksista aiheutuvat muutamasta ydinongelmasta.
8. Ydinongelmat eivät melkein ikinä ole ulkoisesti ilmeisiä. Ne tuovat itsensä esille monien epätoivottujen vaikutusten ja syy-seuraus suhteiden kautta.
9. Yksittäisten epätoivottujen vaikutusten eliminointi ja ydinongelmien huomiotta jättäminen antavat väärän kuvan. Näin tehdyt ratkaisut ovat todennäköisesti lyhytaikaisia. Ratkaisu, joka eliminoi ydinongelmat, samanaikaisesti eliminoin myös epätoivotut vaikutukset.
10. Ydinongelmat yleensä lähtevät piilossa olevista ristiriidoista. Ydinongelmien ratkaisu vaatii haastamaan ristiriidan alla olevat oletukset ja mitätöimään ainakin yhden niistä.
11. Systeemin rajoitteet voivat olla joko fyysisiä tai toimintatapoihin liittyviä. Fyysiset rajoitteet ovat yleensä helpompi tunnistaa ja poistaa. Toimintatavat taas ovat yleensä vaikeampia, mutta ne yleensä vaikuttavat suuremmalla asteella systeemiin kuin fyysiset rajoitteet.
12. Vastahakoisuus on jatkuvan parantamisen pahin vihollinen. Yleensä muutokset vaativat paljon, mikä aiheuttaa vastahakoisuutta.
13. Ideat eivät ole ratkaisuja.

## 3.2 Läpivirtausmaailma

Eliyahu Goldrattin mukaan yhtiön tavoite yksi ja ainoa: Tehdä rahaa nyt ja tulevaisuudessa. Kuitenkin Goldrattin mukaan tavoitteeseen pääseminen vaatii muita välttämättömiä edellytyksiä. Näitä voivat olla esimerkiksi laatu, kilpailuetu, teknologia johtaminen, kassavirta ja tyytyväiset työntekijät. (Goldratt 2014; Goldratt 1990)

*”Yritykset ovat mentaalisesti niin uppoutuneet säästämään rahaa, jolloin ne unohtavat, että projektin tarkoitus kokonaisuudessaan ei ole säästää rahaa vaan tehdä rahaa”* (Goldratt 1997; Käännetty lähteestä: Westerlund 2004)

Selventääkseen Kapeikkoteorian ominaispiirteitä Goldratt (1997 s.88-89) määrittä kaksi keskeistä käsitettä, jotka ovat kustannusajattelu ja läpivirtausajattelu. Nämä kaksi ovat oikeastaan kaksi erilaista tapaa myös laskentatoimeen. Goldratt määrittä vanhan laskentatavan nimellä kustannusajattelu, koska se toimii oletuksella, että tuotteen kustannus on päätapa ymmärtää arvoa ja tehdä päätöksiä liiketoiminnan kannalta. Tämä vaatii monien kulujen kohdistamista tuotteille tarkempien tuotekustannussuunnitelmien kuten toimintolaskennan kautta. Nämä suunnitelmat ovat täynnä oletuksia, jotka yleensä johtavat virheellisiin ymmärryksiin ja päätöksiin. (Westerlund 2004)

Näillä kahdella johtamisen tavalla ei näyttäisi olevan minkäänlaista kompromissia keskenään. Kustannusajattelun mukaan jokainen paikallinen parannus johtaa automaattisesti koko organisaation parantumiseen. Tämä toteamuksen mukaan koko organisaation parantaminen vaatii siis monia paikallisia parannuksia (Goldratt 1997, s.88). Läpivirtausajattelun mukaan paikalliset parannukset eivät automaattisesti vaikuta globaaliin parantumiseen. Pelkästään eri yksiköiden tai prosessien parantaminen ei vaikuta läpivirtaukseen, koska täytyy huomioida myös niiden yhteydet toisiinsa (Goldratt 1997, s.90). Tätä tarkemmin selventääkseen Goldratt (1997, s.89) rinnastaa yhtiön vahvuuden fyysiseen ketjuun. Tämä ajattelutapa demonstroi, että tehokkuus ei ole määritetty vain ketjun eri lenkeissä vaan myös niiden yhdistyskohdissa. Vastaavanlaisesti on selvää, että ketjun heikoin lenkki määrittää koko systeemin vahvuuden. (Goldratt 1997, s.89; Westerlund 2004)

Dr. Goldratt määrittä läpivirtausmaailmaa varten uuden tavan laskentatoimelle. Kapeikkoteorian mukaan on olemassa vain kolme avointa reittiä rahan tekemisen lisäämiseksi (Leach 2014):

- *Läpivirtaus (Throughput)*: Kaikki raha, jotka saadaan tuotetta myymällä. (Voitto miinus raakamateriaalikustannukset)
- *Varastot (Inventory)*: Kaikki käyttöomaisuudessa kiinni oleva raha, jolla voidaan tehdä läpivirtausta. (Tässä käyttöomaisuutta (fixed-cost) ja varastoa (Inventory) pidetään samana.)
- *Juoksevat kulut (Operating expenses)*: Läpivirtauksen tuottamiseen kulutettava raha, joka ei muutu läpivirtauksen määrän mukaan (esimerkiksi hallinto, rakenukset, energia, markkinointi ja palkat).

Kapeikkoteorian mukaan tavoitteen saavuttamiseksi tarvitaan mittarit, joilla voidaan määrittä paikallisten päätösten vaikutus globaaliin. Voimme arvioida taloudellisista vaikutusta näillä kolmella mittarilla (Goldratt 1990):

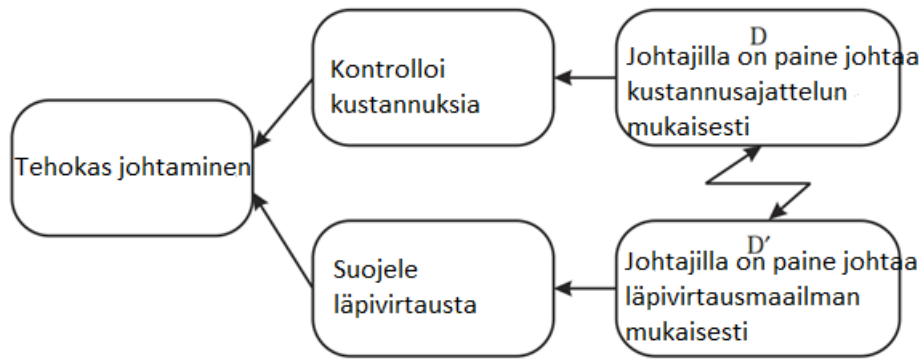
- $\text{Nettovoitto (Net Profit)} = \text{Läpivirtaus} - \text{Juoksevat kulut}$
- $\text{Sijoitetun pääoman tuotto (ROI, Return on Investment)} = \frac{\text{Nettovoitto}}{\text{Varastot}}$
- **Kassavirta (Cash Flow)** eli kaikki raha, joka yrityksellä on käytössä. Kun on tarpeeksi rahaa, ei se ole tärkeää. Kun taas sitä ei ole tarpeeksi, millään muulla ei ole merkitystä.

Kustannusajattelua ei pidetty huonona, kun se kehitettiin viime vuosisadan vaihteessa. Silloin sen kehittäneet suuret yritykset koostuivat pääosassa tehtaista suurilla pääomasi-joituksilla (resurssiteollisuus, teräs, rautatiet, ja myöhemmin autoteollisuus). Tuohon aikaan asiat ajateltiin, että työntekijä oli muuttuva kustannus. Työntekijöitä haettiin eniten töihin, jotka eivät vaatineet taitoa. Työntekijöitä oli paljon ja heitä oli helppo korvata, joten oli helppo muuttaa työvoiman määrää kysynnän mukaan. Nykyään taidokas työvoima vaihtuu paljon vähemmän ja perinteiset käyttökustannukset ovat vähemmän pysyviä. Konsepti, jossa kustannuksia kohdennetaan työntekijöihin tai tuotteisiin, vaatii aina monia satunnaisia oletuksia. Nämä kauan sitten unohdetut oletukset vaikuttavat päätökseen käyttämällä kuluihin perustuvia laskentatapoja. (Leach 2000, s.56)

Läpivirtausajattelu korjaa nuo virheet ja keskittyy yrityksen tavoitteeseen eli tehdä rahaa nyt ja tulevaisuudessa. Kaikki päätökset ja mittarit liittyvät globaaliin tavoitteeseen, ja johtavat yleensä erilaisiin päätöksiin kuin kustannusajattelussa. Esimerkiksi kuluihin keskittyvässä kustannusajattelussa johtajat mittaavat paikallisten työpisteiden operatiivisia tehokkuuksia. Talousihmiset laskevat varastot yrityksen voimavaroihin. Jos tuotetta ei tarvitse tuottaa asiakkaiden tarpeeseen, tuotetaan sitä varastoihin, mikä lisää paikallisen työaseman tehokkuutta ja näyttää näin ollen hyvältä. Valitettavasti esimerkiksi tehdas ei tee rahaa varastoilla. Varastojen tekeminen ja pitäminen kuluttavat rahaa. Se rasittaa rahavirtaa ja vähentää käytettävissä olevaa rahaa tehtaalla. Laskentatapa väittää sen olevan hyvä, mutta todellisuus on aivan toinen. Sitten, kun varastot myydään (mikä on hyvä), se vähentää voimavaroja (mikä näyttää huonolta). Tämä ei ole kovinkaan järkeenkäypää yrityksen kannalta. (Leach 2000, s.57)

Toisaalta, mitä yleensä pidetään yrityksen suurimpana kilpailuetuna? Ihmisiä. Miltä ihmiset näyttävät laskentajärjestelmässä? Kuluilta. Ihmiset ovat ensimmäinen asia, joista halutaan eroon, kun liiketoiminta näyttää huonolta; pidetään voimavarat ja vähennetään kuluja. Näin heitetään pois kyky tehdä rahaa nyt ja tulevaisuudessa. (Leach 2000, s.57)

Tehokas tapa arvioida johtajien vastaan samaa dilemmaa on käyttää yhtä Goldrattin työkalua; Haihdustuspilveä (Evaporating cloud). Kuva 3. esittää pilven, jossa kuvataan kustannus- ja läpivirtausajattelun vastakkainasettelu. Laatikko A esittää yleisiä johtajien tavoitteita. Laatikko B ja C ovat vaatimuksia joilla saavutetaan nämä tavoitteet. Ylemmässä osassa: Hyvä johtaminen vaatii hyvää kustannusten hallintaa. Alemmassa osassa taas: Hyvä johtaminen vaatii, että läpivirtausta suojellaan. (Leach 2014, s.78-79)



**Kuva 3.** Kustannus- ja läpivirtausajattelun vastakkainasettelun haihdutuspilvi  
(Käännetty lähteestä Leach 2014, s.79)

Läpivirtauksen optimointi vaatii koko systeemin ymmärrystä ja hallintaa. Tärkein vaikutus läpivirtausmaailman ajattelussa on se, että se vaatii keskittymistä läpivirtaukseen kuin todella suositeltuun polkuun systeemin parantamiseksi. Kun katsotaan, miten läpivirtaus, varastot ja käyttökustannukset vaikuttavat nettovoittoon ja sijoitetun pääoman tuottoon, nähdään selvä johtopäätös, että läpivirtaus on kaikista tärkein muuttuja. Parannukset läpivirtauksessa ovat rajattomia, kun parannukset käyttökustannuksissa ja varastoissa ovat rajoitetut. (Leach 2014, s.79)

Kustannusajattelu johtaa asteittaiseen kuvaan jokaisesta osasta tuotantosysteemiä ja johtaa keskittymään käyttökustannuksiin. Käyttökustannuksia voidaan pienentää jokaisessa osassa systeemiä, jolloin käyttökustannusten summa pienenee. Tämä ajattelu johtaa kuvan 3. D-alueen logiikkaan, jossa kustannusten hallitsemiseksi, johtajat joutuvat johtamaan kustannusajattelun mukaan. Tällöin johtajat on pakotettu leikkaamaan kustannuksia, vaikka he saattavat tietää tuottojen kärsivän seuraavina vuosina. (Leach 2014, s.79)

Johtaminen kustannuksen pienentämiseksi on yleensä ristiriidassa johtamisen kanssa, joka pyrkii lisäämään läpivirtausta. Nykyään monet yritykset keskittyvät kustannusten leikkaamiseen. Voidaan saavuttaa ratkaisu, jossa kumpikin, kustannusten hallinta ja läpivirtauksen lisääminen, voittavat. Tämän ratkaisun onnistuminen vaatii ensin keskittymistä läpivirtaukseen, koska kustannukset tulevat vähemmän ja vähemmän tärkeämmäksi, kun läpivirtaus parantuu. (Leach 2000, s.58)

(Bertelsen 2010) on ehdottanut yksinkertaista rakennusprosessin läpivirtausmallia, joka on esimerkkinä esitetty alapuolella olevassa taulukossa 1.

**Taulukko 1. Tuottavuuden parantamisen vaikutus (Bertelsen 2010)**

	Hinta/			Yht- eensä	Kusta- nnus/		Kustannusmalli			Yht- eensä	Koko voitto	Lisäys	Suhde	
	Voitto	# Yksiköt	Yksikk ö		Yksik kö	Yht- eensä	Py- syvät	Palkat	Vaihtuvat					
Edeltävät olosuhteet		10	100				40%	20%	40%					
Kustannusten lisäys							0%	50%	100%					
Läpivirtauksen lisäys		20%												
Perustapaus	5%	10	100	1.000	95	950	380	190	380	950	50,	5%	100%	
Muuttunut		12	100	1.200			380	209	456	1.045	155	13%	310%	3,1

Taulukossa näytetään olettamuksena, että voitto voi kolminkertaistua 50 miljoonasta 150 miljoonaan, jos tuotannon nopeus parantuu 20 prosentilla. Tämä tarkoittaa, että nopeus on rahaa, mutta kuinka se saavutetaan. Kun katsotaan rakennustyömaata ja tarkkaillaan työntekijöitä, voidaan nähdä, että vähemmän kuin kolmasosa työtunneista käytetään arvon tuottamiseen. Toinen kolmasosa voidaan kirjata toiminnoiksi, joita tarvitaan arvoa tuottaviin töihin. Loput ovat hukkaa. (Bertelsen 2010)

Nämä ja vastaavat helposti suoritettavat havainnot, avaavat lukuisia vaihtoehtoja jo maksetun arvoa tuottavan työn osuuden parantamiseksi. Jos pystytään kapeikkoteoriaa tai muita käyttäen muuttamaan kolme prosenttia melkein 70 prosentista ei arvoa tuottavasta ajasta, arvoa tuottavaksi ajaksi, hyödyt kasvavat 10 prosentilla. Bertelsenin (2010) mukaan tämä pitäisi olla mahdollista kaikille, ja seuraavat kolme prosenttia on myös saavutettavissa. Joten 20 prosentin parannus on käden ulottuvilla, ja tällöin hyödyt ovat ylivoimaisia. Tämä on kuitenkin harvoin tunnistettu kustannuskeskittyneessä rakennusalassa. Ja vielä tärkeämpää: Voiton lisäksi tämä lähestymistapa parantaa nopeutta ainakin mainitun 20 prosentin verran ja useimmiten enemmän. (Bertelsen 2010)



### 3.3 Jatkuvan parantamisen prosessi

Goldratt (1990, s.3-4) alleviivaa voimakkaasti ihmisen vaistonvaraisen ajattelun potentiaalia. Hänen mukaan, ihmisen vaistomaisen ajattelun vahvuuden ymmärtäminen vaatii vahvaa painottamista siihen, että jatkuvasti puemme sen sanoiksi vakuuttavalla ja kuvailtavalla tavalla.

*”Jos emme vaivaudu pukemaan intuitiotamme sanoiksi, teemme päinvastoin, mihin itse uskomme”* (Goldratt 1990, s.3).

Goldratt (1990, s.4) esittää kaksi perusväittämää sille, miten tiedämme, mikä on vaistomaisesti oikein, ja kuinka puemme sen sanoiksi. Ensimmäiseksi, jokainen systeemi on rakennettu tarkoitukseen. Emme rakentaneet niitä vain olemassaolon vuoksi. Näin ollen jokaisen toimijan jokainen toiminto pitäisi arvioida sen vaikutuksesta koko systeemin tarkoitukseen. Tämä tarkoittaa sitä, että ennen kuin voimme käsitellä jokaisen systeemin jokaisen osan parannuksia, meidän täytyy ensin määritellä systeemin globaali tavoite sekä mittarit, joilla voimme arvioida jokaisen alisysteemin ja jokaisten paikallisten päätösten vaikutusta tähän tavoitteeseen. Toiseksi, jokaisessa todellisessa systeemissä on todella pieni määrä rajoitteita/pullonkauloja, ja jokaisessa systeemissä on aina vähintään yksi. (Goldratt 1990, s.3-4; Westerlund 2004)

Goldratt kehitti seuraavanlaisen viiden askeleen menettelyprosessi rajoitteille:

- **Tunnista systeemin rajoitteet**

Kun tämä on tehty, täytyy myös muistaa, että rajoitteiden tunnistaminen tarkoittaa myös niiden luokittelemista millä tavalla ne vaikuttavat tavoitteeseen. Muuten monet tyhjänpäiväisyydet hiipivät mukaan. Täytyy vain osoittaa muutama asia, joissa ollaan myöhässä, sillä tavoin, että se vaikuttaa koko systeemiin. (Goldratt 1990, s.5)

Projektin hallinnassa ketjun heikoin lenkki voi olla missä tahansa: projektinhallinnan prosessissa, yhtiön johtamisen toimintatavoissa, missä tahansa toimitusketjussa, työmenetelmissä ja toimintatavoissa, mittaussysteemeissä tai kommunikaatiossa. Koska projekteilla ei ole fyysistä muotoa vasta kun ne ovat jo hyvässä vaiheessa, kapeikko eli pullonkaula ei ole itsestään selvä. Oireet voivat myös ilmestyä muualle kuin seuraus-syy-seuraus ketjujen syihin. Tämän vuoksi tutkimukset projektien pieleen menoista eivät välttämättä tunnista oikeita syitä oireille. (Leach 2014)

Kapeikkoteorian mukaan muiden kuin tuotantosysteemien rajoite on ydinristiriita (core conflict). Kuten mikä tahansa kapeikko, ydinristiriita on pääsyy miksi systeemi ei suoriudu paremmin. Se on systeemin yhden tai useamman epätoivotun seurauksen (Undesired Effect, UDE) juurisyy. Näiden epätoivottujen seurausten eliminoimiseksi täytyy ensin tunnistaa ydinristiriita. (Leach 2014, s.84)

- **Päätetään, kuinka kapeikkoa hallitaan**

Tässä kohtaa päätetään, kuinka rajoitteita hallitaan ja miten saadaan suurempi kapasiteetti irti kapeikkoprosessista. Täytyy myös miettiä, kuinka pitäisi hallita laajaa enemmistöä resursseista, jotka eivät ole rajoitteita. Muiden kuin kapeikon kapasiteettia ei ole järkeä parantaa, koska sillä ei saada systeemin läpivirtausta parantumaan. (Goldratt 1990, s. 5)

Muulle kuin tuotantosysteemille, täytyy päättää, kuinka ydinristiriita eliminoidaan. Täytyy myös varmistaa, että muutetaan tarvittavat osat systeemissä, jotta muutoksien tuloksena syntyvä luonnollinen syy-seuraus-syy-suhde saavuttaa toivotut seuraukset (Desired effects). (Leach 2014, s. 85)

- **Alistetaan kaikki muut prosessit yllä olevalle päätökselle**

Sopeutetaan koko järjestelmä tai organisaatio tukemaan tätä päätöstä. Mutta ei lopeeta tähän. Mitä tahansa rajoitteet ovat, on oltava keino vähentää niiden rajoittavaa vaikutusta. (Goldratt 1990, s. 5)

Projektinhallinta on ollut olemassa yli 40 vuotta vain pienin muutoksin ja on selvää, että on olemassa oletuksia, toimintatapoja tai teennäisiä kapeikkoja, jotka eivät enää toimi kovin hyvin. On myös mahdollista, että jotkut projektin hallinnassa käytetyt mittarit tekevät tavoitteen saavuttamisesta vain epätodennäköisempää. (Leach 2014, s.86)

- **Vahvistetaan tai laajennetaan kapeikkoa. Tehdään muita tarpeellisia muutoksia, joilla kapeikko murretaan.**

Tehdään muita tarpeellisia muutoksia, joilla kapeikkoa parannetaan. Jos parannamme ja parannamme kapeikkoa, tulemme murtamaan sen ajan mittaan. Tällöin tämä kohta systeemissä ei enää rajoita sitä, vaan syntyy uusi kapeikko, joka rajoittaa systeemiä. (Goldratt 1990, s. 6)

- **Jos edellä kuvatun myötä kapeikko on saatu poistettua, palataan kohtaan yksi.**

Muutoshaluttomuuden (inertian) ei saa antaa muodostua itse kapeikoksi. Tätä varoitusta ei voi ylipainottaa. Yleensä organisaatioissa johdetaan nykyisten kapeikkojen aiheuttamilla säännöillä. Joskus tiedostettuna ja monesti taas vaistonomaisesti. Kun kapeikko on murrettu, ei yleensä vaivauduta menemään taaksepäin ja käydä läpi näitä sääntöjä. Tuloksena nykyiset systeemit ovat rajoitettuja pääasiassa monilla poliittisilla toimintapahoihin liittyvillä säännöillä. Harvoin löydämme oikeita markkinakapeikkoja, mutta sen sijaan löydämme markkinoiden toimintatapoihin perustuvia kapeikkoja. Harvoin tunnistamme pullonkauloja niin sanotusti lattiatasolta, vaan

yleensä löydetään tuotannon toimintatapoihin perustuvia kapeikkoja. Harvoin löydämme tavarantoimittajista kapeikkoja, mutta löydämme ostamisen toimintatapoihin liittyviä kapeikkoja. Ja jokaisessa tapauksessa toimintatavat olivat hyvinkin loogisia, kun ne kehitettiin. Niiden alkuperäiset syyt ovat kauan sitten kadonneet, mutta vanhat toimintatavat jääneet. (Goldratt 1990, s. 6-7)

Goldrattin mukaan organisaatioissa on yleensä paljon toimintatapoja. Näiden toimintatapojen kanssa kamppailu ja selviytyminen antavat syvällistä vaistomaista ymmärrystä mukana olevasta psyykkisestä prosessista. Se mitä täytyy tehdä, on kirjoittaa nämä prosessit ylös. (Goldratt 1990, s. 9)

Jokainen johtaja on tietoinen ongelmista tai toisin sanoen mahdollisuuksista. Monesti pyritään keskittymään oikeisiin toimiin, jotka kaikki tietävät miten ne tehdään, mutta ei välttämättä keskity ongelmiin, jotka pitäisi korjata, ja tarvittaviin toimiin, joilla korjata ne ongelmat. Jotta jatkuvan parantamisen prosessi olisi tehokas, täytyy ensin löytää se mitä muuttaa. Toisin sanoen, ensimmäinen kyky, joka vaaditaan johtajalta, on osoittaa ydinongelmat. Näiden ongelmien korjaamisella saadaan suurin vaikutus verrattuna siihen, että korjaillaan pieniä ongelmia siellä täällä. Näiden ongelmien tunnistamisen jälkeen ei heti kamppailla kysymyksen kanssa: Miten muutos saadaan aikaan? Ensimmäinen pitää selvittää, mihin muutamme. Mitä pullonkaulalle pitäisi tehdä? Määritetään muutoksen lopputulos. Muuten ydinongelmien ja pullonkaulojen tunnistus tuo vain paniikkia ja kaaosta. Johtajien pitää myös pystyä luomaan yksinkertaisia, käytännönläheisiä ratkaisuja. Monimutkaiset ratkaisut eivät toimi, yksinkertaiset saattavat. Kun ratkaisu on tiedossa, voidaan siirtyä vaikeimpaan kysymykseen: Miten muutos saadaan aikaan? (Goldratt 1990, s. 7-8)

## 4. KAPEIKKOJEN TUNNISTAMINEN TUOTANNOSSA

### 4.1 Tuotannonohjauksen keinot kapeikkojen tunnistamiseen

Tämän kappaleen tarkoitus on esitellä tuotannonohjauksen menetelmiä, joilla voidaan saada rakennustyömaan tuotannon virtaus paremmaksi. Näiden tuotannonohjauksen menetelmien kautta pyritään löytämään menettelyt, joilla pullonkauloja voidaan konkreettisesti tunnistaa rakennustyömaalta.

Menestyksekkäälle rakennusprojektille suurin tehtävä on aikataulun suunnittelu ja hallinta. Rakennusalalla on olemassa useita kaupallisia projektinhallintaohjelmistoja, joissa yleiset toiminnot kuten pylväsdiagrammin, kriittisen polun menetelmän (CPM) ja jopa toimintaverkkomenetelmä Program Evaluation and Review Technique (PERT) ovat käytössä aikataulun analysointiin ja kehittämiseen. (Yang 2007)

*”Kriittisen polun menetelmässä (Critical Path Method, CPM) tutkitaan tehtävien riippuvuuksia ja muodostetaan sen avulla aikataulu.” (Koskenvesa & Sahlstedt 2011, s.9)*

*”Program Evaluation and Review Technique, PERT on verkkoanalyysimenetelmä, jota käytetään projektin keston arviointiin, kun yksittäisten tehtävien kestoarviot ovat hyvin epävarmoja. Projektille lasketaan optimistisin, pessimistisin ja todennäköisin valmistusaika ja näiden avulla lasketaan tehtävän kestolle odotusaika.” (Koskenvesa & Sahlstedt 2011, s.9)*

Yleisesti ottaen, CPM on ensimmäinen vaihtoehto aikataulun hallinnalle. Ehkä sen vuoksi, että muita menetelmiä projektin aikataulun analysointiin ei ole ollut. Perustuen määritettyyn tehtävän keston, CPM voi helposti tunnistaa kriittiset polut, projektin kokonaiskeston ja yksittäisten tehtävien alku- ja loppupäivämäärät. Useat tutkimukset kuitenkin osoittavat, että CPM:llä on joitain huonoja puolia käytännössä. (Yang 2007, s.25)

Yksi huono puoli on epärealistinen tehtävän kesto, joka yhdistää sopivan keston ja ylimääräisen varmuusajan. Projektinjohtaja ei voi kontrolloida projektin aikataulua paisutellun keston kanssa, koska projektin osapuolet varaavat varmuusajat käyttöönsä. Toisaalta resurssirajoitettu aikataulutusta on käytännössä tunnistettu välttämättömäksi suoritettavan aikataulun suunnittelulle. Optimaalisen ratkaisun löytäminen resurssirajoitetulla aikataulutukselle on kuitenkin vaikeaa ja aikaa vievää. Perinteinen CPM ei ota ennakolta huomioon resurssien rajoituksia suunnittelussa, ja tekee tuotetun aikataulun järjettömäksi. Perinteisen CPM:n johtamisen lähestymistapa ei näytä pystyvän toimimaan tällaisissa olosuhteissa. On pakollista olla innovatiivinen ja esittää uusia ideoita rakentamisen aikataulutuksen alueelle.

Rakennusalan tuotannonohjaus voisi ottaa myös mallia teollisesta tuotannosta ja tästä päästäänkin Lean-termiin. Lean- termi on luotu kuvaamaan Toyotan tuotantojärjestelmää ja filosofiaa liiketoiminnan harjoittamisessa. Hukan välttäminen erimuodoissa on olennainen osa Toyotan tuotantojärjestelmää, ja tästä Lean onkin nimensä saanut. Lean eli hoikka tuotanto nimensä mukaisesti käyttää kaikkea vähemmän massatuotantoon verrattuna. (Womack et al. 1990)

Lean käsite juontaa juurensa sodanjälkeiseen japaniin, jossa Toyotan perustajalla Kiichiro Toyodalla ei ollut yhdysvaltaisten yritysten tapaan resursseja massatuotantoon. Koska kalliisiin investointeihin kuten tuotantojärjestelmiin ja koneisiin ei ollut tarpeeksi rahaa ja raaka-aineita, Toyotan mahdollisuudeksi jäi hyvien suhteiden luominen yhteistyökumppaneihinsa, jolloin he yhdessä usean yrityksen voimin pystyivät valmistamaan Toyotan rakentamien koneiden osat kunkin vahvuuksia käyttäen. Toyota oli siis alun perin riippuvainen kumppaneista, kun taas Yhdysvaltalaiset alihankkijat olivat päinvastoin riippuvaisia Ford: n ja GM:n tapaisista suurista yrityksistä. Alihankkijoiden kunnioitus on siis peräisin vahvasta tarpeesta hyödyntää heidän palveluitaan. (Liker 2008 s.7).

Leanin johtamisfilosofia perustuu *viiteen periaatteeseen*, joiden päällimmäinen tarkoitus on vähentää ja poistaa hukkaa (japaniksi Muda). Leanin viisi periaatetta ovat (Womack & Jones 2003):

### **1. Asiakkaan kokeman arvon määrittäminen**

Ainoa tapa, jolla arvo voidaan määrittellä, on asiakkaan näkökulma, ja arvo tehdään tuottajan toimesta. Womack ja Jones (2003) korostavat Lean-filosofiassa nimenomaan arvon tuottamista asiakkaalle. Arvoa ei määritetä esimerkiksi tuotteen valmistajan tai suunnittelijan toimesta, vaan se tapahtuu asiakkaan näkökulmasta. Asiakkaan tarpeet ovat keskiössä ja niihin tulee vastata mahdollisimman hyvin. (Womack & Jones 2003, s.16-18)

### **2. Arvovirran tunnistaminen**

Womack et. al. 1990 käsittelivät arvovirtaa yrityksen sisäisten toimintojen lisäksi myös yrityksen ulkoisten arvovirtojen toimintona. Arvovirta-ajattelussa keskitetään huomio kaikkien yritysten toimintoihin, jotka ovat mukana arvon luomisessa tai vaikuttavat siihen. Arvovirtatarkistelulla saadaan tarkempi ja syvempi kuva tuotteen arvon luomisprosessista. (Hines & Rich 1997 s.46)

### **3. Virtauksen luominen**

Toiminnoille tulee luoda jatkuvat virtaus, jolloin työ virtaa sujuvasti työvaiheesta seuraavaan ilman odottelua ja turhia katkoksia. Työn virtauksen parantamiseksi, työn virtauksen pullonkaulat täytyy löytää ja poistaa.

Koskelan (2000, s. 52-55) mukaan rakentamisessa jatkuvan virtauksen luominen on haastavaa johtuen esimerkiksi rakentamisen erityispiirteistä, toimintojen vähäisistä standardeista sekä siitä, että rakennusprosessit ovat usein pirstoutuneita ja kompleksisia. (Koskela, L. 2000. s.52-55)

#### **4. Imuohjauksen käyttäminen**

Imuohjauksella pyritään, että tuotteen valmistaminen aloitetaan vasta silloin, kun siihen saadaan signaali alavirran prosesseilta kuten tuotannon aikaisemmalta vaiheelta tai asiakkaalta. Tällöin tuotetta ei tehdä missään vaiheessa varastoon, jolloin tarve antaa herätteen tuotannolle ja hukkaa saadaan vähennettyä. (Womack & Jones 2003 s.24-25)

#### **5. Täydellisyyteen pyrkiminen**

Yksi Lean-filosofian kulmakivistä on termi *Kaizen*. Sillä tarkoitetaan jatkuvaa parantamista, jolla pyritään täydellisyyteen. Tarkemmin se tarkoittaa asteittaista kehittymistä pienten parannusten kautta säännöllisesti.

Lean-filosofia keskittyy hukan poistamiseen. Turhat toiminnot poistamalla pyritään tekemään saman verran arvoa. Kaikkia hukkaa ei pystytä koskaan kokonaan poistamaan, mutta hukan poistaminen pitää olla jatkuva parantamisen prosessi. Asiakkaalle tulee tarjota juuri sitä, mitä asiakas haluaa. Kun minimoidaan hukka, joka ei tuota lisäarvoa liiketoiminta- ja valmistusprosessissa, organisaation tuottavuus tulee kasvamaan. (Liker 2008; Womack & Jones 2003).

Rakennusala on kuitenkin ollut pitkään vastahakoinen ottamaan ideoita teollisesta tuotannosta väittäen, että rakennustuotanto on erilaista. Rakennustuotannolla on kyllä omat haasteensa kuten omanlaisensa projektit, tuotteiden valmistus paikan päällä, muuttuvat projektiryhmät, olosuhteiden epävarmuus ja aikataulujen tiukkuus. Lean Construction eli Lean rakentaminen on lyhyesti tiivistettynä Lean tuotannonohjauksen soveltamista rakennusalle ja uusi teoriapohjainen lähestymistapa rakentamiseen (Koskela et al. 2002). Nykyinen rakennusalan tuotannonohjaus perustuu massatuotannosta saatuihin oppeihin, missä on tärkeää pitää työ käynnissä kaikin tavoin. Tämä tulee johtamaan siihen, että yksittäisiin työvaiheisiin keskitytään enemmän kuin kokonaisuuteen. Tämä taas johtaa siihen, että tehtävien välille syntyvää hukkaa ei nähdä. Nykyinen tuotannonohjaus on yksinkertaistettuna tehtäväpainotteista, missä sivuutetaan virtaus- ja arvonäkökohdat. Työn virtauksen varianssi johtaa usein pitkiin läpimenoaikoihin ja lisää hukkaa prosessissa. Korkealla työn tuottavuuden vaihtelevuudella on negatiivinen vaikutus koko projektin suorituskykyyn. Leanin avulla voidaan parhaiten parantaa tuottavuutta vähentää työn tuottavuuden vaihtelua. Lean rakentamisen tavoitteena on tuottaa rakennus maksimimalla arvo asiakkaalle ja minimoimalla hukka. (Bertelsen 2004; Howell 1999; Alarcón 1997; Forbes & Ahmed 2011).

Erityisesti monimutkaisissa ja nopeissa projekteissa on tärkeää minimoida vaihtelun ja riippuvuuksien määrä. Näin ollen luotettavuuden parantaminen on todella tärkeää. Lean Construction pyrkii ymmärtämään tuotannon taustan lait, joista tärkeimpänä voidaan pitää vaihtelun ja riippuvuuksien vaikutuksien hallintaa toimitus- ja asennusketjun aikana. Nykyään keskitytään paljolti yksittäisten ryhmien töiden etenemiseen ja kaupallisiin sopimuksiin. (Howell 1999)

Howellin (1999, s.7) mukaan on tärkeää, että töitä ajatellaan kokonaisuutena ja optimoidaan koko tuotantoketjun tehokkuus. Tuotannon suunnittelu ja kontrollointi ovat ikään kuin kolikon kääntöpuolet vaihdellen koko projektin ajan. Hyvällä tuotannon suunnittelulla määritetään kriteerit menestykselle ja luodaan strategia tavoitteiden saavuttamiselle. Kontrolloinnilla taas saadaan tuotanto etenemään suunnitelmien mukaisesti ja edistetään toiminta tapojen kehittämistä. (Howell 1999)

Rakentamisessa on paljon erikoisurakoita, jotka yleensä tehdään toistuvassa järjestyksessä kerroksesta toiseen. Näistä urakoista tulisi muodostaa toimiva virtaus järjestämällä ne loogiseen järjestykseen. Yleisiä syitä huonoon virtaukseen ovat esimerkiksi suunnittelumuutokset ja lisätietojen pyytäminen liian myöhään sekä materiaalien puute ja huonot työskentelyolosuhteet. Nämä ongelmat pystytään välttämään huolellisella töiden suunnittelulla ja yksityiskohtien tarkalla huomioimisella. (Tommelein et al. 1999)

Koskela (1992, s.29) kuvaa perinteisen rakennustuotannon ja uuden Lean Construction ajattelutavan keskeiset ominaisuudet seuraavasti:

Perinteinen tuotantofilosofia:

- Käsitellään ryhmiksi vaiheita ja toimintoja
- Kontrolloidaan vaihe kerrallaan tavoitellen alhaista kustannustasoa
- Parannetaan jaksottaisesti tuottavuuden parantamiseksi hyödyntämällä uutta teknologiaa

Lean Construction:

- Käsitetään materiaali ja tieto virtausprosessina
- Kontrolloidaan varianssin ja läpimenoajan minimoimiseksi
- Parannetaan jatkuvasti hukan ja arvon näkökulmasta ja jaksottaisesti hyödyntämällä uutta teknologiaa tehokkuuden parantamiseksi

Kim & Park (2006, s.387) mukaan Lean Construction on vielä siirtymävaiheessa nykyisistä tavoista varsinaiseksi Lean tuotannoksi. Lean Construction pyrkii parantamaan projektin osapuolten suhteita ja se onkin osoitettu olevan tehokas menetelmä rakennusprojektien johtamiseen. Sillä pystytään vaikuttamaan erityisesti projektiorganisaatioiden kommunikointiin, tehokkaaseen koordinointiin, motivaatioon, yhteistyöhön ja luottamukseen. (Kim & Park 2006)

Kapeikkoteoria, Lean sekä Lean Construction tarjoavat muutamia tuotannonohjauksen työkaluja, joilla voidaan tunnistaa pullonkauloja rakennustyömaalta ja saada työmaan läpivirtaus paremmaksi. Kapeikkoteoriasta tuotettu Kriittisen ketjun projektinhallinta menetelmä (Critical Chain Project management, CCPM) on projektin aikataulutukseen kehitetty menetelmä, jolla on esimerkiksi kriittisen polun menetelmään verrattuna muutamia etuja puolellaan (Yang 2007). Pullonkaulojen löytämiseen rakennusalalta voidaan tuotannonohjaukseen käyttää myös Leanin tarjoamia työkaluja kuten Arvovirtakartoitusta tai Tahtiaikaa. Arvovirtakartoitus (VSM, Value Stream Mapping) on yksi leanin työkaluista hukan tunnistamiseen ja sen poistamiseen valitussa arvovirrassa (Forbes & Ahmed 2011). Tahtiajalla taas kuvataan yksittäisten työvaiheiden kestoa virtausperiaatteella toimivassa tuotannossa (LCI Finland 2015). Lean Constructionin puolelta rakennusalan tuotannonohjaukseen kehitetty menetelmä Last Planner on tarkoitettu nimenomaan projektinaikaiseen tuotannonohjaukseen. Sen mukaan perinteinen tuotannonohjaus ei ole kyennyt vastaamaan työmaan tuotantotilanteen asettamaan haasteeseen (Koskela & Koskenvesa 2003; Merikallio & Haapasalo 2009). Viimeisenä tarkasteltavana mentelmänä tutkimus ottaa käsittelyyn sijaintiperusteiseen rakennustyömaan tuotannonohjaukseen keskittyvän LBSM-menetelmän (Location-based Management System), joka esimerkiksi vaihtaa erilaisia määriä työmaan eri sijainneissa, pyrkii luotettaviin tehtävien kestoihin sekä tarkkoihin puskureihin, ennustaa tulevaa tuotavuutta ja hälyttää tulevista ongelmista (Seppänen et al. 2010).

## 4.2 CCPM

### 4.2.1 Perusteet

Kriittisen ketjun projektin hallintamenetelmä (Critical Chain Project Management, CCPM) pyrkii järkevämpään epävarmuuden hallintaan, jonka tarkoitus on lyhyemmät ja paremmin ennustettavat läpimenoajat. CCPM:llä voidaan tehdä aikataulusuunnitelma ja kontrolloida sitä tehokkaammin kuin perinteisellä CPM:llä. (Yang 2007, s.25; Koskela et al. 2010)

Tehtävän kesto CCPM:ssä on supistettu, joka poistaa turhan varmuusajan, ja tekee aikataulusta hintelän. CCPM määrittää uudella tavalla kriittisen ketjun riippuvaisten tehtävien pisimpänä ketjuna, joka on siis eri asia kuin kriittinen polku. Riippuvuudet eivät ole vain niiden loogisia riippuvuuksia vaan tulos resurssien etukäteen huomioimisen käytettävyydestä. CCPM on nykyään hyvä vaihtoehto aikataulutamiselle. (Yang 2007, s.25)

Ensimmäinen askel kohti projektin onnistumista on luoda realistiset ja tarkat aikataulut. CPM menetelmässä lasketaan aikaiset aloitus ja lopetuspäivämäärät sekä myöhäiset aloitus ja lopetuspäivämäärät, mutta se ei kuitenkaan ota huomioon resurssirajoitusta. Kun polku on tunnistettu, resurssit hankitaan ja jaetaan. Yleensä tehtävien vastuuhenkilöt laitavat varmuusaikaa jokaiseen tehtävään epävarmuustekijöiden varalta. Tämä kuitenkin



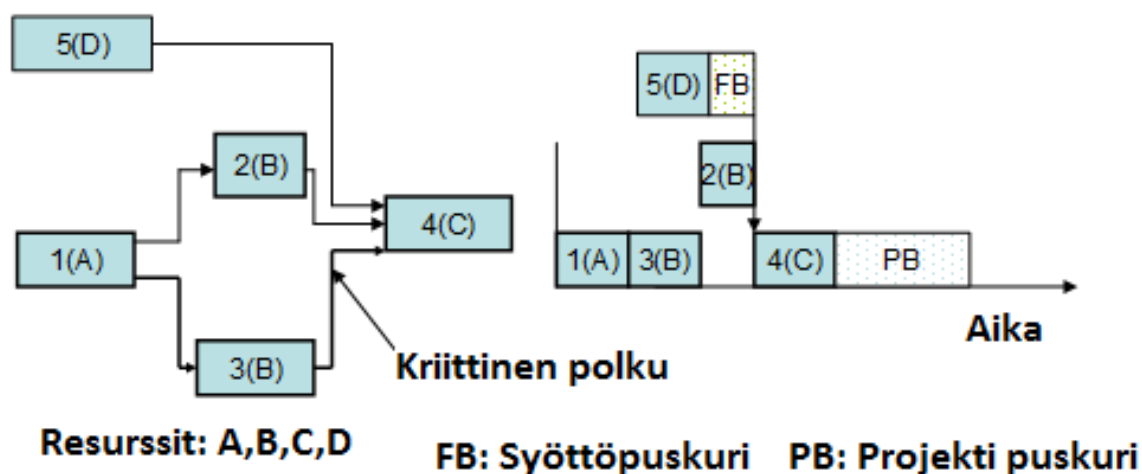
aiheuttaa ajanhukkaa, kun tehtävät voidaan toteuttaa huomattavasti ennen arvioitua loppupäivämäärää. (Pai & Diridharan)

Kriittisen ketjun menetelmä on aikataulun toimintaverkkoanalyysitekniikka, joka ottaa huomioon tehtävien riippuvuudet, rajoitetun resurssisaatavuuden ja puskurit. CCPM:n tapauksessa ensimmäinen askel on tunnistaa joukko tehtäviä, jotka muodostavat pisimmän polun projektin loppuun saattamisessa. Tätä kutsutaan kriittiseksi ketjuksi. Se saattaa olla pidempi kuin CPM:n aikataulu, koska se ottaa huomioon resurssit. Resurssit, joita käytetään kriittisen ketjun tehtävissä, ovat kriittisiä resursseja. Joukko tehtäviä, jotka ovat ei-kriittisessä ketjussa, mutta kohtaavat kriittisen ketjun, kutsutaan syöttäjiksi. Seuraava askel on käyttää tehokasta puskurihallintaa aikataulun lyhentämiseksi vähentämällä tehtävien arvioituja kestoja. CCPM keskittyy eliminoimaan aikataulun myöhästymisiä, tehtävien kestojen yliarviointia ja sisäisten puskureiden hukkaa edellä mainitussa järjestyksessä. (Pai & Diridharan)

Mikäli tehtävä on suoritettu etuajassa suunniteltua tai arvioitua aikaa, CPM -menetelmässä aikaväliä ei laiteta seuraavaan työvaiheeseen, mutta myöhästymiset laitetaan. Tämä saattaa aiheuttaa projektin kriittisen polun muutoksen projektissa. Kriittisen ketjun menetelmässä, varmuusmarginaalien-/puskurien laskenta perustuu tehtävien joukkoon kriittisessä ketjussa. Saatu aikahyöty tai menetetty aika välitetään koko ketjun tehtäviin ja sisäiset puskurit/varmuusmarginaalit jokaisesta tehtävästä tehdään selkeiksi ja summataan vastaavasti yhteen. Tämä yhteenlaskettu puskuri on projektipuskuri, joka pysyy aktiivisena koko projektille eikä yksittäisille tehtäville. Kriittinen ketju keskittyy projektin suorittamiseen eikä tehtävän suorittamiseen. Tämä on kriittisen ketjun tärkein ja merkittävin osa. Kriittisen ketjun hallinnassa projektipuskuri pysyy osana projektia ja suojelee sitä epävarmuuksia vastaan. (Pai & Diridharan)

CCPM:ssä yhdistettyä projektipuskuria käytetään koko projektin suojana. Vaikka sitä käytetään jopa 50% koolla tehtävien yhteenlasketuista ajoista, se sallii projektin suoriutumaan hyvin aikataulussa. Toinen keskeinen CCPM:n ominaisuus on resurssipuskurin käyttö, joka ei kuluta aikaa eikä tuo kustannuksia projektissa. Ne ovat vain indikaattoreita. Resurssipuskurit asetetaan vain juuri ennen kriittisen ketjun tehtäviä, missä kriittiset resurssit vaaditaan. Nämä puskurit ilmoittavat kriittisen ketjun tehtävän aloituksen ja varoittavat kriittisiä resursseja olemaan valmiina kriittisen ketjun tehtäviin jopa silloin, kun ne ovat tekemisissä ei- kriittisen ketjun tehtävien kanssa. (Pai & Diridharan)

Puskurit, joita käytetään ei-kriittisten ketjujen hallintaan, ovat syöttöpuskureita. Niitä käytetään, kun ei- kriittisen ketjun tehtävä yhdistyy kriittisen ketjun tehtäviin. Nämä puskurit ovat kuin projektipuskureita, jotka yhdistävät varmuusmarginaalit ei- kriittisen ketjun loppuun. Kuvassa 4. esitetään kriittisen polun ja kriittisen ketjun erot puskurien käytössä. (Pai & Diridharan)



**Kuva 4.** Verkkoigrammin ja kriittisen ketjun aikataulun puskurit (Stratton 2009, Käännetty lähteestä Koskela et al. 2010)

#### 4.2.2 Rakennusalalla

Rakennusprojektien epävarmuuden hallitsemiseksi voidaan käyttää puskurien hallintaa. Tällöin saadaan arvio tehtävien ja projektien puskureiden kulutuksesta sekä niiden täydentämisestä. Puskurihallinta voi tarjota selvän näkemyksen kumulatiivisesta riskistä projektin tehokkuutta koskien. Verrattuna kriittisen polun hallintaa, kriittinen ketju sisältää käsityksen resurssirajoitteesta ja huomion kohdistamisen epävarmuuden aiheuttajien hallintaan. Shu-Hui ja S. Ping (2006) tutkivat puskurihallinnan käyttöä rakennusalan aikataulutamisessa ilman ajan tuhlaamista. He myös etsivät ongelmia kriittisen ketjun käyttöön otosta rakennusprojekteihin. (Shu-Hui ja S. Ping 2006, s. 860)

Shu-Hui ja S. Ping (2006) mukaan kriittistä ketjua voidaan käyttää soveltaen rakennus-alalle. Kriittisen ketjun kolme eri puskuria yhdistetään kriittisen polun menetelmän kanssa. Projektipuskuri sijoitetaan projektin loppuun kriittisen ketjun viimeisen tehtävän perään suojaamaan aikataulua ylityksiltä. Syöttöpuskurit sijoitetaan ei-kriittisten ketjujen ja kriittisen ketjun risteyskohtaan suojaamaan kriittistä ketjua ylityksiltä. Resurssipuskuri sijoitetaan kriittiseen ketjuun varmistamaan, että resurssit ovat saatavilla, kun niitä tarvitaan. Resurssipuskuri auttaa turvaamaan resurssien saatavuuden eikä tuo lisää aikaa kriittiseen ketjuun. (Shu-Hui & S. Ping 2006, s. 861)

Goldratt suositteli, että suunnitelmaa ja aikataulua tehtäessä, suunnittelija olettaa jokaisen tehtävän pystyvän suoriutumaan ajassa ilman minkäänlaista epävarmuuden vaikutusta. Kaikki varmistusajat pitäisi poistaa turhana ajan tuhlaamisena. Goldratt myös ehdottaa, että puskurin koko olisi 50 prosenttia oletetusta keston pituudesta. Shu-Hui & S. Ping (2006) mukaan kuitenkin 50 prosenttia on mielivaltainen ja rakennus-alalla vaikea käyttää.

Edellä mainittu lähestymistapa ei ole myöskään sellaisenaan sopiva rakennustyömaan aikataulusuunnitelmaan. Jotta tätä ongelmaa voitaisiin parantaa, suositellaan muokattua lähestymistapaa, jolla saadaan puskurit luotettavimmiksi.

Rakennusalalla jokaisen tehtävän arvioitu kesto on yleensä arvioitu suunnittelijan kokemuksen perusteella tai laskettu keskiarvo työn tehokkuuden tasosta. Kuitenkin, arvio on yleensä pidempi kuin ajan keskiarvo, koska epävarmuuksien vuoksi, suunnittelijat lisäävät aina varmuusaikaa jokaiseen tehtävään. Yleensä töiden pituuksia arvioitaessa, tekijät eivät pysty suoriutumaan tehtävistä 100 prosentin tehokkuudella. Jos aktiivisuusarvio ei ole 100% tai ihmiset työskentelevät löyhällä asenteella, aktiivisuuskesto vähenee ja poistaa varmuusaikaa. Jotta nämä ongelmat voitaisiin poistaa, kysytään tehtävissä mukana olleilta henkilöiltä kaksi kysymystä. Ensimmäinen kysymys on ”Kuinka kauan tekisit tätä tehtävää perustuen aikaisempaan kokemukseesi?” Toinen kysymys on ”Kuinka nopeasti voisit suoriutua tästä tehtävästä, jos kaikki menee hyvin ja sinulla oli kaikki tarvittavat asiat alussa?” Saadaan alustava ”suojaava” arvio kysymyksestä yksi ja ”järkevä” arvio kysymyksestä kaksi. Henkilöiden täytyy kuitenkin selittää syyt, jos suojaava ja järkevä arvio ovat samoja. Kun hankitaan suojaava ja järkevä arvio, voidaan päättää ja määrittää jokaisen tehtävän keston lopulliset arviot. Näin ollen, varmuusaika jokaiselle tehtävälle on suojaava arvio miinus järkevä arvio. Kun puskuri on kasvamassa, tarkoittaa se sitä, että projekti voisi valmistua aikataulusta edellä. Toisaalta, mikäli puskuri on pienenevässä, projekti voi mahdollisesti myöhästyä. Seuraava on pääprosessi puskurien käytölle rakennusprojekteissa. (Shu-Hui & S. Ping 2006, s. 861)

1. Suunnittele rakennusaikataulu käyttämällä CPM lähestymistapaa.
2. Tunnista ja määritä suojaava arvio jokaiselle tehtävälle.
3. Tunnista ja määritä järkevä arvio jokaiselle tehtävälle.
4. Poista turva-arvio jokaisesta tehtävästä perustuen askeleeseen yksi ja kaksi.
5. Tunnista kriittinen ketju eli pisin ketju riippuvia tapahtumia mahdollisesta aikataulusta, joka tehtiin askeleessa neljä.
6. Lisää projektipuskuri kriittisen ketjun loppuun.
7. Lisää syöttöpuskurit ei-kriittisten ketjujen yhdistymiseen kriittiseen ketjuun.
8. Lisää resurssipuskuri varmistamaan tehtävän resurssin saatavuus.
9. Palaa kohtaan 5. tarkistamaan kriittinen ketju.

Rakennusprojektien suunnittelu ja hallinta tulee parantumaan, jos niihin otetaan mukaan puskurien käyttö. Perinteisessä projektinhallinnassa kriittinen polku muuttuu, kun tehtäviä saadaan valmiiksi etuajassa tai ne jäävät aikataulusta jälkeen. Puskurinhallinnalla puskurit estävät kriittistä ketjua muuttumasta projektin aikana. CCPM tarjoaa vankan suunnitelman, yksinkertaistaa projektinhallintaa ja käyttää puskureita vähentämään rakentamisen myöhästymisen riskiä. (Shu-Hui & S. Ping 2006, s. 861)

Otettaessa CCPM käyttöön projektin aikataulun tekemiseen, R.C. Newbold ehdotti taas seitsemän askeleen prosessia, joka on samankaltainen perinteisin CPM:n prosessin kanssa. Seitsemän askeleen prosessi pitää sisällään seuraavat kohdat (Yangin 2007, s.27):

1. **Ilmaistaan projektin ja projektisuunnitelman tavoitteet selkeästi.** On välttämätöntä arvioida projektin budjetti ja asettaa tavoitevalmistumispäivämäärä asiakkaan vaatimusten mukaan. Tämä projektin tavoite on verrattavissa seuraavassa prosessissa tehtyihin tuloksiin.
2. **Määritetään tarpeet, jotka pitää täytyä sekä vaaditut toimet niiden täyttämiseksi.** The work breakdown structure (WBS) eli työnositusmenetelmä on asianmukainen keino laatia selkeästi kaikki vaaditut toiminnot.
3. **Määritetään loogiset suhteet toimintojen ja tarpeiden välille.** Neljää yhteyttä; alku-alku, alku-loppu, loppu-alku ja loppu-loppu käytetään yleensä kuvaamaan toimintojen toteuttamisen järjestystä. CCPM:ssä suositellaan vähentämään tai jopa poistamaan samanaikaiset toiminnot ja saamaan projektin osapuolet keskittymään kriittiseen ketjuun. Näin ollen loppu-alku suhde on paras.
4. **Arvioidaan resurssien vaatimukset, toimintojen kestot ja kulut.** On tehtävä resurssien tietokanta, johon kerätään resurssien tehokkuudet, historiallinen tieto ja viimeiset markkinatiedot. Käyttämällä tätä tietokantaa, kokenut arvioija pystyy tarkasti ja nopeasti toteuttamaan arviointitehtävän. Toimintojen resurssisuhteet täytyy olla korostettuna, kun etsitään kriittistä ketjua.
5. **Määritetään kriittinen ketju sisältäen puskurit.** Rakennetaan kriittiseen ketjuun perustuva aikataulu. Tarjolla on useita kaupallisia ohjelmistopaketteja avuksi kriittisen ketjun mukaisen aikataulun rakentamiseen.
6. **Arvioidaan aikataulu projektin tavoitteiden mukaan.** Koska aikataulutuksen lopputulokset toimivat perustana toteutukselle, on välttämätöntä verrata niitä ensimmäisessä kohdassa asetettujen tavoitteiden kanssa. Projektin tavoite, jota käytetään vertailuun, pitäisi olla resurssiperusteinen aikataulu, eikä puhdas CPM lopputulos.
7. **Jos pakollista, mennään takaisin edellisiin kohtiin ja tarketaan suunnitelma.** Tämän kohdan tarkoitus on mahdollistaa jatkuvan parantamisen asiakkaiden vaatimusten täyttämiseksi.

### 4.3 Arvovirtakartoitus

Arvovirtakartoitus on leanin työkalu hukan tunnistamiseen ja sen poistamiseen valitussa arvovirrassa. Missä tahansa prosessi on olemassa, siihen on aina liitetty arvovirta, joka esittää tarvittavat toimet tuotteen tai palvelun valmistamiseksi raakamateriaalista valmiiksi siihen saakka, kun se saavuttaa asiakkaan. Arvovirta sisältää sekä arvoa sisältävät, että ei arvoa sisältävät toimet. Value stream mapping (VSM) eli arvovirtakartoitus esittää prosessit, tunnistaa hukan lähteet sekä erottaa ne arvoa tuottavista toiminnoista, jotka ovat

kriittisiä asiakkaan tarpeille. (Forbes & Ahmed 2011, s.62) Perinteiseen arvo- tai toimitusketjuajatteluun verrattuna, arvovirta-ajattelussa huomioidaan arvovirrassa olevien yritysten osalta vain toiminnot, jotka ovat mukana arvon luomisessa tai vaikuttava siihen. Arvovirta-ajattelussa pyritään saamaan arvonluomisesta syvempi ja tarkempi kuva. (Hines & Rich 1997)

Arvovirtatarkastelu koostuu viidestä asiantuntijatiimin vastaamasta päävaiheesta, missä on edustaja jokaisesta arvoketjun toimijasta tai prosessista organisaatiotasolla liikuttaessa. Päävaiheet ovat: arvovirran tai tuoteperheen valinta, nykytilan kartoitus, tulevaisuudentilan määrittäminen, toteutussuunnitelman laadinta ja suunnitelman toteuttaminen. (Lasa et al. 2008; Rother & Shook 2009)

Arvovirtakartoitus näyttää materiaalin ja informaation virtauksen, joka vaaditaan tuloksen tekemiseksi. Se auttaa käyttäjää ymmärtämään prosessia, tunnistamaan hukkan lähteet erottamalla arvoa tuottamattomat toiminnot arvoa tuottavista toiminnoista. VSM vaatii tunnistamaan prosessin jokaisen askeleen, missä toiminnot tapahtuvat. Kun piirretään nykytilan karttaa, on tärkeää kerätä tiedot erilaisista tekijöistä kuten syklin ajasta, siirtoajoista, työajoista, hylkäämisten määrästä ja tuotannon erien koosta. Valmis arvovirtakartoitus nykytilasta paljastaa alueet, joita voidaan parantaa. Tyypillisesti, karttaa tutkii tiimi, joka ymmärtää prosessia ja pystyy tekemään muutokset. Tästä tuloksena syntyy tulevaisuudentilan kartta, jossa prosessia on parannettu maksimoimaan arvoa tuottava aika ja minimoimaan hukka. (Forbes & Ahmed 2011, s.62).

Nykytilan kartta näyttää olemassa olevan prosessin. Se vaatii operaatioiden tutkimista todella huolellisesti, jotta voidaan täysin ymmärtää materiaalin, informaation ja työntekijöiden virtaus. Jotta pystytään visualisoimaan, mitä oikeasti tapahtuu alusta loppuun, on suositeltu toimimaan takaperin valmiin tuotteen tai prosessin toimituksesta. Tärkeät tilastot kuten työtunnit, työaika, läpimenoaika, epätuottava aika, arvoa tuottava aika, asetus-aika ja virhe-asteet kerätään ja näytetään kartassa. (Forbes & Ahmed 2011, s.117)

Elbertin (2012) mukaan arvovirtakartoitus on menestykselle kriittistä seuraavien tekijöiden vuoksi:

- Se auttaa näkemään tuotteen koko virtauksen läpi tehtaan, ei vain yhden prosessin.
- Se tarjoaa yhteisen kielen, josta kaikki voivat ymmärtää tavoitteen ja käyttää samoja termejä kuvaamaan tuotantoprosesseja ja virtausta.
- Se tekee kaikki prosessin askeleet näkyväksi, jolloin ne on helppo ymmärtää ja analysoida. Muuten asiat ja ongelmat pysyvät piilossa.
- Se luo perustan, josta voidaan muokata ja toteuttaa jatkuvan parantamisen suunnitelma.
- Se auttaa visualisoimaan kuinka tehtaan tulisi virrata.
- Hyvä arvovirtakartta on suunnitelma Leanin toimeenpanolle kuten tehtaan ja prosessin uudelleen suunnittelulle.

- Se auttaa näkemään hukan lähteet operaatioissa.
- Se näyttää yhteydet materiaalin, informaation ja ihmisten virtauksissa.
- Yhdistettynä numeeriseen tietoon, jota käytetään tuotannon ohjaamiseen, arvovirtakartta on erinomainen kvantitatiivinen työkalu lyhyen- ja pitkäntähtäimen strategiseen suunnitteluun.

Toyotalla arvovirtakarttoitus tunnetaan materiaali- ja informaatiovirran kartoituksena. Toyotan tuotantosysteemissä, kartoitusta käytetään kehittämään toteutussuunnitelmia Lean-systeemeille. Se keskittyy luomaan virtausta, poistamaan hukkaa ja tuottamaan arvoa. (Forbes & Ahmed 2011, s.62)

Toyotan mukaan jatkuvan parantamisen ponnistelut ovat tehokkaimmillaan, kun ne yhdistetään Leanin arvovirran luomiseen. Rakennusalalla arvovirtakarttoitusta voitaisiin käyttää prosessin tutkimiseen, kun tuotetaan rakennus tai suunnittelupalveluita. Näin ei-arvoa tuottavia askelia voitaisiin vähentää tai poistaa. (Forbes & Ahmed 2011)

Arvovirtakuvauksen visuaalisuus ja helppous tekevät siitä tehokkaamman kuin muut prosessikuvausmenetelmät. Visuaalisuus helpottaa tiedon jakamista ja lisää läpinäkyvyyttä, jolloin hukkien ja niiden juurisyiden tunnistaminen on helpompaa. Arvovirtakuvaus myös yhdistää kvantitatiivisen ja kvalitatiivisen tiedon yhteen kuvaan, joka lisää ymmärrettävyyttä ja analysoinnin helppoutta. Tämä taas helpottaa prosessien uudelleen järjestämistä ja eri vaihtoehtojen kokeilemistä. Myös virheellisten muutoksien tekemisen mahdollisuus pienenee, kun muutoksien vaikutus arvovirran muihin vaiheisiin on helppo ottaa huomioon. (Lasa et al. 2008)

Tutkittavaksi arvovirraksi tulisi valita se, joka on merkittävin yritykselle, kuten tärkein tuotelinja tai tuoteperhe. Tuoteperheellä tarkoitetaan samankaltaisten tuotteiden joukkoa, joita tuotetaan samanlaisin perustoiminnoin ja samankaltaisella välineistöllä. Kun keskitytään tiettyyn arvovirtaan, voidaan välttää sekaannusta eri reittien tai prosessien välillä. Eri arvovirtoja voidaan kartoittaa myöhemmin, jos ne eroavat suuresti jo tutkitusta virrasta. (Hines & Taylor 2000, Womack 2006, Merikallio & Haapasalo 2009). On kuitenkin huomioitava, että pelkkien työvaiheiden tunteminen ei ole tarpeeksi, vaan hukkien poistamiseksi on ymmärrettävä työvaiheiden väliset yhteydet ja niiden toimintalogiikka eli miten informaatiovirta ohjaa materiaalivirtaa. Informaatiovirran huomioiminen on välttämätöntä tuotannon virtauksen päätelmien teolle. (Womack & Jones 2003)

## **4.4 Tahtiaika tuotannonohjaukseen**

### **4.4.1 Periaatteet**

Lean periaatteiden käyttöönotto rakennusprojekteissa vaatii ensimmäiseksi jatkuvan virtauksen käyttöönoton. Kun luodaan jatkuvaa virtausta, pakottaa se ottamaan käyttöön useita Lean työkaluja kuten visualisoinnin ja tahtiajan (Liker 2004). Yassine et al. (2014)

mukaan ensimmäinen edellytys jatkuvan virtauksen luomiseen on tahtiajan tunnistaminen. Tahtiaika on asetusaika tietyn prosessin toimitukselle, jota ajaa asiakkaan vaatimus. (Liker 2004). Tahtiajan edut projektille ovat vähentynyt vaihtelu, koko projektin pienentynyt kesto ja minimoidut kustannukset (Kenley & Seppänen 2009). Tahtiajalla kuvataan yksittäisten työvaiheiden kestoja virtausperiaatteella toimivassa tuotannossa. Kun mitoitetaan kaikki työvaiheet saman pituisiksi ja suunnittelemalla ne välittömästi toisiaan seuraaviksi, saadaan tasainen virtaus aikaan. Rakennusalalla tähän pyritään käytännössä paikka-aikakaaviolla, jossa työvaiheiden eteneminen tasautetaan suhteessa toisiinsa. Tahtiaika on kuitenkin käytännössä vaikea saavuttaa, koska työsuunnittelu on ylimalkaista ja erilaiset puskurirajat sekä tuotannon vaihtelu mitätöivät todellisen tahtiaikatuotannon saavuttamisen. Tämän korjaamiseksi perinteinen rakentamiskulttuuri sisältää suunnittelematonta resurssien uudelleen kohdistamista aiheuttaen epätasapainoa resurssissa (Kenley & Seppänen 2009). Tämän on puolestaan uskottu aiheuttavan aikataulun myöhästymisiä ja kustannusten ylityksiä. Tahtiaikatuotanto on lupaava työkalu myös rakentamiseen, jolla voidaan uudistaa nykyistä tuotannonohjausta enemmän virtausperiaatetta kohti. (Yassine et al. 2014; LCI Finland 2015)

Vaikka tahdistavan tuotannon käsite ei ole kuitenkaan uusi asia rakennusalalla, siitä löytyy vähän dokumentaatiota juuri rakennusalalta. Yhdysvalloissa ammattiharjoittajat ovat talonrakennusalalla käyttäneet kysynnän hallintaa ja tasaista virtaustuotantoa tasapainottamaan resursseja ja pienentämään läpimenoaikaa (Ballard 2001, Wardell 2003, Bashford et al. 2004, Yu et al. 2009). Bulhoes et al. (2006) demonstroivat, että kontrolloimalla betonirakenteiden tuotantoa käyttämällä pieniä, toistuvia syklejä, saatiin parannettua tuotavuutta sekä vähennettiin läpimenoaikaa ja hukkaa. Tahtiaikaa on käytetty menestyksekkäästi myös talonrakentamisessa, valmisosat tuotannossa ja moottoriteiden rakentamisessa (Wardell 2003, Valarde et al. 2009, Fiallo & Howell 2012). Myös korjausrakentamisessa on paljon työvaiheita, joissa on toistuvuutta, kuten putkiremontit, asuntokorjaukset yleensä tai hotellit. Tahtiaikaperiaate soveltuu myös näihin, jossa tasaisesti etenevän liukuhinnan korvaa ”tuotantोजना”. Tällöin tarkkaan mitoitettut työvaiheet seuraavat toisiaan kuin junan vaunut. (LCI Finland 2015) Rakennusliike Consti on käyttänyt tahtiaikaa hotellisaneerauksiin sekä linjasaneerauksiin, joissa apuna käytetään kylpyhuoneen esivalmistettuja seinäelementtejä ja tarkkaa ennakkosuunnittelua. Tahtiaikaa käytetään myös laivanrakentamisessa, jossa Merima tekee luksusristeilijöiden ja julkisten alueiden sisustuksia kokonaistoimituksina sekä I.S. Mäkinen Oy tekee hyttiremontteja 16 minuutin tahtiajalla (Heinonen 2015; Salminen 2013). (Frandsen et al. 2013)

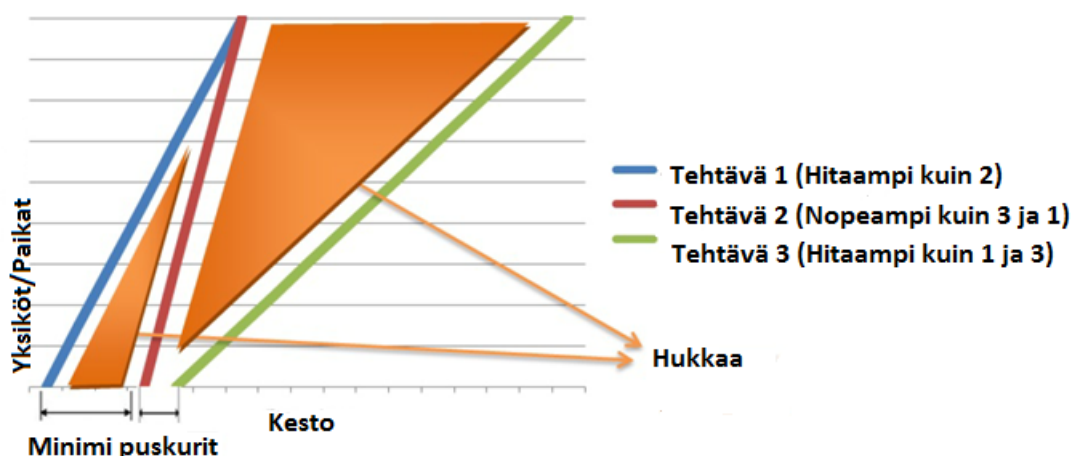
#### 4.4.2 Tahtiajan etenemisnopeus

Lean johtamisen perusasiana on hukan vähentäminen tuotantosysteemistä. Hukka voi olla hyvinkin kallista, ja siksi sen aikainen eliminointi on välttämätöntä kokonaiskustannusten alentamiseksi. Tämän vuoksi täytyy luoda jatkuva virtaus, joka näyttää ongelmat etukä-

teen (Liker 2004). Virtaus on keskeinen asia jokaisessa Lean prosessissa, mutta virtauksen nopeuden ja työn teon tai toimittamisen tahtiajan määrittäminen ei ole välttämättä helppoa. Tahtiaika on tahti, jolla asiakas vaatii tuotetta ja näin ollen tahti, jolla tuotannon pitää liikkua täyttääkseen asiakkaan vaatimukset tekemättä turhaa varastoa (Liker 2004). Jos edetään nopeampaa kuin tahtiaika, työn puskurit kasvavat, kunnes niitä pidetään ylimäärävarastoina eli hukkana. Jos taas edetään hitaampaa kuin tahtiaika, toiminnot kestävät kauemmin kuin niiden optimaalinen toimitusaika, ja näin ollen ne viivyttävät seuraavaa tehtävää aiheuttaen riittämättömän tuotantotahtin, joka ei kykene vastaamaan asiakkaan vaatimukseen. Rakennusalalla suurimmat kysymysmerkit tulevat esiin, kun määritetään asiakkaan vaatimuksia. Yksi ratkaisu on löytää käytettävissä oleva aika ja perustaa vaatimukset siihen. Toinen ratkaisu on tarkistaa hitaimman vaiheen kapasiteetin parantamisen soveltuvuus. Hitain vaihe käyttäytyy kuin prosessin pullonkaula. Systemin tulee toimia kokonaisuutena parantaakseen tuotantotahtia, jotta se etenisi samaa vauhtia kuin tahtiaika. (Yassene et al. 2014, Frandson et al. 2013)

Rakennusprojektien suunnitelmat on yleensä tehty käyttämällä kriittisen polun menetelmää ja ilmaistuna Gantt-kaavion muodossa. Nämä esitysmuodot ovat kuitenkin epäonistuneet näyttämään virtausta ja tehtävien välisiä linkkejä. Ylimääräisiä tehtävien ”kellunta aikoja” CPM diagrammissa ei nähdä Gantt-kaaviossa. Paikka-aikakaavio muuttaa näkökulman perinteisestä tehtävä-perusteisesta johtamisesta sijaintiperusteiseen johtamiseen. Tämä työkalu on todella graafinen, ja tekee hukkan, aikapuskurit ja variaation tuotantotahdissa näkyväksi. Katsomalla paikka-aikakaaviota, tahtiajan ja sopivimman tuotantotahtin määrittäminen on helpompaa. (Yassine et al. 2014)

Paikka-aikakaavio esitysmuodossa, voidaan helposti nähdä puskurit sekä yhtä hyvin kahden eri tehtävän miehistön tilausta samassa paikassa. Kuva 5. esittää epäbalansoitua tuotantoa paikka-aikakaaviona visualisoituna. (Yassine et al. 2014)



**Kuva 5.** Epäbalanssissa oleva tuotantoprosessi (Käännetty lähteestä Yassine et al. 2014)



Teollisessa tuotannossa työ jaetaan eri työpisteiden välillä, josta nähdään erilaiset tuotannon tahdit eri alueiden välillä. Rakennusalalla työ jaetaan tehtäviin ja vaiheisiin. Tahtiajan käyttöönotto rakentamisessa tarkoittaa jokaisen alueen epätasaisten tehtävien kestojen vaihtoa yhtenäiseen tehtävän keston jokaisella alueella. Samalla pidetään tuotantopeus vastaamaan yleisaikataulun vaatimuksia. Jotta päästään tähän rakentamisen jokaisella vaiheessa, projekti täytyy jakaa fyysisiin osiin (alueisiin), joissa ammattilaiset voivat viettää tietyn ajan tehtävien loppuunsaattamiseksi. Näiden alueiden rajausta sekä tahti, jolla ammattikunnat liikkuvat niiden läpi on suunnitteluasia. (Yassene et al. 2014, Frandson et al. 2013)

#### 4.4.3 Tahtiaikasuunnittelun edut

Frandson et al. (2013) on esittänyt muutamia tuotantoyksiköiden (työryhmien) etuja tuotannon suunnittelulle käyttämällä tahtiaikaa perinteisen rakentamisaikataulun sijaan.

- Työryhmillä on mahdollisuus keskustella toisten työryhmien kanssa, mihin kukin pystyy ja kuinka kukin haluaisi tehdä työnsä niin, että he voisivat yhdessä määrittää systeemin pullonkaulat eli tahdin asettajat ja mikä lähestymistapa sopii kullekin ryhmälle, jotta voidaan parhaiten tuottaa projekti kokonaisuutena.
- Työryhmät tietävät missä ja milloin he työskentelevät niin, että mikäli jotain koordinaatiota puuttuu tältä osin, voidaan se selvittää ilman suurempia tehtäviä ja suurempia yllätyksiä ei pitäisi nousta esiin aikataulun toteutuksessa.
- Työryhmät tietävät paikkansa työryhmien järjestyksessä niin, että ne voivat keskittyä ryhmien sisäisiin resurssien koordinoimisiin (esimerkiksi paikat materiaaleille ja kokoonpanoille, polut materiaalien kuljetuksille, yhteiset nostolaitteet tai muuta samanlaista).
- Työryhmät voivat luottaa suunnitelman ennustettavuuteen (ajan ja paikan osilta, missä he tulevat työskentelemään) ja näin ollen voivat yksityiskohtaisesti suunnitella kuinka he työskentelevät (esimerkiksi turvallisuuden, laadun ja logistiikan suunnittelu), niin ettei samanaikaisesti tarvitse kuluttaa aikaa vaihtoehtojen suunnitteluun (valmius, sille mikäli suunnitelma kaatuu).
- Työryhmät saavat välittömästi palautetta siitä, kuinka he etenevät (Tekevätkö he tahtiajassa? Onko laatuvaatimukset saavutettu?).
- Työryhmät saavat edistymisten arviot pienissä erissä maksupolitiikan tarkoituksiin. Ja näin ollen
- He voivat olla tuottavampia kuin muuten olisivat.

#### 4.4.4 Prosessi tuotantosunnittelulle käyttämällä tahtiaikaa

Tahtiaikatuotannon toteutus etenee pelkistetysti neljässä vaiheessa:

1. **Tiedon keruu:** Ensimmäisenä kootaan tieto tuotantoprosessista, sen vaiheista, työvaiheiden järjestyksestä ja kestoista (LCI Finland, 2015). Työvaihe työvaiheelta, tunnistetaan tarkalleen mitä töitä pitää tehdä ja missä. Yksi menetelmä tiedon keräämiseen on nokkamiesten tai työnjohtajien (henkilöt, jotka tietävät työn yksityiskohdat) johdolla värittää pohjapiirroksen eri työvaiheiden tiedot, mitä he arvelevat pystyvänsä suorittamaan päivässä. Jokainen työvaihe merkitään eri värillä. Tämä auttaa tunnistamaan tehtävien halutut kestot sekä yksittäisten tehtävien tuotantosuunnitelman. Väriyksellä tunnistetaan myös luonnolliset keskeytykset työssä (esimerkiksi palo-osastot) ja alueet, joka vaativat keskeytystä (esimerkiksi liikuntasauamat). Sillä voidaan myös tunnistaa suositeltu työjärjestys. Väritys tarjoaa oleellisen panoksen tahtiaikasuunnittelulle, mutta on kuitenkin epätodennäköistä, että työt etenisivät juuri värityksen mukaan. (Frandsen et al. 2013). Tässä voidaan käyttää myös Last Plannerista tuttua seinätaulumenetelmää, jolla tunnistetaan miten, kuka tekee ja missä järjestyksessä kukin työvaihe pitäisi tehdä. (Yasmine et al. 2013; LCI Finland 2015)
2. **Työmaan ositus:** Työmaa ositetaan sopivan pieniin lohkoihin tai toistuviin alueisiin, jotka toimivat tahtiaikasuunnittelun yksiköinä. Tahtiaika määritetään sen mukaan, kuinka pitkään työvaiheilla on aikaa työskennellä tietyllä alueella tai vyöhykkeellä. Ideaalitulanteessa rakennuksen alueet on jaettu työvaiheisiin, jotka kestävät yhtä kauan toteuttaa. Tässä kohtaa tahtiaikaa ei voida vielä määrittää, koska tietoa vielä ei ole tarpeeksi. Apuna voidaan käyttää myös tietomallia, mutta se minkä tasoinen mallin tarvitaan, voi tehdä sen käytön haasteelliseksi. (Frandsen et al. 2013)
3. **Työryhmien järjestys:** Tuotannon tahtiaika (etenemisnopeus) määritetään hitaimman työvaiheen mukaan (voiko hitainta vaihetta nopeuttaa/ töitä jakaa?). Työryhmien välisen sekvenssin ymmärtäminen vaatii koordinoituja tapaamisia. Kenen täytyy työskennellä alueella, ketä ennen ja kenen jälkeen sekä kuinka monta vaihtoa kukin työvaihe tarvitsee? Yleinen työvaiheiden järjestys saadaan imuohjauksesta (käännetty aikataulu), mutta myös yksityiskohtaisempaa tietoa tarvitaan luotettavan tahtiajan luomiseksi. ((Frandsen et al. 2013; LCI Finland 2015))
4. **Virtauksen tasaaminen:** Tasataan kaikki tuotantojunan työvaiheet ko. etenemisnopeuden mukaan. Tässä voidaan käyttää keinoina resurssien mitoitusta jne. Aliurakoiden sanktiot sidotaan etenemisnopeuteen, ei vain välitavoitteisiin. Pääkysymyksiä tässä ovat: Mitä työvaihetta pitää hidastaa ja mitä nopeuttaa? Myös materiaalitoimitukset sekä suunnitelmien ja muiden tietojen saanti tulisi sitoa etenemistahtiin ja pyrkiä mahdollisimman täsmällisiin toimituksiin. Tasainen ja ennakoitava tuotanto antaa tähän mahdollisuudet. ((Frandsen et al. 2013; LCI Finland 2015)
5. **Yksittäisen työvaiheen keston ymmärtäminen:** Työn virtauksen tasapainottaminen vaatii kuitenkin kokeilukierrosten tutkimuksia, jotta voidaan määrittää tarkem-

mat kestot työvaiheille. Kokeilukierrokset ovat välttämättömiä suunnitelmien luotettavuudelle ja tietojen keräämiselle. Työn virtauksen tasapainottaminen ei tapahdu välittömästi, vaan jatkuvan parantamisen kautta voidaan saavuttaa tahti-aika. Hiotaan siis prosessia jatkuvasti paremmaksi. Kuitenkin selvitetään voiko tuotantojunaa nopeuttaa kokonaisuutena, ei vain yksittäisiä työvaiheita. Ongelmien syyt selvitetään ja ratkaistaan. (Frandsen et al. 2013; LCI Finland 2015)

6. **Tuotannon suunnittelu:** Tahti, jolla tehtävät suoriutuvat alueiden läpi tasaisessa työn virtauksessa on tahti-aika. Käyttämällä tätä tuotantotahtiä, voidaan alueet jakaa vielä pienempiin aikakokonaisuuksiin. Tämä lyhyemmän ajanjakson tarkoitus on näyttää, pysytäänkö tahtiajassa. Korjaavat toimenpiteet voidaan tehdä niin nopeasti kuin mahdollista, että tahti ei häiriinny. (Frandsen et al. 2013)

LCI Finland (2015) mukaan tuotannon suunnittelussa ja jatkuvassa parantamisessa voidaan käyttää työntutkimuksesta tuttuja mittaus- ja seurantamenetelmiä. Visuaalinen tuotannonohjaus on tässä myös keskeisessä asemassa, koska tuotantoprosessin avoimuus ja seurattavuus tulee toteuttaa niin että kaikki tuntevat tavoitteet ja tietävät miten niihin päästään. Tiedon viemisessä kentälle ja seurannassa voidaan hyödyntää esimerkiksi porrasvinjettä. (LCI Finland 2015)

#### 4.4.5 Tahti-aikatuotannon haasteet

Tahti-aikatuotanto on teoriassa hyvinkin selkeä ja ymmärrettävä, mutta sen käytäntöön istuttaminen rakennusalalla on haastavaa. Tuotannosuunnittelu ei ulotu samalle tasolle kuin teollisuudessa, missä työvaiheet voidaan suunnitella jo sekuntien tarkkuudella. Rakentamisessa tarkin taso yleensä ottaen on viikkosuunnittelu, missä tehtävät suunnitellaan päivän tai muutamien tuntien tarkkuudella. Myös perinteisen tuotannosuunnittelun ylimalkaisuus sekä tiukoista urakoitsija- ja ammattikuntarajoista tekevät töiden tasaamisesta ja siirtelystä vaikeaa. Oman lisähaasteensa tuo lukuisten aliurakoitsijoiden töiden koordinointi sekä ohjaustiedon vieminen kentälle. (LCI Finland 2015)

Myös koko hankeprosessi jättää usein liian vähän aikaa tuotannon suunnittelulle ja valmistelulle. Tahti-aikasuunnittelu pitäisikin ottaa asiaksi jo rakennussuunnitteluvaiheessa, jolloin voitaisiin vaikuttaa muun muassa suunnitteluratkaisuihin ja urakkarajoihin. Oikeastaan jo hankintavaiheessa tulisi tahti-aikatuotannon pääpiirteet olla selvillä, jolloin sen tuomat vaatimukset voitaisiin ottaa mukaan hankintasopimuksiin ja urakkaneuvotteluihin. Tahti-aikatuotannon käyttöönotto vasta tuotantovaiheessa on vaikeaa, mutta ei kuitenkaan mahdotonta. (LCI Finland 2015)

Tästä kaikesta voidaan päätellä, että selvästi yksi kriittisimmistä vaiheista tahti-aikatuotannon käyttöönotolle on löytää tahdistavat työvaiheet eli pullonkaulat/kapeikot. Ylimääräisestä hukasta päästään eroon, kun tahdistetaan muut työvaiheet pullonkaulan ehdoilla. Tämän jälkeen voidaan parantaa pullonkaulaa. Muita vaiheita kuin pullonkaulaa on turha nopeuttaa, ja se aiheuttaa vain lisää aikavarastoa. Tahti-aikatuotanto voisikin olla erittäin

lupaava työkalu eritoten linjasaneeraustyömaalle, jossa työvaiheet toistuvat hyvinkin suurelta osin. Tuotannon jatkuvalla kehittämisellä ja pullonkaulojen jatkuvalla poistamisella voidaan myös läpimenoaikoja lyhentää.

#### 4.4.6 Tahtiaika Case 1.

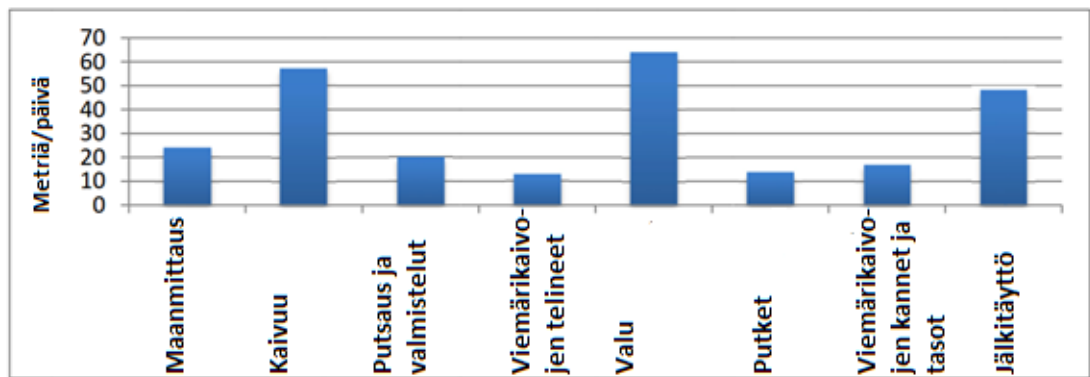
Yassine et. al. (2014) ovat tutkineet tahtiajan käyttöönottoa tuotannonohjaukseen rakennusalueella case- kohteen kautta. Kohde oli 3000m<sup>2</sup> alue sisältäen 300 huoneiston ja 170 vähittäismyyntikaupan rakentamisen. Tutkimuksessa he keskittyivät kuitenkin putki- ja viemärijärjestelmien aliurakoitsijan toimintaan, jossa prosessi alkoi kaivuutöistä päättyen 600 viemärikaivon asennuksiin yhdistäen koko projektin putkistojärjestelmän. Työvaiheet olivat hyvin toistuvia. Tutkimuksen helpottamiseksi he jakoivat projektin alueen kolmeen osaan, joissa yhteensä putkistoja asennettiin 950m.

Aluksi tekivät yksityiskohtaisia haastatteluja urakoitsijan, projektipäällikön ja työmaainsinöörin kanssa, josta saatiin tietoa tehtävien yksityiskohdista, ryhmien tuottavuuksista, kassavirran arvioista sekä muista vaadituista tiedoista. Nämä on esitetty alapuolisessa taulukossa 2.

*Taulukko 2. Alkutilanne. (Yassine et al. 2014)*

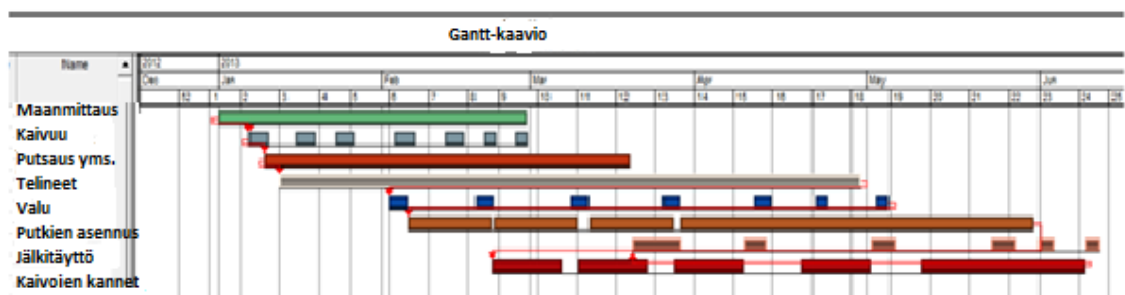
Tehtävä	Yhden henkilön menekki (tuntia per metri)	Tuotantoaste (metriä per päivä)	Kesto (Päivinä)	Työntekijöiden määrä ryhmässä	Ryhmien määrä	Huomioita
Maanmittaus	1	24	33	3	1	-
Kaivuutyöt	0.7	57.14	17	5	1	Metrin syvyyteen
Putsaus ja valmistelut	2	20	48	5	1	Kaivinkoneen sijasta käytettävä käsityökaluja talojen läheisyyden vuoksi
Viemärikaivojen rakennustelineet	2.5	12.8	74	2	2	Viemärikaivot ovat liian kapeita suuremmalle kuin kahden henkilön ryhmäkoolle
Valu	0.5	64	15	4	1	
Putket	A&C: 2.3 B:1.6	13.9	68	2	2	Yksi alueesta sijaitsee rinteessä
Viemärikaivojen kannet ja tasot	1.9	16.8	56	2	2	
Jälkitäyttö	0.5	48	19.8	3	1	-

Näistä tiedoista he pystyivät analysoimaan tuotanto asteen jokaiselle tehtävälle, jotka nähdään kuvassa 6. Nykyinen tuotannonohjauksen menetelmänä käytettiin niin sanotusti ”niin nopeasti kuin pystytään”, jolloin tehtävät aloitettiin niin nopeasti kuin mahdollista sen sijaan, että olisi voitu saada aikaa tasainen virtaus myöhästyttämällä joidenkin aloituspäiviä.



**Kuva 6.** Alkutilanteen tuotantoasteet. (Yassine et al. 2014)

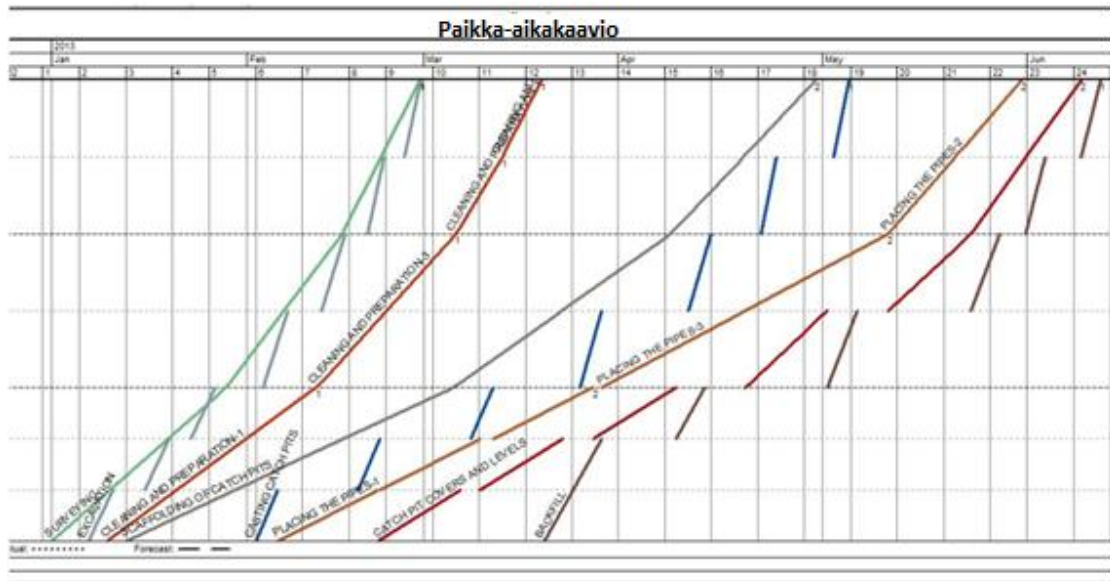
Kuvasta 6. voidaan tunnistaa nopeasti muutama pullonkaula, joista suurimmat olivat telineiden teko ja putkistojen asennus. Nykyinen lähestymistapa hukkasi todella paljon aikaa ja töiden valmiiksi saattaminen olisi kestänyt 105 päivää. Projektipäällikkö oli kertonut, että nykyinen lähestymistapa yrittää leikata resurssien kustannuksia tilapäisessä rakentamisessa (esimerkiksi puuta, jota tarvitaan telineiden tekoon), jonka vuoksi ylimääräistä aikaa hukataan. Tämän vuoksi hän käytti kahta ryhmää telineiden tekoon, joka aiheutti pullonkaulan. Tämä aiheuttaa myöhästymisen kaikkiin muihin tehtäviin, jotka tulevat telineiden teon jälkeen.



**Kuva 7.** Alkutilanteen Gantt-kaavio. (Yassine et al. 2014)

Nykyinen aikataulu on esitetty kuvassa 7. Gantt-kaaviona. Kuvasta nähdään, että prosessi liikkuu oikeassa järjestyksessä oikeaan aikaan, mutta se ei kuitenkaan näytä tehtävien tuotantoastetta. Yassine et al. (2014) muuttivat Gantt-kaavion paikka-aikakaavioksi (Kuva 8.), josta nähdään eri tehtävien tuotantoasteet sekä nykyisen lähestymistavat ai-

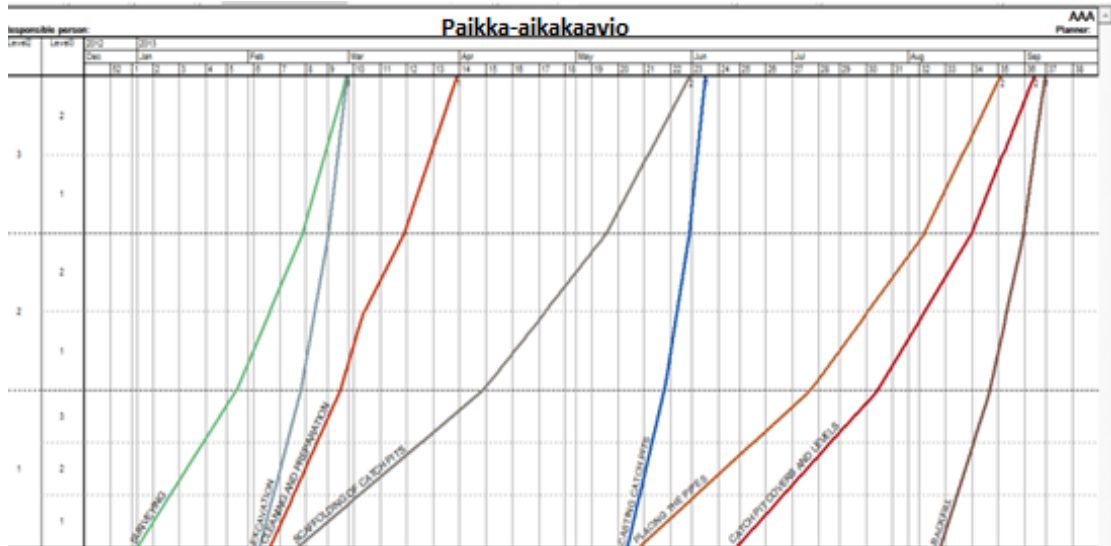
heuttama hukka. Paikka-aikakaaviosta nähdään kuinka jotkut työvaiheet kärsivät keskeytyksiä edeltävien tehtävien verrattain hitaammasta tuotantoasteesta. Nämä keskeytykset aikanaan aiheuttavat ajan hukkaa ja harhautumista todellisuudesta.



**Kuva 8.** Alkutilanteen paikka-aikakaavio. (Yassine et al. 2014)

Myöhästymisten välttämiseksi Yesseni et al. (2014) ottivat tahtiaikasunnittelun käyttöön. Tehtävät tehtiin niin toistuviksi kuin mahdollista käyttäen apuna pieniä puskureita. Sama tiimi siirtyy alueelta alueelle tekemään samoja tehtäviä ilman keskeytyksiä. Tämä säästää kustannuksia ja parantaa tuottavuutta.

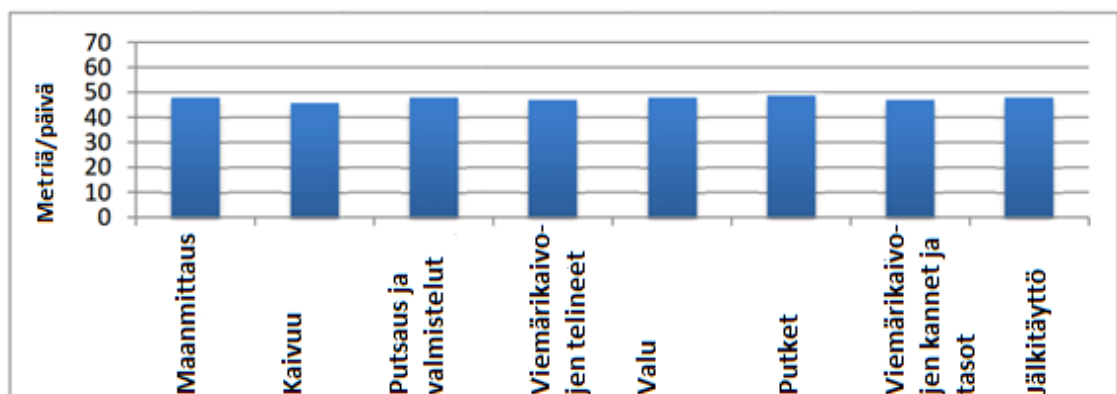
Tehtävät tasattiin vauhdin mukaan niin, että ne ovat jatkuvasti käynnissä alusta loppuun. Tehtävien tuotantotahteja myös säädettiin, jotta ne saataisiin tahtiajan mukaisiksi. Jotta tehtävät saatiin jatkuviksi ilman keskeytyksiä tai häiriöitä, viivytettiin nopeiden tehtävien aloituspäiviä, jolloin häiriöt eliminoituivat. Aikahukka eli viivojen välit tehtävien välillä nähdään kuvassa 9. Seuraava askel oli säätää tehtäviä niin, että ne liikkuvat tahdilla. Tällä tavoin minimoitiin hukka-ajan määrä. Yassine et al. (2014) yrittivät lähestyä tahtiaikaa niin paljon kuin mahdollista toteutettavuuden rajoissa. Tuotantoasteet nähdään taulukossa 3. ja kuvassa 10.



**Kuva 9.** Paikka-aikakaavio häiriöttömästä virtauksesta. (Yassine et al. 2014)

**Taulukko 3.** Tahtiajan lähestymistapa. (Yassine et al. 2014)

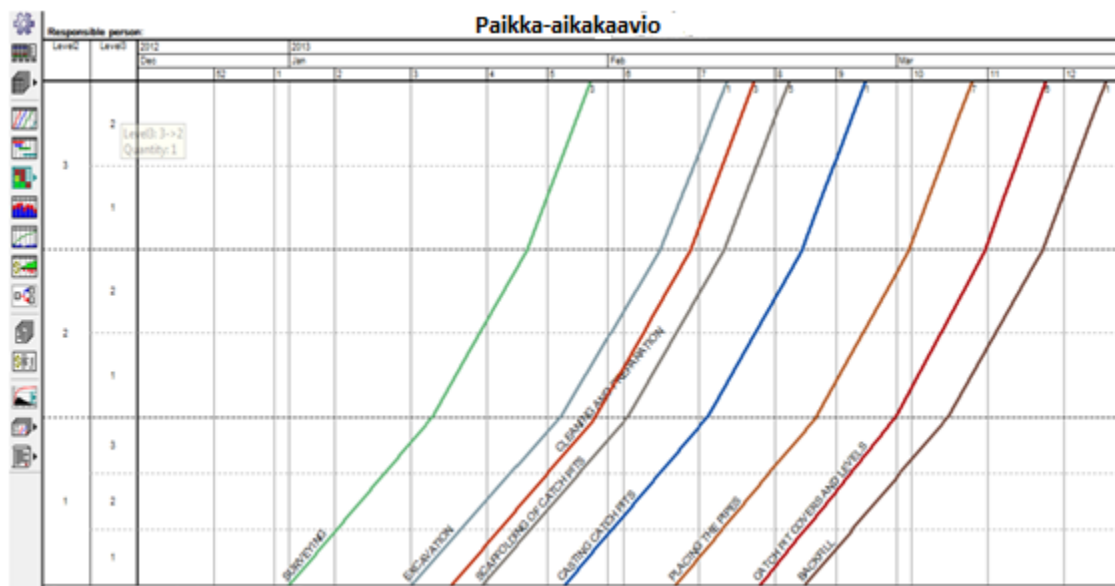
Tehtävä	Yhden henkilön menekki	Tuotantoaste (m/päivä)	Kesto (Päivinä)	Työntekijöiden määrä ryhmässä	Ryhmiä määrä
Maanmittaus	1	48	20	2	3
Kaivuu	0.7	45.7	20.8	4	1
Putsaus ja valmistelut	2	48	19.9	4	3
Kaivojen telineet	1.7	47	20	2	5
Valu	0.5	48	20	3	1
Putket	1.7	48.63	20	2	5
Kaivojen kannet ja tasot	1.7	47	19	2	5
Jälkitäyttö	0.5	48	20	3	1



**Kuva 10.** Tuotantoasteet tahtiaika-menetelmän mukaan. (Yassine et al. 2014)

Yassenin et al. (2014) tutkimuksessa sopivaksi tahtiajaksi paljastui 48 metriä/päivä. Tämä tarkoitti sitä, että tehtävän valmistuminen lyheni 54 päivään 105 päivän sijasta, jolloin

säästettiin aikaa noin 50%. Uudessa prosessissa resurssit jaetaan tahdistetummalla tavalla. Kuva 11. näyttää, miten useiden tehtävien pitäisi edetä, kun seurataan tahtiaikaa. Nähdään kuinka kaikkien tehtävien viivojen kulmakertoimet ovat samat. Tämä estää tehtävien keskeytyksiä, kun virtaus on jatkuva. Nähdään myös, kuinka puskurit on optimoitu, koska tehtävien viivojen välissä oleva tila on pienentynyt oleellisesti.



**Kuva 11.** Tahtiajan paikka-aikakaavio. (Yassine et al. 2014)

Yassine et al. (2014) mukaan nykyisessä lähestymistavassa työntekijät joutuvat keskeyttämään paljon töitensä ja lähtemään välillä pois työmaalta. Työntekijät, jotka on otettu suorittamaan tiettyä tehtävää, pakotetaan suorittamaan osa tehtävästä, ja sitten pysähtymään ja jatkamaan myöhemmin. Tämän tiedetään indikoivan huonoa johtamista, sillä tuotanto kärsii, kun työntekijät kokevat useita häiriöitä omissa työnvirtauksissaan. Uuden tahtiajan mukaisen aikataulun käyttäminen, tasoittaa työntekijöiden määrää, koska useimmat ryhmät tekevät työnsä alusta loppuun samalla alueella. Tämä saadaan ajankäytön käyttööste huomattavasti paremmaksi. (Yassine et al. 2014)

#### 4.4.7 Tahtiaika Case 2.

Myös Frandson et al. (2013) ovat tutkineet tahtiaikatuotannosuunnittelun käyttöä suuren sairaalarakennuksen ulkooverhouksen rakentamisessa. Kohde oli naisten ja lasten keskus (WCC) osana suurempaa terveydenhuoltohanketta ja sijaitsi Californian Sacramentossa. WCC on kahdeksankerroksinen, 242 makuupaikkainen ja 36 700m<sup>2</sup>: kokoinen rakennus, jolla oli vaativat rakennusmääräykset johtuen esimerkiksi Californian maanjäristyssuunnittelukoodeista.

Rakennuksen ulkooverhous eriteltiin alueisiin ja vaadittavat tiedot kerättiin työryhmiltä. Työn järjestys oli seuraava: kehystys, ikkunat, telineet, levytys, vedeneristys (Exo-Air),



toinen vedeneristys (ETA) ja paikkaukset. Tiimi suoritti kokeilukierrostutkimuksia ja huomasivat, että kehystys vei paljon kauemmin kuin muut tehtävät, ja näin ollen vaati eniten säätöä. Ulkoverhoukseen luotiin neljän päivän tahtiaika.

Pääurakoitsija hoiti tuotantosuunnitelmaa päivittäin normaalien viikkotapaamisten lisäksi. Ulkoverhoukselle asetettiin vastaava työnjohtaja ja projekti-insinööri. Tiimit muodostivat Integroidun projektitiimin (IPD). Vastaava työnjohtaja toimi johtajana ja helpottajana kaikille eri ryhmien työnjohtajille. Päävalvoja teki kaikki viimeiset päätökset ja projekti-insinööri oli vastuussa suunnitelmien päivittämisestä ja tarkistamisesta. Tiimien jäsenet ymmärsivät, että tällainen tapa vaati paljo enemmän koordinointia kuin perinteinen tapa rakentaa ulkoverhousta. Vastaava työnjohtaja oli myös mukana organisoimassa päivittäisiä tuotantosuunnitelmia, jotka täytettiin verkossa ja varmistettiin, että olivat ajan tasalla ja luotettavia. Työnjohtaja olivat koko tuotantosuunnitteluprosessin kulmakiviä.

Frandon et al. (2013) mukaan asioita, joita opittiin tahtiajan käyttöönotosta ulkoverhoukseen olivat:

- Suurimmaksi ongelmaksi havaittiin **tuotantosuunnitelman kommunikaatio**. Selkeä viestintä käyttämällä oikeaa tiedon välittäjää on tärkeää, koska se auttaa tekemään päivittäiset sitoumukset mahdollisiksi. On kriittistä varmistaa, että kaikki tuotantotiimissä mukana ymmärtävät tavoitteen selkeästi ja yhtenevästi.
- Toiseksi, tuotantotiimi havaitsi, että **tahtiaika vaatii tiukempaa kuria**, jotta suunnitelma pitää. Tuotantosuunnitteluprosessin alussa olisi muuten ollut helppo mennä takaisen perinteiseen suunnitteluprosessiin. Tämä muutos vaatii muutosta ihmisten ajattelussa. Tämän tason yksityiskohtainen tuotantosuunnittelu loi stressiä työryhmien johtajille, koska jokainen ryhmä oli vastuussa päivittäisestä työmäärästä, josta koko työ oli riippuvainen. Tämän tyyppiseen stressiin he eivät olleet tottuneet. Tuotantotiimi ymmärsi, että tahtiajan asettaminen saattaa luoda kiihtyneen tunnetta. Jos rakennusprosessia ei ole hyvin ymmärretty, tahtiaika luo stressiä. Tuotantotiimi ratkaisi tämän ongelman ymmärtämällä alun perin työryhmien huolet ja asettamalla ne tahtiaikaan. Lopulta tuotannon ongelmat ratkaistiin, kaikki olivat täysin sitoutuneita tuotantosuunnitelmaan ja kaikki tajusivat sen.
- **Päivittäinen tuotantosuunnittelu vaatii parempaa tukea suunnittelutiimin ihmisiltä**. Jotta päivittäinen tuotanto on hallinnassa, täytyy pääurakoitsijan olla valmis tukemaan ihmisiä jokaisella tasolla. Pelkän suunnitelman tekeminen ei riitä. Yksilöiden kasvu ja hyvinvoinnin tarpeet täytyy olla myös hallinnassa. Tämä koskee työryhmien työnjohtajia, nokkamiehiä, työntekijöitä ja projekti-insinöörejä.

Tahtiaika rakentamisessa toimii suunnittelu parametrina tuotantosuunnittelulle. Tahtiajan saavuttamiseksi täytyy käydä läpi kuusi vaihetta: **Yksittäiset työryhmien tarpeiden ymmärtäminen, työalueiden määrittäminen, työryhmien järjestyksen ymmärtäminen, kestojen soveltaminen, työn virtauksen tasapainottaminen ja tuotantosuunnitelman**

**hallinta.** Tahtiaika asettaa tahdin millä jokainen alue täytyy olla valmis ja näin ollen tasapainottaa työvirtauksen.

Tässä projektissa asetettiin neljän päivän tahtiaika tasapainottamaan työryhmien tehtäviä rakennuksen itä ja länsi sivuilla. Alkuperäinen aikataulu lupasi 11 kuukautta työn valmistumiseen, mutta tahtiaikaa käyttämällä ja johtamalla tuotantoa päivittäisellä tasolla, tiimi sai työt valmiiksi viidessä kuukaudessa.

Käyttämällä tahtiaikaa tuotannon johtamiseen saadaan jokaiselle tehtävälle selkeät päivittävät tavoitteet, tuottavuus nousemaan, ongelmat ratkaistua nopeasti ja rakentaminen samalle linjalle valmistuotannon kanssa. Tulokset myös osoittavat, että toistuva (esimerkiksi päivittäinen) projektin kustannustenhallinta on mahdollista johtuen yksityiskohtaisesta tuotannon johtamisesta. Haasteena tahtiaika tuotannolle on taas, että vaaditaan selkeää kommunikaatiota ja parempaa suunnittelua jokaiselle tehtävälle.

## 4.5 Last Planner

Toyotan tuotantojärjestelmää (TPS) vastaava projektipohjainen tuotantosysteemi LPDS (Lean Project Delivery System), kehitettiin rakennusosalalle Toyotan oppien jalkauttamista varten. LPDS:n kuhunkin vaiheeseen on kehitetty työkaluja ja metodeja, joilla pystytään eliminoimaan hukkaa projektitoimituksen eri aikoina. Last Planner on työkalu, joka on kehitetty projektinaikaiseen tuotannon ohjaukseen. Last Planner tuotannonohjausmenetelmän taustalla toimii ajatus, jonka mukaan perinteinen tuotannonohjaus ei ole kyennyt vastaamaan työmaan tuotantotilanteen asettamaan haasteeseen. Perinteisellä tuotannonohjauksella tarkoitetaan Yhdysvalloista 1960-luvulta lähtien levinnyttä, suurelta osin toimintaverkon ideaan nojaavaa projektinhallinnan lähestymistapaa, joka on rakennusteollisuuden yleisesti käyttämä. (Koskela & Koskenvesa 2003; Merikallio & Haapasalo 2009)

Koskela & Koskenvesa (2003, s.27) tiivistävät Last Planner -menettelyn teoriapohjan tarkastelemalla yhtä rakentamistehtävää. Last Planner-menettely pyrkii poistamaan kolme ongelmaa, jotka johtuvat perinteisestä tuotannonohjauksesta: Ongelmat tehtävää aloitettaessa, tehtävän kuluessa ilmaantuvat häiriöt, jotka aiheuttavat lyhyitä katkoja tai tuottavuuden alentumista, sekä tehtävän keskeytymisen, jolloin jäljelle jäävä tehtävähäntä jää myöhemmin toteutettavaksi. (Koskela & Koskenvesa 2003, s.27)

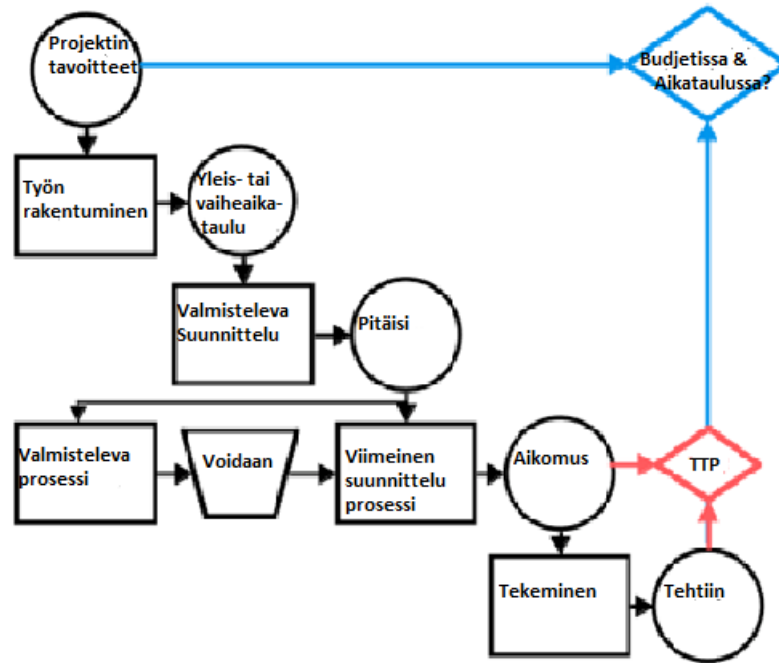
Last Planner -järjestelmässä tehtäväsuuntautunut lähestymistapa yhdistetään virtasuuntautuneeseen lähestymistapaan, jossa määrätietoisesti pyritään vähentämään epävarmuutta ja torjumaan sen haitat. Virtasuuntautuneessa ajattelutavassa keskiössä ovat materiaali- ja tietovirrat, jolloin kukin tehtävä nähdään osana tällaisia virtoja. Myös tavanomaisesta yleisaikataulun avulla toteutettavasta ”työntöohjauksesta” siirrytään työmaan tilanteeseen perustuvaan imuohjaukseen. Last Planner pyrkii myös sitouttamaan tekijät suunnitellun tehtävän toteuttamiseen, jolloin eri osapuolten keskinäinen luottamus

kohoa. Last Planner yhdistää ohjauksen ja parantamisen, jolloin ohjauksessa ilmenevät puutteet otetaan välittömästi parantamiskohteiksi. (Koskela & Koskenvesa 2003)

Lisäksi Last Plannerin tärkeä rooli on korvata optimistinen suunnittelu realistisella arvioimalla työntekijöiden tehokkuutta perustuen heidän kykyihinsä luotettavasti saavuttaa sitoumuksensa. (Stratton et al. 2010)

Last Planner konseptilla on viisi integroitua pääelementtiä: Yleissuunnittelu, Rakentamisvaihesuunnittelu, Valmisteleva suunnittelu, Viikkosuunnittelu sekä Töiden toteutumisprosentti ja analyysit ei toteutuneiden töiden syistä. (Stratton et al. 2010; Koskela et al. 2010)

- **Yleissuunnitelma** tunnistaa kaikki työpaketit koko projektille näyttäen päätehtävät, niiden kestot ja järjestykset. Pyrkimys on tuoda pääosapuolet yhteen aikaisessa vaiheessa prosessia, missä oletukset testataan ja parhaat käytännöt sovitaan.
- **Rakentamisvaihesuunnittelu** jakaa yleissuunnitelmaa useisiin vaiheisiin, joissa kehitetään tarkemmat työsuunnitelmat ja varmistetaan tavoitteet. Vaihesuunnittelu liittyy osapuolet kaikista organisaatioista tarkemman työsuunnitelman kehittämiseksi kaikille osapuolille (urakoitsijat, aliurakoitsijat, asiakkaat, konsultit, toimittajat, jne.), jotka liittyvät tiettyyn vaiheeseen.
- **Valmistelevalle suunnittelulle** tehdään tehtävien edellytykset valmiiksi, että ne voidaan tehdä oikeaan aikaan. Valmistelevan suunnittelun tavoitteena on vähentää epävarmuutta, tunnistaa ja poistaa rajoitteet, jotta projektin tavoitteet voidaan saavuttaa valmistelevalle jaksolla, mikä yleensä vaihtelee 4-8 viikon välillä. Valmistelulla varmistetaan, että tehtävät ovat valmiina tuotantoon, kun vaaditaan. Näin vähennetään hukkaa ajassa, materiaaleissa ja varusteissa.
- **Viikkosuunnittelu** yhteistyöhön perustuva yhteisymmärrys tuotannon tehtävien totuttamisesta seuraavalla viikolla. Viikkosuunnitelma tehdään valmistelevaan suunnitteluun perustuen, missä pitäisi pyrkiä määrittämään se, mitä tullaan tekemään, jolloin resurssit ovat saatavilla. Viikkotapaamisten tarkoitus on kommunikoida edistymistä sekä suunnitella seuraavaa viikkoa ja varmistaa sen edellytykset. Tämä auttaa etsimään keskinäiset riippuvuudet resurssien, mahdollisuuksien ja varusteiden välillä. Viikkosuunnittelutapaamiset käsittävät viikoittaiset suunnitelmat, turvallisuusasiat, laatuasiat, resurssit, rakentamismenetelmät ja kaikki ongelmat, jotka ilmenevät työmaalla.
- **Töiden toteutumisprosentti (TTP) ja analyysit ei toteutuneiden töiden syille.** Tällä pyritään parantamaan projektisuunnittelua jatkuvalla arvioinnilla ja oppimisella virheistä. TTP on ajassa suoritettujen lupauksen suhteen mittari. TTP:n mitaamisen jälkeen täytyy tunnistaa syyt ei suoritetuille töille ja edelleen etsiä juurisyyt, jotka voidaan poistaa toistumisen ehkäisemiseksi. Lisäksi ajan kuluessa TTP tilastot näyttävät, minne huomioita pitäisi enemmän keskittää parempien tulosten saavuttamiseksi. Tämä voi vuorostaan auttaa oppimisprosessia projektin tai projektien kuluessa.



*Kuva 12. Last Planner- systeemi (Käännetty lähteestä Stratton et al. 2010)*

Last Planner systeemissä yläpuolella olevassa kuvassa 12. mainittujen elementtien toteutusjärjestys asettaa tehokkaan rungon suunnittelulle imutekniikan kautta. ”Pitäisi” kuvastaa ehdotettua prioriteettia, ”voidaan” on se, mitä on tällä hetkellä saatavilla, ”aikomus” sitoumus ja ”tehtiin” on, se mitä saavutettiin ja raportoitiiin TTP:n kautta. Perinteiset käytännöt eivät huomioi eroa välillä, mitä pitäisi tehdä, voidaan tehdä ja tehtiin, oletuksena, että työntämällä enemmän tehtäviä, tulokset tulevat olemaan parempia. Yleinen idea on, että tasaisen työn virtauksen saavuttamiseksi, viikkosuunnittelua ja huolellista suunnittelun tehokkuuden valvontaa tarvitaan. Tämä saavutetaan mahdollisimman lähellä kyseistä viikkoa tehdyllä viikkosuunnittelulla sekä valmistellulla työmaalla. Viikkosuunnittelu määrittää, mitä tehdään ja TTP kertoo, mitä tehtiin. (Stratton et al. 2010)

## 4.6 LBMS

Sijaintiperusteinen ohjaussysteemi LBMS (Location-based Management System) on pitkän tutkimisen kulminaatio alkaen Line-of-balance:sta eli paikka-aikakaaviosta ja Flowline menetelmästä. Line of Balance (LOB) ja flowline aikatauluissa vaaka-akselilla on aika ja pystyakselilla taas tuotantoyksikkö eli rakentamisessa paikka. Molemmat menetelmät ovat vinoviiva-aikatauluja eli ne kuvaavat tuotantonopeutta määrän suhteen. Line of Balancessa yhdellä tehtävällä on kaksi viivaa, kun taas flowline -kuvaajassa tehtävän kulku kuvataan yhdellä viivalla. (Koskenvesa & Sahlstedt 2011). Useimmat paikkaperusteisiin menetelmiin liittyvät tutkimukset ovat keskittyneet teoreettisiin näkökantoihin suunnittelussa ja sivuuttaneet mahdollisuudet käyttää paikkaperusteisia menetelmiä joh-

tamiseen. Esimerkiksi Kauppakeskus Kamppi on rakennettu käyttämällä LMBS menetelmää, jonka vuoksi urakoitsija sai projektin valmiiksi kuusi kuukautta etuajassa, jolloin säästöt olivat miljoonia (Yasseni et al. 2014). Tässä kerrotaan kuitenkin LBMS:n tärkeimmät näkökannat Seppänen et al. (2010) mukaisesti.

#### **4.6.1 Sijaintiperusteinen suunnittelusysteemi**

LBMS:ssä projektin sijainnit ovat hierarkkisia ja jaettu lohkoihin. Jokainen tehtävä on määritetty hierarkkisella tasolla ja sisältää yhden tai useamman sijainnin. (Kenley & Seppänen 2010; Seppänen et al. 2010, s. 45)

Tehtävän määräluettelo kertoo selvästi kaiken työn, jonka pitää olla valmiina ennen kuin tietty sijainti on valmis ja ryhmä voi siirtyä seuraavaan sijaintiin (Kenley & Seppänen 2010, s. 128-131). Sijainnin määrät vaaditaan aloitustietona sijaintiperusteiselle suunnitelmalle. Kestot lasketaan kertomalla jokaisen sijainnin määrät työntekijämenekkitäjällä (työntekijätunnit/työryhmä) ja jakamalla ryhmän koolla. (Kenley & Seppänen 2010, s. 131-133). Koska määrät voivat olla erilaisia sijainneissa, ja jokainen tehtävä voi pitää sisällään moninkertaisia määränimikkeitä erilaisilla tuottavuusasteilla, LBMS ei ole rajoitettu vain itseään toistaviin projekteihin. (Seppänen et al. 2010, s. 45)

LBMS integroi kriittisen polun menetelmän (CPM) Flowline aikatauluttamiseen. LBMS sallii jatkuvan työntekijävirran suunnittelun viivästyttämällä tehtävien aloituspäivää niin, että työ voidaan toteuttaa ilman keskeytyksiä. (Kenley & Seppänen 2010, s. 133-144). Lisäksi tärkeä LBMS:n komponentti on puskureiden selkeä käsittely. Puskuri toimii samoin kuin viivästys, mutta se voidaan sulauttaa ohjaamalla. Sijaintiperusteisen suunnittelun tavoitteena on optimoida työntekijävirta niin, että työ ei odota työntekijöitä ja työntekijät eivät odota työtä. (Seppänen et al. 2010)

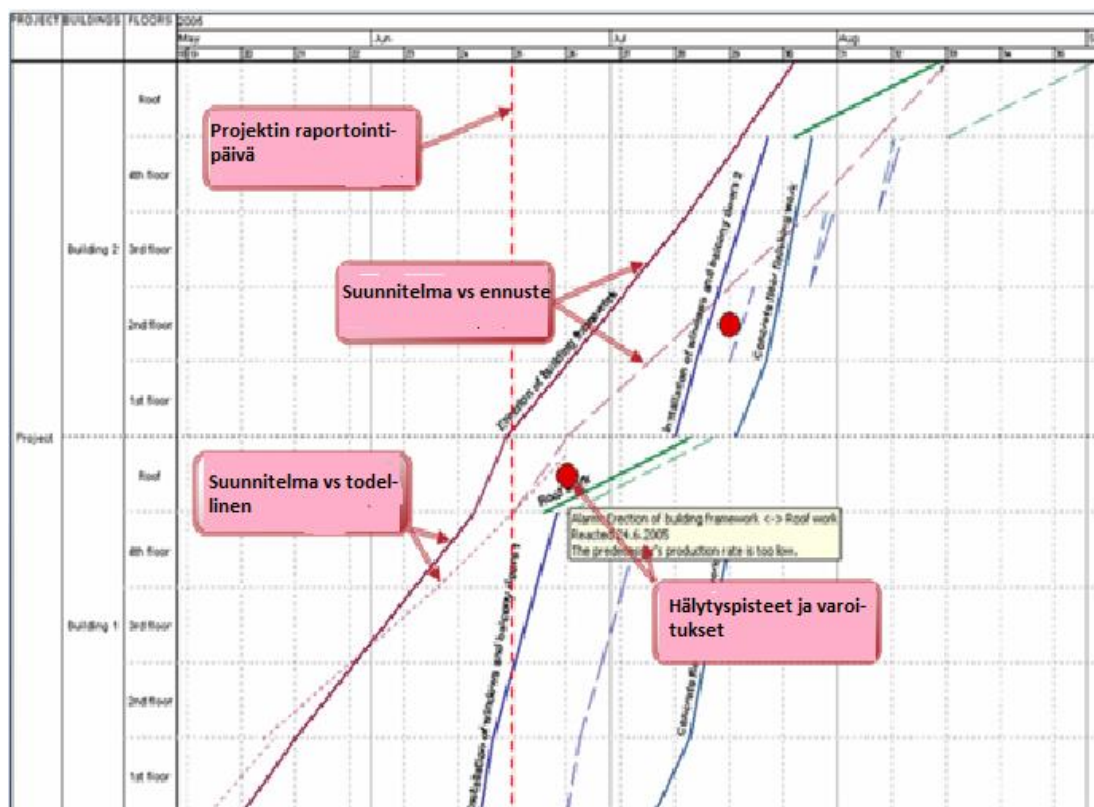
Sijaintiperusteinen suunnittelu vaatii paljon enemmän tietoa kuin esimerkiksi CPM aikataulutus, koska se sisältää sijaintien määrät ja tuottavuusasteet alihankituille tehtäville. Lohkojako täytyy olla päätettynä ennen suunnittelun aloittamista. CPM aikatauluttajat, jotka ovat tottuneet enemmän vapaamuotoiseen suunnittelun lähestymistapaan, ovat nähneet nämä tekijät rajoituksina. (Seppänen et al. 2010)

#### **4.6.2 Sijaintiperusteinen Johtamissysteemi**

LBMS sisältää neljän eri vaiheen informaatiota: lähtökohtaista, tämän hetkistä, edistymiseen liittyvää ja ennustusta. Lähtökohtainen aikataulu asettaa rajoitteet tämän hetkisille tarkemmille aikatauluille ja toiminnoille raportointityökaluna. ”Tämän hetkinen” vaihe sallii määrien, tuottavuusasteen, logiikan ja suunnitelmien muuttumisen tuotannon aikana. Jokainen tämän hetkinen tehtävä tai yksityiskohtainen tehtävä on linkitetty lähtökohtaiseen tehtävään vertailua varten. ”Edistymisvaihe” valvoo itse tekemistä projektin jokaisessa sijainnissa ja tehtävässä. Todelliset päivät eivät korvaa suunniteltuja päiviä

LBMS:ssä, vaan niitä ennemminkin käytetään poikkeamien havainnointiin. Myös informaatio päivistä, kun työt olivat keskeytettynä sekä todellisista käytetystä resursseista tarvitaan todellisen resurssikulutuksen (työtunnit/työryhmä) ja todellisen tuottavuusasteen (työryhmät/päivä) laskentaan jokaiselle työryhmälle. (Seppänen 2009, s.42-43). Ennuste kerää tiedot tästä hetkestä ja edistymisestä antaakseen varoitukset ongelmista riittävän aikaisin. (Seppänen et al. 2010, s. 46)

”Ennuste” olettaa, että tuotanto jatkuu samalla tuottavuudella suunnitelluilla resursseilla ja seuraa tämän hetkistä logiikkaa. LBMS yrittää estää viivästyksiä keskittämällä tuotannonohjauksen resurssit. Voidaan oikaista edeltäjän tuottavuusastetta tai hidastaa seuraajaa. Monissa tapauksissa hälytykset voidaan antaa kaksi viikkoa ennen ongelmaa, jolloin saadaan tarpeeksi aikaa korjaavan toimen suunnitteluun ja toimeenpanoon (Seppänen 2009, s.123-125). Kuva 13. näyttää paikka-aikakaavion suunnitelmalla (pisteviivat), todellisuudella (pistekatkoviivat) ja ennusteella (katkoviivat). (Seppänen et al. 2010, s. 46)



**Kuva 13.** Paikka-aikakaavio. Suunnitelma (kiinteät viivat), todellisuus (pisteviivat), ennusteet (katkoviivat) ja hälytykset (punaiset pisteet) (Käännetty lähteestä Seppänen et al. 2010, s. 47)

Sijaintiperusteinen hallinta vaatii viikoittaista tai jopa päivittäistä edistymisen raportointia. Pelkän aloitus- ja lopetuspäivämäärien taltioinnin sijaan, tarkat tuottavuuslaskelmat vaativat informaatiota todellisista ryhmäkoista, määristä sijainneista sekä päivistä, jolloin tehtävät olivat keskeytyneet. Tämän vuoksi sijaintiperusteisen johtamisen käyttöönotto vaatii huomattavaa prosessin muutosta oikea-aikaiseen aikataulun hallintaan. (Seppänen et al. 2010, s. 46)

## 4.7 Yhteenveto kapeikoista

### 4.7.1 Pullonkaulojen tunnistus

Kuten Goldratt kertoo, harvoin löydetään fyysisiä kapeikkoja, vaan ennemminkin toimintatapoihin perustuvia kapeikkoja. Harvoin löydetään kapeikkoja niin sanotusti lattiata-solta, vaan pikemminkin tuotannon toimintatavoista. Rakennusalla näitä toimintatapoja voisi olla esimerkiksi tuotannonohjaus- ja suunnittelu tai jopa erilaiset urakkamuodot. Ketjun heikoin lenkki voi olla esimerkiksi johtamisen toimintatavoissa, missä tahansa toimitusketjussa, työmenetelmissä ja toimintavoissa, mittaussysteemeissä tai kommunikaatiossa (Leach 2014). Täytyy vain osoittaa muutama asia, joissa olemme myöhässä, niin että se vaikuttaa koko prosessiin. Ensimmäinen kyky, joka vaaditaan johtajalta, on osoittaa ydin ongelmat. Näiden ongelmien korjaamisella saadaan suurin vaikutus verrattuna siihen, että korjaillaan pieniä ongelmia siellä täällä. Johtajien pitää myös pystyä luomaan yksinkertaisia, käytännönläheisiä ratkaisuja. Jokainen johtaja on tietoinen ongelmista tai toisin sanoen mahdollisuuksista. Pyritään keskittymään oikeisiin toimiin, jotka kaikki tietävät miten ne tehdään. Välttämättä ei kuitenkaan keskitytä ongelmiin, jotka pitäisi korjata, ja tarvittaviin toimiin, joilla korjata ne ongelmat. Jotta jatkuvan parantamisen prosessi olisi tehokas, täytyy ensin löytää se mitä muuttaa. (Goldratt 1990)

CCPM:n mukaan projektin rajoite on kriittinen ketju, joka dominoi projektin tavoitetta eli saada projekti valmiiksi niin pian kuin mahdollista. Kriittinen ketju laskee mukaan resurssinyhteyden sekä loogiset riippuvuuden tehtävien välillä ennen kuin lasketaan alkua ja loppupäivää eri tehtäville. CCPM pyrkii jatkuvaan parantamiseen tunnistamalla ja keräämällä syyt puskurien kulutuksiin. Nämä syyt analysoidaan, jotta niitä ei enää esiinny. CCPM tunnistaa tarpeen vastata epävarmoihin kestoihin. Huomio on valmistumisen jatkuvassa raportoinnissa (päivittäin), joka mahdollistaa kommunikoinnin ja toimet, joilla tahdistetaan riippuvaiset tehtävät sopivasti. (Yang 2007; Koskela et al. 2010)

Last Planner tuotannonohjausmenetelmällä pystytään myös tehokkaasti tunnistamaan kapeikkoja työmaalta. Lähtökohtana siinä on imuohjaus eli 4-6 viikon valmisteleva suunnittelu, jossa luodaan häiriötön virtaus tuotannolle tunnistamalla ja poistamalla aikataulutehtävien käynnistämisen esteitä. Tehokkaita palavereja käyttämällä pystytään avoimesti nostamaan esille kaikki esteet ja vastuuttaan niiden poistaminen. Last Plannerissa laaditaan vaiheaikataulu yhdessä aliurakoitsijoiden ja omien työntekijöiden kanssa, jolloin tehtävien paras toteutusjärjestys valitaan yhdessä. Osapuolet ilmaisevat nettoajan, millä pystyvät suorittamaan omat tehtävänsä. Vaiheaikataulu rakennetaan käännettyssä järjestyksessä seinälle käyttämällä tarralappuja lappuja. Tästä Last Plannerin seinätaulumenetelmästä saadaan myös tieto tuotantoprosessista, sen vaiheista, työvaiheiden järjestyksistä ja kestoista. Myös viikkosuunnittelu on keskeisessä asemassa esteiden tunnistamis-

misessa. Viikoittaisten töiden toteutumisprosentista pystytään tunnistamaan uusia rajoitteita. Viikkosuunnitelmat olisikin hyvä tehdä niin, että ne vapauttavat töitä ensisijaisesti kapeikoille. (LCI Finland 2015; Bertelsen 2010)

Tahtiajalla kuvataan siis yksittäisten työvaiheiden kestoja virtausperiaatteella toimivassa tuotannossa. Tällöin kun työvaiheet toistavat itseään, hitaimmat työvaiheet toimivat pullonkauloina rajoittaen perässä tulevien töiden työtahtia. Tasainen virtaus ja tahtiaika saadaan aikaan mitoittamalla jokainen työvaihe samanpituiseksi ja suunnittelemalla ne välittömästi toisiaan seuraaviksi. Jos liikutaan nopeampaa kuin tahtiaika, työn puskurit kasvavat suuriksi. Jos taas liikutaan hitaampaa kuin tahtiaika, viivytetään perässä tulijoita. Rakennusalalla tähän pyritään käytännössä paikka-aikakaaviolla, jossa työvaiheiden eteneminen tasautetaan suhteessa toisiinsa. Tällöin työryhmien tahdit täytyy tasata toisiinsa nähden esimerkiksi ryhmäkokoja tai ryhmien määriä muuttamalla. Rakennusalla tahtiaika on kuitenkin käytännössä vaikea saavuttaa, jos työnsuunnittelu on ylimalkaista ja erilaiset urakoitsija- ja ammattikuntarajat sekä tuotannon vaihtelu ovat suurta. (Yassine et al. 2014; LCI Finland 2015)

LBMS- menetelmää käyttämällä pullonkaulat pystytään analysoimalla samoin kuin käyttämällä tahtiaikaa tuotannonohjaukseen. Myös LBMS pyrkii tahdistamaan pääryhmien tuotantotahdit, mutta erona on, että sitä ei ole rajoitettua vain itseään toistuviin projekteihin. Eri sijaintien kestot lasketaan kertomalla sijainnin määrät työntekijämenekillä ja jakamalla ryhmäkoolla. Määrät voivat olla kuitenkin erilaisia eri sijainneissa ja jokainen tehtävä voi pitää sisällään moninkertaisia määränimikkeitä erilaisilla tuottavuusasteilla. LBMS pyrkii jatkuvan työntekijävirran suunnittelun viivästyttämällä tehtävien aloituspäivää niin, että työ voidaan toteuttaa ilman keskeytyksiä. LBMS pyrkii myös hallittuun puskurien käyttöön virtauksen tasaamiseksi. Sijaintiperusteisen suunnittelun tavoitteena on optimoida työntekijävirta niin, että työ ei odota työntekijöitä ja työntekijät eivät odota työtä. (Seppänen et al. 2010)

Viimeisenä menettelynä kapeikkojen tunnistamiselle voisi olla arvovirtakartoitus. Se ei ole niinkään tuotannonohjauksen keino, vaan ennemminkin toimitusketjuajattelu. Arvovirtakartoituksessa huomioidaan arvovirrassa olevien yritysten osalta vain ne toiminnot, jotka ovat luomassa arvoa tai vaikuttavat siihen. Missä tahansa prosessi on olemassa, siihen on aina liitetty arvovirta, joka esittää tarvittavat toimet tuotteen tai palvelun valmistamiseksi raakamateriaalista valmiiksi siihen saakka, kun se saavuttaa asiakkaan. Ehkä tämä voitaisiin tehdä myös työmaalle. Arvovirta sisältää sekä arvoa sisältävät, että ei arvoa sisältävät toimet. (Forbes & Ahmed 2011, s.62; Hines & Rich 1997) Arvovirtakartoitus näyttää sekä materiaalin että informaation virtauksen, joka vaaditaan tuloksen tekemiseksi. Se auttaa käyttäjää ymmärtämään prosessia, tunnistamaan hukan lähteet erottamalla arvoa tuottamattoman toiminnot arvoa tuottavista toiminnoista. Kartoituksessa pyritään tunnistamaan prosessin jokainen askel, missä toiminnot tapahtuvat. Nykytilan kartta näyttää olemassa olevan prosessin, mutta se vaatii operaatioiden tutkimista todella huolellisesti, jotta voidaan täysin ymmärtää materiaalin, informaation ja työntekijöiden



virtaus. Tärkeät tilastot kuten työtunnit, työaika, läpimenoaika, epätuottava aika, arvoa tuottava aika, asetus aika ja virhe-asteet kerätään ja näytetään kartassa. (Forbes & Ahmed 2011, s.117)

## 4.7.2 Virtauksen parantaminen

Tämä on yhteenveto siitä, miten tähän asti tutkitun mukaan toistuvia työvaiheita omaavan rakennustyömaan, kuten linjasaneerauksen, pullonkaulat saadaan esiin ja miten tuotannonohjausta ja -suunnittelua voitaisiin parhaiten saada enemmän virtausperiaatteen mukaiseksi. Tällöin läpivirtausta voitaisiin parantaa ja läpimenoaikoja lyhentää.

Hukka rakennusalalla lähtee suuresta määrästä tuotannonohjauksen ongelmia kuten yksittäisten töiden osaoptimoinnista, tuotannon vaihtelusta, ylisuurista aikapuskureista ja suuresta määrästä urakkarajoja. Virtausperiaatteen mukainen ajattelu vaatiikin muutosta ajattelutapaan, jossa yritetään säästää kustannuksia yksittäisten työvaiheiden kustannuksella. Tämä ei tule olemaan helppoa, koska muutos pitää saada juurrutettua jopa yli organisaatorajojen, ja alkaa ajatella systeemejä kokonaisuutena. Nykyinen tuotannonohjaus perustuu vielä vahvasti massatuotantoon, jossa muita työvaiheita ei tarvitse ottaa niin tarkasti huomioon, ja eri tehtävät pyritään pitämään käynnissä kaikin keinoin. Tällöin ei nähdä myöskään tehtävien välille syntyvää hukkaa. Tämä on juuri Lean periaatteiden vastaista työntämiseen perustuvaa ohjausta, jossa yleisaikataulun mukaisia tehtäviä työnnetään eri aliurakoitsijoille riippumatta siitä, onko heillä esimerkiksi resursseja. Myös kommunikaatio ja informaation kulku työmailla on erittäin heikkoa.

Se mistä tämä tutkimus sai herätteen, oli jopa yli 80 prosentin hukka-aika linjasaneerausprojektissa. Yksi merkittävä tekijä tälle hukkamäärälle on suuri tuotantotahdin vaihtelu eri tehtävien välillä. Merkittävä tekijä on hitaat työvaiheet eli pullonkaulatyövaiheet, joita nopeuttamalla pystytään nopeuttamaan koko prosessia. Kuitenkin voitaisiin helposti ajatella hukan johtuvan pelkästään hitaista työvaiheista, mutta yhtä lailla se johtuu myös liian nopeista työvaiheista. Jos jokin työvaihe liikkuu edellä muita nopeammin, työn puskurit kasvavat hyvin suuriksi, jolloin esimerkiksi käynnissä olevien linjojen määrä ja näin ollen kesken olevien töiden määrä kasvaa hyvin suureksi. Tällöin taas tekijät joutuvat niin sanotusti pomppimaan hyvinkin paljon, mikä on myös turhaa siirtymistä eli hukkaa. Joitain työvaiheita hidastamalla ja joitain nopeuttamalla saadaan virtaus tasaisemmaksi, jolloin myös linjoissa oleva hukka aika pienenee huomattavasti. Ei tarvita perinteistä niin sanottua ”niin nopeasti kuin pystytään”- lähestymistapaa. Tasaisella työtahdilla ja jatkuvalla parantamisella saadaan virtaus paranemaan, hukka pienemmäksi ja läpimenoajat lyhemmiksi.

Tästä päästäänkin tahtiaikasuunnitteluun, joka on osa Toyotan tuotantosysteemiin perustuvaa JIT:tä (Just-in-Time eli Juuri oikeaan tarpeeseen), jonka tarkoituksena on imeä ylävirran tuotantoa vain sen verran kuin alavirta tarvitsee. Näin päästään muun muassa lyhyempiin läpimenoaikoihin, kun keskeneräisen työn määrä ja varastot ovat pienempiä.

(Forbes Ahmed 2011 s.50, Liker 2004). Liker (2004, s.33) mukaan JIT koostuu tahti-aikasuunnittelusta, jatkuvasta virtauksesta, imuohjauksesta, nopeista vaihdoista ja integroidusta logistiikasta.

Tahtiajan käyttöönotto linjasaneerauksen tuotannon suunnitteluun ja ohjaukseen voisi vähentää aikahukkaa, poistaa pullonkaulatyövaiheiden vaikutuksia ja saada virtaus tasaiseksi. Näin linjasaneerauksen asuntojen kylpyhuoneita voitaisiin tuottaa tuotantojuna luikuhihnalta ikään kuin tehtaassa. Hyvin tärkeää on saada työvaiheet saman pituisiksi ja toimimaan samalla tahdilla. Pullonkaulatyövaiheet ovat työvaiheita, joilla on pitkä kesto ja/tai hidas tuotantotahti. Ne pystytään tunnistamaan aikatauluista ja määrittämällä niiden tehtäväkohtaiset tuotantotahdit. Tuotannosuunnitelmien asettaminen paikka-aikakaavioon paljastaa nopeasti mitkä työvaiheet ovat liian hitaita tai liian nopeita sekä missä hukkaa esiintyy. Tärkeää on ottaa turhat aikapuskurit pois työvaiheiden sisältä, ja siirtää niitä esimerkiksi linjan loppuun, koska ylimalkainen tuotannosuunnittelu, tuotannon vaihtelu ja erilaiset puskurirajat mitätöivät todellisen tahtitaikatuotannon. Aluksi tärkeintä on kuitenkin saada työmaan eri työvaiheet toimimaan samalla tahdilla, jonka jälkeen jatkuvalla parantamisella voidaan pullonkauloja parantaa.

Tärkeää tahtiajalle on myös, että urakoitsija ja tekijät sitoutuvat projektiin hyvin. Urakoitsijoiden kanssa pitää sopia jo aikaisessa vaiheessa pelisäännöt ja urakoitsijoiden vaatimukset. Tahtiaikatuotanto pitäisikin ottaa puheeksi jo rakennussuunnittelu tai hankintavaiheessa, jolloin voidaan vaikuttaa urakkarajoihin ja -neuvotteluihin, hankintasopimukseen sekä suunnitteluratkaisuihin. Myös eri työvaiheiden ryhmät ja tekijät tekevät vain tiettyjä tehtäviä ja sitoutuvat olemaan työmaalla. Jotta tahtiaikatuotanto saadaan toimimaan, täytyy koko työmaan toimia yhtenä tiiminä ajatellen koko projektin etua eikä vain optimoida omaa etua. Tähän voitaisiin käyttää esimerkiksi integroituja projektitiimejä, joissa projektin hyödyt ja riskit jaetaan kaikkien kesken. Sen keskeinen periaate onkin tiimin jäsenten läheinen yhteistyö, jossa keskitytään optimoimaan koko projektia omien organisaatioiden etujen sijaan. (Koskenvesa & Sahlstedt 2011; Merikallio & Haapasalo 2009; Forbes & Ahmed 2011). Jos myös suunnittelu saadaan toimimaan yhdessä urakoitsijan kanssa, saadaan nopeampia ratkaisuja eikä esimerkiksi niin sanotuista yllätyksistä ole haittaa niin paljon. Näin ollen kaikki suunnitteluvastuu ei jää suunnittelijalle ja voidaan paremmin hyödyntää urakoitsijan tietämystä.

Pelkällä tahtiaikatuotannon suunnittelulla ei saada toimivaa ratkaisua. Tuotannosuunnittelu ja kontrollointi ovatkin kuin kolikon kääntöpuolia. Tuotannon seurannan jatkuva päivittäminen suunnitelmiin on kriittistä tahtiajan toiminnalle. Häiriöiden esiintyessä puututaan niihin heti ja ratkaistaan ne, niin ettei niitä enää esiinny tuotannossa. Näiden vuoksi muun muassa tehtäväsuunnittelu täytyy olla kunnossa, jotta taas tehtävien aloitusedellytykset ovat kunnossa ja työmaa pääsee virtaamaan sulavasti. Viikkosuunnittelun lisäksi, tuotantoa pitääkin pystyä seuraamaan jopa päivittäin ja erilaiset tuotantopalaverit ovat suuressa osassa. Last Plannerin käyttöönotto on myös hyvin tärkeää, jolla voidaan tukea tahtiaikatuotantoa. Näin vältetään päivittäisiltä pullonkauloilta, kun tehtäväsuunnittelu ja

viikkosuunnittelu sekä valmisteleva suunnittelu ovat kunnossa. Tällä saadaan tuotanto ohjautumaan enemmän imun kautta ja tuotannon virtauksen varianssi vähenemään, joka taas edesauttaa läpimenoaikojen ja hukan pienentymistä.

Ei tule kuitenkaan olettaa, että Leanin mukaista tuotantoa olisi helppo johtaa. Kuten Womack et al. (2007, s.103) toteavat Leanin olevat hauras verrattuna massatuotantoon, joka toimiakseen sisältää puskureita kaikkialla sekä ylimääräisiä varastoja, tilaa ja työntekijöitä. Lean tuotannossa pienetkin ongelmat kuten resurssivajaukset voivat vaikuttaa välittömästi tuotantoon, kun taas massatuotannossa pieniä ongelmia ei välttämättä edes huomata. Lean tuotannon toiminen ilman ylisuuria puskureita ja turvaverkkoa vaatii jokaisen osapuolen ja työntekijän yrittämään parhaansa ja sitoutumaan projektiin. Jos johto epäonnistuu ja työntekijät vastavuoroisesti kokevat, että velvollisuuksia ei ole voimassa, on hyvin todennäköistä, että Lean tuotanto kääntyy takaisin massatuotannoksi. (Womack et al. 2007, s.103)

Bertelsenin (2010) mukaan myös rakentamisen väliaikainen luonne tekee pysyvien muutosten saavuttamisen todella vaikeaksi. Vaikka yksi projekti olisi menestys, se ei takaa, että seuraava tulee olisi, vaikka melkein kaikki samat osapuolet olisivat mukana. Vain muutama mätä omena korissa voi pilata koko työmaan. Tämän vuoksi parannusten toimenpiteisiin täytyy ryhtyä heti. Rakennusalla ei ole myöskään kulttuuria, jossa analysoidaan ja dokumentoidaan uusien lähestymistapojen kokemukset. Ne yleensä unohdetaan, kun seuraava projekti on jo käynnissä. (Bertelsen 2010)

Bertelsen (2010), joka on toiminut niin kapeikkoteorian kuin Leanin parissa, ehdottaa samankaltaisia periaatteita uuden lähestymistavan omaavaan tuotannon suunnitteluun. Bertelsenin lähestymistapa on hyvin käytännöllinen, joka huomioi rakentamisen tilapäisen, kompleksisen ja kaoottisen luonteen. Prosessi sisältää seuraavat askeleet:

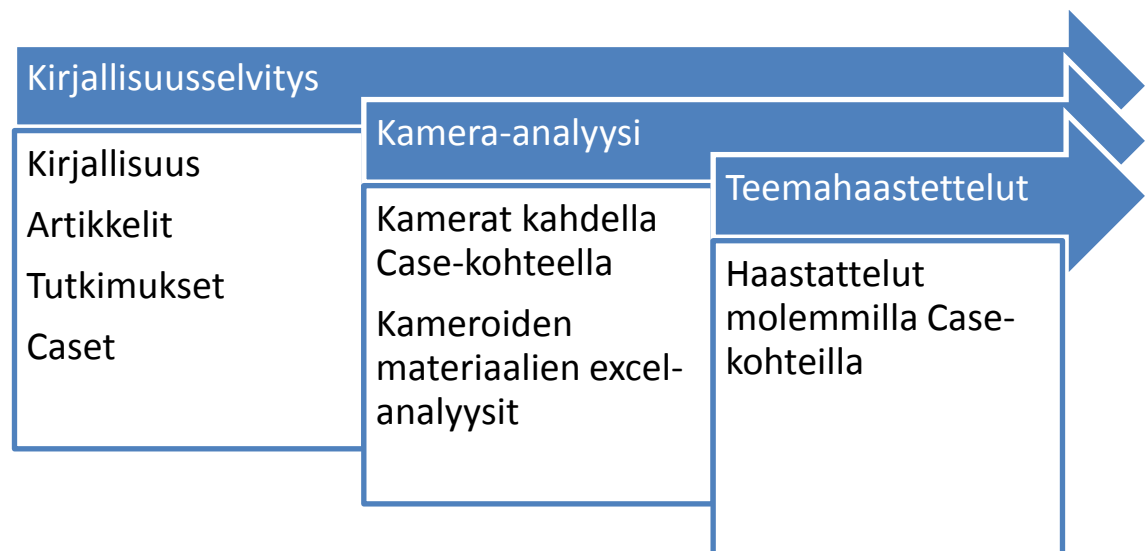
- Ratkaise luontaiset ongelmat asiakkaan ja pääurakoitsijan välillä sekä ongelmat pääurakoitsijan ja aliurakoitsijoiden välillä. Virtaus on kiinni yhteispelistä. Nopeammalla toteutuksella saadaan enemmän tuottoa. Luo ratkaisumalli ristiriitojen ratkaisemiseksi projektin prosessista ja työmaalta.
- Vahvista jokaisen osapuolen kriteerit menestykselle: Aika, kustannukset, laatu, jne. Ei vain asiakkaan ja pääurakoitsijan, vaan myös konsulttien ja aliurakoitsijoiden.
- Tunnista mahdolliset projektin pullonkaulat. Tee se yleisesti etenkin projektin toteutukseen liittyen. Käytä yleis- ja vaiheaikataulua työkaluina.
- Käytä Last Planneria tunnistamaan rajoitteet päivittäisestä prosessista. Valmisteleva suunnittelu pitää huomion kiinni virtauksessa ja töiden toteutumisprosentista tunnistetaan uusia rajoitteita. Käytä töiden toteutumisprosenttia aina, kun mahdollista. Kun ihmiset tekevät lupauksia, varmista, että ne ovat luotettavia. Varmista, että viikkosuunnitelmat tehdään, niin että ne ensisijaisesti vapauttavat työtä rajoitteille/pullonkauloille.

- Pidä mielessä, että luotettava virtaus on avaintekijä. Toiseksi tärkeintä on käyttää työtunteja virtauksen edistämiseksi. Kustannukset tulevat vasta kolmanneksi.

## 5. TUTKIMUSMENETMÄT JA AINEISTO

### 5.1 Tutkimusmenetelmät

Tutkimuksessa käytetään kolmea eri tutkimusmenetelmää, jotka ovat kirjallisuusselvitys, kamera-analyysi ja teemahaastattelut. Kamera-analyysi ja teemahaastattelut tehtiin kahdelle case-kohteelle. Tutkimuksen on kvalitatiivinen rajallisesta, johtuen ennalta määritetyistä case-kohteista, ja niiden rajallisesta määrästä. Tutkimusmenetelmät on esitetty kuvassa 14.



*Kuva 14. Työn tutkimusmenetelmät*

### 5.2 Kirjallisuusselvitys

Tutkimuksen viitekehukseen kerätään aineistoa erilaisista julkaisuista kuten kirjallisuudesta, artikkeleista sekä vanhoista tutkimuksista ja Caseista. Osa aineistosta on sähköisessä muodossa ja osa kirjastoissa. Kirjallisuusselvityksellä pyrittiin saamaan syvempi tietämys pullonkauloista ja niiden vaikutuksista systeemeihin, organisaatioihin ja erityisesti tuotantoprosesseihin. Aluksi kirjallisuusselvitys toimii enemmänkin teoreettisena viitekehysenä tutkimukselle ja pyrkii vastaamaan siihen, mitä pullonkaulat oikein ovat ja miksi niitä on tärkeä tunnistaa. Kirjallisuusselvityksen toisessa osassa pyrittiin löytämään keinoja pullonkaulojen tunnistamiselle rakennustyömaan tuotantoprosessista.

## 5.3 Case- tutkimus

Case- tutkimus rakentui kahden eri kohteen ympärille. Molempia kohteita tutkittiin kamera-analyysillä sekä teemahaastatteluilla, joista kerrotaan tarkemmin seuraavaksi.

### 5.3.1 Kamera- analyysi

Kamera-analyysin tarkoituksena oli tunnistaa ne Case-kohteiden työvaiheet, jotka toimivat tämänhetkisen tuotantoprosessin pullonkauloina. Tavoitteena oli myös tunnistaa muita kylpyhuoneen tuotantoprosessin epäkohtia. Erinäisten tietojen hankkimiseen tuotantoprosessista käytettiin riistakameroita, jotka laitettiin tutkimuksen alussa kahdelle työmaalle kuvaamaan yhden putkilinjan yhtä kylpyhuonetta. Se, miksi nämä kamerat laitettiin kuvaamaan juuri kylpyhuonetta, johtui siitä, että suurin osa linjan valmistumiseen vaikuttavista kriittisistä työvaiheista tapahtuu juuri kylpyhuoneessa. Keskityttiin siis vain siellä tapahtuviin töihin. Riistakameroiden hyvä puoli oli siinä, että ne voitiin asettaa kuvaamaan vain liikkeestä, jolloin materiaalin analysointi on huomattavasti järkevämpää. Näiden kameroiden materiaali analysoitiin Excel-ohjelmistoon siten, että työvaiheet jaettiin työvaihe aikataulua mukaille kuitenkin työvaiheita tiivistäen. Kullekin työvaiheelle merkittiin tekopäivä, tehtävän aikaväli ja kesto sekä tarkemmin mitä kylpyhuoneessa tapahtui kyseessä olevana aikana. Näistä pyrittiin tekemään prosessikaavio, josta pystytään näkemään kylpyhuoneen valmistuminen päivittäin minuutin tarkkuudella. Kyseessä olevan prosessin pullonkauloina voidaan pitää niitä, joiden tekeminen vaatii eniten aikaa eli työtahti on huonoin. Pyrittiin myös löytämään tuotantoprosessin epäjatkuvuuskohtia eli niin sanottuja aikavarastoja, joiden syitä taas selvitettiin haastattelujen avulla.

### 5.3.2 Teemahaastattelut

Tutkimuksen viimeisenä tutkimusmenetelmänä käytettiin teemahaastatteluja. Haastattelut toteutettiin haastatteleamalla pääurakoitsijan työnjohtoa samoilla työmailla, joissa kamerat sijaitsivat. Teemahaastattelujen tarkoituksena oli täydentää kamera-analyysistä saatuja tuloksia, jotta ongelmista saadaan syvempi kuva ja niitä pystytään vertaamaan laajemmalla skaalalla kuin vain yhdessä kylpyhuoneessa. Haastattelujen teemat ja kysymykset sekä kyseisen työmaan kamera-analyysi lähetettiin haastateltaville etukäteen tutustuttaviksi. Kamera-analyysit ja haastattelupohjat löytyvät työn liitteistä 1-6. Haastattelut rakentuivat neljän teeman ympärille, joista keskusteltiin ryhmässä hyvin vapaamuotoisesti. Haastattelu tilanteessa pyrittiin saamaan ongelmien juurisyyt esiin samalla tavoin kuin Lean-työkalulla, 5xMiksi, jossa juuri syyn löytämiseen, pyritään kysymään niin kauan miksi kuin on tarve (Merikallio & Haapasalo 2009). Haastattelut nauhoitettiin ja niistä tehtiin haastattelumuistio, jota käytettiin hyväksi tutkimuksessa. Haastattelujen osallistujat näytetään taulukossa 4.

*Taulukko 4. Teemahaastattelut*

<b>Kohde</b>	<b>Haastateltavat</b>
Case 1.	Vastaava työnjohtaja, työnjohtaja, työmaainsinööri
Case 2.	Vastaava työnjohtaja, työnjohtaja

### 5.3.3 Case-kohteiden esittely

Tutkimuksessa oli mukana kaksi Case-kohdetta, joihin laitettiin riistakamerat kuvaamaan yhtä kylpyhuonetta. Molemmat kohteet toteutettiin perinteisellä putkiremontilla, jossa putkilinjat ja kylpyhuoneet puretaan ja uusitaan samoilta paikoilleen. Ensimmäinen Case-kohde piti sisällään neljä eri kerrostaloa ja yhteensä 200 huoneistoa sisältäen myös liike-tilat. Kyseiseen kohteeseen ei kuitenkaan toteutettu sähkölinjojen uusimista. Asuntoihin kuitenkin asennettiin uudet sähkökeskukset ja sähköjohdot kylpyhuoneisiin. Kameran kuvauksen aikaan kohteessa linjasaneeraus oli käynnissä kahdessa samanlaisessa kerrostalossa yhtä aikaa. Saneerausta tehtiin molemmissa omilla ryhmillään, joten työntekijät eivät kulkeneet talosta toiseen. Molemmilla ryhmillä oli työn alla noin 30 asuntoa ja saunasastot. Case-kohde 2. oli taas huomattavasti pienempi kohde, pitäen sisällään kaksi kerrostaloa ja 112 huoneistoa, joista 64 asuntoa oli työn alla kameran kuvaamisen aikaan. Kohteessa toteutettiin myös sähkölinjojen uusiminen.

Työvaihe aikataulu Case 1. kohteessa oli laadittu niin sanotusti perinteisellä mallilla linjakohtaisesti, kun taas Case 2. kohteessa työvaihe aikataulu oli laadittu huomattavasti tarkemmin. Case 2. aikataulussa työvaiheet oli eroteltu kahden tunnin osiin kussakin kylpyhuoneessa. Kumpikin kohde toteutettiin kokonaisurakkana, jossa Fira Palvelut Oy toimi pääurakoitsijana. Työnjohdon lisäksi omia työntekijöitä Fira Palveluilla ei ollut, vaan erinäiset työt toteutettiin aliurakalla. Aliurakoitsijoina molempien kohteiden linjoissa toimi purku-urakoitsija, sähköurakoitsija, putkiurakoitsija, pintarakenneurakoitsija sekä timpuriporukka. Case-kohteessa 2. lisäksi kylpyhuoneiden seinien rappaus toteutettiin erillisen aliurakoitsijan toimesta pumppurappauksella. Case-kohteessa 1. rappausta ei tarvittu seinien rakenteista johtuen.

## 5.4 Tutkimusmenetelmien arviointi

Tutkimus jakautuu kolmeen vaiheeseen. Ensimmäisessä vaiheessa pyritään kirjallisuusselvityksellä samaan tietoa pullonkauloista ja menettelyistä niiden tunnistamiselle. Kir-

jallisuusselvitys luo teoreettista taustaa, jonka avulla pystytään ymmärtämään ja toteuttamaan tutkimuksen kaksi seuraavaa vaihetta; kamera-analyysit ja teemahaastattelut. Teoreettisen lähtökohdan kirjallisuusselvitykselle luo Kapeikkoteoria tai toisin sanoen Pullonkaulateoria. Kuitenkin enemmän konkreettisen lähtökohdan pullonkaulojen tunnistamiselle rakennustyömaalta antaa tuotannonohjauksen keinot. Kirjallisuusselvitys antaa paljon ymmärrystä liittyen pullonkauloihin, mutta konkreettisia menetelmiä ei pystytty käyttämään hyväksi työn seuraavissa vaiheissa johtuen rajallisista mahdollisuuksista. Esimerkiksi kirjallisuusselvityksessä esitettäviä tuotannonohjausmenetelmiä ei käytetä Case-kohteissa. Myös kamera-analyysin käytöstä päätettiin jo työn aikaisessa vaiheessa, jolloin ne täytyi asentaa Case-työmaille jo työn alkuvaiheessa.

Case-kohteiden kamera-analyyseillä on mahdollista tunnistaa eri työvaiheiden kestot, työvaiheiden välit sekä hukka-ajat. Tässä tutkimuksessa kamerat laitettiin aluksi neljälle eri työmaalle, mutta vain kahden työmaan materiaali oli käyttökelpoista. Kameroita esimerkiksi käännettiin ja peiteltiin usein. Yhdellä työmaalla kamera oli tullut esteeksi työn teolle. Oman haasteensa kameroiden asentamiselle toi se, että niitä ei voita asentaa kylpyhuoneen sisälle töiden vuoksi, joten ne asennettiin kuvaamaan kylpyhuoneen oviaukkoa. Tämän vuoksi ei välttämättä nähty tarkasti, mitä kyseinen työvaihe piti sisällään, mutta ne pystyttiin kuitenkin arvioimaan suhteellisen hyvin. Kameroista nähtiin suhteellisen hyvin, milloin eri työvaiheita tehtiin sekä niiden kesto. Kuitenkin erilaisia syitä esimerkiksi aikavarastoille ei kameroiden kautta pystytä hakemaan. Myös ongelmia ja pullonkauloja ei pystytty analysoimaan suuremmalla skaalalla kuten linja- tai työmaakohtaisesti. Näiden vuoksi tehtiin teemahaastattelut pääurakoitsijan työjohdolle Case-kohteissa. Koska mestarit tunsivat kohteensa todella hyvin ja olivat tietoisia erilaisten ongelmien juurisyistä, pystyttiin kamera-analyysin tuloksia täydentämään ja samaan pullonkaulat ja juurisyöt paremmin esille. Teemahaastattelut kuitenkin olivat käytännössä enemmän avoimen haastattelun kaltaisia, koska teemat lopulta limittyivät suurilta osin ja aiheista keskusteltiin ryhmässä hyvin avoimesti. Ongelmiin saatiin kuitenkin pureuduttua todella hyvin.



## 6. TULOKSET

### 6.1 Tulosten esittely

Tässä kappaleessa tuloksia puretaan molempien Case- kohteiden kautta aluksi erikseen. Tulokset koostuvat toisiaan täydentäen kamera-analyysien havainnoista sekä haastattelujen muistioista. Keskeisistä havainnoista tehdään yhteenveto.

### 6.2 Case 1

#### 6.2.1 Aluksi

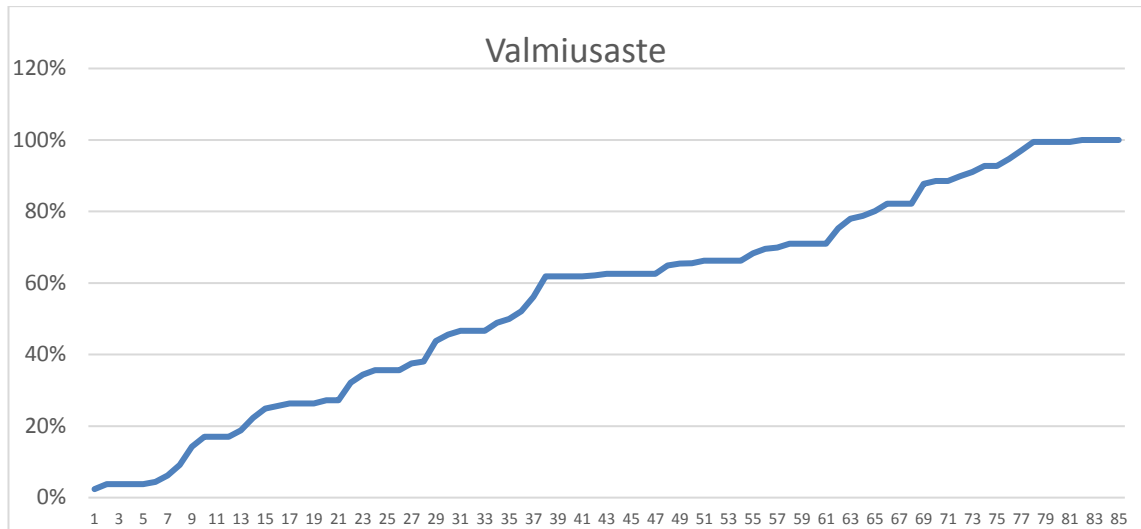
Ensimmäisen Case-kohteen työvaiheiden kestot ja aikavälit on kirjattu ylös taulukoon 5. Kameran-analyysin mukaan useimmat työvaiheet kestivät vain murto-osan kylpyhuoneen koko työajasta. Tämän kylpyhuoneen käyttöasteeksi saatiin mitattua 27 prosenttia, joka laskettiin kylpyhuoneessa vietetyn ajan ja käytössä olleen ajan suhteena (vain työpäivät 8h). Huomataan, että tässä tutkimuksessa, kuten myös rakennusalalla yleisesti, tuotannon suunnittelu on ylimalkaista sekä erilaiset puskurirajat ja tuotannon vaihtelu ovat suurta. Useimmat kylpyhuoneessa tehtävistä työvaiheista kestävät vain muutaman tunnin ja kokonaisuudessaan kyseisen kamerasuorituksen mukaan töitä tehtiin noin 130 tuntia. Tämä jakaantui 58 työpäivän ajalle. Tästä voidaan kuitenkin kylpyhuoneen osalta miinustaa LVV-nousujen työt sekä hormimuurauksen ja palokatkojen teon, jotka toteutettiin keittiön puolelta. Taulukosta 5. nähdään, että selvästi eniten aikaa vievät työvaiheet olivat purku (18,2 h) sekä vedeneristys- ja laatoitus (20,1 h). Kylpyhuoneiden jatkuvassa tuotantoprosessissa näitä työvaiheita voidaan pitää pullonkauloina, jotka rajoittavat muita töitä.

*Taulukko 5. Case 5. Työvaiheiden kestot.*

	<b>Kesto (h)</b>
<b>Purku</b>	18,2
<b>LVV-nousut</b>	3,2
<b>Sähköjohdot</b>	7,8
<b>Timanttiporaus ja roilot</b>	7,18
<b>Viemärihajotukset</b>	7,27

<b>Hormimuuraus ja palokatkot</b>	4,02
<b>Sähköputkitus</b>	0,85
<b>Seinien ja roilojen tasoitus</b>	8,87
<b>Lattiavalu ja valmistelut</b>	6,42
<b>Vedeneristys ja laatoitus</b>	20,1
<b>Vesijohtohajotukset</b>	12,63
<b>Alakatto</b>	10
<b>Tasoitus ja maalaus</b>	0,67
<b>Kalusteet ja varusteet</b>	4,38
<b>LVIS-kalustus</b>	14
<b>Yhteensä</b>	126

Kuvan 15. kaaviosta nähdään kylpyhuoneen valmiusaste kokonaispäiviin nähden. Huomataan, että kulmakerroin on loivin juuri alussa, jolloin tehtiin purkutöitä sekä päivien 38-61 välisenä aikana, jolloin tehtiin vedeneristys- ja laatoitustöitä. Täytyy kuitenkin ottaa huomioon, että vedeneristys- ja laatoitustöiden aikana vietettiin joulua sekä myös Uutta vuotta. Pienemmät ”notkot” kaaviossa, johtuvat viikonlopuista.



*Kuva 15. Case 1. valmiusastekuvaaja.*

Haastattelussa selvisi, että työmaa eteni hyvin aikataulussa, jolloin kamera oli asennettuna. Aikataulut olivat kuitenkin sen verran löysät, että niissä pysyminen ei ollut tuottanut vaikeuksia. Haastatteluissa todettiin myös, että kuvatus kylpyhuoneen analyysi näytti normaalilta ja prosessi eteni samalla tavalla kuten muutkin huoneistot. Ainut asia, joka aikataulullisesti oli tuottanut hankaluuksia, olivat edellisten linjojen itselle luovutukset sekä luovutusprosessi yleensä. Tämä oli todettu käytännöksi, joka tuottaa aina haittaa, koska joudutaan ”hyppäämään taakse päin”. Haastateltavien mukaan tästä pitäisi päästä eroon ja saada työt kerralla valmiiksi.

## 6.2.2 Syitä puskuriajoille

Kamera-analysistä huomattiin, että kylpyhuoneessa tehtiin töitä yleensä muutaman tunti tai ei edes tuntia päivässä sekä myös kokonaisia hukka päiviä esiintyi. Haastattelussa syyksi tähän selvisi se, että eri urakoitsijoilla on yleensä linja kerrallaan työn alla, jolloin muut eivät pääse töihin. Haastateltavien mukaan tämä voidaan ratkaista sillä, että otetaan kylpyhuonekohtainen aikatauluttaminen käyttöön. Esimerkkinä tähän ongelmaan otettiin esille laatoitustyöt, jossa esimerkiksi viisi kylpyhuonetta voi olla laatoitettu, mutta yhtäkään ei ole saumattu. Tällöin neljä kylpyhuonetta on tyhjillään odottamassa saumausta ja sen jälkeisiä työvaiheita. Haastatteluissa oltiin sitä mieltä, että ehkä joidenkin urakoitsijoiden resursseja voisi lisätä, mutta ei merkittävästi. Kuitenkin hukka lähtee enemmän aikataulutuksesta ja työjärjestyksestä. Työt pitäisi alusta asti saada kulkemaan samassa rytmissä, mutta poikkeamat ja hankaluudet tietenkin ”sakkaavat” töitä ja heijastuvat heti koko prosessiin. Tuli myös esille, että joitain töitä yhdistämällä ja moniosaamista lisäämällä saataisiin työmaa pelaamaan paremmin.

### 6.2.3 Vedeneristys- ja laatoitustyöt

Haastatteluista ilmeni, että syy sille miksi purku- tai vedeneristys- ja laatoitustyöt vaativat todella paljon aikaa on lähtöisin yksinkertaisesti työn rytmityksestä ja järjestyksestä. Töiden pitäisi edetä niin, että synnytetään mestaa aina kylpyhuone kerrallaan seuraavalle urakoitsijalle, jotta työt etenevät suhteellisen nopeasti. Todettiin myös, että toinen vaihtoehto on ottaa jokaiseen kylpyhuoneeseen aina oma työntekijänsä töihin samanaikaisesti, mutta näin sen ei kuitenkaan tarvitse olla. Täytyisi ajatella viisaasti, jolloin otetaan seuraava urakoitsija tai työntekijä huomioon. Tällöin saadaan mahdollisimman nopeasti yksi kylpyhuone valmiiksi eikä tehdä kuten tällä hetkellä, että tasoitetaan esimerkiksi viiden kylpyhuoneen seinät, jonka jälkeen vesieristetään viiden kylpyhuoneen seiniät. Monet työt kuitenkin ottavat oman aikansa myös kuivumisaikojen osalta. Kuitenkin tietynlaisella työjärjestyksellä pystytään nopeuttamaan linjan läpimenoaikaa. Mikäli mestaa halutaan työntekijöiden puolesta ottaa kerralla paljon omaan käyttöön, on tällöin selvää, että kylpyhuonekohtainen läpimenoaika venyy, koska seuraavaa työvaihetta ei päästä aloittamaan. Vedeneristys- ja laatoitustöiden osalta voitaisiin haastateltavien mukaan ottaa esimerkiksi kaksi kylpyhuonetta tai kerros kerrallaan työn alle. Yksi kylpyhuone kerrallaan olisi kuitenkin aina vain parempi. Keskiössä täytyisi siis olla, se, miten pystytään synnyttämään mestaa seuraavalle tekijälle. Kaikki siis lähtee työjärjestyksestä ja rytmittämisestä. Ja tällöin täytyisi siis edetä kylpyhuone kerrallaan.

### 6.2.4 Purkutyöt

Kamera-analyysistä nähtiin, että purkutyöt jakautuivat 10 päivän ajanjaksolle, sisältäen kuitenkin viikonlopun. Kuitenkin töitä tehtiin vain 18,2 tunnin verran kyseisten päivien aikana. Huomataan, että työ sisältää todella paljon sisäistä puskuriaikaa eikä työn rytmitys ole laisinkaan kunnossa. Purkutyöt eivät edes sisällä esimerkiksi pakollisia kuivumisaikoja, mutta tietyt turvallisuusasiat tietenkin täytyy ottaa huomioon. Voidaanko esimerkiksi yläpuolella olevan asunnon kylpyhuonetta piikata samanaikaisesti kuin alapuolella olevan? Tämä riippuu rakenteiden kestävytydestä, mutta putkihormien pitäisi olla kuitenkin kiinni, jotta jätettä ei tipu alapuolelle. Haastatteluissa kysyttiin, että pystyisikö kopin purkamaan esimerkiksi päivässä. Haastateltavien mukaan pystyisi, mutta tällöin rytmitys ja aikataulutus pitäisi tehdä juuri kylpyhuonekohtaisesti, jolloin yksi kylpyhuone aukeaa yhtenä päivänä ja seuraava huomenna. Seuraavaan kylpyhuoneeseen pääsee, kun edellinen on purettu.

Haastatteluissa ilmeni, että purkumiesten ei välttämättä tarvitsisi saada päivässä kuin yksi asunto suojattua, putkihormin avattua ja saada muu kylpyhuoneen purku alkuun. Tämän täytyisi taas vain tapahtua kylpyhuonekohtaisesti, jolloin mestaa olisi jo seuraavalle työntekijälle seuraavana päivänä. Ehdotettiin muun muassa purkuryhmien käyttöä, jotka sisältäisivät neljä purkumiestä yhdessä asunnossa; kaksi suojaa, yksi purkaa ja yksi kantaa

jätteitä. Ehdotettiin myös ryhmää, joka sisältäisi kaksi purkajaa ja yhden jätteen kantajan kahta asuntoa kohti kerrallaan.

Haastatteluista ilmeni, että resursseja kyllä on, mutta tässäkin on siis rytmitys väärä. Tällä hetkellä menneen niin sanotulla linjakohtaisella urakkatavalla. Haastateltavien mukaan jokaiselle työntekijälle pitäisi tehdä asuntokohtainen lukujärjestys.

### **6.2.5 Keittiönpuoleinen putkistohormin avaus**

Tässä linjassa putkistolinjan sisältävä hormi avattiin keittiön puolelta. Tämän vuoksi hormilla tapahtuvien töiden havainnointi kamerasta oli haastavaa. Hormin avaaminen muualta kuin kylpyhuoneesta voidaan ajatella tuovan mahdollisuuksia huomattavasti nopeammalle työn suunnittelulle. Tällöin samaan aikaan kylpyhuoneessa voitaisiin mahdollisuuksien mukaan tehdä jo toista työvaihetta. Haastattelussa ilmeni, että tätä oltiin yritetty käyttää hyväksi, jakamalla purkuryhmä hormin avausta tekevään ryhmään ja kylpyhuoneen purkua tekevään ryhmään. Oltiin haettu sitä, että oltaisiin päästy nopeammin laatta- ja tasoitustöihin. Viemärihajotukset ja timanttioraukset olisivat olleet kuitenkin tiellä, mutta kylpyhuoneen seiniä olisi voitu jo tehdä. Tämä olisi edesauttanut töitä myös yleisesti. Kuitenkaan näiden kahden eri purkuryhmän käyttö ei ollut ikinä toteutunut.

### **6.2.6 Urakkarajat**

Kysyttäessä urakkarajojen aiheuttamia ongelmia, ilmeni, että ne ovat suhteellisen selkeitä eivätkä aiheuta suurempia ongelmia tällä hetkellä. Kuitenkin pieniä ongelmia joista olisi helppo päästä eroon, löytyi. Haastattelun mukaan hyvällä asenteella oleva urakoitsija tai asentaja saattaa omalla viiden minuutin työllään säästää jopa muutaman tunnin. Ei tarvitsisi odottaa ketään vaan tehdä pois ja merkata esimerkiksi aiheutuneet työtunnit ylös. Myös kamerasta havaittiin, että esimerkiksi roilojen teko ja sähköputkitus vaativat muutaman päivän, vaikka itse työvaiheet kestivät yhteenlaskettuna vain muutaman tunnin. Tämä on kuitenkin selkeästi urakkarajoista johtuva ongelma, koska nämä kaksi työvaihetta tehdään eri urakoitsijan toimesta. Tähän pureuduttiin myös haastatteluissa. Haastattelujen mukaan esimerkiksi purku-urakoitsijan nokkamies voisi olla sen verran piirustus-tenlukutaitoinen, että pystyisi katsomaan ja merkkamaan roilojen paikat itselle tai omille työntekijöillensä. Tällöin ei tarvitsisi juoksentaa sähkö- ja putkimiestä merkkauttamassa roilojen paikkoja.

Haastattelun mukaan voitaisiin tehdä niin, että normaalin purun jälkeen, purku-urakoitsijan nokkamies merkkaisi itselleen tai omille miehilleen roilomerkit ja roiloisi ne samalla. Haetaan siis tapaa, jolla kylpyhuoneen purku sisältäen timanttioraukset ja roiloukset samalla kertaa. Tämän jälkeen mentäisiin seuraavaan asuntoon. Tällä hetkellä tietyllä urakoitsijalla on koko linja eikä tämä edesauta seuraavaan urakoitsijaa pääsemästä töihin missään linjan kopissa. Tämän tulppaa työn teon ja toimii siis pullonkaulana. Purkumiesten

täytyisi myös merkata itse roilojen paikat. Kuitenkin täytyy ottaa huomioon, että koh-teessa kylpyhuoneiden seiniä ei tarvinnut rapata uudelleen purun jälkeen. Tämä mahdol-listaisi roilojen tekemisen heti normaalin purun jälkeen.

Seinäroiloihin asennettavien sähköputkitusten jälkeen tehdään roilojen massatäyttö ja sei-nien tasoitus. Nämä kaikki vaiheet tehdään eri urakoitsijoiden toimesta. Tässä voidaan helposti nähdä olevan urakkarajoista johtuva ongelma joka pidentää kylpyhuoneen läpi-menoaikaa. Haastatteluissa ehdotettiin, että nämä työvaiheet voisi antaa yhdelle henki-lölle, jolloin säästettäisiin aikaa. Tästä jatkettuna taas ehdotettiin, että tasoitus- ja laatta-työt voisi antaa timpureille, jolloin saadaan vielä vähemmän urakoitsijoita. Haastatteli-joiden mukaan esimerkiksi laattapohjat eivät ikinä kelpaa laattamiehille, jos ne on tehty jonkun toisen puolesta, ja näin ollen niitä joudutaan korjaamaan. Haastateltavat korostivat siis moniosaamisen tärkeyttä. Kamerasta huomattiin, että roilojen teon ja seinien tasoi-tusten välissä kyseinen kylpyhuone oli noin päivän tyhjillään. Haastattelun mukaan täs-säkin on sama ongelma, jossa halutaan 5-10 kylpyhuonetta kerralla työn alle. Ahnehdi-taan mestaa ja tukitaan se muilta. Monesti seinien tasoitus oli aloitettu jo ennen kuin roilot oli täytetty.

### 6.2.7 Yhteistyö

Haastattelujen mukaan urakoitsijat olivat pääsääntöisesti hyviä ja työt etenivät aikatau-lussa. Ongelmia oli kuitenkin ollut putkiasentajien asenteiden kanssa ja kamera-analyy-sistä myös huomattiin, että viemärihajotuksien aloittaminen kesti suhteellisen kauan. Haastattelun mukaan tässä tapauksessa näkyi kyseisen ryhmän putkiasentajien motivaat-ion ja asenteen puute. Heitä ei oltu saatu mukaan yhteiseen tekemiseen ja tekivät työt oman päänsä mukaan. Urakoitsija oli ollut hyvä, mutta kyseisessä ryhmässä sattui olla pari huonoa asentajaa. Tähän ei oltu reagoitu tarpeeksi nopeasti aliurakoitsijan eikä pää-urakoitsijan työnjohdon puolesta. Yksi ”mätä omena korissa” saattaa siis pilata pahim-millaan koko korin eli työmaan etenemisen. Yhteishenki puuttuu, koska välitetään vain omasta edusta eikä ajatella koko projektin etua. Toki asiat eivät ole näin ”mustavalkoisia” eivätkä ongelmat välttämättä johdu juuri aliurakoitsijasta. Haastattelussa kuitenkin il-meni, että pitäisi saada valikoitua ne hyvät asentajat ja päästä jatkamaan töitä heidän kans-saan myös seuraavilla työmailla. Silloin, kun työmaalle saapuu vuokramiehiä ja niin sa-nottuja kiireapuja, homma ei välttämättä toimi. Haastateltavien mielestä suurin ongelma on se, että usein seuraaviin työmaihin saatetaan ottaa uudet aina urakoitsijat ja työntekijät.

### 6.2.8 Uusien putkistojen painekokeet ja putkien eristys

Haastatteluissa otettiin erikseen esille myös kamera-analyysistä havaittu kylpyhuoneen yhden päivän tyhjillään olo vesijohtojen eristyksen ja kromien asennusten välissä. Myös tämä johtui haastateltavien mukaan kylpyhuonekohtaisen ajattelun puutteesta, koska koko linja on varattu yhdelle työvaiheelle. ”Aina tulee tyhjä päivä sinne ja tyhjä päivä

tänne, ja sitten huomataan, että niitä tyhjiä päiviä onkin ihan liikaa”. Haastatteluissa ilmeni, että juuri kyseinen putkieristäjä oli aliurakoitsijan aliurakoitsija, jolla saattaa olla paljon työmaita eikä lähde yhden kylpyhuoneen vuoksi eri työmaalle. Haastateltavien mukaan putkieristys jarruttaa töitä aina päivän tai kaksi. Putkien painekokeiden jälkeen tehtävien eristysten jälkeen, timpurit voisivat jo tehdä alakattoja ja muita töitä. Usein kuitenkin töitä ei voida aloittaa juuri eristeiden puuttumisen vuoksi. Tämän vuoksi haastateltavien mukaan esimerkiksi putkiasentajan tulisi olla eristystaitoinen. Kyseisellä työmaalla linjojen painekokeet tehtiin koko linjaan kerralla. Haastateltavien mukaan nousulinjat täytyy tietenkin koepaineistaa yhdessä, mutta kylpyhuonekohtaisten putkihajotusten painekokeet pitäisi toteuttaa aina erikseen kylpyhuone kerrallaan ja eristettävä heti perään. Näin saadaan mestaa vapautumaan paremmin. Muuten kohdataan sama ongelmaan, jossa yhdellä urakoitsijalla on koko linja kerrallaan työn alla eivätkä muut pääse töihin. Haastattelun mukaan linjasaneerauksiin pitäisi saada kylpyhuonekohtainen aikataulu, lisää moniosaamista sekä täytyisi päästä eroon ajattelutavasta ”ei kuulu minun keikkaan” eli urakkarajoista.

### 6.2.9 Muita havaintoja

Kamera-analysistä havaittiin myös, että kyseinen kylpyhuone oli ollut päivän tyhjiällä alakaton teon ja kalustuksen välissä. Nämä työvaiheet kuuluivat kuitenkin samoille timpureille. Tässäkin tuli ilmi, että myös he haluavat yleensä tehdä samaa työvaihetta aina linja kerrallaan. Välillä he ovat kuitenkin tehneet myös alakaton ja kalustuksen peräkkäin yhdessä kylpyhuoneessa, jos mestaa ei ole muualla ollut.

Työvaiheaikatauluun ei oltu merkitty ollenkaan sähkötöitä ja kameran mukaan niiden tekeminen näytti hyvin satunnaiselta. Tällä hetkellä sähkötöitä tehdään niin sanotusti joka paikassa kerralla ja sähköasentajat tulevat töihin silloin kun pääsevät. Todettiin myös, että sähkötöiden kaapeliosuus on melko nopea varsinkin kyseisessä kohteessa, jossa sähköjen nousulinjoja ei uusittu. Myös tässä oltiin sitä mieltä, että voitaisiin laittaa kylpyhuonekohtaiseen aikatauluun tarkasti, milloin mihinkin tullaan sähköt vetämään. Sähkötöistä lattialämmityskaapelien vetäminen todettiin kuitenkin työvaiheeksi, joka monesti vaikeuttaa lattian tekemisen etenemistä.

## 6.3 Case 2

### 6.3.1 Aluksi

Tutkimuksen toisen Case-kohteen työvaiheiden kestot sekä aikavälit on kirjattu ylös taulukkoon 6. Myös tässä putkilinjastossa hormi avattiin keittiön puolelta, joten esimerkiksi LVV-nousujen, palokatkojen ja hormimuurauksen työvaiheita ei kamerasta nähty. Kuten ensimmäisessä Case-kohteessa, myös tässä huomataan, että purkutyöt (24,7 h) sekä vedeneristys- ja laatoitustyöt (19,9 h) vaativat selvästi eniten aikaa.

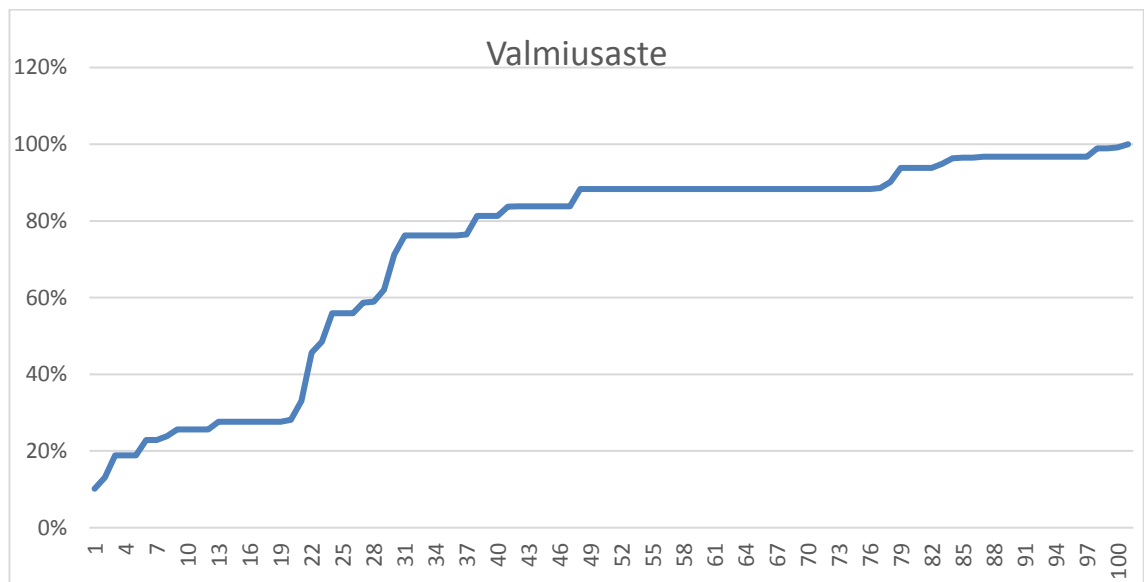
**Taulukko 6.** Case 2. työvaiheiden kestot.

	Kesto (h)
Purku (sis. Asbestityöt)	24,65
Timanttiporaus	0
Ohjurit ja Rappaus	1,98
Kaivopohjan ja roilojen teko	1,05
Kaivovalu	0,03
Viemäri- ja vesijohtonou- sut	0,37
Viemärihajotukset	10,37
Valuvalmistelut ja roilo- täytöt	0,65
Lattialämmityskaapelit	1
Lattiavalu	2,1
Sähköjohdot	5,4
Vedeneristys ja laatoitus	19,93
Pintakromit ja vesijohtoha- jotukset	4,4
Alakatto ja muut timpuri- työt	2,8
kalustus	3,35
LVIS-kalustus	0,83
Viimeistely ja siivous	1,72
Yhteensä	81,13



Kuvan 16. kaaviossa nähdään kylpyhuoneen valmiusaste kokonaispäiviin nähden. Huomataan, että kaavion mukaan työt etenevät epätasaisemmin kuin ensimmäisessä Case-kohteessa. Kuitenkin kaaviossa havaittavat kaksi pahinta kohtaa päivien 13-19 välillä sekä päivästä 49 eteenpäin, eivät johdu työvaiheista. Kamera oli vahingossa sammutettu päivien 14-19 väliseksi ajaksi. Kyseisessä asunnossa oli tapahtunut unohduksia ja epäselvyyksiä esimerkiksi kalusteiden osalta, jonka vuoksi työt venyivät. Tämä nähdään päivästä 49 alkavassa pidemmässä aikavälissä, jolloin valmiusaste ei kohoa oikeastaan yhtään. Kyseisellä aikavälillä kuitenkin tehtiin töitä kylpyhuoneessa, mutta kamerasta oli mahdoton nähdä, mitä kylpyhuoneessa tarkemmin tapahtui. Päivien 32-36 välisenä aikana valmiusaste ei myöskään koho. Päivänä 31 saatiin seinien laatoitus ja saumaus valmiiksi, minkä jälkeen lattian laatoitus jatkui vasta päivänä 37. Päivänä 43 alkava huono kulmakerroin taas selittyi osakseen joulun ajasta, mutta sen jälkeen ”välipäivinä” käydään tekemässä vain reilu 3 tuntia vesijohtohajotuksia. Kaavion alussa oleva huono kulmakerroin johtuu taas purkutöiden hitaudesta.

Kylpyhuoneen käyttöasteeksi saatiin 26 prosenttia ja kokonaistyöajaksi noin 100 tuntia (sisältää tunnistamattomia työvaiheita, joita ei esiinny taulukossa 6.). Kuitenkin täytyy huomioida, että kamera oli viikon ajan sammutettuna. Jos tämän kylpyhuoneen valmistumisastetta verrataan ensimmäisen Case-kohteen kylpyhuoneen valmistumisasteeseen, huomataan, että päivänä 48 tämän kohteen valmiusaste on jo 88%, kun taas Case 1. saavuttaa kyseisen valmiusasteen vasta päivänä 69.



**Kuva 16.** Case 2. valmiusastekuvaaja

Haastateltavien mukaan kyseisen kylpyhuoneen valmiusastekuvaaja ei tässä tapauksessa vastannut yleisesti kovin hyvin työmaan muiden kylpyhuoneiden valmistumisesta. Tämä kylpyhuone kesti kyseisessä linjassa kauiten ja valmistui viimeisenä, koska siellä oli haastateltavien mukaan tapahtunut monenlaisia ongelmia. Muualla kopeissa normaalisti voidaan päästä noin 50 prosentin käyttöasteen, kun taas tässä kopissa päästiin 26 prosentin

käyttöasteeseen. Tämä huono valmiusasteen kohoaminen nähdään kuvaajassa 49 päivästä alkaen. Tästä enteenpäin työt näyttivät kamerasta katsottuna lähinnä niin sanotusti puuhastelulta ja tiettyjä työvaiheita oli vaikea erottaa. Tähän suurimpana syynä kerrottiin, että kyseiseen kylpyhuoneeseen oltiin unohdettu asentaa pesukoneen poistoputki. Tämä poistoputki asennetaan yleensä seinään ja lattiaan tehtyihin roiloihin, jossa se yhdistyy lattiavalun sisässä kaivoon. Putkiasentaja oli tulkinut huoneistokortin osakseen väärin, koska poistoputken ratkaisu oli ollut epätavallinen ja huoneistokortti epäselvä. Tämän korjaamiseen tarvittu suunnitteluprojekti oli kestänyt jopa viikon verran. Ratkaisuna kyseiselle poistoputkelle oli lopulta roilottu reitti seinän toiselta puolelta keittiöstä, jota kautta putki oli saatu asennettua kaivoon. Kuitenkin linja eteni yleisesti hyvin, mutta kyseistä kylpyhuoneesta jäi muun muassa kalusteita asentamatta korjausten ajaksi.

### 6.3.2 Viimeistelytyöt

Vaikka työt etenivät työmaalla yleisesti ottaen hyvin, yhdeksi ongelmaksi kerrottiin viimeistely, raivaus ja siivoustöiden pitkä kesto. Asunnot saatiin nopeasti noin 95 prosentin valmiuteen, mutta tämän jälkeen kylpyhuoneet saattavat olla kolme viikkoa tyhjillään. Tämän sanottiin aiheuttavan suurimman osan asuntojen hukka-ajasta. Ongelma oli siis hyvinkin sama kuin ensimmäisessä kohteessa eli niin sanottuja häntiä jää. Kerrottiin, että portaan/linjan asunnot odottivat siis monesti melkein valmiina ja ovet pitäisi saada nopeammin kiinni asuntokohtaisesti. Haastateltavien mukaan asuntoja pitäisi saada viimeistelyä siis pienemmissä kokonaisuuksissa. Työmaalla olikin muutettu käytäntöä porrashuonekohtaisesta viimeistelystä kerroskohteiseksi. Kun tehtiin porrashuonemaalauksia ja muita kunnostuksia, oltiin pyritty purkamaan muun muassa työmaasähköt kerroksittain maalarin tieltä. Näin ei jouduttu aina siivoamaan ja viimeistelemään kaikkia asuntoja kerralla.

### 6.3.3 Kylpyhuonekohtaisen aikataulutuksen toimivuus

Tässä kohteessa oli käytössä asunto- eli kylpyhuonekohtainen aikataulutus, missä työt oltiin aikataulutettu jokaisessa kahden tunnin tarkkuudella. Haastattelun mukaan uusi asuntokohtainen aikataulu verrattuna perinteiseen linjakohteiseen aikatauluun oli toiminnut suhteellisen hyvin. Vaikka työt oltiin aikataulutettu tarkasti, ei siihen tarkkuuteen oltu kuitenkaan lopulta päästy ja työmaa oli käytännössä ajautunut enempi linjakohteiseen aikatauluun. Haastateltavien mielestä heidän olisi pitänyt enemmän toistaa ja varmistaa työntekijöille, missä järjestyksessä työt tehdään. Myös ilmeni, että ketään ei lopulta kiinnostanut muiden työ, koska kyseinen projekti oli perinteinen kokonaisurakka, jossa osapuolia ei välttämättä kiinnosta kuin oma etuansa. Haastateltavien mukaan järjestyksen ja roolituksen kuntoon saamiseksi, työntekijöiden kanssa pitäisi käydä niin kauan läpi, missä järjestyksessä työt tehdään ja kuka tulee seuraavaksi. Ja näin ollen aikataulua ei tarvitse lukea koko ajan todella tarkasti.

Haastattelusta ilmeni, jos sama ryhmä tekisi esimerkiksi kaksi työmaata, niin kolmas olisi jo helppo toteuttaa yhdessä. Tällöin kaikki tietävät tarkasti, mitä toiset tekevät, jolloin työt etenevät todella sulavasti eteenpäin. Mikäli urakoitsijat ja työntekijät vaihtuvat joko kaiseen työmaahan, lähtee yhteistoiminta aina nollapisteestä ja ehkä vasta työmaan viimeisessä linjassa työt saadaan virtaamaan suhteellisen hyvin. Haastateltavien mukaan, valitettavan usein työntekijät vaihtuvat kuin ”liukuhihnalta” ja hyvien tekijöiden saaminen on kuin uhkapeliä. Hyvien tekijöiden varmistamiseksi, esimerkiksi kohteen timpuriporukka sekä laatoitusurakoitsija olivat olleet suhteellisen kalliita.

### 6.3.4 Syitä puskuriajoille

Kamera-analyysistä huomattiin, että kuten ensimmäisessä Case-kohteessa, kylpyhuoneissa tehtiin usein töitä päivässä vain muutama tunti tai ei edes tuntia. Myös tyhjiä päiviä esiintyi. Haastatteluissa yhdeksi syyksi hukka-ajalle kerrottiin se, että kyseisessä huoneistossa putkilinjojen nousuhormi avattiin keittiön puolelta ja se tehtiin asbestityönä. Tällöin kylpyhuoneessa ei tavallaan tapahdu mitään ennen kuin hormi on avattu. Myös tämän jälkeen kylpyhuoneessa saattaa olla tyhjää, kun putkiasentaja asentaa ensin uudet vesi- ja viemäriinovesulinjat. Tämän jälkeen putkiasentaja tekee kylpyhuoneessa viemärihajotukset, jonka jälkeen myös kamerasta havaittuna lattiavalu, vesieristys ja laatoitus tehtiinkin hyvin nopeasti. Haastateltavien mukaan putkihormi voi tahdistaa töitä todella paljon, jos se avataan kylpyhuoneen puolelta. Tällöin laattapohjavalmiuteen pääseminen vaatii enemmän. Työmaalla uusien nousulinjojen tekeminen oli siis hyvin tahdistava tekijä, koska niiden tekemiselle oli varattu koko linjan osalta viikko. Tämä haastateltavien mukaan aiheuttaa jopa viikon tyhjillään olon joidenkin kylpyhuoneiden osalta. Lisäksi niissä asunnoissa, joissa nousulinjojen hormi oltiin avattu kylpyhuoneen puolelta, työvaiheet, kuten hormiin tulevat huoneistojen väliset palokatkot ja hormimuuraus, aiheuttavat viikon tai puolitoista lisää tyhjää aikaa. Taas kylpyhuoneessa, jossa hormia ei avata, tehdään vain työvaiheet: purku, timanttiporaus, rappaus, viemärihajotus, lattiavalu, laatoitus ja kalustus. Portaissa oli siis asuntoja, joissa hormi avataan kylpyhuoneen puolelta, ja asuntoja, joissa hormi avataan keittiön puolelta. Työjärjestys oli kuitenkin mietitty niin, että kylpyhuoneesta avattavien hormien asunnot aloitettiin tekemään ensin.

### 6.3.5 Purkutyöt

Kysyttäessä purkutöiden tehostamiselle ratkaisua kävi ilmi, vaikka työmaalla oli asunto-kohtainen aikatauluajattelu käytössä, purkutyöt suunniteltiin aliurakoitsijan tahdosta kuitenkin linjakohtaisesti. Tämä taas tuo oman hukka-ajan joihinkin asuntoihin, koska koko linja on purku-urakoitsijalla samanaikaisesti työn alla. Haastateltavien mukaan yksi lääke purkutöiden nopeuttamisella voisi olla imupurku, jossa kylpyhuoneen oven eteen tuodaan kone, joka imee jätteet heti ulos. Esille tuli myös, että ikkunoista voisi asentaa jäterännit ulos. Tällä hetkellä jätteet vain kannettiin pois.

### 6.3.6 Vedeneristys- ja laatoitustyöt

Kysyttäessä haastateltavilta ratkaisua taas vesieristys- ja laatoitustöiden tehostamiselle, kävi ilmi, että se voidaan toteuttaa käytännössä paremmilla materiaaleilla ja menetelmillä. Kyseisellä työmaalla asunnoissa ei ollut aluksi lämpöjä pakkaskaudelle, jonka vuoksi kuivumisajat olivat olleet kaksinkertaiset. Lämmityksiä oltiin kuitenkin lisäilty, mutta sulakkeet olivat palaneet monesti. Tästä seurauksena vesieristys oli saattanut usein hilseillä, jonka vuoksi niitä oli pitänyt myös korjailta. Sääolosuhteet siis vaikuttavat myös linjasaneerauskohteissa.

### 6.3.7 Rappaustöiden kesto

Kamera-analysistä havaittiin, että purun ja rappausta varten asennettavien ohjurien välissä kylpyhuone oli päivän verran tyhjillään. Myös tässä hukka-aika johtuu siitä, että kylpyhuonekohtainen aikataulu ei ollut käytössä. Työmaalla otettiin aliurakalla pumppurappaus, ja jotta se on järkevä toteuttaa, täytyy sitä varten olla monta kylpyhuonetta kerralla valmiina rapattavaksi. Aluksi myös rappaus oli suunniteltu tehtäväksi kylpyhuonekohtaisesti, mutta se ei ollut onnistunut ja oltiin todettu kyseinen ratkaisu nopeammaksi töiden kannalta. Linjan ensimmäisissä asunnoissa (kuten tämä kuvattava) niin sanottu tyhjä vaihe johtuu haastateltavien mukaan juuri siitä, että rappari tulee työmaalle vasta, kun kahdeksan kylpyhuonetta on purettu. Rappaus itsestään oli tapahtunut kuitenkin nopeasti. Rapparit asensivat aina edellisenä päivänä rappaushjurit, ja seuraavana aamupäivänä rappasivat noin neljässä tunnissa kahdeksan kylpyhuonetta.

Aluksi oli siis ollut ajatuksena, että rappaus olisi ollut osa kylpyhuonekohtaisesta aikataulutusta, missä yhtenä päivänä rapataan yksi kylpyhuone. Kyseisellä työmaalla oli kuitenkin ollut todella huonot seinät, joita täytyi rapata jopa kolme senttiä. Tässä kohtaa rajoittavaksi tekijäksi oli tullut rappauksen kuivuminen. Kamerasta huomattiin myös, että rappauksen ja roilojen teon välissä oli ollut päivän verran tyhjää. Haastateltavien mukaan rappauksen jälkeisenä päivänä tehdään kuitenkin timanttiporausreiät muun muassa kaivoille. Myös rappauksen täytyy kuivua välissä jopa kaksi päivää. Haastateltavien mukaan rappauksen jälkeen tehtiin yleensä muun muassa viemärinhajotukset, joihin rappaus ei vaikuttanut. Tällä tavoin oltiin varmistettu, että rappaus kuivuu viikon verran ennen vesieristystä. Pumppurappaus oltiin siis todettu kuitenkin parhaaksi käytännöksi kyseisellä työmaalla, vaikka sitä ei kylpyhuonekohtaiseen ajatteluun mukaan saatukaan. Haastateltavien mukaan tietyt asiat on hyvä tehdä kylpyhuonekohtaisesti ja joitain taas ei. Haastattelun mukaan työmaalla oli kahdessa viikossa saatu linjan kaikki asunnot purettua ja puolet rapattua. Tämä oli avannut mestaa aluksi huomattavasti nopeammin, jolloin työt eivät tyssänneet heti ensimmäiseen tai toiseen asuntoon. Voidaan vetää johtopäätöksenä, että jokainen työmaa on kuitenkin omanlaisensa, ja yleispäteviä ratkaisuja ei aina ole. Työt pitää kuitenkin suunnitella työmaakohtaisesti parhaalla tavalla.

### 6.3.8 Muita ongelmia

Kysyttäessä muita rajoittavia tekijöitä, joita työmaalla esiintyi, haastattelussa ilmeni oikeastaan muutamaa otteeseen huono putkiporukka. Toisen haastateltavan viime työmaalla ollut kolmen hengen putkiryhmä, joista yksi nosti linjaa, yksi teki hajotuksia ja yksi asensi kromeja kylpyhuoneeseen. Tällä työmaalla putkimiehiä oli ollut parhailtaan seitsemän eikä työt silti toimineet tarpeeksi hyvin. Tähän syyksi kerrottiin motivaation ja kiinnostuksen puute. Myös itselle luovutuksessa oltiin havaittu aina samat virheet. Tämä johtuu haastateltavien mukaan myös kiinnostuksen puutteesta tehdä hommat kunnolla loppuun. ”Vaikka täytyisi saada joku tietty asia kyseisenä päivänä loppuun, lähdetään kuitenkin pois heti puoli neljältä ja todetaan, että kyllä sen kerkeää”. Tietynlainen ammattilypeus ja kiinnostus puuttuvat. Työmaalla ainakin sähkö-, putki- ja timpuriporukalla oli mahdollisuus saada jonkinlaisia palkallisia bonuksia, mutta haastateltavien mukaan bonukset eivät välttämättä valu lopulta työntekijöille asti. Haastateltavat olivat sitä mieltä, että mikäli bonuksia annetaan, pitäisi ne antaa suoraan tekijöille. Tällöin bonukset auttaisivat työntekijöitä suoraan eikä välikäsiä olisi.

## 6.4 Yhteenveto tuloksista

### 6.4.1 Aluksi

Tämä kappale on yhteenveto tutkimuksen mukaisista linjasaneerauksen pullonkauloista sekä siitä, miten näitä pullonkauloja voitaisiin parantaa ja poistaa läpivirtauksen parantamiseksi ja läpimenoaikojen lyhentämiseksi. Tällä hetkellä ainakin tutkimuksessa käytetyissä case-kohteissa, linjojen läpimenoajat olivat suhteellisen pitkiä verrattuna siihen, kuinka paljon työaikaa käytetään hyväksi kylpyhuonetöissä.

Yleisesti kameroiden analyyseistä voidaan todeta, että työvaiheet ovat jaettu pieniin osiin eri tekijöille eikä monia asioita tehdä tai pystytä tekemään kerralla kuntoon. Myös työvaiheiden sisällä on todella paljon hukka-aikaa. Suurin osa eri työvaiheista kestää vain muutaman tunnin, mutta saattavat olla kriittisiä seuraaville vaiheille. Linjat ja huoneistot ovat työn alla tällä hetkellä noin 12 viikkoa, mutta kylpyhuoneiden käytettyjen työtuntien osalta työt voitaisiin tiivistää noin kahteen viikkoon. Toki tässä ei huomioida esimerkiksi mahdollisia kuivumisaikoja. Yleisesti ottaen työvaiheet eivät siis itsessään vie kovinkaan paljon aikaa, ja tutkimuksessa löydettiin suurimmat syyt kylpyhuonesaneeraukseen esimerkiksi tuotannon suunnittelusta. Yleensä suuren ydinongelman ratkaisu tai suuren pullonkaulan tehostaminen avaakin samalla monta pienempää ongelmaa. Kuten Roser C. (2015) kertoo, tosielämän muuttajat tekevät pullonkaulojen löytämisen monimutkaiseksi, koska tosielämän systeemeissä, prosessit eivät ole staattisia ja voivat muuttua. Tämä voidaan helposti ajatella rakennusalla eivätkä pullonkaulat ole välttämättä aina samoja jokaisella linjasaneeraustyömaalla. Systeemien rajoitteet yhden luokittelun mukaan voidaan jakaa fyysisiin sekä toimintatapoihin liittyviin. Fyysiset ovat yleensä helpommin

tunnistettavissa verrattuna toimintatapoihin. Kuitenkin toimintatavoista löytyvät ongelmat vaikuttavat huomattavasti suuremmalla asteella ja niiden ratkaiseminen saattaa avata monta muutakin ongelmaa.

## 6.4.2 Ydinongelmat

Tutkimuksessa havaitut kylpyhuonetöiden pullonkaulat johtuivat aina lopulta muutamasta ydinongelmasta, jotka ovat myös lopulta hyvin sidoksissa toisiinsa. Ensinnäkin eri työvaiheiden eteneminen linjakohtaisesti aiheuttaa suurimman osan hukka-ajasta. Tämä oli ongelmana varsinkin ensimmäisessä case-kohteessa, jossa aikataulu oltiin tehty linjakohtaisesti. Kun taas toisessa case-kohteessa kylpyhuonekohtaisella aikataulutuksella oltiin yleisesti ottaen päästy nopeampaan läpimenoaikaan. Töiden eteneminen linjakohtaisesti ei tietenkään haittaisi, jos linjan jokaisen asunnon kylpyhuoneessa tehtäisiin samanaikaisesti samaa työvaihetta. Tällä hetkellä kuitenkin varataan monesti koko linja tai useampi asunto yhdelle työvaiheelle pieniällä resursseilla, jolloin seuraavat työvaiheet eivät pääse alkamaan ja kylpyhuoneet seisovat tyhjillään. Haastattelujen perusteella kylpyhuonekohteinen aikataulutuksen ja töiden etenemisen ajattelutapa on siis käytännössä paras. Työt pitäisi saada alusta alkaen kulkemaan samassa rytmissä ja parhaalla työjärjestyksellä. Toiseksi ydinongelmaksi voitaisiin todeta eri urakoitsijoiden ja tekijöiden suuri vaihtuvuus. Olisi tärkeää saada valittua hyvät yhteistyökumppanit ja työntekijät, ja jatkaa töitä heidän kanssaan projektista seuraavaan. Näin yhteistoiminnan opettelu ei alkaisi aina alusta ja kaikki tietäisivät tarkalleen mitä kukin tekee. Vaikka toisessa case-kohteessa oli käytössä kylpyhuonekohteinen aikataulutus, työt eivät olleet kuitenkaan käytännössä täysin edenneet sen mukaisesti. Tämä johtui pääasiassa juuri huonosta yhteistoiminnasta. Kolmas suuri ongelma läpivirtauksen esteenä on eri tehtävien jakaminen pieniin osiin eri tekijöille eli käytännössä urakkarajat. Monet työt eivät välttämättä ole kovinkaan aikaa vieviä, mutta saattavat tuoda suurenkin hukka-ajan kylpyhuoneprosessiin. Esimerkkeinä tästä ensimmäisessä case-kohteessa esille tulleet uusien putkistojen painekokeet sekä putkieristys, jotka jarruttivat muita töitä. Töitä täytyisi yhdistää ja moniosuamista lisätä. Näin saadaan pieniä työvaiheita poistettua, jolloin mestan ahnehtiminen vähenee ja kylpyhuonekohtaisen etenemisen saavuttaminen helpottuu. Työmaan urakkarajoihin ja yhteistoimintaan liittyen neljäntenä ongelmana molempien case-kohteiden haastatteluissa tuli esille se, että valitettavan usein monia urakoitsijoita tai työntekijöitä saattaa kiinnostaa lopulta vain oma etu. Projektin osapuolet pitäisi saada ajattelemaan enemmän projektin etua, jota kautta taas näiden muiden ongelmien ratkominen helpottuu. Tähän ratkaisuna voisi olla esimerkiksi erilaiset sopimuskäytännöt. Tähän liittyen muun muassa Heikura (2014) on selvittänyt allianssimallin sovellettavuutta linjasaneerausprojekteihin, jossa tutkittiin toimintaa nimenomaan urakoitsijoiden välillä.

Kylpyhuonekohtaisen aikataulun toimimaan saaminen siis edellyttäisi sitä, että työt saadaan kulkemaan samassa tahdissa. Tämä vaatii taas moniosuamisen lisäämistä ja töiden yhdistämistä. Esimerkiksi sähköasentajien asentamat lattialämmityskaapelit tai vaikka

sähköputkitusten asentaminen seinäroiloihin eivät vie paljon aikaa yhden kylpyhuoneen osalta. Tällaiset työvaiheet haluttaisiin tulla aina tekemään moneen asuntoon kerralla, mutta tämä taas lisää läpimenoaikaa kylpyhuoneissa. Jos työntekijä tekee vain yhtä työvaihetta, joutuu hän tällaisessa tilanteissa odottamaan hyvin paljon muita työvaiheita. Mutta esimerkiksi toisessa case-kohteessa oltiin töiden järjestyksellä saatu kuitenkin myös pienet työvaiheet sisällytettyä järkevästi aikatauluun. Tällöin jotkut asentajat saattavat kuitenkin joutua hyppimään hyvinkin paljon työvaiheista toiseen ja linjasta linjaan. Tämä voi olla kuitenkin välttämätöntä töiden hyvälle virtaukselle. Puskureita voidaan tietenkin käyttää esimerkiksi hyppimisen välttämiseksi tai kuivumisaikojen takaamiseksi. Se on myös joskus järkevää, mutta saattaa lisätä läpimenoaikaa. Pullonkaulatyövaiheiden poistaminen linjan töistä kuitenkin vaatisi, että kaikki työvaiheet ovat saman pituisia. Tällöin ne kulkisivat samassa tahdissa. Työvaiheista pitäisi tällöin saada suurempia paketteja, jolloin myös niiden kontrollointi työmaalla saattaisi helpottua. Mikäli työvaiheet on jaettu lukuisiksi pieniksi osiksi, on työnjohtajien hyvin vaikea pysyä kartalla työmaan tapahtumista.

### 6.4.3 Kylpyhuonetöiden pullonkaulat

Tutkimuksen mukaan työmaan kylpyhuoneprosessin pullonkaulat eivät välttämättä ole aina ne työvaiheet, jotka vaativat eniten aikaa. Myös pienet työvaiheet saattavat olla hyvinkin rajoittavia ainakin, jos niitä tehdään paljon eri tekijöiden toimesta ja varaamalla monta kylpyhuonetta kerralla käyttöön. Tällaisiksi vaiheiksi selvisi ainakin roilojen teko, sähköputkitus, uusien putkistojen painekokeet, putkieristys ja lattialämmityskaapelien asennus. Kuitenkin työvaiheista selvästi eniten aikaa yhdessä kylpyhuoneessa veivät purkutytöt sekä vesieristys- ja laatoitustyöt. Purkutöitä voitaisiin nopeuttaa esimerkiksi resursseilla, mutta case-kohteiden perusteella se voisi olisi järkevämpää toteuttaa paremmalla työjärjestyksellä. Toki yhdessä kylpyhuoneessa tulee helposti tila rajoittavaksi tekijäksi, mutta esimerkiksi jätettä voitaisiin kantaa nopeammin pois. Vesieristystä voitaisiin taas nopeuttaa paremmilla materiaaleilla ja menetelmillä. Suurin töitä nopeuttava tekijä näissä töissä on kuitenkin työn rytmitys ja järjestys.

Mikäli kylpyhuoneiden seiniin ei tule uutta rappausta, voisi esimerkiksi purkumies merkata itse roilojen paikat seiniin sekä lattiaan ja tehdä ne samalla muun purun yhteydessä. Purkutöissä voitaisiin tehdä kerralla asunnon suojaus, kylpyhuoneen purku, hormin avaus, timanttioraukset ja roilot. Koska yleensä kylpyhuoneen seinät kuitenkin rapataan uudestaan, voisi roiloamisen sisällyttää esimerkiksi seinien tasoittajan töihin. Taas roiloihin tulevien sähköputkien asennus ja roilojen täyttö voitaisiin antaa myös seinien tasoittajalle. Miksei yksi tekijä voisi tehdä jopa hormin muuraukset palokatkoineen, roilot, sähköputkitukset, tasoitukset, lattiavalun valmisteluineen sekä vedeneristysten ja laatoituksen. Jos kylpyhuoneeseen tulee lattialämmitys, sähköasentajan täytyy kuitenkin tulla välissä asentamaan lattialämmityskaapelit. Lattiavaluun pääseminen edellyttää tietenkin myös, että ainakin lattiakaivot ovat asennettuna.

Uusien viemäri- ja vesijohtonousujen asennus saattaa myös rajoittaa töiden virtausta linjasaneerauksessa. Vaikka toisessa case-kohteessa aikataulut oli yleensä ottaen tehty kylpyhuonekohtaisesti, oli pelkästään viemäri- ja vesijohtonousujen asennuksille varattu jopa viikko. Koska nousulinjat tehdään kerralla koko linjaan, aiheuttaa se linjan ensimmäisinä tehtäviin kylpyhuoneisiin vielä lisää tyhjää aikaa. Tällöin ensimmäiset asunnot valmistuvat edellisestä työvaiheesta jo kauan ennen kuin vesieritykset päästään aloittamaan. Tämän jälkeen asuntoihin tehdään viemäri- ja vesijohtohajotukset. Tässä kohtaa taas rajoittaa linjan uusien vesijohtojen koepaineistus, joka tehdään koko linjaan kerralla. Suhteellisen nopea vaihe, putkieristys taas tehdään, kun koepaineistus on tehty. Ainakin ensimmäisessä case-kohteessa putkieristys tehtiin erillisen urakoitsijan toimesta, ja se tulittiin tekemään moneen kylpyhuoneeseen kerralla, mikä lisää linjan hukka aikaa. Kylpyhuoneiden vesijohtohajotukset ja niiden koepaineistus sekä putkieristys pitäisikin tehdä kylpyhuone kerrallaan ja kaikki vaiheet saman tekijän toimesta. Juuri näin oltiin tehty toisessa Case-kohteessa, erona vain se, että timpuri oli eristänyt putket ennen alakaton tekoa. Näin saadaan mestaa vapautumaan paremmin kylpyhuone kerrallaan. Koko linjan nousulinjat täytyy tietenkin koepaineistaa yhdessä.

Yksi kylpyhuoneiden ja linjan läpimenoajan lyhentämisen rajoittava tekijä case-kohteiden mukaan on itselle luovutukset ja linjojen luovutusprosessi. Asuntoihin ja kylpyhuoneisiin jää liian paljon keskeneräistä ja virheellistä työtä, jota joudutaan paikkaamaan jälkikäteen. Tällaisesta niin sanotusta taakse päin hyppäämisestä pitäisi päästä eroon ja saada työt kerralla kuntoon. Myös viimeistely, siivous- ja raivaustyöt kestävät usein todella kauan ja venyttävät läpimenoaikoja. Tässä on siis paljon kehitettävää, koska korjailut ja viimeistelyt siivouksineen eivät voi yleensä viedä kauaa aikaa. Kuten muut työvaiheet, myös linjojen luovutukset pitäisi saada viimeistelyä asunto- ja kylpyhuonekohtaisesti.

Linjasaneerauksissa riittää vielä paljon potentiaalista kehitettävää. Parannukset eivät kuitenkaan tapahdu hetkessä, vaan askel askeleelta. Kylpyhuoneiden valmistuminen ikään kuin liukuhihnalta ja jopa viikon läpimenoajalla vaatii vielä paljon ponnisteluja, mutta se on täysin mahdollista. Jokainen linjasaneerausprojektin on kuitenkin omanlaisensa ”kylpyhuonetehdas”, joka täytyy saada toimimaan sille parhaalla tavalla.



## 7. JOHTOPÄÄTÖKSET

### 7.1 Tavoitteiden asettaminen ja niiden saavuttaminen

Tavoite eli löytää linjasaneerauksen pullonkaulat oli sinänsä selkeä, mutta se miten tähän tavoitteeseen päästiin ja miten se rajattiin ei niinkään. Suurimman ajan tutkimuksen teosta vei aiheeseen perehtyminen ja syvälinen mietiskely siitä, millaisia pullonkauloja voi olla ja miten niitä löydetään. Myös tutkimuksen teoriaosan hyväksi käyttäminen ja liittäminen suoraan empiriaan ja siihen, miten tutkimuksessa käytettyjen kameroiden materiaalia voidaan käyttää hyväksi, oli yllättävän haastavaa. Lopulta kameroiden materiaalista tehtyjen analyysien ja niiden pohjalta tehtyjen ryhmähaastattelujen avulla saatiin hyvin selvitettyä linjasaneerauksen pullonkauloja ja niiden juurisyitä. Tutkimuksen tavoitteet siis saavutettiin ja keskeisimmät ongelmat linjasaneerauksen läpivirtauksen esteille löydettiin. Tutkijan mielestä tällä hetkellä on tärkeintä saada ratkaistuksi ongelmat, jotka esitettiin tutkimuksen tuloksien yhteenvedossa. Kun kylpyhuonetöiden työvaiheista saadaan suurempia kokonaisuuksia, helpottuu esimerkiksi työvaiheiden tuotantoasteiden tasaaminen resursseilla. Suuren ongelman ratkaisu aukaisee myös siitä johtuvat pienemmät ongelmat.

### 7.2 Tulosten kriittinen arviointi ja hyödynnettävyys

Tutkimuksen tulokset ovat koottu vain tutkimuksessa käytetyistä kahdesta case-kohteesta, joten tuloksien ei voida sanoa olevan yleispäteviä. Linjasaneerauksia toteutetaan monilla eri tavoin ja monille erilaisille taloille. Kuitenkin tutkija uskoo, että tutkimuksessa käytettyjen case-kohteiden hankemuodot, urakkamuodot ja niin sanottu perinteinen tapa toteuttaa remontti ovat kuitenkin vielä selkeästi yleisimmät. Perinteinen putkiremontti, jossa vanhat putket uusitaan vanhoille paikoilleen sisältäen järeitä rakenteiden avauksia, on ainakin varma tapa ja jossain tapauksissa ainoa mahdollinen.

Tulokset voivat olla hyvinkin hyödynnettävissä rakennusalla myös yleisesti, koska tuloksista löydetty ongelmat kuten mestan ja ajan varaaminen, kumppanien vaihtuvuus, töiden jakaminen pieniin osiin eri tekijöille sekä oman edun havittelu ovat rakennusalla varmasti yleisiä. Toki konkreettiset ongelmat, jotka case kohteista löydettiin, eivät välttämättä ole yleisesti ominaisia muille kuin linjasaneerauksille. Tapa, jolla tutkimuksen pullonkaulat analysoitiin, sopii varmasti myös muulle rakentamiselle, joka perustuu samalla tavalla toistuviin työvaiheisiin. Myös pullonkaulojen poistamisen ratkaisut kuten töiden eteneminen pienemmissä kokonaisuuksissa, moniosaamisen lisääminen ja eri urakoitsijoiden yhteistoiminnan jatkuvuus ovat myös välttämättömiä samankaltaiselle ja miksei myös muunlaiselle rakentamiselle.

### 7.3 Jatkotutkimusaiheet

Jatkotutkimusaiheena tutkimuksesta löydettyjen linjasaneerauksen pullonkaulojen ajattelun voisi olla esimerkiksi se, miten työt kannattaa yhdistää ja tasata niin, että työt etenisivät sulavasti. Myös kirjallisuusselvityksessä esiteltyjen tuotannonohjausmenetelmiin perustuville pullonkaulan tunnistusmenettelyjä olisi mielenkiintoista saada käyttöön niin, että niiden avulla keräämän tiedon perustella voidaan löytää yleisimpiä pullonkauloja. Kun työvaiheita saadaan vähennettyä ja yhdistettyä, olisi taas mielenkiintoista määrittää eri työryhmien tuotantotahtien ja työryhmien koot. Myös tätä kautta pystytään tunnistamaan pullonkaulatyyövaiheet ja sisäiset puskurit, jolloin esimerkiksi tahtiaikatuotannon aikaansaaminen voi onnistua. Todella mielenkiintoista olisi myös tutkia laajemminkin, mitä vaaditaan, että linjasaneeraukseen saadaan toimiva Leaniin perustuva JIT-tuotanto, jossa kylpyhuoneita valmistuisi käytännössä kuin tehtaan liukuhihnalta.

## LÄHDELUETTELO

- Alarcón, L. (1997). *Lean Construction*. Rotterdam: A.A. Belkema.
- Balderstone, S. J., & Mabin, V. J. (1998). *A Review of Goldratt's Theory of Constraints (TOC) – lessons from the international literature*. Wellington: Victoria University of Wellington New Zealand.
- Ballard, G. (2001). Cycle time reduction in home building. *Proc. 9th Annual Conference of the Int'l. IGLC 9*. Singapore: Group for Lean Construction.
- Bashford, H., Sawhney, A., Walsh, K., & Kot, K. (2004). Implications of Even Flow Production Methodology for U.S. Housing Industry. *J. Constr. Engrg and Mgmt., ASCE*, (pp. 330-337). New York.
- Bertelsen, S. (2010). The Importance of Velocity. *18th Annual Conference, International Group for Lean Construction, Haifa, Israel, July14-16, 2010*. Haifa, Israel: International Group for Lean Construction.
- Bulhoes, I., Picchi, F., & Folch, A. (2006). Actions to implement continuous flow in the assembly of prefabricated concrete structure. *Proc. 14th Annual Conf. of the Int'l. Group for Lean Constr. (IGLC 14)*. Santiago, Chile.
- Elbert, M. (2012). Value Stream Maps: The Amazing Tool (Critical to Your Success). In M. Elbert, *Lean Production for the Small Company* (pp. 39-75). Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- Fiallo, M., & Howell, G. (2012). Using Production system Design and Takt Time to Improve Project Performance. *Proc. 20th Annual Conference of the Int'l Group for Lean Construction (IGLC 20)*. San Diego, CA, USA.
- Fira Palvelut Oy. (2016, 8 6). <http://www.firapalvelut.fi/>. Retrieved from <http://www.firapalvelut.fi/>
- Fira Palvelut Oy. (2016, 2 4). Putkiremontti viikossa.
- Fira Palvelut Oy. (2016, 3 22). Virtauksen lyhyt oppimäärä FP- Firan Tuotannon Kehityspalaveri. Vantaa.
- Forbes, L. H., & Ahmed, S. M. (2011). *Modern construction lean project delivery and integrated practices*. Boca Raton: CRC Press.

- Fransson, A., Berghede, K., & Tommelein, I. D. (2013). TAKT TIME PLANNING FOR CONSTRUCTION OF EXTERIOR CLADDING. *Proceedings IGLC-21* (pp. 527-536). Fortaleza, Brazil: International Group for Lean Construction.
- Goldratt, E. M. (1990). *What is this thing called Theory of Constraints and how should it be implemented*. Great Barrington: North River Press Publishing Corporation.
- Goldratt, E. M. (1997). *Critical Chain*. Great Barrington: Great Barrington, North River Press Publishing Corporation.
- Goldratt, E. M. (2014). *The Goal: A Process of Ongoing Improvement*. North River Press; 30th Anniversary Edition edition (June 1, 2014).
- Heikura, H. (2014). *Allianssimallin sovellettavuus linjasaneerausprojekteissa*. Tampere: Tampereen Teknillinen Yliopisto.
- Heinonen, A. (2015, 11 5). Lean Hyttiremontti. *Aleksi\_Heinonen\_Makinen1-1*.
- Hines, P., & Rich, N. (1997). The seven value stream mapping tools. *International Journal of Operations & Production Management*, 46 - 64.
- Hines, P., & Taylor, D. (2000). *Going lean - A guide to implementation*. Cardiff, UK.: Lean enterprise Research Centre.
- Howell, G. A. (1999). WHAT IS LEAN CONSTRUCTION. *Proceedings, International Group for Lean Construction 7*. University of California, Berkeley, CA, USA.
- Jan, S.-H., & Ho, S. P. (2006). CONSTRUCTION PROJECT BUFFER MANAGEMENT IN SCHEDULING. *2006 Proceedings of the 23rd ISARC, Tokyo, Japan* (pp. 858-863). Tokio: International Symposium on Automation and Robotics in Construction.
- Kenley, R., & Seppänen, O. (2009). Location-based management of construction projects: Part of a new typology for project scheduling methodologies. *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference M. D. Rossetti, R. R. Hill, B. Johansson, A. Dunkin and R. G. Ingalls, eds*.
- Kenley, R., & Seppänen, O. (2010). *Location-Based Management for Construction: Planning, Scheduling and Control*. Lontoo ja New York: Spon Press.
- Kim, D., & Park, H.-S. (2006). Innovative Construction Management Method: Assessment of Lean Construction Implementation. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 381-388.
- Koskela, L. (1992). *Application of the New Production Theory to Construction. Technical Report #72*. Center for Integrated Facilities Engineering, Stanford University.

- Koskela, L., & Koskenvesa, A. (2003). *Last Planner -tuotannonohjaus rakennustyömaalla*. Espoo: VTT.
- Koskela, L., Howell, G., Ballard, G., & Tommelein, I. (2002). The foundations of lean construction. In R. Best, & G. de Valence, *Design and Construction: Building in Value* (pp. 211-226). Butterworth-Heinemann.
- Koskela, L., Stratton, R., & Koskenvesa, A. (2010). Last Planner and Critical Chain in Construction Management: Comparative Analysis. *18th Annual Conference, International Group for Lean Construction, Haifa, Israel*. Haifa, Israel.
- Koskenvesa, A. (2011). Rakennustyön tuottavuus 1975–2010. In *Rakentajain kalentari* (pp. 138-146). Rakennustietosäätiö RST, Rakennustieto Oy ja Rakennusmestarit ja insinöörit AMK RKL ry. Retrieved from <https://www.rakennustieto.fi/Downloads/RK/RK110503.pdf>
- Koskenvesa, A., & Sahlstedt, S. (2011). *Rakennushankkeen ajallinen suunnittelu ja ohjaus*. Helsinki: Talonrakennusteollisuus ry ja Rakennustietosäätiö RTS.
- Lasa, I. S., Laburu, C. O., & de Castro Vila, R. (2008). *An evaluation of the value stream mapping tool*. Business Process Re-engineering & Management Journal, Vol. 14 Iss: 1, pp.39 - 52.
- LCI Finland. (28. Toukokuu 2015). *Lean Construction Institute.fi*. Noudettu osoitteesta <http://lci.fi/blog/menetelmakortti/tahtiaikatuotanto/>
- Leach, L. P. (2000). *Critical Chain Project Management*. Boston: Artech House.
- Leach, L. P. (2014). *Critical Chain Project Management*. Artech House; 3. painos (March 1, 2014).
- Li, H., Lu, W., & Huang, T. (2009). Rethinking project management and exploring virtual desing and construction as a potential solution. *Construction Management and Economics*.
- Liker, J. (2008). *Toyotan tapaan*. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.
- Liker, J. K. (2004). *The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer*. New York: McGraw-Hill.
- Merikallio, L. (2015, 05 03). *LCI Finland*. Retrieved from <http://lci.fi/blog/menetelmakortti/last-planner-systeemi/>
- Merikallio, L., & Haapasalo, H. (2009). *Projektituotantojärjestelmän strategiset kehittämiskohteet kiinteistö- ja rakennusalalla*. Rakennusteollisuus ja LCI-FINLAND.

- Pai, S., & Diridharan, S. (n.d.). APPLICATION OF THEORY OF CONSTRAINTS AND CRITICAL CHAIN METHOD FOR PROJECT MANAGEMENT IN ULTRA MEGA POWER PROJECTS (UMPP). *International Journal of Power System Operation and Energy Management*, 105-108.
- Rakennusteollisuus. (2016, 4 12). Retrieved from <https://www.rakennusteollisuus.fi/Tietoa-alasta/Talous-tilastot-ja-suhdanteet/Kuviopankki/>
- RIL. (2009). *Asuinkerrostalojen linjasaneeraus - hankeprosessi ja tekniset ratkaisut 60- ja 70-lukujen kerrostaloissa. 1, Perusteet ja ohjeet / päätoimittaja Eino Rantala*. Helsinki: Suomen rakennusinsinöörien liitto RIL, 2009 Saarijärven Offset Oy.
- Roser, C., & Nakano, M. (2015). A Quantitative Comparison of Bottleneck Detection Methods in Manufacturing Systems with Particular Consideration for Shifting Bottlenecks. In C. Roser, & M. Nakano, *Advances in Production Management Systems: Innovative Production Management Towards Sustainable Growth* (pp. 273-281). Springer International Publishing.
- Rother, M., & Shook, J. Y. (2009). *Learning to See: Value Stream Mapping to Add Value and Eliminate Muda*. Lean Enterprise Institute, Inc.
- RTS, R. R. (2006). *Ratu G-0295. Linjasaneeraus. Toteutusohje*.
- Salminen, J. (2013, 11 21). Luotettava ja tasapainotettu tuotanto rakennusalalla - Tahtiaikatuotannosta uutta ajattelua ohjaukseen. *LCI-Salminen-tahtiaikatuotanto\_LCI\_21112013*.
- Seppänen, O., Ballard, G., & Pesonen, S. (2010). The Combination of Last Planner System and Location-Based Management System. *Lean Construction Journal*, 43-54.
- Sproull, B., & Nelson, B. (2015). *Epiphanized, A Novel on Unifying Theory of Constraints, Lean, and Six Sigma*. Boca Raton: Taylor & Francis Group.
- Stratton, R., Koskela, L., Alsehaimi, A., & Koskenvesa, A. (2010). Applying manufacturing flow theory to construction management. *Proceedings of the Interantional European Operations Management Association Conference Porto, Portugal*.
- Tommelein, I. D., Riley, D. R., & Howell, G. A. (1999). Parade Game: Impact of Work Flow Variability on Trade Performance. *Journal of Construction Engineering and Management*, 304-310.

- Tulasi, C. L., & Rao, A. R. (2012). Review on Theory of Constraints. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 334-344.
- Wardell, C. (2003). Build by numbers. *Builder Magazine*, 1-6.
- Watson, K. J., Blackstone, J. H., & Gardiner, S. C. (2007). The evolution of a management philosophy: The theory of constraints., (pp. 387-402).
- Velarde, G., Saloni, D., van Dyk, H., & Giunta, M. (2009). Process flow improvement proposal using lean manufacturing philosophy and simulation techniques on a modular home manufacturer. *Lean Constr. Journal*, 77-93.
- Westerlund, M. C. (2004). Theory of Constraints Revisited – Leveraging Teamwork by Systems Intelligence. In R. P. Hämäläinen, & E. Saarinen, *Systems Intelligence: Discovering a hidden competence in human action and organizational life* (pp. 179-196). Helsinki: Helsinki University of Technology: Systems Analysis Laboratory Research Reports.
- Womack, J. (1990). Value stream mapping. *Manufacturing Engineering* 136 (5), 145-156.
- Womack, J. P., & Jones T., D. (2003). *Lean Thinking: Banish Waste and Create Wealth in Your Corporation*. New York: Free press.
- Womack, J., Jones, D., & Roos, D. (1990). *The Machine That Changed The World: The story Of Lean Production*. New York: Harper Perennial Edition.
- Womack, J., Jones, D., & Roos, D. (2007). *The Machine that changed the world: the story of lean production. New ed.* Lontoo: Simon & Schuster.
- Yang, J.-B. (2007). How the Critical Chain scheduling Method is Working for Construction. *Cost Engineering*, 25-32.
- Yassine, T., Bacha, M. B., Fayek, F., & Hamzeh, F. (2014). Implementing Takt-Time Planning in Construction to Improve Work Flow. *Proceedings IGLC-22*, (pp. 787-798). Oslo, Norway.
- Yu, H., Tweed, Y., Al-Hussein, M., & Nasser, R. (2009). Development of Lean Model for House Construction Value Steam Mapping. *J. Constr. Engrg. and Mgmt., ASCE*, (pp. 782-790). New York.

# LIITTEET (6 KPL)

## LIITE 1: Case 1. Työvaiheanalyysi

Työpäivä	fikonpäivä	Päivä	Kellonaika sisä	Kellonaika u	Kesto	Sijainti	Työlaji	Mitä tekee
1	3	11.11.2015	10:07	12:07	2:00 KPH	Purku	Kalustepurku. Suojaus oli tehty ennen kameran asentamista	
1	3	11.11.2015	12:07	12:21	0:14 KPH	Purku	Kalustepurku, laattojen irroitus ja suojaseinän asennus	
1	3	11.11.2015	12:21	13:06	0:45 KPH	Purku	Suojaseinän asennus+ jotain kantamista	
2	4	12.11.2015	7:34	8:02	0:28 KPH	Purku	Jätteen kantoa	
2	4	12.11.2015	10:35	10:55	0:20 KPH	Purku	Valmistelua	
2	4	12.11.2015	11:43	12:39	0:56 KPH	Purku	Piikkaus	
2	6				0:00			
2	6				0:00			
2	4	12.11.2015	15:33	15:36	0:03 KPH	Purku	lakausia	
3	1	16.11.2015	12:47	12:50	0:03 KPH	Purku	tuotiin jäteastioita	
3	1	16.11.2015	13:18	14:02	0:44 KPH	Purku	Jätteen kantoa	
4	2	17.11.2015	10:54	10:55	0:01 KPH	Purku	Jätteen kantoa	
4	2	17.11.2015	11:41	11:43	0:02 KPH	Purku	Jätteen kantoa	
4	2	17.11.2015	12:59	15:07	2:08 KPH	Purku	Jätteen kantoa	
5	3	18.11.2015	8:24	8:30	0:06 KPH	Purku	Kamojen tuomista	
5	3	18.11.2015	9:31	10:52	1:21 KPH	Purku	Imurointia	
5	3	18.11.2015	11:57	12:18	0:21 KPH	Purku	Putsaus+purku	
5	3	18.11.2015	13:57	15:55	1:58 KPH	Purku	Kamojen kantoa?	
6	4	19.11.2015	7:39	10:56	3:17 KPH	Purku	Jätteen kanto, putsaus ja piikkaus	
6	4	19.11.2015	11:46	13:00	1:14 KPH	Purku	Jätteen kanto ja putsaus	
6	4	19.11.2015	13:22	15:10	1:48 KPH	Purku	keittiössä Ja yleistä imurointia	
6	4	19.11.2015	15:40	15:43	0:03 KPH	Purku	Purkujäljen tarkastelua	
7	5	20.11.2015	7:23	7:27	0:04 KPH		Lattiakoron merkkkaus	
7	5	20.11.2015	7:49	7:55	0:06	LVV nousut	Viemäriputken tuontia	
7	5	20.11.2015	8:22	8:42	0:20 KPH	Purku	Viimeistelyä. muutaman vanhan putken pätkiä kantaa pois	
7	5	20.11.2015	9:02	12:08	3:06	LVV nousut	Putkari menee ks. aikavälillä keittiön hommiin ja iso viemäri putki häviää keittiön lattialta. Hormin keittiön puolella	
7	5	20.11.2015	12:05	12:22	0:17	Purku	siivousta	
7	5	20.11.2015	13:25	13:28	0:03 KPH		Uuden kaivon asentaminen	
8	1	23.11.2015	12:54	14:47	1:53 KPH	Timantti+roilot	Timanttiporaus	
8	1	23.11.2015	16:32	16:51	0:19 KPH	Sähköjohdot	Mittailua ja miettimistä?	
9	2	24.11.2015	7:44	11:00	3:16 KPH	Sähköjohdot	Johdot eteisestä kylppäriin ja keittiöön?	
9	2	24.11.2015	12:55	13:08	0:13 KPH	Sähköjohdot		
9	2	24.11.2015	14:00	14:45	0:45 KPH	Timantti+roilot	Purkumies tuo imurin ja asentaa suojaseinät+alipainesittajan ja tekee roiloja? Lattiaan ja seiniiin?	
9	2	24.11.2015	14:43	14:57	0:14 KPH		Sähköit ihmettelee jotein ja hakee timpurin? Timpuri käy poraamassa jotain sähköreille?	
9	2	24.11.2015	15:21	15:31	0:10 KPH	Timantti+roilot	Jatkaa hommia hetken. Roiloja?	
10	3	25.11.2015	8:08	10:37	2:29 KPH	Timantti+roilot	Roiloja?	
10	3	25.11.2015	14:04	14:08	0:04 KPH	Timantti+roilot	Jätteen kantoa	
10	3	25.11.2015	14:20	15:05	0:45 KPH	Timantti+roilot	Kamojen ja suojausten poistoa	
11	4	26.11.2015	7:45	8:33	0:48 KPH	PK poistoputki+si	Sähköputkien laitto seiniiin ja rasioihin	
11	4	26.11.2015	10:35	10:39	0:04	Timantti+roilot	Imurointia	
11	4	26.11.2015	12:49	13:23	0:34		Laattamies kantelee jotain vessaan ja sähkörit kävelee eestaas keittiöön	
12	5	27.11.2015	8:00	8:05	0:05 KPH		Timpuri menee lastan? Ja sangon kanssa kylppäriin	
12	5	27.11.2015	9:55	10:00	0:05 KPH		Lattiavalu+valmiä Tuketyö?	
12	5	27.11.2015	11:54	12:03	0:09 KPH		Lattiavalu+valmiä Kaivon koron asettelu. Timpuri	
12	5	27.11.2015	14:10	14:55	0:45 KPH		Lattiavalu+valmiä Tuketyö?	
13	1	30.11.2015	9:25	10:30	1:05 KPH	Timantti+roilot	Lattiaroilojen tekoa	
14	3	2.12.2015	8:20	8:23	0:03 KPH	PK poistoputki+si	Sähköputkea	
14	3	2.12.2015	8:45	14:52	6:07 KPH	Seinien ja roiloje	Seinien tasoitus	
14	3	2.12.2015	9:40	12:08	2:28 KPH		Putkari tekee jotain ks. aikavälillä. Samassa tilassa seinien tasoitajan kanssa	
15	4	3.12.2015	6:57	9:42	2:45 KPH	Seinien ja roiloje	Seinien tasoitus	
15	4	3.12.2015	14:07	14:12	0:05 KPH	Sähköjohdot	Sähkörit tuo tikkaan ja puihaa	
16	5	4.12.2015	8:16	9:48	1:32 KPH	Sähköjohdot	Sähkörit vetää puihaa. Katossa ja rasioihin. komero ja kph	
17	1	7.12.2015	8:27	10:50	2:23 KPH	Sähköjohdot	Sähkörit vetää puihaa. Katossa ja rasioihin. komero ja kph	
18	2	8.12.2015	12:50	13:30	0:40	Vesijohdot	Putkari häärää jotain, kantaa ainakin käyttöviesijohdot(pun ja sin muoviputket) keittiön puolelle	
19	3	9.12.2015	7:14	14:30	7:16 KPH	Viemärihajotukse	Ilmeisesti viemärihajotuksia koska näkyy mutkia ja pantoja	
20	4	10.12.2015	7:14	7:26	0:12 KPH		Joko käy tekemässä kylppäriä jotain. Ei näy	
20	4	10.12.2015	8:46	11:01	2:15 KPH	LVIS kalustus	Puihaa ja valokatkaisimia	
21	5	11.12.2015	12:27	13:42	1:15 KPH	Lattiavalu+valmiä	Imurointi+primeri	
22	1	14.12.2015	6:59	7:25	0:26 KPH	Lattiavalu+valmiä	harjaista, korkomerkit yms	
22	1	14.12.2015	7:25	9:50	2:25 KPH	Lattiavalu+valmiä	Valu	
23	2	15.12.2015	10:33	10:43	0:10 KPH	Lattiavalu+valmiä	timpuri laittaa kynnsrimat	



23	2	15.12.2015	12:08	12:58	0:50 KPH	Lattiavalu+valmi Primeri ja tasoitusmassa
23	2	15.12.2015	14:00	14:20	0:20 KPH	Lattiavalu+valmi Viimestelyä
24	3	16.12.2015	7:22	7:48	0:26 KPH	Hormimuuraus+p timpuri tekee jotain keittiössä. Valua? Hormimuurausta? Palokatkoja?
24	3	16.12.2015	10:40	11:50	1:10 KPH	Vedeneristys-laa hioo lattiaa ja vähän seinää. Valmistele vedeneristystä.
24	3	16.12.2015	11:50	12:57	1:07 KPH	Vedeneristys-laa Seinien vedeneristys
25	4	17.12.2015	8:25	8:53	0:28 KPH	Vedeneristys-laa Seinien vedeneristys toinen kerros
25	4	17.12.2015	8:55	12:10	3:15 KPH	Hormimuuraus+p timpuri tekee jotain keittiössä
25	4	17.12.2015	12:53	14:11	1:18 KPH	Vedeneristys-laa Laattamiehet häärää, mittaillee ja tuo ainakin laattoja
26	5	18.12.2015	7:36	14:51	7:15 KPH	Vedeneristys-laa seinien laatoitus
27	1	21.12.2015	14:16	15:15	0:59	Alakatot+kotelot timpuri tekee koteloa komeroon
28	2	22.12.2015	7:20	8:41	1:21	Alakatot+kotelot timpuri tekee koteloa komeroon
28	2	22.12.2015	8:30	8:50	0:20 KPH	Hormimuuraus+p Timpuri tekee keittiössä jotain. Ilmeisesti sekoittaa massaa ainakin.
29	3	23.12.2015	10:26	11:00	0:34 KPH	Vesijohtohajotus Putkari tekee kylppäriä jotain. Yksi kapea kupariputki vilailtaa.
30	1	28.12.2015	9:50	10:14	0:24 KPH	Vesijohtohajotus Putkari tuo kaasuhiitsin joksikin aikaa kylppäriin
30	1	28.12.2015	11:30	14:00	2:30 KPH	Vedeneristys-laa Seinien saumaus
31	2	29.12.2015	8:45	9:05	0:20 KPH	Vedeneristys-laa Lattian putsaus+primeri? Vai vesierkka?
31	2	29.12.2015	10:30	10:50	0:20 KPH	Vedeneristys-laa Vesierkka lattiaan
32	3	30.12.2015	14:17	14:23	0:06 KPH	Vedeneristys-laa Vesierkka lattiaan toinen kerros
33	4	31.12.2015	11:39	12:36	0:57 KPH	Vedeneristys-laa Lattialaatta. Kamojen kantoa ja mittailua
34	1	4.1.2016	6:36	7:53	1:17 KPH	Vedeneristys-laa Seinälaatoitus. Ovien karmit
34	1	4.1.2016	7:54	9:12	1:18 KPH	Vedeneristys-laa Lattialaatoitus
35	2	5.1.2016	11:56	12:04	0:08 KPH	Vedeneristys-laa Seinälaatan saumaus karmin vieressä?
35	2	5.1.2016	13:34	15:00	1:26 KPH	Vedeneristys-laa Lattialaatan saumaus
36	3	6.1.2016	14:30	14:56	0:26 KPH	Vedeneristys-laa Silikonit
37	4	7.1.2016	9:14	9:32	0:18 KPH	Vesijohtohajotus Eristäjä
37	4	7.1.2016	12:08	12:18	0:10 KPH	LVIS kalustus Jotain pihuoja vetää
37	4	7.1.2016	12:19	12:41	0:22 KPH	Timpuri laittaa levysuojat lattiaan
37	4	7.1.2016	13:16	14:06	0:50 KPH	Vesijohtohajotus Eristäjä
38	5	8.1.2016	7:30	7:49	0:19	Tasoitus-maalau Joku tasoittelee seinissä jotain komeron puolella
39	1	11.1.2016	9:40	15:10	5:30 KPH	Vesijohtohajotus Kromit
40	2	12.1.2016	7:35	10:55	3:20 KPH	Vesijohtohajotus Hajotuksia ja kromeja
41	3	13.1.2016	9:04	9:55	0:51 KPH	Vesijohtohajotus Eristäjä
41	3	13.1.2016	10:53	11:00	0:07 KPH	Sähköri käy jotain hääräessä. Mittaus?
41	3	13.1.2016	12:22	12:33	0:11 KPH	Vesijohtohajotus Putkari käy jotain asentamassa nopeasti. Iso pussi mukana
41	3	13.1.2016	14:54	15:02	0:08	Joku tasoittelee seinissä jotain komeron puolella tikkailla
42	4	14.1.2016	8:45	10:10	1:25 KPH	Alakatot+kotelot Timpuri tekee alakaton runkoa. Toinen asentaa taustalla keittiökaappeja takaisin.
42	4	14.1.2016	10:51	11:12	0:21 KPH	Kynnyslistat tullaan laittamaan
42	4	14.1.2016	12:43	13:23	0:40	Timpureita menee eestaas keittiöä. Asentaa kaappeja? Kaappiin reiät viemäriille ja vesipurkille? Patolevyt?
42	4	14.1.2016	12:49	13:05	0:16 KPH	Alakatot+kotelot Alakaton levyjä mittaa ja tuo ainakin
43	5	15.1.2016	9:00	10:47	1:47	keittiön välitilalaatta
43	5	15.1.2016	10:30	11:00	0:30 KPH	Alakatot+kotelot Alakaton tekoa
43	5	15.1.2016	13:15	15:17	2:02 KPH	Alakatot+kotelot Alakaton tekoa
43	5	15.1.2016	13:12	14:30	1:18	Timpuri tekee jotain keittiössä
44	1	18.1.2016	7:18	12:02	4:44 KPH	Alakatot+kotelot Alakaton tekoa. Paneelit sekä toinen tekee listoituksia ovien piteihin
44	1	18.1.2016	12:07	14:20	2:13 KPH	Kalusteet+varust Timpuri asentaa kalusteita
44	1	18.1.2016	15:00	15:16	0:16	joku tekee jotain komerossa
45	2	19.1.2016	14:36	15:00	0:24	Timpuri tekee jotain keittiössä
45	2	19.1.2016	16:19	17:22	1:03 KPH	Alakatot+kotelot Alakaton listoitusta?
46	3	20.1.2016	13:10	13:30	0:20	laattamies keittiössä. Saumaus? Myös timpuri käy välillä
47	4	21.1.2016	12:58	14:36	1:38 KPH	Kalusteet+varust Suihkuseinät?
48	5	22.1.2016	7:18	7:38	0:20	Timpuri purkaa olkkari suojaseinän ja ottaa kph lattian suojat pois
48	5	22.1.2016	8:22	9:18	0:56 KPH	LVIS kalustus Sähköri vetää johtoja valaisimille? Ja asentaa valoja?
48	5	22.1.2016	11:52	12:06	0:14	Joku tulee tikkaiden ja silikonipyyssyn kanssa komeroon
48	5	22.1.2016	14:53	15:25	0:32 KPH	Kalusteet+varust kaksi timpuria kalustaa
49	6	23.1.2016	7:58	8:13	0:15	Tasoitus-maalau Maalataan komeroa? Tai siellä olevaa koteloa?
49	6	23.1.2016	11:01	13:13	2:12 KPH	LVIS kalustus sähköri kiertää häärää säätää ja testaa valoja. Yhden katkaisimen kanssa ongelmia?
50	1	25.1.2016	8:09	8:21	0:12 KPH	LVIS kalustus sähköri tekee jotain ja testailee valoja kylppäriä ja komerossa
50	1	25.1.2016	8:28	8:38	0:10	Tasoitus-maalau timpuri tasoittelee tikkailla komerossa
50	1	25.1.2016	8:38	10:50	2:12 KPH	LVIS kalustus Testaillaan ja säädetään valokatkaisimia. Yhden (Saman) kanssa menee kauan ja työnjohtokin tulee ihmettelmään. Jotain vikaa ilmeisesti.
50	1	25.1.2016	12:21	12:23	0:02	timpuri tekee jotain komerossa tikkailla
51	2	26.1.2016	12:26	15:22	2:56 KPH	LVIS kalustus putkari kalustaa
52	3	27.1.2016	7:25	10:30	3:05 KPH	LVIS kalustus putkari kalustaa
53	4	28.1.2016	8:12	8:25	0:13	suojien purkaa kämpstä. Timpureita ja siivooja
53	4	28.1.2016	8:25	8:27	0:02 KPH	ovien takaisin laitto kylppäriin. Myös ulkooven sisäovi (Tulee kameran eteen)
53	4	28.1.2016	8:30	10:30	2:00	loppusiivous. Ei varmuutta aloitusajasta koska ovi kmaran edessä.
54	7	29.1.1900			0:00	Tasoitus-maalau kerran vilahdaa klo 14.30 oven takaa ilmeisesti maalari koska maalarinteippi kädessä.
55	7	31.1.2016	12:40	13:20	0:40 KPH	Tasoitus-maalau Maalataan karmeja. Varmaankin aloittanut jo aikaisemmin mutta ovi tuli pois kameran edestä vasta ip
56	1	1.2.2016	8:30	11:00	2:30	loppusiivousta ilmeisesti. Välillä näkyy kamerassa.
57	2	2.2.2016			0:00	klo 12 vilahdaa ilmeisesti siivooja kamera piilossa
58	4	4.2.2016			0:00	10:47 vilahdaa siivooja. Kamera piilossa





# LIITE 3: Case 2. Työvaiheanalyysi

Yöpäivä	riikonpäivä	Kellonaika sisä	Kellonaika u Kesto	Sijainti	Työläji	Mitä tekee
1	1	9.11.2015	11:52	13:30	1:38 Asunto	
1	1	9.11.2015	14:40	14:50	0:10 KPH	Purku sis. Asbesti ja suojaus
2	2	10.11.2015	7:34	15:30	7:56 KPH	Purku sis. Asbesti ja suojaus
3	3	11.11.2015	7:30	14:55	7:25 KPH	Purku sis. Asbesti ja suojaus
4	4	12.11.2015	12:29	14:36	2:07 KPH	Purku sis. Asbesti ja suojaus
5	5	13.11.2015	7:22	11:37	4:15 KPH	Purku sis. Asbesti ja suojaus
6	1	16.11.2015	10:02	12:15	2:13 KPH	Purku sis. Asbesti ja suojaus
6	1	16.11.2015	12:15	12:44	0:29 KPH	Purku sis. Asbesti ja suojaus
6	1	16.11.2015	14:02	14:16	0:14 KPH	Purku sis. Asbesti ja suojaus
7	3	18.11.2015	7:34	9:07	1:33 KPH	Ohjurit ja rappaus
7	3	18.11.2015	12:04	12:46	0:42 KPH	Ohjurit ja rappaus
8	4	19.11.2015	7:26	7:29	0:03 KPH	Ohjurit ja rappaus
8	4	19.11.2015	10:04	11:18	1:14 KPH	Ohjurit ja rappaus
9	5	20.11.2015	7:46	7:49	0:03 KPH	Ohjurit ja rappaus
9	5	20.11.2015	9:54	9:56	0:02 KPH	Ohjurit ja rappaus
10	1	23.11.2015	9:53	10:03	0:10 KPH	Kaivopohja ja roilot
10	1	23.11.2015	12:17	12:19	0:02 KPH	Kaivopohja ja roilot
10	1	23.11.2015	12:24	12:32	0:08 KPH	Kaivopohja ja roilot
10	1	23.11.2015	14:30	14:47	0:17 KPH	Kaivopohja ja roilot
11	2	24.11.2015	8:46	#####		
12	1	30.11.2015	10:30	12:15	1:45	
12	1	30.11.2015	12:49	13:11	0:22 KPH	Viemäri- ja vesijohtonousut
13	2	1.12.2015	7:40	8:01	0:21 KPH	Viemäri- ja vesijohtonousut
13	2	1.12.2015	8:25	8:53	0:28 KPH	Viemäri- ja vesijohtonousut
13	2	1.12.2015	11:46	14:52	3:06 KPH	Viemäri- ja vesijohtonousut
13	2	1.12.2015	14:54	14:56	0:02 KPH	Viemäri- ja vesijohtonousut
14	3	2.12.2015	7:29	15:15	7:46 KPH	Viemäri- ja vesijohtonousut
14	3	2.12.2015	9:52	11:00	1:08 KPH	Viemäri- ja vesijohtonousut
14	3	2.12.2015	11:03	11:20	0:17 KPH	Viemäri- ja vesijohtonousut
14	3	2.12.2015	11:21	11:48	0:27 KPH	Viemäri- ja vesijohtonousut
14	3	2.12.2015	12:00	12:33	0:33 KPH	Viemäri- ja vesijohtonousut
14	3	2.12.2015	12:33	13:33	1:00 KPH	Viemäri- ja vesijohtonousut
15	4	3.12.2015	7:18	9:24	2:06 KPH	Viemäri- ja vesijohtonousut
15	4	3.12.2015	12:12	12:40	0:28 KPH	Viemäri- ja vesijohtonousut
16	5	4.12.2015	8:13	13:37	5:24 KPH	Viemäri- ja vesijohtonousut
17	1	7.12.2015	7:43	7:55	0:12 KPH	Viemäri- ja vesijohtonousut
17	1	7.12.2015	9:57	10:27	0:30 KPH	Viemäri- ja vesijohtonousut
17	1	7.12.2015	11:55	13:15	1:20 KPH	Viemäri- ja vesijohtonousut
18	2	8.12.2015	9:42	9:50	0:08 KPH	Viemäri- ja vesijohtonousut
19	3	9.12.2015	7:09	7:10	0:01 KPH	Viemäri- ja vesijohtonousut
19	3	9.12.2015	7:25	7:29	0:04 KPH	Viemäri- ja vesijohtonousut
19	3	9.12.2015	8:55	9:02	0:07	Viemäri- ja vesijohtonousut
19	3	9.12.2015	12:15	14:30	2:15 KPH	Viemäri- ja vesijohtonousut
20	4	10.12.2015	7:30	14:15	6:45 KPH	Viemäri- ja vesijohtonousut
21	5	11.12.2015	7:20	11:00	3:40 KPH	Viemäri- ja vesijohtonousut
22	4	17.12.2015	9:40	9:50	0:10 KPH	Viemäri- ja vesijohtonousut
23	5	18.12.2015	8:30	12:00	3:30 KPH	Viemäri- ja vesijohtonousut
24	1	21.12.2015	7:35	9:20	1:45 KPH	Viemäri- ja vesijohtonousut
24	1	21.12.2015	9:54	9:56	0:02 KPH	Viemäri- ja vesijohtonousut
24	1	21.12.2015	13:07	13:10	0:03 KPH	Viemäri- ja vesijohtonousut
24	1	21.12.2015	14:34	14:40	0:06 KPH	Viemäri- ja vesijohtonousut
25	2	22.12.2015	8:44	10:00	1:16 KPH	Viemäri- ja vesijohtonousut
25	2	22.12.2015	10:00	10:04	0:04 KPH	Viemäri- ja vesijohtonousut
26	3	23.12.2015	7:50	8:42	0:52 KPH	Viemäri- ja vesijohtonousut
27	1	28.12.2015	9:00	12:18	3:18 KPH	Viemäri- ja vesijohtonousut

28	1	11.1.2016	14:12	14:24	0:12 KPH	LVI-kalustus	sähköri asentaa rasioita
28	1	11.1.2016	14:55	15:05	0:10 KPH	LVI-kalustus	Putkari käy joutain säätämässä/tarkistamassa seinustalla (ei näy) ja lattiakäivöillä
29	4	14.1.2016	12:37	12:39	0:02 KPH	LVI-kalustus	Joku käy uretaaniopin kanssa katon rajassa/hormilla?
30	5	15.1.2016	8:43	10:20	1:37	LVI-kalustus	Sähköri häärää eteisessä
30	5	15.1.2016	12:09	12:56	0:47	LVI-kalustus	Timperi mitalle ja tekee koteiloita eteisessä? Ei näy kunnolla
31	1	18.1.2016	14:29	14:32	0:03 KPH	LVI-kalustus	Suojateippejä pois oven karmeista
32	2	26.1.2016	7:44	7:55	0:11 KPH	LVI-kalustus	Muutama typpi ihmettelee ja katselee piirustuksia? Kylppärissä, Sähkörit? ja laattamies?
32	2	26.1.2016	8:45	9:45	1:00 KPH	LVI-kalustus	Joku tekee jotain. Ei näy kameraan. Kalusteita ei näy. Silikonipyyssi vilahuttaa
32	2	26.1.2016	9:40	10:30	0:50 KPH	LVI-kalustus	Jatkuu edellinen
32	2	26.1.2016	13:10	13:30	0:20 KPH	LVI-kalustus	Jatkuu edellinen
32	2	26.1.2016	14:37	14:46	0:09 KPH	LVI-kalustus	Joku ilmeisesti maalaa katon rajassa pensselillä
33	3	27.1.2016	7:40	7:44	0:04 KPH	LVI-kalustus	Sama jatkuu
33	3	27.1.2016	7:46	8:08	0:22 KPH	LVI-kalustus	Joku tekee kylppärissä jotain. Samalla toinen kantaa suihkuseinät oven viereen.
33	3	27.1.2016	12:00	12:47	0:47 KPH	LVI-kalustus	Alakatto ja muut timpurit
33	3	27.1.2016	13:00	13:09	0:09 KPH	LVI-kalustus	Alakatto ja muut timpurit
33	3	27.1.2016	14:15	14:26	0:11 KPH	LVI-kalustus	Alakatto ja muut timpurit
34	4	28.1.2016	8:42	8:49	0:07 KPH	LVI-kalustus	Alakatto ja muut timpurit
34	4	28.1.2016	11:45	14:18	2:33 KPH	LVI-kalustus	Kalustus
34	4	28.1.2016	14:20	15:05	0:45	LVI-kalustus	Timperi kalustaa
35	1	1.2.2016	8:52	9:37	0:45	LVI-kalustus	Kameran yläpuolella kotelon takaa?
35	1	1.2.2016	12:42	13:30	0:48 KPH	LVI-kalustus	Pahohälytintien asennus eteiseseen
35	1	1.2.2016	15:57	15:18	1:21	LVI-kalustus	Timpurit laittaa suihkuseinän hiinni listaan
36	2	2.2.2016	7:25	7:26	0:01 KPH	LVI-kalustus	Jokun tulee valkoisen listan kanssa kamerasen yläpuolelle/eteen ja kääntää kamerasen pois päin
36	2	2.2.2016	10:10	10:40	0:30 KPH	LVI-kalustus	Timpurit laittaa kylppäriin oven takaisin paikoilleen
36	2	2.2.2016	10:40	10:50	0:10	LVI-kalustus	Joku sovitaa ovea paikalleen hiomalla oven karmia ja ovea
36	2	2.2.2016	12:28	13:00	0:32 KPH	LVI-kalustus	Eteisessä tasoteillaan katon rajassa jotain. Koteloa?
37	3	3.2.2016	7:38	7:45	0:07 KPH	LVI-kalustus	Joku hioo ja maalaa kylppäriin ovea ja karmia
37	3	3.2.2016	13:00	13:05	0:05 KPH	LVI-kalustus	Joku vetää isolla rasiateerillä kattoon retän ja muutama muu käy myös ihmettelemässä
38	4	4.2.2016	9:28	9:29	0:01 KPH	LVI-kalustus	Maalaa ovea ja karmia
39	5	5.2.2016	8:56	8:57	0:01 KPH	LVI-kalustus	Ovi kannahtin pois
39	5	5.2.2016	10:30	10:43	0:13 KPH	LVI-kalustus	Ovi tuotiin takaisin
40	1	8.2.2016	9:55	13:10	3:15	LVI-kalustus	Karmien ja ovian maalausta
41	2	9.2.2016	13:23	13:33	0:10 KPH	LVI-kalustus	Sähköri tulee tekemään eteiseseen katon rajaan (kameran eteen) jotain johtojen kanssa. Kylppäriin ja eteisen välisen seinä on yhtäkkiä maalaattu
41	2	9.2.2016	14:00	14:53	0:53 KPH	LVI-kalustus	Joku tulee tekemään jotain kykyissä kylppäriin seinän taakse
42	3	10.2.2016	7:25	8:49	1:24 KPH	LVI-kalustus	Joku toinen tulee tekemään samaa hommaa. Sitten kantaa toisen tyypin kanssa kaapiston pois kylppäristä
42	3	10.2.2016	7:30	7:37	0:07 KPH	LVI-kalustus	Joku tulee samaan paikkaan. Myös Imuri mukana
42	3	10.2.2016	9:19	9:28	0:09 KPH	LVI-kalustus	Joku tulee mitallemaan oven karmia ja ottaa mitat ylös
42	3	10.2.2016	12:04	13:45	1:41	LVI-kalustus	Pari työntekijää tekee ja mitallelee jotain kylppärissä lattian rajassa. Ovat myös seinän takana
42	3	10.2.2016	13:22	13:24	0:02 KPH	LVI-kalustus	Sähköri tulee kamerasen etään ja kääntää sen maata kohti
43	4	11.2.2016	8:00	12:40	4:40 KPH	LVI-kalustus	Joku vetää silikonin oven viereen seinän kulmaan?
43	4	11.2.2016	15:04	15:07	0:03 KPH	LVI-kalustus	Joku tekee jotain kylppärissä seinän takana lattian rajassa. Mukana ainakin iso porakone ja imuri.
44	5	12.2.2016	12:50	12:57	0:07 KPH	LVI-kalustus	Ilmeisesti putkarit käyvät katsomassa samaa paikkaa. Tätä ennen työntekijä kävi kamerasen kanssa
44	5	12.2.2016	16:14	16:21	0:07 KPH	LVI-kalustus	Joku on hetken aikaa laastisangan kanssa samassa kohdassa lattian rajassa
45	7	15.2.2015	12:00	12:27	0:27 KPH	LVI-kalustus	Sama jatkuu
46	2	16.2.2016	8:44	8:56	0:12 KPH	LVI-kalustus	Sähköri käy tekemässä jotain katossa. Valot?
46	2	16.2.2016	8:59	10:34	1:35 KPH	LVI-kalustus	sähköri asentaa valokatkaisimen kylppäriin oven viereen
47	4	18.2.2016	7:56	8:04	0:08 KPH	LVI-kalustus	Sivoojat silvoa
47	4	18.2.2016	12:42	13:18	0:36	LVI-kalustus	Siivooja silvoa
47	4	18.2.2016	13:22	13:52	0:30	LVI-kalustus	Laatuaa ovea ja karmia sekä jotain kamerasen yläpuolella
48	5	19.2.2016	9:09	9:10	0:01	LVI-kalustus	Sähköri tekee jotain kamera vieressä seinällä
48	5	19.2.2016	12:55	13:33	0:38 KPH	LVI-kalustus	Sivooja silvoa koko kmaäppää
						LVI-kalustus	Sähköri tekee jotain kamera vieressä seinällä
						LVI-kalustus	Suihkukanan asennus





## LIITE 5: Case 1. Haastattelupohja

# Teemahaastattelut mestareille

Haastattelu rakentuu neljän teeman ympärille ja tarkoituksena on keskustella asioista vapaamuotoisesti. Pohdi kuitenkin kyseessä olevia asioita hieman etukäteen ja laita ylös mieleen tulevia asioita esimerkiksi ranskalaisin viivoin. Haastattelu nauhoitetaan ja sen materiaalia käytetään hyväksi Diplomityöhön. Haastateltavien nimiä tai muita tarpeettomia tietoja ei tulla julkaisemaan.

## Työmaatilanne kyseisenä ajankohtana

- Millainen tilanne työmaalla vallitsi ajankohtana, jolloin kamera oli asennettu asuntoon?
  - Kuinka paljon työtä oli käynnissä yhtä aikaa?
  - Riittikö resurssit eri linjoissa ja eri työvaiheissa?
- Kuinka pilkottua linjojen työmaaprosessi oli?
  - Aliurakoitsijoiden määrä?
  - Työntekijöiden vaihtuvuus?
  - Havaitut ongelmat urakkarajoista?
- Mitä haasteita yleisellä tasolla kyseisenä ajankohtana oli?
- Miten työmaa eteni mielestäsi?

## Kamera-analyysi verrattuna koko linjaan

- Tutki liitteenä lähetettyä Excel-tiedostoa, jossa kyseisen kylpyhuoneen valmistamista on analysoitu.
- Miten mielestäsi linja eteni verrattuna kyseiseen kylpyhuoneeseen?
- Kamera-analyysistä huomataan, että kylpyhuoneessa tehdään töitä yleensä vain muutama tunti ja usein ei edes tuntia. Myös työvaiheiden sisällä on ”tyhjiä” päiviä. Mistä tämän mielestäsi johtuu?

## Kamera-analyysistä havaitut pullonkaulat ja epäjatkuvuudet

- Purkutyöt sekä vedeneristys- ja laatoitustyöt vaativat selvästi eniten aikaa. Miten tämä näkyy koko linjan osalta?
- Mitkä asiat mielestäsi tekevät näistä työvaihteista hitaita pullonkauloja?
- Miten tehostaisit kyseisiä työvaiheita?
- Mistä mielestäsi seuraavat suurimmat havaitut epäjatkuvuudet johtuvat?
  - Roilojen teon ja sienien tasoitusten välissä kylpyhuone on päivän tyhjillään
  - Sähköjohtojen vedon ja viemärihajotusten välissä kylpyhuone on päivän tyhjillään
  - Seinien laatoituksen ja saumauksen välisissä kylpyhuone on yhdeksän päivää tyhjillään (sisältää kuitenkin Joulun)

- Vesijohtojen eristyksen ja kromien asennusten välissä kylpyhuone on päivän tyhjillään
- Alakaton teon ja kalustuksen välissä kylpyhuone on päivän tyhjillään
- Yleisesti voidaan todeta, että kylpyhuoneen käyttöaste on huono erityisesti päivien aikana, jolloin käynnissä ovat työvaiheet: Roilojen teko, sähköputkitus, vesijohtohajotukset ja kalustus/varustus. Mistä johtuu, että kylpyhuone on tällaisten asioiden vuoksi tyhjillään?
- Työvaiheaikataulussa sähkötöitä ei oltu merkitty ja kameran mukaan niiden teko vaikutti satunnaiselta. Miten sähkötyöt vaikuttavat myöhin työvaiheisiin?
- Purkutöissä kylpyhuoneen käyttöaste oli suhteellisen huono ja yhtenä päivänä ei tapahtunut mitään. Mistä tämä johtuu?

## Työmaan virtauksen kehittäminen

- Linjojen ja kylpyhuoneiden työaika on tällä hetkellä todella pitkä ja hukka-aika on noin 80%. Miten nopeuttaisit prosessia ja vähentäisit hukka aikaa? Mitä muuttaisit tämän hetkessä työmaaprosessissa? Perustele näkemyksesi.
- Mitkä tekijät hidastavat tai pysäyttävät linjojen virtausta? (esim. työvaiheet, resurssit, materiaali, informaatio, osaaminen...)



## LIITE 6: Case 2. Haastattelupohja

# Teemahaastattelut mestareille

Haastattelu rakentuu neljän teeman ympärille ja tarkoituksena on keskustella asioista vapaamuotoisesti. Pohdi kuitenkin kyseessä olevia asioita hieman etukäteen ja laita ylös mieleen tulevia asioita esimerkiksi ranskalaisin viivoin. Haastattelu nauhoitetaan ja sen materiaalia käytetään hyväksi Diplomityöhön. Haastateltavien nimiä tai muita tarpeettomia tietoja ei tulla julkaisemaan.

## Työmaatilanne kyseisenä ajankohtana

- Millainen tilanne työmaalla vallitsi ajankohtana, jolloin kamera oli asennettu asuntoon?
  - Kuinka paljon työtä oli käynnissä yhtä aikaa?
  - Riittikö resurssit eri linjoissa ja eri työvaiheissa?
- Kuinka pilkottua linjojen työmaaprosessi oli?
  - Aliurakoitsijoiden määrä?
  - Työntekijöiden vaihtuvuus?
  - Havaitut ongelmat urakkarajoista?
- Mitä haasteita yleisellä tasolla kyseisenä ajankohtana oli?
- Miten työmaa eteni mielestäsi?

## Kamera-analyysi verrattuna koko linjaan

- Tutki liitteenä lähetettyä Excel-tiedostoa, jossa kyseisen kylpyhuoneen valmistamista on analysoitu.
- Miten mielestäsi linja eteni verrattuna kyseiseen kylpyhuoneeseen?
- Kamera-analyysistä huomataan, että kylpyhuoneessa tehdään töitä usein vain muutama tunti ja usein ei edes tuntia. Myös työvaiheiden sisällä saattaa olla ”tyhjiä” päiviä. Mistä tämän mielestäsi johtuu?

## Kamera-analyysistä havaitut pullonkaulat ja epäjatkuvuudet

- Purkutyöt sekä vedeneristys- ja laatoitustyöt vaativat selvästi eniten aikaa. Miten tämä näkyy koko linjan osalta?
- Mitkä asiat mielistäsi tekevät näistä työvaihteista hitaita pullonkauloja?
- Miten tehostaisit kyseisiä työvaiheita?
- Mistä seuraavat suurimmat havaitut epäjatkuvuudet johtuvat?
  - Purun ja läpimenojen tukkimisten välissä on päivä tyhjää
  - Rappauksen ja roilojen teon välissä on päivä tyhjää
  - Seinien laattojen saumauksen ja lattialaatoituksen välissä on kolme päivää tyhjää
  - 28.12.2015 alkaen työt hidastuvat ja tekeminen vaikuttaa ns. puuhastelulta eikä tiettyjä vaiheita erota. Mitä tällöin tapahtui?

## Työmaan virtauksen kehittäminen

- Linjojen ja kylpyhuoneiden työaika on tällä hetkellä todella pitkä ja hukka-aika on noin 80%. Miten nopeuttaisit prosessia ja vähentäisit hukka aikaa? Mitä muuttaisit tämän hetkisessä työmaaprosessissa? Perustele näkemyksesi.
- Kuinka tarkempi aikataulusysteemi on toiminut verrattuna linjakohtaiseen aikatauluun?
- Mitkä tekijät hidastavat tai pysäyttävät linjojen virtausta? (esim. työvaiheet, resurssit, materiaali, informaatio, osaaminen...)