Suurhankkeen pysäkkien varustelujen ja viimeistelyn virtaviivaistaminen case-kohteessa

HAMK
HÄMEEN AMMATTIKORKEAKOULU
HÄME UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Ammattikorkeakoulututkinnon opinnäytetyö

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri

Hämeenlinnan korkeakoulukeskus

Syksy, 2020

Mikko Mäkelä

HAMK
HÄMEEN AMMATTIKORKEAKOULU
HÄME UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri Tiivistelmä

Hämeenlinnan korkeakoulukeskus

Tekijä Mikko Mäkelä Vuosi 2020

Työn nimi Suurhankkeen pysäkkien varustelujen ja viimeistelyn virtaviivaistaminen case-kohteessa

Ohjaajat Seppo Aalto

TIIVISTELMÄ

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia ja kehittää ratkaisu raitiotiepysäkkien varustelujen ja viimeistelyn virtaviivaistamiseen case-kohteessa. Tavoitteena oli toistettavuuden varmistaminen, jolla saavutettaisiin tahtituotannon kaltainen tuotantotapa raitiotiepysäkkien rakentamisessa. Työn toimeksiantajana ja case-kohteena toimi Raide-Jokeri-allianssi.

Tutkimusmenetelmä oli toimintatutkimus konstruktiivisella tutkimusotteella, joka on yksi tapa case-tutkimuksen toteuttamiseen. Aluksi käytiin läpi tuotannonohjauksen perusteita ja lean rakentamista, jonka jälkeen esiteltiin case-kohteen nykyinen menetelmä, sekä vaihtoehdot ja käytiin uusi paranneltu menetelmä läpi.

Työssä vertailtiin eri vaihtoehtojen välillä, jotta pysäkkien rakentaminen olisi mahdollista toteuttaa tahtiaikatuotannon mukaisesti ja mahdollisimman virtaviivaiseksi. Tuloksena sopivimmaksi tavaksi valittiin holkkiratkaisu.

Materiaali tähän työhön kerättiin omien ja kollegoiden tietojen pohjalta, sekä alan kirjallisuudesta ja internetlähteistä

Avainsanat Lean, pysäkit, raitiotiet, tahtiaikatuotanto

Sivut 31 sivua ja liitteitä 3 sivua

HAMK
HÄMEEN AMMATTIKORKEAKOULU
HÄME UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Degree Programme in Construction and Civil Engineering
Hämeenlinna University Centre

Abstract

Author Mikko Mäkelä
Year 2020

Subject Streamlining the equipment and finishing of major project's stations at the case project

Supervisors Seppo Aalto

ABSTRACT

The purpose of this thesis was to research and develop a solution for streamlining the equipment and finishing of light rail stations at the case project. The goal was to ensure repeatability, which would achieve a production method like pace time production in the construction of light rail stations. The thesis was commissioned by the Jokeri Light Rail Alliance which were the case project of this work.

The research method was an action research with a constructive research approach, which is one way to carry out a case research. At first, the basics of production control and lean construction were reviewed, followed by an introduction to the current method of building the station at the case project, then the options were presented and a new improved method for pace time production was shown.

The thesis compared the different options to make it possible to build the stations according to the pace-time production and as streamlined as possible. As a result, a sleeve joint solution was chosen as the most suitable method.

Material for this thesis was collected based on my own and colleagues' information, as well as literature and internet sources from the construction industry.

Keywords Lean, stations, light rails, pace-time production
Pages 31 pages and appendices 3 pages

Sisällys

1 JOHDANTO ... 1
2 RAKENNUSHANKKEEN TUOTANNONOHJAUKSEN PERIAATTEET ... 2
2.1 LEAN-rakentaminen ... 2
2.2 TFV- tuotanto ... 7
2.2.1 Muunnosnäkemys ... 9
2.2.2 Virtausnäkemys ... 11
2.3 Tahtiaikatuotanto ... 15
2.3.1 Tahtiaikasuunnittelu ... 16
2.3.2 Tahdin ja tahtiajan määrittäminen ... 16
2.3.3 Tahtiaikataulu ... 17
3 NYKYINEN CASE-HANKKEEN TUOTANNON SUUNNITTELU JA OHJAUS ... 18
3.1 Nykyisen menetelmän vaikeudet ... 18
4 TUTKIMUSOTE JA TUTKIMUKSEN TULOKSET ... 20
4.1 Tutkimusasetelma ... 20
4.1.1 Vaihtoehtojen esittely ... 20
4.2 Tutkimuksen toteutus ... 22
4.2.1 Valintakriteerien asettaminen ... 23
4.3 Vertailun ja valinnan tulokset ... 23
4.3.1 Vaihtoehtojen vahvuudet ja heikkoudet ... 23
4.3.2 CBA-menettelyn tulokset ... 25
5 TAHTITUOTANNON MUKAINEN TUOTANNON SUUNNITTELU JA OHJAUS ... 26
6 POHDINTA, YHTEENVETO JA JATKOKEHITYSTARVE ... 29
LÄHTEET ... 30

Kuvat, taulukot ja kaavat

Kuva 1 Tehokkuusmatriisi.....3
Kuva 2 Leanin yleiset käytännöt.....5
Kuva 3 Kulmakivet leanin toteutuksen rakentamisessa.....5
Kuva 4 Resurssien transformaatio eli muunnos tuotteeksi 9
Kuva 5 Muunnosnäkemyksen prosessi jaettuna hierarkkisesti aliprosesseihin 10
Kuva 6 Tuotanto virtausprosessina 11
Kuva 7 Läpimenoaika.....13
Kuva 8 Tahtiaikataulumalli 17
Kuva 9 Havainnekuva raitiotiepysäkkikatoksesta 18
Kuva 10 Raitiotiepysäkkikatos 19
Kuva 11 Havainnekuva katoksesta 20
Kuva 12 Holkkiliitos havainnekuva 21
Kuva 13 Havainnekuva nykyisestä pysäkkikatoksen kiinnitystavasta perustukseensa...22
Kuva 14 Tahtiaikatuotannon mukainen aikataulu 27
Kuva 15 Nykyinen resurssitehokas menetelmä vs. virtaustehokas tahtiaikamenetelmä.28

Taulukko 1 TFV- teorian tuotantoteoreettiset näkemykset (Koskela, 2000, s. 89).....8
Taulukko 1 TFV- teorian tuotantoteoreettiset näkemykset (Koskela, 2000, s. 89).....9

Kaava 1 Läpimenoaika.....14
Kaava 2 Tahtiaika.....17

Liitteet

Liite 1 CBA-menetelmä
Liite 2 Kahden parhaimman vaihtoehdon töiden ja odotuksien kestot
Liite 3 Tahtiaikatuotannon aikataulun mitoitus

1 JOHDANTO

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on tutkia ja kehittää ratkaisu raitiotiepysäkkien varustelujen ja viimeistelyn virtaviivaistamiseen case-kohteessa. Työn laajuus on merkittävä, sillä pysäkkejä on lähes 60 kappaletta. Raitiotierakentaminen Suomessa on nousujohteessa ja useita uusia hankkeita on tuloillaan, siksi tarve aiheen kehittämiseen on tarpeellinen.

Työ tehdään Raide-Jokeri-allianssille, jossa urakoitsijana toimii YIT Suomi Oy sekä NRC Group Finland Oy. Raide-Jokeri on Helsingin Itäkeskuksen ja Espoon Keilaniemen väliä liikennöivä pikaraitiolinja, jonka pituus on noin 25 km. Se tulee korvaamaan runkobussilinja 550:n, joka on Helsingin seudun vilkkaimmin liikennöity bussilinja. (Raide-Jokeri, n.d.)

Tavoitteena on toistettavuuden varmistaminen, jolla saavutettaisiin tahtituotannon kaltainen tuotantotapa. Tuloksena olisi kustannustehokas sekä aikataulullisesti järkevä toimintatapa allianssin omalle työlle ja varusteiden toimittajille, mitä voisi jatkossa hyödyntää myös tulevilla hankkeilla.

Ensiksi perehdytään tuotannonohjauksen periaatteisiin, jonka jälkeen esitellään case-kohteen nykyinen rakentamismenetelmä. Seuraavana tutkimusosuus ja sen tulokset, sekä uudistettu menetelmä rakentamiseen.

Tutkimusmenetelmä on toimintatutkimus konstruktiivisella tutkimusotteella, joka on yksi tapa case-tutkimuksen toteuttamiseen. Työn on rajattu vain tutkimaan aihetta, joten se ei sisällä käytännön toteutusta tai tuloksien seurantaa.

Työssä vertaillaan erilaisten vaihtoehtojen välillä, joilla pysäkin varusteet tulisivat kiinnitettyä perustukseen, sekä niiden vaikutuksia muun pysäkin rakentamiseen. Työssä tutkitaan mitkä asiat mahdollistavat tai rajoittavat virtaviivaisen tahtiaikatuotannon toteutumisen case-kohteessa, sekä miten resurssipiikkiä saataisiin hajautettua tai pienennettyä.

2 RAKENNUSHANKKEEN TUOTANNONOHJAUKSEN PERIAATTEET

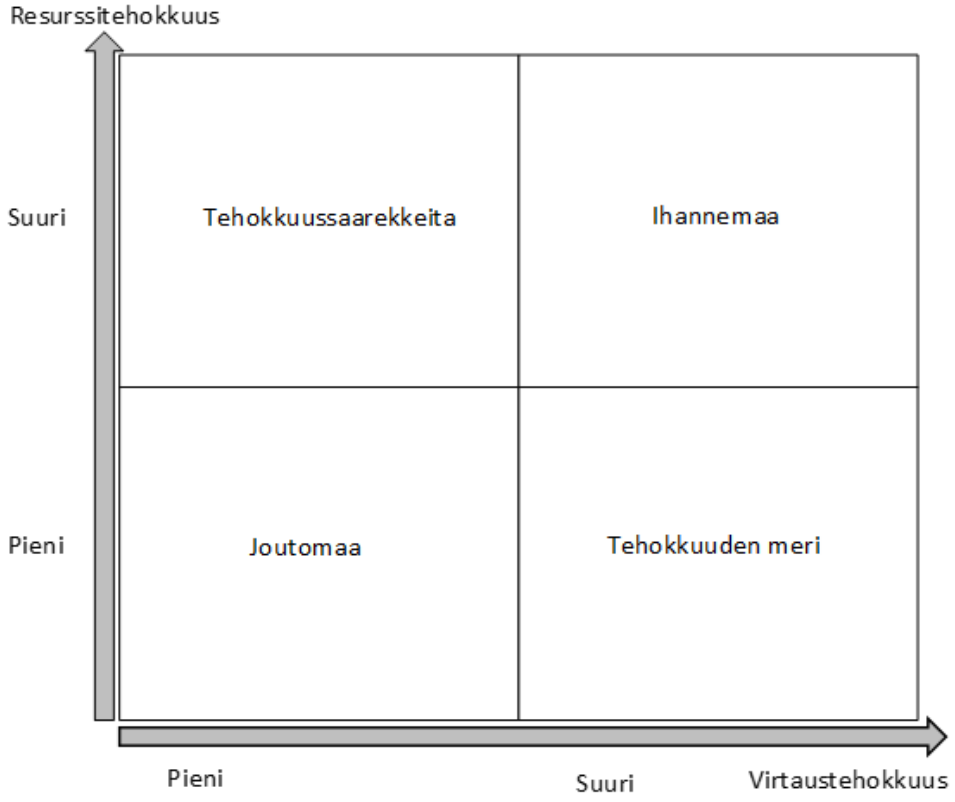
2.1 LEAN-rakentaminen

Lean-tuotanto on hallintomenetelmä, joka kehitettiin Japanissa, erityisesti Toyotan autotehtaassa. 1990-luvun puoliväliin asti ensisijainen painotus oli tuotantoprosessien sisäisen hukan vähentäminen. Siitä lähtien lean-konsepti on kehittynyt erilaisten organisaatioiden omaksuessaan sen omalla tavallaan. Keskeisenä kehityksenä oli siirtyminen pelkästään hukan poistamisesta ja kustannuksien vähentämisestä tapaan, joka pyrkii lisäämän arvoa asiakkaalle ja hänen tarpeilleen. Nykyään lean-ajattelu keskittyy asiakkaan arvon tunnistamiseen ja sen tuottamiseen mahdollistaen sujuvan virtauksen arvoa tuottavassa prosessissa. (Pekuri, Herrala, Aapaoja & Haapasalo, 2012, s. 2)

Lean-käsite resurssitehokkuus tarkoittaa resurssien mahdollisimman tehokasta hyödyntämistä. Teollisuudessa on käytetty resurssitehokasta menetelmää jo yli 200 vuoden ajan. Tehtävä pilkotaan pienempiin osiin ja toteutus annetaan eri organisaatioiden tai ihmisten hoidettavaksi. Tällä saadaan vaikutus tuotteiden yksikkökustannuksiin, kun samaa tehtävää tekee toistuvasti sama taho.

Resurssitehokkuudessa kiinnitetään huomiota tuotteen tai palvelun tuottamiseen tarvittavat resurssit: koneet, työkalut, henkilöstö, toimitilat ja liiketoimintajärjestelmät. (Modig & Åhlström, 2019, s.9–10) Toisena tehokkuuden muotona on virtaustehokkuus, jossa huomio kohdistuu organisaatiossa jalostettavaan yksikköön, eikä resurssien tehokkaaseen hyödyntämiseen. Esimerkiksi teollisuudessa yksikkönä ovat tuotteet, joita jalostetaan eri materiaaleilla. Virtaustehokkuus mittaa, kuinka paljon yksikkö jalostuu prosessin aikana. (Modig & Åhlström, 2019, s.13) Kuva 1 on tehokkuusmatriisi, jonka avulla nähdään, onko yritys resurssi- vai virtaustehokas.

Kuva 1 Tehokkuusmatriisi (Modig & Åhlström, 2019, s.100–103).



Tehokkuussaarekkeita on paikka matriisissa, jossa on suuri resurssitehokkuus ja pieni virtaustehokkuus. Esimerkiksi perinteinen valmistusteollisuus varastoineen sijoittuu tähän matriisissa. (Modig & Åhlström, 2019, s.101).

Tehokkuuden meri on tämän vastakohta, eli virtaustehokkuus on suuri ja resurssitehokkuus pieni. Siinä painotetaan asiakkaan tarpeiden tehokasta ja nopeaa toteuttamista. Moni palveluala kuuluu tähän kohtaan. (Modig & Åhlström, 2019, s.101).

Joutomaa on ei toivottu paikka matriisissa, johon organisaatiot sijoittuvat, jos ne eivät onnistu käyttämään resurssejaan tehokkaasti eivätkä luomaan virtausta prosessien läpi. Resursseja menee hukkaan ja asiakkaan kokema arvo on huono. (Modig & Åhlström, 2019, s.101–102).

Ihannemaa on matriisissa alue, johon organisaatiot pyrkivät pääsemään. Silloin organisaatio on sekä resurssi- että virtaustehokas, ja hyödyntää molempia tehokkuuksia prosessissaan. (Modig & Åhlström, 2019, s.102).

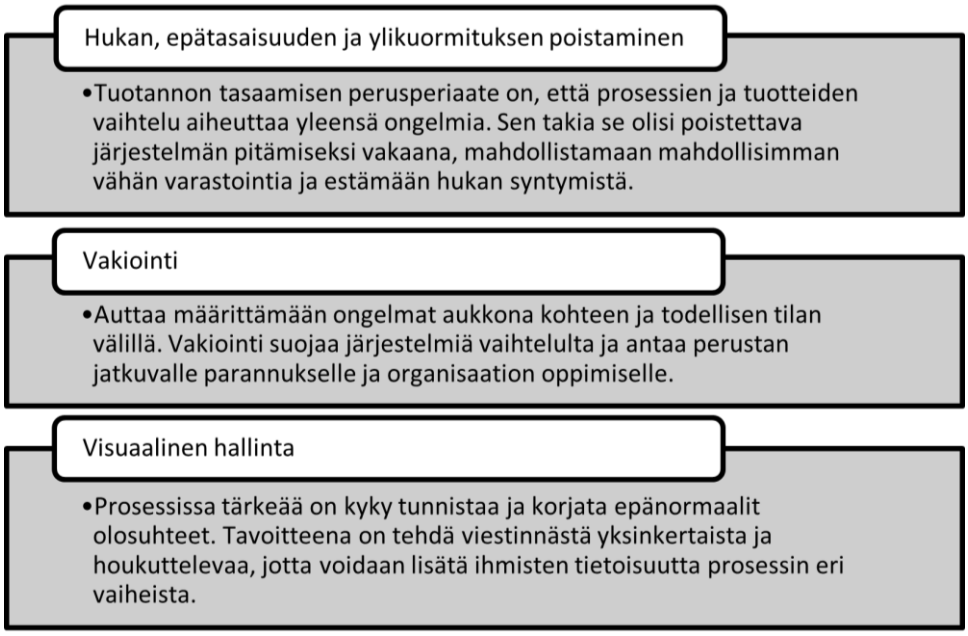
Rakennusalalle lean-konsepti on tullut teollisuutta huomattavasti myöhemmin. Ensimmäiset tekniikat ja käsitteet tulivat 1990-luvulla, kun Kos-kela (1992) haastoi rakennusalan etsimään ja omaksuman uusia toimintatapoja teollisuudesta. Tästä eteenpäin alkoi menetelmiä ja työkaluja kehittymään rakennusalalle. (Pekuri ym., 2012, s. 2)

Ihmiset usein sekoittavat leanin sen työkaluihin tai tekniikoihin eivätkä siten pysty muuttamaan organisaationsa kulttuuria sellaiseksi, joka antaisi ihmisille mahdollisuuden edistää lean-filosofiaa läpi koko prosessin. Leanin perustavoite on luoda asiakkaalle arvoa ja saada se virtaamaan prosessin läpi ilman keskeytyksiä asiakkaalle. Pekuri ym. (2012, s. 3) mukaan Lean-kulttuurin keskeiset periaatteet ovat:

- Asiakas ensin. Viisi leanin periaatetta: arvon määrittäminen, arvovirtauksen tunnistaminen, virtaus, imu ja täydellisyys voidaan ymmärtää strategisen tason periaatteina, joita voidaan soveltaa kaikkiin prosessin osiin. Nämä periaatteet edustavat näkökulmaa, jossa keskitytään asiakkaan arvon ymmärtämiseen ja maksimointiin.
- Jatkuva parantaminen on prosessi, jossa tehdään lisäparannuksia ja saavutetaan leanin tavoite, hukan poistaminen, joka lisää kustannuksia lisäämättä arvoa. Siihen sisältyy myös kaikkien prosessien ja ihmisten pätevyyksien asteittain parantaminen.
- Ihmisten kunnioitus. Lean-konseptissa painotetaan ihmisten kehittämistä ja voimaannuttamista. Yksityishenkilöiden ja toimittajien tietämystä arvostetaan ja hyödynnetään päätöksenteossa.

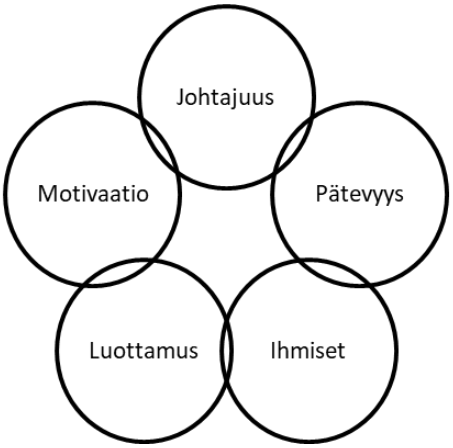
Leanin filosofian ja periaatteiden lisäksi on olemassa tehokkaita käytäntöjä, jotka ohjaavat lean-organisaation toimintaa. Nämä eivät suoranaisesti ole työkaluja, vaan ne helpottavat tunnistamaan ongelmia ja suojaamaan järjestelmän vaihtelevuutta, sekä antavat perustan jatkuvalle parantamiselle ja oppimiselle. Nämä tehokkaat, yleiset käytännöt ovat Pekuri ym. (2012, s. 3–4) mukaan (Kuva 2):

Kuva 2 Leanin yleiset käytännöt Pekuri ym. (2012, s. 3–4)



Pekuri ym. (2012, s. 5–7) toteuttivat vuonna 2011 haastattelun 39 eri rakennusalan ammattilaisen avulla. Sen tarkoituksena oli tutkia heidän käsityksiään leanin toteutuksesta ja siten tunnistaa kulmakivet lean-rakentamisen onnistuneelle toteuttamiselle. Haastateltavat kertoivat useita eri keinoja, jotka ovat heidän mielestään olleet avainasemassa lean-kehityksessään. Niistä on Kuva 3 koottu viisi useimmiten mainittua ja tärkeintä.

Kuva 3 Kulmakivet leanin toteutuksen rakentamisessa (Pekuri ym., 2012, s. 5).



Johtajuus koettiin haastateltavien keskuudessa tärkeimmäksi tekijäksi leanin toteutuksessa. Johtajien on oltava sitoutuneita oppimaan ja ymmärtämään mitä lean tarkoittaa ja muuttamaan omaa käytöstään sen mukaiseksi, jotta voivat toimia esimerkillisesti. Heidän tulee tarjota riittävät resurssit tukemaan muutosta. Oppimista on tuettava järjestämällä henkilöstölle lean-koulutusta sekä antamalla ihmisille riittävästi aikaa oppimiseen. (Pekuri ym., 2012, s. 5–6)

Pätevyys leanin filosofian ymmärtämisessä ja järjestelmän kokonaiskuvan näkemisessä on tärkeää rakentamisessa, sillä usein oppimisen aika on rajallinen. Projektitiimit koostuvat erilaisista ihmisistä, joilla on erilainen tietämys ja ymmärrys leanista. Jotta lean-ohjelmaa voitaisiin toteuttaa, tulee ihmisten olla päteviä leanin periaatteisiin. (Pekuri ym., 2012, s. 6)

Ihmisten osaamisten ja kiinnostuksen tunteminen on tärkeää, sillä se auttaa ymmärtämään, kenen kanssa työskennellään ennen kuin valitan projektiryhmä ja muut osallistujat. Lean-ohjelman toteuttaminen vaatii ihmisiä, jotka ovat halukkaita työskentelemään uusien konseptien kanssa, kokeilemaan uutta ja työskentelemään enemmän yhteistyöympäristössä. (Pekuri ym., 2012, s. 6)

Luottamuksen rakentaminen yritysten välille projekteissa on haastattelun mukaan ollut elintärkeää leanin toteutuksessa, sillä yrityksen tai johtajan on pystyttävä luottamaan kollegoihinsa. Siksi työhön tulee valita ne, jotka ovat halukkaita ja päteviä tehtävään. (Pekuri ym., 2012, s. 6–7)

Motivaatioon tulee ehdottomasti kiinnittää huomiota yrityksessä, sillä ilman sitä ei lean-kehitys on hankalaa. Ongelmien paljastaminen kaikille kertoo niiden tärkeyden ja näyttää parantamisen tarpeen. Jotta työntekijöillä pysyy mielenkiinto oppimiseen ja parantamiseen, on heille tarjottava mahdollisuuksia käyttää heidän taitojaan ja nähdä miten leanin käsitteet toimivat käytännössä. (Pekuri ym., 2012, s. 7)

Ihmisten rekrytointiin ja kehittämiseen, sekä projektitiimien muodostamiseen tulisi kiinnittää enemmän huomiota rakennusalalla, jotta saataisiin luotettava lean-yhteistyö toiminaan kaikkien osapuolien välillä. Myös johtajien tulisi ottaa lean-konsepti vakavammin, eikä luottaa ulkopuoliseen tahoon sen kehittämisessä, sillä lean-ajatus tulee toteuttaa kattavasti koko organisaatiossa. (Pekuri ym., 2012, s. 7–8)

2.2 TFV- tuotanto

Mihin tarvitsemme tuotannon teoriaa rakentamisessa? Rakennusalan tuottavuusongelmat pohjautuvat selkeiden ja johdonmukaisten teorioiden puutteeseen. (Koskela, 2000, s. 18–22). Tähän ongelmaan on kehitetty TFV- teoria, joka koostuu kolmesta näkemyksestä:

- muunnosnäkemys (transformation view)
- virtausnäkemys (flow view)
- arvoa tuottava näkemys (value generation view).

Näitä näkemyksiä on pääosin käytetty tuotannossa, mutta ei tasapainossa, vaan yksi niistä on ollut etualalla. Seurauksena kahden muun näkemyksen ongelmien olemassaoloa on laiminlyöty. (Koskela, 2000, s. 87) Transformation view eli muunnosnäkemys on vallinnut tuotannon teoreettista mallia sekä käytännössä että tieteessä 1900-luvulta lähtien. (Koskela, 2000, s. 38)

Tuotantoteorioiden puute on ajanut rakentamisen tuotannonohjauksen enemmän tekniikoiden kehittämiseen yleisten käytäntöjen, paradigmojen avulla. Tuotantoparadigma on vallitseva käytäntö, joka ohjaa tuotannon kehitystä sekä tuotantomenetelmien, työkalujen ja tiedon käyttöä. Paradigman käsitettä käytettiin alun perin viittaamaan tieteelliseen toimintaan, mutta nykyään sitä käytetään myös muissa yhteyksissä kuvamaan normaalia toimintaa ja muutosta siitä. (Koskela, 2000, s. 22)

Tuotantoparadigmat perustuvat usein heikolle teoriapohjalle, joten niiden soveltaminen käytäntöön on ongelmallista. On hankalaa testata ja mitata paradigmojen potentiaalia tuotannon suorituskyvyssä, sillä sen teoriapohja on vajaa. (Koskela, 2000, s. 18–30)

Koskelan (2000, s. 25) mukaan ongelmana on, että yleiset paradigmat eivät täysin toteuta tuotannolle yleisesti asetettuja tavoitteita, jotka ovat:

- Selitys: antaa selityksen havaitulle ilmiölle ja auttaa ymmärtämään.
- Ennustus: antaa ennusteen tulevasta toiminnasta.
- Kehityssuunta: tunnistaa tulevat kehityskohdat.
- Testattavuus: teoria voidaan testata sen toimivuuden todentamiseksi.

Koskelan kehittämä TFV- teoria (Taulukko 1 ja Taulukko 2) hyödyntää kolmea eri tuotannon näkemystä ja valikoi niistä parhaat ominaisuudet eri vaiheisiin tuotannossa. Teorian avulla saadaan edellä mainittujen yleisten tuotannon tavoitteiden lisäksi käytäntöä palvelevia toimintoja (Koskela, 2000, s. 25–34):

- Työkalut päätöksentekoon ja ohjaukseen: Teorian pohjalta voidaan laatia työkalut analysointiin, suunnitteluun ja tuotannon valvontaan.
- Kommunikaatio: Jaettu yhteinen teoria tarjoaa yhteisen kielen tai puitteen, jonka avulla ihmisten välinen yhteistyö on mahdollista.
- Oppiminen: teoriaa voidaan pitää tiivistettynä tietolähteenä, joka mahdollistaa aloittelijoiden työskentelyn ammattilaisten tavalla.
- Siirtyminen: Alkuperäisen teoriapohjan avulla voidaan siirtää toimintamalleja toiseen ympäristöön helpommin.

Taulukko 1 TFV- teorian tuotantoteoreettiset näkemykset (Koskela, 2000, s. 89).

	Transformation view Muunnosnäkemys	Flow view Virtausnäkemys	Value generation view Arvoa tuottava näkemys
Käsitys tuotannosta	Tulevan yksikön muunnos tuotokseksi input → output	Materiaalivirta, joka koostuu muutoksista, tarkastuksista, siirtämisestä ja odottamisesta	Prosessi, jossa tuotetaan arvoa asiakkaalle täyttämällä hänen vaatimuksensa
Pääperiaatteet	Tuotannon toteuttaminen tehokkaasti	Hukan poistaminen (ei arvoa lisäävät toiminnot)	Arvohäviön eliminointi (saavutettu arvo suhteessa parhaaseen mahdolliseen arvoon)
Menetelmät ja käytännöt (esimerkit)	Työn erittely (WBS), tuotannonohjaus, organisaation vastuunjakokaavio	Jatkuva virtaus, imuohjaus tuotanto, jatkuva parantaminen	Menetelmät vaatimusten kirjaamiseksi (QFD), laatutoimintojen käyttöönotto
Vaikuttaminen käytännössä	Huolehditaan siitä, että tarpeelliset asiat tulevat tehtyä	Huolehditaan, että tarpeetonta tehdään mahdollisimman vähän	Huolehditaan, että asiakkaan vaatimukset täytetään parhaalla mahdollisella tavalla
Käytännön nimitys sovellukselle	Tehtävien hallinta	Virtauksen hallinta	Arvon / laadun hallinta

Taulukko 2 TFV- teorian tuotannon pääperiaatteet (Koskela, 2000, s. 90).

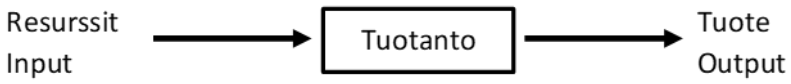
Pääperiaatteet	Liittyvät periaatteet
Muunnosnäkemys: Tunnista arvoa tuottavat toimet tehokkaasti	-Erittele tuotantotehtävä -Minimoi eriteltyjen tehtävien kustannukset
Virtausnäkemys: Vähennä ei-lisäarvoa tuottavien toimintojen osuutta	-Lyhennä läpimenoaika -Vähennä vaihtelevuutta -Yksinkertaista -Lisää läpinäkyvyyttä -Lisää joustavuutta
Arvoa tuottava näkemys: Paranna asiakkaan saamaa arvoa	-Varmista, että kaikki asiakkaan vaatimukset otetaan huomioon -Varmista asiakkaan vaatimusten virtaus -Ota huomioon kaikki toimitettavat vaatimukset -Varmista tuotantojärjestelmän kyky -Mittaa arvo

Koskelan (2000, s. 90) mukaan tämä TFV- malli on tämän hetken paras tuotantoteoria ja siksi sen mukaiset tehtävät tulisi ottaa käyttöön jokaisella tasolla. TFV- teoriassa toteutuu aikaisemmin mainitut tuotannolle yleisesti asetetut tavoitteet.

2.2.1 Muunnosnäkemys

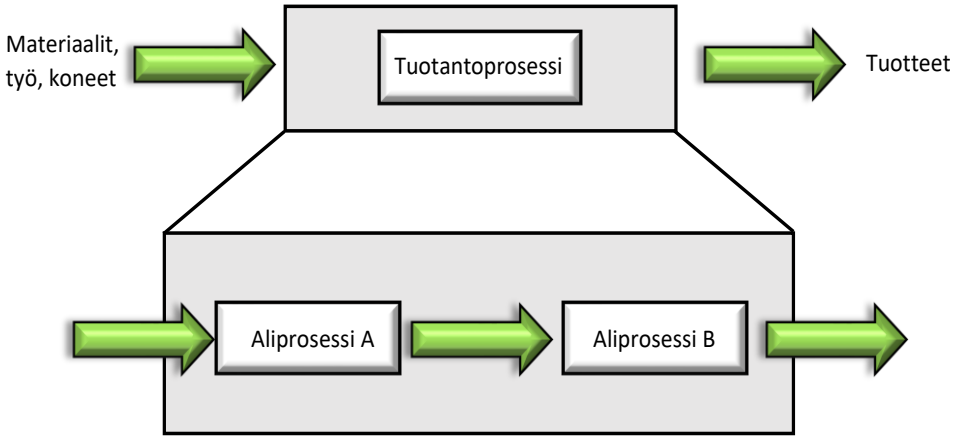
Rakennustuotannon hallitseva teoreettinen tuotantomalli on ollut transformation view eli muunnosnäkemys. Tässä (Kuva 4) prosessissa resurssit, kuten esimerkiksi rakennusmateriaalit, kulkevat tuotantoprosessin läpi, jossa ne muuttuvat tuotteeksi. (Koskela, 2000, s. 38–40)

Kuva 4 Resurssien transformaatio eli muunnos tuotteeksi (Koskela, 2000, s. 40).



Tuotantoprosessi voidaan jakaa aliprosesseihin ja ne vielä tarkempiin yksittäisiin työtehtäviin. Eritellyt tuotantotehtävät ovat helpompia hallita, kuin koko tuotantoprosessia kokonaisuutena. Kuva 5 on tuotantoprosessi jaettu kahteen aliprosessiin, jotka yhdessä muodostavat transformaation kautta lopullisen tuotteen.

Kuva 5 Muunnosnäkemyksen prosessi jaettuna hierarkkisesti aliprosesseihin (Koskela, 2000, s. 42).



Tuotantoprosessin aikana tuote kehittyy jatkuvasti aliprosessien välillä ja saa siten lisää arvoa. Lopulliseen arvoon vaikuttaa jokaisen aliprosessin tuottama arvo erikseen, joten siksi niihin on kiinnitettävä huomiota ja pyrittävä pienentämään kustannuksia jokaisen yksittäisen aliprosessin kohdalla. Näin lopullisesta tuotteesta saadaan kannattavampi tuottaa, kun prosessin kulut laskevat. (Koskela, 2000, s. 42–43)

Muunnosnäkemysmalli tarvitsee toiminnan varmistamiseksi puskureita, jotka suojaavat prosesseja häiriötilanteessa. Puskurit voidaan jakaa kolmeen luokkaan (Merikallio & Haapasalo, 2009):

- aikapuskurit
- kapasiteettipuskurit (työvoiman tai kaluston ylimitoitus)
- varastopuskurit (materiaaleja varalla).

Puskureilla saadaan varmistettua aliprosessien eteneminen, vaikka väliin tulisikin jokin häiriö. Esimerkiksi työhön voidaan varata 20 % enemmän aikaa, kuin sen teoreettinen kesto on, jolloin mahdollinen häiriö ei aiheuta seuraavaan prosessiin odotusta.

Muunnosmalli on ollut tuotantoteorian perustuksena erittäin vaikuttava ja menestynyt malli. Sen menestys on johtunut kahdesta tekijästä: se kuvas-taa todellista tekemistä riittävästi,

sekä se antaa tehokkaita ja yksinkertaisia työkaluja tuotannon analysointiin ja hallintaan. (Koskela, 2000, s. 49)

Koskela (2000, s. 49) tiivistää transformaatio- eli muunnosnäkemyksen pääkohdat näin:

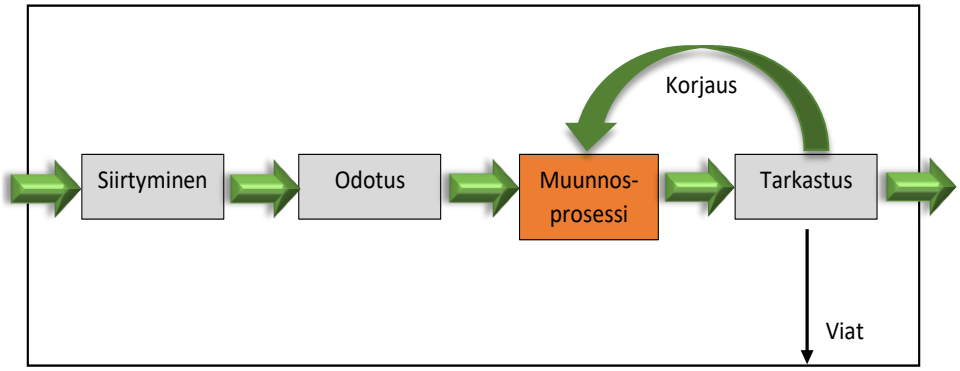
- Tuotantoprosessi voidaan jakaa pienempiin muunnoksiin, aliprosesseihin
- Tuotantoprosessin kustannuksia voidaan pienentää minimoimalla jokaisen aliprosessien kuluja.
- On hyödyllistä puskuroida tuotantoa.

2.2.2 Virtausnäkemys

Virtausnäkemyksessä tuotantoprosessi ajatellaan ajan kautta, jossa yksiköt virtaavat mahdollisimman sujuvasti. Siinä keskitytään lisäämään arvoa virtaavalle yksikölle ja vähentämään tai eliminoimaan kaikki arvoa tuottamaton toiminta prosessista. (Koskela, 2000, s. 54–55)

Virtaavan yksikön näkökulmasta on kahdenlaista ajankäyttöä: yksikön muunnosta tai arvoa tuottamatonta aikaa, kuten siirtymistä, odotusta ja tarkastamista. Kuva 6 on havainnollistettu virtausprosessi.

Kuva 6 Tuotanto virtausprosessina. Harmaat laatikot ovat arvoa tuottamattomat toiminnot, oranssi arvoa tuottava. (Koskela, 2000, s. 56)



Koskelan (2000, s. 56) mukaan virtauskonseptin tärkeimmät periaatteet tuotantojärjestelmien suunnittelussa, ohjauksessa ja parantamisessa ovat:

- hukan vähentäminen eli arvoa tuottamattomien toimintojen vähentämistä prosessissa
- läpimenoajan lyhentäminen ja vaihtelun vähentäminen
- yksinkertaistaminen sekä joustavuuden ja läpinäkyvyyden lisääminen.

Seuraavaksi tutustutaan näihin periaatteisiin tarkemmin.

Mitä on tämä **hukka** ja miksi sitä on prosessissa mukana? Piiraisen (2014) mukaan hukka eli muda voidaan jakaa seitsemään päätyyppiin:

- ylituotanto
- varasto
- kuljetus
- liike
- yliprosessointi
- odotus
- laatuongelmat (vialliset tuotteet tai raaka-aineet)

Koskelan (2000, s. 57) mukaan on kolme juurisyytä, jotka aiheuttavat hukkaa: tuotantojärjestelmän rakenne, tuotannon hallinta sekä tuotannon ominaispiirteet.

Tuotantojärjestelmän rakenne määrää materiaalin ja tiedon virtauksen prosessissa. Hukkaa esiintyy suunnitelmallisesti organisaatiossa tai prosessissa, sillä joka kerta kun tehtävä jaetaan eri asiantuntijoiden suorittamaan alatehtävään tai aliprosessiin, arvoa tuottamattomat toiminnot lisääntyvät: tarkastukset, siirtämiset ja odotus. (Koskela, 2000, s. 57)

Tapa, jolla tuotantoa hallitaan vaikuttaa hukkaan ainakin kahdella tavalla. Käytetyt hallintaperiaatteet voivat lisätä tai vähentää hukkaa. Sekä puutteellinen periaatteiden noudattaminen voi aiheuttaa hukkaa. (Koskela, 2000, s. 57)

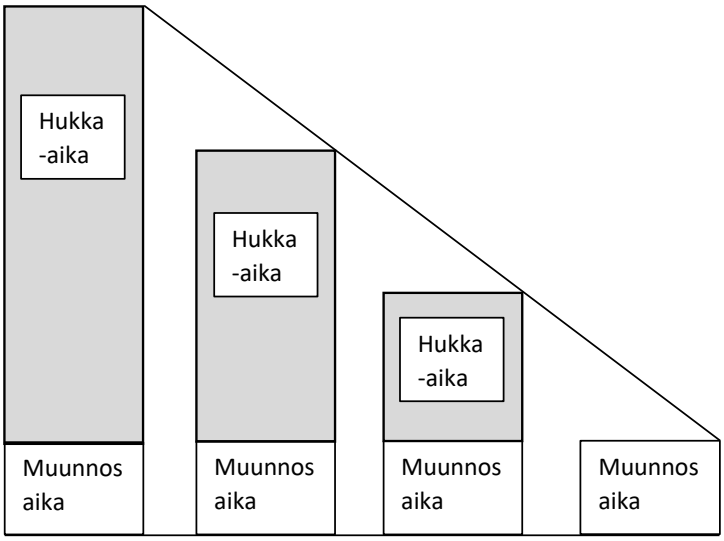
Hukka on ominaista tuotantoprosessille, sillä vikoja ilmenee, koneet hajoavat ja onnettomuuksia tapahtuu. Erityisesti vaihtelevuus kaikissa tuot-tavissa toiminnoissa näyttää olevan luontainen piirre samoin kuin inhimilliset virheet. Tyypillisesti tämänlainen vaihtelevuus on luonteeltaan tilastollista ja siksi sitä voidaan arvioida vain seuraamalla tuotantojärjestelmää riittävän kauan. (Koskela, 2000, s. 57)

Läpimenoaika tarkoittaa aikaa, jonka prosessissa virtaava yksikkö tarvitsee sen läpi kulkemiseen. Läpimenoaika voidaan esittää Koskelan (2000, s. 58) mukaan näin:

Läpimenoaika = muunnosaika + tarkastusaika + odotusaika + siirtoaika

Perusperiaate on tiivistää läpimenoaikaa poistamalla arvoa tuottamaton aika (Kuva 7). Tämä vähentää siten tarkastus-, siirto- ja odotusaikaa prosessissa. Stalk & Hout (1990) kertovat Koskelan (2000, s. 58) mukaan, että vain 0,5–5 % prosessin läpimenoajasta olisi arvoa tuottavaa aikaa. Kun läpimenoajan lyhentäminen pienentää hukkaa, niin tuotannon kulut laskevat ja prosessi on kannattavampi toteuttaa.

Kuva 7 Läpimenoaikaa voidaan vähitellen lyhentää vähentämällä arvoa tuottamattomien toimintojen, eli hukan osuutta (Koskela, 2000, s. 59).



Keskeneräiset työt vaikuttavat läpimenoaikaan merkittävästi. Vähentämällä niiden määrää saadaan prosessi virtaamaan tehokkaammin ja läpimenoaika lyhenee. Littlen (1961) julkaisemasta kaavasta (Kaava 1) nähdään, että kun tuotanto pysyy vakiona, mutta keskeneräisten töiden määrä vähenee, niin läpimenoaika lyhenee (Koskela, 2000, s. 60):

Kaava 1 Läpimenoaika

$$Läpimenoaika = \frac{Keskeneräiset\ \text{työt}}{Tuotantotahti}$$

Hukan poistamisella ja läpimenoajan lyhentämisellä on useita hyötyjä, jotka Koskela (2000, s. 60) mainitsee:

- nopeampi toimitusaika asiakkaalle
- vähentynyt tarve tehdä ennusteita tulevasta kysynnästä
- tuotantoprosessin häiriöiden väheneminen
- helpompaa hallita, kun on vähemmän seurattavia tilauksia prosessissa.

Koskela (2000, s. 61) listaa, että läpimenoa voidaan lyhentää pienentämällä erien kokoa, minimoimalla turhat siirtymiset, tehostamalla virtausta ja vähentämällä **vaihtelua**.

Prosessin tuotannossa on kahdenlaista vaihtelua: prosessiajan vaihtelua sekä virtausajan vaihtelua. Prosessiajan vaihtelu tarkoittaa yksittäisellä työpisteellä tapahtuvaa prosessin keston aikavaihtelua, joka on seurausta luonnollisesta vaihtelusta työntekijöiden, laitteiden ja materiaalin välillä. Virtausajan vaihtelu tarkoittaa työpisteelle saapuvien töiden vaihtelevaa tahtia. Jos prosessin vaihtelua ei saada vähennettyä, niin on hyväksyttävä, että läpimenoajat pitenevät, kapasiteetti vähenee, keskeneräisten töiden määrä kasvaa ja lopullisen tuotoksen määrä vähenee. Käytännön lähestymistapa vaihtelun vähentämiseen koostuu sen juurisyyn etsimisestä ja poistamisesta. (Koskela, 2000, s. 61)

Prosessin yksinkertaistaminen voidaan ymmärtää tuotannon komponenttien määrän vähentämisellä tai vaiheiden ja yhteyksien välisen materiaali- ja tietovirran vähentämisellä. Se voidaan myös tulkita arvoa tuottamattomien toimintojen poistamisena tai arvoa tuottavien toimintojen uudelleenmäärittämisenä. (Koskela, 2000, s. 62)

Tuotannon joustavuus Koskelan (2000, s. 62) mukaan lainaten Suarez ym. (1995) voidaan jakaa neljään päätyyppiin:

- sekoitettu joustavuus (tuotettujen tuotteiden lukumäärä)
- uuden tuotteen joustavuus (tuotetietojen nopeus)
- määrän joustavuus (kyky vaihdella tuotantoa)
- toimitusajan joustavuus

Käytännön lähestymistapoja joustavuuden lisäämiseen ovat: eräkokojen minimointi vastaamaan kysyntää, järjestelmän ja siirtymisen vaikeuksien vähentäminen, muutoksien tekeminen mahdollisimman myöhään prosessissa, koulutetaan ammattitaitoista työvoimaa toiminnan joustavuuteen ja käytetään oikeanlaisia työkoneita työn tekemiseen. (Koskela, 2000, s. 62)

Läpinäkyvyyden lisääminen prosessissa lyhentää läpimenoaikaa, sillä virheet tulevat esiin välittömästi ja niihin pystytään vaikuttamaan, jotta se ei toistuisi. Kun jokainen prosessin osapuoli näkee sen sisällön, niin tuottavuutta saadaan parannettua. Erilaiset visuaaliset informaatiomenetelmät organisaatiossa, menetelmissä sekä mittauksissa mahdollistavat sen, että kuka tahansa voi välittömästi tunnistaa poikkeaman. (Koskela, 2000, s. 63)

2.3 Tahtiaikatuotanto

Tahtiaika on lean-tuotannon yksi peruskäsitteistä, joka kuvaa yksittäisen työvaiheen kestoa virtausperiaatteella toimivassa prosessissa. Se on kahden vaiheen välissä oleva aikaväli. Osana tahtiaikatuotantoa on tahtiaikasuunnittelu, joka sisältää tahtiaikataulutuksen. Työn tahdittamisen tarkoitus on luoda arvoa lisääviä toimintoja koko tuotantoketjun ajan, sekä pois-taa hukkaa, että lyhentää läpimenoaikaa. (LCI Finland, 2015; Grönvall, 2019, s. 14–15)

Tahtiaikatuotannon toteutus etenee LCI Finland (2015) mukaan:

1. Kerätään tieto tuotantoprosessista, sen vaiheista, niiden järjestyksestä ja kestoista.

2. Jaetaan työmaa lohkoihin tai toistuviin alueisiin, nämä ovat tahtiaikasuunnittelun yksikköjä.
3. Tuotannon tahtiajan määritys hitaimman työvaiheen mukaan.
4. Tasataan kaikki työvaiheet saman kestoisiksi ns. tuotantojunaksi resurssien mitoituksella.
5. Materiaalitoimitukset sekä suunnitelmien saanti sidotaan etenemistahtiin.
6. Prosessin jatkuva parantaminen: tehdään kerralla valmista sekä selvitetään ja ratkaistaan ongelmien syyt välittömästi.

2.3.1 Tahtiaikasuunnittelu

Tahtiaika on työkalu, jonka tarkoituksena on saada virtaamaan tietty määrä työtä tuotantoprosessin läpi tietyssä ajassa. Tahtiaikasuunnittelun avulla voidaan viedä tuotannonsuunnittelu vielä tarkemmalle tasolle. Tahti on ennalta määritetty prosessi, jonka kesto on aina saman pituinen. Jokaisen projektin ja tehtävän osalta luodaan omat määritelmät tahtialueelle ja -ajalle, jotka pysyvät samana koko prosessin ajan. Esimerkiksi työmaa jaetaan sopivan kokoisiin alueisiin tai toistuviin työvaiheisiin. Tarkoituksena on, että työntekijä työskentelee näiden jaettujen alueiden tai vai-heiden läpi etukäteen määritetyllä tasaisella tahdilla, sekä saatava se ajallaan valmiiksi. Lisäksi tahtiaikasuunnittelussa käytetään luvussa 2.2.1 mainittuja puskureita, jolla varmistetaan suunnitelman luotettavuus ongelmatilanteissa. Esimerkiksi työtehtävien suunnittelu siten, että urakoitsijan resurssit ovat alikuormitetut ja siten niissä on varaa lisätä tehokkuutta tarvittaessa. (Grönvall, 2019, s. 15–16; LCI Finland, 2015)

2.3.2 Tahdin ja tahtiajan määrittäminen

Teollisuudessa tuotannon tahti on usein määritelty minuuteissa tai sekunneissa. Rakennusalalle kuitenkin näin lyhyt aikaväli on mahdottomuus. On ehdotettu, että sopiva tahtiaika olisi yksi viikko, sillä rakennusalle ominainen epätasapaino ja vaihtelu vaikeuttaa tahdittamista. Viikko olisi myös sopiva siksi, että alueiden tai töiden luovuttaminen seuraavalle urakoitsijalle tapahtuisi aina suunnitellusti samana viikonpäivänä. Prosessissa pullonkaulana toimii yleensä hitain urakoitsija, joka hidastaa tahtia. Tähän tulisi kiinnittää

huomiota ja selvittää urakoitsijan mahdollinen resurssien lisääminen, jotta tuotantotahti saataisiin vastaamaan tahtiaikaa. (Grönvall, 2019, s. 16–17)

Grönvall (2019, s. 17) mainitsee Haghsheno ym. (2016) kaavan tahdin laskentaa varten:

Kaava 2 Tahtiaika

$$\text{Tahtiaika} = \frac{Tahtialue\ (m^2) * Työmenekki\ (\frac{h}{m^2})}{Käytetty\ työvoima}$$

2.3.3 Tahtiaikataulu

Tahtiaikataulu on suunnittelun lopputulos, joka syntyy, kun tahtia tekevältä urakoitsijoilta saadaan tiedot työn suorittamisen kestosta, sekä tiedetään tahtialue (Grönvall, 2019, s. 21). Kohdassa 2.3.2 kerrottu Kaava 2 tarvitsee työmenekin ja siksi on tärkeää saada se tieto työhön ryhtyvältä urakoitsijalta, jotta se olisi mahdollisimman tarkka.

Kuva 8 on esimerkki tahtiaikataulusta, jossa vaaka-akselilla on tahtiaika mikä tässä on yksi viikko, kun pystyakselilla on tahtialue. Erilaisilla värikoodeilla voidaan merkitä eri urakoitsijoita tai työvaiheita, jotta aikataulua olisi selkeämpi lukea. Kuten kuvassa, niin työhön voidaan varata yksi viikko, vaikka laskettu kesto olisi viisi työpäivää. Tässä toteutuu aikaisemmin luvussa 2.2.1 mainittu puskurointi. Viikonlopun käyttäminen kiinteänä puskurina on yleistä rakennusalalla. Myös kapasiteettipuskuri on usein käytetty tapa, eli urakoitsijan resurssista käytetään 70–80 %, joka mahdollistaa työn tehostamisen tarvittaessa. (Grönvall, 2019, s. 21–22) Kuvasta näkee, että yhdellä alueella on yksi tahti tai työvaihe meneillään, ja heti seuraava tahti tulee sen perässä seuraavalla viikolla.

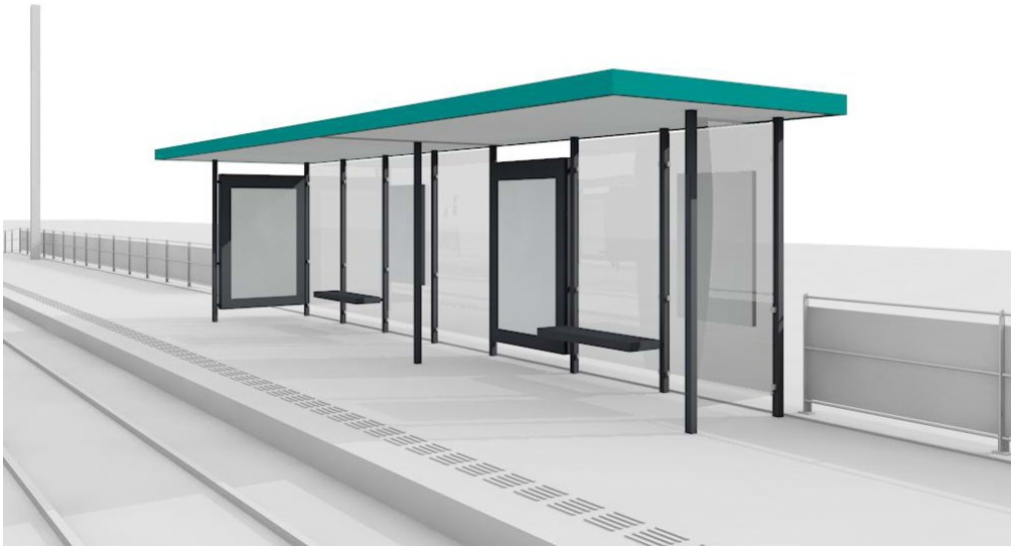
Kuva 8 Tahtiaikataulumalli

Tahtialue \ Tahtiaika	Viikko 1	Viikko 2	Viikko 3	Viikko 4	Viikko 5	Viikko 6
Alue 1	Tahti 1	Tahti 2	Tahti 3			
Alue 2		Tahti 1	Tahti 2	Tahti 3		
Alue 3			Tahti 1	Tahti 2	Tahti 3	
Alue 4				Tahti 1	Tahti 2	Tahti 3
Alue 5					Tahti 1	Tahti 2

3 NYKYINEN CASE-HANKKEEN TUOTANNON SUUNNITTELU JA OHJAUS

Hankkeen tuotannon suunnittelu ja ohjaus on näin suuressa allianssissa alan kokeneiden ammattilaisten hyvissä käsissä ja yleisesti toimivaa. Kuitenkin siinä on parantamisen varaa, jos aiotaan päästä virtaviivaisempaan tuotantoon raitiotiepysäkkien varusteluiden ja viimeistelyn rakentamisessa. Varusteilla tarkoitetaan tässä case-kohteessa pysäkkikatosta (Kuva 9), informaationäyttöjä, roska-astioita sekä mahdollisia lippuautomaatteja. Viimeistelyllä tarkoitetaan pintakerroksia, kuten betonikiveystä, sekä kaapelien kytkentää.

Kuva 9 Havainnekuva raitiotiepysäkkikatoksesta. (Projektipankki, n.d.)



Nykyinen rakennustapa raitiotiepysäkeissä on enemmän resurssitehokas, kuin virtaustehokas, mikä on hyvin tyypillistä rakennusalalla. Kuva 1 mukaan pysäkkien rakentaminen sijoittuisi matriisissa tehokkuussaarekkeita osioon. Menetelmässä on paljon odottamista ja hukka-aikaa työvaiheiden välillä, eikä se ole virtaviivainen. Nykyinen prosessi toteutuu transformaation eli muunnosnäkemyksen kautta, kuten Kuva 5.

3.1 Nykyisen menetelmän vaikeudet

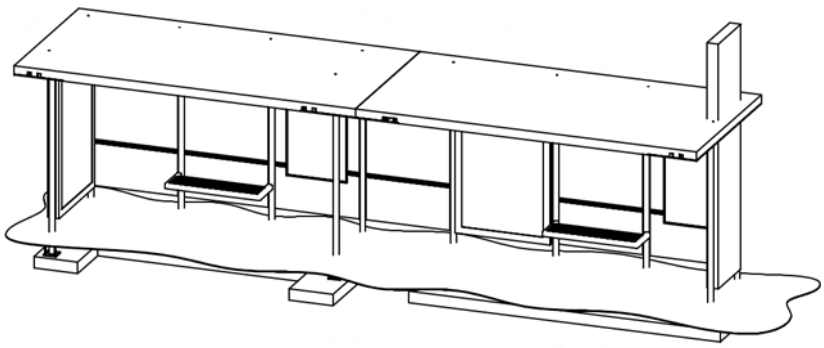
Hankkeen 25 km pitkä linja on jaettu viiteen tuotantolohkoon ja yhdeksään suunnittelulohkoon, mikä tuo omat vaikeudet raitiotiepysäkkien rakentamiseen. Jokainen lohko etenee oman aikataulunsa mukaan ja pysäkit sen mukaisesti ja niitä rakentavat eri

työryhmät. Tämä ei virtaustehokkuuden näkökulmasta ole hyvä asia, sillä työryhmien välillä on vaihtelevuutta, joka tekee tuotannonohjauksesta vaikeampaa ja heikommin virtaavaa.

Tällä hetkellä vaihtelevuuden lisäksi virtaviivaisuutta ja mahdollista tahtiaikatuotantoa estää se, että varusteet toimitetaan erillisten sopimuksien mukaan vasta tarpeeseen. Ongelmana on, että katostoimittajalla ja Helsingin kaupungilla on oma erillinen sopimus tästä, johon ei case-hankkeella ole vaikutusvaltaa.

Jos varusteet, kuten pysäkkikatos (Kuva 10) toimitetaan vasta tarpeeseen, eli hetkeä ennen linjan käyttöönottoa, on resurssitarve sillä hetkellä valtava ja hankkeen loppupää ylikuormittuu. Tämä tapa toimii asennettaessa muutamaa pysäkkiä, mutta hankkeella on **pysäkkipareja** 29 kappaletta, joten niiden asentaminen tarvitsee paljon resursseja ja aikaa. Tämä **resurssipiikki** tulisi siten jakaa laajemmalle aikavälille tai kehittää sen tuotantotahtia nopeammaksi.

Kuva 10 Raitiotiepysäkkikatos. (Projektipankki, n.d.)



4 TUTKIMUSOTE JA TUTKIMUKSEN TULOKSET

4.1 Tutkimusasetelma

Tutkimusmenetelmä on toimintatutkimus konstruktiivisella tutkimusotteella, joka on yksi tapa case-tutkimuksen toteuttamiseen. Sen tarkoituksena on muuttaa ja kehittää jotakin asiaa paremmaksi. Tässä työssä kehitettävä asia on raitiotiepysäkkien varustelujen ja viimeistelyn rakentaminen virtaviivaisempana tahtiaikatuotantona. Tutkimus pyrkii vaikuttamaan kolmeen alueeseen (Lukka, 2001; Suojanen, 2004):

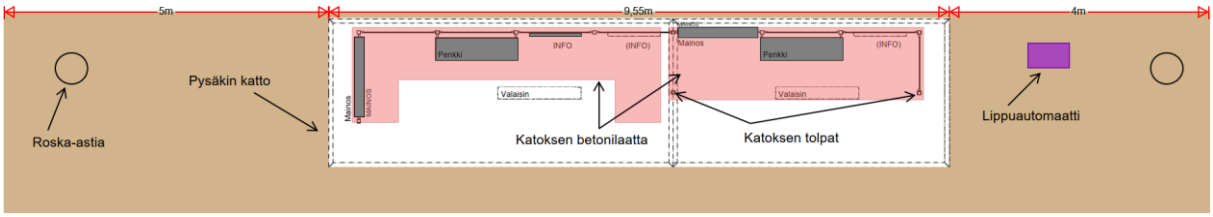
- käytännön toimintojen kehittymiseen
- osallistujien toimintojen ymmärtämiskyvyn lisääntymiseen
- toimitilanteen kehittymiseen

4.1.1 Vaihtoehtojen esittely

Seuraavaksi esitellään rakentamiseen vaihtoehtoja, jotka ovat tutkimuksen vertailussa. Vaihtoehdot ovat saatu pidetyn työpajan seurauksena, jossa osallisena on ollut hankkeen varatuotantopäällikkö, teknisistä ratkaisuista ja innovaatioista vastaava päällikkö sekä tämän opinnäytetyötyön tekijä, eli minä.

Kuva 11 on havainnollistettu ja nimetty pysäkkialue ja sen varusteet, jotta saadaan ajatus seuraavista vaihtoehdoista selkeämmin. Kuvan ruskea alue on betonikiveystä, mutta se ei koko laajuudessaan mahdu havainnekuvaan. Vaihtoehdot 2 ja 3 vastaavat nykyistä rakentamistapaa case-hankkeella, sillä varusteet on tarkoitus toimittaa vasta tarpeeseen.

Kuva 11 Havainnekuva kahden moduulimittaisen katoksen pysäkkikokonaisuudesta varusteineen. (Projektipankki, n.d.)



Vaihtoehdossa 1. kaikki varusteet eli: katos, lippuautomaatti ja roska-astiat asennettaisiin heti niiden perustusten asentamisen jälkeen, jonka jälkeen saataisiin tehtyä pintarakenteet valmiiksi.

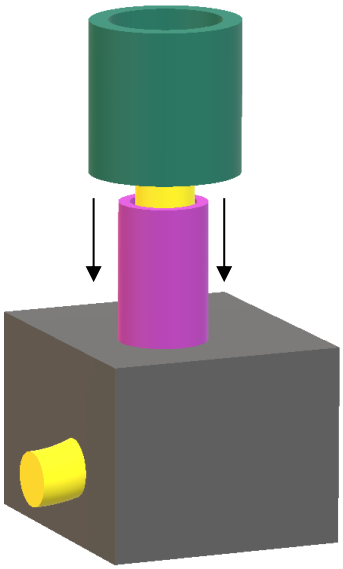
Vaihtoehto 2. Varusteiden asennus juuri ennen linjan käyttöönottoa: katosalueen kiveys auki sekä roska-astioiden ja lippuautomaatin ympäristö.

Vaihtoehto 3. Varusteiden asennus juuri ennen linjan käyttöönottoa: kiveys auki varusteiden tolppien kohdalta. Tämän vaihtoehto on hyvin samanlainen, kuin vaihtoehto 2. Erona se, että koko katosalue ja roska-astioiden ja lippuautomaatin ympäristö eivät ole täysin kiveämättä, vaan ainoastaan niiden tolppien kohdalta.

Vaihtoehto 4. Holkkiratkaisu. Pysäkkikatokset tulisivat uudenlaisella kiinnitystavalla perustukseensa kiinni. Suojaputket sähköjohdoille ja kaapeleille tulisivat betonilaatan sisään ja johdot holkin tai muun kourun läpi katokseen.

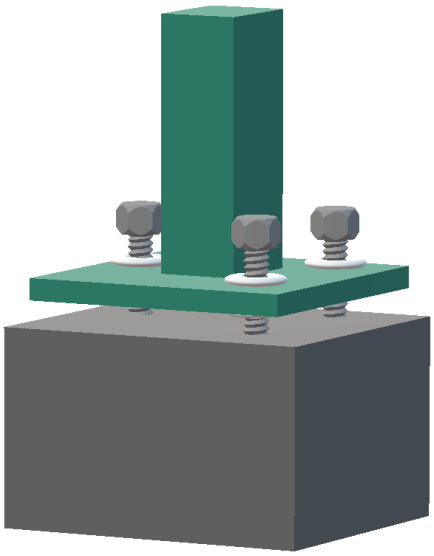
Kuva 12 on havainnollistettu uudenlainen kiinnitystapa ajatustasolla. Kuvan violetti holkki olisi kiinnitetty tiukasti betoniperustuksen sisään raudoitteisiin ja vihreä pysäkkitolppa tulisi sen päälle. Betonin ja holkin läpi keltainen suojaputki kaapeleille. Holkki voisi myös olla suorakulmainen tai neliö, riippuen siitä, miten tolppa lukitaan holkkiin, mutta tässä työssä ei sitä tarkemmin kehitetä.

Kuva 12 Holkkiliitos havainnekuva.



Kuva 13 on nykyinen katoksen kiinnitystapa pulteilla perustukseen. Tässä on huomattavasti enemmän työtä saada pulttien reiät osumaan kohdilleen ja kiinnitettyä, kuin vaihtoehdon 4 holkissa. Myös pintarakenteet odottavat ainakin näiden liitoksien kohdalta, kuten vaihtoehdoissa 2 ja 3.

Kuva 13 Havainnekuva nykyisestä pysäkkikatoksen kiinnitystavasta perustukseensa.



4.2 Tutkimuksen toteutus

Tutkimus toteutetaan selvittämällä eri vaihtoehtojen vahvuudet ja heikkoudet, sekä vertailemalla eri vaihtoehtoja **CBA-menetelmällä** (liite 1). Lyhenne tulee sanoista choosing by advantages, eli hyötyihin perustuva valintamenettely. Se on päätöksenteon menetelmä, joka perustuu vaihtoehtojen ja niiden ominaisuuksien eroavaisuuksien ja hyötyjen arvioimiseen. Menetelmän tavoitteena on tehostaa päätöksentekoa yksinkertaisesti. (Pekuri, 2015)

Seuraavaksi vaihtoehtojen vahvuudet ja heikkoudet sekä CBA-menetelmä on pohdittu kohdan 4.1.1 kaltaisesti työpajatoiminnalla, jossa osallisina ovat olleet samat mainitut henkilöt.

4.2.1 Valintakriteerien asettaminen

Voidakseen suorittaa CBA-menetelmä on määritettävä tekijät, joiden perusteella vaihtoehtojen vahvuudet ja heikkoudet tulevat esille, lopuksi pisteytyksen muodossa.

Menettelyyn on valittu seuraavat tekijät:

- **Työn kesto**, mikä on saatu karkeasta aikatauluvertailusta (liite 1), joka perustuu yleisiin työmenekkeihin. Laajuutena on kaikki case-hankkeen pysäkit.
- **Odotuksen jälkeinen aika**, eli jäljellä olevien työvaiheiden kesto sen jälkeen, kun varusteet ovat saapuneet kohteeseen. Esimerkiksi osaan vaihtoehdoista kuuluvat kiveystyöt odotuksen jälkeen, kun taas toisiin vaihtoehtoihin ne eivät kuulu, sillä ne ovat tehty jo valmiiksi.
- **Ilkivaltariski**, kuinka suuri riski tulla hajotetuksi.
- **Asennusvaikeus**, kuinka tarkat toleranssit eri menetelmillä on asentaa varusteet. Esimerkiksi holkki tulee olla tarkasti ja suoraan kiinnitetty perustukseen, jotta katoksen asentaminen siihen onnistuu sujuvasti.
- **Mahdollisuus tahtiaikatuotannolle**, onko menetelmää mahdollista virtaviivaistaa tahtiaikatuotannon mukaiseksi.
- **Resurssipiikki**, aiheuttaako vaihtoehto merkittävää resurssien kasautumista.

4.3 Vertailun ja valinnan tulokset

4.3.1 Vaihtoehtojen vahvuudet ja heikkoudet

Vaihtoehto 1. Kaikkien varusteiden asennus, heti laatan asennuksen jälkeen. Varusteet odottavat.

+ tahtiaikatuotannon kannalta toimiva, kun asennetaan pysäkkikokonaisuus kerralla
+ ei suurta resurssipiikkiä aikataulun lopussa
+ sujuva asentaa, kun voidaan valmiiksi kytkeä kaapelit ja peittää ne
- varusteet odottavat linjan avausta useamman vuoden →ilkivaltariski suuri

Vaihtoehto 2. Varusteiden asennus juuri ennen käyttöönottoa, kiveys auki pysäkin alueelta.

+ sujuva asentaa, sillä kiveys ei ole edessä, vaan ympärillä oleva alue on auki
+ varusteet eivät odota useampaa vuotta käyttöönottoa →ilkivaltariski hyvin pieni
- suuri resurssipiikki silloin, kun varusteita ryhdytään asentamaan ja niiden kiveyksiä tekemään loppuun, sillä pysäkkejä lähes 60 kappaletta
- ei toimiva ratkaisu tahtiaikatuotannon kannalta, sillä viimeistelyn työvaiheet odottavat välissä kauan

Vaihtoehto 3. Varusteiden asennus juuri ennen käyttöönottoa, kiveys auki tolppien kohdalta.

+ sujuva asentaa, sillä kiveys ei ole edessä, vaan tolppien kohdalta pintarakenne on auki
+ varusteet eivät odota useampaa vuotta käyttöönottoa →ilkivaltariski hyvin pieni
- suuri resurssipiikki silloin, kun varusteita ryhdytään asentamaan ja niiden kiveyksiä tekemään loppuun, sillä pysäkkejä lähes 60 kappaletta
- ei toimiva ratkaisu tahtiaikatuotannon kannalta, sillä viimeistelyn työvaiheet odottavat välissä kauan

Vaihtoehto 4. Holkkiratkaisu.

+ nopea asentaa, sillä holkit oikeissa kohdissa ja suojaputket holkin sisällä
+ varusteet eivät odota useampaa vuotta käyttöönottoa, vaan asennetaan vasta tarpeeseen →ilkivaltariski hyvin pieni
+ tahtiaikatuotannon kannalta toimiva ratkaisu, sillä pysäkki saadaan rakennettua valmiiksi muiden työvaiheiden osalta, kuin pysäkkikatoksen ja kaapelien asennus.
+/- resurssipiikki siinä vaiheessa, kun aletaan asentamaan kaikkia pysäkkejä, mutta kuitenkin huomattavasti nopeampi asennusnopeus, kuin muissa vaihtoehdoissa
- jotta katos saadaan asennettua sujuvasti, tulee holkkien olla tarkoissa toleransseissa perustuksen sisällä, jos hieman vinossa → lisätyötä asentaessa

4.3.2 CBA-menettelyn tulokset

CBA-menettelyn tuloksista (liite 1) nähdään selvästi, että vaihtoehto 4 eli holkkiratkaisu olisi kannattavin tapa, sillä muun pysäkin pystyisi rakentamaan valmiiksi pintarakenteita myöden. Seuraavana tulee vaihtoehto 3, mutta suurella piste-erolla.

Jos verrataan yleisten työmenekkien mukaan tehtyä taulukkoa (liite 2), laajuutena kaikki 58 pysäkkiä, niin näiden kahden vaihtoehdon työn kestolla on lähes 40 työpäivää eroa. Mutta suurimpana tekijänä mainittakoon **odotuksen jälkeinen aika**, jota vaihtoehdolla 3 on yli 100 työpäivää, kun taas yhtä suurella resurssilla tehdessä vaihtoehto 4:n aika on alle 40 työpäivää. Työpäivällä tarkoitetaan tässä aikataulussa kahdeksan tunnin työpäivää.

Liitteessä 2 oleellista on kaavio, joka näyttää odotuksen jälkeisen ajan. Nähdään, että vaihtoehdolla 4, eli holkkiratkaisulla on vähemmän jäljellä olevia työvaiheita, sillä moni työvaihe on tehty jo valmiiksi. Vaihtoehdossa 3 on useampi työvaihe jäljellä silloin, kun varusteet ovat mahdollista asentaa.

CBA-menettelyn tuloksena valitaan vaihtoehto 4, eli Kuva 12, parhaaksi tavaksi virtaviivaiseen raitiotiepysäkin rakentamiseen, sillä siinä on huomattavasti pienempi resurssipiikki varusteiden saapuessa.

5 TAHTITUOTANNON MUKAINEN TUOTANNON SUUNNITTELU JA OHJAUS

Jotta saataisiin nykyinen pysäkkien rakentamistapa virtaviivaisemmaksi, tulisi sen muuttua muunnosnäkemyksestä kohti virtausnäkemystä (Taulukko 1). Nykyiseen prosessiin tulisi saada aikaan jatkuva virtaus, jossa minimoidaan hukkaosuuden määrää ja huolehditaan, että tarpeetonta tehdään mahdollisimman vähän.

Työ voitaisiin toteuttaa niin sanottuna ”tuotantojunana”, jossa tarkkaan mitoitetut työvaiheet seuraisivat toisiaan kuin junan vaunut. Siinä tietty ryhmä tekee aina saman työsuoritteen ja siirtyy seuraavalle alueelle, perässään seuraavaa työtä tekevä työryhmä. Tämänlaisella jaottelulla saataisiin Tahtiaikatuotanto mukainen rakentaminen aikaan pysäkkien rakentamisessa.

Kohdan 2.3 mukaisesti toteutus etenee:

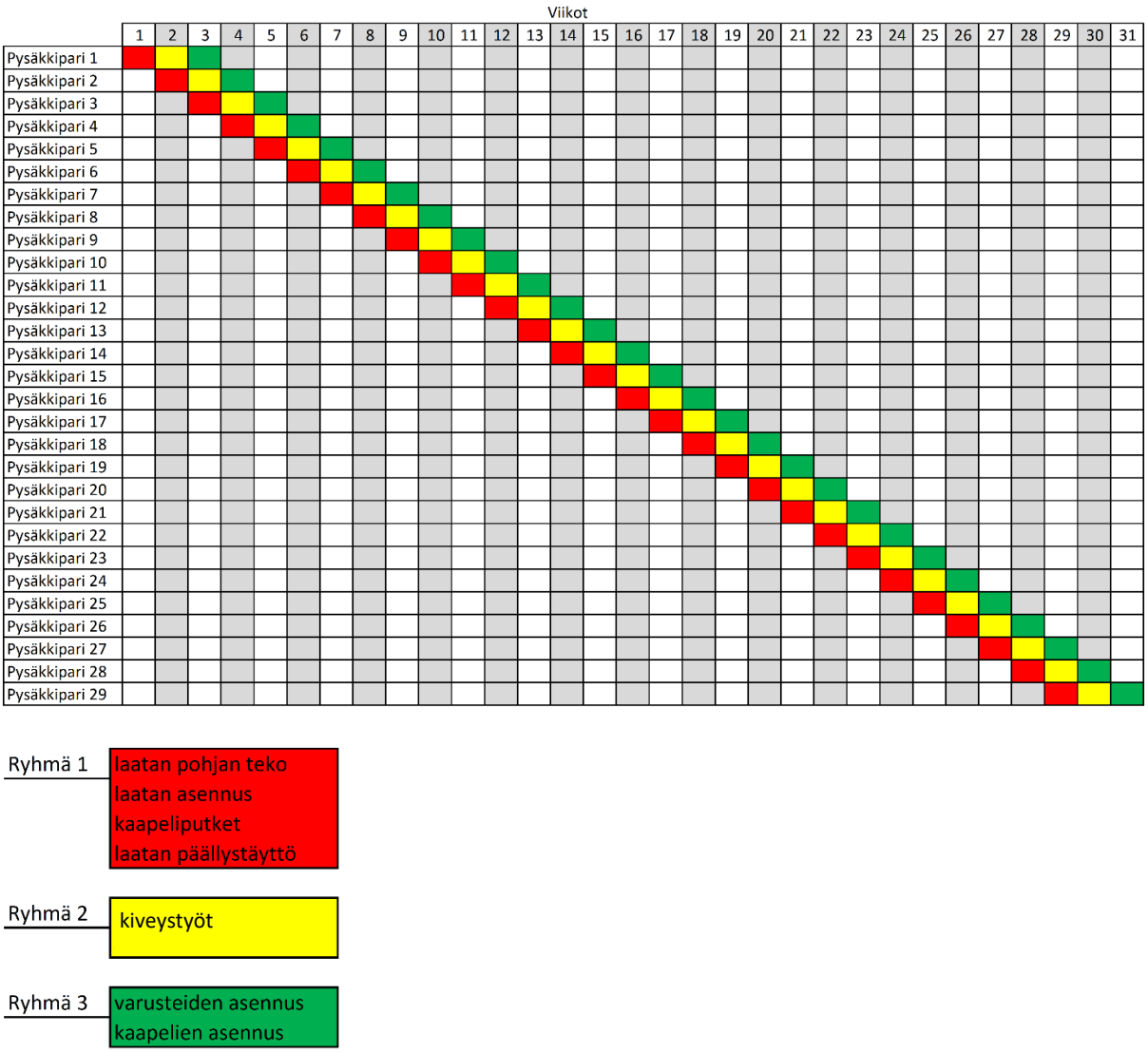
1. työvaiheet on pohdittu ja laskettu niille kestot yleisten työmenekkien mukaan
2. tahtiaikasuunnittelun yksiköksi valitaan pysäkkipari, joita 29 kappaletta
3. hitain vaihe betonikiveystyöt, muut resurssit määritetään sen mukaiseksi
4. tasataan kaikki työvaiheet yhden viikon kestäviksi, jossa viikonloppu toimii kiinteänä puskurina
5. varustetoimitukset sidottu niin, että ne ovat kohteissa ennen asennusryhmän työn aloittamista
6. tehdään kerralla valmista, virheiden ja ongelmien syyt selvitetään ja ratkaistaan välittömästi.

Jos katsotaan liitteen 2 työnkestoja, muutettuina viikoiksi, on vaihtoehto 3 noin 43 viikkoa ja vaihtoehto 4 reilut 37 viikkoa. Molemmista on tässä jätetty pois varusteiden odotus kohteeseen, jotta niitä voidaan verrata seuraavaksi esiteltävään tahtiaikatauluun, jossa ei varusteita tarvitsisi odottaa.

Kun vaihtoehto 4, eli holkkiratkaisu on CBA-menettelyn mukaan sopivin ratkaisu, sekä aikataulullisesti lyhyempi verrattuna toiseksi parhaaseen vaihtoehtoon, niin sitä on käytetty pohjana tahtiaikataulun (Kuva 14) tekemiseen. Siinä työvaiheet on jaettu kolmeen eri työryhmään ja niiden resurssit mitoitetaan niin, että jokainen ryhmä saa yhden **pysäkkiparin**

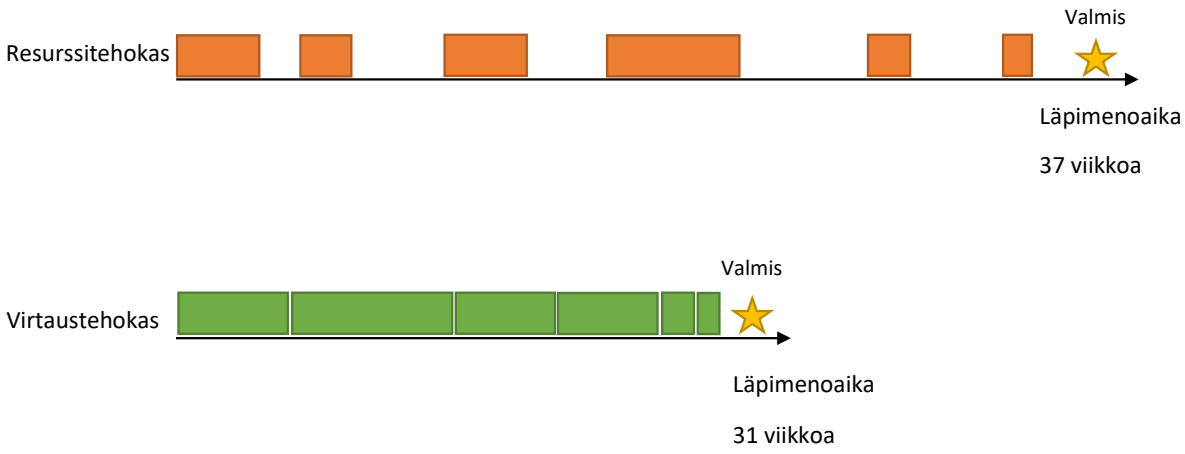
valmiiksi viikossa. Tässä kiinteänä puskurina työvaiheiden välillä toimii viikonloppu. Liitteessä 3 on tahtiaikataulun (Kuva 14) mitoitusperiaate, joka on tehty Rakennustöiden menekit (2020) e-kirjan, sekä Ratu 18–0254 kortin pohjalta.

Kuva 14 Tahtiaikatuotannon mukainen aikataulu



Kuva 15 on vaihtoehto 4:n mukainen resurssitehokas menetelmä ja verrattu sitä Kuva 14 mukaiseen virtaustehokkaaseen tahtiaikatauluun. Resurssitehokkaan ja virtaustehokkaan välillä on prosessin läpimenoajassa eroa kuusi viikkoa. Resurssitehokkaasta on poistettu varusteiden odotusaika, joka on viikoista vuosiin, ja silti ero perinteisen tuotannon ja tahtiaikatuotannon välillä on huomattava.

Kuva 15 Nykyinen resurssitehokas menetelmä vs. virtaustehokas tahtiaikamenetelmä.



Tahtiaikatuotantoa hyödyntäen prosessista saataisiin hukkaa vähennettyä sekä läpimenoaika lyhenisi. Vaihtelu ja hukka vähentyy, kun vakioidaan tietty työryhmä tekemään kaikkien pysäkkien sama työvaihe. Koska vaihtoehto 4 ja tahtiaikatuotanto vähentävät huomattavasti keskeneräisten töiden määrää, jotka vaikuttavat läpimenoaikaan, niin prosessi saadaan virtaamaan tehokkaammin ja läpimenoaika lyhenee.

- Prosessia on helpompi ennustaa ja hallita, kun se etenee järjestyksessä ja tuottaa jatkuvasti ja kattavasti arvoa asiakkaalle.
- Resurssin hankkiminen työvaiheisiin on helpompaa, sillä työn laajuus on suuri ja siten varmasti kiinnostaa tekijöitä.
- Julkisuuskuva paranee huomattavasti, kun edetään pysäkkipari kerrallaan, eikä niin, että koko linjan matkalla on työt kesken. Tällä menetelmällä pysäkkipari olisi kolme viikkoa työn alla, jonka jälkeen se olisi valmis.
- Yhteensovitus sopimusrajojen yli helpottuisi.

6 POHDINTA, YHTEENVETO JA JATKOKEHITYSTARVE

Työn tavoitteena oli toistettavuuden varmistaminen, joka mahdollistaisi virtaviivaisen rakentamisen raitiotiepysäkeissä. Työ onnistui mielestäni suunnitellun mukaan ja sen tavoitteisiin päästiin. Työstä jäi uupumaan lyhyt kysely samanlaisen hankkeen, Tampereen Ratikan, raitiotiepysäkkien samanlaisista ongelmista, sillä en sieltä saanut asianomaisilta tarvittavia vastauksia. Tämän työn samanlainen ongelma raitiotiepysäkkien rakentamisessa ilmeni osittain jo siellä.

Ensiksi työssä perehdyttiin tuotannonohjauksen periaatteisiin ja lean rakentamiseen, jonka avulla case-hankkeen nykyistä rakentamismenetelmää lähdettiin kehittämään virtaviivaisemmaksi.

Vaihtoehtovertailu toteutettiin CBA-menetelmällä, joka tarkoittaa hyötyihin perustuva valintamenettelyä. Siitä selvisi vaihtoehto 4, eli holkkiratkaisu, sopivimmaksi vaihtoehdoksi virtaviivaisen rakentamisen toteuttamiseen. Tätä vaihtoehtoa käytettiin siten tahtiaikasuunnittelun perusteena ja laadittiin uusi virtaustehokas prosessi rakentamiseen.

Opinnäytetyöni sai aikaan keskustelua ja muutosta myös katostoimittajan puolella, sillä he alkoivat kehittämään omaa malliaan tämän työn holkkiratkaisuideasta.

Teoriaperustan lähdetieto oli suurilta määrin englanniksi ja vaikeaa tieteellistä sanastoa, joten sen lukemisessa, tiivistämisessä ja kääntämisessä meni paljon aikaa. Tämän työn seurauksena tuli asiaan perehdyttyä tarkasti ja englannin kielen taitoni varmasti parantui.

Uskon, että tästä työstä, tai ainakin esiintuodusta ongelmasta ja sen ratkaisusta, on jatkossa hyötyä nopeasti yleistyvässä raitiotierakentamisessa Suomessa.

Jatkokehitystarpeena olisi tahtiaikatuotannon mukainen toteutus käytännössä sekä sen seuranta ja analysointi.

LÄHTEET

Grönvall, M. (2019). *Tahtituotannon implementointi toimitilarakentamisessa*. Diplomi-työ. Diplomi-insinöörin tutkinto. Aalto-yliopisto. Haettu 8.10.2020 osoitteesta http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201910275820

Koskela, L. (2000). *An exploration towards a production theory and its application to construction*. Väitöskirja. VTT publications 408. Haettu 23.9.2020 osoitteesta http://urn.fi/urn:nbn:fi:tkk-001187

LCI Finland. (2015). Tahtiaikatuotanto uudistaa tuotannonohjauksen. Blogijulkaisu 28.5.2015. Haettu 7.9.2020 osoitteesta http://lci.fi/blog/menetelmakortti/tahtiaikatuotanto/

Lukka, K. (2001). Konstruktiivinen tutkimusote. Haettu 22.10.2020 osoitteesta https://metodix.fi/2014/05/19/lukka-konstruktiivinen-tutkimusote/

Merikallio, L. & Haapasalo, H. (2009). *Projektituotantojärjestelmän strategiset kehittämiskohteet kiinteistö- ja rakennusalalla.* Espoo: Rakennusteollisuus RT ry ja Lean Construction Institute Finland. Haettu 29.9.2020 osoitteesta http://www.lci.fi/sites/default/files/Merikallio%20%26%20Haapasalo%20(2009)%20Projektituotantoj%C3%A4rjestelm%C3%A4n%20strategiset%20kehitt%C3%A4miskohteet%20kiinteist%C3%B6-%20ja%20rakennusalalla.pdf

Modig, N. & Åhlström, P. (2019). *Tätä on lean*. Ratkaisu tehokkuusparadoksiin. Ruotsi: Rheologica Publishing.

Pekuri, A., Herrala, M., Aapaoja, A. & Haapasalo, H. (2012). *Applying lean in construction – cornerstones for implementation*. Haettu 6.10.2020 osoitteesta https://iglcstorage.blob.core.windows.net/papers/attachment-8625e9a8-80da-409e-ab5b-3f288c73c4a9.pdf

Pekuri, A. (2015). Hyötyihin perustuva valintamenettely – Choosing by Advantages (CBA). Blogijulkaisu 25.5.2015. Haettu 7.9.2020 osoitteesta http://lci.fi/blog/menetelmakortti/choosing-by-advantages-hyotyihin-perustuva-valintamenettely/

Piirainen, A. (2014) Lean ja hukka - Muda, Mura ja Muri. Haettu 1.10.2020 osoitteesta http://www.sixsigma.fi/fi/artikkelit/lean-ja-hukka-muda-mura-ja-muri/

Projektipankki. (n.d.). Haettu 21.10.2020 case-hankkeen projektipankista.

Raide-Jokeri. (n.d.). Raide-Jokeri – parempaa palvelua poikittaiseen joukkoliikentee-seen. Haettu 1.9.2020 osoitteesta https://raidejokeri.info/

Rakennustöiden menekit. (2020). E-Kirja. Haettu 12.11.2020 osoitteesta https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/Ratu%20KI-6035

Ratu 18–0254. *Alueen pintarakennetyöt. Menekit ja menetelmät*. Haettu 12.11.2020 osoitteesta https://kortistot.rakennustieto.fi/kortit/Ratu%2018-0254

Suojanen, U. (2004). Toimintatutkimus ammatillisen kehittymisen välineenä. Haettu 22.10.2020 osoitteesta https://metodix.fi/2014/05/19/suojanen-toimintatutkimus/

Liite 1: CBA-menetelmä

CBA-menetelmän vaiheet

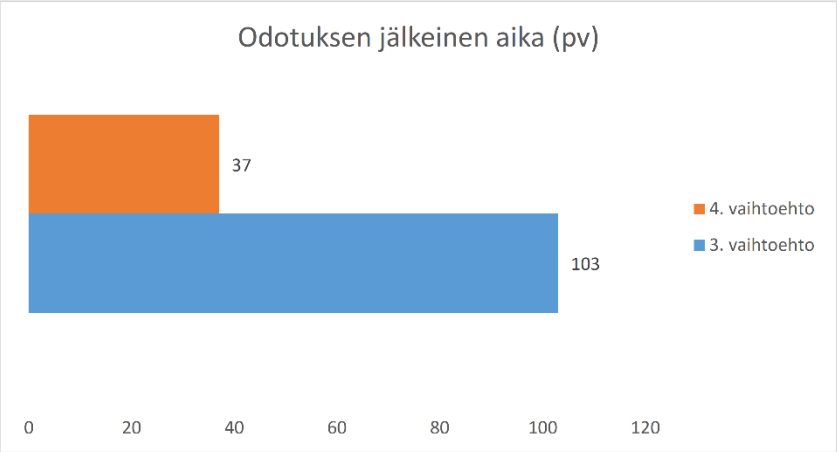
1. tunnista ja valitse arvioitavat vaihtoehdot
2. määrittele tekijät
3. määrittele kriteerit (subjektiivinen)
4. kuvaa ominaisuudet
5. määritä vaihtoehtojen hyödyt vertaamalla ominaisuudeltaan huonoimpaan vaihtoehtoon
6. päätä tärkein hyöty (100) ja muiden hyötyjen suhde tähän (0-100)
7. arvioi vaihtoehtoja suhteessa niiden kustannuksiin

Tekijä (kriteeri)	Vaihoehto 1: Katos laatan asennuksen jälkeen		Vaihtoehto 2: Katoksen asennus juuri ennen, koko pysäkin kiveys auki		Vaihtoehto 3: Katoksen asennus juuri ennen, kiveys auki tolpissa		Vaihtoehto 4: Holkki tms. ratkaisu	
Työn kesto (pv)	Ominaisuus: 315 pv		Ominaisuus: 315 pv		Ominaisuus: 308 pv		Ominaisuus: 266 pv	
(Vähemmän on parempi)	Hyöty:	Tärkeys: -	Hyöty:	Tärkeys: -	Hyöty: 7 pv vähemmän	Tärkeys: 80	Hyöty: 49 pv vähemmän	Tärkeys: 90
Odotuksen jälkeinen aika (pv)	Ominaisuus: 15 tv		Ominaisuus: 100 tv		Ominaisuus: 103 tv		Ominaisuus: 37 pv	
(Pienempi on parempi)	Hyöty: 88 pv vähemmän	Tärkeys: 100	Hyöty: 3 pv vähemmän	Tärkeys: 30	Hyöty:	Tärkeys:	Hyöty: 66 pv vähemmän	Tärkeys: 70
Ilkivaltariski (0-100)	Ominaisuus: 90		Ominaisuus: 20		Ominaisuus: 20		Ominaisuus: 20	
(Pienempi on parempi)	Hyöty:	Tärkeys:	Hyöty: 70 pienempi	Tärkeys: 60	Hyöty: 70 pienempi	Tärkeys: 60	Hyöty: 70 pienempi	Tärkeys: 60
Asennusvaikeus (0-100)	Ominaisuus: 20		Ominaisuus: 20		Ominaisuus: 30		Ominaisuus: 100	
(Suurempi on tarkempi, eli vaikeampi asentaa, huono siis)	Hyöty: 80 helpompi	Tärkeys: 40	Hyöty: 80 helpompi	Tärkeys: 40	Hyöty: 70 helpompi	Tärkeys: 40	Hyöty:	Tärkeys:
Mahdollista tahtiaikatuotannolle (0-100)	Ominaisuus: 50		Ominaisuus: 20		Ominaisuus: 20		Ominaisuus: 100	
(Suurempi on parempi)	Hyöty: 30 pienempi	40	Hyöty:	Tärkeys:	Hyöty:	Tärkeys:	Hyöty: 80 pienempi	Tärkeys: 90
Resurssipiikki (0-100)	Ominaisuus: 100		Ominaisuus: 80		Ominaisuus: 60		Ominaisuus: 40	
(Suurempi on huonompi)	Hyöty:	Tärkeys:	Hyöty: 20 pienempi	Tärkeys: 50	Hyöty: 40 pienempi	Tärkeys: 70	Hyöty: 60 pienempi	Tärkeys: 90
Yhteensä		180		180		250		400

Liite 2: Kahden parhaimman vaihtoehdon töiden ja odotuksien kestot

3. vaihtoehto	yht.	298 pv
laatan pohjan teko		15 pv
laatan asennus		8 pv
kaapeliputket		8 pv
laatan päällystäyttö		4 pv
pysäkkialueen kiveys		145 pv
katoksen jalkasuojaus		15 pv
paikka odottaa varusteita		
odotuksen jälkeen		**103 pv**
suojien poisto		15 pv
varusteiden asennus		15 pv
kaapelien asennus		29 pv
aukkojen kiveys		44 pv

4. vaihtoehto	yht.	261 pv
laatan pohjan teko		15 pv
laatan asennus		8 pv
kaapeliputket		8 pv
laatan päällystäyttö		4 pv
pysäkkialueen kiveys		189 pv
paikka odottaa varusteita		
odotuksen jälkeen		**37 pv**
varusteiden asennus		15 pv
kaapelien asennus		22 pv



Liite 3: Tahtiaikatuotannon aikataulun mitoitus

Ryhmien mitoitus tahtiaikatuotantoa varten, laajuutena kaikki 58 pysäkkiä

	määrä	yksikkö	työryhmä		työmenekki tth/yks (T3)		TL3	kokonaisaika tth T4	työvuoro	Viikkoa
laatan pohjan teko	1450	m³	1	RAM+KUP	0,5	m³	1,2	870	108,8	15,5
laatan asennus	58	kpl	2	RAM	1	kpl	1,2	69,6	4,4	0,6
kaapeliputket	26100	jm	4	RAM	0,075	jm	1,2	2349	73,4	10,5
laatan päällystäyttö	1450	m³	1	RAM+KUP	0,06	m³	1,2	104,4	13,1	1,9
yht										28,5
kiveystyöt	8990	m²	2	RAM	0,29	m²	1,2	3128,52	195,5	27,9
yht										27,9
varusteiden asennus	58	kpl	2	RAM	16	kpl	1,2	1113,6	69,6	9,9
kaapelien asennus	26100	jm	3	RAM	0,1	jm	1,2	3132	130,5	18,6
yht										28,6