

Eetu Mustonen

**TIETOMALLIT
LEAN-RAKENNUSTUOTANNON
KEHITTÄMISEN TUKENA**

Rakennetun ympäristön tiedekunta
Kandidaatintyö
Toukokuu 2021

TIIVISTELMÄ

Eetu Mustonen:
Tietomallit Lean-rakennustuotannon kehittämisen tukena
(Building information modelling supporting Lean construction development)
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Teknisten tieteiden kandidaattiohjelma
Toukokuu 2021

Avainsanat: Rakennustuotanto, Business intelligence, tietomallit, teollisuus 4.0, Lean

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on selvittää tietomallien potentiaalisia hyötyjä Lean-rakennustuotannon kehittämisen tukena. Tietomallit valikoituivat tähän kandidaatin työhön, koska työlle asetettujen ennako-olettamien mukaan ne voisivat täydentää tietojohtamisen näkökulmasta toiminnanohjausjärjestelmien hyödyntämistä ja rakennustuotannon Lean-kehittämistä. Tutkimus toteutettiin kirjallisuuskatsauksena hyödyntäen aiheeseen liittyvää kirjallisuutta. Tutkimuksessa todetaan rakentamisen olevan valmistavasta teollisuudesta poiketen enemmän projektiliiketoimintamaista, joten projektikohtaisten tietomallien olisi hyödyllistä olla yhteydessä tarvittavilta osin yritysten toiminnanohjausjärjestelmiin, mitkä ohjaavat liiketoimintatasolla näiden tekemistä.

Toiminnanohjausjärjestelmien osalta olisi hyödyllistä, jos niihin voitaisiin tuoda selkeästi historiallista tietoa yhdistelmä-tietomallien ja tuotannonohjausjärjestelmien eri osa-alueilta, kuten kustannusennusteisiin ja laatuun liittyen. Ketterien rajapintojen ja datan ohjelmistollisen luettavuuden merkitys korostuu tietovarastoinnin toteuttamisessa, kun eri järjestelmiä on useita erilaisia. Tietomalleihin yhdistetyt business intelligence -ratkaisut auttavat luomaan reaaliaikaista tilannekuvaa rakennustuotannosta yritysten johdolle ja siten on mahdollista tarttua tuotannon haasteisiin muutostojohtamisen keinoin mahdollisimman aikaisessa vaiheessa.

Johtopäätöksenä rakennusten tietomallien tulisi tavoitella 10D BIM-tasoa, jota voidaan monipuolisesti hyödyntää rakentamisen eri osa-alueiden toiminnanohjaukseen. Kehityksen haasteina ovat muun muassa tietomalleihin syötettävän tiedon epäyhtenäisyys sekä tietojärjestelmien integroimisen ongelmat, kuten korkeat ohjelmointikustannukset ja organisaatioiden haluttomuus jakaa liiketoiminnallisesti kriittistä tietoa muille toimitusketjun jäsenille. Näiden lisäksi Lean-rakennustuotanto vaatii organisaatioilta oikeanlaista ja jatkuvaa osaajapääoman kehittämistä, mikä palvelee dataohjautuvalla liiketoiminnalla asetettuja päämääriä.

ALKUSANAT

Työn aiheeksi valikoitui tietomallien hyödyntäminen Lean-rakennustuotannon kehittämisen tukena, koska olen kiinnostunut rakennusalan johtamisen kehittämisestä ja erilaisista yritysten liiketoimintaa muuttavista teknologioista. Aiheen tutkimus yliopisto-opintojen kautta täydensi aiempaa ymmärrystäni, kuinka tietomalleja voidaan hyödyntää osana yritysten toiminnan- ja tuotannonohjausjärjestelmiä.

Kiitos tyttöystävälleni tuesta arjessa, mikä sisältää ajoittain paljon töitä ja opiskelua.

Tampereella 31.5.2021

Eetu Oskari Mustonen

SISÄLLYSLUETTELO

| | |
|--|-----------|
| TIIVISTELMÄ | II |
| ALKUSANAT | III |
| SISÄLLYSLUETTELO | IV |
| LYHENTEET JA TERMIEN SELITYKSET | V |
| 1. JOHDANTO | 1 |
| 1.1 TYÖN TAVOITTEET JA TOTEUTTAMINEN | 2 |
| 1.2 AINEISTO JA MENETELMÄT | 2 |
| 2. RAKENNUSTEN TIETOMALLIT NYT JA LÄHITULEVAISUUDESSA | 3 |
| 3. YLEISTÄ LEAN-FILOSOFIASTA | 5 |
| 3.1 LEANIN MÄÄRITELMÄ | 5 |
| 3.2 LEAN OSANA YRITYSKULTTUURIA | 6 |
| 4. TAHTITUOTANTO JA BIM-IMPLEMENTOINTI | 9 |
| 4.1 RAKENTAMISEN PROSESSI | 9 |
| 4.2 TIEDON KERUU JA HALLINTA | 10 |
| 4.2.1 <i>Tieto-, raha- ja materiaalivirrat</i> | <i>12</i> |
| 4.2.2 <i>Asiakas- ja henkilöstökokemus oppimateriaaleina</i> | <i>13</i> |
| 4.3 BIM-IMPLEMENTOINNIN HYÖDYT JA HAASTEET | 15 |
| 4.4 TIETOOHPOHJAUTUVA MUUTOSJOHTAMINEN | 15 |
| 5. PÄÄTELMÄT | 17 |
| 6. LÄHDELUETTELO | 18 |

LYHENTEET JA TERMIEN SELITYKSET

| | |
|-----------------|---|
| Dokumentaatio | Suunnitellusta tai tehdystä työstä tallennettu tieto. |
| Lean | Hukan poistamiseen ja arvon luomiseen keskittyvä johtamisfilosofia. |
| TPS | Toyota Production System (englanti) eli Toyotan tuotantojärjestelmä. |
| Tahtituotanto | Tuotannonohjauksen viitekehys, joka jaetaan kolmeen osaan: 1) Tahtisuunnittelu 2) Tahtiohjaus 3) Systemaattinen jatkuva kehitys |
| BIM | Building Information Modeling (englanti) eli rakennuksen tietomalli. |
| 10D BIM | Rakennustuotannon teollistamisen mahdollistava tietomalli, joka tukee Lean-johtamisfilosofiaa esimerkiksi integraatioilla toiminnanohjausjärjestelmiin. |
| ERP-järjestelmä | Enterprise Resource Planning system (englanti) eli Toiminnanohjausjärjestelmä yrityksen resurssien hallintaan. |

1. JOHDANTO

Rakennustyömaiden kasvava monimutkaisuus ja vaatimukset paremmalle suorituskyvylle asettavat rakennusteollisuudelle uudenlaisia tarpeita niin johtamisen kuin liiketoiminnan kehittämisen suhteen (Turner et al. 2021). Valtioneuvoston kanslian julkaisussa (Ahonen et al. 2020) todetaan rakennusalan tuottavuuden kehityksen olleen heikkoa koko 2000-luvun ajan. Tuottavuuden kehittämisen haasteena voidaan pitää rakennusteollisuuden matalia vaatimuksia työntekijöille, eikä rakennusteollisuus näyttäydä houkuttelevana toimialana kaikista innovatiivisimmille ja lahjakkaimmille työntekijöille (Turner et al. 2021). Kuitenkin samaan aikaan informaatioteknologia sekä johtamisen työkalut ovat kehittyneet huimasti ja niiden uskotaankin edistävän rakennusteollisuuden kehittämistä (Tzortzopoulos et al. 2020)

Eräs lähestymistapa rakennusteollisuuden kehittämiseen on valmistavasta teollisuudesta tunnettu Lean-johtamisfilosofia. Lean-rakentamista rakennusteollisuudessa voidaan pitää valmistavan teollisuuden Lean-valmistuksen vastineena ja sen tavoitteena on kilpailukykyisen liiketoiminnan tavoittelu muun muassa maksimaalisen asiakasarvon tuoton ja hukan karsinnan avulla (Tzortzopoulos et al. 2020). Lean-ajattelun juuret löytyvät toisen maailmansodan jälkeisestä Japanista Toyotan autotehtaan TPS-tuotantojärjestelmästä. Kyseisen vuosisadan alun teknologinen kehitys mahdollisti aiempaa paremmat sarjatuotannon menetelmät ja siten ketterämmin kehitettävän asiakastarpeisiin vastaavan tuotannon. (Stevenson, 2015)

Lean-rakentaminen taas pureutuu rakennustuotannon jatkuvaan kehittämiseen erilaisen johtamismenetelmien ja teknologioiden avulla. Rakentamisen uusi paradigma tuo mukanaan uudenlaisia johtamistyökaluja, kuten rakennusten tietomallit, eli BIM:t (engl. Building Information Modeling). Näiden uusien johtamistyökalujen onnistunut implementointi ei ole kuitenkaan yksinkertaista, sillä ne vaativat tuekseen koko organisaation sitoutumisen muun muassa teknologian hyödyntämiseen sekä datan keruuseen. (Lindblad 2019)

1.1 Työn tavoitteet ja toteuttaminen

Tämän kandidaatintyön tavoitteena on selvittää, miten tietomallien hyödyntäminen voisi tukea Lean-rakentamista ja sen kehittämistä.

Kandidaatintyön tutkimuskysymykset ovat:

1. Mitä Lean tarkoittaa ja mitä tietoa tulisi dokumentoida suunniteltujen rakennusten toteumasta tuotannon kehittämistä varten?
2. Miten tietomallit voivat tukea Lean-rakennustuotannon kehittämistä nyt ja lähitulevaisuudessa?

Ensimmäinen teorialuku käsittelee eri tasoisia tietomalleja ja niiden hyödyntämistä rakennusteollisuudessa. Seuraava teorialuku käsittelee Lean-rakentamista muun muassa määrittelemällä eri käsitteitä liittyen ilmiöön.

Päätelmät-luvussa tutkitaan aiemmin käsitellyn kirjallisuuden avulla, millaisesta tietomallien hyödyntämisestä on erityisesti hyötyä Lean-rakennustuotannon kehittämisen kannalta ja millaisia haasteita tietomallien käyttöönotolla voi olla rakennusalan yrityksissä.

1.2 Aineisto ja menetelmät

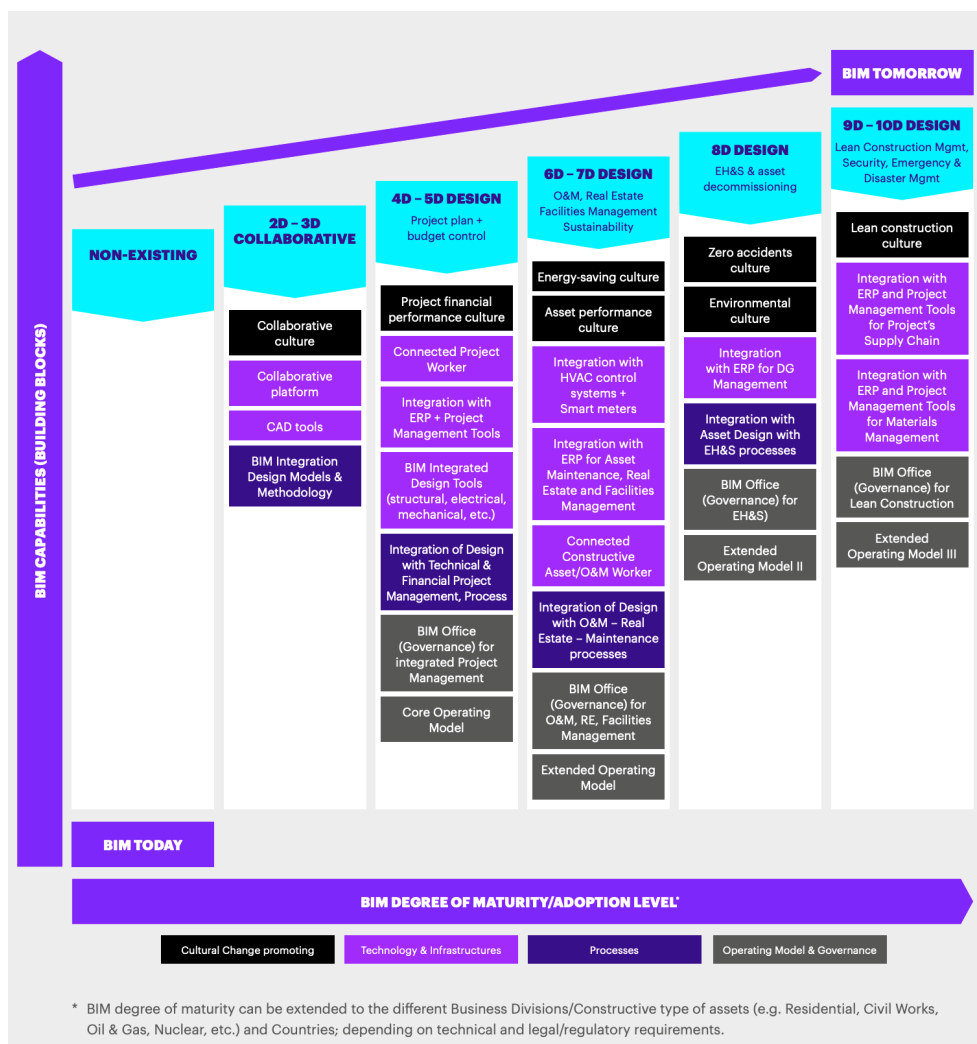
Tämä työ toteutetaan kirjallisuuskatsauksena. Kirjallisuuslähteet ovat tieteellisiä tutkimuksia sekä artikkeleita. Lähteiden hakemisessa hyödynnettiin Tampereen yliopiston Andor-tietokantapalvelua sekä Scopus ja Web of Science tietokantoja. Hakusanoja olivat ”Lean”, ”Construction”, ”Lean Construction”, ”BIM” AND ”Lean” sekä ”BIM” AND ”Lean Construction”. Hakulausekkeesta riippuen tuloksia saatiin noin 1 000–10 000 kpl.

Tästä hakumäärästä lähdettiin rajaamaan relevanttia tutkimusaineistoa perustuen artikkelin tiivistelmään, uutuuteen sekä tieteelliseen painoarvoon. Tieteellistä painoarvoa arvioitiin Julkaisuforumin luokitusten avulla. Lopullinen aineisto rajattiin koskemaan Lean-rakennustuotannon kehittämisen kannalta kaikista relevanteimpia tietomallien hyödyntämisen menetelmiä ja kohteita. Rakennusten tietomallien kehitystä tarkastellaan nykyhetken ja lähitulevaisuuden aikaikkunassa.

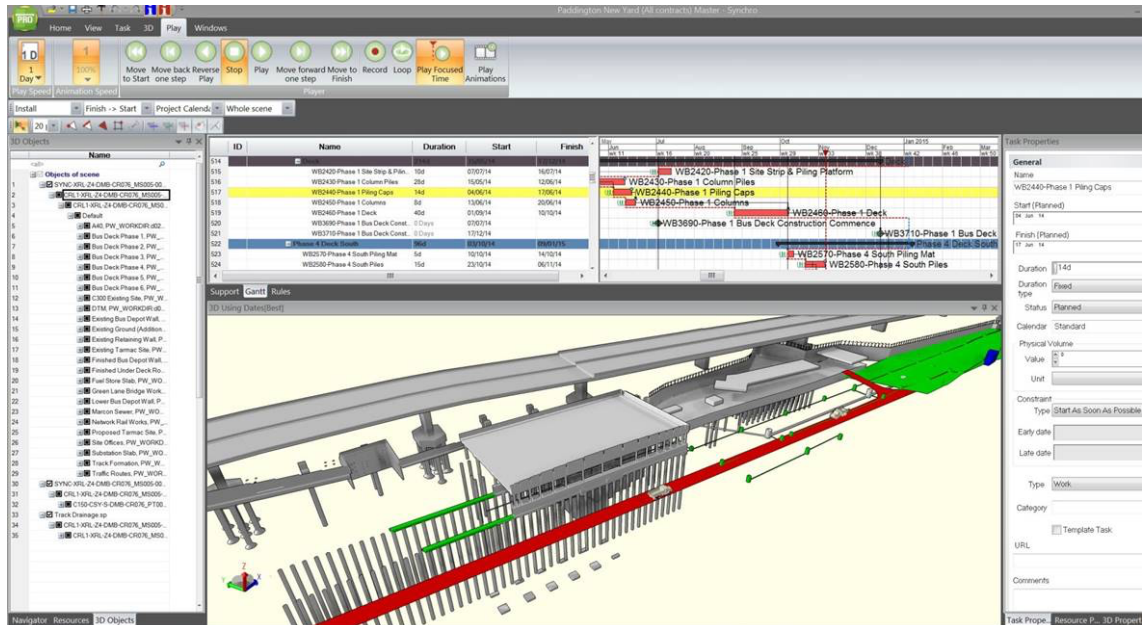
2. RAKENNUSTEN TIETOMALLIT NYT JA LÄHI-TULEVAISUUDESSA

Rakennusteollisuudessa hyödynnetään jo runsaasti erilaisia teknologioita ja menetelmiä, kuten CAD-ohjelmistoja tekniseen mallintamiseen. Rakennuksen tietomalli eli BIM on todellisuutta vastaava virtuaalimalli, joka toimii eräänlaisena rakennettavan kohteen digitaalisena kaksosena. BIM sisältää tietoa pelkkää suunnittelumallia laajemmin muun muassa materiaaltarpeista, raaka-aineiden ja materiaalien hinnoista sekä rakennustyömaan edistymisestä. (Weygant, 2011) Rakennustietomallia voidaan hyödyntää pelkkää suunnittelumallia laajemmin rakennusprojektin eri toimintoihin, kuten hankintaan, logistiikkaan ja tuotantoon (Lindblad, 2019).

Kuva 1 esittää eri asteisten tietomallien ominaisuuksia ja Accenturen näkemystä tietomallien kehityssuunnasta.



Kuva 1. BIM:n tasot ja niiden kuvaukset. (Batlle, J.; Gallego, S.; & Toa, R. (2017)



Kuva 2. Bentley Systems, SYNCHRO 4D BIM-ohjelmisto.
(Bentley Systems Ltd, 2018)

Kuvassa 2 on esimerkki, kuinka rakennustietomallia pystytään käyttämään rakennustuotannon tukena infra-hankkeissa. Bentley Systemsin SYNCHRO-sovelluksessa hyödynnetään neljännen asteen tietomallia, jossa on yhdistetty rakentamisen aikataulutietoja työmaalla rakennettavien objektien parametreihin. Hyvin visualisoitu tuotanto auttaa työntekijöitä ymmärtämään, milloin tulisi rakentaa mitäkin ja työnjohto ymmärtää tietokoneen välityksellä, kuinka työ etenee. Työn etenemän kannalta on kuitenkin kriittistä tehtyjen työsuoritteiden kuittaaminen tehdyiksi tuotannonohjausjärjestelmään.

Rakennushankkeen valmistumisen jälkeen rakentamisesta tuotettua dokumentaatiota voidaan hyödyntää jälkimarkkinan toimenpiteissä eli rakentamiseen liittyvissä ylläpito ja huoltotoimenpiteissä.

Jotta työn imua voidaan tehostaa, tarvitaan avuksi käyttäjäystävällisiä tiedon johtamisen työkaluja ja inhimillistä ihmisjohtamista. Siksi tämän tutkimuksen seuraavissa kappaleissa käsitellään Lean-johtamisfilosofian ja tietomallien hyödyntämisen yhdistämistä.

3. YLEISTÄ LEAN-FILOSOFIASTA

Rakentaminen on projektiliiketoimintaa, joten valmistavan teollisuuden Lean-menetelmät eivät sovellu välttämättä sellaisenaan rakentamisen toimialalla hyödynnettäväksi. Valtioneuvoksen kanslian selvityksessä (Aho et al., 2020) todetaan rakentamisen arvoketjujen kehittyneen 2000-luvun aikana, mutta tuottavuuden kehittäminen on tapahtunut pääsääntöisesti muualla kuin rakennustyömaalla kokoonpanovaiheessa.

Lean-johtamiselle on tyypillistä liiketoiminnan suoriutumisen kerättyyn tietoon pohjautuva liiketoiminnan kehittäminen. Teollisuus 4.0:n uusista tiedon johtamisen työkaluista tekoälyä hyödyntämällä on mahdollista karsia hukkaa tietoon pohjautuvasta päätöksenteosta. (Holbrook, 2020) Tietomäärien kasvaessa nousee tärkeäksi datan hyödynnettävyyden kannalta kerätyn informaation keskittäminen ja prosessien vakioiminen yhteensopivaksi toiminnanohjausjärjestelmien kanssa. Toiminnanohjausjärjestelmä eli ERP-järjestelmä mahdollistaa informaatio-, materiaali- ja rahavirtojen ohjaamisen sekä seurannan. Rakennustuotannon teollistamisen kannalta tulee ymmärtää rakennusprojektien elinkaaria, joten projektikohtainen tiedon keskittäminen rakennusten tietomalleihin on järkevää. Tietomallit eivät itsessään ole ratkaisu tuottavuuden kehittämiseen, mutta ne mahdollistavat tiedon keskittämisen myötä käytännöllisen rakennusprojektien hallinnan. (Battle et al., 2017) Rakennusten tietomallit palvelevat ennen rakennuksen luovutusvaihetta rakentamista ja myöhemmin kiinteistönhallinnan operaatioita. (Wertebach, et al., 2018)

Luvussa 3.1 käsitellään syvällisemmin, mitä Lean tarkoittaa ja kuinka sen periaatteet voidaan implementoida osaksi yritysten toimintaa. Lean-filosofian syvällisempi ymmärtäminen auttaa hahmottamaan, kuinka dokumentoinnin prosesseja voidaan mukauttaa kokonaisuuksien jatkuvaa kehittämistä palvelevaksi. Rakennustyömaiden toiminnanohjauksessa hyödynnetään tahtituotannon viitekehystä.

3.1 Leanin määritelmä

Lean-johtamisfilosofian päämääränä on kannattavan liiketoiminnan tavoittelu karsimalla kahdeksaa erilaista tuotannossa syntyvää hukkaa. Kääntöpuolena äärimmäisessä hukan karsinnassa voi olla resilienssin puute tuotannon kohtaamissa ongelmatilanteissa, jolloin tuotanto saattaa pysähtyä täysin. (SAP, 2018)

Arvo jalostuu toimitusketjun etenemän mukaisesti ja siitä mistä asiakkaat ovat valmiita maksamaan. Toimitusketju koostuu toiminnoista, jotka muodostavat yhdessä arvon kehitystä eli arvoketjun. Arvoketjun sisäiset tapahtumat ovat arvovirtoja. Jos virtauksen imussa on tuottavuusongelmia, niin tuotantoon muodostuu pullonkaula. Pullonkaulan myötä virtausyksiköiden läpimenoaika kärsii ja siten syntyy hukkaa. Hukka on tässä tapauksessa odottelua ja viivästyksiä. Arvovirrat koostuvat tieto-, materiaali- ja rahavirroista. Näitä käsitellään lisää luvussa 3.2.2.

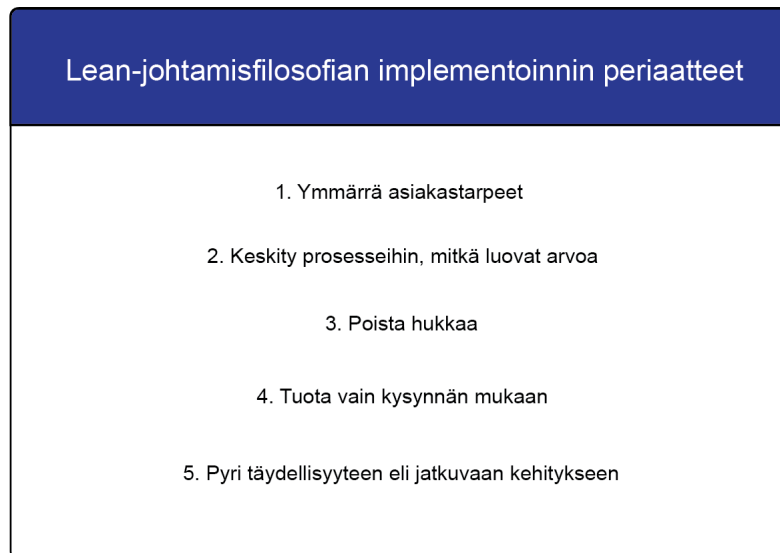
Leanissa tavoitellaan yritystoiminnan täydellisyyttä, joten liiketoiminnan pyrkimyksenä on tuottaa paremmin arvoa kuin kilpailevat yritykset.

Leanissa hukalla tarkoitetaan kaikkea toimintaa mistä ei ole liiketoiminnan positiivisen kassavirran kehityksen suhteen hyötyä. Hukan minimoiminen mahdollistaa kustannus-edun tavoittelun kilpaileviin yrityksiin nähden, jonka ansiosta resursseja vapautuu lisää arvoa tuottavien tuotteiden ja palveluiden kehittämiseen. Näin on mahdollista pyrkiä tuottamaan markkinoiden parasta laatua parhaaseen hintaan. (Stevenson, 2015)

Leanin käsitys hukasta jakaantuu nykyisin kahdeksaan eri muotoon. Nämä tuottamattomat toiminnan muodot ovat ylituotanto, odottelu ja viivästykset, tarpeeton kuljettaminen, ylikäsittely, tarpeettomat varastot, tarpeeton liike työskentelyssä, laatuvirheet ja hukattu potentiaali. (Amjad et al., 2021) Näistä viimeisimmän ymmärtäminen on erityisesti hyötyä tuotannon kehittämisen kannalta. Hukatulla potentiaalilla tarkoitetaan ihmisten tietopääoman ja luovuuden käyttämättä jättämistä.

3.2 Lean osana yrityskulttuuria

Lean-ajattelussa hukan poistamisen tavoittelua ohjaa viisi pääperiaatetta, jotka ovat asiakastarpeen ymmärtäminen, arvoa luoviin prosesseihin keskittyminen, hukan poistaminen, kysynnän mukaan tuottaminen ja jatkuvan kehityksen tavoittelu. Näiden lisäksi on tärkeää luoda edellytykset organisaatiokulttuurille, jossa työntekijät tukevat aidosti kehitysmuutoksia. (Leyer et al., 2021)



Kuva 3. Lean-johtamisfilosofian implementoinnin periaatteet. (mukailten Leyer et al. 2021)

Ensimmäinen periaate on kaiken yritystoiminnan lähtökohta eli asiakastarpeiden ymmärtäminen. Jos yritystoimintaa halutaan perustaa tai kasvattaa, niin on kannattamatonta investoida sellaisen tuotannon ylös ajoon, joka ei tuota maksavalle asiakkaalle suoraa tai välillistä hyötyä. Siksi toinen pääperiaatteista ohjaa keskittymään vain prosesseihin, mitkä luovat arvoa. Kun on ymmärretty mitä asiakastarpeet ovat ja millaiset liiketoimintaprosessit luovat arvoa maksavalle asiakkaalle, niin on keskityttävä kolmanteen periaatteeseen eli hukan poistamiseen.

Lean-filosofian tavoitteena on poistaa prosesseista kaikki virtausyksiköiden läpimenoaika hidastava toiminta. Tämä ei kuitenkaan tarkoita resurssien kestämatöntä ylikuormittamista, vaan Leanissa optimoidaan resursseja kysynnän mukaan. Virtausyksiköiden läpimenoaikoja ja kustannuskertymiä voidaan seurata toiminnanohjausjärjestelmien eli ERP-järjestelmien kautta. ERP-järjestelmien hyödyntäminen on olennainen osa Lean-ajattelua hyödyntävien teollisuusyritysten toimintaa. Digitaaliset ratkaisut helpottavat materiaalien ja tiedon siirtymistä oikeisiin paikkoihin oikeaan aikaan.

Resurssien hyödyntämisen optimointi tarkoittaa neljättä pääperiaatetta, jonka tavoitteena on tuottaa vain kysytty määrä asiakkaiden tarvitsemia tuotteita. Ylimääräinen varastointiaika on resurssien hukkaamista ja kuluerä. Lopulta viidennes periaate käskee tavoittelemaan täydellisyyttä eli maksimaalista arvon tuottamista parhaaseen hintaan asiakkaalle. (Leyer et al. 2021)

Kun kuvan 3 Lean-johtamisfilosofian periaatteet yhdistetään rakennustuotannon kehittämiseen, niin on tutkittava miten Leanin periaatteiden onnistumista on mahdollista mitata. Mittaamiseen liittyvän tiedonkeruutyön on oltava kustannustehokasta ja sen osalta onkin kannattavinta keskittyä pitkäaikaisiin vaikutuksiin. (mukaillen Sacks et al., 2010)

4. TAHTITUOTANTO JA BIM-IMPLEMENTOINTI

Rakennushankkeen tahtituotannolla tarkoitetaan työvaiheiden systemaattista aikataulutamista. Tahtituotannossa lisätään tiettyihin aikaväleihin joustoaikaa varastoon, jolloin yksittäinen aikataulupoikkeama ei pysäytä koko työmaan etenemistä. Tahtituotannossa tavoitellaan parasta mahdollista läpivirtausaikaa virtausyksiköille. Virtausyksiköillä tarkoitetaan valmistettavaa tuotetta tai palvelua. Virtaustehokkuus kertoo kyseisen virtausyksikön valmistusajan virtausyksikköä kohden. Virtausyksiköiden virtaustehokkuuden dokumentointi auttaa ennustamaan seuraavia rakennushankkeita varten kustannuksia. Tahtituotannon prosesseihin vaikuttavat asiakastarpeiden muutokset sekä asiakas- ja työntekijäkokemukset. Työntekijäkokemusten mittaaminen ja mittaustuloksista luotu dokumentaatio auttaa kehittämään liiketoimintaan sitouttavampaa työpaikkakulttuuria.

Rakennushankkeiden virtaustehokkuuden seurannassa voidaan hyödyntää työmaan visuaalista dokumentaatiota, mikä toimii samalla myös laadunvarmistuksen dokumentaationa. Holobuilder-niminen 360-kuviin perustuva työmaan dokumentointijärjestelmä on saavuttanut yhdysvalloissa jopa 50 % säästöä dokumentointityöhön kuluvan ajan suhteen. (Holobuilder, Skanska, 2018) Järjestelmän avulla kerättyä tietoa voidaan hyödyntää työssä ilmenneiden laatuongelmien jäljittämiseen ja aikataulun seurantaan.

Rakennustyömaalla ei ole välttämättä järkevää käyttää kalleimman työvoimakustannuksen omaavaa työvoimaa kuvadokumentation toteuttamiseen. Työtä järjestelemällä voidaan saavuttaa kustannusetuja ja samalla kalliimman työkustannuksen omaavat tekijät voivat hyödyntää paremmin osaamisensa potentiaalia muissa töissä.

4.1 Rakentamisen prosessi

Rakennushankkeet alkavat urakan valmistelusta ja sopimusten allekirjoittamisesta. Tämä vaihe sisältää asiakkaan tarveselvityksen, hankesuunnittelun ja suunnittelun valmistelun. Tässä vaiheessa tärkein dokumentaatio liittyy projektin esimäärittelyyn. Kun esimäärittelyt ja kilpailutukset on toteutettu, niin siirytään määrittelemään lopulliset suunnitelmat rakennusurakan käynnistämistä varten. Nyt dokumentoidun tiedon määrä kasvaa ja haasteeksi tulee tiedon hallinta. Kerättyä tietoa ohjataan rakentamista varten

oikeille ihmisille ohjaamaan tekemistä. Lopulta rakentamisen vaiheessa dokumentointi keskittyy toteuman seurantaan ja vertailuun suunnitelmien kanssa. (Kuva 4)

Rakennushankkeen luovutuksen jälkeen toteumasta dokumentoitua tietoa voidaan hyödyntää rakennuksen ylläpitotoimenpiteissä ja käytössä. Tietomallin hyödyntäminen tiedon keskusvarastona mahdollistaa digitaalisen kaksosen luomisen eri osapuolten hyödynnettäväksi.



Kuva 4. Rakentamisen prosessi (mukailten Kallasjoki, 2016)

4.2 Tiedon keruu ja hallinta

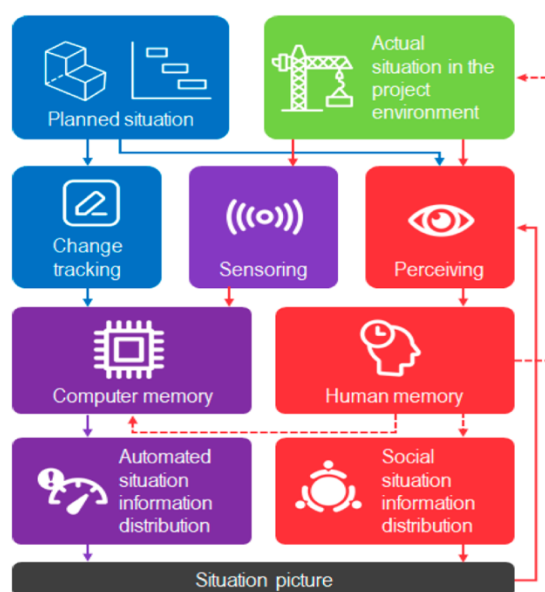
Tiedonkeruuta on tapahduttava rakentamisen prosessin kaikista vaiheista, jos toimitusketjua halutaan kehittää kokonaisvaltaisesti. Toimitusketjun alkuvaiheesta dokumentoidaan tietoa asiakastarpeista hyödynnettäväksi rakentamiseen osallistuville osapuolille. Kerätyn tiedon avulla voidaan tehdä luonnossuunnittelua ja jatkoselvityksiä esimerkiksi rakennuslupia varten. Tässä vaiheessa dokumentoitu tieto on kirjallista dokumentaatiota ja visuaalisia luonnoksia rakennuksesta syvällisempää suunnittelua varten. Syvällisempi suunnittelu kattaa muun muassa tietomallin luomisen ja rakennusfysikaalisen suunnittelun. Ennen rakentamista dokumentointi keskittyy suunnitelmien tallentamiseen jatkokäyttöä varten ja rakentamisen vision kirkastamiseen.

Rakentamisen käynnistyttyä dokumentointityö keskittyy suunnitelmien toteuman seurantaan. Tahti- ja aikataulu auttaa seuraamaan toteuman etenemistä Lean-rakennustuotannossa. Toteuman etenemistä voidaan seurata kuvadokumentaatiolla, mikä toimii myös laadun varmistuksen todistusaineistona luovutuksissa. Kuva dokumentaatiota kerätään tänäpäivänä Bentley Systemsin Synchro 4D:n (Bentley systems Ltd, 2021) ja Daluxin (Dalux, 2021) kaltaisilla ratkaisuilla. Näiden lisäksi dokumentoitavia asioita ovat mm työ- ja turvallisuus ja budjettiseuranta.

Tahtituotannossa on mielestäni tärkeää mitata virtaustehokkuuden lisäksi resurssien kuormitusta ja työntekijäkokemusta. Työntekijäkokemusten seuraaminen mahdollistaa järkevämmän osaamisen hyödyntämisen organisaatiossa, kun halutaan optimoida inhimillisesti tuotannon prosesseja.

Rakennushankkeen valmistuttua rakennuksen toteumatiedon sisältävää tietomallia on järkevää hyödyntää esimerkiksi kiinteistöhallinnan operaatioissa. Kiinteistöjen hallinnassa eräs nykypäivänä käytettävä palvelu on Granlund Manager. (Granlund Oy, 2021) Rakennushankkeista kerättävän tiedon määrän lisääntyessä tulee tärkeäksi tiedon yhteensopivuus eri järjestelmien kanssa, jotka hyödyntävät projektikohtaisia tietoja. Tiedon tallentamisessa on huomioitava datan yhteensopivuus ja käyttöoikeuksien hallinta eri käyttäjien välillä. Käyttäjällä tarkoitan järjestelmää tai ihmistä.

Yksi ratkaisusta tiedon hyödyntämiseen ja käyttöoikeuksien hallintaan on Suomalainen Vastuu groupin Platform of trust -tuote. (Vastuu group, 2021) Tiedon hyödyntämisen kannalta on kriittistä datan laatu ja sen laillinen hyödynnettävyys. Datan laadukkuutta voidaan tukea harmonisoimalla sen rakenteita. Datan laillisen käyttöoikeuden ja korrup-toimattomuuden varmistamiseksi on nykypäivänä mahdollista hyödyntää lohkoketju-tekniologiaa. (Li et al., 2019) Kuvassa 5 todetaan että tietoa voi myös liikkua rakennustyömaalla myös ihmisten muistin mukana, joten teknologia ei ratkaise kaikkia tiedon turvalliseen hallintaan liittyviä haasteista. Tarvitaan myös toimintatapoja, joilla pidetään huolta tiedon pysymisestä valituilla henkilöillä. Ihmisillä on oltava myös vastuuta siinä, millaista tietoa tietojärjestelmien muistiin lisätään.

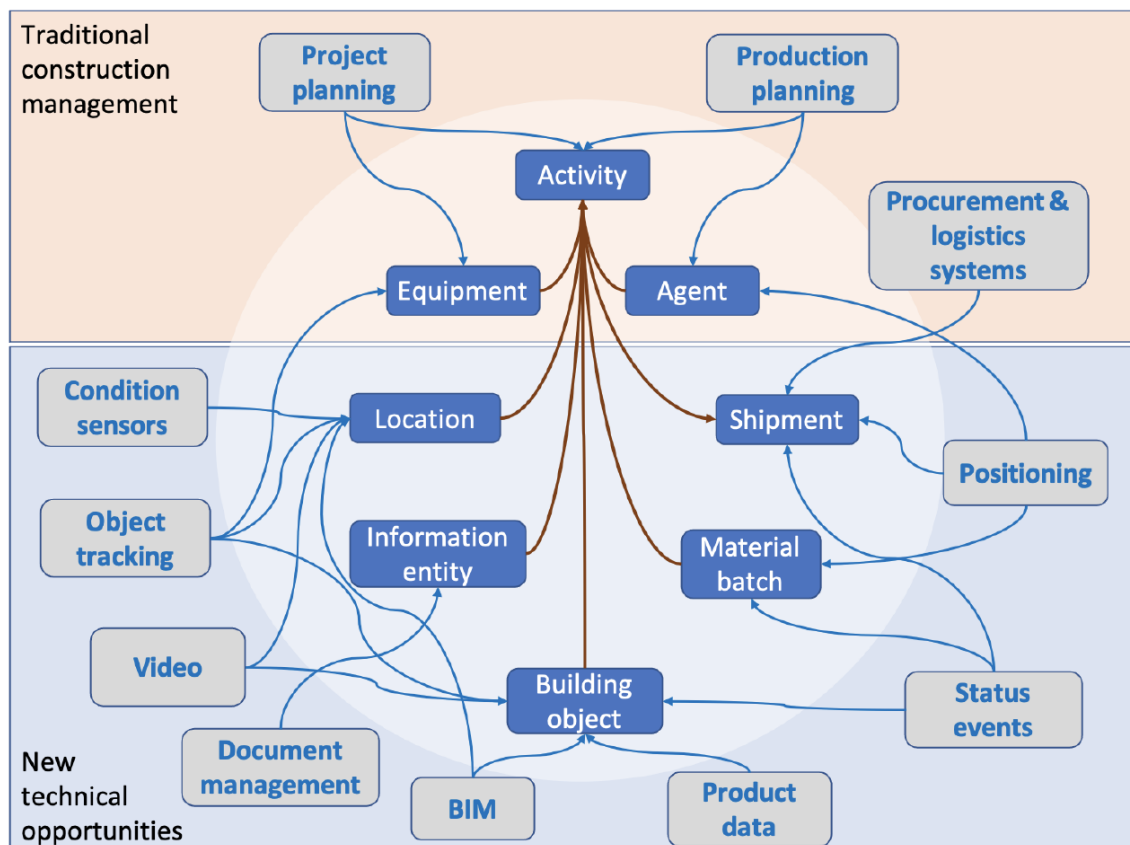


Kuva 5. Tilannekuvan muodostuminen rakennustyömaasta (Seppänen et al., 2021)

4.2.1 Tieto-, raha- ja materiaalivirrat

Toimitusketjulla liiketoiminnassa tarkoitetaan toimintoja prosesseissa, jotka edellytetään jonkin tuotteen toimittamiseksi raaka-aineista valmiiksi tuotteeksi tai palveluksi loppuasiakkaalle. Toimitusketjun prosessit koostuvat tieto-, raha- ja materiaalivirroista, joten näiden tietojen dokumentointi auttaa selvittämään virtaamien virtaustehokkuuksia ja syyseuraus-suhteita.

Kuva 6 esittelee Aalto yliopiston DiCtion työryhmän näkemystä, millaisista asioista rakentamisen prosessin tilannekuva voi muodostua ja mikä on tietomallin rooli rakentamisessa. Työryhmän tavoitteena oli tutkia kuinka rakentamisen työn imua voisi tehostaa digitaalisten ratkaisujen avulla. (Seppänen et al., 2021)



Kuva 6. Rakentamisen tilannekuva ja teknologia. (Seppänen et al., 2021)

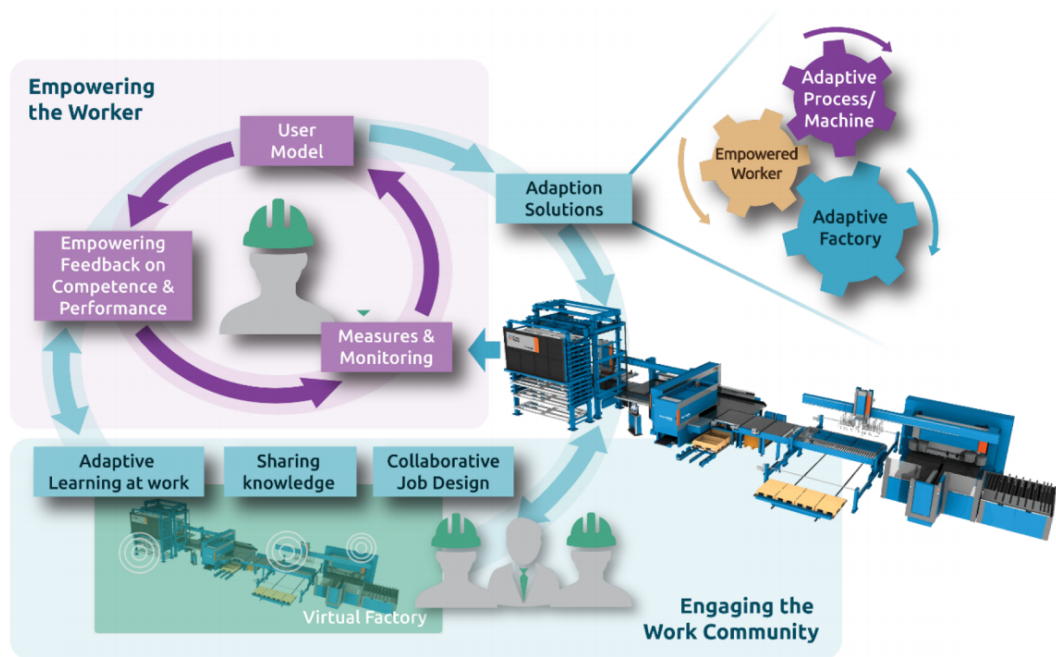
DiCtion työryhmän visio kuvassa 5 mukailee kuvan 1 Accenturen näkemystä tietomallien hyödyntämisen kehityssuunnasta.



**Kuva 7. Jaettu suunnittelu- ja tilannekuva
(Aalto yliopisto ja DiCtion työryhmä, 2021)**

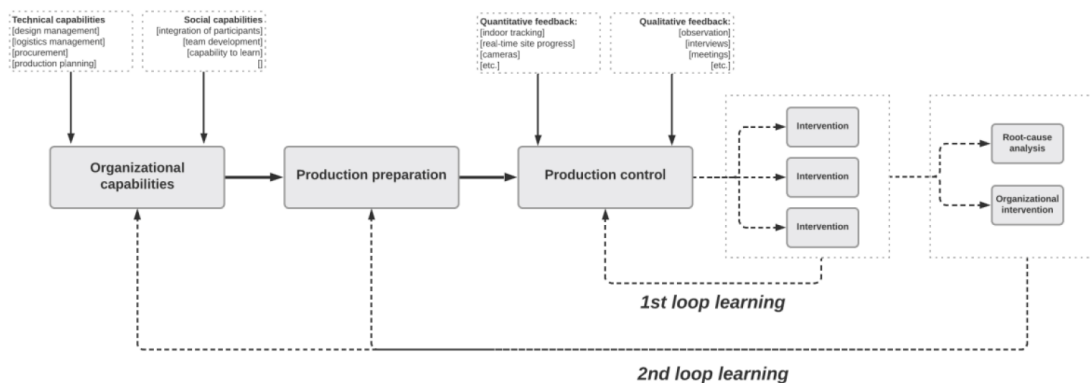
4.2.2 Asiakas- ja henkilöstökokemus oppimateriaaleina

Arvon syntyminen muodostuu asiakastarpeesta, joten asiakaskokemuksen mittaaminen osoittaa yritystoiminnan laadusta asioita ja auttaa kehittämään tuotannon lopputuotoksia paremmiksi. Henkilöstökokemuksen mittaaminen puolestaan auttaa ymmärtämään ihmisten sitoutumista laadun tuottamiseen ja työpaikkaan. Empowering and engaging industrial workers with Operator 4.0 solutions – tutkimuksessa tutkitaan työntekijäkokemuksen mittaamista ja mittaustulosten liittämistä tuottavuuden kehityksen tunnuslukuihin. (Kaasinen et al., 2019)



Kuva 8. Työntekijöiden motivointi ja sitouttaminen teollisuus 4.0 ympäristössä (Kaasinen et al., 2019)

Kuvassa 8 esitelty virtuaalinen tehdas tarkoittaa tehdasympäristön digitaalista kaksosta. Rakennusprojektit poikkeavat tehdasympäristöistä ainakin siten, että rakennuspaikat vaihtuvat, mutta tehtaan sijainti pysyy paikoillaan. Tästä voidaan tehdä päätelmä, että rakennuskohtaisia tietomalleja voisi hyödyntää osittain samalla tavalla kuin virtuaalisia tehtaita. Eli työntekijäkokemusten tietoja voitaisiin lisätä tietomallin toteumatietoihin ja niistä voi olla hyötyä tuotannon kehittämistä varten seuraaviin projekteihin. Jatkuva oppiminen on työkalu jatkuvaan kehittymiseen. Kuvan 9:n DiCtion työryhmän tutkimustulokset vahvistavat tämän päätelmän hyödyllisyyttä.



Kuva 9 Jatkuvan oppimisen viitekehys (Seppänen et al., 2021)

4.3 BIM-implementoinnin hyödyt ja haasteet

Rakennustietomalliin panostaminen hyödyttää tutkitusti rakennusliikkeitä kannattavamman liiketoiminnan tavoittelussa. Tietomallien hyödyntäminen parantaa viestintää rakentamisen eri osapuolten välillä, mikä johtaa siten positiivisempaan asiakaskokemukseen, tehokkaampaan työn organisointiin ja siten myös kustannustehokkuuteen. Ajallinen säästö rakennusprojekteissa BIM:iä hyödyntäen voi olla jopa 7 % ja kustannussäästöt 10 % urakkasopimusten hinnasta. Näiden lisäksi rakentamisen kustannukset ovat tietomalleja hyödyntämällä ennustettavampia. (Azhar, 2011)

Tietomallien hyödyntämisessä oman haasteensa luo suunnitteluprosessi. Suuren määrän parametreja hallinta on haasteellista ja parametrien luominen tietomalliin vie aikaa. Tähän ongelmaan on kuitenkin olemassa ratkaisuna algoritmiavusteinen suunnittelu, mikä nopeuttaa suunnitteluprosessia.

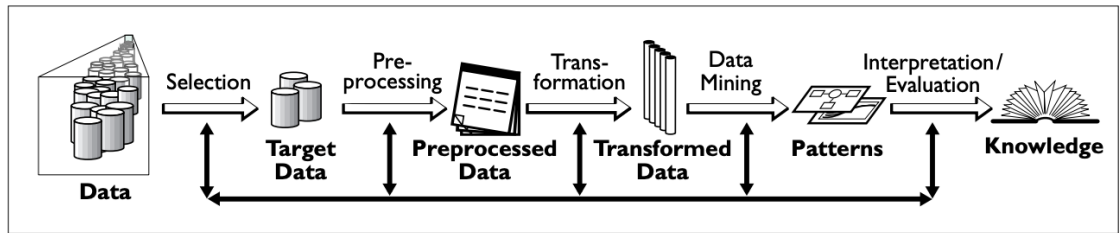
Lisäksi yksi tietomallien hyödyntämisen haaste on tiedon taltioiminen tietokoneohjelmistojen hyväksymään muotoon, joten dataa on harmonisoitava nykyisestä. (Azhar, 2011)

4.4 Tietoon pohjautuva muutosjohtaminen

Tietomallien hyödyntämisen käytön jalkauttamisen on tapahduttava organisaatioissa alhaalta ylös, koska muutos vaatii toteutuakseen ketterän implementointistrategian. (Arayici et al., 2010) Kun tietomallien käyttöä pidetään itsestäänselvytenä ja arvo ymmärretään, niin ihmiset motivoituvat osallistumaan yritystoiminnan kehittämiseen ja lopulta organisaatio on kypsä siirtymään tietomallien hyödyntämisessä tasolta seuraavalle organisaation kyvykkyyksien mukaisesti.

Kun tietomalleihin taltioitua tietoa kyetään hyödyntämään laajemmin organisaation tuotannon- ja toiminnanohjausjärjestelmissä, niin on mahdollista alkaa kehittämään liiketoimintaa kokonaisvaltaisesti pohjautuen historialliseen dataan. Tätä kutsutaan dataohjautuvaksi liiketoiminnaksi. Kerättyä dataa tulee jalostaa tiedoksi yrityksen johtamista ja kehittämistä varten. Prosessia nimitetään KDD-prosessiksi (Knowledge Discovery in Databases). (Kuva 10) Tiedon jalostamiseen on olemassa Business Intelligence työkaluja, jotka auttavat muokkaamaan dataa tiedoksi.

Ketterä muutosjohtajuus vaatii tuekseen ymmärrystä liiketoiminnan strategisista päämääristä sekä relevanttia faktatietoa nykyisen rakennustuotannon prosesseista ja etenkin sen pullonkauloista



Kuva 10. KDD-prosessi (Fayyad et al., 1996)

Vaikka muutosta johtamaan palkatulla ihmisellä olisi teoriassa osaamista viedä muutoksia onnistuneesti läpi, niin hän ei välttämättä kykene saamaan muutosta aikaisiksi, jos persoonallisuus ei tue johtajuuden asemaa työyhteisössä. Johtamiseen liittyy aina psykologinen ulottuvuus. Johtajuutta voi esiintyä työyhteisössä henkilön asemasta riippumatta jokaisella. Ketterintä muutosten toteuttaminen on, jos organisaatiokulttuuri tukee jatkuvaa kehittymistä.

5. PÄÄTELMÄT

Yhteenvedona kandidaatintyössä käsitellystä kirjallisuudesta voidaan todeta seuraava asia: rakennustuotannon Lean-kehittäminen tarvitsee tuekseen ketterästi toteutetun tietomallin, mikä tukee kokonaisvaltaisesti rakentamisen laadun ja kustannustehokkuuden kehittämistä. Tietomallia voidaan parhaimmillaan hyödyntää tietovarastona, mikä on yhteydessä rakennuksen elinkaaren aikana erilaisiin ohjelmistoihin, kuten tuotannon- ja toiminnanohjausjärjestelmiin.

Lean-kehittämisen näkökulmasta tietomalleihin varastoidun historiallisen toteumatiedon tulee olla sellaista, mikä auttaa selvittämään rakentamiseen osallistuneiden yritysten tuotannon kehittämisen kannalta merkittävimpiä syy-seuraus -suhteita. Lisäksi on hyödyllistä tuottaa tietomalliin sellaista tietoa, mikä auttaa rakennusten omistajia toteuttamaan laadukkaasti tulevaisuuden rakentamisen toimenpiteitä. Laadukkaasti toteutettu tietomalli voi mielestäni olla myös luottamuksen ja siten myös myynnin edistäjä kiinteistökaupoissa.

Haasteina tietomallien saattamisessa kohti tämän tutkimuksen alussa mainittua kymmenennen asteen tietomalleja ovat teknologian kehittäminen ja uusien teknologioiden käyttöönotto ihmisten keskuudessa. Teknologiset haasteet liittyvät käyttäjäystävällisten ratkaisujen kehittämiseen ja niissä hyödynnettävän datan laatuun. Ihmisiä koskevat kehityksen hidasteet liittyvät organisaatiokulttuurisiin asioihin, kuten muutosvastarintaan ja sidosryhmien kyvykkyyteen omaksua uusia toimintamalleja. Muutosten onnistuessa, tietomallien hyödyntäminen johtaa kokonaisvaltaisemmin dataohjautuvaan yritysten liiketoimintaan, mutta se vaatii tuekseen kehitysmuotoisen Lean-kulttuurin organisaatiossa.

Dokumentoidut prosessit ja niiden analysointi edistävät rakennusliiketoiminnan ennustettavuuden paikkansa pitävyyttä. Toimitusketjujen loppupäissä yhdistyy tarve rakennus- ja taloteknisten alojen asiantuntijoille, joten Lean-filosofiaa tukevien prosessien kehittäminen voi olla tämän osalta haasteellista ilman riittävää molempiin aloihin liittyvää ymmärrystä. Pidän järkevänä jatkotutkimusaiheena eri johtamisfilosofioiden vertailua dataohjautuvan rakennusliiketoiminnan muutosajureina. Erityisesti dataohjautuvasti kehittyvän liiketoiminnan vaatimukset henkilöstön osaamiselle kiinnostavat.

6. LÄHDELUETTELO

Aalto yliopisto ja DiCtion työryhmä, 2021. *Aalto yliopisto*. [Online]

Available at:

<https://www.aalto.fi/en/diction#:~:text=DiCtion%20is%20a%20research%20and,that%20situation%20awareness%20is%20lacking.>

[Haettu 24 Toukokuu 2021].

Ahonen, A., Ali-Yrkkö, J., Avela, A., Junnonen J., Kulvik M., Kuusi T., Mäkäräinen K., Puhto, J., 2020. Rakennusalan kilpailukyky ja rakentamisen laatu Suomessa. *Valtioneuvoston selvitys- ja tutkimustoiminnan julkaisusarja*, p. 27.

Amjad, M. S., Rafique, M. Z. & Khan, M. A., 2021. International Journal of Lean Six Sigma. *Modern divulge in production optimization: an implementation framework of LARG manufacturing with Industry 4.0*, 8 2, p. 1.

Arayici, Y., Coates, P., Koskela, L., Kagioglou, M., Usher, C., O'Reilly, K., 2010. *Technology adoption in the BIM implementation for lean architectural practice*, s.l.: Elsevier.

Axelsson, J., Fröberg, J. & Eriksson, P., 2019. *Architecting systems-of-systems and their constituents: A case study applying Industry 4.0 in the construction domain*, 2 Lokakuu, Issue 22, pp. 455-470.

Azhar, S., 2011. *Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry*, s.l.: Leadership and Management in Engineering.

Battle, J., Gallego, S. & Toa, R., 2017. *WHY IT'S TIME TO ADOPT BUILDING INFORMATION MODELING*, s.l.: Accenture.

Bentley systems Ltd, 2021. *Synchro 4D*. [Online]

Available at: <https://www.bentley.com/en/products/product-line/construction-software/synchro-4d>

[Haettu 2021].

Bentley Systems SYNCHRO, 2018. *Bentley Systems SYNCHRO*. [Online]

Available at: <https://www.bentley.com/en/about-us/news/2018/june/20/synchro-acquisition>

[Haettu 24 Toukokuu 2021].

Dalux, 2021. *Dalux*. [Online]

Available at: <https://www.dalux.com/fi/>

[Haettu 2021].

Fayyad, U., Pietetsky-Shapiro, G. & Smyth, P., 1996. *The KDD Process for Extracting Useful Knowledge from Volumes of Data*, s.l.: COMMUNICATIONS OF THE ACM.

Granlund Oy, 2021. *Granlund manager*. [Online]

Available at: <https://www.granlund.fi/palvelut/granlund-manager-ohjelmisto/>

[Haettu 24 Toukokuu 2021].

Holbrook, T., 2020. *Industry today*. [Online]

Available at: <https://industrytoday.com/using-data-to-achieve-lean-manufacturing/>

[Haettu 3 2021].

- Holobuilder, Skanska, 2018. *Case Study*. [Online]
Available at: https://www.holobuilder.com/wp-content/uploads/2018/06/skanska_case_study_holobuilder.pdf
[Haettu 3 maaliskuu 2021].
- Kaasinen, E., Schmalfuß, F., Öztürk, C., Aromaa, S., Boubekour, M., Heilala, J., Heikkilä, P., Kuula, T., Liinasuo, M., Mach, S., Mehta, R., Petäjä, E., Walter, T., 2019. *Empowering and engaging industrial workers with Operator 4.0 solutions*, s.l.: Elsevier.
- Kallasjoki, T., 2016. *Rakennushankkeen vaiheet*. [Online]
Available at: <https://mycourses.aalto.fi/mod/folder/content>
[Haettu 24 Toukokuu 2021].
- Leyer, M., Reus, M. & Moormann, J., 2021. *Taylor & Francis Online*. [Online]
Available at: <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1711981>
[Haettu Maaliskuu 2021].
- Li, J., Greenwood, D. & Kassem, M., 2019. *Blockchain in the built environment and construction industry: A systematic review, conceptual models and practical use cases*, s.l.: Elsevier.
- Lindblad, H., 2019. *Black boxing BIM: the public client's strategy in BIM implementation*, s.l.: Construction management and economics.
- Sacks, R., Koskela, L., Dave, B. & Owen, R., 2010. Interaction of lean and building information modeling in construction. *Journal of Construction Engineering and Management-asce*, , 136(9), pp. 968-980.
- SAP, 2018. *Digitalist Magazine*. [Online]
Available at: <https://www.digitalistmag.com/digital-supply-networks/2018/07/13/why-automakers-are-turning-to-resilient-lean-06178670/>
[Haettu 20 Toukokuu 2021].
- Seppänen, O., Peltokorpi, A., Zheng, Y., Masood, M.K., Aikala, A., Lehtovaara, J., Kiviniemi, M., Lavikka, R., Lahdenperä, P., 2021. *Digitalizing Construction Work-flows (DiCtion)*, s.l.: Aalto University.
- Stevenson, W. J., 2015. Lean ja prosessien hallinta. Teoksessa: *Operations management, twelfth edition*. s.l.:McGraw-Hill Education, pp. 604-646.
- Turner, C. J., Oyekan, J., Stergioulas, L. & Griffin, D., 2021. *Utilizing Industry 4.0 on the Construction Site: Challenges and Opportunities*, s.l.: IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL INFORMATICS.
- Tzortzopoulos, P. K. M. & K. L., 2020. *Lean Construction: Core Concepts and New Frontiers*. s.l.:Routledge.
- Vastuu group, 2021. *Platform of trust*. [Online]
Available at: <https://platformoftrust.net/fi/kayttotapaukset/>
[Haettu 19 maaliskuu 2021].
- Wertebach, S., Holm, H. T., Van Veen, A. R. & Johansen, P. R., 2018. Lean methodology in design and construction. Teoksessa: s.l.:Ad Notam, pp. 163-165.
- Weygant, R. S., 2011. *BIM Content Development: Standards, Strategies, and Best Practices*. 1. Aufl. toim. s.l.:New York: Wiley.